

核技术利用建设项目

医用放射性同位素及伽马刀等射线装置应用项目环境影响报告表 (报批稿)

杭州三江阳光康复医院有限公司

2020年05月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

医用放射性同位素及伽马刀等射线装置应用项目环境影响报告表

建设单位名称：杭州三江阳光康复医院有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：浙江省杭州市下城区兴业街3号1-2幢

邮政编码：310006

联系人：盛凯凯

电子邮箱：

联系电话：

打印编号：1586244128000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	nw 36v0		
建设项目名称	医用放射性同位素及伽玛刀等射线装置应用项目		
建设项目类别	50 191核技术利用建设项目（不含在已许可场所增加不超出已许可活动种类和不高于已许可范围等级的核素或射线装置）		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称（盖章）	杭州三江阳光康复医院有限公司		
统一社会信用代码	91330103M A 27X TP13F		
法定代表人（签章）	胡敏楠		
主要负责人（签字）	盛凯凯		
直接负责的主管人员（签字）	盛凯凯		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	杭州旭辐检测技术有限公司		
统一社会信用代码	913301035930579416		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
施东风	06353343506330275	BH 004651	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
施东风	表10~表13	BH 004651	
诸葛文婷	表1~表9	BH 004853	

目 录

表 1 项目基本概况.....	1
表 2 放射源.....	5
表 3 非密封放射性物质.....	5
表 4 射线装置.....	6
表 5 废弃物.....	6
表 6 评价依据.....	8
表 7 保护目标与评价标准.....	10
表 8 环境质量和辐射现状.....	22
表 9 项目工程分析与源项.....	28
表 10 辐射安全与防护.....	39
表 11 环境影响分析.....	59
表 12 辐射安全管理.....	79
表 13 结论与要求.....	82

表 1 项目基本情况

建设项目名称	医用放射性同位素及伽马刀等射线装置应用项目				
建设单位	杭州三江阳光康复医院有限公司				
法人代表	胡敏楠	联系人	盛凯凯	联系电话	
注册地址	浙江省杭州市下城区兴业街 3 号 1-2 幢				
项目建设地点	浙江省杭州市下城区兴业街 3 号 1-2 幢				
立项审批部门	杭州市下城区卫生和计划生育局		批准文号	下卫（2017）182 号	
建设项目总投资（万元）	12500	项目环保投资（万元）	315	投资比例（环保投资/总投资）	2.52%
项目性质	■新、□改、□扩建、□其他			占地面积	-
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 医院概述

杭州三江阳光康复医院有限公司位于下城区兴业街 3 号 1-2 幢，总使用建筑面积约为 15000m²，建成后将开设内科、外科、中医科、中西医结合科、医学影像科等科室，计划设床位 100 张，工作人员约 220 人，估算总投资 1.25 亿元，所需资金由杭州三江阳光康复医院有限公司自行筹措解决，建成后将作为一家集医、教、研于一体的现代化二级康复医院。已取得《杭州市环境保护局下城环境保护分局建设项目环境影响评价文件审批意见》（杭环下评批 [2019] 1 号）和《放射诊疗建设项目职业病危害预评价报告审核意见书》（杭卫放预审字 [2019] 第 28 号）。

1.2 任务由来

康复医院是为患者因生理或心理上的缺陷导致劳动、生活和学习严重障碍者提

供医治，通过治疗与训练，充分发挥其体力、智力及社交能力，使只有部分的器官和组织的残病者最大限度地达到不完全残废，使身体留有的功能发挥最有效的作用的医疗机构。并且随着社会的趋势，人们生活水平的提高，人们对生活质量，包括就医这方面也要求更提高层次，所以康复医院不仅仅是只做单方面关于康复的工作，目前中国每年得癌症的人占全国人口平均 35%。如今杭州多数恶性肿瘤患者因受本地医疗条件限制往往只能外转就医，由此产生的经济负担较为沉重，肿瘤治疗的高昂费用让许多家庭因病致贫、因病返贫。所以康复医院有必要根据社会的形势开展核医学和放射诊疗。

因此，杭州三江阳光康复医院有限公司拟新建医用放射性同位素及伽马刀等射线装置应用项目，具体建设内容为：1、核医学科：新建 1 台 PET-CT，新增 1 枚 ^{22}Na 密封放射源（活度 $3.7 \times 10^6 \text{ Bq}$ ，属于 V 类源），为丙级非密封源工作场所，具体使用放射性同位素 ^{18}F ；2、放疗科：新建 1 台伽马刀（含 30 枚 ^{60}Co 放射源，初装总活度 $2.22 \times 10^{14} \text{ Bq}$ （6000Ci），参照 I 类源管理）；3、新建 1 台直线加速器（属 II 类射线装置）。

根据国家相关的法规要求，医院该项目应进行辐射环境影响评价，同时为了更好的满足国家有关辐射环境管理的规定和环保管理部门的监管要求，保护公众健康，医院正式委托杭州旭辐检测技术有限公司对该项目进行辐射环境影响评价。

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

1.3 项目地理位置

(1) 医院地理位置

医院位于杭州市下城区兴业街 3 号 1-2 幢，由主楼（5F）和辅楼（3F）组成，医院东侧为中联路，隔马路为咸亨国际大厦及其他商铺；南侧为兴业路，隔马路为服装厂办公楼；西侧为杭州市下城区石桥街道杨家社区办公楼；北侧为停车场；东北侧为蓉飞公寓。

(2) 辐射工作场所位置

医院主要辐射设备位于主楼一层，其中 PET-CT、伽马刀机房位于主楼西北侧一层，直线加速器位于主楼东南侧一层。核医学科东侧隔过道为门诊，南侧隔过道为 DR 和 CT 机房，西侧为伽马刀机房，北侧隔过道为医生办公室，楼上（二楼）为康

复中心，无地下层；伽马刀机房东侧为 PET-CT 机房，南侧隔过道为 MR 机房，西侧隔过道为弱电室、衰变池和头夹室，北侧隔过道为氧舱大厅，楼上（二楼）为康复中心，无地下层；直线加速器机房东侧和南侧为主楼外部，西侧隔过道为挂号收费室和商业出租房，北侧为门诊挂号大厅，楼上（二楼）为文化室和公共区域，无地下层。除距核医学科西侧约 20 米的杭州市下城区石桥街道杨家社区办公楼，放疗科东北侧 40 米的咸亨国际大厦和南侧 40 米的服装厂办公楼外，各机房周围 50m 范围内无其它环境敏感点。

根据《铁路安全管理条例》及《关于新建铁路南京至杭州铁路环境影响报告书的批复》（环审〔2008〕444 号）的要求，医院东侧的宁杭铁路保护范围为 30m。由医院提供的设计方案，本项目所涉及的所有机房及辅助用房均位于宁杭铁路 30m 保护范围线外，本项目选址符合宁杭铁路保护要求。

1.4 环保审批原则符合性分析

1、主体功能区规划符合性分析

根据《杭州市区（六城区）环境功能区划》，项目位于“下城人居环境保障区”，功能区编号 0103-IV-0-2。本项目属于医疗服务行业，不属于生产类项目，且项目租用现有已建建筑经营，不改变土地现状，经营过程中污染物简单，排放量较小，三废污染物皆可控制和处理，故项目运营后对周围环境不会产生较大影响。因此，项目的实施符合杭州市区环境功能区规划中“管控措施”的要求，不在“负面清单”内。

2、土地利用总体规划、城乡规划符合性分析

医院主体项目租用已建闲置房作为经营场所，建筑面积 15000m²，该项目已经取得杭州市环境保护局下城环境保护分局建设项目环境影响评价文件审批意见（杭环下评批[2019]1 号），本次评价的核技术利用项目各机房及辅助用房均位于医院主体项目环境影响评价报告书所涉及的项目建设范围内，符合相关规划。

根据相关规划要求，项目区块大气环境为二类环境功能区、声环境为 2 类功能区、地表水环境为 III 水质多功能区，根据医院建设项目环境影响评价报告及批复可知，主体工程（医院）建成营运后，通过采取环评报告提出的相关措施后，废气、噪声、废水均能达标排放或妥善处理，可满足区域环境功能区划要求。

本项目为主体项目的配套内容，不新增、新占土地，因此，本项目的建设也符合相关规划要求。

3、环境功能区划要求符合性分析

根据《杭州市区（六城区）环境功能区划》，项目位于下城人居环境保障区（0103-IV-0-2），主体项目为二级康复医院，属医疗卫生服务行业，不属于生产类项目，且项目租用现有已建建筑经营，不改变土地现状，项目经营过程中污染物简单，排放量较小，废水经收集处理后纳管，三废污染物皆可控制和处理，主体项目运营后对周围环境不会产生较大影响，因此符合杭州市区环境功能区划。

4、产业政策符合性分析

项目建成后从事医疗卫生服务，属于《产业结构调整指导目录(2019年本)》鼓励类第六项“核能”第6条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目。符合产业政策的要求。

5、项目达标排放符合性分析

只要建设单位认真采取本环评所提的污染防治措施，将污染防治措施落实到位，则各污染物能达标排放或综合利用，因此，项目符合达标排放要求。

本项目为主体项目（医院）的配套内容，建设地点均位于已批复的建筑内，不新增、新占土地，不改变整体项目的布局。综上，本项目的建设符合产业政策、符合环境功能区划、土地利用总体规划、城乡规划。

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
1	⁶⁰ Co	⁶⁰ Co初装总活度 6000Ci±10% (2.22×10 ¹⁴ ±10%Bq)，共 30 枚 (单个 ⁶⁰ Co 源标称活度为 200Ci (7.4×10 ¹² Bq/枚))	使用	参照 I 类管理	病灶最大直径 3cm 以下 (或多靶区照射) 的颅内恶性肿瘤及良性肿瘤的放射治疗	放疗科伽马刀机房	放射源配置在放射治疗机机头内	本次环评
2	²² Na	3.7×10 ⁶ ×1	使用	V类	PET 设备校正	核医学科 PET-CT 机	储源库内的保险柜	本次环评

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	液体	使用	3.7×10 ⁸ (10mci)	7.4×10 ⁹ (200mci)	20	每周 5 日	7.4×10 ⁶	1.85×10 ¹²	PET-CT 显像	很简单的操作	核医学科	根据实际使用量向有资质的单位购买，购买后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。

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	剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
1	直线加速器	II类	1	待定	电子	X 射线能量：6MV 电子线能量：6MeV	最大剂量率： 6Gy/min	放射性治疗	放疗科	本次环评

(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	DR	III	1	Xplore900	150	630	放射诊断	放射科	DR 机房	2019 年备案、 申领辐射安全 许可证
2	CT	III	1	Scint CareCT16	140	420	放射诊断		CT 机房	
3	PET 配套用 CT	III	1	ScintCare PET/CT	140	420	放射诊断	核医学科	PET-CT 机房	本次环评

表 5 废弃物

废弃物名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况*	最终去向
核医学科放射性固体（操作手套、口罩、棉签、注射管、活性炭等）	固态	¹⁸ F	--	--	--	极低	分期收集于放射性废物桶中，转移至废物储藏间衰变贮存。	存放十个半衰期后，经检测满足 ¹⁸ F 清洁解控水平 1×10 ¹ Bq/g（GBZ133-2009 附录 B）后，按一般医疗废物处理

核医学科放射性废水	液体	^{18}F	根据实际使用情况	$<10\text{ALI}_m$ in	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
伽马刀报废的 ^{60}Co 放射源**	固态	^{60}Co	在使用过程中不产生放射性废水、废气, 根据实际使用情况更换。				放射治疗机机头内	废源须由有资质的单位处置或生产厂家回收
核医学科报废的 ^{22}Na 放射源**	固态	^{22}Na					加速器使用一定年限或退役时产生的废靶件和加速器循环水系统中更换周期为 3~5 年的离子交换树脂。	
直线加速器的放射性固废	固态	---	加速器使用一定年限或退役时产生的废靶件和加速器循环水系统中更换周期为 3~5 年的离子交换树脂。				加速器设备内	被污染的树脂及靶件将全部由生产厂家负责回收

注: *目前医院无废放射源。

**废放射源是指不打算用于其初始目的密封放射源。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月；</p> <p>(2) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月；</p> <p>(3) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年；</p> <p>(4) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，环境保护部令第 44 号，2017 年 6 月 29 日；</p> <p>(6) 《关于修改<建设项目环境影响评价分类管理名录>部分内容的决定》，生态环境部令第 1 号，2018 年 4 月 28 日起实施；</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2017 修正版），中华人民共和国环境保护部令第 47 号，2017 年 12 月；</p> <p>(8) 《生态环境部关于废止、修改部分规章的决定》（生态环境部令第 7 号，2019 年 8 月 22 日修改）；</p> <p>(9) 放射性同位素与射线装置安全和防护条例（2019 年第二次修订）》，国务院令第 449 号，于 2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，于 2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(11) 浙江省环保厅关于发布《省环境保护行政主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2015 年本）》及《设区市环境保护行政主管部门负责审批环境影响评价文件的重污染、高环境风险以及严重影响生态的建设项目清单（2015 年本）》的通知，浙环发〔2015〕38 号，2015 年 9 月 23 日；</p> <p>(12) 《浙江省辐射环境管理办法》，省政府令第 289 号，2012 年 2 月；</p> <p>(13) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》，浙江省人民政府令第 364 号，2018 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(14) 《国家危险废物名录》，环境保护部令第 39 号，2016 年 8 月；</p> <p>(15) 《射线装置分类》，环境保护部和国家卫生计生委，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日；</p> <p>(16) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度</p>
------	--

	<p>的通知》（环发[2006]145 号，原国家环保总局、公安部、卫生部文件，2006 年 9 月 26 日）；</p> <p>（17）《放射源分类办法》，国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号。</p>
<p>技 术 标 准</p>	<p>《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》，HJ 10.1-2016，环境保护部。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点，同时结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，放射性药物生产及其他非密封放射性物质工作场所项目的评价范围，乙、丙级取半径 50m 的范围，放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围。

因此，本项目的评价范围为核医学科丙级非密封工作场所、伽马刀机房和直线加速器机房周围 50m 范围。

7.2 保护目标

本项目环境保护目标为医院核医学科从事操作核素、PET-CT 设备、伽马刀设备的放射工作人员、放疗科从事操作直线加速器的放射工作人员、周围其他非辐射工作人员和公众成员。

据现场踏勘，本项目相关辐射工作场所周围 50m 区域内的环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目评价范围 50m 内的环境敏感点

环境保护目标名称	方位	距离	规模
杭州市下城区石桥街道杨家社区 办公楼	核医学科、伽马刀机房西侧	约 20m	6 层办公楼
咸亨国际大厦	直线加速器机房东北侧	约 40 m	7 层办公楼
服装厂办公楼	直线加速器机房南侧	约 40 m	6 层办公楼

7.3 评价标准

(1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中的安全。

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 作为管理限值。

第 B1.2 款 公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

a) 年有效剂量，1mSv；本项目取其四分之一即 0.25mSv 作为管理限值。

③分区

第 6.4.1 款 控制区

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

第 6.4.2 款 监督区

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

④表面放射性污染的控制

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

第 B2 款 表面污染控制水平

第 B2.1 款，工作场所的表面污染控制水平如表 7-1 所列。

表 7-1 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。

第 C1 款，应按表 7-2 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 7-2 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 7-3）。

表 7-3 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 7-4 按表 7-3 划分的三类核医学工作场所的室内表面及装备结构要求¹⁾

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

注：¹⁾ 依据国际放射防护委员会（ICRP）第 57 号出版物。

²⁾ 仅指实验室。³⁾ 下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。

(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。

5.2.5 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。

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 7-5 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 7-5 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) 《X、 γ 射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》(GB168-2005)

本标准规定了 X、 γ 射线头部立体定向外科治疗（以下简称 X-刀与 γ -刀）的放射卫生防护要求。

5 设备防护性能要求

5.1 新安装的 γ -刀或 X-刀治疗设备在投入使用前，应由具备检测资质的技术机构对其剂量学参数防护安全等性能进行验收检测，确认合格后方可启用。验收检测的项目及技术要求应符合出厂标准应不低于表 7-2 的要求。

6 对机房的防护要求

6.1 γ -刀或 X-刀治疗室应独立建筑或设置在建筑物底层的一端，面积应不小于 30m²，层高应不低于 3.5m。

6.2 治疗室建筑应有满足防护要求的屏蔽厚度，保证在距治疗室墙体外 30cm 可达界面处停留的医务人员（不含放射工作人员）或其他公众成员所受到的平均年有效剂量不超过 1mSv，该处因透射产生的空气比释动能率一般应不大于 2.5 μ Gy/h。必要时治疗室入口处采用迷道形式。

6.3 控制室操作台与防护门至少应有两种以上安全连锁装置。治疗室内应安装能紧急终止照射的应急开关。入口处应设置显示治疗源工作状态的讯号灯。

6.4 控制室与治疗室应设有观察患者状态的影像监控装置和与患者交谈的对讲装置。

6.5 γ -刀治疗室应配置固定式剂量监测报警装置。

6.6 治疗室内应有良好的通风，机械通风换气次数一般为每小时 3~4 次。

表 7-2 γ -刀剂量学参数和防护安全要求

序号	性能	检测条件	要求
1	透过准直体的泄漏辐射率（准直器关闭时与开启时辐射水平之比）	处于治疗预定位置的模体中心	$\leq 2\%$
2	非治疗状态下设备周围的杂散辐射水平	距设备外表面 60cm 处	$\leq 20\mu\text{Gy/h}$
		距设备外表面 5cm 处	$\leq 200\mu\text{Gy/h}$

(7) 《 γ 远距治疗室设计防护标准》（GBZ/T152-2002）

本标准规定了 γ 远距治疗室(简称治疗室,下同)的总体布局和设计中的防护要求。

本标准适用于新建、改建、扩建治疗室防护设施设计的卫生审查和竣工验收。

4 总体布局

4.1 治疗室可单独建造，也可以建在建筑物底层的一端。

4.2 治疗室及其辅助设施，如操纵室、检查室、候诊室等应同时设计，并根据安全、卫生、方便的原则合理布置。

4.3 治疗室应采用迷路形式与操纵室相通。

4.4 治疗室应有足够的使用面积，一般不应小于 30m²。

4.5 布置治疗机时，有用线束不应朝向迷路。

4.6 治疗室应有良好的通风，一般为每小时换气 3~4 次。

(8) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007）

4 治疗机机房一般屏蔽要求

4.1 屏蔽所考虑的环境条件

4.1.1 治疗机房一般设于单独的建筑或建筑物底层的一端。治疗机房的坐落位置应考虑周围环境与场所的人员驻留条件及其可能的改变，并根据相应条件确定所需要的屏蔽。

4.1.2 在设计和评价治疗机房顶屏蔽时，应充分考虑“天空散射辐射”和“侧散射辐射”对治疗机房邻近场所中驻留人员的照射。

4.2 治疗机房布局要求

4.2.1 治疗装置控制室应与治疗机房分离。治疗装置辅助机械、电器、水冷

设备，凡是可以与治疗装置分离的，应尽可能设置于治疗机房外。

4.2.2 直接与治疗机房相连的宽束治疗装置的控制室和其他居留因子较大的用室，应尽可能避开有用束可直接照射到的区域。

4.2.3 X 射线管治疗在装置的治疗机房可不设迷路。 γ 刀治疗装置的治疗机房，根据场所空间和环境条件，确定是否选用迷路。除此而外，其他治疗机房应设置迷路。

4.2.4 应根据治疗要求给定治疗装置源点的位置（它可能偏离机房的对称中心）或后装治疗源可能应用的源点的位置与范围。

4.6 缝隙、管孔和可能的薄弱环节的屏蔽考虑因素

4.6.1 治疗机房以混凝土为屏蔽体时，应一次整体浇筑并有充分的震捣，以防出现裂缝和过大的气孔。

4.6.2 当治疗机房预留治疗装置安装口或主、次屏蔽墙采用不同密度的混凝土时，交界处应采用阶梯式衔接。

4.6.3 当 X 射线管治疗机房设有观察窗时，带有屏蔽的观察窗应略大于窗口并镶嵌在所衔接的屏蔽墙内。

4.6.4 在治疗机房内、外墙上的电器部件（如配电箱、激光定位灯等）的部位，应与同侧墙具有同等的屏蔽。对嵌入式安装造成局部屏蔽减弱的地方，应进行屏蔽补偿。

4.6.5 穿过治疗机房墙的管线孔（包括通风、电器、水管等）应避开控制台等人员高驻留区，并采用多折曲路，有效控制管线孔的辐射泄漏。

（9）《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）

本标准规定了医用电子加速器(以下简称加速器)用于临床治疗时的放射防护要求.包括基本要求、加速器的放射防护性能要求、治疗室防护和安全操作要求、贡量控制要求及其监测方法。

本标准适用于标称能量在 50MeV 以下的医用电子加速器的生产和使用。

6 治疗室防护和安全操作要求

6.1 治疗室的防护要求

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/T201.1 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。

(10) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)

本标准适用于医用诊断 X 射线机的生产和使用。

5 X射线设备机房防护设施的技术要求

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

5.2 每台X射线机(不含移动式 and 携带式床旁摄影机与车载X射线机)应设有单独的机房,机房应满足使用设备的空间要求。对新建、改建和扩建的X射线机房,其最小有效使用面积、最小单边长度应不小于表7-6要求。

表7-6 X射线设备机房(照射室)使用面积及单边长度

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

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

5.3 X射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

- a) 不同类型X射线设备机房的屏蔽防护应不小于表7-7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7-7 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 2.5μGy/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 2.5μGy/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 0.25μGy/h；测量时，测量仪器读出值应经仪器响应时间和剂量检定因子修正后得出实际剂量率。

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

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

5.7 机房门外应有电离辐射警告标志、放射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯,灯箱处应设警示语句;机房门应有闭门装置,且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。

5.9 每台 X 射线设备根据工作内容,现场应配备不少于表 7-8 基本种类要求的工作人员、患者和受检者防护用品与辅助防护设施,其数量应满足开展工作需要,对陪检者应至少配备铅防护衣;防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.25mm 铅当量;应为不同年龄儿童的不同检查,配备有保护相应组织和器官的防护用品,防护用品和辅助防护设施的铅当量应不低于 0.5mm 铅当量。

表 7-8 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查 类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT体层扫描 (隔室)	—	—	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
放射诊断学用 X射线设备隔室透射、摄影	—	—	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	或可调节防护窗口的立位防护屏;固定特殊受检者体位的各种设备
注:“—”表示不要求。				

(11) 《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)

本项目直线加速器、伽马刀、CT 机房设新风和排风系统,氮氧化物执行无组织排放 0.12mg/m³ 的限值标准。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 辐射工作场所位置

医院主要辐射设备位于主楼一层，其中 PET-CT、伽马刀机房位于主楼西北侧一层，直线加速器位于主楼东南侧一层。核医学科东侧隔过道为门诊，南侧隔过道为 DR 和 CT 机房，西侧为伽马刀机房，北侧隔过道为医生办公室，楼上（二楼）为康复中心，无地下层；伽马刀机房东侧为 PET-CT 机房，南侧隔过道为 MR 机房，西侧隔过道为弱电室、衰变池和头夹室，北侧隔过道为氧舱大厅，楼上（二楼）为康复中心，无地下层；直线加速器机房东侧和南侧为主楼外部，西侧隔过道为挂号收费室和商业出租房，北侧为门诊挂号大厅，楼上（二楼）为文化室和公共区域，无地下层。

8.2 辐射环境现状检测

1、本项目拟建辐射工作场所

(1) 检测目的

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

(2) 检测内容

根据污染因子分析，对本项目拟建辐射工作场所周围进行辐射剂量率背景水平检测。

(3) 检测点位

检测点位布点详见图 8-1、图 8-2、图 8-3。

(4) 检测仪器与规范

检测仪器的参数与规范见表 8-1。

(5) 质量保证措施

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

监测。

e 检测人员经过省级培训机构的监测技术培训，并经考核合格，做到持证上岗。

f 检测人员按操作规程操作仪器，测量方法选用质量手册有关本次检测项目的检测实施细则，并做好记录。

g 检测单位已通过了浙江省质量技术监督局计量认证。

表 8-1 X-γ辐射剂量当量率仪参数与规范

仪器名称	X、γ辐射剂量当量率仪
仪器型号	451P
生产厂家	(美) FLUKE BIOMEDICAL
能量响应	>25 keV
量程	0~50mSv/h
检定证书	上海市计量测试技术研究院 (检定证书编号: 2018H21-20-1604168001) 有效期: 2018年10月17日-2019年10月16日
监测规范	电离辐射防护与辐射源安全基本标准 GB18871-2002 环境地表γ辐射剂量率测定规范 GB/T 14583-1993

(6) 检测结果

本项目辐射工作场所周围的 X-γ辐射剂量率背景水平检测结果见表 8-2。

表 8-2 本项目辐射工作场所周围的 X-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 (μSv/h)	
		平均值	标准差
▲1	拟建核医学科东侧	0.11	0.01
▲2	拟建核医学科南侧	0.11	0.01
▲3	拟建核医学科西侧	0.12	0.01
▲4	拟建核医学科北侧	0.10	0.01
▲5	拟建核医学科上层(康复中心)	0.11	0.01
▲6	拟建直线加速器机房东侧	0.10	0.01
▲7	拟建直线加速器机房南侧	0.10	0.01
▲8	拟建直线加速器机房西侧	0.09	0.01
▲9	拟建直线加速器机房北侧	0.11	0.01
▲10	拟建直线加速器机房上层(文化室和公共区域)	0.11	0.01
▲11	拟建伽马刀机房东侧	0.08	0.01

▲12	拟建伽马刀机房南侧	0.09	0.01
▲13	拟建伽马刀机房西侧	0.09	0.01
▲14	拟建伽马刀机房北侧	0.10	0.01
▲15	拟建伽马刀机房上层（康复中心）	0.10	0.01

注：检测结果未扣除宇宙射线的响应。

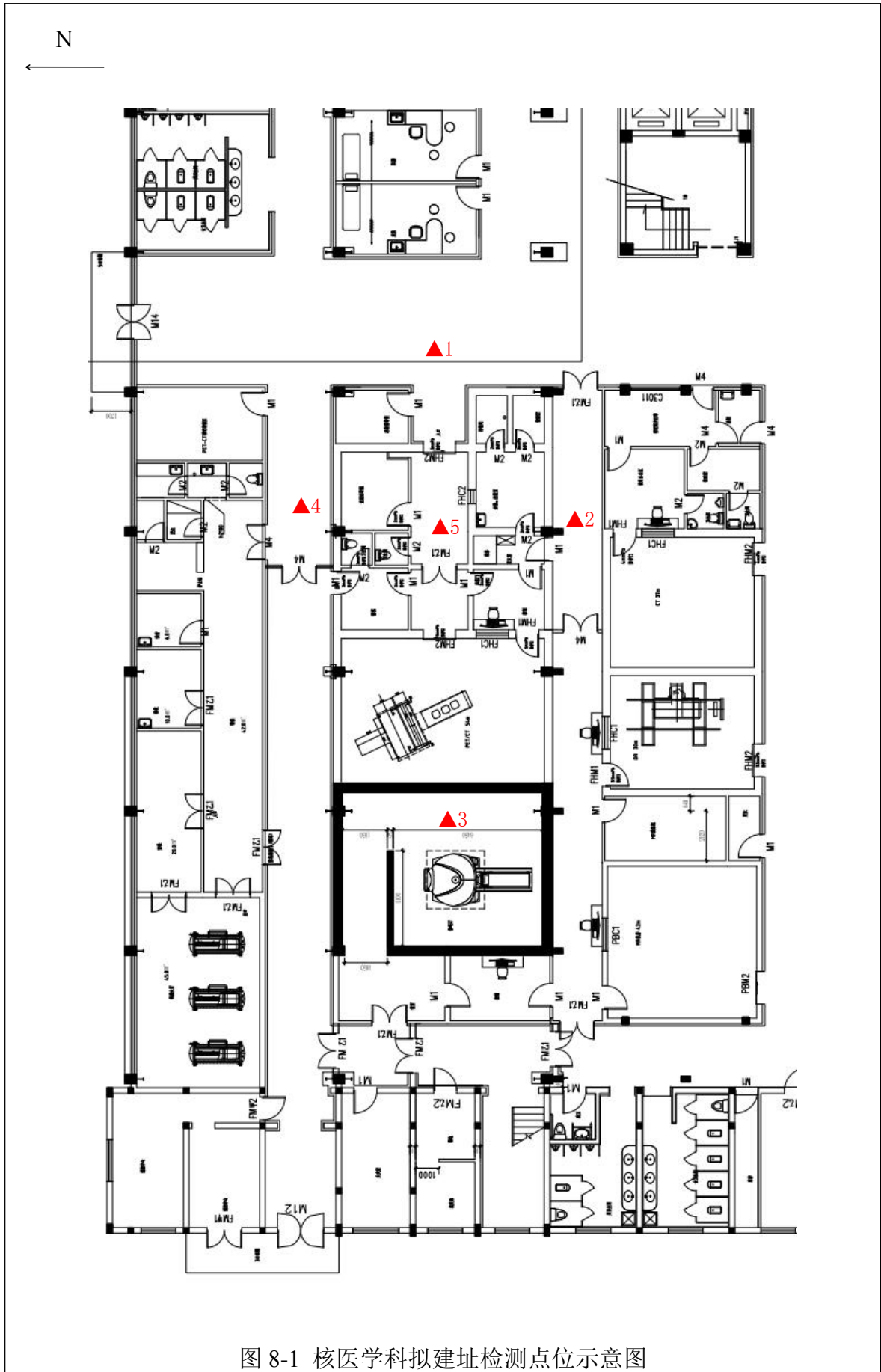


图 8-1 核医学科拟建址检测点位示意图

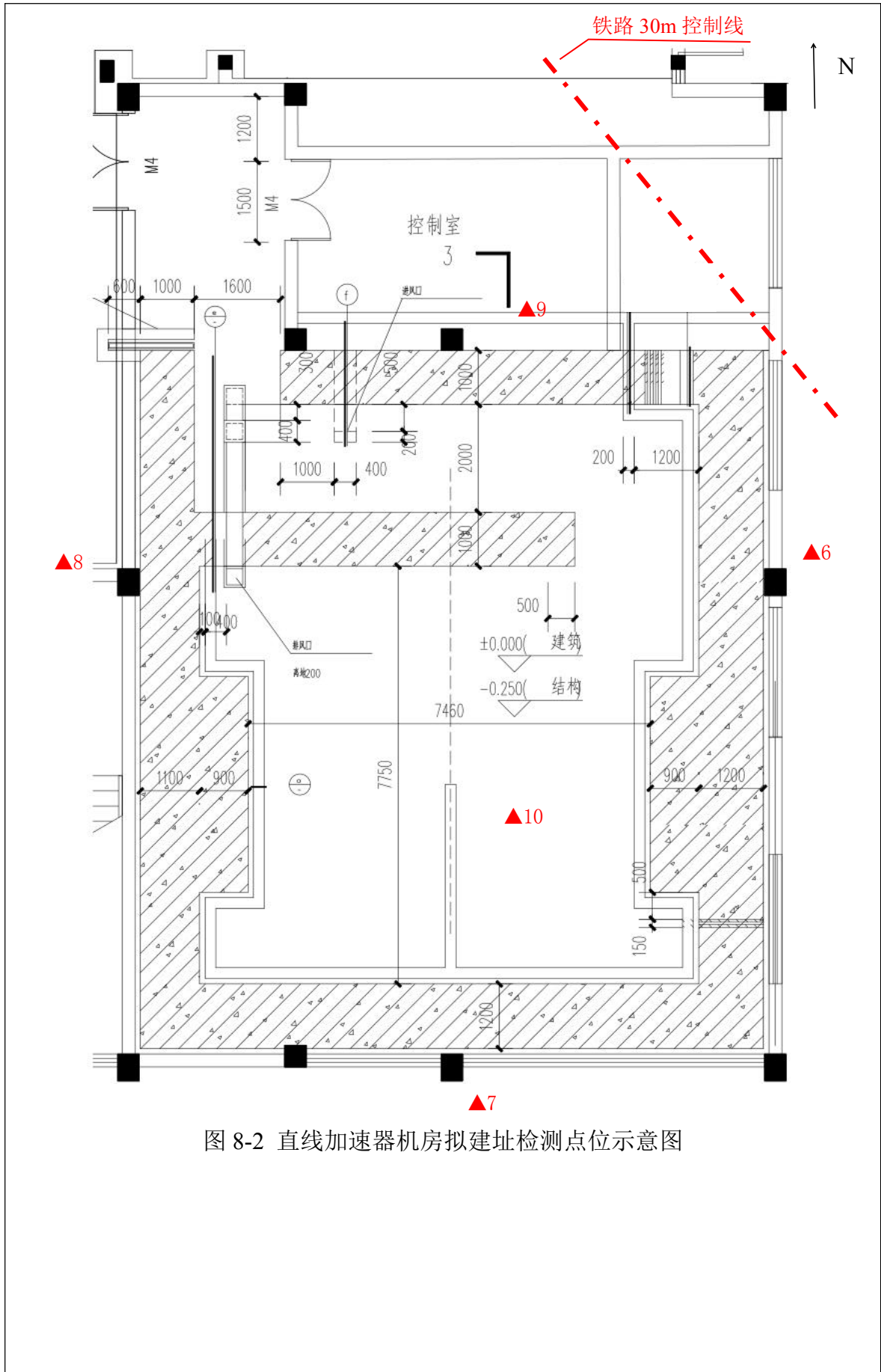


图 8-2 直线加速器机房拟建址检测点位示意图

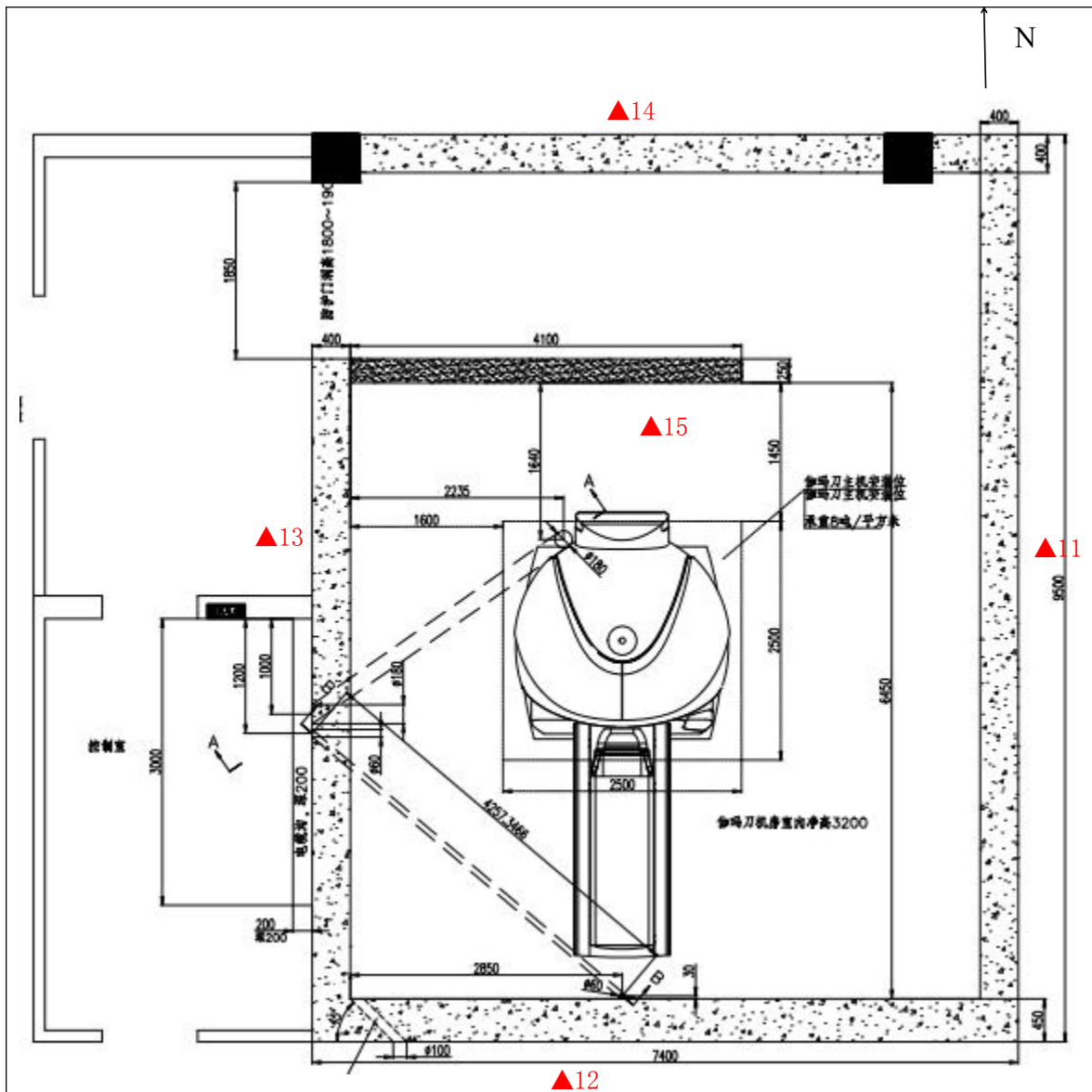


图 8-3 伽马刀拟建机房检测点位示意图

由表 8-2 的检测结果可知，杭州三江阳光康复医院有限公司拟建 PET-CT、伽马刀和直线加速器机房拟建址周围环境的辐射剂量率测量值在 $0.08\sim 0.11\mu\text{Sv/h}$ 之间，由《浙江省环境天然放射性水平调查报告》可知，杭州市建筑物室内 γ 辐射剂量率在 $56\sim 443\text{nGy/h}$ 之间，可见其 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.核医学科

9.1.1 非密封放射性物质

PET-CT 机房使用 ^{18}F 、分装注射室 (^{18}F)。

1、使用流程及产污分析

本项目使用的放射性核素在衰变过程中存在 γ 射线及 β 射线污染， 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，主要为 γ 射线对医护人员产生的外照射影响。

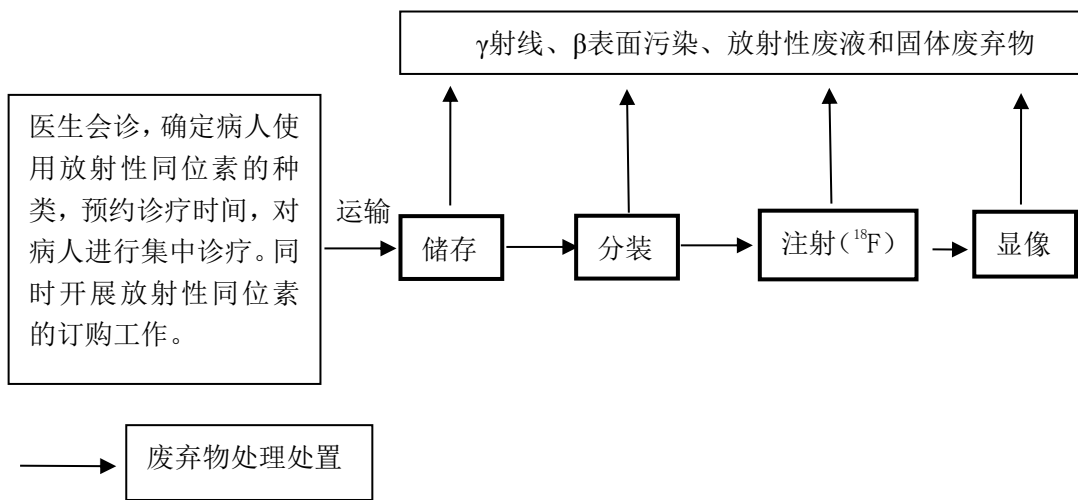


图9-1 非密封放射性物质使用流程及产污环节示意图

2、性能参数和计划工作量

本项目使用的 ^{18}F 需根据病人的需要进行分装，使用的放射性同位素均按照每日用量提前订购，运输到医院后当日可在源库暂存，不贮存。 ^{18}F 的性能参数见表 9-1，本项目放射性同位素的计划工作量见表 9-2。

表 9-1 本项目使用的放射性同位素性能参数

核素	半衰期	毒性	衰变方式	物理性态	年最大用量 (Bq)	日最大用量 (Bq)	用途
^{18}F	1.83h	低毒	β^+ 、 γ	液态	1.85×10^{12}	7.4×10^9	PET-CT 显像

表 9-2 放射性同位素的计划工作量

核素	每人最大用量	日最大检查诊疗人数	年最大检查 (治疗) 人数	日最大用量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
^{18}F	3.7×10^8 Bq	20 人	5000 人 (每	7.4×10^9	1.85×10^{12}	PET-CT

			周 5 天, 年 50 周)			显像检 查
--	--	--	----------------------	--	--	----------

9.1.2 PET-CT 显像检查流程及产污环节分析

1、PET-CT 设备组成

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

2、PET-CT 诊断工作原理

PET-CT (Positron Emission Tomography and Computer Tomography)，全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET 和 CT 的基础上发展起来的新设备，充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可以精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

本项目拟新增的 PET-CT 使用放射性核素为 ^{18}F 。 ^{18}F 每人每次最大使用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq/人次}$ (10mCi)，主要用于糖代谢、全身肿瘤显像。本项目使用的 ^{18}F 使用前根据需要提前订购，不分装直接使用。 ^{18}F 在 PET-CT 注射室进行注射给药。注射时，医生与病人分别位于铅玻璃的两侧，距患者约 30cm。给药后的病人根据需要在注射后候诊室观察 30~60min 后，在 PET-CT 机房进行核素显像。

3、工艺流程及污染因子

PET-CT 中心诊断具体工作流程如下：

- (1) 接收患者，开具 PET-CT 诊断单并告知患者诊断过程存在辐射危害。
- (2) 医生根据病情确定使用核素的类别和剂量。

- (3) 病人通过注射将放射性药物摄入。
- (4) 病人摄入药品后通过仪器进行器官显像和病情检查。

PET-CT 系统诊断工艺流程及产污位置图如图 9-2 所示。

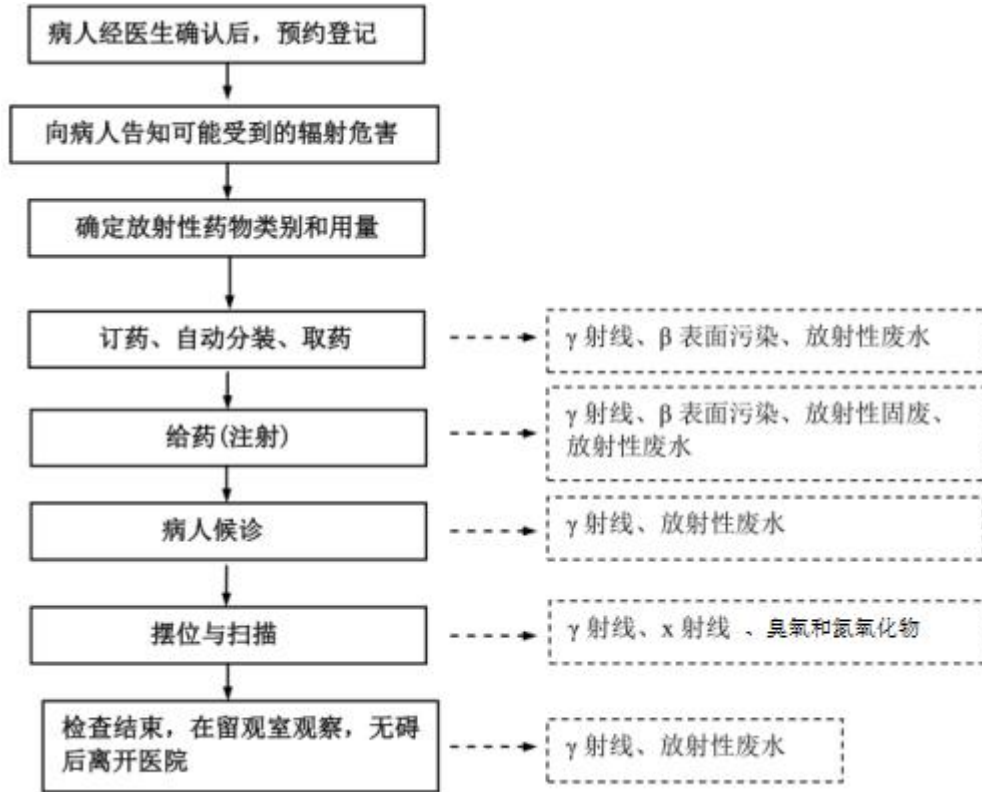


图 9-2 核医学科 PET-CT 诊断工艺流程及产污位置图

因此, 用 ^{18}F 等核素标记 PET 项目主要环境影响为注射过程对工作人员产生的外照射; 注射过程可能对工作台面、地面等造成的表面污染; 操作过程产生的放射性固体废物, 如使用放射性药物的注射器、注射针头, 可能沾染放射性药物的试管、棉签、手套、口罩、污染擦拭或清洗物等放射性固体废物; 操作过程产生的放射性废水, 如清洗废水、使用放射性药物患者的排泄物。CT 扫描时产生的 X 射线, X 射线使空气电离能产生臭氧和氮氧化物等有害气体。

9.1.3 污染源项描述

(1) X 射线

PET-CT 扫描时产生的 X 射线。

(2) γ 射线

^{18}F 在取药、分装、注射、注射后候诊、扫描等操作过程中产生的 γ 射线造成医务人员和公众的外照射。

(3) β 放射性表面污染

医生在对含有放射性同位素 ^{18}F 的操作中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的 β 放射性表面污染。

(4) 废气

本项目使用的 ^{18}F 无挥发性，分装操作在通风橱内完成，注射时药物在针筒内，无开放液面，空气中挥发散逸的放射性同位素几乎没有，因此放射性气溶胶非常少，其对工作人员和公众的内照射影响可以忽略。CT 机 X 射线使空气电离能产生臭氧和氮氧化物等有害气体

(5) 废水

放射性废水主要为体内含有放射性核素的病人排泄物、工作场所清洗废水等。

(6) 固体废物

放射性固体废物主要为放射性同位素操作过程中产生的如注射器、一次性手套、棉签、滤纸等带微量放射性同位素的医疗固体废弃物，可能对周围环境产生一定的危害。污染途径为操作过程中及收集固废过程中和贮存衰变时对医务人员产生的外照射。

9.2 密封源

9.2.1 伽马刀

1、性能参数

放射源参数：30 枚 Co-60 放射源，初装源时总活度 $6000 \pm 10\% \text{Ci}$ ($2.22 \times 10^{14} \pm 10\% \text{Bq}$)。

(1) 初装源时焦点标称吸收剂量率：3.0Gy/min。

(2) 聚焦照射方式：旋转聚焦。

(3) 设备辐射防护指标：

a.距辐射源 1m 处的杂散辐射引起的吸收剂量率不大于 0.02mGy/h

b.距可能触及的设备外壳 5cm 任意位置的杂散辐射吸收剂量率不得大于 0.2mGy/h。

(4) 传输（出束和关束）过程指标：

a.从关束状态到出束状态和从出束状态到关束状态的转换持续时间 $\leq 60\text{s}$;

b.上述转换时间中辐射源进行照射的等效时间 $\approx 1.4s$;

c.期间在焦点处产生的传输剂量 $\leq 9.7cGy$ (当最大装源活度 6600Ci 时)。

(5) 治疗床的最大运动速度 $\leq 50mm/s$ 。

(6) 头盔对接速度 $\leq 10mm/s$ 。

2、工作原理

伽马刀的全称是 γ 射线立体定向放射治疗系统，其利用伽玛射线几何聚焦原理（见图 9-3），在精确的立体定向情况下，将经过规划的大剂量伽玛射线集中照射于体内的预选靶点，一次性致死性地摧毁靶点内的组织，以达到外科手术切除或损毁的治疗效果。该治疗系统用伽玛射线代替手术刀，故称为伽马刀。由于靶点区域放射剂量场梯度极大，即每一射线束通过周围组织的量是安全量，而达到靶点的总剂量是致死量，损毁灶边缘锐利如刀割，靶点周围组织几乎不受放射线的损害。

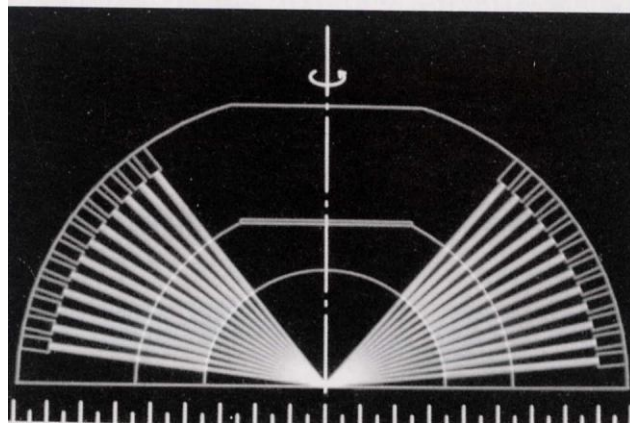


图 9-3 伽马刀射线聚焦示意图

旋转式伽马刀对病灶产生的治疗作用，其原理是基于钴-60 在衰变过程中释放的 γ 射线在病灶细胞产生的放射生物学效应。

γ 射线能量随着入射路径的延长而逐渐减弱，单束射线不能满足这样的要求：射线在病灶达到治疗剂量的同时，不对穿过路径上的正常组织产生大的不可逆放射损伤。采用多源聚焦可以实现在病灶产生足够大的剂量，同时保证周围正常组织所受放射损伤降到最低程度。

多源同轴旋转，成为动态的锥形扇面，可以更有效地分散周边正常组织所受辐照剂量，而不降低病灶治疗剂量。同时可以减少采用的钴源个数，降低成本和工艺难度。

伽马刀安装有 30 个钴源，分布在半球体球面的源体上，经度 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 、纬度范围为 $14^{\circ}\sim 43^{\circ}$ ，从钴源辐射出的 γ 射线束，经源体的初准直器、开关体的次准直器和头盔的终准直器准直后会聚于焦点，形成很强的辐射剂量场。头盔上安置有五组共 150 个准直器，形成相当于 $\Phi 4$ 、 $\Phi 5$ 、 $\Phi 10$ 、 $\Phi 15$ 、 $\Phi 20$ 五种规格的准直器形成的焦点，以适合病灶形状大小不同的需要。由于聚焦在焦点处形成很高的剂量，使得伽马刀在治疗病灶的同时，对周围健康组织的损害很小，从而形成类似手术刀切除病灶的效果。

3、设备组成

主要由放射外科系统、立体定位系统、治疗计划系统和控制系统等四个子系统构成。

放射外科系统由射线源装置、驱动装置、屏蔽装置组成。

立体定向系统由立体定位框架、MRI/CT 图框及适配器、定位支架和治疗床组成。用以确定靶点的准确位置坐标、大小和形状，并将靶点准确地定位在射线焦点上。

治疗计划系统是一套计算机图像处理、剂量规划装置。包括 MR/CT 图像输入装置、三维图像处理工作站和治疗文件的输出装置。

控制系统有智能控制系统、声像监视系统、配电系统组成。

本项目伽马刀为头部伽马刀系统，其结构图见图 9-4，设备图见图 9-5。

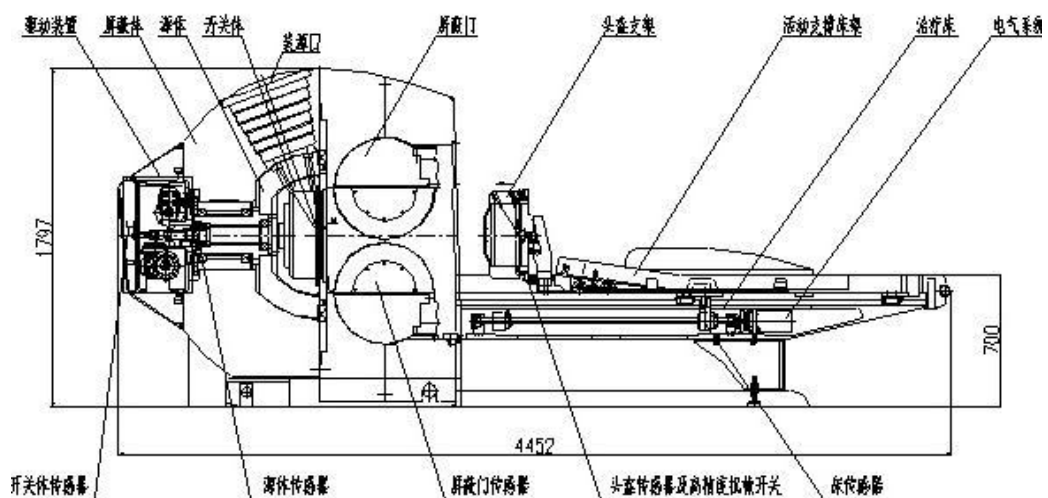


图 9-4 头部伽马刀主体结构图

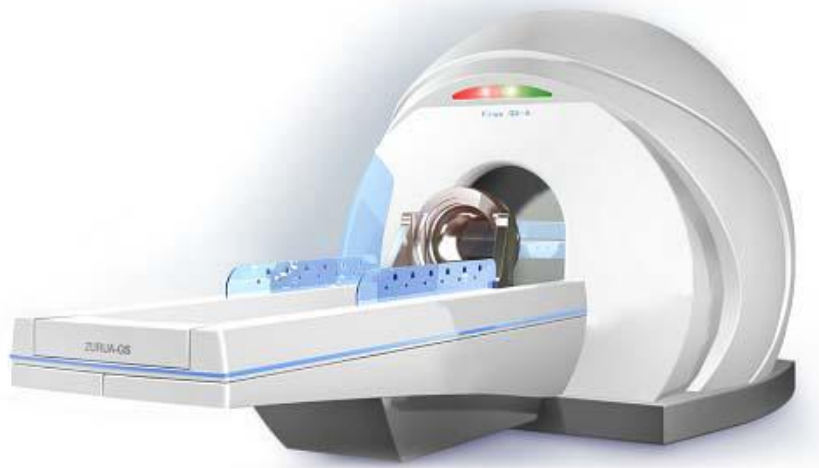


图 9-5 头部伽马刀设备图

4、操作流程

基本治疗程序如下：

- (1) 确定患者病种，安装立体定位框架；
- (2) 进行 CT，MRI 或 DSA 定位扫描；
- (3) 影像资料的采集，传输以及规划治疗方案；
- (4) 根据治疗计划，调定 X、Y、Z 轴坐标值， γ 角和准直器型号，将病人安置在治疗床上；
- (5) 伽马刀机房防护门关闭；
- (6) 在控制台上确认相关治疗参数；
- (7) 启动设备，设备自身屏蔽系统开启，治疗床进入治疗腔内
- (8) 源体与中间屏蔽体及头盔对合，射线从准直通道通过形成聚焦，治疗开始
- (9) 治疗结束，治疗床退出，头盔与中间屏蔽体脱开，设备自身屏蔽系统关闭，伽马刀机房防护门开启；
- (10) 将病人从治疗床上卸下，去掉立体定位框架
- (11) 将创口包扎，病人回病房休息 1—2 天即可出院
- (12) 如有多个枪点，则重新调定 X、Y、Z 轴坐标值和 γ 角，再次进入治疗，直至结束。

5、污染因子

(1) 在正常运行条件下，伽马刀使用 ^{60}Co 密封源，不会产生放射性液体。但放射源在自身衰变过程中产生高能量的 γ 射线， γ 射线使空气电离能产生臭氧和氮氧化合物等有害气体。

(2) 当关机时，由于该设备本身具有较好的自屏蔽装置，使用的 ^{60}Co 密封源产生的 γ 射线大部分已经被屏蔽掉，机身表面存在散漏射线，且剂量已经很小。设备在关机状态下所发出散漏射线经屏蔽墙屏蔽后，到达墙外的剂量很小，能够满足环境保护的要求。

因此，该项目评价的重点是评价设备在开机状态下所发出的 γ 射线，经过四周屏蔽墙的屏蔽后，对环境造成影响是否能够满足环境保护的要求。

放射源的放射活度衰减到一定程度，满足不了治疗要求而退役成为放射性废源时，放射性废源对环境有潜在的影响。

^{60}Co 衰变时发射 γ 射线主要能量为 1.17MeV 和 1.33MeV，平均能量为 1.25MeV，常温下为固态金属，半衰期为 5.26 年。

因此，伽马刀的污染因子是 γ 射线，其次为臭氧和氮氧化物。

9.2.2 ^{22}Na 密封放射源

本项目 PET-CT 室内配套使用 1 枚 ^{22}Na 校准源，平时暂存在铅屏蔽容器中。

1、工作原理

^{22}Na 校准源模拟注射同位素的人体，用于探头采集均匀性和能峰的校准。

2、操作流程

- (1) 将 ^{22}Na 校准源放置在病床上；
- (2) 做放射源投射的质量控制；
- (3) 进行病人检查，采集病人体内核素发射的射线，然后再采集校准源的透射线；
- (4) 将源卸下，放入放射源贮存室内暂存。

3、污染因子

^{22}Na 的半衰期为 2.6019 年，主要衰变方式是电子俘获 (EC)，主要发射能量为 0.51MeV 的 γ 射线。因此，该项目的主要污染因子是 γ 射线， γ 射线使空气电离能产生臭氧和氮氧化合物等有害气体。

9.3 医用直线加速器

1、性能参数

数量：1 台

X 射线最大能量：6MV

X 线能量档位：4MV 和 6MV

电子线能量档位：4MeV 和 6MeV

最大照射野：在楔形方向最大至 30cm，非楔形方向最大至 40cm

连续可变楔形角度：0°至 60°

最低的等中心高度：124cm

最大的等中心到治疗头的净空间距离：45cm

2、工作原理

医用直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。当高能电子束与靶物质相互作用时产生韧致辐射，即 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量。因此，医用电子直线加速器既可利用电子束对患者病灶进行照射，也可利用 X 线束对患者病灶进行照射，杀伤肿瘤细胞。典型医用直线加速器见图 9-5。

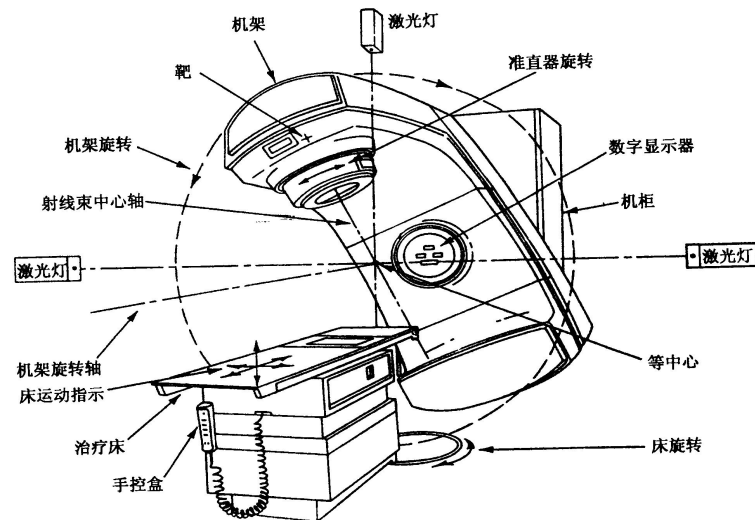


图 9-5 医用直线加速器示意图

3、设备组成

医用电子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。医用直线加速器内部结构见图 9-6。

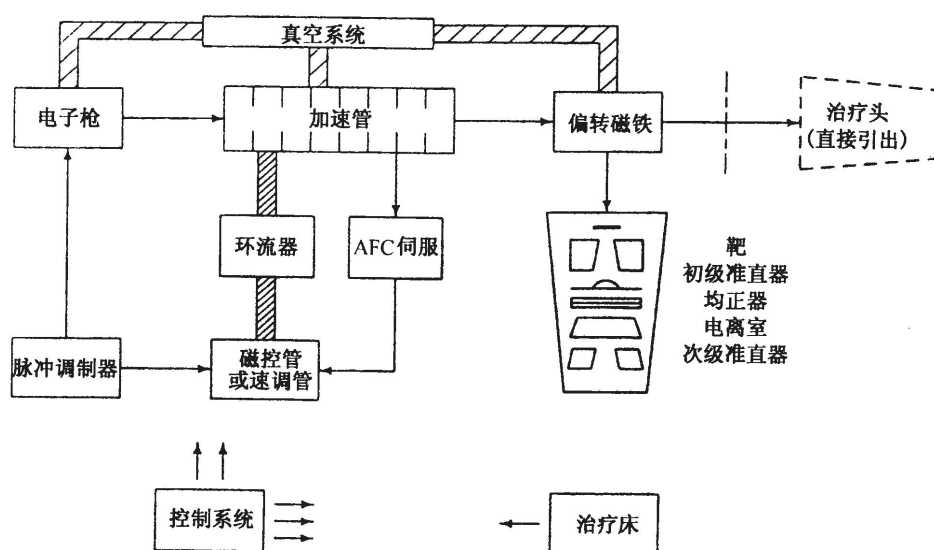


图 9-6 典型医用直线加速器内部结构框图

4、操作流程

- a. 进行定位。先通过 CT 机对病变部位进行详细检查，然后确定照射的方向、角度和视野大小，拍片定位。
- b. 制订治疗计划。根据患者所患疾病的性质、部位和大小确定照射剂量和照射时间。
- c. 固定患者体位。在利用加速器进行治疗时需对患者进行定位，标记，调整照射角度及射野。
- d. 开机治疗。

5、污染因子

①电子束

电子直线加速器在运行时，电子枪产生大量的电子，电子被加速后聚焦为一股束流。电子束虽然占据的体积小，但是能量非常集中。电子束的贯穿能力相对于 X 射线比较弱，加速器四周的混凝土墙可将其完全屏蔽。

②X 射线

由加速器的工作原理可知，电子枪产生的电子经过加速后，高能电子束与靶物质相互作用时将产生高能 X 射线。这种 X 射线随机器的开、关而产生和消失。

③有害气体

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。

④固体废物

直线加速器所产生的放射性固体废物，主要来源于两个方面：一是加速器内循环水系统中使用离子交换树脂，吸附极少量较长半衰期的放射性核素，长期积累后，更换的树脂具有一定的放射性；二是加速器使用一定年限或退役时产生的废靶件，含有一定的放射性。

因此，本项目直线加速器在开机期间 X 射线为主要污染因子，其次为臭氧、氮氧化物以及放射性固体废物。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 评价规模

(1) 放射性同位素：丙级非密封放射性工作场所（使用 ^{18}F 核素）；

(2) 密封源：1 套头部伽马刀治疗系统（ ^{60}Co 初装总活度 6000Ci，参照 I 类源管理），PET-CT 校准用 ^{22}Na 密封源 1 枚（V 类源）；

(3) 射线装置：1 台直线加速器（II 类射线装置）、1 台 PET-CT 配套用 CT（III 类射线装置）。

10.1.2 辐射工作场所

10.1.2.1 机房改建及装修的可行性

拟建核医学科、伽马刀和直线加速器机房均为原有建筑改建，该项目机房需要用重晶石混凝土、混凝土、硫酸钡水泥、铅板、铅玻璃、实心黏土砖等进行辐射屏蔽。

为了保障设备运行、医护人员和患者的安全，医院聘请了专业的施工公司—杭州锦晨建筑特种工程有限公司，该公司对本项目机房拟建址涉及改建的建筑设计最优的加固方案，并承担了对原建筑的顶棚、各侧墙体和地坪结构等进行了加固处理施工。核医学科、伽马刀和直线加速器机房的建设不会对医院其他功能用房的安全产生影响，最大程度地保障了核医学科、伽马刀和直线加速器机房运行和医院医患人员的安全。

10.1.2.2 辐射工作场所分布

具体 3 处辐射工作场所分布情况如下：

(1) 辐射工作场所 1：主楼西侧一层核医学科，丙级非密封放射性工作场所（使用 ^{18}F 核素）。

(2) 辐射工作场所 2：主楼核医学科西侧放疗伽马刀机房，使用 1 套头部伽马刀治疗系统（使用 30 枚 ^{60}Co 密封源）。

(3) 辐射工作场所 3：主楼东侧一层放疗科（使用 1 台直线加速器及配套机房）。

10.1.3 辐射屏蔽设计

(1) 核医学科辐射工作场所辐射屏蔽设计和核医学科检查机房辐射屏蔽设计具体情况见表 10-1 和表 10-2。

(2) 伽马刀机房主体设计与标准相符性具体情况见表 10-3，伽马刀机房屏蔽设计情况见表 10-4。

(3) 直线加速器机房主体设计与标准相符性具体情况见表 10-5，直线加速器机房屏蔽设计情况见表 10-6。

表 10-1 核医学科辐射工作场所辐射屏蔽设计一览表

序号	机房名称		辐射屏蔽材料及厚度			
			四侧墙体	顶棚	防护门	观察窗
1	PET-CT 机房	设计厚度	东北三侧为 37cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡，西侧为 400mm 重晶石混凝土	12cm 混凝土+5cm 硫酸钡	5mm 铅板	6mmPb 铅玻璃
		换算铅当量	换算铅当量：东北三侧为 8mmPb	6mmPb	5mmPb	6mmPb
2	注射后 等候室	设计厚度	东北两侧为 37cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡，西南两侧为 12cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡	12cm 混凝土+5cm 硫酸钡	2mm 铅板	-
		换算铅当量	东北两侧为 8mmPb，西南两侧为 6mmPb	6mmPb	2mmPb	-
3	病人卫 生间	设计厚度	北侧为 37cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡，东南西三侧为 12cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡	12cm 混凝土+5cm 硫酸钡	2mm 铅板	-
		换算铅当量	北侧为 8mmPb，东南西三侧为 6mmPb	6mmPb	2mmPb	-
4	留观室	设计厚度	西北两侧为 37cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡，东南两侧为 12cm 实心黏土砖+5mm 硫酸钡	12cm 混凝土+5cm 硫酸钡	2mm 铅板	-
		换算铅当量	西北两侧为 8mmPb，东南两侧为 6mmPb	6mmPb	2mmPb	-
5	污物间	设计厚度	南侧为 24cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡，东西北侧为 37cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡	12cm 混凝土+5cm 硫酸钡	2mm 铅板	-

			酸钡			
		换算铅当量	南侧为 7mmPb, 东西北侧为 8mmPb	6mmPb	2mmPb	
6	储源室	设计厚度	南侧为 24cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡, 东西北侧为 37cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡	12cm 混凝土+5cm 硫酸钡	2mm 铅板	-
		换算铅当量	南侧为 7mmPb, 东西北侧为 8mmPb	6mmPb	2mmPb	
7	分装、注射室	设计厚度	37cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡	12cm 混凝土+5cm 硫酸钡	2mm 铅板	6mmPb 铅玻璃
		换算铅当量	8mmPb	6mmPb	2mmPb	6mmPb
8	淋浴、更衣室	设计厚度	东侧为 37cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡, 西南北侧为 24cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡	12cm 混凝土+5cm 硫酸钡	2mm 铅板	-
		换算铅当量	东侧为 8mmPb, 西南北侧为 7mmPb	6mmPb	2mmPb	-
9	控制室	设计厚度	东北侧为 24cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡, 西南侧为 37cm 实心黏土砖+5cm 硫酸钡	12cm 混凝土+5cm 硫酸钡	2mm 铅板	-
		换算铅当量	东北侧为 7mmPb, 西南侧为 8mmPb	6mmPb	2mmPb	-
10	衰变池	两个并联的衰变池, 衰变池内部增加防护防腐层, 外部不锈钢板, 安装有液位指示, 规格(内径尺寸): 长 1m×宽 0.8m×高 1.3m, 每池有效容积 1m ³ 。				

备注：混凝土，密度为 2.35t/m³，硫酸钡防护涂料密度为 2.89t/m³。

表 10-2 核医学科检查机房辐射屏蔽设计一览表

序号	机房名称	设备	分类	机房有效面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	辐射屏蔽材料及厚度					符合性
						四侧墙体	顶棚	工作人员防护门	受检者防护门	观察窗	
4	PET-CT	CT	设计	54	6	东、南、北三侧为 37cm 实心黏土砖 +5cm 硫酸钡，西侧为 400mm 重晶石	12cm 混凝土 +5cm 硫酸钡	5mmPb	5mPb	6mmPb	符合
			折算值	-	-	>8mmPb	6.6mmPb	5mmPb	5mmPb	6mmPb	
			《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013)	30	4.5	2.5mmPb	2.5mmPb	2.5mmPb	2.5mmPb	2.5mmPb	

表 10-3 伽马刀机房主体设计与标准相符性

项目	设计尺寸	《X、γ 射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》(GB168-2005)	符合性
使用机房面积 (m ²)	6.45×6.6=42.57	30	符合
高度 (m)	3.5	3.5	符合
迷道	直迷道 (1.85m×6.6m)	必要时治疗室入口处采用迷道形式	符合

表 10-4 伽马刀机房屏蔽设计情况

项目	辐射屏蔽材料及厚度 (mmPb)
北侧屏蔽墙体	迷道内墙 250mm, 迷道外墙 400mm (重晶石混凝土)
东侧屏蔽墙体	400 mm (重晶石混凝土)
西侧屏蔽墙体	400 mm (重晶石混凝土)
南侧屏蔽墙体	450 mm (重晶石混凝土)
防护门	10mm (铅板)
顶棚	400 mm (重晶石混凝土)
其他电缆等管道	伽马刀机房有 2 个通风口(一进一出), 进风管道从机房西侧屏蔽墙东北角顶部 135 度穿至机房外, 出风口位于南侧屏蔽墙西北角顶部 135 度穿至机房外; 电缆管线水平 45 度斜穿屏蔽墙底部至控制室。要求建设单位在通风管道、电缆管线处增加不小于 6mm 厚铅罩进行屏蔽。

表 10-5 直线加速器机房主体设计与标准相符性

项目	设计尺寸	《电子加速器放射治疗放射防护要求》 (GBZ126-2011)	符合性
机房面积 (m ²)	65	45	符合
高度 (m)	4	无要求	符合
迷道	L 型迷道	必须设置迷道	符合

表 10-6 直线加速器机房屏蔽设计情况

项目	辐射屏蔽材料及厚度 (mmPb)
北墙	750mm (重晶石混凝土)
东墙主防护区域 (宽 4m)	2100mm (重晶石混凝土)
东墙副防护区域	1200mm (重晶石混凝土)
南墙	1200mm (重晶石混凝土)
西墙主防护区域 (宽 4m)	2000mm (重晶石混凝土)
西墙副防护区域	1100mm (重晶石混凝土)
迷道内墙	750mm (重晶石混凝土)
迷道外墙	750mm (重晶石混凝土)
防护门	15mm (铅板)
顶棚	主防护区域 (宽 4m) : 2500mm (混凝土); 副防护区域 1500mm (混凝土)

10.2 辐射防护措施

10.2.1 核医学科

1、密闭和通风要求

由污染源分析可知，本项目新建 PET 核医学科工作场所使用的放射性同位素 ^{18}F 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，因此基本无放射性气体污染。

但为安全起见，核医学科分装注射室拟安装专用通风橱，通风橱排气速率应达到 1m/s ，本项目放射性药物的分装操作都将在通风橱内进行。分装注射室的通风橱设独立的排风管道，风速不低于 1m/s ，排风管道沿主楼外墙至楼顶排放，排气口位于主楼楼顶，高于本建筑屋脊，且设置有活性炭高效过滤器，废气经吸附过滤后排放；PET-CT 机房、留观室、药物分装注射室（包括卫生通过间和源库）、注射后 VIP 观察室辐射工作场所排风管道汇集到主排风管后沿主楼外墙至楼顶排放，排气口位于主楼楼顶，高于本建筑屋脊，符合《临床核医学卫生防护标准》(GBZ 120-2006) 的要求。

CT 运行过程中射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物产额为 O_3 的 $1/3$ 。因此主要考虑臭氧的影响。考虑到室内臭氧浓度不均匀，应设计采用机械通风换气。本项目拟根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》GBZ 130-2013 的相关要求设置通风系统。

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，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 10-7。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 10-7 核医学工作场所防护用品与监测仪器的配置要求

序号	用途	所需产品名称	数量
1	药物分装	密闭式百级净化多功能通风柜（承重 6 吨）	1
2	药物质控	活度计	1
3	药物注射	防护注射窗-内置污物桶	一个注射窗配 1 个
		钨合金注射器防护套	若干
4	废物处理	放射性废物桶	若干
5	其他防护制品	铅屏风	若干（选配）
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
		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。

5) 扫描机房外门口上方应设置工作状态指示灯。

4、储源库要求

1) 核医学科须设置专门的储源库，并对该房间实行双人双锁管理。

2) 储源库须设置报警装置与当地公安“110”联网。

3) 储源库须设置红外监控录像设备，且录像保存时间在 30 天以上。

5、其他

1) 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志，监督区入口处的适当地点应设立标明监督区的标志。控制区除医务人员外，其他无关人员不得入内，患者也不应随便离开该区。

2) 设置告示牌，告示病人家属控制区范围不能进入进行陪护。

6、核医学科工作场所分区

(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，可以计算出该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）式计算得到的该核素的日等效操作量及分级结果见表 10-8。

表 10-8 工作场所分级（丙级： $<2 \times 10^7$ ）

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)	工作场所分级
1	^{18}F	7.4×10^9	0.01	10	7.4×10^6	丙级

根据表 10-8 可知，医院核医学科应按照丙级工作场所进行管理。

《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）提供的加权活度计算公式见式 10-2，根据该公式可计算得本项目核医学科使用的放射性药物加权活度最大值为 $7.4 \times 10^6 \text{Bq}$ ，因此本项目核医学科属于 III 类工作场所（ $<50 \text{MBq}$ ）。

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

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”，III类工作场所的要求见表 10-9。核医学科用房的地板与墙壁要求无缝隙、易于清洗的装修，室内通风一般自然通风即可，应配备清洗及去污设备。

表 10-9 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
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

(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。直线加速器机房和伽马刀机房分区见图 10-3 和 10-4。

①SPECT-CT 机房、分装注射室、注射后等候室、给药后患者卫生间、留观室、污物间、储源室、病人通道及衰变池可划为控制区。

②注射前等候室、控制室、淋浴室、更衣室及医护人员通道可划为监督区。

本项目核医学科布局图和分区情况如图 10-1 和图 10-2 所示，并采取以下措施：

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

因此，本项目功能分区基本满足分区管理的要求。

10.2.2 伽马刀机房

1、辐射安全防护措施

①控制室操作台与防护门至少应有两种以上安全连锁装置。治疗床上应安装能紧急终止照射的应急开关。治疗室出入门必须安装手动强制开门系统，保证门机连

锁突然停掉或断电后，防护门可以用手推开，入口处应设置显示治疗源工作状态的讯号灯。

②治疗室和控制室之间应安装视频监视和对讲设备，应配备固定式剂量监测报警装置，要求操作室实时显示辐射剂量。

③防护门外安装工作信号指示灯：亮红灯为出束投照，红灯熄灭为结束投照。

④应急照明灯：机房内应设置应急照明灯。

⑤电离辐射警示标识：防护门上醒目位置设置电离辐射警示标识及中文警示说明。

⑥防护门门机联锁：一旦防护门被打开，联锁装置即切断治疗机的出束开关。使治疗机不能正常出束或立即止出束。具备意外情况下强制手动打开门的功能。

⑦红外线防夹装置：机房门设置红外线防夹开关，当人员出入机房门时，红外线防夹装置将自动切断电源，防护门立即停止关闭。

⑧紧急停机开关：在控制台、治疗室内关键部位墙面和迷道内墙面装有紧急停机开关，并有明显的标志，供应急停机使用。事故处理完毕后，再于本地复位，放射诊疗设备才能重新启动。

2、通风

伽玛刀运行过程中 γ 射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，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。考虑到室内臭氧浓度不均匀，应设计采用机械通风换气。本项目拟根据《X、 γ 射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GB168-2005）的相关要求设置通风系统，保证治疗室内应有良好的通风，机械通风换气次数一般为每小时3~4次。

进风管预埋在机房顶棚的西北角，由于臭氧密度大于空气平均密度，排风管预埋在机房东南角，风管底部（吸风口）离地40cm，尺寸为40cm*50cm，再沿墙体内壁向上接近顶板处，在装饰天花板上方通往室外。

3、管线布设

本项目伽玛刀机房与控制室操作台之间的各种电缆管线均应以地沟形式在地坪以下部位布设，并以“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，拟进行屏蔽补偿。

10.2.3 直线加速器机房

1、辐射安全防护措施

为保障辐射工作人员和公众的安全，根据国家标准的有关要求开展辐射事件活动的场所应采取相应辐射安全防护措施，以预防和控制潜在照射。该类放疗装置除为保障治疗指标而设置的安全设备外，直线加速器机房拟设有下列污染防治措施：

A、将直线加速器机房（含迷道）划为控制区，防护门外和机房墙体外侧划为监督区。在防护门上方设置工作状态指示灯和电离辐射警告标志。

B、设置监控及对讲系统，对机房内状况进行实时监控。

C、控制台的出束钥匙开关要由专人保管，以免丢失和滥用。

D、安全连锁系以及防护门防夹人设计。

E、安全连锁系统：包括断层放射治疗机出束条件的控制、门机安全连锁、紧急设施和警示系统等。

a、出束连锁条件：断层放射治疗机控制台钥匙开至工作位置，且直线加速器机房出入口防护门关闭。

b、门机安全连锁：为防止有人在断层放射治疗机出束时误入直线加速器机房，出入口的迷道门和出束照射系统进行连锁。只有当防护门关闭，出束照射系统才能启动；反之，如果照射过程中防护门打开，系统将自动断电停止出束。

c、紧急停机设施：紧急停机按钮安装在控制室的操作台上（1个）、机床上（1个）、直线加速器机房的墙壁上（1个）。紧急断电开关必须采用手动复位式，并带保护接地外壳。

d、紧急开门设施：紧急开门按钮安装在防护门内侧门旁的墙壁上，当意外事故发生时，可供人员迅速逃离。

e、其他连锁：比如仅供调试维修时授权人的钥匙连锁等。

2、通风

直线加速器运行过程中射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物产额为O₃的1/3。因此主要考虑臭氧的影响。考虑到室内臭氧浓度不均匀，应设计采用机械通风换气。本项目拟根据《电子加速器放射治疗放射防护要求》GBZ 126-2011的

相关要求设置通风系统，使直线加速器机房通风换气不小于 4 次/h。

本项目直线加速器房管道由防护门上方紧贴顶板经防护迷道及内入口进入治疗室，送风口拟设置于装饰天花板上合适位置。由于臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房墙边处，风管底部（吸风口）离地 20cm，再沿墙体内壁向上接近顶板处，在装饰天花板上方经迷道由防护门上方通往室外。

3、管线布设

本项目直线加速器机房与控制室操作台之间的各种电缆管线均应以地沟形式在地坪以下部位布设，并以“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，拟进行屏蔽补偿。

10.3 三废的治理

10.3.1 核医学科

10.3.1.1 放射性废水

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）5.1.1 款规定，使用放射性核素其日等效最大操作量等于或大于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ 的临床核医学单位和医学科研机构，应设置有放射性污水池以存放放射性废水直至符合排放要求时方可排放。放射性污水池应合理选址，池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防渗漏措施。本项目 ^{18}F 日等效最大操作量小于 $2 \times 10^7 \text{Bq}$ ，但为安全考虑仍设置衰变池。

对于病人的排泄物，按照《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）第 5.2.8 款规定：“符合下列条件之一的患者排泄物不需要统一管理：a）注射或服用放射性药物的门诊患者排泄物；b）符合出院条件的患者排泄物”，但参照《医院污水处理技术指南》2.1.4：同位素治疗和诊断产生的放射性废水，必须单独收集处理。本项目将门诊病人的排泄物也纳入衰变池统一管理。

因此，本次放射性废液的评价重点针对医护人员的洗手水、清洗室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械的清洗水及患者的排泄物。

（1）放射性废水排放方式及管道设置

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

由污染源分析可知，放射性废水主要来自工作人员操作过程中可能受到微量同位素污染的清洗水，清洗室内地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量同位素的清洗水，工作人员的清洗水以及病人排泄物等。清洗废水排放流程见图 10-5。

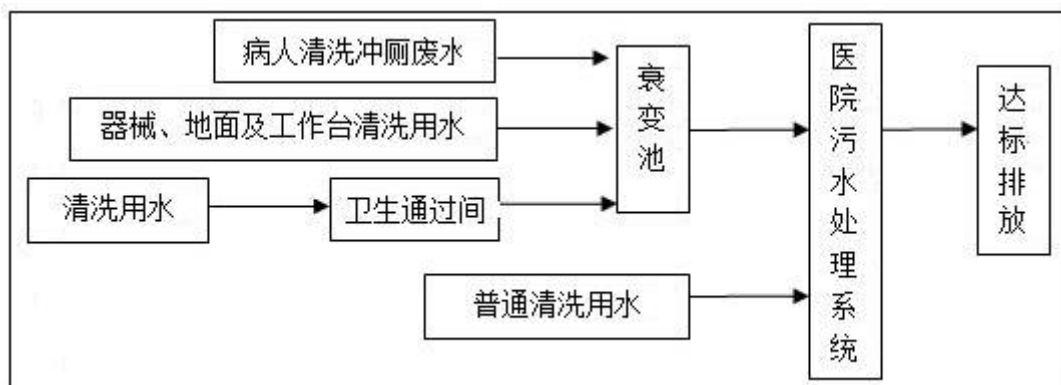


图 10-5 放射性废水处理流程图

(2) 放射性废水排放量

①清洗废水

a. 误操作产生的事故清洗废水

假设某次操作不小心，有 1/100 放射性同位素沾到台面等处，其中 90%转移固体废弃物中去（按操作规程，应先用药棉等先擦去），10%转移到清洗水中去。故废水中核素含量约为单次操作量的 0.1%。

b. 正常操作中辐射工作人员产生的清洗废水

正常操作中辐射工作人员身体尤其是手部可能受到微量核素污染，含量小于误操作产生的单次操作量的 0.1%。

c. 工作场所和重复使用的医疗器械带有微量核素的清洗废水。

辐射工作场所地面、工作台和一些重复使用的医疗器械带有微量核素的清洗废水含量小于误操作产生的单次操作量的 0.1%。

假设事故排水按每次操作均存在计，预计注射区清洗废水量为 30 升/天。

②门诊患者的排泄物

检查病人专用厕所排放废水保守假设：

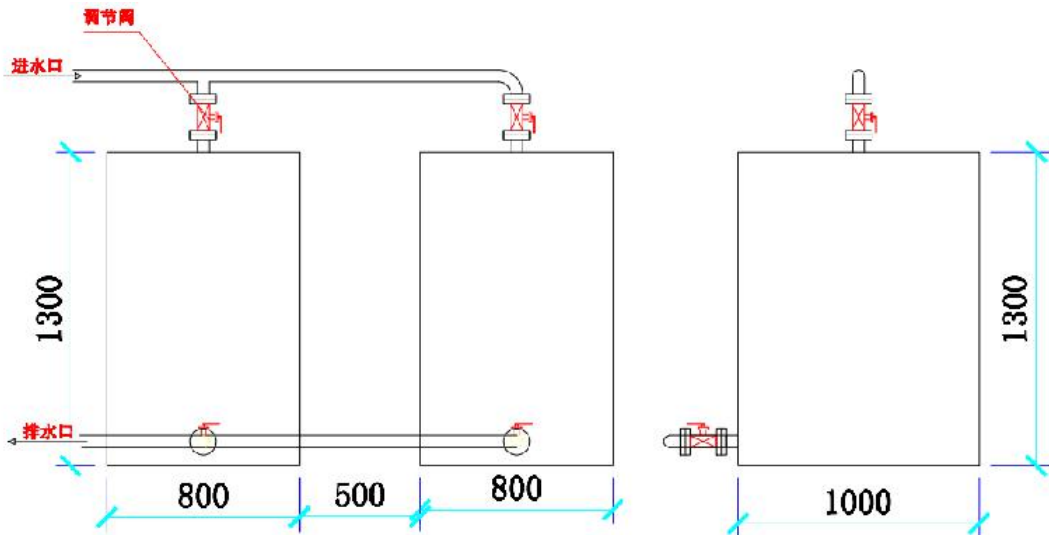
医院严格按照预约制度，除行动不便的特殊病人，家属不进入控制区，且在病人专用厕所设置警示标志，提醒为病人专用。

根据医院的预期门诊，注射 ^{18}F 诊断的病人每日最多为 20 人。因此，一般病人候诊室的停留时间为 1-2 小时左右，排泄 2 次，每次用 5 升水冲洗厕所，则每日产

生含放射性废水的量为 200 升。

(3) 衰变池设置情况

医院为核素使用设置了 1 个专用放射性废水污水处理系统。其中放射性衰变池位于医院主楼西侧，衰变池布置图见图 10-6。



- 技术要求：**
- 1: 衰减池水箱尺寸1000长*800宽*1300mm高。
 - 2: 水箱采用不锈钢制作，内部增加防护防腐层。
 - 3: 水箱安装有液位显示。
 - 4: 所有调节阀都可以调节控制进出水。

图 10-6 衰变池布置图

放射性废水污水处理系统：

1、污水处理系统由专用的收集管道、化粪池、二个衰变池组成，污水提升泵一备一用。

2、衰变池内部增加防护防腐层，外部不锈钢板，安装有液位指示，规格（内径尺寸）：长 1m×宽 0.8m×高 1.3m，每池有效容积 1m³。

两个衰变池并排摆放，并联使用，第一个衰变池开始收贮废水满后关闭阀门，打开第二个衰变池阀门，开始收贮废水，满后打开阀门排放。

(4) 放射性废水排放预测

项目建成后，医院每日平均产生放射性废水总量为 230L，则每个衰变池能存放约 4 天，在第一个衰变池开始收贮废水后的第 5 天，即开启第二个衰变池收贮废水，让第一衰变池废水中放射性物质自行衰变，待第二个衰变池即将贮满的前一天，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 4 天，二个

衰变池按照上述程序，依次轮流反复交替使用。每个衰变池拟设置采样口，衰变池废水每次排放前应监测符合排放标准（监测指标为：总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$ ），经审管部门同意或批准后方可排放。排放方式具体见表 10-10。

表 10-10 放射性废水排放方式表

	^{18}F
半衰期	1.83h
一次误操作时的含量 (Bq)	5.55×10^5
ALI_{min} (Bq)	2.15×10^8
$10\text{ALI}_{\text{min}}$ (Bq)	2.15×10^9
每月排放量 (Bq)	远小于 1Bq
每月达标情况	达标
排放标准	每月排放总活度 $<10\text{ALI}_{\text{min}}$ ；每次排放活度 $<1\text{ALI}_{\text{min}}$

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

(5) 放射性废水排放符合性

由预测可知，该院低放废液经衰变池衰变后每次排出的该核素总活度 $<1\text{ALI}_{\text{min}}$ ，每月排放的总活度不超过 $10\text{ALI}_{\text{min}}$ 。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的相关要求：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 $10\text{ALI}_{\text{min}}$ ；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。

该院上述衰变池废水在衰变池内储存 10 个半衰期以上后，每次排放前确保满足《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 ）及上述《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的相关要求后，方可排入医院污水处理系统，进一步处理后最终排入市政污水管网。

10.3.1.2 放射性固体废弃物

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

将以上废物先收集在各相关工作场所的专用污物桶内，再将污物桶内的固体废弃物连同垃圾袋存放到放射性废弃物贮存室的铅垃圾桶内，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 $\alpha < 0.04 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $\beta < 0.4 \text{ Bq/cm}^2$ ，表面剂量率小于 0.1 mSv/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存放十个半衰期后，经检测满足 GBZ133-2009 附录 B 规定的 ^{18}F 清洁解控水平 $1 \times 10^1 \text{Bq/g}$ 后，按一般医疗废物处理，不会对周围环境造成影响。

10.3.1.3 放射性废气

核医学科使用的 ^{18}F 为非挥发性核素，使用过程介质为水，操作比较简单为直接注射。为了改善场所环境，分装注射室、PET-CT 机房、注射后候诊室及其内部厕所、留观室及内部厕所、活性走廊和卫生通过间拟设置独立的机械排风装置，相应管道节点拟设置节气阀，防止放射性废气倒灌，上述通风管道沿主楼外墙至楼顶排放，风机拟设置接近于排风口处，以保障排风管道内处于负压状态，排气口拟设置活性炭等高效过滤物质，更换周期为 1 年，更换下的活性炭以放射性固废处置。核医学科放射性废气汇总抽吸至本建筑屋脊经过过滤后排出，采取上述措施后将符合《临床核医学卫生防护标准》（GBZ 120-2006）的要求，不会对周围环境造成影响。

10.3.1.4 废气

CT 运行过程中射线会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体，相比之下臭氧的危害较氮氧化物大，其产额高，毒性大，氮氧化物产额为臭氧的 1/3。因此主要考虑臭氧的影响。考虑到室内臭氧浓度不均匀，应设计采用机械通风换气。本项目拟根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》GBZ 130-2013 的相关要求设置通风系统。

10.3.2 伽马刀

10.3.2.1 废气

伽马刀运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。本项目伽马刀治疗室设计采用机械通风换气次数每小时 3~4 次。能够满足《X、 γ 射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GB168-2005）“治疗室机械通

风换气次数每小时 3~4 次”的要求。

10.3.2.2 放射性固体废物

头部伽玛刀使用 30 枚 Co-60 密封放射源，放射源活度经过衰减，约 5 年进行一次换源。换源时由放射源生产单位操作，报废的 Co-60 放射源由供源方回收。

10.3.3 医用直线加速器

10.3.3.1 废气

加速器运行过程，辐射会与空气发生电离作用，产生臭氧和氮氧化物等有害气体。本项目加速器治疗室设计采用机械通风换气次数每小时不小于 10 次。能够满足《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

10.3.3.2 放射性固体废物

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

根据医院提供的资料，被污染的树脂及靶件将全部由生产厂家负责回收。任何情况下不得私自处置，放射性固体废物正常情况下不会对环境造成明显影响。

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 (^{18}F)

本项目 PET-CT 使用核素为 ^{18}F ，必须向有销售此类别同位素的辐射安全许可证的持证单位购买核素，工作中单个病人核素用量平均为 10mCi。

1) 类比监测

PET/CT 类比对象选取浙江省人民医院已投入运行的 PET 机房，其防护情况见表 11-1。

表 11-1 PET/CT 类比情况一览表

对比情况 指标	类比项目	本项目
	PET/CT	PET/CT
日等效操作量	$4.0 \times 10^8 \text{Bq}$	$7.4 \times 10^6 \text{Bq}$
技术参数	140kV、600mA	140kV、420mA
四周墙体	24cm 实心砖+2mmPb 防护涂 料	东南北三侧为 37cm 实心 黏土砖+5cm 硫酸钡，西 侧为 400mm 重晶石混凝 土
	相当于 4mm 铅当量	相当于 8mm 铅当量
防护门	4mm 铅当量	5mm 铅当量
观察窗	5mm 铅当量	6mm 铅当量

由表 11-1 可见，本项目与类比项目使用设备技术参数相当，但比类比项目的墙体、防护门及观察窗的屏蔽能力略优，具有很好的可比性。因此可用类比项目 PET/CT 的运行情况说明本项目建成投运后对周围环境的影响， γ 辐射剂量率类比监测结果见表 11-2，监测点位示意图见图 11-1。

表 11-2 PET/CT 类比项目周围 γ 辐射剂量率监测结果

点位 序号	点位描述	γ 剂量当量率(nSv/h)		
		未运行时	运行时	
★1	源库中间	——	571	
★4	注射 $7\text{mCi}^{18}\text{F}$ 时, 护士铅衣后	——	35000	
★6	运行时, 内有一 名注射 $6.5\text{mCi}^{18}\text{F}$ 的 病人	PET-CT 机房医生出入门 左缝外 30cm 处	——	575
★7		PET-CT 机房医生出入门 右缝外 30cm 处	——	562
★8		PET-CT 机房医生出入门 中间外 30cm 处	——	389
★9		PET-CT 机房操作位	——	195
★10		PET-CT 机房观察窗	——	218
★11		PET-CT 机房病人出入门 左缝外 30cm 处	——	478
★12		PET-CT 机房病人出入门 右缝外 30cm 处	——	599
★13		PET-CT 机房病人出入门 中间外 30cm 处	——	600
★14		病人 30cm 处	——	31900
★15	PET-CT 候诊室门口 (内有 6 名病人)	——	13000	

表 11-3 核医学科工作场所 β 表面污染监测结果

序号	测点描述	β 表面污染 (Bq/cm^2)
1	病人洗手间地面	2.3
2	ECT 室给药处台面	2.2
3	ECT 室地面	未检出
4	PET 给药处台面	未检出
5	PET-CT 室地面	未检出
6	污物间地面	未检出

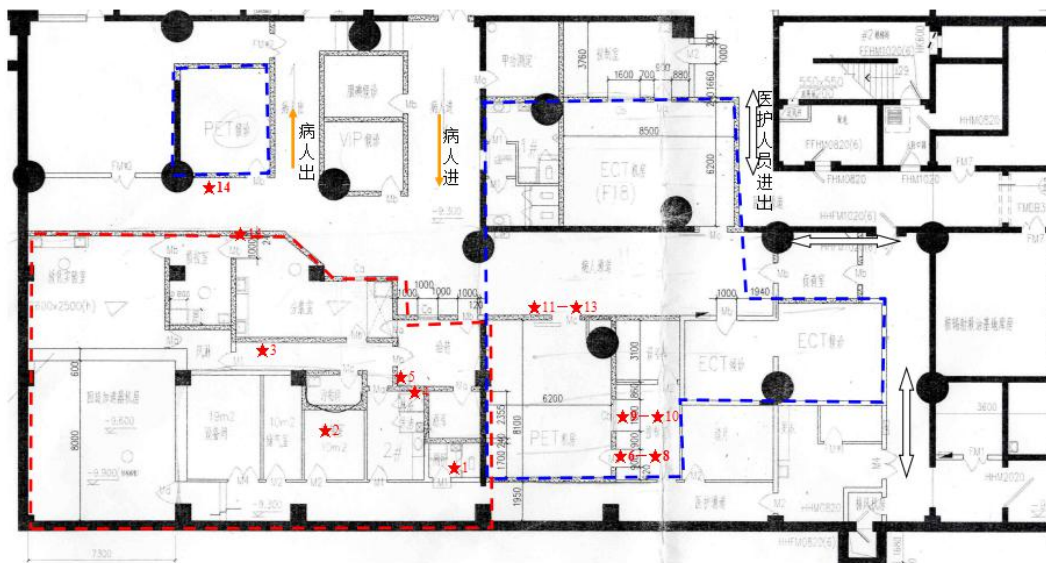


图 11-1 类比项目监测点位示意图

2) 剂量估算

类比监测结果可见，当机房内有正在进行扫描的病人时，PET/CT 控制室操作位处的 γ 辐射剂量率为 195nSv/h，与本底水平相当（由《浙江省环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，杭州市室内 γ 辐射剂量率在 56nSv/h ~443nSv/h 之间），可以认为工作人员在操作位处操作时不会因为项目运行而受到额外附加辐射剂量。医护人员所受的辐射照射主要来自放射性核素的注射和近距离接触受药病人的两个环节，因此其受到的额外照射主要考虑这两个环节的辐射工作人员。

剂量估算公式

按照联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A，X- γ 射线产生的外照射人均年有效剂量当量按下列公式计算：

$$H_{E,r} = D_r \times t \times 0.7 \times 10^{-6} (mSv) \quad (11-1)$$

其中： $H_{E,r}$:X 射线外照射人均年有效剂量当量, mSv/a;

D_r :X 射线空气吸收剂量率, nGy/h;

t :X 射线照射时间, h/a;

0.7:剂量换算系数, Sv/Gy。

本项目 ^{18}F 最大使用量为 10mCi，为类比监测时单个病人使用量的约 1.5 倍（6.5mCi），在剂量估算时，可以按 γ 辐射剂量率与活度成正比的线线关系进行校正。

根据医院的预计门诊量， ^{18}F 每年的最大门诊病人将达到 5000 人，辐射剂量率采

用类比监测和理论计算相结合的评价方法进行估算。根据公式（11-1）， γ 辐射剂量率与 γ 照射率常数和活度成正比。现假设：a、工作人员每次注射 ^{18}F 核素为0.5min（ γ 辐射剂量率取 $35000\text{nSv/h}\times 10\div 6.5$ ），工作人员在扫描室病人诊断床边侍服病人上机、下机的时间1分钟（ γ 剂量当量率取 $31900\text{nSv/h}\times 10\div 6.5$ ）；b、 ^{18}F 核素的年操作量为5000人次。核医学科共有8名辐射工作人员，其中医生3名，注射核素的护士2名，摆位及操作设备的技术人员3名。

根据监测结果和式（11-1）可以计算出每位注射 ^{18}F 核素的辐射工作人员接收的附加年有效剂量当量约为0.12mSv，每位侍服病人上下机的辐射工作人员接受的附加年有效剂量当量约为2.04mSv。本评价项目以5mSv作为职业人员年剂量管理限值，相比之下，该院PET/CT项目辐射工作人员所接受年有效剂量低于该管理限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量管理限值”的要求。

3) 公众成员及环境保护敏感目标

结合项目总平面布置图及现场勘查情况，本项目核医学科用房评价范围50m内，除核医学科西侧约20m的下城区石桥街道杨家社区办公楼属于本项目环境敏感点，评价范围内无其它环境保护目标。

本项目核医学科用房是相对封闭的区域，科室有严格的“分区”管理制度，公众成员不会到达控制区与监督区。因此，公众成员不会受到本项目运行而受到额外的辐射照射剂量，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对公众成员剂量限值的要求。在建筑墙体屏蔽、距离衰减及辐射安全管理措施的基础上，本项目不会对下城区石桥街道杨家社区办公楼产生辐射影响，符合环境保护的要求。

4) 工作场所表面污染

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

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

5) ^{22}Na 校准源（V类密封源）

本项目PET-CT使用1枚 ^{22}Na 源，用于校正设备，以使图像解剖定位更加准确，改善对比度，消除图像畸变，使得深部病灶显示更加清楚。根据《关于发布放射源分

类办法的公告》（国家环境保护总局公告第 62 号，2005 年）放射源分类表，该枚放射源属于 V 类源。²²Na 源放射防护如下表所示。

表 11-4 ²²Na 源放射防护情况

项目	GBZ114-2006	本项目 ²² Na 校准源放射防护情况
容器的放射防护要求	活度小于 3.7×10^{12} Bq 和能力在 0.5MeV 以下的密封 γ 放射源容器应采用铅、铁作为屏蔽防护材料。	该放射源购买时即有包装，包装大小 $\phi 3.6\text{mm} \times 170\text{mm}$ ，并有随厂的铅套屏蔽，铅套尺寸： $\phi 100\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，为 10mmPb 当量。
贮存的放射防护要求	使用单位应有密封源的账目，设立领存登记，状态检查，定期清点，钥匙管理等防护措施。根据密封源类型、数量及总活度，应分别设计安全可靠的贮源室、贮源柜、贮源箱等相应的专用贮源设备。	建设单位拟制定各项规章制度，设立有放射性核素账目，设立有领存登记，状态检查，定期清点，钥匙管理等防护措施，拟设置保险箱，源库拟安装防盗门以及监控器。

由上表可见，²²Na 源放射防护设计符合《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射卫生防护标准》（GBZ114-2006）的要求。因此，正常工况下本项目 ²²Na 校准源使用过程中对周围环境辐射影响是可接受的。

11.2.2 密封源（伽马刀）

（1）类比分析

本次类比分析选用浙江省人民医院伽马刀运行时机房周围的辐射环境检测情况进行类比。其可行性分析详见表 11-5。

表 11-5 本项目与浙江省人民医院伽马刀类比情况一览表

	类比项目 (浙江省人民医院)	本项目 (头部伽马刀)
放射源名称	⁶⁰ Co	⁶⁰ Co
放射源活度	2.2×10^{14} Bq (6000Ci, 为新装源)	2.2×10^{14} Bq (6000Ci, 为新装源)
机房尺寸 (长宽高)	7.5×4.8×3.0	6.6×6.45×3.5
防护墙、顶棚厚度	500mm 混凝土	南侧墙 450mm 厚 C30 重晶石混凝土(相当于 650mm 混凝土), 东西北墙 400mm 厚 C30 重晶石混凝土(相当于 570mm 混凝土), 顶棚 400mm 厚 C30 重晶石混凝土(相当于 570mm 混凝土)

屏蔽门铅板厚度	8.5mm 铅当量	有直迷道, 10mm 铅当量
---------	-----------	----------------

由类比情况一览表可知, 本项目机房面积大于类比项目, 且各侧墙、顶棚、防护门的防护能力均优于类比项目, 因此可用浙江省人民医院伽马刀的使用情况说明本项目伽马刀对周围环境的辐射影响。类比项目监测点位示意图见图 11-2, 监测结果见表 11-6。

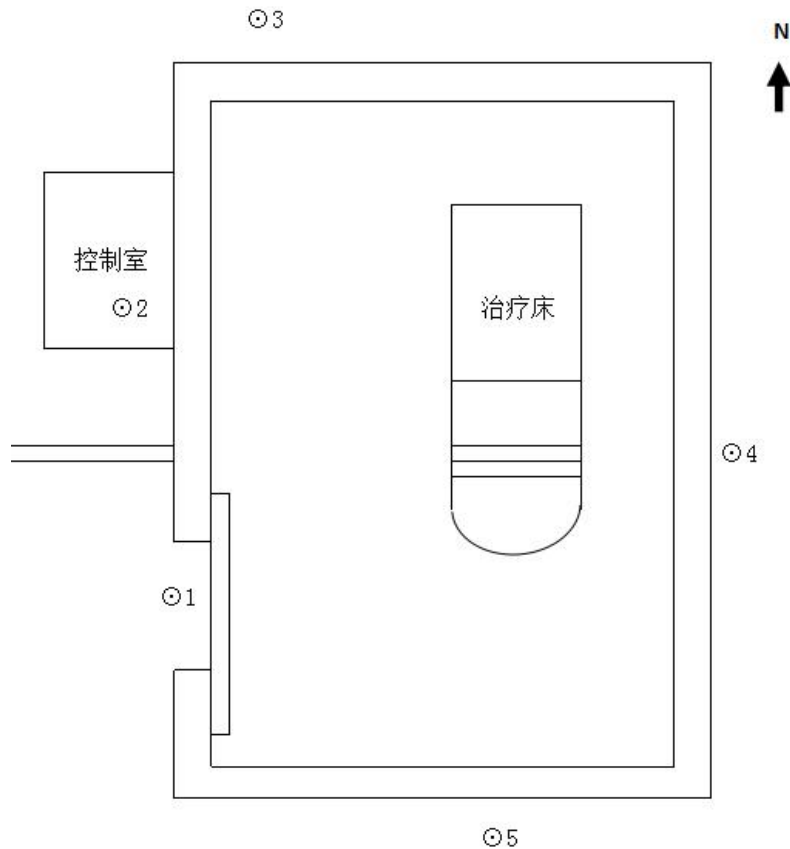


图 11-2 类比项目伽马刀机房监测点位示意图

表 11-6 类比伽马刀机房周围环境监测结果 (单位: nGy/h)

监测点位	监测点位描述		辐射剂量率 (nGy/h)	
			平均值	标准差
①	防护门表面 5cm	开机	300	20
②	医生操作台 2 (控制计算机)	开机	80	16
③	北墙外 1 米	关机	95	9
		开机	156	16
④	东墙外 1 米 (与伽马刀源位平行)	关机	132	13
		开机	136	16
⑤	南墙外 1 米。	关机	77	12
		开机	58	7

由类比监测结果可知：在正常使用条件下，伽马刀机房周围四侧防护墙外 γ 射线空气吸收剂量率与未开机时相比未见显著升高；运行时防护门外剂量率为 300nGy/h，表明其他非辐射工作人员和公众成员不会受到显著的辐射照射，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量管理限值”的要求。

由类比分析可知，本项目伽马刀运行时，下城区石桥街道杨家社区办公楼的辐射剂量率与未运行时相比不会升高，对其的辐射影响可忽略。

因此，本项目伽马刀机房按设计指标建造，在保证施工质量的情况下，其防护能力也能符合防护要求，不会对周围环境产生显著辐射影响。

(2) 剂量估算

1) 辐射工作人员

根据类比监测结果，现假设：①每天的病人数为 8 人；②医生在操作室操作每次 30 分钟（ γ 辐射剂量率取 80nGy/h）；③每年按 190 个工作日计算，所有工作由 4 名工作人员承担，在这样偏保守的条件下，由公式（11-1）可以计算出该工作人员接受的附加年有效剂量当量约为 $1.06 \times 10^{-5} \text{mSv}$ 。

本评价项目以 5mSv 作为管理限值，相比之下，该院辐射工作人员所接受剂量低于管理限值，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

2) 公众成员及环境保护敏感目标

结合项目总平面布置图及现场勘查情况，本项目伽马刀用房评价范围 50m 内，除西侧约 20m 的下城区石桥街道杨家社区办公楼属于本项目环境敏感点外，无其它环境保护目标。

本项目伽马刀用房是相对封闭的区域，科室有严格的“分区”管理制度，公众成员不会到达控制区与监督区。因此，公众成员不会受到本项目运行而受到额外的辐射照射剂量，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对公众成员剂量限值的要求。在建筑墙体屏蔽、距离衰减及辐射安全管理措施的基础上，本项目的运行不会对下城区石桥街道杨家社区办公楼产生辐射影响，符合环境保护的要求。

11.2.3 直线加速器

(1) 理论计算

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，在本项目直线加速器机房室外设定关注点（该机房设置在主楼一楼东南侧，且无地下层，故关注点主要有机房上方对应地面，四侧墙外）。从保守角度出发，在加速器机房设计的尺寸厚度基础上，假定加速器最大功率运行并针对关注点最不利情况预测计算。

①有用线束主屏蔽区墙外剂量率估算

a、 计算模式及参数

使用 GBZ/T201.2 的相关公式计算有用线束主屏蔽核算，首先根据有效屏蔽厚度和相应材料的什值层和半值层参数计算透射因子 B，按式 11-2 计算，然后在再按式 11-3 计算墙外辐射剂量率。

$$B = 10^{- (X_e + TVL - TVL_1) / TVL} \dots\dots\dots(11-2)$$

式中：

TVL₁——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，混凝土为 370mm；

TVL——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚度，混凝土为 330mm；

X_e——有效屏蔽厚度，单位为 mm。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \dots\dots\dots(11-3)$$

H₀——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶（以下简称靶）1m 处的常用最高剂量率，单位为 μSv·m²/h，本项目为 3.8×10⁸μSv·m²/h；

f——对有用线束为 1；对 γ 射线源远距治疗装置的泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 10⁻³；

R——辐射源至关注点的距离，单位为 m。

将各参数代入模式计算，得到相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 Ḣ（μSv/h），辐射剂量率计算参数和计算结果见表 11-7

表 11-7 主屏蔽区外参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	东墙外 30cm 处	西墙外 30cm 处	顶棚
X_e (mm)	2940(2100*1.4)	2800(2000*1.4)	2500
B	5.72×10^{-7}	1.15×10^{-6}	2.31×10^{-6}
R (m)	7.3	7.3	6.2
\dot{H}_o ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.8×10^8	3.8×10^8	3.8×10^8
f	1	1	1
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.01	0.03	0.35
参考剂量水平	2.5	2.5	2.5
评价结果	满足	满足	满足

②南侧墙外辐射剂量率估算

南侧墙外的辐射剂量主要考虑泄漏辐射。

泄漏辐射按式 11-3 计算, f 取 0.001, 90°泄漏辐射的 TVL_1 为 340mm, TVL 为 290mm。

将上述各参数代入式 11-2 式得到侧屏蔽墙人体散射剂量率预测结果, 见表 11-8。

表 11-8 侧屏蔽墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	南侧墙外 30cm 处
X_e (mm)	1680(1200*1.4)
B	2.40×10^{-6}
R (m)	4.8
\dot{H}_o ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.8×10^8
\dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	0.04
泄漏辐射	
参考剂量水平	2.5
评价结果	满足

③迷道口辐射剂量率预测

迷道口辐射剂量主要考虑散射辐射和泄漏辐射。

a、散射辐射

射线需要经患者及墙壁两次散射才能达到迷道口, 其剂量按式 11-4 进行预测。

$$\dot{H}_g = \frac{\alpha_{ph} \cdot (F/400)}{R_1^2} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot A}{R_2^2} \dot{H}_0 \dots\dots\dots(11-4)$$

α_2 ——混凝土墙入射的患者散射辐射的散射因子，入射角取 45°，散射角取 0°，取 6.4×10^{-3} 。

α_{ph} ——患者 400m² 面积上的散射因子，取 45° 角的散射值，为 1.39×10^{-3} 。

A——为散射面积。

R_1 ——为患者至混凝土墙散处的距离，m。

R_2 ——为混凝土散射处至迷道口的距离，m。

F——治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积，cm²。

将各参数代入式 11-4，得到散射辐射至迷道口的辐射剂量，预测结果见表 11-9。

表 11-9 散射辐射至迷道口的剂量率计算参数和计算结果

参数	迷道入口处
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.8×10^8
α_{ph}	1.39×10^{-3}
F (cm ²)	40cm×40cm
R_1 (m)	7.8
α_2	6.4×10^{-3}
A (m ²)	10.2
R_2 (m)	9.9
\dot{H}_g ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	23.13

b、泄漏辐射

防护门外的泄漏辐射剂量预测同南侧墙体，f 取 0.001，90° 泄漏辐射的 TVL₁ 为 340mm，TVL 为 290mm，将相关参数代入式 11-3，相关参数和预测结果见表 11-10。

表 11-10 泄漏辐射至防护门外辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	防护门外
X_e (mm)	1125
B	1.96×10^{-4}
R (m)	9.13
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.8×10^8

\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.92
-------------------------------------	------

a、防护门外的总辐射剂量率按式 11-5 计算，预测参数和计算结果见表 11-11。

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-X/\text{TVL}} + \dot{H}_{og} \dots\dots\dots(11-5)$$

X--防护门铅屏蔽厚度
TVL--固定值，为 5mm 铅

表 11-11 防护门外的总辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	防护门外
X (mm)	15 (铅)
TVL (mm)	5 (铅)
\dot{H}_g ($\mu\text{Sv/h}$) (散射辐射)	23.13
\dot{H}_{og} ($\mu\text{Sv/h}$) (泄漏辐射)	0.92
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	0.94
参考剂量水平	2.5
评价结果	满足

④北墙外辐射剂量率预测

北墙外辐射剂量主要考虑泄漏辐射。

泄漏辐射按式 11-3 计算，f 取 0.001，90°泄漏辐射的 TVL₁ 为 340mm，TVL 为 290mm。

将上述各参数代入式 11-2 式得到迷道外墙辐射剂量率预测结果，见表 11-12。

表 11-12 迷道外墙参考点辐射剂量率计算参数和计算结果

参数	北墙外 30cm 处
X _e (mm)	1050(750*1.4)
B	3.60×10 ⁻⁴
R (m)	8
\dot{H}_o ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	3.8×10 ⁸
\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$) 泄漏辐射	2.10

参考剂量水平	2.5
评价结果	满足

⑤加速器机房辐射防护评价

加速器机房墙体、顶及防护门理论估算结果汇总见表 11-13。

表 11-13 直线加速器机房防护评价汇总表

点位	预测值 (μSv/h)	剂量率控制水平 (μSv/h)	结论
东侧墙外 30cm 处	0.01	2.5	满足
西侧墙外 30cm 处	0.03	2.5	满足
南侧墙外 30cm 处	0.04	2.5	满足
北侧墙外 30cm 处	2.12	2.5	满足
防护门外	0.94	2.5	满足
顶棚上方 30cm 处	0.35	2.5	满足

从表 11-13 的理论预测结果可知，本项目直线加速器建成后，其周围各关心点的辐射剂量率均能满足《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 处的周围剂量当量应不大于 2.5μSv/h”的要求。

⑥加速器机房辐射工作人员和公众及环境敏感目标剂量估算及评价

本项目直线加速器机房周围辐射工作人员和公众剂量估算按式 11-6 计算，结果见表 11-11。

$$E = \dot{H} \cdot U \cdot T \cdot t \quad \dots\dots\dots(11-6)$$

式中， \dot{H} ——参考点辐射剂量率，μSv/h；

U——有用线束向关注位置的方向照射的使用因子；

T——人员在相应关注点驻留的居留因子；

t——治疗装置的年治疗照射时间

表 11-14 加速器周围辐射工作人员和公众年剂量估算

位置	东墙	南墙	西墙	北墙	顶棚	迷道口
参考点所在场所	主楼外侧	主楼外侧	通道	控制室	文化室和公共区域	工作人员通道
\dot{H} (μSv/h)	0.01	0.04	0.03	2.1	0.35	0.94

T	1/5	1/5	1/5	1	1/5	1
U	1	1	1	1	1	1
t (小时)	170					
E 估算值 (mSv)	0.0003	0.001	0.001	0.36	0.01	0.16
E 管理值 (mSv)	0.25	0.25	0.25	5	0.25	5
结论	满足	满足	满足	满足	满足	满足

由表 11-14 剂量估算结果可知，直线加速器辐射工作人员年最大照射剂量约为 0.36mSv，公众年最大受照射剂量为 0.01mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值和本项目管理目标要求（辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv）。在建筑墙体屏蔽、距离衰减及辐射安全管理措施的基础上，本项目不会对南侧 40m 的服装厂办公楼和东北侧 40m 的咸亨国际大厦产生辐射影响，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对公众成员剂量限值的要求。

核医学科和伽马刀机房公众受到的剂量可以忽略不计，因此评价范围叠加处的公众年最大受照射剂量也不超过 0.25mSv，符合标准要求。

(2) 少量臭氧和氮氧化物对环境的影响分析

在直线加速器开机的状态下，会产生少量臭氧和氮氧化物，在机房内安装有送新风和排风装置的中央空调系统进行排放，排风频率为 4 次/小时。

假设机房内臭氧分解且均匀分布，且直线加速器是连续照射，则电子在其通过的空气中每天产生的臭氧浓度主要计算公式为：

$$C = 7.04 \times 10^{-5} (1 + 0.12 \times 10^2 Ee) \times (1 + \frac{0.26}{Ee}) DFd$$

$$Q = \frac{C \times \bar{T}}{V}$$

$$\bar{T} = \frac{t_v \times t_d}{t_v + t_d}$$

式中：

C-臭氧生成率（m³/s）

Ee-电子能量（MeV）

D-物质（组织）吸收剂量率（Gy/min）

F-照射（治疗）面积（照射野）（m²）

d-电子在空气中运行的距离（或源皮距离）（m）

Q-机房内平衡臭氧浓度（mg/m³）

表 11-15 臭氧浓度

参数	容积：260m ³ ；换气次数：4次/h；臭氧分解时间：0.83h			
项目	臭氧生成率 (m ³ /s)	换气一次所需时间 (h)	有效清除时 (h)	平衡臭氧浓度 (mg/m ³)
结果	0.78×10 ⁻⁴	0.25	0.192	0.25×10 ⁻³

经计算，机房内平衡臭氧浓度结果为 0.25×10⁻³mg/m³，治疗室的臭氧经抽风机排入大气环境中，与大量的空气混合，也低于大气环境中臭氧浓度管理限值 0.16 mg/m³。由于氮氧化物的产额比臭氧要低一个数量级，对外部环境，氮氧化物的最高容许浓度与臭氧的相近，臭氧的影响能消除，氮氧化物的影响也能消除。

11.3 辐射屏蔽设计符合性分析

11.3.1 核医学科

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，核医学工作场所依据管理的需要，可分为控制区和监督区。

①SPECT-CT 机房、分装注射室、注射后等候室、给药后患者卫生间、留观室、污物间、储源室、病人通道及衰变池可划为控制区。

②注射前等候室、控制室、淋浴室、更衣室及医护人员通道可划为监督区

目前该院核医学用房的设计布局如图 10-1 所示。设置了专用的病人通道，有病人专用的候诊室和病人厕所，设置了专用的医生通道，有医生专用的卫生通过间，其功能分区基本满足分区管理的要求。

11.3.2 伽马刀

对照《γ远距治疗室设计防护标准》（GBZ/T152-2002）和《X、γ射线头部立体定向外科治疗放射卫生防护标准》（GB168-2005）的符合性分析如表 11-16 所示。

表 11-16 伽马刀机房屏蔽设计符合性分析

序号	标准防护要求	本项目方案	符合性
----	--------	-------	-----

1	放射治疗室必须经专业人员设计，治疗室必须与准备室和控制室分开设置。治疗室使用面积应不小于 30m ² 。	治疗室与准备室和控制室已分开，面积为 42.57m ²	符合
2	层高应不低于 3.5m	层高为 3.5m	符合
2	治疗室入口必须采用迷路设计，设置门机联锁，并在治疗室门上要有声、光报警。治疗室内应设置使放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器	已用迷路设计，设置门机联锁，声、光报警系统和应急开关与放射源监测器	符合
3	治疗室墙壁及防护门的屏蔽厚度应符合防护最优化的原则，确保工作人员及公众的受照剂量小于相应的年剂量限值	根据屏蔽设计和类比监测，能确保工作人员及公众的受照剂量小于相应的年剂量限值	符合
4	在控制室与治疗室之间应设观察窗(或监视器)与对讲机	按要求设置	符合

11.3.3 直线加速器

对照《电子加速器放射治疗放射防护要求》（GBZ126-2011）的符合性分析如表 11-17 所示。

表 11-17 直线加速器机房符合性分析表

序号	防护要求	本项目分析	符合性
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。	经 11.2.3 计算分析，直线加速器辐射工作人员年最大照射剂量约为 0.36mSv，公众年最大受照射剂量为 0.01mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值和本项目管理目标要求（辐射工作人员年有效剂量不超过 5mSv，公众年有效剂量不超过 0.25mSv）。在建筑墙体屏蔽、距离衰减及辐射安全管理措施的基础上，本项目对南侧 40m 的服装厂办公楼和东北侧 40m 的咸亨国际大厦的辐射影响能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对公众成员剂量限值的要求。	符合

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/T201.1 的要求。	经 11.2.3 计算分析,辐射屏蔽设计应符合 GBZ/T201.1 的要求。	符合
3	在加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙 30cm 处的周围剂量当量率应不大于 2.5 μ Sv /h。	经 11.2.3 计算分析,加速器迷宫门处、控制室和加速器机房墙 30cm 处的周围剂量当量率不大于 2.5 μ Sv /h。	符合
4	治疗室应有足够的使用面积,新建治疗室不应小于 45m ² 。	直线加速器机房设计面积为 65m ² (不包括迷道)	符合
5	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。	治疗室入口处已设置防护门和直迷路,防护门已与加速器联锁。	符合
6	穿越防护墙的导线、导管等不得影响其屏蔽防护效果。	工程建设中已预埋“U”型过线管。	符合
7	治疗室和控制室之间应安装监视和对讲设备。	按要求设置	符合
8	相关位置(例如治疗室入口处上方等)应安装醒目的辐射指示灯及辐射标志。	机房投入运行前将必须安装工作指示灯、电离辐射标志及中文警示说明。	符合
9	治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h。	按要求安装机械通风管道系统。	符合

11.3.4 射线装置 (PET 配套用 CT 机)

本项目 PET-CT 拟采取的辐射防护屏蔽机房对照《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013) 的符合性分析如表 10-2, 其机房屏蔽能力能符合工作开展需要。

11.4 核医学科放射性同位素应用事故影响分析及防范措施

11.4.1 事故风险识别

- (1) 由于管理不善, 发生放射性物品失窃, 造成放射性污染事故。
- (2) 由于意外事故造成大量的液态放射性药品撒漏, 如药剂瓶被打破, 造成放

射性污染事故；由于操作不慎，有少量的液态放射性药品溅洒。

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

11.4.2 辐射事故防范措施

(1) 为杜绝该事故的发生，建设单位应加强管理，源库应设置双人双锁，药物存放于带铅屏蔽的保险柜内；日常期间由值班人员 24 小时监控；出入口安装摄像头及红外报警系统并入科室监控系统。

(2) 制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。

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

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

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

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

11.5 伽马刀事故影响分析及防范措施

在意外情况下，项目伽马刀可能出现的辐射事故和对策措施如下：

①门机联锁失效

由于未及时检修，门-机联锁装置失效，门处于半开启状态，伽马刀仍能运行，人员进入伽马刀机房而受到照射。

处理措施：按操作规程定期对各个联锁装置进行检查，发现故障及时清除，严禁在门-机联锁装置失效的情况下违规操作；通过装置故障报警系统及时发现故障，及时修复；通过纵深防御以减少由于某个联锁失效或在某个联锁失效期间产生辐射。

②工作人员和公众误留治疗室内

工作人员或病员陪伴进入伽马刀治疗室后，未全部撤离，仍有人滞留在机房内某个不意察觉的地方，在伽马刀治疗时受到辐射照射。

处理措施：开机运行前，工作人员认真检查机房内人员情况，除病人外，一律不得停留。待确认无误后，方可进行下一步操作。设置紧急停机按钮，在发生意外后就近紧急停机，减少受照剂量。

③人误

工作人员不了解伽马刀的基本性能和结构，缺乏操作经验；缺乏防护知识，安全观念淡薄、无责任心；治疗计划错误（治疗过量或欠量照射）；违反操作规程和有关规定，操作失误；管理不善、领导失察等，是人为的因素造成辐射事故（造成患者治疗损伤）的最大原因。

预防措施：辐射工作人员必须加强专业知识学习，加强防护知识培训，了解应当做什么，怎么做，避免犯普通错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，落实安全责任制，经常督促检查。

④仪器维（检）修

仪器维（检）修后直接使用，未对设备表面进行剂量监测，可能产生放射源屏蔽体有裂缝或者破损等，造成机房内剂量率较高。

预防措施：仪器维（检）修后应对设备进行检查，须做 γ 辐射剂量率检测：放射源是否在贮源器内、贮源器屏蔽体是否破损；须作 β 表面污染检测：密封放射源是否破损造成仪器及地面表面污染。检测后确认仪器处于正常状态下才能进行工作。

⑤放射源卡源事故（事件）

伽马刀的卡源同其它放射源治疗机的卡源不同，Co-60源安装好以后，位置固定，所以不存在放射源离开贮存容器无法回位的现象，其所指卡源是指同轴旋转的准直器不能回归零位，即治疗结束后源始终处于照射状态，致使机房内剂量率高，人员受到不必要的附加剂量。

应急措施：出现这种情况放射工作人员立即按动紧急停止按钮，穿好防辐射服迅速进入治疗室，沿墙壁绕到设备后面，采用复位的方式关闭射线束。

⑥放射源脱落

换源或装源在热室内操作，在操过程中因未做好充分的准备工作，工作人员缺乏经验，情绪紧张等各种原因导致放射源从机械手脱落，掉落到安全托盘内。

预防措施：换源或装源由有资格的专业人员进行，医院放射工作人员不参与该项工作。做好换装源程序和一切准备工作，工作人员必须佩带辐射监测仪器，穿戴防护衣帽，疏散周围人员。装源、换源工作人员应经过专业培训，考核合格后方可上岗。装源、换源在热室内操作，在操作过程中，下方设置安全网或安全托盘，以防跌落后污染地面和遗失。严格加强放射源的安全管理，严格按照规定的实施方案进行换装源，确保环境和人员安全，杜绝事故（事件）发生。

应急措施：一旦发生跌落，使用机械手从安全网或安全托盘中重新夹取此源。

⑦放射源院内运输时掉落

在放射源院内运输时，因平板车、吊装等原因发生放射源掉落。

根据调查，放射源装在源容器内部，有安全锁，放射源在热室内装入伽马刀设备时才打开源容器。因源容器有安全锁，内部放射源为密封放射源，放射源表面有密封的铅防护体，不会发生放射源破裂后粉末扩散污染，放射源仍然在源容器内，因此，发生此事故时，不会对环境和人员产生大的影响。

预防措施：密封源容器安全锁保证锁上；源容器放置在平板车上时，固定源容器。

应急措施：检查源容器的完整度，监测源容器表面剂量。

通过采取上述预防控制措施后，项目伽马刀的辐射事故的发生概率将会大大降

低，对环境和人员的影响能得到有效的控制，项目事故风险可控。

11.6 直线加速器事故影响分析及防范措施

11.6.1 直线加速器事故影响分析

a、工作人员或病人家属在防护门关闭后尚未撤离辐照室，X 射线装置运行可能产生误照射。

b、安全装置发生故障状况下，人员误入正在运行的 X 射线装置辐照室。

c、直线加速器故障，导致设定剂量偏差，对病人造成过照射。

d、检修可能造成的误照射。

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。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。

11.6.2 直线加速器事故防范措施

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

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

11.7 射线装置事故影响分析及防范措施

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辐照室。

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。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

医院须按照《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》及环境保护主管部门的要求，制定系统的辐射环境管理规章制度，成立辐射防护管理机构。在取得相应的《辐射安全许可证》后医院方可正式运行。

医院须制定《放射防护安全管理机构及职责》。内容包括：

- ①确定本单位辐射工作安全责任人，设置以行政主管领导为组长的辐射防护领导机构，并指定专人负责本项目运行时的安全和防护工作。
- ②辐射防护领导机构须规定各成员的职责，分工明确、职责分明。
- ③辐射防护领导机构应加强监督管理，切实保证医院各项规章制度的实施。

12.2 辐射安全管理规章制度

本项目建成后，医院须制定的规章制度：《辐射安全管理制度》、《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》、《订购、转让、运输及退役处理制度》、《放射性废气、废液、固体废物处理方案》等。

12.3 辐射检测

12.3.1 场所检测

（一）年度检测

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环保局上报备案。

（1）检测频度：X- γ 辐射剂量率可一年检测一次，工作场所的表面污染及个人外照射累计剂量可加密检测。

（2）检测范围：各辐射工作场所周围：机房操作位、屏蔽墙外、防护门及缝隙处以及周围其他评价范围。

（3）检测项目：X- γ 辐射剂量率、 α - 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）自行检测

医院须定期（每月一次）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。

（1）检测频度：每月常规检测一次。

（2）检测范围：各辐射工作场所周围：机房操作位、屏蔽墙外、防护门及缝隙处以及周围其他评价范围。

（3）检测项目：X- γ 辐射剂量率、 α - 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。

（三）退役检测

依照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环境保护部令第18号，使用I类、II类、III类放射源的场所，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（以下简称《基本标准》）确定的甲级、乙级非密封放射性物质使用场所，以及终结运行后产生放射性污染的射线装置，应当依法实施退役。故建设单位承诺后期如遇因城市规划需要拆迁或医院搬离等，本项目依法进行退役，涉及的拆除及退役费用均由我公司承担。

12.3.2 辐射工作人员安全培训及健康检测

（1）医院须组织从事辐射操作的工作人员参加在线培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗。取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每四年接受一次复训。不参加再培训的人员或者复训考核不合格的人员，其辐射安全培训合格证书自动失效。

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

（3）医院须安排辐射工作人员每两年进行一次职业健康体检，辐射工作人员上岗和离岗前也须进行职业健康体检，并建立健康档案。

12.3.3 放射性废物检测

1、放射性废水排放前检测

本项目放射性废水在排放前应自行或委托有资质的单位开展检测，保证排出水中放射性总活度不超过《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）规定的限值（总 β 小于10Bq/L），经审管部门确认后，方可排入普通下水管道。

2、放射性废物处理前监测

本项目核医学科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 GBZ133-2009 附录 B 规定的 ^{18}F 清洁解控水平 $1 \times 10^1 \text{Bq/g}$ 后，方可作为一般医疗废物进行处置。

表 13 结论与要求

13.1 实践正当性

本项目为核与辐射技术用于医学领域，属高新技术。根据《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，本项目属鼓励类第六项“核能”第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”项目，符合国家产业政策。不属于《杭州市产业发展导向目录与产业平台布局指引（2019 年本）》中限制和禁止类项目，符合杭州市产业政策。

杭州三江阳光康复医院有限公司医用放射性同位素、伽马刀和直线加速器等辐射装置应用项目，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。

13.2 选址合理性

医院位于杭州市下城区兴业街 3 号 1-2 幢，由主楼（5F）和辅楼（3F）组成，医院于 2019 年 1 月取得杭州市环境保护局下城环境保护分局建设项目环境影响评价文件审批意见，杭环下评批【2019】1 号。

医院主要辐射设备位于主楼一层，其中 PET-CT、伽马刀机房位于主楼西北侧一层，直线加速器位于主楼东南侧一层。核医学科东侧隔过道为门诊，南侧隔过道为 DR 和 CT 机房，西侧为伽马刀机房，北侧隔过道为医生办公室，楼上（二楼）为康复中心，无地下层；伽马刀机房东侧为 PET-CT 机房，南侧隔过道为 MR 机房，西侧隔过道为弱电室、衰变池和头夹室，北侧隔过道为氧舱大厅，楼上（二楼）为康复中心，无地下层；直线加速器机房东侧和南侧为主楼外部，西侧隔过道为挂号收费室和商业出租房，北侧为门诊挂号大厅，楼上（二楼）为文化室和公共区域，无地下层。除距核医学科西侧 20 米的杭州杭州市下城区石桥街道杨家社区办公楼，放疗科东北侧 40 米的咸亨国际大厦和南侧 40 米的服装厂办公楼外，各机房周围 50m 范围内无其他环境敏感点。

根据《铁路安全管理条例》及《关于新建铁路南京至杭州铁路环境影响报告书的批复》（环审〔2008〕444 号）的要求，医院东侧的宁杭铁路保护范围为 30m。由医院提供的设计方案，本项目所涉及的所有机房及辅助用房均位于宁杭铁路 30m 保护范围线外，本项目选址符合宁杭铁路保护要求。

医院主体项目均符合土地利用总体规划，城乡规划，环境功能区划，产业政策，达标排放均符合环保审批原则。本项目为主体项目（医院）的配套内容，建设地点均位于已批复的建筑内，不新增、新占土地，不改变整体项目的布局。本项目的建设也符合产业政策、符合环境功能区划、土地利用总体规划、城乡规划。

13.3 辐射环境影响评价

本项目主要污染因子为：X 射线、 γ 射线、 β 表面污染、 NO_x 、废水和固体废物中的 ^{18}F 。

(1)现状剂量率评价

由辐射环境现状检测结果可知，项目拟建址周围 γ 辐射剂量率在 $0.08\sim 0.11\mu\text{Sv/h}$ 之间，与杭州市室内天然贯穿辐射剂量率（ $56\sim 443\text{nGy/h}$ ）相比，符合当地天然辐射本底水平，环境现状良好。

(2)辐射环境影响预测评价

①根据预测分析结果可知，从事辐射操作的工作人员、公众成员受到的额外照射均小于各自的剂量管理限值（ 5mSv 、 0.25mSv ），符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量管理限值”的要求。本项目的运行不会对杭州市下城区石桥街道杨家社区办公楼、咸亨国际大厦和服装厂办公楼产生辐射影响，符合环境保护的要求。

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

③本项目核医学科运行产生的放射性固体废物按半衰期分批分类暂存于废物储存间不同的废物桶中，存放十个半衰期后，经检测满足 GBZ133-2009 附录 B 规定的 ^{18}F 清洁解控水平 $1\times 10^1\text{Bq/g}$ 后，按一般医疗废物处理，不会对周围环境造成影响。

本项目直线加速器所产生的被污染的树脂及靶件将全部由生产厂家负责回收。任何情况下不得私自处置，直线加速器产生的放射性固体废物不会对环境造成明显影响。

④经计算，本项目机房内平衡臭氧浓度结果为 $0.25\times 10^{-3}\text{mg/m}^3$ ，治疗室的臭氧经抽风机排入大气环境中，与大量的空气混合，也低于大气环境中臭氧浓度管理限值 0.16mg/m^3 。由于氮氧化物的产额比臭氧要低一个数量级，对外部

环境，氮氧化物的最高容许浓度与臭氧的相近，臭氧的影响能消除，氮氧化物的影响也能消除。

⑤本项目辐射工作场所均设置有机排风设施，通过专用管道与楼层放射性废气专用管道相连，再经总排放口排放，总排放口拟设置于主楼屋顶，且高于本建筑屋脊，排放口拟设置活性炭过滤装置，经过滤后排出，不会对周围环境造成影响。

13.4 辐射环境管理制度

本项目建成后，医院须制定的规章制度：《辐射安全管理制度》、《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》、《订购、转让、运输及退役处理制度》、《放射性废气、废液、固体废物处理方案》等规章制度。

13.5 安全培训

本项目建成后所用新进辐射工作人员均应参加在线上岗培训。取得合格证书后方可上岗。取得辐射安全培训合格证书后，应当每四年接受一次复训。

13.6 健康管理及个人剂量检测

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

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

13.7 结论

杭州三江阳光康复医院有限公司医用放射性同位素及射线装置、伽马刀和直线加速器等辐射装置应用项目，在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和辐射环境管理计划后，该医院将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，其项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设是可行的。

要求

- (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核素。
- (4) 医院应在本项目内容投入运行后按规定开展竣工验收。

