

核技术利用建设项目
医用放射性同位素及射线装置应用项目
环境影响报告表
(报批稿)

衢州市人民医院

2016年9月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

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：

通讯地址：衢州市柯城区钟楼底 2 号

邮政编码：324000 联系人：姜洪峰

电子邮箱：15657004855@163.com

联系电话：15657004855

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	5
表 3 非密封放射性物质	6
表 4 射线装置	7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	9
表 6 评价依据	10
表 7 保护目标与评价标准	13
表 8 环境质量和辐射现状	22
表 9 项目工程分析与源项	27
表 10 辐射安全与防护	37
表 11 环境影响分析	54
表 12 辐射安全管理	76
表 13 “三同时”措施及公告	81
表 14 结论与建议	84
表 15 审批	87

附图

- (1) 项目地理位置图
- (2) 医院周边环境关系图
- (3) 医院总平面布局及本项目位置图
- (4) (a) 核医学科平面布局及监测布点图
(b) 核医学科辐射分区及通道示意图
(c) 外科大楼（一）第一层楼（拟建核医学科上方）监测布点图
- (5) (a) 放射诊疗室平面布局图/剖面图
(b) 放射诊疗室辐射环境现状监测布点图

附件

- (1) 委托书
- (2) 医疗机构执业许可证
- (3) 事业单位法人证书组织机构代码证
- (4) 辐射安全许可证
- (5) ①直线加速器机房项目受理函（衢发改项函〔2016〕28号）
②医用直线加速器设备配置批复（浙卫发〔2014〕207号）
- (6) ①监测报告及设备检定证书（DQ〔2016〕检字第FS0329055号）
②监测报告及设备检定证书（GABG-HJ16380014）
- (7) 放射防护安全管理小组成立文件（衢市医发〔2013〕65号）

附表

建设项目环境保护审批登记表

表 1 项目基本情况

建设项目名称	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	陈震宏	联系人	姜洪峰	联系电话	15657004855
注册地址	衢州市柯城区钟楼底 2 号				
立项审批部门	浙江省卫生和计划生育委员会 衢州市发展和改革委员会	批准文号	浙卫发(2014)207号 衢发改项函(2016)28号		
建设项目总投资(万元)	1000	项目环保投资(万元)	379.5	投资比例(环保投资/总投资)	37.9
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)	395
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 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 type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	/			

1.1 建设单位简介

衢州市人民医院是一所三级甲等综合性医院，位于衢州市区钟楼底 2 号。医院始建于 1948 年，前身为浙江省立衢州医院。2005 年增冠衢州中心医院院名，2008 年成为浙江中医药大学附属医院，2014 年成为浙江大学衢州医院，解放军 301、307 医院的协作医院。衢州市人民医院是本地区及闽、赣、皖边界区域临床医疗、急诊救治、临床教学、临床科研和保健康复中心。

医院总占地面积 99 亩，医疗用房面积 8 万平方米。医院核定床位 800 张，设有病区 25 个，门诊医技科室 50 余个，各级专科 60 余个，行政管理部门 23 个。医院现有在岗职工 1461 人，高级职称 269 人。现已开工建设的医院西区院区项目占地 150 亩，建成后，医院拥有 3 个院区。

1.2 项目由来

衢州市人民医院根据自身优越的医疗条件，更好地发挥医院的技术力量，提高疾病治疗水平，更好地为当地病人服务，以满足当地患者的治疗服务需求，拟将外科大楼（一）（⑤号楼）地下一层仓库改造为核医学科，新增一台 SPECT-CT 装置，并新增使用放射性同位素 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 六种核素；在院区新建放射诊疗室新增一台 10MeV 直线加速器，一台模拟定位机。

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省环保厅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 2016 年 2 月 1 日正式委托核工业二三〇研究所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（报批稿）。

1.3 建设内容及规模

本项目建设内容由两部分组成：（1）拟将院区外科大楼（一）（⑤号楼）地下一层仓库改造为核医学科，并新增一台 SPECT-CT 装置，使用放射性同位素 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P ；（2）在院区新建放射诊疗室（地下两层，地上一层），新增一台 10MeV 直线加速器，一台模拟定位机。

各种核素用途、用量、操作方式、使用场所、贮存方式与地点详见表 3。

根据建设单位的委托与评价合同，本项目新建放射诊疗室用房、改造核医学科用房的土建工程、公用及配套工程等，不在本次辐射环境影响报告表评价范围内。

1.4 核技术应用的目的是任务

（1）放射性同位素

① ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 用于 SPECT-CT 显像，主要用于骨显像、心肌灌注显像、甲状腺功能测定及显像、肾上腺显像、肾动态显像、肾静态显像、肺灌注显像、唾液腺显像、肿瘤显像等；

② ^{131}I 用于甲亢治疗，也可用于甲状腺功能测定和显像；

③ ^{89}Sr 应用于趋骨性放射性药物中，通过药物所发射出的射程很短的 β 粒子对病变的集中照射，来达到止痛和破坏肿瘤的目的；

④ ^{32}P 常用于治疗血液病和肿瘤；

(2) 射线装置

①医用直线加速器：用来对肿瘤进行放射治疗；

② SPECT-CT：通过探测体内放射性药物显像进行疾病诊断；

③模拟定位机：模拟放射治疗机治疗的几何条件而定出照射部位的放射治疗辅助设备，实际上是一台特殊的 X 线机。

以上辐射工作的目的均为医疗诊断和治疗。

1.5 评价目的

(1) 对辐射活动场所周边进行辐射环境背景水平监测，以掌握辐射活动场所的辐射环境背景水平；

(2) 对拟增辐射活动进行辐射环境影响预测评价；

(3) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射环境影响减少到“可合理达到的尽量低水平”；

(4) 满足国家和地方环境保护部门对建设项目环境管理规定的要求，为本项目的辐射环境管理提供科学依据。

1.6 区域环境及保护目标

1.6.1 医院地理位置

衢州市人民医院位于衢州市柯城区钟楼底 2 号，经度：118°52' 21"，纬度 28°57' 47"，距离衢江约 550m。

地理位置见附图 1。

1.6.2 医院周边环境关系

衢州市人民医院位于衢州市柯城区钟楼底 2 号，医院东侧为北门街，西侧为下街，南侧为钟楼底，北侧为新河沿。

周边环境关系见附图 2。

1.6.3 选址合理性分析

本项目位于衢州市人民医院内，不新增土地，项目用地属于医疗卫生用地，周围无环境制约因素，项目选址合理。

1.7 核技术利用现状

医院现有医用辐射活动已取得《辐射安全许可证》（浙环辐证[H0019]（00652），有效期至 2020 年 6 月 15 日，见附件 4）。医院目前许可的种类和范围：使用 II 类和 III 类射线装置，现有已许可的射线装置明细见表 4-（四）。

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 使用	年最大用量 (Bq)	日等效操作量(Bq)	日最大用量情况 (Bq)				用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	来源
		半衰期	性状	毒性	衰变方式				日用量	单人最大用量	数量 (人/日)	操作频次					
1	^{99m} Tc	6.02h	液态	低毒	IT	使用	5.55×10^{12}	2.22×10^7	2.22×10^{10}	1.11×10^9	20	250d/a	显像	很简单的操作	SPECT-CT 机房/注射室	根据实际用量购买, 出售单位须有资质, 购买后的放射性药物连同铅罐包装放置于贮源室 (双人双锁, 铅屏蔽保险柜, 贮源室屏蔽设计见表 10.1-3)	外购
2	¹³¹ I	8.04d	液态	中毒	β-、γ	使用	3.65×10^{11}	1.46×10^8	1.35×10^9	2.69×10^8	5	250d/a	甲状腺功能测定、甲亢治疗	简单操作	SPECT-CT 机房/服碘室		
									1.11×10^8	1.11×10^8	1	250d/a	全身碘扫描	简单操作			
3	²⁰¹ Tl	3.04d	液态	低毒	EC	使用	2.77×10^{10}	1.11×10^6	1.11×10^8	1.11×10^8	1	250d/a	肿瘤显像	简单操作	SPECT-CT 机房/注射室		
4	⁶⁷ Ga	3.26d	液态	中毒	EC	使用	1.11×10^{10}	1.85×10^7	1.85×10^8	1.85×10^8	1	60d/a	肿瘤显像	简单操作			
5	⁸⁹ Sr	50.5d	液态	中毒	β-	使用	7.40×10^{10}	2.96×10^7	2.96×10^8	1.48×10^8	2	250d/a	肿瘤骨转移治疗	简单操作	注射室		
6	³² P	14.3d	胶体	中毒	β-	使用	4.44×10^9	2.22×10^7	2.22×10^8	2.22×10^8	1	20d/a	治疗	简单操作	注射室		

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	加速粒子	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	医用直线加速器	II	1	未定	电子	X 射线: 10MeV 电子线能量: 21MeV	使用	距靶 1m 处的主束辐射剂量率 H_0 取 $3.6 \times 10^8 \mu \text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	治疗	新建放射诊疗室西侧加速器房 (地下)	未许可, 未环评 设备购置批准文件: 浙卫发[2014]207 号 (附件 5)

(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	模拟定位机	III	1	未定	150	600mA	医疗诊断	新建放射诊疗室东侧 CT 室 (地下一层)	未许可, 未环评
2	SPECT-CT	III	1	未定	140	600mA	医疗诊断	核医学科 SPECT-CT 机房	未许可, 未环评

(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												

(四) 医院现有辐射装置(已许可, 辐射安全许可证编号: 浙环辐证[H0019](00652))

序号	装置名称	生产厂家	型号	数量	主要参数	使用场所	环评批复情况	环保验收情况
1	医用直线加速器	美国瓦里安	23EX	1	15MV-X 4.6.9.12.16.2 0MEV	放疗机房	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
2	DSA	荷兰飞利浦	FD20	1	150kV, 500mA	内科楼1楼	衢环辐函 [2014]8号	衢州市环境 监测站验收 合同 2015-066号
3	CT机	美国飞利浦	Brilliance 16	1	140kV, 600mA	负压病房楼 1层CT机房	衢环辐函 [2013]11号	
4	CT机	美国飞利浦	Brilliance 16	1	140kV, 600mA	②号楼二楼 已建CT机 房	衢环辐函 [2012]11号	
5	模拟定位机	荷兰核通	HQ	1	150kV, 800mA	放疗机房	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
6	DR	德国西门子	AXIOM Aristos MS	1	150kV, 600mA	综合楼2楼	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
7	DR	荷兰飞利浦	Digital Diagnost VR/S	1	150kV, 700mA	综合楼2楼	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
8	DR	荷兰飞利浦	Digital Diagnost VR/S	1	150kV, 700mA	综合楼2楼	衢环辐函 [2013]11号	衢州市环境 监测站验收 合同 2015-066号
9	乳腺X光机	美国GE	Senogra phe OMR+	1	50kV, 600mA	综合楼2楼	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
10	骨密度仪	意大利	UINIGA MMA-Pl us	1	70kV, 1.5mA	综合楼3楼	已淘汰	
11	数字胃肠机	荷兰飞利浦	OD System	1	150kV, 300mA	综合楼3楼	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
12	碎石机	深圳慧康	HK.ESW L-V	1	100kV, 200mA	门诊碎石科	衢环辐函 [2008]6号	衢州市环境 监测站验收 合同 2015-066号
13	C臂机	荷兰飞利浦	BV Libra 9	1	110kV, 30mA	内镜中心	衢环辐函 [2008]6号	
14	C臂机	荷兰飞利浦	BV Libra6	1	120kV, 60mA	病房手术室	已淘汰	
15	牙科全景机	芬兰	OP100	1	85kV, 16mA	综合楼2楼	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
16	牙片机	福建梅生	MSD-III	1	65kV, 1.5mA	门诊口腔科	衢环辐函 [2008]1号	浙环辐验 [2008]1号
17	移动X光机	日本岛津	MUX-10J	1	125kV, 100mA	院区内	衢环辐函 [2014]8号	衢州市环境 监测站验收 合同 2015-066号
18	移动X光机	日本岛津	MUX-10J	1	125kV, 100mA	院区内	衢环辐函 [2014]8号	

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	液态	含有 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 、 ^{32}P 放射性核素的废水、用药患者的排泄物和冲洗水等	总 $\beta < 10\text{Bq/L}$	一次排放量（147 天） $^{99m}\text{Tc} \approx 0$ ^{131}I : $2.38 \times 10^4 \text{ Bq}$ ^{67}Ga : $2.07 \times 10^{-6} \text{ Bq}$ ^{201}Tl : $6.62 \times 10^{-6} \text{ Bq}$ ^{32}P : $1.73 \times 10^4 \text{ Bq}$ 年排放总量（2~3 次） $^{99m}\text{Tc} \approx 0$ ^{131}I : $7.14 \times 10^4 \text{ Bq}$ ^{67}Ga : $6.21 \times 10^{-6} \text{ Bq}$ ^{201}Tl : $1.99 \times 10^{-5} \text{ Bq}$ ^{32}P : $5.19 \times 10^4 \text{ Bq}$		衰变池	符合 GB18871-2002 排放条件后，进入医院污水处理站处理后外排。
放射性固废	固态	沾有 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 放射性核素的一次性注射器、药杯、手套、擦拭废纸和棉花等	GBZ133-2009 附录 B 清洁解控水平	^{99m}Tc : $2 \times 10^6 \text{ Bq}$ ^{131}I : $6 \times 10^5 \text{ Bq}$ ^{67}Ga : $1 \times 10^5 \text{ Bq}$ ^{201}Tl : $1 \times 10^5 \text{ Bq}$ ^{89}Sr : $2 \times 10^6 \text{ Bq}$ ^{32}P : $1 \times 10^6 \text{ Bq}$ 按 0.05kg/人·日	^{99m}Tc : $2.4 \times 10^7 \text{ Bq}$ ^{131}I : $7.2 \times 10^6 \text{ Bq}$ ^{67}Ga : $1.2 \times 10^6 \text{ Bq}$ ^{201}Tl : $1.2 \times 10^6 \text{ Bq}$ ^{89}Sr : $2.4 \times 10^7 \text{ Bq}$ ^{32}P : $1.2 \times 10^7 \text{ Bq}$ 按 0.05kg/人·日	首先分类收集到具有铅屏蔽的放射性废物桶中，后送贮源室暂存衰变。	放射性废物自然衰变十个半衰期，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相关部门统一处理。
放射性固废	固态	报废的离子交换树脂和废靶	/	/	/	进行辐射监测，如超出豁免水平，则需按照放射性废物处理。	
放射性废气	气态	主要为 ^{131}I	微量	微量	微量	由专用通风柜通风管道排出，出风口应高出建筑顶部 3m 以上	排放至大气外环境中

表 6 评价依据

法 规 文 件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第九号（于 2014 年 4 月 24 日中华人民共和国第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订通过，自 2015 年 1 月 1 日起施行）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第七十七号（于 2002 年 10 月 28 日第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议修订通过，自 2003 年 9 月 1 日起施行）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第六号（于 2003 年 6 月 28 日第十届全国人民代表大会常务委员会第三次会议通过，自 2003 年 10 月 1 日起施行）；</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第 253 号令（于 1998 年 11 月 18 日国务院第 10 次常务会议通过，1998 年 11 月 29 日发布施行）；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，中华人民共和国国务院第 449 号令（于 2005 年 8 月 31 日国务院第 104 次常务会议通过，自 2005 年 12 月 1 日起施行）；</p> <p>(6) 《放射性物品运输安全管理条例》，中华人民共和国国务院第 562 号令（2009 年 9 月 7 日国务院第 80 次常务会议通过，自 2010 年 1 月 1 日起施行）；</p> <p>(7) 《放射性废物安全管理条例》中华人民共和国国务院第 612 号令（于 2011 年 11 月 30 日国务院第 183 次常务会议通过，2012 年 3 月 1 日起施行）；</p> <p>(8) 关于修改《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的决定，中华人民共和国环境保护部令第 3 号（于 2008 年 11 月 21 日环境保护部部务会议审议通过，2008 年 12 月 06 日公布施行）；</p> <p>(9) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，中华人民共和国环境保护部令第 33 号令（于 2015 年 3 月 19 日由环境保护部部务会议修订通过，自 2015 年 6 月 1 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》，中华人民共和国环境保护部令第 18 号（于 2011 年 3 月 24 日环境保护部 2011 年第一次部务会议审议通过，自 2011 年 5 月 1 日起施行）；</p> <p>(11) 《城市放射性废物管理办法》中华人民共和国环境保护部令[87]环放字</p>
------------------	---

	<p>第 239 号（自 1987 年 07 月 16 日起施行）；</p> <p>（12）《浙江省建设项目环境保护管理办法》，2011 年 10 月 25 日以浙江省人民政府令第 288 号发布，2014 年 3 月 13 日浙江省人民政府令第 321 号修正，自 2011 年 12 月 1 日起施行；</p> <p>（13）《浙江省辐射环境管理办法》，浙江省人民政府令第 289 号（浙江省人民政府第 84 次常务会议审议通过，2011 年 12 月 18 日浙江省人民政府令第 289 号公布，自 2012 年 2 月 1 日起施行）。</p>
<p style="text-align: center;">技 术 标 准</p>	<p>（1）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》，（HJ 10.1-2016），国家环境保护部；</p> <p>（2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>（3）《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>（4）《放射性废物管理规定》（GB14500-2002）；</p> <p>（5）《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）；</p> <p>（6）《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）；</p> <p>（7）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）</p> <p>（8）《电子加速器放射治疗放射防护要求》（ GBZ126-2011）；</p> <p>（9）《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）；</p> <p>（10）《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）；</p> <p>（11）《医用 X 射线诊断放射防护标准》（GBZ 130-2013）；</p> <p>（12）《 X 射线计算机断层摄影放射防护要求》（GBZ165-2012）。</p>
<p style="text-align: center;">其 他</p>	<p>（1）《委托书》，附件 1；</p> <p>（2）《医疗机构执业许可证》，附件 2；</p> <p>（3）《事业单位法人证书》、《组织机构代码证》，附件 3；</p> <p>（4）《辐射安全许可证》；附件 4；</p> <p>（5）①直线加速器机房项目受理函（衢发改项函〔2016〕28 号）</p> <p style="padding-left: 2em;">②医用直线加速器设备配置批复（浙卫发〔2014〕207 号），附件 5；</p>

- | | |
|--|--|
| | <p>(6) ①监测报告及设备检定证书 (DQ (2016) 检字第 FS0329055 号)</p> <p>②监测报告及设备检定证书 (GABG-HJ16380014), 附件 6;</p> <p>(7) 放射防护安全管理小组成立文件 (衢市医发[2013]65 号), 附件 7。</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，确定本项目的评价范围为相关辐射工作场所周围 50m 区域。

7.2 保护目标

本项目环境保护目标为医院的辐射工作人员、周围其他非辐射工作人员和公众成员。具体详见表 7.2-1。

表 7.2-1 本项目环境保护目标一览表

序号	环境保护目标		方位	最近距离	管理限值
1	加速器房	控制室、放疗准备室	东	紧邻（防护墙和迷道）	职业：5mSv
		放疗候诊区	东	3.5m	公众：0.25 mSv
		放疗室地面	上方	5.4m	
2	CT 机房（模拟定位机）	控制室	西	紧邻	职业：5mSv
		放疗候诊区	东	紧邻	公众：0.25 mSv
		放疗室地面	上方	3.4m	
3	核医学科	外科大楼一层	上方	3m	公众：0.25 mSv
		工作人员	内部	/	职业：5mSv

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）

本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源的安全。

①防护与安全的最优化

4.3.3.1 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）。

4.3.3.2 防护与安全最优化的过程，可以从直观的定性分析一直到使用辅助决策技术的定量分析，但均应以某种适当的方法将一切有关因素加以考虑，以实现下列目标：

a) 相对于主导情况确定出最优化的防护与安全措施,确定这些措施时应考虑可供利用的防护与安全选择以及照射的性质、大小和可能性;

b) 根据最优化的结果制定相应的准则,据以采取预防事故和减轻事故后果的措施,从而限制照射的大小及受照的可能性。

②剂量限值

4.3.2.1 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 职业照射

B1.1.1 剂量限值

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制,使之不超过下述限值:

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

本项目取其四分之一即 5mSv 作为管理限值。

B1.2 公众照射

B1.2.1 剂量限值

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值:

a)年有效剂量, 1mSv;

本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为管理限值。

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 表面污染控制水平

B2.1 工作场所的表面污染控制水平如表 7.3-1 所列。

表 7.3-1 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) 该区内的低污染子区除外。		

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。C1 应按表 7.3-2 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 7.3-2 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 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。

(2) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)

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

7.2.4 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漏能力。

7.3.3 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) 《城市放射性废物管理办法》

第五条 含人工放射性核素、比活度大于 $2 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ ，或含天然放射性核素、比活度大于 $7.4 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ 的污染物，应做为放射性废物看待。小于此水平的放射性污染物应妥善处置。

(4) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)

12.2.3.1 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。

12.2.3.2 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。

(5) 《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)

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

(6) 《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009)

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、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（以下简称放射性废物）的管理。

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，应有防渗漏措施。

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。

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

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换则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 固体废物的管理

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与不可燃、可压实与不可压实、有无病原体毒性，分开收集废物。

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。

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柜内进行。

(7) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)

表 7.3-3 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
1	总 α / (Bq/L)	1	1
2	总 β (Bq/L)	10	10

(8) 《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。

(9) 《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)；

(10) 《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（Hc）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：Hc≤100μSv/周；

2) 放射治疗机房外非控制区的人员：Hc≤5μSv/周。

(11) 《医用 X 射线诊断放射防护标准》(GBZ 130-2013)

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 7.3-4 要求。

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 7.3-5 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 2.5μGy/h 时，

可不使用带有屏蔽防护的机房。

表 7.3-4 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。

表 7.3-5 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（其检测方法及检测条件按 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 2.5μSv/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 2.5μSv/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。

(12) 《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ165-2012)

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 30m^2 ，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 $5\mu\text{Sv}$ ），距机房外表面 0.3m 处空气比释动能率应 $< 2.5\mu\text{Gy/h}$ 。

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 机房应保持良好的通风。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

衢州市人民医院位于衢州市柯城区钟楼底 2 号，经度：118°52′21"，纬度 28°57′47"，距离衢江约 550m，医院东侧为北门街，西侧为下街，南侧为钟楼底，北侧为新河沿。地理位置见附图 1。

衢州市人民医院目前共 7 栋主建筑，分别为：南侧①号楼（门诊/急诊大楼），西侧②号楼（综合楼），北侧③号楼（内科大楼（一））、⑤号楼（外科大楼（一））、⑦号楼（锅炉房）、⑧号楼（内科大楼（二）），东侧⑥号楼（外科大楼（二））。

本项目新建放射诊疗室（地下两层，地上一层）位于⑧号楼北侧空地，⑤号楼地下一层仓库改造为核医学科。

医院总平面布局及本项目位置见附图 3。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

一、环境现状评价对象

放射诊疗室（新建）、核医学科（仓库改造）、外科大楼（一）第一层楼（拟建核医学科上方）辐射环境现状评价。

二、监测因子

X- γ 空气吸收剂量率

三、监测点位

表 8.2-1 辐射环境现状监测布点一览表

监测点编号	监测点位	备注
一	拟建放射诊疗室	附图 5 (b)
△1#	拟建放射诊疗室北侧	
△2#	拟建放射诊疗室东侧	
△3#	拟建放射诊疗室西侧	
△4#	拟建放射诊疗室南侧	
二	核医学科（改造）	附图 4 (a)
△1#	核医学科入口（改造后）	
△2#	病人候诊处（改造后）	
△3#	贮源室（改造后）	
△4#	分装室（改造后）	
△5#	SPECT-CT 候诊室（改造后）	

△6#	SPECT-CT 扫描室（改造后）	附图 4（c）
△7#	核医学科出口（改造后）	
三	外科大楼（一）第一层楼（拟建核医学科上方）	
△1#	核医学科入口上方	
△2#	病人候诊处上方	
△3#	贮源室上方	
△4#	分装室上方	
△5#	SPECT-CT 候诊室上方	
△6#	SPECT-CT 扫描室上方	
△7#	核医学科出口上方	

8.3 监测方案和结果、质量保证措施

一、监测方案

（一）放射诊疗室（新建）、核医学科（仓库改造）

1、监测单位：浙江鼎清环境检测技术有限公司

2、监测日期：2016 年 3 月 3 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》

HJ/T 61-2001 《辐射环境监测技术规范》

GB 18871-2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》

5、监测频次：依据 GB/T14583-93 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：25 ℃； 相对湿度：48%。

8、监测报告：DQ（2016）检字第 FS0329055 号（附件 6）

9、监测设备：多功能手持式核素识别仪，仪器型号：HDS-101G。

表 8.3-1 多功能手持式核素识别仪参数

仪器型号	HDS-101G
生产厂家	法国 MGPI
仪器编号	SG2012-XJ09
能量范围	30keV~3MeV

量 程	10nSv/h~100 μ Sv/h (137Cs)
内置多道	512 道
检定单位	上海剂量测试技术研究院华东国家剂量测试中心
检定证书	2015H21-20-003051
检定有效期	2015 年 8 月 20 日~2016 年 8 月 19 日

(二) 外科大楼 (一) 第一层楼 (拟建核医学科上方)

- 1、监测单位：浙江建安检测研究院有限公司
- 2、监测日期：2016 年 8 月 5 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》
- 5、监测频次：依据 GB/T14583-93 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：36 ℃； 相对湿度：39%。
- 8、监测报告：GABG-HJ16380014 (附件 6)
- 9、监测设备：XH-2020 型环境级 X、γ 剂量仪

表 8.3-2 XH-2020 型环境级 X、γ 剂量仪参数

仪器型号	XH-2020 型环境级 X、γ 剂量仪
生产厂家	西安西核彩桥实业科技有限公司
仪器编号	05032997
能量范围	35keV~3MeV
量 程	0.001~1500 μ Sv/h
检定单位	中国计量科学研究院
检定证书	DYj12016-1126
检定有效期	2016 年 3 月 7 日~2017 年 3 月 6 日

二、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。

三、监测结果

表 8.3-2 辐射环境现状监测结果一览表

监测点编号	监测点位	辐射剂量率 (μSv/h)	
		平均值	标准差
一	拟建放射诊疗室	平均值	标准差
△1#	拟建放射诊疗室北侧	0.11	0.01
△2#	拟建放射诊疗室东侧	0.11	0.01
△3#	拟建放射诊疗室西侧	0.12	0.01
△4#	拟建放射诊疗室南侧	0.12	0.01
二	核医学科 (改造)	平均值	标准差
△1#	核医学科入口 (改造后)	0.15	0.01
△2#	病人候诊处 (改造后)	0.14	0.01
△3#	贮源室 (改造后)	0.15	0.01
△4#	分装室 (改造后)	0.14	0.01
△5#	SPECT-CT 候诊室 (改造后)	0.14	0.01
△6#	SPECT-CT 扫描室 (改造后)	0.15	0.01
△7#	核医学科出口 (改造后)	0.15	0.01
三	外科大楼 (一) 第一层楼 (拟建核医学科上方)	检测结果 (μSv/h)	
△1#	核医学科入口上方	0.117~0.177	
△2#	病人候诊处上方	0.104~0.188	
△3#	贮源室上方	0.091~0.161	
△4#	分装室上方	0.083~0.138	
△5#	SPECT-CT 候诊室上方	0.110~0.189	
△6#	SPECT-CT 扫描室上方	0.074~0.172	
△7#	核医学科出口上方	0.119~0.171	

8.4 环境现状调查结果的评价

由表 8.3-2 的监测结果可知：拟建放射诊疗室、核医学科（仓库改造）、外科大楼（一）第一层楼（拟建核医学科上方）周边环境的 γ 辐射剂量率本底值在 0.074~0.189 $\mu\text{Sv/h}$ 间。根据《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查报告》，金华（含衢州市）室内 γ 辐射剂量率在 94~499nGy/h 之间，可见，本项目拟建放射诊疗室、核医学科（仓库改造）、外科大楼（一）第一层楼（拟建核医学科上方）周边环境的 γ 辐射剂量率处于一般本底水平，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 放射性同位素

本项目放射性同位素辐射工作场所具体包括：核医学科 SPECT-CT 机房、分装（注射）室、服碘室、甲功测定室、贮源室、核医学科候诊室。

SPECT-CT 是核医学对病人体内发射的 γ 射线成像，是根据放射性核素在体内的分布状态并还原成图像，反映器官的生理和功能，来达到诊断疾病的目的。

（一）诊断用放射药物（SPECT-CT）

（1）工作原理

SPECT-CT 是单光子发射计算机断层成像技术的英文缩写（Single-Photon Emission Computed Tomography），是一种进行功能代谢显像的分子影像学设备。

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。

SPECT-CT 工作原理是利用仪器探测人体内同位素的动态分布而成像，特点是可做功能、代谢方面的影像观察。利用 SPECT-CT 不仅能显示二维平面图像，还能给出脏器的断层图像。它实际上就是一个探头可以围绕病人某一脏器进行 360° 旋转的 γ 相机，在旋转时每隔一定角度（ 3° 或 6° ）采集一帧图片，然后经电子计算机自动处理，将图像叠加，并重建为该脏器的横断面、冠状面、矢状面或任何需要的不同方位的断层和切面图像，利用专用的核医学应用软件，对断层图像和数据做进一步的分析处理，为核医学医生提供更多更精确的信息和定量分析的数据，从而极大地提高了诊断的灵敏度和正确性。

衢州市人民医院新建核医学科拟配置 1 台 SPECT-CT，拟使用放射性核素 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 进行诊断，拟开展的项目包括骨显像、心肌灌注显像、甲状腺功能测定及显像、肾上腺显像、肾动态显像、肾静态显像、肺灌注显像、唾液腺显像、肿瘤显像等。

(2) 工作流程及产污环节分析

SPECT-CT 诊断工作流程及产污环节见图 9.1-1。

- 1、医护人员给病人注射放射性药物 (^{99m}Tc 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl) 或指导服用放射性药物 (^{131}I);
- 2、病人在候诊室内静坐规定的时间, 待药物代谢至靶器官;
- 3、病人进入 SPECT-CT 机房, 躺在扫描床上, 接受 SPECT-CT 扫描检查;
- 4、得到最终的 SPECT-CT 扫描图像。

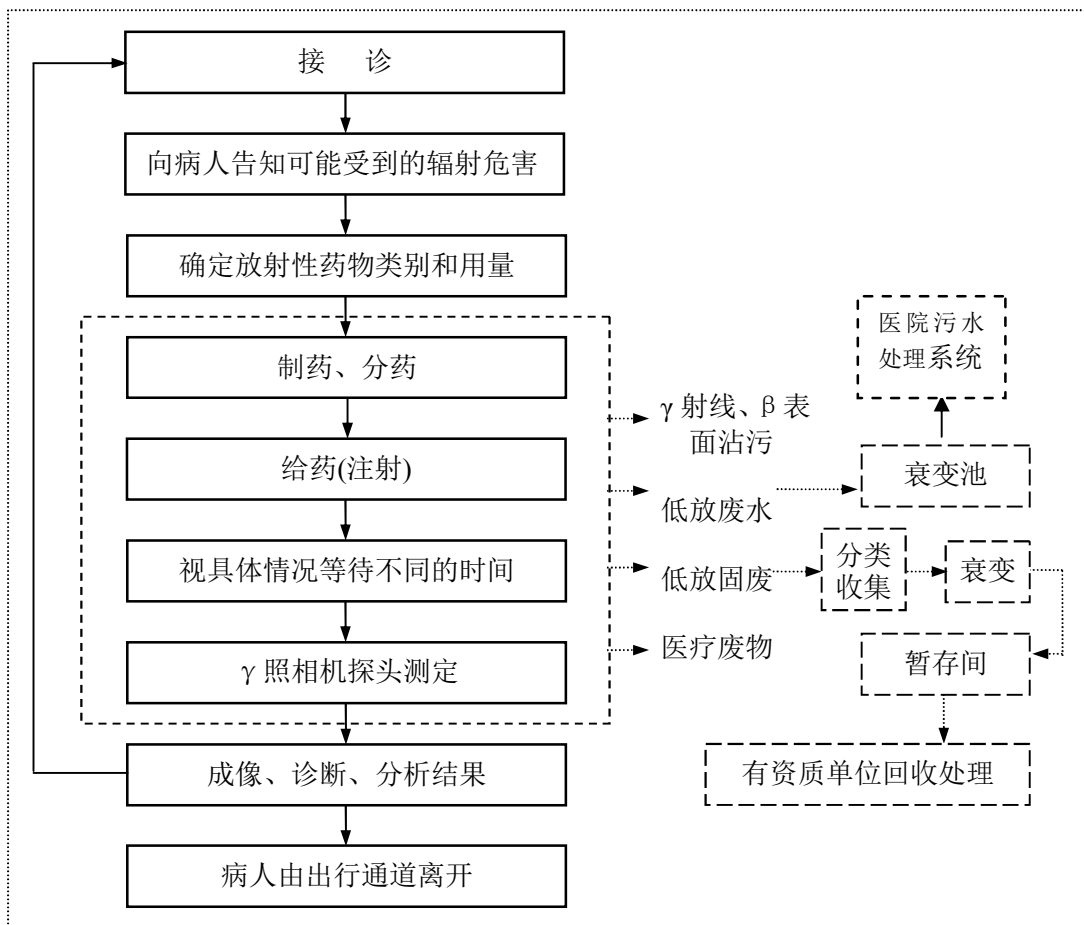


图 9.1-1 SPECT-CT 诊断工作流程及产污环节

(二) 治疗用放射药物

1、 ^{131}I

^{131}I 主要用于治疗甲状腺功能亢进症。

(1) 治疗原理

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。

(2) 治疗流程

医生对甲亢患者进行检查，根据病情确定服药剂量，与患者预约，根据患者数量订购 ^{131}I 药物。医生利用自动分装仪进行药物稀释和分装（远程遥控操作），指导患者口服。

根据 GBZ120-2006， ^{131}I 门诊给药量不超过 400MBq 的，无需住院。本项目单次口服剂量小于 GBZ120 要求的 400MBq 住院剂量，病人可以在口服 ^{131}I 药物后直接出院。

2、 ^{89}Sr 治疗

(1) 治疗原理

几乎所有恶性肿瘤都可能发生骨转移，静脉注射趋骨性放射性药 $^{89}\text{SrCl}_2$ ，通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素或其标记物所发射出的射程很短的 β 粒子，对病变进行集中照射，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，其有效射程很短，因而邻近正常组织和全身辐射吸收剂量很低，从而达到止痛和破坏肿瘤的目的。

^{89}Sr 发射纯 β 射线， β 粒子的平均能量为 0.58MeV，最大能量达 1.49MeV，在组织内的辐射距离约 2.4mm，半衰期为 50.5 天。在病灶骨中的浓聚能保持很长时间。在转移灶的摄取高于正常骨 2-25 倍，这样，对病灶骨就有足够的照射剂量，而对病灶骨以外、周围的正常组织照射很少，不致引起不可逆的骨髓损伤。

(2) 治疗流程

医生对患者进行检查，根据病情确定注射剂量，与患者预约，根据患者数量订购 ^{89}Sr 注射药物，在注射台对患者进行注射治疗，患者在原地短暂观察后，如无异常情况，患者可离开医院。

3、 ^{32}P

^{32}P 为反应堆产生的放射性核素，衰变时放出 β 射线，为纯 β 衰变，其最大能量为 1.7MeV，平均能量为 0.69MeV，组织内最大射程 8mm，平均射程 4mm。 β 射线容易被物质阻挡，治疗时， β 射线可全部被患者的机体吸收，因此，对外界影响可忽略不计。

9.1.2 医用直线加速器

衢州市人民医院拟在新建放射诊疗室加速器房配置 1 台医用直线加速器，用于肿瘤放射治疗。该直线加速器 X 线最高能量 10MV，属 II 类射线装置。

9.1.2.1 基本情况

1、项目组成

电子加速器项目主要由加速器机房、控制室、放疗准备、候诊区等组成。电子加速器机房则由加速器房、防护墙、迷道和防护门组成。

电子加速器机房所在楼（放射诊疗室）为三层建筑，地下两层，地上一层。医用电子加速器机房位于放射诊疗室西侧地下。

2、设备参数

根据医院提供的资料，医用电子加速器的主要参数见表 9.1-2。

表 9.1-2 医用电子加速器的主要参数表

参数名称	参数值
能量	X 射线能量：6、10MeV 电子线能量：6~21MeV
X 射线泄漏率	≤0.1%
源轴距 SAD	1m
距靶 1m 处剂量率	X 射线最大剂量率：600cGy/min
最大照射野大小	40cm*40cm
机架旋转角度	±180°

9.1.2.2 工作原理及流程

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 9.1-3，典型医用直线加速器内部结构见图 9.1-4。医用直线加速器的作业流程及产污环节示意图见 9.1-5。

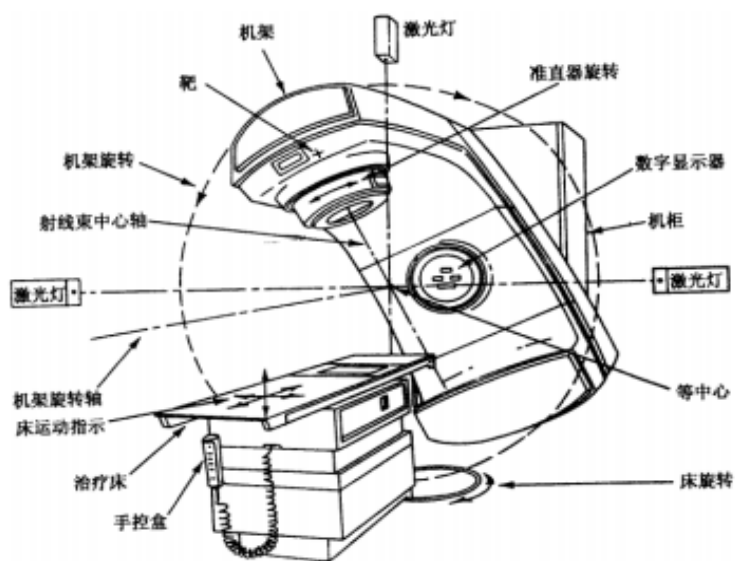


图 9.1-3 医用直线加速器结构示意图

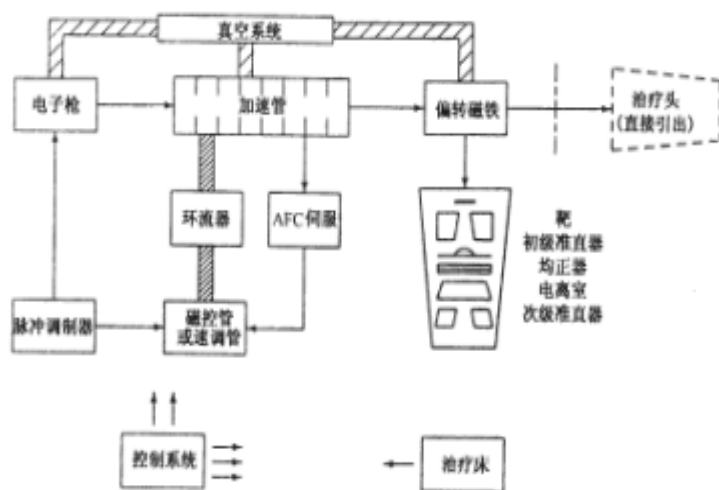


图 9.1-4 典型医用直线加速器内部结构图

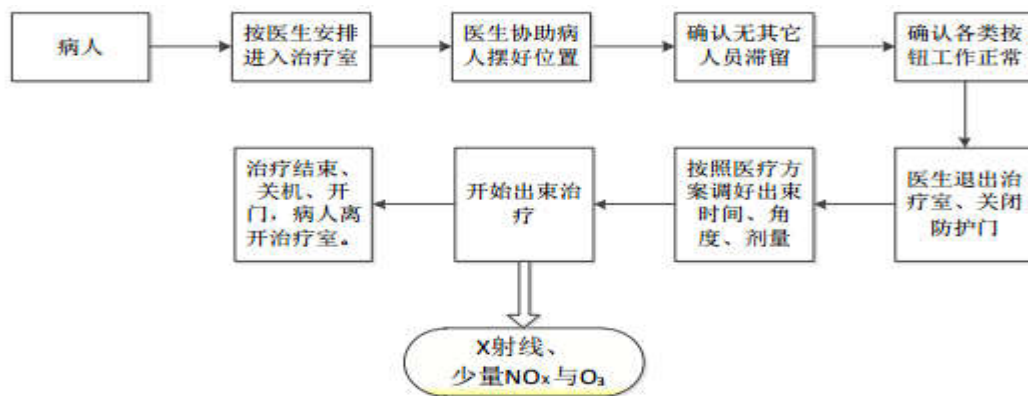


图 9.1-5 医用直线加速器的作业流程及产污环节示意图

9.1.3 模拟定位机、SPECT-CT

本项目拟在放射诊疗室东侧地下一层的 CT 室新增一台模拟定位机，模拟定位机 X 射线能量为 150kV。模拟定位机是模拟放射治疗机（医用直线加速器）治疗的几何条件而定出照射部位的放射治疗辅助设备，实际上是一台特殊的 X 线机。当病人被诊断患有肿瘤并决定施行放射治疗时，在放射治疗前要制定周密的放疗计划，然后在定位机上定出要照射的部位，并做好标记后才能到医用加速器执行放疗。

本项目拟在核医学科新增一台 SPECT-CT。新一代 SPECT-CT 扫描仪带有 CT 定位系统，定位时发射 X 射线能量为 140kV。

9.1.3.1 工作原理

X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中的阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，而聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管基本结构如图 9.1-6 所示。

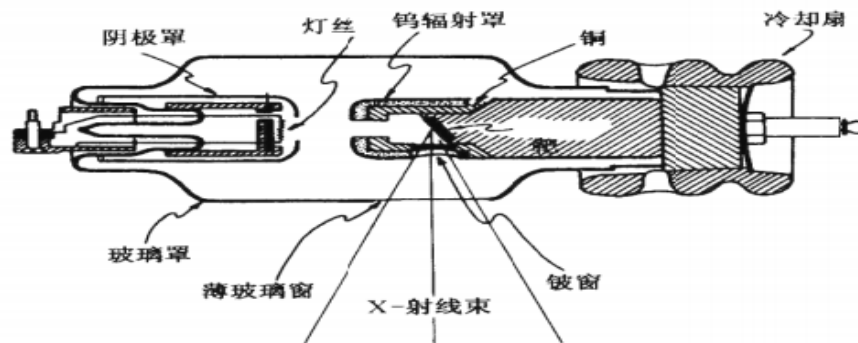


图 9.1-6 X 射线管基本结构图

9.1.3.2 工作流程及产污环节分析

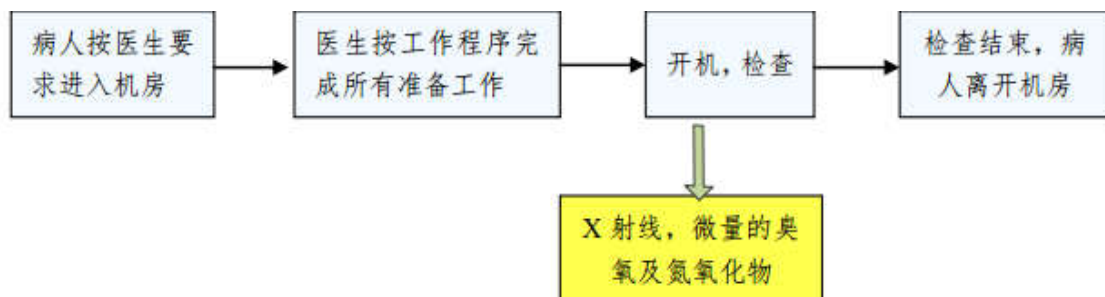


图 9.1-7 X 射线诊断装置工作流程及产污环境分析

9.2 污染源项描述

9.2.1 放射性同位素

9.2.1.1 污染因子分析

1、 ^{131}I

由于 ^{131}I 发生 β 衰变时伴随发射 0.364MeV 的 γ 射线。因此， γ 射线是该项目的主要污染因子。另外，还有 β 表面污染、废水和固体废弃物中的 ^{131}I 。

(1) ^{131}I 药物操作过程中产生的沾有 ^{131}I 放射性核素的药杯、手套、擦拭废纸和棉花等。对操作台面、地面可能造成的 β 表面污染；

(2) ^{131}I 药物使用过程中产生的沾有 ^{131}I 放射性核素的医疗器械、器皿的洗涤用水、辐射工作人员的洗涤用水，病人的排泄物及其冲洗水等；

(3) ^{131}I 药物操作过程中产生的微量放射性废气。

2、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 原子核在退激或跃迁过程中会发射出 γ 射线，对工作场所及周围环境产生一定的外照射影响。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 产生的放射性污染物主要为：

(1) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物操作过程中产生的沾有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素的一次性注射器、手套、擦拭废纸和棉花等；

(2) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物使用过程中产生的沾有 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性核素的医疗器械、器皿的洗涤用水、辐射工作人员的洗涤用水以及注射药物病人的排泄物及其冲洗水等。

3、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl

^{67}Ga 、 ^{201}Tl 对工作环境造成的影响主要是注射过程中对操作台面、地面可能造成的 β 表面污染。 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 治疗过程中放射性废水主要是清洗废水及病人排泄物；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。

由于 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 进入体内后主要发射 γ 射线， γ 射线是该项目的主要污染因子。另外，还有 β 表面污染、废水和固体废弃物中的 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 。

4、 ^{89}Sr

^{89}Sr 是纯 β 射线体，不伴 γ 射线，其发射的 β 射线能量较高，在骨组织内的射程为

3mm。用于治疗⁸⁹SrCl₂是直接进行静脉注射，每份用于治疗放射性液体由供应商事先分装，预约病人后发货，治疗时不需再分装，可门诊治疗。

⁸⁹Sr 治疗对工作环境造成的影响主要是注射过程中对操作台面、地面可能造成的β表面污染。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。

5、³²P

³²P 为反应堆产生的放射性核素，衰变时放出β射线，为纯β衰变，其最大能量为1.7MeV，平均能量为0.69MeV，组织内最大射程8mm，平均射程4mm。β射线容易被物质阻挡，治疗时，β射线可全部被患者的机体吸收，因此，对外界影响可忽略不计。

另外，医生在对带有³²P放射性核素制剂的操作中，不可避免地会引起工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套等放射性沾污，造成β放射性表面污染。放射性废水主要为清洗废水及病人排泄物。医生在给病人注射时，会产生固体废弃物（如试管、注射器、手套等）。

因此，³²P治疗的污染因子有β表面污染、废水和固体废弃物中的³²P核素。

本项目核素中，仅有¹³¹I为挥发性核素，使用自动分装仪进行稀释和分装（遥控操作）。偏安全考虑，所有放射性药物操作均在负压通风柜内进行，产生的气体经排气口外排，不存在食入、吸入等内照射影响。综上所述，该项目的污染因子有γ射线、β表面污染、废液、废水和固体废弃物中的^{99m}Tc、¹³¹I、²⁰¹Tl、⁶⁷Ga、⁸⁹Sr、³²P核素。

本项目放射性同位素污染因子分析见表9.2-1。

表 9.2-3 本项目放射性同位素污染因子分析表

核素	污染因子				
	固废	废水	废气	β表面污染	γ射线辐射
^{99m} Tc	一次性注射器、药杯、手套、擦拭废纸和棉花等	沾有放射性核素的医疗器械、器皿的洗涤用水、辐射工作人员的洗涤用水以及注射药物病人的排泄物及其冲洗水	不挥发，极微量。	无	有
⁶⁷ Ga				有(负压通风柜)	对操作台
²⁰¹ Tl			面、地面、		有
¹³¹ I			墙壁、工作服、手套等		有
⁸⁹ Sr			可能造成的β表面污染	不挥发，极微量。	无
³² P				无	

9.2.2 医用直线加速器污染因子分析

1、X 射线外照射

加速器以 X 射线模式运行时，从加速器电子枪里发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线。发射出来的 X 射线主要用于治疗，治疗剂量与剂量率的大小、加速器电子能量、受照射的靶体材料、电子束流强度、电子入射方向、考察点到源的距离等因素有关。

本项目拟新增的加速器 X 射线最大能量为 10MV，由于 X 射线的贯穿能力强，将对工作人员、公众及周围环境造成辐射污染。

2、电子束

当加速器按电子束模式运行时，从电子枪里发出来的电子束经加速管加速后直接从加速管引出用于治疗病人。产生的电子属初级辐射，贯穿物质时受物质库仑场的影响，贯穿深度有限。

加速器在运行时产生的高能电子束，因其贯穿能力远弱于 X 射线，在 X 射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。因此，在加速器电子束治疗时间时，电子束对周围环境辐射影响小于 X 射线治疗。

3、有害气体

在加速器开机运行时，产生的 X 射线与空气作用可产生少量臭氧（O₃）和氮氧化物，它们是具有刺激性作用的非放射性有害气体，对有害气体的防护主要通过通风换气进行。通风次数应达到不小于每小时 4 次，满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的要求。

4、放射性固体废物

加速器应用去离子水对加速管等部件进行水冷却，水循环中使用离子交换树脂，用于吸附因冷却水受到加速粒子的轰击而产生的放射性粒子，长期作用后，交换树脂要进行更换，这些更换下来报废的离子交换树脂含有放射性核素。

另外，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，更多的是长半衰期的核素，因而应妥善处理，应保存在具有屏蔽的贮存区域或贮存容器内。对报废的离子交换树脂和废靶应进行辐射监测，如超出豁免水平，则需按照放射性废物处理。

新增医用直线加速器的评价因子主要为 X 射线。

9.2.3 模拟定位机、SPECT-CT 污染因子分析

本项目新增模拟定位机、SPECT-CT 在非开机状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线为主要评价因子。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 项目地理位置、周边环境及选址合理性分析

衢州市人民医院位于衢州市柯城区钟楼底 2 号, 经度: 118°52' 21", 纬度 28°57' 47", 距离衢江约 550m, 地理位置见附图 1。医院东侧为北门街, 西侧为下街, 南侧为钟楼底, 北侧为新河沿。周边环境关系见附图 2。

本项目位于衢州市人民医院内, 不新增土地, 项目用地属于医疗卫生用地, 周围无环境制约因素, 项目选址合理。

10.1.2 医院总平面布局

衢州市人民医院目前共 7 栋主建筑, 分别为: 南侧①号楼 (门诊/急诊大楼), 西侧②号楼 (综合楼), 北侧③号楼 (内科大楼 (一))、⑤号楼 (外科大楼 (一))、⑦号楼 (锅炉房)、⑧号楼 (内科大楼 (二)), 东侧⑥号楼 (外科大楼 (二))。

本项目新建放射诊疗室 (地下两层, 地上一层) 位于⑧号楼北侧空地, ⑤号楼地下一层仓库改造为核医学科。

本项目辐射装置的评价范围内, 均位于医院内部, 医院总平面布局及本项目位置见附图 3。

10.1.3 辐射工作场所布局

本项目辐射工作场所由两部分组成: 新建的放射诊疗室、核医学科 (仓库改造), 具体如下:

(1) 辐射工作场所 1: ⑤号楼地下一层仓库改造的核医学科 (独立区域); 乙级非密封放射性工作场所 (核素共 6 种: ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P); 1 台 (套) SPECT-CT。

具体包括: SPECT-CT 机房、分装 (注射) 室、服碘室、甲功测定、贮源室、候诊室、留观室等。

(2) 辐射工作场所 2: ⑧号楼北侧新建放射诊疗室, 包括加速器房 (西侧地下), 1 台 (套) II 类射线装置 (医用直线加速器); CT 室 (东侧地下一层), 1 台 (套) III 类射线装置 (模拟定位机)。

本次环评辐射工作场所位置具体如下：

附图 4（a）核医学科平面布局及监测布点图

附图 4（b）核医学科辐射分区及通道示意图

附图 5（a）放射诊疗室平面布局图/剖面图

本次环评辐射工作场所位置及四周布局见表 10.1-1。

表 10.1-1 辐射工作场所位置及四周布局一览表

序号	辐射场所	位置	东	南	西	北	上	下
1	甲功测定室	核医学科	服碘室	贮源室	医师办公室	病人通道（走廊）	外科大楼 一层	土层
2	贮源室	核医学科	卫生通过间	医生通道（走廊）	医师办公室	甲功测定室		
3	服碘室	核医学科	分装（注射）室	卫生通过间	贮源室	病人通道（走廊）		
4	分装（注射）室	核医学科	SPECT-CT 控制室	医生通道（走廊）	服碘室、卫生通过间	病人通道（走廊）		
5	SPECT-CT 扫描室	核医学科	留观室	墙体与土层	SPECT-CT 控制室	病人通道（走廊）		
6	留观室	核医学科	污物贮存室	墙体与土层	SPECT-CT 扫描室	病人通道（走廊）		
7	VIP 候诊室	核医学科	无	病人通道（走廊）	病厕	墙体与土层		
8	SPECT-CT 候诊室	核医学科	病厕	病人通道（走廊）	甲亢候诊室	墙体与土层		
9	甲亢候诊室	核医学科	SPECT-CT 候诊室	病人通道（走廊）	护士站	墙体与土层		
10	加速器房	放射诊疗室西侧地下	控制室、放疗准备室	墙体与土层	墙体与土层	墙体与土层	防护墙+空地	土层
11	模拟定位机	放射诊疗室地下一层东侧	墙体与土层	墙体与土层	控制室	墙体与土层	空地	土层

10.1.4 辐射工作场所布局合理性分析

10.1.4.1 核医学科

衢州市人民医院核医学科项目拟布置在外科大楼（⑤号楼）地下一层，对原仓库进行改造。核医学工作场所设置有服碘室、甲功测定室、贮源室、分装（注射）室、SPECT-CT 扫描室和控制室、卫生通过间、候诊室、留观室、护士站、医师办公室等。并按功能及放射性操作水平划分为控制区和监督区，实施分区管理，核医学科工作场所设计布局图见附图 4。

为了避免给药前、后病人在场内交叉接触受到不必要照射，病人出、入通道亦予以分隔，并在出、入口处设置单向通行的门禁装置，病人只能从西端入口通过中央走廊进入，必须由东端出口离开（附图 4（b）红色病人通道）。工作人员从西端进入再转经南侧走廊进入扫描控制室，或经卫生通过间进入分装注射、分碘等场所（附图 4（b）蓝色医生通道）。该核医学工作场所布局分别设计有病人进出路线、医务人员进出路线，可有效避免带有放射性的病人对其它人员造成不必要照射，通道设计合理可行。

为便于辐射防护管理和职业照射控制，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，该核医学工作场所设控制区和监督区两个区域，控制区主要包括服碘室、甲功测定室、贮源室、分装（注射）室、SPECT-CT 扫描室、候诊室、中央走廊等（附图 4（b）紫色区域），监督区主要包括护士站、医师办公室、卫生通过间、南部走廊、SPECT-CT 控制室（附图 4（b）粉色区域）等。核医学工作场所控制区和监督区划分明显，布局合理，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）第 6.4 款中有关辐射工作场所的分区规定。

◆ 非密封放射性物质工作场所分级

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。计算得到的各核素的日等效操作量及分级结果见表 10.1-2。

根据表 10.1-2 可知，核医学科应按照乙级工作场所进行管理。对照《临床核医学卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于“按不同级别工作场所室内表面和装备的要求”（见表 10.1-3）。核医学科的地面、墙面要求光滑、平整、易于清洗的装修，药物分装（注射）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 10.1-2 非密封源工作场所的分级

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)	工作场所的分级
1	^{99m} Tc	2.22×10 ¹⁰	0.01 (低毒)	10 (很简单的操作)	2.22×10 ⁷	最大日等效操作量合计: 2.40×10 ⁸ Bq, 乙级
2	¹³¹ I (甲亢)	1.35×10 ⁹	0.1 (中毒)	1 (简单操作)	1.46×10 ⁸	
	¹³¹ I (全身扫描)	1.11×10 ⁸				
3	²⁰¹ Tl	1.11×10 ⁸	0.01 (低毒)	1 (简单操作)	1.11×10 ⁶	
4	⁶⁷ Ga	1.85×10 ⁸	0.1 (中毒)	1 (简单操作)	1.85×10 ⁷	
5	⁸⁹ Sr	2.96×10 ⁸	0.1 (中毒)	1 (简单操作)	2.96×10 ⁷	
6	³² P	2.22×10 ⁸	0.1 (中毒)	1 (简单操作)	2.22×10 ⁷	

表 10.1-3 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
II 类 (核医学科)	易清洗 且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要

10.1.4.2 医用直线加速器

衢州市人民医院拟在新建放射诊疗室加速器房配置 1 台医用直线加速器 (型号未定), 用于肿瘤放射治疗。该直线加速器 X 线最高能量 10MV, 属 II 类射线装置。

电子加速器项目主要由加速器机房、控制室、放疗准备、候诊区等组成。电子加速器机房 (治疗室) 则由加速器房、防护墙、迷道和防护门组成。医用直线加速器用房平面布局见附图 5 (a)。

电子加速器机房所在楼 (放射诊疗室) 为三层建筑, 地下两层, 地上一层。医用电子加速器机房位于放射诊疗室西侧地下。加速器机房 (治疗室) 与控制室分离, 机房 (治疗室) 内净面积约 57.6m² (不含迷道); 机房 (治疗室) 设置直迷路, 迷路口设有防护门; 有用线束不向迷路照射, 仅向南墙、北墙、地面及屋顶照射。该加速器机房布局符

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，布局基本合理。

本项目将直线加速器机房（治疗室）作为辐射防护控制区，控制区见附图 5（a）红色框，在治疗室入口处设置电离辐射警告标志及中文警示说明等；将控制室和放疗准备室作为辐射防护监督区，任何无关人员不得进入，监督区见图附图 5（a）蓝色框。本项目医用电子直线加速器用房辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

10.1.4.3 其他射线装置

医院拟在新建的放射诊疗室—CT 室（东侧地下一层），新增 1 台（套）III类射线装置（模拟定位机），核医学科新增 1 台 SPECT-CT，均属于 III 类射线装置。射线装置技术参数见表 4。模拟定位机工作场所布局见附图 5（a），SPECT-CT 工作场所布局见附图 4。

放射诊疗室—CT 室设计尺寸：7600mm×6000mm，设计面积：45.6m²；SPECT-CT 机房设计尺寸：6860mm×6400mm，设计面积：43.9 m²。模拟定位机和 SPECT-CT 机房的设计边长与面积均符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）“CT 机房内最小单边长度不小于 4.5m，CT 机房最小有效使用面积不小于 30m²”的要求。

模拟定位机、SPECT-CT 机房控制间与诊断机房均分开布置，均符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）的要求，布局基本合理。

本项目拟将放射诊疗室 CT 室和 SPECT-CT 扫描室划为辐射防护控制区，控制间划为辐射防护监督区，在机房入口处设置电离辐射警告标志及中文警示说明。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。

表 10.1-4 项目控制区和监督区的划分情况

序号	场所名称	控制区	监督区
1	核医学科	分装（注射）室、服碘室、 贮源室、甲功测定室、 SPECT-CT扫描室、候诊室、 中央走廊	护士站、医师办公室、卫生通 过间、南部走廊、SPECT-CT 控制室
2	放射诊疗室—电子 加速器治疗场所	治疗室	控制室和放疗准备室
3	放射诊疗室—CT室	机房内部	控制间

10.1.5 辐射工作场所屏蔽设计

（一）核医学科工作用房防护设施

表 10.1-5 核医学工作用房防护设施一览表

序 号	辐射场所	东	南	西	北	防护门
1	甲功测定室	24cm 实心砖+2cm 防辐射涂料（钡砂）				2mmPb
2	贮源室	24cm 实心砖+2cm 防辐射涂料（钡砂）				2mmPb
3	服碘室	24cm 实心砖+2cm 防辐射涂料（钡砂）				2mmPb
4	分装（注射）室	24cm 实心砖+2cm 防辐射涂料（钡砂）				2mmPb
5	SPECT-CT 扫描 室	30cm 混凝土			24cm 实心砖+ 2cm 防辐射涂 料（钡砂）	3mmPb
6	留观室	24cm 实心 砖+2cm 防 辐射涂料 （钡砂）	30cm 混凝土	30cm 混凝土	24cm 实心砖+ 2cm 防辐射涂 料（钡砂）	2mmPb
7	VIP 候诊室	24cm 实心砖+2cm 防辐射涂料（钡砂）			30cm 混凝土	2mmPb
8	SPECT-CT 候诊 室	24cm 实心砖+2cm 防辐射涂料（钡砂）			30cm 混凝土	2mmPb
9	甲亢候诊室	24cm 实心砖+2cm 防辐射涂料（钡砂）			30cm 混凝土	2mmPb
10	核医学科顶板	20cm 混凝土				

(二) 医用直线加速器治疗室辐射防护屏蔽设计

表 10.1-6 加速器治疗室辐射防护屏蔽设计参数表

部 位	加速器房 (10MV)
东西长度	8000mm
南北宽度	7200mm
机房高度	3700mm
北墙厚度	500mm (紧靠地下岩土层)
西墙厚度	500mm (紧靠地下岩土层)
南墙厚度	500mm (紧靠地下岩土层)
东侧防护内墙厚度	1500mm (1200mm*)
东侧防护外墙厚度	1400mm (1200mm*)
顶盖厚度	主防护部分: 2700 (2250 mm*)、 副防护部分: 1400 (1200mm*)
迷道长度	7200mm
迷道宽度	2000mm
内入口宽度	2000mm
外入口宽度	1400mm (门洞)
注: ①表中加速器房东侧墙及顶盖厚度括号内标志星号的数值为对应重晶石混凝土 (密度应达到 3.0T/m ³) 所需厚度;;	
②混凝土质量符合相关标准要求, 应无气泡、孔洞。	

(三) 其他射线装置辐射防护屏蔽设计

表 10.1-7 其他射线装置辐射防护屏蔽设计参数表

机房名称	管电压 (kV)	屏蔽体	屏蔽设计
模拟定位机 (负一楼, 底层)	150	东、南、北墙体	岩土层+砖墙
		西侧墙体	25cm 混凝土或 36cm 实砌砖墙+2cm 防辐射涂料
		顶部	30cm 混凝土
		防护门	3mmPb
		观察窗	3mmPb
SPECT-CT (负一楼, 底层)	140kV	东墙、南墙、西墙	30cm 混凝土
		北墙	24cm 实心砖+2cm 防辐射涂料
		顶部	20cm 混凝土
		防护门	3mmPb
		观察窗	3mmPb

10.1.6 辐射安全和防护、环保相关设施

10.1.6.1 核医学科

(一) 放射防护屏蔽

SPECT-CT 核医学工作场所设置于病房大楼地下室，按照核医学诊疗工作特点，对原有建筑进行改建，为核医学诊疗项目辐射屏蔽防护创造了有利条件，对涉及放射性药物分装、注射、贮存及放射性扫描诊断检查等相关场所均分别采取相应屏蔽防护措施。放射性药物分装、取药是有原铅罐包装，在具有良好屏蔽防护条件的专用通风柜内操作， ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 使用自动分装仪进行稀释和分装，注射给药亦在铅玻璃屏蔽条件下进行。辐射工作场所屏蔽设计见表 10.1-3，屏蔽设计评价见报告 11 章节环境影响分析。

(二) 放射性“三废”治理

在放射性药物分装室设置通风柜，按标准规定进行气体排放；使用一次性医疗器械用品，严格控制放射性废水产生，并设置放射性废水衰变处理系统，按标准规定进行排放；收集放射性固体废物，专门场所分类分批贮存，待放射性水平衰变降至豁免值以下后按一般医疗废物处理，从而达到放射性“三废”有效的治理效果。放射性“三废”评价见报告 11 章节环境影响分析。

(1) 放射性废水（液）

①医院拟设置两个（每个容积约 12m^3 ）并联衰变池，放射性废水经衰变池分隔存放衰变后，排入医院污水处理系统。衰变池的池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性。

②衰变池废水排放口应设置放射性废液监控装置，经检测符合排放标准后方可排放。

③对放射性废水衰变池还应建立定期检查制度，防止泄漏。

(2) 放射性废气

①核医学科分装（注射）室拟安装专用通风柜，经风道由风机抽吸排出，根据标准要求当通风柜柜门半开情况下，通风柜排气速率应达到 1m/s ；偏安全考虑，本项目放射性药物分装、取用均利用原铅罐包装，在通风柜内操作，防止工作人员受放射性废气食入、吸入等内照射影响。

②核医学工作场所拟采用机械通风系统，加强相关场所空气流通，保持场所空气清新。通风系统送、排风流向应从低放射性水平区域通向高放射性水平区域，排风机设置

楼顶管道末端，用抽排风形式，使整个管道处于负压状态，排风管道排出口应高于场所所在大楼顶部3米以上。

③需设置通排风设施排放衰变池化粪池过滤过程产生的废气。

(3) 放射性固废

医院放射性固废暂存于贮源室，还须做到以下几点：

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

②对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的专用污物桶内，再将污物桶内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放到放射性物品贮存室内，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。

③供收集的专用污物桶应具有外防护层和电离辐射标志。

④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）。

⑤污物桶应放置于废物贮存室内，避开工作人员作业和经常走动的地方。

(三) 贮源室的措施

(1) 核医学科使用的放射性药物应向厂商按需订购，生产厂商根据医院订购合同，按时定量将放射性药物直接送达核医学科贮源室，使用时工作人员从贮源室内拿出，连同铅罐包装放置于通风柜内。

(2) 贮源室应防火、防盗（保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频监控、门口设置红外报警系统和电离辐射标志）。

(3) 应建立放射性药物的出入库登记制度，贮存、领取、使用放射药物时，应当进行登记、检查，做到账物相符。

(4) 应定期检查放射性药物的实际库存数量及贮存场所。

(四) 其他拟采取的污染防治措施

(1) 核医学用房地面均须铺设塑料地坪或涂刷塑料油漆，地面平整光滑无缝，易于清洗不渗漏。墙面平整光滑，2米以下部位采用浅色无光耐酸油漆或其他易于清洗的涂料，瓷质面砖等。有利于表面污染的防治。

(2) 工作台面要求平整、光滑、易于清洗。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。

(3) 核医学科拟设置专用的病人厕所、医护清洗室，有利于工作人员污染的防治。

(4) 辐射工作场所应设置有中文注示的电离辐射警告标志。

(5) 医生进入辐射机房应携带具有报警功能的个人剂量率监测仪，所有辐射工作人员均进行个人累积剂量的监测并建立个人档案。在辐射工作场所应至少配备便携式 γ 剂量率仪一台，表面污染监测仪一台；

(6) 核医学科应有禁止无关人员入内、病人通道引导标志等，严格控制无关人员进入，避免不同人员的交叉辐射影响。

10.1.6.2 医用直线加速器

(一) 辐射安全措施

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，该院加速器治疗机房设计有相应的辐射安全装置和保护措施，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) 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。治疗室迷道外入口处安装防护门应急启闭开关，遇到紧急情况可在治疗室内开启防护门。

(6) 迷路门外安装工作状态指示灯，门外设置醒目、规范的电离辐射警告标志。

(7) 控制室设置照射监控系统：治疗室内有二台摄像机，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。

(8) 工作人员监护。直线加速器项目拟配置放疗医师 6 人、物理师 4 人、技师 5 人，根据工作人员年有效剂量预测结果，年有效剂量较低。偏安全考虑，本项目加速器工作人员应配备个人剂量计并定期送检，同时建立个人剂量档案，应开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

(二) 工作场所通风措施及电缆布设

1、通风

加速器运行过程会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物 NO_x 产额为 O_3 的 1/3。因此主要考虑臭氧的影响。每小时换气次数应为 4 次，考虑到室内臭氧浓度不均匀，本项目加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时 6 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。

通风系统拟采用上送下排，封闭回路形式，新风管道拟由防护门上方近顶盖处进入机房，经迷道上方及内入口在治疗室上方合适部位设置若干个风口送风。排风管道拟沿副防护墙角处布设，吸风口宜开设于距地坪约 30cm 处，排风管道经迷道由防护门上方穿墙引出。见附图 5 (a)。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。在工作中应保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

2、电缆铺设

加速器与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下部位布设，并在非主射线投照部位以“U”字形从地坪下方穿越墙体。其它所有电、水、风管布设，走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的铅板。

10.1.6.3 其他射线装置拟采取的污染防治措施

- (1) 机房内布局应合理，避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置。
- (2) 医院需在所有操作室上张贴相应的操作规程。

(3) 射线装置机房必须设置工作指示灯，病人从候诊室进入机房的防护门的上方须设有电离辐射标志并有中文说明，并注明工作时严禁人员入内。

(4) 根据各射线装置的实际工作情况配备可升降的含铅挡板，为受检病人的非检查部位提供遮挡，尽量减少受照剂量。

(5) 所有的机房病人出入门外 1m 处应设置黄色警戒线，告戒无关人员请勿靠近。

(6) 医院所有辐射工作人员必须配备个人剂量计。

(7) 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。

10.2 三废的治理

10.2.1 核医学科

(一) 放射性废水

(1) 放射性废水来源

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。

偏安全考虑，本次放射性废水的评价内容为：来自清洗（主要为分装室）室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量核素的清洗水，病人专用厕所排放废水。

(2) 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 $< 10 \text{ALImin}$ ，每次排放活度 $< 1 \text{ALImin}$ ，放射性废水衰变池设计具体如下：

放射性废水处理系统设有两个并联的放射性废水衰变池，每个衰变池容积为 12m^3 。两个衰变池的进水口阀门均分别与工作场所放射性废水排放管道相连，并在两个衰变池出水口阀门下方连通一个采样池。利用两个衰变池对放射性废水采取交替轮流收集、贮存、排放的办法进行处理，从工作场所排出的放射性废水由专用下水道先排入第一水池，待第一水池储满，关闭该水池进水口阀门，同时打开第二水池的进水口阀门，使工作场所排出的放射性废水进入第二水池，让第一池中废水的放射性物质自行衰变。当第二水池即将储满时，打开第一衰变池的排水阀门，使池中废水排入采样井，经检测符合排放标准，最后由水泵抽到一楼旁的化粪池，由医院污水处理系统进行处理排放(图 10.2-3)。

两个衰变池按照上述程序，依次轮流反复交替使用。

为了控制进入衰变池的废水量，拟在分装室等相关放射性药物操作场所设置两个洗涤用水池，分别用于操作非放射性物质和放射性物质，以减少放射性废水量。并将非放射性物质水池下水排入普通下水道，将放射性水池下水引入专门的衰变池处理。放射性废水排放流程见图 10.2-1。放射性废水处理系统示意图见图 10.2-2，管道连线和衰变池设置情况见图 10.2-3。

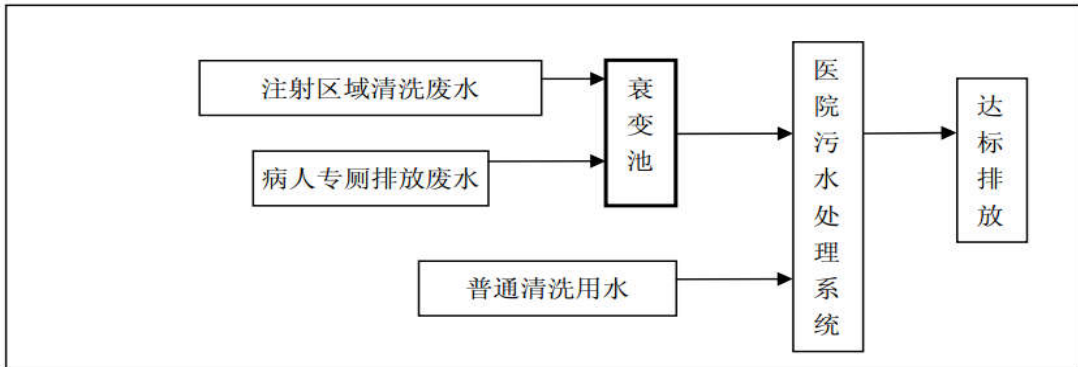


图 10.2-1 放射性废水处理系统示意图

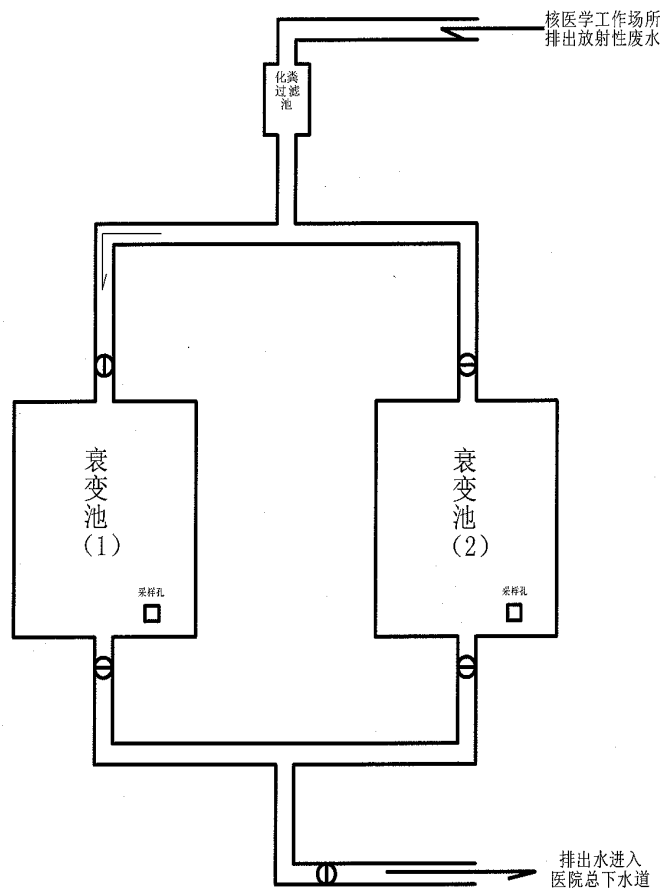


图 10.2-2 放射性废水处理系统示意图

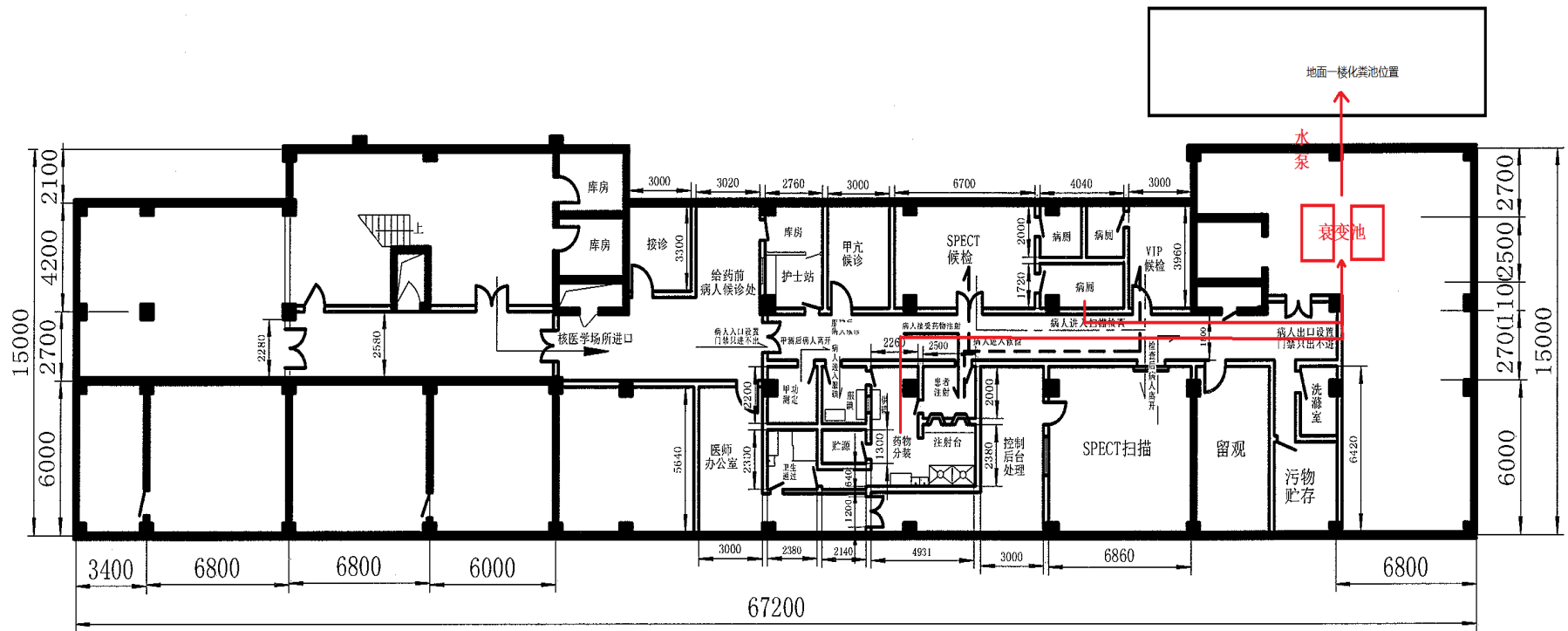


图 10.2-3 放射性废水处理系统管道连线和衰变池设置示意图

放射性废水处理系统能起到良好的处理效能，可保障排出放射性废水低于限值以下。实际当发生放射性物质撒泼事故时，往往造成的是地面、台面或墙面表面污染，一般采用脱脂棉花、吸水纸等将撒泼液滴吸干，再用清洗剂擦洗去污，使放射性物质转移到棉花、吸水纸，作为固体废物收集储存后再作处理。不会发生上述这种放射性物质直接进入废水的情况，实际进入废水的放射性活度是较低的。

放射性废水的环境影响分析详见报告 11 章节。

（二）放射性固废

由污染源分析可知，本项目放射性固废主要包括一次性注射器、药杯、手套、擦拭废纸和棉花等物品。核医学科相关工作场所的放射性固废收集在专用污物桶内，再将污物桶内的固体废物连同垃圾袋存放到贮源室暂存，集中收储 10 个半衰期后，再与医院的其他固体废物一起作为医疗废物处理。用来收集放射性固体废物的专用污物桶须贴上电离辐射标志，并把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。

（三）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。核医学科分装室拟安装专用通风柜，经风道由风机抽吸排出，根据标准要求当通风柜柜门半开情况下，通风柜排气速率应达到 1m/s；偏安全考虑，本项目放射性药物分装、取用均利用原铅罐包装，在通风柜内操作， ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 使用自动分装仪进行稀释和分装。防止工作人员受放射性废气食入、吸入等内照射影响。

核医学工作场所拟采用机械通风系统，加强相关场所空气流通，保持场所空气清新。通风系统送、排风流向应从低放射性水平区域通向高放射性水平区域，排风机设置楼顶管道末端，用抽排风形式，使整个管道处于负压状态，排风管道排出口应高于场所所在大楼顶部 3 米以上。

需设置通排风设施排放衰变池化粪池过滤过程产生的废气。

10.2.2 医用直线加速器

（一）废气

加速器运行过程与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物 NO_x 产额为 O_3 的 1/3。因此

主要考虑臭氧的影响。每小时换气次数应为4次，考虑到室内臭氧浓度不均匀，本项目加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时6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。

通风系统拟采用上送下排，封闭回路形式，新风管道拟由防护门上方近顶盖处进入机房，经迷道上方及内入口在治疗室上方合适部位设置若干个风口送风。排风管道拟沿副防护墙角处布设，吸风口宜开设于距地坪约30cm处，排风管道经迷道由防护门上方穿墙引出。见附图5（a）。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。在工作中应保证通风设施完好和正常工作，在此前提下臭氧和氮氧化物等有害气体将不会对人员和设备产生危害。

（二）放射性固体废物

加速器应用去离子水对加速管等部件进行水冷却，水循环中使用离子交换树脂，用于吸附因冷却水受到加速粒子的轰击而产生的放射性粒子，长期作用后，交换树脂要进行更换，这些更换下来报废的离子交换树脂含有放射性核素。

另外，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，更多的是长半衰期的核素，因而应妥善处理，应保存在具有屏蔽的贮存区域或贮存容器内。对报废的离子交换树脂和废靶应进行辐射监测，如超出豁免水平，需按照放射性废物处理。

本项目医用直线加速器产生的固体废弃物，如超出豁免水平，需送往城市放射性废物库处置。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

根据建设单位的委托与评价合同，本项目新建放射诊疗室用房、改造核医学科用房的土建工程、公用及配套工程等，不在本次辐射环境影响报告表评价范围内。

因此，本项目主要的环境影响分析重点是运行阶段的放射性同位素与射线装置的辐射环境影响分析、放射性废物处置、辐射安全防护等。

本项目新建放射诊疗室用房、改造核医学科用房的土建工程、公用及配套工程等建设时将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，建设施工时对环境会产生如下影响：

(1) 大气：本项目在建设施工期需进行的挖掘地基、打桩、混凝土浇筑等作业，各种施工将产生地面扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。针对上述大气污染采取以下措施：a、及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b、车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；c、施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

(2) 噪声：整个建筑施工阶段，如打桩机、混凝土搅拌机、卷扬机及载重车辆等在运行中都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)，尽量使用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

(3) 固体废物：项目施工期间，产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，应委托有资质的单位清运，并做好清运工作中的装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落。

(4) 废水：项目施工期间，有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对这些废水进行初级沉淀处理，并经隔渣后排放。

医院在施工阶段应采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在医院院内局部区域，对周围环境影响较小。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 放射性同位素辐射环境影响分析

11.2.1.1 辐射环境影响分析

本项目使用的 ^{32}P 、 ^{89}Sr 发射纯 β 射线， β 粒子在组织内和空气中射程很短，不会对环境产生明显的影响，基本可以忽略。因此核医学科核素诊断和治疗过程辐射环境影响分析重点考虑 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 四种核素。

1、计算公式

公式参考《辐射防护技术与管理》第一卷、《辐射源室屏蔽设计与评价》，见式 11-1～式 11-3。

$$H_0=fA\Gamma/R^2 \dots\dots\dots (11-1)$$

式中： H_0 ： 无辐射屏蔽时，在距源 R_m 处的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

A ： 放射源的预期最大放射性活度，Ci；

Γ ： 照射率常数， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 $0.062\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ 、 ^{131}I 为 $0.218\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ 、 ^{201}Tl 为 $0.086\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ 、 ^{67}Ga 为 $0.11\text{R}\cdot\text{m}^2/\text{h}\cdot\text{Ci}$ ；

R ： 距放射源的距离，m；

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

$$H=H_0/K \dots\dots\dots (11-2)$$

式中： H_0 ： 无辐射屏蔽时，在距源 R_m 处的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H ： 衰减倍数为 K 时，在距源 R_m 处的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

K ： 衰减倍数，无量纲，根据屏蔽厚度查《 γ 射线屏蔽参数手册》中减弱曲线图，并经内插计算。

表 11.2-1 不同屏蔽材料厚度情况下核素 γ 射线衰减倍数 K 值

材料及厚度	各种核素 γ 射线衰减倍数 K 值			
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ (141keV)	^{131}I (364keV)	^{201}Tl (166keV)	^{67}Ga (388keV)
0.5mm Pb	3.7×10^{-2}	0.43	5.6×10^{-2}	0.47
2mm Pb	6.0×10^{-4}	0.15	1.3×10^{-3}	0.18
3mm Pb	5.0×10^{-5}	5.2×10^{-2}	1.8×10^{-4}	6.4×10^{-2}
0.5mm 铅衣+40mmPb 专用注射窗口	9.0×10^{-59}	4.6×10^{-18}	2.8×10^{-51}	7.7×10^{-17}
24cm 实心砖+2cm 防辐 射涂料 (钡砂 $3.0\text{t}/\text{m}^3$)	3.0×10^{-5}	8.0×10^{-3}	1.1×10^{-4}	9.0×10^{-3}
20cm 混凝土	5.0×10^{-4}	2.7×10^{-2}	1.0×10^{-3}	3.6×10^{-2}
30cm 混凝土	4.0×10^{-5}	4.5×10^{-2}	1.2×10^{-4}	5.7×10^{-2}

$$A=A_0e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (11-3)$$

式中：A₀： 放射源初始活度， Bq；

A： 放射源衰变后活度， Bq；

λ： 衰变常数， 0.693/T_{1/2}d⁻¹；

t： 衰变天数， d。

2、核医学工作场所辐射水平预测

(1) 无屏蔽状态下各核素 γ 空气吸收剂量率

无屏蔽状态下各核素 γ 空气吸收剂量率见表 11.2-2。

表 11.2-2 各核素裸源 γ 空气吸收剂量率 μGy/h

核素活度 \ 距离	1m	2m	3m	5m	10m
1.11×10 ⁹ Bq (30mCi) ^{99m} Tc	16.25	4.07	1.80	0.65	0.17
2.69×10 ⁸ Bq (7.27mCi) ¹³¹ I	13.84	3.46	1.54	0.55	0.15
1.11×10 ⁸ Bq (3mCi) ¹³¹ I	4.57	1.14	0.51	0.18	0.05
1.11×10 ⁸ Bq (3mCi) ²⁰¹ Tl	2.25	0.56	0.25	0.09	0.02
1.85×10 ⁸ Bq (5mCi) ⁶⁷ Ga	4.80	1.20	0.53	0.19	0.05

(2) 服碘过程辐射环境影响分析

本项目 ¹³¹I 用途为两种：①甲状腺功能测定、甲亢治疗，单人最大服碘量为 2.69×10⁸Bq (7.27mCi)，每天最多 5 人；② SPECT-CT 扫描诊断，单人最大服碘量为 1.11×10⁸Bq (3mCi)。¹³¹I 每天最大用量为 1.46×10⁹Bq (39.4mCi)。

使用的放射性药物 ¹³¹I—NaI 水溶液，由供应商根据医院订购合同，按时定量发送医院核医学科，使用时工作人员将铅罐包装放置于通风柜内。使用分碘仪自动稀释分装 ¹³¹I，医生预先将装有 ¹³¹I 的铅桶安放于分碘仪上，然后让患者在分碘仪前坐好，医生在分装室通过电脑控制自动定量给患者分碘服用。医生通过对讲系统通知患者喝下 ¹³¹I 药物。因此 ¹³¹I 药物分装过程对工作人员的辐射影响很轻微，可忽略。

每次服碘室内只有 1 名患者停留，甲亢病人在服药后在甲亢候诊室休息约 30min 后离开，甲亢候诊室最多容纳 5 个人，¹³¹I 源强总活度 1.35×10⁹Bq (36.4mCi)；SPECT-CT 诊断病人服药后在候诊室等待扫描，一天 ¹³¹I 诊断病人为 1 个，¹³¹I 源强总活度

$1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ (3mCi)。

根据计算公式可估算出服碘室、甲亢候诊室周围各参考点处的辐射水平，预测结果见表 11.2-3。

表 11.2-3 服碘室、甲亢候诊室参考位置辐射水平估算结果

过程	参考点位置	辐射源强 (Bq)	与源的距 离 (m)	屏蔽措施	参考点辐射水 平 ($\mu\text{Gy/h}$)
服碘过程	药物分装室	2.69×10^8	1.0	24cm实心砖+2cm 防辐射涂料 (钡砂)	0.12
	服碘室防护门表面30cm		1.7	2mmPb	0.71
	服碘室北墙表面30cm		1.7	24cm实心砖+2cm 防辐射涂料 (钡砂)	0.04
	服碘室屋顶 (一楼外科)		3.0	20cm混凝土	0.04
服碘后甲 亢候诊过 程 (病人 位于候诊 室中央)	甲亢候诊室东墙表面 (护士 站) 30cm	$2.69 \times 10^8 \text{Bq/}$ 人 $\times 5$ 人/天	1.8	24cm实心砖+2cm 防辐射涂料 (钡砂)	0.17
	甲亢候诊室防护门表面 30cm		2.3	2mmPb	1.96
	甲亢候诊室西墙表面30cm (SPECT-CT候诊室)		1.6	24cm实心砖+2cm 防辐射涂料 (钡砂)	0.22
	甲亢候诊室屋顶 (一楼外 科)		3.0	20cm混凝土	0.20

(3) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 注射过程辐射剂量率预测

本项目使用的所有放射性药物均通过生产厂商按需订购，生产厂商根据医院订购合同，按时定量将放射性药物直接送达核医学科贮源室。使用时工作人员从贮源室内拿出，连同铅罐包装放置于通风柜内。

偏安全考虑，本评价按患者单次最大注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 为 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ (30mCi)， ^{201}Tl 为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ (3mCi)， ^{67}Ga 为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi) 进行预测。取药过程护士穿 0.5mmPb 当量铅衣，戴 0.5mmPb 当量铅手套，药物距离手部约为 5cm，距离身体约为 50cm。注射过程护士穿 0.5mmPb 当量铅衣，通过 40mmPb 当量专用注射窗口对受检者注射。注射过程手部带 0.5mmPb 当量铅手套，药物距离手部约为 5cm，距离身体约为 50cm。

取药与注射过程工作人员受照剂量率预测结果见表 11.2-4。

注射过程对注射室外的辐射剂量计算结果见表 11.2-5，可知，注射过程中主要考虑⁶⁷Ga 对注射室外的辐射影响。

表 11.2-4 取药及注射过程受照剂量率预测结果

	距离	屏蔽措施	受照剂量率 $\mu\text{Gy/h}$		
			^{99m} Tc	²⁰¹ Tl	⁶⁷ Ga
手部（取药）	0.05m	0.5mmPb铅手套	240.42	50.40	902.4
身体（取药）	0.5m	0.5mmPb铅衣	2.40	0.50	9.02
手部（注射）	0.05m	0.5mmPb铅手套	240.42	50.40	902.4
身体（注射）	0.5m	0.5mmPb铅衣+40mmPb 专用注射窗口	5.85×10^{-57}	2.52×10^{-50}	1.48×10^{-15}

表 11.2-5 注射过程对注射室外的辐射剂量计算结果

过程	参考点位置	辐射源强 (Bq)	与源的 距离 (m)	屏蔽措施	参考点辐射水 平 ($\mu\text{Gy/h}$)
药物 注射 过程	西侧药物分装室	单人单次最大注射量 ^{99m} Tc 为 $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ (30mCi)， ²⁰¹ Tl为 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ (3mCi) , ⁶⁷ Ga为 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi))，每次只有 1 名患者停留	1.0	24cm实心砖+ 2cm防辐射涂料 (钡砂)	^{99m} Tc: 4.87×10^{-4} ²⁰¹ Tl: 2.48×10^{-4} ⁶⁷ Ga : 4.32×10^{-2}
	东侧控制室屏蔽 墙外表面30cm		1.0		
	北墙表面30cm		1.3	24cm实心砖+ 2cm防辐射涂料 (钡砂)	^{99m} Tc: 2.88×10^{-4} ²⁰¹ Tl: 1.46×10^{-4} ⁶⁷ Ga : 2.56×10^{-2}
	注射室屋顶（一 楼外科）		3.0	20cm混凝土	^{99m} Tc: 9.03×10^{-4} ²⁰¹ Tl: 2.50×10^{-4} ⁶⁷ Ga : 1.92×10^{-2}

(4) SPECT-CT 候诊室辐射水平

病人服药或注射后在候诊室等待扫描，候诊时间约 1 小时。一天 ¹³¹I 诊断病人最多为 1 个，¹³¹I 源强总活度 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ (3mCi)；^{99m}Tc 诊断病人最多为 20 个，^{99m}Tc 源强总活度 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ (600mCi)；²⁰¹Tl 诊断病人为 1 个，²⁰¹Tl 源强总活度 $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ (3mCi)；⁶⁷Ga 诊断病人为 1 个，⁶⁷Ga 源强总活度 $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi)。

候诊室各墙体、防护门等外辐射剂量率计算结果见表表 11.2-6。

表 11.2-6 候诊室各墙体、防护门等外辐射剂量率计算结果

过程	参考点位置	辐射源强 (Bq)	与源的距离 (m)	屏蔽措施	参考点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)
候诊 (病人位于候诊室中央)	候诊室东墙表面30cm	^{131}I : 1.11×10^8 $^{99\text{m}}\text{Tc}$: 2.22×10^{10} ^{67}Ga : 1.85×10^8 ^{201}Tl : 1.11×10^8	4.0	24cm实心砖+2cm防辐射涂料(钡砂)	0.01
	候诊室防护门表面30cm		2.3	2mmPb	0.62
	候诊室西墙表面30cm		4.0	24cm实心砖+2cm防辐射涂料(钡砂)	0.01
	注射室屋顶(一楼外科)		3.0	20cm混凝土	0.07

(5) SPECT-CT 诊断室辐射水平

SPECT-CT 诊断过程各墙体、防护门等外辐射剂量率计算结果见表 11.2-7, 可知, SPECT-CT 诊断过程中主要考虑 ^{131}I 、 ^{67}Ga 对室外的辐射影响。

表 11.2-7 SPECT-CT 诊断过程各墙体、防护门等外辐射剂量率计算结果

过程	参考点位置	辐射源强 (Bq)	与源的距离 (m)	屏蔽措施	参考点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)
SPECT-CT扫描过程	操作人员工作位	单人单次最大剂量 ^{131}I : $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ $^{99\text{m}}\text{Tc}$: $1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ ^{201}Tl : $1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ ^{67}Ga : $1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ 每次只有 1 名患者停留	4.5	3mmPb	^{131}I : 1.17×10^{-2} $^{99\text{m}}\text{Tc}$: 4.0×10^{-5} ^{201}Tl : 2.0×10^{-5} ^{67}Ga : 1.52×10^{-2}
	机房东墙表面30cm		4.1	30cm混凝土	^{131}I : 1.22×10^{-2} $^{99\text{m}}\text{Tc}$: 3.87×10^{-5} ^{201}Tl : 1.61×10^{-5} ^{67}Ga : 1.63×10^{-2}
	机房北墙表面30cm		3	24cm 实心砖+2cm防辐射涂料(钡砂)	^{131}I : 4.06×10^{-3} $^{99\text{m}}\text{Tc}$: 5.42×10^{-5} ^{201}Tl : 2.75×10^{-5} ^{67}Ga : 4.80×10^{-3}
	机房大防护门表面30cm		3	3mmPb	^{131}I : 2.64×10^{-2} $^{99\text{m}}\text{Tc}$: 9.03×10^{-5} ^{201}Tl : 4.50×10^{-5} ^{67}Ga : 3.41×10^{-2}

	机房小防护门表面 30cm		4.4	3mmPb	^{131}I : 1.22×10^{-2} $^{99\text{m}}\text{Tc}$: 4.20×10^{-5} ^{201}Tl : 2.09×10^{-5} ^{67}Ga : 1.59×10^{-2}
	扫描室屋顶（一楼 外科）		3.0	20cm混凝土	^{131}I : 1.37×10^{-2} $^{99\text{m}}\text{Tc}$: 9.03×10^{-4} ^{201}Tl : 2.50×10^{-4} ^{67}Ga : 1.92×10^{-2}
	机房内医生摆位处		0.8	铅服0.5mmPb	^{131}I : 3.07 $^{99\text{m}}\text{Tc}$: 0.95 ^{201}Tl : 0.20 ^{67}Ga : 3.53

3、患者治疗后辐射剂量率预测

患者治疗后后，距患者不同距离处辐射剂量率预测结果表 11.2-8，可知，医院应对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。

表 11.2-8 患者治疗后辐射剂量率预测结果

核素	距患者距离	辐射剂量率 $\mu\text{Gy/h}$						
		当天	1天	2天	4天	8天	16天	24天
$2.69 \times 10^8 \text{Bq}$ (7.27mCi) ^{131}I	1m	13.8	12.7	11.6	9.80	6.95	3.49	1.74
$1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ (3mCi) ^{131}I	1m	4.57	4.19	3.84	3.23	2.29	1.15	0.58
$1.11 \times 10^9 \text{Bq}$ (30mCi) $^{99\text{m}}\text{Tc}$	1m	16.2	1.02	0.06	2.49×10^{-4}	3.80×10^{-9}	-	-
$1.11 \times 10^8 \text{Bq}$ (3mCi) ^{201}Tl	1m	2.25	1.79	1.430	0.91	0.37	0.06	0.01
$1.85 \times 10^8 \text{Bq}$ (5mCi) ^{67}Ga	1m	4.80	3.89	3.15	2.07	0.90	0.17	0.03

4、人员所受辐射剂量估算

(1) 居留因子选取

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 11.2-9。

表 11.2-9 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。

(1) 诊断治疗期间工作人员和公众剂量估算

工作人员年剂量估算结果见表 11.2-10。

本项目核医学科位于地下一层，相对独立，并设置了门禁系统，公众不会在核医学科逗留，公众主要为一楼的外科（核医学科楼上一层），根据对各个工作场所辐射剂量水平的分析，本项目甲亢候诊室对一楼外科的辐射剂量最大，最大剂量水平为 $0.20 \mu\text{Gy/h}$ ，甲亢候诊室年工作时间为 250h，居留因子为 1/4，则一楼外科公众所受最大剂量为 $1.25 \times 10^{-2} \text{mSv/a}$ 。能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求。因此核医学对周围公众的辐射影响很轻微。

表 11.2-10 诊断治疗期间工作人员剂量估算结果

过程	场所	时间取值	工作人员最大年剂量
服碘过程	服碘室	甲状腺功能测定、甲亢治疗病人数为 5 人次/天 \times 250 天/年=1250 人次/年; ^{131}I SPECT-CT 诊断病人人数为 1 人次/天 \times 250 天/年=250 人次/年。每人服碘时间为 2 分钟，则一年服碘时间为 50 小时。	分装室分碘器操作人员剂量 (T=1) : $0.12\mu\text{Gy/h}\times 50\text{h/a}\times 0.7=0.004\text{mSv/a}$
甲亢候诊过程	甲亢候诊室	医院每天集中在某个时间对甲亢病人进行治疗，甲亢病人服药后在甲亢候诊室休息约 30min，每天最多 5 个病人，一年工作 250 天，偏保守考虑一天按 1 个小时计算，则年工作时间为 250h。	护士站工作人员剂量 (T=1) : $0.17\mu\text{Gy/h}\times 250\text{h/a}\times 0.7=0.03\text{mSv/a}$

注射过程	注射室	一天 ^{99m}Tc 诊断病人最多为 20 个, ^{201}Tl 诊断病人和 ^{67}Ga 诊断病人均为 1 个, 取药和注射时间均取 1 分钟, 每年工作 250 天。	取药和注射工作人员平均手部剂量 14.09mSv/a, 全身平均剂量 0.07mSv/a。
候诊过程	候诊室	一天 ^{131}I 诊断病人为 1 人, ^{99m}Tc 诊断病人最多为 20 个, ^{201}Tl 诊断病人和 ^{67}Ga 诊断病人均为 1 个, 候诊时间约 1 小时, 每年工作 250 天。	候诊室防护门工作人员(T=1/16): $0.62\mu\text{Gy/h}\times 250\text{h/a}\times 1/16\times 0.7$ $=6.78\times 10^{-3}\text{mSv/a}$
诊断过程	诊断室	一天 ^{131}I 诊断病人为 1 人, ^{99m}Tc 诊断病人最多为 20 个, ^{201}Tl 诊断病人和 ^{67}Ga 诊断病人均为 1 个, 扫描时间约 20 分钟, 每年工作 250 天; 摆位人员摆位时间为 2 分钟/人次, 摆位由 2 位工作人员轮流进行。	控制室操作人员剂量 (T=1) : $1.35\times 10^{-3}\text{mSv/a}$; 摆位人员剂量 (T=1) : 0.09mSv/a。

(2) 出院后家属和慰问者所受剂量估算

家属和慰问者与有药患者的近距离接触, 会受到外照射的危害。患者服药 (注射) 后可能需家属陪护 (陪护人员), 每天陪护时间按 0.5h 计, 距离患者需在 1m 以上。

根据表 11.2-8 估算结果, 取半衰期较长的 ^{131}I 作为评价对象, 陪护人员受照剂量估算结果见表 11.2-11, 可知, 服用 ^{131}I 甲亢患者的陪护人员最大年剂量为 0.08mSv, 能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求。

表 11.2-11 陪护人员受照剂量估算结果

使用核素名称及活度	距患者距离	辐射剂量率	接触时间 h	年剂量率 mSv/a
^{131}I (7.27mCi)	1m	服碘当天: $13.8\mu\text{Gy/h}$ 1 个半衰期 (8 天) 后: $6.95\mu\text{Gy/h}$ 2 个半衰期 (16 天) 后: $3.49\mu\text{Gy/h}$ 3 个半衰期 (24 天) 后: $1.74\mu\text{Gy/h}$	0.5×24	0.08

(3) 出院后患者对公众造成的剂量估算

公众被动与有药患者的近距离接触，会受到外照射的危害。偏安全考虑，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。

根据表 11.2-8 估算结果，取半衰期较长的 ^{131}I 作为评价对象，公众人员受照剂量估算结果见表 11.2-12，可知，公众人员最大年剂量为 $1.74 \times 10^{-3} \text{mSv}$ ，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求。

表 11.2-12 公众人员受照剂量估算结果

使用核素名称及活度	距患者距离	辐射剂量率	接触时间 h	年剂量率 mSv/a
^{131}I (7.27mCi)	1m	服碘当天: 13.8 $\mu\text{Gy/h}$ 1 个半衰期 (8 天) 后: 6.95 $\mu\text{Gy/h}$ 2 个半衰期 (16 天) 后: 3.49 $\mu\text{Gy/h}$ 3 个半衰期 (24 天) 后: 1.74 $\mu\text{Gy/h}$	(10/60) \times 24/16	1.74×10^{-3}

5、小结

综上所述，本项目辐射工作人员包括两个医师，三个护士，医师主要负责 SPECT-CT 诊疗（摆位），护士主要负责服碘与注射等操作。每项工作的年工作时间平均分配给每个工作人员（两个医师平均分配 SPECT-CT 诊断工作（摆位），三个护士平均分配服碘与注射等操作）。

根据表 11.2-10 的估算结果可知，医师可能接受的最大年有效剂量约为 0.09 mSv/人，护士可能接受的最大年有效剂量约为 0.03 mSv/人，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

根据表 11.2-10 的估算结果可知，诊疗期间核医学科公众最大年剂量为 $1.25 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ；根据表 11.2-11、表 11.2-12 的估算结果可知，出院后，患者陪护人员、公众人员可能接受的最大年有效剂量分别为 0.08 mSv/人、 $1.74 \times 10^{-3} \text{mSv}$ /人。均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.25mSv。

11.2.1.2 放射性废物处理措施

(一) 放射性废水

(1) 放射性废水来源

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。

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009) 5.2.8、a) 款: 注射或服用放射性药物的门诊患者排泄物不需要统一管理。

偏安全考虑, 本次放射性废水的评价内容为: 来自清洗(主要为分装室)室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量核素的清洗水, 病人专用厕所排放废水。

(2) 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 $< 10 \text{ALImin}$, 每次排放活度 $< 1 \text{ALImin}$, 本次评价根据实际日最大操作量进行了保守的估算, 以对设计衰变池作出评价, 具体如下:

放射性废水处理系统由两个并联的放射性废水衰变池, 每个衰变池容积为 12m^3 。两个衰变池的进水口阀门均分别与工作场所放射性废水排放管道相连, 并在两个衰变池出水口阀门下方连通一个采样池。利用两个衰变池对放射性废水采取交替轮流收集、贮存、排放的办法进行处理。放射性废水处理系统示意图如图 10.2-2 所示, 管道及衰变池位置见图 10.2-3。

为了控制进入衰变池的废水量, 拟在分装室等相关放射性药物操作场所设置两个洗涤用水池, 分别用于操作非放射性物质和放射性物质, 以减少放射性废水量。并将非放射性物质水池下水排入普通下水道, 而将放射性水池下水引入专门的衰变池处理。

(3) 放射性废水排放量

本项目核医学科各项诊疗均为门诊治疗, 病人在核医学科停留时间短, 采用节水型洁具。每日门诊按最大检查病人量 33 人计, 病人在核医学科时间均值为 1h, 假设在诊治过程中 80%病人在检查期间可能排泄 1 次计算, 每次按照最大用水量 4L 计, 病厕废水量约为 105L, 清洗废水每天约为 10L, 每天产生的放射性废水最大约为 115L。 ^{89}Sr 注射病人接受药物治疗后即离开核医学科, 不使用病厕, 其放射性废水影响可忽略。

(4) 预测分析和排放情况

医院每日平均产生放射性废水总量为 142L，第一个衰变池存储满后，废水开始注入第二个衰变池，待第二个衰变池注满时，第一个衰变池最后进入的废水存储时间为： $12000L/115L \approx 105$ 工作日（即为第二个衰变池注满的时间），即可存放 147 天。

按照 105 个工作日的最大放射性同位素使用量 5%，估算放射性废水各种核素经 147 天衰变后的排放量，计算结果见表 11.2-16，可满足每一次排放的活度不超过 1ALlmin 的要求。

本项目的放射性废水可以在衰变池内暂存 147 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。

表 11.2-16 放射性废水排放方式及达标估算表

核素 项目	^{99m}Tc	^{131}I	^{201}Tl	^{67}Ga	^{32}P
半衰期	6.02h	8.04d	3.04d	3.26d	14.3d
衰变前废水中的含量 (Bq)	1.17×10^{11}	7.67×10^9	5.82×10^8	2.33×10^8	1.78×10^7
ALlmin (Bq)	6.9×10^8	9.1×10^5	2.1×10^8	7.1×10^7	6.3×10^6
衰变池暂存后排放量 (Bq)	≈ 0	2.38×10^4	2.07×10^{-6}	6.62×10^{-6}	1.73×10^4
达标情况	达标	达标	达标	达标	达标

(二) 放射性固废

由污染源分析可知，放射性固体废弃物主要包括一次性注射器、药杯、手套、擦拭废纸和棉花等物品。核医学科相关工作场所的放射性固废收集在专用污物桶内，再将污物桶内的固体废弃物连同垃圾袋存放到贮源室暂存，集中收储 10 个半衰期后，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相关部门统一处理。用来收集放射性固体废弃物的专用污物桶须贴上电离辐射标志，并把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。

放射性固废管理还应做到：

- ①医院及核医学科应对放射性固体废弃物应制定严格的管理措施，并严格管理。
- 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用完的核素容器应由厂家及时回收。

④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)。

⑤污物桶应放置于废物贮存室内，避开工作人员作业和经常走动的地方。

(三) 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。核医学科分装室拟安装专用通风柜，经风道由风机抽吸排出，根据标准要求当通风柜柜门半开情况下，通风柜排气速率应达到 1m/s ；偏安全考虑，本项目放射性药物分装、取用均利用原铅罐包装，在通风柜内操作。防止工作人员受放射性废气食入、吸入等内照射影响。

核医学工作场所拟采用机械通风系统，加强相关场所空气流通，保持场所空气清新。通风系统送、排风流向应从低放射性水平区域通向高放射性水平区域，排风机设置楼顶管道末端，用抽排风形式，使整个管道处于负压状态，排风管道排出口应高于场所所在大楼顶部 3 米以上。

需设置通排风设施排放衰变池化粪池过滤过程产生的废气。

11.2.2 医用直线加速器辐射环境影响分析

加速器机房南、北、西三侧墙外均系地下岩土层，可以不必考虑对人员的辐射屏蔽防护。东侧防护外墙外为控制室，应主要考虑对机房东侧墙外，机房顶盖上方相关人员的屏蔽防护。机房东西长 8000mm 、南北宽 7200mm ，净高 3700mm 。出入机房采用“L”型防护迷道，防护迷道长 7200mm 、宽 2000mm ，内、外出入口分别为 2000mm 和 1400mm 。

加速器治疗室辐射防护屏蔽设计参数见表 10.1-3。

1. 屏蔽计算的有关参数

10MV 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) 正常治疗距离 (NTD)： 100cm ；

(2) 最大方形辐射野： $40\text{cm}\times 40\text{cm}$ ；

(3) 等中心高度： 1300mm ；

(4) X 射线泄漏率： $\leq 0.1\%$ ；

(5) 10MVX 射线，距靶 1m 处的主束辐射剂量率 H_0 取 $3.6\times 10^8 \mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{h}$

($6\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$) ;

2. 治疗室示意图

加速器治疗室平面示意图见图 11.2-1，剖面示意图见图 11.2-2。

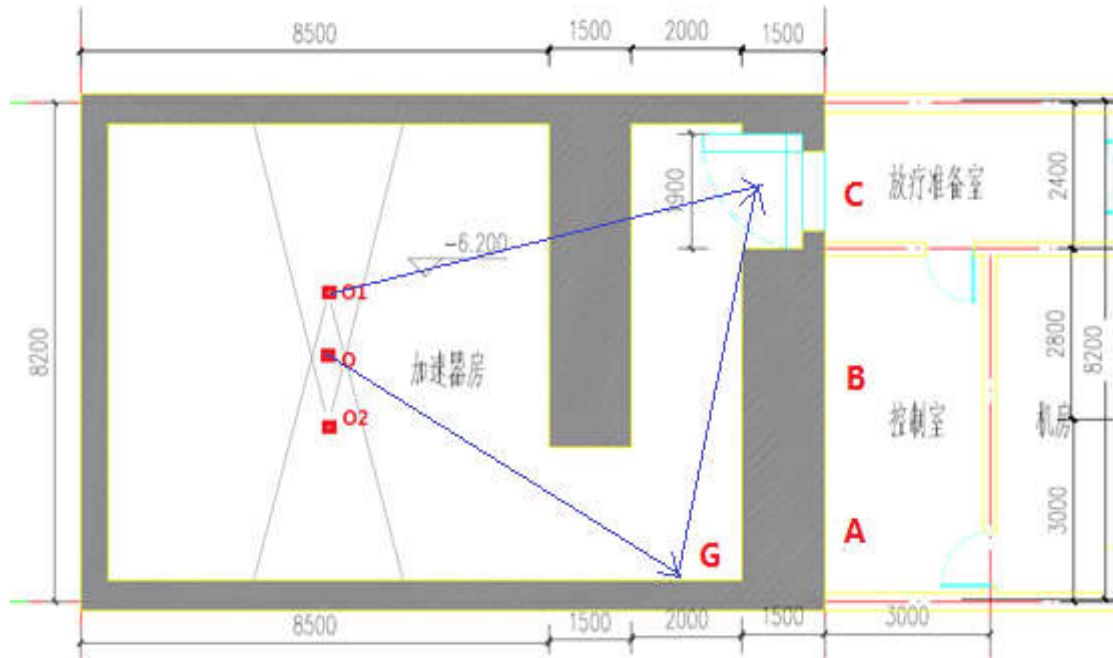


图 11.2-1 加速器治疗室平面示意图

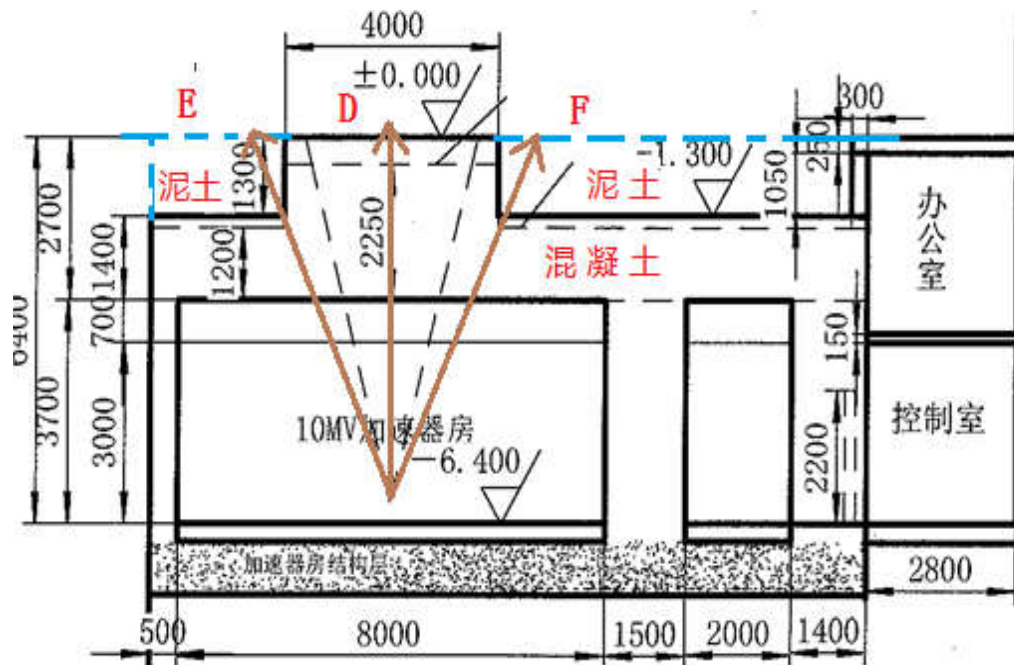


图 11.2-2 加速器治疗室剖面示意图

3.屏蔽体外剂量的计算

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) 计算方法

1) 有用线束主屏蔽区厚度 (关注点: 图 11.2-2, D 点)

(a) 现有屏蔽厚度的辐射屏蔽透射因子:

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \dots\dots\dots (11-5)$$

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, 对混凝土, 10MV X 射线分别为 41cm 和 37cm。

(b) 屏蔽体外关注点的剂量率:

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f \cdot U}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots (11-6)$$

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。

2) 侧屏蔽墙、迷宫外墙 (关注点: 图 11.2-1, A、B 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} ; 相应 TVL_1 和 TVL 为泄漏辐射值, 对混凝土, 10MV X 射线分别为 35cm 和 31cm。

3) 与主屏蔽相连的次屏蔽 (关注点: 图 11.2-2, E、F 点)

本项目与主屏蔽区相连的次屏蔽区主要是顶棚次屏蔽区, 不考虑次屏蔽区的泥土厚度, 剂量计算需考虑泄漏辐射和患者散射辐射的复合作用:

$$H_{\text{次}} = H_{\text{漏}} + H_s \dots\dots\dots (11-7)$$

(a) 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° 。

有效屏蔽厚度 X_e :

$$X_e = X \cdot \sec \theta \dots\dots\dots (11-8)$$

式中: X 为实际屏蔽厚度, cm; θ 为斜射角。

泄漏辐射的辐射剂量估算方法同主屏蔽, 其中泄漏辐射比率 f 为 1×10^{-3} 。相应 TVL1 和 TVL 为泄漏辐射值, 对混凝土, 10MeV X 射线分别为 35cm 和 31cm。

(b) 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。

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

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, 10MV X 射线散射角 30° 为 28cm。

散射辐射剂量:

$$\dot{H}_s = \frac{\dot{H}_0 \cdot \alpha_{ph} \cdot (F / 400)}{R_s^2} \cdot B \cdot U \dots\dots\dots (11-10)$$

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

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

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。取患者散射角为 30° , 10MV、 30° 的 α_{ph} 取为 3.18×10^{-3} 。

4) 迷宫门外辐射剂量

本项目有用线束不向迷路内墙照射, 迷宫门处的辐射剂量主要考虑有用束射线经人体散射至 G 点并再次受墙的二次散射至 C 处的辐射 (途径 O-G-C) 和加速器的泄漏辐射经迷宫内墙屏蔽后再迷宫口处 (途径 O1-C) 的辐射剂量之和。

(a) 二次散射辐射剂量

射线经人体散射后至迷路 G 点的散射角接近 45°, G 处墙向迷路入口 C 处的二次散射的散射角小于 10°, 通常按 0°考虑。G 处的散射面积为自入口 C 处和等中心位置 O 共同可视区域 (2m×3.7m)。入口 C 处的散射辐射剂量率 \dot{H}_C 按公式如下公式计算

$$\dot{H}_C = \alpha_{ph} \times (F/400) \times \alpha_2 \times A \times \dot{H}_0 / (R_1 \times R_2)^2 \dots\dots\dots (11-11)$$

式中: \dot{H}_C 为 C 处的散射辐射剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

α_{ph} 为患者 400 cm^2 面积上的散射因子, 通常取 45°散射角的值;

F 为治疗装置有用束在等中心处的最大治疗野面积, cm^2 ;

α_2 为砼墙入射的患者散射辐射 (能量见附录 B 表 B.3) 的散射因子, 通常取 i 处的入射角为 45°, 散射角为 0°, α_2 值见附录 B 表 B.6, 通常使用其 0.5MeV 栏内的值;

A 为 G 处的散射面积, 7.4 m^2 ;

R_1 为“O-G”之间的距离, 7.4m;

R_2 为“G-C”之间的距离, 7.3m;

\dot{H}_0 为加速器有用线束中心轴上距靶 1m 处的常用最高剂量率, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$;

(b) 泄漏射线经迷宫内墙屏蔽后辐射剂量

计算方法同次屏蔽泄漏射线辐射剂量计算方法, 使用因子 U 取 1, 屏蔽墙的斜射角接近 30°。

(c) 铅门屏蔽后剂量

$$\dot{H} = \dot{H}_c \times 10^{-(X/\text{TVL})} + \dot{H}_{oc} \dots\dots\dots (11-12)$$

在 C 处的散射辐射能量约 0.2MeV, 铅中的 TVL 值为 0.5cm。 \dot{H}_{oc} 为漏射 X 射线穿透迷道内墙后的最大剂量当量率。

(2) 计算结果

根据建设单位提供的屏蔽墙厚度, 治疗室周围关注点处的剂量当量率计算结果见表 11.2-16。

由表 11.2-16 可知, 加速器运行过程中治疗室屏蔽墙和防护门外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 $\mu\text{Sv/h}$ 。”的要求, 屏蔽墙体放射防护设计符合要求。

表 11.2-16 治疗室周围关注点处的剂量当量率计算结果

屏蔽体	关注点及路径	到靶点距离, m	屏蔽体厚度, mm	屏蔽后剂量率 $\mu\text{Sv/h}$
顶棚外表面 30cm (主)	O--D	5.4	2700 (混凝土)	0.80
顶棚外表面 30cm (副)	O--E(F)	5.8	1400 (混凝土) +1300 (泥土)	0.12
迷路外墙外表面 30cm(控制室)	O2--A	9.1	1500 (混凝土)	0.05
迷路内外墙外表面 30cm(控制室)	O--B	9.0	1500+1500 (混凝土)	6.94×10^{-7}
迷宫门外表面 30cm	O1--C	9	1500(混凝土)+18 (铅)	0.01
	O-G-C	7.4+7.3	18 (铅)	6.32×10^{-3}

4、年有效剂量估算

根据医院提供预期工作负荷,并为今后的发展留出余地,确定工作负荷如下:年工作 250 天,每天 60 病人次,每周工作 5 天,平均每人每野次治疗剂量 1.5Gy,平均每人治疗照射 3 野次,周工作负荷按 1350Gy,周出束时间约为 3.75h。一年治疗患者 15000 人次,加速器全年照射时间为 187.5h。

(1) 估算公式

X 射线年有效剂量率估算公式

$$H = H_0 \times T \dots\dots\dots (11-13)$$

式中: H ——年有效剂量当量, Sv;

H_0 ——X 剂量率, Sv/h;

T ——年受照时间, h。

(2) 职业人员年有效剂量

职业工作人员的受照,主要考虑控制室操作人员,即操作人员在控制室接受的剂量。操作人员的工作位即加速器迷宫外墙(东墙)外 30cm 处,该点剂量率估算最大值为 $0.05\mu\text{Sv/h}$ 。为留一定的安全系数居留因子,居留因子均取 1。

则附加有效剂量为:

$$\begin{aligned} H_1 &= H_0 \times T = 0.05 \times 187.5 \\ &= 9.375\mu\text{Sv/a} \approx 0.01\text{mSv/a} \end{aligned}$$

本项目直线加速器工作人员：放疗医师6人、物理师4人、技师5人，按照两班计算，工作人员年有效剂量最高约为0.005 mSv/a。加速器正常运行时，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：职业人员年有效剂量不超过 5mSv。

(3) 公众年有效剂量

公众年有效剂量主要考虑加速器治疗室周围公共场所的影响。公众年有效剂量取公众剂量率最大值 0.8μSv/h（顶棚主屏蔽外表面 30cm 处）进行估算。为留一定的安全系数居留因子，居留因子均取 1/16。

$$H=0.80 \times 187.5 \times 1/16=9.38 \mu\text{Sv/a} \approx 0.009 \text{mSv/a}$$

上述估算表明，在加速器正常运行条件下，治疗室周围公众的年有效剂量最大为 0.009mSv，能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和本项目管理目标剂量约束值要求：公众年有效剂量不超过 0.25mSv。

11.2.3 III 类射线装置辐射环境影响分析

模拟定位机和 SPECT-CT 机房均采用实体屏蔽，根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）的要求，对本项目模拟定位机和 SPECT-CT 机房的屏蔽设计进行评价，评价结果见表 11.2-17。

根据表 11.2-17，医院模拟定位机和 SPECT-CT 机房屏蔽防护均能够满足《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中的相关要求。

表 11.2-17 模拟定位机和 SPECT-CT 机房屏蔽设计及评价结果表

机房名称	管电压 (kV)	防护要求	屏蔽体	屏蔽设计	评价结果
模拟定位机 (负一楼，底层)	150	有用线标称 125kV 以上的摄影机房： 有用线束方向铅当量不小于 3mm	南、北墙体	岩土层+砖墙	满足
			上、下墙体	岩土层+混凝土	
		有用线标称 125kV 以上的摄影机房： 非有用线束方向铅	西侧墙体	25cm 混凝土或 36cm 实砌砖墙+2cm 防辐射涂料	
			防护门	3mmPb	

		当量不小于 2mm	观察窗	3mmPb	
SPECT-CT (负一楼, 底层)	140	有用线束及非有用线束方向铅当量不小于 2mm (一般工作量) ^①	东墙、南墙、西墙	30cm 混凝土	满足
			北墙	24cm 实心砖+ 2cm 防辐射涂料	
			顶部	20cm 混凝土	
			防护门	3mmPb	
			观察窗	3mmPb	
注①: 本项目 SPECT-CT 每天最大工作量为 31 人次, 扫描厚度约为 10mm/层 (定位)。偏保守估计: 每人约 5 层, 每周扫描层数不超过 1100 层。根据 GBZT180, 一般工作量 (140kV) 每周小于 2500 层, 为一般工作量。					

11.3 事故影响分析

11.3.1 放射性同位素事故影响分析

(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。医院将每天使用的放射性药物暂存于贮源室。为杜绝该事故的发生, 医院应加强管理, 贮源室应设置双人双锁, 药物存放于带铅屏蔽的保险柜内, 室内设置监控摄像等防盗措施。

(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缘向中心擦抹, 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 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。

(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) 针对可能发生的事故风险, 建设单位应根据发生辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围, 制定辐射事故应急方案。

(5) 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) 中的规定, 当发生或发现辐射事故后, 当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施, 采取必要防范措施, 并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》, 向当地环境保护部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的, 还应同时向当地卫生行政部门报告。

11.3.2 医用直线加速器事故影响分析

1、风险分析

医用直线加速器主要用于肿瘤放射治疗, 加速器只有在治疗期间时才会产生 X 射线等, 因此, 该项目辐射事故多为人员误留或误入加速器治疗机房产生的误照射事故, 主要有:

- (1) 辐射工作人员违反操作规程或误操作, 造成意外照射;
- (2) 加速器治疗期间工作人员或其他人员误留在照射室内, 致使其受到大剂量辐照;
- (3) 由于加速器安全联锁装置、工作状态指示灯或其他安全装置失灵, 治疗期间人员误入加速器机房内受到误照射;
- (4) 加速器维修调试过程中, 因维修人员误操作导致加速器出束, 可能发生误照射;
- (6) 加速器维修调试过程中, 虽关闭了加速器高压, 但未切断加速器电源, 由于暗电流而造成的误照射。

2、应急方案与准备

医用加速器在正常运行过程由于采取相应的屏蔽防护和辐射安全措施, 不会对其他人员造成照射, 但遇特殊意外情况亦可能会发生误照射而造成人员损伤, 故应对这种潜在照射危害采取应急措施。

为了防止误照射事故发生, 对加速器治疗工作采取了门机联锁, 照射现场电视监控, 对讲传话以及工作人员进入照射室携带个人报警器等措施, 对人员误入辐照现场接受不必要照射, 提供了有效的预防。

此外, 当发生以下意外照射事件, 可采取相应应急措施。

- (1) 工作人员进入加速器房进行摆位或其它照射前准备工作时, 控制台前操作人

员疏忽失职误将加速器开机出束，会发生工作人员误照射事件。工作人员发现加速器已经出束（照射红灯点亮），可就近在治疗床边、加速器立柱或迷道内入口等处，按红色标志的急停开关，切断电源，迫使加速器关机停止出束；

（2）加速器维修调试过程，因检修人员误操作，导致加速器出束，发生人员误照射事件，室内人员发现加速器意外出束，可立即就近按红色急停开关，切断加速器电源；

（3）治疗病人陪伴者或其它人员误留机房内，在加速器开机出束后，操作人员从监控器内发现，可立即在控制台上按急停开关，切断加速器电源；

（4）加速器治疗过程发生意外停电，加速器停止出束，操作人员应将加速器处于关机状态，记录已照射剂量和已照射时间。以便加速器正常运行后继续完成应照射剂量。操作人员可用手动方式开启机房大门，将治疗病人按应急灯指引，引导离开机房；

（5）当发生上述加速器意外出束，人员受照事件后，应迅速将受照人员撤离现场，并估算人员受照剂量。如受照人员未携带个人剂量计，则可根据人员所在部位，加速器照射条件，初步估算人员受照剂量。根据初步剂量估算结果确定受照人员是否要进行医学观察及治疗。

（6）当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向单位的辐射安全负责人和法定代表人报告。医院应立即启动本单位的辐射事故应急措施，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

11.3.3 III 类射线装置事故影响分析

本项目 III 类射线装置主要存在以下几种事故工况：

- （1）辐射工作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射；
- （2）操作时其他无关人员滞留在 CT 机房内，受到照射；
- （3）射线装置维修调试过程中，因维修人员误操作导致设备出束，可能发生误照射。

医院应加强管理，严格执行安全操作规程。医院还要经常监测射线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。当发生辐射事故时，该医院应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并在规定时间内填写《辐射事故初始报告表》，向当地环境保护部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫生行政部门报告。

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

衢州市人民医院已在规章制度中明确了辐射安全管理机构和职责,成立了放射防护安全管理小组(衢市医发[2013]65号,附件7)。

医院放射防护安全管理小组明确了:医疗放射安全防护工作由设备科指定专人负责放射科、放疗科放射防护的日常管理实务(放射防护设备防护效果的自查及监测、设备相关档案的管理、年检换证、变更及注销事宜);医务处和门诊部负责放射诊疗治疗及放射事故的报告;防保处负责放射工作人员的定期健康检查、职业健康档案建立、放射卫生知识的培训及个人监测;总务处负责放射诊疗场所的防护效果自查监测和台账管理;放射设备所在科室负责落实相关的放射安全防护制度。

医院放射防护安全管理小组明确了各小组成员的职责与分工。

本项目的核医学科属于新建,其相关辐射安全管理内容未在医院现有的放射防护小组中体现,应把新建核医学科的放射防护安全管理纳入医院的放射防护安全管理小组的管理,核医学科相关成员加入医院放射防护安全管理小组,并明确其职责与分工。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 现有情况

(1) 辐射安全许可情况

医院已根据相关法律、法规及文件的要求,在基本健全各项规章制度和管理机构的基础上,取得了浙江省环境保护厅颁发的《辐射安全许可证》(浙环辐证[H0019](00652),有效期至2020年6月15日),许可的种类和范围:使用II类、III类射线装置。

(2) 辐射工作制度

医院已制定《辐射安全管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射性废物处理制度》、《射线装置使用场所安全措施》、《设备检修维护制度》、《放射工作人员培训计划》、《辐射安全监测方案》、《辐射事故应急预案》、《射线装置使用登记制度》《辐射工作安全责任书》、《放疗质控小组成员职责》、《核医学科安全管理制度》、《核医学科 SPECT 操作室工作制度》、《注射室工作制度》、《核医学科岗位职责》等规章制度。

同时,各科室根据项目开展特点,制定了相应的工作制度、操作规程、岗位职责、放射防护制度、设备检修维护制度、台账管理制度等,并落实执行。详见支撑材料。

(3) 个人剂量检定情况

医院现有的辐射工作人员均配备了个人剂量计，个人剂量计每 3 个月到相关部门检测一次，并建立了个人剂量档案。根据支撑材料，方涛、祝峰季度个人剂量超标，医院已查明其季度个人剂量超标原因：误把个人剂量计遗落在辐射工作场所，经统计，其二人年剂量未超标。医院提出了整改措施，并加强了个人辐射安全教育。剂量偏高原因调查表及整改措施见支撑材料。

（4）职业健康体检情况

医院已开展职业健康体检工作，职业健康检查报告书见支撑材料，辐射工作人员在岗期间的职业健康检查结果：受检人员未见职业健康损害，可继续原放射工作。

（5）职业资格培训情况

所有辐射工作人员取得《辐射安全和防护培训》合格证书，取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次再培训。本项目相关辐射工作人员《辐射安全和防护培训》合格证书见支撑材料。

（6）年度评估制度

衢州市人民医院每年底对辐射防护工作进行年度评估，历年工作未发生辐射事故。

12.2.2 规章制度的补充建议

医院本次项目包括：乙级、丙级非密封放射性物质工作场所和 II 类、III 类射线装置，应结合新开展的乙级、丙级非密封放射性物质工作场所项目，及新增的 II 类、III 类射线装置，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。

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管理办法》等法律法规要求，衢州市人民医院应对其制定的一系列相关管理制度进行补充完善，本报告对各项制度的要点提出以下建议：

（1）成立由院长为组长，由核医学科、放射科、放疗科及其他相关科室负责人参加的放射防护安全管理领导小组，负责对全院放射防护管理的组织领导工作，核医学科等相关科室各指派一名人员分别负责核医学等科内放射防护日常管理工作的。

（2）制定并实施放射防护管理制度，需要制定的管理制度应包括：放射工作人员健康管理制；放射性工作场所管理制度；放射性药物质量控制规程；放射性药物分装操作规程；放射性药物注射给药规程；放射性药品储存场所安全防护制；放射性药品使用登记、核对制度；放射性药品订购、运输、保管、退役管理制度；临床核医学诊断质

量保证管理制度；工作场所及周围环境放射防护检测、检查制度等。

由医院放射防护管理领导小组负责对规章制度的实施情况进行检查。

(3) 操作规程：核医学科应制定 SPECT-CT、 ^{99m}Tc 、 ^{131}I 、 ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 、 ^{89}Sr 、 ^{32}P 等核素治疗和诊断项目的操作规程，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施，明确工作中的控制措施以及操作程序等；放疗科等相关科室应制定本项目 II 类、III 类目射线装置的放射诊断、治疗设备的操作规程及治疗过程中应急措施，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施。

(4) 岗位职责：明确管理人员、操作人员、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，层层落实。

(5) 放射性核素台帐和使用登记制度：核医学科应建立放射性核素台帐和使用登记制度，规范放射性核素台帐和核素使用登记记录，对购入的放射性核素的使用情况进行登记和跟踪记录。

(6) 辐射防护和安全保卫制度：根据各科室的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是：定期检查相关的辐射安全装置及检测仪器，发现问题及时修理或更换；工作人员定期开展个人剂量检测和职业健康监护。环境辐射剂量监测仪和表面沾污仪必须保持良好工作状态。

(7) 设备检修维护制度：明确监控设备以及监测仪器在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，剂量报警仪和监测仪器必须保持良好工作状态。

(8) 人员培训计划：明确培训人员、培训周期、培训形式、培训内容、频次等，培训记录建立档案，做到有据可查。本项目建成后，要求组织所有新增的辐射工作人员和辐射安全防护负责人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，并按每 4 年一次的要求进行复训，同时应为辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康档案。

(9) 事故应急预案：根据核医学科等各科室的实际情况，制定合理可行的应急预案，应急预案应有明确的责任分工和切实可行的应急措施，内容应包括辐射事故的报告程序、事故状态下工作人员的撤离、发生事故后的环境污染应急处理、工作人员受照剂量的确定、受照人员的救治等。当发生辐射事故时，医院应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化，并在规定时间内向当地环境保护部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射时，还应同时报告当地卫生主管部门。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器和防护设备

衢州市人民医院使用非密封放射性物质，其新建核医学科属乙级非密封源工作场所，医用直线加速器属 II 类射线装置，模拟定位机和 SPECT-CT 属 III 类射线装置。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 台表面沾污仪，直线加速器机房应至少配置 2 台个人剂量报警仪，每个 III 类 X 射线机机房应至少配置 1 台个人剂量报警仪。射线装置机房应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。每个辐射工作人员均应配备个人剂量计。

12.3.2 监测计划

医院可委托有资质的单位，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：每年常规监测一次；
- （2）监测范围：各机房屏蔽墙外，防护门及缝隙处，候诊区、操作台等；
- （3）监测项目：X、 γ 辐射剂量率；表面污染等。
- （4）监测记录应清晰、准确、完整并纳入档案进行保存。

日常工作中，每次诊疗结束或其他相关操作（分装或注射等）完成后，还需使用表面污染监测仪对和医学科放射性污染情况进行监测。工作人员离开放射工作场所，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。

衰变池放射性废水与污泥外排前，应由有资质的监测机构进行检测，符合相关标准后，方可排放。

12.4 辐射事故应急

衢州市人民医院目前仅有 II 类、III 类射线装置，制定了射线装置的《辐射事故应急预案》。本项建设内容包括：新建核医学科、II 类、III 类射线装置，应结合项目的开展，制定相应的辐射事故应急预案/措施，建立应急机构。特别核医学科属首次开展，应根据应用的放射性药物，制定相应的应急预案、措施、机构、应急设施，并开展应急演练与培训。

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条的规定，须完善辐射事故应急方案，主要包括下列内容：

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可能发生辐射事故类别与应急响应措施；

④辐射事故调查、报告和处理程序。

发生辐射事故时，事故单位应立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取应急措施，立即向当地环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。

表 13 “三同时”措施及公告

13.1 “三同时”措施

根据《中华人民共和国环境影响评价法》的要求，本项目除履行环境影响审批手续外，还应落实环保验收制度。环保投资及“三同时”验收见表 13.1-1。

“三同时”措施必须在项目运行前落实到位。

表 13.1-1 环保投资及“三同时”验收一览表

项目	环保及安全管理措施	内容	环保投资（万元）	
辐射安全管理机构	设立辐射安全管理机构或指派辐射管理专职人员	已成立放射防护安全管理小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	/	
辐射安全和防护措施	屏蔽措施	核医学科和直线加速器机房、模拟定位机等辐射工作场所的屏蔽设计详见“表 10 辐射安全与防护”，屏蔽设计参数见表 10.1-3、10.1-4、10.1-5。	320	
	安全措施	联锁装置、警示标志、工作指示灯等	10	
	防护用品	放射性核素操作人员配备铅衣、铅眼镜、铅围脖、铅帽等个人防护用品。自动分装仪。	10	
	放射性废物处理（核医学科）		医院拟设 2 个 12m ³ 的放射性废水衰变池	10
			核医学科设置放射性废物桶及污物贮存室（暂存于贮源室），放射性固体废物经分类收集并自然衰变十个半衰期，经检测满足排放标准后，作为医疗废物处理。	2
			分装室设置铅通风橱，所有放射性核素均在通风橱内操作，通风橱内设有专用通风管道，工作中设计风速不小于 1m/s，排气口高于本建筑顶部 3m 以上，排气口设置活性炭过滤装置和雨帽。	5
	放射性废物处理（直线加速器）		加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时 6 次，直线加速器治疗室通风管道不破坏机房整体屏蔽效果。	3
			直线加速器治疗室电缆线布设不破坏机房整体屏蔽效果。	1
人员配备	辐射防护与安全培训和考核	核医学科、放射科等科室所有辐射工作人员及辐射安全负责人均应参加辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训，并且只有在通过考核后方可从事相关工作。	2	

	个人剂量监测	辐射工作人员应定期健康检查，定期进行个人剂量监测，医院建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。	2
	人员职业健康监护		
	监测仪器和防护用品	核医学科应至少配置 1 台环境辐射巡测仪和 1 台表面沾污仪，直线加速器机房应至少配置 2 台个人剂量报警仪，每个 III 类 X 射线机机房应至少配置 1 台个人剂量报警仪。射线装置机房应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。每个辐射工作人员均应配备个人剂量计。	14.5
	辐射安全管理制度	结合项目实际情况，制定和完善操作规程、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、台帐管理制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等	/
	合计		379.5

13.3 公告

根据《中华人民共和国环境影响评价法》和《浙江省建设项目环境保护管理办法》有关规定，本项目在环评阶段进行了公众参与，公众参与采用告知书的方式。

本项目的环评告知书已于2016年3月16日在衢州市人民医院门口公示栏施进行张贴（参见 13.3-1）。告知书内容主要包括本项目概括、环境影响及初步评价结论等。意见反馈方式主要为电话。

本项目公示时间为10个工作日，期间未接到任何意见反馈。

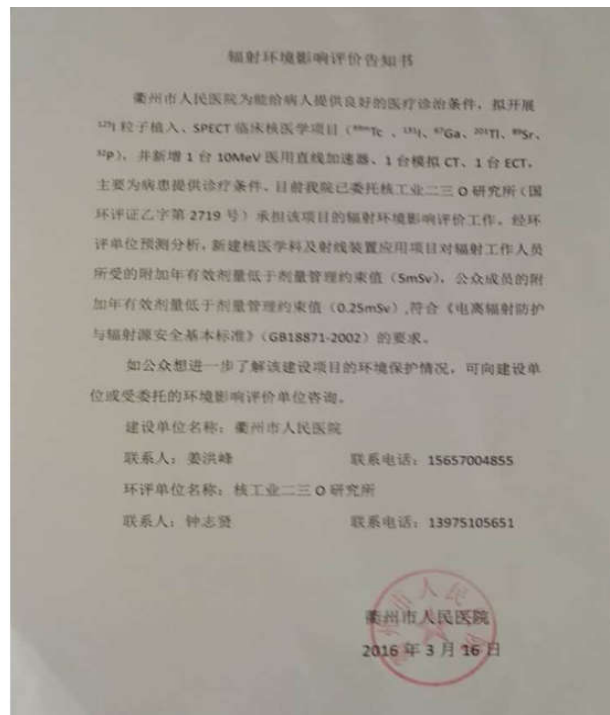


图 13.3-1 环评公告现场图

表 14 结论与建议

14.1 结论

14.1.1 实践正当性分析

医院实施本项目，目的在于开展放射诊疗工作，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。

14.1.2 选址合理性分析

衢州市人民医院位于衢州市柯城区钟楼底 2 号，距离衢江约 550m。医院东侧为北门街，西侧为下街，南侧为钟楼底，北侧为新河沿。

本项目的辐射工作场所的评价范围均位于医院内部，且评价范围内无敏感点。主要环境保护目标为该医院从事放射诊断治疗的工作人员、机房周围其他非辐射工作人员和公众成员。根据辐射环境影响分析，项目不会对周围环境产生辐射影响，故本项目的选址合理可行。

14.1.3 布局合理性分析

核医学工作场所按功能及放射性操作水平划分为控制区和监督区，实施分区管理，分别设计有病人进出路线、医务人员进出路线，可有效避免带有放射性病人对其它人员造成不必要照射，符合《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于临床核医学工作场所对于布局的要求，项目布局基本合理。

医用直线加速器机房控制室与治疗室分离，治疗室设置直迷路，迷路口设有防护门，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）及《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ 126-2011）中的相关要求，项目布局基本合理。

模拟定位机及 SPECT-CT 等 III 类射线装置机房控制间与诊断机房均分开布置，均符合《医用 X 射诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）的要求，项目布局基本合理。

14.1.4 辐射防护评价

本项目直线加速器治疗室采用混凝土浇筑结构，防护门内含铅+含硼石蜡；核医学科、III 类射线装置机房等辐射工作场所墙体采用实心砖结构+防辐射涂料，或者混凝土墙壁，各防护门均采用铅防护门，观察窗均为铅玻璃观察窗。核医学科给药室拟配备铅通风橱和自动分装仪，放射性核素操作人员拟配备铅衣、铅眼镜、铅围脖、铅帽等个人

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，根据理论估算分析结果，该院拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

14.1.5 保护目标剂量估算

根据理论估算结果，该院核医学诊断治疗、直线加速器放射治疗及 X 射线诊断等项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。

14.1.6 辐射安全措施评价

本项目核医学科控制区入口处、控制区各房间防护门、放射性废物桶表面拟设置电离辐射警告标志，同时在 SPECT-CT 机房门口设置工作指示灯。

直线加速器产生辐射的主要控制系统用开关钥匙进行控制，直线加速器治疗室迷道门设计安装门机联锁装置，迷道门外设置“当心电离辐射”警告标志、工作状态指示灯，治疗室和控制室内设计安装紧急停机开关，治疗室内设计安装实时监控装置，并配备对讲装置。

模拟定位机和 SPECT-CT 机房防护门外均设置电离辐射警告标志和工作状态指示灯。

在落实以上措施后，本项目新建核医学、医用直线加速器、III 类射线装置等的安全措施能够满足安全防护要求。

14.1.7 辐射安全管理评价

衢州市人民医院已成立放射防护安全管理领导小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；该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和本项目相关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，本项目建成后如需新增人员也须进行上岗培训。该院已对辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

14.1.8 辐射防护监测仪器

核医学科应至少配置 1 台环境辐射巡测仪和 1 台表面沾污仪，直线加速器机房应至少配置 2 台个人剂量报警仪，每个 III 类 X 射线机机房应至少配置 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。

14.1.9 放射性废物处理分析

本项目核医学科拟设置放射性废物桶及放射性污物贮存室（暂存于贮源室），放射性固体废物经分类收集并自然衰变十个半衰期，经检测满足排放标准后，作为医疗废物处理；医院拟设放射性废水处理系统，每个衰变处理池容积 12m^3 ，自然衰变后经检测符合 GB18871-2002 排放条件后，进入医院污水处理站处理后外排；核医学科分装室内拟配置铅通风橱和自动分装仪，所有放射性核素均在通风橱内操作，通风橱内设有专用通风管道，工作中设计风速不小于 1m/s ，排气口高于本建筑顶部 3m 以上，排气口设置活性炭过滤装置和雨帽。本项目放射性废物收集和处理方法基本合理，放射性废物处置得当，符合环境保护要求。

14.1.10 结论

综上所述，衢州市人民医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后，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，本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，该项目的建设和运行是可行的。

14.2 建议

(1) 在核医学诊断治疗实际操作过程中严格遵照《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006)，对受检者吸收的剂量或剂量率以《GB18871-2002》附录 G 中的“放射诊断和核医学诊断的医疗照射指导水平”实施控制；同时应加强对患者陪护人员的管理，应对用药患者的活动加以限制并对其陪护人员给予必要的辐射防护指导。

(2) 该项目运行中，应严格遵循操作规程，加强对医务人员的培训，杜绝麻痹大意思想，以避免意外事故造成对公众和职业人员的附加影响，使对环境的影响降到最低。

表 15 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：

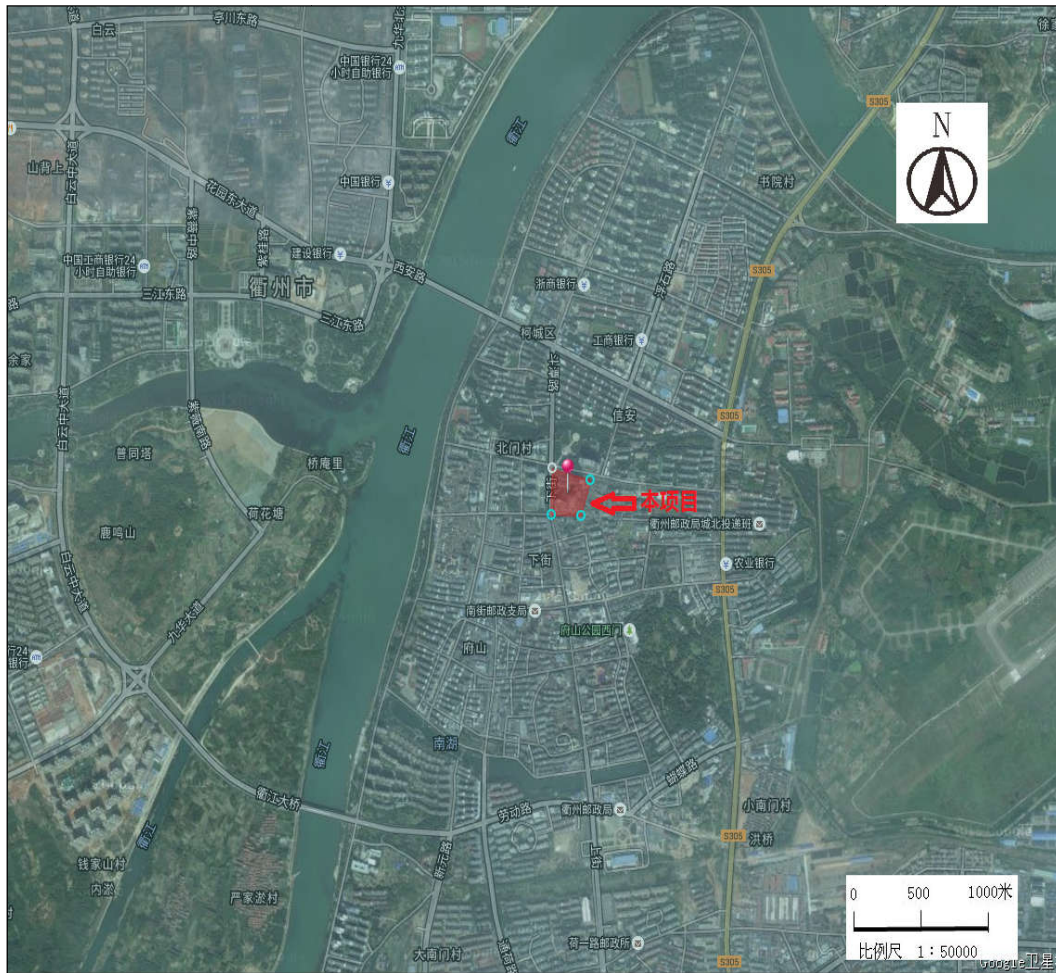
公章
年 月 日

建设项目环境保护审批登记表

填表单位（盖章）：		核工业二三〇研究所				填表人（签字）：				项目经办人（签字）：							
建设项目	项目名称	医用放射性同位素及射线装置应用项目						建设地点		衢州市柯城区钟楼底2号							
	建设规模及内容	(1) 放射性同位素：乙级非密封放射性工作场所（核素共6种： ^{99m} Tc、 ¹³¹ I、 ⁶⁷ Ga、 ²⁰¹ Tl、 ⁸⁹ Sr、 ³² P） (2) 射线装置：1台（套）II类射线装置（医用直线加速器）、2台（套）III类射线装置（SPECT-CT台、模拟定位机各1台）						建设性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它							
	行业类别	卫生-综合医院（8211）						环境影响评价管理类别		<input type="checkbox"/> 编制报告书		<input checked="" type="checkbox"/> 编制报告表		<input type="checkbox"/> 填报登记表			
	总投资（万元）	1000						环保投资（万元）		379.5		所占比例（%）		37.9			
建设单位	单位名称	衢州市人民医院		联系电话	15657004855			评价单位	单位名称	核工业二三〇研究所			联系电话	0731-85484684			
	通讯地址	衢州市柯城区钟楼底2号		邮政编码	324000				通讯地址	湖南省长沙市雨花区桂花路34号			邮政编码	410116			
	法人代表	陈震宏		联系人	姜洪峰				证书编号	国环评证乙字第B2719号			评价经费（万元）				
建设项目所处区域现状	环境质量等级	环境空气		地表水		地下水		环境噪声		海水		土壤		其它			
	环境敏感特征	<input type="checkbox"/> 自然保护区 <input type="checkbox"/> 风景名胜区 <input type="checkbox"/> 饮用水水源保护区 <input type="checkbox"/> 基本农田保护区 <input type="checkbox"/> 水土流失重点防治区 <input type="checkbox"/> 沙化地封禁保护区 <input type="checkbox"/> 森林公园 <input type="checkbox"/> 地质公园 <input type="checkbox"/> 重要湿地 <input type="checkbox"/> 基本草原 <input type="checkbox"/> 文物保护单位 <input type="checkbox"/> 珍稀动植物栖息地 <input type="checkbox"/> 世界自然文化遗产 <input type="checkbox"/> 重点流域 <input type="checkbox"/> 重点湖泊 <input type="checkbox"/> 两控区															
污染物排放达标与总量控制（工业建设项目详填）	排放量及主要污染物		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）						
			实际排放浓度(1)	允许排放浓度(2)	实际排放总量(3)	核定排放总量(4)	预测排放浓度(5)	允许排放浓度(6)	产生量(7)	自身削减量(8)	预测排放总量(9)	核定排放总量(10)	以新带老削减量(11)	区域平衡替代本工程削减量(12)	预测排放总量(13)	核定排放总量(14)	排放增减量(15)
		废水	---	---			---	---									
		化学需氧量															
		氨氮															
		石油类															
		废气	---	---			---	---									
		二氧化硫															
		烟尘															
		工业粉尘															
		氮氧化物															
		工业固体废物															
		与项目有关其它特征污染物	X-γ辐射剂量														

注：1、排放增减量：（+）表示增加，（-）表示减少
 2、(12)：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
 3、(9)=(7)-(8)，(15)=(9)-(11)-(12)，(13)=(3)-(11)+(9)
 4、计量单位：废水排放量——万吨/年；废气排放量——万标立方米/年；工业固体废物排放量——万吨/年；水污染物排放浓度——毫克/升；大气污染物排放浓度——毫克/立方米；水污染物排放量——吨/年；大气污染物排放量——吨/年

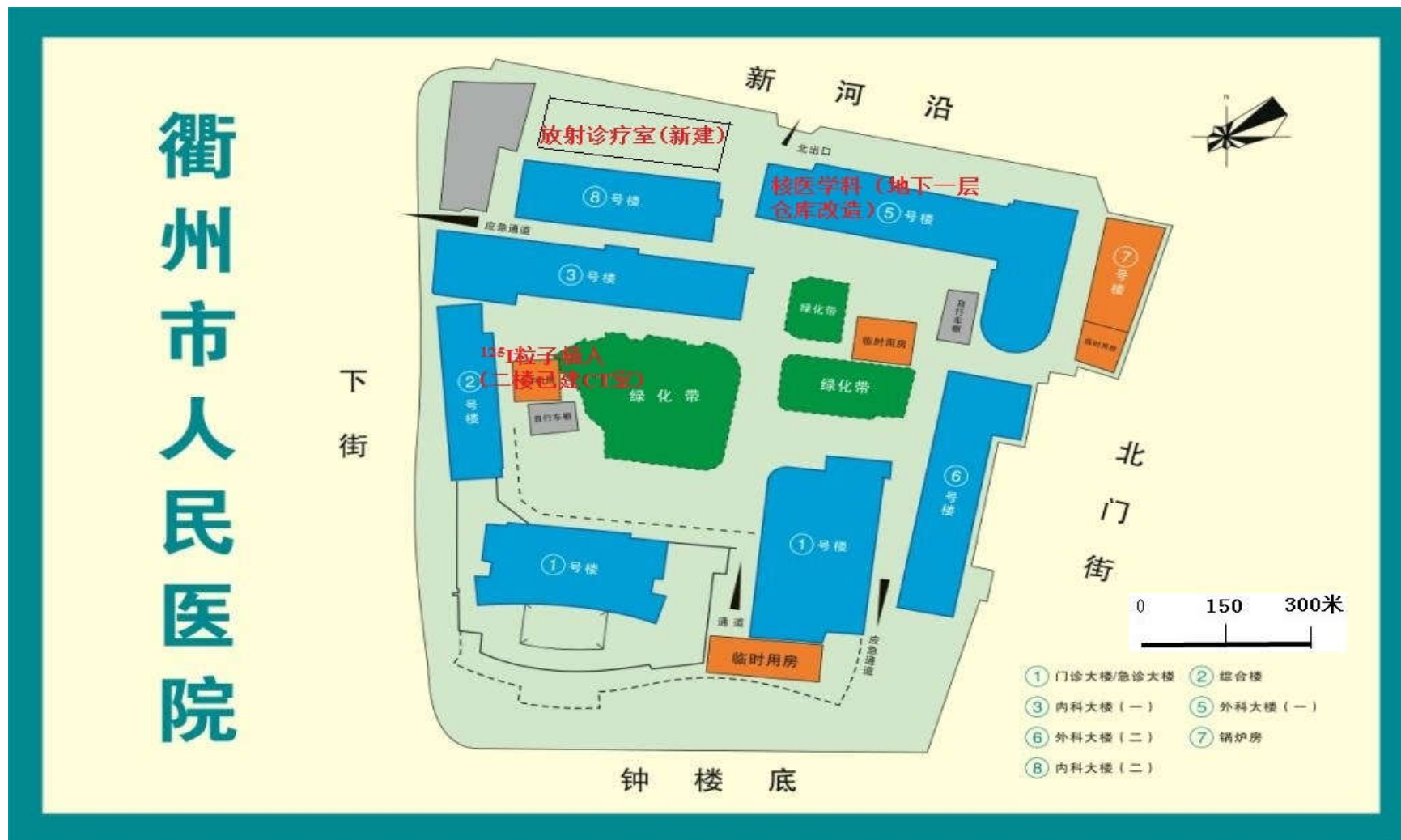
附图 1 项目地理位置图



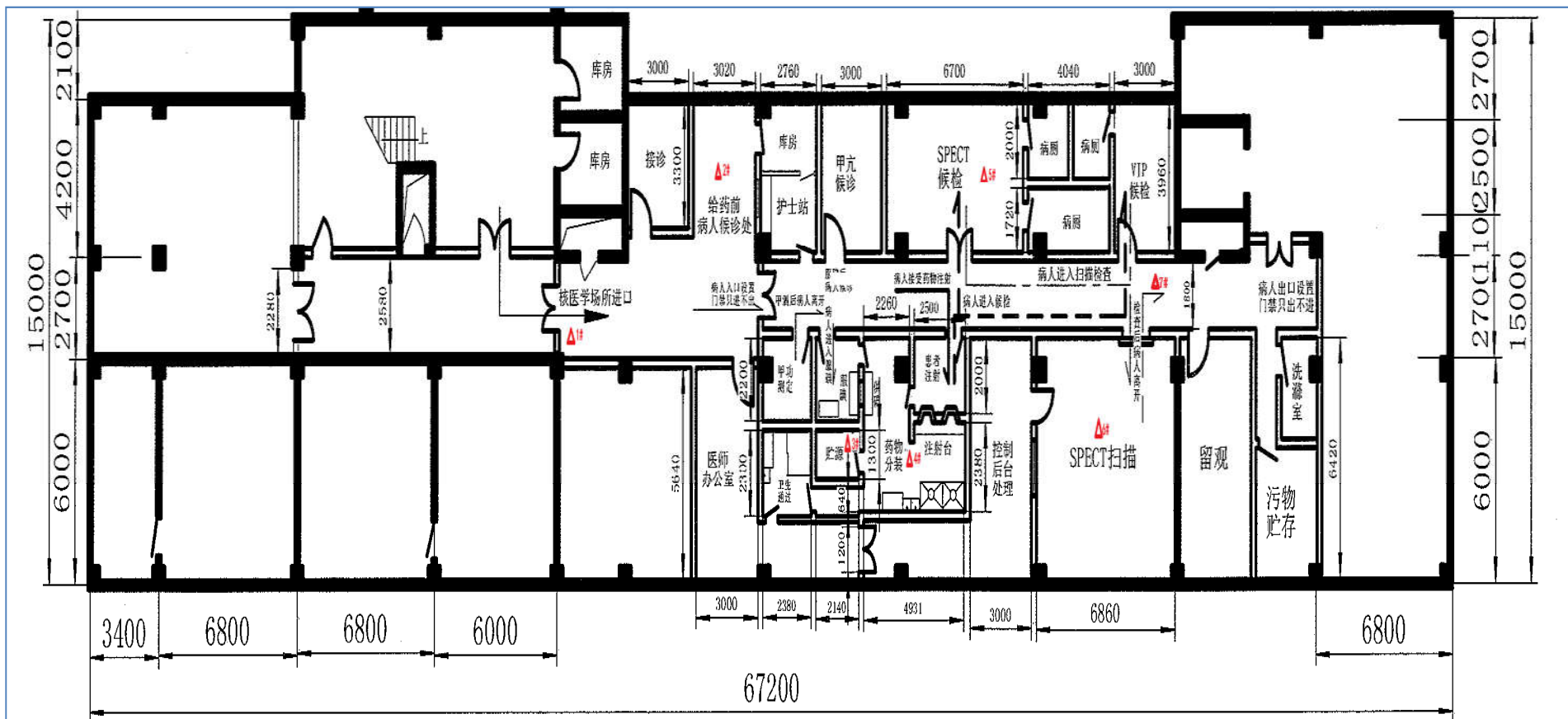
附图 2 医院周边环境关系图



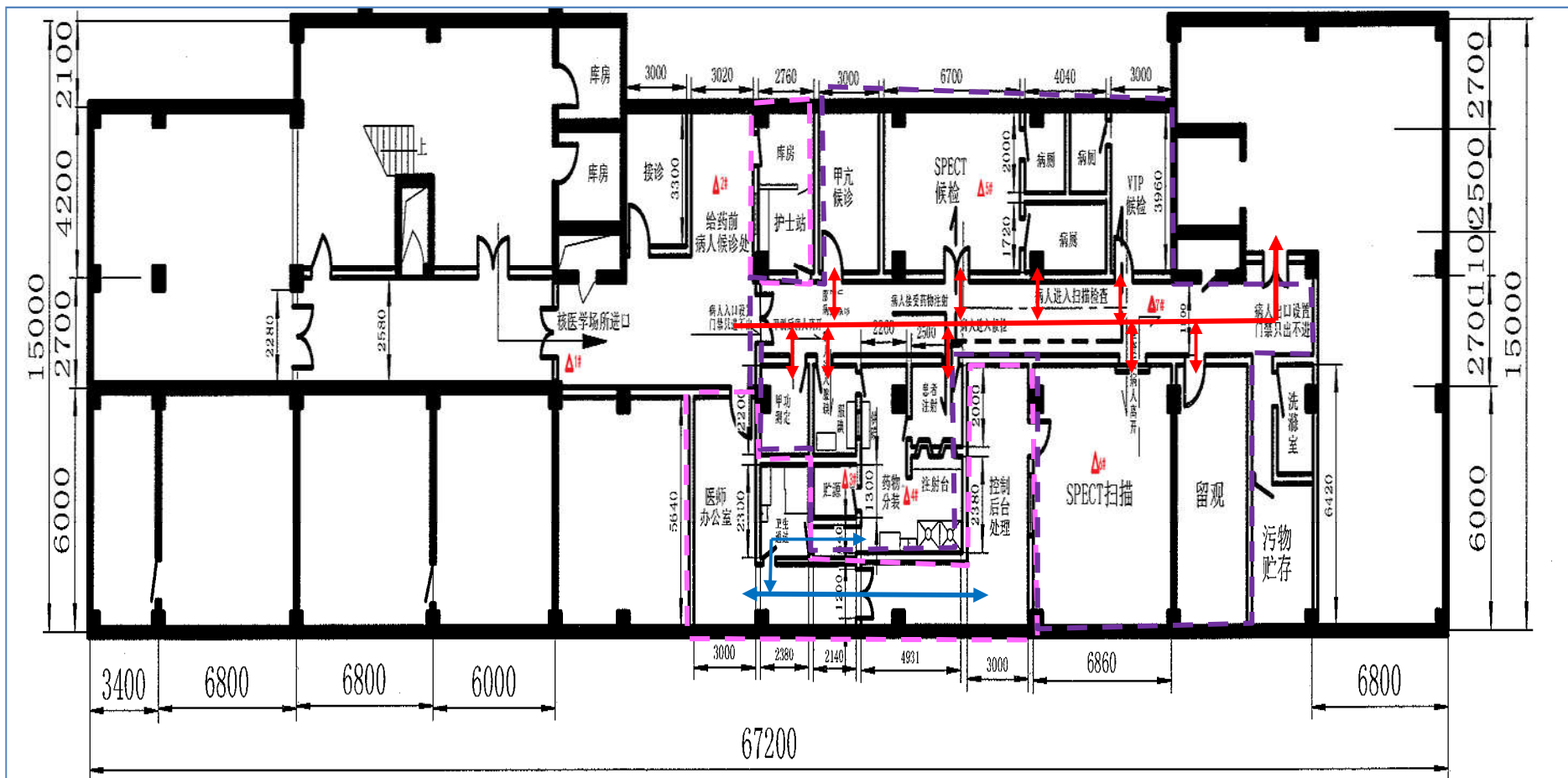
附图3 医院总平面布局及本项目位置图



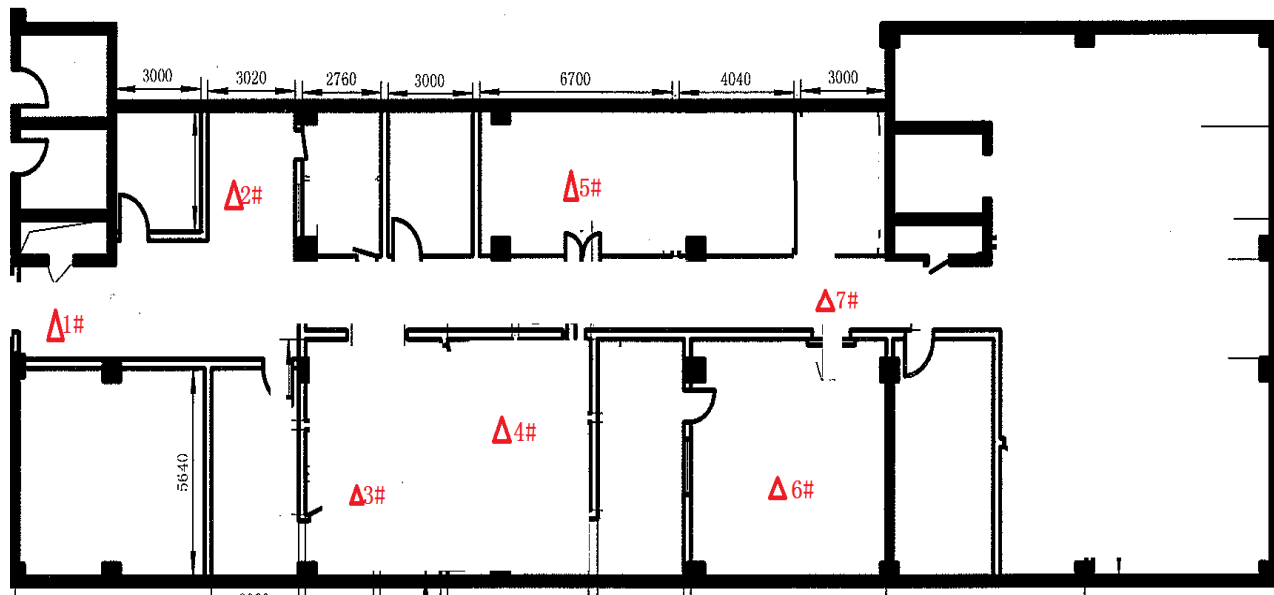
附图4 (a) 核医学科平面布局及监测布点图



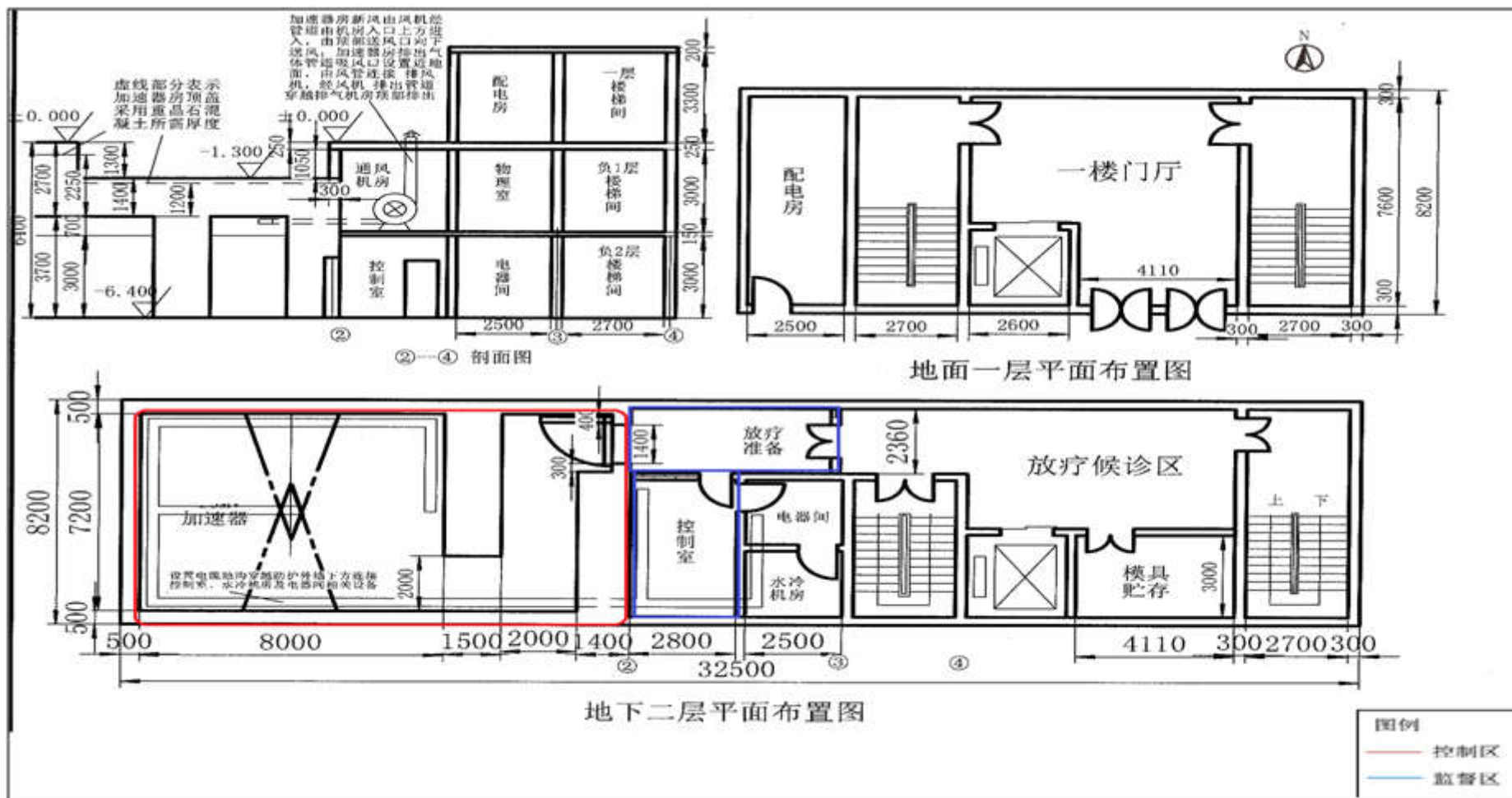
附图 4 (b) 核医学科辐射分区及通道示意图 (红色: 病人通道, 蓝色: 医生通道, 紫色: 控制区, 粉色: 监督区)

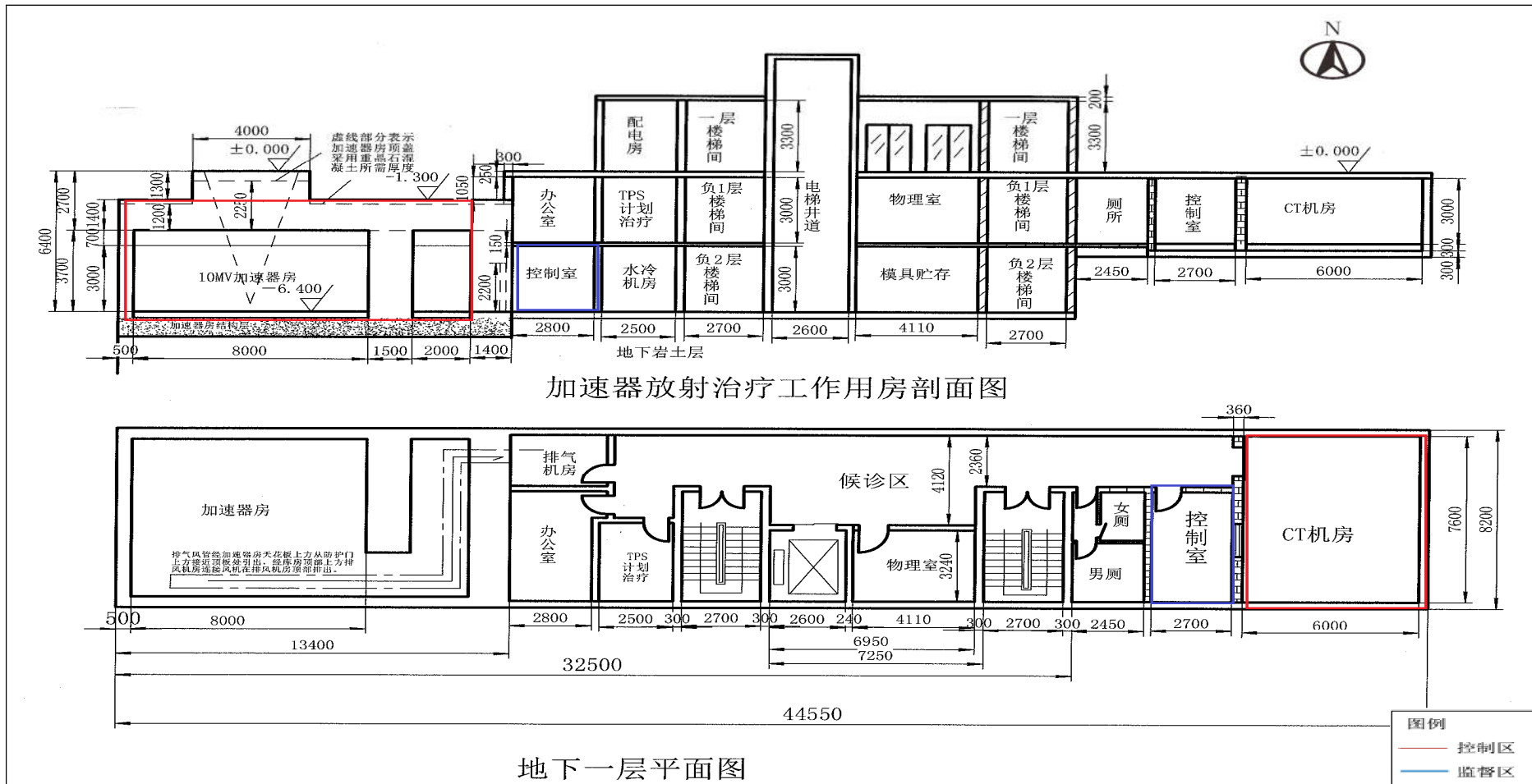


附图 4 (c) 外科大楼 (一) 第一层楼 (拟建核医学科上方) 监测布点图



附图 5 (a) 放射诊疗室平面布局图/剖面图





附图 5 (b) 放射诊疗室辐射环境现状监测布点图

