

编号：ZFHK-FB18220076

核技术利用建设项目

衢州中心医院（四省边际中心医院）项目

核技术利用迁扩建工程

环境影响报告表

（报批稿）

衢州市人民医院

2019年4月

环境保护部监制

# 核技术利用建设项目

衢州中心医院（四省边际中心医院）项目

核技术利用迁扩建工程

环境影响报告表

建设单位名称：衢州市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：衢州市柯城区钟楼底 2 号

邮政编码：324000

联系人：

电子邮箱：

联系电话：



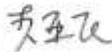
No 0003863

### 建设项目环境影响评价资质证书

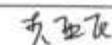
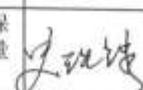
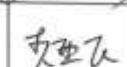
机构名称：中辐环境科技有限公司  
 住 所：浙江省杭州市西湖区教工路 336 号 3A  
 法定代表人：姚丹丹  
 资质等级：乙级  
 证书编号：国环评证 乙字第 2056 号  
 有效期：2017 年 12 月 20 日至 2020 年 09 月 13 日  
 评价范围：环境影响报告书乙级类别 —— 输变电及广电通讯、核工业\*\*\*  
 环境影响报告表类 —— 一般项目；核与辐射项目\*\*\*



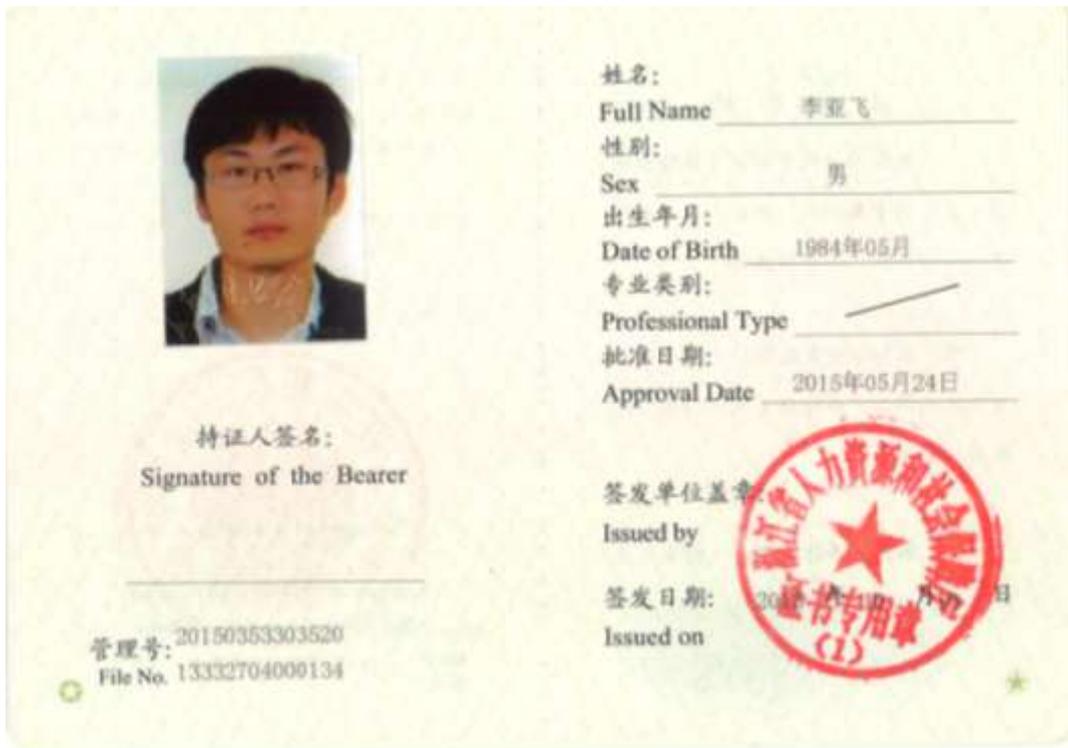
项目名称：衢州中心医院(四省边际中心医院)项目核技术利用迁扩建工程  
 评价单位（盖公章）：中辐环境科技有限公司  
 法人代表（签章）：姚丹丹   
 环评项目负责人：李亚飞

编制人员情况				
姓名	职称	证书编号	负责章节	签名
史铁锤	高工	00016187	项目基本情况、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量与辐射现状	
李亚飞	工程师	00016672	项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	

## 编制单位和编制人员情况表

建设项目名称	衢州中心医院（四省边际中心医院）项目核技术利用迁扩建工程		
环境影响评价文件类型	环境影响评价报告表		
<b>一、建设单位情况</b>			
建设单位（签章）	衢州市人民医院		
法定代表人或主要负责人（签字）			
主管人员及联系电话	[REDACTED]		
<b>二、编制单位情况</b>			
主持编制单位名称（签章）	中辐环境科技有限公司		
社会信用代码	91330000MA27C9414T		
法定代表人（签字）			
<b>三、编制人员情况</b>			
编制主持人及联系电话	李亚飞 0571-87889666		
<b>1. 编制主持人</b>			
姓名	职业资格证书编号	签字	
李亚飞	00016672		
<b>2. 主要编制人员</b>			
姓名	职业资格证书编号	主要编写内容	签字
史铁锤	00016187	项目基本情况、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量与辐射现状	
李亚飞	00016672	项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理，结论与建议	
<b>四、参与编制单位和人员情况</b>			

# 环评项目负责人职业资格证书（复印件）



# 目 录

表 1 项目基本情况 .....	1
表 2 放射源 .....	9
表 3 非密封放射性物质 .....	9
表 4 射线装置 .....	10
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） .....	12
表 6 评价依据 .....	13
表 7 保护目标与评价标准 .....	16
表 8 环境质量和辐射现状 .....	29
表 9 项目工程分析与源项 .....	33
表 10 辐射安全与防护 .....	55
表 11 环境影响分析.....	84
表 12 辐射安全管理 .....	142
表 13 结论与建议 .....	149
表 14 审批 .....	153

## 附图

- 附图 1 项目地理位置图
- 附图 2 项目周边环境关系图
- 附图 3 总平面布局图
- 附图 4 负一层、放疗科局部平面布局图
- 附图 5 门诊医技楼 3~5 层
- 附图 6 核医学科、甲癌病房局部平面布局图
- 附图 7 核医学用房路径规划图
- 附图 8 核医学放射性废水、废气管线走向图

## 附件

- 附件 1 委托书
- 附件 2 辐射安全许可证
- 附件 3 主体工程环评批复
- 附件 4 现有核技术利用项目环评批复和验收材料
- 附件 5 环境本底检测报告
- 附件 6 辐射安全和防护管理领导小组文件
- 附件 7 辐射事故应急预案
- 附件 8 相关辐射管理制度
- 附件 9 相关岗位职责
- 附件 10 DSA、加速器操作规程
- 附件 11 现有辐射工作人员个人剂量报告
- 附件 12 专家咨询意见及修改说明

**表 1 项目基本情况**

建设项目名称		衢州中心医院（四省边际中心医院）项目核技术利用迁扩建工程				
建设单位		衢州市人民医院				
法人代表		■	联系人	■	联系电话	■
注册地址		衢州市柯城区钟楼底 2 号				
项目建设地点		衢州市九华西大道以北、养生大道以东、回龙小区以西				
立项审批部门		/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）		17010	项目环保投资（万元）	500	投资比例（环保投资/总投资）	2.94%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 迁扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积(m <sup>2</sup> )	5560
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类			
其他	/					
<p><b>1.1 项目概述</b></p> <p><b>1.1.1 建设单位情况简介</b></p> <p>衢州市人民医院，又称衢州中心医院，是一所三级甲等综合性医院，位于衢州市钟楼底 2 号。医院目前总占地面积 99 亩，开放床位 1102 张，设有学术中心 5 个，临床科室 30 个，门诊医技科室 50 余个，各级专科 60 余个，现有在职员工 2000 余人。医院现有射线装置包括 DSA、直线加速器、CT 等。</p> <p>为促进当地发展，方便群众就医，积极响应衢州市发展规划，衢州市人民医院拟在九华西大道以北、养生大道以东、回龙小区以西建设衢州中心医院（四省边际中心医院），该项目做为衢州市七个小城镇规划中的医养小镇内的重要组成部分，为四省边际地区最有影响力的医疗中心；衢州中心医院整体用地面积达 13.9169 万 m<sup>2</sup>，总建筑面积 357800 m<sup>2</sup>；</p>						

拟建床位 2000 张，建成后将成爲一所集医、教、研、防为一体的大型现代化综合三甲医院。项目主体工程建设已委托浙江仁欣环科院有限责任公司编制了《衢州中心医院（四省边际中心医院）项目环境影响报告书》，衢州市环保局以衢环建[2018]17 号批复。

### 1.1.2 项目建设目的和任务由来

为满足衢州医养小镇的医疗卫生需求，进一步优化医疗资源布局，增加优质医疗资源供给，经衢州市发展和改革委员会批复同意（衢发改函〔2017〕110 号），衢州市人民医院拟在九华西大道以北、养生大道以东、回龙小区以西建设衢州中心医院（四省边际中心医院），并搬迁现有 22 台射线装置至衢州中心医院（其中 3 台 II 类射线装置纳入本次评价范围，19 台 III 类射线装置由建设单位另行备案），同时增设核医学科、扩建放疗科和介入治疗中心。其中核医学科位于肿瘤病房大楼负一层，含 1 台 SPECT-CT（使用核素  $^{99m}\text{Tc}$  和  $^{131}\text{I}$  显像诊断）、1 台  $\gamma$  乳腺相机（使用核素  $^{99m}\text{Tc}$  显像诊断）和 2 台 PET-CT、1 台 PET-MRI（使用核素  $^{18}\text{F}$  显像诊断），并使用  $^{131}\text{I}$  核素用于甲亢治疗和甲功能测定， $^{89}\text{Sr}$ （锶）和  $^{153}\text{Sm}$ （钐）用于骨转移癌治疗；核素病房位于肿瘤病房大楼二楼西南角，使用  $^{131}\text{I}$  用于甲癌治疗，建有 5 间甲癌病房（双人间 3 间，单人间 2 间）。放疗科位于肿瘤病房大楼地下负一层，含 4 台直线加速器（其中 1 台为现有加速器搬迁而来，另外 3 台为新购）、1 台后装机。介入治疗中心位于门诊医技楼 4 层，含 5 台 DSA，其中新购 3 台，2 台为现有 DSA 搬迁而来。

根据《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，公告 2017 年第 66 号）和《放射源分类办法》（国家环境保护局公告 2005 年第 62 号）；上述直线加速器、DSA 属于 II 类射线装置；SPECT-CT、PET-CT 属于 III 类射线装置；后装机使用  $^{192}\text{Ir}$ （铱-192）放射源，活度为  $3.7\times 10^{11}\text{Bq}$ ，属 III 类放射源。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，本项目肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所非密封放射性核素日等效操作量为  $1.46\times 10^9\text{Bq}$ ，肿瘤病房大楼二层核素病房工作场所非密封放射性核素日等效操作量为  $2.96\times 10^9\text{Bq}$ ，均为乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目需要进行环境影响评价，对照《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）及《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》（生态环境部令第 1 号），本项目属于“五十、核与辐射”中“191、核技术利用建设项目—使用 II 类射线装置；乙、丙级非密封放射性物质工作场所”，环评类别为环境影响报告表。为此，衢州市人民医

院委托中辐环境科技有限公司（国环评证乙字第 2056 号）开展衢州中心医院（四省边际中心医院）项目核技术利用迁扩建工程（简称“本项目”）的环评工作（见附件 1）。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、资料收集等工作，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）等规定要求编制完成本环评报告表。

### 1.1.3 项目建设规模和规模

#### （1）核医学科

核医学科工作场所拟建于肿瘤病房大楼地下一层，拟购置 1 台 SPECT-CT（使用  $^{99m}\text{Tc}$  和  $^{131}\text{I}$ ）、1 台  $\gamma$  乳腺相机（使用  $^{99m}\text{Tc}$ ）、2 台 PET-CT 及 1 台 PET-MRI（使用  $^{18}\text{F}$ ）用于放射性药物显像诊断；使用  $^{131}\text{I}$  用于甲亢治疗和甲测、使用  $^{89}\text{Sr}$  和  $^{153}\text{Sm}$  核素用于骨转移癌治疗；核素病房拟建于肿瘤病房大楼二层西南角，使用  $^{131}\text{I}$  用于甲癌治疗。

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号），本项目核医学和核素病房两处工作场分别作为单独场所进行日等效操作量核素，经计算，本项目肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所非密封放射性核素日等效操作量为  $1.46 \times 10^9 \text{Bq}$ ，肿瘤病房大楼二层核素病房工作场所非密封放射性核素日等效操作量为  $2.96 \times 10^9 \text{Bq}$ ，均为乙级非密封放射性物质工作场所。

项目放射性核素均通过外购获得，环评要求建设单位应做到：在项目建成运行前确定放射性核素的出售单位，签订相关供货协议，确保售出单位有完善的环保手续和生产、销售的相关资质及许可，并且在今后项目投入运行后继续严格执行放射性核素来源的合法、合规管理。

#### （2）放疗科

放疗科位于肿瘤病房大楼地下一层，核医学科北侧，含 4 台直线加速器和 1 台后装机。4 台直线加速器均为 II 类射线装置，其中 1 台 X 射线能量最大为 15MV，3 台 X 射线能量最大为 10MV（其中 1 台为现有设备搬迁而来，另外 2 台为新购设备）。后装机使用  $^{192}\text{Ir}$  放射源，活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ ，属于 III 类放射源。

#### （3）介入中心

介入中心位于门诊医技楼四层西北部，含 5 台 DSA 装置，属 II 类射线装置，其中 3 台为新购设备，2 台为现有 DSA 设备搬迁而来。

项目所用放射性同位素、密封源及射线装置情况如表 1.1-1~1.1-3 所示。

表 1.1-1 放射性同位素使用情况表

序号	建设内容	核素			使用场所	工作场所分级	用途
		种类	实际日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)			
1	2台PET-CT 1台PET-MRI	<sup>18</sup> F	2.22×10 <sup>10</sup>	2.22×10 <sup>7</sup>	肿瘤病房 大楼地下 负一层	1.46×10 <sup>9</sup> Bq 乙级	显像 诊断
2	1台SPECT-CT	<sup>99m</sup> Tc	2.78×10 <sup>10</sup>	2.78×10 <sup>7</sup>			显像 诊断
		<sup>131</sup> I	3.70×10 <sup>8</sup>	3.70×10 <sup>7</sup>			
	1台乳腺γ相机	<sup>99m</sup> Tc	7.40×10 <sup>8</sup>	7.40×10 <sup>5</sup>			甲亢治疗
3	<sup>131</sup> I	3.70×10 <sup>9</sup>	3.70×10 <sup>8</sup>	甲测			
4	<sup>131</sup> I	3.70×10 <sup>6</sup>	3.70×10 <sup>5</sup>	骨转移癌 治疗			
5	<sup>89</sup> Sr	7.40×10 <sup>8</sup>	7.40×10 <sup>7</sup>				
6	<sup>153</sup> Sm	9.25×10 <sup>9</sup>	9.25×10 <sup>8</sup>				
7	<sup>131</sup> I	2.96×10 <sup>10</sup>	2.96×10 <sup>9</sup>	肿瘤病房 大楼二楼	2.96×10 <sup>9</sup> Bq 乙级	甲癌治疗	

表 1.1-2 放射源一览表

序号	核素名称	数量	使用场所	单枚源活度	活动种类和范围
1	<sup>192</sup> Ir	1	后装机机房	3.7×10 <sup>11</sup> Bq	使用, III类放射源

表 1.1-3 射线装置情况一览表

序号	射线装置名称	类别	数量(台/套)	型号	主要参数*	用途	机房位置	备注
1	医用电子 直线加速器	II	1	待定	X射线: 15MV 电子: 21MeV	放射治疗	肿瘤病房 大楼地下 一层	新购
			1	Elekta infinity	X射线: 10MV 电子: 20MeV	放射治疗		搬迁
			2	待定	X射线: 10MV 电子: 20MeV	放射治疗		新购
2	DSA	II	3	待定	U <sub>max</sub> =125kV I <sub>max</sub> =1250mA	影像诊断 和介入治 疗	门诊医技 楼四层	新购
			1	Philips FD20	U <sub>max</sub> =125kV I <sub>max</sub> =800mA			搬迁
			1	Philips XperFD20	U <sub>max</sub> =120kV I <sub>max</sub> =800mA			搬迁
3	SPECT-CT	III	1	待定	U <sub>max</sub> =150kV I <sub>max</sub> =900mA	显像诊断	肿瘤病房 大楼地下 一层	新购
4	PET-CT	III	2	待定	U <sub>max</sub> =150kV I <sub>max</sub> =900mA	显像诊断	肿瘤病房 大楼地下 一层	新购

\*备注: U<sub>max</sub>表示最大管电压、I<sub>max</sub>表示最大管电流。

## 1.2 项目选址及周边环境保护目标

### 1.2.1 项目地理位置

衢州中心医院(四省边际中心医院)选址于九华西大道以北、养生大道以东、回龙小区以西。医院分两期进行建设,本项目位于医院一期范围之内。一期东面为规划道路,隔路约48m处为回龙小区,南面为九华西大道,南面约265m处为常山港;西面为养生

大道，东北约 130m 处为聚龙嘉苑，北面为规划道路，隔路为医院二期预留用地。

本项目核医学科选址于医院肿瘤病房大楼地下一层、二层，放疗科选址于肿瘤病房大楼地下一层，介入中心选址于门诊医技楼四层。

项目地理位置见附图 1。

### 1.2.2 项目周边环境关系

核医学科、放疗科位于医院肿瘤病房大楼地下一层和二层。放疗科东面、北面为室外土壤层，南面为核医学科，西面为汽车库，西北面为能源中心，楼上为肿瘤病房大楼出入口，楼下为土层。负一层核医学科工作场所东面为机房、阅片室、钢瓶间等，再往东为夯实土壤层，南面、西面为车库，北面为放疗科，上方为肿瘤科检查实验室，下方为土层。二层核素病房工作场所东侧为主机房、气瓶间，南侧和西侧临空，北侧为天井、电梯厅，楼上为普通病房，楼下为肿瘤科检查实验室。

介入中心位于门诊医技楼四层西北部，东面为手术区，南面为耳鼻喉科，东南为美容科门诊，西面为手术区，北面临空，楼下为检验科，楼上为可上人屋面。

因此，本项目实体边界外 50m 评价范围主要为医院内部的建筑和道路。周边环境关系见附图 2。

### 1.2.3 选址合理性

本项目拟建辐射工作场所位于衢州中心医院肿瘤病房大楼地下一层、二层和门诊医技楼四层，项目用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素。本项目拟建辐射工作场所实体边界外 50m 评价范围无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后不会对周围环境与公众造成危害，故本项目的选址是合理的。

## 1.3 原有核技术利用项目许可情况

### 1.3.1 医院原有项目辐射安全许可证情况

医院原有医用辐射活动已取得《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证[H0019]（00652）（见附件 2）；发证日期：2015 年 6 月 16 日，有效期至 2020 年 6 月 15 日；许可的种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置。

已许可 II 类射线装置共 4 台，其中直线加速器、DSA 各 2 台；III 类射线装置共 28 台。医院原有已许可的射线装置情况见表 1.3-1。

原有 1 台加速器已批未建，医院承诺往后不再实施，其余未搬迁射线装置使用年限到期后医院承诺报废，之后老院区将不再开展核技术利用活动，其余设备均搬迁至本项

目所在院区，具体见表1.3-1所示。

### 1.3.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院原有射线装置共32台，其中10台射线装置（含3台已报废射线装置）最早于2008年验收（浙环辐验[2008]1号），其余22台射线装置均已批复或者备案；上述所有射线装置均已登记辐射安全许可证（浙环辐证[H0019]（00652））。医院原有1台15MV直线加速器已批未建，2台DSA已于2019年4月19日完成自主验收，6台原衢州市环保局审批的III类射线装置已验收，13台已备案III类射线装置均已委托衢州市环境保护中心站开展过辐射工作场所监测（衢环监（2018）辐字第1号），监测结果显示，各射线装置工作场所辐射剂量率未见异常。医院历年环保手续履行情况详见表1.3-1所示。

医院承诺将已报废的3台射线装置及时到环保主管部门核销，变更《辐射安全许可证》，21台需要搬迁但不属于本次评价范围的III类射线装置应在投入使用前在建设项目环境影响评价登记表备案系统备案，4台未搬迁的III类射线装置根据使用情况及时报废。

**环评要求：**医院应按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

表 1.3-1 医院现有射线装置情况一览表

序号	设备名称	规格型号	类别	数量(台/套)	主要技术参数	环评情况	验收情况	登记情况	备注
1	直线加速器	VARIAN 23EX	II	1	15MV	衢环辐[2014]8号	-	已登记	未建
2	直线加速器	Elekta infinity	II	1	10MV	/	浙环辐验[2008]1号		搬迁
3	DSA	Philips FD20	II	1	$U_{max}=125kV$ $I_{max}=800mA$	衢环辐[2017]2号	已自主验收		搬迁
4	DSA	Philips XperFD20	II	1	$U_{max}=150kV$ $I_{max}=800mA$	衢环辐[2014]8号			搬迁
5	CT	Philips Brilliance16	III	1	$U_{max}=140kV$ $I_{max}=600mA$	/	浙环辐验[2008]1号		不搬
6	CT	Philips Brilliance16	III	1	$U_{max}=140kV$ $I_{max}=600mA$	备案号： 201833080200000219	衢环监 (2018)辐 字第1号		搬迁
7	CT	DefinitionAS	III	1	$U_{max}=140kV$ $I_{max}=800mA$	备案号： 201833080200000067			搬迁
8	CT	Aquilion one	III	1	$U_{max}=135kV$ $I_{max}=750mA$	备案号： 201833080200000117			搬迁
9	CT	Scope Power	III	1	$U_{max}=135kV$ $I_{max}=345mA$	备案号： 201733080200000275			搬迁
10	大孔径 CT	Discovery C7590RT	III	1	$U_{max}=140kV$ $I_{max}=80mA$	备案号： 201833080200000237			搬迁
11	模拟定位机	Nucletron HQ	III	1	$U_{max}=150kV$ $I_{max}=800mA$	/	浙环辐验[2008]1号		搬迁
12	DR	Siemens MX	III	1	$U_{max}=150kV$ $I_{max}=500mA$	/			搬迁
13	DR	Philips Digital Diagnost VR/S	III	2	$U_{max}=150kV$ $I_{max}=700mA$	衢环辐[2013]11号	竣表字(2017)第12号		搬迁
14	DR	Fusion	III	1	$U_{max}=150kV$	备案号：	衢环监		搬迁

					$I_{max}=800mA$	201733080200000275	(2018)辐			
15	乳腺 X 光机	Inspiration	III	1	$U_{max}=35kV$ $I_{max}=188mA$	备案号: 201833080200000067	字第1号		搬迁	
16	骨密度仪	Uinigamma-Plus	III	1	$U_{max}=70kV$ $I_{max}=0.5mA$	/	浙环辐验 [2008]1号		搬迁	
17	数字胃肠仪	Philips OD System	III	1	$U_{max}=150kV$ $I_{max}=300mA$	/	浙环辐验 [2008]1号		不搬	
18	碎石机	惠康 HK.ESWL-V	III	1	$U_{max}=120kV$ $I_{max}=5mA$	衢环辐[2008]6号	竣表字 (2017)第 11号		不搬	
19	C 臂机	Philips BV libra9	III	1	$U_{max}=120kV$ $I_{max}=60mA$				搬迁	
20	C 臂机	Philips endura	III	1	$U_{max}=110kV$ $I_{max}=70mA$	/	浙环辐验 [2008]1号		搬迁	
21	C 臂机	Brivo OEC 785	III	1	$U_{max}=110kV$ $I_{max}=16mA$	备案号: 201833080200000117	衢环监 (2018)辐 字第1号		搬迁	
22	牙片全景机	Orthopantomograph OP-200	III	1	$U_{max}=85kV$ $I_{max}=16mA$	备案号: 201833080200000117			搬迁	
23	牙片机	MSD-III	III	1	$U_{max}=65kV$ $I_{max}=1.5mA$	备案号: 201833080200000117			搬迁	
24	移动 X 光机	MUX-10J	III	2	$U_{max}=125kV$ $I_{max}=100mA$	衢环辐[2014]8号	竣表字 (2017)第 13号		搬迁	
25	移动 X 光机	Philips P160	III	1	$U_{max}=125kV$ $I_{max}=200mA$	备案号: 201833080200000219	衢环监 (2018)辐 字第1号		搬迁	
26	移动DR	DRXR-1	III	1	$U_{max}=150kV$ $I_{max}=400mA$	备案号: 201833080200000117			搬迁	
27	X 光机	岛津 UD150L-30E	III	1	$U_{max}=150kV$ $I_{max}=200mA$	备案号: 201833080200000219			不搬	
28	乳腺 X 光机	GESenographeDMR+	III	1	$U_{max}=49kV$ $I_{max}=100mA$	/	浙环辐验 [2008]1号	已登 记	报废	
29	牙片机	PAY (68) M	III	1	$U_{max}=75kV$ $I_{max}=7mA$	/				报废
30	牙片全景机	Orthopantomograph OP-100	III	1	$U_{max}=85kV$ $I_{max}=16mA$					报废

### 1.3.3 原有核技术利用项目管理情况

(1) 医院已成立了辐射安全和防护管理领导小组（见附件 6），制定了一系列的辐射工作管理制度，其中包括辐射事故应急预案（附件 7）、工作人员职业健康体检管理制度、辐射监测、人员培训计划制度、个人剂量管理制度、辐射工作人员岗位职责、设备操作规程等（附件 8-10）。

医院原有管理制度内容较为全面，符合相关要求，原有规章制度基本满足医院从事相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院严格落实各项规章制度，各辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实及档案管理等方面运行较好。

(2) 医院已组织现有辐射工作人员参加过浙江省辐射环境监测站、浙江省辐射防护协会组织的辐射防护与安全培训，但存在部分辐射工作人员未参加过培训，部分辐射工作人员培训时间已经超过四年，要求医院尽快组织未参加培训的辐射工作人员和培训

超过 4 年的辐射工作人员参加有资质单位组织的辐射安全与防护知识培训和复训。

(3) 辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，建立剂量健康档案并终身存档保存，个人剂量计每三个月送检一次，按照辐射监测计划对现有辐射工作场所进行常规检查，以保护工作人员和控制对周围环境的影响。医院开展了 2017 年度辐射工作人员剂量监测，个人剂量监测报告见附件 11。由结果可以看出：医院所有辐射工作人员年度个人剂量监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中对辐射工作人员要求的剂量限值。

(4) 医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作状态指示灯等。根据不同项目实际情况划分辐射防护控制区和监督区，采取分区管理，进行积极、有效的管控。

(5) 医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展核技术利用项目的辐射安全防护要求。

#### (6) 辐射应急演练和年度评估

医院已制定有《辐射事故应急预案》，医院每年均定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经与医院核实，自核技术利用项目开展以来，未发生过辐射事故。

医院执行有年度评估制度，编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，对现有放射性同位素和射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、放射性同位素和射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况、监测仪器情况等进行年度总结和评估，并及时提交至衢州市生态环境局。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	<sup>192</sup> Ir	3.7×10 <sup>11</sup> /3.7×10 <sup>11</sup> ×1	III	使用	放射诊疗	后装机房	密封贮存在后装机内	新购

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	<sup>18</sup> F	液态，低毒 半衰期 109.7min	使用	2.22×10 <sup>10</sup>	2.22×10 <sup>7</sup>	5.55×10 <sup>12</sup>	PET 显像检查	很简单操作	肿瘤病房大楼地下负一层	根据实际使用量向有资质单位购买(现买现用), 购买后的放射性药物连同铅罐包装放置于分装室西侧的贮源室, 贮源室 双人双锁管理
2	<sup>99m</sup> Tc	液态，低毒，半衰期 6.02h	使用	2.78×10 <sup>10</sup>	2.78×10 <sup>7</sup>	6.95×10 <sup>12</sup>	SPECT-CT 显像检查	很简单操作		
	<sup>131</sup> I	液态，中毒，半衰期 8.04d	使用	3.70×10 <sup>8</sup>	3.70×10 <sup>7</sup>	9.25×10 <sup>10</sup>		简单操作		
3	<sup>99m</sup> Tc	液态，低毒，半衰期 6.02h	使用	7.40×10 <sup>8</sup>	7.40×10 <sup>5</sup>	1.85×10 <sup>11</sup>	乳腺 γ 相机显像	很简单操作		
4	<sup>131</sup> I	液态，中毒，半衰期 8.04d	使用	3.70×10 <sup>9</sup>	3.70×10 <sup>8</sup>	9.25×10 <sup>11</sup>	甲亢治疗	简单操作		
5	<sup>131</sup> I	液态，中毒，半衰期 8.04d	使用	3.70×10 <sup>6</sup>	3.70×10 <sup>5</sup>	9.25×10 <sup>8</sup>	甲测	简单操作		
6	<sup>89</sup> Sr	液态，中毒，半衰期 50.5d	使用	7.40×10 <sup>8</sup>	7.40×10 <sup>7</sup>	3.70×10 <sup>10</sup>	骨转移癌治疗	简单操作		
7	<sup>153</sup> Sm	液态，中毒，半衰期 46.8h	使用	9.25×10 <sup>9</sup>	9.25×10 <sup>8</sup>	4.63×10 <sup>11</sup>	骨转移癌治疗	简单操作		
8	<sup>131</sup> I	液态，中毒，半衰期 8.04d	使用	2.96×10 <sup>10</sup>	2.96×10 <sup>9</sup>	1.48×10 <sup>12</sup>	甲癌治疗	简单操作	肿瘤病房大楼二层	

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	装置名称	类别	数量	型号	加速 粒籽	最大能量 (MeV)	活动 种类	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	医用电子加速器 (1号机房)	II	1	Elekta infinity	电子	X 射线能量: 10MV 电子线能量: 6~18MeV	使用	有用线束距靶 1m 处的最大治疗剂量率为 1440	放射 诊疗	肿瘤病房大楼负一层放疗科 1#机房	搬迁
2	医用电子加速器 (2、3号机房)	II	2	待定	电子	X 射线能量: 10MV 电子线能量: 6~18MeV	使用	有用线束距靶 1m 处的最大治疗剂量率为 1440	放射 诊疗	肿瘤病房大楼负一层放疗科 2、3#机房	新增
3	医用电子加速器 (4号机房)	II	1	待定	电子	X 射线能量: 15MV 电子线能量: 6~21MeV	使用	有用线束距靶 1m 处的最大治疗剂量率为 600	放射 诊疗	肿瘤病房大楼负一层放疗科 4#机房	新增

(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	装置名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	DSA	II	1	Philips FD20	125kV	800mA	诊疗	门诊医技楼 4 层 DSA1#机房	搬迁
2	DSA	II	1	Philips XperFD20	120kV	800mA	诊疗	门诊医技楼 4 层 DSA2#机房	搬迁
3	DSA	II	1	未定	125kV	1250mA	诊疗	门诊医技楼 4 层 DSA3#机房	新增
4	DSA	II	1	未定	125kV	1250mA	诊疗	门诊医技楼 4 层 DSA4#机房	新增
5	DSA	II	1	未定	125kV	1250mA	诊疗	门诊医技楼 4 层 DSA5#机房	新增
6	SPECT-CT	III	1	未定	150 kV	900mA	显像诊断	肿瘤病房大楼负一层 SPECT-CT 机房	新增
7	PET-CT	III	2	未定	150 kV	900mA	显像诊断	肿瘤病房大楼负一层 PET-CT 机房	新增

(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 ( $\mu\text{A}$ )	中子强度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
	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
放射性废水 (核医学)	液态	<sup>18</sup> F	/	一次排放量(136天, 约 4.5 个月) <sup>99m</sup> Tc≈0 <sup>18</sup> F≈0 <sup>131</sup> I: 4.52×10 <sup>5</sup> Bq	年排放 3 次(按 3 次计) <sup>99m</sup> Tc≈0 <sup>18</sup> F≈0 <sup>131</sup> I: 1.36×10 <sup>6</sup> Bq	总 β<10Bq/L	4 个有效容积为 70m <sup>3</sup> 的衰变池	符合 GB18871-2002 排放条件后, 进入医院污水处理站处理后排入城市污水管网。
		<sup>99m</sup> Tc						
		<sup>131</sup> I						
放射性固废 (核医学)	固态	<sup>18</sup> F	/	183.5kg	2202.5kg	<1×10 <sup>1</sup> Bq/g	分装注射室设置 3 个铅污物桶, 服碘室设置 1 个铅污物桶, 污物间设置 2 个铅衰变暂存容器; 二层服碘室设置 1 个铅污物桶, 贮源室设置 1 个铅衰变暂存容器。	放射性废物衰变十个半衰期, 经检测满足清洁解控水平 (GBZ133-2009 附录 B), 作为医疗废物由医院统一处理。
		<sup>99m</sup> Tc	/			<1×10 <sup>2</sup> Bq/g		
		<sup>131</sup> I	/			<1×10 <sup>2</sup> Bq/g		
放射性废气 (核医学)	气态	主要为 <sup>131</sup> I	微量	微量	微量	微量	废气通过管线由排风井排至肿瘤病房楼(10 层, 45.3m) 楼顶 1.5 米以上, 风机出风口设活性炭高效过滤器。	
感生放射性 废气(加速器)	气态	<sup>11</sup> C、 <sup>13</sup> N、 <sup>15</sup> O 等	微量	微量	微量	微量	感生放射性气体产额很低, 半衰期较短。本项目加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时不小于 10 次, 环境影响很小。	
放射性固废 (加速器)	固态	/	加速器使用一定年限或退役时产生的废靶件, 树脂的更换周期一般 3~5 年。				被污染的树脂及靶件经衰变 10 个半衰期作为一般医疗固废处理。	
废 Ir-192 放射 源	固态	Ir-192	每年产生 3 枚废 Ir-192 放射源。				源生产厂家回收。	

注: 1、常见废弃物排放浓度, 对于液态单位为 mg/L, 固体为 mg/m<sup>3</sup>, 气态为 mg/m<sup>3</sup>; 年排放总量用 kg;

2、含有放射性的废弃物要标明其排放浓度、年排放总量, 单位分别为 Bq/L (kg、m<sup>3</sup>) 和活度 (Bq)。

**表 6 评价依据**

<p>法 规 文 件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015 年 1 月 1 日起实施);</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年 12 月 29 日修订并施行);</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 10 月 1 日起实施);</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日起施行);</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》(原环境保护部令第 44 号, 2017 年 9 月 1 日起施行);</p> <p>(6) 《关于修改&lt;建设项目环境影响评价分类管理名录&gt;部分内容的决定》(生态环境部令第 1 号, 2018 年 4 月 28 日起实施);</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 449 号, 2019 年修订, 2019 年 3 月 2 日发布);</p> <p>(8) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430 号);</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(原国家环境保护总局第 31 号令; 根据 2017 年 12 月 12 日环境保护部部务会议审议通过《环境保护部关于修改部分规章的决定》修正), 自 2017 年 12 月 20 日起施行;</p> <p>(10) 《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》(原国家环保总局、公安部、卫生部文件, 环发[2006]145 号, 2006 年 9 月 26 日);</p> <p>(11) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》(原环境保护部令第 18 号), 2011 年 5 月 1 日实施;</p> <p>(12) 《射线装置分类》(原环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号), 自 2017 年 12 月 6 日起施行;</p> <p>(13) 《放射源分类办法》(原国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号);</p> <p>(14) 《放射性废物安全管理条例》(国务院令第 612 号, 2012 年 3 月 1 日起施行);</p> <p>(15) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2018 年省政府令第 364 号修订, 2018 年 3 月 1 日实施);</p>
----------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>(16)《浙江省辐射环境管理办法》(省政府令第 289 号, 2012 年 2 月 1 日起实施);</p> <p>(17)《浙江省环境保护厅关于发布&lt;省环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单(2015 年本)&gt;及&lt;设区市环境保护主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单(2015 年本)&gt;的通知》(浙环发[2015]38 号)。</p>
<p>技 术 标 准</p>	<p>(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);</p> <p>(2)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002);</p> <p>(3)《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001);</p> <p>(4)《环境地表 <math>\gamma</math> 辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-93);</p> <p>(5)《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2016);</p> <p>(6)《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006);</p> <p>(7)《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013);</p> <p>(8)《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ180-2006);</p> <p>(9)《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);</p> <p>(10)《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009);</p> <p>(11)《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ421-2008);</p> <p>(12)《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005);</p> <p>(13)《操作非密封源的辐射防护规定》(GBZ11930-2010);</p> <p>(14)《临床核医学患者防护要求》(WS533-2017);</p> <p>(15)《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011);</p> <p>(16)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分: 一般原则》(GBZ/T201.1-2007);</p> <p>(17)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011);</p> <p>(18)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分: <math>\gamma</math> 射线源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014);</p> <p>(19)《后装 <math>\gamma</math> 源近距离治疗卫生防护保准》(GBZ121-2017)。</p>

其他	<p>(1) 环境影响评价委托书;</p> <p>(2) 《衢州中心医院（四省边际中心医院）初步设计》，中国中元国际工程有限公司，2018.6;</p> <p>(3) 衢州中心医院提供的其他资料。</p> <p>(4) 《辐射防护导论》，方杰主编;</p> <p>(5) 《简明放射性同位素应用手册》，卢玉楷主编;</p> <p>(6) 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编;</p> <p>(7) 《电离辐射防护技术与管理》，张丹枫、赵兰才;</p> <p>(8) 《浙江省环境天然放射水平调查报告》。</p>
----	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 表 7 保护目标与评价标准

### 7.1 评价范围

根据本项目的特点，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，本次辐射环境评价范围取拟建的核医学科，放疗科加速器机房、后装机机房，介入中心 DSA 机房的实体边界外延 50m 为评价范围，评价范围详见附图 2。

### 7.2 保护目标

根据附图 2 可知，本项目核医学科，放疗科加速器、后装机机房，介入中心 DSA 机房实体边界外 50m 范围在医院用地红线范围内。评价范围内无自然保护区、风景名胜區、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。

本项目环境保护目标为评价范围内从事本项目的辐射工作人员、周围其他非辐射工作人员和公众成员。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

区域	保护目标名称	方位	照射类型	距离 (m)	规模 (人)	年剂量约束值 (mSv)
放疗科、核医学科	核医学区工作人员	--	职业照射	--	约 20	5.0
	放疗科工作人员	--	职业照射	--	约 20	
	肿瘤病房楼其他非辐射工作人员	上方	公众照射	0-50	50~100	0.25
	外科病房楼东部其他非辐射工作人员	西面	公众照射	20-50	50~100	
	门诊医技楼东部其他非辐射工作人员	西南	公众照射	15-50	50~100	
	科研办公楼西北部工作人员	东南	公众照射	35-50	20~50	
	地下负一层其他非辐射工作人员	西、南	公众照射	0-50	50~100	
	医院东面室外停车场公众	东	公众照射	25-50	流动	
	评价范围行人、就诊公众	四周	公众照射	0-50	流动	
介入中心	介入中心工作人员	--	职业照射	--	约 20	5.0
	门诊医技楼其他非辐射工作人员	四周	公众照射	0-50	200~500	0.25
	内科病房楼南部工作人员	北	公众照射	40-50	10~50	
	评价范围行人、就诊公众	四周	公众照射	0-50	流动	

## 7.3 评价标准

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

#### (1) 防护与安全的最优化

4.3.3.1 款 对于来自一项实践中的任一特定源的照射，应使防护与安全最优化，使得在考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低水平；这种最优化应以该源所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束为前提条件(治疗性医疗照射除外)。

#### (2) 剂量限值

##### 1) 职业照射

4.3.2.1 款 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量当量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B (标准的附录 B) 中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

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

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

**本项目取其四分之一即 5mSv 作为剂量管理约束值。**

##### 2) 公众照射

B1.2.1 款 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；

**本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为剂量管理约束值。**

#### (3) 分区

##### 6.4.1 控制区

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

##### 6.4.2 监督区

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

#### (4) 表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

B2 款 表面污染控制水平

工作场所的表面污染控制水平如表 7-2 所列。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm<sup>2</sup>)

表面类型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 <sup>1)</sup>	4×10 <sup>1</sup>
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 <sup>-1</sup>
1) 该区内的高污染子区除外		

#### (5) 非密封源工作场所的分级

非密封源工作场所分级

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

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级 别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4×10 <sup>9</sup>
乙	2×10 <sup>7</sup> ~4×10 <sup>9</sup>
丙	豁免活度值以上~2×10 <sup>7</sup>

#### (6) 放射性物质向环境排放的控制

8.6.2 款 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过 10ALImin (ALImin 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者，其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得)；

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

## (二) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)

7.1.2 款 应从源头控制,减少放射性废物的产生,防止污染扩散。

7.1.3 款 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。

7.1.4 款 应做好废物产生、处理、处置(包括排放)的记录,建档保存。

7.2.1 款 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。

7.2.2 款 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。

7.2.3 款 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。

## (三) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

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

4.1.2 款 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准,排入终端已建有正常运行城镇污水处理厂的下水道的污水,执行预处理标准。

5.4 款 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后,再排入医院污水处理站。

5.4.1 款 低放废水应经衰变池处理。

表 7-4 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准(日均值)

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
23	总 $\beta$ (Bq/L)	10	10

6.1 款 污水取样与及监测

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

6.1.2 款 衰变池出口取样监测。

本项目适用于上述表 7-3 中预处理标准,医院衰变池排放口排放限值执行该标准:放射性废水衰变池排放口总  $\beta$  满足 10Bq/L。

#### (四) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009)

##### (1) 放射性废液

5.1.1 款 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, 池底与池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性, 应有防泄漏措施。

5.1.2 款 产生放射性废液而可不设置放射性污水池的单位, 应将仅含短半衰期核素的废液注入专用容器中通常存放 10 个半衰期后, 经审管部门审核准许, 可作为普通废液处理。对含长半衰期核素的废液, 应专门收集存放。

5.2.1 款 使用放射性药物治疗患者的临床核医学单位, 应为住院治疗患者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。

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

5.2.8 款 符合下列条件之一的患者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 符合出院条件的患者排泄物。

##### (2) 固体废物管理

###### 1) 废物收集

6.1.2 款 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活动的区域。

6.1.3 款 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。

6.1.4 款 对注射器和破碎器皿等含尖刺及棱角的放射性废物, 应先装入硬纸盒或其他包装材料中, 然后再装入专用塑料袋内。

6.1.5 款 每袋废物的表面剂量率应不超过  $0.1 \text{mSv/h}$ , 重量不超过  $20 \text{kg}$ 。

###### 2) 废物临时贮存

6.2.1 款 产生少量放射性废物的非密封型放射性核素应用单位, 经审管部门批准可将其废物临时贮存在许可的场所和专门的容器中, 贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限值要求。

6.2.2 款 贮存室建造结构应符合放射卫生防护要求, 且具有自然通风或安装通风

设备，出入口设电离辐射警示标志。

6.2.3 款 废物袋、废物桶及其存放废物的容器必须安全可靠，并应在显著位置标有废物类型、核素种类，比活度水平和存放日期等说明。

6.2.3 款 废物包装体外表面的污染控制水平  $\alpha < 0.04\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta < 0.04\text{Bq/cm}^2$ 。

### 3) 废物处理

6.3.3 款 未知核素的废物在其活度浓度小于或等于  $2 \times 10^4\text{Bq/kg}$  时，或废物中的核素已知且其活度浓度符合 4.4 或者 4.5 时，可作免管固体废物处理。

4.4 如果经审管部门确认或批准，凡放射性活度小于或等于附录 B 所示清洁解控水平推荐值的放射性废物，按免管废物处理。

4.5 放射性废物含有多种核素时，按照下面公式来判断该废物是否容许被免管。

$$\sum_{j=1}^n \frac{C_j}{C_{j,h}} \leq 1$$

式中：

$C_j$ ：放射性核素 j 在该废物中的活度浓度 (Bq/g)；

$C_{j,h}$ ：附录 B 所示放射性核素 j 的清洁解控水平推荐值 (Bq/g)；

n：该废物中所含放射性核素的种类数。

## (五) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)

第 12.2.3.1 款 医院、学校、研究所和其他放射性同位素应用单位产生的少量放射性废物 (包括废放射源)，经审管部门批准可以临时贮存在许可的场所和专用容器中。贮存时间和总活度不得超过审管部门批准的限值。

第 12.2.3.2 款 应采用安全可靠的贮存容器，建立必要的管理办法，并配备管理人员，防止废物丢失或污染周围环境。

本项目使用的非密封放射性物质，半衰期较短，可以将放射性废物收集暂存，待衰变时间超过所含半衰期最长核素的 10 个半衰期后，委托有资质单位进行辐射水平监测，如果符合清洁解控水平，经审管部门确认或批准后，再按医疗废物环境管理要求进行无害化处理。

## (六) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)

4.1 款 临床核医学的工作场所应按照 GB18871-2002 非密封源工作场所规定进行分级，并采取相应的放射防护措施。

4.5 款 合成和操作放射性药物所用的通风橱，工作中应有足够风速 (一般风速不

小于 1m/s), 排气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。

4.7 款 临床核医学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。

4.8 款 临床核医学诊断及治疗工作场所(包括通道)应注意合理安排与布局。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。并且应避免无关人员通过

4.9 款 临床核医学诊断用给药室与检查室应分开。如必须在检查室给药, 应具有相应的放射防护设备。

4.10 款 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。

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

##### 6 治疗室防护和安全操作要求

6.1.1 治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求, 保障职业场所和周围环境安全。

6.1.2 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。

6.1.3 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 2.5 $\mu$ Sv/h。

6.1.4 穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。

6.1.5 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。

6.1.6 治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。

6.1.7 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>。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路, 防护门应与加速器连锁。

6.1.9 相关位置(例如治疗室入口处上方等)应安装醒目的照射指示灯及辐射标志。

6.1.10 治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。

#### (八)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2—2011);

##### 4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

a) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子, 可以依照附录 A,

由以下周剂量参考控制水平（ $H_c$ ）求得关注点的导出剂量率参考控制水平

$H_{c,d}(\mu\text{Sv}/h)$ ：

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

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

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

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

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

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

#### 4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制：

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时，距治疗机房顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，可以根据机房外周剂量参考控制水平  $H_c \leq 5\mu\text{Sv}/\text{周}$  和最高剂量率  $H_{c,\max}(\mu\text{Sv}/h) \leq 2.5\mu\text{Sv}/h$ ，按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平  $H_c(\mu\text{Sv}/h)$  加以控制。

b) 除 4.2.2 中 a) 的条件外，应考虑下列情况：

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

(九)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部份：一般原则》(GBZ/T 201.1—2007)；

居留因子参照《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) 选取, 具体数值选取见表 7-5。

表 7-5 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	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、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗室房门; 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室; 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯。

(十) 《医用 X 射线诊断放射防护标准》(GBZ 130-2013)

(1) X 射线设备在确保铅屏风和床侧铅挂帘等防护设施正常使用的前提下, 按附录 B 中 B.1.2 的要求, 在透视防护区测试平面上的空气比释动能率应不大于 400 $\mu$ Gy/h。

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

(3) 每台 X 射线机(不含移动式或便携式床旁摄影机与车载 X 射线机)应设有单独的机房, 机房应满足使用设备的空间要求。对新建、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 7-6 要求。

表 7-6 X 射线机机房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
单管头 X 射线机 <sup>b</sup>	20	3.5
CT 机	30	4.5

(4) X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求

①不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于表 7-7 要求。

表 7-7 X 射线机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
介入 X 射线设备机房	2	2
CT 机房	2 (一般工作量) <sup>a</sup> 2.5 (较大工作量) <sup>a</sup>	

a 按 GBZ/T 180 的要求

②医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 D。

③应合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。

(5) 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：

①具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 $\mu$ Sv/h；测量时，X 射线机连续出束时间应大于仪器响应时间。

② 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 2.5 $\mu$ Sv/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。

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

(7) 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。

(8) 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。

(9) 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。

(10) 根据工作内容现场应配备不少于表 7-8 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，对陪检者应至少配备铅防护衣；防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mmPb；应为不同年龄儿童的不同检查，配备有保护相应组织和器官的防护用品，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mmPb。

表 7-8 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡	铅悬挂防护屏、铅防护帘、床	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡	——

	胶帽子、铅防护眼镜选配：铅橡胶手套	侧防护帘、床侧防护屏选配：移动铅防护屏风	胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具	
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	——

### （十一）《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）

本标准规定了医用 X 射线计算机断层摄影装置（简称 CT）的防护性能、机房防护设施和安全操作的放射防护要求及检测要求。

本标准适用于 CT 使用中的防护。

#### 5 CT 机房的防护要求

5.1 CT 机房的设置应充分考虑邻室及周围场所的人员驻留条件，一般应设在建筑物的一端。

5.2 CT 机房应有足够的使用空间，面积应不小于 30 m<sup>2</sup>，单边长度不小于 4m。机房内不应堆放无关杂物。

5.3 CT 机房的墙壁应有足够的防护厚度，机房外人员可能受到照射的年有效剂量小于 0.25mSv（相应的周有效剂量小于 5μSv），距机房外表面 0.3m 处空气比释动能率应 <2.5μGy/h。

5.4 CT 机房门外明显处应设置电离辐射警告标志，并安装醒目的工作状态指示灯。

5.5 CT 机房应有良好的通风。

### （十二）《后装 γ 源近距离治疗卫生防护保准》（GBZ121-2017）

#### 4 后装放射治疗设备的防护要求

##### 4.1 放射源

4.1.1 后装治疗用 γ 放射源，必须符合 GB4075 的规定。应可能选择高比活度、能量合适的 γ 放射源。

4.1.2 放射源应有生产厂家提供的说明书及检验证书。说明书应载明放射源编号、核素名称、化学符合、等效活度、表面污染与泄漏检测日期和生产单位名称等。

4.1.4 放射源的更换应由专业技术人员进行，在换源过程中应加强操作人员的放射防护措施和辐射剂量监测。

4.1.5 放射源的运输应符合 GB11806 的规定。

4.1.6 退役放射源应按国家有关规定进行处理。

##### 4.2 贮源器

4.2.1 放射源贮源器表面应标有放射性核素名称，最大容许装载活度和牢固、醒目的、符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志。

4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度的放射源时，距离贮源器表面 5cm 处的任何位置，因泄漏辐射所致周边剂量当量率不大于  $50\mu\text{Sv/h}$ ；距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点因泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于  $5\mu\text{Sv/h}$ 。

4.2.3 装载放射源的运输贮源器或工作贮源器，应存放在限制一般人员进入的放射治疗室或专用贮源库内。

#### 4.4 放射源控制与传输

4.4.1 后装治疗设备的控制系统，应能准确地控制照射条件，应有放射源启动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计时时间的显示。

4.4.2 后装治疗设备控制系统应有安全锁等多重保护和联锁装置。应能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效，源通道或控制程序错误以及放射源链接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。

4.4.3 实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源应能自动返回工作贮源器，并显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始时，同时应发出声光报警信号。当自动回源装置功能失效时，应有手动回源措施进行应急处理。

4.4.4 在控制台上，应能通过  $\gamma$  射线监测显示放射源由工作贮源器输出和返回贮存位置的状态。控制台上应有紧急停机开关。

4.4.5 控制照射时间的计时误差应小于 1%。

#### 5 后装放射治疗室的防护要求

5.1 治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室使用面积应不小于  $20\text{m}^2$ ，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。

5.2 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空气每小时交换不小于 4 次。

5.3 治疗室入口应采用迷路设计，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。

5.4 治疗室防护门应设置手动开门装置。

5.5 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。

5.6 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。

5.7 应配备辐射监测设备或便携式测量设备，并具有报警功能。

5.8 治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化原则，治疗室屏蔽体外 30cm 处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过  $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

5.9 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。

5.10 治疗室内应配有合适的储源容器、长柄镊子等应急设备。

5.11 治疗室内合适的地方应张贴应急指示。

**(十三) 《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》  
(GBZ/T 201.3--2014)**

**4.2.3 治疗机房一般屏蔽要求**

除满足 GBZ/T201.1 的要求外， $\gamma$  射线源放射治疗机房屏蔽应考虑下列内容：

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

e) 后装治疗机房、 $\gamma$  远距治疗机房和体部  $\gamma$  刀治疗机房应设置迷路。

## 表 8 环境质量和辐射现状

### 8.1 项目地理和场所位置

衢州中心医院（四省边际中心医院）做为衢州市七个小镇规划中的医养小镇内的重要组成部分，为四省边际地区最有影响力的医疗中心，位于九华西大道以北、养生大道以东、回龙小区以西。地理位置见附图 1，周边环境关系见附图 2。

医院主出入口为九华西大道，南部布局门诊医技楼、科研办公综合楼，中部布局外科病房楼、内科病房楼和肿瘤病房楼，北部布局感染楼、动物房、高压氧舱等。医院平面布局图见附图 3。本项目核医学科、放疗科位于肿瘤病房大楼地下负一层和肿瘤病房大楼二层，介入中心位于门诊医技楼四层。

### 8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

- (1) 环境现状评价对象：拟建辐射项目区域及周边环境
- (2) 监测因子：空气吸收剂量率
- (3) 监测点位

#### ①核医学科、放疗科区域内及周围

监测时现场正在为负一层支模板，本次监测根据放疗科、核医学科的平面布置采用网格法布设监测点，监测点位见图 8-1。

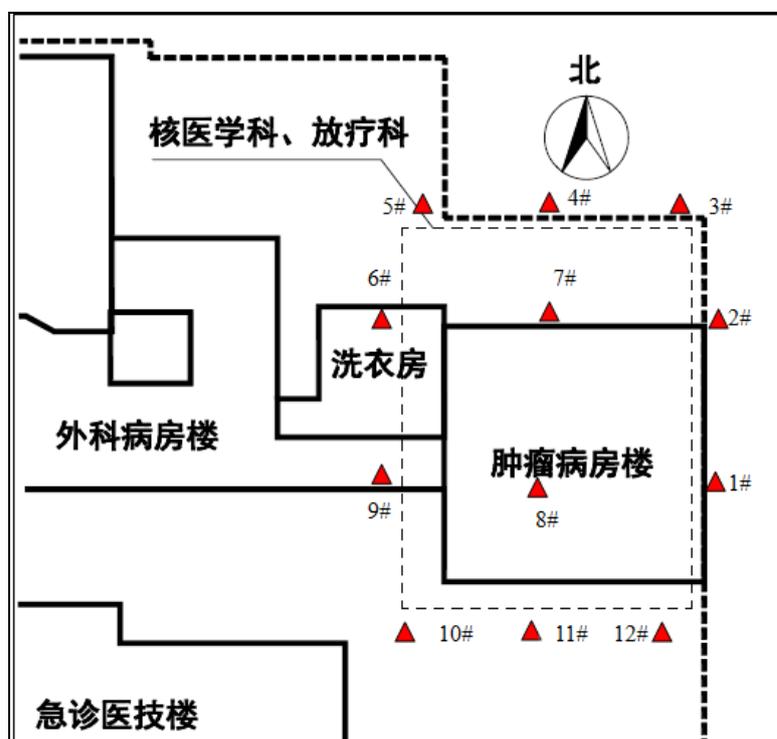


图 8-1 核医学科、放疗科区域内及周围监测点位布置示意图

## ②介入中心区域内及周围

监测时现场正在为负一层支模板，本次监测根据介入中心所在门诊医技楼的平面布置采用网格法布设监测点，监测点位见图 8-2。



图 8-2 介入中心区域内及周围监测点位布置示意图

## 8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

### 8.3.1 监测方案

- (1) 监测单位：浙江建安检测研究院有限公司
- (2) 监测日期：2018 年 11 月 23 日
- (3) 监测方式：现场检测
- (4) 监测依据：GB/T 14583-93《环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定规范》等
- (5) 监测频次：依据标准予以确定
- (6) 监测工况：辐射环境本底
- (7) 天气环境条件：天气：晴；温度：18.5  $^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度：57%。
- (8) 监测设备

表 8-1 XH-2020 型环境级 X-γ 剂量仪/05032997

仪器型号	XH-2020 型环境级 X-γ 剂量仪
生产厂家	西安西核彩桥实业科技有限公司
仪器编号	05032997
能量范围	45keV~3MeV; ≤±30%
量程 (校准)	0.001~1500μSv/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院华东国家剂量测试中心
检定证书	2018H21-10-1353899002
检定有效期	2018 年 01 月 26 日~2019 年 01 月 25 日

### 8.3.2 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁发的标准，监测人员经考核并持合格证书上岗；
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- (4) 每次测量前、后均检查仪器工作状态是否正常，并用检验源对仪器进行校验；
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

### 8.3.3 监测结果

本项目辐射环境现状各监测点位的监测结果见表 8-2、表 8-3。

表 8-2 核医学科、放疗科区域环境辐射环境现状监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (×10 <sup>-8</sup> Gy/h)	
		平均值	标准差
1#	核医学科、放疗科区域东侧偏南	3.4	0.3
2#	核医学科、放疗科区域东侧偏北	3.8	0.3
3#	核医学科、放疗科区域东北侧	2.0	0.2
4#	核医学科、放疗科区域北侧中部	1.9	0.2
5#	核医学科、放疗科区域西北侧	2.1	0.2
6#	核医学科、放疗科区域西侧偏北	4.6	0.2
7#	核医学科、放疗科区域中部偏北	5.6	0.4
8#	核医学科、放疗科区域中部偏南	4.3	0.4
9#	核医学科、放疗科区域西侧偏南	3.7	0.2
10#	核医学科、放疗科区域西南侧	6.1	0.3
11#	核医学科、放疗科区域南侧中部	6.1	0.4
12#	核医学科、放疗科区域东南侧	4.6	0.4

表 8-3 介入中心区域环境辐射环境现状监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (×10 <sup>-8</sup> Gy/h)	
		平均值	标准差
1#	介入中心区域西北侧	4.7	0.5

2#	介入中心区域西侧中部	4.4	0.3
3#	介入中心区域西南侧	4.8	0.5
4#	介入中心区域南侧中部	4.2	0.1
5#	介入中心区域东南侧	3.8	0.2
6#	介入中心区域东侧中部	4.8	0.4
7#	介入中心区域内中部	5.4	0.5
8#	介入中心区域北侧中部	5.2	0.2
9#	介入中心区域东北侧	5.1	0.3

#### 8.4 环境现状调查结果的评价

由监测结果可知，本项目核医学科、放疗科区域，介入中心区域室外 X- $\gamma$  辐射剂量率范围为 19~61nGy/h；根据《浙江省环境天然放射水平调查报告》可知金华地区（含衢州市）室外  $\gamma$  辐射剂量率在 26.5~150.6nGy/h 之间。可见本项目所在区域的  $\gamma$  辐射本底水平未见异常。

**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 建设阶段工程分析**

本项目拟建的核医学工作场所、核素病房、加速器用房及 DSA 用房等均位于新建衢州中心医院，衢州中心医院尚在施工建设中，其建设阶段的工程分析和环境影响分析见《衢州中心医院（四省边际中心医院）项目环境影响报告书》（环评批复文号：衢环建[2018]17 号）。

**9.1.2 运行阶段工程分析**

**9.1.2.1 核医学核技术利用项目**

本项目肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所拟配置 14 名辐射工作人员，为单班制，每班工作 8h，部分岗位（问诊）医生为轮班制，年工作 250 天。

肿瘤病房楼二层核素病房工作场所拟配置 5 名辐射工作人员，供碘 1 人，护士 3 人，医生 1 名，供碘和医生为单班制，护士为轮班制，每班工作 8h，年工作 250 天。

**一、非密封放射性物质**

本项目主要使用的非密封放射性物质有  $^{18}\text{F}$ （PET-CT/PET-MR 显像）、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （乳腺  $\gamma$  相机和 SPECT-CT 显像）、 $^{131}\text{I}$ （SPECT-CT 显像、甲亢、甲测和甲癌治疗）、 $^{153}\text{Sm}$ （骨转移癌治疗）和  $^{89}\text{Sr}$ （骨转移癌治疗）。

**(1) 性能参数和计划工作量**

本项目使用的  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  和  $^{153}\text{Sm}$ ，除  $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  不开展分装外， $^{18}\text{F}$  根据病人的需要使用自动分装仪分装， $^{131}\text{I}$  采用自动分碘仪进行分装。使用的放射性同位素均按照每日用量提前订购，运输到医院后当日可在源库暂存，不贮存。

本项目各核素的性能参数见表 9.1-1，计划工作量见 9.1-2。

**表 9.1-1 本项目放射性同位素的性能参数**

核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 $\alpha$ 、 $\beta$ 辐射能量 (keV)	主要 $\gamma$ 、X 射线能量 (keV)	空气比释动能率常数 ( $\text{R cm}^2 \text{h}^{-1} \text{mCi}^{-1}$ )
$^{18}\text{F}$	109.7min	EC (3.27) $\beta^+$ (96.73)	640	511	5.7
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	IT(100)	-	141	0.62
$^{131}\text{I}$	8.04d	$\beta^-$ (100)	247.9 (2.1) 333.8 (7.27) 606.3 (89.9)	284.305 (6.14) 364.489 (81.7) 636.989 (7.17)	2.2
$^{89}\text{Sr}$	50.5d	$\beta^-$ (100)	1.49MeV(100)	/	/

$^{153}\text{Sm}$	46.8h	$\beta$ (100)	702.0 (45.1) 632.4(33.5) 805.2(20.7)	54.659(40.8) 103.178(28.3) 95.126(6.2)	0.198
-------------------	-------	---------------	--------------------------------------------	----------------------------------------------	-------

表 9.1-2 本项目放射性同位素的计划工作量

核素	每人平均用量	日最大检查诊疗人数	年最大检查(治疗)人数	日最大用量(Bq)	年最大用量(Bq)	用途
$^{18}\text{F}$	$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$	60 人	15000 人(每周 5 天, 年 50 周)	$2.22 \times 10^{10}$	$5.55 \times 10^{12}$	PET 显像检查
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$9.25 \times 10^8 \text{Bq}$	30 人	7500 人(每周 5 天, 年 50 周)	$2.78 \times 10^{10}$	$6.95 \times 10^{12}$	SPECT 显像检查
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.48 \times 10^8 \text{Bq}$	5 人	1250 人(每周 5 天, 年 50 周)	$7.40 \times 10^8$	$1.85 \times 10^{11}$	乳腺 $\gamma$ 相机显像检测
$^{131}\text{I}$	$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$	2 人	500 人(每周 5 天, 年 50 周)	$3.70 \times 10^8$	$9.25 \times 10^{10}$	SPECT-CT 显像检查
$^{131}\text{I}$	$3.70 \times 10^8 \text{Bq}$	10 人	2500 人(每周 5 天, 年 50 周)	$3.70 \times 10^9$	$9.25 \times 10^{11}$	甲亢治疗
$^{131}\text{I}$	$3.70 \times 10^5 \text{Bq}$	10 人	2500 人(每周 5 天, 年 50 周)	$3.70 \times 10^6$	$9.25 \times 10^8$	甲测
$^{89}\text{Sr}$	$1.48 \times 10^8 \text{Bq}$	5 人	250 人(每周开展一次, 每次 5 人, 年 50 周)	$7.40 \times 10^8 \text{Bq}$	$3.70 \times 10^{10} \text{Bq}$	骨转移癌治疗
$^{153}\text{Sm}$	$1.85 \times 10^9 \text{Bq}$	5 人	250 人(每周开展一次, 每次 5 人, 年 50 周)	$9.25 \times 10^9 \text{Bq}$	$4.63 \times 10^{11} \text{Bq}$	骨转移癌治疗
$^{131}\text{I}$	$3.70 \times 10^9 \text{Bq}$	8 人	400 人(每周 1 批次, 每批次 8 人; 年 50 周)	$2.96 \times 10^{10}$	$1.48 \times 10^{12}$	甲癌治疗

## 二、PET-CT显像检查流程及产污环节分析

### (1) PET-CT和PET-MRI设备组成

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

### (2) PET-CT 和 PET-MRI 诊断工作原理

PET (Positron Emission Tomography), 全称正电子发射断层诊断技术,其原理是通过正电子核素其标记的示踪剂,示踪人体内特定生物物质的生物活动,采用多层、环形排列于发射体周围的探头,由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子,然后将获得的信息,通过计算机处理,以解剖影像的形式及其相应的生理参数,显示靶器官或病变组织的状况,藉此诊断疾病,又称为生化显像或功能因子显像,是目前唯一可以在活

体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术或 MRI 核磁技术进行精确定位，可以精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 或核磁的临床显像，大大提高临床使用价值。

本项目拟新增的 2 台 PET-CT 和 1 台 PET-MRI 使用放射性核素为  $^{18}\text{F}$ 。 $^{18}\text{F}$  每人每次平均使用量为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq/人次}$  (10mCi)，主要用于糖代谢、全身肿瘤显像。本项目使用的  $^{18}\text{F}$  使用前根据需要提前订购，经分装后使用。 $^{18}\text{F}$  在分装注射室进行注射给药。注射时，医生与病人分别位于铅玻璃的两侧，距患者约 30cm。给药后的病人根据需要在注射后等候室观察 30~40min 后，在 PET-CT 或 PET-MRI 机房进行核素显像。

### (3) 工艺流程及污染因子

PET-CT 和 PET-MRI 诊断具体工作流程如下：

- ①接收患者，开具诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害；
- ②医生根据病情确定使用核素的类别和剂量；
- ③病人通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在  $\beta/\gamma$  射线污染，同时会产生放射性废水（清洗）、固废（注射器、棉球、药品盒）；
- ④病人摄入药品后通过仪器进行器官显像和病情检查。此过程病人带有  $\beta/\gamma$  射线。

PET-CT 和 PET-MRI 系统诊断工艺流程及产污位置图如图 9.1-1 所示。

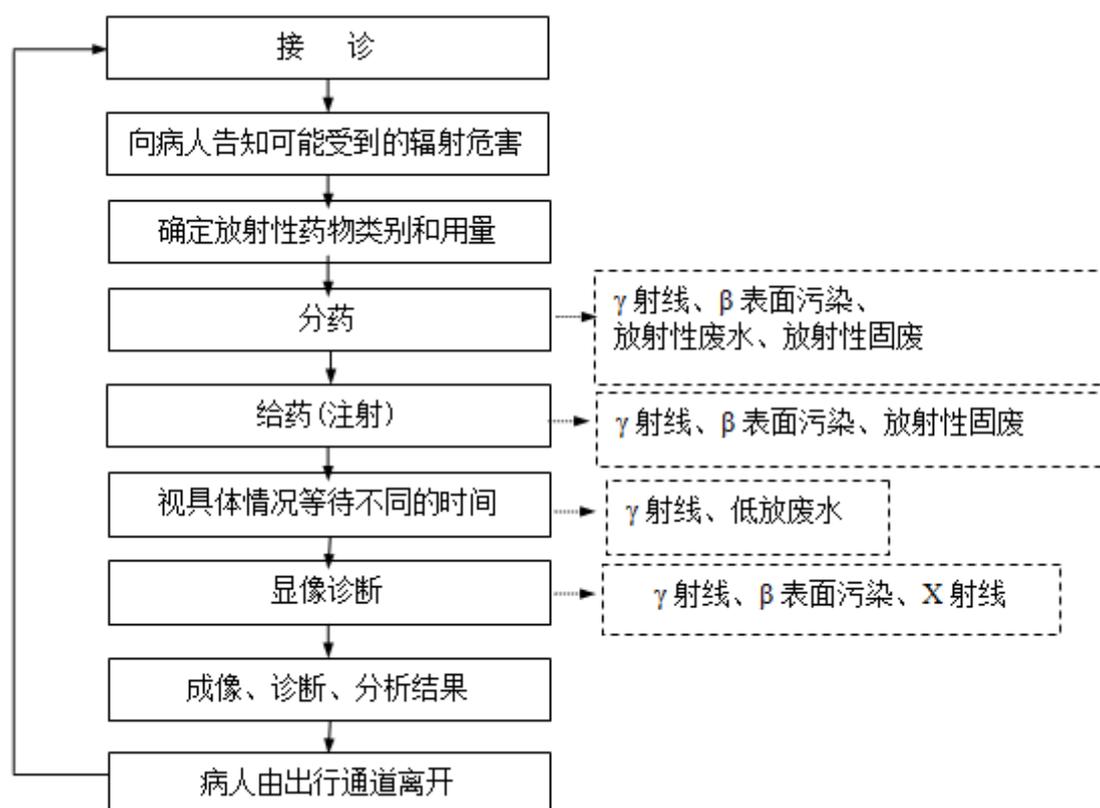


图 9.1-1 核医学科 PET 系统诊断工艺流程及产污位置图

因此,用  $^{18}\text{F}$  等核素标记 PET 项目主要环境影响为给药过程对工作人员产生的外照射;给药过程可能对工作台面、地面等造成的表面污染;操作过程产生的放射性固体废物,如使用放射性药物的注射器、注射针头,可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物;操作过程产生的放射性废水,如清洗废水、使用放射性药物患者的排泄物。CT 扫描时产生的 X 射线。

### 三、SPECT-CT 显像检查流程及产污环节分析

#### (1) SPECT-CT 设备组成

单光子发射计算机断层仪 (SPECT) 由探头及电子学线路、可左断层显像的机架、病人检查床、计算机采集和处理工作站组成, SPECT-CT 是单光子发射型计算机断层显像仪和 CT 一体化组合的影像诊断设备。

#### (2) SPECT-CT 工作原理

SPECT 即单光子发射型计算机断层显像 (Single Photon emission computed tomography, 简称 SPECT)。SPECT 显像,其原理是利用引入人体内的放射性核素发出的  $\gamma$  射线经碘化钠晶体产生闪光,闪烁光子再与光电倍增管的光阴极发生相互作用,产生光电效应。光电效应产生的光电子经光电倍增管的联极倍增放大后在阳极形成电脉冲,其经过放大器成形,再经过位置计算电路形成 X、Y 位置信号。各个光电倍增管输出信号之和为能量信号 Z。X、Y 信号经处理后加入显示器偏转极,Z 信号加入启挥极,从而在荧光屏上形成闪烁影像。利用滤波反投影方法,借助计算机处理系统可以从一系列投影影像重建横向断层影像,由横向断层影像的三维信息再经影像重建组合获得矢状、冠状断层或任意斜位方向的断层影像。SPECT-CT 是单光子发射型计算机断层显像仪和 CT 一体化组合的影像诊断设备,将功能代谢与解剖结构完美结合显示成像,是目前临床核医学最广泛应用的医学影像诊断设备。

#### (3) 工艺流程及污染因子

SPECT-CT 显像诊断采用  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  放射性核素标记,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  每人每次平均使用量为  $9.25 \times 10^8 \text{Bq/人}$  (25mCi),  $^{131}\text{I}$  每人每次平均使用量为  $1.85 \times 10^8 \text{Bq/人}$  (5mCi),主要用于全身骨、肾、心肌、甲状腺等显像。本项目使用的  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{131}\text{I}$  使用前根据需要提前订购,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  无需分装,  $^{131}\text{I}$  采用自动分碘仪分装。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  注射时,医生与病人分别位于铅玻璃的两侧,距患者约 30cm,给药后的病人根据需要在 SPECT-CT 注射后等候室观察 30min 或运动负荷试验后,在 SPECT-CT 机房进行核素显像。 $^{131}\text{I}$  在服碘室口服碘后,病人根据需要在 SPECT-CT 注射后等候室观察 30min 后,在 SPECT-CT 机房进行核

素显像。

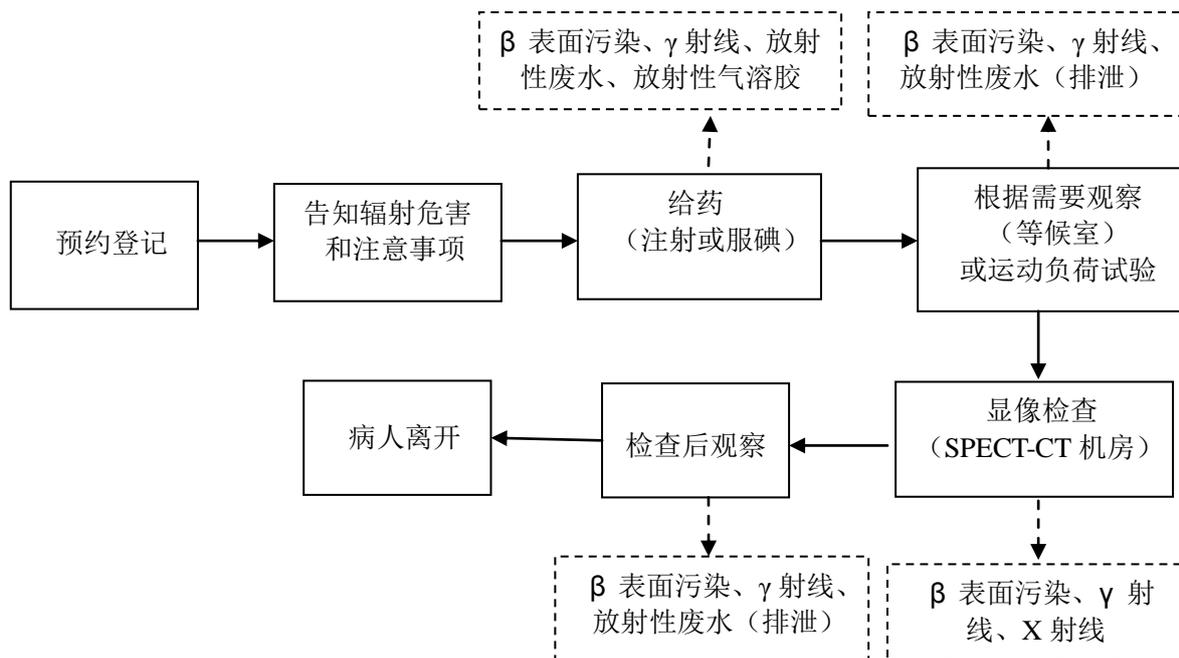


图 9.1-2 SPECT-CT 系统诊断工艺流程及产污环节示意图

本项目乳腺 $\gamma$ 相机工作原理与SPECT工作原理和产污环节基本相同，不再另行赘述。

#### 四、 $^{131}\text{I}$ 治疗流程及产污环节分析

##### (1) $^{131}\text{I}$ 核素治疗的工作原理

###### ① 甲亢治疗机理

甲状腺具有高度选择性摄取  $^{131}\text{I}$  的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达 7.6 天。在患者服用  $^{131}\text{I}$  后，90% 以上的  $^{131}\text{I}$  都会聚集到患者的甲状腺，其余的  $^{131}\text{I}$  随代谢排出体外。 $^{131}\text{I}$  衰变为  $^{131}\text{Xe}$  时放射出 95% 的  $\beta$  射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有 0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此， $^{131}\text{I}$  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 甲癌治疗机理

放射性核素  $^{131}\text{I}$  可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶， $^{131}\text{I}$  衰变时发射出的射程很短的  $\beta$  射线和能量跃迁时发出的  $\gamma$  射线，从而对病变组织进行内照射治疗，在局部产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，而邻近的正常组织的吸收剂量很低，从而达到治疗目的。

甲亢在肿瘤病房大楼负一层服碘室服药，甲癌治疗在肿瘤病房大楼二层服碘室服

药，碘分装均采用自动分碘仪自动分装。

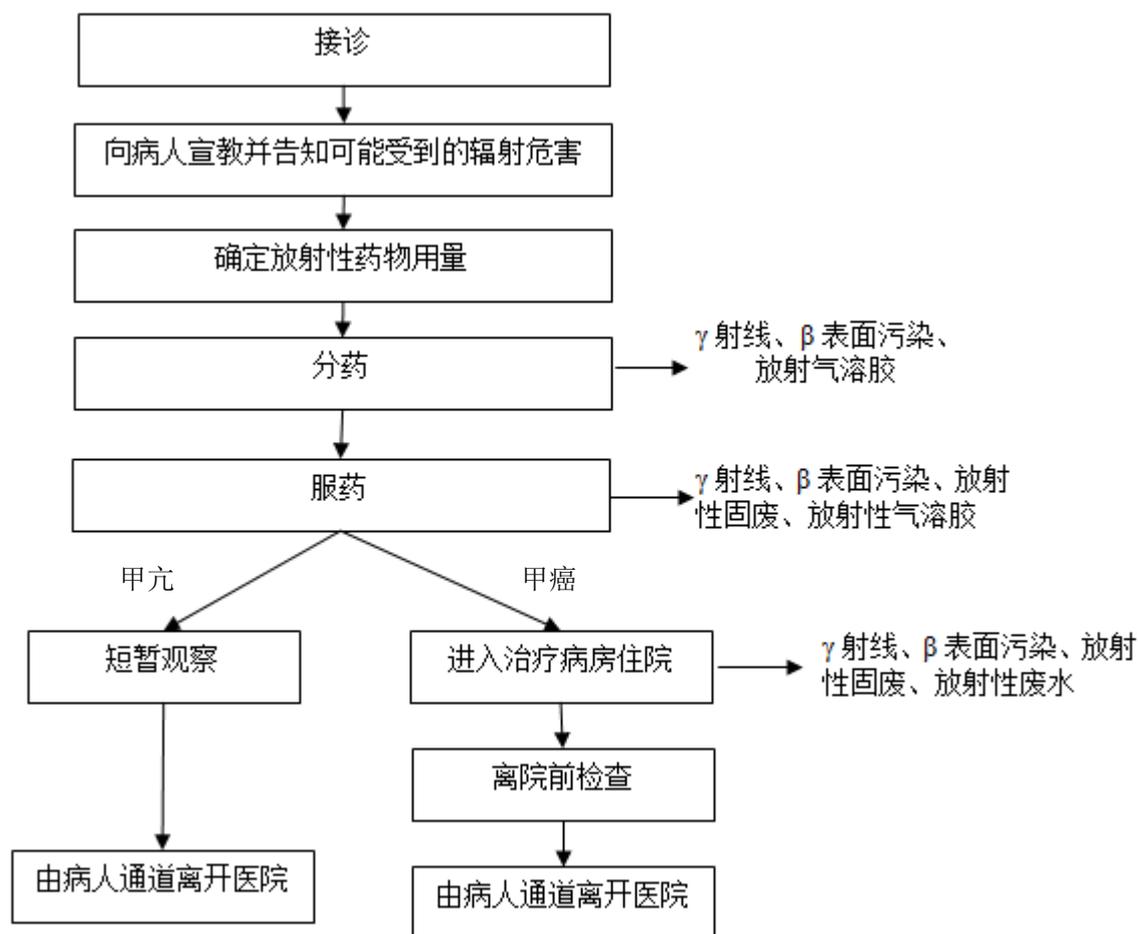


图 9.1-3 甲癌及甲亢治疗治疗工艺流程及产污环节

治疗流程：

I、接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害；  
 II、医生根据病情确定使用核素的剂量；  
 III、医生利用分碘仪远程将药物分装，远程指导患者口服，患者在服药室口服药物；  
 IV、病人口服  $^{131}\text{I}$  药品进行治疗。一般甲亢患者服药室观察约 10min，如无异常情况，可离开医院，甲癌患者则口服药物后按病房号对号进入甲癌治疗病房住院治疗。根据《临床核医学患者防护要求》（WS533-2017）规定，接受  $^{131}\text{I}$  治疗的患者其体内放射性活度降至低于 400MBq（10.8mCi）之前不得出院。本项目  $^{131}\text{I}$  甲亢治疗患者单人用药量为 10mCi，甲亢患者服药后可不必住院，经短暂观察无碍后离开核医学科。

对  $^{131}\text{I}$  治疗的甲癌患者，单人次用药量为 100mCi。病人甲状腺切除， $^{131}\text{I}$  进入患者体内后，会随着身体代谢，很快随着尿液、粪便等排出。根据《分化型甲状腺癌患者的  $^{131}\text{I}$  有效半衰期》（易艳玲等，原子能科学与技术，Vol44,suppl.10,9）报道，甲癌患者的

$^{131}\text{I}$  平均有效半衰期为  $(14.6\pm 6.5)$  h, 本评价取最大值 21.1h, 据此计算甲癌患者服药后住院 3 天后, 其体内的放射性活度约为 6.4mCi, 即可满足出院标准, 经在出院检查室检测病人 1m 处剂量率满足 (小于  $23.3\mu\text{Sv/h}$ ) 要求后即可离开核医学科, 并书面告知患者初期与家人保持 1m 以上的距离, 避免出入公共场所。

### 五、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 核素治疗

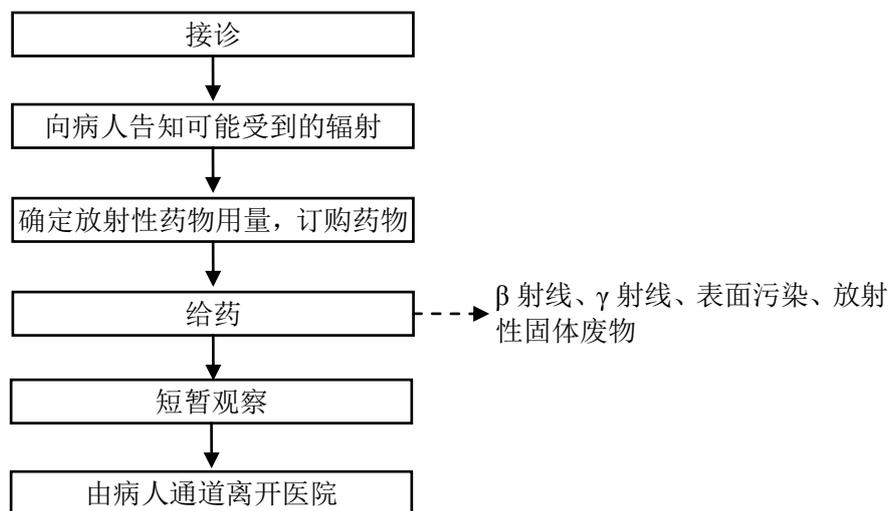


图 9.1-4  $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 核素治疗工艺流程及产污环节

接收患者, 告知患者诊断过程存在的辐射危害, 预约患者, 根据患者数量订购  $^{89}\text{Sr}$  和  $^{153}\text{Sm}$  药物, 在注射室 (患者在注射室外) 给药, 患者在原地短暂观察 (约 10min) 后, 如无异常情况, 患者可离开医院。根据《临床核医学患者防护要求》(WS533-2017), 接受  $^{153}\text{Sm}$  和  $^{89}\text{Sr}$  患者体内放射性活度分别低于 2500MBq (67.6mCi) 和 200MBq (5.4mCi) 方可离开医院。本项目  $^{153}\text{Sm}$  核素治疗单人次最大用量为 50mCi,  $^{89}\text{S}$  核素治疗单人次最大用量为 4mCi, 满足出院标准, 患者注射后可直接由患者通道离开。

### 六、PET-CT及SPECT-CT配套CT产污环节分析

#### (1) 工作原理

X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成, 阴极是钨制灯丝, 它装在聚焦杯中, 当灯丝通电加热时, 电子就“蒸发”出来, 而聚焦杯使这些电子聚集成束, 直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间, 使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度, 这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管基本结构如图 9.1-5 所示。

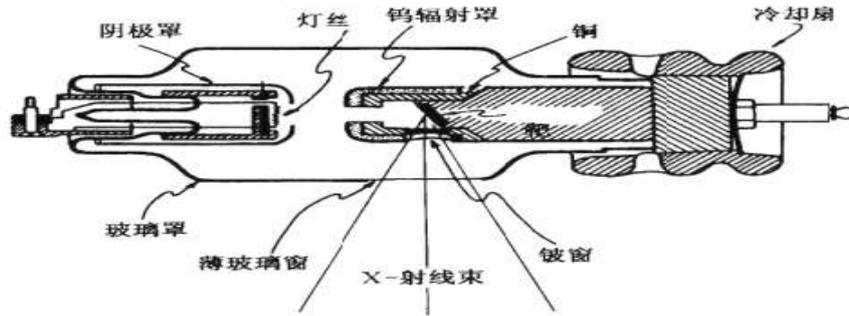


图 9.1-5 X 射线管基本结构图

## (2) 工作流程及产污环节分析

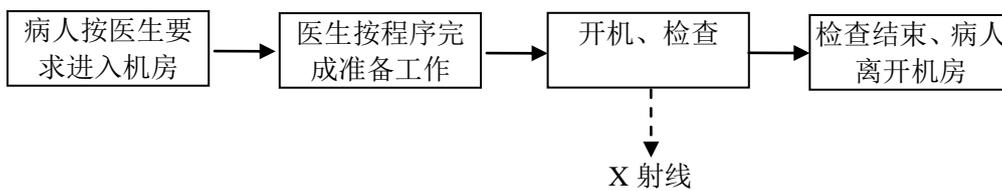


图 9.1-6 X 射线诊断装置工作流程及产污环境分析

### 9.1.2.2 放疗科核技术利用项目

本项目放疗科包含 4 台直线加速器，1 台后装机。放疗科的辐射工作人员配备如下：物理师 5 人，医师 5 人，技师 5 人，护士 5 人，共 20 人。

#### 一、医用电子直线加速器

##### (1) 设备组成

医用直线加速器主要由三大部分组成：电子发射单元，电子加速单元和电子束引出单元。它的结构单元为：加速管、电子枪、微波系统、调制器、束流传输系统及准直系统、真空系统、恒温水冷系统和控制保护系统。

电子治疗子系统基本组成部件主要包括初级准直器、散射箔、托盘、均整器、电离室、光阑、附件接口、限光筒。

典型直线加速器外部结构示意如 9.1-7 所示，内部结构示意图如 9.1-8 所示。本项目直线加速器为 10MV、15MV，有电子和 X 射线两种治疗模式，示意图如 9.1-9 所示。

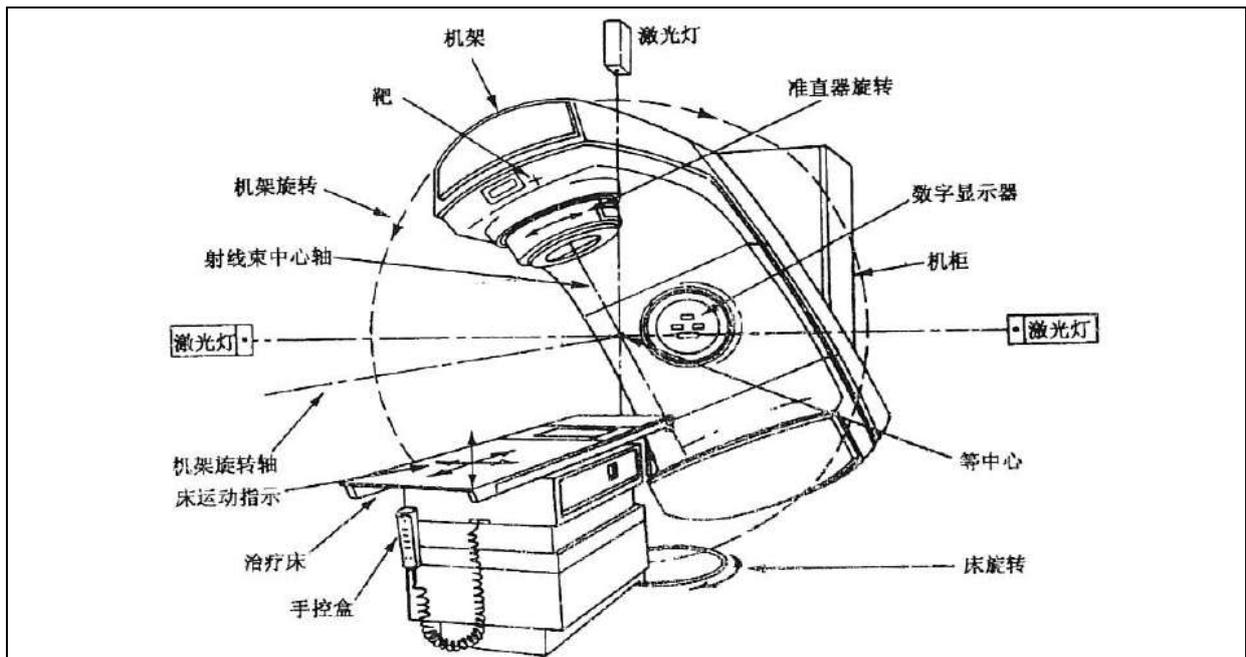


图 9.1-7 典型医用直线加速器机外部结构示意图

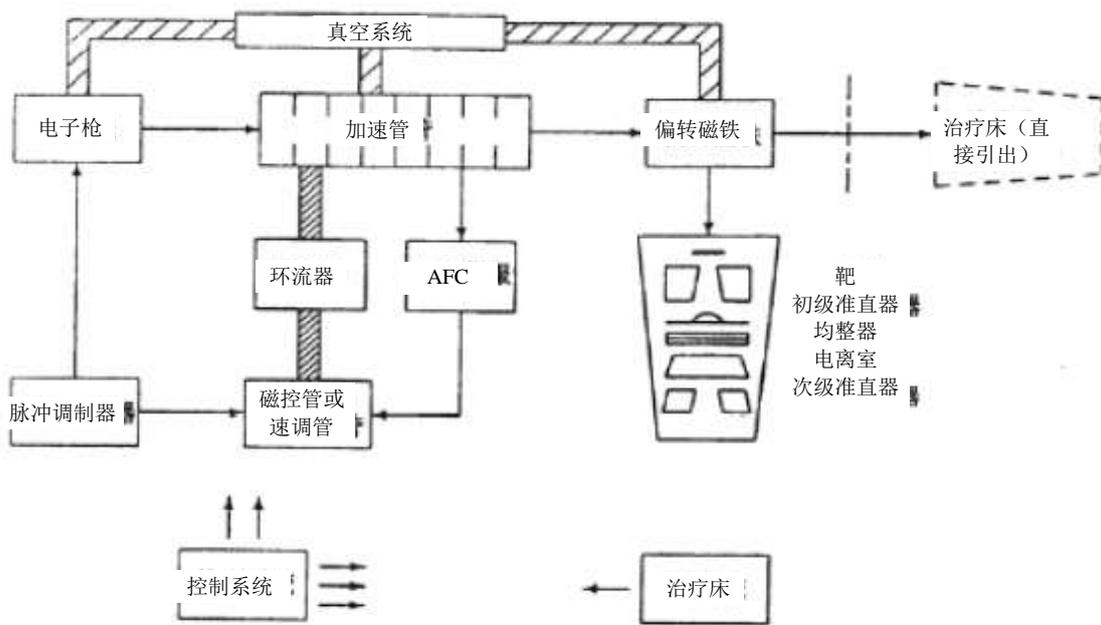


图 9.1-8 典型医用直线加速器机内部结构示意图

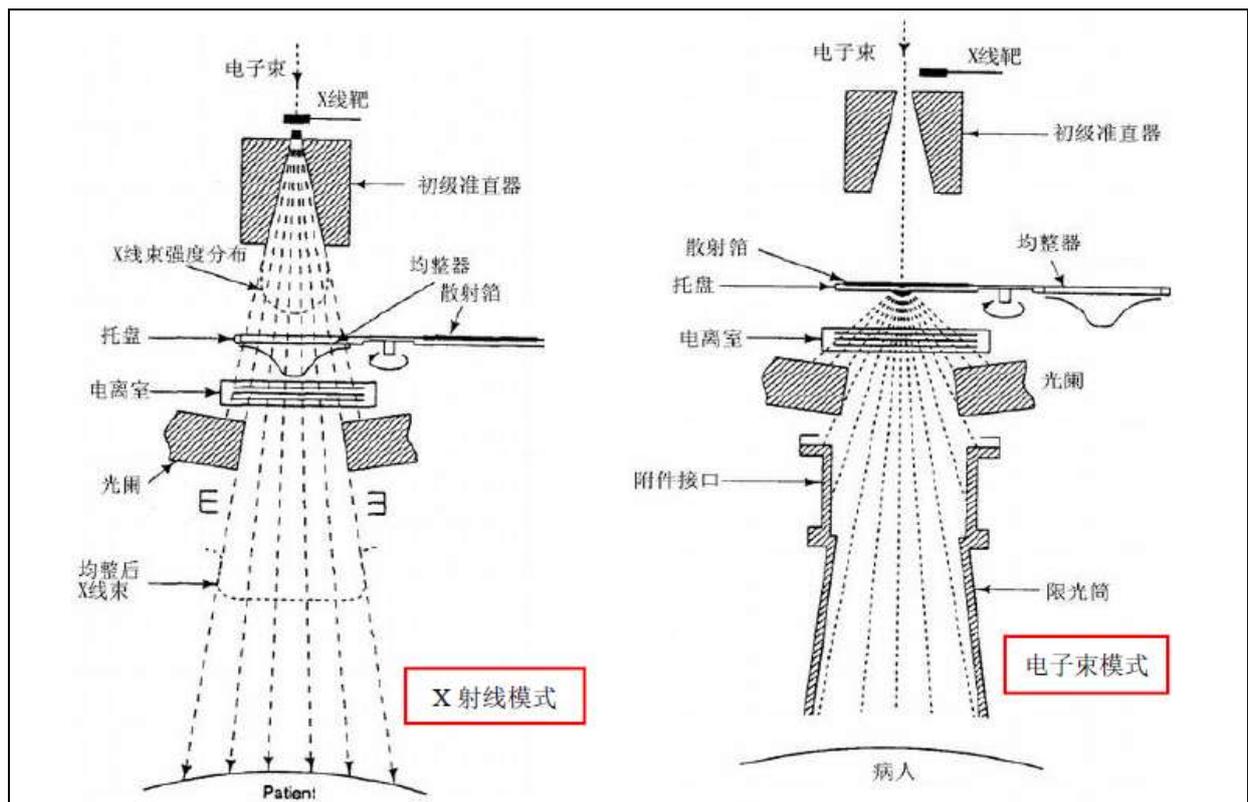


图 9.1-9 X 射线和电子束治疗模式结构示意图

### (2) 工作原理

直线加速器根据被加速的高能电子轰击重金属靶而产生高能 X 射线的原理，以最佳输出能量对人体肿瘤进行照射治疗；同时也能直接利用初始电子束进行治疗，属 II 类射线装置。

电子线束治疗工作原理：电子从发射源射出，进入真空加速管加速，经磁偏转装置转向（一般为  $90^\circ$  或  $270^\circ$ ），电子扩散箔使电子均匀射出，形成电子线束。经散射箔扩大射束直径，再通过光阑提高电子野的均整性，最后由输出窗射出达到患者病灶实现治疗的目的，即初始电子束直接引出并经散射、均整后用于患者的治疗。

X 线束治疗工作原理：电子从发射源射出，进入真空加速管加速，经磁偏转装置转向射向高原子序数的金属靶，电子同金属靶的原子核相撞，速度骤减并损失部分能量转换为 X 射线，经平板滤片过滤不必要的射线，剩余有用线束经二次准直射出。

### (3) 放疗流程简述

治疗前先确认治疗方案，包括确定照射时间和剂量，定位患者照射部位，调整照射角度和视野，再开机进行治疗。在加速器治疗过程中，除病人外其他人员均不在治疗室内，医护人员通过闭路电视系统观察病人情况。放疗流程及产污环节如图 9.1-10 所示。

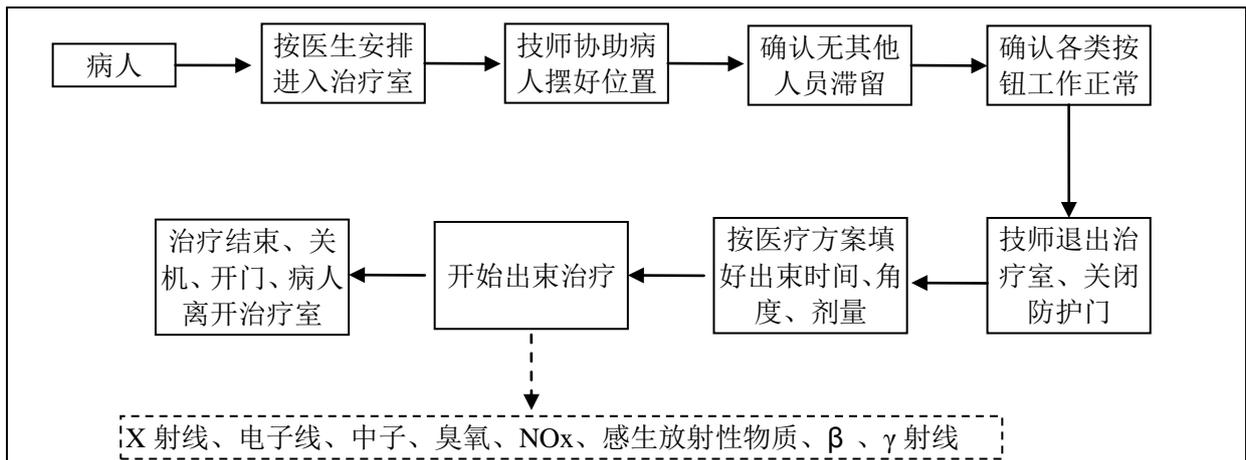


图 9.1-10 加速器放疗流程及产污环节示意图

操作流程为：

- ①根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前预约登记，以确定治疗时间；
- ②预约病人首先在 CT 模拟定位机上进行肿瘤定位，确定肿瘤的具体位置和形状(依托的 CT 模拟定位机医院另行备案，不属于此次评价范围)；
- ③物理师通过医生给出的治疗剂量，通过治疗计划系统（TPS）制定治疗计划；
- ④肿瘤患者在技师协助下躺上治疗床，进行摆位，根据 TPS 确定照射位置和面积；
- ⑤技师离开治疗室，进入控制室，根据 TPS 计划进行出束治疗；
- ⑥治疗结束后，关机，打开治疗室防护门，技师进入治疗室卸载患者。

#### (4) 产污环节

正常工况的瞬时辐射：开机状态下，加速器会产生 X 射线、中子和中子俘获  $\gamma$  射线；一旦切断电源，X 射线、中子和中子俘获  $\gamma$  射线就会消失。故正常工况时，加速器治疗出束时污染源主要为开机状态下产生的 X 射线，其次为中子和中子俘获  $\gamma$  射线；另外，当采用电子模式治疗时，会有电子产生。

正常工况下的感生放射性：当直线加速器处于 X 射线治疗模式且档位较高时，无论是 X 射线状态还是电子束状态，都会产生光核反应，从而产生感生放射性。它主要包括两个方面：①加速器结构材料等的感生放射性；②气态感生放射性核素。医用直线加速器在治疗中发出的电离辐射通过空气时，当辐射的能量达到或超过 (C, n) 反应的阈能时会产生  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  等放射性气体。其中核反应  $^{14}\text{N}(\text{C}, \text{n})$  反应的阈能为 10.16MeV，所产生的核素  $^{13}\text{N}$  的半衰期为 10min，核反应  $^{16}\text{O}(\text{C}, \text{n})$  反应的阈能为 15.17 MeV，产生的核素  $^{15}\text{O}$  的半衰期为 124s，核反应  $^{12}\text{C}(\text{C}, \text{n})$  反应的阈能为 18.17MeV， $^{11}\text{C}$  的半衰期为 20.5min。电子线最大能量为 21MeV，故  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  均可产生，详见

表 9.1-3 所示。

表 9.1-3 加速器构件及周围环境中的主要感生放射性产物

部位	材料	感生放射性核素	半衰期	辐射与类型	反应阈能	备注
靶	钨	$^{181}\text{W}$	121.53d	$\gamma$	/	/
	铝	$^{27}\text{Mg}$	9.5min	$\beta^-$ , $\gamma$	/	/
		$^{24}\text{Na}$	14.9h	$\beta^-$ , $\gamma$	/	/
		$^{28}\text{Al}$	2.3min	$\beta^-$ , $\gamma$	/	/
	铜	$^{62}\text{Cu}$	9.7min	$\beta^-$ , $\gamma$	/	/
		$^{64}\text{Cu}$	12.7h	$\beta^-$ , $\gamma$	/	/
$^{66}\text{Cu}$		5.1min	$\beta^-$ , $\gamma$	/	/	
束流管	不锈钢 铝	$^{56}\text{Mn}$	2.6h	$\beta^-$ , $\gamma$	/	/
		$^{65}\text{Ni}$	38min	$\beta^-$ , $\gamma$	/	/
		$^{26}\text{Al}$	2.3min	$\beta^-$ , $\gamma$	/	/
偏转磁铁	铜 不锈钢	$^{64}\text{Cu}$ 同不锈钢束流管	/	$\beta^-$ , $\gamma$	/	/
结构材料	铝 铜 不锈钢	同铝靶 同铜靶 同不锈钢束流管	/	/	/	/
冷却水	水	$^{16}\text{N}$	7.3s	$\beta^-$ , $\gamma$	/	循环使用
空气	氮气 氧气 氩气	$^{13}\text{N}$	10min	$\beta^-$ , $\gamma$	10.5	通过排风系统排入大气
		$^{15}\text{O}$	2min	$\beta^-$ , $\gamma$	15.17	
		$^{11}\text{C}$	20.5min	$\beta^+$ , $\gamma$	18.17	
		$^{41}\text{Ar}$	1.83h	$\beta^-$ , $\gamma$	/	

在直线加速器开机过程中会产生臭氧、NO<sub>x</sub> 等有害气体；另有更换的废靶件产生。

## 二、后装机

### (1) 设备组成

本项目后装机（如图 9.1-11）采用铱-192 核素为放射源。后装机由治疗计划系统、控制系统和治疗系统组成，治疗计划系统包括计算机、数字化仪、打印机及治疗系统软件；治疗系统包括专用控制微机系统、步进电子、施源器、放射源、储源器、真假源传输结构、紧急回源机构、计时器和治疗通道组成。储源器是容纳放射源的容器，当放射源不工作时可提供电离辐射的防护。施源器是将放射源送入预定位置的部件，自带屏蔽防护；通道是在后装机中专供密封放射源或其组件在其运动的轨迹，此管道与储源器和施源器相连接。后装机结构如图 9.1-12 所示。

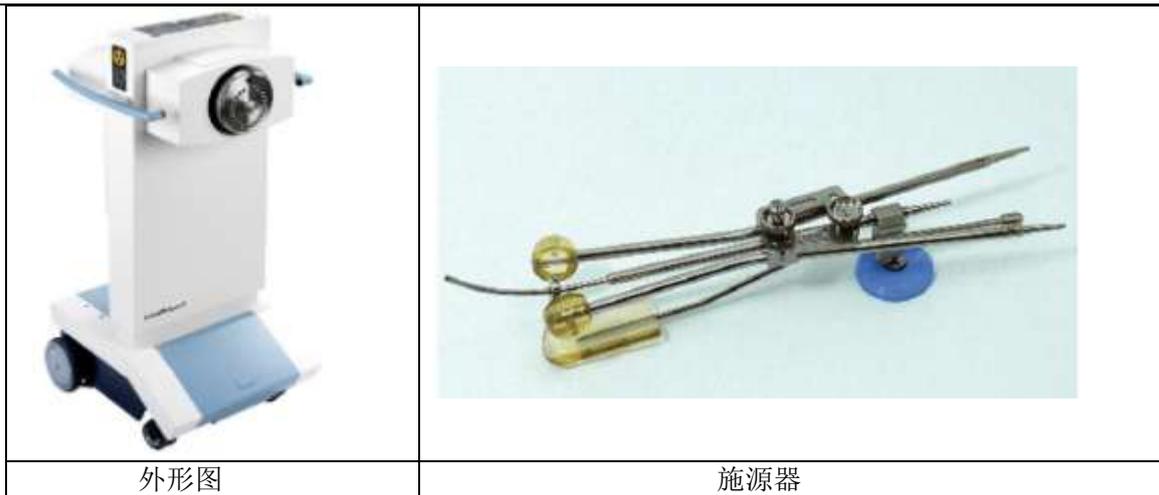


图 9.1-11 后装机外形图和施源器

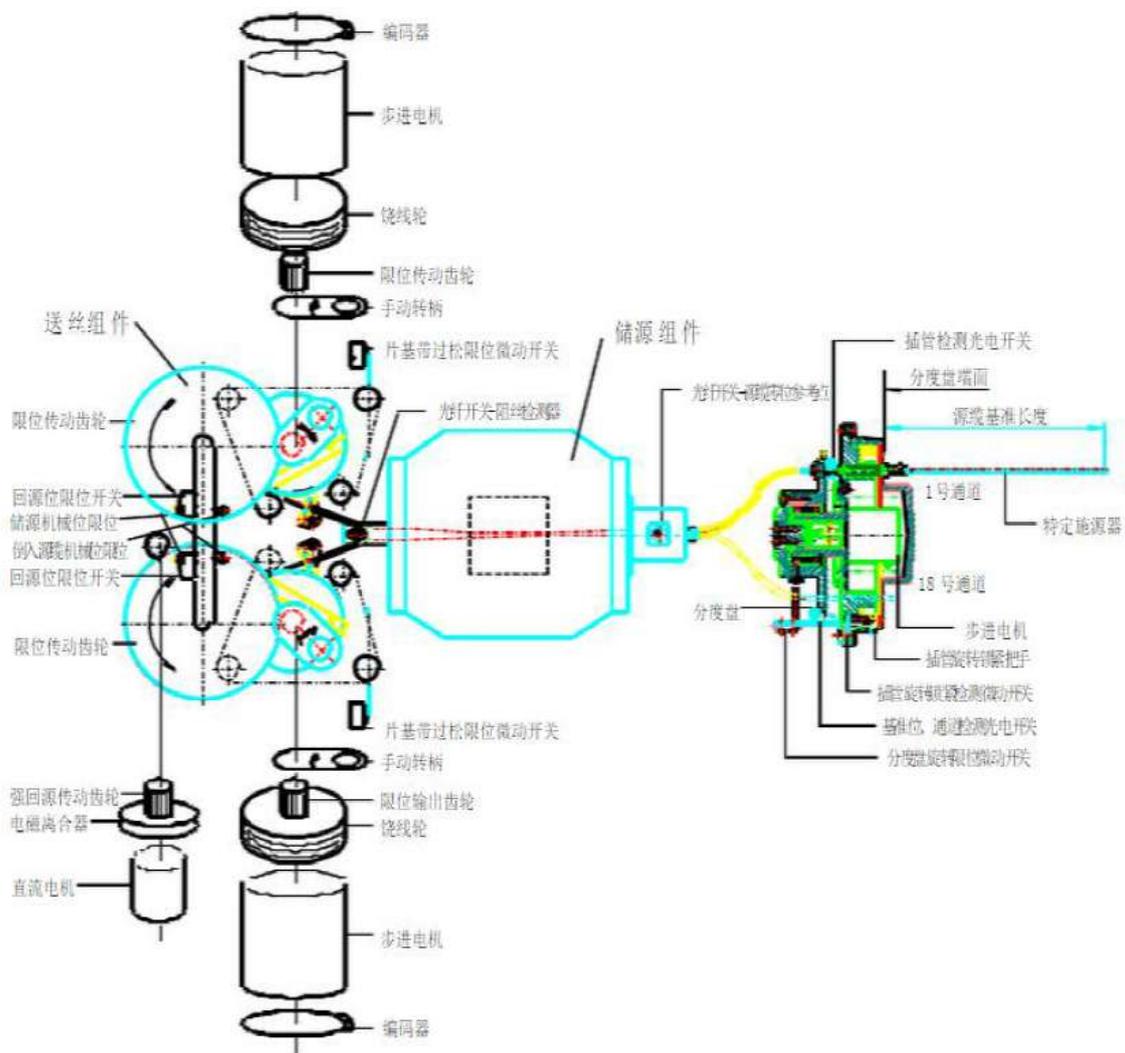


图 9.1-12 典型铱-192 后装  $\gamma$  源治疗机结构示意图

## (2) 工作原理

后装机即近距离放射治疗机，是新一代肿瘤治疗设备，可进行后装放射治疗。后装放射治疗是指把不带放射源的治疗容器置于治疗部位，由电脑遥控步进电机将放射源送

入容器进行放射治疗，如此可避免放射治疗容器过程中医务人员因放射受伤。可以将放射源准确安全地输送到患者需要治疗的部位进行放射治疗。

### (3) 工作方式

后装机是将放射源施用器放置于人体管腔内瘤体表面，在衰变过程中不断放出  $\gamma$  射线，通过计算机控制系统，使放射源直接在瘤体表面或瘤体内进行放疗。

### (4) 工艺流程

铯-192 后装  $\gamma$  源近距离治疗机产污环节见图 9.1-13 (图中模拟定位不属于本次评价范围)。由放疗医师给患者放置施源器，然后由辐射工作人员送入后装  $\gamma$  源近距离治疗室内。病人在治疗室内，接上与源相连的导管，然后借助后装治疗机将源送到需要照射的部位，源由工作人员在医生操作室遥控操作。先驱动假源探路，正常后缩回假源，再驱动真源按计划执行治疗，放射源步进到位精度为 mm 级。治疗结束后，源安全返回贮源位置，方可打开迷路防护门，辐射工作人员将病人送出治疗室。

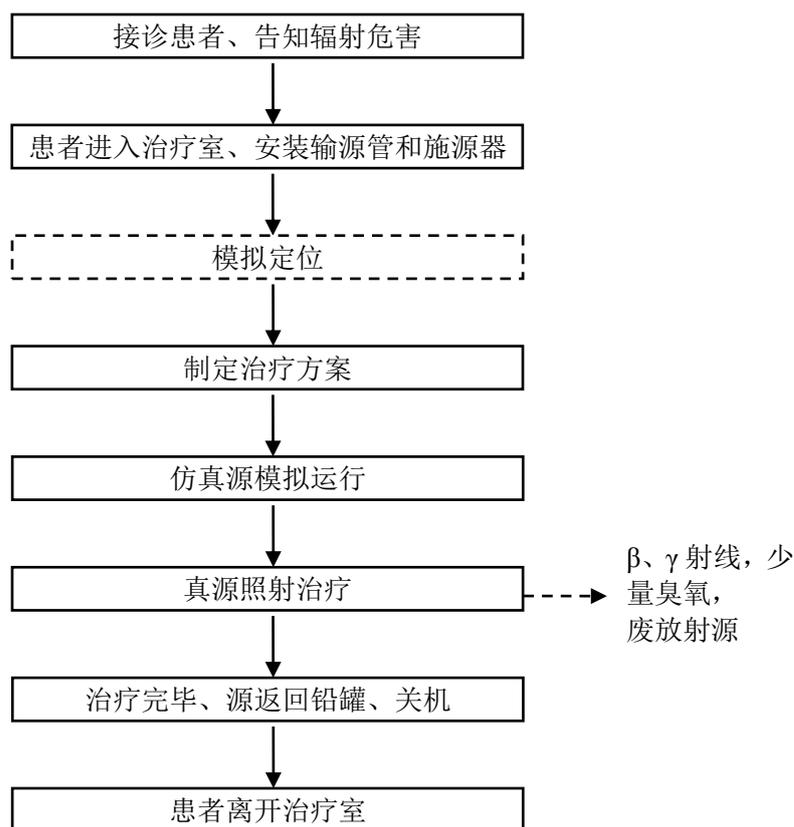


图 9.1-13 后装机产污环节示意图

### (5) 产污环节

本项目后装机使用 1 枚铯-192 放射源，设计装源活度为  $3.7 \times 10^{11} \text{Bq}$ 。按照国家环保总局《放射源分类办法》，属于 III 类放射源。核素铯-192 半衰期为 74 天，衰变过程会

发出  $\beta$ 、 $\gamma$  射线；当放射源衰变至其活度不能满足放射治疗需要时，将更换放射源，从而产生废放射源。

### 9.1.2.3 介入中心核技术利用项目

介入中心 DSA 使用科室有心血管病科、脑病科、普外科等。单台 DSA 手术台数预计为 500 例/年，即平均 2 例/天；单台拍片曝光时间为 0.5min，透视为 20min，则拍片年出束时间为 4.2h，透视年出束时间为 166.7h。

#### (1) 设备组成

DSA 主要组成部分：带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机。

#### (2) 工作原理

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

#### (3) 操作流程

接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用 DSA 治疗的辐射危害。患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启 DSA 设备，技师在控制室内首次拍片初步确认病灶部位后，手术医生穿戴好防护用品进入机房，在透视操作下插入导管，输入造影剂，之后离开机房，技师在控制室内再次拍片，当确诊病灶部位后，手术医生穿戴好防护用品后再次进入机房进行介入治疗直到治疗结束，关机。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，透视。进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时操作医师位于铅帘后身着铅服、铅眼镜在曝光室内对病人进行直接的介入手术操作。该情况在实际运行中占绝大多数，是本次评价的重点。

第二种情况，拍片。操作人员采取隔室操作的方式（即技师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况。

DSA 治疗流程及产污环节示意图见图 9.1-14。

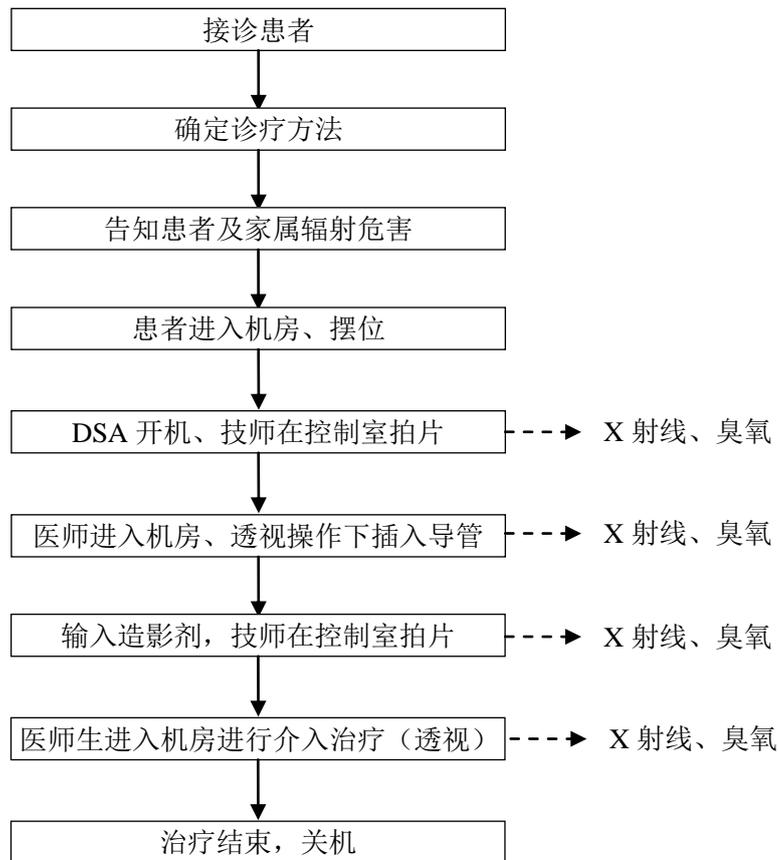


图 9.1-14 DSA 治疗流程及产污环节示意图

#### (4) 产污环节

本项目 DSA 为 II 类射线装置，其在开机状态下主要辐射为 X 射线，在不开机状态下不产生 X 射线。

## 9.2 污染源项描述

### 9.2.1 核医学科

#### 一、PET-CT 和 SPECT-CT 工作场所

##### (1) 电离辐射

①PET-CT 和 SPECT-CT 扫描时产生的 X 射线；

② $^{18}\text{F}$ （正电子）与负电子相结合，能产生湮灭  $\gamma$  光子辐射； $^{99\text{m}}\text{Tc}$  主要衰变方式是同质异能跃迁，同时发出  $\gamma$  射线； $^{131}\text{I}$  衰变过程释放  $\gamma$  射线。因此， $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{131}\text{I}$  在取药、注射（口服）、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的  $\gamma$  射线，会造成医务人员和公众的外照射。

##### (2) $\beta$ 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  和  $^{131}\text{I}$  的种种操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的  $\beta$  放射性表面污染。

### (3) 废气

本项目使用的  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  均在通风橱内操作，空气中挥发散逸的放射性同位素几乎没有，因此放射性气溶胶非常少，其对医护人员和公众的内照射影响可以忽略。 $^{131}\text{I}$  由自动分碘仪分装，无需手动分装，其产生的气溶胶较少。

### (4) 废水

体内含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

### (5) 固体废物

放射性同位素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性同位素的医疗固体废弃物，污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

## 二、 $^{131}\text{I}$ 甲亢和甲癌治疗

### (1) 电离辐射

$^{131}\text{I}$  核素在衰变过程中主要释放  $\beta$  射线和  $\gamma$  射线， $\beta$  射线穿透力很弱，在组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响， $\gamma$  射线对医护人员产生的外照射影响。

### (2) $\beta$ 放射性表面污染

患者服药后，一次性杯子表面残留的  $^{131}\text{I}$  撒漏，对地面或工作台造成放射性表面污染。

### (3) 废气

$^{131}\text{I}$  是挥发性核素，但本项目使用的  $^{131}\text{I}$  以碘化钠液体形式存在，为非挥发性核素，不存在升华现象。暂存期间密闭在铅罐内，使用时采用碘分装仪分装后，直接给患者口服，因此放射性气溶胶产生量较少。

### (4) 废水

体内含有放射性核素的病人排泄物；工作场所清洗废水等。

### (5) 固体废物

放射性同位素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性同位素的医疗固体废弃物，甲癌患者需要住院治疗，住院患者会产生一定的放射性废物，可能对周围环境产生一定危害：污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰

变时对医务人员产生的外照射。

### 三、 $^{89}\text{Sr}$ 和 $^{153}\text{Sm}$ 核素治疗放射性污染因子分析

①核素在衰变过程中主要释放  $\beta$  射线,  $\beta$  射线穿透力很弱, 在组织内辐射距离很短, 不会对环境产生明显影响。但  $\beta$  射线被阻止会产生韧致辐射。 $^{153}\text{Sm}$  衰变过程会同时产生少量  $\gamma$  射线。

②操作过程可能会对工作台、地面造成放射性表面污染。

③放射性废气： $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$  为非挥发性核素，不产生放射性废气。

④放射性废水：患者接受注射在医院一般不会停留，因此不考虑放射性废水。

⑤放射性固体废物：放射性固体废物主要为污染的一次性注射器、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、服药杯、擦拭污染地面的物品等。

### 四、配套 CT 射线装置污染因子分析

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，本项目 SPECT-CT 和 PET-CT 配套 CT 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，主要污染因子为 X 射线，并伴有微量臭氧产生。SPECT-CT 和 PET-CT 机房拟采取中央空调新风系统进行动力排风，可保持良好的通风，产生的微量臭氧对环境影响很小。CT 射线装置在运行时无其它放射性废气、废水和固体废弃物产生。

## 9.2.2 放疗科

### 一、直线加速器

#### (1) X 射线、电子束及中子辐射

医用直线加速器电子枪产生的电子经过加速后，受到金属靶的阻止而产生韧致辐射 X 射线，其辐射可分为瞬发辐射和感生辐射两类。瞬时辐射包括初级辐射（被加速的电子）及其与靶材料或加速器的结构材料相互作用产生的次级辐射 X 射线等。瞬发辐射在加速器运行时产生，关机后即消失。剩余是指加速器的初级电子束和次级辐射在加速器结构材料及环境介质（包括空气、屏蔽物等）中诱发生成的感生放射性。剩余辐射在加速器关机后仍存在。而且随加速器的运行时间的增加而积累，随加速器关机时间的增加而减弱。但只有当粒子的能量大于核反应的阈能时，才会产生感生放射性。

本项目医用直线加速器的电子最高能量为 21MeV，电子与靶物质作用产生韧致辐射 X 射线。由于 X 射线的贯穿能力极强，对周围环境可能造成辐射污染，但运行时产

生的 X 射线随加速器的开、关而产生和消失。加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。在加速器开机的时间内，产生的 X 射线为主要辐射环境污染因素。

医用直线加速器在运行时，电子枪产生大量的电子，电子被加速后聚焦为一股束流，电子束虽然占据的体积小，但能量非常集中，电子束的贯穿能力比 X 射线弱，加速器四周的混凝土屏蔽墙能将其完全屏蔽。

当加速器 X 射线标称能量大于 10MV 时，高能光子会与 X 射线靶、一级准直器、X 射线均整器和治疗准直器多种高原子序数的材料如铅、钨等发生 ( $\gamma$ 、n) 光核反应，产生中子辐射。GBZ126-2011 中规定，X 射线标称能量大于 10MV 的加速器对感生放射性应加以限制，并在屏蔽设计（主要是防护门的设计）时考虑中子的防护。本项目加速器的 X 射线最大能量为 15MV，因此，加速器开机工作时还必须考虑感生放射性和中子辐射的防护。

### **(2) 感生放射性**

当治疗过程中用的 X 射线的能量超过 ( $\gamma$ 、n) 反应的阈能量时，中子活化作用使治疗室空气中产生  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  等放射性气体。其衰变过程中产生正电子，即  $\beta^+$  射线， $\beta^+$  射线在空气中的射程只有几米。放射性气体产额很低，半衰期较短，通过合理的通风系统可使其浓度降低。

加速器设备中使用的内循环冷却水可能产生感生放射性。在加速器运行时，循环水系统的某一部分可能使附近的操作人员受到照射。因此，循环水系统尽量避开可能使工作人员受到照射的地方。冷却水中被活化形成的放射性核素  $^{15}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，且产生量很少，只需放置一定的时间其活度就可以衰减到较低的水平。

加速器内循环水系统中使用的离子交换树脂，可吸附内循环水中的感生放射性核素。另外，靶物质经长期照射后，也可积累一定数量的感生放射性核素，因此，退役的靶和离子交换树脂为放射性固体废物。

### **(3) 非放射性有害气体**

加速器在开机运行时，产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 和氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ ， $\text{NO}_2$ )。机房设有通风系统，通风次数大于 4 次/h，可明显降低其浓度。

本项目医用直线加速器的评价因子主要为 X 射线、中子、感生放射性废气、放射

性固废，非放射性污染因子为臭氧和氮氧化物。

#### (4) 放射性固废

医用直线加速器所产生的放射性固体废物，主要来源于两个方面：一是加速器内循环水系统中使用离子交换树脂，吸附极少量较长半衰期的放射性核素，长期积累后，更换的树脂具有一定的放射性；二是加速器使用一定年限或退役时产生的废靶件，含有一定的放射性。树脂的更换周期一般 3~5 年，放射性水平相对较低。废靶件是加速器所产生的主要固体废物，它不但有短半衰期放射性核素，还有长半衰期的核素，因而应妥善处理。

## 二、后装机

铯-192 为密封源， $\beta$  射线被完全屏蔽，源活性物质也不会泄露，因此只有  $\gamma$  射线对人体产生外照射。本项目后装机治疗室设置了迷路，因此仅少量散射线和穿透机房屏蔽的泄漏射线对机房外环境产生辐射影响。

铯-192 放射源为点状米粒大小，密封型，外有不锈钢包壳，因此在正常使用下，不会产生放射性“三废”。其运营期的主要污染源为：

### (1) 治疗室泄漏辐射

后装机正常运行时的主要环境污染因子为能量流形式的  $\gamma$  射线。在正常治疗条件下，后装机铯-192 放射源发出的平均能量为 370keV 的  $\gamma$  射线，有小部分穿过治疗室屏蔽体（包括屏蔽墙、顶棚）及迷路防护门泄漏到工作场所及周围环境中，对周围的工作人员和公众产生  $\gamma$  外照射。

### (2) 治疗前、治疗后装卸输源导管

在治疗前、治疗后装卸输源导管时，铯-192 源  $\gamma$  辐射有小部分穿过工作容器，对装卸人员产生  $\gamma$  射线外照射。

### (3) 运输放射源

使用铯-192 源时，放射源半衰期短，一般使用 1.5 个半衰期更换一次，源更换及废源回收均由生产厂家负责。运输放射源时，放射源发出的  $\gamma$  辐射有小部分穿过运输容器，对运输和装卸人员产生  $\gamma$  射线外照射。源安装、更换、运输和装卸由厂家负责，因此对运输和装卸人员产生的影响本报告不做分析。

### (4) 工作状态下电离作用

铯-192 后装机在工作状态下，会使治疗室内的空气电离而产生少量臭氧和  $\text{NO}_x$ ，

臭氧在常温常压下稳定性较差，可自行分解为氧气，这部分废气对周围环境影响较小。

综上，铯-137后装机运行期间，主要污染因子为 $\gamma$ 射线，另有少量电离产生的臭氧和氮氧化物。

### 9.2.3 DSA

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

因此，DSA在开机状态下，产生的污染因子有X射线。

### 9.2.4 非正常工况污染源项描述

#### 一、核医学科核技术利用项目

主要考虑电离辐射损伤、放射源和药物失控对环境及公众的影响。

(1) PET-CT/PET-MRI或SPECT-CT机房安全联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

(2) 显像剂( $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ )和治疗核素( $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ )发生丢失或被盗，以及显像剂和治疗核素在操作使用过程中发生意外洒漏时，会对周围环境及人员造成辐射影响。

(3) 核素治疗患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区或病房，可能对接近患者的人员造成额外照射剂量。

#### 二、放疗科核技术利用项目

(1) 直线加速器非正常工况污染源项描述

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照射事故。

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射。

(2) 后装机非正常工况污染源项描述

①放射源密封壳破损，源活性物质泄漏；

②治疗过程中，发生卡源事故；

③安全联锁装置失效，人员误入治疗室而受到额外照射，还可能发生放射源阻丝、源位异常等故障；

④设备检修时，工作人员误将治疗机的屏蔽装置打开或者卸下放射源，对维修人员

产生额外照射。

⑤工作人员操作不当或设备故障，在设备安装、更换放射源时，放射源由设备或容器中滑落出来，造成安装或操作人员受到额外照射。

### 三、介入中心核技术利用项目

(1) 工作人员或病人家属尚未撤离 DSA 机房时误开机，会对工作人员或病人家属产生不必要的 X 射线照射。

(2) 控制系统出现故障，照射不能停止，病人受到计划外照射。

(3) 维修工程师在检修期间误开机出束，造成辐射伤害。

(4) 辐射工作人员不按要求穿戴个人防护用品，造成超剂量照射。

异常运行或事故状态下主要辐射源同正常运行状态。

## 表 10 辐射安全与防护

### 10.1 项目安全设施

#### 10.1.1 核医学科核技术利用项目

##### 10.1.1.1 场所选址与平面布局

###### 一、平面布局情况

###### (1) 肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所

本项目核医学科工作场所拟设置在肿瘤病房大楼的负一层。核医学科工作用房包括 PET-CT 机房（2 间）、PET-MRI 机房（1 间）、SPECT 机房（1 间）、乳腺 $\gamma$ 相机房（1 间）及控制室、控制廊、注射后等候室（内设患者专用卫生间）、分装注射室、贮源室、污物贮存间、留观室、运动负荷室、卫生通过间等相关用房。

肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所东侧为排风机房、阅片室、楼梯等；南侧为停车场；西侧为电梯厅；北侧为放疗科加速器机房；无地下层，楼上为肿瘤科检查实验室。核医学科工作场所四周布局见表 10.1-1，楼上对应区域见附图 6。

核医学工作场所控制区走廊出入口防护门设置有门禁系统，满足 GBZ120-2006“控制区内走廊应避免无关人员通过。控制区除医务人员外，其他无关人员不得入内，患者也不应随便离开该区”的要求。

核医学科 PET 和 SPECT 显像诊断区域药物分装、注射与扫描检查分开，注射后等候室内设有注射后病人专用卫生间，满足《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于临床核医学工作场所对于布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）中关于安全操作的要求。

表 10.1-1 核素显像诊断区域四周布局一览表

辐射场所	东	南	西	北	上	下
地下一层核医学科	机房、阅片室、楼梯	地下停车场	电梯厅	放疗科加速器机房	放疗科实验检查室	无

###### (2) 肿瘤病房大楼二楼核素病房工作场所

核素病房工作场所位于肿瘤病房大楼的二层西南角，拟设置 5 间甲癌病房（其中双人间病房 3 间，单人病房 2 间，内设患者专用卫生通过间）、备药备餐室、服碘室、卫生通过间、抢救室/出院检查室、值班室等相关用房。

核素病房工作场所东侧为主机房、气瓶间等，南侧临空，西侧临空，北侧为走廊和天井；楼上为普通病房，楼下为肿瘤科检查实验室。核素病房场所平面布局见附图 7，

其楼上病房及楼下肿瘤科检查实验室对应区域见附图 6。

甲癌治疗拟设置的 5 间甲癌病房，其中 3 间双人间病房，2 间单人间病房，双人间病房均设置有 370mm 砖墙将病床隔开，病房内设有与护士相连接的监控对讲装置。区域设有专门的取餐窗口与服碘室，并采用自动分碘仪分装药物，大大降低了医护人员的受照剂量。区域出入口设置有门禁系统，病人住院期间，无关人员不得进入。

表 10.1-2 核素病房工作场所四周布局一览表

辐射场所	东	南	西	北	上	下
二楼核素病房工作场所	主机房、气瓶间	临空	临空	走廊、天井	普通病房	检查实验室

### (3) 小结

项目核医学工作场所和其他工作区域相邻，但不相通，与同层的非放射性工作场所完全隔开。地下一层核医学科工作场所和核素病房工作场所所在的辐射工作区域在该层均设有独立的出入口，出入口设置有单向门禁系统，可避免与工作无关人员任意出入而受到不必要的辐射照射或扩大污染范围。

## 二、核医学人流、物流路径规划

### (1) 地下一层核医学科路径规划

#### ① 医护人员路径

地下一层核医学科的医护人员由西北侧医护电梯向东进入医生走廊，在医生走廊可通过卫生通过间进入分装注射室，再往东可直接进入 PET-CT、PET-MR、SPET-CT 等机房控制廊和乳腺相机房控制室。核医学护士经过卫生通过间进入分装注射室，在分装注射室完成施药后仍需经卫生通过间淋浴更衣，检测表面污染合格，才能回到非放射工作场所。卫生通过间内配置有表面污染监测设备，设置有感应式洗手池和淋浴设施。本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

#### ② 受检者/患者路径

核医学科门诊设置在医院门诊楼，受检者/患者在门诊处问诊后，由核医学科西侧的病人电梯进入，在护士站咨询和注射前候诊区接受问诊、宣教，根据叫号通过北侧单向门进入核素显像诊断区域病人走廊。受检者注射后分别前往相应等候室休息、候诊，然后进入机房接受检查，PET 和 SPECT 显像检查病人在完成扫描后需进行留观，确认无需进行二次扫描的受检者可直接由核素显像诊断区域西侧单向门离开；<sup>89</sup>Sr、<sup>153</sup>Sm 患者在分装注射室注射药物后进入留观室留观 10min 后无恙即可由西侧单向门禁离开核医学科。甲亢及甲测患者在分装注射室东侧服碘室口服药物后在侯检室短暂等候观察

10~30min 后无恙即可由西侧单向门禁离开核医学科。

该路径上，受检者/患者出入口（病人走廊出入口）均设置为单向门禁，仅允许受检者/患者单向通行。注射后等候室设有独立的卫生间，受检者可在专用卫生间内如厕，不随意走动。

### ③放射性药物路径

按照医院与送药单位的协定，放射性药物配送人员每天上班前从医生通道进入核素显像区域将预定的放射性药物送至贮源室内，并由专人进行交接，交接过程均在监控下进行，医院拟制定放射性药物管理制度，做好放射性药物的台账管理。

### ④污物路径

地下一层核医学科场所放射性废物在污物间暂存，衰变至符合清洁解控水平后，选择在下班后无病人时段，由北侧污物间从医生通道运输至电梯，送医院医疗废物库集中收集后按照医疗废物处置。

## (2) 肿瘤病房大楼二层核素病房路径规划

### ①医护人员路径

核素病房区域医护人员由西北侧医护电梯进入医护走廊，在更衣室更衣后向东进入护士站和医生办公室，向南则通过卫生通过间进入备药备餐室。在备药备餐室内将装有<sup>131</sup>I药物的铅罐装入自动分碘仪，通过视频监视器远程操作设备、指导患者服碘；工作人员将病人餐食由北侧患者进口送至备药备餐室后通过屏蔽窗口远程指导病人到取餐窗口按号取餐。本区域所有工作人员完成工作后均原路返回。

### ②患者路径

接受<sup>131</sup>I治疗的甲癌患者在确认适宜进行服碘治疗后，按照预约时间来到医院，由西北侧病人电梯进入核素病房工作场所，经病人走廊至护士站和医生办公室问诊，并接受住院院宣教，知晓住院期间及出院后注意事项后，甲癌患者按批次入住指定床位。病房及过道内均拟设置语音对讲装置，患者根据远程语音叫号依次在护士指导下至服碘室完成给药，之后进入甲癌病房住院休息，出院时在检查室检测病人1m处剂量率符合出院要求后，由西侧单向门经电梯离开。

本区域病人通道出入口和工作人员通道出入口均分开设置，能够有效防止交叉污染；核素治疗区域出入口防护门均拟设置门禁系统，只允许单向通行，防止给药后患者进入非放射工作区，或无关人员进入放射性工作区。医院拟在注射前宣教时明确告知相关事项，并设置醒目的路线标示，配合语音系统，引导病人按照拟定路线行进。

### ③放射性药物路径

按照医院与送药单位的协定,放射性药物配送人员每天上班前从医生通道进入核素病房工作场所将预定的放射性药物送至备药备餐室通风橱暂存,并由专人进行交接,交接过程均在监控下进行,医院拟制定放射性药物管理制度,做好放射性药物的台账管理。

### ④污物路径

核素病房工作区域放射性废物在本区域污物间进行暂存,衰变至符合清洁解控水平后,选择在无病人时段,由污物间从病人通道运输至垃圾梯,按照医疗废物处置。

核医用房人流、物流路径规划图如附图 7 所示。

## 三、非密封放射性物质工作场所分级

本项目核医学肿瘤病房大楼地下一层核医学科和地上二层核素病房的工作场所用房相对独立,各自的诊断流程连续完整,有相对独立的辐射防护措施,有明确的监督区和控制区划分,且人流及物流具有各自相对独立的通道,互不交叉。因此,可认为地下一层核医学科工作场所和地上二层核素病房工作场所分别为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

### (1) 肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所分级

本项肿瘤病房大楼地下一层拟设置核医学科,配置 1 台 SPECT-CT、2 台 PET-CT、1 台 PET-MR 和 1 台  $\gamma$  乳腺相机。核医学科工作场所整个诊断流程连续完整,有相对独立的辐射防护措施,有明确的监督区和控制区划分,区域内部人流物流通道独立。因此,可认为肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所为一个独立的非密封放射性物质工作场所。根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430 号),该区域可作为一个单独场所进行日等效操作量核算。

其中 SPECT-CT 使用核素  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  进行扫描显像检查, PET-CT 和 PET-MR 使用核素  $^{18}\text{F}$  进行扫描显像检查,  $\gamma$  乳腺相机使用核素  $^{99m}\text{Tc}$  进行扫描显像检查,同时使用  $^{131}\text{I}$  进行甲亢治疗和甲功能测定、使用  $^{89}\text{Sr}$  和  $^{153}\text{Sm}$  进行骨转移癌治疗。根据 GB18871-2002 非密封源工作场所的分级原则及《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》(环办辐射函[2016]430 号),放射性核素的日等效操作量计算公式见 10-1。修正因子见表 10.1-3、10.1-4,计算见表 10.1-5。

$$\text{放射性核素的日等效操作量} = \frac{\text{放射性核素的实际操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}} \quad (10-1)$$

表 10.1-3 放射性核素毒性组别修正因子

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

表 10.1-4 操作方式与放射源状态修正因子

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

表 10.1-5 地下一层核医学科工作场所分级计算表

工作场所	核素 名称	计划最大日操 作量 (Bq)	毒性组别 修正因子	操作方式 修正因子	计划日等效最大 操作量 (Bq)	分级
地下一层 核医学科	<sup>18</sup> F	2.22×10 <sup>10</sup>	0.01	10	2.22×10 <sup>7</sup>	乙
	<sup>99m</sup> Tc	2.78×10 <sup>10</sup>	0.01	10	2.78×10 <sup>7</sup>	
	<sup>99m</sup> Tc	7.40×10 <sup>8</sup>	0.01	10	7.40×10 <sup>5</sup>	
	<sup>131</sup> I (显像)	3.70×10 <sup>8</sup>	0.1	1	3.70×10 <sup>7</sup>	
	<sup>131</sup> I (甲亢)	3.70×10 <sup>9</sup>	0.1	1	3.70×10 <sup>8</sup>	
	<sup>131</sup> I (甲测)	3.70×10 <sup>6</sup>	0.1	1	3.70×10 <sup>5</sup>	
	<sup>89</sup> Sr	7.40×10 <sup>8</sup>	0.1	1	7.40×10 <sup>7</sup>	
	<sup>153</sup> Sm	9.25×10 <sup>9</sup>	0.1	1	9.25×10 <sup>8</sup>	
合计					1.46×10 <sup>9</sup>	

## (2) 肿瘤病房大楼二层核素病房工作场所分级

本项目肿瘤病房大楼二层拟设置核素病房工作场所，该区域工作用房相对独立，整个治疗流程连续完整，有相对独立的辐射防护措施，有明确的监督区和控制区划分，区域内部人流物流通道独立。因此，可认为核素病房区为一个独立的非密封放射性物质工作场所。根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号），核素病房区可作为一个单独场所进行日等效操作量核算。

本区域使用核素 <sup>131</sup>I 进行甲癌治疗，根据 GB18871-2002 非密封源工作场所的分级原则及《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函〔2016〕430号），具体分级计算见表 10.1-6。

表 10.1-6 核素病房工作场所分级计算表

工作场所	核素名称	计划最大日操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	计划日等效最大操作量 (Bq)	分级
肿瘤病房大楼 二层核素病房 区	<sup>131</sup> I	2.96×10 <sup>10</sup>	0.1	1	2.96×10 <sup>9</sup>	乙

#### 四、分区原则及区域划分

##### (1) 分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)要求在放射性工作场所内划出控制区和监督区。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和连锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的指定区域。在监督区入口处合适位置张贴辐射危险警示标记；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区边界。

##### (2) 区域划分

根据 GB18871-2002 对控制区和监督区的定义，结合地下一层核医学科工作场所辐射防护和环境情况特点，将病人走廊、PET-CT 机房（2 间）、PET-MRI 机房（1 间）、SPECT-CT 机房（1 间）、乳腺 γ 相机房（1 间）、分装注射室、污物贮存间、贮源室、运动负荷室、注射后等候室及专用卫生间、留观室、甲测室、服碘室等划为控制区，将 PET-CT、PET-MRI 及 SPECT-CT 控制廊、卫生通过间、医生走廊、设备机房划为监督区。

结合肿瘤病房大楼二层核素病房区治疗流程、辐射防护和环境情况特点，将核素病房场所内的 5 间甲癌病房、备药备餐室、服碘室、病人走廊、抢救室/出院检查室划为控制区，将卫生通过间、值班室、医生走廊等划为监督区。

本项目核医学用房的控制区和监督区划分情况见附图 7，红色区域为控制区，黄色区域为监督区。

表 10.1-7 本项目核医学科控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
肿瘤病房大楼地下一层核医学科	病人走廊、PET-CT机房（2间）、PET-MRI机房（1间）、SPECT-CT机房（1间）、 $\gamma$ 乳腺相机房（1间）、注射后等候室（4间）及专用卫生间、分装注射室、甲测室、服碘室、贮源室、污物贮存间、运动负荷室、留观室	控制廊、卫生通过间、医生走廊、设备机房
肿瘤病房大楼二楼核素病房区	5间甲癌病房、服碘室、备药备餐室、病人走廊、抢救室/出院检查室、污物间、清洁间	卫生通过间、值班室、护士站、医生办公室

关于关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

1) 控制区防护手段与安全措施

①控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；

②制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

③运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

④在卫生通过间（更衣室）备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

⑤定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

2) 监督区防护手段与安全措施

①以黄线警示监督区的边界；

②在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

③定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

### 10.1.1.2 辐射安全防护及环保设施

#### (1) 肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所

表 10.1-8 地下一层核医学科场所屏蔽设计参数

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
PET-CT 机房（2间）/PET-MRI 机房（1间）	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+6mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
	观察窗	10mmPb 铅玻璃
SPECT-CT 机房（1间）	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+2mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+2mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 4mm 铅板
	观察窗	5mmPb 铅玻璃

γ 乳腺相机房 (1 间)	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+2mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+2mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 4mm 铅板
	观察窗	5mmPb 铅玻璃
分装注射室	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+6mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
	注射台 1	10mmPb
	注射台 2	6mmPb
污物贮存室	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+6mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
贮源室	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+6mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
甲测室/甲测候检室	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+2mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+2mm 防护涂料
	防护门	内衬 4mm 铅板
服碘室	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+6mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
	观察窗	10mmPb 铅玻璃
运动负荷室	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+2mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+2mm 防护涂料
	防护门	内衬 4mm 铅板
注射后 SPECT 等候室 (1 间)	东、南、北三侧墙体	240mm 页岩实心砖+4mmPb 防护涂料
	西侧墙体	370mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
注射后 PET 等候室 1 和 2 (2 间)	东、南、北三侧墙体	240mm 页岩实心砖+4mmPb 防护涂料
	西侧墙体	370mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+8mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
注射后 PET 等候室 3 (1 间)	东、西、北三侧墙体	240mm 页岩实心砖+4mmPb 防护涂料
	南侧墙体	370mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+8mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
PET 留观室 (1 间)	东、西、北三侧墙体	240mm 页岩实心砖+4mmPb 防护涂料
	南侧墙体	370mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+8mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
SPECT 留观室 (1 间)	东、西、北三侧墙体	240mm 页岩实心砖+4mmPb 防护涂料

	南侧墙体	370mm 页岩实心砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
卫生通过间/淋浴室	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+2mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+2mm 防护涂料
	防护门	内衬 4mm 铅板
病人走廊 A	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+2mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+2mm 防护涂料
	防护门	内衬 4mm 铅板
病人走廊 B	东、南、西三侧墙体	240mm 页岩实心砖+2mmPb 防护涂料
	北侧墙体	240mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+2mm 防护涂料
	防护门	内衬 4mm 铅板
医护走廊 A/B	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+2mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+2mm 防护涂料
	防护门	内衬 4mm 铅板
进出口单向门禁	/	内衬 4mm 铅板
注：页岩实心砖密度为 1.65t/m <sup>3</sup> ；防护涂料为硫酸钡水泥涂料，密度不低于 2.79t/m <sup>3</sup> ，1cm 防护涂料为 1mmPb 当量。		

## (2) 肿瘤病房大楼二楼核素病房区

表 10.1-9 肿瘤病房大楼二楼核素病房区用房屏蔽设计参数

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
双人病房 (3间)	四侧墙体	370mm 页岩实心砖+5mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+5mmPb 防护涂料
	地坪	300mm 混凝土+10mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
	观察窗	10mmPb 铅玻璃
单人病房 (2间)	四侧墙体	370mm 页岩实心砖+5mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+5mmPb 防护涂料
	地坪	300mm 混凝土+10mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
	观察窗	10mmPb 铅玻璃
方药、放餐室	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	地坪	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
抢救室/出院检查室	东、南、西三侧墙体	240mm 页岩实心砖+4mmPb 防护涂料
	北侧墙体	240mm 页岩实心砖+8mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	地坪	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
服碘室 (2间)	四周墙体	240mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+6mmPb 防护涂料
	地坪	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料

	防护门	内衬 8mm 铅板
	防护传递窗	10mmPb 铅玻璃
卫生通过间	四周墙体	240mm 页岩实心砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	地坪	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
清洁间	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	地坪	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
污物间	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	地坪	300mm 混凝土+4mmPb 防护涂料
	防护门	内衬 4mm 铅板
出入口禁防护门	防护门	内衬 4mm 铅板
注：“砼”指标准混凝土，密度为 2.35t/m <sup>3</sup> ，页岩实心砖的密度为 1.65t/m <sup>3</sup> 。防护涂料为硫酸钡水泥涂料，密度不低于 2.79t/m <sup>3</sup> ，1cm 防护涂料为 1mmPb 当量。		

### (3) SPECT-CT 及 PET-CT 机房

本项目 SPECT-CT 及 PET-CT 属 III 类射线装置，其机房的屏蔽设计及辐射影响评价见报告表第十一章节。

表 10.1-10 本项 SPECT-CT 及 PET-CT 机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		标准要求		符合性评价
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m <sup>2</sup> )	
SPECT-CT 机房	4.7	40.0	4.5	30	符合
PET-CT 机房	5.5	46.8	4.5	30	符合

表 10.1-11 SPECT-CT 及 PET-CT 机房屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量 (mmPb)	标准要求	是否符合要求
PET-CT 机房 (2 间)	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+6mmPb 防护涂料	7.8	2 (一般工作量) 2.5 (较大工作量)	是
	顶棚	300mm 混凝土+6mmPb 防护涂料	9.8		是
	防护门	内衬 8mm 铅板	8		是
	观察窗	10mmPb 的铅玻璃	10		是
SPECT-CT 机房 (1 间)	四侧墙体	240mm 页岩实心砖+2mmPb 防护涂料	3.8		是
	顶棚	300mm 混凝土+2mmPb 防护涂料	5.8		是
	防护门	内衬 4mm 铅板	4		是
	观察窗	5mmPb 的铅玻璃	5		是

注：混凝土密度：2.35 t/m<sup>3</sup>，实心砖密度：1.65t/m<sup>3</sup>；参考《放射防护实用手册》（济南出版社）第6章外照射的防护表 6.14：150kV 管电压下 80mm 钢筋混凝土折算为 1.0mmPb；130mm 实心砖折算为 1.0mmPb

### 10.1.1.3 辐射安全设施

#### 一、肿瘤地下一侧核医学科工作场所

##### (1) 辐射安全措施

①PET-CT机房、PET-MRI机房和SPECT-CT机房各设置门灯连锁装置 1 套，机房与控制室之间拟设置对讲装置与监视器。

②在PET-CT机房防护门、SPECT-CT机房防护门、注射后候诊室防护门、注射室防护门、服碘室防护门、服碘后等候室防护门、甲功测试防护门、贮源室防护门、污物间防护门、通风橱、衰变桶等处设置电离辐射警告标志；在PET-CT机房、SPECT-CT机房、注射室、服碘室防护门上方安装工作状态指示灯。

③核医学科进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁带药受检者随意进出，严禁无关人员滞留或误入。受检者通道内的相应位置均设置视频监控系统，以对辐射工作场所的情况进行实时监控，及时发现突发情况并及时进行处理。

④医院 <sup>131</sup>I 拟采用自动分碘仪，置于分装注射室内；医院对 <sup>131</sup>I 的自动分装、给药、服药、候诊、甲功测定等全程采取监控措施。<sup>18</sup>F 分装操作在通风橱内进行，通风橱通风速率不小于 1m/s，设独立排风管道；且工作人员穿戴相应的防护用品。

⑤注射后等候室设置患者专用厕所，分装注射室设有清洗池，放射废水直接流向衰变池。给药后受检者在各自给药后等候室内进行候诊严禁串门，等候室设置移动铅屏风，防止患者之间相互照射影响，严禁患者在通道内穿行，以避免与其他受检者之间的交叉照射；受检者的排泄、呕吐物等均由受检者专用厕所排放至衰变池内。

⑥淋浴间和注射后候诊室、留观室的卫生间洗手台均设置为感应式水龙头，受检者专用卫生间的便池拟设为感应式节水座便马桶。

⑦储源保险柜拟实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。

⑧射线装置运行过程中，X射线与空气作用会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体，机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风，排风系统图见附图 8。

##### (2) 防护设备与防护用品

根据《医用X射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，建设单位拟配置的个人防护用品见表 10.1-12。

表 10.1-12 肿瘤病房大楼负一层核医学科工作场所拟配置的个人防护用品表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	通风橱	分装注射室	2 台	40mmPb 和 20mmPb
2	自动分碘仪	分装注射室	1 台	/
3	储源铅罐	分装注射室	2 个	50mmPb
4	铅衰变柜	废物间	1 个	10mmPb
5	脚踏式废物桶	分装注射室、服碘室	4 个	10mmPb
6	全自动分装仪	分装注射室	1 个	/
7	注射器防护套	分装注射室	2 个	20mmPb/5mmPb
8	人员立式注射防护车	分装注射室	1 个	20mmPb
9	PET 转运注射罐	分装注射室	2	20mmPb
10	注射窗口	分装注射室	2 个	10mmPb/6mmPb
11	铅提盒	分装注射室	2 个	10mmPb
12	去污工具组	卫生通过间	1 套	/
13	PET 机房移动式铅屏风	PET 机房	3 个	20mmPb
14	移动式铅屏风	PET 候诊室	5 个	6mmPb
15	SPECT 机房移动式铅屏风	SPECT 机房	1 个	10mmPb
16	移动式铅屏风	SPECT 候诊室	2 个	2mmPb
17	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	PET-CT 机房和 SPECT-CT 机房	6 套	0.5mmPb
18	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	分装注射室	2 套	0.5mmPb
19	工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	/	按需购买	/

表 10.1-13 核医学科拟配置的监测仪器一览表

名称	量程参数	数量 (台/套)
$\alpha/\beta$ 表面污染仪	$\alpha$ : 0~9999cps, 0.03~10 <sup>4</sup> Bq/cm <sup>2</sup> $\beta$ : 0~9999cps, 0.3~10 <sup>4</sup> Bq/cm <sup>2</sup>	1
便携式 X- $\gamma$ 射线巡测仪	剂量当量率: 0.01 $\mu$ Sv/h~300 mSv/h	1
活度计	0~250GBq(6Ci)	2
个人剂量报警仪	剂量当量率: Hp (10) 0.1 $\mu$ Sv/h - 99.99mSv/h	6

本项目核医学科运行期间主要污染物为 X- $\gamma$  射线、 $\beta$  表面污染等，根据项目特点，医院拟配置  $\alpha/\beta$  表面污染仪、便携式 X- $\gamma$  射线巡测仪，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

## 二、肿瘤病房大楼二层核素病房工作场所

### (1) 辐射安全措施

①医院 <sup>131</sup>I 拟采用自动分碘仪，置于服碘室内。

②医院对 <sup>131</sup>I 的自动分装、给药、服药、病人走入病房等全程采取监控措施。

③甲癌病房设置患者专用厕所，废水直接流向衰变池。

④<sup>131</sup>I治疗工作场所出入口、放射性衰变桶表面拟设置符合GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志。

⑤甲癌病房、甲癌病人走廊的监视器拟设置于远程护理站及服碘室内，医护人员全程见识控制区内情况。

⑥患者的被服统一收集到专用被服存放间放置，让放射性物质自行衰变，经检测确认低于限制水平后，方移送到污衣回收间做一般处理。

⑦治疗工作场所设置动力排风装置，并保持良好的通风，排风系统图见附图 8。

## (2) 防护设备与防护用品

肿瘤病房大楼二层核素病房工作场所拟配置的个人防护用品及监测仪器详见表 10.1-14 和表 10.1-15。

表 10.1-14 肿瘤病房大楼二层核素病房工作场所拟配置的个人防护用品表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	通风橱	备药备餐室	1 台	20mmPb
2	铅衰变柜	废物间	1 个	10mmPb
3	脚踏式废物桶	服碘室、甲癌病房	7 个	10mmPb
4	自动分碘仪	备药备餐室	1 个	/
5	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	值班室、护士站	5 套	0.5mmPb
6	工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	/	按需购买	/

表 10.1-15 肿瘤病房大楼二层核素病房工作场所拟配置的监测仪器

名称	量程参数	数量 (台/套)
个人剂量报警仪	剂量当量率: Hp(10)0.1μSv/h - 99.99mSv/h	2
病人内体残留剂量侦测系统	0.0~9999μSv/h	1
α/β 表面污染仪	α: 0~9999cps, 0.03~10 <sup>4</sup> Bq/cm <sup>2</sup> β: 0~9999cps, 0.3~10 <sup>4</sup> Bq/cm <sup>2</sup>	1
便携式 X-γ 射线巡测仪	剂量当量率: 0.01μSv/h~300 mSv/h	1

## 三、放射性药物的存放

本项目核医学科使用的 <sup>18</sup>F、<sup>131</sup>I、<sup>99m</sup>Tc 由供应单位派专人直接送至贮源室，贮源室防护门拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员 24 小时监控；出入口安装摄像头及红外报警系统并入科室和 110 监控系统。

### 环评要求:

(1) 贮源库内不得有人居住或储存易燃易爆和其它危险物品;

(2) 制定严格的安全管理制度，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，有 24 小时的保安监控；

(3) 值班监控：为防止放射性药品的丢失、被盗和被抢，贮源库内设置红外线报警系统；

(4) 消防安全：贮源库内配置干粉灭火器，建筑物耐火等级按 2 级设计。

(5) 防源丢失或失窃：从设施上加强技术防范，如加强监视系统和报警系统建设；从管理上强化反恐意识，在管理制度上加强管理工作，避免辐射源的丢失或失窃；

(6) 辐射屏蔽措施：本项目医用同位素集中暂存于贮源库内。通过采取药物铅罐屏蔽及相应屏蔽厚度的屏蔽墙体、含铅屏蔽门、保险箱等辐射屏蔽措施后，可有效屏蔽  $\gamma$  射线辐射。

#### 四、表面污染控制措施

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

(1) 放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

(2) 操作放射性药物时，须在有负压的通风橱内进行，防止放射性物质飞散；

(3) 放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

(4) 操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

#### 五、人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者/患者及本次评价范围内其他人员。

(1) 辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

①屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备铅防护手套、铅橡胶围裙等个人防护用品，注射器配备注射防护套。SPECT 和 PET 机房内设置移动铅屏风。

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

④本项目核医学所有辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

#### (2) 受检者、其他人员的防护

为减少受检者、其他人员的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

①屏蔽防护：PET-CT 及 SPECT-CT 机房内拟为受检者配备个人防护用品，如铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子等。注射后等候室设置 6mmPb/2mmPb 当量的铅屏风，留观室设置有 240mm 砖墙分隔，以防止病人间相互照射。

②时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

④ 辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。工作场所周围设置明显的警示、隔离措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间，增大人员与辐射场所之间的防护距离。

### 六、操作过程中的防护措施

#### (1) 放射性药品的操作防护

除注射、给药外，其余涉及放射性药物的所有操作均在通风橱内进行，通风橱操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。通风橱底部拟设有 10mmPb 废物收集桶，用于暂时收集放射性废物，装满的收集桶置于污物间。

放射性药物在注射过程中医生均要做好个人防护措施，包括穿戴铅衣、铅帽、铅手套和铅围脖等，均具备 0.5mmPb 当量，注射操作台拟采用 10mm/6mm 铅当量的铅玻璃防护，并使用注射防护手套。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧。病人注射后进入相应的等候室等候。

医院拟采用自动分碘仪对进行给药，工作人员通过视频监视装置远程操作并指导患者服药。

#### (2) 服药和注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性， $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  注射病人与服碘病人要与

陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在候诊室、等候室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封源工作场所，同时要求病人在注射后观察期内及住院期间禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入等候室内专用厕所，最终排入本项目拟建衰变池。

### 七、内照射防护措施

操作非密封型放射性药物时，液体洒落、挥发泄漏造成地面、工作台面、操作人员衣服、手套和空气等污染，污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。

为降低内照射对工作场所内辐射工作人员的影响，本项目要求放射性药物暂存、分装、使用均在通风橱中进行，通风橱通风速率不低于 1m/s。分装注射室设有 SPECT-CT 显像药物、PEC-CT 显像药物通风橱，可以有效降低高活室内空气中的放射性物质浓度。严格规范辐射工作人员工作和生活习惯，禁止在核医学科场所饮食饮水、化妆等；辐射工作人员定期进行培训，严格按照操作规程操作，尽量避免放射性药物撒漏，并经常用湿法清洁台面、地面及设备表面。严格遵守个人卫生制度和安全操作规程，穿戴个人防护用品，如工作服、手套、口罩、帽子、防护眼镜等，防止放射性核素沾染手和体表。辐射工作人员离开核医学科在缓冲间进行必要的表污监测和污染洗消后才能离开。

### 10.1.2 放疗科核技术利用项目

#### 一、场所选址与布局

##### (1) 工作场所布局合理性分析

本项目放疗科拟建 4 间加速器机房（1#~4#机房）呈“一”字型布局在负一层东北侧，后装机房并排布局在 1~4#加速器机房西面，水冷机房、控制室等位于机房南面的迷道外侧。机房选址满足《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中 4.1.1 条“治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端”。放疗科机房场所布局如表 10.1-16 所示。

表 10.1-16 放疗科场所布局情况汇总

机房名称	东面	南面	西面	北面	顶棚	下层
4#机房	过道、室外	控制室、水冷机房、过道	3#机房	过道、室外 土壤层	肿瘤中心出入口（室外地面）	无
3#机房	4#机房	控制室、过道	2#机房			无
2#机房	3#机房	控制室、水冷机房、过道	1#机房			无
1#机房	2#机房	控制室、水冷机房、过道	后装机机房			无
后装机机房	1#机房	控制室、过道	库房、楼顶及预留房间	过道、能源中心	洗衣房	无

5 间机房的工作场所布局详见图 10.1-1。由图可知，5 间机房布局均满足 GBZ/T201.1-20074.2.1 条“治疗装置控制室与治疗机房分离”。加速器机房均满足 4.2.2 条“直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留较大的用室，应尽可能避开有用线束可直接照射到的区域”的要求。加速器机房设计符合性分析见表 10.1-17。

表 10.1-17 机房设计及平面布局符合性分析表

机房名称	《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)的要求	本项目设计情况	符合性
加速器	治疗室选址、场所布局和防护设计应符合 GB18871 的要求，保障职业场所和周围环境安全	本项目加速器机房位于地下负一层拟建放疗科，委托有资质单位进行屏蔽防护设计，选址、场所布局和防护设计均符合 GB18871 的要求	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，其余墙壁按次级防护屏蔽要求设计，辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 要求	本项目加速器机房已委托专业单位进行屏蔽防护设计，防护墙设计均按 GBZ/T201.1 的要求实行	符合
	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不应大于 2.5 $\mu$ Sv/h。	经预测，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均小于 2.5 $\mu$ Sv/h	符合
	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> 。	治疗室有效使用面积均约 65m <sup>2</sup>	符合
	治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器连锁。	拟设置治疗室入口防护门和迷路，防护门与加速器连锁	符合
	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。	加速器 X 射线最大能量为 10MV、18MV，屏蔽设计考虑了中子防护。	符合
	穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果	穿越防护墙的导线、导管设计使其不影响屏蔽防护效果，施工过程严格按照要求施工	符合
	治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备	拟按要求设置	符合
	相关位置（例如治疗室入口上方等）应安装醒目的指示灯和辐射标志	拟在治疗室入口上方等位置安装醒目的指示灯和辐射标志	符合
	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/小时	采用机械通风，设计通风换气次数为每小时 10-15 次。	符合

对对照表 10.1-13 可知，加速器机房防护措施满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)、《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/T201.2-2011) 中有关布局的要求，加速器机房平面布局合理。

对照《后装  $\gamma$  源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2017) 要求，本项目后装机治疗室符合性分析如表 10.1-18 所示。

表 10.1-18 后装机治疗室符合性分析表

GBZ121-2017 防护要求	本项目分析	符合性
治疗室应与准备室、控制室分开设置。治疗室使	本项目治疗室与准备室、控制室分开。	符合

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	治疗室使用面积为 36m <sup>2</sup> 。治疗室被划为控制区，相邻的控制室、防护门外 1m 处被划为监督区。	
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空气每小时交换不小于 4 次	治疗室已设置机械通风装置，其通风换气能力每小时交换 4 次以上。	符合
治疗室入口应采用迷路设计，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。	治疗室入口采用迷路设计，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有工作状态显示。治疗室内入口、内墙等处拟设置急停开关。	符合
治疗室防护门应设置手动开门装置	治疗室防护门拟设置手动开门装置	符合
在控制室与治疗室之间应设监视与对讲设施	拟按要求设置视频监控与对讲设施	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	治疗室防护门在控制室北侧，通过控制室门和视频监控能全面观察通道情况。	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	拟按要求配备辐射监测设备，并具有报警功能	符合
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 2.5μSv/h	经计算预测，治疗室屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h	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	拟配备 1 套固定式 γ 射线探测器，具有报警功能，显示单元设备在控制室	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	拟按要求配备储源容器、长柄镊子等应急设备	符合
治疗室内合适的地方应张贴应急指示	拟在治疗室迷道上张贴应急指示	符合

综上，本项目后装机设计符合《后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2017) 要求。

## (2) 辐射分区管理

为便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

本项目放疗科控制区和监督区划分如下：

控制区：1~4#直线加速器机房、后装机机房内部区域；

监督区：控制室、设备间、机房防护门外过道。

控制区和监督区的划分如图 10.1-1 所示。

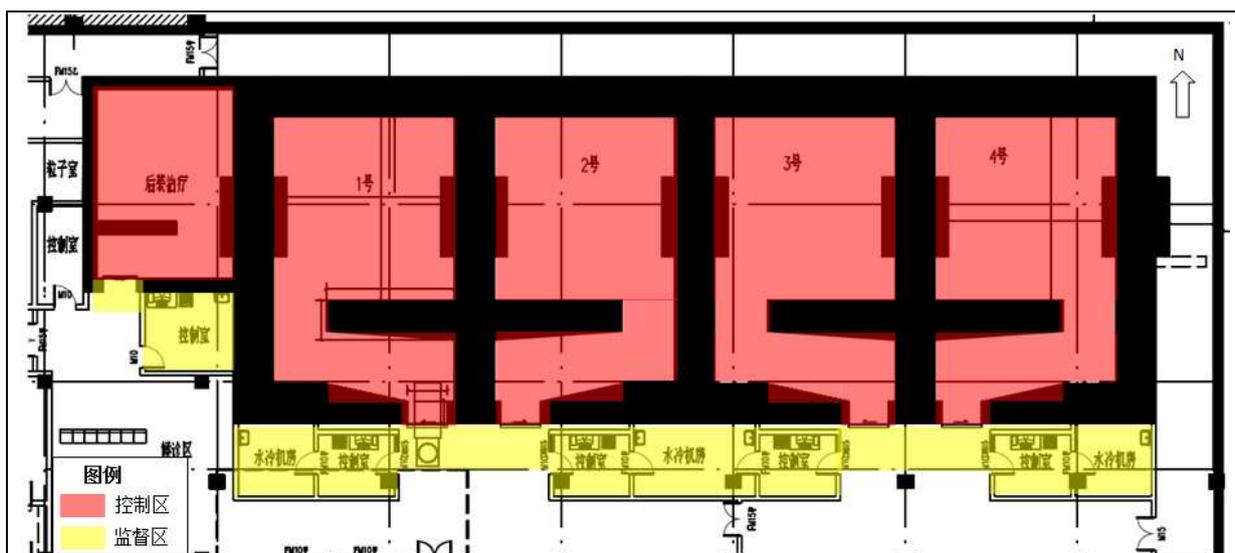


图 10.1-1 放疗科控制区、监督区划分示意图

## 二、辐射屏蔽设计

### (1) 机房墙体屏蔽设计

机房主体采用钢筋混凝土（密度 $\geq 2.35\text{t/m}^3$ ）的结构设计，其中加速器机房东、西、顶棚三面墙体按主屏蔽区设计。辐射屏蔽设计参数详见表 10.1-19，具体设计方案附图 5。

表 10.1-19 放疗科机房辐射屏蔽设计技术参数

机房名称	方位	区域	设计屏蔽参数	
			材料及厚度	宽度
1#~4#机房（加速器机房）	东墙	主屏蔽区	3000mm 混凝土	4500mm
		次屏蔽区	1800mm 混凝土	-
	南墙	迷道内墙	1400~1800 mm 混凝土	-
		迷道外墙	1000~1800mm 混凝土	-
	西墙	主屏蔽区	3000mm 混凝土	4500mm
		次屏蔽区	1800mm 混凝土	-
	北墙	侧墙	1800mm 混凝土	-
	顶棚	主屏蔽区	3000mm 混凝土	4500mm
		次屏蔽区	1800mm 混凝土	-
			1~3#机房防护门	4mmFe+10mm 铅+70mm5%含硼聚乙烯
		4#机房防护门	4mmFe+18mm 铅+100mm5%含硼聚乙烯	-
后装机机房	东墙	加厚区域	3000mm 混凝土	4500mm
		-	600mm 混凝土	-
	南墙	-	600mm 混凝土	-
	西墙	-	600mm 混凝土	-
	北墙	-	600mm 混凝土	-
	顶棚	-	600mm 混凝土	-
		机房防护门	10mm 铅板	-

注：机房墙体和顶棚混凝土密度不小于  $2.35\text{g/cm}^3$ 。

表 11 环境影响预测表明，加速器机房、后装机机房外各关注点辐射剂量率均满足

治疗室屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于  $2.5\mu\text{Sv/h}$  的要求，因此，本项目屏蔽设计基本合理。

### (2) 电缆敷设设计

加速器、后装机治疗室与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下铺设，电缆沟盖板采用 2mm 厚铅板覆盖；电缆从地坑出线后沿着屏蔽墙内侧到达迷路口，在迷路口处采用“U”型路径设计，下沉后穿越迷路外墙到达机房外与电气控制系统连接，通过多次折返的电缆沟设计和下沉地面穿越屏蔽墙的设计，增加了泄露射线的散射次数和衰减，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他所有电、水、气管、物理测试管线铺设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的铅板。电缆沟剖面、盖板及穿墙细节设计见图 10.1-2。

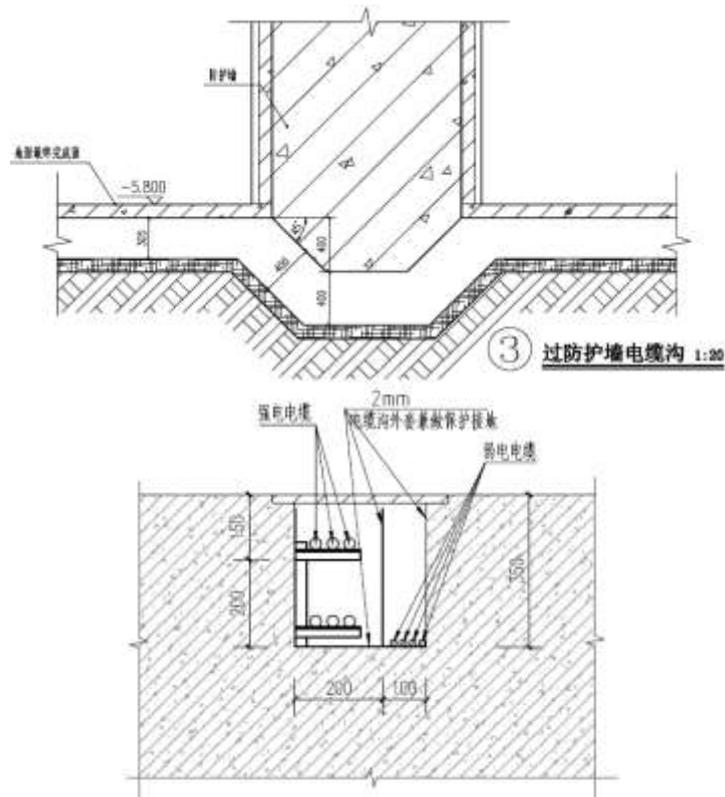


图 10.1-2 电缆沟剖面、盖板及穿墙细节设计

### (3) 治疗室通风设计

根据《电子加速器放射治疗防护要求》（GBZ126-2011），加速器治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/小时。本项目设计采用机械通风换气，设计换气次数为 10-15 次/小时。根据《后装  $\gamma$  源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2017），后装机治疗室通风换气能力应达到治疗期间使空气每小时交换不小于 4 次，本项目后装机治疗室通风换

气为 4-8 次/小时。各机房均设置新风管道和排风管道，新风管道从相应新风机房引出，且从防护门上方以 45° 穿墙进入机房，沿着迷路走向到达机房内治疗区。排风管的风口设计在机房中进风管道的出气口对角区域。排风口设在距离地面约 300mm 位置。排风管采用“U”型设计穿过机房屏蔽墙后连接机房排风井。

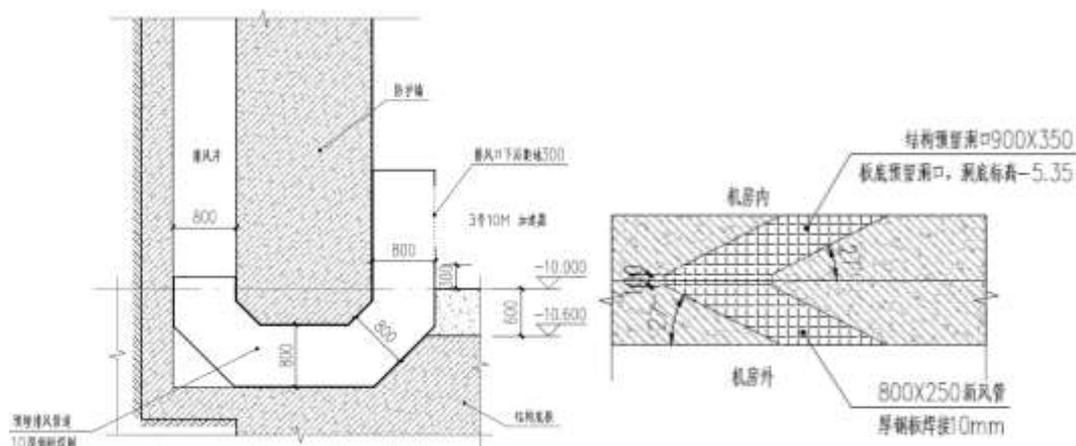


图 10.1-3 通风管道、进风口穿过屏蔽墙的设计方案图

### 三、设备固有防护措施

(1) 视频监控系统、对讲系统。治疗室和控制室之间安装有监控、对讲系统，每个治疗室内至少设 2 个摄像头、迷道内设 1 个摄像头，能够保证机房内无死角监控，显示屏设在控制室内，操作人员能够实时监视治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师在操作室观察患者在治疗室内的状况、及时处理意外情况。

(2) 控制台上的显示装置可显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

(3) 运动使能开关。为防止工作人员误操作造成事故，在手控盒两侧设置运动使能开关，只有当左右两侧的开关同时按下时才能对机器运动部件进行启动和控制。

(4) 急停开关。治疗床侧和控制室内各设急停开关 1 个，另在加速器机房治疗室内主射线照射范围之外的墙体及迷道均设置 4 个急停开关，设置于便于操作的位置、并明显指示，发现异常时，按下此开关，可立即切断加速器主电源、停止出束。

(5) 剂量测试系统。在控制系统主菜单中有“剂量系统测试”部分，可以随时了解病人剂量情况；同时通过机房内监测探头，也可了解机房内剂量率情况。

(6) 密码设置。加速器、后装机设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

(7) 病人剂量监测与治疗控制的安全联锁。为保证病人治疗剂量准确，不致出现

超剂量照射，系统设置了治疗剂量、治疗时间和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定限值时，联锁装置会立即启动，以停止照射。

(8) 门机安全联锁和门灯联锁。机房门、机房门上方指示灯与控制台控制开关实现联锁，机房门关闭、指示灯亮，控制台方能启动出束；门开、指示灯灭，加速器无法启动出束，后装机无法出源，装置启动时警示灯保持常亮。

#### **四、其他防护措施**

(1) 为每个辐射工作场所配备个人剂量报警仪 1 台，为每名辐射工作人员配备个人剂量计，工作人员在工作期间应正确佩戴个人剂量计，在进入机房时应持个人剂量报警仪；在机房迷道内、防护门内侧设置紧急开门装置，保证在出现紧急情况时，机房内人员能够手动打开机房防护门；防护门设防夹措施。

(2) 建设单位在每个加速器工作场所配备 1 套固定式剂量监测系统，在治疗室内设置固定式辐射剂量监测仪探头，该监测系统能够显示机房内实时剂量及累积剂量，并有报警功能，其显示单元设置在控制室内；

(3) 放疗科配备 1 台便携式 X- $\gamma$  射线巡测仪；

(4) 每间控制室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

(5) 每间机房应配备成人、儿童铅衣、铅帽、围脖、三角巾等个人防护用品与辅助防护设施至少各 1 套，降低患者非受照部位的照射剂量。

(6) 1#~4#机房顶棚设计为肿瘤中心出入口，建议在路口设置警示牌，告诫行人勿长时间停留；机房受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

(7) 在机房墙体合适位置和防护门上张贴电离辐射警示标识，在控制区墙体合适位置张贴警示标识。

### **10.1.3 介入中心核技术利用项目**

#### **一、场所选址与布局**

##### **(1) 工作场所布局合理性分析**

医院介入中心位于门诊医技楼 4 层西北区，其中 1~4#DSA 机房竖向并排布局在天井西侧，5#DSA 布局在天井东侧。介入中心设置有控制廊，医护走廊、患者走廊、污物间、污洗间、报告区、无菌品库等区域。场所功能齐全，人流、物流分开，医护通道和患者通道分开，布局合理可行。介入中心平面布置如图 10.1-4 所示。

##### **(2) 辐射分区管理**

为便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全

基本标准》(GB18871-2002)的要求在放射工作场所内划出控制区和监督区。

控制区：1#~5#DSA 机房内部区域；

监督区：1~4#DSA 机房控制廊、医护走廊、控制间、设备间、报告区、污洗间、5#DSA 机房控制间。

控制区和监督区的划分如图 10.1-4 所示。

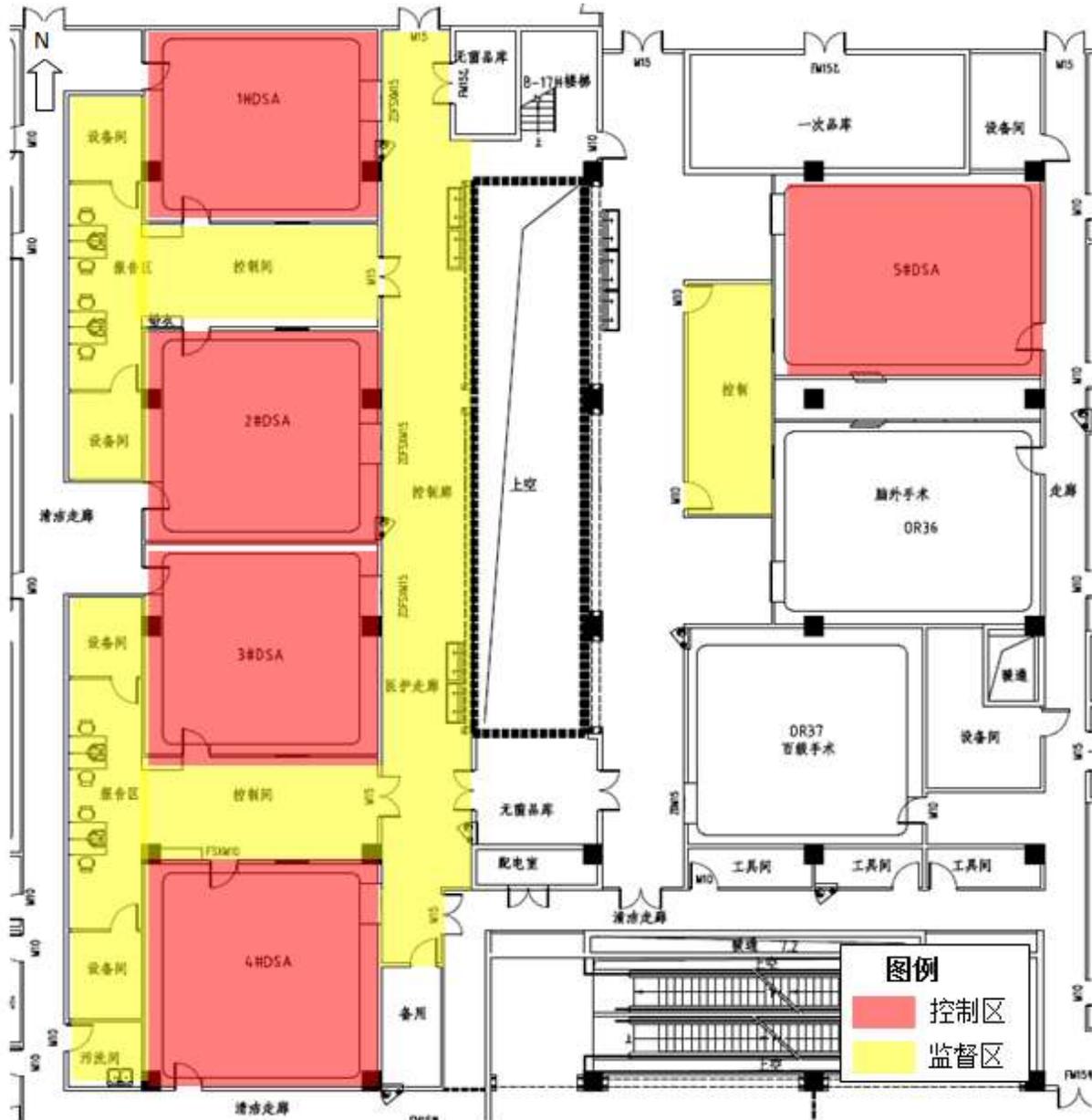


图 10.1-4 介入中心两区划分示意图

## 二、辐射屏蔽设计

### (1) 机房墙体屏蔽设计

依据医院提供的设计方案， DSA 机房的墙体屏蔽设计如表 10.1-20 所示。本项目 DSA 的屏蔽情况、机房最小有效使用面积及最小单边长度与《医用 X 射线诊断放射防

护要求》（GBZ130-2013）中的要求比较结果如表 10.1-21、表 10.1-22。

**表 10.1-20 本项目 DSA 机房拟采取屏蔽防护措施分析**

机房名称	屏蔽防护体	屏蔽防护设计厚度	总铅当量	标准要求	评价
1~5#DSA 机房 (5 间)	四周墙体	轻钢龙骨架+4mm 铅板	4mmPb	2mmPb	符合
	顶棚	10cm 厚混凝土+3mm 铅板	4mmPb	2mmPb	符合
	地板	10cm 混凝土+3mm 铅当量的防护涂料	4mmPb	2mmPb	符合
	防护门	内衬 4mm 厚铅板的防护门	4mmPb	2mmPb	符合
	观察窗	5mm 铅当量的铅玻璃	5mmPb	2mmPb	符合

注：混凝土密度取 2.35g/cm<sup>3</sup>、实心砖密度取 1.65g/cm<sup>3</sup> 核算等效屏蔽厚度。

**表 10.1-21 本项目 DSA 机房规格与标准对照表**

机房名称	规格	最小有效使用面积/最小单边长	标准要求		评价
			最小有效使用面积	最小单边长	
DSA 机房 (1#)	7.2m×6.3m	45.36m <sup>2</sup> /6.3m	20m <sup>2</sup>	3.5m	符合
DSA 机房 (2#)	7.2m×7.0m	50.40m <sup>2</sup> /7.0m	20m <sup>2</sup>	3.5m	符合
DSA 机房 (3#)	7.2m×7.0m	50.40m <sup>2</sup> /7.0m	20m <sup>2</sup>	3.5m	符合
DSA 机房 (4#)	7.2m×7.6m	54.72m <sup>2</sup> /7.2m	20m <sup>2</sup>	3.5m	符合
DSA 机房 (5#)	9.1m×6.6m	60.06m <sup>2</sup> /6.6m	20m <sup>2</sup>	3.5m	符合

通过表 10.1-20、表 10.1-21 可知，本项目 DSA 机房屏蔽防护、面积、最小单边长度均满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中的相关要求。

(2) 其他防护措施

**表 10.1-22 本项目 DSA 机房其他辐射防护措施分析**

项目	标准要求	本项目设计方案	是否符合
机房通风	机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。	DSA 机房设计排风装置，保证通风状况良好。	符合
机房内布局	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。	DSA 机房建设时避免有用线束直接照射管线口；机房内未设置与诊断工作无关的设施，保持机房内整洁、不堆放杂物。	符合
警示系统	机房门外应有电离辐射标志、辐射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句。	建设单位拟在机房外墙上张贴辐射防护注意事项，机房门外设置电离辐射标志，在机房门上方设置工作状态指示灯、灯箱或灯箱下方设置警示语句。	符合
安全联锁装置	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。	DSA 机房受检者通道门设联锁装置，保证工作状态指示灯与防护门实现联锁功能。	符合
候诊区	不应在机房内候诊。	设有专用的 DSA 候诊区，未在机房内候诊。	符合

医院拟采取的安全联锁装置与警示系统符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》

(GBZ130-2013)的要求。

(3) 个人防护用品和辅助防护设施

医院计划为 DSA 工作人员、患者和受检者配备相应的个人防护用品和辅助防护设施，具体配置情况及与标准要求对照情况见表 10.1-23。

表 10.1-23 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

场所类型	人员类型	GBZ130-2013 要求		本项目拟配置情况		是否符合
		个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施	
DSA 机房 (5 间)	工作人员	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜 选配：铅橡胶手套	铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、床侧防护屏 选配：移动铅防护屏风	每间机房：铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜，数量视工作人员数而定	每间机房：铅悬挂防护屏、铅防护帘、床侧防护帘、移动铅防护屏风各 1 件	符合
	患者和受检者	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具	—	每间机房：铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、阴影屏蔽器具各 1 件	—	符合
注：“—”表示不需要；个人防护用品防护当量不低于 0.5mmPb。						

医院为 DSA 项目工作人员、患者和受检者配置的个人防护用品和辅助防护设施，全部新购，防护用品的种类、数量、防护厚度须按照《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)的要求执行。

## 10.2 三废的治理

### 10.2.1 核医学

核医学工作场所使用非密封性同位素过程中会产生含放射性固废、放射性废水和放射性废气，医院拟采取以下“三废”治理措施。

#### (一) 放射性废水

本项目核医学工作场所工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时可能会有带有微量放射性的废液以及患者冲洗排便用水。肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所和二层核素病房场所产生的放射性废水均排放至医院肿瘤病房大楼北侧绿化带地下拟设置的衰变池，衰变池埋地设置。衰变池由四个 16mm 厚玻璃钢水箱构成，配置动力及自动运行控制系统，可实现全自动或手动两种运行控制方

式。待十个以上半衰期后放射性水平降至豁免值以下进行排放，排放限值按照一次不超过  $1ALI_{min}$ ，一个月内累计不超过  $10ALI_{min}$  值，加以严格控制。

### 1、核医学放射性废水收集管线

医院核医学科产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入生物降解池，废水经生物降解后排入衰变池。衰变后的废水经检测达标后排入医院污水处理系统。核医学废水处理流程示意图见图 10.2-1。

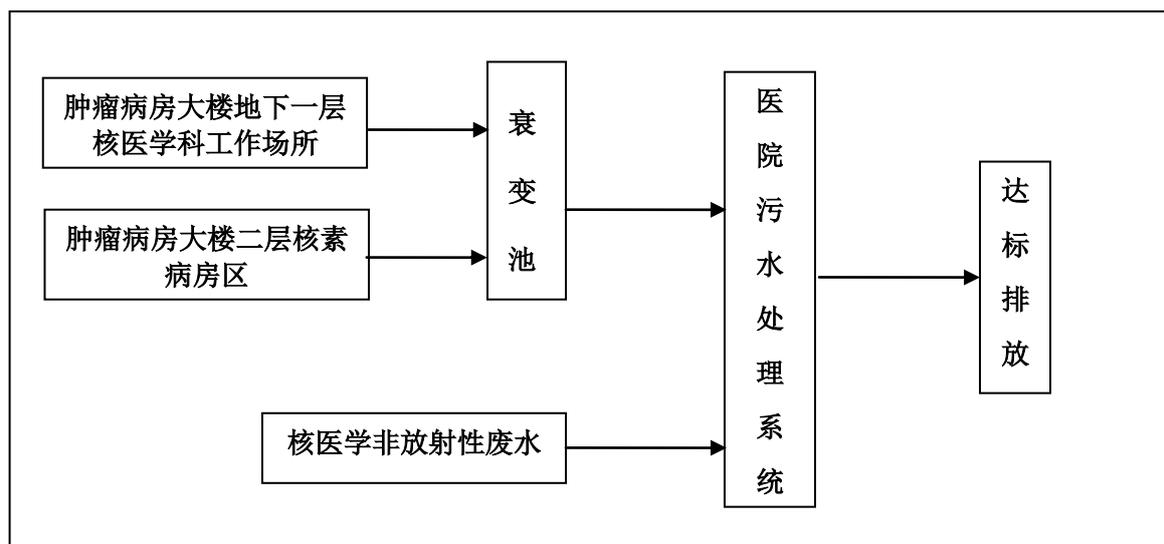


图 10.2-1 核医学废水处理流程示意图

所有连接放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能。本项目放射性废水管道拟设置于核医学地下一层地面以下，该层地面拟采用 20cm 混凝土浇筑；由集水井排至衰变池的管道拟采用镀锌钢管并用 6mm 厚铅板进行屏蔽防护。

### 2、衰变池设计

衰变池位于医院肿瘤病房大楼北侧绿化带下方（埋地铺设），共设四个相同体积的 16mm 厚玻璃钢水箱，每个有效容积为  $70m^3$ ，进水口设置有生物降解池，废水出口设置有自动取样监测装置。整个衰变组合池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，进水管上设电磁阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时先关闭第二、三、四池进水管上电磁阀，打开第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第一池；待第一池达到设计液位后，打开第二池进水管上的电磁阀，关闭第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第二池；按照同样的操作方法，使废水依次进入第三、四池；待第四池达到设计液位后，关闭第四池进水管上的电磁阀，打开第一池潜水泵，将经过衰变后的废水排入医院污水管网。在衰变池排放出口设置自动采样监测口和自动监测装置（自动监测辐射剂量率和比活度），任意一衰变池经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后，方可排入医院污水管网，

最后进入院区的总废水处理站，经处理达标后排放。四个衰变池按照上述程序，轮流反复交替使用。衰变池设计图如图 10.2-2 所示。

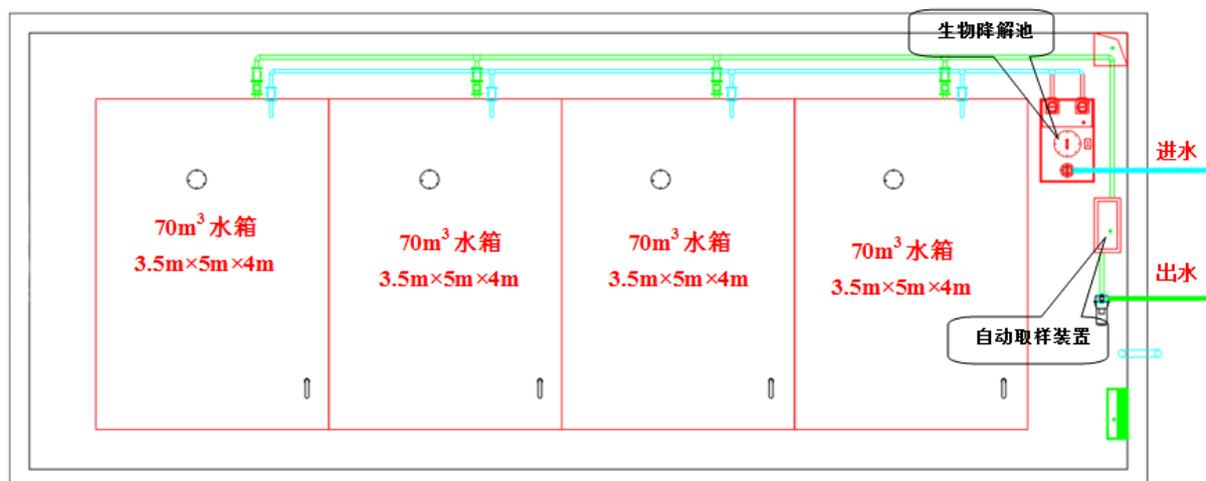


图 10.2-2 核医学放射性废水衰变池结构示意图

衰变池进水管上的电磁阀和衰变池排水泵采用PLC可编程控制器自动控制。衰变池组的自动化控制系统除能自动控制电磁阀开关及自动启停排水泵外，还能实时监控池内液位状态，水位超过设定正常水位能自动报警，各衰变池的液位、衰变时间自动显示在电脑的显示屏和控制柜的文本显示器上，并可随时查阅或打印当前和历史的相关记录。

### 3、环评要求

(1) 放射性衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施。

(2) 规定患者治疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。

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

#### (二) 放射性废气

本项目肿瘤病房大楼负一层核医学科工作场所排风井位于核医学用房东侧和西侧。排风管道共分为三只，各机房、注射后等候室、服碘室管线向东延伸至东侧排风井至肿瘤病房大楼楼顶排放。分装注射室、贮源室、留观室及办公室等场所排风向西延伸由西侧排风井至肿瘤病房大楼楼顶排放。分装注射室通风橱单独设有排风管道，由西侧排风井排至楼顶排放。地上二层核素病房工作场所1支排风管道连接5间甲癌病房、服碘室、抢救室/出院检查室、备药备餐室等，排风管线向北延伸由肿瘤病房大楼东北角排风井至楼顶排放。通风管道布设如附图8所示。

核医学科产生的废气经由排风井排至医院肿瘤病房大楼（10层、45.3m）楼顶1.5米

以上，周围50m范围内无遮挡物。各排风管内保持负压，拟安装防回流装置，并拟在风机出风段设活性炭高效过滤器，活性炭高效过滤器对放射性气溶胶吸附效率不小于90%。所使用的活性炭高效过滤器需定期更换，更换下来的过滤器应按放射性固体废物进行处理。

本项目放射性废水的集水池、生物降解槽拟设置专用的通风管道，废气经由通风管道接入核医学科的通排风口，并统一经由活性炭高效过滤器处理后排放。

### **（三）放射性固废**

本项目核医学工作场所工作人员操作过程产生的服药杯子、注射器、棉棒、一次性卫生用品和垫料等放射性废弃物。肿瘤病房大楼负一层核医学科工作场所及二层核素病房工作场所均设有废物贮存间及废物收集铅桶，医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所铅桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内，装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于污物贮存间的铅衰变暂存容器，让放射性物质自行衰变，待十个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平（GBZ133-2009附录B）后，按照医疗废物处置。活性炭高效过滤器需定期更换，更换下来的过滤器应按放射性固体废物进行处理。

环评要求：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固体废物采用先分类收集在各自相关工作场所的专用废物桶内，再将废物桶内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放到废物间内，集中收储一段时间后（视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的“放射性固体废物贮存单位应当建立放射性固体废物贮存情况记录档案，如实完整地记录贮存的放射性固体废物的来源、数量、特征、贮存位置、清洁解控、送交处置等与贮存活动有关的事项”等相关规定。

## **10.2.2 放疗科**

### **（一）废气**

加速器运行时，射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体；当

X射线的能量超过 $(\gamma, n)$ 反应的阈能量时，中子活化作用使治疗室空气中产生 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 等放射性气体，其衰变过程中产生 $\beta^+$ 射线。针对上述有害气体，本项目加速器治疗室设计采用机械通风，换气次数分别为每小时不小于10次。

后装机运行时，射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体；针对上述有害气体，本项目后装机治疗室设计采用机械通风，换气次数分别为每小时不小于4次。

## **(二) 循环冷却水**

针对加速器设备中使用的内循环冷却水可能产生的感生放射性。本项目设计时循环水系统尽量避开可能使工作人员受到照射的地方。冷却水中被活化形成的放射性核素 $^{15}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为2.1min和7.3s，半衰期很短，且产生量很少，采取放置一定的时间使其活度衰减到较低水平的方法。

## **(三) 放射性固体废物**

### **(1) 废树脂、废靶件**

根据医院提供的资料，被污染的树脂及靶件将全部由生产厂家负责回收。

### **(2) 废放射源**

铱-192放射源使用1.5个半衰期后即需更换，针对更换掉的废源，医院应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第三十八条规定执行，与放射源生产单位或原出口方签订废旧放射源返回合同，在放射源闲置或者废弃后3个月内将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。确实无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。

另外，医院应当在废旧放射源交回、返回或者送交活动完成之日起20日内到浙江省生态环境厅备案。

## **10.2.3 介入中心**

DSA使用过程中无放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生；因X射线对空气的电离产生的臭氧和氮氧化物，医院拟根据《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）标准要求，机房内设置动力排风装置，并保持良好的通风。

**表 11 环境影响分析**

**11.1 建设阶段对环境的影响**

**11.1.1 施工期的环境影响分析**

衢州中心医院主体工程建设已委托浙江仁欣环科院有限责任公司编制了《衢州中心医院（四省边际中心医院）项目环境影响报告书》，衢州市环保局以衢环建[2018]17 号进行了批复。报告书中施工期环境影响评价已包含本项目拟建的核医学科、放疗科及介入科等土建、装修期间的环境影响，因此，本次评价不再分析本项目机房建设施工期的影响，有关施工期影响详见医院主体工程报告书。

**11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析**

本环评要求设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

**11.2 运行阶段对环境的影响**

**11.2.1 核医学刻**

**11.2.1.1 肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所辐射环境影响分析**

**1、治疗人数及使用量**

PET-CT/PET-MRI:  $^{18}\text{F}$ ，检查 60 人次/天，15000 人次/年，每人使用的核素平均活度为  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}(10\text{mCi})$ 。一天分两次送药。

SPECT-CT:  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，检查 30 人次/天，7500 人次/年，每人使用的核素平均活度为  $9.25 \times 10^8 \text{Bq}(25\text{mCi})$ ，一天分两次送药； $^{131}\text{I}$ ，检查 2 人次/天，500 人次/年，每人使用的核素平均活度为  $1.85 \times 10^8 \text{Bq}(5\text{mCi})$ 。

乳腺 $\gamma$ 相机:  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，检查 5 人次/天，1250 人次/年，每人使用的核素平均活度为  $1.48 \times 10^8 \text{Bq}(4\text{mCi})$ 。

甲亢治疗:  $^{131}\text{I}$ ，治疗 10 人/天，2500 人次/年，每人使用的核素平均活度为  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}(10\text{mCi})$ 。

甲功能测定： $^{131}\text{I}$ ，测定 10 人/天，2500 人次/年，每人使用的核素平均活度为  $3.70 \times 10^5 \text{Bq}(10\mu\text{Ci})$ 。

骨转移癌治疗： $^{89}\text{Sr}$ ，治疗 5 人/天，1250 人次每年，每人使用的核素平均活度为  $1.48 \times 10^8 \text{Bq}(4\text{mCi})$ ； $^{153}\text{Sm}$ ，治疗 5 人/天，1250 人次/年，每人使用的核素平均活度为  $1.85 \times 10^9 \text{Bq}(50\text{mCi})$ 。

## 2、计算相关参数

由《辐射防护手册》第三分册查出铅、混凝土、空心砖对  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$  射线半值层见表 11.2-1。

表 11.2-1 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	$^{18}\text{F}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$^{131}\text{I}$
铅半值层厚度 HVL	5.7mm	0.7mm	3.0mm
混凝土半值层厚度 HVL( $\rho=2.35\text{t/m}^3$ )	6.4cm	3.3cm	5.5cm
实心砖半值层厚度 HVL( $\rho=1.65\text{t/m}^3$ )	10.1cm	4.9cm	8.4cm
照射量常数 $\Gamma$ ( $\text{R cm}^2/(\text{h mCi})$ )	5.7	0.62	2.2

注： $\Gamma$  依据《 $\gamma$ 射线屏蔽参数手册》（原子能出版社，1976）查表得到。

公式参考《辐射防护技术与管理》第一卷、《辐射源室屏蔽设计与评价》，辐射剂量率估算公式为：

$$Dr = f K^{-1} A \Gamma / R^2 \quad (\text{式 } 11.2-1)$$

式中：

$Dr$ —— $\gamma$  剂量率，Gy/h；

$f$ ——转换系数  $8.73 \times 10^{-3} \text{Gy/R}$ ；

$K^{-1}$ ——屏蔽减弱系数，无量纲；

$A$ ——放射源的预期最大放射性活度，Ci；

$\Gamma$ ——空气吸收剂量率常数， $\text{R m}^2/(\text{h Ci})$ ；

$R$ ——距放射源的距离，m。

$$K^{-1} = 2^{-(h/HVL)} \quad (\text{式 } 11.2-2)$$

式中：

$K^{-1}$ ——屏蔽减弱系数，无量纲；

$h$ ——屏蔽层的厚度，mm；

$HVL$ ——半值层厚度，mm。

居留因子参照《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）选取，具体数值见表11.2-2。

表 11.2-2 停留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	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、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗室房门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

### 3、工作场所辐射水平分析及预测

#### (1) 贮源室及污物间

项目使用的核素  $^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  和  $^{153}\text{Sm}$ ，医院根据与病人预约情况向药物供应商订货，由药物供应商将药物放置于铅罐，直接运输至贮源室待用。放射药物置于铅罐内再放入贮源室内。贮源室四侧墙体为 240mm 实心砖+6mmPb 防护涂料，顶棚为 300mm 混凝土+6mmPb 防护涂料，防护门内衬 8mm 铅板，放射性药物在贮源室暂存期间对周围辐射环境影响很小。

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的 1% 计，放射性固废暂存于污物间铅衰变暂存容器，污物间四侧墙体为 240mm 实心砖+6mmPb 防护涂料、顶棚为 300mm 混凝土+6mmPb 防护涂料，防护门内衬 8mm 铅板，放射性固废在污物间暂存衰变期间对周围辐射环境影响很小。

#### (2) 分装注射室

医护人员给药前，将放射性药物从贮源室连同铅罐拿到分装注射室，放置于通风橱内，给药前的相关操作均在通风橱内进行。所用核素  $^{18}\text{F}$  由自动分装装置分装， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  和  $^{153}\text{Sm}$  由药物供应商按单人注射量分装后放入注射器防护套内，注射前医护人员在 20mmPb 的通风橱内直接从铅罐内拿出带有防护套的注射器，并穿戴有 0.5mmPb 防护衣。

$^{18}\text{F}$ 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  和  $^{153}\text{Sm}$  注射时，药物置于注射器防护套内，分别在 10mmPb 和 6mmPb 的注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb 防护衣。

所用核素  $^{131}\text{I}$  给药前医护人员将存有药物的铅罐从 40mmPb 的通风橱拿出，置于碘自动分装仪内。工作人员在分装注射室远程操作，病人在服碘室可直接拿取盛有分装好

的药液的一次性杯子，甲亢病人服药后穿过铅门到等候室观察，显像病人服药后穿过铅门到SPECT-CT候检室等候，全过程进行严格监控。在药物分装和病人服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

### (3) 等候室及服碘室

根据医院提供的资料，本项目注射后等候室共有 4 间，每间等候室内设置 2 张病床，用防护屏风隔开(PET等候室为 6mm铅当量,SPECT等候室为 2mmPb)。PET-CT/PET-MRI 每次仅能扫描一个病人，病人注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$  (10mCi)，偏保守的角度仍按单个病人  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$  (10mCi) 点源计算，PET-CT 注射后等候室按 2 个病人，则PET注射后等候室源强总活度为： $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$ (20mCi)。

SPECT-CT每次仅能扫描一个病人， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描病人注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于  $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$  (25mCi)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，偏保守的角度仍按单个病人  $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$  (25mCi)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 点源计算； $^{131}\text{I}$ 扫描病人服用药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于  $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$  (5mCi)，偏保守的角度仍按单个病人  $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$  (5mCi) 点源计算。SPECT-CT注射后等候室按 2 个  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描病人或 2 个  $^{131}\text{I}$ 扫描病人同时注射后等待，单个病人注射  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为  $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$  (25mCi)，单个病人服用  $^{131}\text{I}$ 为  $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$  (5mCi)，则SPECT-CT注射后等候室源强总活度为： $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ (50mCi)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 或  $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)  $^{131}\text{I}$ 。

甲亢服碘后可在留观室留观，留观室设置 2 张病椅，病椅均匀分布，设置砖墙分隔，偏保守角度，等候室按照 2 个甲亢病人进行估算。病人服用药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$  (10mCi)，偏保守的角度仍按单个病人  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$  (10mCi) 点源计算，则等候室源强总活度为： $7.40 \times 10^8 \text{Bq}$  (20 mCi)。

根据医院提供的资料，甲功测定  $^{131}\text{I}$  用量较小，单个病人最大用量仅为  $10 \mu\text{Ci}$ ，对环境影响较小。因此，对于  $^{131}\text{I}$  的辐射影响分析，只考虑甲亢治疗和 SPECT-CT 扫描，不考虑甲功测定。

服碘室每次控制 1 个病人服碘，则服碘室源强为  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$  (10mCi)。

### (4) 机房摆位人员

摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 当量的防护衣，在防护屏风 (PET-CT 机房为 20 mm 铅当量，SPECT-CT 机房 10mm 铅当量) 后进行摆位工作，按身体距离病人约 50cm 进行估算。

### (5) 病人走廊

病人走廊可能存在使用  $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{18}\text{F}$  的患者，以照射量常数及半值层厚度最大的  $^{18}\text{F}$  进行估算。注射  $^{18}\text{F}$  的患者病人注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$  ( $10\text{mCi}$ )，偏保守的角度仍按单个病人  $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$  ( $10\text{mCi}$ ) 点源计算。

根据式 11-1，式 11-2，肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所辐射剂量率计算结果见表 11.2-3，关注点位置见图 11.2-1。

表 11.2-3 地下一层核医学科工作场所辐射剂量率计算结果

关注点位编号	关注点位置	受照者类型	源强	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	关注点辐射水平 $\mu\text{Gy/h}$	
1#	分装注射室通风橱取药位	职业照射	$^{18}\text{F}$ 300mCi	0.5	50mmPb铅罐 +40mmPb通风橱 +0.5mmPb铅衣	0.099	
			$^{99m}\text{Tc}$ 395mCi	0.5	20mmPb铅罐 +20mmPb通风橱 +0.5mmPb铅衣	$3.28 \times 10^{-15}$	
			$^{131}\text{I}$ 110mCi	0.5	40mmPb铅罐 +20mmPb通风橱 +0.5mmPb铅衣	$7.18 \times 10^{-4}$	
2#	分装注射室 PET-CT 注射位	职业照射	$^{18}\text{F}$ 10mCi	0.5	0.5mmPb铅衣 +10mmPb注射窗 +20mmPb防护套	4.88	
3#	分装注射室 SPECT-CT 注射位	职业照射	$^{99m}\text{Tc}$ 25mCi	0.5	0.5mmPb防护衣 +6mmPb注射窗 +5mmPb防护套	$6.14 \times 10^{-4}$	
4#	分装注射室供碘位	职业照射	$^{131}\text{I}$ 10mCi	1.3	240mm实心砖 +6mmPb防护涂料 +0.5mmPb铅衣	0.349	
					10mmPb铅玻璃 +0.5mmPb铅衣	1.00	
5#	贮源室四周防护墙外 30cm处	职业照射	$^{18}\text{F}$ 300mCi	2.7	50mmPb铅罐 +6mmPb防护涂料 +240mm实心砖	0.044	0.044
			$^{99m}\text{Tc}$ 395mCi	2.7	20mmPb铅罐 +6mmPb防护涂料 +240mm实心砖	$6.48 \times 10^{-12}$	
			$^{131}\text{I}$ 110mCi	2.7	40mmPb铅罐 +6mmPb防护涂料 +240mm实心砖	$9.69 \times 10^{-5}$	
6#	贮源室东侧防护门外 30cm处	职业照射	$^{18}\text{F}$ 300mCi	2.7	50mmPb铅罐 +8mmPb防护门	0.177	0.177
			$^{99m}\text{Tc}$ 395mCi	2.7	20mmPb铅罐 +8mmPb防护门	$6.48 \times 10^{-11}$	
			$^{131}\text{I}$ 110mCi	2.7	40mmPb铅罐 +8mmPb防护门	$4.42 \times 10^{-4}$	

7#	贮源室顶棚 100cm处	公众 照射	<sup>18</sup> F 300mCi	5.1	50mmPb铅罐 +300mm混凝土 +6mmPb防护涂料	2.46×10 <sup>-3</sup>	2.46 ×10 <sup>-3</sup>
			<sup>99m</sup> Tc 395 mCi	5.1	20mmPb铅罐 +300mm混凝土 +6mmPb防护涂料	9.93×10 <sup>-14</sup>	
			<sup>131</sup> I 110mCi	5.1	40mmPb铅罐 +300mm混凝土 +6mmPb防护涂料	4.49×10 <sup>-6</sup>	
8#	SPECT等候 室西侧墙体 外 30cm处	公众照 射	<sup>99m</sup> Tc 50mCi	4.5	370mm实心砖 +6mmPb防护涂料	1.87×10 <sup>-5</sup>	
			<sup>131</sup> I 20mCi	4.5		0.022	
9#	SPECT等候 室顶棚 100cm处	公众 照射	<sup>99m</sup> Tc 50mCi	5.1	300mm混凝土 +4mmPb防护涂料	3.63×10 <sup>-5</sup>	
			<sup>131</sup> I 20mCi	5.1		0.013	
10#	SPECT机房 防护门外 30cm处	职业 照射	<sup>99m</sup> Tc 25mCi	4.7	4mm铅板	0.012	
			<sup>131</sup> I 10mCi	4.7		0.345	
11#	SPECT机房 操作位	职业 照射	<sup>99m</sup> Tc 25mCi	4.7	5mmPb铅玻璃	4.33×10 <sup>-3</sup>	
			<sup>131</sup> I 10mCi	4.7		0.274	
12#	SPECT机房 东侧墙体外 30cm处	职业 照射	<sup>99m</sup> Tc 25mCi	4.7	240mm实心砖 +2mmPb防护涂料	2.84×10 <sup>-3</sup>	
			<sup>131</sup> I 10mCi	4.7		0.076	
13#	SPECT机房 北侧墙体外 30cm处	职业 照射	<sup>99m</sup> Tc 25mCi	2.8	240mm实心砖 +2mmPb防护涂料	7.99×10 <sup>-3</sup>	
			<sup>131</sup> I 10mCi	2.8		0.213	
14#	SPECT机房 医生摆位处	职业 照射	<sup>99m</sup> Tc 25mCi	0.5	0.5mmPb铅衣 +10mmPb铅屏风	1.65×10 <sup>-3</sup>	
			<sup>131</sup> I 10mCi	0.5		6.79	
15#	SPECT机房 顶棚 100cm 处	公众 照射	<sup>99m</sup> Tc 25mCi	5.1	300mm混凝土 +2mm铅板	1.21×10 <sup>-3</sup>	
			<sup>131</sup> I 10mCi	5.1		0.011	
16#	PET等候室 西侧墙体外 30cm处	公众照 射	<sup>18</sup> F 20mCi	4.5	370mm实心砖 +6mmPb防护涂料	0.187	
17#	PET等候室 顶棚 100cm 处	公众 照射	<sup>18</sup> F 20mCi	5.1	300mm混凝土 +8mmPb防护涂料	0.056	
18#	PET机房东 侧墙体外 30cm处	职业 照射	<sup>18</sup> F 10mCi	4.7	240mm实心砖 +6mmPb防护涂料	0.209	
19#	PET控制廊 操作位	职业 照射	<sup>18</sup> F 10mCi	4.7	10mmPb铅玻璃	0.668	

20#	PET机房防护门外 30cm 处	职业照射	<sup>18</sup> F 10mCi	4.7	8mm铅门	0.929
21#	PET机房医生摆位处	职业照射	<sup>18</sup> F 10mCi	0.5	20mm铅屏风 +0.5mmPb铅衣	16.50
22#	PET-CT机房顶棚 30cm处	公众照射	<sup>18</sup> F 10mCi	5.1	300mm混凝土 +6mmPb防护涂料	0.036
23#	PET-MR机房南侧墙体 外 30cm处	职业照射	<sup>18</sup> F 10mCi	3.8	240mm实心砖 +6mmPb防护涂料	0.320
24#	乳腺γ相机房摆位处	职业照射	<sup>99m</sup> Tc 4mCi	0.5	0.5mmPb铅衣	5.28
25#	乳腺γ相机控制室操作位	职业照射	<sup>99m</sup> Tc 4mCi	2.5	4mm铅板	0.007
26#	SPECT留观室南侧墙体 外 30cm处	职业照射	<sup>131</sup> I 10mCi	1.8	370mm实心砖 +4mmPb防护涂料	0.111
27#	SPECT留观室顶棚 100cm处	公众照射	<sup>131</sup> I 20mCi	5.1	300mm混凝土 +4mmPb防护涂料	0.013
28#	PET等候室 3 南侧墙体外 30cm处	职业照射	<sup>18</sup> F 20mCi	1.8	370mm实心砖 +6mmPb防护涂料	1.17
29#	PET等候室 3 顶棚 100cm 处	公众照射	<sup>18</sup> F 20mCi	5.1	300mm混凝土 +8mmPb防护涂料	0.056
30#	病人走廊B 北侧墙体外 30cm处	公众照射	<sup>18</sup> F 10mCi	1.6	240mm实心砖 +6mmPb防护涂料	1.80
31#	病人走廊顶棚 100cm处	公众照射	<sup>18</sup> F 10mCi	5.1	300mm混凝土 +2mm防护涂料	0.058
32#	护士站	公众照射	<sup>18</sup> F 20mCi	10	240mm实心砖 +2mmPb防护涂料	0.075

从表 11.2-3 可以看出，肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所四周（核医学控制区外部）的辐射剂量率小于 2.5μGy/h，屏蔽设计满足要求，对周围辐射环境影响较小。

实际病人在注射后候诊室等待过程中，因 <sup>18</sup>F 与 <sup>99m</sup>Tc 的半衰期较短，由于衰变的作用病人体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

### 11.2.3.3 其他放射性核素治疗（<sup>89</sup>Sr、<sup>153</sup>Sm）的辐射影响分析

<sup>89</sup>Sr 为纯 β 衰变，<sup>153</sup>Sm 主要为 β 衰变，β 射线穿透能力很弱，在组织内部辐射距离很短，不会对周围环境产生明显影响。但 β 射线在与物质作用会产生韧致辐射，韧致辐射所致 X 射线辐射剂量率估算采用下式计算：

$$X=1.71 \times 10^{-4} AZ(E/r)^2 f \quad (\text{式 } 11.2-3)$$

式中：X 距离韧致辐射源 r 米处的空气比释动能率，Gy/h；

$A$  放射源活度, Ci;

$Z$  电子屏蔽材料的有效原子序数,  $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$  核素治疗取 82;

$E$   $\beta$  射线的最大能量, MeV;

$r$  参考点与韧致辐射源的距离, m;

$f$  转换系数  $8.73 \times 10^{-3} \text{Gy/R}$ 。

各核素产生的韧致辐射剂量率情况详见 11.2-4。

表 11.2-4 核素韧致辐射剂量率

核素	源活度	屏蔽物质原子序数	$\beta$ 射线最大能力 (MeV)	距离 (m)	剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )
$^{89}\text{Sr}$	4mCi	82	1.491	0.5	0.043
$^{153}\text{Sm}$	50mCi	82	0.702	0.5	0.012

#### 11.2.3.4 X 射线影响分析

本评价项目拟建的 PET-CT、SPECT-CT 拥有专用的机房, 射线机房的使用面积、辐射屏蔽厚度及相关防护措施均符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 中对诊断 X 射线机房的防护设施的技术要求。《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 是以保证机房外的人员可能受照剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中规定的要求为目的, 进行推算规定射线机房的屏蔽厚度要求, 由此可进一步得知本项目在运行阶段, PET-CT、SPECT-CT 扫描装置产生的 X 射线对机房外环境的影响可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 的相关要求。

除此外, PET-CT、SPECT-CT 机房设有观察窗, 其设置的位置便于观察到受检者和受检者状态。机房内布局合理, 避免了有用线束直接照射门、窗和管线口位置; 机房设置动力排风系统, 并保持良好的通风。机房门外设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; 机房门设有闭门装置, 且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。医院规定受检者和陪检者不应在机房内候诊; 非特殊情况, 检查过程中陪检者不得滞留在机房内。

### 11.2.4 个人有效剂量

#### 11.2.4.1 外照射所致有效剂量

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算, 计算公式如下:

$$D_{\text{Eff}} = Dr \times t \times T \times U \quad (\text{式11.2-4})$$

式中：

$D_{Eff}$ ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

$Dr$ ——辐射剂量率，Gy/h；

$t$ ——年工作时间，h；

$T$ ——居留因子；

$U$ ——使用因子，放射性核素以点源考虑， $U$ 取1。

保守估算，近似取 $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ 。

根据表11.2-3预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由上式计算即可得到关注点处保护目标的年有效剂量，见表11.2-5。

表11.2-5 地下一层核医学科职业人员及公众年有效剂量估算结果

关注区域	核素	受照射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	居留因子	年工作时间 (h)	人员类别	年有效剂量 (mSv)
分装注射室	$^{18}\text{F}$	0.099	1	250(每年分装15000次, 每次1min)	职业	0.025
	$^{18}\text{F}$	4.88	1	125(每年注射15000次, 每次30s)		0.610
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$6.14 \times 10^{-4}$	1	62.5(每年注射7500次, 每次30s)		$3.84 \times 10^{-5}$
	$^{89}\text{Sr}$	0.043	1	10.4(每年注射1250次, 每次30s)		$4.47 \times 10^{-4}$
	$^{153}\text{Sm}$	0.012	1	10.4(每年注射1250次, 每次30s)		$1.25 \times 10^{-4}$
	$^{131}\text{I}$	1.0	1	25(每年服药人次3000次, 每次30s)		0.025
PET操作位	$^{18}\text{F}$	0.668 (19#点位)	1	2500(每年15000位受检者, 每人扫描约10min)		1.670
PET机房摆位	$^{18}\text{F}$	16.50 (21#点位)	1	250(每年15000位受检者, 每人摆位约1min)		4.125
SPECT操作位	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$4.33 \times 10^{-3}$ (11#点位)	1	1250(每年7500位受检者, 每人扫描约10min)		0.005
	$^{131}\text{I}$	0.274 (11#点位)	1	83.3(每年500位受检者, 每人扫描约10min)		0.023
SPECT摆位	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$1.65 \times 10^{-3}$ (14#点位)	1	125(每年7500位受检者, 每人摆位约1min)		$2.06 \times 10^{-4}$
	$^{131}\text{I}$	6.79 (14#点位)	1	8.3(每年500位受检者, 每人摆位约1min)		0.056
乳腺 $\gamma$ 相机房操作位	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.007 (25#点位)	1	208.3(每年1250位受检者, 每人扫描约10min)		0.001
乳腺 $\gamma$ 相机	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.28	1	20.8(每年1250位受		0.110

摆位		(24#点位)		检者, 每人摆位约 1min)		
问诊室	<sup>18</sup> F	1.80 (30#点位)	1	2000 (每天8h, 年工 作250d)		3.600
护士站	<sup>131</sup> I	0.075 (32#点位)	1	2000 (每天8h, 年工 作250d)		0.150
医生走廊	<sup>18</sup> F	1.17 (28#点位)	1/4	2000 (每天8h, 年工 作250d)		0.585
等候区	<sup>18</sup> F	0.187 (16#点位)	1/4	2000 (每天8h, 年工 作250d)		0.094
楼上肿瘤 检查室	<sup>18</sup> F	0.056 (17#点位)	1	2000 (每天8h, 年工 作250d)	公众	0.112
	<sup>131</sup> I	0.038 (核素病房 7#点位)	1	2000 (每天8h, 年工 作250d)		0.076

根据医院规划, 地下负一层核医学科工作场所分装注射工作人员拟设置2人, 供碘人员设置1人, PET及SPECT操作及阅片单台设备配置2名工作人员, 以上人员为单班制, 人员各司其职, 人员无交叉; 问诊室拟设置2人轮岗值班, 各工作岗位安排人员计划及有效剂量详见表11.2-6。

表11.2-6 核医学科职业人员年均有效剂量

岗位	年总有效剂量 (mSv)	人数	人均年有效剂量 (mSv)
分装注射人员	0.635	2 (单班)	0.635
供碘工作人员	0.025	1 (单班)	0.025
单台PET工作人员	3.219	2 (单班)	3.219
SPECT工作人员	0.056	2 (单班)	0.056
乳腺γ相机工作人员	0.111	1 (单班)	0.111
问诊室工作人员	3.600	2 (轮岗)	1.800

注: 三台PET运行期间导致工作人员年有效剂量总和为9.656mSv, 因此单台设备工作人员年均有效剂量为1/3。

根据上述估算结果可知: 辐射工作人员人均年有效剂量最大为3.219mSv, 可满足本项目职业人员年剂量约束值不超过5mSv的要求; 公众最大年有效剂量为0.188mSv/a, 能满足本项目公众年剂量约束值不超过0.25mSv/a的要求。

综上所述, 地下一层核医学科工作场所辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“限值”要求, 也低于本评价提出的工作人员 5mSv/a 和公众 0.25mSv/a 年剂量约束值。

### (3) 患者离开医院对环境的影响

<sup>18</sup>F 半衰期仅有 109.7min, 患者接受 PET-CT 检查后, 体内滞留的 <sup>18</sup>F 经就诊过程中

的自然衰变，患者经候诊和诊断离开医院至少需要 1h，则患者离开医院时带药量约 6.8mCi，距离患者 1m 处剂量率约为 33.8 $\mu$ Gy/h，在十个半衰期内公众近距离接触患者时间为 2h，则保守估算公众受到的外照射剂量约 0.068mSv。

<sup>99m</sup>Tc的半衰期为6.02h，接受检查的患者回家后，体内所滞留的<sup>99m</sup>Tc也仅只有给药量的一半，病人使用的核素平均活度为925MBq(25mCi)，回家后体内的<sup>99m</sup>Tc为4.6 $\times 10^8$ Bq，距患者1m处剂量率约6.77 $\mu$ Gy/h，在10个半衰期内公众近距离接触患者时间为4h，保守估算距病人1m处受到的剂量则仅为0.027mSv。

<sup>131</sup>I的在体内的半衰期仅为21.1h，患者出院时按体内放射性活度为400MBq计，则距离患者1m处的剂量率约为20.7 $\mu$ Gy/h，接受治疗或检查的患者回家后可能需家属陪护，每天陪护时间按0.5h计，距离患者需在1m以上，在10个半衰期内公众近距离接触患者时间约9h，则公众受到的外照射剂量则仅为0.186mSv。

因此医院应对患者离院做出书面指导，短期内禁止到公共场活动，避免与家人亲密接触，则患者离院后对周围环境影响不大。在患者回家后，家中任何成员不可能始终与其保持在同一距离上，所以，实际上家庭中的成员所受到的剂量要比估算值小得多。因此，对于接受检查的患者，回家后无需采取特殊防护措施，均不会给家庭成员造成明显的辐射影响。但对于幼儿和婴孩由于其吸收剂量系数较大，患者返家后的二日内不宜近距离接触他们。

### 11.2.1.2 肿瘤病房大楼二层核素病房工作场所辐射环境影响分析

#### (1) 治疗人数及使用量

<sup>131</sup>I 甲癌治疗：单次口服核素最大活度为 3700MBq (100mCi)，最大工作量 8 人次/天，每周 1 批次，每批次 8 人，年工作 250 周，年最大工作量 400 人次/年。

#### (2) 工作场所辐射水平分析及预测

所用核素 <sup>131</sup>I 由供货商在上班之前送至服药室通风橱中暂存。给药前医护人员将存有药物的铅罐从通风橱拿出，连同铅罐放入服药室自动分碘仪中。待工作人员远程在供碘室操作自动分装仪，病人在服碘室直接拿取盛有分装好的药液的一次性杯子，服药后到甲癌病房住院观察，全过程进行严格监控。因此，在药物分装和病人服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

由《辐射防护手册》第三分册查出铅、混凝土、实心砖对 <sup>131</sup>I射线半值层、照射量常数 $\Gamma$ 见表 11.2-1。

根据式 11-1、式 11-2，核素病房区域辐射剂量率的计算结果见表 11.2-7，关注点位

置见图 11.2-2。

表 11.2-7 肿瘤病房大楼二层核素病房工作场所辐射剂量率计算结果

关注点位	关注点位置	受照者类型	源强	与源的距离 (m)	屏蔽材料及厚度	关注点辐射水平 $\mu\text{Gy/h}$
1#	服碘室	职业照射	$^{131}\text{I}$ 800mCi	2.0	40mmPb铅罐 +6mmPb防护涂料 +240mm页岩实心砖	0.001
2#	抢救室北侧墙外 30cm处	职业照射	$^{131}\text{I}$ 100mCi	1.6	240mm页岩实心砖 +8mmPb防护涂料	1.63
3#	护士站	职业照射	$^{131}\text{I}$ 100mCi	7.0	370mm页岩实心砖 +5mmPb防护涂料	0.058
4#	双人病房北侧防护门外 30cm处	职业照射	$^{131}\text{I}$ 100mCi	2.6	8mm铅板	4.47
5#	双人病房南侧防护窗外 30cm处	职业照射	$^{131}\text{I}$ 100mCi	1.8	10mmPb铅玻璃	5.88
6#	双人病房顶棚 100cm处	职业照射	$^{131}\text{I}$ 200mCi	4.5	300mm混凝土 +5mmPb防护涂料	0.136
7#	双人病房楼下距离 100cm处	职业照射	$^{131}\text{I}$ 200mCi	4.8	300mm混凝土 +10mmPb防护涂料	0.038
8#	双人病房东侧墙外 30cm处	职业照射	$^{131}\text{I}$ 200mCi	2.3	370mm页岩实心砖 +5mmPb防护涂料	1.08
9#	甲癌病房抢救位	职业照射	$^{131}\text{I}$ 100mCi	0.5	0.5mmPb铅衣	684

从表 11.2-7 可以看出，肿瘤病房大楼二层核素病房工作场所四周（核医学控制区外部）的辐射剂量率小于  $2.5\mu\text{Gy/h}$ ，屏蔽设计满足要求，对周围辐射影响较小。

### (3) 患者服药后辐射剂量率预测

对服用  $^{131}\text{I}$  的甲癌患者，甲状腺切除， $^{131}\text{I}$  进入患者体内后，会随着身体代谢，很快随着尿液、粪便等排出。根据《分化型甲状腺癌患者的  $^{131}\text{I}$  有效半衰期》（易艳玲等，原子能科学与技术, Vol44,suppl.10,9)报道，甲癌患者的  $^{131}\text{I}$  平均有效半衰期为  $(14.6\pm 6.5)$  h，本评价取最大值 21.1h，据此计算甲癌患者服药后的剂量率。患者服药后，距患者不同距离处辐射剂量率预测结果表 11.2-8。

表 11.2-8 患者服药后辐射剂量率预测结果

源强	距患者距离	辐射剂量率 $\mu\text{Gy/h}$						
		服药当天	1d	2d	4d	6d	10d	20d
$^{131}\text{I}(100\text{mCi})$	1m	191.7	87.1	39.6	8.2	1.7	0.07	/

由上表预测值中可以看出，服药后患者对周围辐射环境影响随时间的增加而逐渐减小。甲癌患者服药后初期体外 1m 处  $\gamma$  辐射剂量率为  $191.7\mu\text{Gy/h}$ ，随着时间衰变，服药 6 天后，患者体外 1m 处  $\gamma$  辐射剂量率为  $1.7\mu\text{Gy/h}$ 。

患者体内携带一定活度的放射性核素离开医院是允许的，对于核素  $^{131}\text{I}$ ，允许离开

医院的核素活度上限为 400MBq (10.8mCi)。甲癌患者，用药量高于 10.8mCi，需要住院治疗，待体内核算  $^{131}\text{I}$  含量小于 10.8mCi 时，方可允许离开医院。经理论估算可知，甲癌患者住院三天后，体内核素活度最大为 9.4mCi，因此甲癌患者住院 3 天即可达到出院标准。病人具体出院时间根据实际情况由医院出具的出院证明决定。

从某种程度上讲，服药患者相当于一个流动的放射源，在一段时间内，对近距离接触的公众可能产生  $\gamma$  外照射，并且患者排泄物也会对环境可能产生一定的影响。但是这种影响是暂时的，其影响将随着时间的推移越来越小，因此医院应加强对服药患者管理，向患者及其家属作出口头及书面的住院期间及出院后的防护措施指导，给出辐射防护建议，要求患者在一定时间内避免外出。

#### (4) 工作人员及公众所受剂量评价

核素病房区域拟设置5名辐射工作人员，服碘室1名，护士站3名，医生1名。

表11.2-9 核素病房区工作人员及工作年有效剂量

关注区域	核素	受照射剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )	居留因子	年工作时间 (h)	人员类别	年有效剂量 (mSv)	
值班室	$^{131}\text{I}$	1.63 (2#点位)	1	2(每年抢救2个病人，每次1h)	职业	0.003	
护士站	$^{131}\text{I}$	0.058 (3#点位)	1	2000(每天8h，年工作250d)		0.116	
医生办公室	$^{131}\text{I}$	1.08 (8#点位)	1	2000(每天8h，年工作250d)		2.16	
医生查房	$^{131}\text{I}$	4.47 (4#点位)	1	250(每天查房1次，每次1h)		1.118	
	$^{131}\text{I}$	5.88 (5#点位)	1			1.470	
医生抢救位	$^{131}\text{I}$	684 (10#点位)	1	2(每年抢救2个病人，每个病人抢救1h)		1.368	
楼上病房	$^{131}\text{I}$	0.136 (6#点位)	1/4	2000(每天8h，年工作250d)	公众	0.068	
楼下肿瘤检查室	$^{131}\text{I}$	0.038 (7#点位)	1	2000(每天8h，年工作250d)		0.076	0.188
	$^{18}\text{F}$	0.056 (地下一层核医学科17#点位)	1	2000(每天8h，年工作250d)		0.112	

注：楼下肿瘤检查室公众叠加地下一层核医学科辐射剂量。

因此，核素病房区域工作场所工作人员所受外照射年有效剂量最大为 2.16mSv，工作人员所受辐射年有效剂量(不含内照射)符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“限值”要求，也低于本评价提出的 5.0mSv/a 年剂量约束值。周

围公众人员所受外照射年有效剂量最大为 0.188mSv，楼下符合《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，也低于本评价提出的 0.25mSv/a 年剂量约束值。



图 11.2-1 核医学科环境影响预测关注点分布图

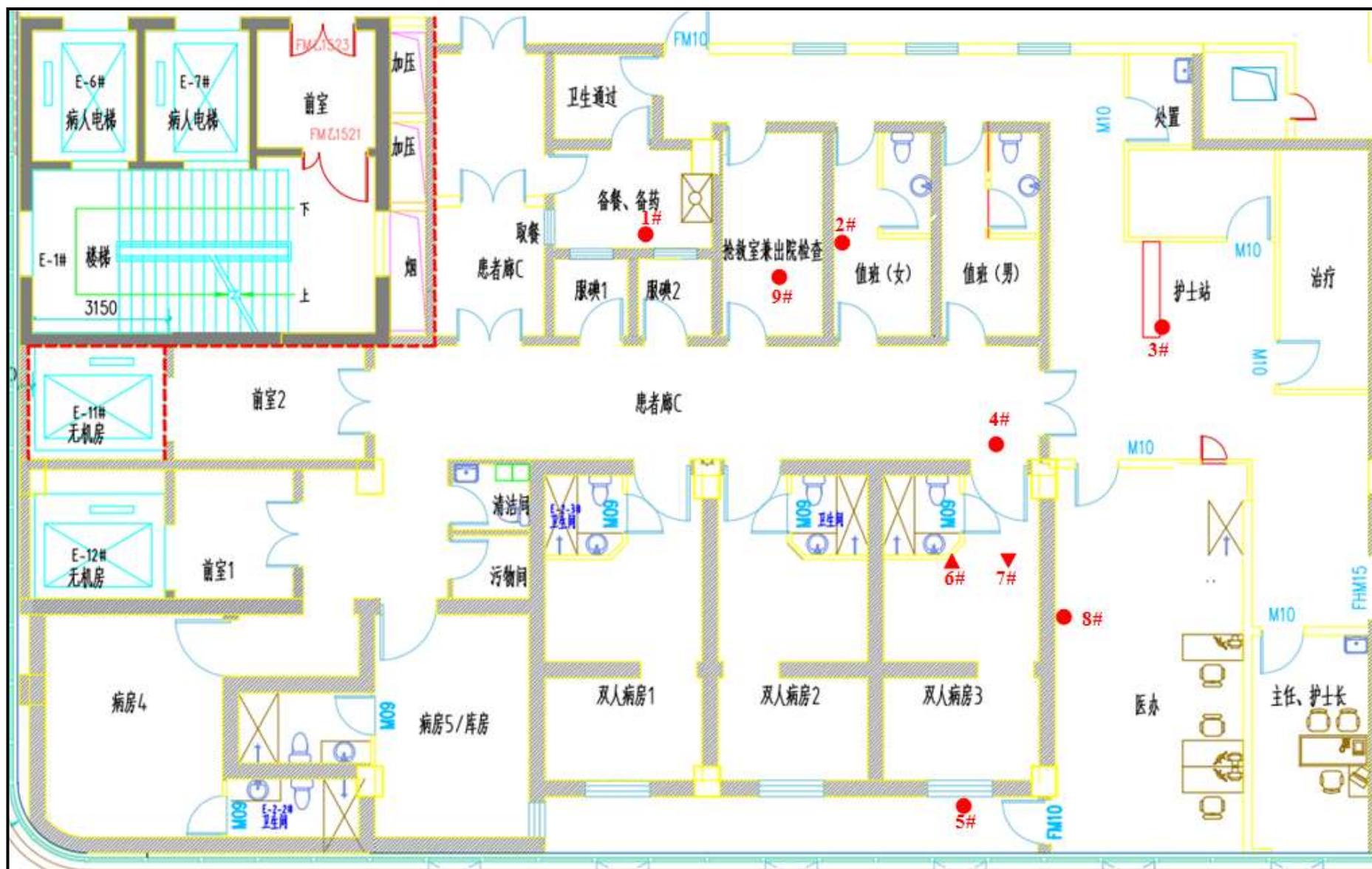


图 11.2-2 核素病房工作场所环境影响预测关注点分布图

### 11.2.1.3 核医学“三废”影响分析

#### (一) 放射性废水

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009) 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 $2 \times 10^7 \text{Bq}$  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。

医院核医学科产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集,并经管道排入集水井,当集水井内液面达到设定高度时,自动控制系统将集水井内放射性废水用水泵排至衰变池。衰变达标后的废水排入医院污水处理系统。本项目核医学放射性废水管线走向见附图 8。

衰变池位于医院肿瘤病房大楼北侧绿化带下方(埋地铺设),共设四个相同体积的厚 16mm 的玻璃管水箱,每个有效容积为  $70 \text{m}^3$ ,衰变池并联设置,交替使用。在衰变池排放出口设置自动取样测量系统,可自动监测废水辐射剂量率和废水中核素比活度,任意一衰变池经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后(排放前应委托有资质的单位,监测指标为:总 $\beta < 10 \text{Bq/L}$ ),方可排入医院污水处理系统。医院应根据监测数据结果制定排水计划,可定期将废水排放至医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账,详细记录废水排放量、排放时间及排放浓度,并存档保存。

核医学科放射性废水主要来源是工作台面、地面去污时产生的放射性废水,工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水,患者冲洗排便废水。 $^{89}\text{Sr}$ 和 $^{153}\text{Sm}$ 无需分装,一般病人直接注射后经短暂观察即可离开核医学科,因此不会产生放射性废水。因此本项目进放射性废水涉及的核素主要为 $^{18}\text{F}$ (半衰期为 $109.7 \text{min}$ )、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (半衰期为 $6.02 \text{h}$ )和 $^{131}\text{I}$ (半衰期为 $8.04 \text{d}$ )。

根据医院提供的资料,本项目核医学工作场所放射性废水产生量估算如下:

(1) 肿瘤病房大楼地下一层核医学科工作场所最大工作量为: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , 8750人次/年; $^{18}\text{F}$ , 15000人次/年; $^{131}\text{I}$ (甲亢与扫描检查), 3000人次/年。参考《建设给水排水设计规范》(GB50015-2003),门诊患者每人每次用水定额取 $10 \text{L}$ ,则患者每年产生放射性废水 $267.5 \text{m}^3$ 。工作人员在完成一天的给药和注射工作后需进行污染检测,并进行去污清洗而产生放射性废水,每天清洗废水产生量约为 $50 \text{L}$ ,每年工作250天,则每年产生放射清洗废水约 $12.5 \text{m}^3$ 。因此,地下一层核医学科工作场所每年产生放射性废水约 $280.0 \text{m}^3$ ,平均每天产生量约 $0.77 \text{m}^3$ (以365天计)。

(2) 肿瘤病房大楼二层核素病房工作场所最大工作量为：甲癌病人每周1批，每批8人，每周开展一次工作，最大住院7天，年工作50周。参考《建设给水排水设计规范》(GB50015-2003)，每个甲癌病人平均每天产生100L废水，则核素病房工作场所每年产生放射性废水280m<sup>3</sup>，平均每天产生量约0.77m<sup>3</sup>（以365天计）。

因此，本项目放射性废水产生量约 560.0m<sup>3</sup>/年，平均 1.54m<sup>3</sup>/天，注满一个衰变池约 45 天（6 周）。本项目四个衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行。第一个衰变池最后进入的废水存储时间为：210m<sup>3</sup>/1.54m<sup>3</sup>≈136 天（即为第四个衰变池注满的时间），即可存放约 136 天。本项目的放射性废水可以在衰变池内暂存 136 天，放射性废水主要含有 <sup>18</sup>F、<sup>99m</sup>Tc、<sup>131</sup>I，<sup>131</sup>I 半衰期最长为 8.04d，废水可以在衰变池中贮存达 16 个半衰期，放射性废水量已考虑了肿瘤病房大楼负一层核医学科及二层核素病房区域所产生的全部放射性废水，因此本项目衰变池的容积满足放射性废水在衰变池贮存至少 10 个半衰期以上的要求。由于 <sup>18</sup>F、<sup>99m</sup>Tc 半衰期短，本次仅计算以 <sup>131</sup>I 为例。

由 GB18871-2002 附录 B 的 B1.3.4 和 B1.3.5 可知，放射性核素 ALI<sub>min</sub> 采用下式计算：

$$ALI_{min}=DL/E_j \quad (\text{式 } 11.2-5)$$

DL 表示职业人员接触限值，取 20mSv/a；

E<sub>j</sub> 表示 GB18871-2002 表 B3 工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量，取其中最大值。

项目废水各核素排放导出限值详见表 11.2-10，排放情况详见表 11.2-12。

**表11.2-10 废水中各核素排放导出限值**

核素	E <sub>j</sub> (Sv/Bq)	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
<sup>131</sup> I	2.2×10 <sup>-8</sup>	9.10×10 <sup>6</sup>	9.10×10 <sup>5</sup>

**表 11.2-11 项目放射性废水各核素活度**

核素名称	半衰期	日最大用量 (Bq)	体内核素排入废水比例	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)
<sup>131</sup> I (显像)	8.04d	3.70×10 <sup>8</sup>	10%	3.70×10 <sup>7</sup>
<sup>131</sup> I(甲亢)		3.70×10 <sup>9</sup>	10%	3.70×10 <sup>8</sup>
<sup>131</sup> I(甲癌)		2.96×10 <sup>10</sup>	80%	2.37×10 <sup>10</sup>

表11.2-12 废水排放情况表

核素名称	半衰期	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	注满一池核素含量	衰变时间	衰变后核素排放量 (Bq)	ALImin (Bq)	排放浓度
<sup>131</sup> I (甲癌)	8.04d	3.70×10 <sup>7</sup>	5.57×10 <sup>10</sup>	136天	4.52×10 <sup>5</sup>	9.10×10 <sup>5</sup>	6.5Bq/L
<sup>131</sup> I (甲亢)		3.70×10 <sup>8</sup>					
<sup>131</sup> I (显像)		2.37×10 <sup>10</sup>					

由上表可知，本项目放射性废水经衰变池衰变后，废水中各放射性核素一次排放量均小于相应核素的 1ALImin，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中放射性废液排放的相关要求，同时满足《医疗机构水污染物排放标准》中总 β 小于 10Bq/L 的要求。

由表11.2-12可知，经衰变池衰变136天后每次排出的各核素总活度小于ALI<sub>min</sub>，符合国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）低放废液向环境排放每月排放的总活度不超过10ALI<sub>min</sub>，每次排放的活度不超过1ALI<sub>min</sub>的条件，可以直接排入医院污水管网，并且每次排放后用不少于3倍排放量的水进行冲洗。上述估算方法是按偏保守原则进行的，实际活度比估算值要低得多。因此，拟建的衰变池能够满足本项目核医学工作场所的工作需求。

### （二）放射性废气

由污染源分析可知，核医学科使用的放射性同位素除 <sup>131</sup>I 外均为非挥发性核素，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需加热、振荡等步骤。地下一层核医学科工作场所分装注射室拟安装专用通风橱，经专用风道由风机抽吸排出，通风橱排气速率不小于 1m/s；本项目 <sup>131</sup>I 使用时连同铅罐一同放入自动分碘仪，可以有效防止工作人员受放射性废气食入、吸入等内照射影响。

核医学科产生的废气经由东侧排风井排至医院病房楼（10层、45.3m）楼顶1.5米以上，周围50m范围内无遮挡物。各排风管内保持负压，拟安装防回流装置，并拟在风机出风段设活性炭高效过滤器，活性炭高效过滤器对放射性气溶胶吸附效率不小于90%。所使用的活性炭高效过滤器需定期更换，更换下来的废活性炭应按放射性固体废物进行处理。

本项目放射性废水的集水坑、衰变池（前端降解池）拟设置专用的通风管道，废气经由通风管道接入核医学科的通排风口，并统一经由活性炭高效过滤器处理后排放。

### （三）放射性固废影响分析

本项目放射性固废主要为工作人员操作过程产生的服药杯子、污染物的注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿、擦拭污染物地面的物品和更换的废活性炭等放射性废弃物。

根据本项目开展方案，SPECT ( $^{99m}\text{Tc}$ ) 和乳腺 $\gamma$ 相机 ( $^{99m}\text{Tc}$ ) 诊断每年为8750人次，PET ( $^{18}\text{F}$ ) 诊断每年15000人次， $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{131}\text{I}$ 甲亢（包括 $^{131}\text{I}$ 显像诊断）等核素治疗就诊人次分别为250人次/年、250人次/年、3000人次/年。类比浙江同类型医院核医学科开展情况，患者门诊诊疗过程放射性固废产生量约0.05kg/人次，经估算，SPECT和PET诊断过程产生的放射性固废分别为437.5kg/年和750.0kg/年； $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 、 $^{131}\text{I}$ 甲亢（包括 $^{131}\text{I}$ 显像诊断）等核素治疗过程产生的放射性固废分别为12.5kg/年、12.5kg/年、150.0kg/年，则本项目肿瘤病房大楼地下负一层核医学科放射性固废产生量为1362.5kg/a。

肿瘤病房大楼二楼核素病房产生的固废量参考《第一次全国污染源普查—城镇生活源产排污系数手册》中第四分册进行核算。本项目甲癌治疗设有8张病床，年工作250天，浙江省属于二类区，医疗废物核算系数取0.42kg/床·天，则甲癌治疗放射性固废产生量为3.36kg/天，840kg/年。

根据医院制度要求，肿瘤病房大楼负一层核医学科分装注射室设置3个铅桶，服碘室设置1个铅桶，按含 $^{18}\text{F}$ 、 $^{99m}\text{Tc}$ 短半衰期核素固废、含 $^{131}\text{I}$ 核素固废、含 $^{32}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$ 长半衰核素期固废进行分类分质收集，废物间设有1个衰变柜，收集的固废放置于衰变柜中衰变10个半衰期。环评要求根据核素衰变周期分类收集、分类储存，医护人员定期将收集的放射性废物按类别转移至废物间放射性废物衰变柜内。

肿瘤病房大楼二楼核素病房产生的放射性固废单独收集储存。服碘室各设有1个铅桶，每个甲癌病房各设1个铅桶，废物间设有1个衰变柜，医护人员定期将收集的放射性废物转移至废物间放射性废物衰变柜内。

医院地下一层核医学科场所设置了一个污物贮存间，二层核素病房区域设置有一个污物间。

医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所铅污物桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在0.1mSv/h以下，重量不超过20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于污物间的铅衰变暂存容器，让放射性物质自行衰变，待十个以上半衰期后衰变至符合清洁解控水平（GBZ133-2009附录B）后，按照医疗废物处置。本次评价建议将含 $^{99m}\text{Tc}$ 、 $^{18}\text{F}$ 核素的固废集中贮存衰变3天，将含 $^{131}\text{I}$ 核素的固废集中贮存衰变3个月，将含 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{153}\text{Sm}$

核素的固废集中贮存衰变 17 个月，则各核素均可满足贮存 10 个半衰期以上的要求，经监测符合清洁解控水平后按一般医疗固废委托当地有资质单位处置。

核医学科废气排放口更换的废活性炭也属于放射性废物，医院将更换下的活性炭先统一存放于衰变箱中，标注活性炭名称、存放日期、存放量等，待 10 个半衰期后，经监测符合清洁解控水平后当做非放射性废物处理。

## 11.2.2 放疗科环境影响分析

### 11.2.2.1 加速器运行阶段辐射环境影响分析

本项目电子线的穿透能力弱于 X 射线，一般情况下，满足屏蔽 X 射线防护要求时即可满足屏蔽电子线的防护需要。加速器 X 射线最大能量分别为 10MV、15MV，需要考虑对中子的屏蔽，由于中子的泄漏率比 X 射线低，且中子在普通混凝土中的 TVT 值低于 10MV、15MV X 射线的 TVT 值，故在计算加速器机房主、副屏蔽墙外辐射剂量时可以忽略中子的影响，在计算防护门外辐射剂量时考虑中子的影响。

#### 一、屏蔽计算

##### (1) 屏蔽计算的有关参数

医院拟在放疗科建设 4 台医用电子直线加速器，其中 1 台为老设备搬迁，3 台为新购设备，型号待定。根据医院计划，本项目拟建加速器的技术参数如表 11.2-13 所示。

表 11.2-13 加速器的技术参数

设备编号	X 射线最大能量	电子线最大能量	X 射线最高输出率	源轴距 (SAD)	等中心距地面高度	线束张角	最大照射野	射线泄漏率	每天治疗人次	每人治疗时间
1#	10 MV	18MeV	24Gy/min	1.0m	1.3m	28°	40×40cm	≤0.1%	40	3.0min
2~3#	10MV	18MeV	24Gy/min	1.0m	1.3m	28°	40×40cm	≤0.1%	40	3.0min
4#	15MV	21 MeV	6 Gy/min	1.0m	1.3m	28°	40×40cm	≤0.1%	30	5.0min

##### (2) 预测关注点位

本项目四间加速器机房均设置于肿瘤病房大楼地下一层，4 间加速器机房东西方向一字排列，该区域东、北侧均为地下岩土层，上方为肿瘤中心出入口。各机房均于南侧设置“L”型迷路，并于迷道外墙设置防护门。机房主屏蔽墙为东、西两侧墙体和顶棚。加速器机房周边 50m 评价范围的保护目标有外科病房楼、洗衣房、停车场、核医学科、肿瘤病房大楼和周边道路的行人等。本次预测的关注点分布如图 11.2-3~11.2-5 所示以及表 11.2-14。

表 11.2-14 加速器机房预测关注点位基本情况汇总

机房名称	关注点	点位描述	辐射类型	使用因子 (U)	居留因子 (T)	距离 R (m)
1#机房	A	西墙主屏蔽区外 30cm (后装机房)	有用线束	1/4	1/4	7.8
	B	东墙主屏蔽区外 30cm (2 号机房)	有用线束	1/4	1/4	7.8
	C <sub>1</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机房)	散射、泄漏		1/4	6.97
	C <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机房控制室)	散射、泄漏	-	1/4	6.97
	D <sub>1</sub> /D <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (2 号机房)	散射、泄漏	-	1/4	6.97
	E	北墙外 30cm (过道)	泄漏	-	1/16	6.70
	F	南墙外 30cm (控制室)	泄漏	-	1	9.70
	G	防护门外 30cm (过道)	散射、泄漏	-	1/16	10.12
	K	南墙外 30cm (水冷机房)	泄漏	-	1/16	10.63
	M <sub>1</sub> /M <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	散射、泄漏	-	1/16	9.99
N	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	有用线束	1/4	1/16	9.40	
2#机房	a	西墙主屏蔽区外 30cm (1 号机房)	有用线束	1/4	1/4	7.8
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (3 号机房)	有用线束	1/4	1/4	7.8
	c <sub>1</sub> /c <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (1 号机房)	散射、泄漏	-	1/4	6.97
	d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (3 号机房)	散射、泄漏	-	1/4	6.97
	e	北墙外 30cm (过道)	泄漏	-	1/16	6.70
	f	南墙外 30cm (控制室)	泄漏	-	1	9.70
	g	防护门外 30cm (过道)	散射、泄漏	-	1/16	10.12
	k	南墙外 30cm (水冷机房)	泄漏	-	1/16	10.63
	m <sub>1</sub> /m <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	散射、泄漏	-	1/16	9.99
	n	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	有用线束	1/4	1/16	9.40
3#机房	A'	西墙主屏蔽区外 30cm (2 号机房)	有用线束	1/4	1/4	7.8
	B'	东墙主屏蔽区外 30cm (4 号机房)	有用线束	1/4	1/4	7.8
	C' <sub>1</sub> /C' <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (2 号机	散射、泄漏		1/4	6.97

		房				
	D' <sub>1</sub> /D' <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm(4 号机房)	散射、泄漏	-	1/4	6.97
	E'	北墙外 30cm(过道)	泄漏	-	1/16	6.70
	F'	南墙外 30cm(控制室)	泄漏	-	1	9.70
	G'	防护门外 30cm(过道)	散射、泄漏	-	1/16	10.12
	K'	南墙外 30cm(水冷机房)	泄漏	-	1/16	10.63
	M' <sub>1</sub> /M' <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	散射、泄漏	-	1/16	9.99
	N'	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	有用线束	1/4	1/16	9.40
4#机房	A''	西墙主屏蔽区外 30cm(3 号机房)	有用线束	1/4	1/4	7.8
	B''	东墙主屏蔽区外 30cm(过道)	有用线束	1/4	1/4	7.8
	C <sub>1</sub> ''/C <sub>2</sub> ''	西墙次屏蔽区外 30cm(3 号机房)	散射、泄漏	-	1/4	6.97
	D <sub>1</sub> ''/D <sub>2</sub> ''	东墙次屏蔽区外 30cm(过道)	散射、泄漏	-	1/4	6.97
	E''	北墙外 30cm(过道)	泄漏	-	1/16	6.70
	F''	南墙外 30cm(控制室)	泄漏	-	1	9.70
	G''	防护门外 30cm(过道)	散射、泄漏	-	1/16	10.12
	K''	南墙外 30cm(水冷机房)	泄漏	-	1/16	10.63
	M <sub>1</sub> ''/M <sub>2</sub> ''	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	散射、泄漏	-	1/16	9.99
	N''	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	有用线束	1/4	1/16	9.40
保护目标	Y1	外科病房楼	有用线束	1/4	1	11.67*
	Y2	洗衣房	泄漏、散射	-	1	12.00*
	Y3	核医学科	泄漏	-	1	15.90*
	Y4	肿瘤病房楼	泄漏	-	1	11.00*
	Y5	停车场	有用线束	1/4	1/16	35.5*
	Y6	能源中心	泄漏、散射	-	1/16	11.67*

\*备注：是指保护目标与最近一间加速器机房的等中心距离，如 Y1 距离为外科病房与 1#加速器机房等中心的距离，其他类同。

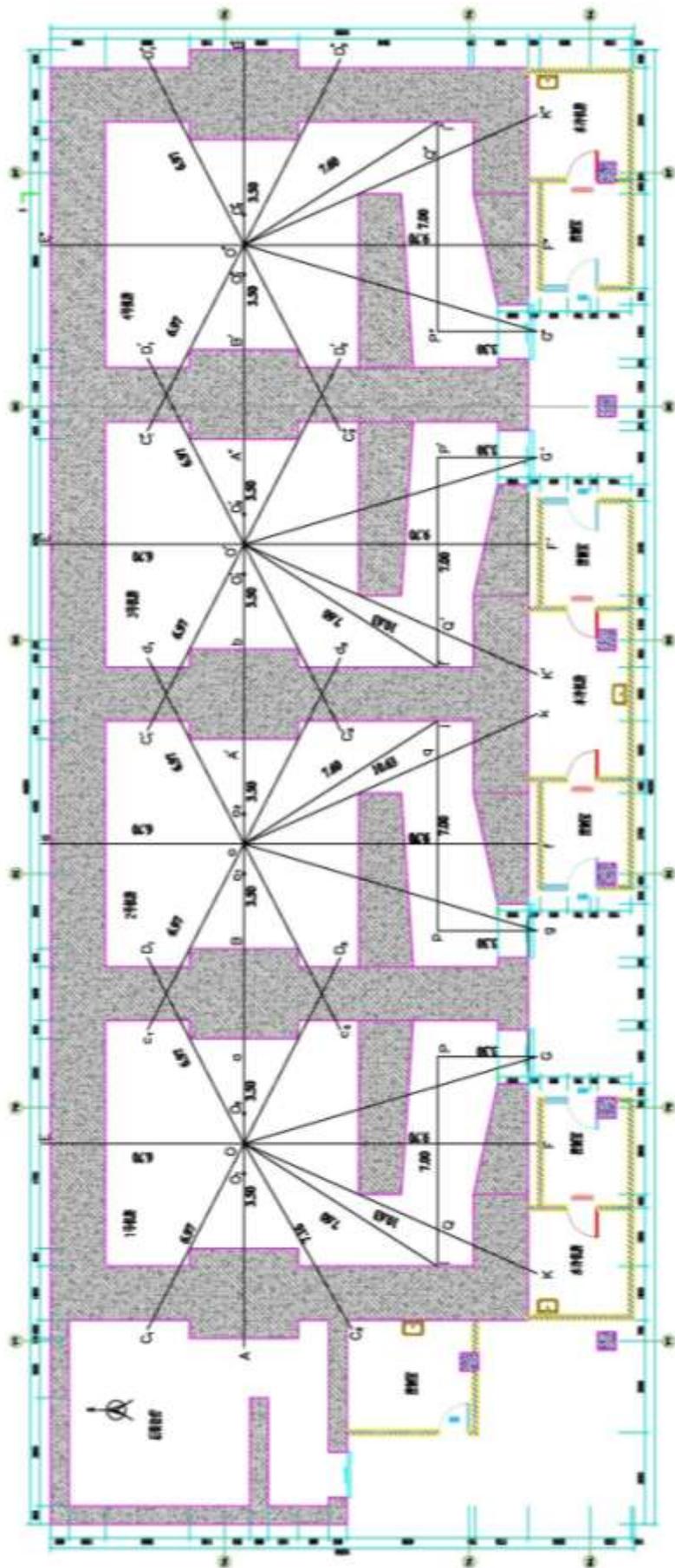


图 11.2-3 放疗科加速器机房周边预测关注点平面布置示意图

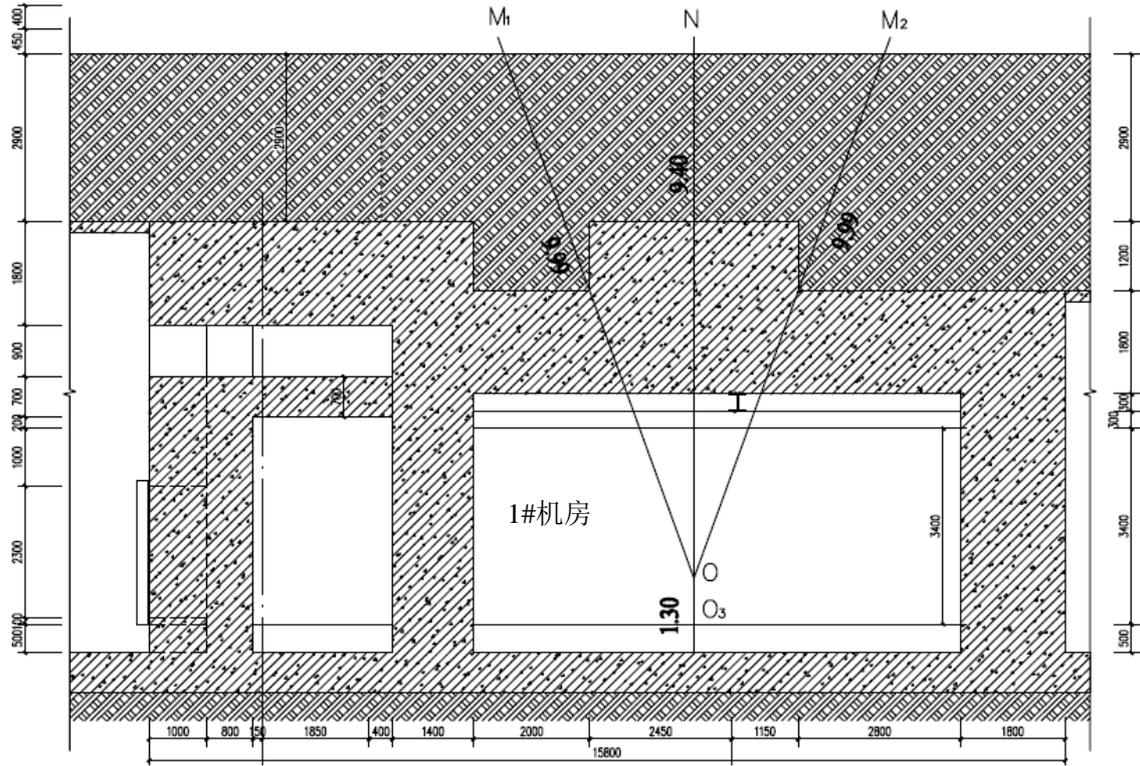


图 11.2-4 加速器机房南-北向剖面及预测关注点示意图

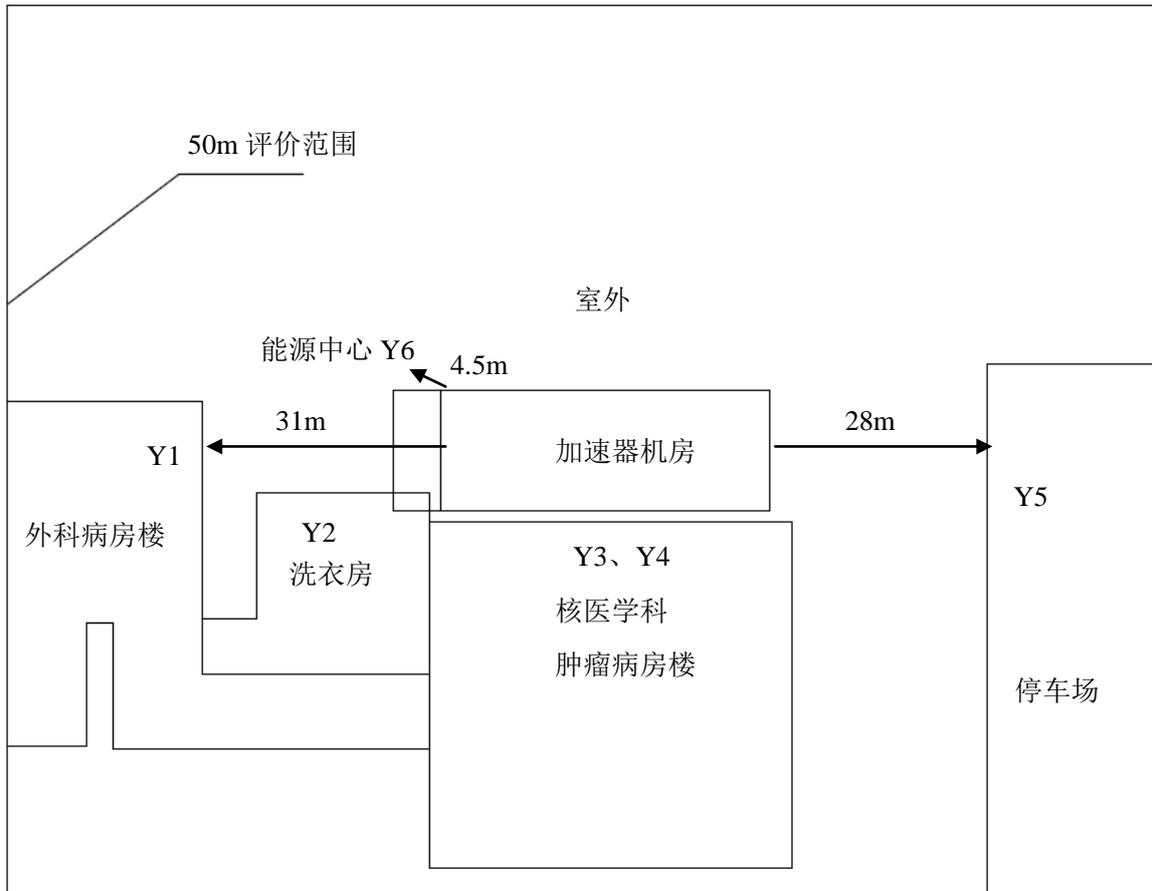


图 11.2-5 加速器机房评价范围内保护目标示意图

### 三、有用线束和泄漏辐射影响剂量率估算

根据拟建加速器的技术参数和治疗室的设计方案，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）中的计算方法，预测加速器以最高电子能量运行时，有用线束、泄漏辐射对治疗室外各目标点的辐射剂量率水平。

首先按式 11.2-6 计算有效厚度  $X_e(\text{cm})$ ：

$$X_e = X \sec \theta \quad (\text{式 11.2-6})$$

式中：

$X_e$ ——射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，(cm)；

$X$ ——屏蔽墙体厚度，(cm)；

$\theta$ ——入射角夹角。

接着，按式 11.2-7 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ ，再按式 11.2-8 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ 。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11.2-7})$$

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

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11.2-8})$$

式中：

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的最高剂量率， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，本项目 10MV 加速器为  $24 \times 60 \times 10^6 = 1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ，15MV 加速器为  $6 \times 60 \times 10^6 = 3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ ；

$f$ ——对有用线束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 0.001；

$R$ ——辐射源点(靶点)至关注点的距离，m；

$B$ ——屏蔽物质的屏蔽透射因子，由式 11.2-7 算出。

根据本项目治疗室的设计方案，得出加速器射线源到各关注点的距离  $R$ ，使用公式 11.2-6、11.2-7、11.2-8 计算出治疗室外各关注点的辐射剂量率水平。

计算参数和结果见表 11.2-15。

表 11.2-15 各关注点有用线束和泄漏辐射剂量率的预测结果

场所名称	关注点	点位描述	辐射类型	屏蔽体设计厚度 (m) *	入射角 $\theta$ (°)	距离 $R$ (m)	$f$	$TVL_1$ (cm)	$TVL$ (cm)	$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
1#机房 (10MV)	A	西墙主屏蔽区外 30cm (后装机房)	有用线束	3.0	0	7.8	1	41	37	0.24
	B	东墙主屏蔽区外 30cm (2号机房)	有用线束	3.0	0	7.8	1	41	37	0.24
	C <sub>1</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机房)	泄漏	1.8	30	6.97	0.001	35	31	7.87E-03
	C <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机房控制室)	泄漏	1.8	30	6.97	0.001	35	31	7.87E-03
	D <sub>1</sub> /D <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (2号机房)	泄漏	1.8	30	6.97	0.001	35	31	7.87E-03
	E	北墙外 30cm (过道)	泄漏	1.8	0	6.70	0.001	35	31	6.74E-02
	F	南墙外 30cm (控制室)	泄漏	3.2	0	9.70	0.001	35	31	9.80E-07
	G	防护门外 30cm (过道)	泄漏	1.5	15	10.12	0.001	35	31	0.19
	K	南墙外 30cm (水冷机房)	泄漏	1.8	30	10.63	0.001	35	31	3.39E-03
	M <sub>1</sub> /M <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	泄漏	1.8	30	9.99	0.001	35	31	3.83E-03
	N	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	有用线束	3.0	0	9.40	1	41	37	0.16
2#机房 (10MV)	a	西墙主屏蔽区外 30cm (1号机房)	有用线束	3.0	0	7.8	1	41	37	0.24
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (3号机房)	有用线束	3.0	0	7.8	1	41	37	0.24
	c <sub>1</sub> /c <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (1号机房)	泄漏	1.8	30	6.97	0.001	35	31	7.87E-03
	d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (3号机房)	泄漏	1.8	30	6.97	0.001	35	31	7.87E-03
	e	北墙外 30cm (过道)	泄漏	1.8	0	6.70	0.001	35	31	6.74E-02
	f	南墙外 30cm (控制室)	泄漏	3.0	0	9.70	0.001	35	31	4.33E-06
	g	防护门外 30cm (过道)	泄漏	1.5	15	10.12	0.001	35	31	0.19
	k	南墙外 30cm (水冷机房)	泄漏	1.8	30	10.63	0.001	35	31	3.39E-03
	m <sub>1</sub> /m <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	泄漏	1.8	30	9.99	0.001	35	31	3.83E-03
	n	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	有用线束	3.0	0	9.40	1	41	37	0.16
	3#机房 (10MV)	A'	西墙主屏蔽区外 30cm (2号机房)	有用线束	3.0	0	7.8	1	41	37
B'		东墙主屏蔽区外 30cm (4号机房)	有用线束	3.0	0	7.8	1	41	37	0.24
C' <sub>1</sub> /C' <sub>2</sub>		西墙次屏蔽区外 30cm (2号机房)	泄漏	1.8	30	6.97	0.001	35	31	7.87E-03

	D <sub>1</sub> '/D <sub>2</sub> '	东墙次屏蔽区外30cm (4号机房)	泄漏	1.8	30	6.97	0.001	35	31	7.87E-03
	E'	北墙外30cm (过道)	泄漏	1.8	0	6.70	0.001	35	31	6.74E-02
	F'	南墙外30cm (控制室)	泄漏	3.0	0	9.70	0.001	35	31	4.33E-06
	G'	防护门外30cm (过道)	泄漏	1.5	15	10.12	0.001	35	31	0.19
	K'	南墙外30cm (水冷机房)	泄漏	1.8	30	10.63	0.001	35	31	3.39E-03
	M <sub>1</sub> '/M <sub>2</sub> '	顶棚次屏蔽区地面上30cm处 (肿瘤中心出入口)	泄漏	1.8	30	9.99	0.001	35	31	3.83E-03
	N'	顶棚主屏蔽区地面上30cm处 (肿瘤中心出入口)	有用线束	3.0	0	9.40	1	41	37	0.16
4#机房 (15MV)	A''	西墙主屏蔽区外30cm (3号机房)	有用线束	3.0	0	7.8	1	44	41	0.34
	B''	东墙主屏蔽区外30cm (过道)	有用线束	3.0	0	7.8	1	44	41	0.34
	C <sub>1</sub> ''/C <sub>2</sub> ''	西墙次屏蔽区外30cm (3号机房)	泄漏	1.8	30	6.97	0.001	36	33	4.60E-03
	D <sub>1</sub> ''/D <sub>2</sub> ''	东墙次屏蔽区外30cm (过道)	泄漏	1.8	30	6.97	0.001	36	33	4.60E-03
	E''	北墙外30cm (过道)	泄漏	1.8	0	6.70	0.001	36	33	3.47E-02
	F''	南墙外30cm (控制室)	泄漏	3.0	0	9.70	0.001	36	33	3.83E-06
	G''	防护门外30cm (过道)	泄漏	1.5	15	10.12	0.001	36	33	0.09
	K''	南墙外30cm (水冷机房)	泄漏	1.8	30	10.63	0.001	36	33	1.98E-03
	M <sub>1</sub> ''/M <sub>2</sub> ''	顶棚次屏蔽区地面上30cm处 (肿瘤中心出入口)	泄漏	1.8	30	9.99	0.001	36	33	2.24E-03
	N''	顶棚主屏蔽区地面上30cm处 (肿瘤中心出入口)	有用线束	3.0	0	9.40	1	44	41	0.23
保护目标	Y1	外科病房楼	有用线束	3.0	0	11.67	1	41	37	0.11
	Y2	洗衣房	泄漏	1.8	30	12.00	0.001	35	31	2.66E-03
	Y3	核医学科	泄漏	1.8	30	15.90	0.001	35	31	1.51E-03
	Y4	肿瘤病房楼	泄漏	1.8	30	11.00	0.001	35	31	3.16E-03
	Y5	停车场	有用线束	3.0	0	35.5	0.001	44	41	1.63E-05
	Y6	能源中心	泄漏	1.8	30	11.67	0.001	35	31	2.81E-03

备注：\*表示屏蔽体厚度仅指加速器机房混凝土厚度，保守预测，未包含机房顶棚上的覆土层，周边房间的墙厚。

#### 四、散射辐射影响剂量率估算

对于与主屏蔽区直接相连的次屏蔽区（如关注点 C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>、D<sub>1</sub>/D<sub>2</sub>、M<sub>1</sub>/M<sub>2</sub>、c<sub>1</sub>/c<sub>2</sub>、d<sub>1</sub>/d<sub>2</sub>、m<sub>1</sub>/m<sub>2</sub>、C<sub>1</sub>'/C<sub>2</sub>'、D<sub>1</sub>'/D<sub>2</sub>'、M<sub>1</sub>'/M<sub>2</sub>'、C<sub>1</sub>''/C<sub>2</sub>''、D<sub>1</sub>''/D<sub>2</sub>''、M<sub>1</sub>''/M<sub>2</sub>''），除了考虑有用线束的泄漏辐射外，还需考虑有用线束水平或向顶部照射时，人体散射辐射穿过次屏蔽区后的剂量影响。散射辐射主要考虑患者一次散射辐射的剂量率影响。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)，患者一次散射辐射的剂量率可按公式 11.2-9 进行估算。

首先按式 11.2-6 计算有效厚度  $X_e(\text{cm})$ ，接着，按式 11.2-7 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子  $B$ ，再按式 11.2-9 计算辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{式 11.2-9})$$

式中：

$\dot{H}_0$ ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；本项目 10MV 加速器为  $24 \times 60 \times 10^6 = 1.44 \times 10^9 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ，15MV 加速器为  $6 \times 60 \times 10^6 = 3.6 \times 10^8 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

$a_{ph}$ ——患者  $400\text{cm}^2$  面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m (关注点方向) 处的剂量比例，又称  $400\text{cm}^2$  面积上的散射因子；根据 GBZ/T201.2-2011 附录表 B.2 可查，10MV 加速器  $a_{ph} = 3.18 \times 10^{-3}$ ；15MV 加速器  $a_{ph} = 3.18 \times 10^{-3}$  (按 10MV 保守考虑)。

$F$ ——治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， $\text{cm}^2$ ；取  $40 \times 40\text{cm}^2$ ；

$R_s$ ——患者(位于等中心点)至关注点的距离，m；

$B$ ——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

根据上述公式和参数，可计算关注点的患者一次散射剂量率如表 11.2-16 所示。

表 11.2-16 关注点散射辐射剂量率预测结果

场所名称	关注点	点位描述	屏蔽体设计厚度 (m)	入射角 $\theta$ (°)	距离 $R_s$ (m)	$F$ ( $\text{cm}^2$ )	$a_{ph}$	TVL (cm)	预测值 $\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )
1#机房 (10MV)	C <sub>1</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机房)	1.8	30	6.97	40×40	$3.18 \times 10^{-3}$	28	1.42E-02
	C <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机房控制室)	1.8	30	6.97	40×40	$3.18 \times 10^{-3}$	28	1.42E-02
	D <sub>1</sub> /D <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (2号机房)	1.8	30	6.97	40×40	$3.18 \times 10^{-3}$	28	1.42E-02
	M <sub>1</sub> /M <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	1.8	30	9.99	40×40	$3.18 \times 10^{-3}$	28	6.93E-03
2#机房 (10MV)	c <sub>1</sub> /c <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (1号机房)	1.8	30	6.97	40×40	$3.18 \times 10^{-3}$	28	1.42E-02
	d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (3号机房)	1.8	30	6.97	40×40	$3.18 \times 10^{-3}$	28	1.42E-02
	m <sub>1</sub> /m <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	1.8	30	9.99	40×40	$3.18 \times 10^{-3}$	28	6.93E-03
3#机房 (10MV)	C' <sub>1</sub> /C' <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (2号机房)	1.8	30	6.97	40×40	$3.18 \times 10^{-3}$	28	1.42E-02

	D <sub>1</sub> '/D <sub>2</sub> '	东墙次屏蔽区外 30cm (4号机房)	1.8	30	6.97	40×40	3.18×10 <sup>-3</sup>	28	1.42E-02
	M <sub>1</sub> '/M <sub>2</sub> '	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	1.8	30	9.99	40×40	3.18×10 <sup>-3</sup>	28	6.93E-03
4#机房 (15MV)	C <sub>1</sub> "/C <sub>2</sub> "	西墙次屏蔽区外 30cm (3号机房)	1.8	30	6.97	40×40	3.18×10 <sup>-3</sup>	31	7.44E-02
	D <sub>1</sub> "/D <sub>2</sub> "	东墙次屏蔽区外 30cm (过道)	1.8	30	6.97	40×40	3.18×10 <sup>-3</sup>	31	7.44E-02
	M <sub>1</sub> "/M <sub>2</sub> "	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	1.8	30	9.99	40×40	3.18×10 <sup>-3</sup>	31	3.62E-02
保护目标	Y2	洗衣房	1.8	30	12.00	40×40	3.18×10 <sup>-3</sup>	28	4.80E-03
	Y6	能源中心	1.8	30	11.67	40×40	3.18×10 <sup>-3</sup>	28	5.08E-03

### 五、加速器机房迷路入口散射辐射屏蔽与剂量估算

本项目加速器 X 射线最大能量为 10MV、15MV，分析计算过程中考虑中子辐射影响。

根据 GBZ/T201.2-2011，考虑中子辐射影响时，迷路散射辐射应考虑总中子注量、机房入口的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率  $\dot{H}_r$ 、机房入口的中子剂量率  $\dot{H}_n$ 。

(1) 总中子注量 ( $\phi_B$ )

$$\phi_B = \frac{Q_n}{4\pi d_1^2} + \frac{5.4Q_n}{2\pi S} + \frac{1.26Q_n}{2\pi S} \quad (\text{式 11.2-10})$$

式中：

$\phi_B$ ——等中心处 1Gy 治疗照射时 Q、q、Q' 处的总中子注量，(中子数/m<sup>2</sup>)/Gy；

$Q_n$ ——在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，中子数/Gy；根据 NCRP No151 的表 B.9 可知，10MV 加速器  $Q_n$  值取为  $0.06 \times 10^{12}$  个/Gy，15MV 加速器  $Q_n$  值取为  $0.76 \times 10^{12}$  个/Gy。

$d_1$ ——等中心 O 至 Q、q、Q'、Q'' 点的距离，m；

$S$ ——治疗机房的总内表面积 (m<sup>2</sup>)，包括四壁墙、顶面和底面，不包括迷道内各面积。根据公式 11.2-10 可计算，各机房的中子注量如表 11.2-17 所示。

表 11.2-17 中子注量计算结果

机房名称	1#机房	2#机房	3#机房	4#机房
$Q_n$ (中子数/Gy)	$0.06 \times 10^{12}$	$0.06 \times 10^{12}$	$0.06 \times 10^{12}$	$0.76 \times 10^{12}$
$d_1$ (m)	7.01	7.01	7.01	7.01
$S$ (m <sup>2</sup> )	417	417	417	417
$\phi_B$ ((中子数/m <sup>2</sup> )/Gy)	$2.50 \times 10^8$	$2.50 \times 10^8$	$2.50 \times 10^8$	$3.16 \times 10^9$

(2) 机房入口的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率  $\overset{g}{H}_r$

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获  $\gamma$  射线，机房入口门外 30cm (g) 处无防护门时的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率  $\overset{g}{H}_r$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 按公式 11.2-11 计算。

$$\overset{g}{H}_r = 6.9 \times 10^{-16} \times \phi_B \times 10^{-d_2/TVD} \times \overset{g}{H}_0 \quad (\text{式 11.2-11})$$

式中：

$6.9 \times 10^{-16}$ ——经验因子， $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$ ；

$\phi_B$ ——等中心处 1Gy 治疗照射时 Q、q、Q'、Q'' 处的总中子注量， $(\text{中子数}/\text{m}^2)/\text{Gy}$ 。

$d_2$ ——分别为 Q、q、Q'、Q'' 点至机房入口 (G、g、G'、G'') 的距离，m；

TVD——什值距离，对于 18~25MV 加速器为 5.4m，对于 15MV 加速器为 3.9m；对于 10MV 加速器，建议保守取 15MV 的 TVD=3.9m。

$\overset{g}{H}_0$ ——等中心治疗 X 射线剂量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )；

对于二阶迷路，以二级迷路  $d_{2a}$  和  $d_{2b}$  之和代替  $d_2$ ，并且  $\overset{g}{H}_r$  为式 11.2-11 的 1/3。根据上述公式计算各机房入口的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率  $\overset{g}{H}_r$ ，如表 11.2-18 所示。

表 11.2-18 机房入口的中子俘获  $\gamma$  射线的剂量率计算结果

机房名称	1#机房	2#机房	3#机房	4#机房
$\phi_B((\text{中子数}/\text{m}^2)/\text{Gy})$	$2.50 \times 10^8$	$2.50 \times 10^8$	$2.50 \times 10^8$	$3.16 \times 10^9$
$d_2(\text{m})$	7.00+3.30	7.00+3.30	7.00+3.30	7.00+3.30
TVD(m)	3.9	3.9	3.9	3.9
$\overset{g}{H}_0$ ( $\mu\text{Gy/h}$ )	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	$1.44 \times 10^9$	$3.6 \times 10^8$
$\overset{g}{H}_r$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.19	0.19	0.19	0.60

(3) 机房入口的中子剂量率  $\overset{g}{H}_n$

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm 处 (G、g、G'、G'') 处无防护门时的剂量率  $\overset{g}{H}_n$  ( $\mu\text{Sv/h}$ ) 见公式 (11.2-12)：

$$\overset{g}{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \times \phi_B \times \sqrt{\frac{S_0}{S_1}} \times [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \times \overset{g}{H}_0 \quad (\text{式 11.2-12})$$

式中：

$2.4 \times 10^{-15}$ ——经验因子， $\text{Sv}/(\text{中子数}/\text{m}^2)$ ；

$S_0$ ——迷路内口的面积， $\text{m}^2$ ；

$S_1$ ——迷路横截面积， $\text{m}^2$ ；

$d_2$ ——Q、q、Q'点到迷路入口（G、g、G'、G''）的距离，m；

$T_n$ ——迷路中能量相对高的中子剂量组分式（11.2-12）方括号中的第二项衰减至十分之一行径的距离（m），称为什值距离。 $T_n$ 为一个经验值，与迷路横截面积有关，可按公式（11.2-13）计算：

$$T_n = 2.06\sqrt{S_1} \quad (\text{式 } 11.2-13)$$

根据上述参数和公式 11.2-9 可计算机房入口的中子剂量率  $\dot{H}_n^g$  如表 11.2-19 所示。

表 11.2-19 机房入口的中子剂量率  $\dot{H}_n^g$  计算结果

机房名称	1#机房	2#机房	3#机房	4#机房
$S_0$ (m <sup>2</sup> )	10.8	10.8	10.8	10.8
$S_1$ (m <sup>2</sup> )	10.8	10.8	10.8	10.8
$d_2$ (m)	10.3	10.3	10.3	10.3
$T_n$ (m)	6.77	6.77	6.77	6.77
$\dot{H}_n^g$ (μSv/h)	25.98	25.98	25.98	82.26

(4) 防护门外 30cm 处的泄漏辐射剂量率  $\dot{H}_{og}^g$  (μSv/h)

根据表 11.2-12 可知, 1#~4#机房的泄漏辐射剂量率  $\dot{H}_{og}^g$  依次为 0.19 μSv/h、0.19 μSv/h、0.19 μSv/h、0.09 μSv/h。

(5) 防护门外的辐射剂量率  $\dot{H}^g$  (μSv/h)

当给定防护门屏蔽厚度  $X_r$  和  $X_n$  时, 防护门外的辐射剂量率  $\dot{H}^g$  (μSv/h) 按公式 (11.2-14) 计算：

$$\dot{H}^g = \dot{H}_r^g \times 10^{-(X_r/TVL_r)} + \dot{H}_n^g \times 10^{-(X_n/TVL_n)} + \dot{H}_{og}^g \times B_{og} \quad (\text{式 } 11.2-14)$$

式中：

$B_{og}$ ——防护门对  $\dot{H}_{og}^g$  的屏蔽透射因子, 在  $\dot{H}_{og}^g$  相对 g 处的总剂量率较小时, 可以忽略  $\dot{H}_{og}^g \times B_{og}$  项。1#~4#机房的泄漏辐射剂量率  $\dot{H}_{og}^g$  依次为 0.19 μSv/h、0.19 μSv/h、0.19 μSv/h、0.09 μSv/h, 相对 g 处的总剂量率较小, 可以忽略；

$X_\gamma$  和  $X_n$  分别为屏蔽中子俘获  $\gamma$  辐射和中子辐射的不同屏蔽材料的厚度, mm。

$TVL_\gamma$  和  $TVL_n$  分别为中子俘获  $\gamma$  射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层, mm；分别为 31mm 和 45mm。

经计算防护门外的辐射剂量率  $\dot{H}^g$  如表 11.2-20 所示。

表 11.2-20 防护门外的辐射剂量率计算结果

机房名称	1#机房	2#机房	3#机房	4#机房
$X_r$ (cm)	1.0	1.0	1.0	1.8
$TVL_r$ (cm)	3.1	3.1	3.1	3.1
$X_n$ (cm)	7.0	7.0	7.0	10.0
$TVL_n$ (cm)	4.5	4.5	4.5	4.5
$\dot{H}$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.72	0.72	0.72	0.65

六、有用线束主屏蔽区宽度核算

本项目直线加速器机房主屏蔽区包括顶棚及墙体的部分位置。加速器主射线的最大出束角度为  $28^\circ$ ；有用线束主屏蔽区示意图见图 11.2-6，本项目东、西墙均有部分内凸和外凸，顶棚主屏蔽区为内凸，主屏蔽宽度根据公式 11.2-15 计算。

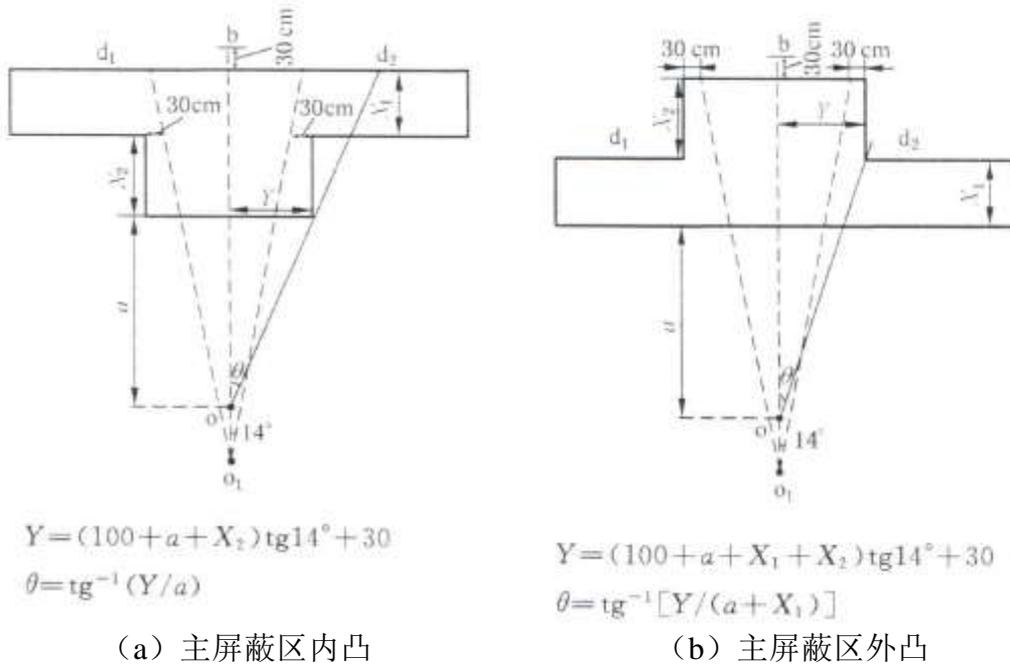


图 11.2-6 有用线束主屏蔽区示意图

内凸半宽度计算公式：
$$Y = (100 + a + X_2) \text{tg} \left( \frac{\theta}{2} \right) + 30 \quad \text{.....} \quad \text{(式 11.2-15(a))}$$

外凸半宽度计算公式：
$$Y = (100 + a + X_1 + X_2) \text{tg} \left( \frac{\theta}{2} \right) + 30 \quad \text{(式 11.2-15(b))}$$

式中：

$Y$ ——机房有用束主屏蔽区的半宽度，cm；

$a$ ——等中心至主屏蔽墙的距离，cm；

$X_1$ ——墙体厚度，cm；

$X_2$ ——凸出部分厚度，cm；

$\theta$ ——治疗束的最大张角（相对束中的轴线），本项目取值 28 度。

计算结果如表 11.2-21 所示。

表 11.2-21 加速器机房主屏蔽范围计算表

设备	主屏蔽体	设计形式	a (m)	$X_1$ (m)	$X_2$ (m)	主屏蔽区计算值(m)		设计的主屏蔽范围值 (m)	结论
						Y	2Y		
1~4# 机房	东墙	外凸	4.1	1.8	0.6	1.57	3.14	4.5	满足
		内凸	3.5	1.8	0.6	1.72	3.44	4.5	满足
	西墙	外凸	4.1	1.8	0.6	1.57	3.14	4.5	满足
		内凸	3.5	1.8	0.6	1.72	3.44	4.5	满足
	顶棚	外凸	3.2	1.8	1.2	1.65	3.30	4.5	满足

由于本项目加速器机房建在地下，下方没有其他楼层，所以地面的防护不予考虑。

**环评要求：设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的摆位方式进行安装，即主射束为东侧、西侧、地面及顶棚，杜绝安装后主射方向超出屏蔽范围的情况出现。**

### 七、预测结果及评价

加速器机房外的剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较如表 11.2-22 所示。

表 11.2-22 剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

场所名称	关注点	点位描述	剂量率预测结果 ( $\mu\text{Sv/h}$ )			周围剂量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	是否符合要求
			有用线束/泄漏	散射/中子辐射	合计		
1#机房	A	西墙主屏蔽区外 30cm (后装机房)	0.24	-	0.24	2.50	符合
	B	东墙主屏蔽区外 30cm (2号机房)	0.24	-	0.24	2.50	符合
	C <sub>1</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机房)	7.87E-03	1.42E-02	2.21 E-02	2.50	符合
	C <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机房控制室)	7.87E-03	1.42E-02	2.21 E-02		
	D <sub>1</sub> /D <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (2号机房)	7.87E-03	1.42E-02	2.21 E-02	2.50	符合
	E	北墙外 30cm (过道)	6.74E-02	-	6.74E-02	2.50	符合
	F	南墙外 30cm (控制室)	9.80E-07	-	9.80E-07	2.50	符合
	G	防护门外 30cm (过道)	-	0.72	0.72	2.50	符合
	K	南墙外 30cm (水冷机房)	3.39E-03	-	3.39E-03	2.50	符合
	M <sub>1</sub> /M <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	3.83E-03	6.93E-03	1.08 E-02	2.50	符合
N	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	0.16	-	0.16	2.50	符合	
2#机房	a	西墙主屏蔽区外 30cm (1号机房)	0.24	-	0.24	2.50	符合
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (3号机房)	0.24	-	0.24	2.50	符合
	c <sub>1</sub> /c <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (1	7.87E-03	1.42E-02	2.21 E-02	2.50	符合

		号机房)					
	d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (3号机房)	7.87E-03	1.42E-02	2.21 E-02	2.50	符合
	e	北墙外 30cm (过道)	6.74E-02	-	6.74E-02	2.50	符合
	f	南墙外 30cm (控制室)	4.33E-06	-	4.33E-06	2.50	符合
	g	防护门外 30cm (过道)	-	0.72	0.72	2.50	符合
	k	南墙外 30cm (水冷机房)	3.39E-03	-	3.39E-03	2.50	符合
	m <sub>1</sub> /m <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	3.83E-03	6.93E-03	1.08 E-02	2.50	符合
	n	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	0.16	-	0.16	2.50	符合
3#机房	A'	西墙主屏蔽区外 30cm (2号机房)	0.24	-	0.24	2.50	符合
	B'	东墙主屏蔽区外 30cm (4号机房)	0.24	-	0.24	2.50	符合
	C' <sub>1</sub> /C' <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (2号机房)	7.87E-03	1.42E-02	2.21 E-02	2.50	符合
	D' <sub>1</sub> /D' <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (4号机房)	7.87E-03	1.42E-02	2.21 E-02	2.50	符合
	E'	北墙外 30cm (过道)	6.74E-02	-	6.74E-02	2.50	符合
	F'	南墙外 30cm (控制室)	4.33E-06	-	4.33E-06	2.50	符合
	G'	防护门外 30cm (过道)	-	0.72	0.72	2.50	符合
	K'	南墙外 30cm (水冷机房)	3.39E-03	-	3.39E-03	2.50	符合
	M' <sub>1</sub> /M' <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	3.83E-03	6.93E-03	1.08 E-02	2.50	符合
	N'	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	0.16	-	0.16	2.50	符合
4#机房	A''	西墙主屏蔽区外 30cm (3号机房)	0.34	-	0.34	2.50	符合
	B''	东墙主屏蔽区外 30cm (过道)	0.34	-	0.34	2.50	符合
	C'' <sub>1</sub> /C'' <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (3号机房)	4.60E-03	7.44E-02	7.90 E-02	2.50	符合
	D'' <sub>1</sub> /D'' <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (过道)	4.60E-03	7.44E-02	7.90 E-02	2.50	符合
	E''	北墙外 30cm (过道)	3.47E-02	-	3.47E-02	2.50	符合
	F''	南墙外 30cm (控制室)	3.83E-06	-	3.83E-06	2.50	符合
	G''	防护门外 30cm (过道)	-	0.65	0.65	2.50	符合
	K''	南墙外 30cm (水冷机房)	1.98E-03	-	1.98E-03	2.50	符合
	M'' <sub>1</sub> /M'' <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	2.24E-03	3.62E-02	3.84 E-02	2.50	符合
	N''	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	0.23	-	0.23	2.50	符合
保护目标	Y1	外科病房楼	0.11	-	0.11	-	-
	Y2	洗衣房	2.66E-03	4.80E-03	7.46 E-03	-	-
	Y3	核医学科	1.51E-03	-	1.51E-03	-	-
	Y4	肿瘤病房楼	3.16E-03	-	3.16E-03	-	-
	Y5	停车场	1.63E-05	-	1.63E-05	-	-
	Y6	能源中心	2.81E-03	5.08E-03	7.89 E-03	-	-

通过上表可以看出，本项目加速器机房的辐射屏蔽措施能够使机房外的辐射剂量率满足 2.5μSv/h 的周围剂量当量率控制水平要求。

## 八、感生放射性影响分析

本项目 1~4#机房加速器以高射线能量运行 ( $\geq 10\text{MeV}$ ) 时, 光-核反应产生的中子与加速器结构材料和空气发生的 ( $n, \gamma$ ) 反应产生感生放射性, 空气中会产生少量感生放射性气体; 加速器在开机运行过程中因射线强辐射作用, 在空气中会产生少量  $\text{O}_3$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{41}\text{Ar}$  等有害气体。这些物质浓度过高会影响辐射工作人员健康。在加速器运行期间, 由于加速器机房有足够的结构屏蔽, 其部件产生的感生放射性不会危害屏蔽体外的工作人员, 但停机后工作人员进入治疗室内会受到感生放射性辐射。它的强度与入射粒子的能量和注量有关,  $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{41}\text{Ar}$  的半衰期分别为 2min、10min、20.5min、1.8h、 $\text{O}_3$  在 20min 左右会自动分解, 因此大多数感生放射性物质衰变期短, 浓度下降很快, 工作人员只需在停机后等待 20min 左右即可再次进入机房。

### (1) 感生放射性核素的活度浓度计算

对于感生放射性核素的活度, 根据《放射防护手册》(第一分册) 进行计算, 《放射防护手册》(第一分册) P228 显示:  $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$  的产生率如表 11.2-23 所示。

表 11.2-23 钨靶 X 射线在空气中感生的放射性气体  $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$  产生率

电子束能量 (MeV)	$^{13}\text{N}$ 生成速率	$^{15}\text{O}$ ( $\mu\text{Ci/s mA MeV}$ )
12	81	-
14	460	-
16	920	-
18	1280	450
20	2440	1850
22	4100	5160

本项目 15MV 电子加速器平均每人治疗时间为 5min, 采用电子线能量最大为 21MeV, 产生的 X 射线是韧致辐射, X 射线能量最大为 15MV。一般情况下, 25MV 能量的份额会低于 5%, 保守估算取 5%。根据表 11.2-23, 可计算每次加速器开机治疗产生的  $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  的活度。

加速器电子束流为 0.1mA, 空气中  $\text{N}_2$  含量为 78%,  $\text{O}_2$  含量为 21%, 则每次治疗结束后,  $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  的产生量保守按 22MeV 电子束能量计算:

$$\begin{aligned} ^{13}\text{N} &= 4100(\mu\text{Ci/s mA MeV}) \times 300\text{s} \times 0.1\text{mA} \times 22\text{MeV} \times 5\% \times 78\% \\ &= 105534\mu\text{Ci} = 105.53\text{mCi} = 3.9 \times 10^9\text{Bq} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ^{15}\text{O} &= 5160(\mu\text{Ci/s mA MeV}) \times 300\text{s} \times 0.1\text{mA} \times 22\text{MeV} \times 5\% \times 21\% \\ &= 35758.8\mu\text{Ci} = 35.76\text{mCi} = 1.32 \times 10^9\text{Bq} \end{aligned}$$

15MV 加速器每天治疗人次为 30 人, 单次治疗约 15min (含摆位、出束等流程),

则单台加速器  $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  产生量分别为  $1.17 \times 10^{11}\text{Bq}$ 、 $3.97 \times 10^{10}\text{Bq}$ 。因加速器每次治疗，间断出束为 5min，所以感生的放射性气体产生和排放均是不均匀的，在此，以评价计算的方式粗略估算排放口的活度浓度。根据设计方案，加速机房有效体积为  $382\text{m}^3$ ，通风次数为 10-15 次/小时，保守取 10 次，则 8h 的通风量为  $30600\text{m}^3$ ，则可计算出排风口中  $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  的平均活度浓度分别为  $3.83 \times 10^3\text{Bq/L}$ 、 $1.30 \times 10^3\text{Bq/L}$ 。

由于感生放射性气体  $^{11}\text{C}$ 、 $^{41}\text{Ar}$  的含量很低，不进行浓度估算。因感生放射性气体半衰期短、臭氧分解时间短，因此排至室外后很快便可衰变至可忽略的水平。

### (2) 辐射工作人员受照辐射剂量分析

根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011) 5.3.4.2 在规定的最大吸收剂量率下，进行 4Gy 照射，以间隙 10min 的方式连续运行 4h 后，在最后一次照射终止后的 10s 开始测量，测得感生放射性的周围剂量当量，且应满足下列要求：

a) 累计测量 5min，在离外壳表面 5cm 任何容易接近处不超过  $10\mu\text{Sv}$ ，离外壳表面 1m 处不超过  $1\mu\text{Sv}$ ；

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

按离外壳表面 1m 处感生放射性的周围剂量当量  $1\mu\text{Sv}$  计，工作人员机房内单次摆位和卸载患者时间共按 1min 计，则每天进入机房的时间为 30min，则因感生放射性物质造成的周围剂量当量为  $1\mu\text{Sv} \times 30\text{min} \div 5\text{min} \times 250\text{d/a} = 1500\mu\text{Sv/a} = 1.5\text{mSv/a}$ 。

因此，为减少感生放射性的影响，工作人员应尽可能远离加速器机头，且治疗结束后，等待一段时间后方可进入机房，可大幅度降低感生放射性物质的辐射影响。

## 九、加速器“三废”影响分析

### (1) 废气

加速器运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等。为减轻其危害，本项目加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时 10 次以上，使室内臭氧浓度满足《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002) 中臭氧 1 小时均值  $\leq 0.16\text{mg/m}^3$  的标准限值；工作中保证通风设施完好和正常工作，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。

针对治疗时空气中产生的  $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$  等放射性气体，其衰变过程中产生正电子，即  $\beta^+$  射线， $\beta^+$  射线在空气中的射程只有几米；且放射性气体产额很低，半衰期较短，本项目加速器治疗室设计换气次数为每小时 10 次以上，因此，工作人员适当延缓进入治疗

室，可以明显降低感生放射性的影响，因此，加速器机房内的臭氧、氮氧化物、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 等放射性气体均能控制在可接受范围内。

### (2) 循环冷却水

针对加速器设备中使用的内循环冷却水可能产生感生放射性，循环水系统尽量避开可能使工作人员受到照射的地方。冷却水中被活化形成的放射性核素  $^{15}\text{O}$ 、 $^{16}\text{N}$ ，它们的半衰期分别为 2.1min 和 7.3s，半衰期很短，且产生量很少，只需放置一定的时间其活度就可以衰减到较低的水平。

### (3) 放射性固体废物

本项目直线加速器所产生的放射性固废为废树脂及靶件，将全部由生产厂家负责回收，因而正常情况下不会对环境造成明显影响。

综上，本项目加速器“三废”采取有效可控的措施后，周边环境影响在可接受范围内。

## 11.2.2.2 后装机运营期辐射环境影响分析

### 一、后装机基本参数

本项目拟建设 1 台铯-192 后装机 1 台，根据医院提供的资料，该后装机的技术参数如表 11.2-24 所示。

表 11.2-24 后装机的技术参数

核素	活度 (Bq)	$\gamma$ 射线能量 均值	空气比释动能 率常数 $K_r$	等中心距 地面高度	最大照射 野	每天治 疗人次	每人 次照射时 间
铯-192	$3.7 \times 10^{11}$	0.37MeV	0.111 $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$	0.8m	20*20cm	20 人次	6min

### 二、后装机机房外关注点设置

后装机  $\gamma$  辐射强度可认为是各向同性的，后装机治疗室应考虑放射源发射的  $\gamma$  射线初级辐射对墙和顶棚的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射。

以治疗机房外 30cm 处作为评价关注点，由于后装机可能的使用位置是不固定的，在治疗机房内一定范围内使用。因此，为保守计算，假定使用区域为距离各墙体内壁 1.0m 的矩形区域内（详见图 11.2-7 中的虚线区域）。根据后装机机房的平面布置图，得出放射源到各关注点的距离  $R$ 。由于治疗室所在区域无地下层，因此，不对治疗室的地下层进行屏蔽计算。

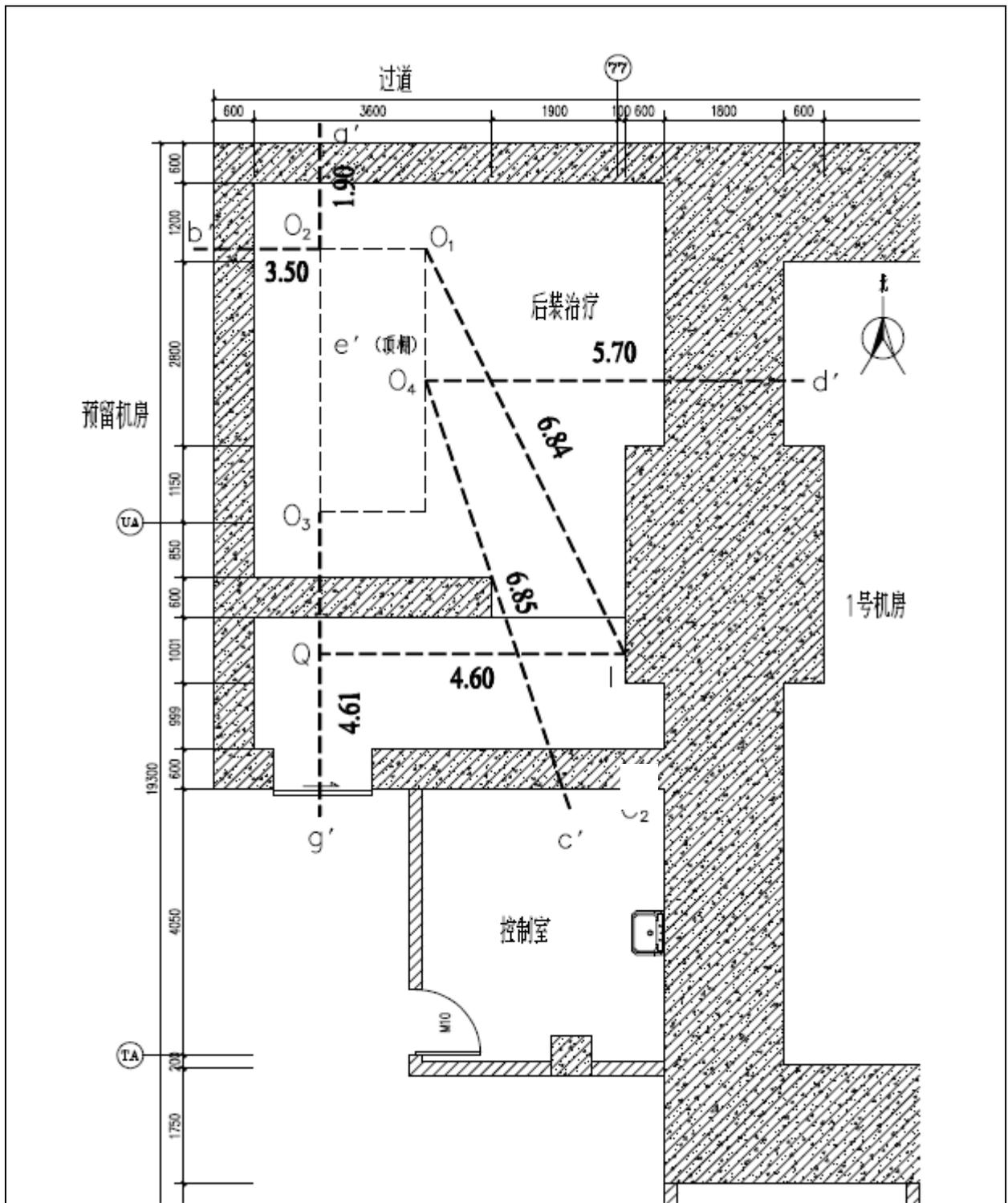


图 11.2-7 后装治疗机房外关注点分布示意图

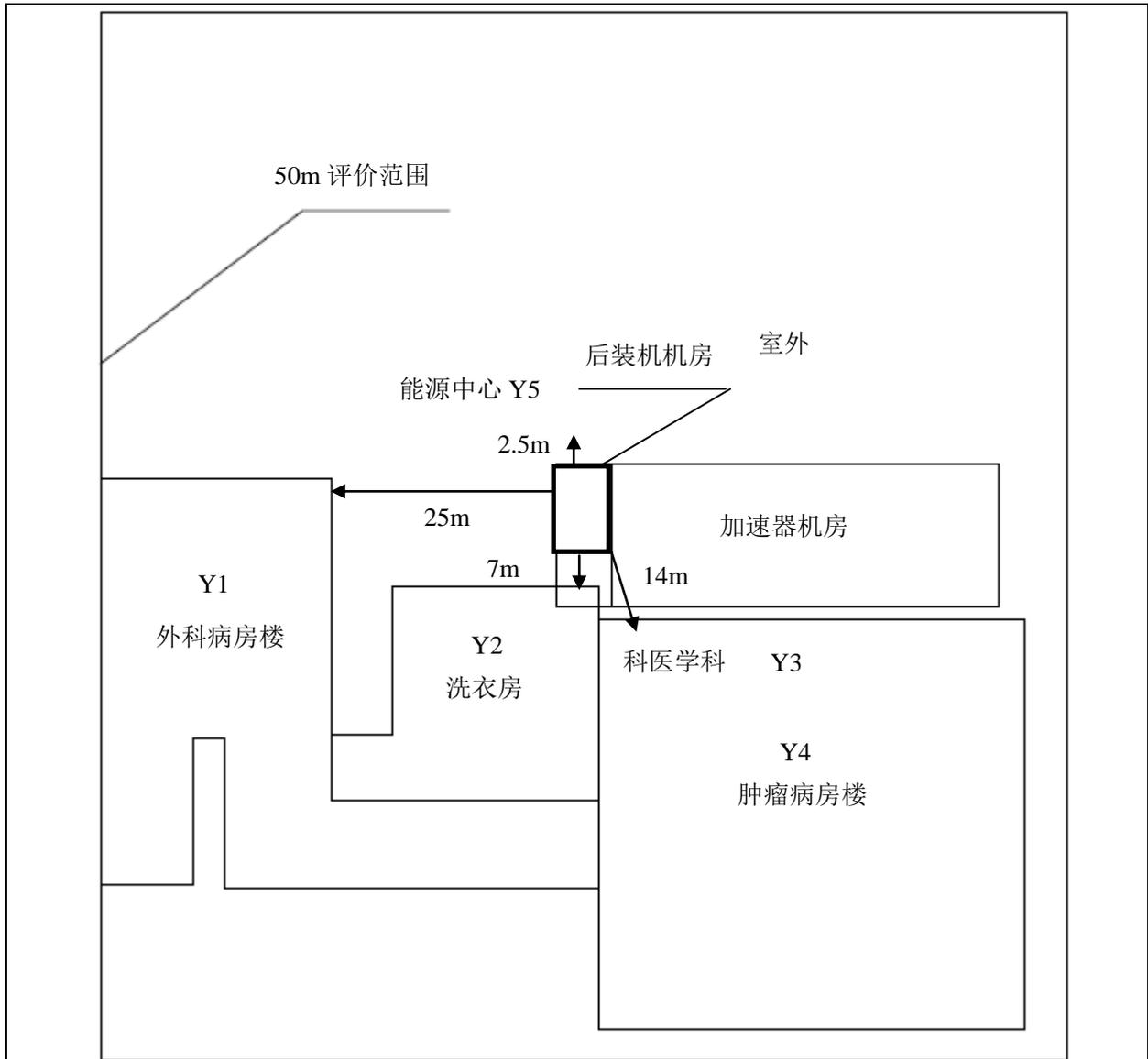


图 11.2-8 后装机机房评价范围内保护目标分布示意图

该项目后装机预计每天治疗 20 人，每人次辐射治疗时间约 6min，每周工作 5 天，每周治疗时间为 10h；全年工作 50 周，年照射时间约 500h。各关注点剂量率控制水平见表 11.2-25。

表 11.2-25 各关注点剂量率控制水平

序号	关注点	点位描述	辐射类型	使用因子 (U)	居留因子 (T)	距离 R (m)
1	a'	北墙外 30cm 处，即过道	初级	1	1/16	1.90
2	b'	西墙外 30cm 处，即预留机房	初级	1	1/4	3.50
3	c'	南墙外 30cm 处，即控制室	初级	1	1	4.61
4	d'	东墙外 30cm 处，即 1#机房	初级	1	1/4	5.70
5	e'	顶棚外 30cm 处，即出入口	初级	1	1/16	4.1

6	g'	防护门外 30cm 处, 即过道	初级	1	1/16	4.61
			散射	1	1/16	6.84 (6.5)
7	Y1	外科病房楼	初级	1	1	26.9
8	Y2	洗衣房	初级	1	1	8.1
9	Y3	核医学科	初级	1	1	15.9
10	Y4	肿瘤病房楼	初级	1	1	16.4
11	Y5	能源中心	初级	1	1/16	4.1

备注: 各关注点均距离墙外 30cm。

### 三、初级辐射的影响预测

根据拟建后装机的技术参数和治疗机房的设计方案, 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》(GBZ/T201.3-2014) 中使用的什值层 (TVL) 计算方法, 预测后装机最大装载放射源活度时, 治疗机房外各关注点的辐射剂量率水平。

首先根据公式 11.2-6 计算当 X 射线束以:  $\theta$  角斜射入厚度为 X (cm) 的屏蔽物质时, 射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度  $X_e$  (cm)。

按式 11.2-7 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B, 再按式 11.2-16 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率  $H^{\circ}$  ( $\mu\text{Sv/h}$ )。

$$H^{\circ} = \frac{H_0^{\circ} \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots \text{(式 11.2-16)}$$

式中:

$H_0^{\circ}$ ——活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率,  $\mu\text{Sv/h}$ ;

f——对有用线束为 1;

R——辐射源点(靶点)至关注点的距离, m;

B——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

其中  $H_0^{\circ}$  按公式 11.2-17 计算。

$$H_0^{\circ} = A \cdot K_r \dots\dots\dots \text{(11.2-17)}$$

式中:

A: 放射源的活度, 单位为 MBq; 本项目为  $3.7 \times 10^5 \text{MBq}$ 。

$K_r$ : 放射源的空气比释动能率常数, 单位为  $\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$ , 根据 GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1 本次取 0.111。

根据公式 11-17 可计算  $H_0^{\circ} = 3.7 \times 10^5 \times 0.111 = 4.11 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$ 。

再使用公式 11.2-6、11.2-7、11.2-16 计算出治疗机房各关注点的辐射剂量率水平，计算因子和结果见表 11.2-26。

11.2-26 后装机关注点初级辐射剂量率的预测结果

关注点	点位描述	辐射类型	屏蔽墙混凝土厚度 (m) *	入射角 $\theta$ (°)	距离 R (m)	B	TVL <sub>1</sub> (cm) **	TVL (cm) **	预测值 $\dot{H}$ (μSv/h)
a'	北墙外 30cm 处，即过道	初级	0.6	0	1.90	1.13E-04	15.2	15.2	1.29
b'	西墙外 30cm 处，即预留机房	初级	0.6	0	3.50	1.13E-04	15.2	15.2	0.38
c'	南墙外 30cm 处，即控制室	初级	0.6	30	4.61	2.77E-05	15.2	15.2	5.35E-02
d'	东墙外 30cm 处，即 1#机房	初级	1.8	0	5.70	1.44E-12	15.2	15.2	1.82E-09
e'	顶棚外 30cm 处，即出入口	初级	0.6	0	4.1	1.13E-04	15.2	15.2	0.28
g'	防护门外 30cm 处，即过道	初级	0.6	0	4.61	1.13E-04	15.2	15.2	0.22
Y1	外科病房楼	初级	0.6	0	26.9	1.13E-04	15.2	15.2	6.41E-03
Y2	洗衣房	初级	0.6	30	8.1	2.77E-05	15.2	15.2	1.73E-02
Y3	核医学科	初级	0.6	30	15.9	2.77E-05	15.2	15.2	4.50E-03
Y4	肿瘤病房楼	初级	0.6	30	16.4	2.77E-05	15.2	15.2	4.23E-03
Y5	能源中心	初级	0.6	0	4.1	1.13E-04	15.2	15.2	0.28

备注：\*表示仅考虑后装机治疗室本身的屏蔽，不考虑其他房间的墙体厚度和土壤层厚度。\*\*表示参照 GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1，混凝土 TVL<sub>1</sub>=TVL=15.2cm，铅 TVL<sub>1</sub>=TVL=1.6cm。

#### 四、散射辐射的影响预测

治疗机房入口（迷道口）的辐射主要来自经迷路多次反射的散射辐射。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 3 部分：γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中对后装治疗机房迷道口散射辐射屏蔽计算方法，迷路入口处的散射辐射剂量率  $\dot{H}^g$  采用公式 11.2-18 计算，计算参数和结果见表 11.2-27。

$$\dot{H}^g = \frac{AgK_r gS_w g\alpha_w}{R_1^2 gR_2^2} \dots\dots\dots (11.2-18)$$

式中：

A——放射源的活度，单位：MBq；

$K_r$ ——放射源的空气比释动能率常数，单位为 μSv/(h.MBq)，根据 GBZ/T201.3-2014 附录 C 表 C.1 本次取 0.111。

$S_w$ ——迷路内口墙的散射面积，其为辐射源和机房入口共同可视见的墙区面积，单

位:  $m^2$ ;

$\alpha_w$ ——散射体的散射因子;

$R_1$ ——辐射源至散射体中心点的距离, 单位: m;

$R_2$ ——散射体中心点至计算点的距离, 单位: m;

表 11.2-27 迷路口  $\gamma$  射线散射辐射计算参数及结果

参数	A (MBq)	$K_r$ $\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	$S_w (m^2)$	$\alpha_w$	$R_1(\text{m})$	$R_2(\text{m})$	$\dot{H}_g \mu\text{Sv}/\text{h}$
数值	$3.7 \times 10^5$	0.111	13.87	$3.39 \times 10^{-2}$	6.84	6.5	9.77

根据以上计算结果可知, 在没有防护门时, 治疗机房迷道入口处的辐射剂量率可达  $9.77 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。经迷道壁两次散射后迷道口的散射辐射能量约  $0.2\text{MeV}$ , 铅中的 TVL 为  $5\text{mm}$ , 而该后装机房的防护门设计为  $10\text{mm}$  铅当量, 经防护门屏蔽后迷道口的辐射剂量率利用公式 11.2-19 计算。

$$\dot{H}_c = H_g \times 10^{-(X/\text{TVL})} + H_{0g} \dots \dots \dots \quad (\text{式 } 11.2-19)$$

$X$ ——防护门铅板厚度, mm; 本项目为  $10\text{mm}$ ;

$\text{TVL}$ ——铅板的什值层, mm; 取  $5.0\text{mm}$ ;

$H_g$ ——防护门前  $g'$  点的辐射剂量率,  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ;

$H_{0g}$ ——关注点  $g'$  泄漏辐射剂量率,  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

经计算, 经防护门屏蔽后, 防护门外的辐射剂量率可降至  $0.32 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

### 五、预测结果及评价

后装机治疗室外的剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较如表 11.2-28 所示。从表中可以看出, 本项目后装机治疗室屏蔽体外  $30\text{cm}$  处的辐射剂量率能够满足《后装  $\gamma$  源近距离治疗卫生防护标准》(GBZ121-2017) 中“5.8 治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化原则, 治疗室屏蔽体外  $30\text{cm}$  处因透射辐射所致的周围剂量当量率应不超过  $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ ”。

表 11.2-28 剂量率预测结果与周围剂量当量率控制要求比较

关注点	点位描述	辐射剂量率预测结果 $\dot{H}_c$ ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	周围剂量当量率控制要求 ( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	是否满足控制要求
a'	北墙外 $30\text{cm}$ 处, 即过道	1.29	2.5	满足
b'	西墙外 $30\text{cm}$ 处, 即预留机房	0.38	2.5	满足
c'	南墙外 $30\text{cm}$ 处, 即控制室	$5.35\text{E}-02$	2.5	满足
d'	东墙外 $30\text{cm}$ 处, 即 1#机房	$1.82\text{E}-09$	2.5	满足

e'	顶棚外 30cm 处，即出入口	0.28	2.5	满足
g'	防护门外 30cm 处，即过道	0.32	2.5	满足
Y1	外科病房楼	6.41E-03	-	
Y2	洗衣房	1.73E-02	-	
Y3	核医学科	4.50E-03	-	
Y4	肿瘤病房楼	4.23E-03	-	
Y5	能源中心	0.28	-	

#### 六、工作人员摆位所受外照射剂量分析

由于辐射工作人员需要进入后装机治疗室内协助患者进行摆位，在摆位过程中会受到放射源的照射。辐射工作人员进入治疗室之前，必须确保放射源处于后装机的贮源器中，并佩戴个人剂量报警仪进入机房。辐射工作人员协助患者摆位时在治疗室内的停留时间按 2 分钟计，与工作贮源器的平均距离按 1m 考虑。根据《后装  $\gamma$  源近距离治疗卫生防护标准》（GBZ121-2002）4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 1m 处的球面上，任何一点的泄漏辐射的空气比释动能率不得大于  $10\mu\text{Gy/h}$ 。以该泄漏辐射的剂量率限值作为辐射工作人员工作位的最大辐射剂量率，则辐射工作人员全年摆位过程所受的个人剂量：

$$E=D \times t = 10\mu\text{Gy/h} \times 10^{-3} \times 2\text{min} \times 1/60 \times 20 \text{ 人/天} \times 250\text{d/a} = 1.66\text{mSv/a}.$$

因此，摆位过程对辐射工作人员的影响较大，辐射工作人员应熟悉摆位流程，在满足治疗质量要求的前提下，尽量减少治疗室内停留时间。

#### 七、更换放射源过程中的环境影响分析

本项目后装机使用 1 枚放射源  $^{192}\text{Ir}$ ，其半衰期为 74 天。根据医院诊疗计划，本项目放射源使用达到 1.5 个半衰期时需更换，即 111 天更换一次，每年更换 3 次，产生 3 枚废放射源。更换放射源之前院方将先到当地环保部门进行备案，待备案完成后再联系厂家进行更换放射源，由厂家安排换源及换源后的整机调试。更换放射源全程由厂家专业人员按国家相关规定负责操作完成。本项目 1 枚放射源贮存在贮源容器内，额定贮存容量  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$  (10Ci)，泄漏剂量（距贮源容器表面 1m 处）： $\leq 0.01\text{mGy/h}$ 。贮源容器供运输和使用时的放射源，更换放射源时，厂家使用新的贮源容器运输放射源至医院后装机治疗室内，连同贮源容器一起置换，即换源的过程就是贮源容器的置换过程，退役的放射源连同原贮源容器一起运输至设备厂家进行回收处置。更换过程中环保部门有相关人员到场进行实时的监测、监督，环保部门相关人员及医院工作人员均不直接参与放射源的更换操作，仅监督辅助厂家专业人员按国家相关规定进行更换操作。

厂家按国家相关规定将贮源容器运至医院后装机治疗室后，整个更换过程大约10min，期间机房门关闭，机房内仅有厂家专业人员，环保部门相关人员及医院工作人员在控制室内通过监控设施进行实时监督，保证放射源更换过程按国家相关规定有序进行。更换时厂家专业人员距源容器表面按0.1m计算，则根据平方反比定律，距源容器0.1m处的剂量 $\leq 1\text{mGy/h}$ ，按最不利的情况（即更换操作人员没有防护的情况下）计算，则厂家专业人员在更换贮源容器时，受到的放射泄漏辐射有效剂量为： $1\text{mGy/h} \times 10\text{min} / 60 = 0.17\text{mGy}$ ，即  $0.17\text{mGy} \times 0.7 = 0.12\text{mSv}$ 。据此，经过机房墙体的阻隔和距离的衰减，更换放射源时对控制室内人员及机房周围的辐射环境影响较小，可满足本项目管理限值要求。

#### 八、其他环境影响分析

##### (1) 放射性固废

本项目废铯-137放射源经厂家回收后，对周边环境无影响。

##### (2) $\beta$ 射线

铯-137衰变产生的 $\beta$ 射线比 $\gamma$ 射线穿透力弱很多，在空气中传播距离很短，经治疗室墙体屏蔽后，对周边环境影响较 $\gamma$ 射线可以忽略。

##### (3) 氮氧化物和臭氧

后装机在出源运行过程中，因射线与空气作用会产生少量的氮氧化物和臭氧，经治疗室通风换气后通过排风系统排出至室外环境空气中，对周边环境影响十分有限。

#### 11.2.2.3 放疗科各辐射工作场所环境影响叠加分析

根据（式 11.2-4）计算各预测点位人员所受的辐射影响（年有效剂量）见表 11.2-29。

表 11.2-29 放疗科各预测点位辐射剂量预测结果

机房名称	编号	位置描述	预测剂量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	有效曝光时间 (h/a)	居留因子	年有效剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
后装机 机房	a'	北墙外 30cm 处，即过道	1.29	500	1/16	4.03E-02	0.25
	b'	西墙外 30cm 处，即预留机房	0.38	500	1/4	4.75E-02	-
	c'	南墙外 30cm 处，即控制室	5.35E-02	500	1	2.68E-02	5
	d'	东墙外 30cm 处，即 1#机房	1.82E-09	500	1/4	2.28E-10	-
	e'	顶棚外 30cm 处，即出入口	0.28	500	1/16	8.75E-03	0.25
	g'	防护门外 30cm 处，即过道	0.32	500	1/16	1.00E-02	0.25
1#10MV 加速器 机房	A	西墙主屏蔽区外 30cm(后装机房)	0.24	500	1/4	3.00E-02	-
	B	东墙主屏蔽区外 30cm(2号机房)	0.24	500	1/4	3.00E-02	-
	C1	西墙次屏蔽区外 30cm(后装机房)	2.21 E-02	500	1/4	2.76E-03	-
	C2	西墙次屏蔽区外 30cm(后装机房控制室)	2.21 E-02	500	1/4	2.76E-03	5

	D1/D2	东墙次屏蔽区外 30cm (2 号机房)	2.21 E-02	500	1/4	2.76E-03	-
	E	北墙外 30cm (过道)	6.74E-02	500	1/16	2.11E-03	0.25
	F	南墙外 30cm (控制室)	9.80E-07	500	1	4.90E-07	5
	G	防护门外 30cm (过道)	0.72	500	1/16	2.25E-02	0.25
	K	南墙外 30cm (水冷机房)	3.39E-03	500	1/16	1.06E-04	0.25
	M1/M2	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处(肿瘤中心出入口)	1.08 E-02	500	1/16	3.38E-04	0.25
	N	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处(肿瘤中心出入口)	0.16	500	1/16	5.00E-03	0.25
2#10MV 加速器 机房	a	西墙主屏蔽区外 30cm (1 号机房)	0.24	500	1/4	3.00E-02	-
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (3 号机房)	0.24	500	1/4	3.00E-02	-
	c1/c2	西墙次屏蔽区外 30cm (1 号机房)	2.21 E-02	500	1/4	2.76E-03	-
	d1/d2	东墙次屏蔽区外 30cm (3 号机房)	2.21 E-02	500	1/4	2.76E-03	-
	e	北墙外 30cm (过道)	6.74E-02	500	1/16	2.11E-03	0.25
	f	南墙外 30cm (控制室)	4.33E-06	500	1	2.17E-06	5
	g	防护门外 30cm (过道)	0.72	500	1/16	2.25E-02	0.25
	k	南墙外 30cm (水冷机房)	3.39E-03	500	1/16	1.06E-04	0.25
	m1/m2	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处(肿瘤中心出入口)	1.08 E-02	500	1/16	3.38E-04	0.25
n	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处(肿瘤中心出入口)	0.16	500	1/16	5.00E-03	0.25	
3#10MV 加速器 机房	A'	西墙主屏蔽区外 30cm (2 号机房)	0.24	500	1/4	3.00E-02	-
	B'	东墙主屏蔽区外 30cm (4 号机房)	0.24	500	1/4	3.00E-02	-
	C'1/ C'2	西墙次屏蔽区外 30cm (2 号机房)	2.21 E-02	500	1/4	2.76E-03	-
	D'1/ D'2	东墙次屏蔽区外 30cm (4 号机房)	2.21 E-02	500	1/4	2.76E-03	-
	E'	北墙外 30cm (过道)	6.74E-02	500	1/16	2.11E-03	0.25
	F'	南墙外 30cm (控制室)	4.33E-06	500	1	2.17E-06	5
	G'	防护门外 30cm (过道)	0.72	500	1/16	2.25E-02	0.25
	K'	南墙外 30cm (水冷机房)	3.39E-03	500	1/16	1.06E-04	0.25
	M'1/ M'2	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处(肿瘤中心出入口)	1.08 E-02	500	1/16	3.38E-04	0.25
N'	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处(肿瘤中心出入口)	0.16	500	1/16	5.00E-03	0.25	
4#15MV 加速器 机房	A''	西墙主屏蔽区外 30cm (3 号机房)	0.34	625	1/4	5.31E-02	-
	B''	东墙主屏蔽区外 30cm (过道)	0.34	625	1/4	5.31E-02	0.25
	C1''/ C2''	西墙次屏蔽区外 30cm (3 号机房)	7.90 E-02	625	1/4	1.23E-02	-
	D1''/ D2''	东墙次屏蔽区外 30cm (过道)	7.90 E-02	625	1/4	1.23E-02	0.25
	E''	北墙外 30cm (过道)	3.47E-02	625	1/16	1.36E-03	0.25
	F''	南墙外 30cm (控制室)	3.83E-06	625	1	2.39E-06	5
	G''	防护门外 30cm (过道)	0.65	625	1/16	2.54E-02	0.25
	K''	南墙外 30cm (水冷机房)	1.98E-03	625	1/16	7.73E-05	0.25
	M1''/M2''	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处(肿	3.84 E-02	625	1/16	1.50E-03	0.25

		瘤中心出入口)					
	N"	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处(肿瘤中心出入口)	0.23	625	1/16	8.98E-03	0.25
保护目标	Y1	外科病房楼	0.11	625	1	6.88E-02	0.25
	Y2	洗衣房	2.66E-03	625	1	1.66E-03	0.25
	Y3	核医学科	1.51E-03	625	1	9.44E-04	0.25
	Y4	肿瘤病房楼	3.16E-03	625	1	1.98E-03	0.25
	Y5	停车场	1.63E-05	625	1/16	6.37E-07	0.25
	Y6	能源中心	2.81E-03	625	1/16	1.10E-04	0.25

从表 11.2-29 可以看出, 保守估算正常运行时, 单一辐射工作场所所致工作人员最大职业照射剂量值为  $2.68 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$  (后装机控制室人员), 满足工作人员的剂量约束值不大于  $5 \text{mSv/a}$  的要求; 所致公众人员最大年有效剂量值为  $6.88 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$  (外科病房楼公众), 满足公众剂量约束值不大于  $0.25 \text{mSv/a}$  的要求。根据预测结果可知, 直线加速器、后装机运行期间, 单一辐射工作场所对工作人员和周围公众的辐射影响能够满足评价标准要求。

为简化邻近机房的影响, 各关注点仅叠加相邻机房最近关注点的有效剂量, 如 a' 与 C<sub>1</sub> 最近, 则进行叠加, b' 周边紧邻点位均距离较远, 则不叠加; 因环境保护目标年有效剂量贡献值仅计算最近的机房的影响值, 考虑放疗科机房对称分布, 故叠加后的总有效剂量为贡献值的 2 倍。叠加后各关注点的辐射剂量预测结果如表 11.2-30 所示。

表 11.2-30 叠加紧邻场所辐射影响后各关注点的辐射剂量预测结果

机房名称	编号	位置描述	年有效剂量贡献值 (mSv/a)	叠加点位编号	叠加年有效剂量 (mSv/a)	总年有效剂量 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)
后装机机房	a'	北墙外 30cm 处, 即过道	4.03E-02	C <sub>1</sub>	2.76E-03	4.31E-02	0.25
	b'	西墙外 30cm 处, 即预留机房	4.75E-02	-	-	4.75E-02	-
	c'	南墙外 30cm 处, 即控制室	2.68E-02	C <sub>2</sub>	2.76E-03	2.95E-02	5
	d'	东墙外 30cm 处, 即 1# 机房	2.28E-10	a	3.00E-02	3.00E-02	-
	e'	顶棚外 30cm 处, 即出入口	8.75E-03	M <sub>1</sub>	3.38E-04	9.09E-03	0.25
	g'	防护门外 30cm 处, 即过道	1.00E-02	-	-	1.00E-02	0.25
1#10MV 加速器机房	A	西墙主屏蔽区外 30cm (后装机房)	3.00E-02	-	-	3.00E-02	-
	B	东墙主屏蔽区外 30cm (2 号机房)	3.00E-02	A'	3.00E-02	6.00E-02	-
	C <sub>1</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机房)	2.76E-03	-	-	2.76E-03	-
	C <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (后装机房控制室)	2.76E-03	c'	2.68E-02	2.95E-02	-
	D <sub>1</sub> /D <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (2 号机房)	2.76E-03	C' <sub>1</sub> /C' <sub>2</sub>	2.76E-03	5.53E-03	-
	E	北墙外 30cm (过道)	2.11E-03	c <sub>1</sub> /c <sub>2</sub>	2.76E-03	4.87E-03	0.25

	F	南墙外 30cm (控制室)	4.90E-07			4.90E-07	5
	G	防护门外 30cm (过道)	2.25E-02	g	2.25E-02	4.50E-02	0.25
	K	南墙外 30cm (水冷机房)	1.06E-04			1.06E-04	0.25
	M <sub>1</sub> /M <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	3.38E-04	e'、m <sub>1</sub>	9.09E-03	9.43E-03	0.25
	N	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	5.00E-03	e'、m <sub>1</sub>	9.09E-03	1.41E-02	0.25
2#10MV 加速器 机房	a	西墙主屏蔽区外 30cm (1 号机房)	3.00E-02	d'	2.28E-10	3.00E-02	-
	b	东墙主屏蔽区外 30cm (3 号机房)	3.00E-02	A''	5.31E-02	8.31E-02	-
	c <sub>1</sub> /c <sub>2</sub>	西墙次屏蔽区外 30cm (1 号机房)	2.76E-03	d'	2.28E-10	2.76E-03	-
	d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub>	东墙次屏蔽区外 30cm (3 号机房)	2.76E-03	C <sub>1</sub> ''/C <sub>2</sub> ''	1.23E-02	1.51E-02	-
	e	北墙外 30cm (过道)	2.11E-03	D <sub>1</sub> 、C <sub>1</sub> '	5.53E-03	7.63E-03	0.25
	f	南墙外 30cm (控制室)	2.17E-06			2.17E-06	5
	g	防护门外 30cm (过道)	2.25E-02	G	2.25E-02	4.50E-02	0.25
	k	南墙外 30cm (水冷机房)	1.06E-04	K'	1.06E-04	2.12E-04	0.25
	m <sub>1</sub> /m <sub>2</sub>	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	3.38E-04	M <sub>2</sub> 、C <sub>1</sub> '	3.10E-03	3.44E-03	0.25
	n	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	5.00E-03	M <sub>2</sub> 、C <sub>1</sub> '	3.10E-03	8.10E-03	0.25
3#10MV 加速器 机房	A'	西墙主屏蔽区外 30cm (2 号机房)	3.00E-02	B	3.00E-02	6.00E-02	0.25
	B'	东墙主屏蔽区外 30cm (4 号机房)	3.00E-02	-	-	3.00E-02	0.25
	C <sub>1</sub> '/C <sub>2</sub> '	西墙次屏蔽区外 30cm (2 号机房)	2.76E-03	D <sub>1</sub> /D <sub>2</sub>	2.76E-03	5.53E-03	0.25
	D <sub>1</sub> '/D <sub>2</sub> '	东墙次屏蔽区外 30cm (4 号机房)	2.76E-03	-	-	2.76E-03	0.25
	E'	北墙外 30cm (过道)	2.11E-03	d <sub>1</sub> 、C <sub>1</sub> ''	1.51E-02	1.72E-02	0.25
	F'	南墙外 30cm (控制室)	2.17E-06			2.17E-06	5
	G'	防护门外 30cm (过道)	2.25E-02	G''	2.54E-02	4.79E-02	0.25
	K'	南墙外 30cm (水冷机房)	1.06E-04	k	1.06E-04	2.12E-04	0.25
	M <sub>1</sub> '/M <sub>2</sub> '	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	3.38E-04	c <sub>2</sub> 、C <sub>1</sub> ''	1.51E-02	1.54E-02	0.25
N'	顶棚主屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	5.00E-03	c <sub>2</sub> 、C <sub>1</sub> ''	1.51E-02	2.01E-02	0.25	
4#15MV 加速器 机房	A''	西墙主屏蔽区外 30cm (3 号机房)	5.31E-02	b	3.00E-02	8.31E-02	-
	B''	东墙主屏蔽区外 30cm (过道)	5.31E-02	-	-	5.31E-02	0.25
	C <sub>1</sub> ''/C <sub>2</sub> ''	西墙次屏蔽区外 30cm (3 号机房)	1.23E-02	d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub>	2.76E-03	1.51E-02	-
	D <sub>1</sub> ''/D <sub>2</sub> ''	东墙次屏蔽区外 30cm (过道)	1.23E-02	-	-	1.23E-02	0.25
	E''	北墙外 30cm (过道)	1.36E-03	D <sub>1</sub> '	2.76E-03	4.12E-03	0.25
	F''	南墙外 30cm (控制室)	2.39E-06			2.39E-06	5
	G''	防护门外 30cm (过道)	2.54E-02	G'	2.25E-02	4.79E-02	0.25
	K''	南墙外 30cm (水冷机房)	7.73E-05			7.73E-05	0.25
	M <sub>1</sub> ''/M <sub>2</sub> ''	顶棚次屏蔽区地面上 30cm 处 (肿瘤中心出入口)	1.50E-03	M <sub>2</sub> '	3.38E-04	1.84E-03	0.25
N''	顶棚主屏蔽区地面上 30cm	8.98E-03	M <sub>2</sub> '	3.38E-04	9.32E-03	0.25	

		处（肿瘤中心出入口）					
保护目标	Y1	外科病房楼	6.88E-02	Y1	6.88E-02	1.38E-01	0.25
	Y2	洗衣房	1.66E-03	Y2	1.66E-03	3.33E-03	0.25
	Y3	核医学科	9.44E-04	Y3	9.44E-04	1.89E-03	0.25
	Y4	肿瘤病房楼	1.98E-03	Y4	1.98E-03	3.95E-03	0.25
	Y5	停车场	6.37E-07	Y5	6.37E-07	1.27E-06	0.25
	Y6	能源中心	1.10E-04	Y6	1.10E-04	2.20E-04	0.25

从表 11.2-30 可以看出，叠加邻近场所的辐射剂量后，保守估算正常运行所致工作人员最大职业照射剂量值为  $2.95 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ （后装机控制工作人员），进入后装机房摆位所致剂量为  $1.66 \text{mSv/a}$ ，则总受照剂量为  $1.69 \text{mSv/a}$ 。加速器运行对控制室工作人员所致外照射剂量为  $2.39 \times 10^{-6} \text{mSv/a}$ ，感生放射性对工作人员所致辐射剂量为  $1.5 \text{mSv/a}$ ，则工作人员最大职业照射剂量值约为  $1.5 \text{mSv/a}$ ，满足工作人员的剂量约束值不大于  $5 \text{mSv/a}$  的要求；所致公众人员最大年有效剂量值为  $0.138 \text{mSv/a}$ ，满足公众剂量约束值不大于  $0.25 \text{mSv/a}$  的要求。根据预测结果可知，放疗科设备运行期间，对工作人员和周围公众的辐射影响能够满足评价标准要求。

### 11.2.3 介入中心环境影响分析

#### 一、选取类比对象

为分析本项目 DSA 装置运行后对周围环境所造成的辐射影响，本评价选取宁波市第一医院 DSA3 室的已运行 DSA 装置进行类比评价，可比性分析详见表 11.2-31。

表 11.2-31 DSA 射线装置可比性分析

内容		类比对象	本项目	对比结果
技术参数（最大管电压/管电流）		125kV/1250mA	125kV、1250mA（3台），125kV、800mA（1台），120kV、800mA（1台）	小于类比对象和相当
机房面积（m <sup>2</sup> ）		37.26	45.36~60.06	更大
防护设施	四周墙体	24cm 实心砖 +2cmBaSO <sub>4</sub> 涂料 (4.0 mm 铅当量)	轻钢龙骨架+4mm 铅板 折算：4.0 mm 铅当量	屏蔽能力相当
	门	4.5mm 铅当量	4.0mm 铅板（4.0mm 当量）	屏蔽能力略弱
	窗	4.0mm 铅当量	5.0mmPb 当量的铅玻璃	屏蔽能力更强
	顶棚	12cm 混凝土 +2cmBaSO <sub>4</sub> 涂料	10cm 混凝土+3mm 铅板(4.0 mm 铅当量)	屏蔽能力更强
	地坪	(3.4mm 铅当量)	10cm 混凝土+3mmPb 当量涂料（4.0 mm 铅当量）	屏蔽能力更强

由类比分析可知，本次选用的类比对象是合理可行的。通过类比对象的监测，可预测本项目 DSA 运行后的辐射环境影响。类比监测结果引自浙江中一检测研究院股份有限公司编制的《宁波市第一医院 DSA 和磁共振等射线装置迁建项目竣工环境保护验收

监测表》(中一辐验字(2016)第047号), 详见表 11.2-32, 类比监测点位详见图 11.2-9。

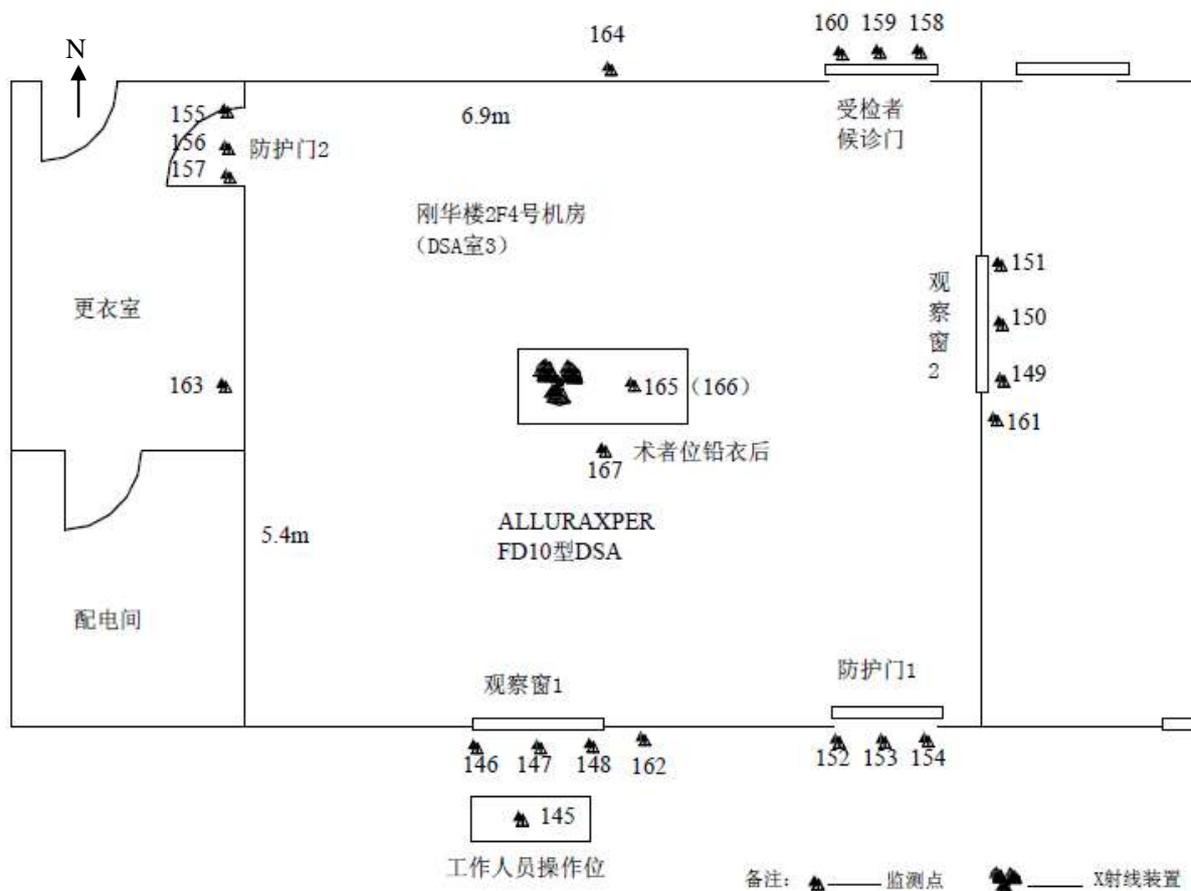


图 11.2-9 类比项目 (DSA 机房) 监测点位图

表 11.2-32 类比 DSA 机房周围 X-γ 辐射剂量率监测结果

监测点 位编号	监测点位描述 (监测工况: 120kV、10.3mA, 球管方向朝上、 透视模式)	检测结果 (nSv/h)			
		设备未运行时		设备运行时	
		校正 值	标准 差	校正 值	标准 差
145	工作人员操作位	126	2	133	4
146	观察窗 1 (左侧) 外表面 30cm	123	5	144	5
147	观察窗 1 (中部) 外表面 30cm	125	4	139	3
148	观察窗 1 (右侧) 外表面 30cm	128	8	143	5
149	观察窗 2 (左侧) 外表面 30cm	123	3	144	6
150	观察窗 2 (中部) 外表面 30cm	125	5	142	5
151	观察窗 2 (右侧) 外表面 30cm	126	3	147	5
152	防护门 1 (左侧) 外表面 30cm	123	4	144	3
153	防护门 1 (中部) 外表面 30cm	128	6	140	4
154	防护门 1 (右侧) 外表面 30cm	131	7	141	6
155	防护门 2 (左侧) 外表面 30cm	127	5	143	6
156	防护门 2 (中部) 外表面 30cm	123	4	141	6
157	防护门 2 (右侧) 外表面 30cm	126	3	146	6
158	受检者候诊门 (左侧) 外表面 30cm	130	6	149	4

159	受检者候诊门（中部）外表面 30cm	124	2	141	5
160	受检者候诊门（右侧）外表面 30cm	125	3	146	7
161	东墙外表面 30cm	138	7	148	9
162	南墙外表面 30cm	135	4	150	6
163	西墙外表面 30cm	141	5	144	7
164	北墙外表面 30cm	135	5	149	7
165	机房楼上（三层）距地坪 30cm 处	139	6	145	8
166	机房楼上（一层）距地坪 170cm 处	140	5	143	5
167	术者位铅衣后	129	4	1440	70
备注：检测值未扣除宇宙射线的响应值。					

由类比分析可知，类比 DSA 装置运行时机房外辐射剂量率升高 3~21nSv/h，增幅不明显。本项目 DSA 机房屏蔽设计与类比设备相当，机房面积更大，机房屏蔽设计能够符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）的要求，因此，可预测本项目 DSA 装置运行后，机房外的辐射剂量率变化不明显。

## 二、剂量估算

### （1）预测参数选取

根据医院预计最大工作量保守假设，每台 DSA 拟配备 1~2 名医生，2~3 名护士，每年手术台数预计为 500 例，每台手术拍片曝光时间为 0.5min，即 4.2h/a；透视曝光时间为 20min，即 166.7h/a；工作人员介入操作过程穿戴好辐射防护用品。为简化评价过程，本评价保守假设单个医生年操作手术为 500 例。

### （2）估算公式

X 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按公式（11.2-4）计算。

### （3）职业剂量估算

#### ①控制室职业剂量估算

根据类比项目 DSA 装置工作人员操作台的辐射剂量率监测结果，操作台辐射剂量率与未开机时相比未明显升高，表明辐射工作人员位于室外拍片操作时不会受到额外的辐射照射。辐射贡献主要为室内介入时操作所致。

#### ②机房内职业剂量估算

根据表 11.2-29 可知，类比项目第一术者位铅衣后的辐射剂量率 1.31 $\mu$ Sv/h，可计算第一术者位接受的年有效剂量约为 0.22mSv。

#### ③职业剂量估算小结

由上述类比分析及剂量估算可知，本项目 DSA 工作人员年剂量均低于 5mSv 的剂量

约束值，符合《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》GB18871-2002 中关于“剂量限值”的要求。

#### ④公众剂量估算

由类比项目监测数据可知，在正常使用条件下，DSA 机房周围公众成员活动范围内辐射剂量率升高的最大值位置是：受检者候诊门右侧外表面 30cm 处，升高的辐射剂量率为：0.021 $\mu$ Sv/h，居留因子保守取 1（实际上小于 1），则 DSA 运行时，周边公众接受的年有效剂量最大约为 3.6 $\mu$ Sv，远低于 0.25mSv/a 的公众年剂量约束值，符合《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》GB18871-2002 中关于“剂量限值”的要求。

### 11.3 事故影响分析

#### 11.3.1 核医学科辐射事故影响分析

##### 一、可能发生的辐射事故

本次评价项目是在核医学工作场所使用非密封放射性核素，可能发生的事故如下：

（1）由于工作人员操作不熟练或违反核医学科操作规程或误操作等其他原因造成放射性物质洒漏，使工作环境受到污染，受检者和人员受到外照射；操作人员身体受放射性物质表面沾污，可能发生内照射。

（2）保管不善，放射性物品（或放射源）丢失被盗，对局部环境产生污染，并可能使部分公众受到误照射。

（3）核素治疗患者用药后未经允许离开核医学科，尤其是在用药初期离开候诊区，可能对接近患者的人员造成附加的照射剂量。

##### 二、预防措施

（1）制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

（2）制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用贮存间设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生显像剂（或放射源）丢失事故时，事故发生者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；向当地环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，在2小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、环保和卫生主管部门对丢失显像剂（或放射源）进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

（3）加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

（4）加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性固体废物经足够长的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

（5）核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽子等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入监督区必须穿戴放射防护用品，个人剂量仪佩戴于铅衣内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅衣、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

### 11.3.2 放疗科辐射事故影响分析

#### 一、直线加速器

##### （1）可能发生的辐射事故

因本项目医用直线加速器本身自带屏蔽措施及设备固有的安全联锁装置，故设备在正常使用的情况下发生事故的极小，可能发生的辐射事故主要包括：

①直线加速器正在运行时，人员误入治疗机房。

②工作人员或病人家属还未全部撤离机房，控制室人员启动设备，造成有关人员被误照射。

本项目直线加速器属于 II 类 X 射线装置，当设备关机时不会产生 X 射线，不存在影响辐射环境质量事故，只有当设备开机时才会产生 X 射线等危害因素。本次评价事故工况：设备运行时，人员误入，造成有关人员被误照。意外事故下，人员可能受到的照射剂量按照以下方式进行估算：

本项目加速器为 10MV、15MV 加速器，事故情况下人员受到剂量与当时治疗剂量、人员所处位置有关，按 10MV 最大 X 射线剂量率 24Gy/min 计算，人员受到泄漏射线的照射按 0.1% 估算，则在与焦点不同距离上 X 射线剂量率可由式 11.3-1 估算：

$$H=H_0/R^2 \dots\dots\dots (式 11.3-1)$$

式中：

$H$ ：距直线加速器焦点  $R$  处的 X 射线的吸收剂量率，Gy/min；

$H_0$ ：距直线加速器焦点 1m 处 X 射线的吸收剂量率，24Gy/min；

$R$ ：估算点与直线加速器焦点的距离，m。

受照人员的有效剂量可由公式 11.3-2 计算：

$$E=H \times W_T \times W_R \dots\dots\dots (式 11.3-2)$$

式中：

$E$ ：受照人员的有效剂量，Sv；

$W_T$ ：组织权重因子，本项目取 1；

$W_R$ ：辐射权重因子，本项目取 1。

根据式 11.3-1、式 11.3-2 计算，与直线加速器焦点不同距离的 X 射线吸收剂量的估算结果如表 11.3-1 所示。

表 11.3-1 事故情况下误入人员受到的照射剂量估算

序号	与焦点距离 $R$ (m)	吸收剂量 $H$ (mGy/min)	有效剂量 $E$ (mSv/min)
1	1	24	24
2	1.5	10.67	10.67
3	2	6.00	6.00
4	3	2.67	2.67
5	5	0.96	0.96

由上表可见，假设误入人员位于加速器照射头射束 1m 处的漏射方向，X 射线泄漏辐射比率取 0.1%。由于机房及控制室内设置有红色的“紧急按钮”，误入人员及操作人员按下此按钮即可停机，所以受照时间取 1min，则事故情况下误入人员距离加速器 1m 处所受到的辐射剂量为 24mSv，超过 GB18871-2002 中特殊情况下公众 5 个连续年的年平均剂量限值（1mSv），所以加速器机房一旦发生辐射事故，会导致误入人员受到超过年剂量限值的照射，故为**一般辐射事故**。

(2) 预防措施

①辐射事故防范措施

一旦发现有人误入直线加速器机房，工作人员应立即利用最近的紧急止动开关切断

设备电源，启动医院辐射事故应急预案。为防止本项目放疗科设备辐射事故发生，应采取多种防范措施：

1) 控制台上具有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

2) 条件显示联锁：加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

3) 剂量控制联锁：安装有剂量监测系统，当吸收剂量未达到预选值时，照射终止。

4) 控制台上配置有独立于其他任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

5) 有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

6) 有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，可自动终止辐照。

7) 有全部安全联锁设施检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

8) 有门机安全联锁，机房门关闭后设备才能开机，被打开时会自动关机。

9) 有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

10) 控制台和治疗室内均安有紧急停机开关。

11) 机房门外设置有声音警示作用的工作状态指示灯和电离辐射警示标志。

12) 电视监控、对讲装置：治疗室和控制室之间安装有电视监控、对讲装置，控制室能通过电视监视治疗室内患者治疗的情况，并通过对讲机与室内人员联系，以便医师在操作时观察患者在治疗室的状态，及时处理意外情况。

## ②机房的安全保卫措施

为确保放疗科辐射工作场所的安全，本项目拟采用的安全保卫措施如下：

1) 防火措施：直线加速器机房四周为混凝土结构墙体，机房周围均没有易燃、易爆、腐蚀性等其他一切物品。

2) 防水措施：机房四周墙体防水性强，防水设计施工由专业施工队伍进行施工，对容易造成局部损坏的薄弱部位设置增强层。

3) 防盗措施：设置全自动防护铅门，放疗科拟安装摄像头，和医院保卫科监控系统连接起来，且有保安人员 24h 巡逻和值班。

4) 防丢失和破坏措施：放疗科机房设置在地下二层，纳入医院日常安保巡逻工作

范围，并划为重点区域，加强巡视管理，以防遭到破坏。一旦可能盗抢事件，立即关闭机房防护门，并立即向公安机关报案。

5) 防射线泄漏措施：本项目机房由具有资质的单位设计、经计算满足环保要求。本项目直线加速器固有安全性良好。

综上，本项目加速器机房的防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏六防措施可行。

## 二、后装机

### (1) 辐射事故情景

假定后装机近距离治疗时，有其他人员误入治疗室或出现卡源；误入人员位于主射束方向，距靶 1m 处，无任何屏蔽措施。

### (2) 事故剂量估算

当发生治疗时人员误入及卡源事故时，后装机的放射源处于裸源状态，估算在距放射源  $^{192}\text{Ir}$  不同距离、不同接触时间人员所接受的有效剂量，估算公式为：

$$D=8.73 \times 10^{-3} \times A \times \Gamma / r^2 \quad \dots\dots\dots(\text{式 } 11.3-3)$$

式中：

$D$ ——距离放射源  $r$  米处的照射剂量当量 (Sv/h)；

$A$ ——源强 (Ci)，本项目为 10Ci；

$\Gamma$ ——放射源的照射量率常数, (Gy  $\text{m}^2/\text{h Ci}$ )；由辐射防护导论第三分册表 2.11 查得  $^{192}\text{Ir}$  的照射量率常数为 0.0039 Gy  $\text{m}^2/\text{h Ci}$

$r$  ——距离 (m)；

$8.73 \times 10^{-3}$ ——照射量率和剂量当量的转换系数 (Sv/R)。

活度为  $3.7 \times 10^{11}\text{Bq}$  (10Ci)  $^{192}\text{Ir}$  裸露可能导致的有效剂量计算结果见表11.3-2。

表 11.3-2 事故情况下裸源可能导致的有效剂量 (Sv)

距离(m) 时间 (h)	0.05	0.1	0.5	1	2	3
1	135.56	33.89	1.36	0.34	0.08	0.04
2	271.13	67.78	2.71	0.68	0.17	0.08
3	406.69	101.67	4.07	1.02	0.25	0.11
4	542.26	135.56	5.42	1.36	0.34	0.15

从上表数据可知看出，事故状态下照射剂量会随着时间的增长而增加，事故情况下，保守考虑，误入人员或病人在距离射线前 1m 处被误照射，机房内安装有“紧急止动按

钮”，考虑受照时间取 5min，误入人员距离 1m 处受到的辐射剂量为 28.3mSv，超过《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中特殊情况下职业人员 5 个连续年的年平均剂量限值（20mSv），公众 5 个连续年的年平均剂量限值（1mSv），造成一般辐射事故，如果受照时间更长则会造成急性重度放射病、局部器官残疾，从而升级为较大辐射事故或重大辐射事故。

### （3）放射源丢失、被盗、失控

当放射源发生丢失、被盗、失控时，根据《放射源同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号）和《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》（环发[2006]145 号文）有关规定，为较大辐射事故。

### （4）预防措施

①治疗过程如果发生卡源事故，首先尝试自动回源，如自动回源失败，工作人员立即进入治疗室将病人推出治疗床，并封锁现场。同时打电话给厂家，由厂家安排专业人员来现场进行处理。

②一旦发生放射源丢失、被盗，发现人员应立即上报给医院辐射安全防护管理领导小组，管理小组及时报警（拨打 110），并上报当地环保、卫生部门，同时全力配合调查。

③本项目后装机治疗室配置了一系列防护措施，如有智能化控制台、有条件显示连锁、剂量控制连锁、门机安全连锁、电视监控、对讲装置、紧急停机开关等。机房的设计也满足防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏。

## 11.3.3 介入中心辐射事故影响分析

### 一、可能发生的辐射事故

本项目介入中心事故工况主要包括以下两种情况：

（1）DSA 控制室操作人员或病人家属在防护门关闭后未撤离机房，而 DSA 出束时造成的误照射。

（2）DSA 机房安全连锁装置发生故障状况下，人员误入正在运行的 DSA 机房。

### 二、预防措施

DSA 将放置于专用机房内，机房墙体采用实心砖、硫酸钡防护涂料进行屏蔽，观察窗采用铅玻璃，并设置控制廊防护铅门、受检者防护铅门。受检者防护门处安装工作状态指示灯、设置电离辐射警告标志，防护门关闭时，工作状态指示灯亮，警示人员勿入，同时装置操作台处设置紧急停机按钮，操作人员可通过急停按钮等停机操作来确保人员安全。因此 DSA 发生的辐射事故及风险主要原因是管理上出的问题，工作人员平时必

须严格执行各项管理制度，遵守操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查设备性能及有关安全警示标志和设施是否正常。对可能发生的辐射事故，应及时采取应急措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，同时上报环保部门和卫生部门，并接受监督部门的处理。

## 表 12 辐射安全管理

### 12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

#### 12.1.1 机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的单位应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；辐射工作人员必须通过辐射防护和安全专业知识及相关法律法规的培训和考核。

医院目前已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确了管理人员职责。医院负责辐射安全与环境保护管理的机构是辐射安全和防护管理领导小组，以分管院长为组长。

辐射安全和防护管理领导小组的主要职责是：负责起草、制定及修订医院辐射防护和环境保护的相关规章制度；负责对医院放射诊疗项目的立项、建设、放射设备引进及防护设施配置进行论证和监管；负责协调和监督各相关科室贯彻落实医院放射诊疗和防护管理制度及日常管理工作。

本项目建成后，医院的科室、人员均会有一定调整，要求医院根据人事变动情况及时调整，明确人员职责。

#### 12.1.2 辐射人员管理

##### (1) 个人剂量检测

①医院现有约 170 名辐射工作人员，辐射工作人员全部配备了个人剂量计。

②根据 2017 年 4 月~2018 年 3 月的个人剂量检测报告显示，单个季度个人最大外照射剂量 1.128mSv，因此，医院所有辐射工作人员在此期间内累积受照剂量均不超过职业年照射剂量约束值 5mSv。

##### (2) 辐射工作人员培训

医院已组织现有辐射工作人员参加过浙江省辐射环境监测站、浙江省辐射防护协会组织的辐射防护与安全培训，但存在部分辐射工作人员未参加过培训，部分辐射工作人员培训时间已经超过四年，要求医院尽快组织未参加培训的辐射工作人员和培训超过 4 年的辐射工作人员参加有资质单位组织的辐射安全与防护知识培训的。

##### (3) 职业健康体检

根据医院提供的 2017 年辐射工作人员体检报告书显示，医院已经组织辐射工作人员进行身体健康检查，并建立了个人健康档案。

#### **环评要求：**

①本项目所有新增的辐射工作人员，需要及时组织参加有资质单位举办的辐射防护与安全培训、持证上岗，并按时接受再培训；新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

②本项目新增辐射工作人员的职业卫生健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；辐射工作人员的个人剂量和职业健康档案应终身保存。

#### **12.1.3 年度评估报告**

医院 2018 年度已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，并上报至环保主管部门。

## **12.2 辐射安全管理规章制度**

### **12.2.1 原有辐射防护工作管理制度情况**

根据医院提供的资料显示，医院已建立了一系列辐射安全与防护管理制度，如《放射治疗质量保证方案》、《辐射安全与防护管理制度》、《辐射工作人员管理制度》、《受检者及患者的防护制度》、《设备维修保养制度》、《个人剂量计使用制度》、《操作规程》、《岗位职责》、《辐射工作场所监测管理办法》、《辐射事故应急预案》等。其中《辐射工作人员管理制度》、《辐射工作场所监测管理办法》、《辐射事故应急预案》与近期进行了修订，较为完整和合理。

### **12.2.2 本项目应补充的辐射防护工作管理制度**

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射应急措施”。

医院本次项目包括：乙级非密封放射性物质工作场所、II 类射线装置、III 类放射源的利用。医院应根据本项目新开展的核医学科、后装机利用情况和相应新增的 II 类射线装置，结合辐射工作人员变更情况，尽快建立健全和落实相应的规章制度和操作规程，

加强对辐射工作人员的安全防护培训和意识教育。

**应完善和补充的制度主要内容如下：**

(1) 操作规程：针对本项目新增的加速器、放射性同位素、核医学检查设备、后装机、DSA 等制定相应的操作规程，明确辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及操作程序等，重点是工作时必须佩戴个人剂量计和剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

(2) 岗位职责：明确本项目新增辐射管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

(3) 辐射防护和安全保卫制度：根据本项目新增的辐射工作和设备，特别是核医学的贮源室，后装机治疗室制定针对性的辐射防护和安全保卫制度，规定专人负责辐射防护与安全保卫工作，定期对辐射防护与安全保卫相关的用品、仪器进行检查。

(4) 设备维修制度：根据本项目新增的核医学检查及防护设备、加速器、DSA、后装机等设备更新医院设备维护保养制度，补充完善监测仪器维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，并做好记录。确保本项目新增设备的安全装置、安全联锁、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

(5) 根据本项目建设内容制定台帐管理制度，建立放射性同位素与射线装置台帐，记载放射性同位素的核素名称、出厂时间和活度、标号、编码、来源和去向，及射线装置的名称、型号、射线种类、类别、用途、来源和去向等事项。

(6) 应补充的其他制度：放射性药物质量控制规程，放射性药物取药及注射给药规程，临床核医学诊断质量保证管理制度，放射源的购买、运输、使用、退役制度，放射性废物治理制度等。

## **12.3 辐射监测**

### **12.3.1 监测仪器和防护设备**

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，核医学科、放疗科和介入中心均应至少配置 1 台环境辐射巡测仪，其中核医学科还应至少配备 1 台表面污染监测仪。本项目每名辐射工作人员应配置 1 枚个人剂量计（介入中心每名辐射工作人员应配备 2 枚），并建立个人剂量档案。

### **12.3.2 日常监测**

日常工作中，每次诊疗结束或其他相关操作（取药或注射等）完成后，需使用表面

污染监测仪对核医学科放射性污染情况进行监测。工作人员离开核医学工作场所，需监测工作服、体表的污染水平；该日常监测工作由核医学科工作人员自行完成。此外，每个辐射工作场所均应采用自购辐射巡测仪定期监测，以确保屏蔽防护性能的良好。

### 12.3.3 年度常规监测

根据《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），使用放射性同位素与射线装置的单位应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护部门认定的环境监测机构进行监测。

#### 环评要求：

医院应委托有资质的单位，定期（每年 1 次）对辐射工作场所周围环境进行辐射监测，监测数据每年年底须向当地环保局上报备案。

（1）监测频度：每年常规监测 1 次。

（2）监测范围：核医学科、放疗科和介入中心所有辐射工作场所屏蔽墙外，防护门及缝隙处，候诊区、操作台等，核医学用房内部使用核素的区域。

（3）监测项目： $X$ 、 $\gamma$  辐射剂量率；核医学科还应监测表面污染，放疗科加速器机房还应监测中子等。

（4）监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

医院应将本项目辐射工作场所的监测结果写入医院《安全和防护状况年度评估报告》中，并于每年 1 月 31 日前向辐射安全许可证发证机关提交上一年度的评估报告。

### 12.3.4 个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为 1 次/季（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。

#### 环评要求：

（1）如果在单个季度出现个人剂量超过 1.25mSv 时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字。年剂量超过 5mSv 的管理限制时，暂停该辐射工作人员继续从事辐射工作，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并本人签字，并上报当地环境保护主管部门。单年剂量超过 20mSv 标准时，构成辐射事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并上报环保主管部门。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生主管部门报告。

(2) 个人剂量检测报告（连续四个季度）应当作为医院《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给辐射安全许可证发证机关。

(3) 辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应终身保存。

### 12.3.5 放射性废物监测

#### (1) 放射性废水排放前监测

医院应确保本项目放射性废水外排时放射性总活度不超过《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）规定的限值（总β小于10Bq/L），医院可自行监测也可委托有资质单位监测。

#### (2) 放射性废物处理前监测

本项目放射性固废在医院统一暂存场所内放置至少10个半衰期后，待衰变至符合清洁解控水平（GBZ133-2009附录B）后，方可作为一般医疗废物进行处理。

### 12.3.6 监测计划建议

根据以上分析，本环评建议医院参考表12-1开展监测。

表12-1 辐射工作场所监测计划建议

辐射工作场所		监测类别	监测项目	监测频度	监测设备	监测范围
放疗科	直线加速器	年度监测	周围剂量当量率、中子	1次/年	便携式X-γ辐射监测仪、中子剂量当量率仪（需按国家规定进行剂量检定）	1#~4#加速器机房防护门外、门缝、控制室、水冷机房、过道、四侧墙体和顶棚等。
		自主监测		1次/季度		
		验收监测		竣工验收		
放疗科	后装机	年度监测	周围剂量当量率	1次/年	便携式X-γ辐射监测仪（需按国家规定进行剂量检定）	后装机房防护门外、门缝、控制室、过道、四侧墙体和顶棚等。
		自主监测		1次/季度		
		验收监测		竣工验收		
介入中心DSA		年度监测	周围剂量当量率	1次/年	便携式X-γ辐射监测仪（需按国家规定进行剂量检定）	5间DSA防护门外、门缝、观察窗、控制廊/间、过道、四侧墙体、楼上、楼下、紧邻的设备间、报告区、污洗间、备用间、一次品库等。
		自主监测		1次/季度		
		验收监测		竣工验收		
核医学科	地下一层核医学科	年度监测	周围剂量当量率	1次/年	便携式X-γ辐射监测仪（需按国家规定进行剂量检定）	控制区： 病人走廊、PET-CT机房（2间）、PET-MRI机房（1间）、SPECT-CT机房（1间）、γ乳腺相机房（1间）、注射后等候室（4间）及专用卫生间、分装注射室、甲测室、服碘室、贮源室、污物贮存间、运动负
		自主监测		1次/季度		
		验收监测		竣工验收		

					荷室、留观室。 监督区： 控制廊、卫生通过间、医生走廊、设备机房等。
	年度监测	β表面放射性污染	1次/年	表面沾污仪	地下一层核医学科控制区工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套、工作鞋、手、皮肤等、病人走廊、分装注射室、通风橱、注射后候诊室等
	自主监测		1次/季度		
	验收监测		竣工验收		
核素病房区	年度监测	周围剂量当量率	1次/年	便携式X-γ辐射监测仪（需按国家规定进行剂量检定）	控制区： 5间甲癌病房、服碘室、污物间、备药备餐室、病人走廊、抢救室/出院检查室、清洁间等 监督区： 卫生通过间、更衣室、值班室、护士站、医生办公室等
	自主监测		1次/季度		
	验收监测		竣工验收		
	年度监测	β表面放射性污染	1次/年	表面沾污仪	控制区工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套、工作鞋、手、皮肤等、污物间、服碘室、备药备餐室等
	自主监测		1次/季度		
	验收监测		竣工验收		
核医学科	废水监测	总β	首次排放前	委托有资质单位监测	衰变池专用检测口
			常规排放	自行监测，做好排放计划和排放台账	
	固废监测	放射性比活度	首次处置	委托有资质单位监测	废物间
			常规处置	自行监测，做好排放计划和排放台账	
本项目所有辐射场所	个人剂量检测	个人剂量当量	1次/季度	个人剂量计	所有辐射工作人员

医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

## 12.4 环保措施竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环保部公告2018年第9号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报

告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

## 12.5 辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第 18 号）等相关规定，辐射事故应急预案主要包括以下几个方面：

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

医院近期新修订了《辐射事故应急预案》，内容包括：应急机构和职责分工、应急和救助装备、物资准备、辐射事故分级、辐射事故应急救援应遵循的原则、辐射事故应急措施和处理程序（含射线装置、核医学科、后装机）、辐射事故的调查和报告、人员培训和演习计划、应急联系电话和应急处理流程图等。新修订的应急预案内容完整和全面，基本能够满足本项目应急需要。

### 环评要求：

- （1）完善后的辐射事故应急预案，应报送生态环境主管部门备案。
- （2）在预案的实施中，应根据国家发布新的相关法规内容，结合医院实际及时对预案作补充修改，使之更能符合实际需要。

## 表 13 结论与建议

### 13.1 结论

#### 13.1.1 可行性分析结论

##### (1) 产业政策及代价利益分析结论

本项目属于核技术在医学领域内的运用。本项目加速器、后装机、核医学科建设符合《产业结构调整指导目录》(2011 年本)(2013 修正)第一类——鼓励类>>六、核能>>第 6 项同位素、加速器及辐照应用技术开发。

本项目 DSA 利用符合第一类——鼓励类>>十三、医药>6、新型医用诊断医疗仪器设备、微创外科和介入治疗装备及器械、医疗急救及移动式医疗装备、康复工程技术装置、家用医疗器械、新型计划生育器具(第三代宫内节育器)、新型医用材料、人工器官及关键元器件的开发和生产,数字化医学影像产品及医疗信息技术的开发与应用。因此,本项目符合国家产业政策要求。

医院实施本项目,目的在于开展核医学及放射诊疗工作,最终是为了治病救人,其获得的利益远大于辐射所造成的损害,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

##### (2) 选址的合理性结论

本项目拟建的辐射项目位于衢州中心医院肿瘤病房大楼地下一层、二层和门诊医技综合楼四层,项目用地属于医疗卫生用地,周围无环境制约因素。本项目拟建辐射工作场所实体边界外 50m 评价范围无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。项目运营过程产生的电离辐射,经采取一定的辐射防护措施后不会对周围环境与公众造成危害,故本项目的选址是合理的。

##### (3) 项目所在地区环境质量现状结论

本项目辐射工作场所周围环境的 X- $\gamma$  辐射本底水平未见异常。

#### 13.1.2 辐射安全与防护分析结论

##### (1) 辐射安全防护措施结论

①本项目核医学科、放疗科、介入中心各辐射工作场所均设计了满足防护要求的实体屏蔽,能够有效屏蔽 X 射线,  $\beta$  射线或  $\gamma$  射线及中子等的辐射影响。

②本项目核医学科拟设置自动分碘仪、铅注射窗、专用铅通风橱、铅防护屏风、铅污物桶、铅衰变暂存容器、表面污染监测仪、环境辐射巡测仪、个人剂量报警仪等辐射

防护用具，拟配备铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护衣等个人防护用品，在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射。

③本项目核医学贮源室防护门拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员 24 小时监控；出入口安装摄像头及红外报警系统并入科室监控系统。

④本项目加速器、后装机拟配备有钥匙开关联锁、辐照启动与辐照参数预选数联锁、计时器与辐射联锁、防护门与照射联锁、紧急停机开关、工作状态指示灯、电离辐射警告标志、照射监控系统等安全装置。DSA 装置拟配备有辐射安全装置、安全联锁装置、紧急停止开关、工作状态指示灯、电离辐射警告标志等安全措施。

⑤本项目核医学拟设置放射性废水的专用管线及衰变池、放射性废气专用管线及活性炭高效过滤器、放射性废物的专用铅收集桶等，射线装置机房的通排风均能满足相关标准规范的要求。

⑥辐射工作人员工作时穿戴铅衣、铅围脖，佩戴防护眼镜等辐射防护用品，辐射工作人员均拟配备个人剂量计。控制区拟设置相应的警示标志，限制无关人员进入。

综上所述，医院拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

## **（2）辐射安全管理结论**

医院已成立辐射安全和防护管理领导小组，负责辐射安全与环境保护管理工作。医院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；医院现有辐射工作人员仅有部分人员培训在有效期内，要求医院尽快组织未参加培训的辐射工作人员和培训已过期的辐射工作人员尽快参加有资质单位组织的辐射安全与防护知识培训。本项目新增辐射工作人员也须参加有资质单位组织的辐射安全与防护知识培训，并取得培训合格证书。医院已对现有辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，同时也应将本项目新增辐射工作人员纳入管理范围内。

## **（3）事故风险与防范**

医院应按本报告提出的要求补充和完善辐射事故应急预案和安全规章制度，项目建成投运后，应认真贯彻实施，以减少和避免发生辐射事故与突发事件。

### **13.1.3 环境影响分析结论**

#### **（1）主要辐射污染因子分析**

本项目核医学产生的主要污染因子是  $\beta$  射线和  $\gamma$  射线、 $\beta$  放射性表面污染、放射性

废水、放射性废气、放射性固废等，加速器产生的主要污染因子是 X 射线、电子束及中子辐射、感生放射等，DSA 及其他 III 类射线装置产生的主要污染因子是 X 射线。

### **(2) 辐射环境影响分析**

经本报告预测评价，在正常工况下，本项目工作人员所受辐射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”要求，也低于本次评价提出的 5.0mSv/a 年剂量约束值；本项目公众所受辐射年有效剂量符合《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，也低于本次评价提出的 0.25mSv/a 年剂量约束值。

### **(3) “三废”环境影响分析**

核医学放射性废水在衰变池停留衰变后，经监测达标后排入医院污水处理系统，对周围水环境影响很小。

核医学放射性固废采用专门的固废收集桶收集后，暂存衰变 10 个半衰期经监测达标后按照普通医疗废物处理，不外排，对周围环境影响较小。退役的放射源和更换废靶件委托生产厂家回收，对周围环境影响很小。

核医学放射性废气经独立的通风管道排至肿瘤病房楼（10 层）楼顶 1.5 米以上，并拟在风机出风段设活性炭高效过滤器，对周围环境影响较小。射线装置、后装机工作时产生的臭氧、氮氧化物经排风系统通风后，满足评价标准要求，对周围的大气环境影响较小。

综上所述，衢州中心医院（四省边际中心医院）项目在落实本报告提出的各项辐射防护措施、污染防治措施和辐射环境管理要求后，具备从事相应辐射活动的技术能力，本项目放射性同位素、射线装置、放射源运行时对周围环境的影响均能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

## **13.2 建议与承诺**

### **13.2.1 建议**

加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

### **13.2.2 承诺**

(1) 医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、辐射安全许可制度，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）的要求自行验收，

加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

(2) 医院承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

(3) 医院承诺本项目环评审批后，及时重新申领《辐射安全许可证》。

## 表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人：

公章  
年 月 日

审批意见：

经办人：

公章  
年 月 日