

编号：ZFHK-FB18220024

核技术利用建设项目

温州医科大学附属第二医院
瑶溪分院核医学及射线装置项目
环境影响报告表
(报批稿)

温州医科大学附属第二医院

2018年7月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

温州医科大学附属第二医院 瑶溪分院核医学及射线装置项目 环境影响报告表

建设单位名称：温州医科大学附属第二医院

建设单位法人代表（签名或签章）：连庆泉

通讯地址：温州市学院西路 109 号

邮政编码：325000

联系人：林敏

电子邮箱：feyjjk@163.com

联系电话：13506516857



No 0002001

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***
 环境影响报告表类别 — 一般项目；核与辐射项目***



项目名称：温州医科大学附属第二医院瑶溪分院核医学及射线装置项目

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：邵和松



编制人员情况

姓名	职称	证书编号	负责章节	签名
任卫	工程师	00014142	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、项目工程分析与源项	任卫
邵和松	工程师	0009726	辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	邵和松

环评工程师职业资格证书

 持证人签名: Signature of the Bearer <hr style="width: 100%;"/> 管理号: File No.: 09355143508510108	姓名: 邵和松 Full Name _____ 性别: 男 Sex _____ 出生年月: 1981年05月 Date of Birth _____ 专业类别: _____ Professional Type _____ 批准日期: 二〇〇九年八月二十八日 Approval Date _____ 签发单位盖章: Issued by  签发日期: 2009年09月21日 Issued on _____
---	---

注册核安全工程师执业资格证书

 持证人签名: Signature of the Bearer <hr style="width: 100%;"/> 管理号: File No.:	姓名: 邵和松 Full Name _____ 性别: 男 Sex _____ 出生年月: 1981年5月 Date of Birth _____ 专业类别: _____ Professional Type _____ 批准日期: 2011年9月4日 Approval Date _____ 签发单位盖章: Issued by  签发日期: 2012年1月17日 Issued on _____
---	---

环境影响评价工程师								
序号	姓名	登记单位	登记证号	登记类别	登记有效期起/止		职业资格证书号	诚信信息
					始日期	止日期		
1	郭永玲	中辐环境科技有限公司	B205601010	输变电及广电通讯	2016-12-15	2019-12-15	00019549	
2	黄雪琴	中辐环境科技有限公司	B205600810	输变电及广电通讯	2016-09-14	2019-09-14	00014084	
3	李亚飞	中辐环境科技有限公司	B205600611	核工业	2016-09-14	2019-09-14	00016672	
4	李昭龙	中辐环境科技有限公司	B205600311	核工业	2016-09-14	2019-09-14	00017214	
5	苗旺	中辐环境科技有限公司	B205600108	社会服务	2016-09-14	2019-09-14	00013134	
6	彭昭科	中辐环境科技有限公司	B205600501	轻工纺织化纤	2016-09-14	2019-09-14	00014697	
7	任卫	中辐环境科技有限公司	B205600908	社会服务	2016-09-14	2019-09-14	00014142	
8	邵和松	中辐环境科技有限公司	B205600711	核工业	2016-09-14	2019-09-14	0009726	
9	闫斐	中辐环境科技有限公司	B205600207	交通运输	2016-09-14	2019-09-14	00014696	
10	张亮	中辐环境科技有限公司	B205600411	核工业	2016-09-14	2019-09-14	0004360	

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	8
表 3 非密封放射性物质	8
表 4 射线装置	9
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	11
表 6 评价依据	12
表 7 保护目标与评价标准	15
表 8 环境质量和辐射现状	26
表 9 项目工程分析与源项	36
表 10 辐射安全与防护	49
表 11 环境影响分析.....	73
表 12 辐射安全管理	112
表 13 结论与建议	119
表 14 审批	123

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 瑶溪分院总平面布局图
- 附图 4 本项目相关楼层平面布局图
- 附图 5 拟建辐射项目平面布局图
- 附图 6 核医学用房路径规划图
- 附图 7 辐射工作场所“两区”划分图
- 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 医疗机构执业许可证
- 附件 4 《温州医学院附属第二医院瑶溪分院新建工程环境影响报告书环评批复》
(龙环建审〔2012〕192号)
- 附件 5 环境本底检测报告及资质 (GABG-HJ18380011)
- 附件 6 医院现有核医学环境影响评价 (代验收) 批复文件
医院现有核医学辐射安全许可证持有人变更文件

表 1 项目基本情况

建设项目名称		温州医科大学附属第二医院瑶溪分院核医学及射线装置项目			
建设单位		温州医科大学附属第二医院			
法人代表	连庆泉	联系人	林敏	联系电话	13506516857
注册地址		温州市学院西路 109 号、学院西路 82 号			
项目建设地点		温州市龙湾区瑶溪北片生活区 B-11 地块			
立项审批部门		浙江省发展和改革委员会	批准文号	浙发改函（2010）417 号	
建设项目总投资（万元）		8500	项目环保投资（万元）	900	投资比例（环保投资/总投资） 10.6%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积(m ²) /
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input 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	/				
1.1 项目概述					
1.1.1 建设单位情况简介					
<p>温州医科大学附属第二医院，又名温州医科大学附属育英儿童医院，位于温州学院西路 109 号、学院西路 82 号，是浙江省属三级甲等综合性医院，系温州医科大学第二临床医学院。医院现有学科（系）14 个，科室（教研室）89 个，亚专科 186 个，专科门诊 130 多个，实际开放床位 2667 张。医院现有职工 4111 人，正高 165 人，副高 372 人，硕士 974 人，博士 153 人。研究生导师 158 人，博导 22 人。医院目前拥有 1 个国家临床重点专科、1 个国家中医药管理局学科，多个省级重点学科及实验室。医院设学院路院区、南浦院区、瑶溪分院、瓯江口院区、台州妇女儿童院区五个院区，目前瑶溪分院、瓯江口院区、台州妇产科儿童院区正在兴建，本项目位于新建的瑶溪分院。</p>					

1.1.2 项目建设目的和任务由来

为满足日益增长的医疗卫生需求,进一步优化医疗资源布局,增加优质医疗资源供给,经浙江省发展和改革委员会批复同意(浙发改函〔2010〕417号),医院在温州市龙湾区瑶溪北片生活区 B-11 地块新建瑶溪分院。本项目包括在瑶溪分院门诊医技楼(病房楼)拟使用的射线装置 SPECT-CT、PET-CT、医用电子直线加速器、DSA,拟使用的放射性核素 ^{131}I 、 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 。

根据国家有关辐射环境管理规定,该项目应进行辐射环境影响评价,并在环评批复后及时向环境保护行政主管部门重新申领辐射安全许可证。为保护环境,保障公众健康,医院于 2018 年 3 月 9 日正式委托中辐环境科技有限公司对该项目进行辐射环境影响评价。评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上,按照国家对辐射建设项目环境影响评价技术规范的要求,编制完成该项目的辐射环境影响报告表。

1.1.3 项目建设规模

(1) 医院拟在瑶溪分院门诊医技楼地下一层新建 3 个医用直线加速器机房,新增 3 台 15MV 加速器。

(2) 医院拟在瑶溪分院门诊医技楼(病房楼)地下一层新建核医学科,核医学科北侧新建 SPECT-CT、PET-CT 显像检查和甲亢核素治疗相关工作用房及其配套用房,新增 1 台 SPECT-CT、1 台 PET-CT,使用放射性核素 ^{131}I 、 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$;核医学科南侧新建 ^{131}I 甲癌治疗相关住院、工作用房及其配套用房。

本项目核医学南侧与北侧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,南北侧不交叉。因此,可认为北侧核素显像诊断区域和南侧核素治疗区域各自为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

北侧核素显像诊断区域使用的放射性核素日等效操作量为 $3.91 \times 10^8 \text{Bq}$,为乙级非密封放射性物质工作场所;南侧核素治疗区域使用的放射性核素日等效操作量为 $2.22 \times 10^9 \text{Bq}$,为乙级非密封放射性物质工作场所。具体场所划分见表 10-5、表 10-6。

(3) 医院拟在瑶溪分院门诊医技楼五层新建 4 个 DSA 机房,新增 4 台 DSA。

本项目拟实施场所瑶溪分院门诊医技楼(病房楼)尚在施工中,其土建工程的环境影响分析见《温州医学院附属第二医院瑶溪分院新建工程环境影响报告书》(环评批复文号:龙环建审〔2012〕192号),见附件 4。

本报告表仅对拟在瑶溪分院新增的以上(1)~(3)的辐射项目进行辐射环境影响分

析及评价。

本项目拟新增射线装置见表 1-1，拟新增使用核素见表 1-2。

表 1-1 本项目拟在瑶溪分院新增射线装置一览表

一、加速器							
装置名称	型号	数量	安装位置	最大能量	射线装置类别	备注	
医用电子加速器 1	未定	1	门诊医技楼地下 1 层 直线加速器机房 1	15MV X 射线 6~21MeV 电子射线	II	新增	
医用电子加速器 2	未定	1	门诊医技楼地下 1 层 直线加速器机房 2		II	新增	
医用电子加速器 3	未定	1	门诊医技楼地下 1 层 直线加速器机房 3		II	新增	
二、DSA							
装置名称	型号	数量	安装位置	最大管电压	最大管电流	射线装置类别	备注
DSA	未定	1	门诊医技楼 5 层 DSA1 机房	150kV	1250mA	II	新增
DSA	未定	1	门诊医技楼 5 层 DSA2 机房	150kV	1250mA	II	新增
DSA	未定	1	门诊医技楼 5 层 DSA3 机房	150kV	1250mA	II	新增
DSA	未定	1	门诊医技楼 5 层 DSA4 机房	150kV	1250mA	II	新增
三、III 类射线装置							
装置名称	型号	数量	安装位置	最大管电压	最大管电流	射线装置类别	备注
SPECT-CT	未定	1	门诊医技楼地下 1 层 SPECT-CT 机房	140 kV	600mA	III	新增
PET-CT	未定	1	门诊医技楼地下 1 层 PET-CT 机房	150 kV	800mA	III	新增

表 1-2 本项目拟在瑶溪分院新增非密封放射性物质一览表

区域	核素	最大日操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
核医学北侧核素显像诊断区域 (门诊医技楼地下 1 层)	¹³¹ I	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	2.775×10 ¹¹	甲亢治疗
	¹³¹ I	7.4×10 ⁶	7.4×10 ⁵	1.85×10 ⁹	甲功测定
	¹³¹ I	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	4.625×10 ¹¹	SPECT-CT 显像检查
	¹⁸ F	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁶	1.39×10 ¹²	PET-CT 显像检查
	^{99m} Tc	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁷	3.7×10 ¹²	SPECT-CT 显像检查
核医学南侧核素治疗区域 (病房楼地下 1 层)	¹³¹ I	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁹	1.11×10 ¹²	甲癌治疗

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 项目选址及地理位置

温州医科大学附属第二医院瑶溪分院位于温州市龙湾区瑶溪北片生活区，龙湾区位于温州市东部，东朝东海，南接瑞安市，西邻鹿城、瓯海二区，北濒瓯江，与永嘉县、乐清市隔江相望。

地理位置见附图 1。

1.2.2 项目周边环境关系

本项目拟建的辐射项目均位于瑶溪分院门诊医技楼（病房楼）。医院东侧为王宅东河、绿化用地、曹龙路，本项目距离曹龙路最近距离约 250m；医院南侧为经三十二路（建设中）、绿化用地、纬五十路（建设中），隔路为温州医学院附属口腔医院瑶溪新院区、住宅，本项目距经三十二路最近距离约 33m、纬五十路最近距离约 65m、距离温州医学院附属口腔医院瑶溪新院区最近距离约 85m、距离住宅最近距离约 225m；医院西南侧为规划的教育及居住用地，本项目距离西南侧规划的教育及居住用地最近距离约 233m；医院西侧为规划的交通站场用地，本项目距离规划的交通站场用地最近距离约 115m；医院北侧为温州大道，隔路为规划的居住用地（待建），本项目距温州大道最近距离约 135m、距离规划的居住用地最近距离约 180m。

周边环境关系见附图 2。

1.2.3 选址合理性

本项目拟建的辐射项目均位于瑶溪分院门诊医技楼（病房楼），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 核技术利用现状

1.3.1 医院原有项目辐射安全许可证情况

医院现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[C0019]（00567）（见附件 2）；发证日期：2017 年 9 月 1 日，有效期至：2022 年 8 月 31 日；许可的种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。

已许可的非密封放射性物质为： ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{67}Ga 、 ^{32}P ；使用的 II 类射线

装置共5台，均为血管造影机（DSA）；III类射线装置共40台。医院现有已许可的非密封放射性物质及射线装置详情见表1-3、表1-4。

1.3.2 原有核技术利用项目环保手续履行情况

医院现有已许可的核技术利用项目环保手续履行情况见表1-3、表1-4。

医院现有已许可的核技术利用项目环保手续履行情况说明如下：

（1）医院现有非密封放射性物质于2006年进行环境影响评价（代验收），其辐射安全许可证持有人于2017年6月由温州医科大学变更为温州医科大学附属第二医院；

（2）医院现有2台III类射线装置的环评批复文件未提供，4台射线装置报废后未进行《辐射安全许可证》变更，现有射线装置均未能提供环保竣工验收批复文件。医院承诺尽快将2台III类射线装置进行环境影响登记表备案；将已报废的射线装置及时到环境主管部门核销，变更《辐射安全许可证》；未验收的射线装置按照《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。

医院现有射线装置由浙江建安检测研究院有限公司进行了《2017年度医用X射线影像诊断设备性能和工作场所放射防护检测》（报告编号：GABG-XF/CF17231547），检测结果表明：医院34个放射工作场所各检测点X射线外照射剂量率均符合标准要求，工作场所放射防护设施屏蔽效果达到防护要求。

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 医院现有已许可非密封放射性物质情况一览表

序号	核素	场所等级	日等效最大操作量	年最大用量 (Bq)	工作场所	活动种类	环保手续履行情况
1	^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$	乙级	1.5×10^8	4.44×10^{12}	学院路院区 核医学科	使用	浙环辐 (2006) 89号
2	^{131}I	乙级	9.0×10^7	2.22×10^{11}			
3	^{89}Sr	乙级	3.0×10^7	3.0×10^9			
4	^{67}Ga	丙级	1.8×10^7	3.6×10^8			
5	^{32}P	乙级	3.7×10^7	7.4×10^8			

表 1-4 医院现有射线装置情况一览表

序号	设备名称	规格型号	安装位置	活动种类和范围	环评情况
1	DSA	SIMENSCOR OSKOP	南浦院区DSA机房	使用 II 类射线装置	浙环辐〔2007〕126号
2	DSA	ALLura Xper FD20	南浦院区DSA机房		报废
3	DSA	GEInnova21001Q	南浦院区DSA机房		报废
4	DSA	GEInnova21001Q	南浦院区DSA机房		浙环辐〔2009〕28号
5	DSA	Artis 2ee Ceiling	学院路院区 7幢4楼DSA室	使用 III 类射线装置	浙环辐〔2009〕28号
6	岛津肠胃机	SONIAVISON	学院路院区 7幢4楼6号		
7	DR	西门子 MULTIX TOP	学院路院区 7幢4楼1号		
8	DR	意大利 GMM	学院路院区 7幢4楼2号		
9	256 排 CT	Brilliance	学院路院区 7幢5楼2号		浙环辐〔2007〕126号
10	16 排 CT	Brilliance	学院路院区 7幢5楼2号		
11	16 排 CT	Brilliance	南浦院区CT3机房		/
12	双排 CT	Somatom Emotion Duo	南浦院区CT4机房		浙环辐〔2007〕126号
13	乳腺钼靶机	Selenia Dimensions	学院路院区 7幢4楼5号		浙环辐〔2009〕28号
14	DR	Digital Diagnost	学院路院区 7幢4楼3号		浙环辐〔2007〕126号
15	DR	Digital Diagnost	南浦院区放射科		
16	固定式拍片机	Bucky Diegnost MVLTI5 TOP	南浦院区放射科		浙环辐〔2009〕28号
17	移动拍片机	YZ021-2	学院路院区 F06病区		
18	移动拍片机	YZ021-2			
19	移动拍片机	YZ021-2			
20	移动拍片机	PYOCTix160	学院路院区 新生儿科		浙环辐〔2007〕126号
21	C 臂机	BV-25	学院路院区 附二手术室		
22	C 臂机	BV Libra			
23	C 臂机	BV Libra			
24	C 臂机	BV Libra			
25	16排CT	Brilliance	学院路院区 急诊CT室	浙环辐〔2009〕28号	
26	肠胃机	Precision THUIS-800+	南浦院区放射科		
27	骨密度仪	Prodigy	南浦院区放射科	浙环辐〔2009〕28号	
28	固定式拍片机	PDF-15XH2	学院路院区 摄片机房（急诊）	浙环辐〔2007〕126号	
29	移动拍片机	Bucky 300	ICU		
30	移动拍片机	YZ021-2A	学院路院区	报废	

			A04病区	使用Ⅲ类射线装置	
31	ERCP	ERCP	学院路院区7幢3楼内 镜中心ERCP室		/
32	体外冲击波 碎石机	MZESWL-V	学院路院区 6幢2楼碎石室		报废
33	DR	Ysio	学院路院区 7幢4楼4号		登记表备案 备案号： 201733030 200000268
34	16排CT	GE-660	学院路院区 7幢5楼3号		
35	口腔 X射线机	Kavo 3D eXam i	学院路院区 口腔8幢1楼		
36	移动式 X射线机	F100	学院路院区 A04病区		
37	移动DR	DRXR-1	南浦院区新生儿		
38	移动式床旁 X光机	F30-444	南浦院区ICU		
39	移动DR	DRXR-1	南浦院区放射科		
40	移动式C臂 X光机	BV libra	学院路院区 附二手术室		
41	移动式C臂 X光机	BV libra			
42	移动式C臂 X光机	BV libra			
43	移动式C臂 X光机	ENDURA			
44	移动式C臂 X光机	ENDURA			
45	移动式C臂 X光机	ARCADIS Orbic			

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
	以下空白							

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹³¹ I	液态/中毒，半衰期8.04d	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	2.775×10 ¹¹	甲亢治疗	简单操作	瑶溪分院门诊医技楼地下1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北侧核素显像诊断区域的储源室，储源室双人双锁管理。
	¹³¹ I			1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	4.625×10 ¹¹	SPECT-CT显像检查			
	¹³¹ I			7.4×10 ⁶	7.4×10 ⁵	1.85×10 ⁹	甲功测定			
2	¹⁸ F	液态/低毒 半衰期 109.7min	使用	5.55×10 ⁹	5.55×10 ⁶	1.39×10 ¹²	PET-CT 显像检查	很简单操作	瑶溪分院病房楼楼地下1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南侧核素治疗区域的储源室，储源室双人双锁管理。
3	^{99m} Tc	液态/低毒，半衰期 6.02h	使用	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁷	3.7×10 ¹²	SPECT-CT 显像检查	很简单操作	瑶溪分院病房楼楼地下1层 南侧核素治疗区域	
4	¹³¹ I	液态/中毒，半衰期 8.04d	使用	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁹	1.11×10 ¹²	甲癌治疗	简单操作	瑶溪分院病房楼楼地下1层 南侧核素治疗区域	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南侧核素治疗区域的储源室，储源室双人双锁管理。

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	II	1	未定	电子	X 射线能量: 15MV 电子线能量: 6~21MeV	使用	有用线束 (电子射线和 X 射线) 在距靶中心 1m 处 的最大治疗剂量率为 $6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	放射 诊疗	瑶溪分院门诊医 技楼地下 1 层直 线加速器机房 1	新增
2	医用电子加速器 2	II	1	未定	电子		使用			瑶溪分院门诊医 技楼地下 1 层直 线加速器机房 2	新增
3	医用电子加速器 3	II	1	未定	电子		使用			瑶溪分院门诊医 技楼地下 1 层直 线加速器机房 3	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	未定	150kV	1250mA	诊疗	瑶溪分院门诊医技楼 5 层 DSA1 机房	新增
2	DSA	II	1	未定	150kV	1250mA	诊疗	瑶溪分院门诊医技楼 5 层 DSA2 机房	新增
3	DSA	II	1	未定	150kV	1250mA	诊疗	瑶溪分院门诊医技楼 5 层 DSA3 机房	新增
4	DSA	II	1	未定	150kV	1250mA	诊疗	瑶溪分院门诊医技楼 5 层 DSA4 机房	新增
5	SPECT-CT	III	1	未定	140 kV	600mA	医疗诊断	瑶溪分院门诊医技楼 地下 1 层 SPECT-CT 机房	新增
6	PET-CT	III	1	未定	150 kV	800mA	医疗诊断	瑶溪分院门诊医技楼地下 1 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 (μA)	中子强度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
	以下空白												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	排放口浓度	月排放量	年排放总量	暂存情况	最终去向
放射性废水 (核医学)	液态	¹⁸ F	总 β<10Bq/L	一次排放量(142天,约 5个月) ^{99m} Tc≈0 ¹⁸ F≈0 ¹³¹ I: 6.94×10 ⁵ Bq	年排放 2~3 次(按 3 次 计) ^{99m} Tc≈0 ¹⁸ F≈0 ¹³¹ I: 2.08×10 ⁶ Bq	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。
		^{99m} Tc					
		¹³¹ I					
放射性固废 (核医学)	固态	¹⁸ F	<1×10 ¹ Bq/g	北侧核素显像诊断区域 44.8kg 南侧核素治疗区域 1.25kg	北侧核素显像诊断区域 537.5kg 南侧核素治疗区域 15kg	北侧分装注射室设置 2 个铅 污物桶,北侧服碘室设置 1 个铅污物桶,北侧污物间设 置 2 个铅衰变暂存容器;南 侧服碘室设置 1 个铅污物 桶,南侧储源室设置 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。
		^{99m} Tc	<1×10 ² Bq/g				
		¹³¹ I	<1×10 ² Bq/g				
放射性废气 (核医学)	气态	主要为 ¹³¹ I	微量	微量	微量	北侧核素显像诊断区域设两支管线(一支单独 连接通风柜),南侧核素治疗区域设置一支管 线。废气通过三支管线由排风井排至病房楼(16 层)楼顶 1.5 米以上,风机出风段设活性炭高 效过滤器。	
感生放射性 废气(加速器)	气态	¹¹ C、 ¹³ N、 ¹⁵ O 等	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将全部由生产厂家负责回 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/m³,气态为 mg/m³;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、m³)和活度 (Bq)。

表 6 评价依据

<p>法 规 文 件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》(2015 年 1 月 1 实施);</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2016 年 9 月 1 日实施);</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 10 月 1 日实施);</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》(中华人民共和国国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日实施);</p> <p>(5) 《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, 2014 年 7 月 29 日修订);</p> <p>(6) 《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>(7) 《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, 2018 年 4 月 28 日部分内容修正);</p> <p>(8) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法(2017 修正)》(环境保护部令第 47 号, 2017 年 12 月 20 日);</p> <p>(9) 《突发环境事件信息报告办法》(环境保护部令第 17 号, 2011 年);</p> <p>(10) 《关于发布《射线装置分类》的公告》(环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号);</p> <p>(11) 《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, 原国家环保总局、公安部、卫生部文件, 2006 年 9 月 26 日);</p> <p>(12) 《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>(13) 《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>(14) 《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>(15)《浙江省环境保护厅关于发布<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)>及<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</p>
----------------------------	--

	(2015 年本) >的通知》(浙环发[2015]38 号)。
技 术 标 准	<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报告书(表)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)《环境地表γ辐射剂量率测定规范》(GB/T14583-1993);</p> <p>(4)《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001);</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)《医疗照射防护基本要求》(GB179-2006);</p> <p>(8)《放射性废物管理规定》(GB14500-2002);</p> <p>(9)《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009);</p> <p>(10)《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005);</p> <p>(11)《操作非密封源的辐射防护规定》(GBZ11930-2010);</p> <p>(12)《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011);</p> <p>(13)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第一部分:一般原则》(GBZ/T201.1-2007);</p> <p>(14)《放射治疗机房的辐射屏蔽规范—第二部分:直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2--2011);</p> <p>(15)《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013);</p> <p>(16)《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ165-2012)。</p>
其 他	<p>(1) 环境影响评价委托书;</p> <p>(2) 温州医科大学附属第二医院提供的其它相关资料</p> <p>①项目建设内容及规模、屏蔽等辐射安全防护措施说明材料</p> <p>②辐射安全许可证、医疗机构执业许可证等证照复印件</p> <p>③《温州医学院附属第二医院瑶溪分院新建工程环境影响报告书环评批复》(龙环建审〔2012〕192号)复印件</p> <p>④2017 年度辐射工作人员个人剂量检测报告(个人剂量核查登记表)复印件</p> <p>⑤2017 年度辐射工作人员健康体检报告复印件</p>

	<p>⑥部分辐射工作人员辐射安全与防护培训证书复印件</p> <p>⑦辐射安全与环境保护管理机构（放射诊疗和防护管理领导小组）成立文件复印件</p> <p>⑧本项目相关现有辐射安全管理制度复印件</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，本辐射环境评价范围取瑶溪分院门诊医技楼（病房楼）拟建的核医学用房、加速器机房及 DSA 机房的实体边界外 50m 范围，评价范围详见附图 2。

7.2 保护目标

根据附图 2 可知，本项目在门诊医技楼（病房楼）拟建的核医学用房、加速器机房及 DSA 机房的实体边界外 50m 范围基本在瑶溪分院内，评价范围除瑶溪分院外还包括院区南侧的经三十二路部分路段及绿化用地。评价范围内无自然保护区、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。

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	规模
院内 保护 目标	核医学	--	职业照射	--	约 16 人
	加速器	--	职业照射	--	约 9 人
	DSA	--	职业照射	--	约 20 人
	门诊医技楼、病房楼、消防道路、室外空地	核医学用房、直线加速器用房及 DSA 机房组成的辐射项目区域上方	公众照射	0-50m	流动
	门诊医技楼、病房楼、医院内绿化用地	核医学用房、直线加速器用房及 DSA 机房组成的辐射项目区域东侧	公众照射	0-50m	流动
	病房楼、医院内车道	核医学用房、直线加速器用房及 DSA 机房组成的辐射项目区域南侧	公众照射	0-50m	流动
	医院停车场	核医学用房、直线加速器用房及 DSA 机房组成的辐射项目区域西侧	公众照射	0-50m	流动
院外 保护 目标	门诊医技楼	核医学用房、直线加速器用房及 DSA 机房组成的辐射项目区域北侧	公众照射	0-50m	流动
	经三十二路部分路段、绿化用地	核医学用房、直线加速器用房及 DSA 机房组成的辐射项目区域南侧	公众照射	0-50m	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照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

- a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量 (但不可作任何追溯性平均)，20mSv；
- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- d) 四肢 (手和足) 或皮肤的年当量剂量，500mSv；
- e) 其中，对于年龄为 16 到 18 岁徒工或学生年有效剂量，6mSv。

本项目取其四分之一即 **5mSv** 作为剂量约束值。

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/cm²)

表面类型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10 ¹
	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 ⁻¹

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 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

(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 β (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 β 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 2×10^7 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 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。

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 μ 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 45m²。

6.1.8 治疗室入口处必须设置防护门和迷路，防护门应与加速器联锁。

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

$\dot{H}_{c,d}(\mu\text{Sv}/h)$ ：

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员：H_c≤100μSv/周；

2) 放射治疗机房外非控制区的人员：H_c≤5μSv/周。

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

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

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

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

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≤5μSv/周和最高剂量率 $\dot{H}_{c,max}(\mu\text{Sv}/h) \leq 2.5\mu\text{Sv}/h$ ，按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c(\mu\text{Sv}/h)$ 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 $\dot{H}_c (\mu\text{Sv}/\text{h})$ 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情况下, 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 $400\mu\text{Gy}/\text{h}$ 。

(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 ²	机房内最小单边长度 m
单管头 X 射线机 ^b	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) ^a 2.5 (较大工作量) ^a	

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 2.5μSv/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 2.5μSv/h，其余各种类型摄影机房外人员可能受到照射的年有效剂量约束值应不大于 0.25mSv，测量时，测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

(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 7-3 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	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	——
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 m²，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。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目新建瑶溪分院位于温州市龙湾区瑶溪北片生活区。医院东侧为王宅东河、绿化用地、曹龙路；医院南侧为经三十二路（建设中）、绿化用地、纬五十路（建设中），隔路为温州医学院附属口腔医院瑶溪新院区、住宅；医院西南侧为规划的教育及居住用地；医院西侧为规划的交通站场用地；医院北侧为温州大道，隔路为规划的居住用地（待建）。地理位置及周边环境关系见附图 1、附图 2。

温州医科大学附属第二医院瑶溪分院为新建。瑶溪分院北侧为门诊医技楼，整合了门诊、医技（放射及核医学）、康复科等医疗功能；院区中部为病房楼；院区南侧为后勤综合楼，整合了行政办公、科研、餐厅食堂、值班宿舍等功能，其西侧预留二期用地；院区西侧为大型室外停车场，可以满足较高的停车标准。瑶溪分院平面布局图见附图 3。

本项目拟新增的核医学用房位于门诊医技楼及病房楼地下 1 层，医用直线加速器机房位于门诊医技楼地下 1 层， DSA 机房位于医技楼 5 层。本项目各辐射项目用房在门诊医技楼（病房楼）的位置见附图 4。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 环境现状评价对象

拟建辐射项目区域及周边环境

8.2.2 监测因子

X- γ 空气吸收剂量率

8.2.3 监测点位

(1) 医用直线加速器机房及周围

根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布设监测点，监测点位见图 8-1。

(2) 核医学用房及周围

根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布设监测点，监测点位见图 8-2。

(3) DSA 机房及周围

根据项目的平面布置、项目情况和周围环境情况布设监测点，监测点位见图 8-3。

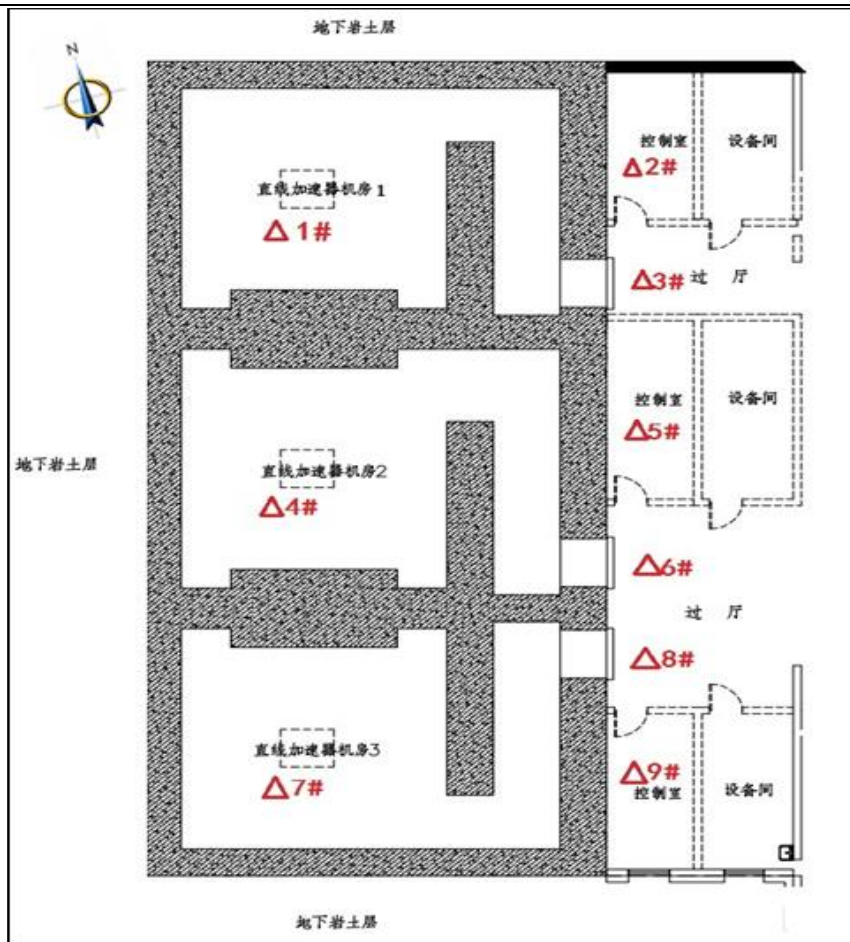


图 8-1 (1) 医用直线加速器机房及周围 γ 辐射剂量率检测布点图 (门诊医技楼地下一层)

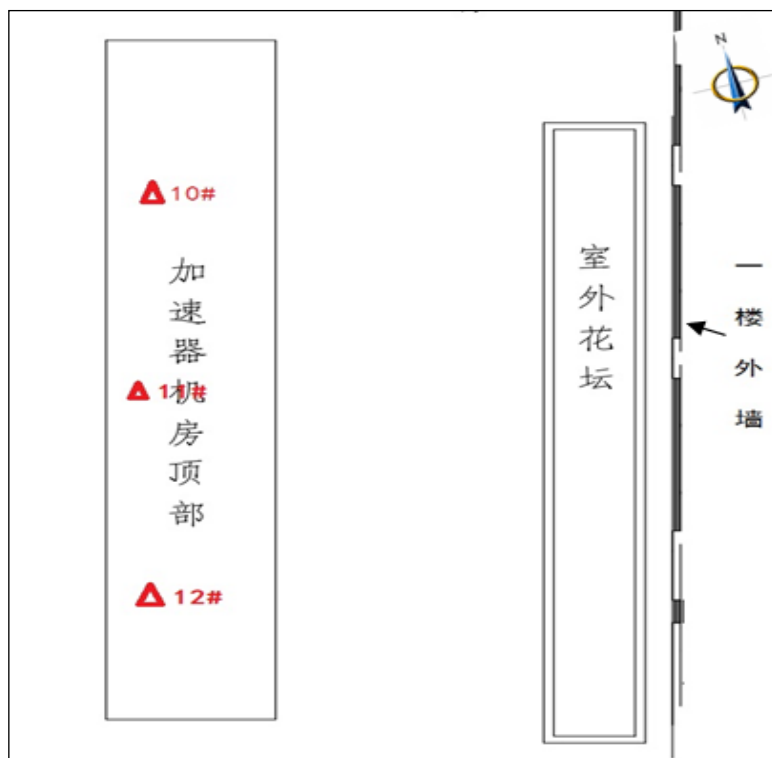


图 8-1 (2) 医用直线加速器机房及周围 γ 辐射剂量率检测布点图 (门诊医技楼西侧室外)

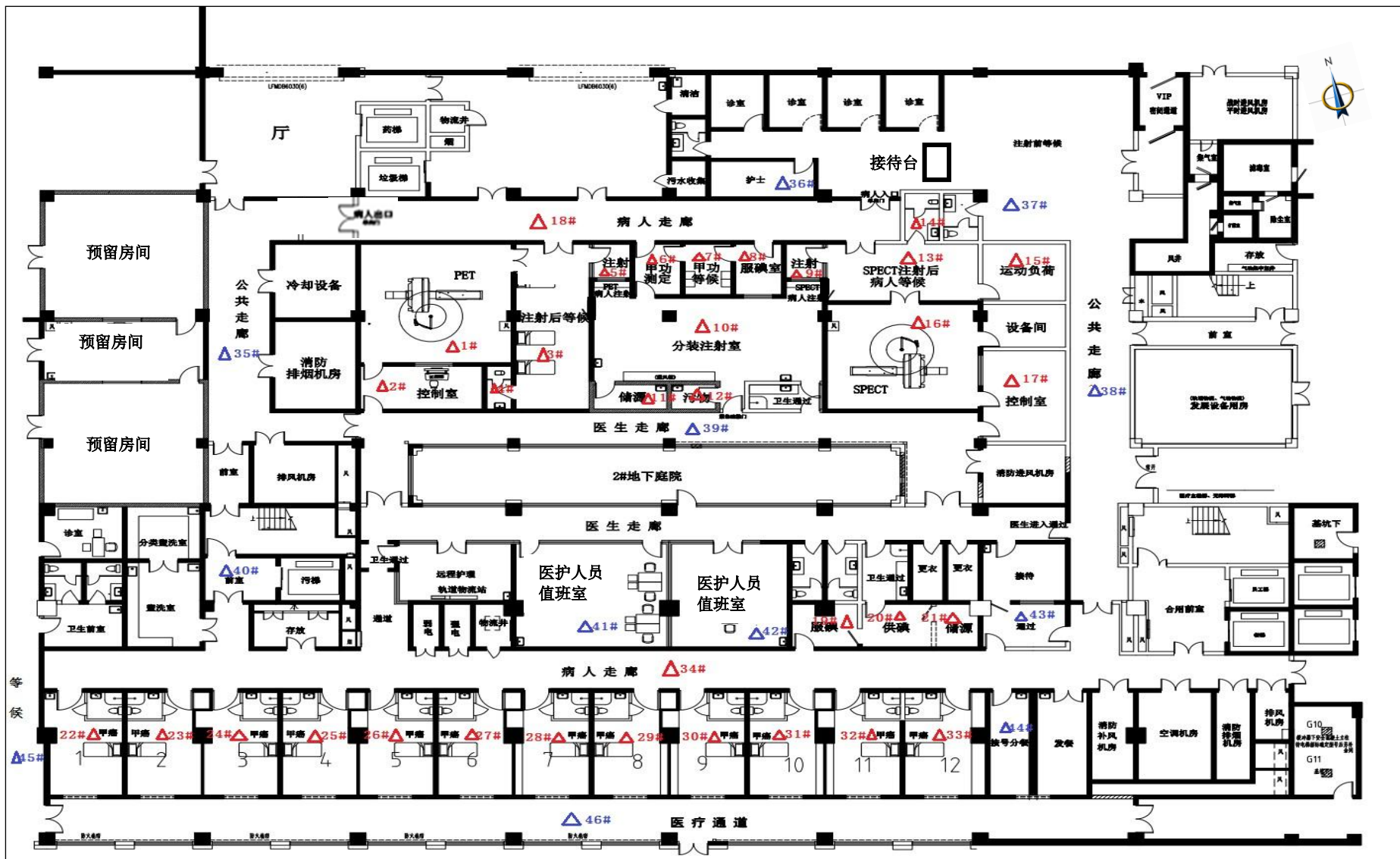


图 8-2 (1) 核医学周围 γ 辐射剂量率检测布点图 (门诊医技楼及病房楼地下一层)

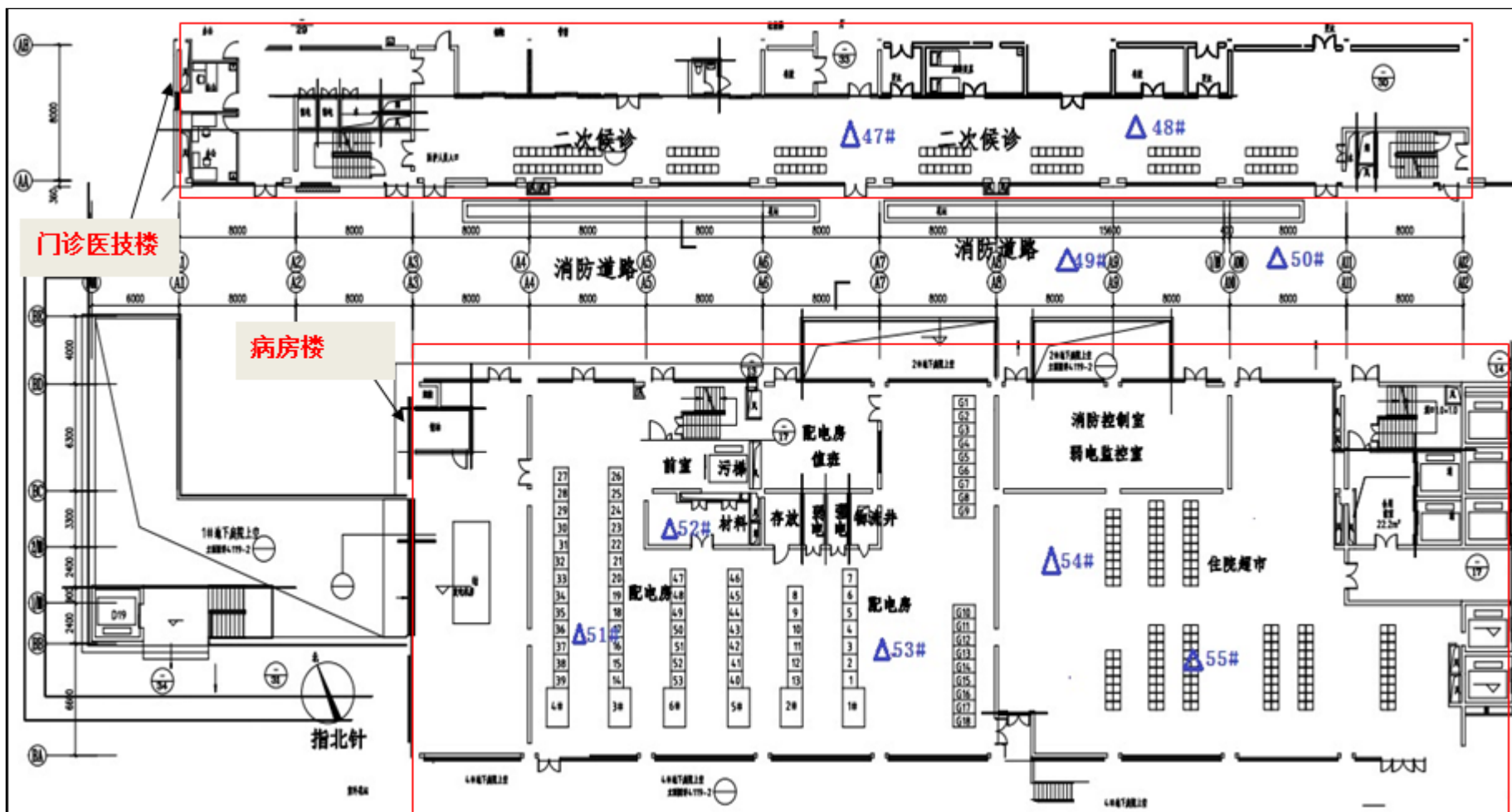


图 8-2 (2) 核医学周围 γ 辐射剂量率检测布点图 (门诊医技楼及病房楼 1 层)

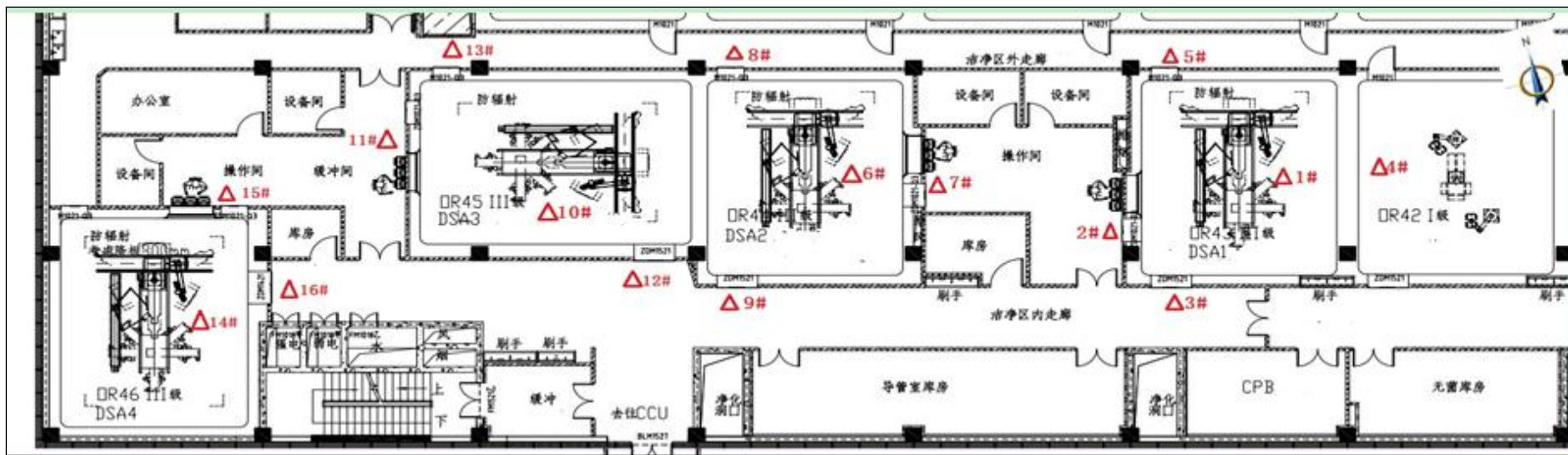


图 8-3 (1) DSA 机房周围 γ 辐射剂量率检测布点图 (门诊医技楼 5 层)

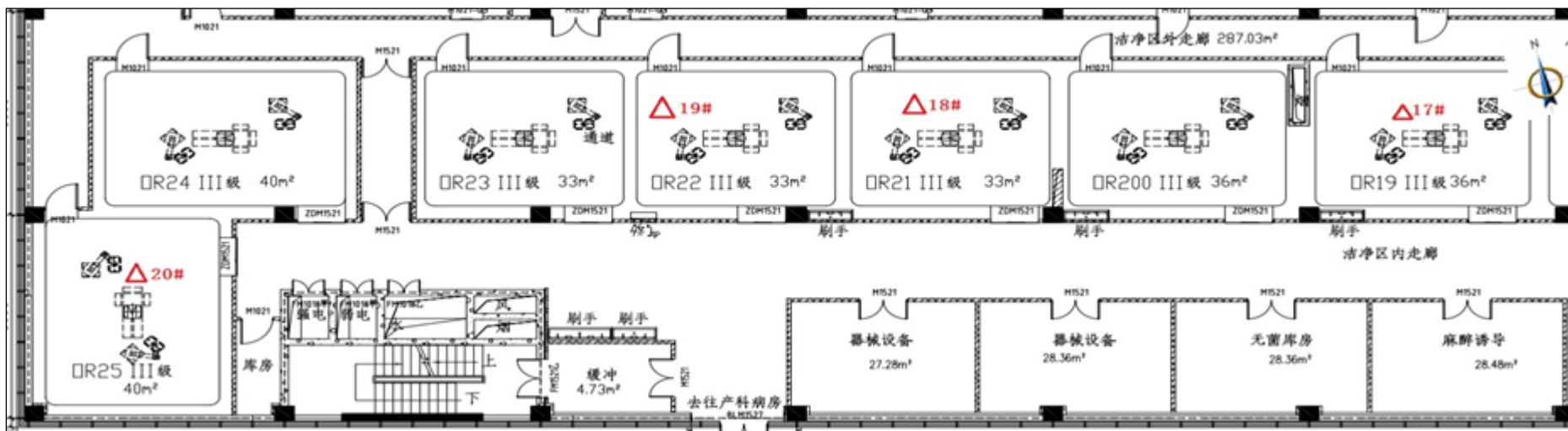


图 8-3 (2) DSA 机房周围 γ 辐射剂量率检测布点图 (DSA 机房下方门诊医技楼 4 层)

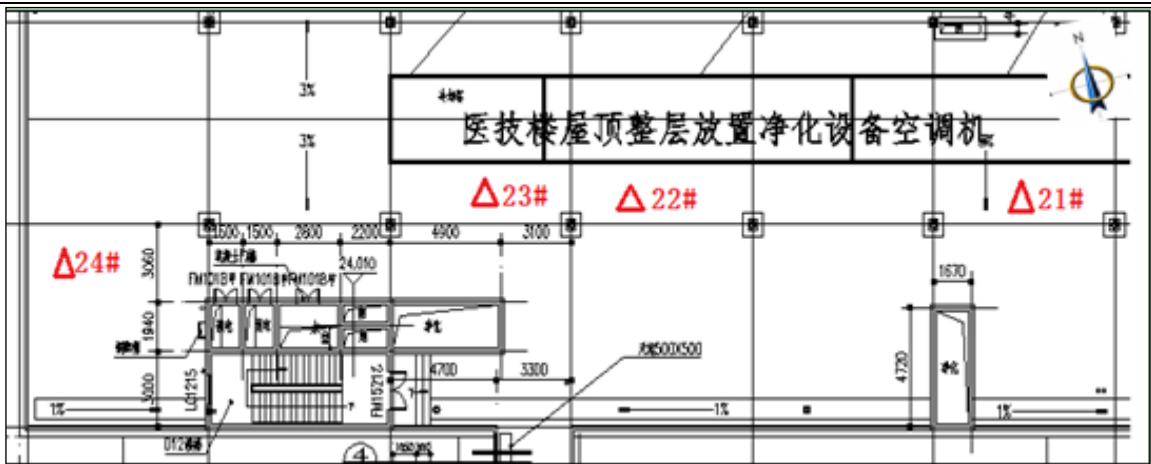


图 8-3 (3) DSA 机房周围 γ 辐射剂量率检测布点图 (DSA 机房上方门诊医技楼屋顶)

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 3 月 30 日
- (3) 监测方式：现场检测
- (4) 监测依据：GB/T 14583-1993 《环境地表 γ 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：26 $^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度：50%。
- (8) 监测报告编号：GABG-HJ18380011 (附件 5)
- (9) 监测设备

表 8-1 HD-2005 型环境级 X- γ 剂量仪/05034602

仪器型号	HD-2005 型环境级 X- γ 剂量仪
生产厂家	北京核地科技发展中心
仪器编号	05034602
能量范围	25keV~3MeV ($\pm 15\%$)
量程	(1~10000) $\times 10^{-8}$ Gy/h
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书	2017H21-20-1255331001
检定有效期	2017 年 10 月 13 日~2018 年 10 月 12 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、后均检查仪器的工作状态是否正常，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 8-2 (1) 加速器机房及周围环境辐射环境现状监测布点及结果一览表

检测点编号	检测点位置	检测结果 ($\times 10^{-8}\text{Gy/h}$)
1#	直线加速器机房 1 内	15.9
2#	直线加速器 1 控制室	16.1
3#	直线加速器 1 防护门外	16.8
4#	直线加速器机房 2 内	16.5
5#	直线加速器 2 控制室	16.3
6#	直线加速器 2 防护门外	15.3
7#	直线加速器机房 3 内	15.4
8#	直线加速器 3 防护门外	16.2
9#	直线加速器 3 控制室	16.0
10#	加速器机房顶部 1 (室外)	12.8
11#	加速器机房顶部 2 (室外)	12.5
12#	加速器机房顶部 3 (室外)	13.3

表 8-2 (2) 核医学及周围环境辐射环境现状监测布点及结果一览表

检测点编号	检测点位置	检测结果 ($\times 10^{-8}\text{Gy/h}$)
1#	PET 机房	17.1
2#	PET 控制室	17.8
3#	PET 注射后等待室	18.1
4#	PET 注射后等待室病厕	17.5
5#	PET 注射室	17.2
6#	甲功测定室	17.1
7#	等候室	17.9
8#	服碘室 (门诊)	17.3

9#	SPECT 注射室	17.8
10#	分装注射室	16.5
11#	储源室（门诊）	17.0
12#	污物室	17.6
13#	SPECT 注射后等待室	17.1
14#	SPECT 注射后等待室病厕	16.9
15#	运动负荷室	17.2
16#	SPECT 机房	16.8
17#	SPECT 机房控制室	17.0
18#	病人走廊（门诊）	17.0
19#	服碘室（甲癌）	17.8
20#	供碘室	17.6
21#	储源室（甲癌）	17.2
22#	甲癌病房 1	17.0
23#	甲癌病房 2	17.3
24#	甲癌病房 3	17.2
25#	甲癌病房 4	17.2
26#	甲癌病房 5	17.0
27#	甲癌病房 6	16.9
28#	甲癌病房 7	17.1
29#	甲癌病房 8	17.0
30#	甲癌病房 9	16.9
31#	甲癌病房 10	16.5
32#	甲癌病房 11	16.7
33#	甲癌病房 12	16.7
34#	病人走廊（甲癌）	16.9
35#	公共走廊（门诊西侧）	16.9
36#	护士室（门诊北侧）	17.2
37#	注射前等候区（门诊东北侧）	17.0
38#	公共走廊（门诊东侧）	17.1
39#	医生走廊（门诊南侧）	17.3
40#	前室（甲癌治疗区外）	17.4
41#	医护人员值班室	17.0
42#	医护人员值班室	17.2
43#	通过间（甲癌治疗区外）	17.5

44#	按号分餐室	17.2
45#	等候区（西侧甲癌治疗区外）	17.3
46#	医疗通道（南侧甲癌治疗区外）	17.4
47#	门诊医技楼一层南侧二次候诊区	15.0
48#	门诊医技楼一层南侧二次候诊区	15.2
49#	门诊医技楼与病房楼间的消防道路（室外）	12.3
50#	门诊医技楼与病房楼间的消防道路（室外）	12.5
51#	病房楼一层配电房	14.3
52#	病房楼一层材料室	14.7
53#	病房楼一层配电房	15.1
54#	病房楼一层住院超市	15.0
55#	病房楼一层住院超市	14.9

表 8-2（3） DSA 机房及周围环境辐射环境现状监测布点及结果一览表

检测点编号	检测点位置	检测结果（ $\times 10^{-8}$ Gy/h）
1#	DSA1 机房内	14.3
2#	DSA1 操作间	15.2
3#	DSA1 机房南侧洁净区内走廊	13.9
4#	DSA1 机房东侧 OR42 手术室	15.0
5#	DSA1 机房北侧洁净区外走廊	15.8
6#	DSA2 机房内	15.5
7#	DSA2 操作间	15.4
8#	DSA2 机房北侧洁净区外走廊	15.0
9#	DSA2 机房南侧洁净区内走廊	14.8
10#	DSA3 机房内	15.0
11#	DSA3 操作间	15.3
12#	DSA3 机房南侧洁净区内走廊	14.7
13#	DSA3 机房北侧洁净区外走廊	14.7
14#	DSA4 机房内	15.4
15#	DSA4 操作间	15.5
16#	DSA4 东侧防护门外	15.0
17#	DSA1 机房下方 OR19 手术室（四层）	14.4
18#	DSA2 机房下方 OR21 手术室（四层）	15.0
19#	DSA3 机房下方 OR22 手术室（四层）	14.8
20#	DSA4 机房下方 OR25 手术室（四层）	14.7

21#	DSA1 机房上方空调净化设备区（屋顶）	12.5
22#	DSA2 机房上方空调净化设备区（屋顶）	12.2
23#	DSA3 机房上方空调净化设备区（屋顶）	12.8
24#	DSA4 机房上方空调净化设备区（屋顶）	13.0

8.4 环境现状调查结果的评价

（1）医用直线加速器机房及周围

由表 8-2（1）的监测结果可知，本项目医用直线加速器机房及周围环境（室内）X- γ 辐射剂量率范围为 153~168nGy/h，加速器机房上方（室外）X- γ 辐射剂量率范围为 125~133 nGy/h，根据《浙江省环境天然放射水平调查报告》可知温州市室内的 γ 辐射剂量率在 73~198nGy/h 之间，（室外）道路 γ 辐射剂量率在 36~154 nGy/h 之间。可见本项目医用直线加速器机房及周围环境的 γ 辐射本底水平未见异常。

（2）核医学用房及周围

由表 8-2（2）的监测结果可知，本项目核医学用房及周围环境（室内）X- γ 辐射剂量率范围为 143~181nGy/h，核医学上方室外消防道路 X- γ 辐射剂量率为 123~125 nGy/h，根据《浙江省环境天然放射水平调查报告》可知温州市室内的 γ 辐射剂量率在 73~198nGy/h 之间，（室外）道路 γ 辐射剂量率在 36~154 nGy/h 之间。可见本项目核医学用房及周围环境的 γ 辐射本底水平未见异常。

（3）DSA 机房及周围

由表 8-2（3）的监测结果可知，本项目 DSA 机房及周围环境（室内）X- γ 辐射剂量率范围为 139~158nGy/h，DSA 机房上方（室外屋顶）X- γ 辐射剂量率范围为 122~130 nGy/h，根据《浙江省环境天然放射水平调查报告》可知温州市室内的 γ 辐射剂量率在 73~198nGy/h 之间，（室外）道路 γ 辐射剂量率在 36~154 nGy/h 之间。可见本项目 DSA 机房及周围环境的 γ 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用房、加速器用房及 DSA 用房等均位于瑶溪分院门诊医技楼（病房楼），温州医科大学附属第二医院的瑶溪分院尚在施工建设中，其建设阶段的工程分析和环境影响分析见《温州医学院附属第二医院瑶溪分院新建工程环境影响报告书》（环评批复文号：龙环建审〔2012〕192 号）。

9.1.2 运行阶段工程分析

9.1.2.1 核医学

（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}F （核医学北侧区域 PET-CT 显像）、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （核医学北侧区域 SPECT-CT 显像）、 ^{131}I （核医学北侧区域 SPECT-CT 显像及甲亢治疗、核医学南侧甲癌治疗）。

1、使用流程及产污分析

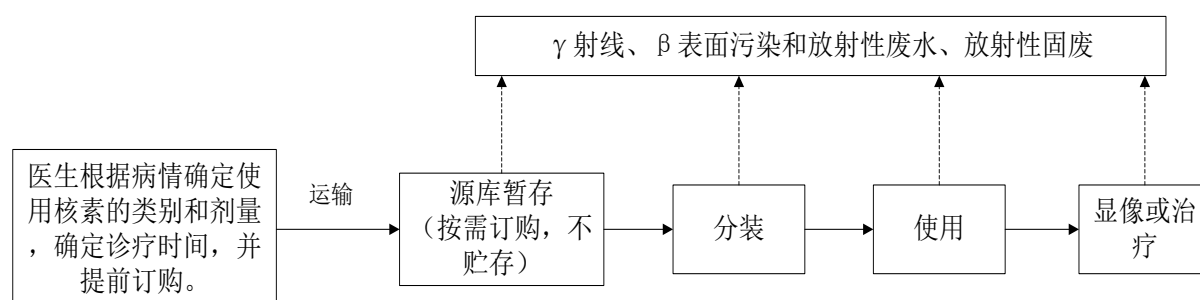


图 9-1 非密封放射性物质使用流程及产污环节示意图

2、性能参数和计划工作量

本项目使用的 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I ，除 ^{131}I 需根据病人的需要进行分装， ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 不需进行分装，可以直接使用。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。

^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的性能参数见表 9-1，计划工作量见 9-2。

表 9-1 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 α 、 β 辐射能量 (MeV)	主要 γ 、X 射线能量 (MeV)	空气比释动能率常数 ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\text{MBq}^{-1}\text{h}^{-1}$)
^{18}F	109.7min	EC (3.27) β^+ (96.73)	0.64	0.511	0.143
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	IT(100)	-	0.141	0.0184
^{131}I	8.04d	β^- (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)	0.0518

表 9-2 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}F	$3.7\times 10^8\text{Bq}$	15 人	3750 人 (每周 5 天, 年 50 周)	5.55×10^9	1.39×10^{12}	北侧 PET-CT 显像检查
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$7.4\times 10^8\text{Bq}$	20 人	5000 人 (每周 5 天, 年 50 周)	1.48×10^{10}	3.7×10^{12}	北侧 SPECT-CT 显像检查
^{131}I	$3.7\times 10^8\text{Bq}$	5 人	750 人 (每周 3 天, 年 50 周)	1.85×10^9	2.775×10^{11}	甲亢治疗
^{131}I	$3.7\times 10^8\text{Bq}$	5 人	1250 人 (每周 5 天, 年 50 周)	1.85×10^9	4.625×10^{11}	SPECT-CT 显像检查
^{131}I	$3.7\times 10^5\text{Bq}$	20 人	5000 人 (每周 5 天, 年 50 周)	7.4×10^6	1.85×10^9	甲功测定
^{131}I	$3.7\times 10^9\text{Bq}$	6 人	300 人 (每周 2 批次, 每批次 6 人; 隔周开展工作, 年 25 周)	2.22×10^{10}	1.11×10^{12}	甲癌治疗

(二) PET-CT 显像检查流程及产污环节分析

1、PET-CT 设备组成

PET-CT 扫描仪由 PET 扫描仪和 CT 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,它是决定图像质量的基础。CT 扫描仪位于 PET 扫描仪的前方,两者组合在一个机架内,后配 PET、CT 融合对位工作站,一次成像同时完成 CT 及 PET 扫描。

2、PET-CT 诊断工作原理

PET-CT (Positron Emission Tomography and Computer Tomography), 全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术,是在 PET 和 CT 的基础上发展起来的新设备,充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素其标记的示踪剂,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 的临床显像,大大提高临床使用价值。

本项目拟新增的 PET-CT 使用放射性核素为 ^{18}F 。 ^{18}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}F 使用前根据需要提前订购,不分装直接使用。 ^{18}F 在 PET-CT 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 30~60min 后,在 PET-CT 机房进行核素显像。

3、工艺流程及污染因子

PET-CT 中心诊断具体工作流程如下:

- (1) 接收患者,开具 PET-CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害;
- (2) 医生根据病情确定使用核素的类别和剂量;
- (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 β/γ 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 β/γ 射线。PET-CT 系统诊断工艺流程及产污位置图如图 9-2 所示。

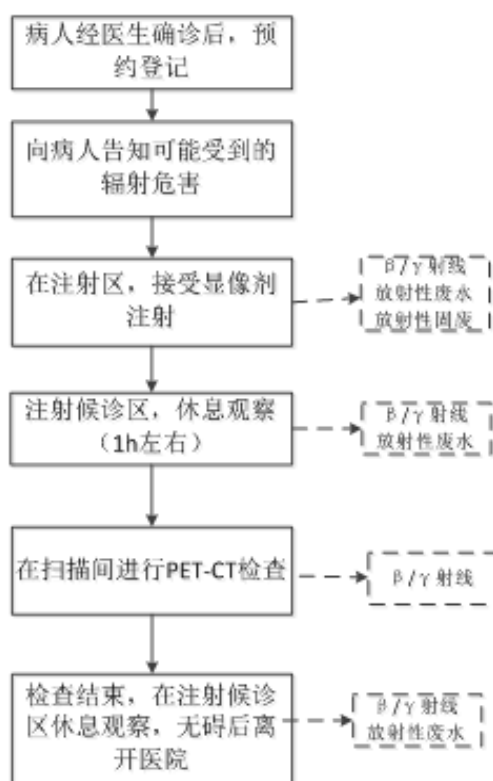


图 9-2 PET-CT 系统诊断工艺流程及产污环节示意图

因此,用 ^{18}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 γ 射线经碘化钠晶体产生闪光,闪烁光子再与光电倍增管的光阴极发生相互作用,产生光电效应。光电效应产生的光电子经光电倍增管的打拿极倍增放大后在光阳极形成电脉冲,其经过放大器成形,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}I 放射性核素标记, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 每人每次平均使用量为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq/人}$ (20mCi), ^{131}I 每人每次平均使用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq/人}$ (10mCi),主要用于全身骨、肾、心肌、甲状腺等显像。本项目使用的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 使用前根据需要提前订购,不分装直接使用; ^{131}I 根据病人需要利用自动分碘仪分装。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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}I 设有专门的服碘室及供碘窗口,医生将装有 ^{131}I 核素的铅罐放于自动分碘仪中,自动分装。服碘

后的病人根据需要在 SPECT-CT 注射后等候室观察 30min 后,在 SPECT-CT 机房进行核素显像。

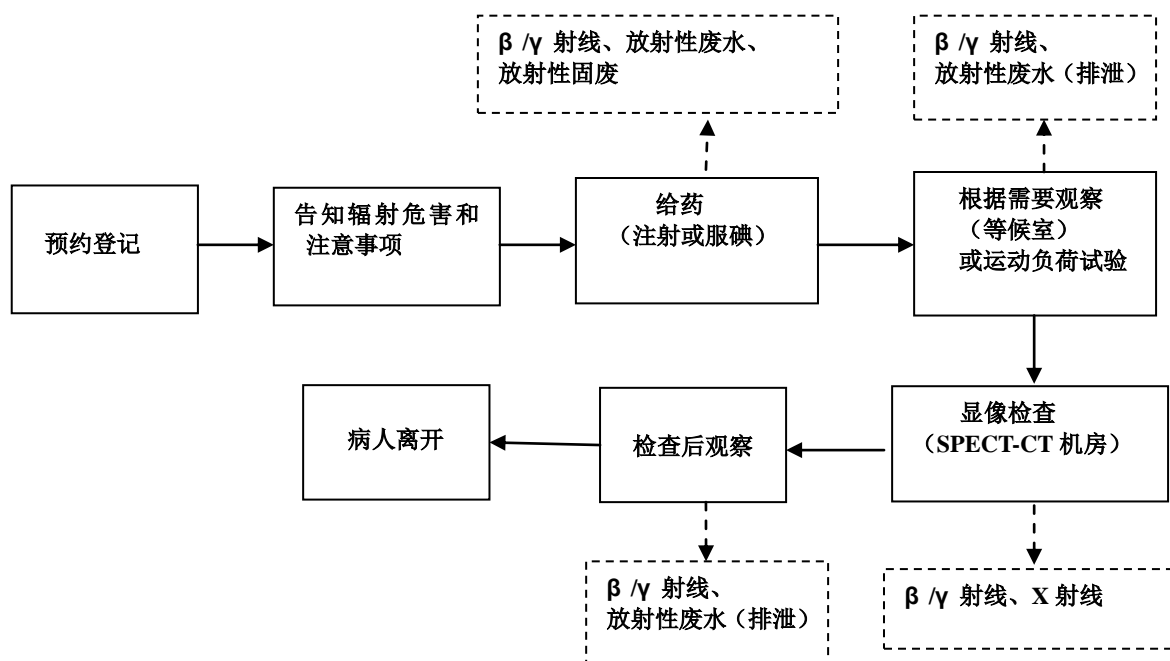


图 9-3 SPECT-CT 系统诊断工艺流程及产污环节示意图

(四) ^{131}I 治疗流程及产污环节分析

1、 ^{131}I 核素治疗的工作原理

(1) 甲状腺功能测定

甲状腺功能测定,是通过观察、测量甲状腺组织摄取和排出引入体内的 ^{131}I 的量与速度,来评价甲状腺的功能状态及其功能调节的情况。甲功测定单次 ^{131}I 给药量很小,最大用量仅为 $10\mu\text{Ci}$,且为防止受空气中挥发性 ^{131}I 的影响,一般甲功测定室都远离甲亢或甲癌的 ^{131}I 给药室。

(2) 甲亢治疗机理

甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}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 3.5~5.5 天。在患者服用 ^{131}I 后,90% 以上的 ^{131}I 都会聚集到患者的甲状腺,其余的 ^{131}I 随代谢排出体外。 ^{131}I 衰变为 ^{131}Xe 时放射出 95% 的 β 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}I 治疗可使部分甲状腺组织受到 β 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。

(3) 甲癌治疗机理

放射性核素 ^{131}I 可以高度选择性聚集在分化型甲状腺癌及转移灶， ^{131}I 衰变时发射出的射程很短的 β 射线和能量跃迁时发出的 γ 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。

9.1.2.2 医用直线加速器

1、设备参数

根据医院提供的资料，本项目拟新增的医用电子加速器的主要参数见表 9-3。

表 9.1-2 医用电子加速器的主要参数表

参数名称	参数值
最大能量	X 射线能量：15MV；电子线能量：6~21MeV
泄漏率	X 射线： $\leq 0.1\%$ ；中子： $\leq 0.05\%$
正常治疗距离（NTD）	100cm
常用最大剂量率	$6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$
最大照射野大小	400mm×400mm
机架旋转角度	$\pm 180^\circ$

2、工作原理

医用直线加速器通常是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器，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。电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 线，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶实现治疗目的。

医用直线加速器结构示意图见 9-4，典型医用直线加速器内部结构见图 9-5。

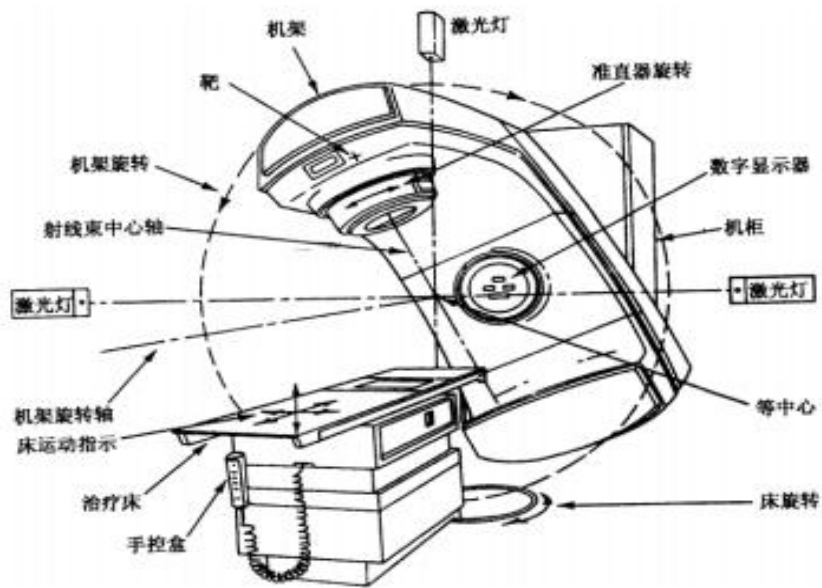


图 9-4 医用直线加速器结构示意图

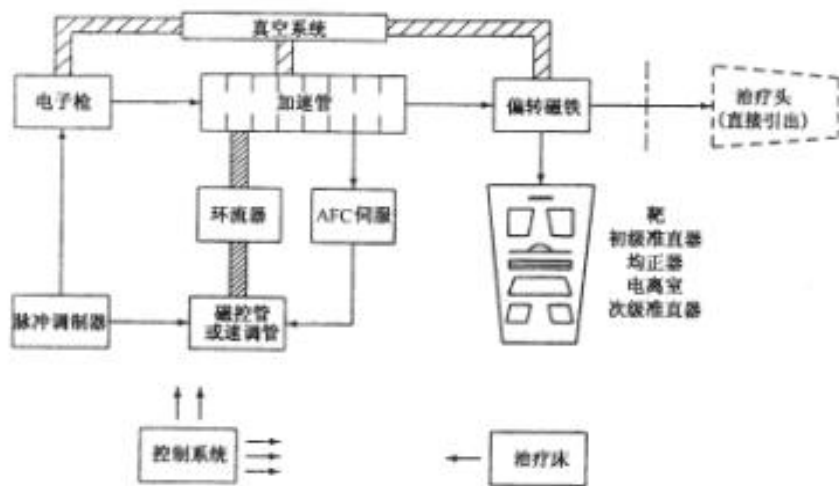


图 9-5 典型医用直线加速器内部结构图

3、治疗流程

医用直线加速器诊疗流详及产污环节程见图 9-6。

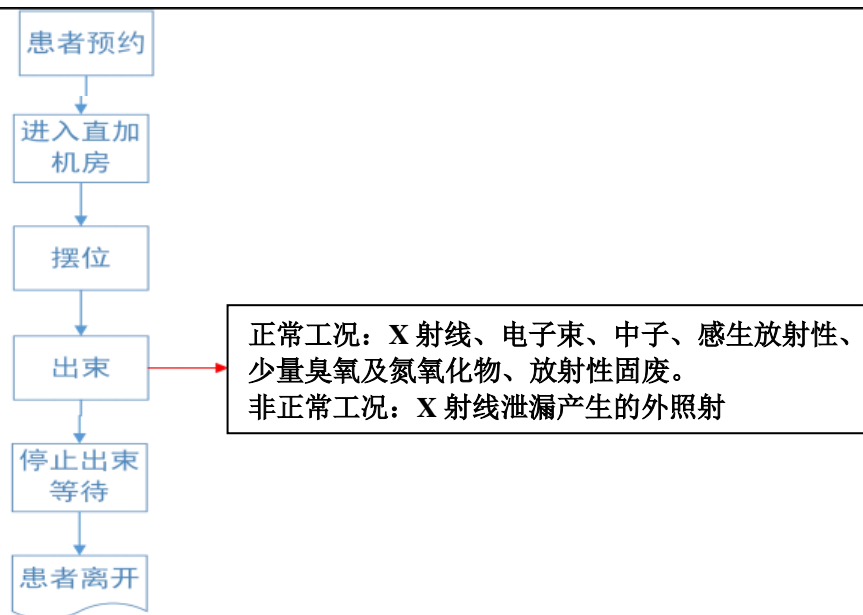


图 9-6 医用直线加速器诊疗流程及产污环节示意图

9.1.2.3 DSA

1、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。

2、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。

3、操作流程

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

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

①第一种情况，操作人员采取隔室操作的方式（即操作医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，并通过对讲系统与病人交流。

②第二种情况，医生需进行手术治疗时，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屏风后并身着铅服、戴铅眼镜等防护用品，在曝光室内对病人进行直接的手术操作。

DSA 治疗流程及产污环节示意图见图 9-7。

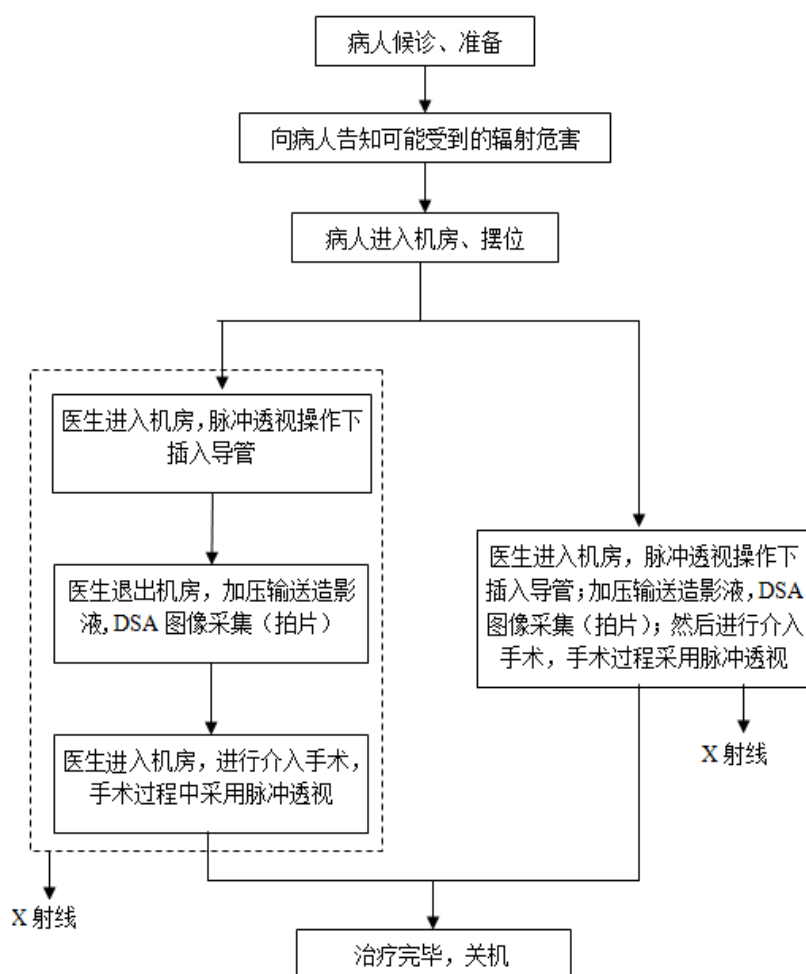


图 9-7 DSA 治疗流程及产污环节示意图

9.1.2.4 PET-CT 及 SPECT-CT

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9-8所示。

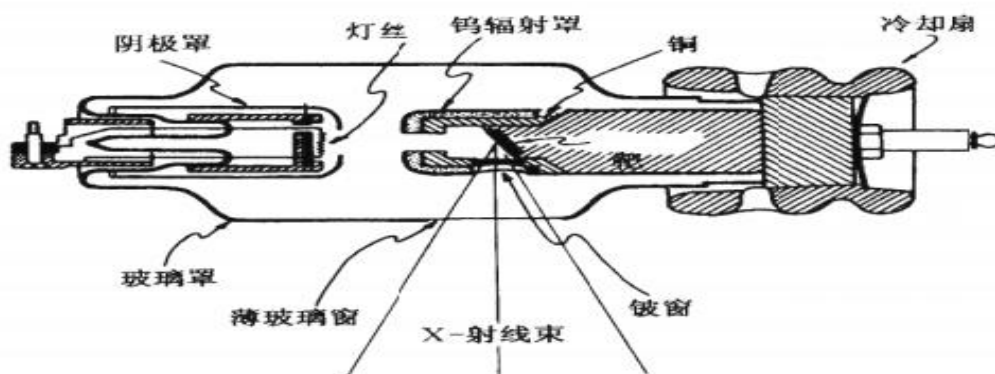


图 9-8 X 射线管基本结构图

2、工作流程及产污环节分析

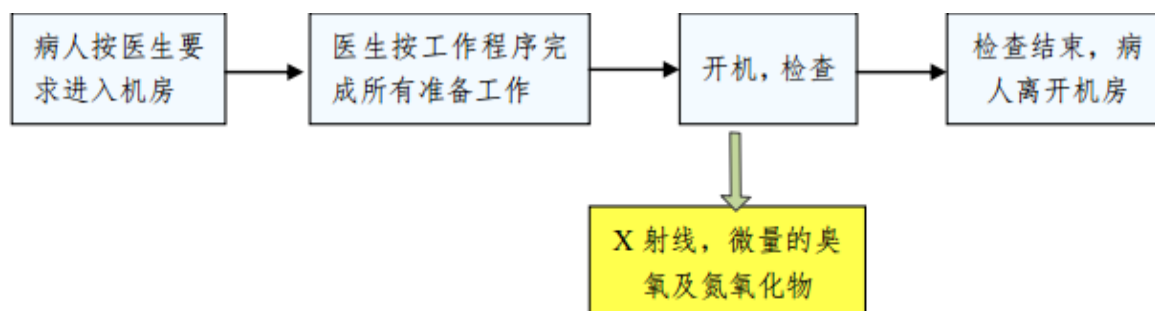


图 9-9 X 射线诊断装置工作流程及产污环境分析

9.2 污染源项描述

9.2.1 核医学

1、PET-CT 和 SPECT-CT 工作场所

(1) 辐射

①PET-CT 和 SPECT-CT 扫描时产生的 X 射线；

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

(2) β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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 β 放射性表面污染。

(3) 废气

本项目使用的 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在专业供应商分装好直接送到带有通风装置的储源库内暂存，无开放液面，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。

(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。

2、 ^{131}I 诊疗工作场所

(1) 辐射

^{131}I 核素在衰变过程中主要释放 β 射线和 γ 射线， β 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， γ 射线对医护人员产生的外照射影响。

(2) β 放射性表面污染

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

(3) 废气

^{131}I 是挥发性核素，但本项目使用的 ^{131}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，因此放射性废气可不考虑。

(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。

9.2.2 医用直线加速器

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。瞬发辐射包括初级辐射（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 (γ 、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 (γ 、n) 反应的阈能量时，中子活化作用使治疗室空气中产生 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等放射性气体。其衰变过程中产生正电子，即 β^+ 射线， β^+ 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}O 、 ^{16}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 (O_3) 和氮氧化物 (NO_x , 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。

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。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 辐射工作场所布局

10.1.1.1 核医学

(一) 核医学平面布局

1、北侧核素显像诊断区域

核医学北侧核素显像诊断区域拟设置PET-CT机房及控制室、PET注射后候诊室（内设患者专用卫生间）、PET注射室、分装注射室、甲功测定室、等候室、服碘室、储源室、污物间、SPECT-CT机房及控制室、SPECT注射后候诊室（内设患者专用卫生间）、SPECT注射室、运动负荷室、卫生通过间等相关用房。

核医学北侧核素显像诊断区域位于瑶溪分院门诊医技楼地下一层，东侧为公共走廊、发展设备用房等配套用房，南侧为医生走廊、2#地下庭院，西侧为公共走廊、预留CT模拟定位机用房等，北侧为诊室、注射前等候区；北侧核素显像诊断区域上方为门诊医技楼的肠胃机房、MRI机房、二次候诊区，以及门诊医技楼和病房楼间的消防道路。北侧核素显像诊断区域四周布局见表 10-1。核医学北侧核素显像诊断区域平面布局见附图 5，在门诊医技楼地下一层的位置及楼上对应区域见附图 4。

核医学北侧核素显像诊断区域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。

核医学北侧核素显像诊断区域药物分装、注射与扫描检查分开，注射后候诊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 北侧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
北侧核素显像诊断区域	公共走廊、发展设备用房等配套用房	医生走廊、2#地下庭院	公共走廊、预留CT模拟定位机用房等	诊室、注射前等候区等	门诊医技楼的肠胃机房、MRI机房、二次候诊区,以及门诊医技楼和病房楼间的消防道路	无

2、南侧核素治疗区域

核医学南侧核素治疗区域拟设置 12 间甲癌病房(内设患者专用卫生通过间)、服碘室、供碘室、储源室、卫生通过间及更衣室、发餐及按号分餐室等相关用房。

核医学南侧核素治疗区域位于瑶溪分院病房楼地下一层,东侧为公共走廊、合用前室、消防配套用房等,南侧为医疗通道,西侧为诊室、卫生前室、等候区等,北侧为医生走廊、2#地下庭院;北侧核素显像诊断区域上方为病房楼 1 层的配电用房及住院超市。南侧核素治疗区域四周布局见表 10-2。核医学南侧核素治疗区域平面布局见附图 5,在病房楼地下一层的位置及楼上病房楼对应区域见附图 4。

核医学南侧核素治疗区域拟设置的 12 间甲癌病房均为带卫生间的单人病房,每间病房均设置有与护士相连接的监控对讲装置。区域设有专门的供碘室与服碘室,并采用自动分装机分装药物,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 10-2 南侧核素治疗区域四周布局一览表

辐射场所	东	南	西	北	上	下
南侧核素治疗区域	公共走廊、合用前室、消防配套用房等	医疗通道	诊室、卫生前室、等候区等	医生走廊、2#地下庭院	病房楼一层的配电用房及住院超市	无

(3) 小结

本项目核医学工作场所和其他工作区域相邻,但不相通,与门诊医技楼及病房楼地下 1 层的非放射性工作场所完全隔开。北侧核素显像诊断和南侧核素治疗用房所在的辐射工作区域在该层均设有独立的出入口,可避免与本职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、北侧核素显像诊断区域路径规划

(1) 医护人员路径

核素显像区域的医护人员由东侧医生入口向北进入医生走廊,在北侧医生走廊由东向西可依次进出 SPECT-CT 控制室、卫生通过间(分装注射室)、PET-CT 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。甲状腺吸碘率测定的工作人员在分装注射室操作设备。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

受检者/患者在核素显像区域注射前候诊区接受问诊、宣教，根据叫号通过东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区休息、候诊，然后进入机房接受检查，PET-CT 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；甲亢患者在服碘室服碘后进入等候室候诊和观察，患者观察和检查后可由核素显像诊断区域西侧单向门离开。

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。注射后候诊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储源室内，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

核素显像区域放射性废物在本区域污物间暂存，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垃圾梯，按照医疗废物处置。

2、南侧核素治疗区域路径规划

(1) 医护人员路径

核素治疗区域医护人员由东侧医生入口直行进入南侧医生走廊，向南通过卫生通过间进入供碘室。在供碘室内将装有 ^{131}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；住院病房值班医护人员经过南侧医生走廊，通过卫生通过间进入甲癌病房远程护理室值班；工作人员将病人餐食拿到发餐室后通过屏蔽窗口送到按号分餐室，然后远程指导病人到按号分餐室取餐。完成施药后/值班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) 患者路径

接受 ^{131}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，由东南侧病人通道进入核素治疗区域，在甲癌患者接待室接受住院宣教，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，

出院时由核素治疗区域西侧单向门离开。

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治疗区域将预定的放射性药物送至储源室内，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

核素治疗区域放射性废物在本区域储源室进行暂存，衰变至符合清洁解控水平后，选择在无病人时段，由储源室从医生通道运输至垃圾梯，按照医疗废物处置。

病人出院后选择在无病人时段，工作人员将被服统一收集到西侧被服存放间放置，让放射性物质自行衰变，经检测确认低于限制水平后，方可单独清洗重复使用。

核医用房人流、物流路径规划图如附图 6 所示。

(三) 非密封放射性物质工作场所分级

本项目核医学南侧与北侧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，南北侧不交叉。因此，可认为北侧核素显像诊断区域和南侧核素治疗区域各自为一个独立的非密封放射性物质工作场所。

1、北侧核素显像诊断区域场所分级

瑶溪分院门诊医技楼地下一层拟设置核素显像诊断区域，配置一台 SPECT-CT 和一台 PET-CT。核素显像诊断区域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，可认为北侧核素显像诊断区域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），北侧核素显像诊断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}Tc 、 ^{131}I 进行扫描显像检查，PET-CT 使用核素 ^{18}F 进行扫描显像检查，同时使用 ^{131}I 进行甲亢治疗。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 10-3、10-4, 计算见表 10-5。

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

表 10-3 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 10-4 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 10-5 北侧核素显像诊断区域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
北侧核素显 像诊断区域	¹⁸ F	5.55×10 ⁹	0.01	10	5.55×10 ⁶	乙
	^{99m} Tc	1.48×10 ¹⁰	0.01	10	1.48×10 ⁷	
	¹³¹ I(显像)	1.85×10 ⁹	0.1	1	1.85×10 ⁸	
	¹³¹ I(甲亢)	1.85×10 ⁹	0.1	1	1.85×10 ⁸	
	¹³¹ I(甲测)	7.4×10 ⁶	0.1	1	7.4×10 ⁵	
合计					3.91×10 ⁸	

2、南侧核素治疗区域场所分级

瑶溪分院病房楼地下 1 层拟设置核素治疗区域用于治疗甲癌, 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, 可认为南侧核素治疗区域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), 南侧核素治疗区域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 ¹³¹I 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 10-6。

表 10-6 南侧核素治疗区域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
南侧核素治疗区域	¹³¹ I	2.22×10 ¹⁰	0.1	1	2.22×10 ⁹	乙

10.1.1.2 医用直线加速器

本项目拟建的 3 个医用直线加速器机房位于瑶溪分院门诊医技楼地下 1 层西端，3 个直线加速器机房由北向南依次排列。3 个医用直线加速器机房北侧、西侧、南侧均为地下岩土层，东侧为加速器的控制室及设备间、过厅；3 个医用直线加速器机房上方为门诊医技楼西侧室外空地（加速器顶部屏蔽凸起）及室外花坛。本项目 3 个直线加速器机房平面布局见附图 5，加速器机房在门诊医技楼地下一层的位置及楼上对应区域见附图 4。

本项目直线加速器 1 治疗室内净面积约为 82m²，直线加速器 2 治疗室内净面积约为 86m²，直线加速器 3 治疗室内净面积约为 82m²。3 个直线加速器治疗室均设置有迷道和防护门，且有用线束不向迷路照射。加速器机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“新建治疗室不应小于 45m²”、“治疗室入口处必须设置防护门和迷路”等规定。

表 10-7 医用直线加速器四周布局一览表

辐射场所	东	南	西	北	上	下
直线加速器机房 1	控制室、设备间、过厅	地下岩土层	地下岩土层	地下岩土层	门诊医技楼西侧室外空地（加速器顶部屏蔽凸起）及室外花坛	无
直线加速器机房 2	控制室、设备间、过厅					
直线加速器机房 2	控制室、设备间、过厅					

10.1.1.3 DSA 机房

本项目拟建的 4 个 DSA 机房位于瑶溪分院医技楼 5 层西侧。DSA 机房平面布局见附图 5，4 个 DSA 机房在医技楼 5 层的位置、对应的楼上层及楼下层位置见附图 4。

表 10-8 医用直线加速器四周布局一览表

辐射场所	东	南	西	北	上	下
DSA1 机房	手术室 OR42	洁净区内走廊	设备间、操作间	洁净区外走廊	医技楼屋顶净化设备空调机	手术室 OR19
DSA2 机房	库房、操作	洁净区内	DSA3 机房	洁净区外		手术室 OR21

	间、设备间	走廊		走廊	区域	
DSA3 机房	DSA2 机房	洁净区内走廊	操作间	洁净区外走廊		手术室 OR22、OR23
DSA4 机房	洁净区内走廊、库房、配电间	医技楼 5 层楼外（空）	医技楼 5 层楼外（空）	设备间、操作间		手术室 OR25

10.1.2 分区原则及区域划分

10.1.2.1 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）要求在辐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制定区域。在监督区入口处的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的边界。

10.1.2.2 区域划分

1、核医学用房

根据国际放射防护委员会第 103 号出版物对控制区和监督区的定义，结合北侧核素显像诊断区域诊治、辐射防护和环境情况特点，将核素显像诊断区域的病人走廊、PET-CT 机房、PET 注射后候诊室及专用卫生间、PET 注射室、分装注射室、甲功测定室、等候室、服碘室、储源室、污物间、SPECT-CT 机房、SPECT 注射后候诊室及专用卫生间、SPECT 注射室、运动负荷室划为控制区，将 PET-CT 及 SPECT-CT 的控制室、卫生通过间、医生走廊、护士站、注射前候诊区、冷却设备房、消防排烟机房、设备间划为监督区。

结合南侧核素治疗区域治疗流程、辐射防护和环境情况特点，将核素治疗区域的 12 间甲癌病房、服碘室、供碘室、储源室、按号分餐室、病人走廊、被服存放间划为控制区，将卫生通过间、更衣室、医生厕所、远程护理站、弱电间、病人入口通过间、发餐室、污衣回收间划为监督区。

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，蓝色区

域为监督区。

2、射线装置

根据国际放射防护委员会第 103 号出版物对控制区和监督区的定义，结合加速器及 DSA 装置诊治、辐射防护和环境情况特点，将加速器机房（治疗室）、DSA 机房划为控制区，将加速器控制室、DSA 机房控制室划为监督区。本项目医用直线加速器、DSA 装置的控制区和监督区划分情况见附图 7，红色区域为控制区，蓝色区域为监督区。

表 10-9 本项目控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
北侧核素显像诊断区域	病人走廊、PET-CT机房、PET注射后候诊室及专用卫生间、PET注射室、分装注射室、甲功测定室、等候室、服碘室、储源室、污物间、SPECT-CT机房、SPECT注射后候诊室及专用卫生间、SPECT注射室、运动负荷室	PET-CT及SPECT-CT的控制室、卫生通过间、医生走廊、护士站、注射前候诊区、冷却设备房、消防排烟机房、设备间
南侧核素治疗区域	12 间甲癌病房、服碘室、供碘室、储源室、按号分餐室、病人走廊、被服存放间	卫生通过间、更衣室、医生厕所、远程护理站、弱电间、病人入口通过间、发餐室、污衣回收间
医用直线加速器	加速器机房	加速器控制室
DSA	DSA机房	DSA机房控制室

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（图 10-1）；

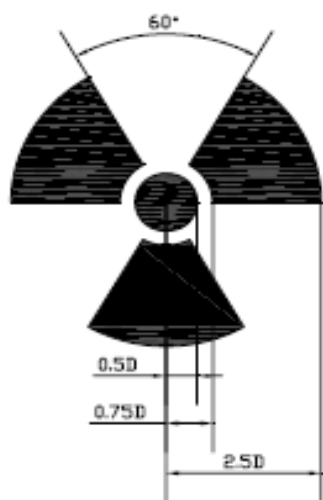


图 10-1 电离辐射标志和电离辐射警告标志

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。

10.1.3 辐射安全防护及环保设施

10.1.3.1 屏蔽设计

(一) 核医学用房

1、北侧核素显像诊断区域用房

表 10-10 北侧核素显像诊断区域用房屏蔽设计参数

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
病人走廊	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M1~M4	内衬 12mm 铅板
SPECT-CT 注射后病人等候室 (包含病 厕)	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料 病厕东墙、北墙：24cm 实心粘土砖+双面 3mmPb 防 护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M5、M6	内衬 4mm 铅板
	防护门 M9	内衬 6mm 铅板
运动负荷 室	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M7	内衬 4mm 铅板
SPECT-CT 机房	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M8	M8：内衬 6mm 铅板
	防护窗 C1	6mmPb 的铅玻璃
SPECT-CT 注射室	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼

	防护门 M10	内衬 4mm 铅板
	防护窗 C2	20mmPb 的铅玻璃
	注射防护台	20mmPb
服碘室	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M11 、 M12	内衬 4mm 铅板
	防护窗 C3	8mmPb 的铅玻璃
等候室	四周墙体	24cm 实心粘土砖+双面 3mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M13	内衬 8mm 铅板
甲功测定室	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M14、 M15	M14: 内衬 4mm 铅板; M15: 内衬 6mm 铅板
分装室注射室	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M18	内衬 6mm 铅板
储源室	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M16	内衬 6mm 铅板
污物间	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M17	内衬 6mm 铅板
卫生通过间	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M19	内衬 6mm 铅板
PET-CT 注射室	四周墙体	24cm 实心粘土砖+双面 4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M23	内衬 4mm 铅板
	防护窗 C4	20mmPb 的铅玻璃
	注射防护台	20mmPb
PET-CT 注射后等候室 (包含病 厕)	四周墙体	24cm 实心粘土砖+双面 4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M20、 M21、 M22	M20、 M2: 内衬 4mm 铅板; M21 内衬 6mm 铅板
PET-CT 机房	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M24	内衬 10mm 铅板
	防护窗 C5	10mmPb 的铅玻璃
病人走廊	北侧墙体	24cm 实心粘土砖+双面 4mmPb 防护涂料
注:“砼”指标准混凝土,密度为 2.35t/m ³ ,实心粘土砖的密度为 1.65t/m ³ 。		

2、南侧核素治疗区域用房

表 10-11 南侧核素治疗区域用房屏蔽设计参数

名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
病人走廊	四周墙体	供碘室、医护人员值班室、远程护理站、卫生前室与病人走廊隔墙：24cm 实心粘土砖+双面 3mmPb 防护涂料 其他：24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M2、M20、M23	内衬 10mm 铅板
病人入口通过间	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M1	内衬 6mm 铅板
按号分餐室	四周墙体	东侧墙体：24cm 实心粘土砖+双面 3mmPb 防护涂料 其他墙体：24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M3	内衬 4mm 铅板
	铅防护挡板 C1	15 mm 铅板
供碘室	四周墙体	南侧墙体：24cm 实心粘土砖+双面 3mmPb 防护涂料 其他墙体：24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M4	内衬 6mm 铅板
储源室	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M5	内衬 6mm 铅板
服碘室	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M6、M7	M6：内衬 6mm 铅板；M7：内衬 4mm 铅板
卫生通过间 2	南侧墙体	24cm 实心粘土砖+双面 3mmPb 防护涂料
	M20	内衬 6mm 铅板
远程护理站	西侧、南侧墙体	24cm 实心粘土砖+双面 3mmPb 防护涂料
被服存放间	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M21	内衬 4mm 铅板
污衣回收间	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	防护门 M22	内衬 6mm 铅板
12 间甲癌病房	四周墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料
	顶棚	25cm 砼
	防护门 M8~M19	内衬 4mm 铅板

注：“砼”指标准混凝土，密度为 2.35t/m³，实心粘土砖的密度为 1.65t/m³。

(二) 射线装置

1、医用电子直线加速器

表 10-12 医用电子直线加速器机房尺寸及屏蔽设计参数

所在部位	1 号加速器机房	2 号加速器机房	3 号加速器机房
机房长度（南北方向距离）	7500mm	7500mm	7500mm
机房宽度（东西方向距离）	8000mm	8000mm	8000mm
地面到屋顶净高	4200mm	4200mm	4200mm
迷路长度	8450mm	9150mm	8450mm
迷路宽度	2000mm	2000mm	2000mm
迷路内入口宽度	2000mm	2700mm	2000mm
迷路外入口宽度（门洞）	1800mm	1800mm	1800mm
南北侧主防护墙宽度	5000mm	5000mm	5000mm
顶棚主防护墙宽度	5000mm	5000mm	5000mm
迷路外墙厚度	1400mm 砼	1400mm 砼	1400mm 砼
迷路内墙厚度	1350mm 砼	1350mm 砼	1350mm 砼
南北侧主防护墙厚度	2900mm 砼	290 mm 砼	2900mm 砼
南北侧副防护墙厚度	1500mm 砼	1500mm 砼	1500 m 砼
顶棚主防护墙厚度	3000mm 砼	3000mm 砼	3000mm 砼
顶棚副防护墙厚度	1500mm 砼	1500mm 砼	1500mm 砼
防护门	15mm 铅板+100mm 含硼聚乙烯		

注：“砼”指标准混凝土，密度为 2.35t/m³。

2、DSA 机房

由表 10-13、10-14 可知，本项目 DSA 机房的有效使用面积和最小单边长度、机房的屏蔽防护设计均可满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中有关防护要求。

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 10-13 本项目 DSA 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 ²)	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	
DSA1 机房	7.7	62.0	3.5	20	符合
DSA2 机房	8.0	71.0	3.5	20	符合
DSA3 机房	7.4	60.0	3.5	20	符合
DSA4 机房	7.4	60.0	3.5	20	符合

表 10-14 DSA 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
DSA 机房 (4 间)	四侧墙体	水泥砖+4mm 铅板	4.0	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2mmPb	是
	顶棚及地坪	16cm 混凝土+2mmPb 防护涂料	4.0		是
	防护门	内衬 3mm 铅板	3.0		是
	观察窗	3.0mmPb 的铅玻璃	3.0		是
注：混凝土密度：2.35 t/m ³ ；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 6.14：16cm 钢筋混凝土在 150kV 管电压下保守折算为 2.0mmPb。					

10.1.3.2 辐射安全设施

(一) 核医学用房

1、北侧核素显像诊断区域

(1) 辐射安全措施

①PET-CT机房、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、储源室防护门、污物间防护门、通风柜、衰变桶等处设置电离辐射警告标志；在PET-CT机房防护门上方、SPECT-CT机房防护门上方、注射室防护门上方、服碘室防护门上方安装工作状态指示灯；

③PET-CT机房、SPECT-CT机房门口均应设置 1m警戒线，告知患者在警戒线外等待。

④医院 ¹³¹I拟采用自动分碘仪，置于分装注射室内；医院对 ¹³¹I的自动分装、给药、服药、候诊、甲功测定等全程采取监控措施。

⑤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。

⑥注射后候诊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。

(2) 防护设备与防护用品

①专用通风柜 2 个，40mmPb；

②防护屏风 8 个，20mmPb（1 个），10mmPb（7 个）；

③铅污物桶 3 个，铅衰变暂存容器 1 个；

④表面污染监测仪 2 台，环境辐射巡测仪 2 台，个人剂量报警仪 7 个；

⑤铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 7 件（ $\geq 0.5\text{mm}$ 铅当量）；铅防护衣 7 件（ $\geq 0.5\text{mm}$ 铅当量）。

2、南侧核素治疗区域

(1) 辐射安全措施

①医院 ^{131}I 拟采用自动分碘仪，置于供碘室内。

②医院对 ^{131}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 ^{131}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供碘室内，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西侧被服存放间放置，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

①铅污物桶 1 个，铅衰变暂存容器 1 个；

②表面污染监测仪 2 台，环境辐射巡测仪 1 台，个人剂量报警仪 7 个；

③铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 7 件（ $\geq 0.5\text{mm}$ 铅当量）；铅防护衣 7 件（ $\geq 0.5\text{mm}$ 铅当量）。

3、放射性药物的存放

本项目核医学科使用的 ^{18}F 、 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 由供应单位派专人直接送至南北两个储源室（南侧储源室仅暂存甲癌治疗用药 ^{131}I ），储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。

环评要求：

(1) 储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，储源库内设置红外线报警系统；

(4) 消防安全：储源库内配置干粉灭火器，建筑物耐火等级按 2 级设计。

(5) 防恐怖分子破坏或袭击：从设施上加强技术防范，如加强监视系统和报警系统建设；从管理上强化防恐意识，在管理制度上加强管理工作，使不法分子或恐怖分子的破坏或袭击不能得逞；

(6) 辐射屏蔽措施：本项目医用同位素集中暂存于储源库内。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 γ 射线辐射。

4、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，须在有负压的通风柜内进行，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。

5、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。

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) 受检者的防护

为减少受检者的照射剂量，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。

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。

(3) 其他人员防护

①屏蔽防护：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。

②时间防护：设置明显的警示措施，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。

③距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

6、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柜内进行，通风柜操作台面要求光滑、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。通风柜底部拟设有 20mmPb 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 20mm 铅当量的铅玻璃防护，并

在注射位挡一厚度约 20mmPb 当量的挡板。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}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，同时需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。

（二）医用直线加速器

1、辐射安全装置和防护措施

为保障电子加速器安全运行，避免在加速器治疗期间人员误留或误入治疗机房内而发生误照射事故，医院加速器治疗机房拟设置相应的辐射安全装置和防护措施主要有：

（1）钥匙开关联锁：操作台有操纵钥匙开关，只有当钥匙开关插入钥匙孔打开锁定，加速器各项功能才能启动。

（2）辐照启动与辐照参数预选数联锁：控制台设有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、吸收剂量率、治疗方式、楔形过滤器类型及规格等辐射参数显示标识，只有当各项参数给出预选值显示，辐照才能启动，否则辐射不得启动。

（3）计时器与辐射联锁：控制台配置有时间显示的辐照控制计时器，并独立于其它控制辐照系统，当辐照中断或终止后，必须保留计时器读数，只有将计时器复零后，才能启动下一次辐照。

（4）防护门与照射联锁：只有将加速器机房门完全关闭，照射才能启动。在照射过程，如将门开启，闭合处脱离限位开关，照射立即自动停止。

（5）本项目加速器机房防护门为电动移门，须安装手动强制开门装置；

（6）控制台上设置紧急停机开关，在治疗室内加速器立柱和治疗床，以及迷道内入口处亦分别安装紧急停机开关。由于治疗室内多处设置急停开关，当遇到意外情况，可不必穿越主射线束随时按动急停开关，切断设备电源，停止出束。

（7）迷路门外安装工作状态指示灯，门外拟设置醒目、规范的电离辐射警告标志。

（8）控制室设置照射监控系统：治疗室内设有摄像机，可对治疗室全景及治疗病员

的状况进行扫描监控，此外，有对讲系统便于操作人员与患者对话，指导患者配合治疗。

(9) 本项目加速器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、电缆布设

本项目加速器与其控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分拟以地沟形式在地坪以下部位布设，并在非主射线投照部位以“U”字形从地坪下方穿越墙体而过。其它所有电、水、风管布设，走向拟避开控制台等人员高驻留区，在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖。在加速器机房内墙上布设的激光灯等电器盒时，拟在盒背衬贴铅片等屏蔽物，以达到同侧墙体相同的屏蔽效果。

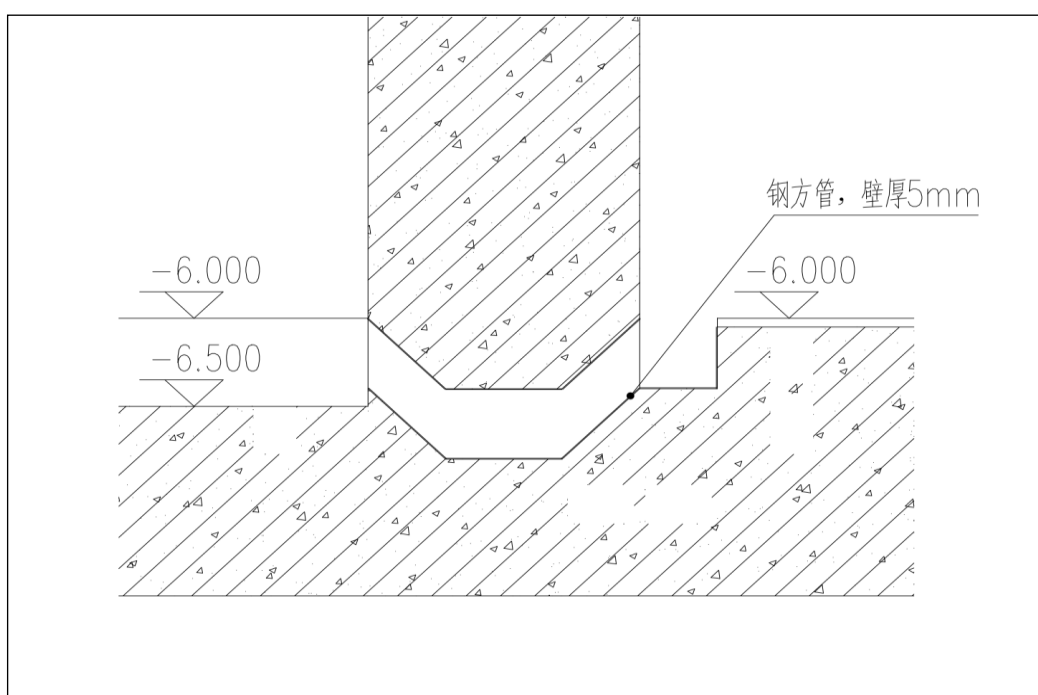


图 10-2 穿墙电缆铺设图

3、通风系统

本项目新风管道拟由迷道上方靠近防护门一端连接机房上方的风机房，送风口布排在装饰天花板上合适位置。臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，排风口离地 30~40cm，再沿墙体内壁向上接近顶板处，由顶板新风管道上方通往室外。通风系统的管道穿墙部分拟采取“U”型并进行屏蔽补偿以免影响屏蔽效果。

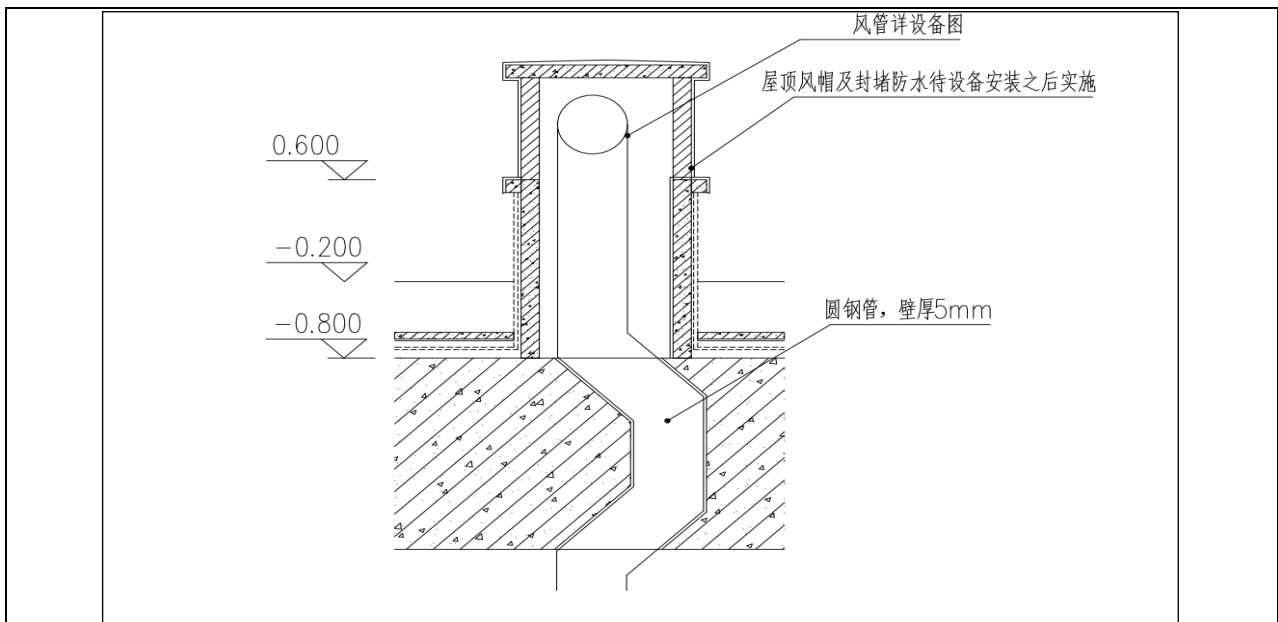


图 10-3 穿屋顶通风管路布局图

据《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ 126-2011)的相关要求,加速器机房通风换气应不小于4次/h。根据建设单位提供的资料,本项目加速器机房通风换气约为10次/h,可以满足相关通风要求。

(三) DSA

本项目射线装置主要辐射为X射线,对X射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源以及加以必要的屏蔽。本项目对X射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

1、设备固有安全性

本项目 DSA 购买于正规厂家,设备各项安全措施齐备,仪器本身采取了多种安全防护措施:

(1) 采用栅控技术:在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压,抵消曝光脉冲的启辉与余辉,起到消除软X射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。

(2) 采用光谱过滤技术:在X射线管头或影像增强器的窗口处放置合适的铜过滤板,以消除软X射线以及减少二次散射,优化有用X射线谱。设备提供适应 DSA 不同应用时所可以选用的各种形状与规格的准直器隔板和铜过滤板。

(3) 采用脉冲透视技术:在透视图像数字化基础上实现脉冲透视,改善图像清晰度;并能明显地减少透视剂量。

(4) 采用图像冻结技术:每次透视的最后一帧图像被暂存并保留于监视器上显示(即称之为图像冻结),利用此方法可以明显缩短总透视时间,以减少不必要的照射。

(5) 正常情况下,必须按规定程序并经控制台确认验证设置无误时,才能由“启动”

键启动照射；同时在操作台和床体上均设置有“紧急止动”按钮一旦发现异常情况，工作人员可立即按下此按钮来停止照射。

(6) 机房门有闭门装置，且工作状态指示灯与机房门联锁。

2、安全装置

(1) 门灯联锁：DSA 机房防护门外顶部设置工作状态指示灯。防护灯为红色，以警示人员注意安全；当防护门打开时，指示灯灭。

(2) 紧急止动装置：控制台上、介入手术床旁设置紧急止动按钮（各按钮分别与 X 射线系统连接）。DSA 系统的 X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动任一个紧急止动按钮，均可停止 X 射线系统出束。

(3) 操作警示装置：DSA 系统的 X 射线系统出束时，控制台上的指示鸣器发出声音。

(4) 对讲装置：在 DSA 机房与控制室之间安装对讲装置，控制室的工作人员通过对讲机与 DSA 机房内的手术人员联系。

(5) 警告标志：DSA 机房的防护门外的醒目位置，设置明显的电离辐射警告标志。

3、介入手术过程人员防护

(1) 本项目每台 DSA 装置拟配备铅衣 3 套、铅围脖 3 件、铅围裙 3 件、铅帽子 3 件、铅手套 3 副、铅眼镜 3 副，个人防护用品具有 0.5mm 厚铅当量。

(2) 本项目每台 DSA 装置拟配备铅悬挂屏 1 件、铅防护吊帘 1 件、床侧防护帘 1 件、床侧防护屏 1 件，辅助防护设施具有 0.5mm 厚铅当量。

(3) 本项目拟配备有铅衣、铅围裙等个人防护用品，应根据实际情况，对病人病灶以外的部位进行遮盖，个人防护用品具有 0.5mm 厚铅当量。

(4) 在满足诊断要求的前提下，每次使用射线装置进行诊断之前，应根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的诊断方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

(5) 本项目所有辐射工作人员必须配备个人剂量计，每个 DSA 机房应配置至少 1 台个人剂量报警仪。

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。北侧核素显像诊断区域和南侧核素治疗区域产生的放射性废水均排放至医院病房楼南侧绿化带内拟设置的衰变池，衰变池埋地设置。衰变池混凝土浇注主体结构，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，并经管道排入集水井，集水井底部设置切割式潜水泵，采用耐腐蚀不锈钢叶轮，可将固体杂物粉碎随污水排出。当集水井内液面达到设定高度时，自动控制系统将启动，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 10-4。

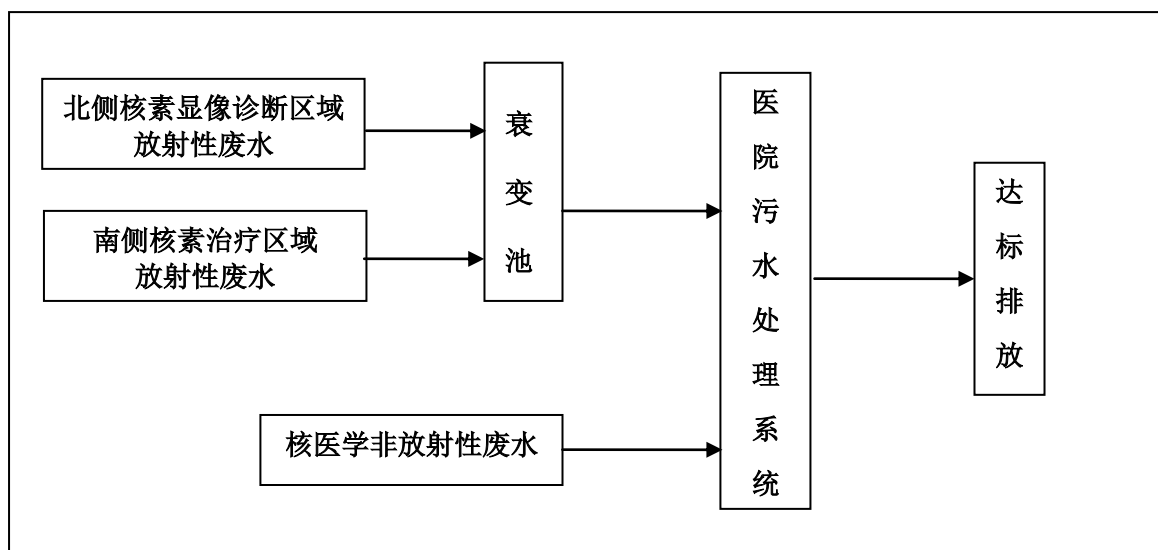


图 10-4 核医学废水处理流程示意图

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。

瑶溪分院核医学放射性废水管线走向见附图 8。

2、衰变池设计

衰变池位于医院病房楼南侧绿化带下方（埋地铺设），共设四个相同体积的混凝土衰

变池，每个有效容积为 30m³，每个衰变池前均设置一个化粪池。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采样监测口（监测指标总β），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 10-5 所示。

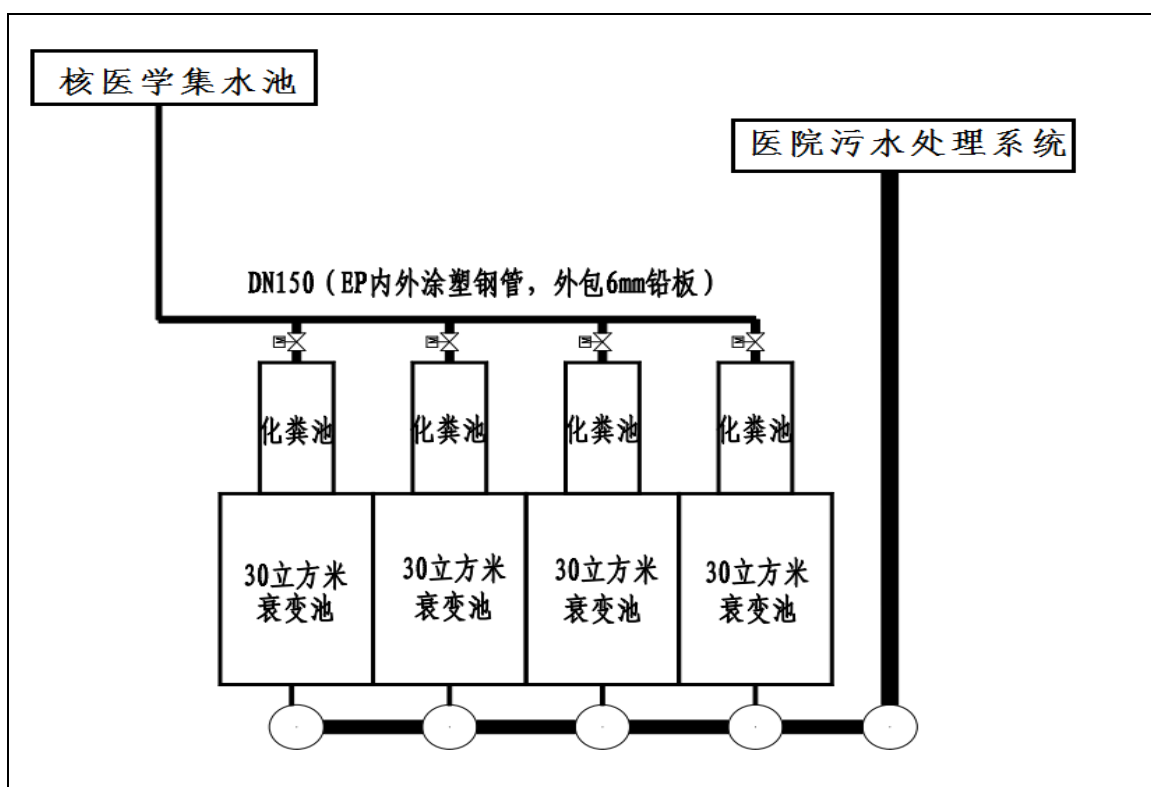


图 10-5 核医学放射性废水衰变池结构示意图

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

本项目核医学科工作场所排风井位于核医学用房东侧。排风管道从排风井出发分为3支，其中2支向北侧核素显像诊断区域延伸，1支向南侧核素治疗区域延伸。北侧2支排风管道，1支连接分装注射室内的通风柜，另外1支连接PET-CT机房、注射后等候室、分装注射室、甲功测定间、服碘室、等候室、SPECT-CT机房、运动负荷室、储源间、污物间、卫生通过间等；南侧1支排风管道连接12间甲癌病房、服碘室、供碘室、储源间、卫生通过间、被服存放间等。通风管道布设如附图8所示。

核医学科产生的废气经由东侧排风井排至医院病房楼(16层)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99%。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坑、衰变池（前端化粪池）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

1、处置措施

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。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。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于北侧污物间及南侧储源室的铅衰变暂存容器，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。

甲癌病人出院后选择在没有病人时段，工作人员将被服统一收集到西侧被服存放间放置，让放射性物质自行衰变，经检测确认低于限制水平后，方可单独清洗重复使用。

10.2.2 医用直线加速器

(一) 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每小时不小于 10 次。能够满足《电子加速

器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

当治疗过程中用的 X 射线的能量超过 (γ , n) 反应的阈能量时, 中子活化作用使治疗室空气中产生 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等放射性气体。其衰变过程中产生正电子, 即 β^+ 射线, β^+ 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。本项目拟在加速器停机至少 3 分钟后再进入机房。

(二) 循环冷却水

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}O 、 ^{16}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。

(三) 放射性固体废物

本项目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。

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。任何情况下不得私自处置, 因而放射性固体废物正常情况下不会对环境造成明显影响。

10.2.3 DSA及III类射线装置

DSA 装置注入的造影剂不含放射性; DSA 装置及 SPECT-CT、PET-CT 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。

DSA 装置及 SPECT-CT、PET-CT 在曝光过程中产生的少量臭氧经空调换气处理后对环境影响较小。

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

本项目拟建的核医学用房、加速器用房及 DSA 用房等均位于瑶溪分院门诊医技楼（病房楼），温州医科大学附属第二医院的瑶溪分院尚在施工建设中，其施工期的环境影响分析见《温州医学院附属第二医院瑶溪分院新建工程环境影响报告书》（环评批复文号：龙环建审〔2012〕192号）。

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

11.2.1.1 北侧核素显像诊断区域辐射环境影响分析

1、治疗人数及使用量

PET-CT： ^{18}F ，每台检查 15 人次/天，75 人次/周，3750 人次/年，每人使用的核素平均活度为 370MBq(10mCi)。

SPECT-CT： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，每台检查 20 人次/天，100 人次/周，5000 人次/年，每人使用的核素平均活度为 740MBq(20mCi)； ^{131}I ，每台检查 5 人次/天，25 人次/周，1250 人次/年，每人使用的核素平均活度为 370MBq(10mCi)。

甲亢治疗： ^{131}I ，治疗 5 人/天，15 人/周，750 人次/年，每人使用的核素平均活度为 370MBq(10mCi)。

2、计算相关参数

由《辐射防护手册》第三分册查出铅、混凝土、实心砖对 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 射线半值层，以及 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 的照射量常数 Γ 见表 11-1。

表 11-1 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 F	^{99m} Tc	¹³¹ I
铅半值层厚度 HVL	5.6mm	0.8mm	3.0mm
砼半值层厚度 HVL (ρ=2.35t/m ³)	6.4cm	3.3cm	5.5cm
实心砖半值层厚度 HVL (ρ=1.65t/m ³)	9.1cm	4.7cm	7.8cm
照射量常数 Γ (μGy m ² /(h MBq))	0.143	0.0184	0.0518

辐射剂量率估算公式为：

$$Dr = K^{-1} A \Gamma / R^2 \quad (\text{式 11-1})$$

式中：Dr：γ 剂量率，μGy/h；

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，MBq；

Γ：空气吸收剂量率常数，μGy m²/(h MBq)；

R：距放射源的距离，m。

$$K^{-1} = 2^{-(h/HVL)} \quad (\text{式 11-2})$$

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。

年有效剂量估算计算公式

$$H = 0.7 \times Dr \times T \times t \times U \quad (\text{式 11-3})$$

式中：

0.7：转换系数；

H：年有效剂量当量，μSv/a；

Dr：空气吸收剂量率，μGy/h；

t：年受照时间，h/a；

T：居留因子；

U：使用因子，放射性核素以点源考虑，U 取 1；

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。

表 11-2 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) 储源室及污物间

PET-CT所用核素的 ^{18}F 、SPECT-CT所用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，医院根据与病人预约情况向药物供应商订货，由药物供应商按单人注射量分装后将药物放置于铅罐，直接运输至储源室待用；SPECT-CT及甲亢治疗所用核素 ^{131}I ，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，直接运输至储源室待用。放射药物置于铅罐内再放入储源室内。

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 24cm 实心砖+4mmPb 防护涂料、顶棚为 25cm 砼、防护门内衬 6mm 铅板，放射性固废在污物间暂存衰变期间对周围环境影响很小。

(2) 分装注射室

医护人员给药前，将放射性药物从储源室连同铅罐拿到分装注射室，放置于通风柜内，给药前的相关操作均在通风柜内进行。所用核素 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 均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 40mmPb 的通风柜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}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射时，药物置于注射器防护套内，在 20mmPb 的注射窗后进行，并穿戴有 0.5mmPb 防护衣。

所用核素 ^{131}I 给药前医护人员将存有药物的铅罐从 40mmPb 的通风柜拿出，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PET-CT注射后等候室有1间，等候室内设置2张病床，防护屏风2个（ $\geq 10\text{mm}$ 铅当量）。PET-CT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 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi）点源计算，PET-CT注射后等候室按2个病人，则PET-CT注射后等候室源强总活度为： $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ （30mCi）。

SPECT-CT注射后等候室有1间，设置4张病椅，病椅均匀分布，设置防护屏风2个（ $\geq 10\text{mm}$ 铅当量）。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 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ （20mCi） $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，偏保守的角度仍按单个病人 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ （20mCi） $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 点源计算； ^{131}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 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （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。SPECT-CT注射后等候室按4个 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 扫描病人或4个 ^{131}I 扫描病人同时注射后等待，单个病人注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 $7.4 \times 10^8 \text{Bq}$ （20mCi），单个病人服用 ^{131}I 为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），则SPECT-CT注射后等候室源强总活度为： $2.96 \times 10^9 \text{Bq}$ （80mCi） $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 或 $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ （40mCi） ^{131}I 。

服碘后等候室有1间，设置4张病椅，病椅均匀分布，设置防护屏风2个（ $\geq 10\text{mm}$ 铅当量），偏保守角度，等候室按照4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： $1.48 \times 10^9 \text{Bq}$ （40 mCi）。

根据医院提供的资料，甲功测定 ^{131}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，北侧核素显像诊断区域对于 ^{131}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 20mm 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}Tc 、 ^{131}I 、 ^{18}F 的患者，以照射量常数及半值层厚度最大的 ^{18}F 进行估算。注射 ^{18}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 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (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。

根据式 11-1，式 11-2，北侧核素显像诊断区域工作场所辐射剂量率计算结果见表 11-3，关注点位置见图 11-1。

表 11-3 北侧核素显像诊断区域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	透射比	关注点辐 射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)
A	分装注射室通 风柜 取药位	职业 照射	^{18}F 5550MBq	0.5	50mmPb铅罐 +40mmPb通风柜 +0.5mmPb铅衣	1.37E-05	0.043
			^{99m}Tc 14800MBq	0.5	20mmPb铅罐 +40mmPb通风柜 +0.5mmPb铅衣	1.72 E-23	
			^{131}I 3700MBq	0.5	40mmPb铅罐 +40mmPb通风柜 +0.5mmPb铅衣	8.36E-09	
/	分装注射室 走到注射位过 程/装入分碘 仪过程	职业 照射	^{18}F 370MBq	0.5	20mmPb防护套 +0.5mmPb铅衣	0.079	16.73
			^{99m}Tc 740MBq	0.5	5mmPb防护套 +0.5mmPb铅衣	0.0085	0.46
			^{131}I 3700MBq	0.5	40mmPb铅罐 +0.5mmPb铅衣	8.63E-05	0.066
B	分装注射室 PET-CT 注射位	职业 照射	^{18}F 370MBq	0.5	0.5mmPb铅衣 +20mmPb注射窗 +20mmPb防护套	6.7E-03	1.41
C	分装注射室 SPECT-CT 注射位	职业 照射	^{99m}Tc 740MBq	0.5	0.5mmPb防护衣 +20mmPb注射窗 +5mmPb防护套	2.54E-10	1.38E-8
D	分装注射室 供碘位	职业 照射	^{131}I 370MBq	2.1	24cm实心砖 +4mmPb防护涂料 +0.5mmPb铅衣	0.042	0.18
					8mmPb铅玻璃 (C3) +0.5mmPb铅衣	0.14	0.61
E	储源室四周防 护墙外 30cm 处	职业 照射	^{18}F 5550MBq	1.0	50mmPb铅罐 +4mmPb防护涂料 +24cm实心砖	2.0E-04	0.16
			^{99m}Tc 14800MBq	1.0	20mmPb铅罐 +4mmPb防护涂料 +24cm实心砖	2.7E-11	
			^{131}I 3700MBq	1.0	40mmPb铅罐 +4mmPb防护涂料 +24cm实心砖	4.56 E-06	

F	储源室北侧防护门外 30cm处	职业 照射	^{18}F 5550MBq	1.5	50mmPb铅罐 +6mmPb防护门	9.8E-04	0.34
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 14800MBq	1.5	20mmPb铅罐 +6mmPb防护门	1.65E-10	
			^{131}I 3700MBq	1.5	40mmPb铅罐 +6mmPb防护门	2.42E-05	
(G)	储源室顶棚 30cm处	公众 照射	^{18}F 5550MBq	4.0	50mmPb铅罐 +25cm砼	1.37E-04	0.007
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 14800MBq	4.0	20mmPb铅罐 +25cm砼	1.56E-10	
			^{131}I 3700MBq	4.0	40mmPb铅罐 +25cm砼	4.15E-06	
H	PET-CT等候室四侧墙体外 30cm处	职业 照射	^{18}F 740MBq	2.5	24cm实心砖 +8mmPb防护涂料 +0.5mmPb铅衣	0.056	0.95
I	PET-CT控制室操作位 (PET-CT等候室病厕)	职业 照射	^{18}F 370MBq	3.0	24cm实心砖 +8mmPb防护涂料	0.06	0.35
J	PET-CT等候室病厕南侧墙体外 30cm处	职业 照射	^{18}F 370MBq	1.5	24cm实心砖 +8mmPb防护涂料	0.06	1.4
(K)	PET-CT等候室顶棚 30cm处	公众 照射	^{18}F 740MBq	4.0	25cm砼	0.067	0.44
L	PET-CT等候室防护门 (M21) 外 30cm处	职业 照射	^{18}F 740MBq	5.0	6mmPb防护门 +0.5mmPb铅衣	0.45	1.89
M	PET-CT机房四侧墙体外 30cm处	职业 照射	^{18}F 370MBq	4.1	24cm实心砖 +4mmPb防护涂料	0.098	0.31
(N)	PET-CT机房顶棚 30cm处	公众 照射	^{18}F 370MBq	4.0	25cm砼	0.067	0.22
O	PET-CT机房防护门/窗 (M24、C5) 外 30cm处	职业 照射	^{18}F 370MBq	4.1	防护门: 10mmPb 铅板 防护窗: 10mmPb 铅玻璃	0.29	0.91
P	PET-CT机房医生摆位处	职业 照射	^{18}F 370MBq	0.5	0.5mmPb铅衣 +20mmPb铅屏风	0.079	16.73
Q	服碘后等候室南侧墙体外 30cm处	职业 照射	^{131}I 1480MBq	2.1	24cm实心砖 +6mmPb防护涂料 +0.5mmPb铅衣	0.026	0.46
(R)	服碘后等候室顶棚 30cm处	公众 照射	^{131}I 1480MBq	4.0	25cm砼	0.043	0.21
(S)	服碘室顶棚 30cm处	公众 照射	^{131}I 370MBq	4.0	25cm砼	0.043	0.051
T	SPECT-CT注	职业	^{131}I 1480MBq	4.5	24cm实心砖	0.042	0.16

	射后等候室南侧墙体外机房摆位处	照射	^{99m}Tc 2960 MBq		+4mmPb防护涂料 +0.5mmPb铅衣	5.8 E-04	0.0016
T	SPECT-CT注射后等候室南侧防护门(M9)外机房摆位处	职业照射	^{131}I 1480MBq	4.5	6mmPb防护门 +0.5mmPb铅衣	0.22	0.84
			^{99m}Tc 2960 MBq			0.0036	0.0096
C	SPECT-CT注射后等候室西侧墙体外病人注射位	职业照射	^{131}I 1480MBq	5.0	24cm实心砖 +4mmPb防护涂料 +0.5mmPb铅衣	0.042	0.13
			^{99m}Tc 2960 MBq			5.8E-04	0.0013
(U)	SPECT-CT注射后等候室顶棚顶棚 30cm处	公众照射	^{131}I 1480MBq	4.0	25cm砼	0.043	0.21
			^{99m}Tc 2960 MBq			0.0052	0.018
V	SPECT-CT注射后等候室北侧墙体外30cm处(注射前等候区厕所)	公众照射	^{131}I 1480MBq	2.1	24cm实心砖 +4mmPb防护涂料	0.047	0.82
			^{99m}Tc 2960 MBq			9.1E-04	0.011
W	SPECT-CT注射后等候室病厕东、北侧墙外30cm处	公众照射	^{131}I 370MBq	1	24cm实心砖 +6mmPb防护涂料	0.03	0.57
			^{99m}Tc 740 MBq			1.6 E-04	0.0022
X	SPECT-CT机房四侧墙体外30cm处	职业照射	^{131}I 370MBq	4.2	24cm实心砖 +4mmPb防护涂料	0.094	0.1
			^{99m}Tc 740 MBq			9.1 E-04	7.0 E-04
Y	SPECT-CT机房东侧防护门/窗(M8、C1)外30cm处	职业照射	^{131}I 370MBq	4.2	防护门: 6mmPb铅板 防护窗: 6mmPb铅玻璃	0.25	0.27
			^{99m}Tc 740 MBq			0.0055	0.0043
(Z)	SPECT-CT机房顶棚 30cm处	公众照射	^{131}I 370MBq	4.0	25cm砼	0.043	0.051
			^{99m}Tc 740 MBq			0.0052	0.0045
T	SPECT-CT机房医生摆位处	职业照射	^{131}I 370MBq	0.5	0.5mmPb铅衣 +10mmPb铅屏风	0.088	6.78
			^{99m}Tc 740 MBq			1.1E-04	0.0061
a	病人走廊北侧墙体外30cm处	职业照射 / 公众照射	^{18}F 370MBq	2.5	24cm实心砖 +8mmPb防护涂料	0.06	0.51
b	病人走廊防护门外30cm处	公众照射	^{18}F 370MBq	2.5	12mmPb防护门	0.23	1.92
(c)	病人走廊顶棚30cm处	公众照射	^{18}F 370MBq	4.0	25cm砼	0.067	0.22

从表 11-3 可以看出，北侧核素显像诊断区域工作场所四周（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。

实际病人在注射后候诊室等待过程中，因 ^{18}F 与 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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。

4、工作人员及公众所受剂量评价

(1) 工作人员

北侧核素显像诊断区域拟设置9名辐射工作人员，具体工作岗位设置如下：取药和注射工作人员2人，供碘工作人员1人，摆位操作和阅片工作人员4人，护士站2人。

根据表11-3对核医学用房屏蔽体外及工作人员操作位、操作过程等辐射剂量率的计算，以及医院提供的资料，在严格按照设计提供的屏蔽防护方案建设后，辐射工作人员和年有效剂量计算结果如下：

a) 分装注射室工作人员

①取药环节所受剂量

根据表 11-3 计算结果，取药过程工作人员分装注射室通风柜前受照剂量为 $0.043\mu\text{Gy/h}$ ，取药走向注射台过程受照剂量 ^{18}F 为 $16.73\mu\text{Gy/h}$ ， ^{131}I 为 $0.46\mu\text{Gy/h}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 $0.066\mu\text{Gy/h}$ 。

^{18}F 按 3750 人次/年，取药过程约 20 秒完成，其中 10 秒在通风柜前，10 秒在走向注射台中。取药过程年受照的总时间为 20.8h（其中 10.4 小时在通风柜前），居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-3 计算得：取药环节所受年附加有效剂量为 $122\mu\text{Sv/a}$ 。

^{131}I 每天只进行 1 次取药，按 250 次/年，取药过程约 30 秒完成，其中 5 秒在通风柜前，25 秒在走向分碘仪。取药过程年受照的总时间为 2.08h（其中 0.35 小时在通风柜前），居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-3 计算得：取药环节所受年附加有效剂量为 $0.56\mu\text{Sv/a}$ 。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 按 5000 人次/年，取药过程约 20 秒完成，其中 10 秒在通风柜前，10 秒在走向注射台中。取药过程年受照的总时间为 20.8h（其中 10.4 小时在通风柜前），居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1，根据式 11-3 计算得：取药环节所受年附加有效剂量为 $1.14\mu\text{Sv/a}$ 。

②注射环节所受剂量

根据表 11-3 计算结果， ^{18}F 注射过程工作人员受照剂量为 $1.41\mu\text{Gy/h}$ ， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射过程工作人员受照剂量为 $1.38\times 10^{-8}\mu\text{Gy/h}$ 。一次注射过程的时间按照 30s 考虑。

^{18}F 按 3750 人次/年, 注射过程年受照的总时间为 31.25h, 居留因子 T 取 1, 使用因子 U 取 1, 根据式 11-3 计算得: ^{18}F 注射环节所受年附加有效剂量为 $30.84\mu\text{Sv/a}$ 。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 按 5000 人次/年, 注射过程年受照的总时间为 41.67h, 居留因子 T 取 1, 使用因子 U 取 1, 根据式 11-3 计算得: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 注射环节所受年附加有效剂量为 $4.03\times 10^{-7}\mu\text{Sv/a}$ 。

③服碘环节所受剂量

根据表 11-3 计算结果, 分装注射室供碘位病人服碘时工作人员最大受照剂量(铅窗 C3 后)为 $0.61\mu\text{Gy/h}$ 。

^{131}I 扫描检查及甲亢治疗共 2000 人次/年, 每个病人服碘到离开服碘室约 2min, 年受照的总时间为 66.67h。居留因子 T 取 1, 使用因子 U 取 1, 根据式 11-3 计算得: 服碘环节供碘位工作人员所受年附加有效剂量为 $28.5\mu\text{Sv/a}$ 。

④等候室、SPECT-CT 机房、储源室对分装注射室工作人员辐射影响

分装注射室工作人员在工作环节外, 还受到四周服碘后等候室、PET-CT 注射后等候室、SPECT-CT 注射后等候室、SPECT-CT 机房、储源室内放射性药物的辐射影响。根据表 11-3 计算结果, 分装注射室工作人员受服碘后等候室、PET-CT 注射后等候室、SPECT-CT 注射后等候室、SPECT-CT 机房、储源室内放射性药物的受照剂量分别为 0.46Gy/h 、 0.95Gy/h 、 0.13Gy/h 、 0.1Gy/h 、 0.16Gy/h 。

按每天工作 8h, 年工作 250 天, 则年工作总时间为 2000h。居留因子 T 取 1, 使用因子 U 取 1, 根据式 11-3 计算得: 服碘环节供碘位工作人员所受年附加有效剂量为 $28.5\mu\text{Sv/a}$ 。分装注射室工作人员受服碘后等候室、PET-CT 注射后等候室、SPECT-CT 注射后等候室、SPECT-CT 机房、储源室内放射性药物的年附加有效剂量为 $2520\mu\text{Sv/a}$ 。

⑤小结

综上所述, 分装注射室工作人员拟设置 3 人, 分别负责 PET-CT 取药注射、SPECT-CT 取药注射、供碘。综合各自工作环节及周边核医学用房的辐射影响, PET-CT 取药注射、SPECT-CT 取药注射及供碘工作人员所受年附加有效剂量分别为 2.67mSv/a 、 2.52mSv/a 、 2.55mSv/a 。

b) PET-CT 工作人员

①摆位环节所受剂量

根据表 11-3 计算结果, ^{18}F 摆位过程工作人员身体受照剂量为 $16.73\mu\text{Gy/h}$ 。摆位人员在机房内指导受检者正确姿势, 偏安全考虑, 不考虑注射后药物的衰减, 按摆位一个病人大约需要 1min。

^{18}F 按 3750 人次/年, 摆位过程年受照的总时间为 62.5h, 居留因子 T 取 1, 使用因子 U 取 1, 根据式 11-3 计算得: ^{18}F 摆位环节所受年附加有效剂量为 732 $\mu\text{Sv/a}$ 。

②阅片环节所受剂量

PET-CT 控制室工作人员除受机房内病人体内放射性药物的影响, 还受到东侧 PET-CT 注射后等候室厕所内病人体内放射性药物影响。

根据表 11-3 计算结果, PET-CT 控制室工作人员受照最大剂量为 0.91 $\mu\text{Gy/h}$ (PET-CT 机房防护窗后操作位)、0.35 $\mu\text{Gy/h}$ (东侧厕所病人体内放射性药物对控制室操作位)。

PET-CT 控制室工作人员年受照的总时间为 2000h, 居留因子 T 取 1, 使用因子 U 取 1, 根据式 11-3 计算得: PET-CT 控制室阅片人员所受年附加有效剂量为 1.76mSv/a。

③小结

综上所述, PET-CT 工作人员拟设置 2 人, 分别负责摆位及阅片。综合各自工作环节及周边核医学用房的辐射影响, PET-CT 摆位(包含阅片)、阅片工作人员所受年附加有效剂量分别为 2.49mSv/a、1.76mSv/a。

c) SPECT-CT工作人员

①摆位环节所受剂量

根据表 11-3 计算结果, ^{131}I 摆位过程工作人员身体受照剂量为 6.78 $\mu\text{Gy/h}$, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 摆位过程工作人员身体受照剂量为 0.0061 $\mu\text{Gy/h}$ 。摆位人员在机房内指导受检者正确姿势, 偏安全考虑, 不考虑注射后药物的衰减, 按摆位一个病人大约需要 1min。

^{131}I 按 1250 人次/年, 摆位过程年受照的总时间为 20.83h, 居留因子 T 取 1, 使用因子 U 取 1, 根据式 11-3 计算得: ^{131}I 摆位环节所受年附加有效剂量为 98.86 $\mu\text{Sv/a}$ 。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 按 5000 人次/年, 摆位过程年受照的总时间为 83.33h, 居留因子 T 取 1, 使用因子 U 取 1, 根据式 11-3 计算得: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 摆位环节所受年附加有效剂量为 0.36 $\mu\text{Sv/a}$ 。

则 SPECT-CT 摆位工作人员在摆位环节所受年附加有效剂量为 99.22 $\mu\text{Sv/a}$ 。

②阅片环节所受剂量

根据表 11-3 计算结果, SPECT-CT 控制室工作人员阅片环节受照最大剂量为 0.27 $\mu\text{Gy/h}$ (^{131}I)、0.0043 $\mu\text{Gy/h}$ ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)。

SPECT-CT 控制室工作人员年受照的总时间为 2000h, 居留因子 T 取 1, 使用因子 U 取 1, 根据式 11-3 计算得: SPECT-CT 控制室阅片人员所受年附加有效剂量为 384 $\mu\text{Sv/a}$ 。

③小结

综上所述, SPECT-CT 工作人员拟设置 2 人, 分别负责摆位及阅片。综合各自工作

环节及周边核医学用房的辐射影响，SPECT-CT 摆位（包含阅片）、阅片工作人员所受年附加有效剂量分别为 0.48mSv/a、0.38mSv/a。

d) 护士站工作人员

根据表 11-3 计算结果，护士站工作人员受病人走廊中流动病人体内放射性药物的影响，护士站工作人员受照最大剂量为 0.51 μ Gy/h。

护士站工作人员年受照的总时间为 2000h，居留因子 T 取 1，使用因子 U 取 1。根据式 11-3 计算得：护士站工作人员所受年附加有效剂量为 0.71mSv/a。

综上所述，北侧核素显像诊断区域工作人员所受辐射年附加有效剂量（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。

表 11-4 北侧核素显像诊断区域工作人员年受照剂量预测结果表

一、分装注射室、护士站				
保护人员	PET-CT 取药注射人员	SPECT-CT 取药注射人员	供碘工作人员	护士站
年附加有效剂量 (mSv/a)	2.67	2.52	2.55	0.71
二、PET-CT 及 SPECT-CT				
保护人员	PET-CT 摆位（包含阅片）人员	PET-CT 阅片人员	SPECT-CT 摆位（包含阅片）人员	SPECT-CT 阅片人员
年附加有效剂量 (mSv/a)	2.49	1.76	0.48	0.38

(2) 公众人员

根据表 11-3 计算结果，本项目对公众人员辐射影响最大的位置为：“病人走廊防护门外 30cm 处”，公众受照最大剂量为 1.92 μ Gy/h (^{18}F)。公众年受照的总时间为 2000h，居留因子 T 取 1/16，使用因子 U 取 1，根据式 11-3 计算得：公众所受年附加有效剂量为 0.17mSv/a。

实际病人走廊有 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 三种病人， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 病人对公众的辐射影响均小于 ^{18}F 病人，且病人基本不会停留在走廊，因此防护门外公众所受年附加有效剂量低于 0.17mSv/a。

综上所述，北侧核素显像诊断区域工作场所周围的公众所受辐射年附加有效剂量符合《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 0.25mSv/a 年剂量约束值。

(3) 患者离开医院对环境的影响

^{18}F 半衰期仅有 109.7min，患者接受 PET-CT 检查后，体内滞留的 ^{18}F 经就诊过程中

的自然衰变后，不会对公众和环境造成较大辐射影响，故无需对此作进一步的评述。

^{99m}Tc 的半衰期为6.02h，接受检查的患者回家后，体内所滞留的 ^{99m}Tc 也仅只有给药量的一半，病人使用的核素平均活度为740MBq(20mCi)，回家后体内的 ^{99m}Tc 为 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ ，经估算到 ^{99m}Tc 衰变完毕，距病人1m处受到的剂量则仅为0.0049mSv。

^{131}I 的半衰期为8.04d，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，经估算到 ^{131}I 衰变完毕，距病人1m处陪护人员受到的剂量则仅为0.1mSv；按照公众人员与患者接触每天10min，停留因子取1/16，公众人员平时与患者距离不定，平均距离按照1m考虑，经估算到 ^{131}I 衰变完毕，距病人1m处公众受到的剂量则仅为0.26 μSv 。

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 南侧核素治疗区域辐射环境影响分析

1、治疗人数及使用量

^{131}I 甲癌治疗：单次口服核素最大活度为 3700MBq（100mCi），最大工作量 6 人次/天，每周 2 批次，每批次 6 人，每人住院 6 天。隔周开展工作，年工作 25 周，年最大工作量 300 人次/年。

2、工作场所辐射水平分析及预测

所用核素 ^{131}I 给药前医护人员将存有药物的铅罐从储源室拿出，连同铅罐放入服碘室自动分碘仪中。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 ^{131}I 射线半值层、照射量常数 Γ 见表 11-1。

根据式 11-1、式 11-2，南侧核素治疗区域辐射剂量率的计算结果见表 11-5，关注点位置见图 11-2。

从表 11-5 可以看出，南侧核素治疗区域工作场所四周（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。

表 11-5 南侧核素治疗区域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	透射比	关注点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)
A	储源室四周防护墙外 30cm处	职业照射	^{131}I 22200MBq	2.0	40mmPb铅罐 +4mmPb防护涂料 +24cm实心砖	4.56E-06	0.0016
B	储源室防护门外 (M5) 30cm处	职业照射	^{131}I 22200MBq	2.0	40mmPb铅罐 +6mmPb防护门	2.42E-05	0.0086
(C)	储源室顶棚 30cm处	公众照射	^{131}I 22200MBq	4.0	40mmPb铅罐 +25cm砼	4.15E-06	0.0003
D	服碘室四周防护墙外 30cm处	职业照射	^{131}I 3700MBq	2.0	4mmPb防护涂料 +24cm实心砖	0.047	2.25
F	服碘室防护门外 (M6) 30cm处	职业照射	^{131}I 3700MBq	2.2	6mmPb防护门 +0.5mmPb铅衣	0.22	8.82
G	按号分餐室东侧防护墙外 30cm处	职业照射	^{131}I 3700MBq	1.6	6mmPb防护涂料 +24cm实心砖 +0.5mmPb铅衣	0.026	1.98
H	按号分餐室东侧防护挡板 (C1) 外 30cm处	职业照射	^{131}I 3700MBq	1.6	15mm铅板 +0.5mmPb铅衣	0.028	2.08
I	甲癌病房 (按号分餐室) 南侧防护墙外 30cm处	公众照射	^{131}I 3700MBq	3.8	4mmPb防护涂料 +24cm实心砖	0.047	0.62
J	甲癌病房 1 西侧防护墙外 30cm处	公众照射	^{131}I 3700MBq	2.3	4mmPb防护涂料 +24cm实心砖	0.047	1.7
K	病人走廊北侧 (供碘室、医护人员值班室、远程护理站、卫生前室) 防护墙外 30cm处	职业照射	^{131}I 3700MBq	1.6	6mmPb防护涂料 +24cm实心砖	0.03	2.22
L	病人走廊防护门 (M2、M20、M23) 外 30cm处	职业照射	^{131}I 3700MBq	2.5	内衬 10mm铅板	0.099	2.11
(M)	甲癌病区顶棚 30cm处	公众照射	^{131}I 3700MBq	4.0	25cm砼	0.043	0.51
\	甲癌病房抢救位	职业照射	^{131}I 3700MBq	0.5	0.5mmPb铅衣	0.89	683

3、患者服药后辐射剂量率预测

对服用 ^{131}I 的甲癌患者，甲状腺切除， ^{131}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}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}I 平均有效半衰期为(14.6±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 11-6。

表 11-6 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 γ 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 γ 辐射剂量率为 $1.7\mu\text{Gy/h}$ 。

患者体内携带一定量活度的放射性核素离开医院是允许的, 对于核素 ^{131}I , 允许离开医院的核素活度上限为 400MBq (10.8mCi)。甲癌患者, 用量高于 10.8mCi , 需要住院治疗, 待体内核算 ^{131}I 含量小于 10.8mCi 时, 方可允许离开医院。经估算可知, 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。

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 γ 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

南侧核素治疗区域工作场所拟设置3名辐射工作人员, 供碘室1名, 远程护理站6名。

(1) 工作人员

根据表 11-5 计算结果, 供碘室工作人员受照剂量最大为 $8.82\mu\text{Gy/h}$ (服碘室防护门外 (M6) 30cm 处), 每个病人服药过程及操作过程最多为 5 分钟, 年最大工作量 300 人次, 则供碘室工作人员年受照的总时间为 25h, 居留因子 T 取 1, 使用因子 U 取 1, 根据式 11-3 计算得: 供碘室工作人员所受年附加有效剂量为 0.15mSv/a 。

根据表 11-5 计算结果,远程护理站工作人员受照剂量为 $2.22\mu\text{Gy/h}$,每天工作 8h(三班制),年工作 1400h(25 周有甲癌病人,每周工作 7 天),居留因子 T 取 1,使用因子 U 取 1,根据式 11-3 计算得:抢救工作人员所受年附加有效剂量最大为 2.18mSv/a 。

根据表 11-5 计算结果,抢救工作人员受照剂量为 $683\mu\text{Gy/h}$,每个病人抢救时间平均为 30 分钟,每年 0-2 个病人抢救,则抢救工作人员年受照的最大时间为 1h,居留因子 T 取 1,使用因子 U 取 1,根据式 11-3 计算得:抢救工作人员所受年附加有效剂量最大为 0.48mSv/a 。抢救工作人员与远程护理站工作人员相同。

因此,南侧核素治疗区域工作场所供碘室工作人员所受辐射年附加有效剂量为 0.15mSv ,远程护理站(抢救)工作人员所受辐射年附加有效剂量为 2.66mSv 。南侧核素治疗区域工作人员所受辐射年附加有效剂量(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。

(2) 公众所受剂量评价

根据表 11-5 计算结果,南侧核素治疗区域工作场所周围公众受照剂量较大出现在甲癌病房 1 西侧防护墙外 30cm 处,为 $1.7\mu\text{Gy/h}$ 。

甲癌病房 1 西侧防护墙外 30cm 处公众年受照的最大时间为 1400h,居留因子 T 取 $1/16$,使用因子 U 取 1,根据式 11-3 计算得:患者通道西侧防护门外 30cm 处公众所受年附加有效剂量最大为 0.1mSv/a 。南侧核素治疗区域工作场所周围公众所受辐射年附加有效剂量符合《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,也低于本评价提出的 0.25mSv/a 年剂量约束值。



图 11-1 北侧核素显像诊断区域工作场所预测关注点位示意图

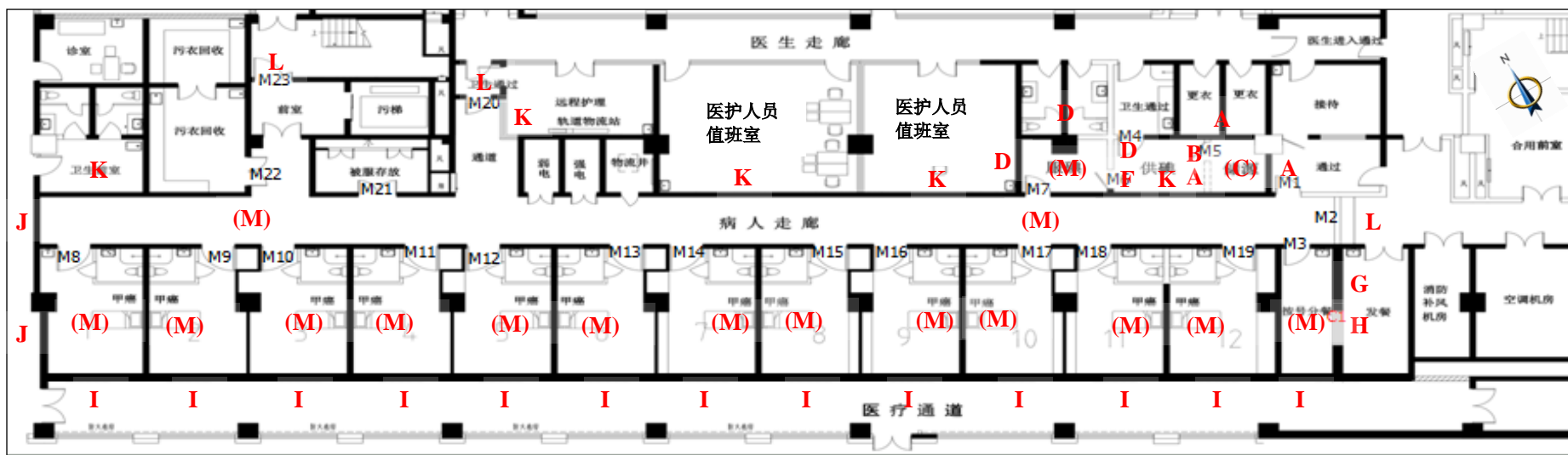


图 11-2 南侧核素治疗区域工作场所预测关注点位示意图

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。瑶溪分院核医学放射性废水管线走向见附图 8。

衰变池位于医院病房楼南侧绿化带下方(埋地铺设),共设四个相同体积的混凝土衰变池,每个有效容积为 30m^3 ,每个衰变池前均设置一个化粪池。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,将经过衰变达标后的废水排入医院污水管网。四个衰变池按照上述程序,轮流反复交替使用。在衰变池排放出口设置采样监测口(应委托有资质的单位,监测指标为:总 $\beta < 10\text{Bq/L}$),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,方可排入医院污水处理系统。衰变池设计图如图 10-5 所示。

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。该项目涉及的核素为 ^{18}F (半衰期为 109.7min)、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (半衰期为 6.02h)和 ^{131}I (半衰期为 8.04d)。

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) 北侧核素显像诊断区域工作场所最大工作量为: $^{99\text{m}}\text{Tc}$, 100人次/周; ^{18}F , 75人次/周; ^{131}I (甲亢与扫描检查), 40人次/周。保守按每检查一人次平均产生 6L 废水估算,则患者每周产生放射性废水 1.29m^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 50L ,每周工作5天,则每周产生放射清洗废水约 0.25m^3 。因此,北侧核素显像诊断区域工作场所每周产生放射性废水约 1.54m^3 。

(2) 南侧核素治疗工作场所最大工作量为：甲癌病人每周2批，每批6人，每人住院6人，每周最多12人，隔周开展工作。每个甲癌病人平均每天产生80L废水，则南侧核素治疗工作场所平均每两周产生放射性废水5.76m³。

因此，瑶溪分院核医学用房每两周产生废水约 8.84m³。本项目四个衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行。忽略废水在化粪池沉淀池的时间，第一个衰变池最后进入的废水存储时间为： $90m^3 \div 8.84m^3(2周) \approx 20.3周$ （即为第四个衰变池注满的时间），即可存放约 142 天。本项目的放射性废水可以在衰变池内暂存 142 天，根据各放射性核素的半衰期可知，均可存放 10 个半衰期以上，满足要求。

本项目放射性废水中核素的相关参数见表11-7，衰变池排放时达标评价情况详见表11-8。

表10-7 放射性废水中核素的相关参数和ALI_{min}一览表

核素	平均药物用量 (Bq)	体内核素排入衰变池的比例	每天人数	每周核素排入衰变池最大量 (Bq)	半衰期 (d)	单一核素 ALI _{min} (Bq)
¹⁸ F	3.7×10 ⁸	5%	15	1.39×10 ⁹	109.7min	2.15×10 ⁸
^{99m} Tc	7.4×10 ⁸	5%	20	3.7×10 ⁹	6.02h	6.9×10 ⁸
¹³¹ I (甲亢与显像)	3.7×10 ⁸	5%	40	7.4×10 ⁸	8.04d	9.1×10 ⁵
¹³¹ I (甲癌)	3.7×10 ⁹	80%	6	3.55×10 ¹⁰	8.04d	9.1×10 ⁵

表11-8 放射性废水达标排放评价表

核素	衰变前单个衰变池核素含量 (Bq)	存放天数	衰变后单个衰变池核素含量 (Bq)	单一核素 ALI _{min} (Bq)	评价
¹⁸ F	5.56×10 ⁹	142	≈0	2.15×10 ⁸	达标
^{99m} Tc	1.48×10 ¹⁰	142	≈0	6.9×10 ⁸	达标
¹³¹ I (甲亢与显像)	2.96×10 ⁹	142	甲亢与显像: 1.4×10 ⁴	9.1×10 ⁵	达标
¹³¹ I (甲癌)	1.42×10 ¹¹	142	甲癌: 6.8×10 ⁵ 合计: 6.94×10 ⁵	9.1×10 ⁵	达标

由表11-8可知，经衰变池衰变142天后每次排出的各核素总活度小于ALI_{min}，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_{min}，每次排放的活度不超过1ALI_{min}的条件，可以直接排放入医院污水管网，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瑶溪分院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 ^{131}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。北侧核医学分装注射室拟安装专用通风柜，经专用风道由风机抽吸排出，通风柜排气速率不小于 1m/s ；本项目 ^{131}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（16层）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99%。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坑、衰变池（前端化粪池）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。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。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于北侧污物间及南侧储源室的铅衰变暂存容器，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。医院北侧核素显像诊断区域设置了一个污物间，南侧核素治疗区域拟用储源室暂存放射性固废。

甲癌病人出院后选择在没有病人时段，工作人员将被服统一收集到西侧被服存放间放置，让放射性物质自行衰变，经检测确认低于限制水平后，方可单独清洗重复使用。

环评要求：

（1）建议北侧分装注射室设置2个铅污物桶，北侧服碘室设置1个铅污物桶，北侧污物间设置2个铅衰变暂存容器；南侧服碘室设置1个铅污物桶，南侧储源室设置1个铅衰变暂存容器。

（2）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。

（3）对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的衰变桶内，再将衰变桶内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放到污物存储间内，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。受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时收集袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

（4）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 612 号）的相关规定。

11.2.2 医用直线加速器

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 射线最大能量为 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 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

15MV 医用电子加速器，采用最大加载条件进行估算，即加速器最高标称能量、常用最大剂量率、最大照射野、最大工作负荷等参数进行：

- （1）标称能量：15MV X 射线、21MeV 电子射线；
- （2）正常治疗距离（NTD）：100cm；
- （3）常用最大剂量率：10Gy/min ($6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$)；
- （4）等中心高度：1295mm；
- （5）X 射线泄漏率： $\leq 0.1\%$ ；
- （6）中子射线泄漏率： $\leq 0.05\%$ 。
- （7）最大照射野：400mm \times 400mm。

2、加速器机房布置示意图

本项目三个加速器机房均设置于医技门诊楼地下一层放射治疗中心西北侧区域，1~3 号 3 间加速器机房由北向南依次排列，该区域北、西、南三侧均为地下岩土层，东侧为过厅和各机房控制室，上方为绿化带。各机房均于东侧设置“L”型迷路，并于迷道外墙设置防护门。机房主防护墙位于南、北两侧墙体和顶盖的相关部件。加速器机房平面图、剖面图如图 11-3、图 11-4 和图 11-5 所示。

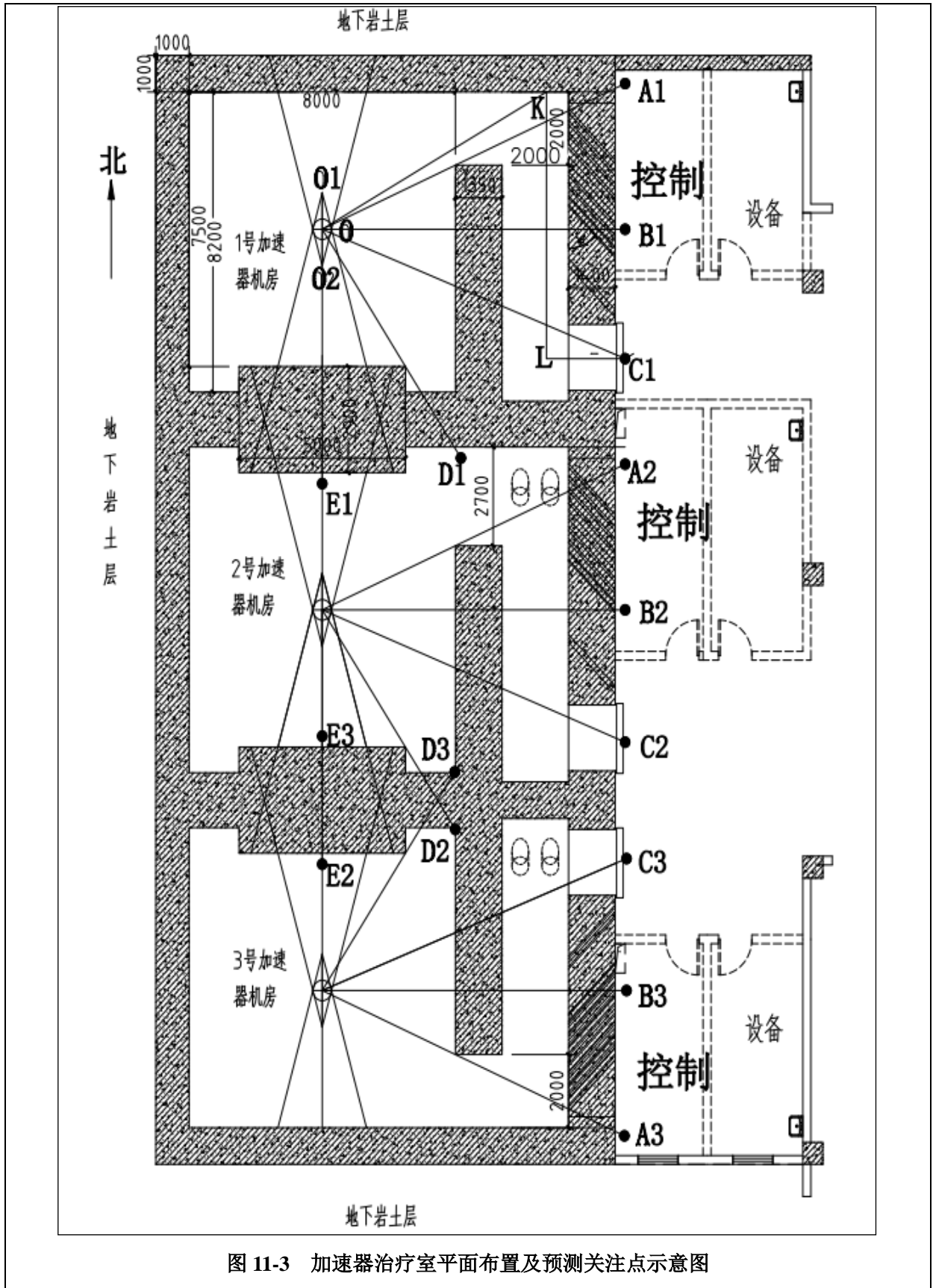


图 11-3 加速器治疗室平面布置及预测关注点示意图

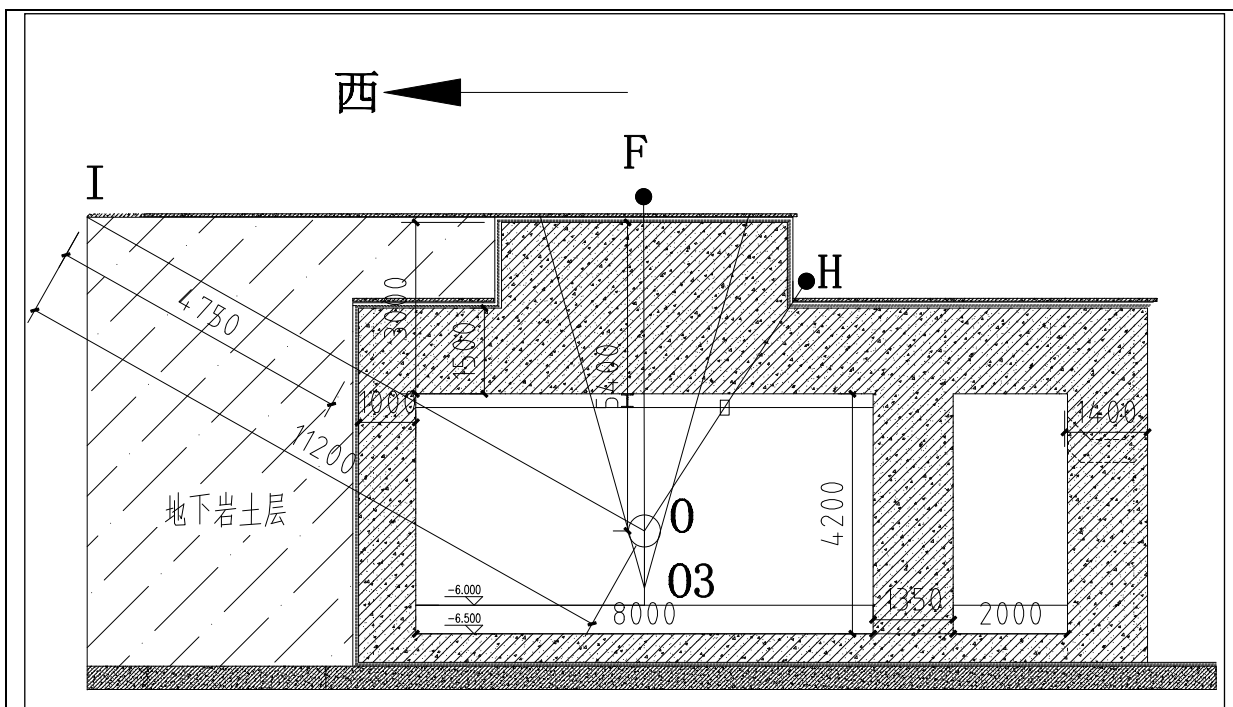


图 11-4 加速器治疗室东-西向剖面及预测关注点布置示意图

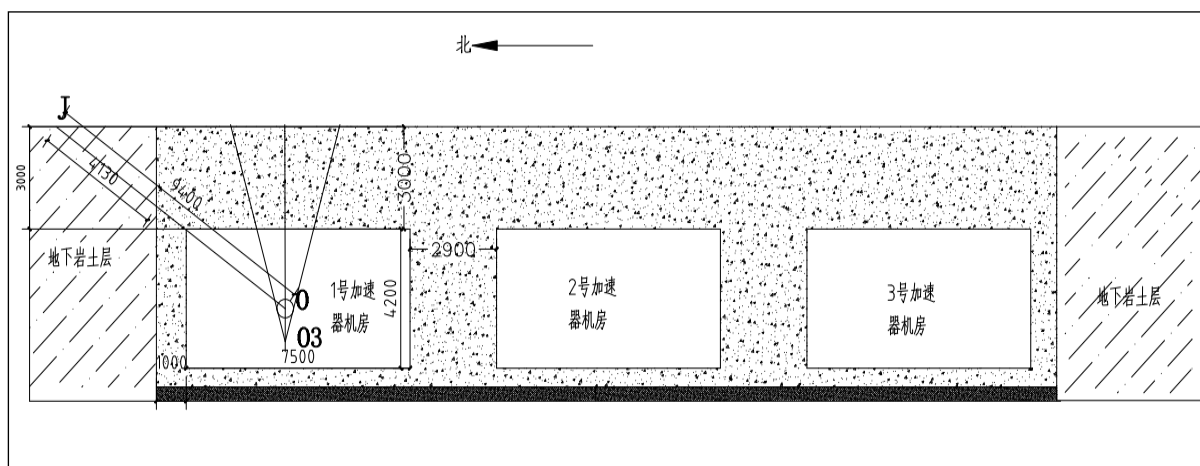


图 11-5 加速器治疗室南-北向剖面及预测关注点布置示意图

加速器机房尺寸及屏蔽防护设计参数见表 10-12。由表 10-12 可知，3 间加速器治疗机房尺寸、屏蔽体材料及厚度均一致，因此 3 间加速器机房类似关注点剂量可以归纳到一起计算。

本项目加速器机房主要关注以下 19 个点，具体分布位置分别见图 11-3、图 11-4 和图 11-5。

表11-9 本项目3间加速器机房各关注点所在位置

关注点	1号加速器机房	2号加速器机房	3号加速器机房
A1、A2、A3: 迷路外墙墙外30cm(仅由迷路外墙屏蔽)	控制室	控制室	控制室
B1、B2、B3: 迷路外墙墙外30cm(迷路内外墙屏蔽)	控制室	控制室	控制室
C1、C2、C3: 防护门外30cm	过厅	过厅	过厅
D1、D2、D3: 南北侧主、副防护墙连接处墙外30cm	2号加速器机房治疗室	3号加速器机房治疗室	2号加速器机房治疗室
E1、E2、E3: 南北侧主防护墙中心点外侧30cm处	2号加速器机房治疗室	3号加速器机房治疗室	2号加速器机房治疗室
F: 顶棚主防护区外30cm	加速器机房顶盖	加速器机房顶盖	加速器机房顶盖
H: 顶棚主、副防护区连接处外30cm	加速器机房顶盖	加速器机房顶盖	加速器机房顶盖
I: 机房区域西侧岩土层上方室外30cm处	室外绿化带	室外绿化带	室外绿化带
J: 机房区域南北侧岩土层上方室外30cm处	室外绿化带	室外绿化带	室外绿化带

3、屏蔽墙外关注点辐射剂量率的计算

采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T201.2-2011)中给出的方法计算。

(1) 加速器治疗室主屏蔽区宽度计算

在等中心距离为100cm，最大射野为40cm×40cm时，加速器南墙、北墙、屋顶主屏蔽宽度核算可采用如下公式。

$$D=2 \times [(1+a+X_2) \operatorname{tg} 14^\circ + 0.3] \quad (11-4)$$

式中：D表示主束墙宽度(m)；

a为等中心点到屏蔽墙的距离(m)；

X_2 为主屏蔽区相对次屏蔽区增加的墙体厚度(m)。

根据式(11-4)，偏保守按外凸考虑，可得加速器治疗室的南墙、北墙、屋顶主屏蔽区宽度见表11-10。从表11-10核算结果可知，加速器治疗室主屏蔽区的宽度均符合要求。

表11-10 加速器治疗室主屏蔽区宽度的核算

加速器治疗室	主屏蔽区	D (mm)	
		核算	设计
直线加速器机房 1	南墙	4000	5000
	屋顶	3800	5000
直线加速器机房 2	北墙	4000	5000
	南墙	4000	5000
	屋顶	3800	5000
直线加速器机房 3	北墙	4000	5000
	屋顶	3800	5000

(2) 主屏蔽区 (关注点: 图 11.2-1, E1 点、E2 点、E3 点; 图 11.2-2, F 点)

主要考虑对有用线束的屏蔽。对于给定的屏蔽物质厚度 X (cm), 按式 (11-5) 计算有效屏蔽厚度 X_e (cm), 相应的辐射屏蔽透射因子 B 见式 (11-6), 最后按式 (11-7) 来计算屏蔽体外关注点的剂量率。

$$X_e = X \sec\theta \quad (11-5)$$

式中, θ 为斜射角, 即入射线与屏蔽物质平面的垂直线之间的夹角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \quad (11-6)$$

式中, B 为辐射屏蔽透射因子; X_e 为有效屏蔽厚度, cm; TVL_1 和 TVL 为 X 射线第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。15MVX 射线的有用线束在混凝土的 TVL_1 和 TVL 分别为 44cm 和 41cm。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f \cdot U}{R^2} \cdot B \quad (11-7)$$

式中, \dot{H} 为相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 为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, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

f 为比例因子, 对有用线束为 1, 对泄漏辐射为泄漏辐射比率;

R 为辐射源点 (靶点) 至关注点的距离, m; U 为使用因子, 取 1。

表11-11 有用线束主屏蔽外关注点辐射剂量率计算参数及结果

参考点及描述	X屏蔽墙厚度(cm)	有效屏蔽层厚度Xe(cm)	屏蔽透射因子B	参考点距靶点距离R(m)	剂量率μSv/h
E1点、E2点、E3点： 南北侧主防护墙中心点外侧30cm处	290 砵	290 砵	1.06×10^{-7}	6.95	1.31
F：顶棚主防护区外30cm	290 砵	290 砵	1.06×10^{-7}	6.7	1.41

(3) 侧屏蔽墙（关注点：图 11.2-1 中 A1 点、A2 点、A3 点、B1 点、B2 点、B3 点）

主要考虑对泄漏辐射的屏蔽，估算方法同主屏蔽，偏保守考虑入射角均为 0° ，使用因子U取1。

其中泄漏辐射比率 f 为 1×10^{-3} ；15MV X射线的 90° 泄漏辐射在混凝土中的 TVL_1 和 TVL 分别为36cm和33cm。

表11-12 侧屏蔽墙外关注点辐射剂量率计算参数及结果

参考点及描述	X屏蔽墙厚度(cm)	有效屏蔽层厚度Xe (cm)	屏蔽透射因子B	参考点距等中心距离R (m)	剂量率μSv/h
A1、A2、A3：迷路外墙墙外30cm(仅由迷路外墙屏蔽)	140 砵	140 砵	7.05×10^{-5}	9.05	0.52
B1、B2、B3：迷路外墙墙外30cm(迷路内外墙屏蔽)	275 砵	275 砵	8.72×10^{-9}	9.05	4.20×10^{-5}

(4) 与主屏蔽相连的次屏蔽（关注点：图 11.2-1 中 D1 点、D2 点、D3 点，图 11.2-2 中 H 点）

剂量计算需考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复合作用：

$$H_{\text{次}} = \dot{H}_{\text{漏}} + \dot{H}_s \quad (11-8)$$

① 泄漏辐射剂量

加速器泄漏辐射，以位置 O 为中心，使用因子 U 取 1，屏蔽墙的斜射角接近 30° 。泄漏辐射的辐射剂量估算方法同侧屏蔽墙，其中泄漏辐射比率 f 为 1×10^{-3} 。

② 散射辐射剂量

有用线束经人体后的散射辐射，以等中心位置 O 为散射体中心，散射角接近 30° ，

屏蔽墙的斜射角与散射角相同。

有效屏蔽厚度计算方法同泄漏辐射剂量中的有效屏蔽厚度计算方法。

$$B = 10^{-X_e / TVL_s} \quad (11-9)$$

式中， B 为辐射屏蔽透射因子； X_e 为有效屏蔽厚度， cm ； TVL_s 为患者散射辐射在混凝土中的什值层， 15MV X 射线散射角 30° 为 31cm 。

散射辐射剂量：

$$\dot{H}_s = \frac{H_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \cdot U \quad (11-10)$$

式中， \dot{H}_s 为关注点散射辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_0 为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， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

R_s 为患者（位于等中心点）至关注点的距离， m ；

F 为治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

U 为使用因子，取 0.25 。

α_{ph} 为患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m （关注点方向）处的剂量比例。对于本项目，患者散射角取 30° 。为保守起见， α_{ph} 取 18MV X 射线、散射角 30° 对应的值 2.53×10^{-3} 。

表11-13 与主屏蔽相连的次屏蔽墙外关注点辐射剂量率计算参数及结果

参考点	照射方式	X屏蔽墙厚度 (cm)	有效屏蔽层厚度 X_e (cm)	屏蔽透射因子 B	参考点距等中心距离 R (m)	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	
D1、D2、D3：南北侧主、副防护墙连接处墙外30cm	漏射	150砣	173.2砣	6.96×10^{-6}	7.4	0.08	0.15
	散射	150砣	173.2砣	2.59×10^{-6}	7.4	0.07	
H：顶棚主、副防护区连接处外30cm	漏射	150砣	173.2砣	6.96×10^{-6}	5.8	0.12	0.24
	散射	150砣	173.2砣	2.59×10^{-6}	5.8	0.12	

(5) 防护门的估算与分析

对大于 10MV 加速器的机房，迷路散射辐射应考虑下列各项：

①总中子注量 Φ_B .

图 11-3 迷路的中子散射典型路径为“O₁-O-K-L-C1”。K 点是从等中心点与迷路内墙端的连线和迷路长轴中心线之间的交点。在 K 点的总中子注量 Φ 按式 (11-11) 计算：

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

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

式中：

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

Q_n —在等中心处每 1Gy 治疗照射时射出加速器机头的总中子数，中子数/Gy；查 NCRP No.151 的表 B.9，取 18MV 加速器的 $Q_n=0.46 \times 10^{12}$ (中子数/Gy)用于本项目 15MV 加速器的计算。

d_1 —等中心点 O 至 K 点的距离，m；本项目 $d_1=7.4\text{m}$ 。

S —治疗机房的总内表面积(m²)，包括四壁墙、顶面和底面，不包括迷路内各面积。本项目 $S=2 \times 7.5 \times 8 + 2 \times 4.2 \times (8+7.5) \approx 250.2\text{m}^2$ 。

②机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率

机房内及迷路中的中子在与屏蔽物质作用时产生中子俘获 γ 射线，机房入口门外 30cm(C1)处无防护门时的中子俘获 γ 射线的剂量率按式(11-12)计算：

$$\dot{H}_r = 6.9 \times 10^{-16} \cdot \Phi_B \cdot 10^{-d_2/TVD} \cdot \dot{H}_0 \quad (11-12)$$

式中：

6.9×10^{-16} —该方法中的经验因子，Sv/(中子数/m²)；

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

d_2 —K 点至机房入口(C1)的距离，m； $d_2=d_{KL}+d_{LC1}=10.4\text{m}$ 。

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

\dot{H}_0 —等中心点处治疗 X 射线剂量率($\mu\text{Gy/h}$)； $6 \times 10^8 \mu\text{Gy/h}$ 。

③机房入口的中子剂量率

机房内的中子经迷路散射后在机房入口门外 30cm(C1)处无防护门时的剂量率见式(11-13)。

$$\dot{H}_n = 2.4 \times 10^{-15} \cdot \Phi_B \cdot \sqrt{S_0 / S_1} \cdot [1.64 \times 10^{-(d_2/1.9)} + 10^{-(d_2/T_n)}] \cdot \dot{H}_o \quad (11-13)$$

式中:

2.4×10^{-15} —该计算方法中的经验因子, Sv/(中子数/m²);

S_0 —迷路内口的面积, m²; 偏保守按加速器机房 2 中的迷路内口面积计算, $S_0=2.7\text{m} \times 4.2\text{m}=11.34\text{m}^2$

S_1 —迷路横截面积, m²; $S_1=2.0\text{m} \times 4.2\text{m}=8.4\text{m}^2$

d_2 —K 点到迷路入口(C1)的距离, m; $d_2=10.4\text{m}$ 。

T_n —迷路中能量相对高的中子剂量组分式(10)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 是一个经验值,与迷路横截面积有关。

$$T_n = 2.06\sqrt{S_1} \quad (11-14)$$

④入口门屏蔽

入口门屏蔽设计时, 通常使中子和中子俘获 γ 射线屏蔽后有相同的辐射剂量率。对于中子俘获 γ 射线, 以铅屏蔽; 对于中子, 以含硼(5%)聚乙烯屏蔽。当给定防护门屏蔽厚度 X_γ 和 X_n 时, 防护门外的辐射剂量率见式(11-15):

$$H = H_\gamma \cdot 10^{-(X_\gamma/\text{TVL}_\gamma)} + H_n \cdot 10^{-(X_n/\text{TVL}_n)} + H_{OC1} \cdot B_{OC1} \quad (11-15)$$

式中:

X_γ 和 X_n 分别为屏蔽上述两种辐射的不同屏蔽材料的厚度, cm;

TVL_γ 和 TVL_n 分别为中子俘获 γ 射线和中子在上述两种屏蔽材料中的什值层, cm;

H_γ 和 H_n 分别为按式(11-12)和式(11-13)计算的入口处防护门内的辐射剂量率;

H_{OC1} 为图 11-3 中的 O_1 位置穿过迷路内墙的泄漏辐射在 C1 处的剂量率, 算法同次屏蔽墙的泄漏辐射剂量计算方法, 算出 H_{OC1} 为 $0.64\mu\text{Gy/h}$; B_{OC} 为防护门对 H_{OC1} 的屏蔽透射因子, 对于 15mm 铅, 15MV 散射线透射因子为 0.41。

⑤计算结果

由式(11-11)可得, 在 K 点的总中子注量 $\Phi_B \approx 2.62 \times 10^9$ (中子数/m²)/Gy;

由式(11-12)可得, 机房入口的中子俘获 γ 射线的剂量率 $H_\gamma \approx 2.33\mu\text{Sv/h}$;

由式(11-13)可得, 机房入口的中子剂量率 $H_n \approx 79.4\mu\text{Sv/h}$ 。

由建设单位提供的材料可知，防护门结构为 15mm 铅板+100mm 含硼聚乙烯。IAEA No.47 报告指出对于长度大于 5m 的迷道，迷道门口 γ 射线所对应的铅 TVL 可降为 6mm。根据 NCRP No.151 报告，中子经迷路壁多次散射后，迷道外入口处中子的平均能量约为 100keV，热中子在含硼聚乙烯（5%硼，重量比）中的 TVL 为 12mm。

根据公式（11-15）计算得出，防护门外的辐射剂量率 H 约为 0.27 μ Sv/h，符合本报告表规定的周围剂量当量率控制要求(2.5 μ Sv/h)。

（6）机房区域南北侧岩土层上方室外 30cm 处辐射剂量计算

主要考虑对主射方向辐射屏蔽，估算方法同主屏蔽，使用因子U取1。

$$\dot{H}_k = \frac{\dot{H}_0 \cdot f \cdot U}{R^2} \cdot B_{\text{墙}} \cdot B_{\pm} \quad (11-16)$$

式中， $B_{\text{墙}}$ 为南北侧墙体辐射屏蔽透射因子； B_{\pm} 为地下岩石土层的辐射屏蔽透射因子， f 为 1；15MV X 射线的有用线束在混凝土的 TVL₁ 和 TVL 分别为 44cm 和 41cm。

$$B_{\pm} = b \times e^{-\mu T} \quad (11-17)$$

式中：

μ ——线性减弱系数： $\mu = \mu_p \times \rho_{\pm}$ ，其中 15MV X 射线 μ_p (质量衰减系数)=0.023cm²/g， ρ_{\pm} =1600kg/m³=1.6g/cm³；

T——穿越岩土层的厚度，cm；

b——积累因子。

表11-14 机房区域南北侧岩土层上方室外30cm处关注点辐射剂量率计算参数及结果

参考点	X屏蔽墙厚度 (cm)	西侧墙体辐射屏蔽透射因子 $B_{\text{墙}}$	地下岩石土层的辐射屏蔽透射因子 B_{\pm}	参考点距等中心距离R (m)	剂量率 μ Sv/h
J: 机房区域南北侧岩土层上方室外30cm处	100cm砼 +413cm岩土层	0.004	3.81×10^{-6}	9.4	0.1

（7）机房区域西侧岩土层上方室外 30cm 处辐射剂量计算

主要考虑对泄漏辐射的屏蔽，估算方法同主屏蔽，偏保守考虑入射角均为0°，使用因子U取1。按照式（11-16）、（11-17）计算。

（11-16）式中， $B_{\text{墙}}$ 为西侧墙体辐射屏蔽透射因子； B_{\pm} 为地下岩石土层的辐射屏蔽透射因子，泄漏辐射比率 f 为 1×10^{-3} ；15MV X 射线的 90°泄漏辐射在混凝土中的 TVL₁ 和 TVL 分别为 36cm 和 33cm。

(11-17) 式中 15MV X 射线 μ_p (质量衰减系数) = $0.023\text{cm}^2/\text{g}$, ρ_{\pm} = $1600\text{kg}/\text{m}^3 = 1.6\text{g}/\text{cm}^3$; T——穿越岩土层的厚度, cm; b——积累因子。

表11-15 房区域西侧岩土层上方室外30cm处关注点辐射剂量率计算参数及结果

参考点	X屏蔽墙厚度 (cm)	西侧墙体辐射屏蔽透射因子 $B_{\#}$	地下岩石土层的辐射屏蔽透射因子 B_{\pm}	参考点距等中心距离R (m)	剂量率 $\mu\text{Sv}/\text{h}$
I: 机房区域西侧岩土层上方室外30cm处	100cm砼 +475cm岩土层	0.001	4.48×10^{-7}	11.2	2.14×10^{-6}

(8) 屏蔽体外辐射剂量率预测计算结果

加速器治疗室周围关注点处的剂量当量率计算结果见表 11-16。

由表 11-16 可知, 加速器运行过程中治疗室主屏蔽区、次屏蔽区、侧屏蔽墙以及迷路入口的剂量当量率均能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》(GBZ126-2011)“在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙外 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ”的要求。

表11-16 加速器治疗室周围关注点处的剂量当量率计算结果

关注点	路径举例	到靶点距离, m	设计屏蔽体厚度 cm	屏蔽后剂量率 $\mu\text{Sv}/\text{h}$
A1、A2、A3: 迷路外墙墙外 30cm(仅由迷路外墙屏蔽)	O1-A1	9.05	140 砼	0.52
B1、B2、B3: 迷路外墙墙外 30cm(迷路内外墙屏蔽)	O-B1	9.05	275 砼	4.20×10^{-5}
D1、D2、D3: 南北侧主、副防护墙连接处墙外 30cm	O-D1	7.4	150 砼	漏射0.08+散射0.07=0.15
E1、E2、E3: 南北侧主防护墙中心点外侧 30cm 处	O-E1	6.95	290 砼	1.31
F: 顶棚主防护区外 30cm	O-F	6.7	290 砼	1.41
H: 顶棚主、副防护区连接处外 30cm	O-H	5.8	150 砼	漏射0.12+散射0.12=0.24
I: 机房区域西侧岩土层上方室外 30cm 处	O-I	11.2	100cm砼+475cm岩土层	2.14×10^{-6}
J: 机房区域南北侧岩土层	O-J	9.4	100cm砼+413cm岩土层	0.1

上方室外 30cm 处				
C1、C2、C3: 防护门外 30cm	O ₁ --G	9.60	135cm (砵)+15mm 铅板+100mm 含硼 聚乙烯	0.27
	O ₁ -O--H--I-- G	7.4+10.4	15mm 铅板+100mm 含硼聚乙烯	

(二) 年有效剂量预测分析

根据医院提供工作负荷，正式投入使用后每台直线加速器治疗工作量分析：一年工作 50 周，每周 5 天，50 病人/每天，每个病人平均照射时间 1.5min，周治疗时间为 6.25h，年治疗时间为 312.5h。偏安全考虑，均按 15MV X 射线估算工作人员年有效剂量。3 间加速器机房工作人员不交叉工作。

1、估算公式

X 射线年有效剂量估算公式：

$$H = H_r \times T \quad (11-18)$$

式中： H —年有效剂量当量，mSv；

H_r —X 剂量率，mSv/h；

T —年受照时间，h。

表11-17 加速器治疗室周围关注点年剂量值计算结果

关注人群	关注点	路径举例	设计屏蔽体厚度 cm	屏蔽后剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	居留因子	年剂量值 mSv
辐射工作人员 (职业人员)	控制室 A1、A2、A3: 迷路外墙墙外 30cm(仅由迷路外墙屏蔽)	O1-A1	140 砵	0.52	1	0.16
	控制室 B1、B2、B3: 迷路外墙墙外 30cm(迷路内外墙屏蔽)	O-B1	275 砵	4.20×10^{-5}	1	1.31×10^{-5}
	机房内 D1、D2、D3: 南北侧主、副防护墙连接处墙外 30cm	O-D1	150 砵	0.15	1/2	0.02
	机房内 E1、E2、E3: 南北侧主防护墙中心点外侧 30cm 处	O-E1	290 砵	1.31	1/2	0.20
	C1、C2、C3: 防护门外 30cm	O ₁ --G	135cm (砵) +15mm 铅板 +100mm 含硼 聚乙烯	0.27	1	0.08
O ₁ -O--H--I--G		15mm 铅板 +100mm 含硼 聚乙烯				

公众(顶棚室外)	F: 顶棚主防护区外 30cm	O-F	290µ	1.41	1/16	0.03
	H: 顶棚主、副防护区连接处外 30cm	O-H	150µ	0.24	1/16	4.69×10^{-3}
	I: 机房区域西侧岩土层上方室外 30cm 处	O-I	100cmµ +475cm岩土层	2.14×10^{-6}	1/16	4.18×10^{-8}
	J: 机房区域南北侧岩土层上方室外 30cm 处	O-J	100cmµ +413cm岩土层	0.1	1/16	1.95×10^{-3}

由表 11-17 可知，加速器治疗机房区域辐射工作人员所受最大年剂量为 0.20mSv，最大年剂量位置为加速器治疗机房主屏蔽墙外（相邻机房内）。偏保守考虑控制室和相邻加速器对本机房内辐射工作人员剂量叠加，则叠加后辐射工作人员最大年剂量为 0.56mSv（2 号加速器机房工作人员，考虑 1 号机房、3 号机房对其剂量叠加），远小于工作人员年剂量约束值 5mSv/a；公众所受辐射剂量最大为 0.03mSv/a，远小于公众年剂量约束值 0.25mSv/a。

（三）感生放射性

本项目所用医用直线加速器 X 射线最大能量为 15MV、电子线最大能量为 21MeV，每次开机治疗时会产生感生放射性。

根据《15MV 医用电子直线加速器感生放射性影响分析》（王庆敏，四川环境，2010）：“感生放射性监测条件：加速器最大照射野 40cm×40cm，X 射线能量为 15MV，开机时间为 1.83min；监测结果：停机 3min 后机房内医生摆位位置处感生放射性 X-γ 空气吸收剂量率为 71.4×10^{-8} Gy/h”。此文献中加速器机房通风量为 4000m³/h，与本项目加速器机房通风量基本相同。

本项目拟在加速器停机 3 分钟后，工作人员进入机房对病人进行摆位，每个病人摆位时间约 2min，每年摆位 12500 次，保守假设全为同一个摆位工作人员完成，则年摆位时间约 417h。根据类比文献及公示 11-3，摆位人员受到的年剂量不超过 0.21mSv/a。偏保守考虑，叠加摆位人员受到加速器瞬发辐射影响，则摆位工作人员最大年剂量为 0.77 mSv，小于工作人员年剂量约束值 5mSv/a。

11.2.2.2 加速器“三废”影响分析

（一）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。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。能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。加速器机房进出风管道避开主射线方向，射线经几次散射后，进出风管道进出口处

辐射剂量将在控制范围内。在工作中要保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

当治疗过程中用的X射线的能量超过 (γ, n) 反应的阈能量时，中子活化作用使治疗室空气中产生 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 等放射性气体。其衰变过程中产生正电子，即 β^+ 射线， β^+ 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，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。摆位工作人员最大年剂量为0.77mSv，小于工作人员年剂量约束值5mSv/a。由于放射性气体的半衰期较短，且通过机房足够的通风，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。

(二) 循环冷却水

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}O 、 ^{16}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。

(三) 放射性固体废物

本项目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。

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。任何情况下不得私自处置，因而放射性固体废物正常情况下不会对环境造成明显影响。

11.2.3 DSA装置及III类射线装置

11.2.3.1 DSA装置

(一) 类比评价

为分析了解本项目 DSA 装置建成投入运行后对周围环境所造成的辐射影响，本评价选取杭州市滨江医院目前已经投入运行的 DSA 装置进行类比评价，可比性分析详见表 11-18。

表 11-18 DSA 射线装置可比性分析

内容		类比对象	本项目 (4 台 DSA 技术参数及机房屏蔽均相同)
技术参数 (最大管电压/管电流)		150kV/1500mA	150kV/1250mA
主要设备		DSA	DSA
机房面积 (m ²)		53.9	60~71
防护 设施	四周墙体	4.0 mm 铅当量	水泥砖+4mm 铅板 折算: 4.0 mm 铅当量
	门	3.0mm 铅当量	3.0mm 铅板 (3.0mmPb)
	窗	3.0mm 铅当量	3.0mmPb 的铅玻璃
	顶棚	4.0mm 铅当量	16cm 混凝土+2mmPb 防护涂料 折算: 4.0 mm 铅当量
	地坪		

由类比分析可知, 本项目拟新增的 4 台 DSA 装置最大管电压与类比项目相同, 其防护水平与类比项目相当。通过类比对象的监测, 可预测本项目运行后的辐射环境影响。类比监测结果详见表 11-19, 类比监测点位图详见图 11-6。

表 11-19 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: 125kV)	检测结果 (μSv/h)			
		设备运行时		设备未运行时	
		平均值	标准差	平均值	标准差
1	工作人员进出门左侧门缝外表面 30cm 处	0.13	0.01	0.09	0.01
2	工作人员进出门中部外表面 30cm 处	0.16	0.01	0.09	0.01
3	工作人员进出门右侧门缝外表面 30cm 处	0.14	0.01	0.10	0.01
4	操作台	0.13	0.02	0.11	0.02
5	电缆地沟入口外 30cm 处	0.12	0.02	0.10	0.02
6	病人进出门左侧门缝外表面 30cm 处	0.12	0.01	0.11	0.01
7	病人进出门中部外表面 30cm 处	0.13	0.01	0.10	0.01
8	病人进出门右侧门缝外表面 30cm 处	0.12	0.01	0.10	0.01
9	观察窗左侧外表面 30cm 处	0.13	0.01	0.10	0.01
10	观察窗中部外表面 30cm 处	0.14	0.01	0.10	0.01
11	观察窗右侧外表面 30cm 处	0.14	0.01	0.10	0.01
12	机房东墙外表面 30cm 处	0.15	0.02	0.13	0.03
13	机房南墙外表面 30cm 处	0.13	0.03	0.13	0.03
14	机房北墙外表面 30cm 处	0.13	0.02	0.13	0.02
15	DSA 所在导管室第一术位者 (铅衣屏蔽)	4.52	0.13	0.12	0.01
16	DSA 所在导管室第二术位者 (铅衣屏蔽)	2.88	0.11	0.11	0.01
17	机房正上方距地面 30cm 处	0.11	0.01	0.10	0.01
18	机房正下方距地面 1.7m 处	0.12	0.01	0.11	0.01

备注: 检测值未扣除宇宙射线的响应值。

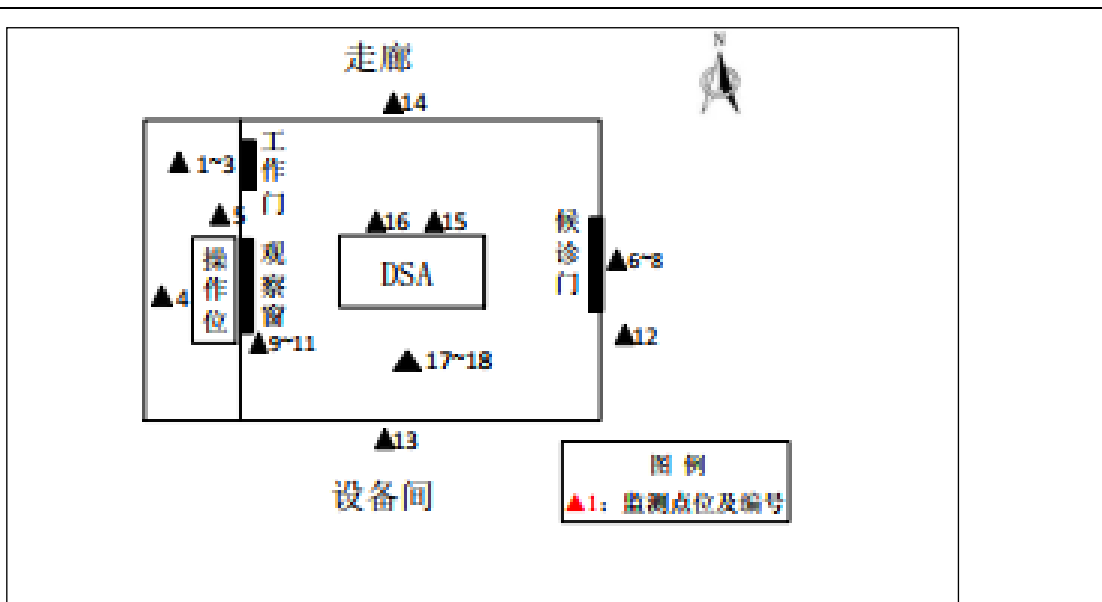


图 11-6 类比项目（DSA 机房）监测测点位图

由类比分析可知，类比 DSA 装置运行时机房外辐射剂量率未显著提高，尚在本底范围内。本项目 DSA 机房屏蔽设计与类比设备相当，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。

（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，每月的病人数为 80 人，每台手术曝光时间取 30min，工作人员介入操作过程穿戴好辐射防护用品。每年手术台数约为 80 台，保守假设全为一个介入医生操作，则年手术曝光时间约 480h。

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（11-18）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

根据医院预计最大工作量保守假设，DSA 配备 1~2 名医生，2~3 名护士，每月的病人数为 80 人，每台手术曝光时间取 30min，在上述偏保守的条件下，工作人员介入操作

过程穿戴好辐射防护用品。利用公式（11-18）估算，居留因子取 1，类比项目第一术者位铅衣后的辐射剂量率 4.52 μ Sv/h，可计算第一术者位接受的附加年有效剂量约为 2.17mSv。

（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 工作人员年附加剂量均低于 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：病人进出门中部外表面 30cm 处，升高的辐射剂量率为：0.03 μ Sv/h，居留因子取 1/4，则公众接受的附加年有效剂量约为 3.6 μ Sv，远低于 0.25mSv/a 的公众年附加剂量约束值，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。

11.2.3.1 III类射线装置

本项目 SPECT-CT 及 PET-CT 属 III 类射线装置。由表 11-20、11-21 可知，本项目 SPECT-CT 及 PET-CT 机房的有效使用面积和最小单边长度、机房的屏蔽防护设计均可满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中有关 CT 机房的防护要求。

表 11-20 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
SPECT-CT 机房	四侧墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料	(2.5+4) 6.5	2.5mmPb (较大工作量)	是
	顶棚	25cm 标准混凝土	3.5		是
	防护门	内衬 6mm 铅板	6.0		是
	观察窗	6mmPb 的铅玻璃	6.0		是
PET-CT 机房	四侧墙体	24cm 实心粘土砖+4mmPb 防护涂料	(2.5+4) 6.5		是
	顶棚	25cm 标准混凝土	3.5		是
	防护门	M24: 内衬 10mm 铅板 M21: 内衬 6mm 铅板	10.0/6.0		是
	观察窗	10mmPb 的铅玻璃	6.0		是

注：混凝土密度：2.35 t/m³；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：实心粘土砖（红砖）在 150kV 管电压下保守折算为 2.5mmPb，25cm 钢筋混凝土在 150kV 管电压下保守折算为 3.5mmPb。

表 11-21 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 ²)	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	
SPECT-CT 机房	6.76	52.0	4.5	30	符合
PET-CT 机房	7.66	59.0	4.5	30	符合

11.3 事故影响分析

11.3.1 环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在建设、运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

11.3.2 事故等级分析

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)，辐射事故从重到轻分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。本项目的可能发生的环境风险因子、潜在危害和事故等级如表11-22所示。

表11-22 项目的环境风险因子、潜在危害及事故等级

名称	环境风险因子	潜在危害	事故等级
核医学科	γ 射线	核医学科、射线装置失控导致人员受超年剂量限值的照射。	一般辐射事故
加速器、DSA、PET-CT、SPECT-CT、	X 射线		

根据国家环保总局2006年145号《辐射事故分级》规定：“一般辐射事故：是指IV类、V类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。”假若本项目发生此种事故，事故等级应为一般辐射事故。

11.3.3 事故风险识别

(一) 核医学

(1) 由于管理不善，发生放射性物品失窃，造成放射性污染事故。

(2) 由于意外事故造成大量的液态放射性药品撒漏，如药剂瓶被打破，造成放射性污染事故；由于操作不慎，有少量的液态放射性药品溅洒。

(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) 射线装置

(1) 工作人员或病人家属尚未撤离射线装置机房时误开机，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) 维修期间的事故，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，造成附加剂量照射。

(5) 屏蔽厚度不能满足辐射安全需要，造成辐射工作人员和公众受照。

11.3.4 辐射事故防范措施

(一) 核医学

(1) 医院将每天使用的放射性药物暂存于储源室。为杜绝该事故的发生，医院应加强管理，储源室应设置双人双锁，药物存放于带铅屏蔽的保险柜内；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。

(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。

(3) 发生少量的液态放射性药品溅洒事故时，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。用表面污染监测仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到控制标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区 β 表面污染小于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。擦拭物收集放到放射性固体废弃物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理。

(4) 发生大量的液态放射性药品撒漏事故时，应首先保持镇静，然后用吸附衬垫盖住发生撒漏的物品，以遏制液体流动。关闭门窗，并通知房间里的每一个人走到门口，用脚踢脱鞋子走出房间，但不要走远，关上门，呼叫求助其他人，请他拿来一台表面污染监测仪（留在这个房间里的仪器可能已被污染）测量每个人全身的 β 表面污染，特别是手和脚的测量。如果 β 表面污染大于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，则应进行去污洗涤，直至小于 $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。擦拭物收集放到放射性固体废弃物衰变桶中，作为放射性固体废物进行管理。

(5) 核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅防护衣、防护镜等附加防护用品。工作人员进入控制区必须穿戴放射防护用品，个人

计量仪佩戴于铅衣内。在进行取药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。

(6) 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的指导，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。

(二) 射线装置

(1) 在诊断及放射治疗过程中应注意对被检者的防护，合理使用 X 射线，实施医疗照射防护最优化的原则，实际操作中可采用“高电压、低电流、重过滤、小视野”的办法，使被检者所受的剂量，达到合理的尽可能的低水平。

(2) 加速器拟设置钥匙开关联锁、辐照启动与辐照参数预选数联锁、计时器与辐射联锁、防护门与照射联锁等联锁装置。控制台上设置紧急停机开关，并在治疗室内加速器立柱和治疗床、以及迷道内入口处分别安装紧急停机开关。治疗室内设有摄像机，可监控治疗室内病人情况。加速器拟配置的安全装置及措施可以有效预防加速器辐射事故的发生。

(3) 本项目 DSA 及 III 类射线装置自身采取了多重安全措施，设备安全措施符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 中规定的技术要求，可以有效预防辐射事故的发生。

(三) 管理措施

本项目正式运行前，应依照国家环保总局的《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) 的规定要求进行辐射事故应急管理。医院应按照本项目建设内容，根据发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围，参考上述事故风险分析，制定瑶溪分院辐射事故应急方案。医院应经常性监测本项目辐射工作场所的环境辐射剂量率等，确保辐射工作安全有效运转。当发生或发现辐射事故，当事人应立即向医院的辐射安全负责人和法定代表人报告。当事故发生时，医院应立即启动相应的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并填写《辐射事故初始报告表》，向环境主管部门报告。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。

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 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放射诊疗和防护管理领导小组，以分管院长沈贤为组长，徐海丽为副组长，领导小组成员由院感与疾控处、临床工程处、后勤工程处、基建处、医务处、护理部、放射科、检验科等处室及相关临床科主任和护士长组成。

放射诊疗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。

本项目建设地点位于瑶溪分院，瑶溪分院属于新建院区。医院放射诊疗和防护管理领导小组应统一管理瑶溪分院的辐射防护工作，本项目涉及的瑶溪分院相关科室负责人应加入到医院放射诊疗和防护管理领导小组。

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 年全年的个人剂量检测报告，医院所有辐射工作人员 2017 年累积受照剂量均不超过职业年照射剂量约束值 5mSv。

(3) 根据 2017 年第三季度个人剂量检测报告，医院介入科医生钱一飞的个人累积剂量为 1.54mSv。医院已对钱一飞季度剂量超过 1.25mSv 的原因进行了调查，调查结果为：“由于个人剂量计曾经被留置于放射工作场所内，导致个人季度剂量超过 1.25mSv”，调查结果由本人签字确认。

2、辐射工作人员培训

医院开展放射诊疗多年，拥有较稳定的放射诊疗技术队伍。医院现有辐射工作人员已参加辐射防护与安全培训。

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，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) 本项目如需增加新的辐射工作人员，需要及时组织参加环境保护主管部门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放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；辐射工作人员的职业卫生健康档案应保存3年以上。

12.1.3 年度评估报告

医院 2017 年度已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，并上报至环境主管部门。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 医院目前已制定的辐射防护工作管理制度

根据医院提供的辐射防护工作管理制度，与本项建设内容相关的辐射防护工作制度如下：

- (1) 《放射诊疗和放射防护管理制度》
- (2) 《辐射安全防护管理工作制度》；
- (3) 《开放性同位素储存场所安全防护制度》；
- (4) 《放射工作人员培训、体检及保健制度》
- (5) 《受检者及患者的防护制度》
- (6) 《放射源使用登记制度》
- (7) 《购买、运输及退役放射源处理制度》；
- (8) 《“三废”治理制度》

- (9) 《设备维修保养制度》
- (10) 《个人剂量计使用制度》
- (10) 《核医学及放射科相关人员职责》
- (11) 《放射性同位素、DSA 及 CT 操作规程》

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和 II 类、III 类射线装置。应根据新开展的乙级非密封放射性物质工作场所项目及新增的射线装置，结合新建瑶溪分院的辐射工作内容和辐射工作人员配置等情况，尽快建立健全相应的规章制度和操作规程。并根据相关要求落实各项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：明确本项目在瑶溪分院新增的辐射管理人员、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：根据本项目在瑶溪分院新增的辐射工作和设备，特别是核医学的储源室，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 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、安全连锁、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

(5) 人员培训计划和健康管理制：将瑶溪分院本项目的辐射工作人员的管理纳

入医院统一的辐射人员管理，补充完善培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。

(6) 监测方案：根据本项目建设内容制定辐射工作人员剂量监测工作制度和工作场所定期监测制度，配置相应的辐射监测仪器，定期对工作场所辐射水平进行监测并做好监测记录，定期上报环境主管部门。对于辐射工作人员接受的剂量值超过 5mSv/a 个人剂量约束值的，需立即查明原因，采取改进措施，并根据要求上报环境主管部门。

(7) 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。

(8) 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》，核医学科应至少配置 1 台环境辐射巡测仪和 1 台表面污染监测仪，每台射线装置应配置至少 1 台个人剂量报警仪，每个辐射工作人员均应配备个人剂量计，并建立个人剂量档案。

本项目南北侧核医学用房为两个相对独立的乙级非密封放射性物质工作场所，北侧核素显像诊断区域拟配备 2 台表面污染监测仪，2 台环境辐射巡测仪，7 台个人剂量报警仪；南侧核素治疗区域拟配备 2 台表面污染监测仪，1 台环境辐射巡测仪，7 台个人剂量报警仪。每台射线装置均至少配备 1 台个人剂量报警仪。本项所有辐射工作人员均配备个人剂量计，并定期进行个人剂量检测，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。本项目工作由核医学科工作人员自行完成。

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：核医学用房及各射线装置机房屏蔽墙外，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、 γ 辐射剂量率；表面污染；15MV 加速器需监测中子等。

（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放射性作业，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，并上报环境主管部门。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。并配合各相关部门做好辐射事故调查工作。

（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。辐射工作人员调离辐射工作岗位，个人剂量档案要保存 30 年，如果辐射工作人员一直从事辐射工作到退休，个人剂量档案要保存到 75 岁。

12.3.5 放射性废物监测

1、放射性废水排放前监测

本项目放射性废水在排放前应自行或委托有资质的单位开展监测，保证排出水中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）。

2、放射性废物处理前监测

本项目放射性固废在北侧污物间（或南侧储源室）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。

12.4 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。

医院现有两个辐射事故应急预案，分别针对核医学事故及放射诊疗事故。辐射事故应急预案内容包括了应急组织体系和职责、应急处理程序、上报电话等。

环评要求：

（1）医院应按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保护部令第18号）第六章第四十三条规定，合并医院原有的两个辐射事故应急预案，对原有辐射事故应急预案予以补充、完善。

（2）结合本项目建设内容及实际情况，包括本项目新增的放射性同位素的种类、用量、工作场所及设备核医学内容，新增的医用直线加速器、DSA装置等射线装置，对原有辐射事故应急预案予以补充、完善。

（3）补充应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备等内容；并定期组织应急预案演练（1年/次）。

（4）根据医院现有辐射工作情况和本项目新增的辐射工作内容，补充环境风险因子、潜在危害、事故等级等内容。

(5) 补充完善后的辐射事故应急预案，应报送环境主管部门备案。

(6) 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，根据国家发展和改革委员会第 9 号令《产业结构调整指导目录（2011 年本）》（2013 年修订）相关规定，本项目不属于限制类、淘汰类项目，符合国家当前的产业政策。

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均位于瑶溪分院门诊医技楼（病房楼），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，经采取一定的防护治理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

本项目核医学用房及周围、加速器机房及周围、DSA 装置工作场所及周围环境的 X- γ 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本项目核医学用房、加速器机房、DSA 机房及 III 类射线装置机房均设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线， β 射线或 γ 射线及中子等的辐射影响。

②本项目核医学用房拟设置自动分碘仪、铅注射窗、专用铅通风柜、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本项目核医学储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，其他射线装置均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，辐射工作均拟配备个人剂量计及辐射监测仪器。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

医院已成立放射诊疗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均已参加由环保部门组织的辐射安全与防护培训，并已取得了辐射安全与防护培训的合格证书，本项目建成后新增辐射工作人员也须进行上岗培训。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。

(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 β 射线和 γ 射线、 β 放射性表面污染、放射性废水、放射性废气、放射性固废等，15MV 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附加有效剂量符合《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附加有效剂量符合《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。

核医学放射性废气经独立的通风管道排至医院病房楼（16 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。射线装置机房工作时产生的臭氧经排风系统通风后，满足评价标准要求，对机房周围的大气环境影响较小。

综上所述，温州医科大学附属第二医院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，瑶溪分院将具备从事相应辐射活动的技术能力，本项目放射性同位素和射线装置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

医院应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、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。

(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。

(3) 医院承诺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。

(4) 医院承诺制定更新各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故，并及时将应急预案向环境保护主管部门备案。

(5) 医院承诺严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

(6) 医院承诺射线装置报废处理时，将射线装置高压射线管进行拆卸并破碎处理，同时将射线装置主机的电源线绞断，使射线装置不能正常通电，防止二次通电使用。

(7) 医院承诺本项目环评审批后，及时到环境主管部门办理《辐射安全许可证》的变更手续，办理前应登录“全国核技术利用辐射安全申报系统”中实施申报登记。

(8) 医院承诺尽快将2台III类射线装置进行环境影响登记表备案；将已报废的射线装置及时到环境主管部门核销，变更《辐射安全许可证》；未验收的射线装置按照《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。

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

温州医科大学附属第二医院瑶溪分院核医学及射线装置项目 环境影响报告表专家评审意见

浙江省环境工程技术评估中心于2018年7月4日主持召开了《温州医科大学附属第二医院瑶溪分院核医学及射线装置项目环境影响报告表》(以下简称《报告表》)专家评审会,参加会议的有浙江省环保厅、温州市环保局、龙湾区环保局、温州医科大学附属第二医院(建设单位)、中辐环境科技有限公司(评价单位)等单位及评审专家。

会议成立了评审专家组(名单附后),专家组在现场踏勘后,首先听取了建设单位对该建设项目工程概况介绍以及评价单位对《报告表》的内容汇报,对评价单位提供的《报告表》及相关资料进行审核,经讨论形成如下审查意见:

一、评审意见

该《报告表》内容比较全面,重点突出,编制规范,评价标准引用恰当,采用的评价方法基本合理,评价总体思路清晰,评价结论基本可信。经适当修改补充完善后,可作为辐射环境保护管理的审批依据。

二、专家组建议

1. 完善项目前期环评手续情况;
2. 完善核医学布局,着重完善甲种治疗机的布局;
3. 完善屏蔽墙体屏蔽材料的可行性分析评价。

三、审查结论

《报告表》基本符合导则及规范要求,评价单位根据专家组提出的建议对《报告表》相应内容进行修改后同意通过该《报告表》。

2018年7月4日

刘北伟

刘北伟 邵磊

审查意见修改说明

序号	审查意见	修改说明	修改页码
1	完善前期环保手续手续情况	<p>1、已补充医院现有核医学的环保手续履行情况说明，其环境影响评价（代验收）文件批复及辐安证持有人变更文件见附件 6。</p> <p>2、未验收的射线装置，医院已承诺尽快按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4号）要求自行验收。</p>	<p>P5 页</p> <p>P121 页</p> <p>附件 6</p>
2	完善核医学布局，着重甲癌治疗的平面布局。	<p>1、北侧核素显像诊断区域用房注射前等候区增加了“护士接待台”，方便引导病人进入核医学场所诊疗；</p> <p>2、南侧核素治疗区域（甲癌治疗区域）“医生办公室”及“示教室”改为“值班室”，可以保证在非工作时间医护人员不在监督区里滞留，并能弥补南侧核素治疗区域值班人员工作场所的不足。</p>	<p>附图 5（1）</p> <p>附图 6</p> <p>附图 7（1）</p> <p>附图 8</p>
3	完善屏蔽墙体屏蔽材料的可行性评价	经医院与施工单位的核实，将单面 6mmPb 的防护涂料、单面 8mmPb 的防护涂料 改为 双面 3mmPb 的防护涂料、双面 4mmPb 的防护涂料，在施工工艺上是可以实现的。因此环评报告的屏蔽材料设计方案可不变，厚度较大的防护涂料施工工艺由单面改为双面，即可行。	<p>P58 页~</p> <p>P60 页</p>

建设项目环评审批基础信息表

填表单位（盖章）：

填表人（签字）：

项目经办人（签字）：

建设项目	项目名称		温州医科大学附属第二医院瑶溪分院核医学及射线装置项目				建设地点		温州市龙湾区瑶溪北片生活区B-11地块								
	项目代码¹		无														
	建设内容、规模		（1）拟在瑶溪院区门诊医技楼地下一层新增3台15MV医用直线加速器；（2）拟在瑶溪院区门诊医技楼（病房楼）地下一层新建核医学科，北侧新增1台SPECT-CT、1台PET-CT，使用放射性核素 ¹³¹ I、 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc，南侧新建12间甲癌病房；（3）拟在瑶溪院区门诊医技楼五层新建4个DSA机房，新增4台DSA。				计划开工时间		2018年8月								
	项目建设周期		11个月				预计投产时间		2019年6月								
	环境影响评价行业类别		核技术利用建设项目				国民经济行业类型²		卫生-综合医院（8311）								
	建设性质		扩建				项目申请类别		新报项目								
	现有工程排污许可证编号（改、扩建项目）		无														
	规划环评开展情况		不需开展				规划环评文件名		不需开展								
	规划环评审查机关		不需开展				规划环评审查意见文号		不需开展								
	建设地点中心坐标³（非线性工程）		经度	120.798025度	纬度	27.947592度	环境影响评价文件类别		环境影响报告表								
	建设地点坐标（线性工程）		起点经度		起点纬度		终点经度		终点纬度		工程长度						
总投资（万元）		8500.00				环保投资（万元）		900.00		所占比例（%）	10.60%						
建设单位	单位名称		温州医科大学附属第二医院		法人代表		连庆泉		评价单位	单位名称		中辐环境科技有限公司		证书编号		国环评证乙字第2056号	
	通讯地址		温州市学院西路109号、学院西路82号（温州医科大学附属第二医院）		技术负责人		/			通讯地址		杭州市明石路黎明花苑三区综合楼		联系电话		87889666	
	统一社会信用代码（组织机构代码）		12330000470005930F		联系电话		13506516857			环评文件项目负责人		邵和松（证书编号：0009726）					
污染物排放量	污染物		现有工程（已建+在建）		本工程（拟建或调整变更）		总体工程（已建+在建+拟建或调整变更）					排放方式					
			①实际排放量（吨/年）	②许可排放量（吨/年）	③预测排放量（吨/年）	④“以新带老”削减量（吨/年）	⑤区域平衡替代本工程削减量⁴（吨/年）	⑥预测排放总量（吨/年）	⑦排放增减量（吨/年）								
	废水	废水量										<input type="checkbox"/> 不排放 <input type="checkbox"/> 间接排放： <input type="checkbox"/> 市政管网 <input type="checkbox"/> 集中式工业污水处理厂 <input type="checkbox"/> 直接排放：受纳水体_____					
		COD															
		氨氮															
		总磷															
	废气	总氮															
		废气量												/			
		二氧化硫												/			
		氮氧化物												/			
颗粒物												/					
挥发性有机物												/					

注：1、同级经济部门审批核发的唯一项目代码

- 2、分类依据：国民经济行业分类(GB/T 4754-2011)
- 3、对多点项目仅提供主体工程的中心座标
- 4、指该项目所在区域通过“区域平衡”专为本工程替代削减的量
- 5、⑦=③-④-⑤，⑥=②-④+③

项目涉及保护区与风景名胜区的 情况	影响及主要措施	名称	级别	主要保护对象(目标)	工程影响情况	是否占用	占用面积 (hm ²)	生态防护措施
	生态保护目标							
	自然保护区							<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)
	饮用水水源保护区(地表)			/				<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)
	饮用水水源保护区(地下)			/				<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)
	风景名胜区			/				<input type="checkbox"/> 避让 <input type="checkbox"/> 减缓 <input type="checkbox"/> 补偿 <input type="checkbox"/> 重建 (多选)