

编号：ZFHK-FB19220121

核技术利用建设项目

浙江大学医学院附属邵逸夫医院

新增 PET-CT 建设项目

环境影响报告表

（报批稿）

浙江大学医学院附属邵逸夫医院

2019年10月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

浙江大学医学院附属邵逸夫医院

新增 PET-CT 建设项目

环境影响报告表

建设单位名称：浙江大学医学院附属邵逸夫医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：杭州市江干区庆春东路 3 号

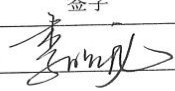
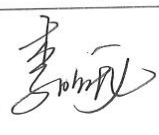
邮政编码：310000

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

编制单位和编制人员情况表

建设项目名称	浙江大学医学院附属邵逸夫医院新增 PET-CT 建设项目		
环境影响评价文件类型	环境影响报告表		
一、建设单位情况			
建设单位（签章）	浙江大学医学院附属邵逸夫医院		
法定代表人或主要负责人（签字）			
主管人员及联系电话			
二、编制单位情况			
主持编制单位名称（签章）	中辐环境科技有限公司		
社会信用代码	91330000MA27U0414T		
法定代表人（签字）			
三、编制人员情况			
编制主持人及联系电话	李昭龙 0571-87889666		
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书编号		签字
李昭龙	00017214		
2. 主要编制人员			
姓名	职业资格证书编号	主要编写内容	签字
李昭龙	00017214	项目基本情况、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	
四、参与编制单位和人员情况			
中辐环境科技有限公司 邓若鹏			

环评项目负责人职业资格证书（复印件）

本证书由中华人民共和国人力资源和社会保障部、环境保护部批准颁发。它表明持证人通过国家统一组织的考试,取得环境影响评价工程师的职业资格。

This is to certify that the bearer of the Certificate has passed national examination organized by the Chinese government departments and has obtained qualifications for Environmental Impact Assessment Engineer.


Ministry of Human Resources and Social Security
The People's Republic of China


Ministry of Environmental Protection
The People's Republic of China

编号: HP 00017214
No.


04021744

持证人签名:
Signature of the Bearer

姓名: 李昭龙
Full Name

性别: 男
Sex

出生年月: 1974年7月
Date of Birth

专业类别:
Professional Type

批准日期: 2015年5月23日
Approval Date

签发单位盖章:
Issued by

签发日期: 2015 年 10 月 30 日
Issued on

管理号: 2015035430352013439901000596
File No.

04040217

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	7
表 3 非密封放射性物质	7
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.....	20
表 9 项目工程分析与源项.....	23
表 10 辐射安全与防护.....	27
表 11 环境影响分析	39
表 12 辐射安全管理.....	50
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		浙江大学医学院附属邵逸夫医院新增 PET-CT 建设项目			
建设单位		浙江大学医学院附属邵逸夫医院			
法人代表	蔡秀军	联系人		联系电话	
注册地址		杭州市江干区庆春东路 3 号			
项目建设地点		浙江大学医学院附属邵逸夫医院庆春院区 1 号楼地下 1 层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	2000	项目环保投资 (万元)	120	投资比例(环保 投资/总投资)	6%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其它		占地面积(m ²)	693.2m 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 建设单位简介 浙江大学医学院附属邵逸夫医院是由香港知名实业家邵逸夫爵士捐资、浙江省人民政府配套建设,集医疗、教学和科研为一体的公立综合性三级甲等医院。医院现有庆春和下沙两个院区,核定床位数 2400 张,设有 32 个临床科室,95 个护理单元,9 个辅助科室。作为浙江大学医学院第三临床医学院,目前有 24 个博士点和 32 个硕士点,设有 29 个临床教学教研室。 1.1.2 项目建设目的和任务由来 浙江大学医学院附属邵逸夫医院根据自身优越的医疗条件,为了更好地发挥医院的技术力量,提高疾病治疗水平,更好地为当地病人服务,以满足当地患者的治疗服务需				

求，拟在医院庆春院区 1 号楼地下 1 层新建 PET 核医学科工作场所，PET 工作用房拟由 1 号楼地下 1 层原规划的直线加速器机房、磁共振机房等医疗用房与空置房间改造而成，占地面积约 693.2m²。拟配备 1 台 PET-CT，使用 ¹⁸F 进行显像诊断，本项目新建 PET 核医学科工作场所日等效最大操作量为 1.11×10⁷Bq，为丙级非密封放射性物质工作场所。

为加强核技术利用项目的辐射环境管理，防止辐射污染和意外事故发生，确保其使用过程不对周围环境和工作人员及公众产生不良影响，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关规定，本项目需进行环境影响评价。本项目为丙级非密封放射性物质工作场所，根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》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》有关规定，本项目属于“五十、核与辐射 191 核技术利用建设项目 乙、丙级非密封放射性物质工作场所”，环评类别为环境影响报告表。受浙江大学医学院附属邵逸夫医院的委托，中辐环境科技有限公司承担了该项目的辐射环境影响评价工作，评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上，按照国家对辐射建设项目环境影响评价技术规范的要求，编制完成该项目的辐射环境影响报告表。

1.1.3 项目建设内容和规模

本项目拟在医院庆春院区 1 号楼地下 1 层新建 PET 核医学科工作场所，PET 工作用房拟由 1 号楼地下 1 层原规划的直线加速器机房、磁共振机房等医疗用房与空置房间改造而成，占地面积约 693.2m²。拟配备 1 台 PET-CT，使用 ¹⁸F 进行显像诊断，本项目新建 PET 核医学科工作场所日等效最大操作量为 1.11×10⁷Bq，为丙级非密封放射性物质工作场所。

本项目 PET-CT 拟配置校准源，设备型号待定，校准源枚数及活度暂未确定，因此本环评不对其进行评价。待医院确定校准源枚数及活度后，在校准源购买前应履行相关环评手续，填报环境影响备案登记表，并应在辐射安全许可证上进行登记。

表 1-1 本项目放射性同位素使用情况

序号	建设内容	型号	核素	日最大操作量	日等效最大操作量	使用场所	工作场所分级	用途
1	1 台 PET-CT	待定	¹⁸ F	1.11×10 ¹⁰ Bq	1.11×10 ⁷ Bq	1 号楼地下 1 层	丙级	显像诊断

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 医院地理位置

浙江大学医学院附属邵逸夫医院庆春院区位于杭州市江干区庆春东路 3 号；医院东

侧为景昙路，隔路为江干区政府和采荷小区北一区；南侧为采东路，隔路为采荷小区东区；西侧为秋涛北路及秋石高架，隔路为采荷小区；北侧为庆春东路，隔路为商业区。医院地理位置见附图 1。

1.2.2 项目周边环境关系

（1）项目所在楼四周关系

本项目位于院区 1 号楼地下 1 层。1 号楼东侧为住宅（采荷小区北区），距离 1 号楼约 148m；东南侧为科教楼，距离 1 号楼约 90m；南侧为医院 2 号楼，距离 1 号楼约 57m；西南侧为医院 3 号楼，距离 1 号楼约 83m；西北侧为陪护中心，距离 1 号楼约 80m。周边环境关系见附图 2，医院总平面布置见附图 3。

（2）本项目工作场所四至关系

本项目位于医院 1 号楼地下 1 层。PET 机房东南侧为控制室，南侧为走道，西南侧为留观室，西侧，北侧均为墙壁土层；PET 机房上方为门诊检验处，无地下层；药物分装注射室和源库东北侧为走道，东南侧为闲置房间，西南侧为墙壁土层，西北侧为注射后观察室及 VIP 观察室；上方为留观室，无地下层；注射后 VIP 观察室东侧为走道，东南侧为药物分装注射室和源库，西南侧为墙壁土层，北侧为病人更衣室及卫生间；上方为护士站，无地下层。

1.2.3 项目选址合法性、合理性分析

（1）项目主体功能区和土地利用规划符合性

本项目位于杭州市江干区庆春东路 3 号，利用浙江大学医学院附属邵逸夫医院庆春院区 1 号楼地下 1 层原规划的医疗用房改造，不新增用地，且用地性质为医疗用地，因此符合杭州市主体功能区划和土地利用规划。

（2）环境功能区划符合性

根据《杭州市区（六城区）环境功能区划》，本项目所在区域位于“0104-IV-0-3江干人居环境保障区”，本项目不属于《杭州市产业发展导向目录与空间布局指引》中限制类、禁止类项目，对照区域“管控措施”和“负面清单”，能够符合环境功能区划要求，因此本项目在该医院院区内实施符合杭州市环境功能区划。

（3）产业政策符合性和实践正当性

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（2011 年本）（修正）》（国家发展改革委 2013 年第 21 号令），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。对照

《杭州市产业发展导向目录与空间布局指引(2013 年本)》，本项目不属于《杭州市产业发展导向目录与空间布局指引(2013 年本)》中规定的淘汰、限制类产品，符合杭州市产业政策。

本项目的运营可为全市病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全市医疗卫生水平的重要内容，本项目具有放射实践的正当性。

1.2.4 达标排放符合性

在落实报告中提出的各项污染防治措施后，本项目的放射性废水在衰变池可存放 10 个半衰期以上，经衰变池衰变后满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中放射性废水排放标准；本项目放射性固废贮存 10 个半衰期达到清洁解控水平后按普通医疗固废委托专业单位处置。本项目放射性药物的分装操作都将在通风橱内进行。通风橱排气采用活性炭高效过滤器过滤，产生的废气由独立的排风管道汇集到主排风管后沿 1 号楼外墙运送至排气口排放，本项目排气口位于 1 号楼楼顶，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。则本项目放射性废气对周围环境影响是可以接受的。

1.3 原有核技术利用项目许可情况

医院已取得《辐射安全许可证》（浙环辐证[A0041]，有效期至 2024 年 5 月 27 日，见附件 3），医院目前许可的种类和范围：使用 V 类放射源；使用 II 类和 III 类射线装置；使用非密封放射性物质；乙级非密封放射性物质工作场所。医院实际使用的射线装置和核素与辐射安全许可证一致，原有核技术利用项目情况见表 1-2、表 1-3、表 1-4；浙江大学医学院附属医院邵逸夫医院庆春院区已按要求进行了辐射安全与防护状况的年度评估，每年定期上报至发证机关。

表 1-2 放射源

序号	核素	类别	总活度（贝可）/活度（贝可）×枚数	活动种类	许可情况
1	Sr-90(Y-90)	V 类	11E+9*2	使用	已上证

表 1-3 非密封放射性物质

序号	场所等级	核素	日等效最大操作量（贝可）	年最大用量（贝可）	活动种类	许可情况
1	乙级	¹⁸ F	7.4E+7	1.628E+12	使用	已上证
2	乙级	^{99m} Tc	4.625E+10	1.018E+13	使用	已上证
3	乙级	³² P	2.96E+7	2.664E+10	使用	已上证
4	乙级	⁸⁹ Sr	5.92E+7	3.552E+10	使用	已上证

5	乙级	¹⁵³ Sm	3.7E+8	3.33E+11	使用	已上证
6	乙级	¹³¹ I	3.7E+8	9.768E+11	使用	已上证
7	丙级	¹²⁵ I(粒子源)	1.85E+7	1.665E+11	使用	已上证
8	乙级	⁶⁷ Ga	3.7E+7	1.924E+10	使用	已上证
9	丙级	²⁰¹ Tl	3.7E+6	1.924E+10	使用	已上证
10	乙级	⁹⁰ Y	3.7E+8	6.664E+10	使用	已上证

表 1-4 射线装置

序号	装置名称	规格型号	类别	数量 (台/套)	场所	用途	许可情况
1	医用模拟定位机	Simulixhp	Ⅲ类	1	1-1F东侧 模拟定位房	模拟定位	已上证
2	医用直线加速器	pranus	Ⅱ类	1	1-1F东侧 直线加速器房	放射治疗	已上证
3	医用DSA	Intergris Allura Xper FD20	Ⅱ类	1	1-2F放射科 11号机房	医学诊疗	已上证
4	DR	Digital Diagnost	Ⅲ类	1	1-2F放射科 2号机房	医学诊疗	已上证
5	DR	RAD SPEED	Ⅲ类	1	1-2F放射科 3号机房	医学诊疗	已上证
6	DR	Digital Diagnost	Ⅲ类	1	1-2F放射科 4号机房	医学诊疗	已上证
7	医用DSA	Innova IGS(GE)	Ⅱ类	1	2-4F心内科 (导1)	医学诊疗	已上证
8	CT	SOMATOM Sensation 16	Ⅲ类	1	1-2F放射科 7号机房	医用扫描	已上证
9	CT	SOMATOM Definition Flash	Ⅲ类	1	1-2F放射科 9号机房	医用扫描	已上证
10	乳腺机	Senographe DS (GE)	Ⅲ类	1	1-2F放射科 1号机房	医用诊断	已上证
11	胃肠机	Ultimax-iUREX-D180 (东芝)	Ⅲ类	1	1-2F放射科 8号机房	医用诊断	已上证
12	医用骨密度仪	Prodigy(GE)	Ⅲ类	1	1-3F门诊 骨密度室	医用诊断	已上证
13	胃肠机	AXIOM Ieomos R200	Ⅲ类	1	1-3F内窥镜室	医用诊断	已上证
14	C臂机	OEC Fluorosiart 7900	Ⅲ类	1	2-3F手术室 21号	医用诊断	已上证
15	C臂机	OEC Fluorosiart 7900	Ⅲ类	1	2-3F手术室	医用诊断	已上证
16	泌尿床	Uroscope Access	Ⅲ类	1	3-3F手术室 23号	医用诊断	已上证
17	DSA	Intergris Allura XperFD10	Ⅱ类	1	2-4F心内科 (导2)	介入治疗	已上证
18	床边X光机	MUX-100J	Ⅲ类	1	1-2F放射科 (移动)	医用诊断	已上证
19	ECT	Millennium VG	Ⅲ类	1	1号楼2楼东区 ECT机房1	医用诊断	已上证

20	口腔全景机	Kodak 9000	Ⅲ类	1	3-5F牙科全景机房	医用诊断	已上证
21	牙科CT	Kodak 9500	Ⅲ类	1	3-5F牙科CT机房	医用扫描	已上证
22	胃肠机	AXIOM Luminos dRF	Ⅲ类	1	3-8F放射科19号机房	医用诊断	已上证
23	碎石机	ARCADIS Varic	Ⅲ类	1	1-1F门诊碎石机房	医用诊断	已上证
24	DSA	Intergris Allura Xper FD20	Ⅱ类	1	2-4F复合手术室	介入治疗	已上证
25	DSA	Innova 2100-IQ(GE)	Ⅱ类	1	2-4F心内科(导3)	介入治疗	已上证
26	CT	Lightspeed VCT(GE)	Ⅲ类	1	1-1F东侧放射科12号机房	医用扫描	已上证
27	ECT	Infinia VCH4(GE)	Ⅲ类	1	1号楼2楼东区ECT机房2	医用诊断	已上证
28	DR	Digital Diagnost	Ⅲ类	1	3-9F放射科17号机房	医用诊断	已上证
29	DR	Ysio	Ⅲ类	1	1-1F放射科东侧13号机房	医用诊断	已上证
30	CR	卡瓦Kavo Gendex expect DC	Ⅲ类	1	3-5F牙科CR机房	介入治疗	已上证
31	CT	联影	Ⅲ类	1	1-1F东侧CT机房	医用扫描	已上证
32	DR	联影	Ⅲ类	1	1-1F东侧DR机房(1)	医用诊断	已上证
33	移动DR	MUX-200D	Ⅲ类	1	1-2F放射科(移动)	医用诊断	已上证
34	移动C臂机	Simens ARCADIS Avantic	Ⅲ类	1	2-3F手术室22号	医用诊断	已上证
35	CT	SOMATON Definition Flash	Ⅲ类	1	3-8F放射科18号机房	医用扫描	已上证
36	床边X光机	MUX-100DJ	Ⅲ类	1	1-2F放射科(移动)	医用诊断	已上证
37	移动C臂机	OEC one	Ⅲ类	1	3-3F手术室19、21、22号	医用诊断	已上证
	合计			37			

表 2 放射源

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

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

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量(Bq)	日等效最大操作量(Bq)	年最大用量(Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{18}F	液态低毒 半衰期109.7min	使用	1.11×10^{10}	1.11×10^7	2.775×10^{12}	显像诊断	很简单操作	1号楼地下1层核医学场所	根据实际使用量向有资质单位购买（现买现用），购买后的放射性药物连同铅罐包装-放置于源库内，源库双人双锁管理。

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	装置名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET-CT	III	1	未定	140	800	医疗诊断	1 号楼地下 1 层 PET-CT 机房	新购

(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
核医学科放射性废水	液态	^{18}F	/	$<0.01\text{Bq}$	$<0.01\text{Bq}$	总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	设置 1 组衰变池组，为 3 个并联衰变池（每个衰变池有效容量为 4m^3 ）。	衰变后的放射性废水排放浓度低于 GB18871-2002 中规定的放射性废水排放导出限值和 GB18466-2005 规定的总 β 限值后进入医院污水处理站，进一步处理后排入市政污水管网。
放射性固废	固态	^{18}F	/	$<0.01\text{ Bq}$	$<0.01\text{ Bq}$	$<1 \times 10^1\text{ Bq/g}$	设专用铅制放射性污物桶，暂存于源库	经衰变 10 个半衰期以上后达到清洁解控水平，作为医疗废物处理。

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L ，固体为 mg/kg ，气态为 mg/m^3 ；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/m^3 ）和活度（ Bq ）。

表 6 评价依据

法规文件	(1)《中华人民共和国环境保护法》(中华人民共和国主席令第 9 号, 2014 年), 自 2015 年 1 月 1 日起施行; (2)《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年修订), 2018 年 12 月 29 日起施行; (3)《中华人民共和国放射性污染防治法》(2003 年 10 月 1 日施行); (4)《建设项目环境保护管理条例》(中华人民共和国国务院令第 682 号, 2017 年 10 月 1 日施行); (5)《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(国务院令第 449 号, 2019 年 3 月 2 日部分修改并施行); (6)《建设项目环境影响评价分类管理名录》(中华人民共和国环境保护部令第 44 号), 自 2017 年 9 月 1 日起施行; (7)《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), 自 2018 年 4 月 28 日起施行; (8)《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法 (2019 年修订版)》, 2019 年 8 月 22 日公布并施行; (9)《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); (10)《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); (11)《浙江省建设项目环境保护管理办法》(2018 年省政府令第 364 号修订, 2018 年 3 月 1 日施行); (12)《浙江省辐射环境管理办法》(省政府令第 289 号, 2012 年 2 月 1 日起施行); (13)《浙江省生态环境厅、浙江省卫生健康委员会关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》(2019 年 7 月 18 日公布并施行)。
------	---

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》(HJ10.1-2016); (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/T 61-2001); (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》(GBZ128-2016); (6)《临床核医学放射卫生防护标准》(GBZ120-2006); (7)《医疗照射防护基本要求》(GB179-2006); (8)《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ130-2013); (9)《医用 X 射线 CT 机房的辐射屏蔽规范》(GBZ180-2006); (10)《X 射线计算机断层摄影放射防护要求》(GBZ165-2012); (11)《放射性废物管理规定》(GB14500-2002); (12)《医用放射性废物的卫生防护管理》(GBZ133-2009); (13)《医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准》(HJ421-2008); (14)《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005); (15)《操作非密封源的辐射防护规定》(GBZ11930-2010)。
其 他	(1)《辐射防护导论》，方杰主编； (2)《简明放射性同位素应用手册》，卢玉楷主编； (3)《辐射防护手册》(第一分册)，李德平、潘自强主编； (4)《辐射防护技术与管理（电离辐射防护技术与管理）》，张丹枫、赵兰才； (5) 建设单位提供的其它与本项目有关的技术资料。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点，结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，确定本项目的评价范围为新建 PET 核医学科工作场所实体墙边界外 50m 范围内，评价范围详见附图 2。

7.2 保护目标

本项目拟建新建 PET 核医学科工作场所实体边界外 50m 评价范围均为医院内部用地，评价范围内无自然保护区、风景名胜区、饮用水水源保护区、居民区及学校等环境敏感区。环境保护目标为核医学科辐射工作人员、其他非辐射工作人员和公众成员。

7.3 评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

（1）豁免和解控

4.2.4 豁免

4.2.4.1 如果源符合下列条件之一，并经审管部门确认和同意，则该源或利用该源的实践可以被本标准的要求所豁免：

- a) 符合本标准附录 A（标准的附录）中所规定的豁免要求；
- b) 符合审管部门根据本标准附录 A（标准的附录）规定的豁免准则所确定的豁免水平。

4.2.4.2 对于尚未被证明为正当的实践不应予以豁免。

4.2.5 解控

4.2.5.1 已知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不在遵循本标准的要求，即可以将其解控。

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A（标准的附录）所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A（标准的附录）中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

表 7-1 本项目涉及放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度（摘自附录 A 中表 A1）

核素	活度浓度/（Bq/g）	活度/Bq
^{18}F	1E+01	1E+06

（2）剂量限值

①职业照射

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1.1 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。

②公众照射

B1.2.1 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。

对于一项实践中的特定的源，本评价项目的职业照射年剂量约束值取其剂量限值的四分之一，即不超过 5mSv 作为职业工作人员的年有效剂量约束值；取公众照射年剂量约束值取其剂量限值的四分之一，即不超过 0.25mSv 作为公众成员的年有效剂量约束值。

（3）分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

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

6.4.2 监督区

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

督和评价。

(4) 表面放射性污染的控制

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

B2 表面污染控制水平

工作场所的表面污染控制水平如表 B11 所列。

表 B11 工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

表面类型		β 放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10^1
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-1}
1) 该区内的高污染子区除外		

(5) 非密封源工作场所的分级

C1 非密封源工作场所分级

应按表 C1 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 C1 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

8.6.2 款 不得将放射性废液排入普通下水道，除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液，方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道，并应对每次排放作好记录：

a) 每月排放的总活度不超过 $10ALI_{\min}$ ($ALI_{\min}$ 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。

摘录 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定， $ALI_{\min}$ 采用下式计算：

$$ALI_{\min} = DL/e_j$$

DL 表示辐射工作人员接触限值，5mSv/a；

e_j 表示 GB18871-2002 表 B3 工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量，取其中最大值。

二、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）

7.1.2 应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

7.1.3 应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。

7.1.4 应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。

7.2.1 不得将放射性废液排入普通下水道；不允许利用生活污水系统洗涤被放射性污染的物品。

7.2.2 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

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

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

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

三、《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）

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 GB18871-2002 规定的乙级或丙级非密封源工作场所。为便于操作，针对临床核医学时间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 1）。

表 1 临床核医学工作场所具体分类

分 类	操作最大量放射性核素的加权活度/MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50

4.4 按表 1 划分的三类核医学工作场所室内表面及装备结构基本防护要求见表 4。

表 4 不同类别核医学工作场所的室内表面及装备结构要求

场所分类	地面	表面	通风橱 ¹	室内通风	管道	管道及去污设备
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
注 1：仅指实验室。						

4.8 临床核医学诊断及治疗用工作场所（包括通道）应注意合理安排与布局。其布局应有助于实施工作程序，如一端为放射性物质贮存室，依次为给药室、候诊室、检查室、治疗室等。并且应避免无关人员通过。

4.9 临床核医学诊断用给药室与检查室应分开。如必须在检查室给药，应具有相应的放射防护设备。

4.10 临床核医学诊断用候诊室应靠近给药室和检查室，宜有受检者专用厕所。

四、《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ 133-2009）

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

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

4 放射性废物管理的基本防护要求

4.4 如果经审管部门确认或批准，凡放射性活度小于或等于附录 B 所示清洁解控水平推荐值的放射性废物，按免管废物处理。

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，池底与池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应有防泄漏措施。

5.1.2 产生放射性废液而可不设置放射性污水池的单位，应将仅含短半衰期核素的废液注入专用容器中通常存放 10 个半衰期后，经审管部门审核准许，可作为普通废液处理。对含长半衰期核素的废液，应专门收集存放。

5.2.1 使用放射性药物治疗患者的临床核医学单位，应为住院患者提供有防护标志的专用厕所，对患者排泄物实施统一收集和管理。

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

5.2.8 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。

6 固体废物的管理

6.1 废物收集

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活动的区域。

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，不破损，并及时转送贮存室，并放入专用容器中贮存。

6.1.4 对注射器和破碎器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，应先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入专用塑料袋内。

6.1.5 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 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 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 废物袋、废物桶及其存放废物的容器必须安全可靠，并应在显著位置标有废物类型、核素种类，比活度水平和存放日期等说明。

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

五、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

该标准适用于医疗机构污水排放的控制，医疗机构建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工验收及验收后的排放管理。

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

5.4 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后，再排入医院污水处理站。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理

表 2 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

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

6.1 污水取样与及监测

6.1.1 应按规定设置科室处理设施排出口和单位污水外排口，并设置排放口标志。

6.1.2 总 α 、总 β 在衰变池出口取样监测。

六、《医用 X 射线诊断放射防护标准》(GBZ 130-2013)

本标准适用于医用诊断 X 射线机的生产和使用。

5X 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（不含移动式和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 2 要求。

5.3 X 射线设备机房屏蔽防护应满足如下要求：

a) 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护应不小于表 3 要求。

b) 医用诊断 X 射线防护中不同铅当量屏蔽物质厚度的典型值参见附录 D。

c) 应合理设置机房的门、窗和管线口位置，机房的门和窗应有其所在墙壁相同的防护厚度。设于多层建筑中的机房（不含顶层）顶棚、地板（不含下方无建筑物的）应满足相应照射方向的屏蔽厚度要求。

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

表 2 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

表 3 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
CT 机房	2（一般工作量） ^a 2.5（较大工作量） ^a	
a 按 GBZ/T 180 的要求		

5.4 在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求（其检测方法按 7.2 和附录 B 中 B.6 的要求）：

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

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

本项目 PET-CT 射线装置参考执行该标准机房防护等要求。

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

杭州位于中国长江三角洲南翼，杭州湾西端，钱塘江下游，京杭大运河南端，地理坐标为东经 118°21'-120°30'，北纬 29°11'-30°33'；是长江三角洲重要中心城市和中国东南部交通枢纽。

浙江大学医学院附属邵逸夫医院庆春院区位于杭州市江干区庆春东路 3 号；医院东侧为景昙路，隔路为江干区政府；南侧为采东路，隔路为采东小区；西侧为秋涛北路及秋石高架，隔路为采荷小区；北侧为庆春东路，隔路为商业区。本项目辐射工作场所位于院区内 1 号楼地下 1 层，其 50m 范围内主要为医院大楼、病房楼等建筑、道路，无居民等环境敏感点，因此本项目辐射工作场所选址是合理可行的。

医院地理位置见附图 1，周围外环境关系见附图 2，医院平面布局见附图 3。

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 环境现状评价对象

辐射工作场所周围环境贯穿辐射水平。

8.2.2 监测因子

空气吸收剂量率

8.2.3 监测点位

根据《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）有关布点原则，本项目在新建 PET 核医学科工作场所均匀布点，并在工作场所四周设置监测点位。监测点位图见附图 4。

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.3.1 监测方案

1、监测单位：浙江建安检测研究院有限公司

2、监测日期：2019 年 9 月 19 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 14583-93）

《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）

5、监测频次：依据 GB/T14583-93 标准予以确定

6、监测工况：辐射环境本底

7、天气环境条件：天气：晴；温度：21℃；相对湿度：53%

8、监测设备：FH40G-L10+FHZ672E-10 型 X、 γ 射线巡测仪

表 8-1 监测仪器相关信息

仪器型号	FH40G-L10+FHZ672E-10
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
仪器编号	05035404
能量范围	30KeV~4.4MeV
量 程	10nSv/h~100mSv/h,100nSv~1Sv
检定单位	上海市计量测试技术研究院
检定证书	2019H21-20-1811601002
检定日期	2019 年 5 月 8 日

8.3.2 质量保证措施

- (1) 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性；
- (2) 监测方法采用国家有关部门颁发的标准，监测人员经考核并持合格证书上岗；
- (3) 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用；
- (4) 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常；
- (5) 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。

8.3.3 监测结果

本项目辐射环境本底监测结果详见表 8-2。监测点位图见附图 4。

表 8-2 现状监测结果一览表

监测点编号	监测点位置	检测结果 (nSv/h)	
		平均值	标准差
1#	药物分装注射室	151	6
2#	源库	143	2
3#	卫生通过间淋浴、更衣	143	5
4#	观察室（现已改建为过道）	148	1
5#	VIP 观察室	143	2
6#	VIP 观察室	147	1
7#	闲置房间	175	2
8#	更衣室	162	2
9#	更衣室	149	3
10#	女 WC	150	1
11#	男 WC	147	2

12#	衰变池	155	3
13#	一次候诊	152	2
14#	库房	146	3
15#	库房	149	4
16#	排烟机房	147	2
17#	观察室（留观室）	145	2
18#	PETCT	145	1
19#	控制室	155	2
20#	药物分装注射室上方	131	2
21#	源库上方	125	1
22#	卫生通过间上方	120	5
23#	观察室（过道）上方	117	1
24#	VIP 观察室上方	128	4
25#	VIP 观察室上方	122	1
26#	闲置房间上方	133	2
27#	更衣室上方	121	1
28#	更衣室上方	122	2
29#	女 WC 上方	154	2
30#	男 WC 上方	169	2
31#	衰变池上方	133	1
32#	一次候诊上方	144	2
33#	库房上方	143	1
34#	库房上方	135	3
35#	排烟机房上方	137	2
36#	观察室（留观室）上方	141	2
37#	PETCT 上方	134	2
38#	控制室上方	156	2
39#	衰变池北侧过道	126	3
40#	衰变池西侧	148	3

注：1、测量时探头距离地面约 1m；2、测量值经校准因子修正。

8.4 环境现状调查结果的评价

由表 8-2 的监测结果可知：本项目拟建核医学场所及周边环境的 γ 辐射空气吸收剂量率本底值在 117~175nSv/h（1Sv=1Gy）之间，由《浙江省环境陆地 γ 辐射剂量水平调查》可知，杭州市地区室内 γ 辐射剂量率 28~220nGy/h 之间，可见各监测点位 γ 辐射剂量率处于本底水平，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

拟在医院庆春院区 1 号楼地下 1 层新建 PET 核医学科工作场所，PET 工作用房拟由 1 号楼地下 1 层原规划的直线加速器机房、磁共振机房等医疗用房与空置房间改造而成，施工期污染源项主要为施工噪声、施工废水、建筑粉尘、建筑废渣以及施工人员产生的生活废水与生活垃圾。

9.2 本次环评核医学科评价规模及内容

医院拟在 1 号楼地下 1 层建设核医学科，拟购置 1 台 PET-CT 进行诊疗工作，年诊断 250 天。PET-CT 诊断使用 ^{18}F 核素标记，每日最多诊断 30 人，单人次最大用量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，日最大等效操作量 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$ ，每年最大使用量为 $2.775 \times 10^{12} \text{Bq}$ (75Ci)。

本项目新建 PET 核医学科工作场所日等效最大操作量为 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$ ，为丙级非密封放射性物质工作场所。

放射性核素的性能参数及用量详见表 9-1。

表 9-1 放射性核素的性能参数及用量

核素	半衰期	毒性	衰变方式	物理状态	日最大用量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途
^{18}F	109.7min	低毒	β^-	液态	1.11×10^{10}	1.11×10^7	2.775×10^{12}	PET-CT 显像

9.4 工程设备和工艺分析

9.4.1 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 (Positron Emission TOMOgraphy) 和 CT(ComputerTOMOgraphy) 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或其标记的示踪剂，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分子显像，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。

PET-CT 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。本项目医院核医学科拟配置的 PET-CT，型号尚未确定，仅确定其中使用的 CT 最大管电压不超过 140kV，电流不超过 800mA。



图 9-2 PET-CT 外观图

本项目 PET 显像诊断采用 ^{18}F 放射性同位素标记，同位素从专业放射性同位素供货商购买，由医院采用自动分装仪自动分装。

(2) 工作流程及产污环节分析

PET-CT 诊断工艺流程及产污环节基本一致，主要工作流程如下：

- ①接收患者，并告知患者诊断过程存在辐射危害；
- ②医生根据病情确定使用核素的类别和剂量；
- ③病人通过注射将放射性药物摄入，在药品摄入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、一次性手套等)；
- ④病人摄入药品后通过仪器进行器官显像和诊断，在此过程中病人带有 γ 射线；
- ⑤病人由出行通道离开。

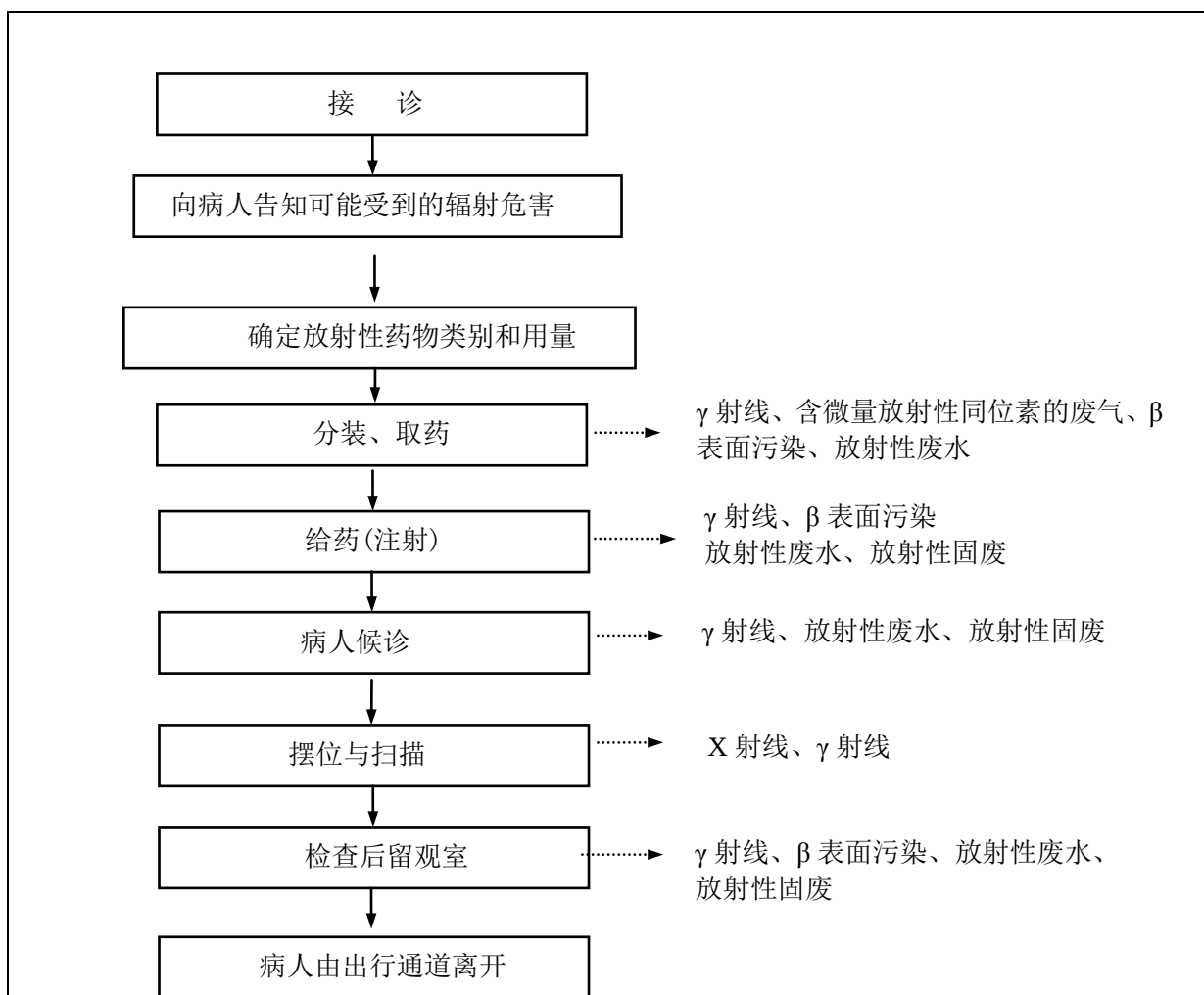


图 9-3 核医学科 PET-CT 诊断工艺流程及产污位置图

因此，用 ^{18}F 标记项目的污染因子是：X 射线、 γ 射线、 β 表面污染、放射性废气、放射性废水和放射性固废。

9.2 污染源项描述

9.2.1 正常工况污染源项描述

(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 的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。

(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。

9.2.2 非正常事故工况污染源项描述

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境及公众的影响。

(1) PET-CT 机房门灯安全联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

(2) 显像剂 (^{18}F) 发生丢失或被盗，以及显像剂在操作使用过程中发生意外洒漏时，会对周围环境及人员造成辐射影响。

事故工况下污染源项同正常工况。

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

本项目位于医院 1 号楼地下 1 层。PET 机房东南侧为控制室，南侧为走道，西南侧为留观室，西侧，北侧均为墙壁土层；PET 机房上方为门诊检验处，无地下层；药物分装注射室和源库东北侧为走道，东南侧为闲置房间，西南侧为墙壁土层，西北侧为注射后 VIP 观察室；上方为留观室，无地下层；注射后 VIP 观察室东侧为走道，东南侧为药物分装注射室和源库，西南侧为墙壁土层，北侧为病人更衣室及卫生间；上方为护士站，无地下层。

新建PET核医学科工作场所由放射性区域和非放射性区域组成，非放射性区域主要包括控制室、卫生通过间、候诊区、更衣室等，放射性区域主要包括PET-CT机房、VIP 观察室、分装注射室、源库等。

新建PET核医学科工作场所控制区走廊出入口防护门设置有门禁系统，PET-CT显像诊断区域药物分装、注射与扫描检查分开，注射后VIP观察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。

本项目新建PET核医学科工作场所受检者/患者在进行核素注射、扫描检查前，要求医院严格核实受检者/患者将要注射的核素和进行的扫描检查，核实准确无误后方可叫号进行注射、扫描检查。

10.1.2 核医学人流、物流规划

（1）受检者/患者路径

核素检查受检者/患者统一通过核医学科入口 A 进入新建 PET 核医学科工作场所，首先在护士站问诊处进行问诊、登记，可接受显像检查的受检者/患者在给药前候诊区进行候诊，听到叫号后要进行检查的受检者/患者至注射窗口进行药物注射后前往 VIP 观察室，扫描检查完毕后在留观室留观一段时间，确认无任何不适或无需二次扫描后通过出口 B 离开新建 PET 核医学科工作场所；

该路径上，受检者/患者出入口（病人走廊出入口）均设置单向门禁，仅允许患者单向通行。

（2）医护人员路径

医护人员均通过核医学科入口 C 进入新建 PET 核医学科工作场所，在更衣室更衣后，设备操作人员前往 PET-CT 控制室进行设备操作，工作结束后原路返回；分装给药人员通过卫生通过间进入分装注射室，在通风橱内对药物进行分装质控，然后在注射窗口给病人注射药物，工作结束后原路返回，离开时在卫生通过间洗手并经表面污染监测合格后离开新建 PET 核医学科工作场所。

（3）放射性药物路径

该项目显像检查放射性药物由专门的供药单位按照预定量提供，并在送药当天 PET-CT 诊疗工作开展前经指定路线送至医院新建 PET 核医学科工作场所，药物经出口 B 进入新建 PET 核医学科工作场所，然后经患者走廊、卫生通过间进入分装注射室，药物放入源库的保险箱内，送药完毕后原路离开新建 PET 核医学科工作场所。本项目患者均采用预约制，药物用量根据患者预约购买，送药时间要求严格与病患就诊时间错开。

（4）污物路径

新建 PET 核医学科工作场所产生的放射性固体废物，先按要求分类收集后（如核素类别和入库时间）暂存于源库，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，拟由核医学科出口 B 送出；产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集，并经管道排入患者出口处的并联衰变池贮存衰变，衰变后的废水取样监测符合排放标准后经审管部门同意或批准后排入医院污水处理站进一步处理；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 1 号楼外墙至楼顶排放，高于本建筑屋脊 3m，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 1 号楼外墙至楼顶排放，本项目排气口位于 1 号楼楼顶，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。

受检/患者路径、医护人员路径、放射性药物路径详见附图 5。新建 PET 核医学科工作场所排风管线图，废水管线图详见附图 6。

10.1.3 非密封放射性物质工作场所分级、分类和分区管理

（1）非密封放射性物质工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 提供的非

密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法（日等效最大操作量计算公式为：日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子），可以计算出各核素的日等效最大操作量。计算得到的各核素的日等效操作量及分级结果见表 10-1。

表 10-1 非密封源工作场所的分级

序号	核素名称	日实际最大操作量 (Bq)	毒性因子	操作因子	日等效最大操作量 (Bq)	工作场所的分级
1	^{18}F	1.11×10^{10}	0.01 (低毒)	10 (很简单的操作)	1.11×10^7	丙级

注：根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）规定：医疗机构使用 ^{18}F 相关活动视为“很简单的操作”。

由上表可知，本项目工作场所日等效最大操作量为 $1.11 \times 10^7 \text{Bq}$ ，根据 GB18871-2002 非密封源工作场所的分级原则，本项目属于丙级非密封放射性物质工作场所。

（2）非密封放射性物质工作场所分类

根据《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）对临床核医学工作场所具体分类办法，本评价项目使用的放射性核素加权活度见表 10-2。

表 10-2 非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度 (Bq)	放射性核素加权活度 (Bq)	总加权活度 (Bq)	场所分类
PET-CT 机房及候诊区	^{18}F	1	10	1.11×10^{10}	1.11×10^9	1.11×10^9	II 类
药物分装注射室	^{18}F	1	1	1.11×10^{10}	1.11×10^{10}	1.11×10^{10}	II 类
加权活度=日操作最大活度×核素毒性权重因子÷操作性质修正因子							

本项目新建 PET 核医学科工作场所属于 II 类工作场所，对照《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）中关于“按不同级别工作场所室内表面和装备的要求”，各类工作场所要求见下表 10-3。

表 10-3 按不同级别工作场所室内表面和装备的要求

工作场所	地面	表面	通风橱	室内通风	管道	清洗及去污设备
II 类	易清洗且不易渗透	易清洗	需要	有较好通风	一般要求 ^①	需要

注① 下水道宜短，大水流管道应有标记一遍维修检测。

环评要求：医院应按表 10-3 的要求，在辐射工作区的地面采取易清洁、不易渗透的材料，如 PVC 胶；墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料；含放射性废液的排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。

(3) 分区管理

①分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴电离辐射警告标志；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

②控制区和监督区划分情况

控制区： PET-CT 机房、注射后 VIP 观察室、分装注射室、源库、留观室，病人卫生间及更衣室、衰变池和活性区域内走廊设为控制区，以实体为边界。

监督区：控制室、卫生通过间为监督区，以实体为边界。

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

A、控制区防护手段与安全措施

- a、控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的电离辐射警告标志；
- b、制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- c、运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；
- d、定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

B、监督区防护手段与安全措施

- a、以黄线警示监督区的边界；
- b、在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- c、定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否

需要更改监督区的边界。

本项目核医学用房的控制区和监督区划分情况见附图 5，红色区域为控制区，黄色区域为监督区。

表 10-4 本项目核医学科控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
1 号楼 地下一层	PET-CT机房、注射后VIP观察室、分装注射室、源库、留观室、病人卫生间及更衣室、衰变池和活性区域内走廊	控制室、卫生通过间

10.1.4 辐射工作场所屏蔽设计

(1) 辐射工作场所屏蔽设计

本项目核医学科辐射防护屏蔽设计参数表见表 10-5。

表 10-5 辐射工作场所屏蔽设计方案

功能用房	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
PET-CT 机房	西侧、北侧墙体	24cm 混凝土砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	东侧、南侧墙体	24cm 实心砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	观察窗	6mmPb 铅玻璃
	患者防护门	内衬 4mm 厚铅板
	工作人员防护门	内衬 6mm 厚铅板
	顶棚	16cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂料
药物 分装注射室	西侧、北侧墙体	24cm 混凝土砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	东侧、南侧墙体	24cm 实心砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 4mm 厚铅板
	顶棚	16cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂料
	通风橱	50mmPb
	¹⁸ F 注射窗	20mmPb 铅玻璃
VIP 观察室	南侧、西侧墙体	24cm 混凝土砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	北侧、东侧墙体	24cm 实心砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 4mm 厚铅板
	顶棚	16cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂料+11mm 铅板
留观室	南侧、西侧墙体	24cm 混凝土砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	北侧、东侧墙体	24cm 实心砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	顶棚	16cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 4mm 厚铅板
源库	南侧、西侧墙体	24cm 混凝土砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	北侧、东侧墙体	24cm 实心砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	防护门	内衬 4mm 厚铅板
	顶棚	16cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂料
卫生间（2 间）	南侧墙体	24cm 混凝土砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	东、北、西侧墙体	24cm 实心砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	顶棚	16cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂料

	防护门	内衬 4mm 厚铅板
给药后病人待检通道及病人离开通道	墙体	24cm 混凝土砖墙+4cm 硫酸钡涂料
入口、出口	防护门	内衬 6mm 厚铅板

注：①施工使用的混凝土砖密度 $\geq 2.35 \text{ t/m}^3$

②放射性药物专用注射窗外观示意图见图 10.1。



图 10-1 放射性药物专用注射铅窗外观示意图

(2) PET-CT 机房

本项目 PET-CT 属 III 类射线装置，其机房的屏蔽设计及辐射影响评价见报告表第十一章节。

表 10-6 本项目 PET-CT 机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		标准要求		符合性评价
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m^2)	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m^2)	
PET-CT 机房	5.20	40.04	4.5	30	符合

表 10-7 PET-CT 机房屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量 (mmPb)	标准要求	是否符合要求
PET-CT 机房 (1 间)	东侧、南侧墙体	24cm 实心砖墙+4cm 硫酸钡涂料	6.5	2 (一般工作量) 2.5 (较大工作量)	是
	西侧、北侧墙体	24cm 混凝土砖墙+4cm 硫酸钡涂料	6.0		是
	顶棚	16cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂料	5.5		是
	防护门	内衬 4mm 铅板	4.0		是
	观察窗	6mmPb 铅玻璃	6.0		是

注：混凝土密度取 2.35 t/m^3 ；实心砖密度取 1.65 g/cm^3 核算等效屏蔽厚度。折算铅当量参考《医用 X 射线诊断放射防护要求》(GBZ 130-2013)；16cm 钢筋混凝土在 140kV 管电压下保守折算为 1.5mmPb，24cm 砖在 140kV 管电压下保守折算为 2 mmPb；1cm 硫酸钡等于 1mmPb。

10.1.5 辐射安全和防护、环保相关设施

1、辐射安全措施

①PET-CT机房设置门灯联锁装置 1 套，机房与控制室之间拟设置对讲装置与监视器。

②在PET-CT机房防护门、留观室防护门、药物分装注射室防护门、源库防护门、通风橱、衰变桶等处设置电离辐射警告标志；在PET-CT机房、分装注射室防护门上方安装工作状态指示灯。

③核医学科进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁带药受检者随意进出，严禁无关人员滞留或误入。在PET-CT控制室内拟设有监视和对讲系统；在PET-CT机房、注射后VIP观察室、留观室、注射窗口、病人走廊处等拟设有监控系统，监控显示屏拟设置在控制室内，以便于控制室工作人员及时掌握病人状态和活动情况，及时发现突发情况并及时进行处理；在分装注射室和候诊区之间、注射窗口处、PET-CT控制室与留观室、扫描室之间等安装对讲系统，以对辐射工作场所的情况进行实时监控。

④¹⁸F核素分装操作在通风橱内进行，通风橱防护铅当量不低于 50mmPb，通风橱通风速率不小于 1m/s，设独立排风管道。

⑤注射后观察室设置患者专用厕所，分装注射室与卫生通过间设有清洗和去污设施，放射废水直接流向衰变池。给药后受检者在各自给注射后VIP观察室内进行候诊严禁串门，PET注射后VIP观察室床位之间设置 240mm混凝土砖墙隔开，以防止患者之间相互照射影响，严禁患者在通道内穿行，以避免与其他受检者之间的交叉照射；受检者的排泄、呕吐物等均由受检者专用厕所排放至衰变池内。

⑥淋浴间和注射后VIP观察室、留观室的卫生间洗手台均设置为感应式水龙头，控制区内专用卫生间的便池拟设为感应式节水座便马桶。

⑦源库保险柜拟实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用情况及注销情况等，实行严格登记建档。

⑧防护设备与防护用品

根据《医用X射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，建设单位拟配置的个人防护用品见表 10-8。

表 10-8 新建PET核医学科工作场所拟配置的个人防护用品表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	通风橱	分装注射室	1 台	50mmPb
2	储源铅罐	分装注射室	1 个	50mmPb
3	衰变桶	污物贮存间	5 个	20mmPb
4	全自动分装仪	分装注射室	1 个	/

5	注射器防护套	分装注射室	1 个	20mmPb
6	人员立式注射防护车	分装注射室	1 个	20mmPb
7	PET 转运注射罐	分装注射室	1 个	20mmPb
8	注射窗口	分装注射室	1 个	20mmPb
9	铅提盒	分装注射室	1 个	2mmPb
10	PET 机房移动式铅屏风	PET 机房	1 个	20mmPb
12	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	PET-CT 机房	2 套	0.5mmPb
13	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	分装注射室	2 套	0.5mmPb
14	工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	/	按需购买	/

表 10-9 核医学科拟配置的监测仪器一览表

名称	量程参数	数量（台/套）
α/β 表面污染仪	α : 0~9999cps, $0.03\sim 10^4\text{Bq/cm}^2$ β : 0~9999cps, $0.3\sim 10^4\text{Bq/cm}^2$	1
活度计	0~250GBq(6Ci)	2
个人剂量报警仪	剂量当量率: Hp (10) $0.1\mu\text{Sv/h}$ - 99.99mSv/h	2
便携式 X- γ 射线巡测仪	剂量当量率: $0.01\mu\text{Sv/h}\sim 300\text{mSv/h}$	1

本项目核医学科运行期间主要污染物为 X- γ 射线、 β 表面污染等，根据项目特点，医院拟配置 α/β 表面污染仪等监测仪器，符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

2、源室的辐射安全措施

(1) 核医学科使用的放射性药物 (^{18}F) 应向厂商按需订购，生产厂商根据医院订购合同，按时定量将放射性药物送达核医学科源库，使用时工作人员从源库内拿出，连同铅罐包装放置于通风橱内。

(2) 源库应防火、防盗（保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频监控并入科室和 110 监控系统、门口设置红外报警系统和电离辐射标志）。

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

(4) 应定期检查放射性药物的实际库存数量及贮存场所。

3、放射性表面污染控制

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏。

②操作放射性药物时，须在有负压的通风橱内进行，防止放射性物质飞散；所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

4、人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、本次评价范围内其他工作人员或公众。

（1）辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

①屏蔽防护：通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备铅防护手套、铅橡胶围裙等个人防护用品，注射器配备注射防护套。PET 机房内设置移动铅屏风。

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

④本项目核医学所有辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

（2）其他工作人员及公众的防护

为减少其他工作人员及公众的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

辐射工作场所周围环境中的其他工作人员及公众主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护，工作场所周围设置明显的电离辐射警告标志、隔离措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间，增大人员与辐射场所之间的防护距离。

5、操作过程中的防护措施

（1）放射性药品的操作防护

放射性药物的分装操作均在通风橱内进行，通风橱操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。通风橱底部拟设有 20mmPb 衰变桶，用于暂时收集放射性废物，装满的收集桶置于污物贮存间。

放射性药物在注射过程中医生均要做好个人防护措施，包括穿戴铅衣、铅帽、铅手套和铅围脖等，均具备 0.5mmPb 当量，注射操作台拟采用 20mm 铅当量的铅玻璃防护，并使用注射防护手套。注射操作时，医生（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧；病人注射后进入 VIP 观察室等候检查。

（2）服药和注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性，陪护人员不允许在观察室等控制区内驻留，同时要求病人在注射后观察期内禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入专用厕所，最终排入本项目拟建衰变池。

10.2 “三废”的治理

10.2.1 放射性废水

（1）放射性废水来源

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

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

（2）放射性废水排放方式及管道设置

本项目衰变池拟设置于新建 PET 核医学科工作场所北侧病人通道出口处，排水总管道深埋地下。衰变池拟设置为并联式，由 3 个衰变池组成，衰变池单个容积为 4m^3 ，总容积 12m^3 。产生的放射性废水经专用管道排入 1#衰变池。当 1#衰变池收集废液时，其余两个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，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，待 3#衰变池贮满时关闭该阀门，对 1#衰变池水进行检测，符合标准即将其排入医院总下水道。3 个衰变池按照上述程序，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。

衰变池四壁及底板要求坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，应加以密封，应有防渗和防漏的措施。所有连接放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能，除深埋地下管道，本项目露面管根部位拟用 2~4mm 铅板包裹。放射性废水处理系统示意图见图 10-2，放射性废水收集管线图详见附图 6。

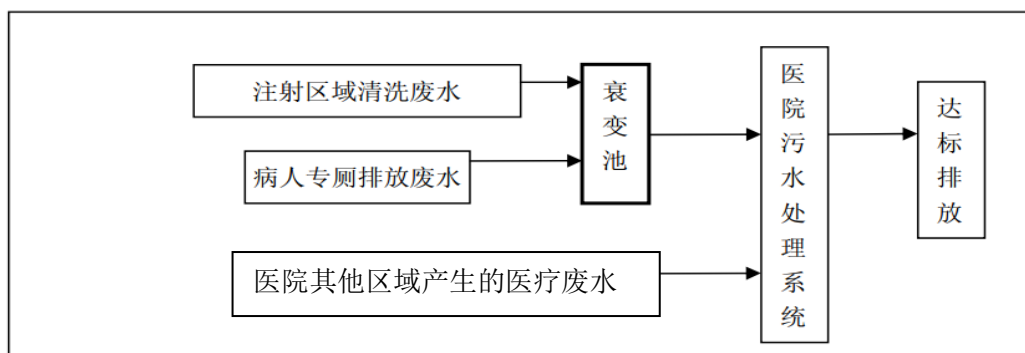


图 10-2 放射性废水处理系统示意图

10.2.2 放射性固废

本项目核医学工作场所工作人员操作过程产生的注射器、棉棒、一次性卫生用品和垫料及废气处理定期更换的废活性炭等放射性废弃物。本项目源库内设有衰变桶，医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所铅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应不超过 0.1mSv/h，重量不超过 20kg。对注射器和碎玻璃器皿等含尖刺及棱角的放射性废物，先装入硬纸盒或其他包装材料中，然后再装入塑料袋内，装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于源库的铅衰变暂存容器，让放射性物质自行衰变，贮存十个半衰期按普通医疗固废委托有资质单位处置。

环评要求：

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

②对所有放射性固体废物采用先分类收集在各自相关工作场所的专用废物桶内，再将废物桶内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放到废物间内，集中收储一段时间后（视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的“放射性固体废物贮存单位应当建立放射性固体废物贮存情况记录档案，如实完整地记录贮存的放射性固体废物的来源、数量、特征、贮存位置、清洁解控、送

交处置等与贮存活动有关的事项”等相关规定。

10.2.3 废气

本项目涉及放射性药物使用，本项目拟采取的处理措施如下：

（1）拟在新建 PET 核医学科工作场所分装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，通风橱通风速率不小于 1m/s。通风橱通过独立专用管道沿 1 号楼外墙至楼顶排放，排放口设置高效活性炭过滤器，废气经吸附过滤后排放，本项目排气口位于 1 号楼楼顶，高于本建筑屋脊。

（2）拟在核医学科控制区域设置通风系统，拟在 PET-CT 机房、注射后 VIP 观察室、分装注射室等工作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），通过专用管道最终汇至主排风管后沿 1 号楼外墙至 1 号楼楼顶排放，本项目排气口位于 1 号楼楼顶，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。

（3）加强核素治疗区域通风效果，在不影响区域内空调正常使用的情况下，尽可能加快区域内换气次数。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期影响分析

1、机房装修

施工期污染源项主要为施工噪声、施工废水、建筑粉尘、建筑废渣以及施工人员产生的生活废水与生活垃圾，环评提出如下控制措施：

- (1) 施工过程中应加强施工管理，对施工时段、施工进度作精心安排、系统规划。
- (2) 项目施工设备的选择应考虑选择低噪声设备，避免在夜间进行施工。
- (3) 施工人员的生活废水依托院区内的污水处理管网收集处理。
- (4) 施工人员产生的生活垃圾可依托市政垃圾收运系统收集处理。
- (5) 施工期的建筑垃圾应单独堆放，并委托环卫部门妥善处理，及时清运或定期运至环卫部门指定的地点安全处理处置。
- (6) 保持施工场地清洁卫生，定期洒水降尘。
- (7) 在符合建筑设计和辐射防护要求的前提下，装修施工应尽量节约材料。

由于施工期短，施工范围小，通过对施工时间段的控制以及施工现场管理等手段，施工期对环境产生的影响较小，并且该影响随施工期的结束而消除。

2、设备安全调试

本环评要求本项目 PET-CT 装置的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试。在 PET-CT 装置安装调试阶段，应加强辐射防护管理，保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体及防护门窗的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 运行阶段对环境的影响

11.2.1 主要放射性同位素辐射环境影响计算分析

1、治疗人数及使用量

PET-CT 显像：使用 ^{18}F 显像，每天不超过 30 人（次），每年不超过 7500 人（次），每人使用的核素不超过 10mCi。

2、计算相关参数

^{18}F 空气比释动能率常数 Γ 来源于AAPMTaskGroup108，本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表见表 11-1。

表 11-1 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{18}F
铅半值层厚度 HVL	5.6mm
砼半值层厚度 HVL ($\rho=2.35\text{t/m}^3$)	6.4cm
实心砖半值层厚度 HVL ($\rho=1.65\text{t/m}^3$)	9.1cm
空气比释动能常数 Γ ($\mu\text{Gy m}^2/(\text{h MBq})$)	0.143

公式参考《辐射防护技术与管理》第一卷、《辐射源室屏蔽设计与评价》，辐射剂量率估算公式为：

辐射剂量率估算公式为：

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

式中： D_r ： γ 剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

K^{-1} ： 屏蔽减弱系数， 无量纲；

A： 放射源的预期最大放射性活度， MBq；

Γ ： 空气比释动能常数， $\mu\text{Gy m}^2/(\text{h MBq})$ ；

R： 距放射源的距离， m。

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

式中： K^{-1} ： 屏蔽减弱系数， 无量纲；

h： 屏蔽层的厚度， mm；

HVL： 半值层厚度， mm。

居留因子参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）选取，具体数值见表 11-2。

表 11-2 停留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2： 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5： 走廊、雇员休息室、职员休息室

偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗室房门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场, 车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯
------	------	----------	--

3、工作场所辐射水平分析及预测

(1) 源库

本项目显像所用核素 ^{18}F , 医院根据与病人预约情况向药物供应商订货, 由药物供应商将药物放置于铅罐, 直接运输至源库待用。

核素应用过程中产生的放射性固废暂存于源库的衰变桶(20mm 铅当量, 容积 20L)内, 源库南侧、西侧墙体为 24cm 混凝土砖墙+4cm 硫酸钡涂料, 北侧、东侧墙体为顶棚为 24cm 实心砖墙+4cm 硫酸钡涂料, 防护门内衬 4mm 铅板, 放射性固废在源库暂存衰变期间对周围环境影响很小。

(2) 分装注射室

工作人员给药前, 将 ^{18}F 等放射性药物从源库连同铅罐拿到分装注射室, 分别放置于通风橱内(50mmPb), 给药前的药物分装在通风橱内进行。工作人员从通风橱取药后走到注射位的过程时, 穿戴有 0.5mmPb 的防护衣, 装有药物的注射器防护套(20mmPb), 到达放射性药物专用注射窗口后对受检者进行注射(^{18}F 注射窗 20mmPb)。

(3) VIP观察室

PET-CT 注射后每间 VIP 观察室拟设置 2 张沙发, 并在中间设置移动铅屏风(10mm 铅当量)。 ^{18}F 扫描病人服用药物经过一段时间的等待, 药物活度已经小于 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi), 偏保守的角度仍按单个病人 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) 点源计算, 则计算时 PET-CT 注射后 VIP 观察室总源强总活度为 $7.4 \times 10^9 \text{Bq}$ (20mCi) ^{18}F 。

(4) PET-CT 机房

PET-CT 机房内每次仅能扫描一个病人, 经过一段时间的等待, 药物活度有所减小, 偏保守考虑仍按单个病人 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi) ^{18}F 点源计算。机房内医护人员摆位穿着 0.5mmPb 当量的防护衣, 在防护屏风(PET-CT 机房为 20mmPb 当量)后进行摆位工作, 按身体距离病人约 0.5m 进行估算。本项目设置 15 个关注点, 关注点位图详见附图 5。

表 11-3 新建 PET 核医学科工作场所辐射剂量率计算结果

关注点位	关注点位置	受照者类型	源强	与源的距离(m)	屏蔽材料及厚度	关注点辐射水平 ($\mu\text{Gy/h}$)
------	-------	-------	----	----------	---------	------------------------------

1#	PET-CT机房 摆位处	职业 照射	^{18}F 370MBq	0.5	20mmPb铅屏风 +0.5mmPb铅衣	16.73
2#	PET-CT机房 东南侧观察窗 外 30cm处	职业 照射	^{18}F 370MBq	4.5	20mmPb铅玻璃	0.22
3#	PET-CT机房 东南侧防护门 外 30cm处	职业 照射	^{18}F 370MBq	6.5	6mm厚铅板	0.60
4#	PCT-CT机房 南侧防护门 外 30cm处	职业 照射	^{18}F 370MBq	5.5	4mm厚铅板	1.07
5#	PET-CT机房 顶棚外 30cm处	公众 照射	^{18}F 370MBq	4.5	16cm混凝土+4cm硫 酸钡涂料	0.28
6#	分装注射室 ^{18}F 注射位	职业 照射	^{18}F 370MBq	0.5	20mmPb注射窗 +0.5mmPb铅衣	16.73
7#	分装注射室 通风橱表面 30cm处	职业 照射	^{18}F 11100MBq	0.5	20mmPb铅罐 +50mmPb通风橱 +0.5mmPb铅衣	0.17
8#	分装注射室 ^{18}F 从通风橱到 注射位	职业 照射	^{18}F 370MBq	0.5	20mmPb防护套 +2mmPb铅提盒 +0.5mmPb铅衣	13.06
9#	分装注射室顶 棚外 30cm处	公众 照射	^{18}F 370MBq	4.5	16cm混凝土+4cm硫 酸钡涂料	0.28
10#	分装注射室 东南侧墙体外 30cm处	职业 照射	^{18}F 370MBq	3.5	24cm实心砖墙+4cm 硫酸钡涂料	0.42
11#	源库顶棚外 30cm处	公众 照射	^{18}F 11100MBq	4.5	50mmPb铅罐+16cm 混凝土+4cm硫酸钡 涂料	0.02
12#	注射后VIP观察 室顶棚外 30cm 处	公众 照射	^{18}F 740MBq	4.5	16cm混凝土+4cm硫 酸钡涂料+11mm铅板	0.14
13#	留观室 东侧墙体外 30cm处	职业 照射	^{18}F 370MBq	3.5	24cm实心砖墙+4cm 硫酸钡涂料	0.42
14#	留观室顶棚外 30cm处	公众 照射	^{18}F 370MBq	4.5	16cm混凝土+4cm硫 酸钡涂料	0.28
15#	病人走道南侧 东侧墙体外 30cm处	公众 照射	^{18}F 370MBq	4.5	24cm混凝土砖墙 +4cm硫酸钡涂料	0.12

从表 11-3 可以看出, 本项目新建 PET 核医学科工作场所四周 (核医学控制区外部) 的辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Gy/h}$, 屏蔽设计满足要求, 项目对周围环境的辐射影响是可以接受的。

4、工作人员及公众所受剂量评价

(1) 计算公式

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{\text{Eff}} = D_r \times t \times T \times U \quad (\text{式11-3})$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

D_r ——辐射剂量率，Gy/h；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子；

U ——使用因子，放射性核素以点源考虑， U 取1。

保守估算，近似取1Gy=1Sv。

（2）人员配置及工作班制

核医学科拟设置6名辐射工作人员，具体工作岗位设置如下：分装和注射工作人员2人（两人轮岗）；PET-CT医生2人，技师2人（两人轮岗）负责摆位阅片和设备操作；本项目核医学科年工作250天，每天工作8h。本项目中辐射工作人员均为医院核医学科人员，核医学科内员工分工明确，经核实后无兼岗。

（3）工作人员及公众年剂量估算。

工作人员和公众年剂量估算结果见表11-4。

表 11-4 工作人员与公众剂量估算结果

关注对象	受照射剂量率 (μGy/h)		居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)	合计 (mSv)
PCT-CT机房内摆位人员	1#	16.73	1	每人摆位1min，2人轮岗，每人全年摆位3750次，共62.5h	1.05	1.05
PET-CT控制室操作人员	3#	0.60	1	扫描时间15min，全年7500次，共1875h	1.13	1.13
分装注射人员	6#	16.73	1	2人轮岗，每人每年注射3750人次，每次0.5min，共62.5h	1.05	1.88
	7#	0.166		2人轮岗，每人每年分装3750人次，每次0.5min，共62.5h	0.01	
	8#	13.06		2人轮岗，每人每年取运输3750人次，每次0.5min，共62.5h	0.82	
注射后VIP观察室楼上人员	12#	0.14	1	每批观察40min，每天共8批次，年工作250天，共1333.3h	0.19	
留观室楼上人员	14#	0.28	1/8	每天工作8h，工作250天，共2000h	0.07	

由上表可知，本项目辐射工作人员最大年有效剂量为1.88mSv，可满足辐射工作人

员年剂量约束值小于或等于 5mSv 的要求。公众最大年有效剂量为 0.19mSv，可满足公众人员年剂量约束值小于或等于 0.25mSv 的要求。因此，本项目在正常工况下，对周围环境的辐射影响可接受。

11.2.2 PET-CT 机房辐射环境影响类比分析

本项目 PET-CT 显像使用的核素为 ^{18}F ，工作中单个病人核素用量最大用量为 10mCi。本项目机房类比对象选取浙江大学医学院附属第二医院在用的 1 台 PET-CT 来进行类比分析。类比中只涉及剂量部分的类比，不涉及平面布置方面的类比，其防护情况详见表 11-5。

表 11-5 机房类比情况一览表

对比情况 指标	类比项目 (PET-CT 机房)	本项目 (PET-CT 机房)	
四周墙体	38cm 混凝土砖墙+3mm 铅板	西、北侧墙体: 24cm 混凝土砖墙+4cm 硫酸钡涂料	东、南侧墙体: 24cm 实心砖墙+4cm 硫酸钡涂料
	相当于 6.0mmPb 当量	相当于 6.5mmPb 当量	相当于 6.0mmPb 当量
顶棚	16cm 混凝土+2cm 硫酸钡涂料	16cm 混凝土+4cm 硫酸钡涂料	
观察窗	5mm 铅玻璃	6mmPb 铅玻璃	
防护门	3mm 铅板	4mm 铅板	
CT	/	140kV、800mA	

由表 11-5 可知，本项目墙体屏蔽能力与类比项目相当，顶棚及观察窗防护均优于类比项目，具有很好的可比性。在使用剂量方面，本项目单个病人最大使用量为 10mCi，经在候检室候诊 40min 后，病人体内活度约 7.73mCi。类比项目单个病人使用量也为 10mCi。因此可用类比项目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详见表 11-6， β 表面污染监测结果详见表 11-7。

表 11-6 类比对象 γ 辐射剂量率监测结果

点位 序号	点 位 描 述				辐射剂量率（nSv/h）	
					平均值	标准差
●1	PET 中心	观察窗	工作状态为 PET 室内有一 个注射了 10mCi ¹⁸ F 的 病人	未工作	154.4	2.1
				工作	591.4	2.9
操作位		工作		340.0	1.6	
		医生出入门 30cm 处		未工作	160.4	2.4
				工作	387.2	4.0
		西侧病人出入门 30cm 处		未工作	178.0	2.9
				工作	210.0	1.4
		●2				
●3						

●4		北侧 PET 门诊室门口		未工作	179.8	0.8
				工作	184.6	2.1
●5		病人表面 30CM 处（医生注射位）			100698	--
		病人表面 1M 处			31900	--

表 11-7 类比项目 β 表面污染类比监测结果

序号	测点描述	B 表面污染 (BQ/CM ²)
1	注射床边	1.3
2	化学合成室地面	18
3	化学合成室墙壁	1.6
4	操作工作人员衣服	1.5
5	操作工作人员废弃手套表面	1.6

(1) γ 射线类比结果

由表 11-6 的监测结果可知：病人在 PET 机房照射时，机房周围 γ 射线空气吸收剂量率最高观察窗处，其测量值为 591.4 nSv/h。注射位 γ 射线空气吸收剂量率 100698 nSv/h。

(2) β 表面污染类比结果

由表 11-7 的监测结果可知：控制区的化学合成室工作台面、设备、墙壁、地面的表面污染水平最大值为 18 Bq/cm²，符合控制区 4×10 Bq/cm² 标准的要求。工作人员的工作服、口罩、工作鞋处的表面污染最大值为 1.6 Bq/cm²，符合 4 Bq/cm² 标准的要求。

(3) 剂量率估算模式

由于采取放射性气体在通风柜内分装，放射性工作场所不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物品等制度，辐射操作人员可避免内照射的影响，因此，本项目仅考虑根据式 11-3 计算外照射对工作人员的辐射影响。

辐射工作人员受到的辐射照射来自为病人注射核素、摆位等过程产生的照射。现假设：

- A、某一工作人员每次注射 ¹⁸F 核素（X- γ 辐射剂量率取 100698nSv/h）0.5 分钟，在医生观察窗处（X- γ 辐射剂量率取 591.4 nSv/h）操作 15 分钟。年操作约 7500 人次；
- B、每次操作医生均穿戴 0.5mm 铅当量的铅衣做防护；
- C、所有工作由核医学科注射 ¹⁸F 核素至少由 2 名工作人员承担。

根据监测结果和式 11-3 可以计算出平均每位辐射工作人员接受的附加年有效剂量当量约为 1.11mSv，低于本评价项目提出的 5mSv 的剂量约束限值，符合《电离辐射防

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

由类比项目情况和理论计算结果可知，本项目 PET-CT 机房 γ 射线和 β 放射性表面污染对周围环境的影响符合要求。

11.2.3 X射线影响分析

本评价项目拟建的 PET-CT 拥有专用的机房，射线机房的使用面积、辐射屏蔽厚度及相关防护措施均符合《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中对诊断 X 射线机房的防护设施的技术要求。由此可得知本项目在运行阶段 PET-CT 扫描装置产生的 X 射线对机房外环境的影响可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的相关要求。

此外，PET-CT 机房设有观察窗，其设置的位置便于观察到受检者和受检者状态。机房内布局合理，避免了有用线束直接照射门、窗和管线口位置；机房设置动力排风系统，并保持良好的通风。机房门外设有电离辐射警告标志、辐射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句；机房门设有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效联动。医院规定受检者和陪检者不应在机房内候诊；非特殊情况，检查过程中陪检者不得滞留在机房内。

11.2.4 放射性废物排放的环境影响分析

（1）放射性固体废物影响分析

建设单位应严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理。放射性固体废物收集在衰变桶内，再将衰变桶存放到源库内，10个半衰期后再分类处理。

本次评价建议将含 ^{18}F 的固废集中贮存， ^{18}F 的半衰期为109.7min，满足贮存十个以上半衰期则需18.3h，保守估计按1天计算。根据医院提供的资料，患者诊断过程放射性固废产生量约0.05kg/人， ^{18}F 核素治疗每天共治疗30人次，则每天产生固废量约1.5kg，每月产生固废量约45kg，每年产生固废量约540kg，1天产生固废量约1.5kg，则需1个衰变桶使用。

PET-CT注射后每间VIP观察室各需1个衰变桶使用，源库需1个衰变桶备用。则本项目总共拟设置衰变桶5个衰变桶（20mm铅当量，容积20L）。本项目将含 ^{18}F 核素的固废至少集中贮存衰变1天，可满足贮存10个半衰期以上的要求。

废气处理定期更换的废活性炭应统一放在衰变桶内，贮存十个半衰期按普通医疗固废委托有资质单位处置。

根据《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）的具体要求，放射性废

物桶内放置专用塑料袋，收纳放射性废物不应超过20kg。桶外需贴电离辐射警示标志、废物种类、比活度范围和存放日期等说明，表面剂量率小于0.1mSv/h， β 表面污染水平应小于0.4Bq/cm²。

（2）放射性废水影响分析

①放射性废水来源

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

偏安全考虑，本次放射性废水的评价内容为：来自清洗主要为分装注射室工作人员清洗废水和病人专用排放废水。

②放射性废水排放方式及管道设置

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

本项目衰变池拟设置于病人通道出口处，排水总管道深埋地下。放射性废水衰变组合池设有 3 个并联的放射性废水衰变池，其中每个衰变池容积为 4m^3 。利用 3 个衰变池对放射性废水采取交替轮流收集、贮存、排放的办法进行处理。

③放射性废水排放量

本项目核医学科各项诊疗均为门诊治疗，病人在核医学科停留时间短，采用节水型洁具。医院每日门诊按最大检查病人量 30 人计，每年则 7500 人次。参考《建筑给水排水设计规范》（GB50015-2003），门诊患者每人每次用水定额取 10L，则患者每年产生放射性废水 75m^3 。工作人员在完成一天的分装、注射工作后需进行污染监测，并进行去污清洗而产生放射性废水，每天清洗废水产生量约 200L，每年工作 250 天，则每年产生的清洗废水约 50m^3 。因此本项目新建 PET 核医学科工作场所废水产生量为 $125\text{m}^3/\text{a}$ ，平均 $0.5\text{m}^3/\text{d}$ （以 250 天计）。

④预测分析和排放情况

医院每日平均产生放射性废水总量为 0.5m^3 ，第一个衰变池存储满后，废水开始注入第二个衰变池，待第二个衰变池注满时，废水开始注入第三个衰变池。第一个衰变池最后进入的废水存储时间为： $4\text{m}^3 \times 2 / 0.5\text{m}^3 = 16$ 个工作日（即为第 3 个衰变池注满的时

间)，即可存放 16 天。

核素排入衰变池的最大活度按照当日其使用量的 15%计，估算放射性废水中各核素经 16 天衰变后的排放量，计算结果见表 11-8，可满足每一次排放的活度不超过 $1\text{ALI}_{\min}$ 的要求。

表 11-8 放射性废水排放方式及达标估算表

核素名称	半衰期	单日衰变池核素最大排入量(Bq)	注满一池核素含量(Bq)	衰变时间	衰变后核素排放量(Bq)	$\text{ALI}_{\min}(\text{Bq})$	排放浓度(Bq/L)
^{18}F	1.83 h	1.67×10^9	1.336×10^{10}	16d	<0.01	5.38×10^7	<0.01

本项目的放射性废水可以在衰变池内暂存16天，根据各放射性核素的半衰期可知，均可存放10个半衰期以上。放射性废水经衰变池衰变后，废水中各放射性核素一次排放量均小于相应核素的 $1\text{ALI}_{\min}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中放射性废液排放的相关要求，同时排放浓度满足《医疗机构水污染物排放标准》中总 β 小于 10Bq/L 的要求，对周围环境的影响是可接受的。

放射性废水排放每次排放须监测符合排放标准经审管部门同意或批准，废水排放应做好排放台账，详细记录排放时间、监测数据、排放量等内容。

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很多，本项目拟建衰变池能够满足项目新建 PET 核医学科工作场所的工作需求。

（3）放射性废气影响分析

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均为非挥发性核素，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需加热、振荡等步骤，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 1 号楼外墙至楼顶排放，排气口位于 1 号楼楼顶，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 1 号楼外墙至楼顶排放，排气口位于 1 号楼楼顶，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。

11.3 事故影响分析

11.3.1 可能产生的辐射事故

主要考虑电离辐射损伤、放射源和药物失控对环境的影响。

①由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

②由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

11.3.2 事故影响防范措施

上述辐射事故可以通过完善辐射防护安全设施、制定相关管理规章制度和辐射事故应急措施加以防范，使辐射环境风险控制在可以接受的水平。针对在运行过程中可能发生的事故，本次评价提出以下防范措施，尽可能的减小或控制事故的危害和影响，主要体现在以下几个方面：

①制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪器对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。处理药物撒漏的擦拭物收集放到放射性固体废弃物衰变箱中，作为放射性固体废物进行管理。

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。源室设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生显像剂丢失事故时，事故发生者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；向当地生态环境部门、公安部门、卫生主管部门报告，在2小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、环保和卫生主管部门对丢失显像剂（或放射源）进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

12.1.1 机构设置

根据医院提供的资料，医院已按照国务院第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等有关法律法规，结合卫生、环保等行政主管部门的规章制度，成立了放射安全委员会，委员会由各放射相关部门、科室负责人组成，院领导任小组组长，分管领导任副组长。公共卫生科、放疗科、放射介入科、保卫科及相关科室负责辐射安全防护具体工作。

12.1.2 辐射人员管理

(1) 个人剂量检测

医院现有核医学科辐射工作人员均配备了个人剂量计。根据医院提供的 2018 年第三、四季度和 2019 年第一、二季度职业外照射个人剂量监测结果统计表，辐射工作人员个人剂量当量的检测范围值为：0.008~0.506mSv，本项目辐射工作人员为医院核医学科工作人员内部调动，与其他岗位无交叉情况，个人累积剂量均未超过标准限值要求，个人剂量检测结果见附件 5。

(2) 辐射工作人员培训

医院拥有较稳定的放射诊疗技术队伍，医院现有核医学科辐射工作人员均已参加辐射防护与安全培训；部分参加过培训并取得证书的辐射安全人员统计表见附件 5。

(3) 职业健康体检

根据医院提供的资料，医院已经组织辐射工作人员进行身体健康检查，并建立了个人健康档案；所有辐射工作人员体检结果均无异常。

环评要求：

①本项目所有辐射工作人员，需要及时组织参加有资质单位举办的辐射防护与安全培训、持证上岗，并按时接受再培训；新增辐射工作人员均应配备个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案；新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托委托相关资质单位对辐射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

②本项目所有辐射工作人员的职业卫生健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；辐射工作人员的个人剂量和职业健康档案应

终身保存。

12.1.3 年度评估报告

浙江大学医学院附属医院邵逸夫医院庆春院区已按要求进行了辐射安全与防护状况年度评估，每年定期上报至发证机关。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

根据医院提供的辐射防护工作管理制度，与本项目建设内容相关的辐射防护工作制度有：《放射防护管理制度》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射工作场所防护监测制度》、《辐射剂量监测方案》、《放射影像科设备检修维护制度》、《射线装置设备检修维护制度》、《放射影像设备检修维护计划》、《人员培训计划》、《辐射事故报告制度及应急处理预案》。

在本项目建设后运行中，建议建设单位根据新建核医学的特点，制定和完善以下方面的管理制度，保证核医学科放射诊疗工作安全有序开展。

- (1) 安全管理制度：根据项目的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度；
- (2) 放射性药物的采购、领取、保管等制度；
- (3) 放射性药物登记、使用、核对及注销制度；
- (4) 放射性核素安全操作及防护制度；
- (5) 放射性三废的管理规定，对放射性三废的收集、处理、处置等作出的明确规定；
- (6) 核医学科仪器使用和管理制度以及 PET-CT 设备的操作规程。

12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，项目单位需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

12.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目核医学科应至少配置便携式个人剂量报警仪 2 台和 1 台表面污染监测仪，每名辐射工作人员均应配备个人剂

量计。

12.3.2 监测计划

(1) 现有核技术利用项目情况

①个人剂量监测和职业健康检查

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为每三个月 1 次。目前现有辐射工作人员均配有个人剂量计，并按时进行监测。

辐射工作人员职业健康检查应至少每 2 年进行 1 次，并建立职业健康监护档案且长期保存。目前现有辐射工作人员均进行了职业健康检查。

根据现场踏勘可知，建设单位已经为现有的辐射工作人员建立了个人剂量档案和职业健康档案。

②辐射工作场所及周围环境监测

A、年度监测

根据建设单位提供的年度评估报告可知，建设单位每年都委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测。

B、日常自行监测

根据现场调查，浙江大学医学院附属医院邵逸夫医院庆春院区放射科配有 1 台 X- γ 剂量率仪，定期对射线装置机房四周及门窗等部位进行自行检测。

(2) 本次环评项目情况

①个人剂量监测和职业健康检查

本次项目的新增辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为 1 次/季（每季度将个人剂量片送往有资质的检测机构进行检测）。辐射工作人员职业健康检查应至少每 2 年进行 1 次，并建立职业健康监护档案且长期保存。

②辐射工作场所及周围环境监测

A、年度监测

继续委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度检测报告应作为《辐射安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

B、日常自行监测

定期自行开展辐射监测，制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案，监测周期至少 1 次/月。

C、监测内容和要求

监测内容： α - γ 空气吸收剂量率； β 表面污染水平等、放射性废水、放射性固废。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。

监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-1 辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
核医学科	α - γ 空气吸收剂量率	控制区： PET-CT机房、VIP观察室、分装注射室、源库、留观室和活性区域内走廊等。 监督区： 控制室、卫生通过间	1次/月	1次/年
	β 表面放射性污染	工作台、注射窗、通风橱	每次核素操作结束	1次/年
		工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、患者通道、分装注射室、源库、VIP观察室、墙壁及地面等可能污染的位置	每天工作结束后	
	放射性废水	衰变池排放口总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$	每次排放前	1次/年
	放射性固废	源库（ ^{18}F 小于 10Bq/g ）	每次排放前	1次/年

监测范围：控制区和监督区域及周围环境

③放射性废物处理前监测

放射性废物在源库中放置 10 个半衰期后，经对其外照射水平及表面污染水平监测合格后，方可作为一般医疗废物进行处理。

医院应建立固废排放台账，每次固废排放应详细记录固废排放量、固废种类、核素种类、监测数据、贮存时间等参数，并存档备查。

④放射性废水排放前监测

放射性废水在衰变池内储存满开始排放前，应委托有资质的单位开展监测，每次排放废水中总 β 浓度不超过《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)规定的限值(总 $\beta \leq 10\text{Bq/L}$)。

医院应建立废水排放台账，记录每次废水排放量、排放浓度、排放时间等参数，并存档备查。

(3) 环保竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，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）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告 2018 年第 9 号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.4 辐射事故应急

12.4.1 应急预案的要求

根据国务院第 449 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，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）辐射事故的调查、报告和处理程序。

12.4.2 医院现有应急预案存在的问题与不足

根据医院目前制定的《辐射事故应急预案》，包括了辐射事故应急处理机构与职责、放射性事故应急救援应遵循的原则、放射性事故应急处理程序。此辐射事故应急预案存在的问题有：

（1）此预案缺少“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”，应按照相关法律法规要求补充完整；

（2）此预案应按照医院现有射线装置的类型及本项目新增 PET-CT 及 18F 核素的特点，补充完善相关事故处理措施和处理流程。

12.4.3 辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本

单位的辐射事故应急预案，采取必要防范措施，并根据要求在 2h 内填写《辐射事故初始报告表》，向环境主管部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

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 (1) 辐射安全防护措施结论 本项目核医学科辐射工作场所部分墙体采用混凝土砖墙结构+硫酸钡防护涂料，部分墙体采用实心砖墙+硫酸钡防护涂料进行屏蔽，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃观察窗。核医学科分装注射室拟配备专用通风橱、放射药物专用注射窗，放射性核素操作人员拟配备铅衣等个人防护用品。 在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护，减少不必要的照射，根据理论估算分析结果，该院拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。 (2) 辐射安全管理结论 浙江大学医学院附属医院邵逸夫医院庆春院区已成立放射安全防护委员会，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；该院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；该院已对辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量档案。 13.1.2 环境影响分析结论 根据第 11 章环境影响分析的理论估算结果可知，本项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对周围辐射环境影响是可以接受的，辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中对辐射工作人员和公众受照剂量限值要求以及本次评价提出的 5.0mSv/a 和 0.25mSv/a 的年剂量约束值。 13.1.3 项目选址合法性、合理性分析 (1) 项目主体功能区和土地利用规划符合性 本项目位于杭州市江干区庆春东路 3 号，利用浙江大学医学院附属邵逸夫医院庆春院区 1 号楼地下一层原规划的医疗业务用房，不新增用地，且用地性质为医疗用地，因此符合杭州市主体功能区划和土地利用规划。 (2) 环境功能区划符合性 根据《杭州市区（六城区）环境功能区划》，本项目所在区域位于“0104-IV-0-3 江干人居环境保障区”，本项目不属于《杭州市产业发展导向目录与空间布局指引》中限

制类、禁止类项目，对照区域“管控措施”和“负面清单”，能够符合环境功能区划要求，因此本项目在该医院院区内实施是可行的。

(3) 产业政策符合性和实践正当性

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（2011 年本）（修正）》（国家发展改革委 2013 年第 21 号令），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。对照《杭州市产业发展导向目录与空间布局指引(2013 年本)》，本项目不属于《杭州市产业发展导向目录与空间布局指引(2013 年本)》中规定的淘汰、限制类产品，符合杭州市产业政策。

本项目的运营可为全市病人提供诊疗服务，是提高人民群众生活质量，提高全市医疗卫生水平的重要内容，本项目具有放射实践的正当性。

综上所述，本项目选址是合法、合理的。

13.1.4 达标排放符合性

在落实报告中提出的各项污染防治措施后，本项目的放射性废水在衰变池可存放 10 个半衰期以上，经衰变池衰变后满足《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中放射性废液排放的相关要求。放射性废水排放每次排放须监测符合排放标准经审管部门同意或批准，废水排放应做好排放台账，详细记录排放时间、监测数据、排放量等内容；本项目放射性固废满足贮存 10 个半衰期以上的要求；废气处理定期更换的废活性炭应统一放在衰变桶内，贮存十个半衰期按普通医疗固废委托有资质单位处置。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 1 号楼外墙至楼顶排放，排气口位于 1 号楼楼顶，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 1 号楼外墙至楼顶排放，排气口位于 1 号楼楼顶，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。

因此，本项目辐射工作场所选址是合理可行的，项目选址合理。

13.2 公告

根据《浙江省建设项目环境保护管理办法》与《浙江省环境保护厅关于印发建设项目环境影响评价信息公开相关法律法规解读的函》相关规定，本项目在环评阶段进行了

公众参与,用张贴公示公告的方式分别对项目概况和环评的内容、主要结论进行了公示,符合相关要求。本项目公示时间为 10 个工作日,期间未接到任何意见反馈。

(4) 项目可行性

综上所述,浙江大学医学院附属邵逸夫医院新增 PET-CT 建设项目的建设符合城市主体功能区划,符合环境功能区划要求,符合土地利用总体规划,符合相关产业政策,项目实践具有正当性,且在落实报告提出的各项污染防治措施后,各污染物对周围环境产生的影响均能满足辐射环境保护的要求。医院将具备相应从事该辐射活动的技术能力,本项目营运后对周围环境的辐射影响是可以接受的,符合辐射环境保护的要求,故从辐射环境保护角度论证,该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议和承诺

13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训,提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施自觉性,杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

(1)医院承诺按照国家相关法律法规及环评报告的要求补充和更新相关辐射安全管理规章制度。

(2)医院承诺按照国家相关法律法规及环评报告的要求补充和完善辐射事故应急预案和应急措施,使其具有针对性和操作性,并及时将应急预案向生态环境部门备案。

(3)医院承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理措施等辐射环保内容进行建设。加强辐射工作人员的管理,监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查,并按要求建立保管辐射工作人员档案,并终身保存。

(4)医院承诺在本次环评报告取得环评批复后及时重新申领辐射安全许可证;在本项目正式运行前根据《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》(国环规环评[2017]4号),在规定的验收期限内,对配套建设的环境保护设施进行验收,编制验收报告。

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	