

核技术利用建设项目

衢州市人民医院医用放射性同位素及射线装置应用 项目环境影响报告表 (公示稿)

衢州市人民医院

2020年3月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

衢州市人民医院医用放射性同位素及射线装置应用 项目环境影响报告表

建设单位名称：衢州市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省衢州市柯城区钟楼底 2 号

邮政编码：324000

联系人：龚**

电子邮箱：

联系电话：156****9527

目 录

表 1 项目基本概况.....	1
表 2 放射源.....	5
表 3 非密封放射性物质.....	5
表 4 射线装置.....	5
表 5 废弃物.....	6
表 6 评价依据.....	7
表 7 保护目标与评价标准.....	9
表 8 环境质量和辐射现状.....	19
表 9 项目工程分析与源项.....	22
表 10 辐射安全与防护.....	30
表 11 环境影响分析.....	43
表 12 辐射安全管理.....	51
表 13 从事辐射活动能力要求.....	55
表 14 结论与建议.....	57

表 1 项目基本情况

建设项目名称	衢州市人民医院医用放射性同位素及射线装置应用项目				
建设单位	衢州市人民医院				
法人代表	叶**	联系人	龚**	联系电话	156****9527
注册地址	衢州市柯城区钟楼底 2 号				
项目建设地点	衢州市柯城区钟楼底 2 号医院新建 4 号楼一层				
立项审批部门	衢州市发展和改革委员会		批准文号	衢发改审[2017]160 号	
建设项目总投资 (万元)	7471	项目环保投资 (万元)	500	投资比例(环保投资/总投资)	6.7%
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	-
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 type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
其他	/				

1.1 医院概述

衢州市人民医院又称衢州中心医院,位于衢州市柯城区钟楼底 2 号,创建于 1948 年,是目前衢州市规模最大的集医疗、科研、教学、预防、保健、康复于一体的三级甲等综合性医院。根据医院发展需要,于 2018 年在医院内改扩建一幢 4 号楼,占地约 1273m²,新增床位 226 张,配置手术室、住院病房、PET-CT、ECT、ICU 及配电房等。该建设项目已取得衢州市环境保护局“关于衢州市人民医院钟楼院区新建 8 层钢结构病房项目环境影响报告书的审查意见”,文件号:衢环建[2018]10 号。

1.2 项目建设内容和任务由来

为满足市民对医疗服务需求的不断增长,进一步提升医院的医疗服务环境和服务水平,医院决定首次开展核医学诊疗工作,医院新建 1 栋 4 号楼,拟将核医学科

相关工作用房设置在该大楼一层，拟新增 1 台 SPECT-CT，涉及 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 放射性同位素的使用，日等效最大操作量为 $1.49\text{E}+9\text{Bq}$ ，属乙级非密封放射性物质工作场所，用于开展核素显像检查、甲亢治疗、骨转移癌治疗工作。

根据国家相关的法规要求，医院该项目应进行辐射环境影响评价，同时为了更好的满足国家有关辐射环境管理的规定和环保管理部门的监管要求，保护公众健康，衢州市人民医院于 2019 年 7 月 30 日正式委托四川省核工业辐射测试防护院（四川省核应急技术支持中心）对该项目进行辐射环境影响评价。

评价单位在现场踏勘的基础上，按照国家有关建设项目辐射环境影响报告表的内容和格式，编制完成本项目的辐射环境影响报告表。

1.3 项目地理位置

(1) 医院地理位置

医院位于衢州市柯城区钟楼底 2 号，其东侧为北门街路，南侧为钟楼巷路，西侧为下街路，北侧为新河沿路，其具体地理位置见附图 1。

(2) 辐射工作场所位置

本次评价的核医学科项目位于医院西北侧 4 号楼一层，其东侧为电梯厅，南侧和西侧均为室外，北侧为内部过道，上层为手术室生活区，无下层；评价范围 50m 区域内为无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区、学校、办公楼等其他环境敏感区，医院周围环境状况见附图 2，医院总平图见附图 3，医院 4 号楼一层平面布置见附图 4，医院 4 号楼二层平面布置见附图 5。

1.4 选址合理性分析

本次评价的核医学科项目位于医院西北侧 4 号楼，该幢楼属于医院征用地块，符合《衢州市城市总体规划》和《衢州市土地利用总体规划》，衢州市发展和改革委员会于 2017 年 12 月 4 日核发衢州市人民医院钟楼院区钢结构病房项目初步设计批复的函，文件号：衢发改审[2017]160 号；且本次评价范围 50m 区域内为无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区、学校、办公楼等其他环境敏感区，本项目建成后运行过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受，故其选址是合理可行的。

1.5 原有核技术利用项目许可情况

医院原有辐射设备已取得《辐射安全许可证》（浙环辐证[H0019]），种类和范围：

使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，有效期至2024年11月19日，（见附件7）。

医院原有辐射设备环评履行情况及验收情况见表1-1。

表 1-1 已运行射线装置

序号	名称	类别	数量	型号	工作场所	环评情况	验收情况
1	加速器	Ⅱ	1	VARIAN 23EX	门诊楼地下 放疗机房	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
2	模拟定位机	Ⅲ	1	Nucletron HQ	门诊楼地下 放疗机房	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
3	DSA	Ⅱ	1	Philips FD20	内科楼一楼	衢环辐函 [2014]8号	衢州市环境监测站验收监测报告：衢环监（2016）辐字第09号
4	数字胃肠机	Ⅲ	1	ODSystem	综合楼三层	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
5	牙片机	Ⅲ	1	MSD-III	门诊楼四楼	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
6	移动X光机	Ⅲ	1	MUX-10J	放射科	衢环辐函 [2014]8号	衢州市环境监测站验收监测报告：衢环监（2016）辐字第09号
7	CT	Ⅲ	1	Brilliance 16	综合楼二楼	衢环辐函 [2012]11号	衢州市环境监测站验收监测报告：衢环监（2014）辐字第09号
8	DSA	Ⅱ	1	Philips XperFD20	综合楼一楼	衢环辐 [2017]2号	2019年委托浙江建安检测研究院有限公司进行验收
9	直线加速器	Ⅱ	1	infinty	4号楼地下2层	浙环辐 （2017）1号	2019年委托浙江建安检测研究院有限公司进行验收
10	大孔径CT	Ⅲ	1	RT590	4号楼地下1层	备案号：201833080200000237	
11	移动DR	Ⅲ	1	MUX-10J	EICU	备案号：201933080200000334	
12	移动DR	Ⅲ	1	DRXR-1	ICU	备案号：201833080200000117	
13	骨密度仪	Ⅲ	1	Discovery W1	综合楼三楼	备案号：201933080200000334	
14	骨密度	Ⅲ	1	EXA-3000	体检中心二	备案号：201933080200000334	

	仪				楼	
15	C 臂机	III	1	Endura9	手术室	备案号：201933080200000334
16	C 臂机	III	1	GEOEC785	手术室	备案号：201933080200000334
17	C 臂机	III	1	Endura12	手术室	备案号：201933080200000334
18	C 臂机	III	1	Philips BV libra9	胃镜室	备案号：201933080200000334
19	牙科全景机	III	1	OC200D	门诊楼二楼	备案号：201933080200000334
20	CT	III	1	Aquilion one	内科楼一楼	备案号：201833080200000117
21	CT	III	1	DefinitionA S	门诊楼二楼	备案号：201933080200000334
22	CT	III	1	Scope power	体检中心一 楼	备案号：201933080200000334
23	CT	III	1	Brilliance	浮石分院	备案号：201933080200000334
24	DR	III	1	fusion	体检中心一 楼	备案号：201933080200000334
25	DR	III	1	Digital Diagnost VR	拍 2 机房	备案号：201933080200000334
26	DR	III	1	AristasMX	拍 1 机房	备案号：201933080200000334
27	DR	III	1	Digital Diagnost	拍 3 机房	备案号：201933080200000334
28	乳腺机	III	1	MAMMO MAT inspiration	门诊楼二楼	备案号：201933080200000334
29	X 光机	III	1	UD150L-3 0E	浮石分院	备案号：201833080300000219
30	移动 X 光 机	III	1	Philips P160	浮石分院	备案号：201833080300000219

另外，该医院医用放射性同位素及射线装置应用项目，具体为：将外科大楼（一）（⑤号楼）地下一层仓库改造为核医学科，新增一台 SPECT-CT，使用放射性同位素 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P ，该项目于 2017 年 1 月 10 日由浙江省环境保护厅（文件号：浙环辐[2017]1 号）已审批通过，但在建设之前发现地下一层拟建址因为有泵房，改造过程会有渗水情况，加上电梯不能直接下地下一层，患者就诊需步行楼梯，行动不便者还需抬担架，2017 年 7 月衢州市委市政府经研究决定同意提升改造钟楼院区，改造项目即本次拟建核医学科所在楼 4 号楼，因此医院决定在该新建 4 号楼的一层重新建设核医学用房，该选址便于患者就诊，根据国家相关的法规要求，医院该项目应重新进行辐射环境影响评价。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) 活度 (Bq) × 枚数	类别	活度 种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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			操作频次	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
				单人最大用量 (Bq)	实际日最大操作量 (Bq)	数量 (人/日)							
1	^{99m} Tc	液态	使用	9.25×10 ⁸ (25mci)	2.78×10 ¹⁰ (750mCi)	30	每周 5次	2.78×10 ⁷	6.95×10 ¹²	SPECT-CT 显像	很简单的操作	核医学科	根据实际使用量向有资质的单位购买，购买后将装有放射药品溶液的铅罐暂存于源库，源库采取双人双锁的管理方式。
2	¹³¹ I	液态	使用	1.85×10 ⁸ (5mci)	9.25×10 ⁸ (25mci)	5	每周 2次	4.63×10 ⁸	4.63×10 ¹¹	SPECT-CT 显像	简单操作	核医学科	
3	¹³¹ I	液态	使用	3.7×10 ⁸ (10mci)	3.7×10 ⁹ (100mci)	10	每周 2次			甲状腺功能测定、甲亢治疗	简单操作	核医学科	
4	⁸⁹ Sr	液态	使用	1.48×10 ⁸ (4mci)	7.4×10 ⁸ (20mci)	5	每周 2次	7.4×10 ⁷	7.4×10 ¹⁰	骨转移癌治疗	简单操作	核医学科	
5	¹⁵³ Sm	液态	使用	1.85×10 ⁹ (50mci)	9.25×10 ⁹ (250mci)	5	每周 2次	9.25×10 ⁸	9.25×10 ¹¹	骨转移癌治疗	简单操作	核医学科	

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》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X射线机, 包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	SPECT-CT	III	1	Symbia Intevo Excel	150	800	放射诊断	4号楼一层核医学科 SPECT-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 (μ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物

废弃物名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况*	最终去向
放射性固体	固态	^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm	--	--	--	极低	收集于放射性废物桶中, 转移至废物库贮存。	存放十个半衰期后, 经检测满足清洁解控水平 (GBZ133-2009 附录 B), 按一般医疗废物处理。
放射性废气	气态	^{131}I	--	--	--	--	经净化后排放	经高出屋顶的排气筒排入空气。
放射性废水	液态	^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm	$<1\text{ALI}_{\text{min}}$	$<10\text{ALI}_{\text{min}}$	根据实际使用情况	总 α : $<1\text{Bq/L}$ 总 β : $<10\text{Bq/L}$	核医学科衰变池暂存	符合 GB18871-2002 低放废水排放条件后, 排入市政管网。
剩余放射性药物	液态	^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm	--	--	--	--	在铅或钨合金罐内放置	达到清洁解控水平后处理。

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月；</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月；</p> <p>(3) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年；</p> <p>(4) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，环境保护部令第 44 号，2017 年 6 月 29 日；</p> <p>(6) 《关于修改〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉部分内容的决定》，生态环境部令第 1 号，2018 年 4 月 28 日起实施；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2017 修正版），中华人民共和国环境保护部令第 47 号，2017 年 12 月；</p> <p>(8) 《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》（生态环境部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日修改）；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年第二次修订）》，国务院令第 449 号，于 2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(10) 《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，于 2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(11) 浙江省环保厅关于发布《省环境保护行政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《设区市环境保护行政主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015 年本）》的通知，浙环发〔2015〕38 号，2015 年 9 月 23 日；</p> <p>(12) 《浙江省辐射环境管理办法》，省政府令第 289 号，2012 年 2 月；</p> <p>(13) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》，浙江省人民政府令第 364 号，2018 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(14) 《国家危险废物名录》，环境保护部令第 39 号，2016 年 8 月；</p> <p>(15) 《射线装置分类》，环境保护部和国家卫生计生委，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日；</p> <p>(16) 《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>
------	---

技术标准	<p>《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，环境保护部。</p>
其他	<p>(1) 事业单位法人证书（见附件 1）；</p> <p>(2) 关于衢州市人民医院钟楼院区新建 8 层钢结构病房项目环境影响报告书的审查意见，衢州市环境保护局文件，批文号：衢环建〔2018〕10 号（见附件 2）；</p> <p>(3) 委托书，2019 年 7 月 30 日（见附件 3）；</p> <p>(4) 关于衢州市人民医院直线加速器等医用射线装置应用项目（扩建）环境影响报告表审查意见的函，衢州市环境保护局文件，批文号：衢环辐〔2014〕8 号（见附件 4）；</p> <p>(5) 关于衢州市人民医院医用放射性同位素及射线装置应用项目环境影响报告表的审查意见，浙江省环境保护厅文件，批文号：浙环辐〔2017〕1 号（见附件 5）；</p> <p>(6) 关于衢州市人民医院 DSA 射线装置应用项目（扩建）环境影响报告表审查意见的函，衢州市环境保护局文件，批文号：衢环辐〔2017〕2 号（见附件 6）；</p> <p>(7) 《辐射安全许可证》浙环辐证[H0019]（00652）（见附件 7）；</p> <p>(8) 检测报告（见附件 8）；</p> <p>(9) 衢州市人民医院关于调整医院放射防护安全管理组织的通知（见附件 9）；</p> <p>(10) 放射事故报告制度及处理预案（见附件 10）。</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，同时结合《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，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。

因此，本项目的评价范围为乙级非密封放射性物质工作场所边界外 50m 范围（见附图 2）。

7.2 保护目标

据现场踏勘，本项目乙级非密封放射性物质工作场所周围 50m 区域内无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区、学校、办公楼等其他环境敏感区。

本次评价范围内主要环境保护目标为医院核医学科的辐射工作人员以及周围其他非辐射工作人员和公众成员。环境保护目标详见表 7-1。

表 7-1 环境保护目标一览表

序号	项目地点	环境保护目标	方位	最近距离
1	核医学科	辐射工作人员	内部	/
		非辐射工作人员	北面、上方	紧邻
		公众	周围	0~50m

7.3 评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中的源的安全。

①防护与安全的最优化

第 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的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

第 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。

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

a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；本项目取其四分之一即 5mSv 作为管理限值。

第 B1.2 款 公众照射

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 作为管理限值。

③分区

第 6.4.1 款 控制区

第 6.4.1.1 款 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位控制区，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。

第 6.4.2 款 监督区

第 6.4.2.1 款 注册者和许可证持有者应将下述区域定位监督区：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。

第 B2 款 表面污染控制水平

第 B2.1 款，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 单位: 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
	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

非密封源工作场所的分级应按附录 C（标准的附录）的规定进行。

第 C1 款，应按表 7-3 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-3 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4×10 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规定

该标准对放射性物质向环境排放的控制规定。第 8.6.2 款规定，不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

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

(2)《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）

本标准规定了操作非密封源的辐射防护原则与要求。

第 7.1.2 款规定，应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

第 7.1.3 款规定，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。

第 7.1.4 款规定，应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。

第 7.2.1 款规定，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。

第 7.2.2 款规定，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，废液收集地点应由外照射防护措施。

第 7.2.3 款规定，经过处理的废液在向环境排放前，应先送往检测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

第 7.2.4 款规定，使用少量或短寿命放射性核素的单位，可设立采取衰变方法进行放射性废液处理处置系统，该系统应有足够的防渗透能力。

第 7.3.3 款规定，对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法，待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理，以尽可能减少放射性废物的数量。

（3）《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）

本标准适用于临床核医学应用放射性药物实施诊断与治疗的实践。

4 临床核医学工作场所的放射防护要求

4.1 临床核医学的工作场所应按照 GB18871 非密封源工作场所分级规定进行分级，并采取相应放射防护措施。

4.2 一般临床核医学的活性实验室、病房、洗涤室、显像室等工作场所属于 GB18871 规定的乙级或丙级非密封源工作场所。为便于操作，针对临床核医学实践的具体情况，可以依据计划操作最大量放射性核素的加权活度，把工作场所分为 I、II、III 等三类（见表 7-4）。

表 7-4 临床核医学工作场所具体分类¹⁾

分类	操作最大量放射性核素的加权活度 ²⁾ ，MBq
I	> 50000
II	50~50000
III	< 50

注：¹⁾ 本表和表 2、表 3 均依据国际放射防护委员会（ICRP）第 57 号出版物；

²⁾ 加权活度 = (计划的日操作最大活度 × 核素的毒性权重因子) / 操作性质修正因子

表 7-5 按表 7-4 划分的三类核医学工作场所的室内表面及装备结构要求¹⁾

场所分类	地面	表面	通风橱 ²⁾	室内通风	管道	清洗及去污设备
I	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	应设抽风机	特殊要求 ³⁾	需要
II	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要
III	易清洗	易清洗	不必	一般自然通风	一般要求	只需清洗设备

注：¹⁾ 依据国际放射防护委员会（ICRP）第 57 号出版物。

²⁾ 仅指实验室。³⁾ 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

6 临床核医学治疗的放射防护要求

6.1 使用治疗量发射 γ 射线放射性药物的区域应划为控制区。用药后患者床边 1.5m 处或单人病房应划为临时控制区。控制区入口处应有 GB18871 规定的电离辐射警告标志；除医务工作人员外，其他无关人员不得入内，患者也不应随便离开该区。

6.2 配药室应靠近病房，尽量减少放射性药物和已给药治疗的患者通过非放射性区域。

6.3 根据使用放射性药物的种类、形态、特性和活度，确定临床核医学治疗病房的位置及其放射防护要求。

6.4 接受放射性药物治疗的患者应使用专用便器或者设有专用卫生间和浴室。

（4）《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）

本标准规定了对医用放射性废物管理的基本防护、液体废物、固体废物、气载废物、含放射性核素尸体的卫生防护管理要求及废物管理制度。

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

5 液体废物的管理

5.1 放射性废液

5.1.1 使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和

无渗透性，应有防渗透措施。

5.1.3 经审管部门确认的下列低放废液可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道：每月排放总活度或每一次排放活度不超过 GB18871-2002 中 8.6.2 规定的限制要求，且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，每次排放应做记录并存档。

5.2 注射或服用过放射性药物的患者排泄物

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

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

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

5.2.4 对不可设置专用厕所和专用化粪池的单位，应为注射或服用放射性药物（如 ^{131}I 、 ^{32}P 等）的住院治疗患者提供具有辐射防护性能的尿液、粪便收集器和呕吐物收集器。收集器内的排泄物在贮存衰变后，经审管部门批准可作免管废物处理。

5.2.6 对含有放射性核素的实验动物排泄物，如本单位不具备专用化粪池，可以按照 5.2.4 处理。

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

5.2.8 符合下列条件之一的病人排泄物不需要统一管理：

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

6 固体废物管理

6.1 废物收集

6.1.1 按第 4.2 条放射性废物分类和废物的可燃和不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性，分开收集废物。

6.1.2 供收集废物的污物桶应具有外防护层和电离辐射警示标志。污物桶放

置点应避开工作人员工作和经常走动的区域。

6.1.3 污物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存。

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

6.2 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。

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

7 气载废物的管理

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

(5) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

4 技术内容

4.1 污水排放要求

4.1.2 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 7-6 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二级污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

表 7-6 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放限值（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
22	总 α (Bq/L)	1	1
23	总 β (Bq/L)	10	10

(6) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）

本标准适用于医用诊断 X 射线机的生产和使用。

5 X射线设备机房防护设施的技术要求

5.1 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。

5.2 每台X射线机（不含移动式 and 携带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7-7要求。

表 7-7 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积m ²	机房内最小单边长度m
CT机	30	4.5
双管头或多管头 X 射线机 ^a	30	4.5
单管头 X 射线机 ^b	20	3.5
透视专用机 ^c 、碎石定位机、口腔CT卧位扫描	15	3
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5
牙科全景机、局部骨密度仪、口腔CT坐位扫描 / 站位扫描	5	2
口内牙片	3	1.5

a 双管头或多管头X射线机的所有管球安装在同一间机房内。
 b 单管头、双管头或多管头X射线机的每个管球各安装在1个房间内。
 c 透视专用机指无诊断床、标称管电流小于5mA的X射线机。

5.3 X射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

- a) 不同类型X射线设备机房的屏蔽防护应不小于表7-8要求。
- b) 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。
- c) 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。

d) 带有自屏蔽防护或距X射线设备表面1m处辐射剂量水平不大于2.5 μ Gy/h时，可不使用带有屏蔽防护的机房。

表 7-8 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量mm	非有用线束方向铅当量 mm
标称 125kV 以上的摄影机房	3	2

标称 125kV 及以下的摄影机房、口腔 CT、牙科全景机房（有头颅摄影）	2	1
透视机房、全身骨密度仪机房、口内牙片机房、牙科全景机房（无头颅摄影）、乳腺机房	1	1
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。		

5.4 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（其检测方法按 7.2 和附录 B 中 B.6 的要求）：

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

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

5.5 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。

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

5.7 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。

5.9 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 7-9 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 0.25mm 铅当量；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 0.5mm 铅当量。

表 7-9 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查 类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT体层扫描 (隔室)	---	---	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、 铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	---
注：“—”表示不要求。				

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射工作场所位置

医院位于衢州市柯城区钟楼底 2 号，其东侧为北门街路，南侧为钟楼底路，西侧为下街路，北侧为新河沿路，其具体地理位置见附图 1。

本次评价的核医学科项目位于医院西北侧 4 号楼一层，其东侧为电梯厅，南侧和西侧均为室外，北侧为内部过道，上层为手术室生活区，无下层；评价范围 50m 区域内为无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区、学校、办公楼等其他环境敏感区，医院周围环境状况见附图 2，医院总平面图见附图 3，医院 4 号楼一层平面布置见附图 4，医院 4 号楼二层平面布置见附图 5。

8.2 辐射环境现状检测

1、本项目拟建辐射工作场所

(1) 检测目的

评价单位委托杭州旭辐检测技术有限公司对本项目拟建辐射工作场所周围进行 γ 辐射剂量率背景水平检测，以掌握辐射环境背景水平，为辐射环境影响预测评价提供基础数据。

(2) 检测内容

根据污染因子分析，检测单位于 2019 年 8 月 19 日对本项目拟建辐射工作场所周围进行辐射剂量率背景水平检测。

(3) 检测点位

检测点位布点详见图 8-1。

(4) 检测仪器与规范

检测仪器的参数与规范见表 8-1。

(5) 质量保证措施

- a 合理布设检测点位，保证各检测点位布设的科学性和可比性。
- b 检测方法采用国家有关部门颁布的标准，检测人员经考核并持有合格证书上岗。
- c 检测仪器每年定期经有相应资质的计量部门检定，并在有效期使用期内。
- d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常，确保仪器正常后方可进行监测。

e 检测人员经过省级培训机构的监测技术培训,并经考核合格,做到持证上岗。
f 检测人员按操作规程操作仪器,测量方法选用质量手册有关本次检测项目的检测实施细则,并做好记录。

g 检测单位已通过了浙江省质量技术监督局计量认证。

表 8-1 X-γ辐射剂量当量率仪参数与规范

仪器名称	环境监测用 X、γ 辐射空气比释动能率仪
仪器型号	JC-5000
生产厂家	上海见驰辐射检测设备有限公司
能量响应	48KeV~3MeV≤±30% (相对于 ¹³⁷ Cs)
量程	1nGy/h~200uGy/h, 1nSv/h~200uSv/h
检定证书	上海市计量测试技术研究院 (检定证书编号: 2019H21-20-1782071001 号) 有效期: 2019 年 04 月 04 日-2020 年 04 月 03 日
监测规范	环境地表γ辐射剂量率测定规范 GB/T 14583-1993

(6) 检测结果

本项目辐射工作场所周围的γ辐射剂量率背景水平检测结果见表 8-2, 检测报告见附件 8。

表 8-2 本项目拟建址周围的γ辐射剂量率检测结果

检测点位	检测点位描述	辐射剂量率 (nGy/h)	
		平均值	标准差
▲1	核医学科拟建址东侧	121	6.12
▲2	核医学科拟建址南侧	144	10.01
▲3	核医学科拟建址西侧	121	6.12
▲4	核医学科拟建址北侧	123	7.32
▲5	核医学科拟建址中央	129	8.92

注: 检测结果未扣除宇宙射线的响应。

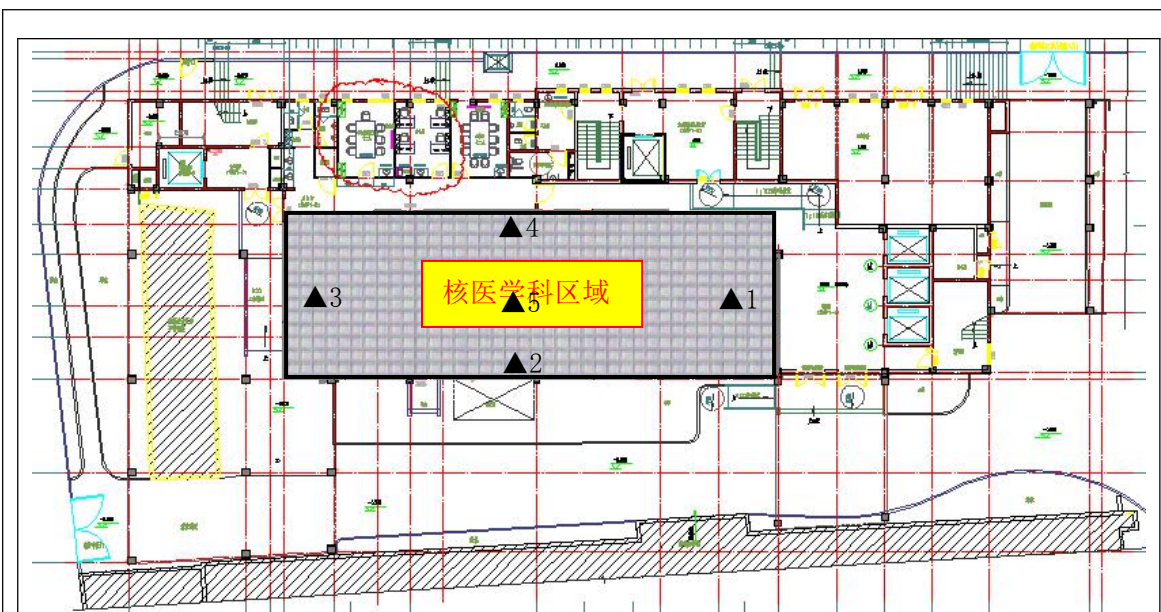


图 8-1 本项目拟建址周围现状检测点位示意图

由表 8-2 的检测结果可知，衢州市人民医院拟建核医学科项目周围各现状检测点位的 γ 辐射剂量率在 121~144nGy/h 之间，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，金华市（衢州市）建筑物室内 γ 辐射剂量率在 62~467nGy/h 之间，该拟建址 γ 辐射本底水平未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

9.1 非密封放射性物质

本项目核医学科辐射工作场所位于医院 4 号楼一层，主要使用的非密封放射性物质有 ^{99m}Tc （SPECT-CT 显像检查）、 ^{131}I （甲亢治疗、甲功测定）、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm （骨转移癌治疗）。

9.1.1 性能参数

本项目中，该医院核医学科使用的放射性同位素有： ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 四种，其中 ^{131}I 需根据病人的需要由碘自动分装仪分装， ^{99m}Tc 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 可以直接使用。使用的放射性同位素用量均按照病人预约情况提前订购，运输到医院后当日可在源库暂存，不贮存。

各放射性核素的性能参数见表 9-1。

表 9-1 本项目使用的放射性同位素性能参数

核素	半衰期	毒性	衰变方式	物理性态	年最大用量 (Bq)	日最大用量 (Bq)	用途
^{99m}Tc	6.02h	低毒	IT	液态	6.95×10^{12}	2.78×10^{10}	SPECT-CT 显像
^{131}I	8.04d	中毒	β^-	液态	4.63×10^{11}	9.25×10^8	SPECT-CT 显像
^{131}I	8.04d	中毒	β^-	液态		3.7×10^9	甲状腺功能测定、甲亢治疗
^{89}Sr	50.5d	中毒	β^-	液态	7.4×10^{10}	7.4×10^8	骨转移癌治疗
^{153}Sm	46.4h	中毒	β^-	液态	9.25×10^{11}	9.25×10^9	骨转移癌治疗

注： ^{99m}Tc 每周使用 5 天，一年使用 250 天； ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 每周使用 2 天，一年使用 100 天。

9.1.2 SPECT-CT 显像诊断

(1) 工作原理

SPECT-CT 显像用 ^{99m}Tc （高锝酸钠注射液）和 ^{131}I （碘化钠），适用于全身骨扫描、甲状腺扫描、甲状旁腺扫描、唾液腺显像、心肌静息及负荷血流灌注显像、消化道显像、肾动态显像等。

当某种放射性核素或其标记物通过注射、口服等方式进入体内后，依其化学及生物学特性不同，随血流等进入某些特定的组织器官，参与或模仿某些生命物质在人体内的病理生理、引流代谢的过程。由于正常组织和病变组织在这个过程

中的差异，使其聚集这种放射性核素或其标记物的能力发生了变化。利用 SPECT-CT 来探测这种放射性核素发射的 γ 射线在体内的分布状态并还原成图像，其影像不仅可以显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是可以显示脏器的功能、代谢情况，提供有关脏器的血流、功能、代谢和引流等方面定性的和定量的信息。而血流、功能和代谢的异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此，放射性核素显像有助于疾病的早期诊断。

(2) 工作流程及产污环节

- 1) 根据医生指导意见，需要接受全身或脏器显像检查的人员提前预约登记，确定用量，医院根据实际情况委托供药单位配药；
- 2) 受检者按约定时间在给药前候诊区准备和等候；
- 3) 准备好的受检者经过专用通道进入注射区， ^{99m}Tc 注射医务人员穿戴好个人防护用品，从贮药铅罐内取药，在注射台前为受检者注射药物，注射时间平均约为 10s/人； ^{131}I 设有专门的服碘室，医生将装有 ^{131}I 核素的铅罐放于自动分碘仪中，自动分装。
- 4) 注射（服用）了放射性药物的受检者进入给药后候诊区或进行检查前的准备；
- 5) 完成候诊或准备的受检者/患者从给药后候诊区直接进入检查室检查，医务人员配合受检病人正确摆位后进入操作间进行隔室操作，摆位时间平均约 0.5min/每人；
- 6) 检查完成，受检者通过专用通道离开核医学区域。

SPECT-CT 显像检查工作流程及产污环节示意图见图 9-1。

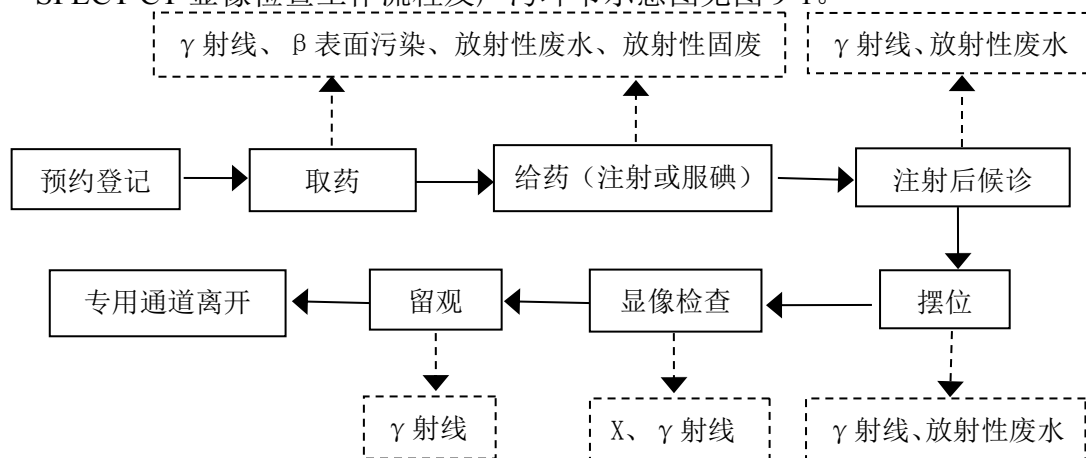


图 9-1 SPECT-CT 显像检查工作流程及产污环节示意图

(3) 污染因子

(1) β 射线和 γ 射线： ^{99m}Tc 在衰变过程中释放 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 射线穿透能力很强，会对周围环境造成一定的辐射影响；因此 X 射线和 γ 射线是 SPECT-CT 显像过程主要污染因子。

(2) X 射线：SPECT-CT 在开机扫描过程中会产生 X 射线，该 X 射线随着机器的开关而产生和消失。

(3) β 表面污染：本项目放射性药物在操作过程中可能洒漏至工作台面、地面、工作人员衣服和手上等处，从而造成 β 表面污染。

(4) 放射性废气： ^{99m}Tc 为非挥发性核素，无溶液挥发，因此无放射性废气。

(5) 放射性废水：主要来源是诊断、治疗过程中患者注射 ^{99m}Tc 后所产生的排泄物冲洗废水、工作人员清洗产生的废水等。

(6) 放射性固废：主要为剩余放射性药物、注射器、针头、手套、药棉、纱布、擦拭污染地面的物品等。

因此，在使用 SPECT-CT 显像诊断过程中，将产生 X 射线、 γ 射线、 β 表面污染、放射性固废及放射性废水。

9.1.3 ^{131}I 甲亢治疗

(1) 工作原理

^{131}I 药品名为碘化钠，甲状腺具有高度选择性摄取 ^{131}I 的功能，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多。 ^{131}I 在甲状腺内停留的时间较长，在甲亢患者甲状腺内的有效半衰期约 3~5 天（由于人体代谢等原因，有效半衰期比正常半衰期短）。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。

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 $10\mu\text{Ci}$ 。

(2) 工作流程及产污环节

1) 根据医生指导意见，需要接受治疗的患者提前登记预约，进行治疗前准备：需停用抗甲状腺药物两周以上，低碘饮食四周等；

2) 进行相关体检和甲状腺 ^{131}I 摄取率测定（须在甲测室进行）；

3) 根据甲亢程度，制定治疗剂量方案；

4) 根据制定方案给患者服碘，“甲亢”患者服碘后一般稍作观察后可直接离开。

^{131}I 甲测及甲亢治疗工作流程及产污环节示意图见图 9-2。

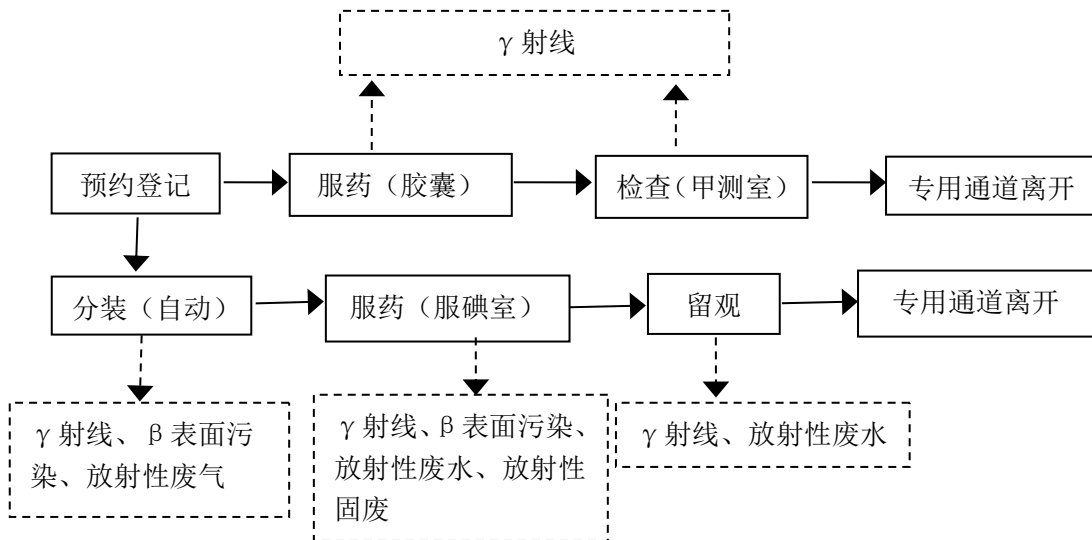


图 9-2 ^{131}I 甲测及甲亢治疗工作流程及产污环节示意图

(4) 污染因子

(1) β 射线和少量 γ 射线：核素在衰变过程中释放 β 射线和少量 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。

(2) β 表面污染：患者服药后，一次性杯子表面残留的 ^{131}I 撒漏，对地面造成放射性表面污染。

(3) 放射性废气： ^{131}I 为挥发性核素，在 ^{131}I 分装过程会释放出放射性碘含量废气。

(4) 放射性废水：主要来源于服药患者的排泄物以及冲洗用水等。一般情况下甲亢患者服药后可直接离开医院。

(5) 放射性固废：主要来源于患者使用的一次性纸杯、擦拭铅罐及污染地面的

物品等。特殊情况下残留放射性核素放置于通风柜铅罐内，残留核素及铅罐由供应商厂家回收。

因此， ^{131}I 核素治疗项目的污染因子主要为 γ 射线、 β 表面污染、放射性废水以及放射性固体废物。

9.1.4 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 骨转移癌治疗

(1) 工作原理

① ^{89}Sr

治疗骨肿瘤的放射性药物为临床上常用的 $^{89}\text{SrCl}_2$ ，利用机体内能高度选择地聚集在病变组织的化合物作为载体，将放射性核素靶运送到病变组织或细胞，使放射性核素与病变细胞紧密结合。根据当距辐射源的距离增大，来自源的辐射强度随距离平方值增长而减小的原理，使得辐射剂量主要集中在病灶内，而在比较远处的正常健康细胞得到较低的、不太会引起损伤的剂量。

^{89}Sr 具有趋骨性，在骨病变组织中浓聚更多。癌症晚期患者多会发生癌细胞骨转移，同时引发骨痛症状。骨肿瘤病灶部分由于骨组织受到破坏，成骨细胞的修复作用极其活跃，易浓聚大量 ^{89}Sr 放射性药物。 ^{89}Sr 衰变时放出最大能量为 1.49MeV 的 β 射线，用于杀死肿瘤细胞而发挥治疗作用。

^{89}Sr 用于骨转移癌治疗，病人在核素治疗区通过静脉注射氯化锶注射液，注射完成后病人即可出院，每位患者用量约为 148MBq。 ^{89}Sr 骨转移癌治疗过程比较简单，病人在核医学科注射药物后即可离开。

② ^{153}Sm

$^{153}\text{Sm-EDTMP}$ 的络合作用小，不影响血钙，其特点为与骨组织有高的亲和力，浓具在骨更新的部位，并且局限在骨机制的生长区，特别是矿化的骨层，实践证明是有效的缓解晚期骨转移癌疼痛的药物。

(2) 工作流程及产污环节

医生对患者进行检查，根据病情，在本医院医疗条件允许范围内确定注射剂量，与患者预约，根据患者数量订购 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 注射药物，在注射室（患者注射室外）对患者进行注射治疗，患者在原地短暂观察（约 10min）后，如无异常情况，患者可离开。 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 骨转移癌治疗工作流程及产污环节示意图见图 9-3。

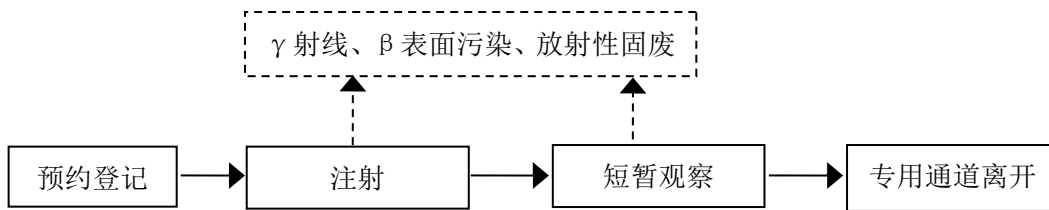


图 9-3 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 骨转移癌治疗工作流程及产污环节示意图

(3) 污染因子

^{89}Sr 和 ^{153}Sm 核素在衰变过程中主要释放 β 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。但 β 射线被阻止会产生韧致辐射。 ^{153}Sm 核素在 β 衰变时伴随发射 0.103MeV 的 γ 射线。

另外，医生在注射过程中，不可避免地会引起工作台、墙壁、地面、工作服、手套造成 β 放射性表面污染。当沾有放射性污染的各种器械、地面、台面和工作人员手清洗时，或病人的排泄物中都会使水中带有各种放射性同位素，造成对水环境的污染。产生的固体废弃物是医生操作戴的手套、一次性注射器等。封装放射性药物的铅罐由供应商回收，不会进入环境。

因此， ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 核素治疗项目的污染因子主要有韧致辐射、 γ 射线、 β 表面污染、放射性废水和放射性固废弃物。

9.2 射线装置（SPECT 设备配套用的 CT）

(1) 工作原理

单光子发射计算机断层摄影（SPECT）基本原理是放射性核素的示踪作用：不同的显像剂在体内有其特殊的分布和代谢规律，能够选择性的聚集在特定脏器、组织或病变部位，使其与临近组织之间的放射性分布形成一定程度浓度差，而显像剂中的放射性核素可发射出具有一定穿透力的 γ 射线，利用 SPECT 探头对这些光子进行探测和记录，通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。SPECT-CT 是将 SPECT 和 CT 结合成一体化的设备，不仅提供 SPECT-CT 功能信息，而且提供诊断 CT 的解剖信息。SPECT 本身不产生射线，仅作为光子接收和成像设备，服药后的患者作为辐射源项；CT 扫描过程中会产生 X 射线，此部分工作原理同 X 射线影像诊断用 CT。

X 射线装置主要由 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，详见图 9-2。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。

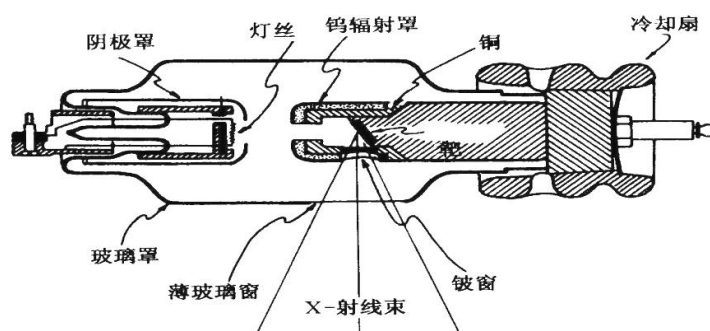


图 9-2 典型 X 射线管结构图

CT 是计算机断层 X 射线摄影术 (Computed Tomography) 的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影像。

(2) 设备组成

CT 基本结构均是由产生 X 线的 X 线管、供给 X 线管灯丝电压及管电压的高压发生器、控制 X 线的“量”和“质”及曝光时间的控制装置，以及为满足诊断需要而装配的各种机械装置和辅助装置即外围设备组成。

(3) 操作流程

确定患者体层摄影的体位，扫描定位，投照摆位，屏气曝光。扫描过程中，X 线球管连续地发射 X 线，扫描床持续同步前移，实现无间断容积数据采集。

(4) 污染因子

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，该院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线，且在开机期间 X 射线与空气作用将产生臭氧、氮氧化物等有害气体。因此，本项目 CT 在开机期间 X 射线为主要污染因子，其次为臭氧、氮氧化物。

9.3 人流和物流的路径规划

(1) 人流路径

核医学科人流路径主要是工作人员（包括核素操作人员、设备操作人员）路径和受检者路径。

工作人员路径：工作人员路线核医学科核素操作人员由核医学科北侧走廊经卫生通过间 M5 进入核医学科分装注射室，在分装注射室内完成分装和给药操作，工作结束后原路返回。该路径上卫生通过间内拟配置有表面污染监测设备，拟设置有淋浴设施，药物分装过程中产生的固体放射性废弃物暂存于放射废物存储间。核医学科设备操作人员由核医学科北侧工作人员入口 M3 继续向西进入控制室内，经由控制室可直接到达 SPECT-CT 机房内完成摆位，工作结束后原路返回。

受检者路径：受检者按预约时间由核医学科东侧病人入口 M1 进入核医学科工作场所指定地点进行注射前候诊，并按照叫号由 M2 进入病人走廊接受药物注射，注射后进入注射后候诊室进行扫描前的候诊。完成扫描后由核医学科南侧 M4 病人出口离开，需要留观的则在留观室观察。

(2) 物流路径

由放射性药物生产厂家药物配送人员每天上班前从核医学科北侧走廊经卫生通过间 M5 将预定的放射性药物送至分装注射室，由核医学科工作人员交接登记签收，将其暂存于储源间。核医学科防护门 M1~M5 拟设置门禁系统，允许医护人员在必要时进入放射性工作区，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。

核医学科人流、物流路径规划图如附图 6 所示。

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

本项目核医学科位于医院 4 号楼一层，该大楼地上八层，地下二层。核医学科上方为手术室生活区，下方为放疗中心。核医学科具体布局为：SPECT-CT 机房东侧为卫生通过间、分装注射室和运动负荷室，南侧为病人走廊，西侧为控制室和留观室，北侧为走廊，受检者防护门拟设置于机房南墙，工作人员防护门和观察窗均拟设置于机房西墙，设备操作工作人员拟通过观察窗进行隔室操作。卫生通过间、分装注射室、储源间、放射废物储存间、运动负荷室、注射后候检区、留观室、病人卫生间、甲测室、甲测侯检室、服碘室等配套用房均拟设置于机房四周邻近区域，基本按照核医学显像检查流程布置。

拟建核医学科走廊出入口防护门设置有门禁系统，满足《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中“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。

拟建核医学科的药物分装、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。

本项目核医学科和其他工作区域相邻，但不相通，与四周及上下方的非放射性工作场所完全隔开。核医学科设有独立的出入口，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。

综上所述，本项目核医学科布局符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）、《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）等标准的要求，因此核医学科平面布局基本合理。

10.1.2 辐射屏蔽设计

核医学科辐射工作场所采用的屏蔽设计具体情况见表 10-1，SPECT-CT 机房所采用的屏蔽设计具体情况见表 10-2，核医学科平面布置见附图 6。

表 10-1 核医学科辐射工作场所辐射屏蔽设计一览表

序号	机房名称	辐射屏蔽材料及厚度			
		四侧墙体	顶棚	防护门	观察窗
1	SPECT-CT 机房	24cm 实心砖+4mmPb 硫酸钡水泥	16cm 混凝土+2mmpb 硫酸钡水泥	内衬 4mm 铅板	5mmpb 铅玻璃
2	注射后候诊室	东、西、北墙：24cm 实心砖 南墙：24cm 实心砖+2mmpb 硫酸钡水泥	16cm 混凝土+2mmpb 硫酸钡水泥	内衬 4mm 铅板	-
3	分装注射室	东、南、西墙：24cm 实心砖+4mmpb 硫酸钡水泥 北墙：24cm 实心砖+3mmpb 硫酸钡水泥	16cm 混凝土+6mmpb 硫酸钡水泥	内衬 8mm 铅板	-
4	服碘室	东、南、西墙：24cm 实心砖+4mmpb 硫酸钡水泥 北墙：24cm 实心砖+2mmpb 硫酸钡水泥	16cm 混凝土+6mmpb 硫酸钡水泥	内衬 8mm 铅板	-
5	储源间	东、南、西墙：24cm 实心砖+3mmpb 硫酸钡水泥 北墙：24cm 实心砖+6mmpb 硫酸钡水泥	16cm 混凝土+6mmpb 硫酸钡水泥	内衬 8mm 铅板	-
6	放射性废物暂存间	东、北墙：24cm 实心砖+6mmpb 硫酸钡水泥 南、西墙：24cm 实心砖+3mmpb 硫酸钡水泥	16cm 混凝土+6mmpb 硫酸钡水泥	内衬 8mm 铅板	-
7	病人卫生间	东、南、西墙：24cm 实心砖+2mmpb 硫酸钡水泥 北墙：24cm 实心砖	16cm 混凝土+2mmpb 硫酸钡水泥	内衬 4mm 铅板	-
8	甲测室	24cm 实心砖+2mmPb 硫酸钡水泥	16cm 混凝土+2mmpb 硫酸钡水泥	内衬 4mm 铅板	-
9	衰变池	4 号楼一层核医学科西侧废水处理间设置一组 65.4m ³ 的三级并联式放射性废水衰变系统，每个衰变池容积设计为 21.8m ³ ，用于存储核医学产生的放射性废水。废水处理间四侧墙体采用 24cm 实心砖附加 6mmPb 防护涂料，顶棚上方采用 16cm 混凝土附加 6mmPb 防护涂料，防护门内衬 8mm 铅板进行屏蔽防护。			

备注：混凝土砼密度不低于 2.35g/cm³，铅板密度不低于 11.3g/cm³，硫酸钡水泥密度 3.2 g/cm³，铅玻璃密度 4.1g/cm³，实心砖密度 1.65g/cm³。

表 10-2 SPECT-CT 机房辐射屏蔽设计一览表

序号	机房名称	设备	分类	机房有效面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	辐射屏蔽材料及厚度 (mmPb)						符合性
						四侧墙体	顶棚	地坪	工作人员防护门	受检者防护门	观察窗	
1	SPECT-CT 机房	CT	设计	49	5.7	24cm 实心砖 +4mmPb 硫酸钡水泥	16cm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡水泥	16cm 混凝土 +2mmPb 硫酸钡水泥	内衬 4mm 铅板	内衬 4mm 铅板	5mmPb 铅玻璃	符合
			折算值	-	-	6	4	4	4	4	5	
			标准	30	4.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	

备注：混凝土砗密度不低于 2.35g/cm³，铅板密度不低于 11.3g/cm³，硫酸钡水泥密度 3.2 g/cm³，铅玻璃密度 4.1g/cm³，实心砖密度 1.65g/cm³。

10.2 辐射防护措施

10.2.1 核医学科拟采取的污染防治措施

(1) 密闭和通风要求

1) 核医学工作场所应保持有良好的通风条件，工作场所的气流组织应遵循自清洁区向监督区再向控制区的流向设计，保持工作场所负压，以防止工作场所放射性气体交叉污染。

2) 乙级核医学工作场所以及操作挥发性放射性核素的工作场所应在手套箱、通风柜等密闭设备中分装放射性物质，防止放射性液体泄漏和放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风柜等密闭设备应设计专用的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他专用过滤装置。过滤装置前后应留取样口，以确定过滤效果。

4) 通风柜应有足够的通风能力。设有通风柜等场所的专用排气系统的排气口应高于本建筑物屋顶。

(2) 上下水要求

1) 核医学工作场所应设有放射性废水衰变池，衰变池的容积应充分考虑放射性药物的半衰期、日常核医学诊疗及研究中预期产生的废水量以及事故应急时的清洗需要。

2) 放射性核素操作间的清洗池，放射性核素治疗病房的淋浴间、盥洗水盆和卫生间，给药后患者的专用卫生间，控制区出口卫生通过间的清洗池，事故应急时清洗的下水系统，均应通过专设的下水管道接入衰变池。

3) 核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消毒液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或肘式开关，以减少场所内的设备污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

4) 放射性废水收集的管道走向、阀门和管道的连接应设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废水集聚，便于检测和维修。

5) 当核医学工作场所的上水管道与放射性废水管道平行敷设时，它们之间的距离，一般不应小于 3m，其标高应高于放射性废水管道。当交叉敷设时，应设在放射性废水管道的上方，距离至少大于 1m，且交叉处应避开放射性废水管道的焊缝并给废水管道加套管隔离。

(3) 核医学工作场所设备/设施要求

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

2) 操作放射性药物应在衬有吸水纸的托盘内进行，应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品，配备要求见表 10-3。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

表 10-3 核医学工作场所防护用品与监测仪器的配置要求

序号	用途	所需产品名称	数量
1	药物分装	密闭式通风柜	1
		碘自动分装仪	1
2	药物质控	活度计	1
3	药物运输	钨合金防护罐或防护运输盒	若干
4	药物注射	防护注射窗	1
		铅注射器防护套	若干
6	废物处理	放射性废物桶	若干
		放射性废（储）物箱	若干
		紧急辐射泄露处理包	1
		远距离取物夹	若干
7	其他防护制品	铅屏风	若干
8	个人防护用品	铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜	4
		个人剂量报警仪	4
9	辐射监测仪器	X-γ 电离巡检仪	1
		表面污染监测仪	1
		在线辐射监测系统	选配
		辐射检测门	选配

3) 放射性药物的分装操作应采用自动分装方式，碘-131 给药操作宜采用自动或遥控给药方式。

4) 应为核医学工作场所内部放射性物质运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器，容器表面应设置电离辐射标志。

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

6) 扫描机房外门口上方应设置工作状态指示灯。

(4) 储源库要求

1) 核医学科须设置专门的储源库，并对该房间实行双人双锁管理。

2) 储源库须设置报警装置与当地公安“110”联网。

3) 储源库须设置红外监控录像设备，且录像保存时间在 30 天以上。

(5) 其他

1) 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处的适当地点应设立标明监督区的标志。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。

2) 设置告示牌，告示病人家属控制区范围不能进入进行陪护。

10.2.2 工作场所分区

(1) 工作场所分级

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

日等效最大操作量的计算公式如下：

$$\text{日等效操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性因子}}{\text{操作方式的修正因子}} \quad (10-1)$$

根据（10-1）式计算得到的各核素的日等效操作量及分级结果见表 10-4。

表 10-4 工作场所分级（乙级： $2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$ ）

序号	核素名称	日实际最大操作量 (Bq)	毒性因子	操作因子	日等效最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量叠加 (Bq)	工作场所分级
1	^{99m} Tc	2.78×10^{10}	0.01	10	2.78×10^7	1.49×10^9	乙级
2	¹³¹ I	9.25×10^8	0.1	1	4.63×10^8		

3	^{131}I	3.7×10^9	0.1	1		
4	^{89}Sr	7.4×10^8	0.1	1	7.4×10^7	
5	^{153}Sm	9.25×10^9	0.1	1	9.25×10^8	

根据表 10-4 可知，医院核医学科应按照乙级工作场所进行管理。

《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）提供的加权活度计算公式见式 10-2，根据该公式可计算得本项目核医学科使用的放射性药物加权活度最大值为 $1.49 \times 10^{12} \text{Bq}$ （见表 10-5），因此本项目核医学科属于 I 类工作场所（ $>50000 \text{MBq}$ ）。

$$\text{加权活度} = \frac{\text{计划的日操作最大活度} \times \text{核素的毒性权重因子}}{\text{操作性质修正因子}} \quad (10-2)$$

表 10-5 临床核医学工作场所分类

工作场所	核素名称	计划的日操作最大活度 (Bq)	核素的毒性权重因子	操作性质修正因子	加权活度 (Bq)	总加权活度 (Bq)	场所分类
分装注射室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	1	1	2.78×10^{10}	1.49×10^{12}	I 类
	^{89}Sr	7.4×10^8	100	1	7.4×10^{10}		
	^{153}Sm	9.25×10^9	100	1	9.25×10^{11}		
	^{131}I	9.25×10^8	100	1	9.25×10^{10}		
	^{131}I	3.7×10^9	100	1	3.7×10^{11}		
贮源室	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	1	100	2.78×10^8	1.49×10^{10}	I 类
	^{89}Sr	7.4×10^8	100	100	7.4×10^8		
	^{153}Sm	9.25×10^9	100	100	9.25×10^9		
	^{131}I	9.25×10^8	100	100	9.25×10^8		
	^{131}I	3.7×10^9	100	100	3.7×10^9		
SPE CT-C T 机房及候诊区	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2.78×10^{10}	1	10	2.78×10^9	1.2×10^{10}	II 类
	^{131}I	9.25×10^8	100	10	9.25×10^9		

对照《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于“按不同级别工作场所室内表面和装备的要求”，I 类工作场所的要求见表 10-6。核医学科用房的地板与墙壁要求无缝隙、易于清洗的装修，药物分装室应有通风柜及活性炭过滤

装置，应配备清洗及去污设备。

表 10-6 按不同级别工作场所室内表面和装备的要求

工作场所	地面	表面	通风柜	室内通风	管道	清洗及去污设备
I	地板与墙壁接缝无缝隙	易清洗	需要	应设抽风机	下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修。	需要

(2) 工作场所分区管理

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域；监督区是指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的区域。

①SPECT-CT 机房、分装注射室、服碘室、储源室、放射性废物暂存室、注射后候检室、甲测室、运动负荷室、病人专用卫生间、留观室、活性区域病人通道及衰变池可划为控制区。

②注射前等候室、护士站、诊室、卫生通过间、控制室、办公室、读片室及医护人员通道等可划为监督区。

本项目核医学科分区情况见附图 6，并采取以下措施：

- 1) 设置了医生通道和病人通道，保证服药后病人不会与公众混合通行；
- 2) 在控制区边界设置明显的电离辐射标志，并严格控制人员的单通道运行；
- 3) 并有病人专用的候诊室和病人厕所。

因此，本项目功能分区基本满足分区管理的要求。

10.3 三废的治理

10.3.1 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。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防渗漏措施。

本次放射性废水的评价重点主要为：

- 1) 医护人员的洗手水、清洗室内地面、工作台带有微量核素的清洗水；
- 2) 核医学科病人专用厕所的废水。

(1) 放射性废水排放方式及管道设置

根据 GB18871-2002 的排放要求：每月排放总活度 $<10A_{L_{min}}$ ，每次排放活度 $<1A_{L_{min}}$ ，本次评价根据实际日最大操作量进行了保守的估算，以对衰变池作出评价，具体如下：

由污染源分析可知，放射性废水主要来自工作人员操作过程中可能受到微量同位素污染的清洗水，清洗室内地面、工作台带有微量同位素的清洗水，以及病人排泄物冲洗水等。清洗废水排放流程见图 10-1。

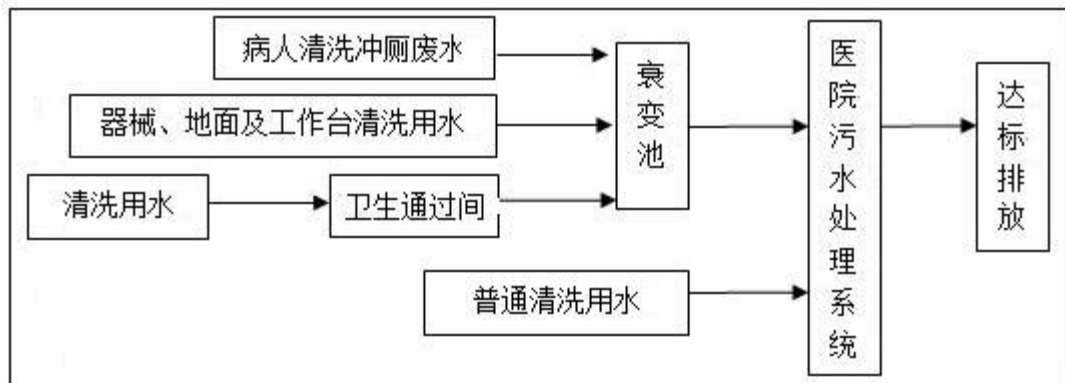


图 10-1 放射性废水处理流程图

(2) 放射性废水排放量

根据医院提供的资料，本项目拟建核医学科放射性废水产生量估算如下：拟建核医学科最大工作量为： ^{99m}Tc 显像检查预计最大工作量为 30 人（次）/天，每周工作 5 天； ^{131}I 甲亢治疗预计为 10 人（次）/天，每周工作 2 天； ^{131}I 显像检查和 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 骨转移癌治疗预计均为 5 人（次）/天，每周工作 2 天，则每周共计 200 人（次），保守按每检查或治疗一人（次）产生废水平均量 10L 估算（含工作人员清洁用水、患者排泄冲洗用水等），则其核素显像诊断或甲亢、骨转移癌治疗一周产生的总废水量约为 2m^3 。

(3) 衰变池设置情况

医院拟采用一套放射性废水处理系统，该系统由衰变槽体、降解槽体、流量过程控制、取样检测装置、监测显示等部分组成。通过专用的管道收集、暂存核医学科在诊疗过程中产生的放射性废液，设计方案为槽式排放、自然衰变方式。

为限制排放总量要求，医院拟在核医学科西侧废水处理间设置 3 个衰变池，每个体积为 21.8m^3 ，3 个衰变池并联切换使用，衰变池通过管网收集核医学科各业务用房的放射性废水。具体位置见附图 3，衰变池设计图见图 10-2。

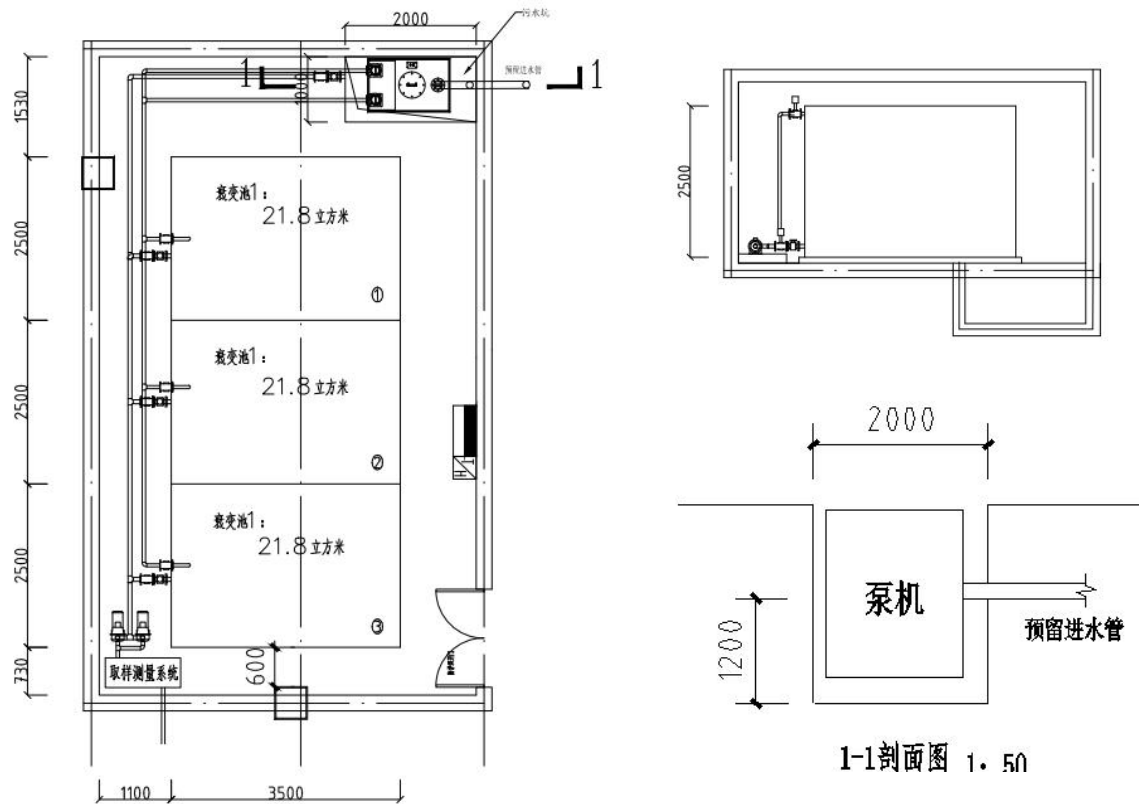


图 10-2 衰变池设计图

(4) 放射性废水排放预测

1) 核素使用情况

核医学科使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 四种放射性核素，其中 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 显像检查病人经注射（口服）后需等待相应时间后才能进行扫描检查； ^{131}I 甲亢治疗的病人在口服药物后离开， ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 骨转移癌治疗病人给药后一般可直接离开，基本不会在核医学科如厕，其放射性废水影响可忽略。

2) 预测分析和排放情况

项目建成后，预计核医学科每周产生需要进入衰变池的废水为 2m^3 ，则每个衰变池可收集约 11 周产生的放射性废水，既可收集约 77 天内的废水，三级并联衰变池按序轮流收贮、排放，在第一个衰变池开始收贮废水后的第 78 天，即开启第二个衰变池收贮废水，让第一衰变池废水中放射性物质自行衰变；待第二个衰变池开始收贮废水后的第 78 天，即开启第三个衰变池收贮废水，待第三个衰变池即将贮满

的前一天，开启第一个衰变池开始排放废水，此时第一个衰变池中废水已至少衰变了 154 天，三个衰变池按照上述程序，依次轮流反复交替使用，能够满足《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）中规定的经衰变池存放的放射性废水经 10 个半衰期后排放的要求。排放方式具体见表 10-7。

表 10-7 放射性废水排放方式表

核素	^{99m} Tc	¹³¹ I
排放方式		
单人最大用量 (Bq)	9.25×10 ⁸	3.7×10 ⁸
单人进入衰变池的初始量 (Bq) 按 15%比例计	1.39×10 ⁸	0.56×10 ⁸
每周核素排入衰变池最大量 (Bq)	2.09×10 ¹⁰	1.12×10 ⁹
(未经过衰变时)一个衰变池贮满的初始量 (Bq)	2.3×10 ¹¹	1.23×10 ¹⁰
半衰期	6.02h	8.04d
排放时贮存天数	154d	154d
衰变后排放量 (Bq)	0	2.12×10 ⁴
ALI _{min} (Bq)	2.15×10 ⁸	9.1×10 ⁵
10ALI _{min} (Bq)	2.15×10 ⁹	9.1×10 ⁶
达标情况	达标	达标
排放标准	每月排放总活度<10ALI _{min} ; 每次排放活度 <1 ALI _{min}	

另外，对未用完已没有医用价值的其它放射性药品（统称为废原液），医院要严格控制其产生，根据病人的实际或预计使用量，根据最优化原则，预定放射性药品。对残余的微量余液，应存放在原容器内，经过 10 个半衰期后，再与医院的其他固体废物一起作为普通的医疗垃圾处理。

(5) 放射性废水排放符合性

由表 10-6 可知，经衰变池衰变后每次排出的各核素总活度<1 ALI_{min}，符合《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。因此，拟建的放射性废水处理系统能够满足核医学科的工作需求。

10.3.2 放射性固体废弃物

由污染源分析可知，该项目放射性固体废物主要来源：①放射性药物常规操作、质控、分装、给药过程中产生一些带有微量放射性的注射器、针头、试管、棉花、棉棒、纱布、一次性手套等，以及异常洒落时使用的吸水纸、抹布等；②排风系统置换下来的废活性炭。

将以上废物先收集在各相关工作场所的专用污物桶内，再将污物桶内的固体废物连同垃圾袋存放到放射性废弃物贮存室，集中收储 10 个半衰期（其中含 ^{99m}Tc 的废物须满足贮存 3 天的要求，含 ^{131}I 的废物须贮存 80 天，含 ^{89}Sr 的废物须贮存 505 天，含 ^{153}Sm 的废物须贮存 20 天）后，再与医院的其他固体废物一起作为普通的医疗垃圾处理。

具体管理要求：

（1）废物收集

①应按照放射性废物分类的要求，将废物按照可燃与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性，分开收集。

②固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射警示标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，应尽量使用有脚踏式开关的废物收集桶。

③对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入利器盒中，然后再装入废物桶。

④放射性废物包装袋外的表面污染水平应满足表面剂量率不超过 0.1mSv/h ，每袋重量不超过 20kg 。装满废物的塑料袋应密封，及时转送至放射性废物暂存间存储。

（2）固体放射性废物的储存

①放射性废物储存场所应安装通风换气装置，并应有专用的排风管道。废物暂存间应按照控制区管理，入口处应配置电离辐射警示标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏的措施。

②污物桶放置于废物贮存室内，应避开工作人员作业和经常走动的地方。

③废物暂存间内应设置专门容器用于盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别的废物应分开存放，合理有序，易于取放。盛放废物的容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息，并做好登记记录。

④废物暂存间内不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

(3) 固体放射性废物处理

①固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、入库日期、解控或送贮日期、责任人员等信息。

②医院的衰变池池底部会沉积少量的沉积物，该沉积物每年清运一次，应按照危废处置要求进行处理。

放射性废物按照上述要求集中收储 10 个半衰期后满足《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）中规定的清洁解控水平后排放。

10.3.3 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 ^{131}I 为挥发性核素，使用过程中介质为水，操作比较简单，不经过加热、振荡等步骤。核医学科进行 ^{131}I 分装操作时，医院都通过自动分装仪远程操控分装，不存在食入、吸入等内照射影响。为了安全起见，医院拟在核医学科高活室设置专用通风橱，分装、质控等放射性药物操作在通风橱内进行，通风橱通风速率一般应不小于 1m/s 。高活室、SPECT-CT 机房、注射后候诊室、病人专用卫生间、留观室、活性走廊和卫生通过间等区域拟设置机械排风系统，排风管道设置应按照室内低活度区域流向高活度区域，将室内空气经单独通风管道由风机抽吸至该建筑楼顶排出（排风管道平面布置见附图 7），排放口拟设置活性炭过滤装置，经过滤后排出，采取上述措施后将符合《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ 120-2006）的要求，基本不会对周围环境造成影响。

核医学排风系统所使用的排风过滤器需定期更换（一般一年更换一次），更换下来的过滤器按放射性固体废物进行收集、处理。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

建设期不涉及放射性同位素及射线装置的操作，故不会对周围环境造成电离辐射影响，也无放射性废气、废水及固体废弃物产生。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 辐射工作人员剂量估算

放射性同位素无屏蔽时剂量率计算可按下列式计算：

$$D = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2} \dots\dots\dots (11-1)$$

式中 D: γ 辐射剂量率水平；

A: 辐射源放射性活度；

Γ : 各种核素的 γ 照射率常数；

R: 预测点离源的距离。

剂量估算公式按照环评报告中的计算公式（UNSCEAR--2000 年报告附录 A），计算 X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量：

$$H_{E-r} = D_r \times t \times 0.7 \times 10^{-6} (mSv) \dots\dots\dots (11-2)$$

其中: H_{E-r} : X- γ 射线外照射人均年有效剂量，mSv；

D_r : X- γ 辐射空气吸收剂量率，nGy/h；

t: X- γ 照射时间，小时；

0.7:剂量换算系数，Sv/Gy。

韧致辐射所致 X 射线辐射剂量率估算可按下列式计算：

$$X = 1.71 \times 10^{-4} A Z (E/r)^2 f \dots\dots\dots (11-3)$$

式中 X: 距离韧致辐射源 r 米处的空气比释动能率，Gy/h；

A: β 源放射性活度；

Z: 吸收 β 粒子屏蔽材料的原子序数， ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 核素治疗取 82；

E: β 射线的最大能量，MeV；

R: 参考点与韧致辐射源的距离，m；

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

11.2.1.1 SPECT (^{99m}Tc) 工作场所

1) 类比监测

为了评价该院拟建核医学科项目运行后各业务用房对周围辐射环境的影响，本次评价选取浙江省人民医院核医学科 SPECT 项目作类比分析调查（数据源于 2014 年浙江省辐射环境监测站编制的浙江省人民医院 PET-CT、DSA、伽玛刀等医用辐射装置建设项目（迁扩建）竣工环境保护验收监测表），类比项目采取的防护措施类比可比性分析见表 11-1。

表 11-1 类比分析比对表

内容		本项目	浙江省人民医院	分析比对结论
使用核素		^{99m} Tc	^{99m} Tc	一致
药物来源		外购	外购	一致
屏蔽能力	SPECT 机房	四侧墙体：24cm 实心砖+4mmPb 硫酸钡水泥（相当于 6mmPb） 楼板：16cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥（相当于 4mmPb）	四侧墙体：24cm 实心砖+2mm 铅当量辐射防护涂料（相当于 4mmPb） 楼板：30cm 混凝土（相当于 3.75mmPb）	本项目优于类比项目
		防护门：4mmPb	防护门：3mm 铅板	本项目优于类比项目
		观察窗：5mmPb 铅玻璃	观察窗：3mm 铅当量	
	分装注射室	四侧墙体：东、南、西墙：24cm 实心砖+4mmPb 硫酸钡水泥（相当于 6mmPb） 北墙：24cm 实心砖+3mmPb 硫酸钡水泥（相当于 5mmPb） 楼板：16cm 混凝土+6mmPb 硫酸钡水泥（相当于 8mmPb）	四侧墙体：24cm 实心砖+2mm 铅当量辐射防护涂料（相当于 4mmPb） 楼板：30cm 混凝土（相当于 3.75mmPb）	本项目优于类比项目
		防护门：8mmPb	防护门：3mm 铅板	
	注射后候诊室	四侧墙体：东、西、北墙：24cm 实心砖（相当于 2mmPb） 南墙：24cm 实心砖+2mmPb 硫酸钡水泥（相当于 4mmPb） 楼板：16cm 混凝土+6mmPb 硫酸钡水泥（相当于 8mmPb）	四侧墙体：24cm 实心砖+2mm 铅当量辐射防护涂料（相当于 4mmPb） 楼板：30cm 混凝土（相当于 3.75mmPb）	本项目优于类比项目
		防护门：4mmPb	防护门：3mm 铅板	
	储源间	四侧墙体：东、南、西墙：24cm 实心砖+3mmPb 硫酸钡水泥（相当于 5mmPb） 北墙：24cm 实心砖+6mmPb 硫酸钡水泥（相当于 8mmPb） 楼板：16cm 混凝土+6mmPb 硫酸钡水泥（相当于 8mmPb）	四侧墙体：24cm 实心砖+2mm 铅当量辐射防护涂料（相当于 4mmPb） 楼板：30cm 混凝土（相当于 3.75mmPb）	本项目优于类比项目
		防护门：8mmPb	防护门：3mm 铅板	

放射性废物暂存间	四侧墙体：东、北墙：24cm 实心砖+6mmpb 硫酸钡水泥（相当于 8mmPb）； 南、西墙：24cm 实心砖+3mmpb 硫酸钡水泥（相当于 5mmPb）； 楼板：16cm 混凝土+6mmpb 硫酸钡水泥（相当于 8mmPb）	四侧墙体：24cm 实心砖+2mm 铅当量辐射防护涂料（相当于 4mmPb） 楼板：30cm 混凝土（相当于 3.75mmPb）	本项目优于类比项目
	防护门：8mmPb	防护门：3mm 铅板	

2) 类比监测结果

浙江省人民医院 SPECT 机房正常运行情况下，其周围各监测点位的监测结果见表 11-2、 β 表面污染监测结果见表 11-3，监测点位示意图见图 11-1。

表 11-2 SPECT 工作场所 X- γ 辐射剂量率监测结果

点位序号	点位描述		γ 剂量当量率 (nSv/h)	
			未运行时	运行时
★1	源库中间		—	571
★2	污物间 ^{99}Tc 废物桶表面		—	186
★3	^{131}I 自动分装仪表面 (127mCi)		—	20200
★5	^{131}I 给药室观察窗外 30cm 处		—	288
★15	运行时，内有一名注射 $^{15}\text{mCi}^{99}\text{Tc}$ 的病人	SPECT 机房医生出入门左缝外 30cm 处	163	163
★16		SPECT 机房医生出入门右缝外 30cm 处	165	226
★17		SPECT 机房医生出入门中间外 30cm 处	160	167
★18		SPECT 机房操作位	168	169
★19		SPECT 机房观察窗	167	170
★20		SPECT 机房病人出入门左缝外 30cm 处	174	184
★21		SPECT 机房病人出入门右缝外 30cm 处	171	176
★22		SPECT 机房病人出入门中间外 30cm 处	185	227
★23		病人 30cm 处	—	49000
—		注射窗口医生操作位处 (注射 $^{15}\text{mCi}^{99\text{m}}\text{Tc}$)		—
★24	病人卫生间		—	265

表 11-3 核医学科工作场所 β 表面污染监测结果

序号	测点描述	β 表面污染 (Bq/cm ²)
1	病人洗手间地面	2.3
2	ECT 室给药处台面	2.2

3	ECT 室地面	未检出
4	污物间地面	未检出

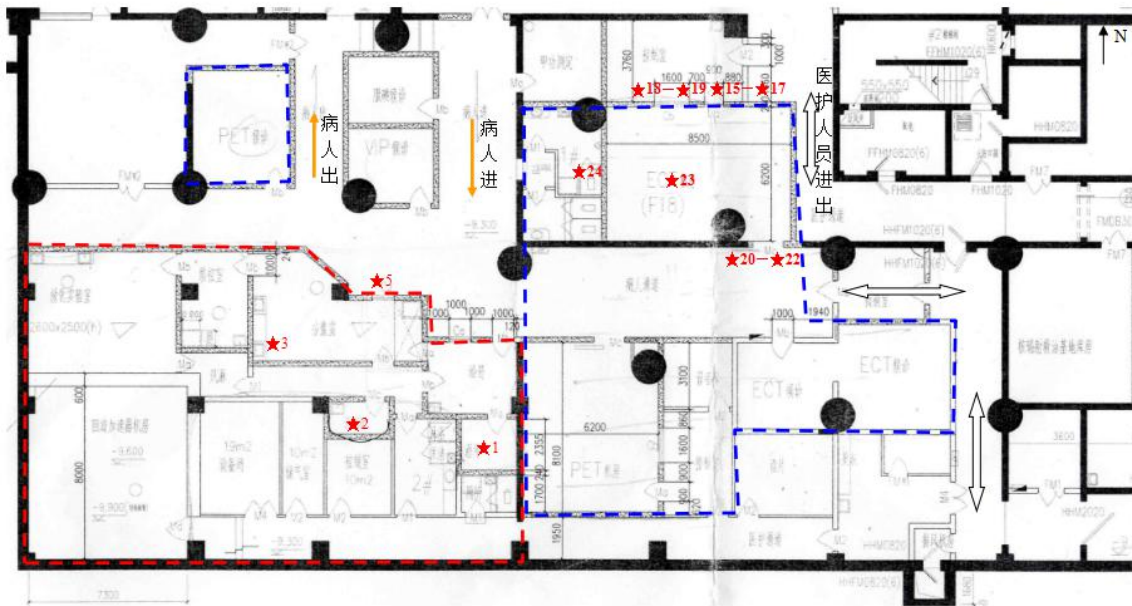


图 11-1 类比项目核医学科 SPECT 工作场所监测点位图

2) 辐射工作人员剂量估算

由表 11-2 类比监测结果可知，当机房内有正在进行扫描的病人时，SPECT 控制室操作位处的 γ 辐射剂量率与无病人诊断时水平相当，可以认为工作人员在操作位处操作时不会因为项目运行而受到额外附加辐射剂量。医护人员所受的辐射照射主要来自放射性核素的注射和近距离接触受药病人的两个环节，因此其受到的额外照射主要考虑这两个环节的辐射工作人员。

本项目 SPECT 诊疗人数及使用量： ^{99m}Tc ，每台检查 30 人次/天，5 天/周，7500 人次/年，单人最大用量为 25mCi。辐射剂量率采用类比监测和理论计算相结合的评价方法进行估算。根据公式 (11-1)， γ 辐射剂量率与 γ 照射率常数和活度成正比。现假设：a、工作人员每次注射 ^{99m}Tc 核素为 10s (γ 剂量当量率取 $23000\text{nSv/h} \times 25 \div 15$)，工作人员在扫描室病人诊断床边侍服病人上机、下机的时间 0.5min (γ 剂量当量率取 $49000\text{nSv/h} \times 25 \div 15$)；b、 ^{99m}Tc 核素的年操作量为 7500 人次。所有工作由 6 名工作人员承担（其中注射标记液由 2 名护士轮流完成，摆位操作由 2 名技师完成和 2 名医生进行诊断）。

根据监测结果和剂量估算公式 (11-2) 可以计算出每位 ^{99m}Tc 核素操作辐射工作人员接收的附加年有效剂量当量约为 0.4mSv，每位服侍病人上下机的辐射工作人员

接受的附加年有效剂量当量约为 2.56mSv。本评价项目以 5mSv 作为职业人员年剂量管理限值，相比之下，该院 SPECT 项目辐射工作人员所接受年有效剂量低于该管理限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求。

11.2.1.2 ^{131}I 治疗甲亢项目

根据诊疗流程，工作人员通过视频和语音设备远程遥控指挥在服药室内等待接受 ^{131}I 治疗甲亢的患者服药，含 ^{131}I 的放射性药品由分装装置自动分装。患者服完药后可直接离开核医学科。

^{131}I 治疗甲亢项目中，工作人员在分装、服药过程中一般并不与患者近距离接触，因此这个过程中辐射工作人员不会受到显著的辐射照射。根据表 11-2 类比监测结果可知，自动分装仪周围辐射剂量率水平较高，因此，该院核医学科从事 ^{131}I 治疗甲亢项目的辐射工作人员所受剂量主要来自装卸 ^{131}I 源罐而近距离靠近自动分装仪时受到一定照射剂量。

本项目 ^{131}I 治疗甲亢治疗人数及使用量： ^{131}I 治疗 10 人次/天，2 天/周，1000 人次/年，单人最大用量为 10mCi，辐射剂量率采用类比监测评价方法进行估算。现假设：a、工作人员每次装卸 ^{131}I 源罐时间为 2min（ γ 辐射剂量率取 20200nSv/h）；b、年操作量为 100 次，所有工作至少由 2 名工作人员承担。根据以上参数及式（11-2）可以计算出每位 ^{131}I 治疗甲亢项目操作辐射工作人员接收的附加年最大有效剂量为 0.07mSv，低于 5mSv 的职业人员年剂量管理限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

以上剂量的估算是在没有考虑医护人员在操作过程中个人防护的情况下进行的，实际上医护人员在进行操作的过程中均作铅防护服、戴铅防护眼镜及铅手套，其实际所接受到的剂量远没有估算大。

11.2.1.3 ^{89}Sr 治疗恶性骨肿瘤

一例病人治疗需用 ^{89}Sr 的量为 $1.48 \times 10^8 \text{Bq}$ （4mCi）， ^{89}Sr 的 β 射线的最大能量为：1.49MeV，按公式（11-3）计算在距其 30cm 处参考点的韧致辐射剂量率为 0.012 $\mu\text{Gy/h}$ ；根据工作流程可知，辐射工作人员受到的辐射照射来自为病人注射核素过程中产生的照射， ^{89}Sr 核素治疗 5 人次/天，2 天/周，每年病人约 500 人次，每次给药时间为 1 分钟。根据以上参数及公式（11-2），可以计算出辐射工作人员所

接受的附加年有效剂量约为 $0.1 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，低于 5mSv 的职业人员年剂量管理限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

11.2.1.4 ^{153}Sm 治疗项目

一例病人治疗需用 ^{153}Sm 的量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ （ 50mCi ）， ^{153}Sm 的 γ 照射率常数为： $0.35 \times 10^{-5} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \text{h}^{-1} / \text{MBq}$ ；按公式（11-1）计算在距其 30cm 处参考点的 γ 辐射剂量率水平为 $0.072 \mu\text{Sv/h}$ ；根据工作流程可知，辐射工作人员受到的辐射照射来自为病人提供核素治疗过程中产生的照射， ^{153}Sm 核素治疗 5 人次/天，2 次/周，每年病人约 500 人次，每次给药时间 1 分钟，根据以上参数及公式（11-2），可以计算出一名辐射工作人员所接受的附加年有效剂量约为 $0.6 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，低于 5mSv 的职业人员年剂量管理限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

11.2.2 公众成员剂量估算

根据拟建核医学科外部的布局情况，考虑周边公众的居留因子，结合类比监测结果，病人在 SPECT 机房内开机检查时，机房周围 X- γ 辐射剂量率最大为 227nSv/h ，假设本项目 SPECT 机房病人出入门南侧的室外通道有人经过，其居留因子取 $1/16$ ，使用因子取 1，年受照时间 2000h ，根据公式（11-2），可计算出该公众可能受到的额外剂量为 0.03mSv ，另外治疗类核素病人在给药后如无特殊情况即可离开，同时医院核医学科是相对封闭的区域，有严格的分区管理制度，公众成员一般不会到达控制区与监督区，因此公众成员不会在该院内受到额外的辐射照射，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众成员年剂量管理限值不超过 0.25mSv 的要求。

11.2.3 工作场所表面污染

由表 11-3 监测结果可知，类比项目机房地面和给药台、地面、洗手间等控制区地上的表面污染水平最大值为 2.3Bq/cm^2 ，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中地面控制区 $4 \times 10 \text{Bq/cm}^2$ 的限制要求。

由此可见，本项目核医学科建成投入运行后，工作场所的 β 表面污染也能符合标准的要求。

11.3 辐射屏蔽设计符合性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，核医

学工作场所依据管理的需要，可分为控制区和监督区，即 SPECT-CT 机房、分装注射室、服碘室、储源室、放射性废物暂存室、注射后候检室、甲测室、运动负荷室、病人专用卫生间、留观室、活性区域病人通道及衰变池可划为控制区；注射前等候室、护士站、诊室、卫生通过间、控制室、办公室、读片室及医护人员通道等可划为监督区。

目前该院核医学用房的设计布局见附图 6 所示。设置了专用的病人通道，有病人专用的候诊室和病人厕所，设置了专用的医生通道，其功能基本满足分区管理的要求。

另外，本项目 SPECT-CT 机房单边长度、有效使用面积和屏蔽防护设计均满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）。

11.4 事故影响分析

11.4.1 核医学科放射性同位素应用

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。医院已设有专门放放射性物品的源库，为杜绝该事故的发生，医院应加强管理，实行双人双锁。

②由于操作不慎，有少量的液态放射性药品溅洒。发生这种事故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 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。

③由于意外事故造成大量的液态放射性药品溅洒，如药剂瓶被打破，造成放射性污染事故。发生这种事故应首先保持镇静，然后用吸附衬垫盖住发生溅洒的物品，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。

④对病人的治疗剂量，医院工作人员应严格核算和控制，避免因剂量估算出错而引起的过量照射。

11.4.2 SPECT-CT 射线装置

①工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离辐照室，射线装置运行可能产

生误照射。

②安全装置发生故障状况下，人员误入正在运行的射线装置机房。

因此，医务人员必须严格按照 X 射线装置操作程序进行诊断，防止事故照射的发生，避免工作人员和公众接受不必要的辐射照射。并且，工作人员每次上班时首先要检查防护门上的灯光警示装置是否正常。如果失灵，应立即修理，恢复正常。

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

按照《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》及生态环境主管部门的要求，医院应有专门的辐射安全与环境保护管理机构，并制定健全的安全和防护管理规章制度、辐射事故应急措施。

目前医院已成立以王李华为组长的放射防护安全管理小组，并已取得《辐射安全许可证》。其许可种类和范围为：“使用 II、III 类射线装置”，有效期至 2020 年 6 月 15 日。

医院已制定的《关于调整医院放射防护安全管理组织的通知》的文件只适用于医院已开展的放射科和放疗科（见附件 9），需根据本次辐射活动规模扩大的变化情况进行补充完善。内容应包括：

①确定本单位辐射工作安全责任人，设置以行政主管领导为组长的辐射防护领导机构，并指定专人负责本项目运行时的安全和防护工作。

②辐射防护领导机构须规定各成员的职责，分工明确、职责分明。

③辐射防护领导机构应加强监督管理，切实保证医院各项规章制度的实施。

12.2 辐射安全管理规章制度

医院已制定《放射安全防护管理工作制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员个人辐射防护制度》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《患者放射安全防护制度》、《自行检查及年度检测制度》、《设备检修维护制度》、《放射事故报告制度及处理预案》等规章制度。

医院本次评价内容为核医学项目，在现有的各项规章制度的基础上项目扩建后，针对辐射活动规模扩大的变化情况，提出如下要求：

（1）补充制定新增项目适用的《操作规程》、相应的《岗位职责》。

（2）补充《放射性同位素使用登记制度》、《质量保证大纲和质量控制检测计划》、《废源处理方案》、《订购、转让、运输及退役处理制度》、《放射性废气、废液、固体废物处理方案》、《台账管理制度》、《监测方案》等规章制度。

12.3 辐射检测

12.3.1 场所检测

（一）年度检测

本项目建成后医院须定期（每年一次）请有资质的单位对辐射工作场所周围环境进行辐射环境检测，建立检测技术档案。检测数据每年年底向当地生态环境部门上报备案。

(1) 检测频度：每年常规检测一次。

(2) 检测范围：核医学科射线装置机房周围：机房屏蔽墙外、操作位、防护门及缝隙处、核素使用区域以及放射性废物库、衰变池周围。

(3) 检测项目：X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染。

(4) 检测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

(二) 自行检查

每天工作结束后核医学科工作人员利用 β 表面污染检测仪对放射性药物分装、给药等处的工作台面，通风橱操作台面、墙面、地面等区域，进行 β 表面污染检测；使用X- γ 电离巡检仪对辐射工作场所周围进行X- γ 辐射剂量率的日常检测。利用活度计对放射性药物活度每批次检测一次；每日对防护门外工作状态指示灯、机房门的闭门装置检查；安全连锁系统每月检查一次；其它防护设施定期检查。

12.3.2 辐射工作人员安全培训、个人剂量及健康检测

(1) 医院须组织本项目新进辐射工作人员参加有资质单位的辐射安全和防护知识培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗。取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次复训。不参加再培训的人员或者复训考核不合格的人员，其辐射安全培训合格证书自动失效。

(2) 医院须为本项目新进辐射工作人员配备个人剂量计，并每季度送有资质单位进行检定，建立个人剂量档案。

(3) 医院须安排本项目新进辐射工作人员进行上岗前体检，并每两年进行一次职业健康体检，离岗前也须进行职业健康体检，并建立健康档案。

12.3.3 放射性废物检测

1、放射性废水排放前检测

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检测，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废物间放置至少 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置。

12.4 辐射事故应急

医院已制定《放射事故报告制度及处理预案》，但应根据本项目特点：使用放射性同位素、III类射线装置，并结合《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条至四十五条之规定，在现有基础上补充完善本单位的应急方案（见附件 10），做好应急准备，应包括下列内容：

- （1）应急机构和职责分工。
- （2）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。
- （3）辐射事故分级与应急响应措施。
- （4）辐射事故调查、报告和处理程序。

发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的应急方案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。

生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门接到辐射事故报告后，应当立即派人赶赴现场，进行现场调查，采取有效措施，控制并消除事故影响，同时将辐射事故信息报告本级人民政府和上级人民政府生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门。

县级以上地方人民政府及其有关部门接到辐射事故报告后,应当按照事故分级报告的规定及时将辐射事故信息报告上级人民政府及其有关部门。发生特别重大辐射事故（是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上(含 3 人)急性死亡）和重大辐射事故（是指 I 类、II 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 2 人以下(含 2 人)急性死亡或者 10 人以上(含 10 人)急性重度放射病、局部器官残疾）后，事故发生地省、自治区、直辖市人民政府和国务院有关部门应当在 4 小时内报告国务院；特殊情况下，事故发生地人民政府及其有关部门可以直接向国务院报告，并同时报告上级人民政府及其有关部门。禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

- （5）生态环境、卫生、公安部门的联系部门和电话。

1) 生态环境主管部门负责辐射事故的应急响应、调查处理和定性定级工作，协助公安部门监控追缴丢失、被盗的放射源，联系电话：12345；

2) 公安部门负责丢失、被盗放射源的立案侦查和追缴，联系电话：110；

3) 卫生主管部门负责辐射事故的医疗应急，联系电话：12345。

另外，发生辐射事故的单位应当立即将可能受到辐射伤害的人员送至当地卫生主管部门指定的医院或者有条件救治辐射损伤病人的医院，进行检查和治疗，或者请求医院立即派人赶赴事故现场，采取救治措施。

表 13 从事辐射活动能力要求

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定，使用放射性同位素、射线装置的单位应具备相应的条件。对医院从事本项目内辐射活动能力的评价见表 13-1。

表 13-1 从事本项目辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
（一）使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少 1 名具有本科以上学历的计算人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院已制定放射防护安全管理组织，但应针对本次扩大项目，完善辐射安全与环境保护管理机构。
（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	医院须组织本项目新增的辐射工作人员参加有资质单位组织的上岗培训，取得合格证书后方可上岗。取得辐射安全培训合格证书后，应当每四年接受一次复训。
（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备	根据设计资料，医院核医学科已设计储源库。
（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施。	根据设计资料，本项目核医学科平面布置已满足分区管理要求，射线装置机房防护门、墙、观察窗均具有相应的屏蔽能力。医院须制定相应的操作规程，并须张贴电离辐射警示标志，安装工作状态指示灯，门外一米处须划有黄色警戒线。
（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应有表面污染仪。	本项目须配备口罩、铅围裙、铅手套、铅眼镜、个人剂量计，控制区边界出入口拟安装在线辐射监测系统，拟配备一台表面污染监测仪和一台 X- γ 电离巡检仪。
（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	已制定，须补充完善核医学科相关设备的操作规程、使用登记制度及辐射工作人员岗位职责、监测方案等。

<p>(七) 有完善的辐射事故应急措施</p>	<p>现有基础上须完善</p>
<p>(八) 产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案</p>	<p>放射性废气设置通风柜；放射性废水设衰变池；固体废物设置铅屏蔽废物桶并集中存放于废物库，均能得到合理处置。</p>
<p>(九) 使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有一名医用物理人员负责质量保证与质量控制检测工作。</p>	<p>须制定</p>

由表 13-1 可知，医院须尽快按规定要求落实各项能力要求，在满足规定要求的前提下，方能具备从事辐射活动的技术能力。

表 14 结论与建议

结论

14.1 实践正当性分析

随着社会的发展，医疗卫生事业与人们的生活息息相关。为了增强和补充医疗行业中的薄弱专科，完善医疗救治、健康管理体系，满足社会需要、提供优质的医疗服务，衢州市人民医院拟实施医用放射性同位素及射线装置应用项目，目的在于开展放射治疗工作，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。

14.2 选址合理性分析

医院位于衢州市柯城区钟楼底 2 号，其东侧为北门街路，南侧为钟楼底路，西侧为下街路，北侧为新河沿路，本次评价的核医学科项目位于医院西北侧 4 号楼，该幢楼属于医院征用地块，符合《衢州市城市总体规划》和《衢州市土地利用总体规划》，衢州市发展和改革委员会于 2017 年 12 月 4 日核发衢州市人民医院钟楼院区钢结构病房项目初步设计批复的函，文件号：衢发改审[2017]160 号；且本次评价范围 50m 区域内为无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区、学校、办公楼等其他环境敏感区，本项目建成后运行过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受，故其选址是合理可行的。

14.3 辐射环境影响评价

本项目主要污染因子为：X 射线、 γ 射线、 β 表面污染以及放射性废气、废水和固废。

(1)现状剂量率评价

由辐射环境现状检测结果可知，项目拟建址周围 γ 辐射剂量率在 121~144nGy/h 之间，与金华市（衢州市）建筑物室内 γ 辐射剂量率（62~467nGy/h）相比，符合当地天然辐射本底水平，环境现状良好。

(2)辐射环境影响预测评价

①根据类比检测结果及预测分析可知，从事辐射操作的工作人员和周围公众成员受到的额外照射均小于各自的剂量管理限值（5mSv、0.25mSv），符合《电

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

②本项目运行后,产生放射性废水经衰变池暂存 10 个半衰期后经检测达标及审管部门批准后排入医院污水处理管网,对周围环境影响较小。

③本项目运行产生的放射性固体废物按半衰期分批分类暂存于废物储存间不同的废物桶中,放射性废物按照要求集中收储 10 个半衰期后经检测达标后按一般医疗废物处理,对周围环境影响较小。

14.4 辐射环境管理制度

医院已制定《放射安全防护管理工作制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员个人辐射防护制度》、《放射工作人员职业健康管理制度》、《患者辐射安全防护制度》、《自行检查及年度检测制度》、《设备检修维护制度》、《放射事故报告制度及处理预案》等规章制度。

医院本次评价内容为核医学项目,在现有的各项规章制度的基础上项目扩建后,针对辐射活动规模扩大的变化情况,提出如下要求:

(1) 补充制定新增项目适用的《操作规程》、相应的《岗位职责》。

(2) 补充《放射性同位素使用登记制度》、《质量保证大纲和质量控制检测计划》、《废源处理方案》、《订购、转让、运输及退役处理制度》、《放射性废气、废液、固体废物处理方案》、《台账管理制度》、《监测方案》等规章制度。

14.5 安全培训

本项目建成后新进辐射工作人员均应参加有资质单位组织的上岗培训。取得合格证书后方能上岗。取得辐射安全培训合格证书后,应当每四年接受一次复训。

14.6 健康管理及个人剂量检测

(1) 本项目建成后新进辐射工作人员均须配备个人剂量计,并每 3 个月送有资质的单位检测一次,同时建立个人剂量档案。

(2) 本项目建成后新进辐射工作人员上岗前均须参加职业健康体检,并每两年进行一次岗中体检,离岗前也应进行职业健康体检,同时建立职业健康档案。

14.7 结论

衢州市人民医院医用放射性同位素及射线装置应用项目,在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境管理计划后,该医院将具备其所从事的

辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设是可行的。

建议

- (1) 本项目布局、设计、源项发生重大改变时要另行评价。
- (2) 施工阶段，辐射防护人员应对辐射防护设施的工程质量进行检查，以保证设计要求。
- (3) 医院必须向辐射安全许可证中有销售资质的单位购买医用放射性同位素。
- (4) 医院应在本项目内容投入运行后按规定开展竣工验收。