

核技术利用项目

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司
生产、销售、使用工业 CT 扩建项目
环境影响报告表

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司

2023 年 7 月

生态环境部监制

核技术利用项目

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司 生产、销售、使用工业 CT 扩建项目 环境影响报告表

建设单位名称：俐玛精密测量技术（苏州）有限公司

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：苏州市吴中区甪直镇产业路以西汇凯路以南

邮政编码：215127

联系人：

电子邮箱：

联系电话：

目 录

表 1 项目基本情况	- 1 -
表 2 放射源	- 5 -
表 3 非密封放射性物质	- 5 -
表 4 射线装置	- 6 -
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	- 7 -
表 6 评价依据	- 8 -
表 7 保护目标与评价标准	- 11 -
表 8 环境质量和辐射现状	- 18 -
表 9 项目工程分析与源项	- 22 -
表 10 辐射安全与防护	- 26 -
表 11 环境影响分析	- 35 -
表 12 辐射安全管理	- 78 -
表 13 结论与建议	- 82 -
表 14 审批	- 87 -
附图 1 俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业 CT 扩建项目地理位置示意图	- 88 -
附图 2 俐玛精密测量技术（苏州）有限公司周围环境示意图	- 89 -
附图 3 俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产调试车间一楼平面布局示意图	- 90 -
附图 4 俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产调试车间二楼平面布局示意图	- 91 -
附图 5 俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产调试车间三楼平面布局示意图	- 92 -
附图 6 研发实验室屏蔽设计示意图	- 93 -
附图 7 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图	- 94 -
附件 1 委托书	- 95 -
附件 2 射线装置使用承诺书	- 96 -
附件 3 辐射安全许可证	- 98 -
附件 4 核技术利用项目基本情况一览表	- 100 -
附件 5 辐射环境本底监测报告及监测资质	- 102 -

附件 6 原有核技术利用建设项目环评及验收材料	- 111 -
附件 7 600kV X 射线管技术参数说明及供应商辐射安全许可证	- 117 -

表 1 项目基本情况

建设项目名称		生产、销售、使用工业 CT 扩建项目			
建设单位		俐玛精密测量技术（苏州）有限公司 (统一社会信用代码: 91320506MA1URHJA2J)			
法人代表	张超	联系人		联系电话	
注册地址		江苏省苏州市吴中区甬直镇汇凯路以南，产业路以西			
项目建设地点		江苏省苏州市吴中区甬直镇汇凯路以南，产业路以西			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	300	项目环保投资 (万元)	60	投资比例（环保 投资/总投资）	20%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		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 用放射性物质		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input checked="" type="checkbox"/> 生产	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 销售	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
	其他	/			
	<p>项目概述</p> <p>一、建设单位基本情况、项目建设规模及由来</p> <p>俐玛精密测量技术（苏州）有限公司（以下简称“公司”）是一家集研发、生产销售、服务为一体的高科技研发生产企业，注册地址位于江苏省苏州市吴中区甬直镇汇凯路以南，产业路以西。公司产品主要有：智能三维 CT 测量设备、X-ray 平面测量设备、光学轮廓成像测量设备、高端光学传感器等。特别是公司以智能装备结合物联网技术为手段，依靠 5G、AOI 视觉检测、AI 算法等核心技术研发的测量设备，能为</p>				

高端制造企业提供核心智能装备、数字化智能产线升级改造、“无人工厂”等测量服务，从而使许多制造企业迅速提高产品量不断增加产品科技含量，尽快实现产品升级换代。

公司产品射线管均为进口德国产品，并通过滨松光子学商贸（中国）有限公司和丹东林帝科技发展有限公司代理公司采购。设备铅屏蔽外壳（铅房）设计后委托无锡市兆星辐射防护科技有限公司加工后与其他配件在本项目厂内进行组装调试。公司已取得 CT 三维重建软件 V1.0 计算机软件著作权登记证书，并取得相关设计产品的国家知识产权局登记手续，具备相应 CT 等 X 光机产品的设计和生产能力。

公司为满足市场需求及扩大再生产，拟将公司生产调试车间一楼东部（1#调试区）、二楼东部（2#调试区）和西部（3#调试区）、三楼东部（4#调试区）和西部（5#调试区）扩建为工业 CT 调试区，用于调试工业 CT 整机；并于一楼东北部新建一座研发实验室，使用工业 CT 测试系统进行新型工业 CT 研发试验。同时本次拟在扩建的工业 CT 调试区内新增 7 种型号工业 CT 的生产、调试、使用，并将原位于生产调试车间一楼东北部调试间进行生产、调试、使用的 7 种型号工业 CT 搬迁至扩建的工业 CT 调试区。

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司本次生产、销售、使用工业 CT 扩建项目情况见表 1-1。

表 1-1 生产、销售、使用工业 CT 扩建项目核技术利用情况一览表

序号	射线装置名称型号	数量(台/年)	管电压(kV)	管电流(mA)	射线装置类别	工作场所名称	活动种类	备注
1	工业 CT LVX1850-M	20	150	0.2	II	3#调试区	生产、销售、使用	新增型号
2	工业 CT RMCT4000H	10	300	1.3	II	2#调试区		
3	工业 CT RMCT4000N	20	300	3.0	II			
4	工业 CT RMCT7000-L512	50	250	10	II	1#调试区		
5	工业 CT RMCT7000-L1200	50	250	10	II			
6	工业 CT RMCT7000-L2000	50	250	10	II			
7	工业 CT RMX3000	20	160	0.5	II	3#调试区		
8	工业 CT 测试系统	1套	600	2.5	II	研发实验室	使用	新建实验室
9	平面 CT 检测装置 RMCT3000	20	225	3	II	4#调试区	生产、销售、使用	已有型号，本次搬迁

10	高性能显微 CT 检测装置 RMCT4000	20	300	3	II	2#调试区	生产、销售、使用	已有型号，本次搬迁
11	高性能显微 CT 检测装置 RMCT4000-S	20	240	3	II			
12	高性能显微 CT 检测装置 RMCT4000-M	20	320	3	II			
13	高能工业 CT 检测装置 RMCT6000	20	450	3.3	II	5#调试区		
14	高能工业 CT 检测装置 RMCT6000D	20	450	3.3	II			
15	卧式 CT 检测装置 RMCT7000	20	225	8	II	1#调试区		

注：1、工业 CT 测试系统本身不带屏蔽装置，以研发实验室墙体作为屏蔽体，该系统用于新型号工业 CT 的研发测试工作。

2、序号 9~15 为已有型号，已履行环保手续，本次仅搬迁。

为保护环境和公众利益，防止辐射污染，根据《中华人民共和国环境影响评价法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规的规定，依照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年版），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中的“生产、销售、使用 II 类射线装置的”项目，确定为编制环境影响报告表。受俐玛精密测量技术（苏州）有限公司的委托，南京瑞森辐射技术有限公司承担了该公司生产、销售、使用工业 CT 扩建项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、项目工程分析、现场勘察及现场监测等工作的基础上，编制了该项目环境影响报告表。

二、项目选址情况

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司位于江苏省苏州市吴中区甪直镇汇凯路以南，产业路以西。公司东侧为产业路，南侧为赛闻包装有限公司，西侧为康鸿智能生态园，北侧为汇凯路。生产、销售、使用工业 CT 扩建项目拟建址位于公司生产调试车间一楼东部、二楼东部和西部、三楼东部和西部。

生产调试车间无地下室，一楼中部为接待区、预留区等，西部为展厅、调试间、配电房等；二楼中部为就餐区、预留区等；三楼中部为办公区，四楼东部和西部均为生产调试车间楼顶，四楼中部为总经理办公室；生产调试车间四周均为厂区道路。本项目地理位置示意图附图 1，公司厂区平面布置和周围环境示意图附图 2。

本项目拟建址周围 50m 范围东侧至产业路及路东侧河流，南侧至赛闻包装有限公

司建筑（最近处 10m），西侧为康鸿智能生态园建筑（最近处 12m），北侧至汇凯路。本项目周围 50m 评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标，项目选址可行。项目运行后的环境保护目标主要是本项目工业 CT 辐射工作人员、公司生产调试车间内其他工作人员、康鸿智能生态园建筑内工作人员、赛闻包装有限公司建筑内工作人员及项目周围其他公众等。

三、实践正当性分析

本项目的运行，可提高公司技术水平，保障公司产品质量，具有良好的社会效益和经济效益。经辐射防护屏蔽和安全管理后，其获得的利益远大于对环境的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

四、“三线一单”相符性分析

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

五、原有核技术利用项目履行环保手续情况

公司于 2022 年 11 月 14 日重新申领辐射安全许可证，证书编号为苏环辐证（E1290），种类和范围为“生产、销售、使用 II 类、III 类射线装置”，有效期至：2023 年 8 月 21 日。公司辐射安全许可证正本见附件 3，公司原有核技术利用项目均已履行环评、许可及验收等环保手续。

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已经产生的中子流强度 (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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

注：1、备注栏描述主射线方向时，LVX1850-M 型以操作位所在面为正面，其余型号以防护门所在面为正面；

2、工业 CT 测试系统本身不带屏蔽装置，以研发实验室墙体作为屏蔽体，该系统用于新型号工业 CT 的研发测试工作。

(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)	用途	工作场所	操作方式			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
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过风扇式机械排风排入外环境， 臭氧常温下可自然分解为氧气。
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年修订本），国家主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日起实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（修正版），中华人民共和国主席令第 24 号，2018 年 12 月 29 日发布施行；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，国家主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（2017 年修订版），国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行；</p> <p>(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，2005 年 12 月 1 日施行；2019 年修改，国务院令 709 号，2019 年 3 月 2 日施行；</p> <p>(6) 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，2017 年 12 月 5 日起实施；</p> <p>(7) 《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》，国家环境保护总局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日发布施行；</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部部令第 16 号，自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修正本），生态环境部部令第 20 号，2021 年 1 月 8 日起施行；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(11) 《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修改本），江苏省人大常委会公告第 2 号，2018 年 5 月 1 日施行；</p> <p>(12) 《江苏省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》，苏政发〔2018〕74 号，2018 年 6 月 9 日发布；</p> <p>(13) 《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》，苏政发〔2020〕1 号，2020 年 1 月 8 日发布；</p> <p>(14) 《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》，</p>
------	--

	<p>苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日发布；</p> <p>（15）《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修正），国家发展和改革委员会令 第49号，2021年12月30日发布；</p> <p>（16）《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年第39号，2019年10月25日发布；</p> <p>（17）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令 第9号，2019年11月1日起施行；</p> <p>（18）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日发布；</p> <p>（19）《关于发布〈建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法〉配套文件的公告》（生态环境部公告2019年第38号，2019年11月1日起施行）。</p>
<p>技术 标准</p>	<p>（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；</p> <p>（2）《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>（3）《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>（4）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）；</p> <p>（5）《核辐射环境质量评价的一般规定》（GB 11215-1989）；</p> <p>（6）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）；</p> <p>（7）《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）；</p> <p>（8）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）；</p> <p>（9）《500kV 以下工业 X 射线探伤机防护规则》（GB 22448-2008）。</p>
<p>其他</p>	<p>附图：</p> <p>（1）俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业 CT 扩建项目地理位置示意图；</p> <p>（2）俐玛精密测量技术（苏州）有限公司周围环境示意图；</p> <p>（3）俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产调试车间一楼平面布局示意图；</p> <p>（4）俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产调试车间二楼平面布局示意图；</p>

(5) 俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产调试车间三楼平面布局示意图；

(6) 研发实验室屏蔽设计示意图；

(7) 本项目与江苏省生态空间保护区域位置关系图。

附件：

(1) 项目委托书；

(2) 射线装置使用承诺书；

(3) 公司辐射安全许可证；

(4) 公司原有核技术利用项目基本情况一览表；

(5) 辐射环境本底监测报告及监测单位检验检测机构资质认定证书；

(6) 原有核技术利用建设项目的环评及验收资料。

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》（HJ 10.1-2016）中“放射源和线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的要求，以及根据本项目的特点，本项目的评价范围确定为生产、销售、使用工业 CT 扩建项目边界外周围 50m 范围内区域，评价范围详见附图 2。

保护目标

本项目拟建址周围 50m 范围东侧至产业路及路东侧河流，南侧至赛闻包装有限公司建筑（最近处 25m），西侧为康鸿智能生态园建筑（最近处 27m），北侧至汇凯路。本项目周围 50m 评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标，项目选址可行。项目运行后的环境保护目标主要是本项目工业 CT 辐射工作人员、公司车间内其他工作人员、康鸿智能生态园建筑内工作人员、赛闻包装有限公司建筑内工作人员及项目周围公众等。详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

编号	保护目标名称	方位	距离	人口规模
1	辐射工作人员	生产调试车间	/	10 人
2	公众	东侧，产业路	13~50m	流动人员
		南侧，赛闻包装有限公司	10~50m	约 15 人
		西侧，康鸿智能生态园	12~50m	约 25 人
		北侧，汇凯路	25~50m	流动人员
		生产调试车间内其他工作人员	/	约 25 人
		厂区道路上其他工作人员	1~12m	流动人员

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底

线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题；本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）：

工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	要求
职业照射剂量限值	<p>工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值：</p> <p>①由审管部门决定的连续5年的年平均有效剂量，20mSv；</p> <p>②任何一年中的有效剂量，50mSv；</p> <p>③眼晶体的年当量剂量，150mSv；</p> <p>④四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。</p>
公众照射剂量限值	<p>实践使公众有关关键人群组的成员所受的平均剂量估计值不应超过下述限值：</p> <p>①年有效剂量，1mSv；</p> <p>②特殊情况下，如果5个连续年的年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv；</p> <p>③眼晶体的年当量剂量，15mSv；</p> <p>④皮肤的年当量剂量，50mSv。</p>

剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv/a~0.3mSv/a）的范围之内。

11.4.3.2 剂量约束值通常应在公众照射剂量限值10%~30%（即0.1mSv~0.3mSv）的范围之内。

但剂量约束的使用不应取代最优化要求，剂量约束值只能作为最优化值的上限。

辐射工作场所的分区

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。

控制区：

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。

监督区：

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。

2、《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）：

本标准规定了X射线和γ射线探伤的放射防护要求。

本标准适用于使用600kV及以下的X射线探伤机和γ射线探伤机进行的探伤工作（包括固定式探伤和移动式探伤），工业CT探伤和非探伤目的同辐射源范围的无损检测参考使用。

4 使用单位放射防护要求

4.1 开展工业探伤工作的使用单位对放射防护安全应负主体责任。

4.2 应建立放射防护管理组织，明确放射防护管理人员及其职责，建立和实施放射防护管理制度和措施。

4.3 应对从事探伤工作的人员按 GBZ 128 的要求进行个人剂量监测，按 GBZ 98 的要求进行职业健康监护。

4.4 探伤工作人员正式工作前应取得符合 GB/T 9445 要求的无损探伤人员资格。

4.5 应配备辐射剂量率仪和个人剂量报警仪。

4.6 应制定辐射事故应急预案。

5 探伤机的放射防护要求

5.1 X 射线探伤机

5.1.1 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 100cm 处的漏射线所致周围剂量当量率应符合表 1 的要求，在随机文件中应有这些指标的说明。其他放射防护性能应符合 GB/T 26837 的要求。

表 1 X 射线管头组装体漏射线所致周围剂量当量率控制值

管电压 kV	漏射线所致周围剂量当量率 mSv/h
<150	<1
150~200	<2.5
>200	<5

5.1.2 工作前检查项目应包括：

- a) 探伤机外观是否完好；
- b) 电缆是否有断裂、扭曲以及破损；
- c) 液体制冷设备是否有渗漏；
- d) 安全连锁是否正常工作；
- e) 报警设备和警示灯是否正常运行；
- f) 螺栓等连接件是否连接良好；
- g) 机房内安装的固定辐射检测仪是否正常。

5.1.3 X 射线探伤机的维护应符合下列要求：

- a) 使用单位应对探伤机的设备维护负责，每年至少维护一次。设备维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行；
- b) 设备维护包括探伤机的彻底检查和所有零部件的详细检测；

c) 当设备有故障或损坏需更换零部件时, 应保证所更换的零部件为合格产品;

d) 应做好设备维护记录。

6 固定式探伤的放射防护要求

6.1 探伤室放射防护要求

6.1.1 探伤室的设置应充分注意周围的辐射安全, 操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室分开。探伤室的屏蔽墙厚度应充分考虑源项大小、直射、散射、屏蔽物材料和结构等各种因素。无迷路探伤室门的防护性能应不小于同侧墙的防护性能。X 射线探伤室的屏蔽计算方法参见 GBZ/T 250。

6.1.2 应对探伤工作场所实行分区管理, 分区管理应符合 GB 18871 的要求。

6.1.3 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足:

a) 关注点的周围剂量当量参考控制水平, 对放射工作场所, 其值应不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$, 对公众场所, 其值应不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$;

b) 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

6.1.4 探伤室顶的辐射屏蔽应满足:

a) 探伤室上方已建、拟建建筑物或探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时, 探伤室顶的辐射屏蔽要求同 6.1.3;

b) 对没有人员到达的探伤室顶, 探伤室顶外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平通常可取 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

6.1.5 探伤室应设置门-机联锁装置, 应在门 (包括人员进出门和探伤工件进出门) 关闭后才能进行探伤作业。门-机联锁装置的设置应方便探伤室内部的人员在紧急情况下离开探伤室。在探伤过程中, 防护门被意外打开时, 应能立刻停止出束或回源。探伤室内有多台探伤装置时, 每台装置均应与防护门联锁。

6.1.6 探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置, 并与探伤机联锁。“预备”信号应持续足够长的时间, 以确保探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别, 并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。在醒目的位置处应有对“照射”和“预备”信号意义的说明。

6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置, 在控制室的操作台应有专用的监视器, 可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。

6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB 18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。

6.1.9 探伤室内应安装紧急停机按钮或拉绳，确保出现紧急事故时，能立即停止照射。按钮或拉绳的安装，应使人员处在探伤室内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。按钮或拉绳应带有标签，标明使用方法。

6.1.10 探伤室应设置机械通风装置，排风管道外口避免朝向人员活动密集区。每小时有效通风换气次数应不小于3次。

6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

6.2 探伤室探伤操作的放射防护要求

6.2.1 对正常使用的探伤室应检查探伤室防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施。

6.2.2 探伤工作人员在进入探伤室时，除佩戴常规个人剂量计外，还应携带个人剂量报警仪和便携式 X-γ 剂量率仪。当剂量率达到设定的报警阈值报警时，探伤工作人员应立即退出探伤室，同时防止其他人进入探伤室，并立即向辐射防护负责人报告。

6.2.3 应定期测量探伤室外周围区域的剂量率水平，包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时，应终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。

6.2.4 交接班或当班使用便携式 X-γ 剂量率仪前，应检查是否能正常工作。如发现便携式 X-γ 剂量率仪不能正常工作，则不应开始探伤工作。

6.2.5 探伤工作人员应正确使用配备的辐射防护装置，如准直器和附加屏蔽，把潜在的辐射降到最低。

6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内部没有人员驻留并关闭防护门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下，才能开始探伤工作。

6.2.7 开展探伤室设计时未预计到的工作，如工件过大等特殊原因必须开门探伤的，应遵循本标准第 7.1 条～第 7.4 条的要求。

6.3 探伤设施的退役

当工业探伤设施不再使用，应实施退役程序。包括以下内容：

c) X 射线发生器应处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。

e) 当所有辐射源从现场移走后，使用单位按监管机构要求办理相关手续。

f) 清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

g) 对退役场所及相关物品进行全面的辐射监测，以确认现场没有留下放射源，并确认污染状况。

8 放射防护检测

8.1 检测的一般要求

8.1.1 检测计划

使用单位应制定放射防护检测计划。在检测计划中应对检测位置、检测频率以及检测结果的保存等作出规定，并给出每一个测量位置的参考控制水平和超过该参考控制水平时应采取的行动措施。

8.1.2 检测仪器

应选用合适的放射防护检测仪器，并按规定进行定期检定/校准，取得相应证书。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。

8.2 探伤机检测

8.2.1 防护性能检测

8.2.1.1 检测方法

X 射线探伤机防护性能检测方法按 GB/T 26837 的要求进行。

8.2.1.2 检测周期

使用单位应每年对探伤机的防护性能进行检测。探伤机移动后，应进行安全装置的性能检测。

8.2.1.3 结果评价

X 射线探伤机防护性能检测结果评价按本标准第 5.1.1 条的要求。

8.5 放射工作人员个人监测

8.5.1 射线探伤作业人员（包括维修人员），应按照 GBZ 128 的相关要求进行外照射个人监测。

8.5.2 对作业人员进行涉源应急处理时还应进行应急监测，并按规定格式记入个人剂量档案中。

3、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）；

4、剂量约束值

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）确定本项目的剂量约束值：

（1）职业人员取 GB 18871-2002 标准中规定的职业照射的 1/4 作为剂量约束值，即年有效剂量不超过 **5mSv**，公众取 GB 18871-2002 标准中规定的公众照射的 1/10 作为剂量约束值，即年有效剂量不超过 **0.1mSv**；

(2) 人员在关注点的周剂量参考控制水平，对职业工作人员不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$ ，对公众不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

(3) 工业CT屏蔽体外30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ ，研发实验室四面墙体、防护门、顶面30cm处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

5、参考资料：

(1) 《辐射防护导论》，方杰主编。

(2) 《辐射防护手册》，李德平、潘自强主编。

(3) 《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》（辐射防护 第13卷第2期，1993年3月），江苏省环境监测站。

江苏省原野、道路、建筑物室内 γ 辐射（空气吸收）剂量率（单位： nGy/h ）

	原野	道路	室内
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差(s)	7.0	12.3	14.0
均值 $\pm 3s$	29.4~71.4	10.2~84.0	47.2~131.2

注：1、根据《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，表5数据不含宇宙射线电离成分；

2、评价时采用“均值 $\pm 3s$ ”作为辐射环境本底参考范围。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目位置、布局和周边环境

俐玛精密测量技术(苏州)有限公司位于江苏省苏州市吴中区甪直镇汇凯路以南,产业路以西。公司东侧为产业路,南侧为赛闻包装有限公司,西侧为康鸿智能生态园,北侧为汇凯路。生产、销售、使用工业 CT 扩建项目拟建址位于公司生产调试车间一层东部、二层东部和西部、三层东部和西部。生产调试车间四周均为厂区道路。

本项目拟建址及其周围环境见图 8-1~图 8-8。

图 8-1 生产调试车间一楼东部

图 8-2 生产调试车间二楼西部

图 8-3 生产调试车间三楼东部

图 8-4 生产调试车间三楼西部

图 8-5 生产调试车间东侧厂区道路

图 8-6 生产调试车间南侧厂区道路

图 8-5 生产调试车间西侧厂区道路

图 8-8 生产调试车间北侧厂区道路

二、辐射环境现状调查

根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）、《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）相关方法和要求，在进行环境现场调查时，在生产、销售、使用工业 CT 扩建项目拟建址周围环境进行布点，测量辐射现状剂量率，监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-9。

监测单位：南京瑞森辐射技术有限公司（公司检测资质见附件 5）

检测仪器：6150 AD 6/H+6150 AD-b/H 型 X- γ 辐射监测仪（设备编号：NJRS-126，检定有效期：2021 年 11 月 11 日~2022 年 11 月 10 日，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2021-0106289）。

能量响应：20keV~7MeV

测量范围：1nSv/h~99.9 μ Sv/h

监测日期：2022 年 6 月 23 日

监测因子： γ 辐射剂量率

天气：多云

监测布点质量保证：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）有关布点原则进行布点。

监测过程质量控制质量保证：检测机构（南京瑞森辐射技术有限公司）已通过 CMA 计量认证，具备相应的检测资质和检测能力，见附件 5。本项目监测按照南京瑞森辐射技术有限公司《质量管理手册》和《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）的要求，实施全过程质量控制。

监测人员、监测仪器及监测结果质量保证：监测人员均经过考核并持有合格证书，

监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过检验，监测报告实行三级审核。

评价方法：参照江苏省环境天然 γ 辐射剂量水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

表 8-1 生产、销售、使用工业 CT 扩建项目拟建址周围 γ 辐射剂量率

测点编号	测点描述	测量结果 (nGy/h)
1	生产调试车间一楼东部 (室内)	91
2	生产调试车间一楼中部 (室内)	91
3	生产调试车间一楼西部 (室内)	97
4	生产调试车间二楼东部 (室内)	114
5	生产调试车间二楼中部 (室内)	111
6	生产调试车间二楼西部 (室内)	119
7	生产调试车间三楼东部 (室内)	128
8	生产调试车间三楼中部 (室内)	111
9	生产调试车间三楼西部 (室内)	114
10	生产调试车间四楼东部 (车间楼顶, 无建筑, 道路)	107
11	生产调试车间四楼中部 (室内)	115
12	生产调试车间四楼西部 (车间楼顶, 无建筑, 道路)	93
13	生产调试车间东侧厂区道路 (道路)	88
14	生产调试车间南侧厂区道路 (道路)	78
15	生产调试车间西侧厂区道路 (道路)	93
16	生产调试车间北侧厂区道路 (道路)	83
17	俐玛精密测量技术 (苏州) 有限公司东侧 (产业路, 道路)	112
18	俐玛精密测量技术 (苏州) 有限公司南侧 (赛闻包装有限公司, 道路)	82
19	俐玛精密测量技术 (苏州) 有限公司西侧 (康鸿智能生态园, 道路)	96
20	俐玛精密测量技术 (苏州) 有限公司北侧 (汇凯路, 道路)	84

21	研发实验室拟建址（室内）	99
22	研发实验室拟建址东侧（室内）	96
23	研发实验室拟建址南侧（室内）	97
24	研发实验室拟建址西侧（室内）	99
25	研发实验室拟建址北侧（道路）	107
26	研发实验室拟建址楼上（室内）	108

注：1.测量结果已扣除宇宙射线响应值；
2.生产调试车间下方为土层，无地下室。

由表 8-1 监测结果可知，俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业 CT 扩建项目拟建址及其周围环境 γ 辐射剂量率在 78nSv/h~128nSv/h 之间，处于江苏省环境天然 γ 辐射剂量率水平涨落范围内，属江苏省环境天然 γ 辐射剂量率本底水平。

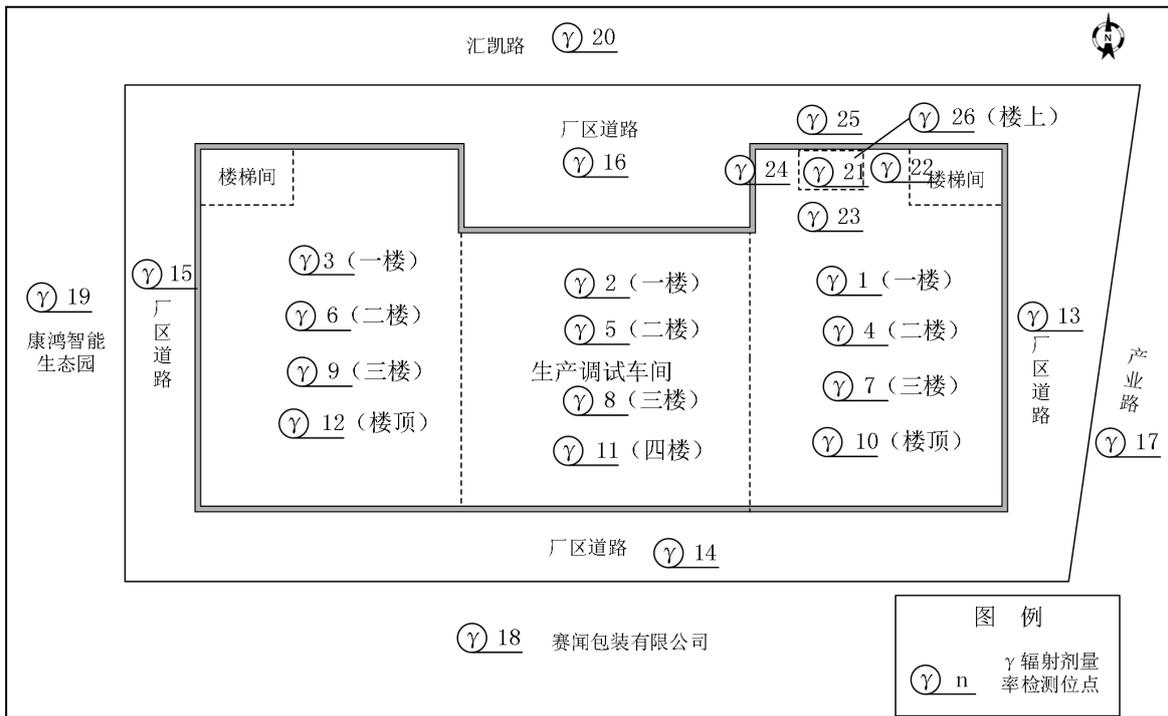


图 8-7 生产、销售、使用工业 CT 扩建项目拟建址及其周围环境 γ 辐射监测点位示意图

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、工程设备

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业 CT 扩建项目拟建址位于公司生产调试车间一楼东部、二楼东部和西部、三楼东部和西部。

本项目拟生产、销售、使用的工业 CT 均为自屏蔽装置，自带铅房。本项目新增的 7 种型号工业 CT 中，LVX1850-M 型工业 CT 在铅房左右两侧均设物料窗口，上料为左进右出或右进左出，人员不可入；其余 6 种型号铅房仅在正面预留唯一通道，用于上下料工件及设备检修维护（人员或其肢体可能进入），其余面则完全密封，避免人员误进入。铅房四侧、防护门、顶部及底部均采用铅板+铁板进行辐射防护，其外观示意图见图 9-1。

LVX1850-M 型工业 CT

RMCT4000H/N/S 型工业 CT

RMCT7000-L512 型工业 CT

RMCT6000 型工业 CT

RMX3000 型工业 CT

RMCT1000 型工业 CT

RMCT7000-L1200、RMCT7000-L2000 型工业 CT

二、工业 CT 工作原理及工艺流程

1、工作原理

工业 CT 核心部件是 X 射线管。它是一个内真空的玻璃管，其中一端是作为电子源的阴极，另一端是嵌有靶材料的阳极。当两端加有高压时，阴极的灯丝热致发射电子。由于阴极和阳极两端存在电位差，电子向阳极运动，形成静电式加速，获取能量。具有一定动能的高速运动电子，撞击靶材料，产生 X 射线。本项目工业 CT 由高压发生器、X 射线管、运动定位系统、成像系统、电气控制柜、自屏蔽铅房式防护设置等部件组成，X 射线管中的电子束轰击阳极靶产生 X 射线，经准直器准直后，窄束 X 射线对工件进行分层扫描，X 射线与探测器分别位于工件两侧的相对位置，检测时 X 射线束从固定方向对被测工件的断面进行扫描，被测工件可以旋转各个角度，位于对侧相对位置的探测器接受透过断面的 X 射线，然后将这些 X 射线信息转变为电信号，再由模拟/数字转换器转换为数字信号输入计算机进行处理，最后由图像显示器用不

同等级的灰度等级显示出来。由于被测工件不同部位及缺陷处的原子序数及密度等均会有差异，因此 X 射线在穿过被测工件时的减弱也会有不同，工业 CT 可给出工件任一平面层的图像，可以发现平面内任何方向分布的缺陷，具有不重叠、层次分明、对比度高和分辨率高等特点，可准确定位缺陷的位置和性质。典型 X 射线管结构见图 9-2。

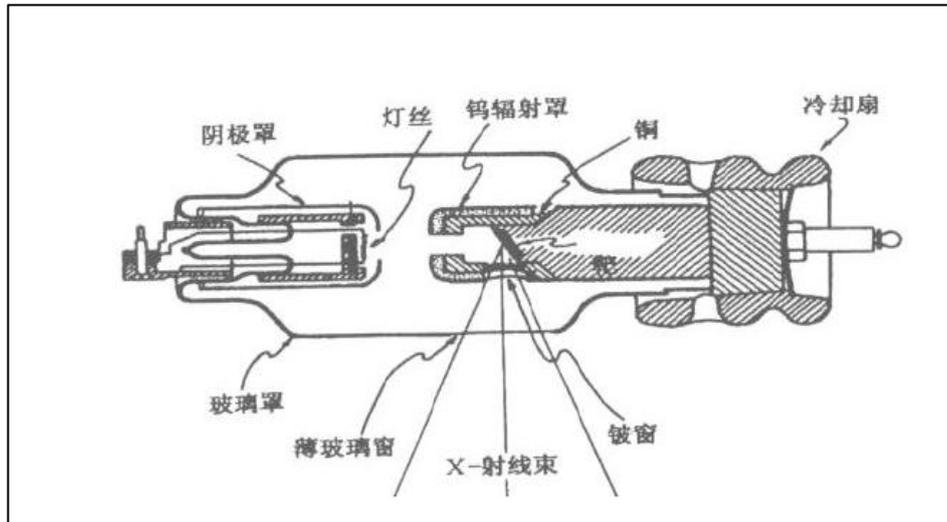


图 9-2 典型 X 射线管结构图

2、工艺流程

(1) 零件采购

公司根据销售合同，确定需生产工业 CT 装置的型号和数量，随后从上游供应商处采购或者外协加工零部件。其中 X 射线管购买成品（进口），不自行加工；外协单位为企业长期合作的合格供应商。所有零件的调试、测试均在供应商处完成，公司购进零件后不再对零件展开调试或测试。

(2) 设备组装

生产成熟产品的零件全部到位后，在公司生产调试车间进行整机的组装；用于研发实验的零件到位后，在研发实验室进行组装。组装过程不接电源、不产生 X 射线。成熟产品需组装成一个完整的设备；而研发产品为方便实验，组装至其可运行即可，设备外不安装屏蔽铅房。

(3) 整机调试与研发实验

调试工作是针对已经研发成功、成熟的产品，调试时依次对其系统性能进行测试，主要包括对安全联锁进行测试、对辐射防护进行测试、对系统相关参数进行设置、对系统稳定性进行测试；研发工作是为研发新型号的产品，在研发实验室内的的工作主要

包括对不同工作模式的工况标定、对自动运行程序的编写、设定等。调试与研发过程中工业 CT 均出束会产生 X 射线，以及空气被 X 射线电离产生的少量臭氧、氮氧化物等。

(4) 装箱、运输、安装及售后

调试、测试结束后，将设备断电，整机装箱运送到客户拟建址（前提为客户单位已经完成环境影响评价并取得环评批复）进行安装，并指导、培训客户操作人员。研发试验不涉及该步骤。

本项目工业 CT 工作流程和产污环节如下图 9-3 中所示。

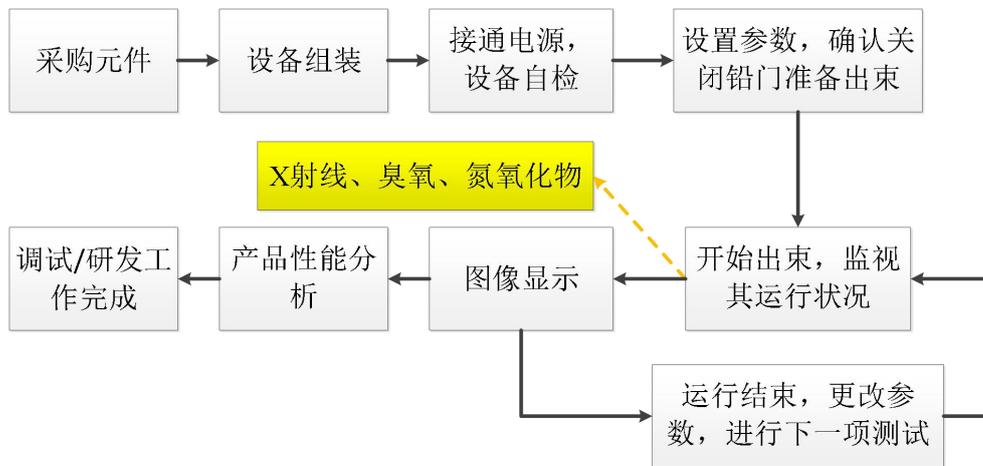


图 9-3 工业 CT 工作流程和产污环节示意图

污染源项描述

一、放射性污染

由工业 CT 工作原理可知，工业 CT 只有在开机并处于出束状态时（曝光状态）才会发出 X 射线，对工业 CT 周围工作人员和公众产生一定外照射，因此工业 CT 在开机曝光期间，X 射线是本项目主要污染物。

二、非放射性污染

①废气：工业 CT 在工作状态时，X 射线会使空气电离产生微量的臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x）。

②废水：主要是工作人员产生的生活污水。

③固体废物：主要是工作人员产生的生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全设施

一、项目工作场所布局合理性分析

本次生产、销售、使用工业 CT 扩建项目拟建址位于公司生产调试车间一楼东部、二楼东部和西部、三楼东部和西部。于一楼东部生产调试 RMCT7000 系列（本次包括包括新增 RMCT7000-L512 型、RMCT7000-L1200 型、RMCT7000-L2000 型，搬迁 RMCT7000 型），于二楼东部生产调试 RMCT4000 系列（本次包括新增 RMCT4000H 型、RMCT4000N 型，搬迁 RMCT4000 型、RMCT4000-S 型、RMCT4000-M 型），于二楼西部生产调试 LVX1850 系列（本次包括新增 LVX1850-M 型）、RMCT1000 系列（本次无该系列型号），于三楼东部生产调试 RMCT2000 系列（本次无该系列型号）、RMCT3000 系列（本次包括新增 RMX3000 型，搬迁 RMCT3000 型），于三楼西部生产调试 RMCT6000 系列（本次包括搬迁 RMCT6000 型、RMCT6000D 型）；于研发实验室内使用 1 套工业 CT 测试系统（600kV/2.5mA）进行研发实验。

为了加强管理，做好辐射安全防护工作，公司按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）的要求在辐射工作场所内划定控制区和监督区。本项目生产调试的工业 CT 均为自屏蔽设备，公司拟将工业 CT 自带铅房内划为控制区，将调试区内其余区域划为监督区；拟将研发实验室内部划为控制区，将控制室划为监督区。调试区监督区边界以实体墙、人员门及围栏为屏障，非本项目辐射工作人员严格控制进入；研发实验室控制室设于实验室西侧，独立于实验室之外且避开主射线方向（研发实验室内射线装置主射线方向为东侧、北侧）。

本项目辐射工作场所分区示意图见图 10-1 至图 10-3。

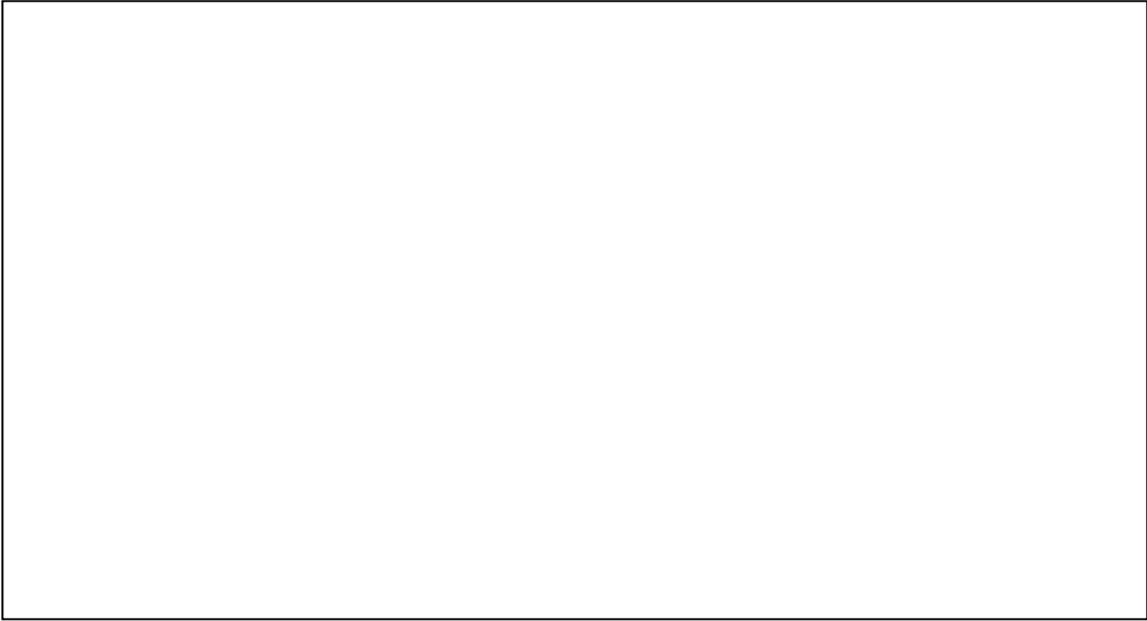


图 10-1 生产、销售、使用工业 CT 扩建项目辐射工作场所分区示意图（生产调试车间一楼）



图 10-2 生产、销售、使用工业 CT 扩建项目辐射工作场所分区示意图（生产调试车间二楼）



图 10-3 生产、销售、使用工业 CT 扩建项目辐射工作场所分区示意图（生产调试车间三楼）

二、辐射防护屏蔽设计

本项目拟生产、销售和使用的工业 CT 及研发实验室屏蔽设计参数见表 10-1。

表 10-1 本项目工业 CT、研发实验室屏蔽设计参数一览表

序号	设备型号	防护参数		备注
1	LVX1850-M 型 工业 CT	铅房正面		/
		防护门		/
		铅房左面		/
		铅房右面		/
		铅房顶面		/
		铅房底面		
		铅房背面		/
2	RMCT4000H 型 工业 CT	铅房正面		/
		防护门		/
		铅房左面		
		铅房右面		

		铅房顶面			
		铅房底面			
		铅房背面			
3	RMCT4000N 型 工业 CT	铅房正面			
		防护门			
		铅房左面			
		铅房右面		主射线方向	
		铅房顶面			
		铅房底面			
		铅房背面			
4	RMCT7000-L512 型工业 CT	右侧检测 机部分			
		左侧伺服系 统部分	铅房正面		
			防护门		
			铅房左面		
			铅房右面		
			铅房顶面		
			铅房底面		

			铅房背面			
5	RMCT7000-L120 0 型工业 CT	中间检测 机部分	铅房正面			
			防护门			
			铅房左面			
			铅房右面			
			铅房顶面			
			铅房底面			
			铅房背面			
		两侧伺服系 统部分	防护门			
			正面			
			顶面			
			底面			
			后面			
			左面			
右面						
6	RMCT7000-L200 0 型工业 CT	中间检测 机部分	铅房正面			
			防护门			
			铅房左面			
			铅房右面			
			铅房顶面			
			铅房底面			
			铅房背面			

		两侧伺服系统部分	防护门	
			正面	
			顶面	
			底面	
			后面	
			左面	
			右面	
7	RMX3000 型 工业 CT	铅房正面		
		防护门		
		铅房左面		
		铅房右面		
		铅房顶面		
		铅房底面		
		铅房背面		
8	研发实验室	东墙		
		南墙		
		西墙		
		北墙		
		顶面		
		防护大门		
		防护小门		

本项目工业 CT 铅房采取底部自然进风，顶部风扇机械式排风的方式进行通风，

在进风口及出风口均设有防护，气流经导向后才进入/排出铅房，最大程度上避免射线泄漏。研发实验室于实验室顶部安装 1 台换气扇，用于对研发实验室内进行通风换气，换气扇出口设置射线屏蔽罩作为补偿屏蔽措施。

三、辐射安全和防护措施

为确保辐射安全，保障工业 CT 和研发实验室安全运行，徕玛精密测量技术（苏州）有限公司为本项目工业 CT 和研发实验室设计有相应的辐射安全装置和防护措施。主要有：

（1）工业 CT 的 X 射线管安装在自屏蔽的检测装置内部，操作人员无法直接接触到 X 射线管。X 射线管不能单独被打开，只有在连接到机器内部的线路上并通过配套的控制软件才能开启。

（2）工业 CT 的射线系统和研发实验室射线控制系统均带钥匙开关，当钥匙档位在“ON”时射线才被允许打开，钥匙由专人负责保管。

（3）门-机联锁装置。工业 CT 的 X 射线管与检测装置防护门之间安装有联锁装置，研发实验室防护门与 X 射线管之间设置门机联锁装置，防护门关闭后 X 射线装置才能出束，运行期间强行打开防护门时 X 射线管将自动停止出束。

（4）工业 CT 上部、研发实验室防护大门上方设计安装工作状态指示灯和声光报警。防护门关闭和射线出束时均有相应的声光报警和警示灯提示，警告无关人员勿靠近。工作状态指示灯设计与 X 射线管联锁，如指示灯故障，X 射线将不能出束。

（5）工业 CT 壳体（或操作台）上、研发实验室内部均设计安装紧急停机按钮，紧急情况下可迅速停机，防止误照射。

（6）工业 CT 表面设置有电离辐射标志及中文警示说明；研发实验室入口处设置电离辐射警告标志及中文警示说明。

（7）工业 CT 调试区及研发实验室均拟设置视频监控装置，实时监控调试区及研发实验室内人员活动情况。

（8）工业 CT 调试区及研发实验室均拟配备固定式场所辐射探测报警装置，实时监测工作场所辐射剂量水平，当超过预设剂量阈值时，能发出警示信号。

本项目射线装置安装的辐射安全措施满足本项目辐射安全的需要。



图 10-4 研发实验室辐射安全措施示意图

四、监测仪器和防护用品

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，开展工业探伤的单位应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。

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司目前已配备辐射巡测仪 1 台，拟为本项目增配个人剂量报警仪 8 台。辐射工作人员工作时将佩带个人剂量计，以监测累积受照情况。公司拟为本项目新配置 10 名辐射工作人员，拟定期组织辐射工作人员进行职业健康体检，并将按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康监护档案。

三废处理

一、放射性三废

本项目运行过程中没有放射性三废产生。

二、非放射性三废

1、臭氧和氮氧化物处理

工业 CT 和研发实验室在出束工作状态时，会使空气电离产生微量的臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x），少量臭氧和氮氧化物可通过工业 CT 铅房内风扇式机械排风系统及研发实验室的换气扇排出铅房，调试区内可通过生产调试车间门窗对房间通风换气。臭氧常温下可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

2、生活污水、垃圾处理

本项目辐射工作人员产生的少量生活污水接入市政管网，产生的少量生活垃圾由公司分类收集后定期交环卫部门处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目中工业 CT 均为一体式铅房结构，项目拟建址位于厂区内已有的生产调试车间；设备铅房委外加工，利用厂房组装生产线进行设备组装。工业 CT 不涉及墙体隔断或装潢等，因此不存在建设阶段环境影响。

新建一座研发实验室主要使用预浇制混凝土板拼接组合，施工期间主要产生以下环境影响：

一、大气：本项目在建设施工期需进行的混凝土板运输、拼接组合，各种施工将产生扬尘，另外机械和运输车辆作业时排放废气和扬尘，但这些方面的影响仅局限在施工现场附近区域。

针对上述大气污染采取以下措施：

- 1、及时清扫施工场所，并保持施工场地一定的湿度；
- 2、车辆在运输建筑材料时尽量采取遮盖、密闭措施，以减少沿途抛洒；
- 3、施工路面保持清洁、湿润，减少地面扬尘。

二、噪声：整个建筑施工阶段，如墙体连接等施工都将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定的影响。在施工时严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的标准，尽量采用噪声低的先进设备，同时严禁夜间进行强噪声作业。

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

公司在施工阶段计划采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在公司厂区内，对周围环境影响较小。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

对本次生产、销售、使用工业 CT 扩建项目的辐射环境影响采取理论计算的方法进行分析与评价。

1、LVX1850-M 型工业 CT

1.1 参考点辐射水平估算模式选取

LVX1850-M 型工业 CT 最大管电压 150kV，最大管电流 0.2mA，本项目为“生产、

销售、使用”，建设单位在调试设备过程中会达到最大工况。采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式及相关参数估算装置表面外 30cm 处的辐射水平，估算模式如下：

（1）有用线束

有用线束所致参考点辐射剂量率利用公式 11-1 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-1}$$

式中： I —X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，0.2mA；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量，按最大管电压 150kV，从 GBZ/T 250-2014 附录表 B.1 查取 X 射线输出量，保守取 $18.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，即 $1.1\times 10^6\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

B —屏蔽透射因子，由 GBZ/T 250-2014 附录图 B.1 查取；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

（2）非有用线束

辐射屏蔽透射因子 B 按公式 11-2 计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

式中： X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL —查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.2，X 射线管电压为 150kV，铅的半值层 TVL 取 0.96mm；

① 泄漏辐射

泄漏辐射所致参考点剂量率利用下列公式 11-3 计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-3}$$

式中： B —屏蔽透射因子，使用公式 11-2 计算得到；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_L —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ，查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，取 $2.5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ 。

② 散射辐射所致装置外剂量率利用公式（11-4）计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： B —按《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2 并查附录 B 表 B.2 的相应值，确定 90° 散射辐射的 TVL，然后按公式 11-2 计算；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $1.1 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

$R_0^2 / F \cdot \alpha$ —根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中“B.4.2：当 X 射线探伤装置圆锥中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 时，4.2.3 式（9）的 $R_0^2 / F \cdot \alpha$ 因子的值为：60（150kV）和 50（200kV~400kV）”，取 60；

R_s —散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

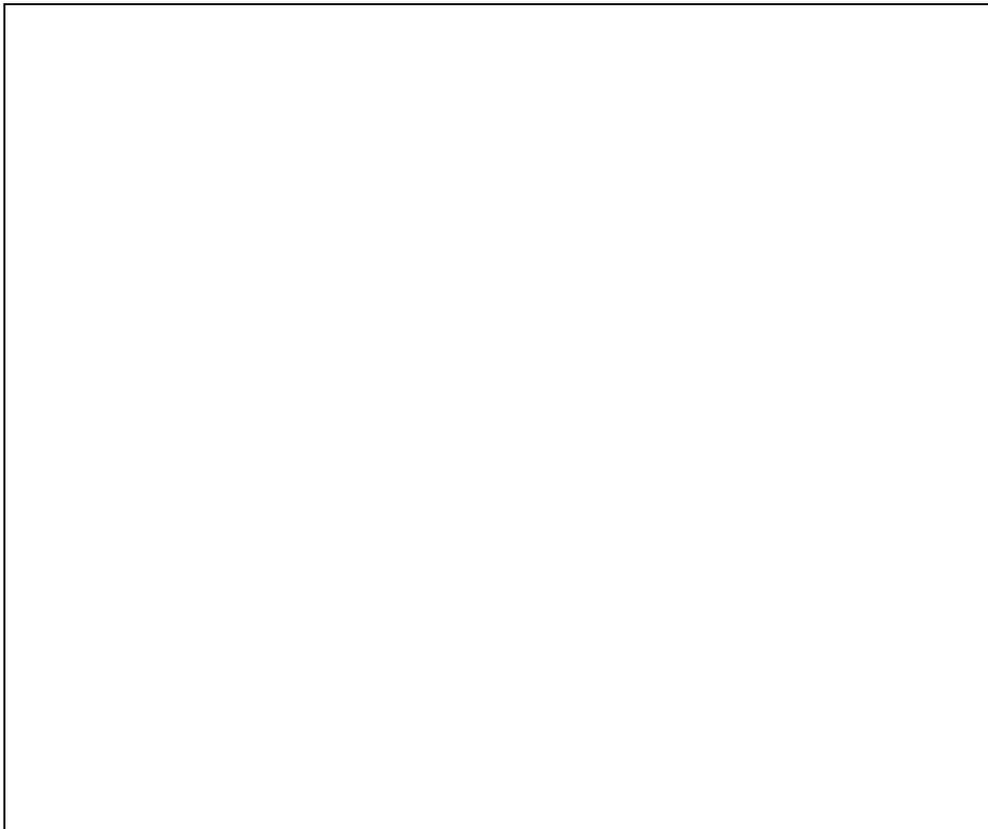


图 11-1 LVX1850-M 型工业 CT 辐射防护计算参考点位示意图（正视图）

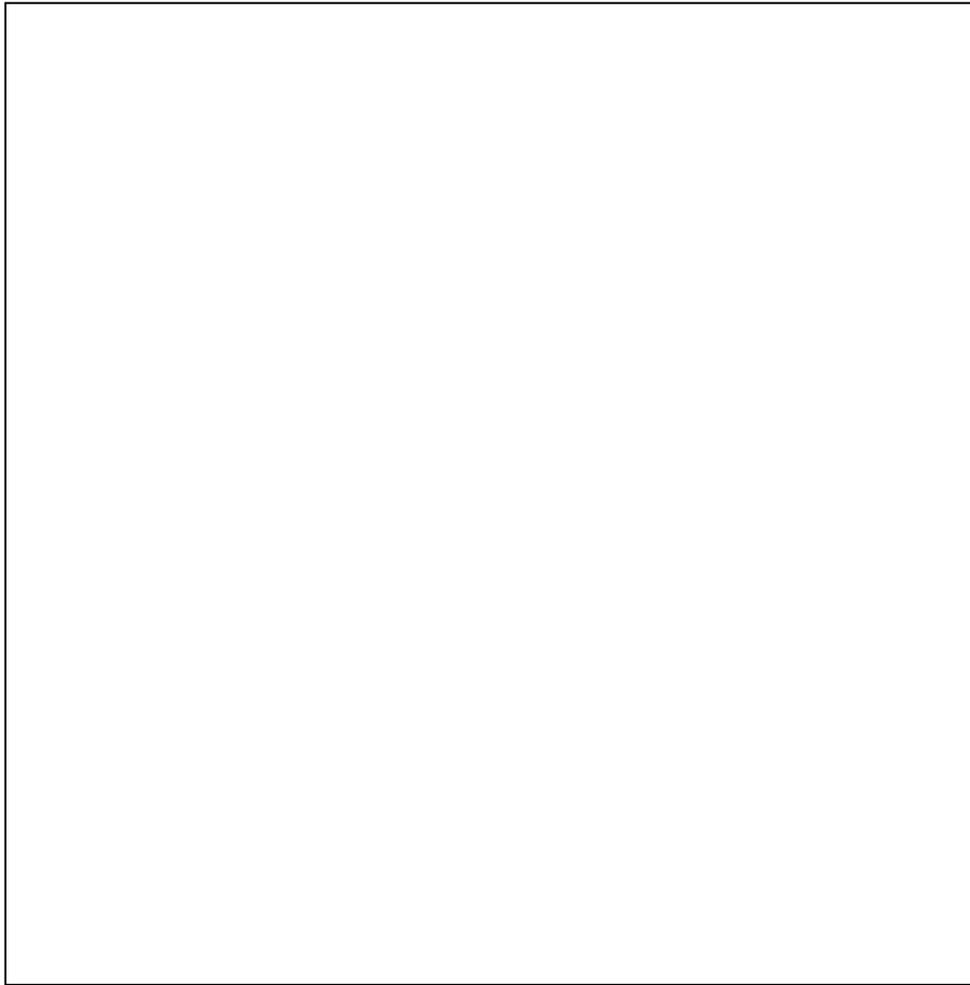


图 11-2 LVX1850-M 型工业 CT 辐射防护计算参考点位示意图（正视图）

1.2 估算结果

本项目 LVX1850-M 型工业 CT 的射线方向固定向下，辐射防护计算参数和计算结果见表 11-1 至表 11-5。

表 11-1 LVX1850-M 型工业 CT 铅房球管距离内侧距离

点位序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	源距内壁距离 (m)	剂量核算点位距离 (m)
a	工业 CT 正面	6		
c	工业 CT 背面	6		
d	工业 CT 左面 (上、下料门)	6		
e	工业 CT 右面 (上、下料门)	6		
f	工业 CT 顶面	6		

g(有用线束)	工业 CT 底面	8		
---------	----------	---	--	--

注：保守计算考虑，忽略铅房屏蔽厚度对距离的影响，并只考虑铅的屏蔽效果。

表 11-2 LVX1850-M 型工业 CT 铅房外辐射剂量率（有用线束）

序号	点位描述	屏蔽物质及厚度 mmPb	I (mA)	屏蔽因子 B	$H_0 (\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h}))$	R(m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
g	工业 CT 底面	8					

表 11-3 LVX1850-M 型工业 CT 铅房外辐射剂量率（泄漏辐射）

点位序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	屏蔽因子 B	$H_L(\mu\text{Sv/h})$	R (m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
a	工业 CT 正面	6				
c	工业 CT 背面	6				
d	工业 CT 左面 (上、下料门)	6				
e	工业 CT 右面 (上、下料门)	6				
f	工业 CT 顶面	6				

表 11-4 LVX1850-M 型工业 CT 铅房外辐射剂量率（散射辐射）

序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	I (mA)	$H_0 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	屏蔽因子 B	$R_0^2/F.a$	R(m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
a	工业 CT 正面	6	0.2					
c	工业 CT 背面	6	0.2					
d	工业 CT 左面 (上、下料门)	6	0.2					
e	工业 CT 右面 (上、下料门)	6	0.2					
f	工业 CT 顶面	6	0.2					

表 11-5 LVX1850-M 型工业 CT 铅房周围辐射剂量率计算结果汇总

点位序号	点位描述	有用线束 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	目标管理值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
a	工业 CT 正面						满足
c	工业 CT 背面						满足
d	工业 CT 左面						满足

	(上、下料门)						
e	工业 CT 右面 (上、下料门)	/					满足
f	工业 CT 顶面	/					满足
g	工业 CT 底面						满足

由表 11-5 汇总结果可知，本项目拟生产、销售、使用的 LVX1850-M 型工业 CT 周围距机体外壁 30cm 处辐射剂量率最大为 $6.69 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的标准要求及本项目“工业 CT 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的剂量约束值要求。

2、RMCT4000H 型工业 CT

2.1 参考点辐射水平估算模式选取

RMCT4000H 型工业 CT 最大管电压 300kV，最大管电流 1.3mA，本项目为“生产、销售、使用”，建设单位在调试设备过程中会达到最大工况。采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式及相关参数估算装置表面外 30cm 处的辐射水平，估算模式如下：

(1) 有用线束

有用线束所致参考点辐射剂量率利用公式 11-1 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-1}$$

式中： I —X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，1.3mA；

H_0 —距辐射源（靶点）1m 处输出量，按最大管电压 300kV，从 GBZ/T 250-2014 附录表 B.1 查取 X 射线输出量，保守取 $20.9 \text{mGy} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{min})$ ，即 $1.25 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

B —屏蔽透射因子；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

(2) 非有用线束

辐射屏蔽透射因子 B 按公式 11-2 计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

式中： X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL—查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.2，X 射线管电压为 300kV，铅的半值层厚度 TVL 为 5.7mm；

① 泄漏辐射

泄漏辐射所致参考点剂量率利用下列公式 11-3 计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-3}$$

式中： B —屏蔽透射因子，使用公式 11-2 计算得到；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_L —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ，查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，取 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ 。

② 散射辐射所致装置外剂量率利用公式（11-4）计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B \cdot F \cdot \alpha}{R_s^2 \cdot R_0^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： B —按《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2 并查附录 B 表 B.2 的相应值，确定 90° 散射辐射的 TVL，然后按公式 11-2 计算；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $1.25 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

$R_0^2 / F \cdot \alpha$ ——根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中“B.4.2：当 X 射线探伤装置圆锥中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 时，4.2.3 式（9）的 $R_0^2 / F \cdot \alpha$ 因子的值为：60（150kV）和 50（200kV~400kV）”，取 50；

R_s —散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

图 11-3 RMCT4000H 型工业 CT 辐射防护计算参考点位示意图（侧视图）

图 11-4 RMCT4000H 型工业 CT 辐射防护计算参考点位示意图（正视图）

2.2 估算结果

本项目 RMCT4000H 型工业 CT 的射线方向固定向右，辐射防护计算参数和计算结果见表 11-6 至表 11-10。

表 11-6 RMCT4000H 型工业 CT 铅房球管距离内侧距离

点位序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	源距内壁距离 (m)	剂量核算点位距离 (m)
a	工业 CT 正面			

b	防护门			
c	工业 CT 背面			
d	工业 CT 左面			
e (有用线束)	工业 CT 右面			
f	工业 CT 顶面			
g	工业 CT 底面			

注：保守计算考虑，忽略铅房屏蔽厚度对距离的影响，并只考虑铅的屏蔽效果。

表 11-7 RMCT4000H 型工业 CT 铅房外辐射剂量率（有用线束）

序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	I (mA)	B	$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h}))$	R (m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
e	工业 CT 右面	22					

表 11-8 RMCT4000H 型工业 CT 铅房外辐射剂量率（泄漏辐射）

序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	B	$H_L(\mu\text{Sv/h})$	R (m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
a	工业 CT 正面	22				
b	防护门	22				
c	工业 CT 背面	22				
d	工业 CT 左面	22				
f	工业 CT 顶面	22				
g	工业 CT 底面	22				

表 11-9 RMCT4000H 型工业 CT 铅房外辐射剂量率（散射辐射）

序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	I (mA)	$H_0(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h}))$	B	$R_0^2/F.a$	R(m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
a	工业 CT 正面	22	3					
b	防护门	22	3					
c	工业 CT 背面	22	3					
d	工业 CT 左面	22	3					
f	工业 CT 顶面	22	3					
g	工业 CT 底面	22	3					

表 11-10 RMCT4000H 型工业 CT 铅房周围辐射剂量率计算结果汇总

点位序号	点位描述	有用线束 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量 当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	目标管理值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
a	工业 CT 正面						满足
b	防护门						满足
c	工业 CT 背面						满足
d	工业 CT 左面						满足
e	工业 CT 右面						满足
f	工业 CT 顶面						满足
g	工业 CT 底面						满足

由表 11-10 汇总结果可知，本项目拟生产、销售、使用的 RMCT4000H 型工业 CT 周围距机体外壁 30cm 处辐射剂量率最大为 $1.74\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的标准要求及本项目“工业 CT 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的剂量约束值要求。

3、RMCT4000N 型工业 CT

3.1 参考点辐射水平估算模式选取

RMCT4000N 型工业 CT 最大管电压 300kV，最大管电流 3mA，本项目为“生产、销售、使用”，建设单位在调试设备过程中会达到最大工况。采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式及相关参数估算装置表面外 30cm 处的辐射水平，估算模式如下：

（1）有用线束

有用线束所致参考点辐射剂量率利用公式 11-1 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-1}$$

式中： I —X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，3mA；

H_0 —距辐射源（靶点）1m 处输出量，按最大管电压 300kV，从 GBZ/T 250-2014 附录表 B.1 查取 X 射线输出量，保守取 $20.9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，即 $1.25\times 10^6\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

B —屏蔽透射因子；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

（2）非有用线束

辐射屏蔽透射因子 B 按公式 11-2 计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

式中： X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL —查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.2，X 射线管电压为 300kV，铅的半值层 TVL 取 5.7mm；

① 泄漏辐射

泄漏辐射所致参考点剂量率利用下列公式 11-3 计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-3}$$

式中： B —屏蔽透射因子，使用公式 11-2 计算得到；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_L —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ，查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，取 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ 。

② 散射辐射所致装置外剂量率利用公式（11-4）计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： B —按《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2 并查附录 B 表 B.2 的相应值，确定 90° 散射辐射的 TVL ，然后按公式（5）计算；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $1.25 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

$R_0^2 / F \cdot \alpha$ —根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中“B.4.2：当 X 射线探伤装置圆锥中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 时，4.2.3 式（9）的 $R_0^2 / F \cdot \alpha$ 因子的值为：60（150kV）和 50（200kV~400kV）”，本项目取 50；

R_s —散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

图 11-5 RMCT4000N 型高性能显微 CT 辐射防护计算参考点位示意图（侧视图）

图 11-6 RMCT4000N 型高性能显微 CT 辐射防护计算参考点位示意图（正视图）

3.2 估算结果

本项目 RMCT4000N 型工业 CT 的射线方向固定向右，辐射防护计算参数和计算结果见表 11-11 至表 11-15。

表 11-11 RMCT4000N 型工业 CT 铅房球管距离外侧距离

点位序号	点位描述	铅屏蔽厚 mmPb	源距内壁距离 (m)	剂量核算点位距离 (m)
a	工业 CT 正面			
b	防护门			
c	工业 CT 背面			
d	工业 CT 左面			
e (有用线束)	工业 CT 右面			
f	工业 CT 顶面			
g	工业 CT 底面			

表 11-12 RMCT4000N 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (有用线束)

序号	点位描述	I (mA)	铅屏蔽厚度 mmPb	B	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{h})$)	R^* (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
e	工业 CT 右面	3	24				

表 11-13 RMCT4000N 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (泄漏辐射)

点位序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	B	$H_L(\mu\text{Sv/h})$	R (m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
a	工业 CT 正面	22				
b	防护门	22				
c	工业 CT 背面	22				
d	工业 CT 左面	22				
f	工业 CT 顶面	22				
g	工业 CT 底面	22				

表 11-14 RMCT4000N 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (散射辐射)

序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	I (mA)	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 / (\text{mA}\cdot\text{h})$)	B	$R_0^2 / F.a$	R(m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
a	工业 CT 正面	22	3					
b	防护门	22	3					
c	工业 CT 背面	22	3					

d	工业 CT 左面	22	3	
f	工业 CT 顶面	22	3	
g	工业 CT 底面	22	3	

表 11-15 RMCT4000N 型工业 CT 铅房周围辐射剂量率计算结果汇总

点位序号	点位描述	有用线束 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量当量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	目标管理值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
a	工业 CT 正面						
b	防护门						
c	工业 CT 背面						
d	工业 CT 左面						
e	工业 CT 右面						
f	工业 CT 顶面						
g	工业 CT 底面						

由表 11-15 汇总结果可知，本项目拟生产、销售、使用的 RMCT4000N 型工业 CT 周围距机体外壁 30cm 处辐射剂量率最大为 $1.98\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的标准要求及本项目“工业 CT 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的剂量约束值要求。

4、RMCT7000-L512 型工业 CT

4.1 参考点辐射水平估算模式选取

RMCT7000-L512 型工业 CT 最大管电压 300kV，最大管电流 10mA。本项目为“生产、销售、使用”，建设单位在调试设备过程中会达到最大工况。采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式及相关参数估算装置表面外 30cm 处的辐射水平，估算模式如下：

(1) 有用线束

有用线束所致参考点辐射剂量率利用公式 11-1 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-1}$$

式中： I —X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，3mA；

H_0 —距辐射源（靶点）1m 处输出量，按最大管电压 250kV，从 GBZ/T

250-2014 附录表 B.1 查取 X 射线输出量，保守取 $16.5\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，即 $9.9\times 10^5\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

B —屏蔽透射因子；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

（2）非有用线束

辐射屏蔽透射因子 B 按公式 11-2 计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

式中： X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL —查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.2，X 射线管电压为 300kV，铅的半值层 TVL 取 5.7mm；

① 泄漏辐射

泄漏辐射所致参考点剂量率利用下列公式 11-3 计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-3}$$

式中： B —屏蔽透射因子，使用公式 11-2 计算得到；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_L —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ，查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，取 $5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ 。

② 散射辐射所致装置外剂量率利用公式（11-4）计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： B —按《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2 并查附录 B 表 B.2 的相应值，确定 90° 散射辐射的 TVL ，然后按公式（5）计算；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $9.9\times 10^5\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

$R_0^2/F \cdot \alpha$ —根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中“B.4.2：当 X 射线探伤装置圆锥中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 时，4.2.3 式（9）的 $R_0^2/F \cdot \alpha$ 因子的值为：60（150kV）和 50（200kV~400kV）”，本项目取 50；

R_s —散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

图 11-7 RMCT7000-L512 型工业 CT 辐射防护计算参考点位示意图（正视图）

图 11-8 RMCT7000-L512 型工业 CT 辐射防护计算参考点位示意图（侧视图）

4.2 估算结果

本项目 RMCT7000-L512 型工业 CT 的射线球管可沿以左右水平方向为中心轴的

圆形轨道旋转，其主射线方向朝向前面、后面、顶面、底面。RMCT7000-L512 型工业 CT 辐射防护计算参数和计算结果见表 11-16 至表 11-20。

表 11-16 RMCT7000-L512 型工业 CT 铅房球管距离外侧距离

点位序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	源距外壁距离 (m)	剂量核算点位距 离 (m)
a (有用线束)	工业 CT 正面			
b (有用线束)	防护门			
c (有用线束)	工业 CT 背面			
d	工业 CT 左面			
d'	工业 CT 左面			
e	工业 CT 右面			
f (有用线束)	工业 CT 顶面			
g (有用线束)	工业 CT 底面			

表 11-17 RMCT7000-L512 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (有用线束)

序号	点位描述	I (mA)	铅屏蔽厚 度 mmPb	B	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 /$ ($\text{mA}\cdot\text{h}$))	R^* (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
a	工业 CT 正面	10					
b	防护门	10					
c	工业 CT 背面	10					
f	工业 CT 顶面	10					
g	工业 CT 底面	10					

表 11-18 RMCT7000-L512 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (泄漏辐射)

序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	B	H_L ($\mu\text{Sv/h}$)	R(m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
d	工业 CT 左面	18				
d'	工业 CT 左面	18				
e	工业 CT 右面	18				

表 11-19 RMCT7000-L512 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (散射辐射)

序号	点位	铅屏蔽	I	H_0	B	$R_0^2 / F.a$	R(m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
----	----	-----	---	-------	---	---------------	------	-----------------------

	描述	厚度 mmPb	(mA)	($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2$ /(mA·h)				
d	工业 CT 左面	18	10					
d'	工业 CT 左面	18	10					
e	工业 CT 右面	18	10					

表 11-20 RMCT7000-L512 型工业 CT 铅房周围辐射剂量率计算结果汇总

点位 序号	点位描述	有用线束 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量当 量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	目标管理值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
a	工业 CT 正面						
b	防护门						
c	工业 CT 背面						
d	工业 CT 左面						
d'	工业 CT 左面						
e	工业 CT 右面						
f	工业 CT 顶面						
g	工业 CT 底面						

由表 11-15 汇总结果可知，本项目拟生产、销售、使用的 RMCT7000-L512 型工业 CT 周围距机体外壁 30cm 处辐射剂量率最大为 $0.99\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的标准要求及本项目“工业 CT 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的剂量约束值要求。

5、RMCT7000-L1200 型工业 CT

5.1 参考点辐射水平估算模式选取

RMCT7000-L1200 型工业 CT 最大管电压 250kV，最大管电流 10mA，本项目为“生产、销售、使用”，建设单位在调试设备过程中会达到最大工况。采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式及相关参数估算装置表面外 30cm 处的辐射水平，估算模式如下：

(1) 有用线束

有用线束所致参考点辐射剂量率利用公式 11-1 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-1}$$

式中： I —X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，10mA；

H_0 —距辐射源（靶点）1m 处输出量，按最大管电压 250kV，从 GBZ/T 250-2014 附录表 B.1 查取 X 射线输出量，保守取 $16.5\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，即 $9.9\times 10^5\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

B —屏蔽透射因子；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

（2）非有用线束

辐射屏蔽透射因子 B 按公式 11-2 计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

式中： X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL —查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.2，X 射线管电压为 250kV，铅的半值层 TVL 取 2.9mm；

① 泄漏辐射

泄漏辐射所致参考点剂量率利用下列公式 11-3 计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-3}$$

式中： B —屏蔽透射因子，使用公式 11-2 计算得到；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_L —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ，查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，取 $5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ 。

② 散射辐射所致装置外剂量率利用公式（11-4）计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： B —按《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2 并查附录 B 表 B.2 的相应值，确定 90° 散射辐射的 TVL ，然后按公式（5）计算；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $9.9\times 10^5\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

$R_0^2/F\cdot\alpha$ ——根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中“B.4.2：当 X 射线探伤装置圆锥中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 时，4.2.3 式（9）

的 $R_0^2/F \cdot \alpha$ 因子的值为：60（150kV）和 50（200kV~400kV）”，本项目取 60；

R_s —散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

图 11-9 RMCT7000-L1200 型平板 CT 辐射防护计算参考点位示意图（侧视图）

d'左面

e'右面

图 11-10 RMCT7000-L1200 型平板 CT 辐射防护计算参考点位示意图（正视图）

5.2 估算结果

本项目 RMCT7000-L1200 型工业 CT 的射线球管可沿以左右水平方向为中心轴的圆形轨道旋转，其主射线方向朝向前面、后面、顶面、底面，RMCT7000-L1200 型工业 CT 辐射防护计算参数和计算结果见表 11-21 至表 11-25。

表 11-21 RMCT7000-L1200 型平面 CT 铅房球管距离外侧距离

点位序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	源距外壁距离 (m)	剂量核算点位距离 (m)
a (有用线束)	工业 CT 正面			
b (有用线束)	防护门			
c (有用线束)	工业 CT 背面			
d	工业 CT 左面			
d'				
e	工业 CT 右面			
e'				
f (有用线束)	工业 CT 顶面			
g (有用线束)	工业 CT 底面			

表 11-22 RMCT7000-L1200 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (有用线束)

序号	点位描述	I (mA)	铅屏蔽厚度 mmPb	B	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 /$ ($\text{mA}\cdot\text{h}$))	R^* (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
a	工业 CT 正面	10					
b	防护门	10					
c	工业 CT 背面	10					
f	工业 CT 顶面	10					
g	工业 CT 底面	10					

表 11-23 RMCT7000-L1200 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (泄漏辐射)

点位 序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	B	$H_L(\mu\text{Sv/h})$	R (m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
d	工业 CT 左面	18				
d'		18				
e	工业 CT 右面	18				
e'		18				

表 11-24 RMCT5000 型平板 CT 铅房外辐射剂量率（散射辐射）

序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	I (mA)	H ₀ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2$ /(mA·h))	B	R ₀ ² /F.a	R(m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
d	工业 CT 左面	18						
d'		18						
e	工业 CT 右面	18						
e'		18						

表 11-25 RMCT5000 型工业 CT 铅房周围辐射剂量率计算结果汇总

序号	点位描述	有用线束 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量 当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	目标管理值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
a	工业 CT 正面						
b	防护门						
c	工业 CT 背面						
d	工业 CT 左面						
d'							
e	工业 CT 右面						
e'							
f	工业 CT 顶面						
g	工业 CT 底面						

由表 11-15 汇总结果可知，本项目拟生产、销售、使用的 RMCT7000-L1200 型工业 CT 周围距机体外壁 30cm 处辐射剂量率最大为 $2.34\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的标准要求及本项目“工业 CT 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的剂量约束值要求。

6、RMCT7000-L2000 型工业 CT

6.1 参考点辐射水平估算模式选取

RMCT7000-L2000 型工业 CT 最大管电压为 250kV，最大管电流均为 10mA。本项目为“生产、销售、使用”，建设单位在调试设备过程中会达到最大工况。采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式及相关参数估算装

置表面外 30cm 处的辐射水平，估算模式如下：

(1) 有用线束

有用线束所致参考点辐射剂量率利用公式 11-1 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-1}$$

式中： I —X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，10mA；

H_0 —距辐射源（靶点）1m 处输出量，按最大管电压 250kV，从 GBZ/T 250-2014 附录表 B.1 查取 X 射线输出量，保守取 16.5mGy·m²/（mA·min），即 9.9×10⁵μSv·m²/（mA·h）；

B —屏蔽透射因子；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

(2) 非有用线束

辐射屏蔽透射因子 B 按公式 11-2 计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

式中： X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL —查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.2，X 射线管电压为 250kV，铅的半值层 TVL 取 2.9mm；

① 泄漏辐射

泄漏辐射所致参考点剂量率利用下列公式 11-3 计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-3}$$

式中： B —屏蔽透射因子，使用公式 11-2 计算得到；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_L —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 μSv/h，查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，取 5×10³μSv/h。

② 散射辐射所致装置外剂量率利用公式（11-4）计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： B —按《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2 并查附录 B 表 B.2 的相应值，确定 90° 散射辐射的 TVL ，然后按公式（5）计算；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $9.9 \times 10^5 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

$R_0^2 / F \cdot \alpha$ ——根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中“B.4.2：当 X 射线探伤装置圆锥中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 时，4.2.3 式（9）的 $R_0^2 / F \cdot \alpha$ 因子的值为：60（150kV）和 50（200kV~400kV）”，本项目取 50；

R_s —散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

图 11-11 RMCT7000-L2000 型工业 CT 辐射防护计算参考点位示意图（侧视图）

d'左面

e'左面

图 11-12 RMCT7000-L2000 型工业 CT 辐射防护计算参考点位示意图（正视图）

6.2 估算结果

本项目 RMCT7000-L2000 型工业 CT 的射线球管可沿以左右水平方向为中心轴的圆形轨道旋转，其主射线方向朝向前面、后面、顶面、底面，RMCT7000-L2000 型工业 CT 辐射防护计算参数和计算结果见表 11-26 至表 11-30。

表 11-26 RMCT7000-L2000 型工业 CT 铅房球管距离外侧距离

点位序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	源距外壁距离 (m)	剂量核算点位距 离 (m)
a (有用线束)	工业 CT 正面			
b (有用线束)	防护门			
c (有用线束)	工业 CT 背面			
d	工业 CT 左面			
d'				
e	工业 CT 右面			
e'				
f (有用线束)	工业 CT 顶面			
g (有用线束)	工业 CT 底面			

表 11-27 RMCT7000-L2000 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (有用线束)

序号	点位描述	I (mA)	铅屏蔽 厚度 mmPb	B	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 /$ (mA·h))	R^* (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
a	工业 CT 正面	10					
b	防护门	10					
c	工业 CT 背面	10					
f	工业 CT 顶面	10					
g	工业 CT 底面	10					

表 11-28 RMCT7000-L2000 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (泄漏辐射)

序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	B	$H_L(\mu\text{Sv/h})$	R (m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
d	工业 CT 左面	12				
d'		18				

e	工业 CT 右面	12	
e'		18	

表 11-29 RMCT7000-L2000 型工业 CT 铅房外辐射剂量率（散射辐射）

序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	I (mA)	H ₀ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2$ /(mA·h))	B	R ₀ ² /F.a	R(m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
d	工业 CT 左面	18						
d'		12						
e	工业 CT 右面	18						
e'		12						

表 11-30 RMCT7000-L2000 型工业 CT 铅房周围辐射剂量率计算结果汇总

序号	点位描述	有用线束 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量 当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	目标管理值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
a	工业 CT 正面	2.34					
b	防护门	2.34					
c	工业 CT 背面	2.34					
d	工业 CT 左面	/					
d'		/					
e	工业 CT 右面	/					
e'		/					
f	工业 CT 顶面	1.28					
g	工业 CT 底面	1.47					

由表 11-30 汇总结果可知，本项目拟生产、销售和使用的 RMCT6000 型工业 CT 周围距机体外壁 30cm 处辐射剂量率最大为 2.34 $\mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的标准要求及本项目“工业 CT 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ”的剂量约束值要求；同时 RMCT6000D 型工业 CT 也能够满足上述要求。

7、RMX3000 型工业 CT

7.1 参考点辐射水平估算模式选取

RMX3000 型工业 CT 最大管电压为 160kV，最大管电流为 0.5mA。本项目为“生产、销售、使用”，建设单位在调试设备过程中会达到最大工况。采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式及相关参数估算装置表面外 30cm 处的辐射水平，估算模式如下：

(1) 有用线束

有用线束所致参考点辐射剂量率利用公式 11-1 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-1}$$

式中： I —X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，10mA；

H_0 —距辐射源（靶点）1m 处输出量，按最大管电压 160kV，从辐射防护导论附图 3 按 0.5mmCu 滤过参数查取 X 射线输出量，取 $6\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ ，即 $3.6\times 10^5\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

B —屏蔽透射因子；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

(2) 非有用线束

辐射屏蔽透射因子 B 按公式 11-2 计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

式中： X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL —查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 B.2，X 射线管电压为 160kV，铅的半值层 TVL 以插值法取 1.0mm；

① 泄漏辐射

泄漏辐射所致参考点剂量率利用下列公式 11-3 计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-3}$$

式中： B —屏蔽透射因子，使用公式 11-2 计算得到；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_L —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ，查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，取 $2.5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ 。

② 散射辐射所致装置外剂量率利用公式（11-4）计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B \cdot F \cdot \alpha}{R_s^2 \cdot R_0^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： B —按《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2 并查附录 B 表 B.2 的相应值，确定 90° 散射辐射的 TVL，然后按公式 11-2 计算；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $3.6 \times 10^5 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

$R_0^2 / F \cdot \alpha$ ——根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中“B.4.2：当 X 射线探伤装置圆锥中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 时，4.2.3 式（9）的 $R_0^2 / F \cdot \alpha$ 因子的值为：60（150kV）和 50（200kV~400kV）”，本项目取 60；

R_s —散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

图 11-11 RMCT7000-L2000 型工业 CT 辐射防护计算参考点位示意图（侧视图）

图 11-12 RMCT7000-L2000 型工业 CT 辐射防护计算参考点位示意图（正视图）

7.2 估算结果

本项目 RMX3000 型工业 CT 的射线方向固定向上，辐射防护计算参数和计算结果见表 11-31 至表 11-35。

表 11-31 RMX3000 型工业 CT 铅房球管距离内侧距离

点位序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	源距内壁距离 (m)	剂量核算点位距离 (m)
a	工业 CT 正面			
b	防护门			
c	工业 CT 背面			
d	工业 CT 左面			
e	工业 CT 右面			
f (有用线束)	工业 CT 顶面			
g	工业 CT 底面			

表 11-32 RMX3000 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (有用线束)

序号	点位描述	I (mA)	铅屏蔽厚度 mmPb	B	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 /$ (mA·h))	R^* (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
f	工业 CT 顶面	0.5	8				

表 11-33 RMX3000 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (泄漏辐射)

序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	B	$H_L(\mu\text{Sv/h})$	R (m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
a	工业 CT 正面	7				
b	防护门	7				
c	工业 CT 背面	7				
d	工业 CT 左面	7				
e	工业 CT 右面	7				
g	工业 CT 底面	6				

表 11-34 RMX3000 型工业 CT 铅房外辐射剂量率 (散射辐射)

序号	点位描述	铅屏蔽厚度 mmPb	I (mA)	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 /$ (mA·h))	B	$R_0^2 / F.a$	R(m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
----	------	---------------	-----------	---	---	---------------	------	-----------------------

a	工业 CT 正面	7	
b	防护门	7	
c	工业 CT 背面	7	
d	工业 CT 左面	7	
e	工业 CT 右面	7	
g	工业 CT 底面	6	

表 11-35 RMX3000 型工业 CT 铅房周围辐射剂量率计算结果汇总

序号	点位描述	有用线束 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量当量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	目标管理值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
a	工业 CT 正面						
b	防护门						
c	工业 CT 背面						
d	工业 CT 左面						
e	工业 CT 右面						
f	工业 CT 顶面						
g	工业 CT 底面						

由表 11-35 汇总结果可知，本项目拟生产、销售、使用的 RMX3000 型工业 CT 周围距机体外壁 30cm 处辐射剂量率最大为 $4.54 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）的标准要求及本项目“工业 CT 屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的剂量约束值要求。

8、研发实验室环境影响分析

8.1 参考点辐射水平估算模式选取

本项目研发实验室内使用的工业 CT 测试系统最大管电压为 600kV，最大管电流为 2.5mA。采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式及相关参数估算研发实验室屏蔽墙外 30cm 处的辐射水平，估算模式如下：

（1）有用线束

有用线束所致参考点辐射剂量率利用公式 11-1 计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-1}$$

式中： I —X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，2.5mA；

H_0 —距辐射源（靶点）1m 处输出量，根据建设单位提供资料，研发试验所用设备 600kV 管电压、2mmCu 滤过条件下 H_0 为 $1.3\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{s})$ ，即 $4.68\times 10^6\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$ ；

B —屏蔽透射因子；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

（2）非有用线束

辐射屏蔽透射因子 B 按公式 11-2 计算：

$$B = 10^{-X/TVL} \quad \text{公式 11-2}$$

式中： X —屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL —查《辐射安全手册》图 6.4，管电压为 600kV，重混凝土的什值层 TVL 取 7.5cm，铅的什值层 TVL 取 7mm；

① 泄漏辐射

泄漏辐射所致参考点剂量率利用下列公式 11-3 计算：

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_L \cdot B}{R^2} \quad \text{公式 11-3}$$

式中： B —屏蔽透射因子，使用公式 11-2 计算得到；

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

\dot{H}_L —距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ，查《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，取 $5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ 。

② 散射辐射所致装置外剂量率利用公式（11-4）计算：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \quad \text{公式 11-4}$$

式中： B —本项目最大管电压（600kV，即 0.6MV）下有用线束（初级 X 射线）的散射线，其能量偏保守取有用线束侧向（散射角 $\theta=90^\circ$ ）的一次散射线能量，可借鉴康普顿散射定律计算一次散射线能量 E 与入射的初级 X 射线能量 E_0 之比 $E/E_0=1/[1+E_0(1-\cos\theta)/0.511]=1/[1+0.6\times(1-\cos 90^\circ)/0.511]=0.46$ ，继而计算一次散射线能量 E 对应的 kV 值为 $600\text{kV}\times 0.46=276\text{kV}$ ，保守按 300kV 从《辐射安全手册》

图 6.4 中确定 90° 散射辐射重混凝土的 TVL 为 5cm，从 GBZ/T 250-2014 表 B.2 中确定铅的 TVL 为 5.7mm，然后按公式 11-2 计算；

H_0 —距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $4.68 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ；

$R_0^2 / F \cdot \alpha$ ——根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中“B.4.2：当 X 射线探伤装置圆锥中心轴和圆锥边界的夹角为 20° 时，4.2.3 式（9）的 $R_0^2 / F \cdot \alpha$ 因子的值为：60（150kV）和 50（200kV~400kV）”，本项目取 50；

R_s —散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

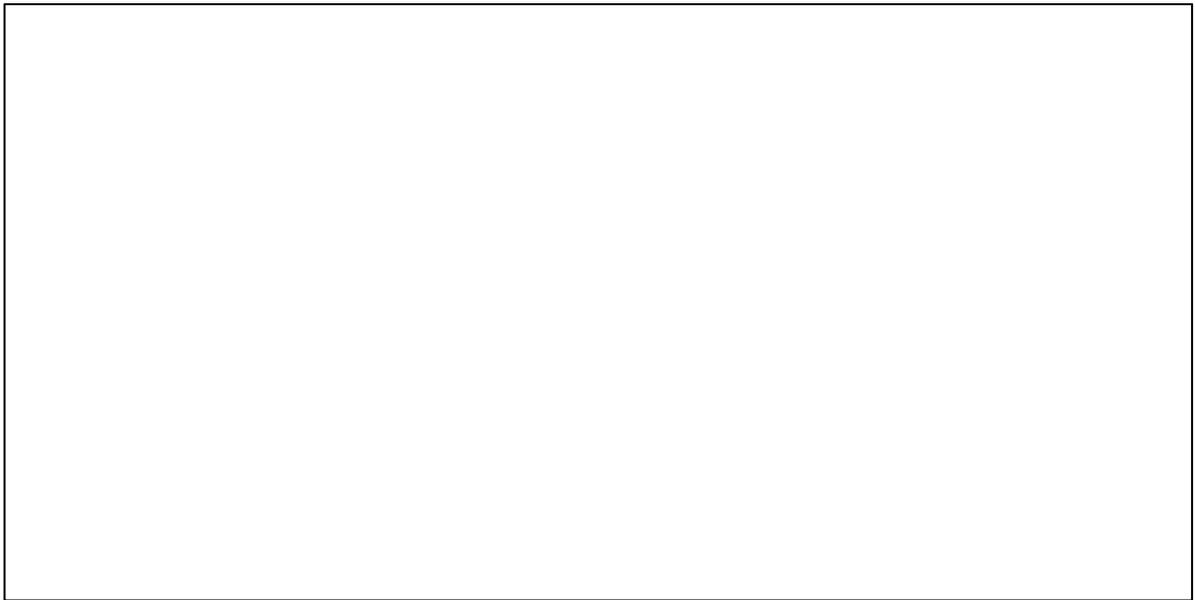


图 11-13 研发实验室辐射防护计算参考点位示意图（平面）

8.2 估算结果

本项目研发实验室以东墙、北墙作为主照射面，辐射防护计算参数和计算结果见表 11-36 至表 11-40。

表 11-36 研发实验室预测计算参考点位距离一览表

点位序号	点位描述	屏蔽材料及厚度	源距参考点距离 (m)
A（有用线束）	研发实验室东墙		
B	研发实验室南墙		
C	研发实验室防护大门		
D	研发实验室西墙 （控制室）		
E	研发实验室防护小门 （控制室）		

F (有用线束)	研发实验室北墙
G	研发实验室顶上

表 11-37 研发实验室外辐射剂量率 (有用线束)

序号	点位描述	I (mA)	屏蔽材料及厚度	B	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 /$ ($\text{mA}\cdot\text{h}$))	R^* (m)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)
A	研发实验室东墙	2.5					
F	研发实验室北墙	2.5					

表 11-38 研发实验室外辐射剂量率 (泄漏辐射)

序号	点位描述	屏蔽材料及厚度	B	$H_L(\mu\text{Sv/h})$	R (m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
A	研发实验室东墙					
B	研发实验室南墙					
C	研发实验室防护大门					
D	研发实验室西墙 (控制室)					
E	研发实验室防护小门 (控制室)					
F	研发实验室北墙					
G	研发实验室顶上					

表 11-34 研发实验室外辐射剂量率 (散射辐射)

序号	点位描述	屏蔽材料及厚度	I (mA)	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2 /$ ($\text{mA}\cdot\text{h}$))	B	$R_0^2 / F.a$	R(m)	H($\mu\text{Sv/h}$)
A	研发实验室东墙							
B	研发实验室南墙							
C	研发实验室防护大门							
D	研发实验室西墙							

E	研发实验室 防护小门
F	研发实验室 北墙
G	研发实验室 顶上

表 11-35 研发实验室周围辐射剂量率计算结果汇总

序号	点位描述	有用线束 ($\mu\text{Sv/h}$)	泄漏辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	散射辐射 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量当量 率 ($\mu\text{Sv/h}$)	目标管理值 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
A	研发实验室东墙						
B	研发实验室南墙						
C	研发实验室防护 大门						
D	研发实验室西墙 (控制室)						
E	研发实验室防护 小门(控制室)						
F	研发实验室北墙						
G	研发实验室顶上						

由表 11-35 汇总结果可知，本项目研发实验室屏蔽墙外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 $8.55 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/h}$ ，满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中“屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ”的标准要求。

本项目所有工业 CT 防护门及研发实验室防护门搭接处重叠部分均为接缝距离的 10 倍以上，因此能有效防止防护门接缝泄露辐射；工业 CT 线缆孔处采取的补偿防护措施均与线缆孔所在面的防护能力一致；研发实验室线缆管采用“U”型埋地穿墙管道，不会破坏墙体的整体防护能力，线缆口采用铅防护罩进行防护，实验室顶部的换气扇出风口处设置铅屏蔽罩作为补偿防护措施；本项目工业 CT 顶面 30cm 处、研发实验室顶部 30cm 处辐射剂量率均不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ，则穿透屏蔽体顶面后的 X 射线在经大气散射返回地面后的影响较小。

二、辐射工作人员和公众剂量估算

(1) 辐射工作人员年有效剂量

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T$$

公式 11-6

上式中： H_c —参考点的年剂量水平， $\mu\text{Sv/a}$ ；

$\dot{H}_{c,d}$ —参考点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

t —探伤装置年照射时间，单位为 h/a ；本项目工业 CT 在调试过程中，每台设备曝光时间不超过 2h；

U —探伤装置向关注点方向照射的使用因子；

T —人员在相应关注点驻留的居留因子，可通过《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的附录表 A.1 得到；

表 11-37 LVX1850-M 型工业 CT 辐射工作人员剂量计算结果

参数		屏蔽体	正面	背面	左侧（上、下料口）	右侧（上、下料口）	顶面
		\dot{H} 估算值（ $\mu\text{Sv/h}$ ）		3.15×10^{-3}	3.15×10^{-3}	2.22×10^{-3}	2.22×10^{-3}
U 使用因子		1					
T 居留因子		1					
t 照射时间	h/周	4					
	h/a	40					
\dot{H} 估算值	$\mu\text{Sv/周}$						
	mSv/a						
\dot{H}_c 控制值	$\mu\text{Sv/周}$						
	mSv/a	5	5	5	5	5	5
保护目标类型		工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员
评价结果		满足	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-38 RMCT4000H 型工业 CT 辐射工作人员剂量计算结果

参数		屏蔽体	正面	防护门	背面	左侧	右侧	顶面
		\dot{H} 估算值（ $\mu\text{Sv/h}$ ）						
U 使用因子		1						
T 居留因子		1						
t 照射时间	h/周	4						
	h/a	20						

\dot{H} 估算值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$						
	mSv/a						
\dot{H}_c 控制值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$	100	100	100	100	100	100
	mSv/a	5	5	5	5	5	5
保护目标类型		工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员
评价结果		满足	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-39 RMCT4000N 型工业 CT 辐射工作人员剂量计算结果

参数		屏蔽体		正面	防护门	背面	左侧	右侧	顶面
\dot{H} 估算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)									
U 使用因子									
T 居留因子									
t 照射时间	$\text{h}/\text{周}$								
	h/a								
\dot{H} 估算值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$								
	mSv/a								
\dot{H}_c 控制值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$	100	100	100	100	100	100	100	
	mSv/a	5	5	5	5	5	5	5	
保护目标类型		工作人员							
评价结果		满足							

表 11-40 RMCT7000-L512 型工业 CT 辐射工作人员剂量计算结果

参数		屏蔽体		正面	防护门	背面	左侧	右侧	顶面
\dot{H} 估算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)									
U 使用因子									
T 居留因子		1							
t 照射时间	$\text{h}/\text{周}$	4							
	h/a	100							

\dot{H} 估算值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$						
	mSv/a						
\dot{H}_c 控制值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$	100	100	100	100	100	100
	mSv/a	5	5	5	5	5	5
保护目标类型		工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员
评价结果		满足	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-41 RMCT7000-L1200 型工业 CT 辐射工作人员剂量计算结果

参数 \ 屏蔽体		正面	防护门	背面	左侧	右侧	顶面
\dot{H} 估算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)							
U 使用因子		1					
T 居留因子		1					
t 照射时间	$\text{h}/\text{周}$	4					
	h/a	100					
\dot{H} 估算值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$						
	mSv/a						
\dot{H}_c 控制值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$						
	mSv/a						
保护目标类型		工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员
评价结果		满足	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-42 RMCT7000-L2000 型工业 CT 辐射工作人员剂量计算结果

参数 \ 屏蔽体		正面	防护门	背面	左侧	右侧	顶面
\dot{H} 估算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)							
U 使用因子		1					
T 居留因子		1					
t 照射时间	$\text{h}/\text{周}$	4					
	h/a	100					

\dot{H} 估算值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$						
	mSv/a						
\dot{H}_c 控制值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$						
	mSv/a	5	5	5	5	5	5
保护目标类型		工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员
评价结果		满足	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-43 RMX3000 型工业 CT 辐射工作人员剂量计算结果

参数 \ 屏蔽体		正面	防护门	背面	左侧	右侧	顶面
\dot{H} 估算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)							
U 使用因子							
T 居留因子		1					
t 照射时间	$\text{h}/\text{周}$	4					
	h/a	40					
\dot{H} 估算值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$						
	mSv/a						
\dot{H}_c 控制值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$						
	mSv/a	5	5	5	5	5	5
保护目标类型		工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员	工作人员
评价结果		满足	满足	满足	满足	满足	满足

表 11-44 研发实验室周围人员有效剂量计算结果

参数 \ 屏蔽体		东面	南面	防护门	控制室	北面	顶面
\dot{H} 估算值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)							
U 使用因子		1	1	1	1	1	1
T 居留因子		1/4	1/4	1/4	1	1/4	1/4
t 照射时间	$\text{h}/\text{周}$	10					
	h/a	500					

\dot{H} 估算值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$						
	mSv/a						
\dot{H}_c 控制值	$\mu\text{Sv}/\text{周}$	5	5	5	100	5	5
	mSv/a	0.1	0.1	0.1	5	0.1	0.1
保护目标类型		公众	公众	公众	工作人员	公众	公众
评价结果		满足	满足	满足	满足	满足	满足

由表 11-37 至表 11-44 计算结果可知,本次扩建调试区新增 7 种型号工业 CT 辐射工作人员最大周有效剂量为 $9.37\mu\text{Sv}$ 、年有效剂量为 0.23mSv ,研发实验室辐射工作人员最大周有效剂量为 $2.14\times 10^{-2}\mu\text{Sv}$ 、年有效剂量为 $1.07\times 10^{-3}\text{mSv}$,均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中对职业人员有效剂量限值要求以及本项目剂量约束值(职业人员周有效剂量不超过 $100\mu\text{Sv}$ 、年有效剂量不超过 5mSv)。

保守考虑极端情况下,调试区 7 种型号工业 CT 同时出束调试,则本项目调试区工作人员周有效剂量不会超过表 11-45 计算结果,年有效剂量不会超过表 11-46 计算结果。

表 11-45 调试区辐射工作人员周有效剂量叠加计算结果

工业 CT 型号	辐射工作人员周有效剂量 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)					
	正面	防护门	背面	左侧	右侧	顶面
LVX1850-M						
RMCT4000H						
RMCT4000N						
RMCT7000-L512						
RMCT7000-L1200						
RMCT7000-L2000						
RMX3000						
合计						

表 11-46 调试区辐射工作人员年有效剂量叠加计算结果

工业 CT 型号	辐射工作人员年有效剂量 (mSv/a)					
	正面	防护门	背面	左侧	右侧	顶面
LVX1850-M						
RMCT4000H						
RMCT4000N						
RMCT7000-L512						
RMCT7000-L1200						
RMCT7000-L2000						
RMX3000						
合计						

由表 11-45 至表 11-46 保守计算结果可知，本项目调试区辐射工作人员叠加周有效剂量不超过 29.74 μ Sv、年有效剂量不超过 0.62mSv，调试区和研发实验室所致叠加周有效剂量不超过 29.74 μ Sv、年有效剂量不超过 0.62mSv。以上结果均满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员有效剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（职业人员周有效剂量不超过 100 μ Sv/周，年有效剂量不超过 5mSv）。

（二）周围公众年有效剂量

本项目工业 CT 调试/研发过程均在生产调试车间调试区/研发实验室内，调试区/研发实验室非辐射工作人员不得进入。生产调试间车间一楼中部为接待区、预留区等，一楼西部为展厅、配电房、原有调试间等；二楼中部为就餐区、预留区等；三楼中部为办公区；四楼东部、西部为生产调试车间无建筑，四楼中部为总经理办公室；生产调试车间四周均为厂区道路。本项目 50m 评价范围东侧至产业路（最近处约 13m），南侧至赛闻包装有限公司（最近处约 10m），西侧至康鸿智能生态园（最近处约 12m），北侧至汇凯路（最近处约 25m）。

本项目拟将工业 CT 屏蔽体内部及研发实验室内部划为控制区，将工业 CT 所在调试区及研发实验室控制室划为监督区，监督区内公众不可达。如图 10-1 至图 10-3 所示，调试区边界公众可达处距最近工业 CT 距离为 5m。根据工业 CT 出束调试时间，

结合周围公众居留情况，使用公式 11-5 对周围公众有效剂量进行预测计算，详见表 11-47 至表 11-48。

表 11-47 调试区周围公众周有效剂量计算结果

工业 CT 型号	屏蔽体外 5m 处最大剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	周最大出束时间/h	使用因子	居留因子	\dot{H} 估算值 ($\mu\text{Sv/周}$)	\dot{H}_c 控制值 ($\mu\text{Sv/周}$)	评价结果
LVX1850-M		4	1	1/4	6.69×10^{-3}	5	满足
RMCT4000H		4				5	满足
RMCT4000N		4				5	满足
RMCT7000-L5 12		4				5	满足
RMCT7000-L1 200		4				5	满足
RMCT7000-L2 000		4				5	满足
RMX3000		4				5	满足
叠加计算					3.84	5	满足

注：1、屏蔽体外 5m 处辐射剂量率计算方法同屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率计算方法；
2、居留因子保守全部取 1/4。

表 11-48 调试区周围公众年有效剂量计算结果

工业 CT 型号	屏蔽体外 5m 处最大剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	年最大出束时间/h	使用因子	居留因子	\dot{H} 估算值 (mSv/年)	\dot{H}_c 控制值 (mSv/年)	评价结果
LVX1850-M						0.1	满足
RMCT4000H						0.1	满足
RMCT4000N						0.1	满足
RMCT7000-L5 12						0.1	满足
RMCT7000-L1 200						0.1	满足
RMCT7000-L2 000						0.1	满足
RMX3000						0.1	满足
叠加计算					0.03	0.1	满足

注：1、屏蔽体外 5m 处辐射剂量率计算方法同屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率计算方法；

2、居留因子保守全部取 1/4。

由表 11-47 至表 11-48 保守计算结果可知,本项目调试区周围单台工业 CT 所致公众周有效剂量最大为 $1.98\mu\text{Sv}$, 7 种型号工业 CT 所致叠加周有效剂量为 $3.84\mu\text{Sv}$; 单台工业 CT 所致年有效剂量为 $1.98\times 10^{-2}\text{mSv}$, 7 种型号工业 CT 所致叠加年有效剂量为 0.03mSv 。由表 11-44 可知,研发实验室周围公众周有效剂量最大为 $2.14\times 10^{-2}\mu\text{Sv}$, 年有效剂量最大为 $4.28\times 10^{-3}\text{mSv}$ 。上述结果均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中对公众有效剂量限值要求以及本项目剂量约束值(公众周有效剂量不超过 $5\mu\text{Sv}$, 年有效剂量不超过 0.1mSv)。

本项目生产调试车间一楼东部 1#调试区与研发实验室之间的通道处受到调试区与研发实验室的叠加剂量影响,叠加后此处公众周有效剂量最大不超过 $3.84\mu\text{Sv}$, 年有效剂量最大不超过为 0.031mSv , 也均能满足上述要求。

三、三废影响分析

1、臭氧和氮氧化物处理

工业 X 射线探伤装置在工作状态时,会使空气电离产生微量的臭氧(O_3)和氮氧化物(NO_x),工业 CT 铅房内拟设置机械式排风扇进行通风换气,研发实验室顶部设计安装 1 台换气扇,其通风量不低于 $1500\text{m}^3/\text{h}$ 。研发实验室内部净尺寸为 $13\text{m}\times 5.5\text{m}\times 4\text{m}$,则其每小时通风换气次数不低于 5.2 次,满足 GBZ 117-2022 中“每小时有效通风换气次数应不小于 3 次”的标准要求。

臭氧在空气中短时间可自动分解为氧气,这部分废气对周围环境影响较小。

2、废水

主要是工作人员产生的生活污水,将接入市政管网,对周围环境影响较小。

3、固体废物

工作人员产生的生活垃圾将进行分类收集,统一交由城市环卫部门处理,对周围环境影响较小。

事故影响分析

本项目使用的工业 CT 为 II 类射线装置,发生辐射事故时可使受照人员产生较严重放射损伤。本项目可能发生的辐射事故是在工业 CT 开机时门机联锁失灵,人员在工业 CT 工作时在防护门打开情况下逗留在工业 CT 附近或将肢体伸入工业 CT 铅房内,发生人员大剂量受照事故。

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业 CT 扩建项目拟设置门机联锁装置，只有在防护门完全关闭时 X 射线才能出束照射，运行期间强行打开防护门时 X 射线管将自动停止出束；工业 CT 上设置工作状态警示灯，开机时，设备上工作状态警示灯亮。同时设置“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及中文警示说明。

针对以上可能发生的事故风险，公司应制定辐射事故应急方案，依照《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》（原国家环保总局，环发[2006]145号）和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在事故发生后 1 小时内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康部门报告；并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康部门报告。

公司在日常工作中应加强管理，并在实际工作中不断对其相关操作规程和辐射安全管理制度等进行完善和落实；还应加强职工辐射防护知识培训，尽可能避免辐射事故发生。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

本项目拟新增的工业 CT 属 II 类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用 II 类射线装置的单位，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，并对辐射防护负责人进行辐射安全培训。

目前，俐玛精密测量技术（苏州）有限公司已成立了辐射安全与环境保护办公室，并以文件形式明确管理人员职责。公司应根据本次生产、销售、使用工业CT扩建项目修订相关文件，明确本项目相关的辐射管理人员及其职责，将本项目辐射安全管理纳入公司的辐射安全管理工作中。公司拟为本项目新配备12名辐射工作人员。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部，公告2019年第57号）：“自2020年1月1日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过生态环境部‘核技术利用辐射安全与防护培训平台’（网址：<http://fushe.mee.gov.cn>）报名并参加考核。2020年1月1日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效”。本项目拟配置的辐射工作人员须在生态环境部“核技术利用辐射安全与防护培训平台”报名参加“X射线探伤”类辐射安全与防护相关知识的学习，并参加考核，考核合格后方可上岗。

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》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射性同位素、射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。俐玛精密测量技术（苏州）有限公司已制定了《操作规程》《岗位职责》《辐射防护安全保卫制度》《设备检修维护制度》《使用台账制度》《辐射事故处理应急预案》《职业健康档案管理制度》《人员培训计划》《监测方案》等规章制度，满足现有的核技术利用项目辐射安全管理。公司应根据本次扩建项目实际情况，进一步完善相关管理制度，并落实到实际工作中，严格执行，加强辐射安全管理。

现对各项制度提出相应的建议和要求：

辐射防护和安全保卫制度：根据企业的具体情况完善制定辐射防护和保卫制度，

重点是工业 CT 作业的辐射安全管理。

操作规程：应明确辐射工作人员的资质条件要求、工业 CT 操作流程及操作过程中应采取的具体防护措施，重点是明确工业 CT 操作步骤以及无损检测过程中必须采取的辐射安全措施。

设备维修制度：应明确工业 CT 和辐射监测设备维修计划、维修的记录和在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保工业 CT、安全措施（急停按钮、闭门装置、警示标志、工作指示灯）、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

岗位职责：应明确管理人员、辐射工作人员、维修人员的岗位责任，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，并层层落实。

人员培训和健康管理：应明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。相关辐射工作人员应及时学习最新的国家政策法规及标准，熟练掌握放射性防护知识、最新的操作技术。根据 18 号令及《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，辐射工作人员均可通过生态环境部组织开发的国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护专业知识及相关法律法规并通过考核；如有辐射工作人员辐射安全和防护培训证书到期，应通过培训平台再学习并通过考核。本项目辐射工作人员应配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。

台账管理制度：根据本项目情况，完善射线装置台账制度，并在日常工作中落实到位，对公司使用的所有射线装置的型号、规格、数量等均需记录在台账上，做到有据可查。

监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。为了确保射线装置的辐射安全，该公司应制定监测方案，重点是：

①明确监测项目和频次；

②对发生辐射事故处理进行全程监测；

③公司应当按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向县（市、区）或者设区的市生态环境行政主管部门报告；

④委托有资质监测单位对本公司的射线装置的安全和防护状况进行年度检测，每

年1月31日前将年度评估报告上传至国家核技术利用申报系统，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

事故应急预案：针对工业CT作业过程中可能产生的辐射事故制定并完善辐射事故应急预案或应急措施，该预案或措施中要明确应急机构和职责分工、应急人员的组织、培训、事故报告制度、辐射防护措施及事故处理程序等。当发生辐射事故时，公司应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化，并在1小时内向当地环境保护部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射时，还应同时报告当地卫生主管部门。

公司应将本项目纳入公司的辐射管理中，并在以后的实际工作中不断对各管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。

辐射监测

根据辐射管理要求，俐玛精密测量技术（苏州）有限公司目前已配备1台辐射巡测仪，拟为本项目增配8台个人剂量报警仪，公司拟每年委托有资质的单位对工业CT周围辐射环境X- γ 辐射剂量率进行监测，并根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对本单位的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日前将上一年度的评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司拟为本项目增配个人剂量报警仪8台，用于辐射防护监测和报警，同时结合公司射线装置使用的实际情况，制定如下监测计划：

1) 委托有资质的单位定期对项目周围环境X- γ 辐射剂量率进行监测，周期：1~2次/年；

2) 辐射工作人员开展个人剂量监测（1次/季），建立个人剂量档案；

3) 定期使用辐射监测仪器对项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录；

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司已根据上述监测计划，明确监测项目，定期（不少于1次/季）使用辐射监测仪器对现有核技术利用项目周围辐射环境进行自检，并保留自检记录，每年委托有资质的单位定期对项目周围环境X- γ 辐射剂量率进行监测，监测结果上报生态环境行政主管部门。

公司已为现有辐射工作人员配备个人剂量计，组织辐射工作人员进行个人剂量监测（1次/季）和职业健康体检（1次/2年），并建立辐射工作人员个人剂量监测档案和职业健康档案。

公司每年编写射线装置安全和防护状况年度评估报告年度评估报告，包括射线装置台账、辐射安全和防护设施的运行与维护、辐射安全和防护制度及措施的建立和落实、事故和应急以及档案管理等方面的内容，每年1月31日前将年度评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。

辐射事故应急

按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定，建立辐射事故应急方案，辐射事故应急方案应明确以下几个方面：

- ①应急机构和职责分工；
- ②应急的具体人员和联系电话；
- ③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；
- ④辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施；
- ⑤辐射事故调查、报告和处理程序。

对于在公司定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《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》和《江苏省辐射污染防治条例》等要求，在1小时之内向所在地生态环境和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的还应当同时向卫生健康部门报告。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方案，采取必要防范措施，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地人民政府生态环境主管部门报告。

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司已经制定了《辐射事故处理应急预案》，该预案已包括成立辐射事故应急处理领导小组、应急预案领导小组的职责、放射性事故应急处理的责任划分、放射性事故应急处理程序和放射性事故的调查等内容。由辐射事故应急处理领导小组组织各相关部门，定期（1次/年）开展应急培训演练，在物资、通讯、技术、人员、经费等准备方面均加以落实。公司开展核技术利用项目至今，未发生过辐射事故。

表 13 结论与建议

结论

一、实践正当性

公司为满足市场需求及扩大再生产，拟将公司生产调试车间一楼东部（1#调试区）、二楼东部（2#调试区）和西部（3#调试区）、三楼东部（4#调试区）和西部（5#调试区）扩建为工业 CT 调试区，用于调试工业 CT 整机；并于一楼东北部新建一座研发实验室，使用工业 CT 测试系统进行新型工业 CT 研发试验。同时本次拟在扩建的工业 CT 调试区内新增 7 种型号工业 CT 的生产、调试、使用，并将原位于生产调试车间一楼东北部调试间进行生产、调试、使用的 7 种型号工业 CT 搬迁至扩建的工业 CT 调试区。该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）“实践的正当性”的原则。

二、产业政策相符性

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业 CT 扩建项目，为“生产、销售、使用 II 类射线装置的”项目，对照《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修改），不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家现行的产业政策。

三、选址合理性

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司位于江苏省苏州市吴中区甪直镇汇凯路以南，产业路以西。公司东侧为产业路，南侧为赛闻包装有限公司，西侧为康鸿智能生态园，北侧为汇凯路。生产、销售、使用工业 CT 扩建项目拟建址位于公司生产调试车间一楼东部、二楼东部和西部、三楼东部和西部。

生产调试车间无地下室，一楼中部为接待区、预留区等，西部为展厅、调试间、配电房等；二楼中部为就餐区、预留区等；三楼中部为办公区，三楼东部和西部楼上均为车间楼顶无建筑，三楼中部楼上为总经理办公室；生产调试车间四周均为厂区道路。

本项目拟建址周围 50m 范围东侧至产业路及路东侧河流，南侧至赛闻包装有限公司建筑（最近处 10m），西侧为康鸿智能生态园建筑（最近处 12m），北侧至汇凯路。本项目周围 50m 评价范围内无居民区、学校等环境敏感目标，项目选址可行。项目运行后的环境保护目标主要是本项目工业 CT 辐射工作人员、公司生产调试车间内其他工作人员、康鸿智能生态园建筑内工作人员、赛闻包装

有限公司建筑内工作人员及项目周围其他公众等。

对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74号）、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49号），本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省内优先保护单元。项目选址可行。

本项目划分了控制区及监督区，工业CT操作位位于铅房外，研发实验室控制室独立于射线装置机房外，区域划分明确，布局合理。

四、辐射环境现状评价

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业CT扩建项目拟建址周围环境天然 γ 辐射剂量率在78nGy/h~128nGy/h之间，与江苏省环境天然 γ 辐射剂量率水平相比较，均未见异常。

五、环境影响评价

根据理论估算结果，俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业CT扩建项目在做好个人防护措施和安全措施的情况下，项目对辐射工作人员及周围的公众产生的年有效剂量均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目剂量约束值要求（职业人员年有效剂量不超过5mSv，公众年有效剂量不超过0.1mSv）。

工业CT工作过程中会使工业CT铅房内的空气电离产生臭氧和氮氧化物，研发实验室内X射线设备出束时会使实验室内空气电离产生臭氧和氮氧化物。工业CT通过机械式排风扇进行通风换气，研发实验室顶部安装有排风扇进行通风换气，调试区可通过生产调试车间门窗进行通风换气。臭氧常温下可以自行分解为氧气，对环境影响较小。

六、辐射安全措施评价

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业CT扩建项目工业CT上及研发实验室控制室操作台上均拟设置钥匙开关；设置工业CT和研发实验室均拟门机联锁装置；工业CT上部及研发实验室防护门上方、研发实验室内均设计安装工作状态指示灯和声光报警，工作状态指示灯与X射线管进行联

锁；工业 CT 表面醒目位置、调试区边界、研发实验室门上均拟设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明；工业 CT 壳体（或操作台）上、研发实验室内部、研发实验室控制室操作台上均拟安装紧急停机按钮。

落实以上措施后，能够满足辐射安全的要求。

七、辐射安全管理评价

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司已按规定成立辐射安全管理机构，指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确其管理职责。公司拟将本项目纳入公司的辐射管理，并针对本项目具体情况对各管理制度进行修订完善。公司还应在以后的实际工作中持续对各管理制度进行补充和完善。

俐玛精密测量技术（苏州）有限公司需为本项目辐射工作人员配置个人剂量计，定期送有资质部门监测个人剂量，建立个人剂量档案；定期进行健康体检，建立个人职业健康监护档案。俐玛精密测量技术（苏州）有限公司已配备辐射巡测仪 1 台，并拟为本项目增配个人剂量报警仪 8 台。

综上所述，俐玛精密测量技术（苏州）有限公司生产、销售、使用工业 CT 扩建项目在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该公司将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和相应的辐射安全防护措施，其运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从环境保护角度论证，本项目的建设 and 运行是可行的。

建议与承诺

1、公司应定期或不定期针对工业 CT 管理、操作、安全措施落实情况进行检查，确保设施的完好和有效。

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

3、定期进行辐射工作场所的检查及监测，及时排除事故隐患。

4、公司取得本项目环评批复后，应及时申请换领辐射安全许可证，按照法规要求开展竣工环境保护验收工作，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，需要对环境保护设施进行调试或者整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资 (万元)
辐射安全管理机构	建立辐射安全与环境保护管理机构，或配备不少于1名大学本科以上学历人员从事辐射防护和环境保护管理工作。公司已设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	/
辐射安全和防护措施	本项目工业CT自带铅房，铅房四面、防护门及顶部和底部均采用铅板+铁板进行屏蔽。	满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)中对职业人员和公众受照剂量限值要求以及本项目的目标管理值要求。	50
	工业CT上及研发实验室控制室操作台上均拟设置钥匙开关；设置工业CT和研发实验室均拟门机联锁装置；工业CT上部及研发实验室防护门上方、研发实验室内部均设计安装工作状态指示灯和声光报警，工作状态指示灯与X射线管进行联锁；工业CT表面醒目位置、调试区边界、研发实验室门上均拟设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明；工业CT壳体（或操作台）上、研发实验室内部、研发实验室控制室操作台上均拟安装紧急停机按钮。	满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)的相关要求。	
人员配备	拟配置12名辐射工作人员。	满足《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》要求。	5
	辐射安全管理人员和辐射工作人员参加辐射安全与防护培训，考核合格后上岗。		
	辐射工作人员在上岗前佩戴个人剂量计，并定期送检（两次监测的时间间隔不应超过3个月），加强个人剂量监测，建立个人剂量档案。		
	辐射工作人员定期进行职业健康体检（不少于1次/2年），并建立辐射工作人员职业健康档案。		
监测仪器和防护用品	已配备辐射巡测仪1台。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》有关要求。	/
	拟为本项目增配个人剂量报警仪8台。		5
辐射安全管理制度	操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、辐射事故应急措施等制度；根据	满足《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	/

	环评要求，按照项目的实际情况，补充相关内容，建立完善、内容全面、具有可操作性的辐射安全规章制度。	《装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关要求。	
总计	/	/	60

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见

经办人签字:

公章
年 月 日

审批意见:

经办人签字:

公章
年 月 日