

核技术利用建设项目

东阳市人民医院 PET-CT 建设项目 环境影响报告表 (公示稿)

东阳市人民医院

2020 年 12 月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

东阳市人民医院 PET-CT 建设项目 环境影响报告表

建设单位名称：东阳市人民医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省东阳市吴宁西路 60 号

邮政编码：322100

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

目 录

表 1 项目基本概况.....	1
表 2 放射源.....	8
表 3 非密封放射性物质.....	8
表 4 射线装置.....	8
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.....	12
表 8 环境质量和辐射现状.....	22
表 9 项目工程分析与源项.....	25
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.....	53
表 13 结论与建议.....	56
表 14 审批.....	59

表 1 项目基本情况

建设项目名称		东阳市人民医院 PET-CT 建设项目			
建设单位		东阳市人民医院			
法人代表	■	联系人	■	联系电话	■
注册地址		浙江省东阳市吴宁西路 60 号			
项目建设地点		浙江省东阳市吴宁西路 60 号新建手术楼一层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资	22000	项目环保投资 (万元)	1500	投资比例 (环保投资/总投资)	6.8%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其它			占地面积 650m ²
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I 类 ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
		☐ 使用	☐ I 类 (医疗使用) ☐ II 类 ☐ III 类 ☐ IV 类 ☐ V 类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☒ 使用	☐ 乙 ☒ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II 类 ☐ III 类		
		☐ 销售	☐ II 类 ☐ III 类		
		☒ 使用	☐ II 类 ☒ III 类		
	其他	/			

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位情况

东阳市人民医院创建于 1939 年，是温州医科大学非直管附属医院，三级乙等综合性医院，国际紧急救援网络医院，上海市第一人民医院、浙江大学医学院附属第一医院、第二医院、邵逸夫医院、浙江省肿瘤医院、上海肿瘤医院、上海胸科医院的协作医院，台湾台中荣民总医院和台湾中国医药大学的合作医院，浙江中医药大学、宜春学院医学院等 6 所医学院校的教学医院。设院本部、巍山院区和义乌天祥医疗东方医院三个工作区，医院本部占地 156 亩。

医院建成了以心脏外科、心血管内科、消化内科、呼吸内科、儿内科、新生儿

科、感染科、肿瘤科、普外科、肝胆外科、胸外科、骨科、妇产科、泌尿外科等市级重点学科和院重点专科为龙头的临床学科体系。

根据医院发展需要，新建一幢手术楼，项目总用地面积 5093 平方米，建筑占地面积 4656 平方米，总建筑面积 31243 平方米，其中地上六层，地下一层，地上建筑面积 26587 平方米，地下建筑面积 4656 平方米，建筑高度 23.4 米。建成后将成为包含洗涤中心、中心供应室、放射中心、手术中心、内镜中心、重症监护中心、病理中心、中心血库、屋面直升飞机停机坪等多功能一体的现代化手术楼。新建手术楼设置床位小于 20 张，建设单位已在建设项目环境影响登记表备案系统（浙江省）进行备案，备案号：202033078300000318。

1.1.2 项目建设内容和任务由来

随着东阳市经济社会的迅速发展，为满足人民群众对高质量医疗卫生服务的需求，建设单位拟在新建的手术楼一层建设核医学工作场所，核医学科拟配备 1 台 PET-CT，涉及 ^{18}F 放射性同位素的使用，日等效最大操作量为 $5.18\text{E}+6\text{Bq}$ ，属丙级非密封放射性物质工作场所，用于开展核素显像检查。

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（生态环境部令第 7 号，2019 年修改）：辐射工作单位在申请领取辐射安全许可证前，应当组织编制或者填报环境影响评价文件，并依照国家规定程序报环境保护主管部门审批。对照《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（环境保护部 国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年 第 66 号），本项目 PET 配套使用的 CT 属 III 类射线装置。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第 44 号）及《关于修改〈建设项目环境影响评价分类管理名录〉部分内容的决定》（生态环境部令第 1 号），本项目属于“五十、核与辐射”中“191、核技术利用建设项目—丙级非密封放射性物质工作场所”，应编制环境影响报告表。

为保护环境，保障公众健康，东阳市人民医院委托杭州旭辐检测技术有限公司对本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《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1—2016），编制该项目的环境影响报告表。

1.1.3 项目建设规模

经与建设单位核实，本次评价内容为：新建手术楼一层建设核医学科，拟配备 1

台 PET-CT，使用 ^{18}F 放射性同位素，日等效最大操作量为 $5.18\text{E}+6\text{Bq}$ ，属丙级非密封放射性物质工作场所，用于开展核素显像检查。

1.2 项目周边保护目标及场址选址

1.2.1 医院地理位置

医院位于浙江省东阳市吴宁西路 60 号，西临吴宁西路，南临西门街，东侧、北侧为居民区，其具体地理位置见附图 1。

1.2.2 辐射工作场所位置及周边保护目标

本次评价的核医学项目位于新建手术楼一层东北侧，其东侧和北侧均为室外，南侧为 DSA 中心，西侧为内部走廊，上层为手术区，下层为去污区；评价范围 50m 区域内除东南角有居民区外无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、学校等其他环境敏感区，医院周边环境状况见附图 2，医院总平图见附图 3，新建手术楼一层平面布置见附图 4，新建手术楼地下一层平面布置见附图 5，新建手术楼二层平面布置见附图 6。

1.2.3 项目选址合理性分析

本次评价的核医学项目位于医院东侧新建的手术楼，属于医院征用地块，周围为医院内部。本项目拟建辐射工作场所实体边界外 50m 区域内除东南角有居民区外无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、学校等其他环境敏感区，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的，故其选址是合理可行的。

1.3 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[G0002]），种类和范围：使用 III 类放射源；使用 II 类、III 类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所。有效期至 2022 年 09 月 27 日（见附件 4）。

医院原有辐射设备环评履行情况及验收情况见表 1-1、表 1-2、表 1-3。

表 1-1 已运行放射源

序号	名称	类别	数量	活度 (Bq)	工作场所	环评情况	验收情况
1	Ir-192	III	1	$3.7\text{E}+11$	后装治疗室	浙环辐 [2006]103 号	浙环辐验 [2008]24 号

表 1-2 已运行非密封放射性物质工作场所

序号	名称	场所等级	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	工作场所	环评情况	验收情况
1	^{99m} Tc	乙级	7.4E+7	8.9E+11	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐[2006]103 号	浙环辐验[2014]20 号
2	⁸⁹ Sr	乙级	3.0E+7	7.4E+11	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐[2006]103 号	2019 年自主验收
3	¹³¹ I	乙级	1.48E+7	3.7E+11	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐[2006]103 号	2019 年自主验收
4	¹²⁵ I	乙级	5.1E+4	3.0E+8	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐[2006]103 号	2019 年自主验收
5	¹²⁵ I (粒子源)	丙级	2.0E+7	3.9E+10	北一号楼地下室肿瘤中心	金环建东[2016]1 号	2019 年自主验收

表 1-3 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	15MV 直线加速器	II	1	Primus plus	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐[2006]103 号	浙环辐验[2008]24 号
2	10MV 直线加速器	II	1	Synergy	北一号楼地下室肿瘤中心	金环建东[2016]1 号	2019 年自主验收
3	模拟定位机	III	1	LX-40A	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐[2006]103 号	浙环辐验[2008]24 号
4	SPECT-CT	III	1	Precedence 6	北一号楼地下室肿瘤中心	浙环辐[2006]103 号	浙环辐验[2014]20 号
5	DSA	II	1	Allura Xper FD20	医疗综合楼二楼	金环建东[2016]1 号	2019 年自主验收
6	DSA	II	1	Allura Xper FD20	医疗综合楼二楼	金环建东[2016]1 号	2019 年自主验收
7	数字胃肠机	III	1	TU-51	医疗综合楼二楼	金环建东[2016]1 号	2016 年 3 月 24 日取得东阳市环境保护局验收意见
8	数字胃肠机	III	1	TU-51	医疗综合楼三楼	东环[2015]130 号	
9	DR	III	1	DRX-NOVA	医疗综合楼五楼	东环[2015]130 号	
10	DR	III	1	Ysio	医疗综合楼一楼	东环[2015]130 号	
11	DR	III	1	Digital Diagnost	医疗综合楼二楼	东环[2015]130 号	
12	DR	III	1	Axion Aristos	医疗综合楼二楼	东环[2015]130 号	

续表 1-3 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
13	CT	III	1	Somatom Volume Access	医疗综合楼二 楼	东环 [2015]130 号	2016 年 3 月 24 日取得东 阳市环境保 护局验收意 见
14	CT	III	1	Brilliance CT64Slice	医疗综合楼二 楼	东环 [2015]130 号	
15	CT	III	1	Aquilion TSX-101A	医疗综合楼一 楼	东环 [2015]130 号	
16	CT	III	1	Definitio n AS Open	医疗综合楼二 楼	东环 [2015]130 号	
17	乳腺机	III	1	MAMMOMATI nspiration n	医疗综合楼二 楼	东环 [2015]130 号	
18	牙片机	III	1	X-28-FIR	医疗综合楼五 楼	东环 [2015]130 号	
19	全景机	III	1	X-550-AEA FCP	医疗综合楼二 楼	东环 [2015]130 号	
20	口腔 CT 机	III	1	Kavo 3D exam i	医疗综合楼五 楼	东环 [2015]130 号	
21	全身密度 仪	III	1	Prodigy	医疗综合楼四 楼	东环 [2015]130 号	
22	碎石机	III	1	HK. ESWL-V I	医疗综合楼三 楼	东环 [2015]130 号	
23	移动式 X 光机	III	1	IME-1001	移动使用	东环 [2015]130 号	
24	移动式 X 光机	III	1	IME-1001	移动使用	东环 [2015]130 号	
25	移动式 X 光机	III	1	Sirius 125MP	移动使用	东环 [2015]130 号	
26	移动式 X 光机	III	1	Mobieye	移动使用	东环 [2015]130 号	
27	C 臂机	III	1	BV-Endura	医疗综合楼东 大楼二楼	东环 [2015]130 号	
28	C 臂机	III	1	BV-Libra	医疗综合楼东 大楼二楼	东环 [2015]130 号	
29	C 臂机	III	1	BV-25 Gold	医疗综合楼东 大楼二楼	东环 [2015]130 号	
30	CT	III	1	Spirit	巍山院区放射 科	东环 [2015]130 号	
31	DR	III	1	CXDI-50G	巍山院区放射 科	东环 [2015]130 号	

续表 1-3 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
32	C 臂机	III	1	Brivo OEC 850	巍山院区手术室	东环 [2015]130 号	2016 年 3 月 24 日取得东 阳市环境保 护局验收意 见
33	床边机	III	1	POLYMOBIL Plus	巍山院区放射 科	东环 [2015]130 号	
34	床边机	III	1	POLYMOBIL -II	巍山院区放射 科	东环 [2015]130 号	
35	透视机	III	1	F52-8C	巍山院区放射 科	东环 [2015]130 号	

1.4 原有核技术利用项目辐射安全管理情况

1) 辐射安全防护管理机构

医院已成立了辐射安全防护领导与管理小组，明确了各成员职责。

2) 辐射工作制度

医院已制定《辐射安全防护和管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《使用登记制度》、《放射工作人员培训、体检及保健制度》、《监测方案》、《质量检测方案》、《放射事故报告制度及处理预案》、《放射性废物处理方案》、《放射事故报告制度处理预案》等规章制度。

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

3) 个人剂量检定情况

辐射工作期间，辐射工作人员佩戴了个人剂量计，每三个月送浙江省疾病预防控制中心检测一次，并建立了个人剂量档案，终生存档保存。

4) 职业健康体检情况

医院已组织现有的辐射工作人员在浙江大学医学附属第一医院参加职业健康体检，不超过两年检查一次，并建立了职业健康监护档案。

5) 职业资格培训情况

医院已组织现有辐射工作人员参加辐射安全和防护培训，并取得合格证书，未参加或已超过四年的医院可通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名参加考试。

6) 年度评估

医院于 2019 年 12 月编制了辐射安全与防护状况评估报告，对现有的放射性同位素与射线装置台帐、辐射环境管理相关法律法规执行情况、辐射安全管理制度及措施的建立和落实情况、辐射安全和防护设施的配备、运行与维护状况、辐射工作人员管理情况以及事故和应急情况进行了年度总结和评估，并上传全国核技术利用网。

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量			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	¹⁸ F 用药量	液态	使用	3.7×10 ⁸ (10mCi)	3.7×10 ⁹ (100mCi)	10	每周 5 次	5.18×10 ⁶	4.63×10 ¹²	PET-CT 显像	很简单的操作	新建手术楼一层核医学科	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	¹⁸ F 备药量	液态	使用	-	1.48×10 ¹⁰ (400mCi)	-	每周 5 次				贮存		

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	PET-CT	III	1	待定	150	800	放射诊断	新建手术楼一层核医学科 PET-CT 机房	新增

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

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

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固废	固态	^{18}F	--	--	--	$<1 \times 10^1 \text{ Bq/g}$	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。
放射性废水	液态	^{18}F	$<1\text{ALI}_{\min}$	$<10\text{ALI}_{\min}$	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。

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	(1) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月； (2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月； (3) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年； (4) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日起施行； (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； (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； (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； (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）； (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； (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； (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； (12) 《浙江省辐射环境管理办法》，省政府令第 289 号，2012 年 2 月； (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； (14) 《国家危险废物名录》，环境保护部令第 39 号，2016 年 8 月； (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。 (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）；
技术标准	（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，环境保护部； （2）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （3）《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）； （4）《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）； （5）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （6）《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）； （7）《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）； （8）《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》（HJ421-2008）； （9）《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）； （10）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； （11）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）。
其他	（1）事业单位法人证书（见附件 1）； （2）东阳市人民医院新手术室大楼工程项目建设项目环境影响登记表，备案号：202033078300000318（见附件 2）； （3）委托书（见附件 3）； （4）《辐射安全许可证》浙环辐证[G0002]（见附件 4）； （5）环境本底检测报告（见附件 5）； （6）辐射安全与环境保护管理小组（见附件 6）； （7）辐射事故应急预案（见附件 7）。

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。

因此，本项目的评价范围为核医学工作场所实体屏蔽墙边界外 50m 范围。

7.2 保护目标

据现场踏勘，本项目核医学科周围 50m 范围内除东南角有居民区外无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区、学校等其他环境敏感区。

本次评价范围内主要环境保护目标为医院新建手术楼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

项目地点	环境保护目标	方位	最近距离	剂量约束限值
新建手术楼 核医学科	辐射工作人员	内部	/	不超过 5mSv/a
	非辐射工作人员	周围	0~50m	不超过 0.25mSv/a
	3 幢一层民房（居住约 10 余人，属公众）	东南角	约 15m	

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 作为辐射剂量约束值。

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 作为辐射剂量约束值。

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。

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	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

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	易清洗	需要	有较好通风	一般要求	需要

	易渗透					
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 $\alpha < 0.04\text{Bq/cm}^2$ ， $\beta < 0.4\text{Bq/cm}^2$ 。

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）《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

本标准适用于X射线影像诊断和介入放射学。

放射治疗和核医学中的X射线成像设备参照本标准执行。

6 X射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免

有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

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

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽和布局应满足口内牙片机房防护要求。

6.1.4 移动式 X 射线机（不含床旁摄影机和急救车配备设备）在使用时，机房应满足相应布局要求。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表7-7的规定。

表 7-7 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 ^d m ²	机房内最小单边长度 ^e m
CT机（不含头颅移动CT）	30	4.5
双管头或多管头X射线机 ^a （含C形臂）	30	4.5
单管头X射线机 ^b （含C形臂，乳腺CBCT）	20	3.5
透视专用机 ^c 、碎石定位机、口腔CBCT卧位扫描	15	3.0
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CBCT坐位扫描 / 站位扫描	5	2.0
口内牙片机	3	1.5
a 双管头或多管头 X 射线设备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 射线设备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 5 mA 的 X 射线设备。 d 机房内有效使用面积指机房内可划出的最大矩形的面积。 e 机房内单边长度指机房内有效使用面积的最小边长。		

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备（不含床旁摄影设备和便携式X射线设备）机房的屏蔽防护应不低于表7-8的规定。

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 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0

标称 125kV 及以下的摄影机房	2.0	1.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
口腔 CBCT、牙科全景机房（有头颅摄影）	2.0	1.0
透视机房、骨密度仪机房、口内牙片机房、牙科全景机房（无头颅摄影）、碎石机房、模拟定位机房、乳腺摄影机房、乳腺 CBCT 机房	1.0	1.0
CT 机房（不含头颅移动 CT） CT 模拟定位机房	2.5	

6.2.3 机房的门和窗关闭时应满足表7-7的要求。

6.2.4 距X射线设备表面100cm处的周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 时且X射线设备表面与机房墙体距离不小于100cm 时，机房可不作专门屏蔽防护。

6.2.5 车载机房应有固定屏蔽，除顶部和底部外，屏蔽应满足表7-7中屏蔽防护铅当量厚度要求。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b) CT机、乳腺摄影、乳腺CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔CBCT和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率应不大 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ；

c) 具有短时、高剂量率曝光的摄影程序（如 DR、CR、屏片摄影）机房外的周围剂量当量率应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，当超过时应进行机房外人员的年有效剂量评估，应不大于 0.25mSv ；

d) 车载式诊断X射线设备工作时，应在车辆周围3m设立临时控制区，控制区边界的周围剂量当量率应符合 6.3.1 中 a)～c)的要求。

6.4 X 射线设备工作场所防护

6.4.1 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受检者状态及防护门开闭情况。

6.4.2 机房内不应堆放与该设备诊断工作无关的杂物。

6.4.3 机房应设置动力通风装置，并保持良好的通风。

6.4.4 机房门外应有电离辐射警告标志；机房门上方应有醒目的工作状态指

示灯，灯箱上应设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；候诊区应设置放射防护注意事项告知栏。

6.4.5 平开机房门应有自动闭门装置；推拉式机房门应设有曝光时关闭机房门的管理措施；工作状态指示灯能与机房门有效关联。

6.4.6 电动推拉门宜设置防夹装置。

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

6.4.9 CT装置的安放应利于操作者观察受检者。

6.4.10 机房出入门宜处于散射辐射相对低的位置。

6.5 X射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 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、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橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于0.25 mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025 mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于2mmPb。

6.5.4 应为儿童的X射线检查配备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小于0.5mmPb。

6.5.5 个人防护用品不使用时，应妥善存放，不应折叠放置，以防止断裂。

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		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 选配：铅橡胶帽子	—
注1：“—”表示不要求。 注2：各类个人防护用品和辅助防护设施，指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品，特别是非铅介入防护手套。				

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射工作场所位置

本次评价的核医学项目位于新建手术楼一层东北侧，其东侧和北侧均为室外，南侧为 DSA 中心，西侧为内部走廊，上层为手术区，下层为去污区；新建手术楼一层平面布置见附图 4。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位及结果

(1) 环境现状评价的对象

本项目辐射工作场所周围。

(2) 监测因子

γ 辐射剂量率

(3) 监测点位

监测点位布点详见图 8-1。

(4) 监测方案

- 1、监测单位：杭州旭辐检测技术有限公司
- 2、监测日期：2020 年 11 月 26 日
- 3、监测方式：现场检测
- 4、监测依据：环境地表 γ 辐射剂量率测定规范 GB/T 14583-1993
- 5、监测频次：依据标准予以确定
- 6、监测工况：辐射环境本底
- 7、天气环境条件：12℃；环境湿度：68%；天气状况：阴。
- 8、监测设备

表 8-1 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 $\leq\pm 30\%$ （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：2020H21-10-2449496001) 有效期：2020 年 4 月 26 日-2021 年 4 月 25 日

(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。

(6) 监测结果

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（环境本底检测报告见附件 5）。

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	87	1.3
▲2	核医学科拟建址南侧	79	0.5
▲3	核医学科拟建址西侧	84	0.6
▲4	核医学科拟建址北侧	81	0.6
▲5	核医学科拟建址中央	77	0.4

注：检测结果未扣除宇宙射线的响应。

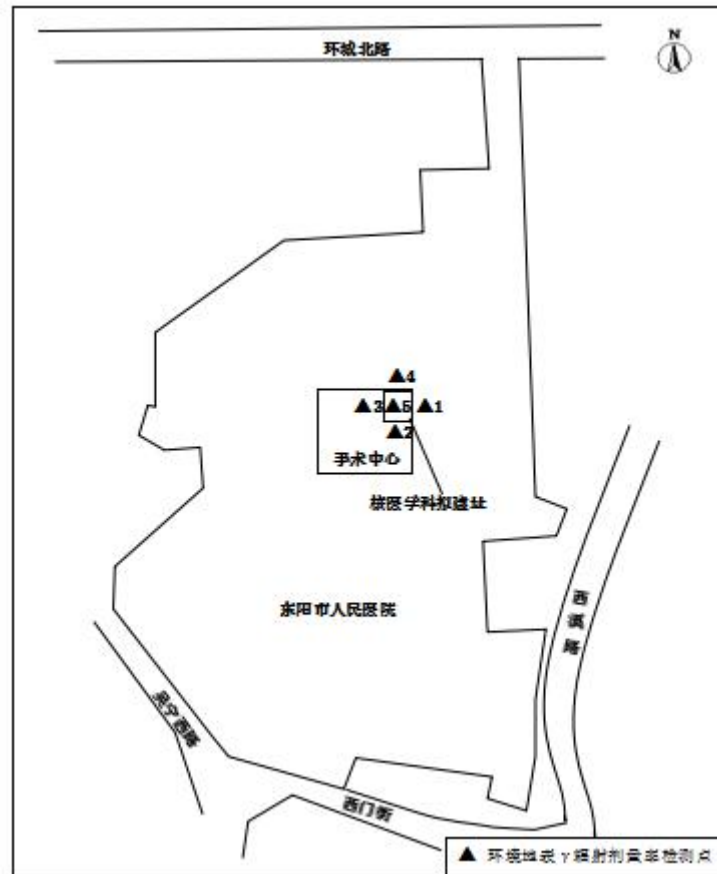


图 8-1 本项目拟建址周围现状检测点位示意图

由表 8-2 的检测结果可知，本项目拟建址周围各现状检测点位的 γ 辐射剂量率在 77~87nGy/h 之间，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，东阳市道路上 γ 辐射剂量率在 57~98nGy/h 之间，可见其 γ 辐射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

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新建手术楼一层，主要使用的非密封放射性物质有 ^{18}F （用于 PET-CT 显像检查）。

9.1.1 性能参数

本项目中核医学科使用的放射性同位素 ^{18}F 用量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。

^{18}F 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	主要射线能量 (衰变类型)	物理 状态	日最大用量 (Bq)	年最大用 量 (Bq)	用途
^{18}F	1.83h	低毒	633.5 keV (β^+) 511 keV (γ)	液态	1.85×10^{10}	4.63×10^{12}	PET-CT 显像

9.1.2 PET-CT 显像诊断

(1) 工作原理

PET-CT 显像用 ^{18}F 作为示踪剂，常用药物为 ^{18}F -FDG（氟代脱氧葡萄糖），适用于机体各组织细胞的糖代谢等检查。

当某种放射性核素或其标记物通过注射方式进入体内后，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 PET-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。

正电子发射型断层扫描仪（PET）成像技术是利用回旋加速器生产的带正电子的放射性核素注入人体内产生的湮没辐射 γ 光子构成影像。正电子只能瞬态存在，很快与组织中的负电子湮没产生两个能量相等、方向相反的 γ 光子。正电子

放射性核素可构成人体各部位的任何影像，包括平面影像、动态影像、断层影像及全身影像。由于核医学技术的特点，PET 在精度方面和定位方面有一定的限制。PET-CT 将 PET 和 CT 设备整合不仅能够解决同步扫描的问题，还能通过 CT 扫描得到密度图，用于散射校正，可以极大地提高精度和诊断准确率。PET 本身不产生线，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。

(2) 设备组成

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

(3) 工作流程及产污环节

1) 根据医生指导意见，需要接受 PET-CT 显像检查的人员提前预约登记，确定用药量，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，核素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 30s/人。

4) 注射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 1min/每人；

6) 检查完成，受检者通过专用通道离开核医学区域。

PET-CT 显像检查工作流程及产污环节示意图见图 9-1。

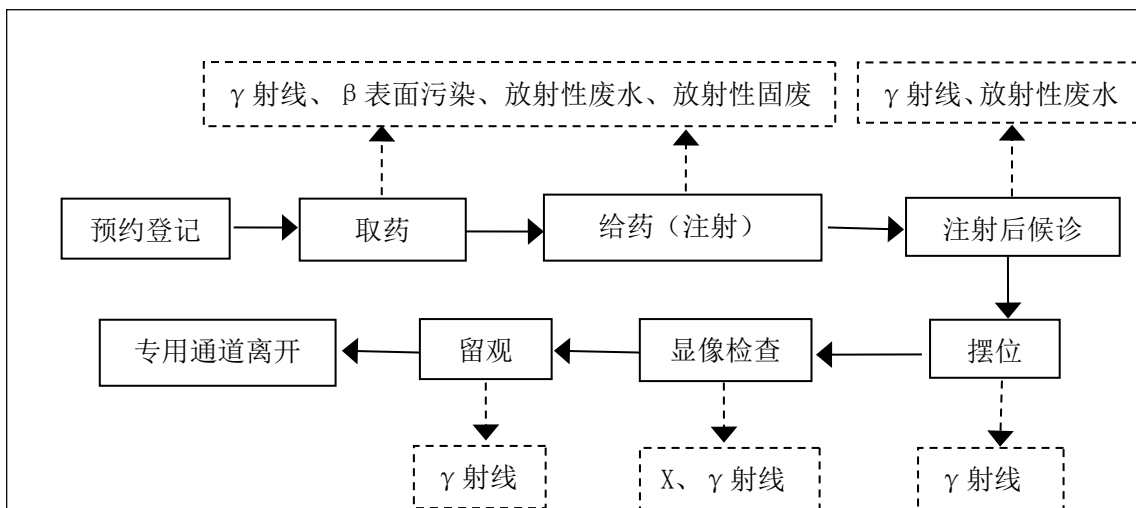


图 9-1 PET-CT 显像检查工作流程及产污环节示意图

（4）污染因子

- 1) β 射线和 γ 射线： ^{18}F 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 γ 射线是 PET-CT 显像过程主要污染因子。
- 2) X 射线：PET-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： ^{18}F 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 ^{18}F 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 PET-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。

9.2 射线装置（PET 设备配套用的 CT）

（1）工作原理

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。

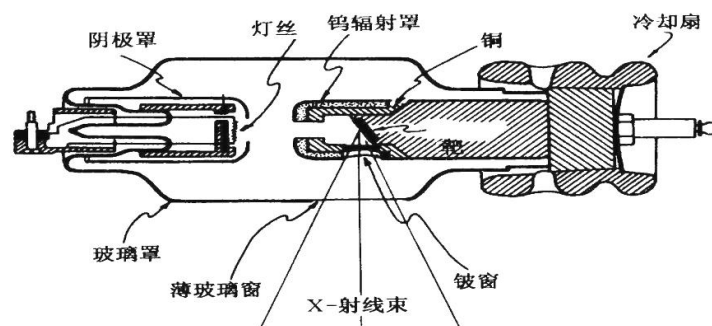


图 9-2 典型 X 射线管结构图

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：核医学科核素操作人员由核医学科南侧西边的医护入口通过走道经卫生通过间进入核医学科注射室，在注射室内完成取药和给药操作，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，取（给）药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南侧西边的医护入口通过走道进入控制室内，经由控制室可直接到达 PET-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西侧的病人入口进入核医学科等候区进行注射前候诊，并按照叫号通过走道进入病人准备区接受药物注射，注射后进入 PET-CT 注射后候诊室进行扫描前的候诊。完成扫描后由核医学科北侧东边的病人出口离开，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南侧医护通道经卫生通过间将预定的放射性药物送至注射室，由核医学科工作人员交接登记签收，将其暂存于储源间。核医学科医护出入口和病人出入口拟设置门禁系统，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。

（3）放射性固体废物通道

显像检查工作场所产生的放射性固体废物，先收集后暂存于污物储存间，待其自行衰变一段时间（不低于 10 个核素半衰期）达到豁免水平后，按普通医疗废物处理。

核医学科人流、物流、污物路径规划图见图 10-1 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新建手术楼一层东北侧，该大楼地上六层，地下一层。核医学科上方为手术区，下方为去污区。核医学科具体布局为：PET-CT 机房及控制室位于核医学科北侧，卫生通过间、注射室、储源间及放射性废物间位于其南侧，PET-CT 注射后候检室位于其西侧。其受检者防护门拟设置于机房北墙，工作人员防护门和观察窗均拟设置于机房东墙，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、注射室、储源间、放射性废物储存间、注射后候检室、留观室、病人卫生间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。

拟建核医学科走道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 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 10-1。

表 10-1 工作场所分级（丙级：豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$ ）

序号	核素名称	实际日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所分级
1	^{18}F 用药量	3.7×10^9	0.01	10	5.18×10^6	丙级
2	^{18}F 备药量	1.48×10^{10}	0.01	100		

备注：根据中华人民共和国环境保护部办公厅文件，环办辐射函[2016]430 号关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知，医疗机构使用 ^{18}F 相关活动视为“很简单的操作”。

根据表 10-1 可知，医院核医学科应按照丙级工作场所进行管理。

核医学工作场所的分类根据《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得出，见表 10-2。

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

表 10-2 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)	场所分类
注射室	^{18}F	1.85×10^{10}	1	1	1.85×10^{10}	II 类 (> 50000MBq)
源库	^{18}F	1.85×10^{10}	1	100	1.85×10^8	II 类 (> 50000MBq)
PET-CT 机房	^{18}F	3.7×10^9	1	10	3.7×10^8	II 类 (50~ 50000MBq)
PET-CT 注射后候检室	^{18}F	3.7×10^9	1	10	3.7×10^8	II 类 (50~ 50000MBq)

留观室	^{18}F	3.7×10^9	1	10	3.7×10^8	II 类 (> 50000MBq)
-----	-----------------	-------------------	---	----	-------------------	-------------------

对照《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于“不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构的要求”，II类核医学工作场所的基本防护要求见表 10-3。

表 10-3 不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构的要求

场所分类	地面	表面	通风厨	室内通风	管道	清洗及去污设备
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

（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。

①PET-CT 机房、储源间、污物储存间、PET-CT 注射后候检室、病厕、注射室、注射区、留观室、活性区域病人通道及衰变池可划为控制区。

②护士站、问诊室、医生办公室、控制室、设备室、卫生通过间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图 10-1，并采取以下措施：

- 1) 设置了医护通道和通道，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，并严格控制患者的单通道运行；
- 3) 并有病人专用的候诊室和卫生间。

因此，本项目功能分区基本满足分区管理的要求。

10.1.3 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 10-4，PET-CT 机房辐射屏蔽设计符合性评价见表 10-5，核医学科平面布置见图 10-1。

表 10-4 核医学科辐射工作场所屏蔽设计一览表

序号	工作场所	辐射屏蔽材料及厚度	
1	PET-CT 机房	东墙	24cm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡水泥
		南墙	24cm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡水泥

			西墙	24cm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡水泥
			北墙	24cm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡水泥
			顶棚	22cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥
			地坪	22cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥
			防护门	内衬 6mm 铅板
			观察窗	6mmPb 铅玻璃
	2	注射室	东墙	24cm 实心砖墙
			南墙	24cm 实心砖墙
			西墙	24cm 实心砖墙
			北墙	24cm 实心砖墙
			顶棚	22cm 混凝土
			地坪	22cm 混凝土
			防护门	内衬 3mm 铅板
	3	FET-CT 注射后 候检室（2 间）	东墙	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥
			南墙	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥
			西墙	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥
			北墙	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥
			顶棚	22cm 混凝土
			地坪	22cm 混凝土
			防护门	内衬 3mm 铅板
	4	储源间、废物 暂存间	东墙	24cm 实心砖墙
			南墙	24cm 实心砖墙
			西墙	24cm 实心砖墙
			北墙	24cm 实心砖墙
			顶棚	22cm 混凝土
			地坪	22cm 混凝土
			防护门	内衬 3mm 铅板
	5	留观室	东墙	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥
			南墙	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥
			西墙	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥
			北墙	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥
			顶棚	22cm 混凝土
			地坪	22cm 混凝土
			防护门	内衬 3mm 铅板

表 10-5 PET-CT 机房辐射屏蔽设计符合性评价表

工作场所	设计情况	设计	标准要求	符合性
PET-CT 机房	机房有效面积	50.4m ²	30m ²	符合
	最小单边长度	5.3m	4.5m	符合
	四侧墙体	24cm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡涂料（相当于 6mmpb）	2.5mmpb	符合
	顶棚	22cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥（相当于 4.75mmpb）	2.5mmpb	符合
	地坪	22cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥（相当于 4.75mmpb）	2.5mmpb	符合
	工作人员防护门	内衬 6mm 铅板（相当于 6mmpb）	2.5mmpb	符合
	受检者防护门	内衬 6mm 铅板（相当于 6mmpb）	2.5mmpb	符合
	观察窗	6mmPb 铅玻璃（相当于 6mmpb）	2.5mmpb	符合

备注：混凝土密度不低于 2.35g/cm³，铅板密度不低于 11.3g/cm³，铅玻璃密度 4.1g/cm³，实心砖密度 1.65g/cm³。

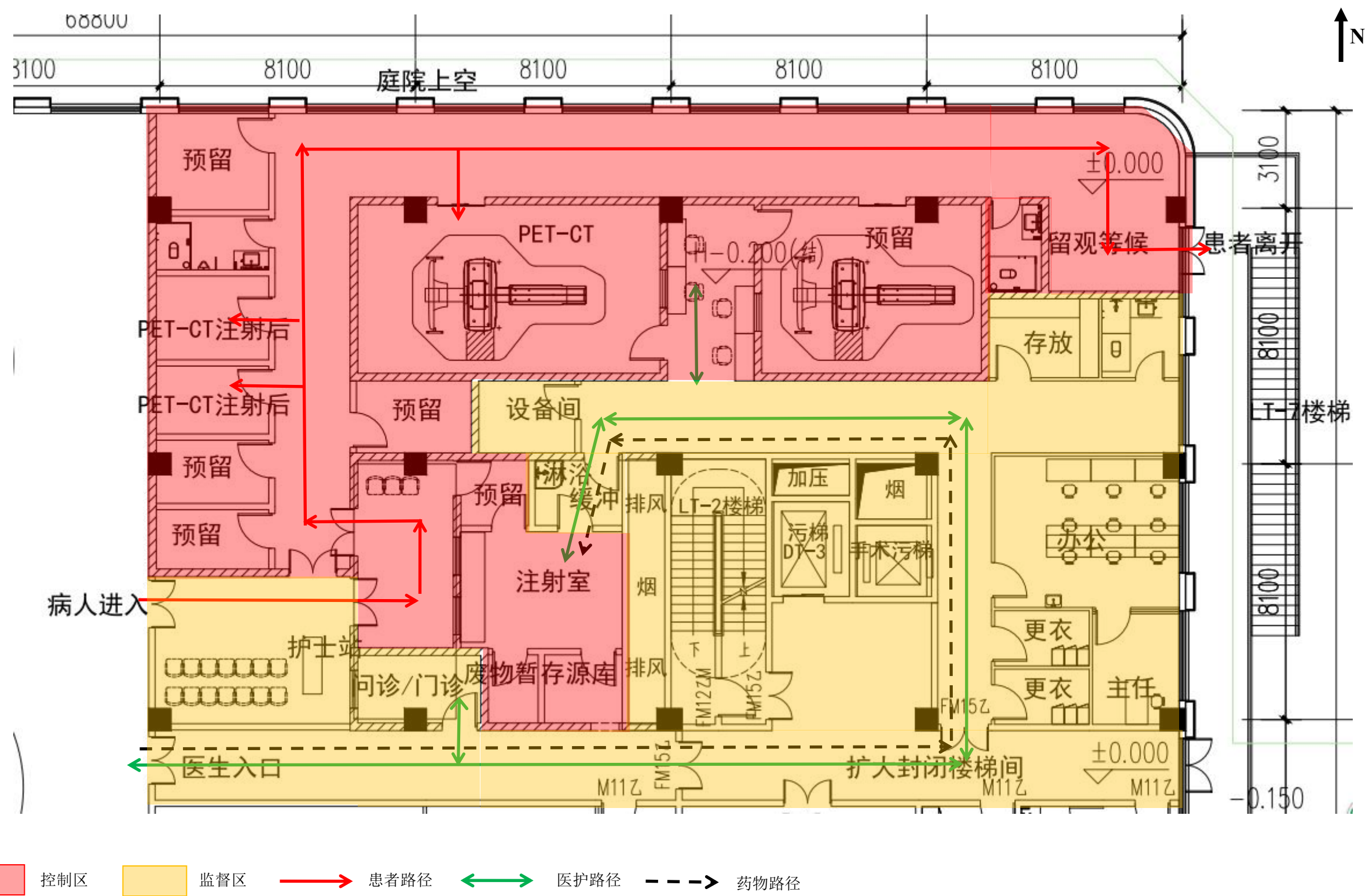


图 10-1 核医学科平面布置图

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) ^{18}F 核素分装操作在通风橱内进行，通风橱通风速率不小于 1m/s ，设独立排风管道，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 10-6。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 10-6 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	铅当量
1	药物分装	密闭式通风柜	1	40mmPb
2	药物质控	活度计	1	/
3	药物注射	防护注射窗	1	10mmPb
		钨合金注射器防护套	1	20mmPb
4	废物处理	脚踏式放射性废物桶	1	10mmPb
		放射性废（储）物箱	1	10mmPb
5	其他防护制品	移动式铅屏风	1	2mmPb
		储源铅罐	1	50mmPb
6	个人防护用品	铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜	一名辐射工作人员一套	0.5mmPb
		个人剂量报警仪	一名辐射工作人员一只	/
7	辐射监测仪器	X-γ 电离巡检仪	1	/
		表面污染监测仪	1	/

3) 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。

4) 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。

(4) PET-CT 机房

①PET-CT 机房屏蔽情况见表 10-5,其防护能力基本能满足辐射环境保护的要求。

②医院须在 PET-CT 操作室墙上张贴相应的操作规程。

③PET-CT 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。

④PET-CT 机房须设置工作指示灯，门外均须张贴电离辐射警告标志及其中文警

示说明；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机房门口均应设置 1m 警戒线，告知公众成员在黄色警戒线外等待。

（5）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。

（6）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。

10.3 三废的治理

10.3.1 核医学

本项目核医学科使用放射性同位素过程中会产生含放射性的固体废物、废水，医院拟采取的治理措施如下。

10.3.1.1 放射性废水

该项目核医学科产生的放射性废液的主要来源：①工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时产生的放射性废水；②清洗受到污染的注射器容器、铅防护套等辅助防护用品产生的放射性废水；③受检者冲洗排便用水。

核医学科产生的放射性废水统一排至拟设置于新建手术楼东北方向地下的衰变池，衰变池和下水管道均拟进行屏蔽防护，排水总管道深埋地下，衰变池池壁、池底拟设计有一定抗压强度，并附加一定耐酸碱、抗渗漏材料，顶盖拟采用 30cm 混凝土盖板，以达到辐射屏蔽防护要求。

（1）放射性废水排放管道设置

核医学科产生的放射性废水经专用管道排入医院拟设置的衰变池，自然衰变达到十个半衰期后经检测合格可排入医院污水处理系统。放射性废水排放流程见图 10-2。

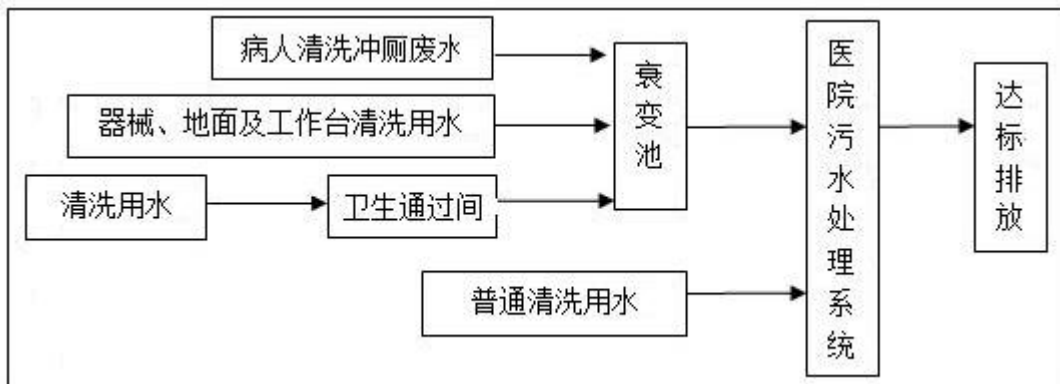
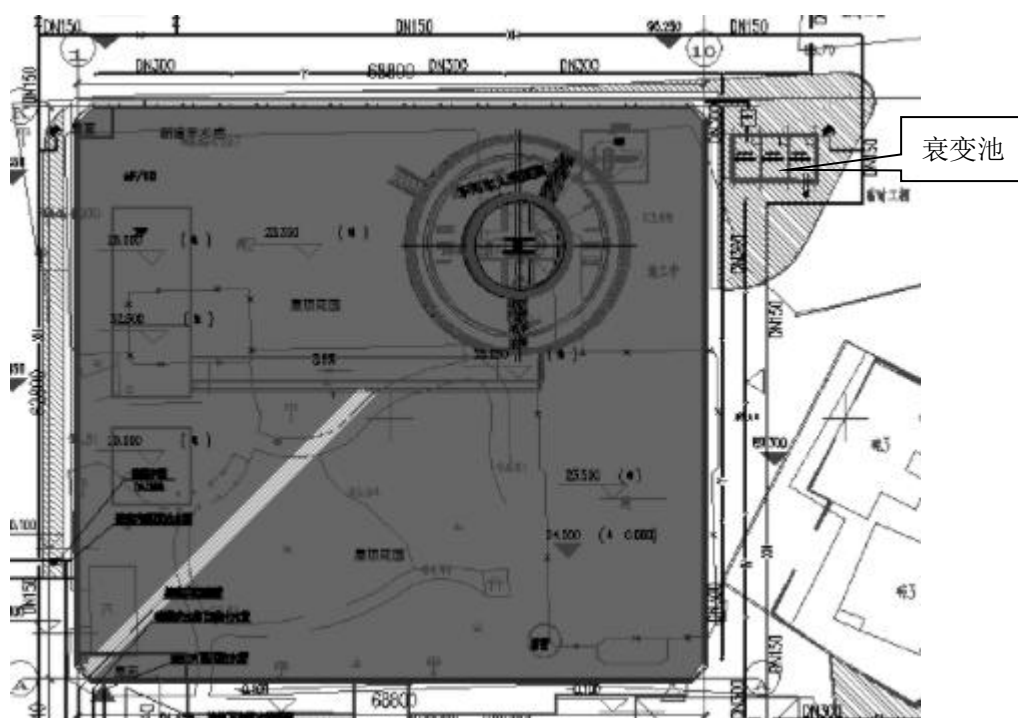


图 10-2 放射性废水排放流程图

(2) 衰变池设置情况

医院拟在新建手术楼东北方向绿化带地下设置衰变池，衰变池拟设置为 3 级并联式，由一个化粪池和 3 个衰变池组成，衰变池单个容积为 10m^3 ，总容积 30m^3 。产生的放射性废水经专用管道排入衰变池。当 1#衰变池收集废液时，2#和 3#衰变池进水阀门关闭，1#衰变池收集满时关闭进水阀门并打开 2#衰变池的进水阀门，待 2#衰变池收集满时关闭进水阀门并打开 3#衰变池的进水阀门，贮满时关闭该阀门，对 1#衰变池水进行检测，符合排放标准即将其排入医院总下水道。衰变池设计见图 10-3。



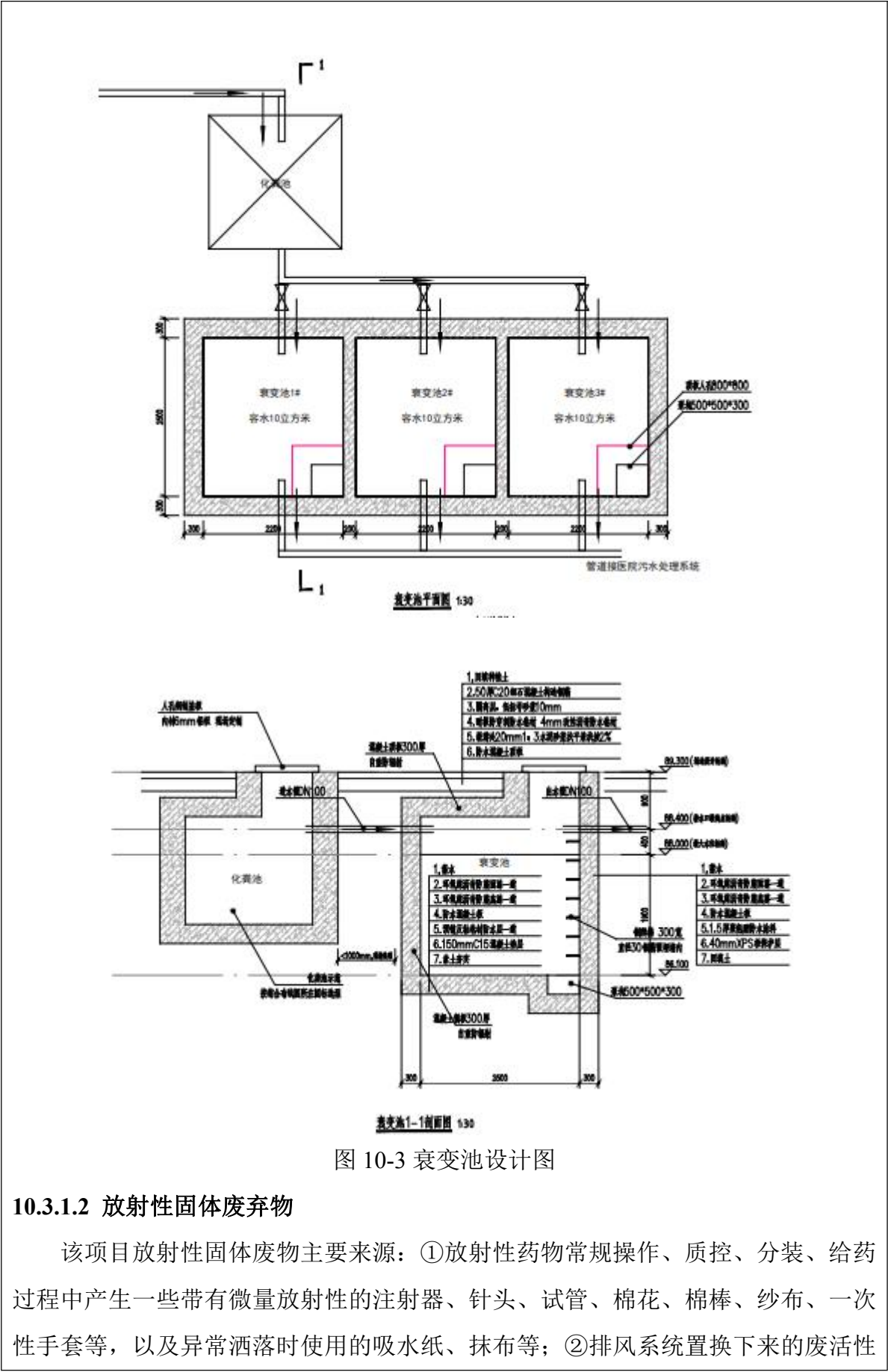


图 10-3 衰变池设计图

10.3.1.2 放射性固体废弃物

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存放到放射性废弃物贮存室，集中收储 10 个半衰期（含 ^{18}F 的废物须贮存 1 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 20 kg 。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。

10.3.1.3 放射性废气

本项目核医学科使用的放射性同位素 ^{18}F 为非挥发性核素，无放射性废气产生，使用过程介质为水，操作比较简单，不经过加热、振荡等步骤。为了安全起见，医院拟采取的处理措施如下：

（1）医院拟在核医学科注射室设置专用通风橱，放射性药物质控、分装操作拟在通风橱内进行，通风橱通过专用管道与楼层放射性废气专用排风管道相连接，再经总排放口排放；通风橱通风速率不小于 1m/s 。

（2）拟在 PET-CT 机房、给药后候检室、注射室等场所设置独立的机械排风装置，各区域内气流拟由低活度区流向高活度区（高活度区负压低于低活度区），通过专用管道与楼层放射性废气专用排风管道相连接，再经总排放口排放。

（3）核医学工作场所通风系统的总排放口拟设置于该楼楼顶，高于本建筑屋脊，且设置活性炭吸附过滤装置（约一年更换一次），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 PET-CT (¹⁸F)

(1) 理论计算

PET-CT运行过程中使用的放射性核素¹⁸F，由药物供应商分批次直接运输至储源室内，¹⁸F药物置于供应商提供的铅防护罐中，使用前由医护人员从储源室拿出连同铅防护罐置于通风橱内进行分装，分装好的药品由注射人员对受检者进行隔室注射，所有药品当天用完。

医务人员分装、取用¹⁸F药剂涉及的工作场所为注射室；受检者注射¹⁸F后，在注射后候诊室、PET-CT 机房停留的时间相对长些。注入体内的¹⁸F 在某器官或组织内相对集中，可近似将其视为点源；取用过程中的药剂也可视为点源。

本项目核医学科正常运行过程中工作场所辐射影响评价，主要通过对注射室、注射后候诊室、PET-CT 机房周围关注点辐射剂量水平估算来完成。

1) γ 剂量率的计算公式

①无屏蔽状态下的剂量率估算公式为：

$$H = f \times A \Gamma / R^2 \dots\dots\dots (11-1)$$

式中：

- H --- γ 辐射剂量率，Gy/h；
- f ---转换系数 $8.73 \times 10^{-3} \text{Gy/R}$ ；
- A ---放射源的预期最大放射性活度，Ci；
- Γ ---空气吸收剂量率常数， $\text{R} \cdot \text{m}^2/(\text{h} \cdot \text{Ci})$ ；
- R ---距放射源的距离，m。

②屏蔽状态下的剂量率估算公式为：

$$H_0 = H \times 2^{-(h / HVL)} \dots\dots\dots (11-2)$$

式中：

H_0 ---参考点的辐射剂量率，Gy/h；

h ---屏蔽层的厚度，mm；

HVL ---半值层厚度，mm。

由《辐射防护手册》第三分册查出铅与混凝土对 ^{18}F 的半值层为5.7mm和64mm，实心砖保守考虑参考空心砖的数据取100mm。 ^{18}F 的照射量常数 Γ 依据《 γ 射线屏蔽参数手册》（原子能出版社，1976）查表得到为 $0.57\text{ R}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{Ci})$ 。

③外照射辐射剂量率估算：

$$H_r = H_0 \times T \times U \times t \times 10^{-3} \dots\dots\dots (11-3)$$

式中：

H_r ---附加年有效剂量，mSv；

H_0 ---参考点的辐射剂量率，Gy/h；

T ---居留因子；

U ---使用因子，放射性核素以点源考虑， U 取1；

t ---年工作时间；

简化估算：1Gy 近似为 1Sv。

居留因子参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）选取，具体数值见表11-1。

表11-1 不同场所的居留因子

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

2) PET-CT 运行工况

PET-CT 采用 ^{18}F 做显像检查，每天最多检查 10 人次，每周工作 5 天，每年工作 250 天，总计每年检查患者 2500 人次。 ^{18}F 单次静脉注射的核素最大活度为 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ 即 10mCi，一天最大用量 100mCi。

注射前取药平均约 10s/人次，全年累计约 6.94h；药物注射平均约 10s/人次，全年累计约 6.94h；病人摆位时间约 1min/人次，PET-CT 摆位全年累计约 41.67h；病人扫描时间约 30min/人次，PET-CT 扫描全年累计约 1250h。

3) ^{18}F 产生 γ 射线辐射水平预测

① ^{18}F 核素无屏蔽状态下不同距离的 γ 剂量率

表 11-2 ^{18}F 核素无屏蔽状态下不同距离的 γ 剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)

活度 \ 距离	1m	2m	3m	5m	10m
10mCi	49.8	12.45	5.53	1.99	0.5

从表中计算结果看出，裸露状态下的 ^{18}F 药物辐射水平较高，对周围影响较大，因此，在操作 ^{18}F 药物应采取一定的防护措施，工作人员还应做好个人防护。

②通风橱、取药、注射过程中 γ 剂量率预测

由于药品由药物供应商分批次运至医院，取药过程保守按一天最大用量（100mCi）即 $3.7\times 10^9\text{Bq}$ 进行预测。分装过程中工作人员穿着 0.5mm 铅当量防护衣，通过 50mm 铅当量的铅通风橱进行操作，距离身体约 50cm。根据估算， ^{18}F 分装过程工作人员身体（0.5m 处）受辐射剂量率为 $4.4\mu\text{Gy/h}$ 。

取药过程按 ^{18}F 单次最大注射量 10mCi 即 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ 进行预测，取药过程工作人员穿着 0.5mm 铅当量的防护衣，装有药物的注射器有钨合金防护套（30mm 铅当量），按药物距离身体约 50cm 进行计算。经计算， ^{18}F 取药过程工作人员身体（0.5m 处）受照剂量 $4.98\mu\text{Gy/h}$ 。

注射过程按 ^{18}F 单次最大注射量 10mCi 即 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ 进行预测，注射时，工作人员穿着 0.5mm 铅当量的铅防护围裙，通过 20mm 铅当量的玻璃注射窗对患者进行注射。注射过程按药物距离身体约 50cm 进行估算。经计算， ^{18}F 注射过程工作人员身体（0.5m 处）受照剂量 $16.3\mu\text{Gy/h}$ 。

②注射后候诊室、PET-CT 机房周围关注点 γ 剂量率预测

患者注射 ^{18}F 后，在注射后候诊室等候，然后进入扫描室，保守计不考虑候诊

过程中核素衰变。

本项目注射后候诊室共计2个，每个候诊室最多候诊1人，则每个候诊室的源强总活度为1个病人最大注射量—10mCi即 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。

表11-3 核医学科周围预测点描述

工作场所	点位名称	屏蔽厚度	关注点到源的距离 (m)	辐射剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
注射后候诊室 (10mCi)	东墙外 30cm 处 (走廊)	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥	2.0	1.56
	南墙外 30cm 处 (预留肺通气室)	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥	1.3	3.77
	西墙外 30cm 处 (走廊)	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥	2.0	1.56
	北墙外 30cm 处 (病人卫生间)	24cm 实心砖墙+3mmPb 硫酸钡水泥	1.3	3.77
	东墙防护门外 30cm 处 (走廊)	3mm 铅门	2.0	8.28
	楼上 30cm 处 (手术区)	22cm 混凝土	3.0	0.51
	楼下距地面 1.7m 处 (去污区)	22cm 混凝土	5.0	0.18
PET-CT 机房 (10mCi)	东墙外 30cm 处 (控制室)	24cm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡水泥	4.9	0.24
	南墙外 30cm 处 (预留心肌负荷室和设备间)	24cm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡水泥	3.3	0.55
	西墙外 30cm 处 (走廊)	24cm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡水泥	4.9	0.24
	北墙外 30cm 处 (走廊)	24cm 实心砖墙+4mmPb 硫酸钡水泥	3.3	0.55
	北墙防护门外 30cm 处 (走廊)	6mm 铅门	3.3	2.19
	东墙观察窗外 30cm 处 (控制室)	6mmPb 铅玻璃	4.9	0.96
	东墙防护门外 30cm 处 (控制室)	6mm 铅门	4.9	0.96
	楼上 30cm 处 (手术区)	22cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥	3.0	0.4
	楼下距地面 1.7m 处 (去污区)	22cm 混凝土+2mmPb 硫酸钡水泥	5.0	0.14

注：偏保守考虑，核医学科工作场所墙体外侧为公众区域均按墙外 30cm 剂量率为 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 进行控制，其它墙体不做特殊要求。

4) 人员受照剂量分析

①工作人员受照射剂量分析

根据医院提供的资料，核医学科 PET 诊断工作人员受照射的主要环节有：分装、取药、注射、摆位和扫描过程。

分装过程：分装过程按 100mCi 即 $3.7\times 10^9\text{Bq}$ 进行预测。分装过程工作人员身体受照射剂量率为 $4.4\mu\text{Gy/h}$ 。每次分装过程约 30s 完成，按每天分装 10 份，年工作 250 天，每年总分装次数 2500 次计，则身体的年剂量率为 0.09mSv 。

取药过程：取药过程按 ^{18}F 单次最大注射量 10mCi 即 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ 进行预测，取药过程身体受照射剂量 $4.98\mu\text{Gy/h}$ 。每次取药过程约 10s 完成，按每年总诊断人数 2500 人次计，则身体的年剂量率为 0.03mSv 。

注射过程：注射过程按 ^{18}F 单次最大注射量 10mCi 即 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ 进行预测，注射过程工作人员身体受照射剂量 $16.3\mu\text{Gy/h}$ 。每次注射过程约 10s 完成，按每年总诊断人数 2500 人次计，则身体的年剂量率为 0.11mSv 。

摆位过程：摆位过程按 ^{18}F 单次最大注射 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi) 进行预测，摆位过程工作人员穿着 0.5mm 铅当量的防护衣，在防护屏风 ($\geq 10\text{mm}$ 铅当量) 后进行摆位工作，按身体距离病人约 50cm 进行估算。根据估算， ^{18}F 摆位过程工作人员身体受照剂量为 $55.8\mu\text{Gy/h}$ 。每次摆位约 1min 完成，按每年总诊断人数 2500 人次计，则身体的年剂量率为 2.33mSv 。

扫描过程：扫描过程按 ^{18}F 单次最大注射 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ (10mCi) 进行预测，单个病人约需扫描 30min，按每年总诊断人数 2500 人次计，按控制室设计屏蔽防护措施 (6mmPb 铅玻璃处计算，距离取 4.9m)，通过公式计算可知，扫描操作位 γ 辐射剂量率为 $0.96\mu\text{Gy/h}$ ，扫描操作人员受到的年剂量为 1.2mSv 。

表11-4 核医学科辐射工作人员年照射剂量

操作项	操作时间	年累计操作次数	受照射剂量率	年剂量
分装	30s	2500	$4.4\mu\text{Gy/h}$	0.09mSv
取药	10s	2500	$4.98\mu\text{Gy/h}$	0.03mSv
注射	10s	2500	$16.3\mu\text{Gy/h}$	0.11mSv
摆位	1min	2500	$55.8\mu\text{Gy/h}$	2.32mSv
扫描	30min	2500	$0.96\mu\text{Gy/h}$	1.2mSv

本项目核医学科拟设 4 名辐射工作人员，具体工作岗位设置如下：分装+取药+注射（分装、取药和注射由一人完成）工作人员 2 名（轮岗），摆位和扫描操作人员 2 名（轮岗）。

表 11-5 核医学科各岗位工作人员年受照剂量预测结果

工作岗位	年有效剂量 (mSv/a)	岗位人数	人均 (mSv/a)
分装	0.09	2	0.12
取药	0.03		
注射	0.11		
摆位	2.32	2	1.76
扫描	1.2		

由表11-5可知，核医学科工作人员身体受照射剂量小于工作人员身体职业照射剂量约束值5mSv/a。

②公众人员受照射剂量分析

根核医学科工作场所布局设计、工作流程以及辐射防护管理制度分析，本项目辐射工作区将严格限制其它科室工作人员及非就诊者进入。

核医学科工作场所邻近区域涉及公众人员停留的区域主要为西侧的走廊、北侧的室外、东南角的居民等。按照式11-3分别计算公众人员受照剂量，结果见表11-6。

表 11-6 核医学科辐射工作场所周围公众人员剂量预测结果

停留区域	所选点剂量率 (μGy/h)	时间 (h/a)	停留因子	年受照剂量 (mSv/a)
等候区 (PET-CT注射后侯检室南侧)	3.77	125	1/4	0.12
走廊 (PET-CT注射后侯检室西侧)	1.56	125	1/4	0.05
室外 (PET-CT机房北侧)	2.19	125	1/16	0.02
居民区 (核医学科东南角)	0.96	125	1	0.12
计算过程做以下保守假设：公众人员在以上区域每天停留时间为 30 分钟；				

由表11-6可知，核医学科辐射工作场所邻近区域公众人员年最大受照剂量为0.05mSv/a，小于公众照射剂量管理约束值0.25mSv/a。

11.2.1.3 核医学科三废环境影响分析

(一) 放射性废水

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ 133-2009) 5.1.1 款规定，使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。

本项目核医学科产生的放射性废液的主要来源：①工作人员操作过程手部受到微量污染或清扫工作台面、地坪的清洁工具清洗时产生的放射性废水及卫生通过间的清洗废水；②清洗受到污染的注射器容器、铅防护套等辅助防护用品产生的放射

性废水；③受检者冲洗排便用水。

核医学科产生的放射性废水统一排至拟设置于新建手术楼东北方向绿化带下的衰变池，拟设置为3级并联式，由1个化粪池和3个衰变池组成，衰变池单个容积为10m³，总容积30m³。在衰变池排放出口与连接医院总下水道之间拟设置一个采样井，采样口（采样龙头）的位置不高于离衰变池底部高150cm，以方便采样。

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：

（1）核医学科最大工作量为：¹⁸F 显像检查预计最大工作量为10人（次）/天，每周工作5天，保守按每检查一人（次）产生废水平均量20L估算（含工作人员清洁用水、患者排泄冲洗用水等），则其核素显像诊断一周产生的总废水量约为1m³，平均一天约0.2m³。

项目建成后，医院每日平均产生放射性废水总量为0.2m³，则每个衰变池可收集约50天的废水（约10周），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51天，即开启第二个衰变池收贮废水，第二个衰变池收贮废水后的第51天开启第三个衰变池，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102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。放射性废水排放方式具体见表11-7。

表 11-7 放射性废水排放方式表

核素	¹⁸ F
排放方式	
单人最大用量（Bq）	3.7×10 ⁸
单人进入衰变池的初始量（Bq） 按15%比例计	5.6×10 ⁷
每周核素排入衰变池最大量（Bq）	2.8×10 ⁹
（未经过衰变时）一个衰变池贮满的初始量（Bq）	5.6×10 ¹⁰
半衰期	1.83h
排放时贮存天数	102d
衰变后排放量（Bq）	0
ALI _{min} （Bq）	2.15×10 ⁸

10ALI _{min} (Bq)	2.15×10 ⁹
达标情况	达标
排放标准	每月排放总活度<10ALI _{min} ; 每次排放活度 <1 ALI _{min}

由表 11-7 可知，经衰变池衰变后每次排出的核素总活度<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。

同时任一衰变池经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后（监测指标为：总 β <10Bq/L），方可排入医院污水管网，经处理达标后排放，并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。医院应根据监测数据结果制定排水计划，可定期将废水排放至医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，详细记录废水排放量、排放时间及排放浓度，并存档保存。

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。

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。

（二）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。

医院计划在核医学科分装给药室设置 1 个脚踏式放射性废物桶，污物间设有 1 个放射性废（储）物箱，收集的固废放置于废物箱中衰变 10 个半衰期。

医院拟将含 ¹⁸F 放射性固体废物收集于工作场所铅废物桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于污物间的放射性废（储）物箱，让放射性物质自行衰变，集中收储 10 个半衰期（含 ¹⁸F 的废物须贮存 1 天）衰变至符合清洁解控水平（GBZ133-2009 附录 B）

后，经监测符合清洁解控水平后按一般医疗固废委托当地有资质单位处置。

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

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。

（三）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 ^{18}F 为非挥发性核素，使用过程介质为水，操作比较简单，不经过加热、振荡等步骤。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 。

核医学科产生的放射性废气经专用管道统一收集后经核医学科注射室顶部排风口排至所在楼屋顶，周围 50m 范围内无遮挡物。各排风管内保持负压，拟安装防回流装置，并拟在风机出风段设活性炭吸附过滤装置，活性炭吸附过滤装置对放射性气溶胶吸附效率不小于 90%。所使用的活性炭吸附过滤装置需定期更换（约一年更换一次），更换下来的废活性炭应按放射性固体废物进行处理。

11.3 事故影响分析

11.3.1 核医学科

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。医院拟设有专门贮存放射性物品的源库，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 40Bq/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 40Bq/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。

11.3.2 PET-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。

目前医院已成立以应争先为组长的辐射安全与环境保护管理小组（见附件6），并明确其职责。该管理机构的基本组成涵盖放射性同位素与射线装置的管理与使用等相关部门，基本符合要求。

12.2 辐射安全管理规章制度

医院已制定《辐射安全防护和管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《设备检修维护制度》、《使用登记制度》、《放射工作人员培训、体检及保健制度》、《监测方案》、《质量检测方案》、《放射事故报告制度及处理预案》、《放射性废物处理方案》、《放射事故报告制度处理预案》等规章制度。

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

本项目建成后应补充新增 PET-CT 设备的《操作规程》。

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：

X-γ辐射剂量率检测：PET-CT 机房屏蔽墙外、操作位、防护门、观察窗及缝隙处，PET-CT 机房内医生摆位处、注射室、注射后候诊室、储源库、放射性废物库、衰变池周围等；

β表面污染检测：核医学科工作台、设备、墙壁、地面、工作服、手套、工作鞋、手、皮肤等、受检者通道、注射室、注射后候诊室。

(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取药、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；安全联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) 医院核医学科现有辐射工作人员6人，均已参加辐射安全与防护培训考试，并考核合格，按照规定应定期参加考试。

(2) 医院核医学科6名辐射工作人员已佩戴个人剂量计，每季度送浙江省疾病预防控制中心进行检测，并建立了个人剂量档案，终生存档保存。

(3) 医院已组织现有的辐射工作人员在浙江大学医学附属第一医院参加职业健康体检，不超过两年检查一次，并建立了职业健康监护档案。

本项目建成后核医学科暂不新增辐射工作人员。现有6名辐射工作人员名单见表12-1。

表 12-1 核医学科现有辐射工作人员名单

序号	姓名	科室	工作岗位	职业健康体检		体检结果	放射防护培训	个人剂量计
				是(√)	否(×)			
1	易战雄	核医学	副主任医师	√		正常	合格	已佩戴
2	李卫春	核医学	主治医师	√		正常	合格	已佩戴
3	金宏伟	核医学	主管技师	√		正常	合格	已佩戴
4	王超	核医学	技师	√		正常	合格	已佩戴
5	任莉莉	核医学	护士	√		正常	合格	已佩戴
6	陈萍	核医学	护士	√		正常	合格	已佩戴

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、放射性废物处理前检测

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

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令 第 449 号 2019 年 03 月 02 日第二次修正）等相关规定，辐射事故应急预案应当包括以下内容：

- （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。
- （5）生态环境、卫生、公安部门的联系部门和电话。

医院已制定《辐射事故应急预案》（见附件 7），内容包括：应急机构和职责分工、应急和救助的装备、物资准备、应急事故分级、辐射事故应急措施和处理程序、辐射事故的调查和报告、应急联系电话、人员培训和演练计划、相关内容，其内容基本能满足本项目应急需要。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

13.1.1.1 辐射安全防护措施结论

- ①本项目核医学科设计了满足防护要求的实体屏蔽，能够有效屏蔽 X 射线、 γ 射线等的辐射影响。
- ②本项目核医学科拟设置防护注射窗、通风柜、移动式铅屏风、脚踏式放射性废物桶、放射性废（储）物箱、表面污染监测仪、X- γ 电离巡检仪、个人剂量报警仪等辐射防护用具，拟配备铅衣、铅帽、铅围领、铅手套、铅眼镜等个人防护用品，在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射。
- ③本项目核医学贮源库防护门拟设计为铅防盗门，钥匙由专人负责保管；日常期间由值班人员 24 小时监控；出入口安装摄像头及红外报警系统并入科室监控系统。
- ④本项目 PET-CT 射线装置拟配备有辐射安全装置、安全联锁装置、紧急停止开关、工作状态指示灯、电离辐射警告标志等安全措施。
- ⑤本项目核医学拟设置放射性废水的专用管线及衰变池、放射性废气专用管线及活性炭吸附过滤装置、放射性废物的专用铅收集桶等，射线装置机房的通风能满足相关标准规范的要求。
- ⑥辐射工作人员工作时穿戴铅衣、铅围脖，佩戴防护眼镜等辐射防护用品，辐射工作人员均拟配备个人剂量计。控制区拟设置相应的警示标志，限制无关人员进入。
- 综上所述，医院拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

13.1.1.2 辐射安全管理结论

本项目建成后，医院须制定的规章制度：《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》、《辐射防护措施》、《台账管理制度》、《人员培训计划》、《监测方案》、《质量保证大纲和质量控制检测计划》、《废源处理方案》、《放射性废气、废液、固体废物处理方案》及《辐射事故应急措施》等规章制度。

本项目建成后医院须组织新进辐射工作人员参加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；为新进辐射工作人员配备个人剂量计，并每 3 个月送有资质的单位检测一次；安排新上岗人员参加职业健康体检，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；同时为本项目新增的辐射工作人员建立档案。

13.1.2 环境影响分析结论

13.1.2.1 辐射污染因子分析

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水和固废。

13.1.2.2 辐射环境影响分析

（1）现状剂量率分析

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 77~87nGy/h 之间，与东阳市道路上 γ 辐射剂量率（57~98nGy/h）相比，符合当地天然辐射本底水平，环境现状良好。

（2）辐射环境影响预测分析

根据预测分析可知，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辐射剂量约束值（5mSv/a、0.25mSv/a），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。

13.1.2.3 三废环境影响分析

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。

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污物间放射性废（储）物箱中，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。

13.1.3 可行性分析结论

13.1.3.1 产业政策及代价利益分析结论

本项目属于核技术在医学领域内的运用，本项目核医学科建设符合《产业结构调整指导目录（2011 年本 2016 修正版）》第一类鼓励类：六、核能第 6 项同位素、加速器及辐照应用技术开发，因此本项目符合国家产业政策要求。

医院实施本项目目的在于开展核医学放射治疗工作，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。

13.1.3.2 选址合理性分析结论

本次评价的核医学项目位于医院东侧新建的手术楼，属于医院征用地块，周围为医院内部。本项目拟建辐射工作场所实体边界外 50m 区域内除东南角的居民区外无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区、学校等其他环境敏感区，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的，故其选址是合理可行的。

13.1.4 结论

东阳市人民医院 PET-CT 建设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。

13.2 建议和承诺

- (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照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）的要求自行验收。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：	
经办人	公章 年 月 日
审批意见：	
经办人	公章 年 月 日