

核技术利用建设项目

通用电气医疗系统（天津）有限公司
新建使用非密封放射性物质及丙级
非密封放射性物质工作场所项目
环境影响报告表

通用电气医疗系统（天津）有限公司

2022年3月



核技术利用建设项目

通用电气医疗系统（天津）有限公司 新建使用非密封放射性物质及丙级 非密封放射性物质工作场所项目 环境影响报告表

建设单位名称：通用电气医疗系统（天津）有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：陈和强

通讯地址：天津市空港经济区经三路266号

邮政编码：300308 联系人：朱磊

电子邮箱：leizhu@ge.com

联系电话：022-58803113

编制单位和编制人员情况表

项目编号	d035x0		
建设项目名称	新建使用非密封放射性物质及丙级非密封放射性物质工作场所项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
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）	通用电气医疗系统（天津）有限公司		
统一社会信用代码	91120116596134922G		
法定代表人（签章）	陈和强		
主要负责人（签字）	王亚男		
直接负责的主管人员（签字）	朱磊		
二、编制单位情况			
单位名称（盖章）	中国电子工程设计院有限公司		
统一社会信用代码	91110000400007412C		
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
丁准剑	2014035110350000003512110092	BH015564	
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
丁准剑	校对	BH015564	
李雪梅	审定	BH015659	

周玲	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物（重点是放射性废弃物）、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、辐射安全防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	BH030858	
----	---	----------	---



建设项目环境影响报告书（表） 编制情况承诺书

本单位中国电子工程设计院有限公司（统一社会信用代码91110000400007412C）郑重承诺：本单位符合《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》第九条第一款规定，无该条第三款所列情形，不属于（属于/不属于）该条第二款所列单位；本次在环境影响评价信用平台提交的由本单位主持编制的新建使用非密封放射性物质及丙级非密封放射性物质工作场所项目环境影响报告书（表）基本情况信息真实准确、完整有效，不涉及国家秘密；该项目环境影响报告书（表）的编制主持人为丁淮剑（环境影响评价工程师职业资格证书管理号2014035110350000003512110092，信用编号BH015564），主要编制人员包括李雪梅（信用编号BH015659）、周玲（信用编号BH030858）、丁淮剑（信用编号BH015564）（依次全部列出）等3人，上述人员均为本单位全职人员；本单位和上述编制人员未被列入《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》规定的限期整改名单、环境影响评价失信“黑名单”。

承诺单位(公章):

2022年 01月28日



仅供新增丙类非密封放射场所项目
环保咨询服务项目使用，复印无效。
。01/28/2022



统一社会信用代码
91110000400007412C

营业执照

(副本) (12-1)



扫描二维码登录
“国家企业信用
信息公示系统”
了解更多登记、
备案、许可、监
管信息

名称 中国电子工程设计院有限公司
类型 有限责任公司(法人独资)
法定代表人 娄宇

注册资本 50000万元
成立日期 1992年08月27日
营业期限 2017年12月04日至 长期
住所 北京市海淀区西四环北路160号3层二区317

经营范围 承包与其实力、规模、业绩相适应的国外工程项目；对外派遣实施上述境外工程所需劳务人员；出版《洁净与空调技术》(限本公司内设机构期刊编辑部出版，有效期至2023年12月31日)；压力管道设计GB2级、GC1(1)(2)级；城市规划；工程咨询；造价咨询；环境影响评价；节能环保；各行业、各等级建筑设计；工程装饰；项目管理；房屋建筑施工总承包；计算机硬件、电子仪器仪表的开发、销售；建筑及相关工程设备、材料的开发、生产、代理销售；《洁净与空调技术》期刊广告的设计、发布、代理业务；进出口业务；技术开发；技术转让；技术服务；软件开发；软件销售；应用软件开发；(市场主体的依法自主选择经营项目，开展经营活动；依法须经批准的项目，经相关部门批准后依批准的内容开展经营活动；不得从事国家和本市产业政策禁止和限制类项目的经营活动。)



登记机关

2020年12月23日



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 00015977
No.



丁淮剑 00039

持证人签名:
Signature of the Bearer

管理号 [Redacted]
File No.

姓名: 丁淮剑
Full Name

性别: 男
Sex

出生年月: [Redacted] 09
Date of Birth

专业类别:
Professional Type

批准日期: 2014年5月25日
Approval Date

签发单位盖章:
Issued by

签发日期: 2014年11月13日
Issued on



北京市社会保险个人权益记录(单位职工缴费信息)



社会保险登记号: 91110000400007412C

校验码: lmiktt

统一社会信用代码 91110000400007412C

查询流水号: 108020220214142527

(组织机构代码):

单位名称: 中国电子工程设计院有限公司

查询日期: 2021年01月至2022年01月

序号	姓名	社会保障号码	险种	缴费情况		本单位实际 缴费月数
				起始年月	截止年月	
1	丁淮剑	[REDACTED]	养老	2021年01月	2021年12月	12
			失业	2021年01月	2021年12月	12
			工伤	2021年01月	2021年12月	12
			医疗	2021年01月	2021年12月	12
			生育	2021年01月	2021年12月	12
2	李雪梅	[REDACTED]	养老	2021年01月	2021年12月	12
			失业	2021年01月	2021年12月	12
			工伤	2021年01月	2021年12月	12
			医疗	2021年01月	2021年12月	12
			生育	2021年01月	2021年12月	12
3	周玲	[REDACTED]	养老	2021年01月	2021年12月	12
			失业	2021年01月	2021年12月	12
			工伤	2021年01月	2021年12月	12
			医疗	2021年01月	2021年12月	12
			生育	2021年01月	2021年12月	12

- 备注:
- 如需鉴定真伪,请自 2022年02月15日起30日内通过登录 <http://fuwu.rsj.beijing.gov.cn/bjdkhy/ggfw/>, 进入“社保权益单校验”, 录入校验码和查询流水号进行甄别, 黑色与红色印章效力相同。
 - 为保证信息安全, 请妥善保管个人权益记录。
 - 养老、工伤、失业保险相关数据来源于社保经(代)办机构, 医疗、生育保险相关数据来源于医保经办机构。医疗、生育保险暂不支持实时查询, 系统维护中, 将于近期完成开发上线。

北京市海淀区社会保险基金管理中心

日期: 2022年02月14日

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	9
表 3 非密封放射性物质	10
表 4 射线装置	11
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	12
表 6 评价依据	13
表 7 保护目标与评价标准	15
表 8 环境质量和辐射现状	21
表 9 项目工程分析与源项	26
表 10 辐射安全与防护	39
表 11 环境影响分析.....	46
表 12 辐射安全管理	58
表 13 结论与建议	64
表 14 审批	67

附图

附图 1 项目地理位置示意图

附图 2 项目周边环境状况示意图

附件

附件 1 营业执照

附件 2 项目场所产权证

附件 3 校准源环境影响登记备案表

附件 4 通用电气医疗系统（天津）有限公司辐射安全许可证

附件 5 辐射环境现状检测报告

附件 6 安迪科供货协议

附件 7 本项目所在厂房环评及验收批复

附件 8 现有辐射工作场所 2021 年检测报告及部分季度个人剂量检测报告

附件 9 部分模体照片

表 1 项目基本情况

建设项目名称	新建使用非密封放射性物质及丙级非密封放射性物质工作场所项目				
建设单位	通用电气医疗系统（天津）有限公司				
法人代表	陈和强	联系人	朱磊	联系电话	██████████
注册地址	天津市空港经济区经三路 266 号				
项目建设地点	天津市空港经济区经三路 266 号主厂房				
立项审批部门	/		批准文号	/	
建设项目总投资（万元）	900	项目环保投资（万元）	248.7	环保投资比例	30.4%
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）	--
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I类 <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV类 <input type="checkbox"/> V类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input checked="" type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II类 <input type="checkbox"/> III类		
	其他				

项目概述

1.建设单位情况

通用电气医疗（GEHC）是通用电气旗下的一个高科技业务单位，在提供革命性医疗技术和服 务，定义新时代病人护理方面走在世界前列。通用电气医疗集团在医学成像和信息技术、医学诊断、病人监控系统方面拥有丰富的专业知识，帮助全球各地的临床医生研发预测、诊断、报告、治疗及监控疾病的新方法。

通用电气医疗（GEHC）在天津空港经济区设立通用电气医疗系统（天津）有限公司，建设通用电气医疗及生命科学仪器设备生产基地，总占地面积为 204087m²，厂区总体规划分为三期建设。项目建成后将引进国内外先进的生产组装设备，以组装产品，主要产品为超导磁体、医疗影像类诊断设备，达产后年产值预计达 30 亿元人民币，以供应国、内外市场需求。目前，通用电气医疗及生命科学仪器设备生产基地（一期）已投资建成，厂区可年产超导磁体 500 个，核磁共振影像系统（MR）等系统柜（医疗影像类诊断设备）1000 个。

通用电气医疗系统（天津）有限公司在 2012 年 9 月取得了天津空港经济区环境保护局《关于通用电气医疗及生命科学仪器设备生产基地（一期）环境影响报告表的批复》（津空环保许可表【2012】31 号）。之后对该环境影响报告表进行了验收，并于 2015 年 3 月取得了天津空港经济区环境保护局《关于通用电气医疗及生命科学设备生产基地一期项目（分阶段）环保设施竣工验收许可意见》。环评及验收批复见附件 7。

2.项目由来

为落实医疗设备产地国产化的需求，进一步拓展公司业务市场。GE 医疗天津工厂从 GE 医疗美国工厂进口 PET 部分，与我司生产的 MR 产品组合后进行联机测试，测试通过后进行整体销售给客户，销售过程中不带有放射源。

根据目前国家药监局对 PET-MR 产品的生产注册要求，需在产品注册前进行联合测试，经过检定认证后，方可进行医疗设备注册，GE 医疗天津工厂作为 GE 医疗国内最大的 MR 生产基地，为满足业务需求，拟投资 900 万元在现有厂区主厂房内新建一座 PET-MR 测试间，并使用非密封放射性物质（¹⁸F）用于 PET-MR 产品的注册认证检测，本项目 ¹⁸F 日等效最大操作量为 1.5×10⁶Bq，属于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（2021 年）》（生态环境部令第 16 号），本项目属于“五十五、核与辐射 172、核技术利用建设项目”中“乙、丙级非密封放射性物

质工作场所”，应编制环境影响报告表。

本项目使用 6 组 ^{68}Ge 校准源对 PET 设备进行装机校准，活度见表 1-1，属于 V 类放射源，已在建设项目环境影响登记表备案系统完成备案，不纳入本次建设内容。

表 1-1 使用的放射源 ^{68}Ge 一览表

序号	活度 (Bq) × 枚数	类别	用途	使用场所	贮存方式和地点
1	$5.5 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$	V	PET MR 校准源	PET-MR 测试间	铅柜，储源室
2	$0.7 \times 10^6 \text{Bq} \times 5$	V	PET MR 校准源	PET-MR 测试间	铅柜，储源室
3	$9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$	V	PET MR 校准源	PET-MR 测试间	铅柜，储源室
4	$0.7 \times 10^6 \text{Bq} \times 3$	V	PET MR 校准源	PET-MR 测试间	铅柜，储源室
5	$1.85 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$	V	PET MR 校准源	PET-MR 测试间	铅柜，储源室
6	$1.1 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$	V	PET MR 校准源	PET-MR 测试间	铅柜，储源室

受通用电气医疗系统（天津）有限公司委托，中国电子工程设计院有限公司承担该核技术利用项目的环境影响评价工作。环评项目组在现场踏勘、资料调研的基础上，编制完成了《通用电气医疗系统（天津）有限公司新建使用非密封放射性物质及丙级非密封放射性物质工作场所项目环境影响报告表》。

3.建设规模

本项目位于天津市空港经济区经三路 266 号主厂房内（预留空间：1 层建筑，局部 2 层，本项目所在区域为 1 层区域），建设内容主要包括建设一座 PET-MR 测试间，并使用非密封放射性物质 (^{18}F) 用于 PET-MR 产品注册认证检测，GE 生产的 PET-MR 产品在进行医疗器械注册时需要使用供应商已注射、封装在模体内的非密封放射性物质 (^{18}F) 对 PET-MR 设备进行 NEMA 测试（National Electrical Manufacturers Association，美国电气制造者协会，模体供应商拟定为安迪科公司），因仅新产品注册时才需要进行 NEMA 测试，因此一般情况一年做一次测试，考虑到测试的成功率，本次评价按一年 10 次测试计算。产品量产后使用 ^{68}Ge 密封源进行校准即可，无须再进行 NEMA 测试。

本项目的涉及辐射的内容包含 3 部分，具体如下：

(1) 产品注册认证检测（NEMA 测试），仅新产品注册时才需要进行 NEMA 测试，因此一般情况一年做一次测试，考虑到测试的成功率，本次评价按一年 10 次测试计算；

(2) 产品量产测试, 使用 V 类 ^{68}Ge 放射源对生产的 PET 设备进行时间校正、能量校正等测试, 计划每年生产 23 台 PET 设备。该建设内容已在建设项目环境影响登记表备案系统完成备案, 不纳入本次建设内容, 但本报告同时计算、考虑该部分建设内容的辐射影响;

(3) ^{68}Ge 灵敏度线源校准, 新购买的 ^{68}Ge 灵敏度线源使用前需要用 ^{18}F 软管 (活度 $1.5 \times 10^7 \text{Bq}$, 3 根) 进行校准, 一年 2 次校准。

因模体均为供应商分装注射, 因此操作量按模体进厂时活度计算。具体情况如下:

表 1-2 本项目各项测试使用的非密封放射性物质明细表 (单次最大)

^{18}F 测试项目		使用体膜	测试活度 (MBq)	进厂活度 (MBq)	拟进厂顺序
校准 ^{68}Ge 测试	^{18}F 线源校准 ^{68}Ge 线源	灵敏度软管体膜 3 根	45	52	1
NEMA 测试	图像质量测试, 衰减和散射校正精确性测试	图像质量体膜	52	58	2
		散射因子软管体膜	116	131	2
	空间分辨率测试	毛细管膜	200 (66.6×3)	226	3
	灵敏度测试	灵敏度软管体膜	10	20	3
	散射因子, 计数损失, 随机测量测试	散射因子软管体膜	900	1021	4
总计操作活度			1323	1500	

根据上表可知, 按最不利的校准 ^{68}Ge 测试及 NEMA 测试同天进行, ^{18}F 进场活度约为 $1.5 \times 10^9 \text{Bq}$, 按此活度进行评价。

本项目非密封放射性物质 ^{18}F 使用情况见下表 1-3。

表 1-3 本项目使用的非密封放射性物质一览表

序号	核素	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	实际年最大操作量 (Bq)	用途	应用场所
1	^{18}F	1.5×10^9	1.5×10^6	1.5×10^{10}	PET-MR NEMA 测试	PET-MR 测试间

本项目各区域分区及主要功能见下表 1-4。

表 1-4 本项目测试各区域分区情况一览表

序号	区域名称	占地面积 (m^2)	设备构成	功能介绍
1	扫描室 (红色)	48	磁体, 扫描床, PET 扫描组件, 核磁共振扫描组件等。	用于进行扫描测试。 ^{18}F , ^{68}Ge 的相关体膜会放置与扫描床进行功能测试扫描。
2	设备间 (橙色)	19.4	核磁共振系统柜, PET 机柜, 制冷设备, 电源, 线缆连接组件等。	用于给 PET 扫描, 核磁扫描提供控制信号, 并对扫描信号进行接收及分析成像。

3	操作区 (绿色)	9.1	控制主机, 操作台, 语音及扫描控制键盘等。	控制主机提供操作界面, 用于选择扫描控制指令, 序列等; 并生成扫描图像用于医学分析。
4	储源室 (蓝色)	12.4	提供空间, 放置带铅箱屏蔽的 ⁶⁸ Ge 模体。	存放带铅箱屏蔽的 ⁶⁸ Ge 模体。
5	放废室 (黄色)	3	提供空间, 放置带铅箱的使用过后的 ¹⁸ F 模体。	用于测试后 ¹⁸ F 模体的贮存衰变, 放废。
6	通道	/	各功能区之间的通道	/

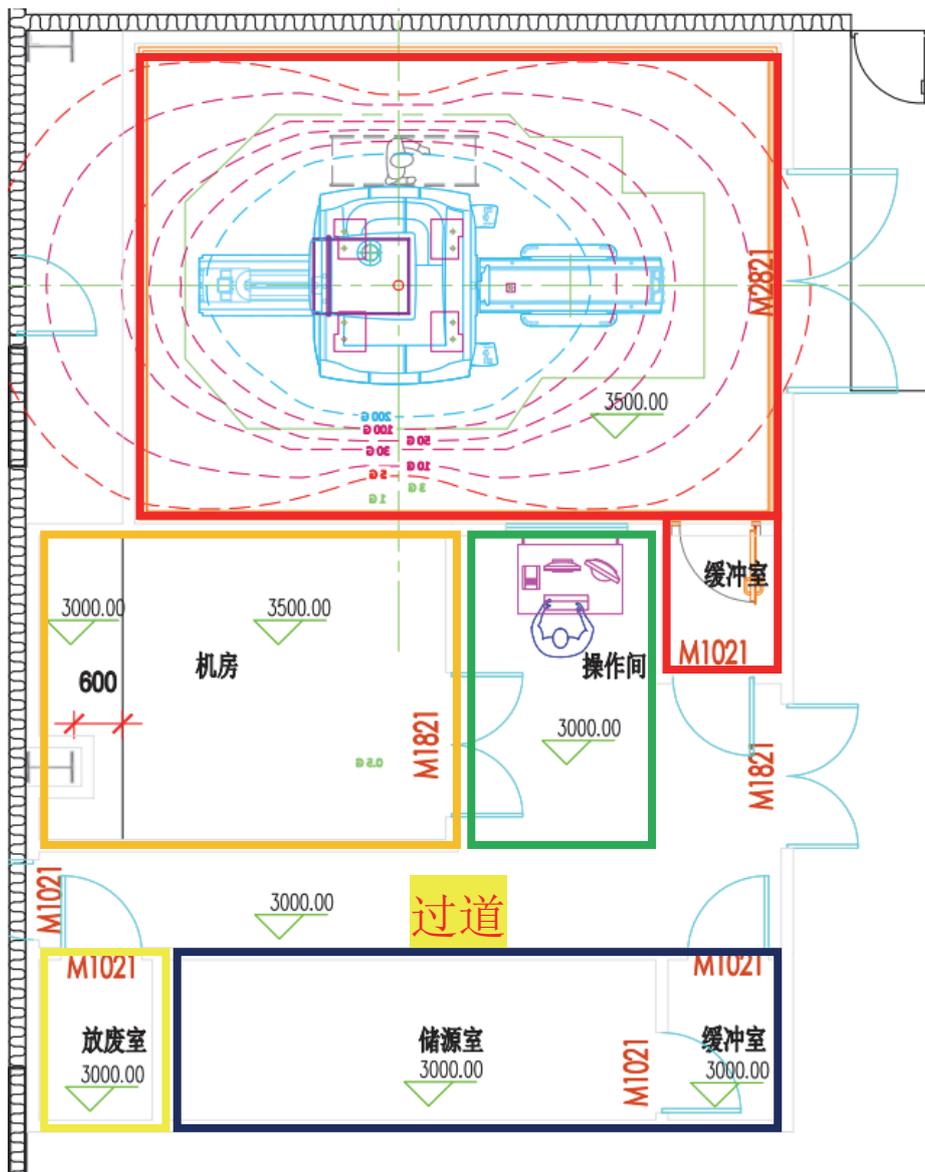


图 1-1 本项目测试各区域分区图

4.项目选址及周边环境情况

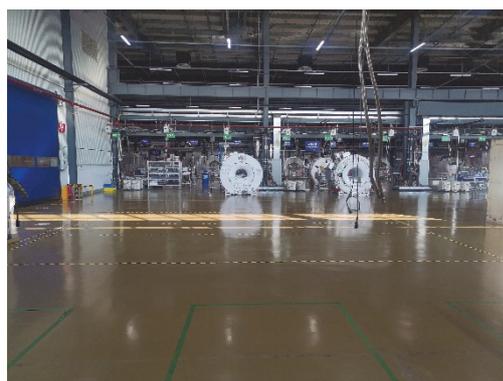
本项目位于天津空港经济区经三路 266 号主厂房, 建设单位中心坐标为: 北纬 39°6'49.20"东经 117°26'26.34", 建设单位中心坐标, 项目所在厂区位于天津市滨海新区

天津空港经济区港城大道以北，经二路以东，经三路以西。所在厂房四至如下：东侧：经三路；南侧：再制造中心厂，其南侧为港城大道；西侧：中国民航科技产业化基地；北侧：空地（通用电气医疗及生命科学仪器设备生产基地预留用地）。

本项目 PET-MR 测试间位于主厂房一层西南部区域，西侧为工厂磁体设备发货区，北侧为磁体测试区，东侧为冷磁存放区，南侧为园区道路。PET-MR 测试间所在区域厂房为一层区域，楼下无地下室。项目现状照片见下图。



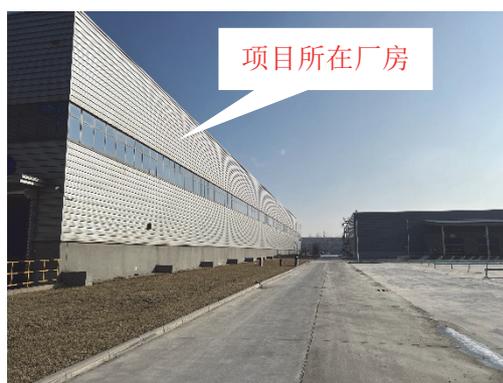
项目西侧



项目北侧磁体测试区



项目东侧冷磁存放区



项目南侧厂区道路

本项目非密封放射性物质工作场所（PET-MR 测试间）屏蔽边界为中心，半径 50m 范围内的环境保护目标为公司内部其他区域包括 PET 测试间西侧公司发货平台、北侧 MR 组装区、东侧冷磁存放区，涉及人员为辐射工作人员和公众。其中辐射工作人员为建设单位 PET-MR 测试工作人员，公众主要为环境敏感点工作人员及途径人员。

5.劳动定员及工作量

根据建设单位提供资料，建设单位每年使用射性药物（ ^{18}F ）日最大操作用量 $1.5 \times 10^9 \text{Bq}$ 对 PET 设备进行一次 NEMA 测试（共 4 项测试），考虑测试成功率，按最不利情况每年最多进行 10 次，并且该测试由建设单位委托外部一名专业 NEMA 测试技术人员和 GE 一名工作人员在 PET 测试间完成，总共约需 24 小时，计划早上 10 点开始

完成前 3 项测试，晚上 7 点开始完成第 4 项测试，第 2 天早上直接记录测试结果。实际可能会考虑供应商的供核素情况，测试是否有异常等情况，也可以安排 2-5 天完成测试。本报告按最不利情况来进行评价，即 24 小时内完成 4 项测试。

产品量产后，建设单位设置 2 名辐射工作人员使用 V 类 ^{68}Ge 放射源对生产的 PET 设备进行时间校正、能量校正等测试，计划每年生产 23 台 PET 设备。每条新 ^{68}Ge 灵敏度线源使用前需要用 F^{18} 软管（活度 $1.5 \times 10^7 \text{Bq}$ ，3 根）进行校准，一年 2 次校准。

建设单位设置的 2 名辐射工作人员，每次有 1 名辐射工作人员配合外部专家完成 NEMA 测试；量产时单班 1 人完成产品的测试、 ^{68}Ge 放射源校准等所有工作。2 名辐射工作人员采用两班制，每班 1 人，轮流工作。本报告评价均按最不利的情况，即 1 人完成全年所有辐射工作进行评估。

6. 原有核技术利用项目许可情况

通用电气医疗系统（天津）有限公司于 2021 年 12 月 20 日已取得辐射安全许可证（津环辐证[A0008]）见附件 4，有效期至 2025 年 12 月 19 日，种类和范围为使用 III 射线装置。

原核技术许可内容使用 2 台 III 射线装置，设置了辐射安全管理小组，配备 2 名辐射工作人员，并已经建立的安全管理制度有：

- （1）射线操作与防护安全规定；
- （2）个人剂量计的使用和保管规定
- （3）辐射设备检修维护制度
- （4）射线装置人员培训计划
- （5）射线装置监测计划；
- （6）射线装置岗位职责；
- （7）辐射防护和安全保卫制度；
- （8）辐射事故应急响应程序。

公司原有核技术许可内容与现有许可证内容一致。已按有关法律法规履行环保手续见附件 7，并按要求做好年度辐射环境监测和个人剂量监测，至今未发生辐射事故。2021 年度场所检测报告及个人剂量检测报告见附件 8。

本项目不涉及原有核技术利用建设项目，距离现有的辐射工作场所约 67m，位置关系见图 1-2。本项目使用 6 组 V 类放射源 ^{68}Ge ，拟在建设项目环境影响登记表备案系统备案。公司将在得到本项目环评批复和完成放射源 ^{68}Ge 环境影响登记表备案后，重新

申请辐射安全许可证。

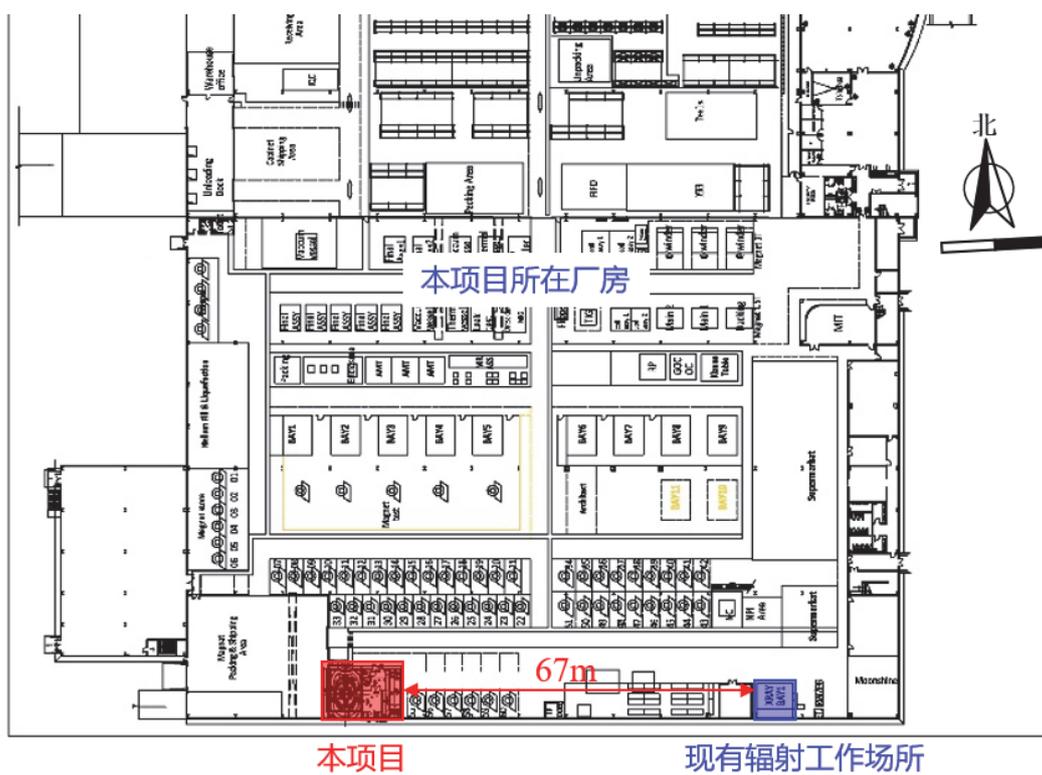


图 1-2 本项目与现有辐射工作场所位置关系图

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	使用	1.5×10^9	1.5×10^6	1.5×10^{10}	PET-MR NEMA 测试	很简单的操作	PET-MR 测试间	不贮存

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

表 4 射线装置

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

表 5 废弃物

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废液	液态	^{18}F	/	/	/	/	放射性废液在模体内放置于铅箱	模体内为纯净水,模体在放废室暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后,模体内的纯净水排放下水道,并做好台账记录,空模体重复使用
放射性固体废物(一次性手套、口罩等)	固态	^{18}F	/	/	/	/	放射性废物桶	置于固体放射性废物桶内,暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后,按照公司要求作为危险废物(HW49, 900-041-49)处理,并做好台账记录

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

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

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第九号 2014 年 4 月 24 日修订，2015 年 1 月 1 日起施行）；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第二十四号，2018 年 12 月 29 日第二次修订实施）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第六号，2003 年 6 月 28 日通过，自 2003 年 10 月 1 日起施行）；</p> <p>(4) 国务院令 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（2005 年 9 月 14 日发布，2019 年 3 月 2 日第二次修订并实施）；</p> <p>(5) 国务院令 682 号《国务院关于修改〈建设项目环境保护管理条例〉的决定》（2017 年 10 月 1 日）；</p> <p>(6) 原国家环保总局（总局令 31 号）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006 年 1 月 18 日国家环境保护总局令 31 号公布，2021 年 1 月 4 日生态环境部令 20 号修改）；</p> <p>(7) 原国家环保总局（环发〔2006〕145 号）《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》（2006 年 09 月 26 日）；</p> <p>(8) 原环保部令 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（2011 年 5 月 1 日）；</p> <p>(9) 原环保部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（2017 年 12 月 5 日）；</p> <p>(10) 生态环境部令 16 号《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（2021 年 1 月 1 日）；</p> <p>(11) 国务院令 612 号《放射性废物安全管理条例》（2012 年 3 月 1 日起施行）；</p> <p>(12) 原环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号《关于发布〈放射性废物分类〉的公告》（2017 年 11 月 30 日）；</p> <p>(13) 《天津市生态环境保护条例》（2019 年 1 月 18 日通过，自 2019</p>
------------------	--

	<p>年 3 月 1 日起施行)；</p> <p>(14) 生态环境部令第 9 号《建设项目环境影响报告书(表)编制监督管理办法》(自 2019 年 11 月 1 日起施行)。</p>
技术标准	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》(HJ 10.1-2016)；</p> <p>(2) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》(HJ61-2021)；</p> <p>(4) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)；</p> <p>(5) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；</p> <p>(6) 《放射性废物管理规定》(GB14500-2002)；</p> <p>(7) 《核医学放射防护要求》(GBZ 120-2020) (参考标准)；</p> <p>(8) 《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)。</p>
其他	<p>(1) 《中国核与辐射安全管理体系现场监督检查和执法程序》(2020 版)；</p> <p>(2) 《辐射安全手册》(潘自强主编, 2011 年科学出版社)；</p> <p>(3) 通用电气医疗系统(天津)有限公司委托合同及其提供的相关资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《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）“以项目实体边界为中心，放射性同位素生产项目（放射性药物生产除外）的评价范围半径不小于 3km；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，甲级取半径 500m 的范围，乙、丙级取半径 50m 的范围”。本项目非密封放射性物质工作场所的等级为丙级，因此本项目评价范围以本次新建非密封放射性物质工作场所（PET 测试间）实体屏蔽边界为中心，半径 50m 范围内的区域。评价范围图见附图 3。

保护目标

本项目评价范围内无学校、医院、居民区等环境敏感目标。环境保护目标为以本项目非密封放射性物质工作场所（PET 测试间）实体屏蔽边界为中心，半径 50m 范围内的辐射工作人员和公众，其中 2 名辐射工作人员为 PET 测试间操作人员、控制台工作人员，公众为周边固定工序工作人员、其他场所工作人员、途径公众。环境保护目标见表 7-1。

表 7-1 本项目主要环境保护目标

序号	环境保护目标	方位	距离	规模	性质	年剂量管理约束值要求
1	PET 操作人员	/	/	2 人	辐射工作人员	2mSv
2	操作间操作人员	东侧	紧邻	2 人		
3	公司内部其他区域工作人员	东、西、北侧	紧邻	约 20 人	公众	0.1mSv
4	途经公众	周边	紧邻	流动人口	公众	

评价标准

1. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

该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。《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）第 4.3.2.1 款关于剂量限制的规定：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。

该标准第 B 1.1.1.1 款：应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：a)由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量(但不可作任何追溯性平均)，20mSv；本次评价从辐射防护最优化原则出发，使职业人员尽量避免不必要的附加剂量照射，取其四分之一即 5mSv 作为职业人员的年剂量管理约束值。

该标准中第 B1.2 款：关于公众照射剂量限值的规定，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：年有效剂量，1mSv；本评价取其十分之一即 0.1mSv 作为公众成员年剂量管理约束值。

该标准关于表面放射性污染的控制规定: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)规定的限制要求，具体见表 7-2。

该标准对非密封源工作场所的分级的规定: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。标准第 C1 款，应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，具体见表 7-3。

表 7-2 工作场所的放射性表面污染控制水平单位：Bq/cm²

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	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
该区内的高污染子区除外		

表7-3 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

本项目属于丙级非密封源工作场所。

2. 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）

4.1.1 对从事非密封源操作的辐射工作人员受到的正常照射应加以限制，应对操作非密封源的实践活动所产生的公众照射加以限制，剂量限值、表面污染控制水平、以及剂量约束的确定均应遵循 GB18871-2002 的要求。

5.1.1 为开展辐射防护管理工作并对职业照射进行控制，非密封源工作场所应实行严格的分区、分级管理，分区、分级管理的措施，应遵循 GB18871-2002 的要求。

5.1.2 宜在辐射工作场所的醒目位置悬挂（张贴）辐射警告标志，人员通行和放射性物质传递的路线应严格执行相关规定，防止发生交叉污染。应制定严格的辐射防护规定和操作规程。

5.2.1 非密封源的操作应根据所操作的放射性物质的量和特性，选择符合安全与防护要求的条件，尽可能在通风柜、工作箱或手套箱内进行。

5.2.2 操作过程中所用的设备、仪器、仪表、器械和传输管道等应符合安全与防护要求。吸取液体的操作应使用合适的负压吸液器械，防止放射性液体溅出、溢出，造成污染。储存放射性溶液的容器应由不易破裂的材料制成。

5.2.3 有可能造成污染的操作步骤，应在铺有塑料或不锈钢等易去除污染的工作台面上或搪瓷盘内进行。

5.2.4 操作中使用的容器，必要时应在其外面加一个能足以容纳其全部放射性溶液的不易破裂的套桶。

5.3.2 辐射工作场所应根据实际需要配备适用、足够和符合标准的个人防护用具（器械、衣具），并掌握其性能和使用方法。个人防护用具应有备份，均应妥善保管，并应对其性能进行定期检验。

5.3.3 辐射工作场所应具备适当的防护手段与安全措施，做好个人防护工作。

5.3.6 辐射工作场所应根据所操作非密封源的特点配备适当的医学防护用品和急救药品箱，供处理事故时使用。严重污染事件的医学处理应在医学防护人员的指导下进行。

7.1.1 放射性废物的管理应遵循 GB18871-2002、GB14500 的相关规定，进行优化管理。

7.2.1 操作非密封源的单位，一般应建立放射性废液处理系统，确保产生的废液得到妥善处理。不得将放射性废液排入普通下水道，相关控制应遵循 GB18871-2002 的要求；不允许利用生活下水系统洗涤被放射性污染的物品；不允许用渗井排放废液。

7.3.3 对于半衰期短的废物可放置衰变的办法，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。

9.1 操作非密封源的单位应配备专（兼）职人员负责放射性物质的管理，应建立非密封源的账目（如交收账、库存账、消耗账），并建立登记保管、领用、注销和

定期检查制度。

3. 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）（参考标准）

5.2 放射防护措施要求

5.2.6 控制区的入口应设置电离辐射警告标志。

5.2.9 应为放射性物质内部运输配备有足够屏蔽的储存、转运等容器。容器表面应设置电离辐射标志。

5.2.10 测试间外防护门上方应设置工作状态指示灯。

5.3 工作场所的防护水平要求

5.3.1 核医学工作场所控制区的用房，应根据使用的核素种类、能量和最大使用量，给予足够的屏蔽防护。在核医学控制区外人员可达处，距屏蔽体外表面 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ，控制区内屏蔽体外表 0.3m 处的周围剂量当量率控制目标值应不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，宜不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6 操作中的放射防护要求

6.1 个人防护用品、辅助用品及去污用品配备

6.1.1 个人防护用品及去污用品

对操作 ^{68}Ga 、 ^{18}F 等正电子放射性药物和 ^{131}I 的场所，此时应考虑其他的防护措施，如：穿戴放射性污染防护服、熟练操作技能、缩短工作时间、使用注射器防护套和先留置注射器留置针等措施。

6.2 放射性药物操作的放射防护要求

6.2.3 操作放射性药物时，应根据实际情况，熟练操作技能、缩短工作时间并正确使用个人防护用品。

6.2.5 控制区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品。

6.2.9 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次取放的放射性物质应只限于需用的部分。

6.2.11 贮存和运输放射性物质时应使用专门容器，取放容器中内容物时，不应污染容器。容器在运输时应有适当的固定措施。

6.2.14 当发生放射性物质溢出、散漏事故时，应根据单位制定的放射事故处置应急预案，参照使用 6.1.2 和附录 K 所列用品，及时控制、消除放射性污染；当人员皮

肤、伤口被污染时，应迅速去污并给予医学处理。

8 医用放射性废物的放射防护管理要求

8.1 放射性废物分类，应根据医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素种类、半衰期、活度水平和理化性质等，将放射性废物进行分类收集和分别处理。核医学常用放射性核素的物理特性参见附录 H。

8.2 设废物储存登记表，记录废物主要特性和处理过程，并存档备案。

8.5 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。

8.6 污物桶内应放置专业塑料袋直接收纳废物，装满后的废物袋应密封，不破漏，及时转送存储室，放入专业容器中存储。

8.7 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，然后再装入专用塑料袋内。

8.10 废物袋、废物桶及其他存放废物的容器应安全可靠，并在显著位置标有废物类型、核素种类、存放日期等说明。

4. 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

4.4 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限值

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合GB18871附录B中B1.1的相关规定，核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合GB18871附录B中B1.2的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下，职业照射的剂量约束值不超过5mSv/a；

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照GB18871执行。

6 工作场所的辐射安全与防护

6.1 屏蔽要求

6.1.5 距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面30cm处的周围剂量当量率应小于2.5 μ Sv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量应小于10 μ Sv/h。

6.1.6放射性药物合成和分装的箱体、通风柜、注射窗等设备应设有屏蔽结构,以保证设备外表面30cm处人员操作位的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$,放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 $25\mu\text{Sv/h}$ 。

6.1.7固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道应增加相应屏蔽措施,以保证其外表面30cm处的周围剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

7 放射性废物的管理

7.1 一般要求

7.1.3核医学实践中产生的短寿命放射性废物,应尽量利用贮存衰变的方法进行处理,待放射性核素活度浓度满足解控水平后,实施解控。不能解控的放射性废物,应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

7.1.4应建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账,做好记录并存档备案。

7.2 固体放射性废物的管理

7.2.1 固体放射性废物收集

7.2.1.1固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

7.2.1.2含尖刺及棱角的放射性废物,应预先进行包装处理,再装入废物桶,防止刺破废物袋。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.3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、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

5. 剂量约束值

根据以上标准和辐射防护最优化原则并结合本项目特点,为确保辐射工作人员和公众成员的安全,本项目将 2mSv/a 作为辐射工作人员的年剂量约束值,将 0.1mSv/a 作为公众成员的年剂量约束值。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

1.项目地理和场所位置

天津空港经济区位于滨海国际机场东北侧天津市空港物流加工区内，规划面积 42 平方公里，以航空制造、电子信息和精密机械等为特色，是滨海新区距离市区最近的经济功能区。辖 6 个社区居委会：远洋社区居委会、名居花园（万科）居委会、天津空港经济区一期社区、天津空港经济区二期社区、天津空港经济区三期社区、天津空港经济区三期（自贸区）社区。

本项目位于天津空港经济区经三路 266 号主厂房，建设单位中心坐标为：北纬 39 厂房，建设单位中心东经 117 房，建设单位中心坐标，项目所在厂区位于天津市滨海新区天津空港经济区港城大道以北，经二路以东，经三路以西。所在厂房四至如下：东侧：经三路；南侧：空地（再制造中心厂房），空地南侧为港城大道；西侧：中国民航科技产业化基地；北侧：空地（通用电气医疗及生命科学仪器设备生产基地预留用地）。

2.自然环境简况

2.1地质、地貌

天津空港经济区用地为海退成陆，属于典型的低平原地貌，地势广袤低平，海拔均在 2m 以下，一般不足 1m，大致由西向东微微倾斜，地面坡降 1/6000~1/10000 左右。地面组成物质以粘土和砂质粘土为主，地势低平，多为农田。本区地处黄骅拗陷与沧县隆起的结合部位。北东向的沧东断裂纵贯全区，根据区域地质资料和本次地震勘探成果，沧东断裂最新活动在中更新世晚期至晚更新世早期，潜在地震危险性不大。最好分区位于东部，持力层土性主要为粉质粘土和粉土，下卧层土性为粉土，局部为淤泥质土，淤泥质土厚度一般小于 4m，持力层厚度一般大于 2m，持力层顶板标高小于 -0.5m。

天津空港经济区浅层地下水主要为潜水和微承压水，地下水位埋深 1.3~1.5m,无区域稳定的地下水流场。深层地下水为淡水，为本区可利用的地下淡水资源，目前第四含水组水位埋深已达 85m 以下。目前年最大地面沉降量为 54mm，一般为 20~30mm。产生地面沉降的主要原因为地下水开采，其次为欠固结软土的固结沉降。根据震害调查和勘探结果，空港物流加工区东部为饱和砂土可能液化区，唐山大地震时喷砂孔常

呈串珠状分布，喷砂量较大的地段常有塌陷和地裂缝发育。

2.2气候特征

天津空港经济区属温暖带大陆性季风气候，四季分明，春季短而少雨干燥，蒸发量大，盛行西南风，夏季高温多雨，盛行南风，秋季短，冷暖适中，盛行西南风，冬季受蒙古—西伯利亚高压控制，盛行西北风，寒冷，常年主导风向为南风，平均风速 3.4m/s；平均气温 11.7℃，平均温差 30.7℃，极端最高气温 40.3℃，极端最低气温-20.3℃；大于 0℃的年积温为 4644℃，大于 15℃的年积温 4139℃无霜期 206 天；全年平均降水量为 584.5mm，主要集中于夏季，约占全年降水量的 76%，最大日降水量为 240.3mm；年蒸发量为 1469.1mm，是降水量的 2.4 倍，蒸发量以 5 月最大，为 184.6mm，12 月最小 28.5mm。年平均干燥度为 1.9；年日照时数为 2898.8 小时，平均日照百分率为 64.7%，年太阳能辐射量 128.8kcal/cm²，是天津市太阳能辐射量最丰富的地区。

2.3水文地质条件

天津空港经济区地势低平，排水不畅，地下水补给来源较多，地下水位一般较高，平均 1~1.5m。地下盐份可经毛细作用直升地表，一般在 98~115m 以上为咸水，以后为淡水。

天津空港经济区内地表水主要为北塘排污河、袁家河、新地河。袁家河贯穿规划区南北，北起孙庄村东金钟河，向南至魏王庄附近入海河，全长 26.4km，河底宽 10m，底高程-1.0m，两岸堤高 3~5m，河道正常蓄水位 2.1m，蓄水能力 130 万 m³，沿河建有固定排灌泵站 27 座，排灌能力 58.9m³/s。新地河起自袁家河，向东北在小汾闸流入金钟河，全长 10.7km，河道上口宽 55m，下口宽 25m，河底高程-0.2m，两岸堤高 3~5m，蓄水能力 198 万 m³，沿河建有泵站 7 座，排灌能力 5.9m³/s。北塘排污河为排污河，天津空港经济区内污水经污水处理厂处理后的废水排入此河。

天津空港经济区地下水资源属于冲积平原水文地质区的咸水区，可利用的地下水资源主要是咸水层下的四层淡水承压含水层，埋藏深，蓄量不大，含氟较高，水井多为 180m 以下的深井。

2.4植被、生物多样性

天津空港经济区域内陆生态系统中植被以人工植被和野生乡土物种为主，没有濒危、珍稀植物种类；该地的生物群落种类单一，优势种占有绝对的优势，群落并不稳定。随着天津空港经济区的逐步建设，该区域生态功能逐渐减弱。

3.辐射环境现状监测

为了解本项目辐射工作场所辐射环境现状，本次评价委托津滨环科（天津）检测技术服务有限责任公司和天津瑞丹辐射检测评估有限责任公司对现有项目及周围环境辐射水平进行监测，监测报告见附件 5。

(1) 监测项目

掌握项目场址的辐射环境质量现状水平，为分析及预测项目运行时对职业人员、公众人员及周围环境的影响提供基础数据。

(2) 监测因子

γ 辐射空气吸收剂量率、 β 表面污染。

(2) 监测点位

对项目场址及周围，根据现场条件，合理布点，具体监测点位示意图见图 8-1。

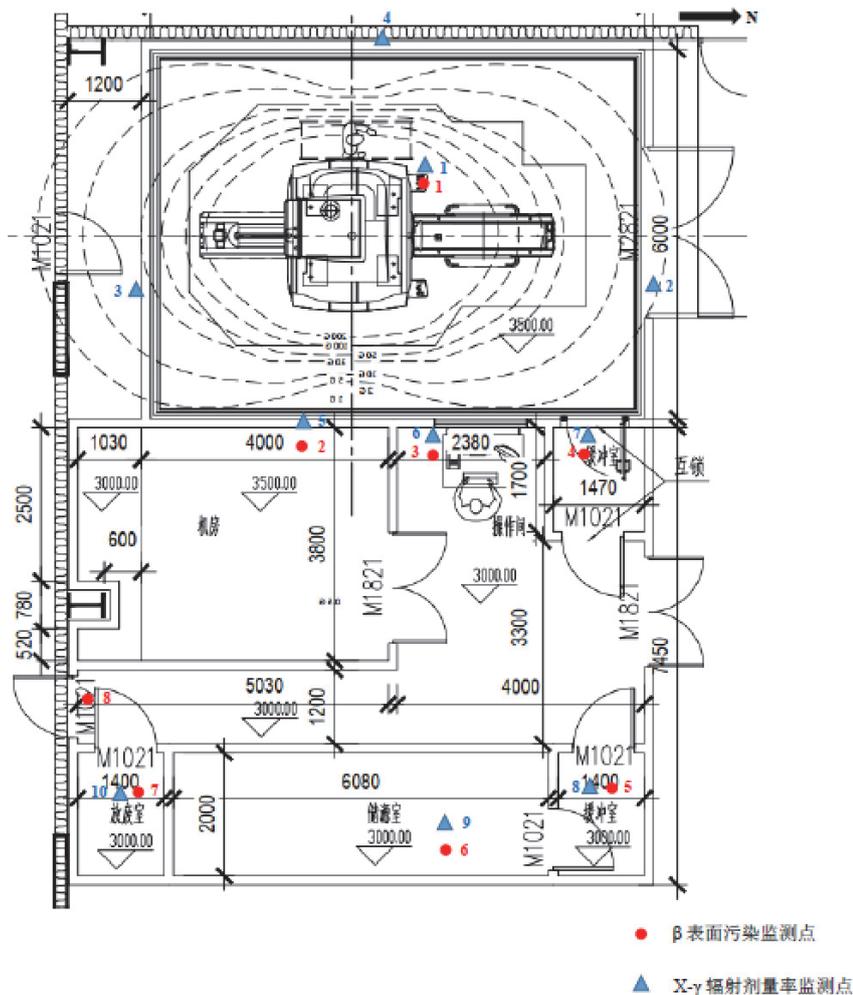


图8-1 本项目现状监测点位示意图

(3) 监测设备及方法

表 8-1 监测设备和监测方法

检测项目	分析方法及依据	使用仪器
γ 辐射空气吸收剂量率	《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)	环境监测 X、γ 辐射空气比释动能率仪 JB4000
	《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ1157-2021)	
β 表面污染	《表面污染测定 第 1 部分: β 发射体 (E _{βmax} >0.15MeV) 和 α 发射体》(GB/T 14056.1-2008)	多功能表面沾污 α、β 检测仪 LB 124
	《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020Z)	

(4) 质量保证措施

①合理布设监测点位，保证各检测点位布设的科学性和可比性，同时满足标准要求。

②监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。

③检测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后使用。

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。

⑥检测报告严格实行三级审核制度，经过校对、校核，最后由技术总负责人审定。

(5) 监测结果及分析

具体监测结果见表8-2。

表8-2 辐射环境现状监测结果

编号	监测点位	检测结果
X-γ 剂量率 μ Gy/h		
1	扫描室中心位置	0.075±0.003
2	扫描室北侧	0.078±0.001
3	扫描室南侧	0.075±0.002
4	扫描室西侧	0.076±0.003
5	扫描室东侧机房	0.075±0.003
6	扫描室东侧操作间	0.076±0.004
7	扫描室东侧缓冲室	0.076±0.003
8	缓冲室	0.075±0.003
9	储源室	0.078±0.002
10	放废室	0.075±0.003
β 表面污染 Bq/cm ²		
1	扫描室中心位置	0.28
2	扫描室东侧机房	0.28
3	扫描室东侧操作间	0.29
4	扫描室东侧缓冲室	0.28

5	缓冲室	0.29
6	储源室	0.29
7	放废室	0.28
8	车间门口	0.28

由表 8-2 监测结果可知，本项目拟建非密封放射性物质工作场所区域环境地表 γ 辐射剂量率在 75nGy/h~78nGy/h 之间，处于《2020 年天津市生态环境状况公报》中天津市放射性环境本底（60.3-80.8）nGy/h 范围内，表明拟建项目环境辐射环境质量状况未见异常。

本项目拟建非密封放射性物质工作场所区域内的 β 表面污染水平本底监测结果范围为 0.28Bq/cm²~0.29Bq/cm²。

表 9 项目工程分析与源项

项目工程分析

工程设备和工艺分析

1.设备组成

PET 是 Positron Emission Computed Tomography（正电子断层扫描）的缩写，是目前先进的放射性核素显像技术。PET 的基本结构由探头（晶体、光电倍增管、高压电源）、电子学线路、数据处理系统、扫描机架及同步检查床组成。

2.工作原理

PET 显像的基本原理是：利用 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 等超短半衰期核素显像剂，引入机体后定位于靶器官，这些核素在衰变过程中发射正电子，发射的正电子在组织中运行很短距离之后，即与周围组织中的负电子相互作用，发生湮灭辐射，发射出两个方向相反、能量相同（511keV）的光子。由于两个光子在体内的路径不同，到达两个探测器的时间也有一定差别，如果在规定的时间内，探头系统探测到两个互成 180°的光子时，探测器便分别送出一个时间脉冲，脉冲处理器将脉冲变为方波，符合电路对其进行数据分类后，送入工作站进行图像重建，便得到人体各部位横断面、冠状断面和矢状断面的影像。

3.核素分析

本项目使用的显像放射性核素为 ^{18}F ，主要用于 PET 出厂 NEMA 测试，核素性质见下表。

表 9-1 放射性核素 ^{18}F 参数

核素名称	衰变模式	α/β 最大能量 MeV	半衰期	毒性分组	周围剂量当量率常数, $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{MBq}\cdot\text{h})$	
					注射前(裸源)	注射后*
^{18}F	β^+ , EC	0.63 (+)	110min	低毒	0.143	0.092

注：数据来源《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 H，表 H.1、表 L.1；附录 L，表 L.1。注射后*：因本项目的 ^{18}F 注射进入模体，模拟体液情况。即时是软管的模体，外部也会再包裹树脂，因此无裸源情况，周围剂量当量率常数按照注射后的常数计算，模体照片见附件 9。

本项目使用放射源 ^{68}Ge 主要用于 PET-MR 装机测试（DQA、VQC、WCC、NPOF、灵敏度和分辨率测试）。

表 9-2 放射性核素 ^{68}Ge 参数

核素名称	衰变方式	半衰期	毒性分组	能量 (keV)	空气比释动能率常数, $\text{mGy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{GBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
------	------	-----	------	----------	--

^{68}Ge	EC	270.8d	中毒	9.88~11.1	0.010
------------------	----	--------	----	-----------	-------

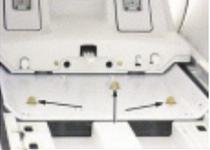
注：数据参考《辐射安全手册》（潘自强主编，2011年科学出版社，P19表2.4、P135表6.2）；GB18871-2002附录D（放射性核素的毒性分组）。

本项目测试使用的模体情况详见表9-3。

表9-3 NEMA测试模体情况（ ^{18}F 非密封物质）

体模名称	模体尺寸	数量	活度大小	图片	用途
IQ 体模	内长18CM， 9.7L（椭圆体长的部分直径约30公分）	1	$5.2 \times 10^7 \text{Bq}$		图像质量测试
散射因子软管	约80cm，内径3.2mm，外径5mm	1	$1.16 \times 10^8 \text{Bq}$		衰减和散射校正精确性测试
毛细玻璃管	内径约0.8mm	3	$6.66 \times 10^7 \text{Bq}$		空间分辨率测试
灵敏度软管	长约80cm，外径3mm	1	$5 \sim 10 \times 10^6 \text{Bq}$		灵敏度测试
散射因子软管	约80cm，内径3.2mm，外径5mm	1	$9 \times 10^8 \text{Bq}$		散射因子，计数损失，随机测量测试

表 9-4 量产测试时使用的 ^{68}Ge 密封源情况

体模名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	数量	用途	备注	图片
环形体膜 Annulus 体模	$5.5 \times 10^7 \text{Bq} / 5.5 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$	1	PET-MR DQA 测试		
VQC 体模	$3.5 \times 10^6 \text{Bq} / 0.7 \times 10^6 \text{Bq} \times 5$	1	PET-MR VQC 测试	整体进口	
flood 体模	$9.25 \times 10^7 \text{Bq} / 9.25 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$	1	PET-MR WCC 测试		
PET 小球 体模	$2.1 \times 10^6 \text{Bq} / 0.7 \times 10^6 \text{Bq} \times 3$	1	PET-MR NPOF 测试	整体进口	
PET 软管 线源	$1.85 \times 10^7 \text{Bq} / 1.85 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$	1	PET-MR 灵 敏度测试		
PET 线源	$1.1 \times 10^7 \text{Bq} / 1.1 \times 10^7 \text{Bq} \times 1$	1	PET-MR 分 辨率测试		

4.工艺流程

本项目整个工艺流程：

(1) 装机测试：使用 6 组放射源 ^{68}Ge 主要用于 PET-MR 装机测试（DQA、VQC、WCC、NPOF、灵敏度和分辨率测试）。每次新购一条 ^{68}Ge 灵敏度软管线源，旧源由供应商回收，使用前需用 3 条 ^{18}F 软管进行校准。

该环节，不产生放射性废液、废气、废物， γ 射线影响辐射工作人员和环境。NEMA 测试前需完成一次装机测试流程，方可进行 NEMA 测试。

(2) 根据 NEMA 测试需要，向供应商订购放射性药物（ ^{18}F ），由供应商将已注射进模体内的放射性核素封装、标记好，根据建设单位当天使用需求，按时运送至 PET 测试间。

(3) 接收到封装制作好的模体后立即进行登记（种类、日期、活度、出厂时间），置于 PET 测试间铅箱（30mmPb）内待用。

(4) 当天工作人员（外部有资质的 NEMA 测试技术人员）进入测试间，首先使用 ^{68}Ge 校准源进行校准调节，校准完毕后从铅箱（30mmPb）中取出装有放射性药物的模体，置于显像设备上，铅箱位于缓冲间，取出到摆位合适后退出测试间，按照 4.1 NEMA 测试的步骤分别完成 4 项 NEMA 测试

本项目除使用放射性药物（ ^{18}F ）进行测试外，量产后定期使用 V 类放射源 ^{68}Ge 进行校正测试，测试步骤同前述 ^{68}Ge 测试流程。每次新购一条 ^{68}Ge 灵敏度软管线源，旧源由供应商回收，使用前需用 3 条 ^{18}F 软管进行校准。

(4) 图像采集结束后，工作人员（外部有资质的 NEMA 测试技术人员）进入 PET 测试间将装有放射性药物（ ^{18}F ）的模体从显像设备上取出，放置于铅箱（30mmPb）中，该过程用时约 1min。

测试完成后的放射性废液在模体中，从测试间放入铅箱，使用后的口罩、手套等投入磁体间内的固体放射性废物桶内。以上铅箱和固体放射性废物桶推到放废间，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存时间超过 30 天，待放射性核素 ^{18}F 活度浓度满足解控水平后，实施解控处置。空模体由供应商回收。

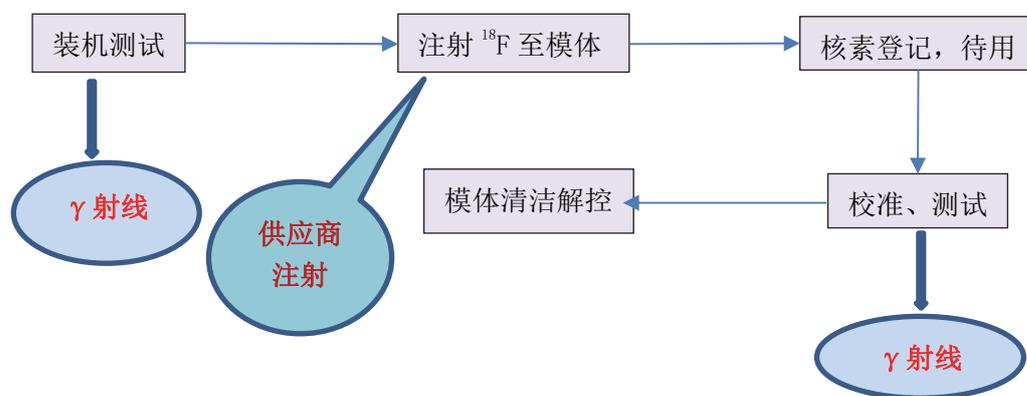


图 9-1 PET 出厂检测流程及产污环节示意图

4.1 NEMA 测试（产品进行医疗器械注册时，只做 1 次 NEMA 测试，量产是不需要进行该测试）

本项目使用的放射性药物（ ^{18}F ）对 PET 设备进行 NEMA 测试（共 4 步骤测试），放射性药物（ ^{18}F ）由供应商注射、封装在模体中，由于放射性药物（ ^{18}F ）的半衰期较短，根据测试所需药物的使用量，向有资质的放射性核素供应商订购，并在测试当天全

部使用完，不涉及放射性药物操作。

放射性药物 (^{18}F) 由安迪科公司 (见附件 6) 提供, 由外部有资质的 NEMA 测试技术人员指导放药供应商完成注射建设单位所订购剂量的放射性药物 (^{18}F) 到模体中, 再将模体运送至建设单位, 暂存于缓冲间铅箱中, 做好交接记录。进行 NEMA 测试时再由另外一名外部有资质的技术人员和 GE 一名工作人员取出使用。流程图如下:

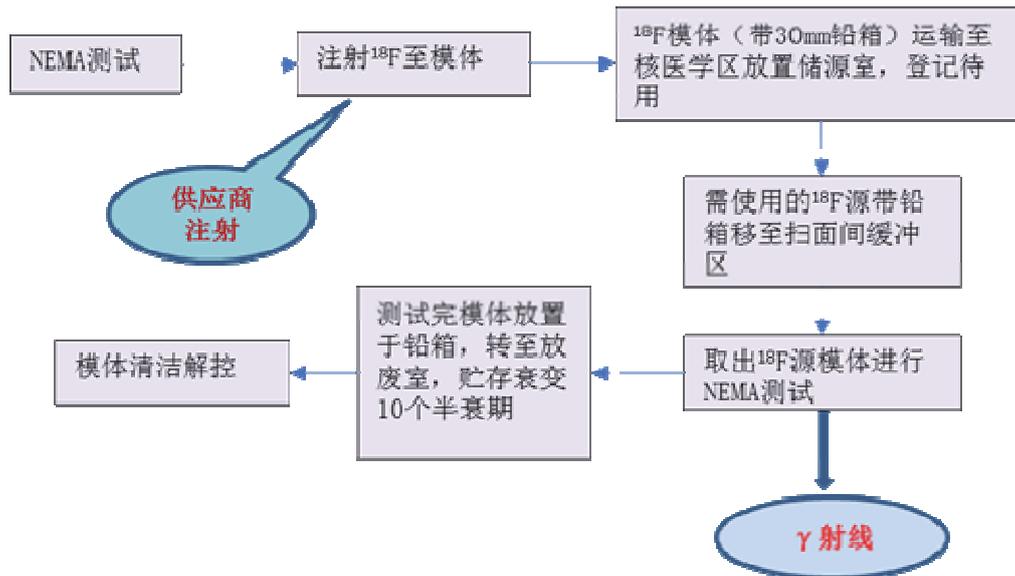
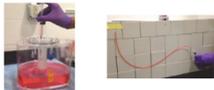


图 9-2 NEMA 测试对 ^{18}F 源的使用工艺流程及产污环节示意图

测试步骤一：图像质量测试，衰减和散射校正精确性测试

将散射因子测试体模软管按规定穿入散射因子测试体模中，与 NEMA 图像质量测试体模，一同置于病床的泡沫垫上，摆好位置固定，摆放时间（10 分钟），NEMA 测试的专业技术人员从测试间进入操作室，关紧测试间防护门，并按照 PET 测试流程完成相关测试扫描时间小于 20 分钟（扫描测试非暴露）。

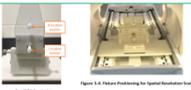
测试项目	测试开始时体模活度	推荐采购剂量	模体尺寸	模体图片	用于
图像质量测试 衰减和散射校正 精确性测试	1, IQ 模体要求 52 MBq (约 1.4 mCi) 2, 散射因子软管要求 116 MBq (约 3.2 mCi)	开始前 2 小时订购量 400 MBq (约 10.8 mCi)	1, IQ 体模: 内长 18 cm, 9.7 L (椭圆体长的部分直径约 30 公分) 2, 散射因子软管: 约 80 cm		

测试步骤二：空间分辨率测试

将 3 支毛细玻璃管按工艺要求插入空间分辨率测试支架中（约 1 分钟），置于病床上，调整并摆好位置固定，NEMA 测试的专业技术人员从测试间进入操作室，关紧测试间防护门，并按照 PET 测试流程完成相关测试扫描，扫描测试时是非暴露的，但如

果测试不通过，则需要重新进入磁体间进行位置调整，然后重新测试。摆放和调整时间（平均约 1 小时）。

若在 2 个小时之内，测试无法通过，则需要按同样方式，从供应商处重新制作 3 支毛细玻璃管，并运送至通用医疗电气天津生产基地进行重新测试。

测试项目	测试开始时体模活度	推荐采购剂量	模体尺寸	模体图片	用于
空间分辨率	高于200 MBq/mL 的小剂量 (约5.4mCi/mL)	开始前2小时订购量450 MBq (约12.2mCi)	毛细玻璃管3支: 内径约0.8mm		

测试步骤三：灵敏度测试

将灵敏度软管插入到灵敏度测试套管中（约 1 分钟），然后安装到支架上（约 1 分钟），置于病床上，摆放位置（约 10 分钟），NEMA 测试的专业技术人员从测试间进入操作室，关紧测试间防护门，并按照 PET 测试流程完成相关测试（测试非暴露）。

测试项目	测试开始时体模活度	推荐采购剂量	模体尺寸	模体图片	用于
灵敏度	5-10MBq (约0.14mCi-0.27mCi)	开始前2小时订购量25 MBq (约0.7mCi)	灵敏度软管: 长约80cm, 外径3mm		

测试步骤四：散射因子，计数损失，随机测量测试

将散射因子软管插入到散射因子测试体模上（约 1 分钟），置于病床上，摆放位置（约 10 分钟），NEMA 测试的专业技术人员从测试间进入操作室，关紧测试间防护门，并按照 PET 测试流程完成相关测试，用时 11 小时（测试非暴露）。

测试项目	测试开始时体模活度	推荐采购剂量	模体尺寸	模体图片	用于
散射因子, 计数损失, 随机测量	850 - 900 MBq (约24.3mCi)	开始前1小时订购量1.5GBq (约40.6mCi)	散射因子软管: 约80cm, 内径3.2mm, 外径5mm		

4.2 ¹⁸F 灵敏度软管校准 ⁶⁸Ge 线源（每年做 2 次）

用于量产测试的 ⁶⁸Ge 线源，在购买入库使用前需要使用 ¹⁸F 灵敏度软管进行一次校准，具体步骤如下：

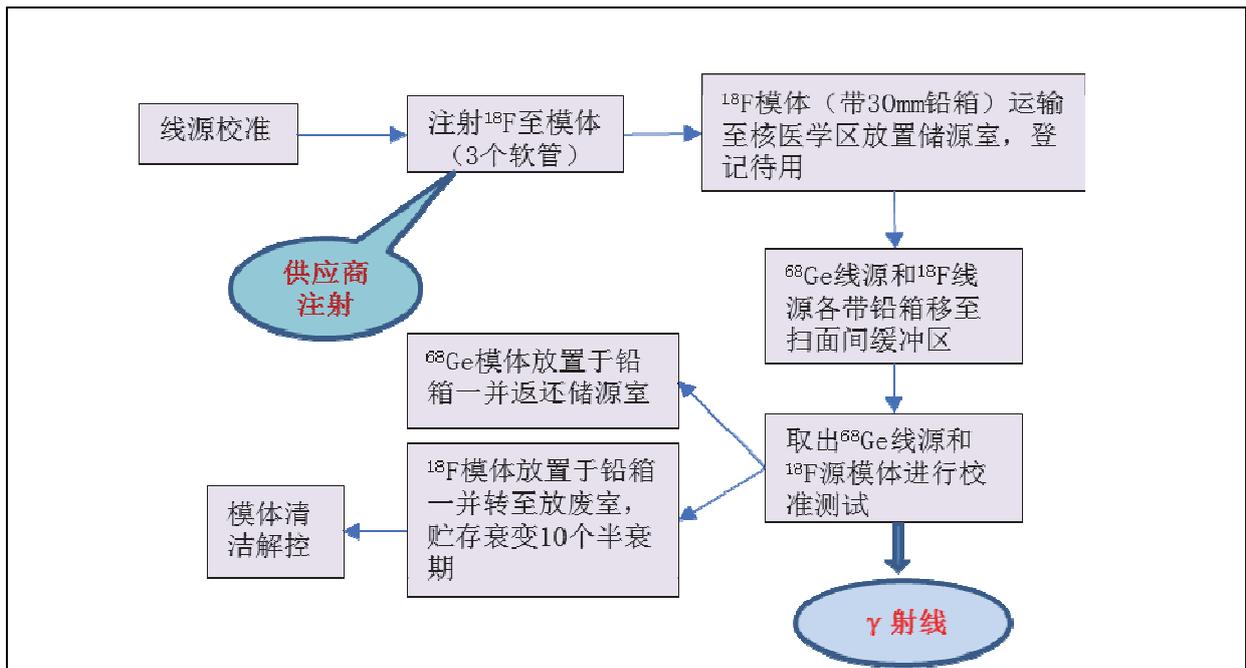


图 9-3 ^{18}F 校准 ^{68}Ge 线源工艺流程及产污环节示意图

(1) 在储源室内将采购的 ^{18}F 灵敏度软管（小于 15Mbq ）取出，分别放入通用医疗的 3 个存储铅罐内，操作时间约 10 分钟。

(2) 将 3 个 ^{18}F 灵敏度软管存储铅罐和 1 个存储待校准 ^{68}Ge 软管线源（小于 18.5Mbq ）的铅罐转移到扫描间内。

(3) 取出其中 1 条 ^{18}F 灵敏度软管插入到灵敏度套管内（约 1 分钟），然后安装到支架上（约 1 分钟），置于病床上，摆放位置（约 10 分钟），并按照 PET 测试流程完成相关测试（测试 30 分钟）。计算出此台 PET-MR 磁体的灵敏度，记录数据，将测完的软管放入铅屏蔽放废桶内(约 1 分钟)。

(4) 对另外 2 条 ^{18}F 灵敏度软管和 1 条 ^{68}Ge 软管线源，分别按照步骤 3 进行同样测试，并分别计算出此台 PET-MR 磁体的灵敏度，记录数据。每测完 1 条 ^{18}F 灵敏度软管及时将其放入放废桶内。

(5) 共进行 4 次测试，得到 4 组测试数据，按照相关公式计算出 ^{68}Ge 软管线源的 ^{18}F 等效活度，并在标签上写上这个等效活度，操作人员给 ^{68}Ge 软管线源贴上标签，放入存储铅罐(约 1 分钟)。做好标识，将存储铅罐推到储源室，做好登记后，待用于量产时灵敏度测试。

4.3 装机测试（量产每年进行 23 台装机测试）

量产的 PET-MR 产品出厂前均需进行一次装机测试，具体步骤如下：

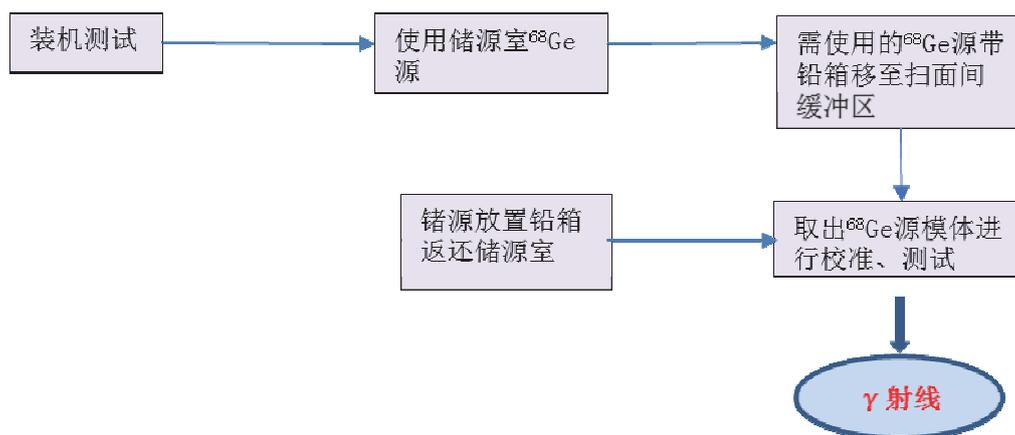


图 9-4 正常装机测试对 ^{68}Ge 源使用工艺流程及产污环节示意图

(1) 日常登记管理各组放射源 ^{68}Ge 相关体模，并暂存于储源室内的铅箱内，量产测试时按需搬运至测试间内。

(2) 初始化质量保证 DQA (Daily Quality Assurance)

将 Annulus 体模放置到支架上，并放在床体上规定的位置，操作时间约 6 分钟，测试人员完成相关测试，共需 225 分钟。

(3) 归一化校正 VQC (Volume Quality Control)

将 VQC 体模放置到支架上，并放在床体上规定的位置，操作时间约 2 分钟，测试人员完成图像对齐测试，需 30 分钟。

(4) 图像融合校正 3D Normalization Correction Calibration

将 Annulus 体模放置到支架上，并放在床体上规定的位置，操作时间约 4 分钟，测试人员完成 3D NCC 测试，共需 30 分钟。

(5) 计数器校正 3D WCC(Well Counter Correction) 测试

将 flood 体模放置到支架上，并放在床体上规定的位置，操作时间约 4 分钟，测试人员完成 3D WCC 测试，需 60 分钟。

(6) 非患者图像基准测试 NPOF(non-patient objects fiducial)

将 PET 小球体模放置到支架上，并放在床体上规定的位置，操作时间约 5 分钟，测试人员完成 NPOF 测试，需 65 分钟。

(7) 灵敏度测试

将 PET 软管线源插入到灵敏度套管中，然后放置到支架上，并放在床体上规定的位置，操作时间约 10 分钟，测试人员完成灵敏度测试，需 30 分钟。

(8) 能量分辨率测试

将 Annulus 体模放置到支架上，并放在床体上规定的位置，操作时间约 2 分钟，测试人员完成能量分辨率测试，共需 10 分钟。

(9) 时间分辨率测试

将 PET 线源放置到支架上，并放在床体上规定的位置，操作时间约 5 分钟，测试人员完成时间分辨率测试，需 15 分钟。

(10) 图像质量测试

将 flood 体模，放在床体上规定的位置，操作时间约 2 分钟，测试人员完成图像质量测试，需 30 分钟。

5.人员编制

公司拟配备 2 名辐射工作人员，计划组织该 2 名辐射工作人员参加国家核技术利用安全与防护网上培训及考核，考核合格证后方可持证上岗。

污染源分析

1 放射性核素的用量

根据建设单位提供的资料，每一年建设单位使用射性药物 (¹⁸F) 对 PET 设备进行一次 NEMA 测试 (共 4 项测试)，考虑测试成功率，按最不利情况每年最多 10 次，并且该测试由建设单位委托天津疾控中心一名 NEMA 测试专业技术人员和通用医疗一名工作人员在 PET 测试间共同完成，总共约需 24 小时，计划早上 10 点开始完成前 3 项测试，晚上 7 点开始完成第 4 项测试，第 2 天早上直接记录测试结果。¹⁸F 放射性药物日最大使用量为 1.5×10⁹Bq，放射性药物年使用量为 1.5×10¹⁰Bq。

建设单位 2 名辐射工作人员一年使用 6 组 V 类放射源 ⁶⁸Ge 对 23 台新生产的 PET 设备进行各项校准等装机测试，测试步骤同前述 ⁶⁸Ge 测试流程。每生产一台 PET 设备，辐射工作人员受照时间。详见表 9-2。

表 9-2 各组放射源及测试时间一览表

序号	核素	分类	活度 Bq×枚数	用途	测试时间	摆位时间
1	⁶⁸ Ge	V	5.5×10 ⁷ Bq×1	PET-MR DQA 测试	4.4h	12min
2	⁶⁸ Ge	V	3.5×10 ⁶ Bq/ 0.7×10 ⁶ Bq×5	PET-MR VQC 测试	0.5h	2min
3	⁶⁸ Ge	V	9.25×10 ⁷ Bq×1	PET-MR WCC 测试	1.5h	6min
4	⁶⁸ Ge	V	2.1×10 ⁶ Bq/ 0.7×10 ⁶ Bq×3	PET-MR NPOF 测试	1.1h	5min
5	⁶⁸ Ge	V	1.85×10 ⁷ Bq×1	PET-MR 灵敏度测试	0.5h	10min

6	⁶⁸ Ge	V	1.1×10 ⁷ Bq×1	PET-MR 分辨率测试	0.25h	5min
---	------------------	---	--------------------------	--------------	-------	------

¹⁸F 灵敏度软管校准 ⁶⁸Ge 线源，每年进行 2 次校准；辐射工作人员一次受照时间，详见表 9-3。

表 9-3 校准 ⁶⁸Ge 线源活度及测试时间一览表

核素	活度 Bq×枚数	用途	测试时间	摆位时间
¹⁸ F	1.5×10 ⁷ Bq×3	校准 ⁶⁸ Ge	90min	39min
⁶⁸ Ge	1.85×10 ⁷ Bq×1	PET-MR 灵敏度测试	30min	13min

2 非密封放射源工作场所分级

(1) 日等效最大操作量计算公式

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 C 规定的非密封放射源工作场所分级标准进行分级。日等效最大操作量计算方法如下：

$$\text{放射性核素日等效最大操作量} = \frac{\text{实际日操作量} \times \text{核素毒性组别修正因子}}{\text{操作方式与放射源状态修正因子}}$$

(2) 分级依据及计算参数

非密封源工作场所的分级依据见表 9-4，放射性核素毒性组别修正因子见表 9-5，操作方式与放射源状态修正因子见表 9-6。

表 9-4 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

表 9-5 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

本项目操作的放射性核素 ¹⁸F 的毒性组别为低毒，由表 9-5 可知，毒性组别修正因子为 0.01。

表 9-6 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平 较低的固体	液体，溶液， 悬浮液	表面有污 染的固体	气体，蒸汽，粉末，压力 很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1

简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

参考《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）中相关内容：医疗机构使用¹⁸F、^{99m}Tc、¹²⁵I 粒籽源相关活动视为“很简单的操作”，本项目外购已封装好，置于模体中的¹⁸F 核素进行操作，相关活动可视为“很简单的操作”。使用的¹⁸F 核素为液态。本项目¹⁸F 的使用，由表 9-4 可知，¹⁸F 使用时操作方式与放射源状态修正因子为 10。

（3）分级计算结果

根据本项目使用的¹⁸F 核素的特性、操作方式、日最大操作量等，计算得出日等效最大操作量及工作场所分级判定，如表 9-7。

表 9-7 非密封源用量及工作场所的分级

核素	日最大操作量 (Bq)	用途	毒性	毒性组别修正因子	物理、化学性状	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)
¹⁸ F	1.5×10 ⁹	PET-MR NEMA 测试	低毒	0.01	液态	10	1.5×10 ⁶

由表 9-5 及《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），本项目使用放射性核素的日等效最大操作量为 1.5×10⁶Bq，在豁免活度值以上~2×10⁷Bq 之间，属于丙级非密封源工作场所。

3 正常工况污染途径

放射性核素¹⁸F 在使用过程中的污染因素主要是 γ 射线、放射性废液、放射性固体废物。

（1） γ 射线

¹⁸F 在衰变过程中会释放 γ 射线， γ 射线穿透能力较强，会对周围环境造成辐射影响。主要为：含¹⁸F 的放射性药物在 PET-MR NEMA 测试使用过程中释放 γ 射线。

（2） β 表面污染

本项目放射性药物¹⁸F 由供应商封装后置于模体中，使用全过程无需打开，正常工况下不会发生洒漏，不造成 β 表面污染。

（3）放射性废气

本项目使用的放射性药物由供应商封装后置于模体中，使用过程中无需打开，使用完成后放置于铅箱（30mmPb）中，因此正常工况下不产生放射性废气。

（4）放射性废液

本项目测试结束后，放射性废液位于模体置于铅箱（30mmPb）中，推到放废间，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后，模体内的纯净水排放下水道，并做好台账记录，空模体重复使用。

（5）放射性固体废物

建设单位根据检测计划定购放射性核素，不存在剩余放射性核素。放射性固体废物主要为 ^{18}F 药物操作过程中有可能被污染的手套、口罩等，置于固体放射性废物桶内，暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后按照公司要求作为危险废物（HW49，900-041-49）处理，并做好台账记录。

4 非正常工况污染途径

（1）由于管理不善，放射性药物丢失或被盗，对工作人员、公众造成辐射事故。

（2）由于操作人员违反操作规定或误操作导致 ^{18}F 意外泄漏而造成台面、地面辐射污染。

（3）放射性固废（模体或非正常情况泄露产生的废液、废抹布等）未达到解控水平或排放标准即进行处理。



表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

1 工作场所布局与分区

1.1 工作场所布局

本项目新建非密封放射性物质工作场所（PET 测试间）位于主厂房一层西南部，对其进行屏蔽防护，并使用非密封放射性物质 ^{18}F 。PET 测试间占地面积 48m^2 ，其平面布局见图 10-1，楼上无建筑和无地下室。

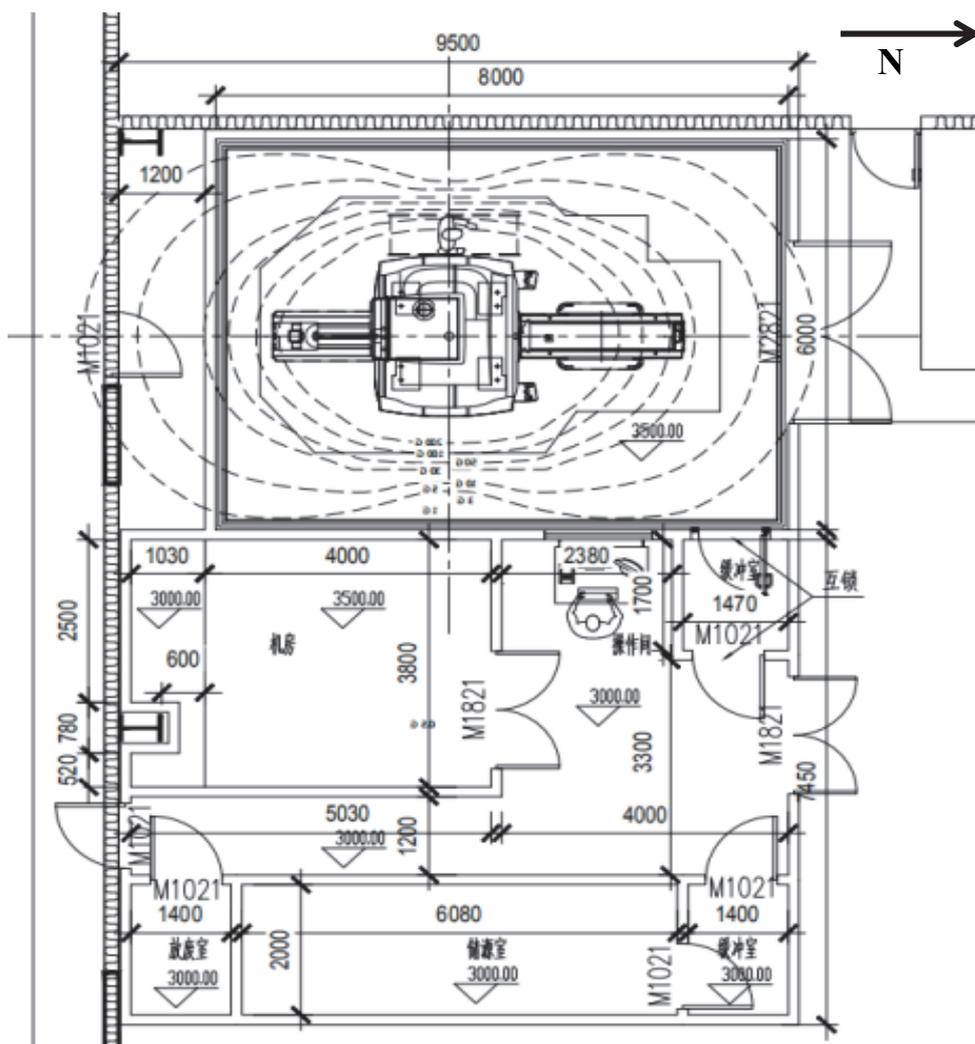


图 10-1 拟建 PET 测试间平面布局图

10.1.1.2 工作场所分区

为加强放射性工作场所的管理，避免人员误闯或误照，便于职业照射控制，应对项目场所进行分区管理，划定控制区和监督区。《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中控制区和监督区定义如下：控制区为在辐射工作场所划分的一种区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施；监督区为

未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域。结合定义与现场实际，本项目辐射工作场所的控制区和监督区分见表 10-1、图 10-2。

表 10-1 本项目场所控制区和监督区的划分

分区	控制区	监督区
工作场所	整个测试区域，包括扫描间、机房、储源室、放废室、缓冲室、操作间及通道	与控制区相邻的区域
管理要求	控制区内禁止外来无关人员进入，职业工作人员在进行日常工作时尽量不要在控制区内停留，以减小不必要的照射；控制区的进出口及其他适当位置设置醒目的电离辐射警告标志	不采取专门的防护手段安全措施，但要定期检测其辐射剂量

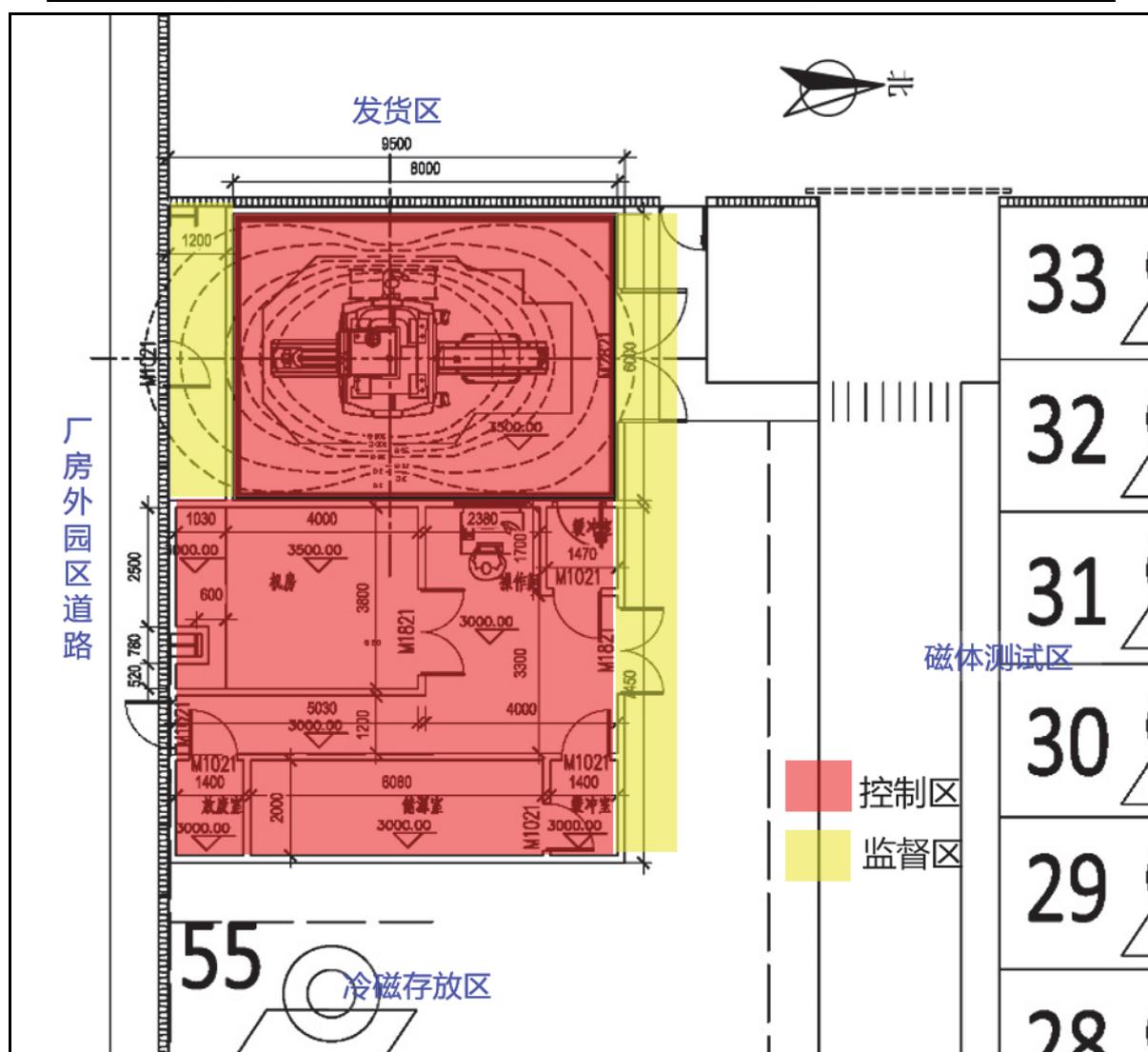


图 10-2 本项目工作场所分区示意图

2 工作场所人员、放射性药物走向

(1) 工作人员走向

进入 PET 测试间操作的辐射工作人员由 PET-MR 测试区北侧 1 号门出入口进入，通过测试间东侧的 2 号铅防护门进入测试间，PET 设备校准完毕后，将购置的已注射放射性药物并封装好的模体从 PET 设备附近铅箱内取出，放置在 PET 设备中进行摆位，摆位合适后退出测试间，控制室操作人员进行图像采集工作，不涉及分装、注射放射性药物操作；图像采集结束后，测试人员返回测试间，取下模体放置在测试间铅箱内，推至放废间。

(2) 放射性药物走向

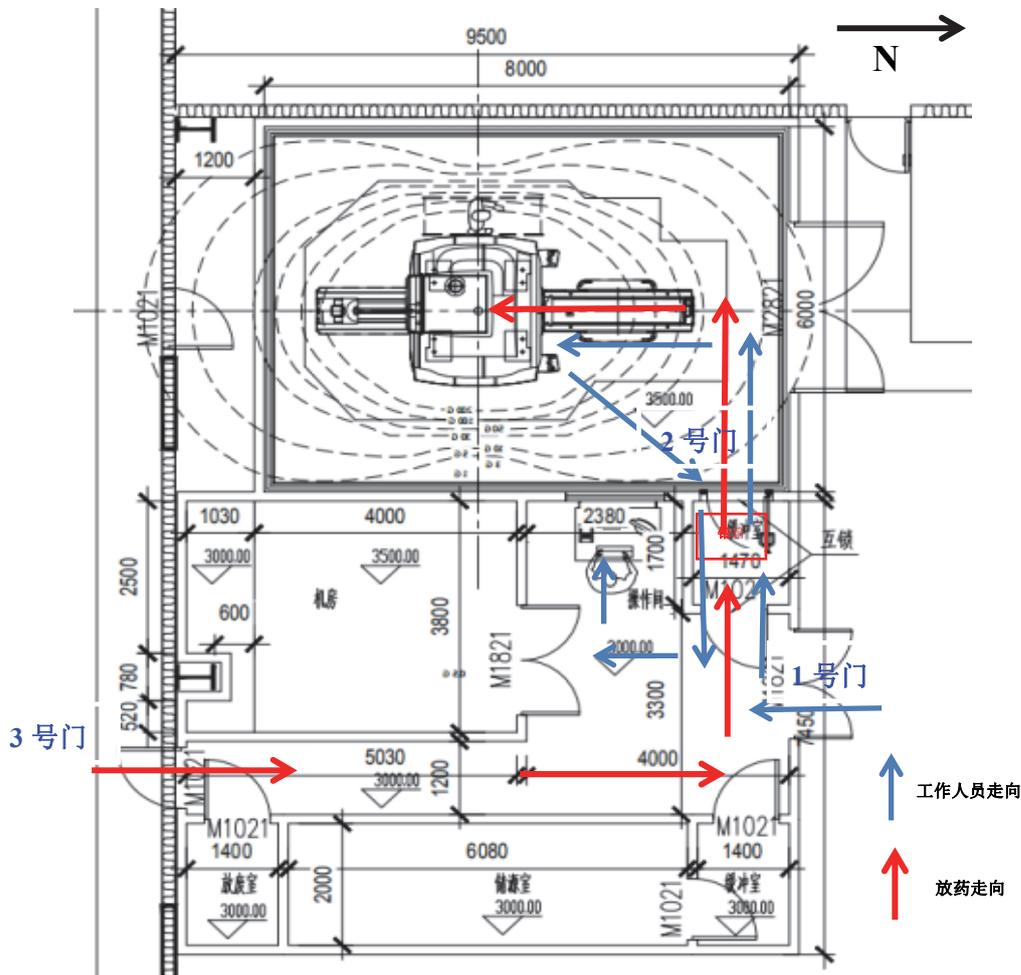


图 10-3 辐射工作人员及放射性药物走向图（测试区域）

本项目使用的放射性药物为外购，供应商根据企业订单，在测试当天将放射性药物注射入模体并封装标记好，放置在各自的屏蔽箱中，于当天建设单位其他工作人员未到岗前，送至通用电气医疗系统（天津）有限公司，购买的放射性药物由供应商专车运送。由公司西侧厂区出入口进入，通过 3 号门将运输的铅箱和注射好 ^{18}F 药物的模

体都运到储源室内；测试前需使用的模体连同铅箱一同运送至扫描间外缓冲间，然后辐射工作人员按测试需要取出模体进入扫描间内设备上摆放，工作人员退出到至操作间，PET 测试间开启测试。

测试完毕后，辐射工作人员取下模体，放置回铅箱，推到放废间，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存超过 30 天后，待放射性核素 ^{18}F 活度浓度满足解控水平后，实施解控处置。模体内的废液（主要成分为纯净水）排入厂区下水道，空模体多次使用。

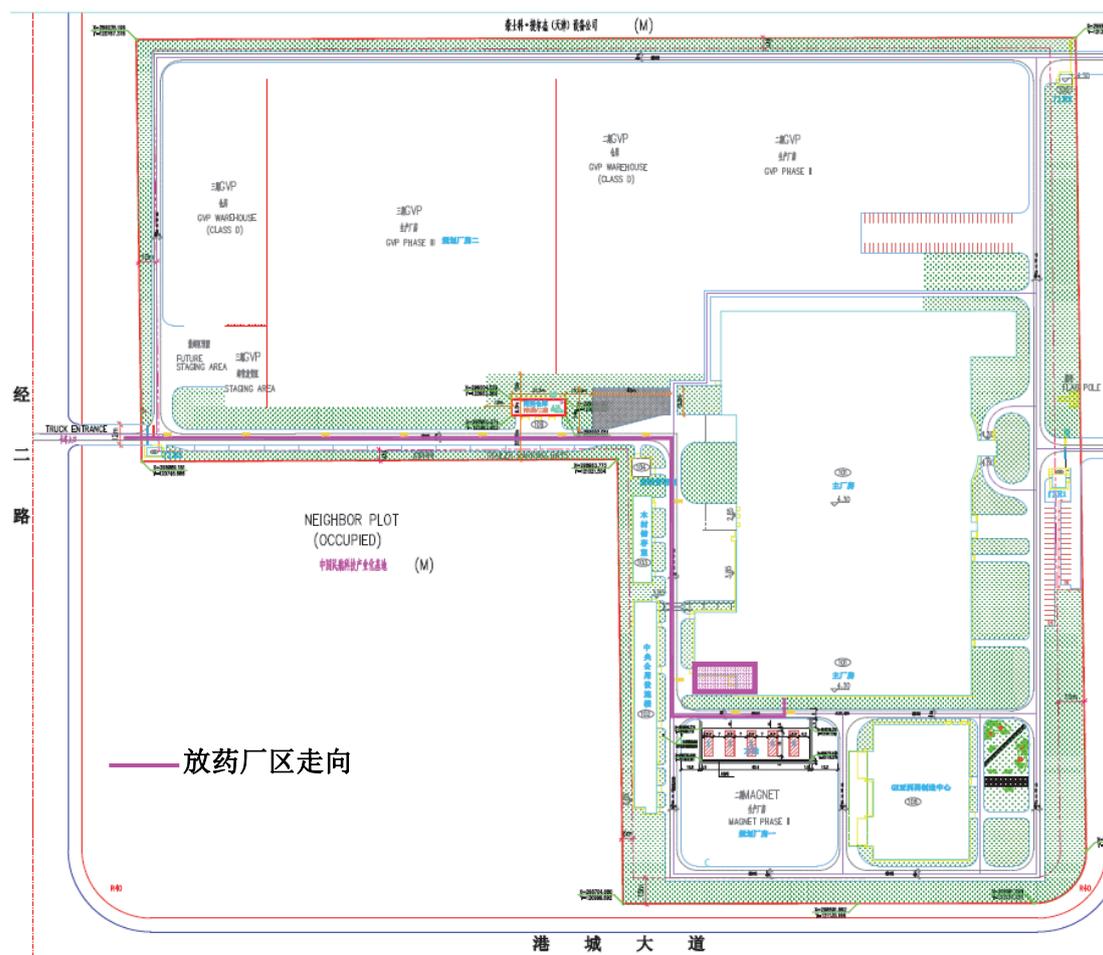


图 10-4 放射性药物在厂区内的走向图

3 辐射安全与防护措施

3.1 屏蔽设计方案

根据建设单位提供的资料，本项目 PET 测试间占地面积约 48m^2 ，内部净尺寸为长(m)净宽(m)净高(m)= $8\times 6\times 3.3$ 。墙体采用 4 墙体采用镀锌方管焊接加 10mm 厚铅板，门采用 10mm 铅防护门。观察窗采用 10mmpb 防护当量的铅玻璃。屋顶采用 4*6cm 镀锌方管焊接加 13mm 厚铅板。测试间的外墙面装饰为石膏板加乳胶漆，内墙面装饰为不

锈钢板,吊顶为不锈钢板。防护门2扇,大门为双开门,2.8×2.8m,小门为单开门,2×0.9m,观察窗1.5×0.9m。门窗均为不锈钢装饰板收边。

储源室面积占地面积约12m²,墙体采用4*6cm镀锌方管焊接加12mm厚铅板。门采用12mm铅防护门。屋顶采用4*6cm镀锌方管焊接加12mm厚铅板。储源室内墙面装饰为铝塑板,吊顶为铝扣板。防护门1扇,双开门,2.1×1m,门为不锈钢装饰板收边。放废室墙体采用4*6cm镀锌方管焊接加12mm厚铅板。门采用12mm铅防护门。屋顶采用4*6cm镀锌方管焊接加12mm厚铅板。

本项目放射性工作场所(PET测试间)的防护屏蔽设计情况见表10-2。

表 10-2 本项目放射性工作场所(PET测试间)防护屏蔽设计一览表

PET测试间	材质
四侧墙体	10mmPb当量,铅板
屋顶	13mmPb当量,铅板
防护铅门(均为手动门)	10mmPb当量,内衬铅板
观察窗	10mmPb当量,铅玻璃

注:本项目PET测试间位于一层,无地下建筑,地面不做防护。

3.2 辐射安全和防护措施

(1) 防护用品、设备:根据建设单位提供的资料,本拟配置铅橡胶衣、铅防护眼镜等个人防护用品和铅防护屏风、铅箱、铅罐、一体化放射性清洗衰变车等防护设备,具体见表10-3。

表 10-3 工作场所拟配置的防护设备和个人防护用品

名称	数量	铅当量
铅橡胶衣	3件	不小于0.5mmPb
铅防护眼镜	2副	0.5mmPb
铅罐	2个	30mmPb
铅箱	4个	30mmPb
一体化放射性清洗衰变车	1辆	内含衰变池

所有涉及放射性药物和放射源的测试,均由一个人操作完成,建设单位所配备的个人防护用品能满足操作时个人防护用品要求。一体化放射性清洗衰变车平时放置于储源室内,应急用时推出使用。

(2) 安全连锁:本项目PET测试间拟设置安全连锁设施,如门机连锁、在防护门上方设置工作状态指示灯(门灯连锁)。

(3) 电离辐射警示标志和中文警示说明:本项目PET测试间出入口拟设置电离辐射警示标志,警示进入人员提高警惕,注意电离辐射。

(4) 视频监控系统：本项目 PET 测试间外设置视频监控，通过观察窗观察辐射工作人员操作，确保防止出现误照射。储源室外设置视频监控，防止放射源丢失、被盗。

(5) 表面污染去除：本项目拟配备去污用品（一次性防水手套、气溶胶防护口罩、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂和硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸、水纸、不同大小的塑料袋等）置于操作间内，以便模体发生破损导致放射性药物发生洒漏可及时去除。

(6) 通风：本项目使用放射性药物封装在模体中，使用全过程无需打开模体，故本项目 PET 测试间采取自然通风。

(7) 放射性废液：模体使用后放置于铅箱中，推到放废室，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后，模体内的纯净水排放下水道，并做好台账记录，空模体重复使用。

(8) 固体废物：PET 测试间内拟配备放射性废物桶。放射性固体废物主要为防护用口罩、手套，收集于放射性废物桶中，推到放废间，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存超过 30 天后，待放射性核素 ^{18}F 活度浓度暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后按照公司要求作为危险废物（HW49，900-041-49）处理。用来收集放射性固体废物的废物桶贴上电离辐射警示标志，每次收集时应贴上标签，标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。

(9) 监测设备：公司拟配备 1 台 X- γ 剂量率仪、1 台手持式表面污染监测仪、1 台个人剂量报警仪，同时为所有辐射工作人员配置个人剂量计。本项目运行后做好日常辐射环境监测并记录存档，同时委托有资质单位进行年度场所辐射环境监测。满足相关核与辐射法律法规中辐射监测设备要求。

(10) 其他管理措施：操作区内不应进食、饮水、吸烟、化妆，也不应进行无关工作及存放无关物品；建立严格的放射性药物管理制度，放射性药物的使用及放射性废物的处理设专人管理，及时登记、检查、妥善保管，防止遗失。

4、辐射防护与环保投资

本项目辐射防护与环保投资主要包括：辐射屏蔽防护措施、个人剂量计、个人剂量报警仪、X- γ 剂量率仪等，环保投资约 273.7 万，环保投资占总投资的 30.4%，具体明细见表 10-4。

表 10-4 环保投资明细

序号	项目	投资估算（万元）	备注
----	----	----------	----

1	实体辐射屏蔽防护	225	墙体防护、防护门、防护观察窗等
2	X-γ 剂量率仪	2	1 台
3	个人剂量计	0.5	4 个
4	个人剂量报警仪	0.2	1 个
5	手持式表面污染仪	1	1 台
6	防护用品及设备	10	含铅箱、铅罐
7	一体化放射性清洗衰变车	25	1 台
7	其他	10	警示标识、门灯联锁、人员培训、环境监测
合计		273.7	—

三废的治理

1.放射性废气

由污染源分析可知，本项目使用的放射性药物封装在模体中，操作全过程无需打开模体，且测试前后模体均置于铅箱中，操作比较简单，不经过加热、振荡等步骤，无放射性气溶胶产生，因此本项目 PET 测试间采用自然通风。

2.放射性废液

本项目放射性药物封装在模体中，测试完成后模体置于铅箱中，推到放废间，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后，模体内的纯净水排放下水道，并做好台账记录，空模体重复使用。

3.放射性固体废物

本项目放射性固体废物主要为放射性药物操作过程中产生的防护用手套（正常测试无沾染，如发生泄露考虑沾染）、口罩、污染擦拭或清洗物等。

放射性固体废物存放于放射性废物桶中，暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后按照公司要求作为危险废物（HW49，900-041-49）处理。用来收集放射性固体废物的废物桶应贴上电离辐射警示标志，桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物，装满后的塑料袋应密封、不破漏。每次收集时塑料袋表面应贴上标签，标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目在建设期对环境无辐射影响，亦无放射性废气、废水及固体废弃物产生。在建设阶段的环境影响主要为土建期间的的影响。

1 空气环境影响分析

施工期粉尘扬尘的主要来源有：建筑装修材料的运输装卸过程、土建施工过程和工地杂物的清理过程等。为减少施工时产生的扬尘，在施工过程中应采取有效的防尘、降尘措施：在施工场地的出入口，设置一定的围闭措施拦截尘土的飘散；在施工场地内及附近路面洒水、喷淋，尽量减小扬尘的产生。

2 水环境影响分析

施工期废水主要为施工人员产生的生活污水。施工人员生活污水进入企业现有排水系统统一处理。

3 声环境影响分析

施工期噪声主要为施工机械运行产生的噪声。为降低施工期声环境影响，建设单位应采取切实有效的防噪措施：在施工时严格执行《建筑施工厂界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的标准，对施工机械采取消声降噪措施，合理安排施工作业计划，禁止当日 22 时至次日 6 时进行产生噪声污染的施工作业和建筑材料的运输。

如需夜间施工作业的，必须提前 3 日向当地行政审批部门提出申请，经审核批准后，方可施工，并由施工单位公告当地居民。

通过采取以上措施后，施工噪声可得到较好的控制，对周围环境影响较小。

4 固体废物影响分析

施工期间产生少量以建筑垃圾为主的固体废物，委托有资质单位清运，并做好清运工作中的装载工作，必须密闭、包扎、覆盖，防止建筑垃圾在运输途中散落。施工人员生活垃圾集中收集，定期由城管委清运。

本项目建设阶段的环境影响是暂时性的，待施工结束后，受影响的环境因素可以恢复到现状水平。

运行阶段对环境的影响

1、项目主要环境影响

本项目使用的 ^{18}F 放射性核素为短半衰期核素，在测试中 ^{18}F 放射出的低能 γ 射线，会对周围环境产生外照射影响。

2、辐射环境影响分析

2.1 预测模式

(1) γ 外照射辐射剂量率计算公式

根据不同测试核素的操作方式和操作量，对核素的使用过程造成的辐射影响进行分析。参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I, I.2：保守起见，所有核素（如 $^{99}\text{Tc}^m$ 、 ^{131}I 、 ^{18}F ）工作场所的屏蔽，可采用瞬时剂量率计算方法。符合瞬时剂量率目标要求的屏蔽厚度 x 的计算，见下式：

$$x = TVL \times \lg \left(\frac{A \times \Gamma}{\dot{H}_p \times r^2} \right) \dots\dots\dots (11-1)$$

式中：

x ：屏蔽厚度，单位为 mm，见表 10-2；

TVL ： γ 射线的十分之一值层厚度，单位为 mm，见表 11-1；

A ：放射源的最大活度，单位为 MBq；

Γ ：距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$ ，见表 11-1；

\dot{H}_p ：屏蔽体外关注点剂量率值，单位为 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

r ：参考点与放射源间的距离，单位为 m。

本项目已知 PET 测试间屏蔽厚度，计算屏蔽体外关注点剂量率 \dot{H}_p ，可将上述公式转换为：

$$\dot{H}_p = \frac{A \cdot \Gamma \cdot \eta}{r^2} \dots\dots\dots (11-2)$$

式中：

η ：屏蔽体的减弱系数。

其余参数同上。

$$\eta = \prod_{i=1}^n 10^{-x_i/TVL_i} \dots\dots\dots (11-3)$$

x_i —第 i 种屏蔽体的厚度, mm;

TVL_i —第 i 种屏蔽体的什值层厚度, mm。

本项目涉及到的放射性核素的周围剂量当量率常数（裸源）、十分之一值层厚度见下表。

表 11-1 本项目核素周围剂量当量率常数、十分之一值层参数

核素	Γ 周围剂量当量率常数 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq} \cdot \text{h}$	砖 mm	混凝土 mm	铅 mm
		$1.65\text{g}/\text{cm}^3$	$2.35\text{g}/\text{cm}^3$	$11.3\text{g}/\text{cm}^3$
^{18}F	0.092	263	176	16.6
^{68}Ge	0.010	14	9	1.7

注：数据参考《核医学放射防护要求》（GBZ 120-2020）附录 I 表 I.1；《辐射安全手册》（潘自强主编，2011 年科学出版社，P146 图 6.4）；

(2) 年有效剂量估算公示

$$H = \dot{H}_p \times t \times T \times 10^{-3} \dots\dots\dots (11-3)$$

式中：

H ：年有效剂量，mSv/a；

\dot{H}_p ：关注点的 γ 辐射剂量率， $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ；

t ：年受照时间，h/a；

T ：居留因子，参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）附录 A 不同场所与环境条件下的居留因子取值如下表。

10^{-3} ：吸收剂量对有效剂量的换算系数，mSv/ μGy 。

表 11-2 不同场所与环境条件下的居留因子

场所	居留因子 T	示例
全居留	1	控制室、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区
部分居留	1/2—1/5	走廊、休息室、杂物间
偶然居留	1/8—1/40	厕所、楼梯、人行道

2.2 剂量关注点

根据本项目操作流程、工作场所平面布局及周围环境分析，本项目工作场所控制区内工作人员所受辐射剂量主要为近距离操作放射性药物造成的，隔室造成辐射剂量影响可以忽略，因此控制区内工作人员主要计算近距离操作核素过程中所受辐射剂量，不设

固定的剂量关注点。

根据 ^{68}Ge 相关参数和公式 11-3，在铅箱（30mmPb）及源库（12mmPb）屏蔽条件下，本项目使用 ^{68}Ge 源（按总活度计算）在铅箱外 30cm 处的 γ 辐射剂量率计算值约为 $4.6 \times 10^{-17} \mu\text{Sv/h}$ ，远低于本底监测值，再加上源库的铅防护和随距离的衰减，对周围环境影响甚微。因此，不再将源库四周作为剂量关注点；放废间采用 12mmPb 板防护，且用后的模体放入铅箱（30mmPb）内，且经测试后，模体内的 ^{18}F 已经过衰减，因此，不再将放废间四周作为剂量关注点。

本次评价选取控制区以外、与测试间紧邻的有代表性的辐射工作人员和公众人员居留处作为剂量关注点，具体位置说明见表 11-3，剂量关注点情况详见图 11-1。

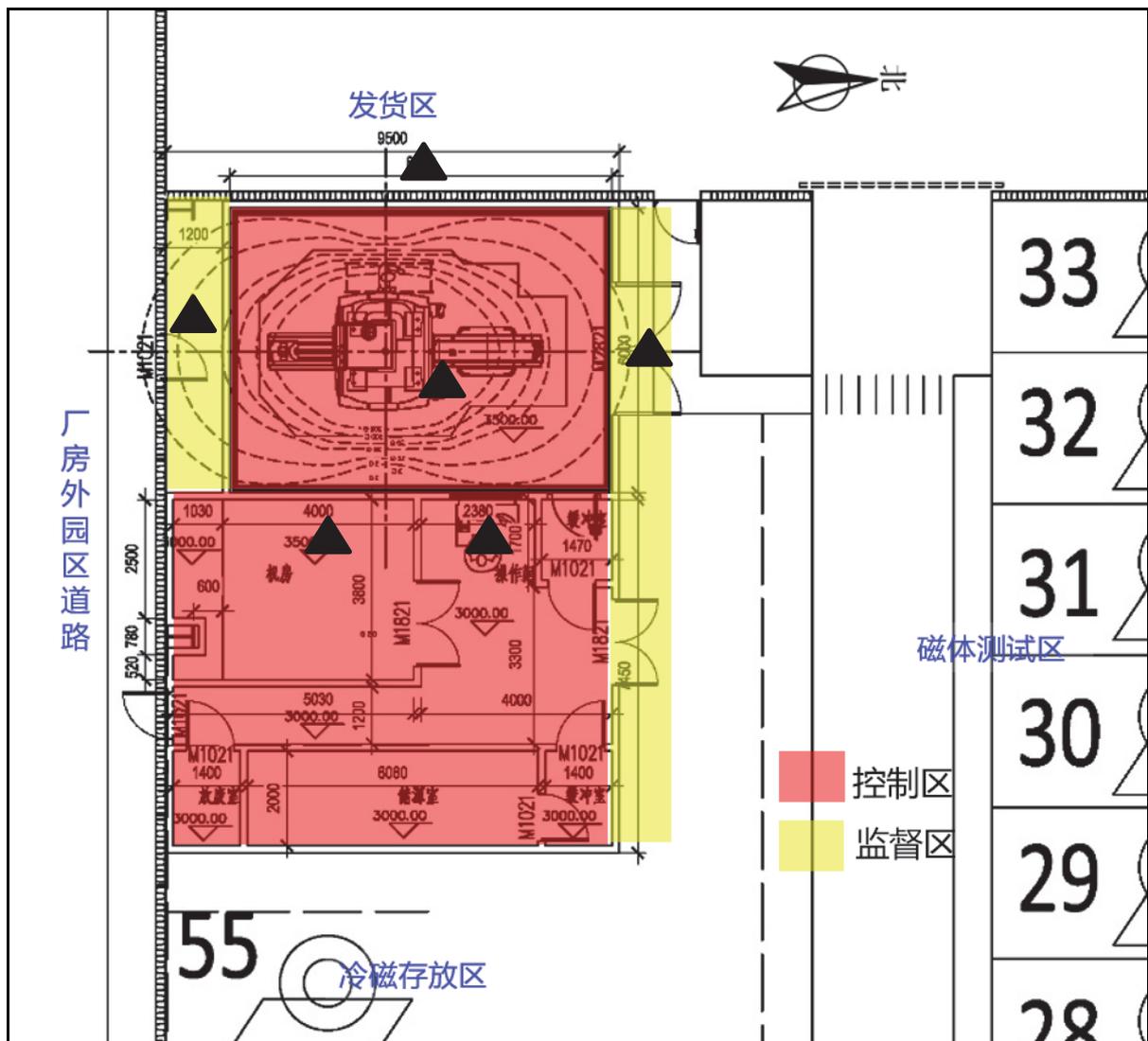


图 11-1 本项目 PET 测试间剂量关注点



图 11-2 PET 测试间外部剂量关注点

表 11-3 剂量关注点位置

序号	关注点名称	位置特征	涉及人员
1	PET 测试间内摆位处	测试间内	辐射工作人员
2	PET 测试间北防护墙外 0.3m 处	MR 组装生产线	公众
3	PET 测试间南防护墙外 0.3m 处	设备间	无人
4	PET 测试间西防护墙外 0.3m 处	工厂设备发货平台	公众
5	PET 测试间东侧观察窗外 0.3m 处	操作间	辐射工作人员
6	PET 测试间东防护墙外 0.3m 处	机房	无人

考虑 γ 外照射剂量率随辐射源与计算点之间的距离及屏蔽墙体数量（厚度）的增加而迅速衰减，剂量率计算仅考虑距离关注点最近的辐射源。

2.3 γ 辐射剂量率预测分析

本项目使用的非密封放射物质由供应商注射至模体内并封装好后运送至公司，不需在本公司进行分装、注射操作，且购置当天使用完毕，不在公司进行贮存，故本次预测分析仅考虑 PET 测试过程产生的 γ 辐射剂量率，由于模体运送到 PET 测试间后放置于铅箱（30mmPb）中暂存时间较短，因此 ^{18}F 在铅箱中暂存对 PET 测试间外的影响可忽略

不计。

本项目铅箱位于 PET 设备附近，测试时辐射工作人员进入测试间将模体从铅箱中取出至 PET 设备上摆位后进行 PET 显像操作，该过程约用时 1min。摆位过程工作人员穿着 0.5mmPb 的铅橡胶衣，距模体距离约 50cm。本项目进行图像质量测试和性能测试时，按各项测试中的最大操作量 $9 \times 10^8 \text{Bq}$ （约 24.3mCi）测算，则进行图像质量测试、性能测试等全过程时计算得到辐射工作人员摆位时身体所受剂量率为 $309 \mu\text{Sv/h}$ 。

根据辐射防护屏蔽材料及式（11-1）和式（11-2），计算 PET 测试时剂量关注点处 γ 辐射剂量率，使用放射性药物 (^{18}F)，四周关注点剂量按 NEMA 测试时第四步最大操作量为 $9.0 \times 10^8 \text{Bq}$ （900M Bq）进行测试时和 ^{18}F 校准 ^{68}Ge 时计算结果见表 11-4 和表 11-5。

表 11-4 使用 ^{18}F 测试时各关注点 γ 辐射剂量率

序号	关注点名称	屏蔽厚度	源到计算点的最 近距离 (r) , m	关注点 γ 辐射剂量率 (\dot{H}_p) , $\mu\text{Sv/h}$
1	测试间内摆位 (NEMA 步骤一)	0.5mmPb铅橡胶衣	0.5	58
	测试间内摆位 (NEMA 步骤二)	0.5mmPb铅橡胶衣	0.5	69
	测试间内摆位 (NEMA 步骤三)	0.5mmPb铅橡胶衣	0.5	3
	测试间内摆位 (NEMA 步骤四)	0.5mmPb铅橡胶衣	0.5	309
2	测试间外北侧防护墙外 0.3m 处 (MR 组装区)	10mmPb 铅板	5.15	0.8
3	测试间外南侧防护墙外 0.3m 处 (设备间)	10mmPb 铅板	3.7	1.5
4	测试间外西侧防护墙外 0.3m 处 (发货平台)	10mmPb 铅板	3.3	1.9
5	测试间东侧观察窗外0.3m 处 (操作间)	10mmPb 铅板	3.5	1.7
6	测试间外东侧防护墙外 0.3m 处 (机房)	10mmPb 铅板	3.3	1.9

表 11-5 使用 ^{18}F 校准 ^{68}Ge 时各关注点 γ 辐射剂量率

序号	关注点名称	屏蔽厚度	源到计算点的最 近距离 (r) , m	关注点 γ 辐射剂量 率 (\dot{H}_p) , $\mu\text{Sv/h}$
1	测试间内摆位	0.5mmPb铅橡胶衣	0.5	5.2
2	测试间外北侧防护墙外 0.3m 处 (MR 组装区)	10mmPb 铅板	5.15	0.013

3	测试间外南侧防护墙外 0.3m 处（设备间）	10mmPb 铅板	3.7	0.025
4	测试间外西侧防护墙外 0.3m 处（发货平台）	10mmPb 铅板	3.3	0.032
5	测试间东侧观察窗外 0.3m 处（操作间）	10mmPb 铅板	3.5	0.028
6	测试间外东侧防护墙外 0.3m 处（机房）	10mmPb 铅板	3.3	0.032

由表 11-4、表 11-5 可知，使用放射性药物 ^{18}F 进行 NEMA 和 ^{18}F 校准 ^{68}Ge 时 PET 测试间周围 γ 辐射剂量率满足相关标准规定 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

3 本项目辐射工作人员和公众年有效剂量估算

(1) 辐射工作人员年有效剂量估算

NEMA 测试时辐射工作人员受 γ 外照射主要发生在扫描显像、摆位、测试期操作、显像结束后将模体取出过程，操作时间具体见表 11-6；每年只需进行一次 NEMA 测试，考虑测试成功率，按最不利情况每年 10 次进行测算。

^{18}F 校准 ^{68}Ge 每年进行 2 次，辐射工作人员操作时间具体见下表 11-6。

表 11-6 本项目辐射工作人员操作时间（按最不利情况，统计时间）

测试名称	NEMA 测试			
	步骤一	步骤二	步骤三	步骤四
摆位时间	10min	1h	10min	10min
年受照时间	1.7h	10h	1.7h	1.7h
测试时间	20min	2h	30min	11h
年受照时间	3.3h	20h	5h	110h

测试名称		^{18}F 灵敏度软管校准 ^{68}Ge 线源
摆位	一次受照时间	39min
	年受照时间	1.3h
测试	一次受照时间	90min
	年受照时间	3h

在这些操作中受到的附加年有效剂量如下表所示。

表 11-7 本项目辐射工作人员进行 NEMA 测试 (^{18}F) 年有效剂量

关注点	操作流程	年照射时间 (t), h	γ 辐射剂量率 (\dot{H}_p), $\mu\text{Sv/h}$	居留 因子	年有效剂量 (H), mSv/a	
					计算值	叠加值
PET 测 试间	摆位 (步骤一)	1.7	58	1	0.096	1.54
	摆位 (步骤二)	10	69	1	0.687	
	摆位 (步骤三)	1.7	3	1	0.006	
	摆位 (步骤四)	1.7	309	1	0.515	
控制区 操作台	测试	138.3	1.7	1	0.235	

注：操作位按最不利情况状况下的 γ 辐射剂量率进行计算。

表 11-8 本项目辐射工作人员使用 ^{18}F 进行 ^{68}Ge 校准年有效剂量

关注点	操作流程	年照射时间 (t), h	γ 辐射剂量率 (\dot{H}_p), $\mu\text{Sv/h}$	居留因子	年有效剂量 (H), mSv/a
PET 测试间	摆位	1.3	5.2	1	6.8×10^{-3}
控制区操作台	测试	3	0.028	1	8.4×10^{-5}
年有效剂量 (H), mSv/a 叠加值			6.9×10^{-3}		

由表 11-7、表 11-8 可知，本项目一名辐射工作人员年受照有效剂量为 NEMA 测试和校准 ^{68}Ge 的叠加值，则辐射工作人员受照年有效剂量为 1.55mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 规定的职业照射剂量限值 20mSv/a 和本报告提出的辐射工作人员辐射剂量约束值 2mSv/a 的要求。

(2) 公众成员年有效剂量估算

根据本项目平面布局图，评价范围内公众受到辐射影响的位置主要公司内部其他区域工作人员、监控室工作人员、道路途经公众。

考虑剂量率随辐射源与计算点之间的距离及屏蔽墙体数量（厚度）的增加而迅速衰减，公众年有效剂量仅考虑距离关注点最近的辐射源，不再考虑较远处辐射源的叠加影

响。根据前面计算的剂量率及公众成员受照时间、居留因子等计算得出公众人员受到的附加年有效剂量如下表 11-9 所示。

表 11-9 本项目使用 ^{18}F 进行 NEMA 测试时公众成员年有效剂量

序号	点位	年照射时间 (t), h	γ 辐射剂量率 (\dot{H}_p), $\mu\text{Sv/h}$	居留因子	年有效剂量 (H), mSv/a
1	测试间外北侧防护墙外 0.3m 处 (MR 组装区)	151.7	0.8	1/4	3.0×10^{-2}
2	测试间外南侧防护墙外 0.3m 处 (设备间)	151.7	1.5	1/16	1.4×10^{-2}
3	测试间外西侧防护墙外 0.3m 处 (发货平台)	151.7	1.9	1/16	1.8×10^{-2}
4	测试间外东侧 (机房)	151.7	1.9	1/8	3.6×10^{-2}

注：居留因子参考 IAEA47 号报告取值，具体见表 11-2。

表 11-10 本项目使用 ^{18}F 进行 ^{68}Ge 校准测试时公众成员年有效剂量

序号	点位	年照射时间 (t), h	γ 辐射剂量率 (\dot{H}_p), $\mu\text{Sv/h}$	居留 因子	年有效剂量(H), mSv/a
1	测试间外北侧防护墙外 0.3m 处 (MR 组装区)	4.3	0.013	1/4	1.4×10^{-5}
2	测试间外南侧防护墙外 0.3m 处 (设备间)	4.3	0.025	1/16	6.7×10^{-6}
3	测试间外西侧防护墙外 0.3m 处 (发货平台)	4.3	0.032	1/16	8.6×10^{-6}
4	测试间外东侧 (机房)	4.3	0.032	1/8	1.7×10^{-5}

本项目公众成员所受的年有效剂量为 NEMA 测试和校准测试的叠加值，叠加结果见表 11-15。

表 11-11 本项目公众成员年有效剂量叠加值

序号	点位	年有效剂量 (H), mSv/a		
		NEMA 测试	校准测试	叠加值
1	测试间外北侧 (MR 组装区)	3.0×10^{-2}	1.4×10^{-5}	3.0×10^{-2}
2	测试间外南侧 (设备间)	1.4×10^{-2}	6.7×10^{-6}	1.4×10^{-2}
3	测试间外西侧 (发货平台)	1.8×10^{-2}	8.6×10^{-6}	1.8×10^{-2}
4	测试间外东侧 (机房)	3.6×10^{-2}	1.7×10^{-5}	3.6×10^{-2}

由估算结果可知，本项目公众成员所受的年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 规定的关键人群组的成员剂量限值 1 mSv/a 外，其余关注点公众成员所受的年有效剂量满足本报告提出的公众成员辐射剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

3.β 表面污染

放射性药物洒漏可能产生少量的 β 表面污染，由于射线穿透力低，只要采用相应的

防护措施并配备相应的仪器，及时进行表面污染检查，采取适当的去污措施，及时清洗超过污染控制水平的手、皮肤、设备、墙壁、地面等处的表面污染，可尽可能将 β 表面污染对人员的影响降低。

事故影响分析

1.事故风险识别

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

(1) 由于管理不善，注射有 ^{18}F 放射性药物的模体丢失或被盗，可能对工作人员、公众造成辐射事故。

(2) 本项目由于操作人员违反操作规定或误操作使模体破裂导致 ^{18}F 泄漏，而造成的放射性外照射和表面污染。

(3) 放射性废物处置或管理不善，对工作人员和公众造成的照射。

①放射性废液：放射性废液未经足够的时间衰变即进行擅自处置，使其排放超过规定的限值，可能对环境或人体造成一定的危害；

②放射性固体废物：放射性固体废物未经足够的时间衰变，存放时间过短，即进行擅自处理，可能对环境造成污染和对公众造成危害；

③放射性废物在衰变过程中，辐射工作人员未穿戴个人防护用品进入 PET 测试间内，可能造成辐射事故。

2.事故风险预防措施

上述辐射风险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，公司应采取一系列的预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响。

(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，避免药物洒漏事故的发生。若发生洒漏事故后，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好清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦拭，直到擦干污染区，并用表面污染监测仪测量污染区，如果控制区内的工作台面、设备、墙壁、地面 β 表面污染大于 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ ；监督区内的工作台面、设备、墙壁、地面及控制区、监督区内工作人员工作服、手套、工作鞋上的 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，则表明相应受污染区域的污染物未达到控制标准，建设单位配备相应去污用品，使用去污剂进行清除，用酒精湿巾

或浸湿一次性毛巾、吸水纸擦拭，直到各污染区 β 表面污染达到相应控制标准以下为止。擦拭物收集放到放射性固体废弃物收集桶内，作为放射性固体废物进行处理。

(2) 制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的购买、使用登记工作，做好安全防护和防盗工作，确保放射性药物的安全。

(3) 加强放射性废物的管理，对暂存的放射性废物标明放射性废物的类型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废物交由供应商处理，并做好交接记录。

(4) 个人防护用品主要有铅橡胶围裙、铅橡胶衣等。工作人员进入控制区必须穿戴放射防护用品，佩戴个人剂量计。辐射防护负责人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。

(5) 放射性核素偷盗、丢失事件的处理：①确认放射性核素被偷盗、丢失事件的发生。②查证放射性核素的名称、数量、活度。③及时向生态环境主管部门、卫生部门报告，积极配合公安部门的调查。④写出事件处理结果报告，查找事件发生的原因及可能的环节，评估事件影响。

3.辐射事故应急措施

3.1辐射事故应急处理程序

根据《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）中的要求，该项目所使用的放射性核素可能发生的事故是指放射性核素失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。本项目辐射事故应急措施主要包括以下几个方面：

(1) 辐射事故发生后，操作人员应停止使用放射性核素、关上机器，现场人员应迅速撤至安全区域，保护现场，通知防护人员和应急小组，上报辐射安全领导小组。

(2) 辐射安全领导小组接到辐射事故报告后，应立即派人赶赴现场，进行现场调查，采取有效措施，立即启动本公司的《辐射事故应急预案》，采取必要的防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门和公安部门报告。应急小组应对受照情况作出初步判断，造成或可能造成人员超剂量照射的，立即采取暂时隔离和应急救援措施，还应同时向当地卫生行政部门报告。

(3) 当发生放射性药物滴落到地面上，严禁用水冲洗，立即用吸水纸吸取污染液体，并用彩笔将污染范围圈定，并在边上注明污染核素名称和污染时间。当较大量放射性药

物泄漏，值班人员立即向部门领导汇报，部门领导下令立即封闭现场，在查明具体情况和对可能造成的危害确定后，立即向辐射安全领导小组汇报。

(4) 当发生放射性核素丢失、被盗事故时，在保护好现场的同时协助辐射安全领导小组和公安部门对事故的调查和侦破。

(5) 当发生火灾、爆炸或地震时，操作放射性药物的人员应立即停止操作，关闭辐射工作场所，值班人员应立即通知上报辐射安全领导小组，并协助消防和保卫部门做好现场保护工作，并报告现存放射性药物的名称、数量、存放的地点和可能造成的危害。

(6) 辐射事故发生后，本公司应立即将可能受到辐射伤害的人员送至当地卫生主管部门指定的医院或者有条件救治辐射损伤病人的医院，进行检查和治疗，或者请求医院立即派人赶赴事故现场，采取救治措施。

(7) 公司应配合上级生态环境主管部门、公安、卫生行政部门对现场进行勘察，技术处理及事故善后工作，配专人做好各种现场记录。事故现场达到安全标准后，才能解除封锁。

总之，为减少事故发生，须加强管理力度，提高辐射工作人员的技术水平，严格按照规范操作，减少故障的发生，提高单位应急能力，从而确保辐射环境安全。

3.2 事故调查和处理程序

(1) 成立事故调查小组。

(2) 调查小组要遵循实事求是的原则对事故的发生时间、地点、起因、过程和人员伤害情况及财产损失情况进行细致的调查分析，并认真做好调查记录，记录要妥善保管。

(3) 调查小组向公司应急救援领导小组汇报事故调查报告书方面的工作，同时，协助卫生行政部门、公安部门进行事故调查、处理等各方面的相关事宜。

3.3 事故处理措施

辐射工作场所发生辐射损伤、药物失控等事故时，应对事故场所划定一定范围的控制区，限制人员进入，及时安排专业人员进行去污处理，对环境所造成的辐射剂量进行估算；处理后对事故场所的辐射剂量进行检测，待无辐射污染时，解除控制区。

综上所述，项目经采取以上防范措施，严格按照相关法律法规的要求进行管理，定期演习辐射事故应急方案，对发现的问题及时进行整改，可使项目环境风险影响降至最低。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

1.辐射安全领导小组建立

通用电气医疗系统（天津）有限公司拟根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法律、法规的要求成立新的辐射安全领导小组，负责辐射安全与环境保护管理工作。成员组成详见表12-1。

表 12-1 辐射安全领导小组人员

姓名	职务	专职（兼）	主要职责
王亚男	负责人	兼职	第一责任人，负责全公司辐射安全防护工作的指导、监督、检查和管理 负责收集、整理、分析全公司辐射防护的有关资料，及时制定并采取防护措施；负责制定射线装置等操作维护规程，督促各有关科室人员采取有效的防护措施、合理使用个人防护用品，并对放射工作人员建立健康档案，负责辐射防护的培训、咨询及技术指导。
刘林	辐射安全防护负责人	专职	
朱磊	成员	兼职	
徐强	成员	兼职	
何秋萌	成员	兼职	

2.辐射工作人员持证情况

从事辐射安全与环境保护管理工作的人员和直接从事辐射工作的人员，必须参加国家核技术利用辐射安全和防护网上培训，并通过考核，考核不合格者不得上岗。本项目拟配置 2 名辐射工作人员，拟安排参加国家核技术利用辐射安全和防护网上培训和考核。

辐射安全管理规章制度

本项目建设单位拟按照《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》和《中国核与辐射安全管理体系现场监督检查和执法程序》（2020版）相关要求，建立健全的射线装置、放射性物质的使用、操作、管理等制度，所需修订和补充制定的制度主要包括，修订：（1）《辐射安全与防护管理制度》；（2）《辐射安全岗位操作规程》；（3）《辐射工作人员岗位职责》；（4）《辐射防护和安全保卫制度》；（5）《设备检修维护制度》；（6）《辐射工作人员培训计划》；（7）《个人剂量管理制度》；（8）《放射性工作场所监测方案》；（9）《辐射事故应急预案》；补充制定：（1）《放射性同位素使用登记制度》；（2）《非密封放射性物质的管理规定》；（3）《放射性“三废”管理规定》；（4）《放射源安全保卫制度》。

辐射监测

1.个人剂量监测

本项目辐射工作人员时佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，个人剂量报警仪应定期送交有资质的检测部门进行检定，并建立个人剂量监测档案，按法律法规委托有资质单位每季度进行个人剂量监测。当发现个人剂量监测结果异常时及时上报。公司拟安排辐射工作人员定期参加职业健康体检，建立个人职业健康档案。

2.常规监测

公司拟配备一台便携式 X- γ 剂量率仪，一台手持式表面污染仪，定期进行辐射工作场所和周围环境的辐射监测，重点关注操作者工作位置和机房四周。测量值应当与参考控制水平进行比较，当测量值高于参考控制水平时，应终止辐射工作并向辐射防护负责人报告，及时调查处理。便携式 X- γ 剂量率仪、手持式表面污染仪定期送有资质部门进行检定。

3.年度辐射工作场所监测

委托有资质的监测单位每年对辐射工作场所进行辐射环境监测。

4.应急监测

在出现异常情况时应立即启动应急预案，采取应急措施，并立即向当地生态环境主管部门、公安部门、应急管理部门、卫生行政部门报告，进行现场监测。

辐射事故应急

建设单位拟修订《辐射事故应急预案》，发生辐射事故时，应立即启动本单位的辐射事故应急预案，采取必要的应急防范措施，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告。造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向卫生行政部门报告。

辐射事故应急预案内容应包括：

- (1) 应急组织机构和职责分工；
- (2) 辐射事故类型与应急响应程序；
- (3) 辐射事故现场处置方案；
- (4) 辐射事故应急保障措施；
- (5) 辐射事故调查、报告和处理程序；

(6) 应急培训及应急演练计划。

工作场所放置辐射事故应急处置规程（书），配备设备维护工具箱、辐射剂量监测报警仪、个人防护用品和去污用品。按规定每年至少组织一次辐射事故处置应急演练。

从事放射性活动能力分析

1.与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2006年1月18日国家环境保护总局令第31号公布，2021年1月4日生态环境部令第20号修改）的符合情况

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十六条规定，使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备相应条件。本项目从事辐射活动能力的评价见表 12-2。

表 12-2 从事辐射活动能力评价

应具备条件	落实情况
（一）使用 I 类、II 类、III 类放射源，使用 I 类、II 类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。	拟成立辐射安全领导小组全面负责辐射安全与环境保护管理工作。
（二）从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	拟组织辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全和防护网上培训，并参加考核；考核通过后，持证上岗。
（三）使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备	本项目装有放射性药物的模体拟暂存于 PET 测试间的铅罐内，按屏蔽设计建设。
（四）放射性同位素与射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	拟制定相应的规章制度和操作规程，在辐射工作场所外张贴电离辐射标志、设置工作状态指示灯，并按要求落实辐射防护和安全措施。
（五）配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	拟配备便携式 X-γ 剂量率仪、个人剂量计、手持式表面污染仪、个人剂量报警仪、铅衣、铅防护眼镜等防护用品。
（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	拟制定、完善
（七）有完善的辐射事故应急措施。	拟制定、完善
（八）产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案；使用放射性同位素和射线装置开展诊断和治疗的单位，还应当配备质量控制检测设备，制定相应的质量保证大纲和质量控制检测计划，至少有一名医用物理	本项目放射性药物封装在模体中，测试完成后模体置于铅箱中，推到放废间，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后，模体内的纯净水排放下水道，并做好台账记录，空

人员负责质量保证与质量控制检测工作。	模体重复使用；固体废物存放于专用放射性废物垃圾桶内，推到放废间，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后，按照公司要求作为危险废物（HW49，900-041-49）处置。拟制定质量保证大纲和质量控制检测计划。
--------------------	--

在制定落实各项辐射安全管理制度和辐射防护措施后，通用电气医疗系统（天津）有限公司将具备申请领取许可证应当具备的条件。

2.与原环境保护部令第 18 号《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》符合情况

原环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目剧本的条件与“18 号令”要求的对照情况见表 12-3。

表 12-3 与“18 号令”安全和防护能力对照检查情况

应具备条件	落实情况	符合情况
第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。射线装置的生产测试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众收到意外照射的安全措施。	辐射工作场所拟设电离辐射警告标识和中文警示说明。PET 测试间入口拟设置工作状态指示灯，防护铅门拟设置门-灯联锁。防止人员受到意外照射。	落实后符合
第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对检测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	拟每年委托有资质单位对辐射工作场所进行辐射监测，并出具监测报告；拟配备 1 台 X-γ 剂量率仪，表面沾污仪，具备一定的自行监测能力，定期对辐射环境进行自行监测，做好记录，并妥善保存。	落实后符合
第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报核。	依法对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前报发证机关。	落实后符合
第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的不得上岗。	通用电气医疗系统（天津）有限公司承诺对新进辐射工作人员组织参加培训，持证上岗，并组织辐射工作人员每 5 年接受一次再培训，再培训合格后方可继续从事辐射工作。	落实后符合
第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，	通用电气医疗系统（天津）有限公司承诺参与放射性工作的职	落实后符合

应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测，发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可发证机关。	业人员均配备个人剂量计，并按照国家相关规定，委托有资质单位对个人剂量进行检测，建立检测档案。	
--	--	--

综上所述，通用电气医疗系统（天津）有限公司拟按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求采取辐射安全和防护管理措施，在落实各项措施后，可满足管理办法的要求。

监督检查技术程序符合性分析

根据生态环境部实施的丙级非密封放射性物质操作场所监督检查技术程序具体要求，本项目从事丙级非密封放射性物质操作辐射活动与监督检查技术程序符合性分析见表 12-4。

表 12-4 从事辐射活动符合性分析

主要检查内容	落实情况
固态、液态、气载放射性废物已产生的废物量、主要放射性核素、拟采用处理方式	主要核素为 ^{18}F ，固态、液态放射性废物按有关规定暂存超过 30 天后清洁解控处置，并做好台账记录。 拟制定放射性“三废”管理规定。
辐射安全防护设施与运行情况	工作场所按有关规定及功能分区设置布局，并拟张贴有关标识和电离辐射警告标志。 设置有放射性废物暂存间，储源室。 配备相应的便携式辐射监测仪、个人剂量计、个人辐射防护用品、已制定辐射防护和安全保卫制度 拟配备去污用品和应急物资、配套相应安保措施
法规执行情况	原有核技术项目已办理辐射安全许可证，待本项目审批后重新申请许可证。 本项目建成后将按有关法律法规履行竣工环境保护验收、退役等环保手续。 拟制定环境辐射水平测量监测方案和档案。 拟委托有资质单位进行个人剂量监测；拟制定监测仪器校准计划。 本项目运行后建立非密封放射性物质、放射源使用台帐。 已制定辐射事故应急响应程序、射线装置人员培训计划。 拟组织辐射工作人员参加国家核技术利用辐射安全和防护网上培训，并参加考核；考核通过后，持证上岗。 本项目运行后将定期辐射安全自查；将于每年 1 月 31 日前提交年度评估报告。

管理制度与执行情况	<p>已制定个人剂量计的使用和保管规定、射线装置人员培训计划、射线装置监测计划、辐射防护和安全保卫制度、辐射事故应急响应程序；</p> <p>拟制定放射性物质的管理规定（非密封和放射源）、场所分区管理规定、相关操作规程、去污操作规程、监测方案</p> <p>监测仪表使用与校验管理制度、放射性“三废”管理规定</p>
-----------	--

待建设单位完善有关制度及落实辐射防护措施后，本项目符合丙级非密封放射性物质操作场所监督检查技术程序相关要求。

核技术应用项目环保手续履行

根据国家相关法律法规及行政主管部门要求，核技术应用项目环保手续包括环境影响评价、辐射安全许可证办理及竣工环保验收三个部分，具体流程如图 12-1 所示，供核技术应用单位参考。

建设单位在履行本项目环评手续，取得《辐射安全许可证》后方可开展辐射工作。本项目竣工后，建设单位还应按照《建设项目环境保护管理条例》《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收监测报告，完成竣工环境保护验收手续后方可运行。

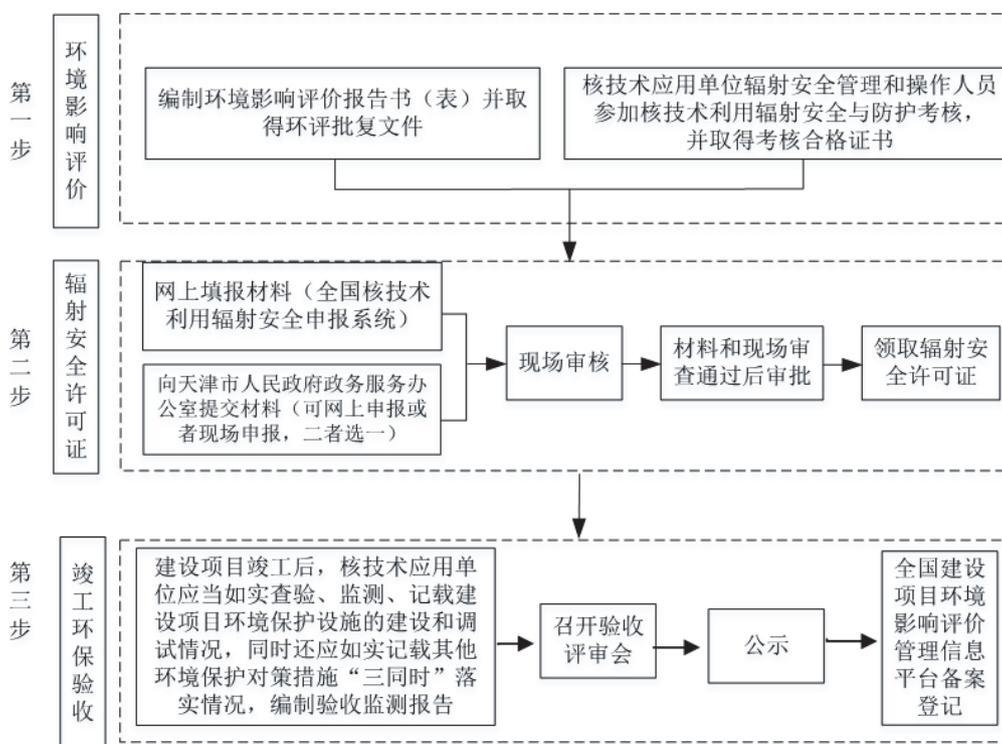


图12-1 核技术应用项目环保手续办理流程图

表 13 结论与建议

13.1 实践的正当性

本项目实施后，可显著提升公司的可研和服务水平，促进核医学显像技术的发展和应⤵用，具有显著的社会效益。本项目在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，因此，本项目建设符合《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、布局的合理性

本项目选址位于天津市东丽区华明大道 22 号 10 号楼一层，周围均为工业园区内的工厂企业，无医院、学校、居民区等敏感目标工作场所划分为控制区和监督区进行管理。辐射工作场所独立、固定，并采取了屏蔽防护措施，与周围各单元间分隔明确，既考虑了对周围场所的防护与安全，又估计了操作的便利性，通过辐射影响分析可知，项目产生的辐射影响主要控制在工作场所内，不会对外围环境造成显著辐射影响。因此，本项目的选址和布局是合理可行的。

13.3 辐射安全与防护分析结论

本项目 PET 测试间分区布局合理并有相应标识，从事放射性操作的测试间门外设有电离辐射标识及中文警示说明；设有屏蔽墙体、防护铅门进行防护；防护铅门已设置门-机联锁装置；设有监控系统；本项目测试结束后，模体内放射性废液暂存于模体内置于铅箱中，推到放废间，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后，模体内的纯净水排放下水道，并做好台账记录，空模体重复使用；放射性固体废物收集在专用的放射性废物桶中，推到放废间，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后，按照公司要求作为危险废物（HW49，900-041-49）处理。拟配备 1 台 X-γ 剂量率仪、1 台手持式表面污染仪、个人剂量报警仪，同时拟为辐射工作人员配置个人防护用品，并委托有资质单位对工作场所进行定期监测。

13.4 环境影响分析结论

（1）施工期环境影响

本项目建设过程主要为辐射工作场所进行屏蔽防护并安装相关配套设施，不涉及放射性同位素及射线装置的使用，因此本项目施工期不存在辐射环境影响。

施工期间的主要污染因素有建筑垃圾、生活垃圾、粉尘、噪声和废水，但因施工期短，施工范围小，通过采取污染防治措施，加强施工现场的管理等手段，对周围环境影响较小，施工期的环境影响是短暂、可逆的，随着施工期的结束而消失。

（2）辐射环境影响

根据预测分析，在采取相应的辐射防护措施后，辐射工作人员和周边公众所受到照射的年有效剂量均可满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的辐射工作人员职业照射剂量限值 20mSv/a、公众人员照射剂量限值 1mSv/a 和本报告提出的辐射工作人员辐射剂量限值约束值 2mSv/a 和公众人员辐射剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

（3）放射性三废处理

PET 测试间采取自然通风。

放射性废液在模体内置于铅箱中，推到放废间，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后，模体内的纯净水排放下水道，并做好台账记录，空模体重复使用。

放射性固体废物收集在专用的放射性废物桶中，推到放废间，利用贮存衰变的方法进行处理，暂存 30 天后达到解控水平经审管部门确认后，按照公司要求作为危险废物（HW49，900-041-49）处理。

放射性废物收集和处理方法基本合理，放射性废物处置得当，符合环境保护要求。

13.5 辐射安全管理

公司成立辐射安全领导小组，拟建立辐射安全管理规章制度，拟制定辐射事故应急预案。拟组织参与放射性操作人员参加核技术利用辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，通过考核后方可上岗；拟对所有辐射工作人员进行个人累积剂量的监测并建立个人档案，每两年进行一次健康体检；拟配备 X-γ 剂量率仪、表面沾污仪、个人剂量报警仪等仪器设备，并制定辐射监测计划。

13.6 结论

综上所述，通用电气医疗系统（天津）有限公司新建使用非密封放射性物质及丙级非密封放射性物质工作场所项目，在落实本评价报告所提出的各项污染防治措施和管理要求后，其运行对周围环境产生的辐射影响能够符合环境保护的

要求，从辐射环保角度论证，本项目建设具备可行性。

13.7 建议和承诺

(1) 环评批复后，尽快办理辐射安全许可证。

(2) 按《放射性同位素与射线装置安全与防护管理办法》（环保部 18 号令）要求开展个人剂量监测、工作场所监测以及对本单位射线装置的安全和防护状态进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关及当地生态环境部门提交上一年度的报告。

(3) 接受各级生态环境行政主管部门的监督检查；

(4) 完善规章制度并保证各种规章制度和操作规程的有效执行。

(5) 建设单位应当按照国务院生态环境行政主管部门规定的标准和程序，对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告。配套建设的环境保护设施经验收合格，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。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

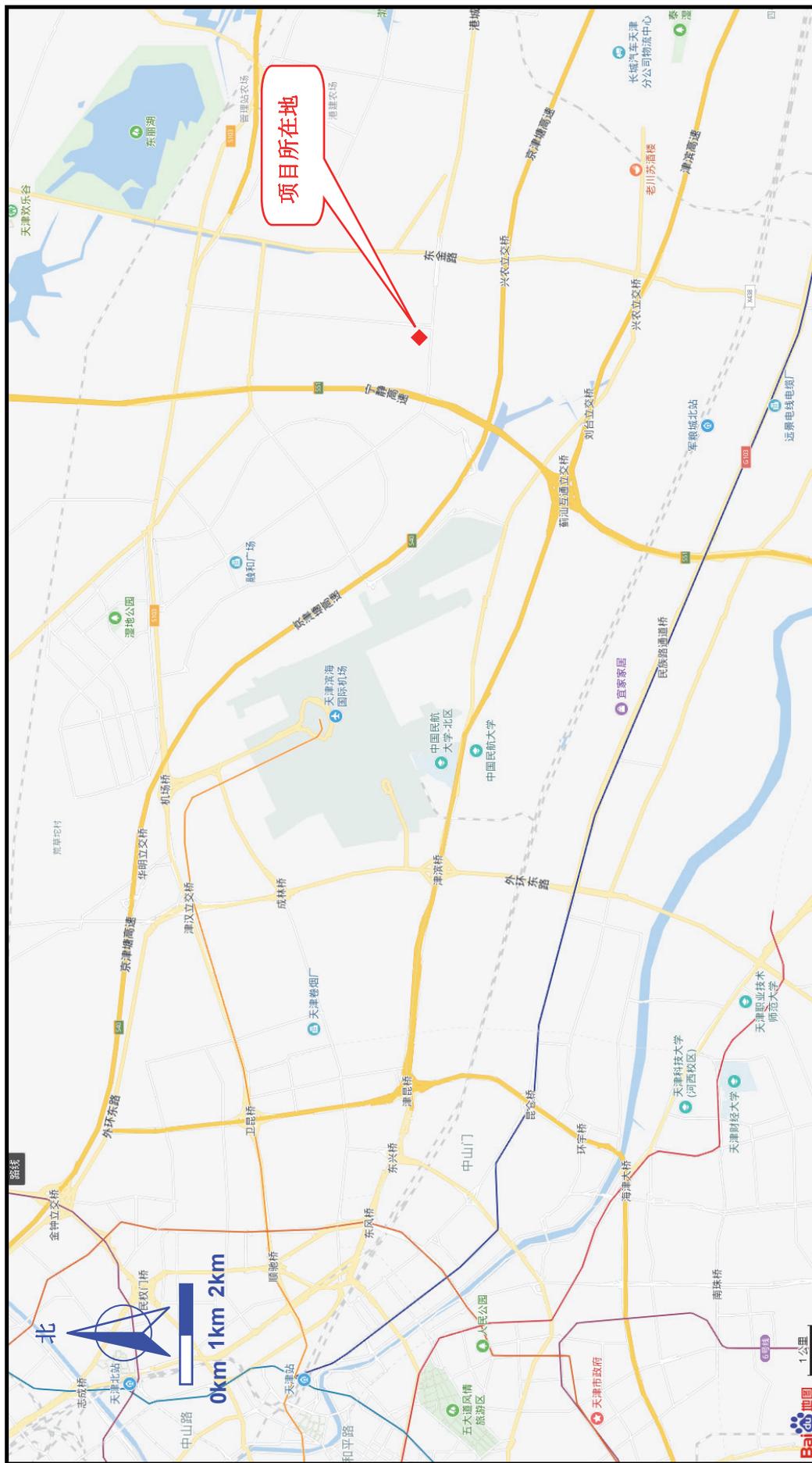
公章

经办人： 年 月 日

审批意见：

公章

经办人： 年 月 日



附图 1 地理位置图



附图 2 项目周边状况示意图



附图 3 本项目评价范围示意图