

核技术利用建设项目
南京航空航天大学新增
一台工业 CT 项目
环境影响报告表

南京航空航天大学
2026 年 6 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

南京航空航天大学新增
一台工业 CT 项目
环境影响报告表

建设单位名称：南京航空航天大学

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：江苏省南京市江宁区将军大道 29 号

邮政编码：211106

联系人

电子邮箱

联系电话：

表 1 项目基本情况

建设项目名称		南京航空航天大学新增一台工业 CT 项目			
建设单位		南京航空航天大学 (统一社会信用代码: 12100000466006826U)			
法人代表	姜斌	联系人		联系电话	
注册地址		江苏省南京市秦淮区御道街 29 号			
项目建设地点		江苏省南京市六合区郁庄路 1 号六合高新科技城 B1 幢一层			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	2000	项目环保投资 (万元)	16	投资比例 (环保投资/总投资)	0.8%
项目性质		☐ 新建 ☐ 改建 ☒ 扩建 ☐ 其他			占地面积 (m ²) 137.89
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☐ 使用	☐ I类(医疗使用) ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☐ III类		
	其他	/			

项目概述:

一、建设单位情况、项目建设规模、目的和任务的由来

1、建设单位情况

南京航空航天大学(以下简称“学校”)创建于 1952 年 10 月,是新中国自己创办的第一批航空高等院校之一。1978 年被国务院确定为全国重点大学;1981 年经国务院批准成为全国首批具有博士学位授予权的高校;1996 年进入国家“211 工程”建设;2000 年经教育部批准设立研究生院;2011 年,成为“985 工程优势学科创新平台”重点建设高校;2017 年,进入国家“双一流”建设序列,现有航空宇航科学与技

术、力学、控制科学与工程三个学科入选第二轮“一流学科”建设名单。学校现隶属于工业和信息化部。2012 年 12 月、2021 年 4 月，工业和信息化部、中国民航局先后签署协议共建南京航空航天大学。2018 年、2023 年，工信部、教育部、江苏省先后两次签署协议，三方共建南京航空航天大学。学校现启用明故宫、将军路、天目湖三个校区，占地面积 3046 亩，建筑面积 191.81 万平方米。

2021 年 6 月南京航空航天大学与南京市人民政府、南京市六合区人民政府签约在江苏省南京市六合区郁庄路 1 号共建南京航空航天大学国际创新港。创新港以航空航天、先进制造、能源动力、复合材料技术与装备等为主要研究方向。

2、项目建设规模

为支撑先进复合材料结构无损检测、微观缺陷表征、材料性能研究等科研工作，学校拟在南航国际创新港（六合高新科技城）B1 幢一层复合材料扫描室新增使用 1 台工业用 X 射线计算机断层扫描装置（工业 CT），该台工业 CT 自带铅房，型号为 diondo d5 型，由德国 diondoGmbH 生产。

该台工业 CT 铅房内配置了两套射线装置，只能分别单独操作开启射线，通过互锁装置保证不可以同时开启。

本项目拟建 1 台工业 CT 属于《关于发布〈射线装置分类〉的公告》（2017 年修订版）中的Ⅱ类射线装置，项目基本情况见表 1-1。

表 1-1 本项目情况一览表

射线装置名称及型号	数量（台）	最大管电压	最大管电流	最大功率	类别	工作场所名称	使用情况	环评审批情况
工业 CT（diondo d5）	1	1#X 射线管 450kV；2#X 射线管 300kV	1#X 射线管 2mA；2#X 射线管 1mA	1#X 射线管 450W；2#X 射线管 80W	Ⅱ类	六合高新科技城 B1 幢一层复合材料扫描室	使用	本次环评
说明：该台工业 CT 内部安装有 2 支 X 射线管，1#X 射线管：MXC-450MF，2#X 射线管：XWT-300- THEPlus								

根据建设单位提供的资料，学校拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，1 人负责装置操作，1 人负责无损检测工件操作，拟配备管理人员 1 人，均为学校现有非辐射工作人员经参加生态环境部辐射安全培训通过考核后调入，本项目不涉及学生操作，辐射工作人员每年最多工作 250 天（50 周，每周 5 天），长白班，一班制，从事本项目辐射工作后不再从事其他辐射相关工作。本项目工业 CT 两个射线管（1#和 2#）每天出束照射时间不超过 2h（含开机预热时间 0.5h），每周出束照射时间不超

过 10h（含每次开机预热时间），每年出束照射时间不超过 500h（含开机预热时间）。

3、目的和任务的由来

学校在使用本项目工业 CT 时，可能对周围人员和环境造成一定影响，为保护环境和公众，减少或避免辐射污染，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》《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，学校委托南京泰坤环境检测有限公司对南京航空航天大学新增一台工业 CT 项目进行环境影响评价工作。

本项目属于《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》“172 核技术利用建设项目”中的“使用 II 类射线装置”项目，应编制环境影响报告表。南京泰坤环境检测有限公司通过现场踏勘和监测、资料调研及项目工程分析等工作，编制了该项目的环境影响评价报告表。

二、项目场址选址及周边保护目标

1、项目场址选址

本项目位于南京市六合区六合高新科技城 B1 幢，六合高新科技城东临冶六路、南邻马玉线（郁庄路）、西侧与规划支九路相邻、北侧为康强路。

本项目工业 CT 拟放置于六合高新科技城 B1 幢一层扫描室内。B1 幢东侧为 B3 幢、B4 幢及园区道路，南侧、西侧均为园区道路，北侧为园区道路及 B2 幢，本项目地理位置见附图 1，周围环境示意图见附图 2.1、附图 2.2。

本项目工业 CT 铅房布置于拟建扫描室内靠东部区域，现场布局正面向西，工件防护门在铅房正面，铅房南面为主射线照射面，操作台位于铅房西北侧，铅房东侧紧邻扫描室内公辅设施区和配电区；南侧紧邻扫描室内空地，西侧紧邻扫描室内工件准备区及扫描室内通道（辐射工作人员通行和被扫描工件在扫描室运输路线）。

扫描室外部周边环境：东侧为园区道路、B3 幢；东侧偏南为 B4 幢，B4 幢与 B1 幢南侧呈 L 形相邻布局；南侧为 B1 幢一层展厅，向外为园区道路；西南侧为 B1 幢一层贵宾接待室、值班室、电梯间、门厅等人员活动用房，向外为园区道路；西侧为 B1 幢一层实验区、新材料展台，向外为园区道路；西北侧及北侧为 B1 幢一层材料实验区、卫生间、电梯间、候梯厅、设备间、楼梯间，向外为园区道路，道路

北侧为 B2 幢。竖向环境方面，扫描室上方为 B1 幢 2~4 层，铅房正上方为 2 层 4m 大尺寸打印机工作区；建筑下方为天然土层，无地下室。

本项目 B1 幢一层平面布置图见附图 3，本项目 B1 幢二层平面布置图见附图 4。

对照《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）、《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）、《江苏省自然资源厅关于南京市六合区 2023 年度生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2023〕1175 号），本项目评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线和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），本项目评价范围内为南京新材料产业园重点管控单元，不涉及江苏省内优先保护单元。本项目评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》第三条（一）中的“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，本项目生态环境分区管控查询结果图附图 5。

2、项目周边保护目标

本项目周围各方向 50m 范围内为六合高新科技城园区内 B1、B2、B3、B4 幢及园区内道路，无学校、宿舍、居民区等环境敏感目标（详见附图 2.1 和附图 2.2）；本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线与生态空间管控区域及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区。运行后环境保护目标主要是从事本项目辐射工作人员、B1、B2、B3、B4 幢其他工作人员及周围公众等。运行后环境保护目标见附图 3。

三、实践正当性分析

本项目在运行期间会产生电离辐射，可能会提高建设地点周围的辐射水平，在采取适当的屏蔽措施和管理措施后辐射水平可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足相关标准要求。本项目在投用后能得到复合材料研发和生产期间的精确的三维工业 CT 成像，便于进行内部微观结构和缺陷进行分析研究，从而能更好地控制产品质量，在做好辐射防护的基础上，其所带来的效益远大于可能对环境造成的影响，因此，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”原则。

四、原有核技术利用项目许可及环保手续履行情况

学校已取得生态环境部颁发的辐射安全许可证，证书编号:国环辐证[00082]，种类和范围：使用Ⅰ类、Ⅳ类、Ⅴ类放射源；使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置。有效期至2027年12月31日，学校辐射安全许可证正副本见附件3。

学校目前在用放射源合计2个使用场所，1个源库，使用Ⅰ类Co-60放射源共计65枚（合计活度按照1枚Ⅰ类放射源计）；使用Ⅳ类Am-241/Be放射源1枚，用于科研应用，使用Ⅴ类放射源合计41枚（Co-57、Co-60、Cs-137、Ni-63、Pm-147、Pu-238等），用于科研应用，以上使用Ⅰ类、Ⅳ类、Ⅴ类放射源均已履行环保手续。

学校目前在用射线装置合计19台，包含使用Ⅱ类射线装置5台，使用Ⅲ类射线装置14台。Ⅱ类射线装置均取得环评批复并完成辐射安全许可，其中使用1台断层扫描微观分析系统（型号：Xradia610Versa，管电压160kV，管电流0.16mA）正在进行竣工环境保护验收工作，其余Ⅱ类射线装置均已完成竣工环境保护验收工作。Ⅲ类射线装置均已完成备案和辐射安全许可。

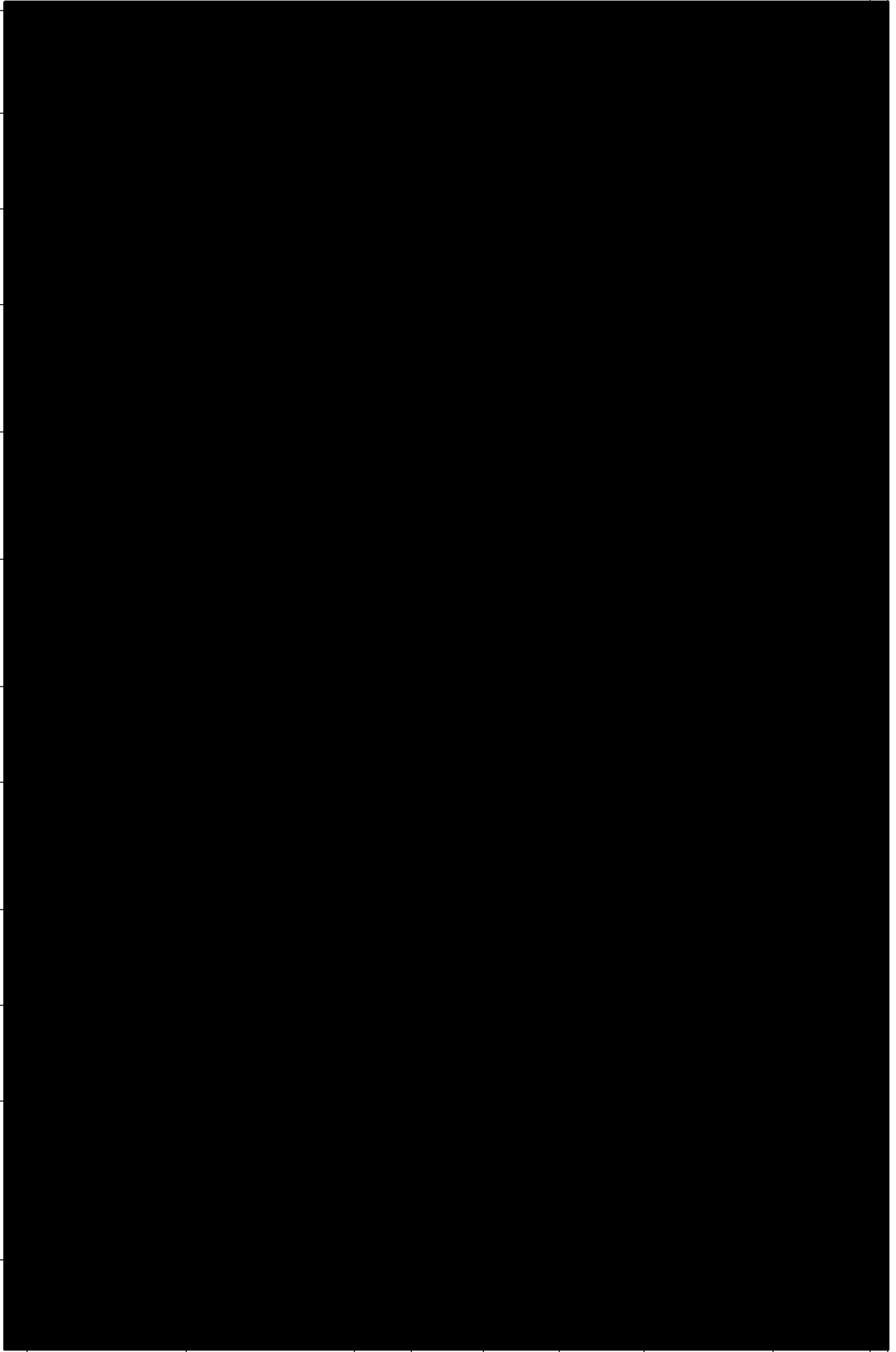
表 1-2 学校现有核技术利用项目许可及环保手续履行情况

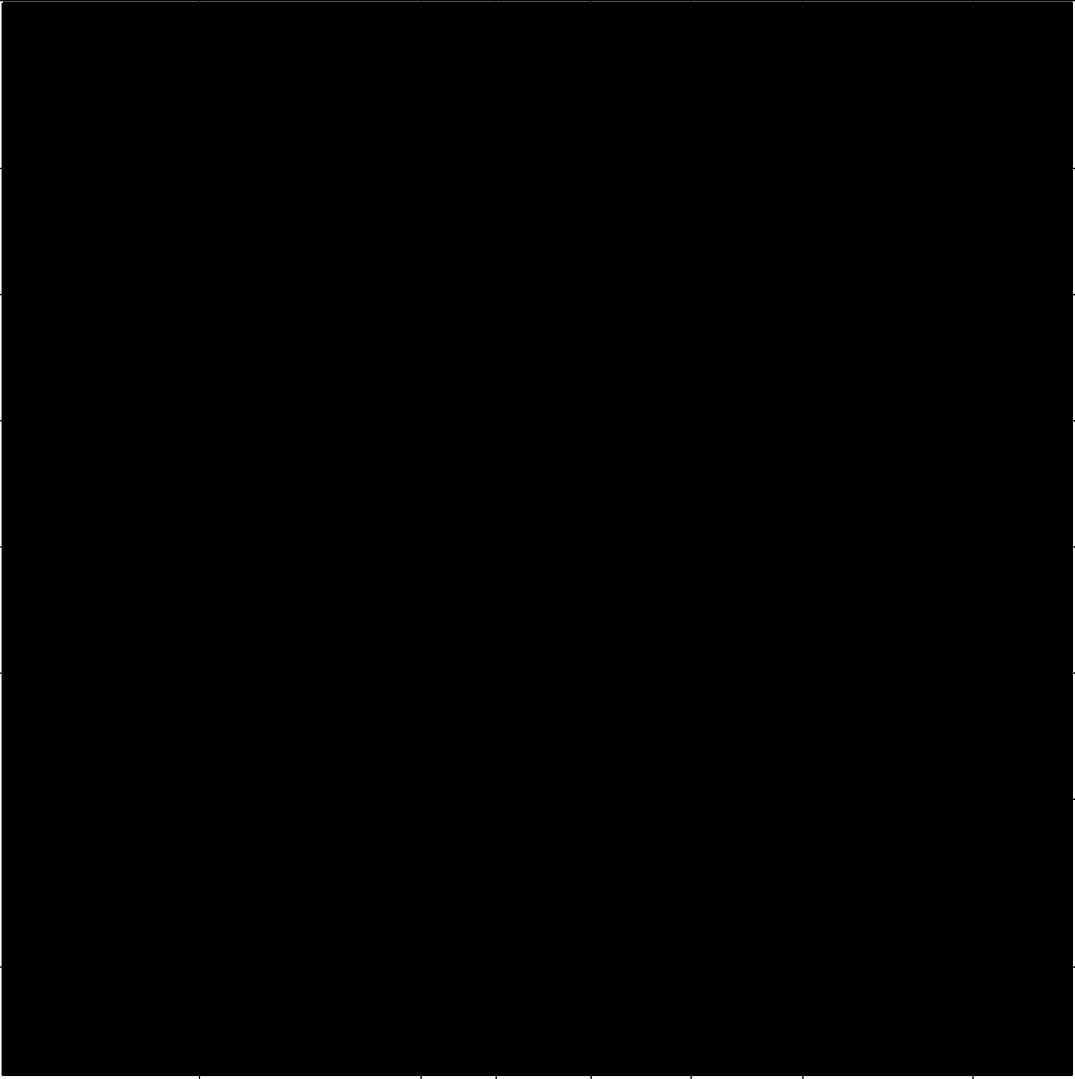
序号	
1	
2	
3	
4	

[illegible]

[illegible]

射线装置



						显微镜	0.0000159m A	
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								

本项目工业 CT 销售单
 证，见附件 4，证书编号
 置。

取得辐射安全许可
 围：销售、使用Ⅱ类射线装

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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

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

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	最大功率	用途	工作场所	备注
1	工业 CT	II类	1	diondo d5	1#X 射线管 450kV；2#X 射线管 300kV	1#X 射线管 2mA；2#X 射线管 1mA	1#X 射线管 450W； 2#X 射线管 80W	复合材 料无损 检测	江苏省南京市六合 区郁庄路 1 号六合 高新科技城 B1 幢 一层	该台工业 CT 内部安装有 2 支 X 射线管，1#X 射线管： MXC-450MF；2#X 射线管： XWT-300- THEPlus 不同时出束
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(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 (μ A)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧和氮氧化物	气态	/	/	微量	微量	/	不暂存	经铅房配套的通风装置排出铅房，臭氧在常温下约 50min 可自行分解为氧气，对环境的影响较小。
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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

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

表 6 评价依据

法 规 文 件	1. 《中华人民共和国环境保护法》（修订版），中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日起实施； 2. 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年修正版），中华人民共和国主席令第 24 号，2018 年 12 月 29 日发布施行； 3. 《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日起实施； 4. 《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 日起施行；根据 2019 年 3 月 2 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》（国务院令第 709 号）修订； 5. 《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 日发布施行； 6. 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（原国家环境保护总局令第 31 号，现行编号：生态环境部令第 31 号），2021 年 1 月 4 日经《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》（生态环境部令第 20 号）第四次修正； 7. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行； 8. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日起施行； 9. 《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正本），江苏省第十三届人民代表大会常务委员会第二次会议第 2 号公告，2018 年 5 月 1 日起实施； 10. 《关于发布〈射线装置分类〉的公告》，原环境保护部、原国家卫生和计划生育委员会，公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日起施行； 11. 《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》，国家环保总局，环发〔2006〕145 号，2006 年 9 月 26 日起施行； 12. 《关于进一步做好建设项目环境影响评价报告书（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； 13. 《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，2020 年 1 月 1 日起施行；
------------------	--

	14. 《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部令第9号，2019年11月1日起施行； 15. 《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； 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； 17. 《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； 18. 《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； 19. 《江苏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》，苏政发〔2020〕49号，2020年6月21日； 20. 《江苏省自然资源厅关于南京市六合区2023年度生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2023〕1175号）； 21. 《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布； 22. 《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，2016年3月7日起施行。
技 术 标 准	1. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 2. 《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）； 3. 《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）； 4. 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； 5. 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； 6. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； 7. 《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）； 8. 《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及第1号修改单。

其他	《辐射防护导论》，方杰主编； 设计资料； 附图 附图 1 本项目地理位置示意图 附图 2.1 本项目周围环境图 附图 2.2 本项目周围环境图 附图 3 本项目 B1 幢一层平面布置图 附图 4 本项目 B1 幢二层平面布置图 附图 5 本项目生态环境分区管控查询结果图 附件 附件 1 本项目环评委托书 附件 2 学校现有的制度文件 附件 3 学校辐射安全许可证 附件 4 销售单位辐射安全许可证 附件 5 本底检测报告、资质认定证书、检测所用仪器检定证书 附件 6 工业 CT 参数和建设说明
----	--

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）“放射源和射线装置应用项目的评价范围，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围”的要求，结合本项目的特点，本项目确定以铅房边界周围 50m 范围内的区域作为评价范围，详见附图 2.1、附图 2.2 和附图 3）。

保护目标

本项目周围各方向 50m 范围内为六合高新科技城园区内 B1、B2、B3、B4 幢及园区内道路，无学校、宿舍、居民区等环境敏感目标（见附图 2.1 和附图 2.2）；本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线与生态空间管控区域及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区。运行后环境保护目标主要是从事本项目辐射工作人员、B1、B2、B3、B4 幢其他工作人员及周围公众等。运行后环境保护目标见附图 3。

本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

保护目标名称		场所名称	方位	最近距离	规模	年剂量约束值 (mSv/a)
辐射工作人员		公辅设施区	东	紧邻	2 人	5
		工业 CT 控制台、材料搬运通道、	西	紧邻		
		设备维护区	北	紧邻		
公众	评价范围内公众（园区内其他工作人员、园区道路上行人等公众）	园区内道路	东	1.5m	流动人员	0.1
		B3 幢楼	东	30m	约 120 人	
		B4 幢楼	东南	1.5m	约 120 人	
		B1 幢一层展厅	南	1.5m	约 12 人	
		园区内道路	南	33m	流动人员	
		B1 幢一层贵宾接待室、值班室、电梯间、门厅等	西南	1.5m	约 25 人	
		B1 幢一层材料实验区、新材料展台	西	4m	约 25 人	
		园区室外道路	西	32m	流动人员	
		B1 幢一层卫生间、电梯间、候梯	西北	22m	约 25 人	

		厅、设备间、楼梯间				
		B1 幢一层材料实验区	北	1.5m	约 8 人	
		园区内道路	北	18m	流动人员	
		B2 幢楼	北	28m	约 120 人	
		铅房正上方 B1 幢 2 层“4m 大尺寸打印机”工作区，B1 幢铅房上方 2 层、3 层、4 层	上方	5m	约 65 人	

评价标准

1、《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）：

（1）辐射工作人员和公众剂量限值

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

对象	剂量限值
职业照射 剂量限值	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： 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可做任何追溯平均），20mSv； 任何一年中的有效剂量，50mSv； 眼晶体的年当量剂量，150mSv； 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。 对于年龄为 16 岁~18 岁接受涉及辐射照射就业培训的徒工和年龄为 16 岁~18 岁在学习过程中需要使用放射源的学生，应控制其职业照射使之不超过下述限值：年有效剂量，6mSv；
公众照射 剂量限值	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： 年有效剂量，1mSv； 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。
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。	

2、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）：

6.1 探伤室放射防护要求

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 μ Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5 μ Sv/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 μ Sv/h。

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。

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。

3、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）

3.2 需要屏蔽的辐射

3.2.1 相应有用线束的整个墙面均考虑有用线束屏蔽，不须考虑进入有用线束区的散射辐射。

3.2.2 散射辐射考虑以 0° 入射探伤工件的 90° 散射辐射。

3.2.3 当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，通常分别估算泄漏辐射和各项散射辐射，当他们的屏蔽厚度相差一个半值层厚度（*TVL*）或更大时，采用其中较厚的屏蔽，当相差不足一个 *TVL* 时，则在较厚的屏蔽上增加一个半值层厚度（*HVL*）。

4、本项目管理目标

综合考虑《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）及辐射防护最优化原则确定本项目的管理目标为：

（1）剂量约束值

本项目将剂量约束值：职业人员年剂量约束值不大于 5mSv，公众年剂量约束值不大于 0.1mSv。

（2）铅房屏蔽体、门的辐射屏蔽同时满足：

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

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

（3）铅房顶部的辐射屏蔽满足：

本项目铅房上方规划为其他公司工作区，铅房顶部外表面 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平取不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

5、参考资料：

《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。

表 7-3 江苏省环境天然 γ 辐射水平（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

注：1.测量值已扣除宇宙射线响应值；

2. 现状评价时,取测值范围为其评价参考范围，即原野天然 γ 辐射水平参考范围取（33.1-72.6）nGy/h，道路天然 γ 辐射水平参考范围取（18.1-102.3）nGy/h，室内天然 γ 辐射水平参考范围取（50.7-129.4）nGy/h。

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和场所位置

本项目位于南京市六合区六合高新科技城 B1 幢，六合高新科技城东临冶六路、南邻马玉线（郁庄路）、西侧与规划支九路相邻、北侧为康强路。

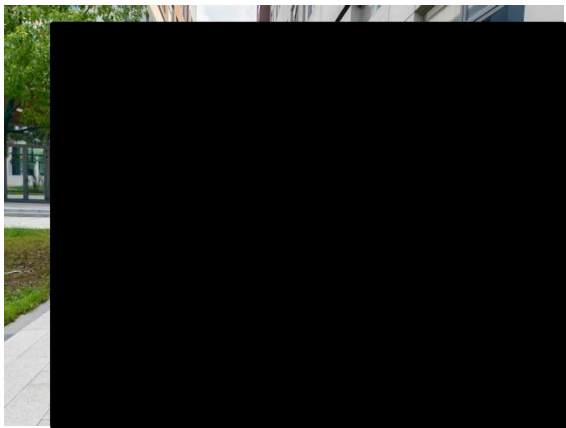
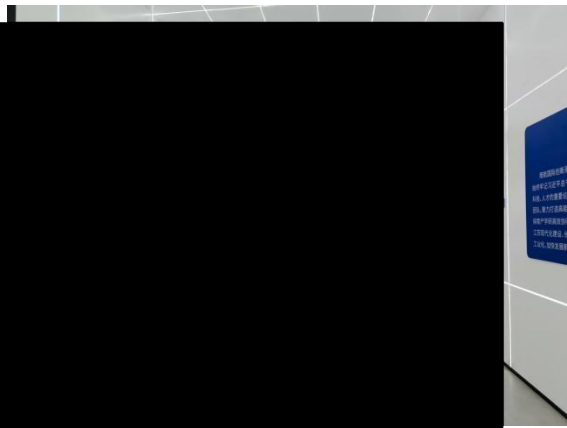
本项目工业 CT 拟放置于六合高新科技城 B1 幢一层扫描室内。B1 幢东侧为 B3 幢、B4 幢及园区道路，南侧、西侧均为园区道路，北侧为园区道路及 B2 幢，本项目地理位置见附图 1，周围环境示意图见附图 2.1、附图 2.2。

本项目工业 CT 铅房布置于拟建扫描室内靠东部区域，扫描室东侧为园区道路、B3 幢；东侧偏南为 B4 幢，B4 幢与 B1 幢南侧呈 L 形相邻布局；南侧为 B1 幢一层展厅，向外为园区道路；西南侧为 B1 幢一层贵宾接待室、值班室、电梯间、门厅等人员活动用房，向外为园区道路；西侧为 B1 幢一层实验区、新材料展台，向外为园区道路；西北侧及北侧为 B1 幢一层材料实验区、卫生间、电梯间、候梯厅、设备间、楼梯间，向外为园区道路，道路北侧为 B2 幢。竖向环境方面，扫描室上方为 B1 幢 2~4 层，正上方为 B1 幢 2 层“4m 大尺寸打印机工作区”；建筑下方为天然土层，无地下室。

本项目 B1 幢一层平面布置图见附图 3，本项目 B1 幢二层平面布置图见附图 4。

本项目周围各方向 50m 范围内为六合高新科技城园区内 B1、B2、B3、B4 幢及园区内道路，无学校、宿舍、居民区等环境敏感目标（详见附图 2.1 和附图 2.2）；本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线与生态空间管控区域及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地等环境敏感区。运行后环境保护目标主要是从事本项目辐射工作人员、B1、B2、B3、B4 幢其他工作人员及周围公众等。运行后环境保护目标见附图 3。

本项目拟建址周边环境现状见图 8-1~图 8-6。

	
	
	
图 8-5 拟建址铅房位置（空地）	图 8-6 拟建址上方 2 层（拟建 4m 大尺寸打印工作区）

二、环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价的对象：本项目拟建址周围辐射环境

监测因子： γ 辐射空气吸收剂量率

监测点位：在本项目拟建址周围进行布点。	
三、监测方案、质量保证措施及监测结果	
1、监测方案	
监测单位：南京泰坤环境检测有限公司	
监测时间：2025 年 8 月 4 日	
检测仪器：见表 8-1	
表 8-1 监测设备相关数据	
监测仪器	X-γ辐射监测仪
型号	FH40G-L10+FHZ672E-10 型
设备编号	NJTK/YQ041
能量响应范围	40keV~4.4MeV
测量范围	1nSv/h~100μSv/h
校准有效期	2024.8.28~2025.8.27
校准证书编号	Y2024-0089043
检定单位	江苏省计量科学研究院
监测布点：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）有关布点原则进行布点。	
监测方法：根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）相关方法和要求，在环境现场调查时，于本项目拟建址周围进行γ辐射空气吸收剂量率的测量，监测结果见表 8-2，监测点位示意图见图 8-7。	
数据记录及处理：每个点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值。根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）5.5 中公式（1）对数据进行处理。其中，测量仪器校准参考源为 ^{137}Cs ，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20Sv/Gy，各监测点所在建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子按楼房 0.8、道路 1 进行取值。	
2、质量保证措施	
本项目监测按照《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）的要求，实施全过程质量控制。监测单位（南京泰坤环境检测有限公司）具有相应检测资质（见附件 5），监测人员均经过培训和能力确认，所有监测仪器均经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器使用前经过核查，监测报告实行三级审核。	

3、监测结果

环境条件：天气：晴，温度：（32.2~33.1）℃，相对湿度：（51.5~52.7）%

本项目环境现状监测结果见表 8-2，监测报告见附件 5。

表 8-2 本项目拟建址及周围 γ 辐射空气吸收剂量率

编号	检测点位	检测结果（nGy/h）	
		测量值	标准差
1	工业 CT 拟建址中部（室内，楼房）		
2	工业 CT 拟建址东侧室外过道（室外，道路）		
3	工业 CT 拟建址南侧展厅（室内，楼房）		
4	工业 CT 拟建址西侧空地（室内，楼房）		
5	工业 CT 拟建址北侧过道（室内，楼房）		
6	工业 CT 拟建址上方空置房间（室内，楼房）		

注：1、测量结果已依据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 777-2015）中修正系数法进行修正，修正后的剂量率响应值（7.56nGy/h）；

2、检测点位见图 8-7。

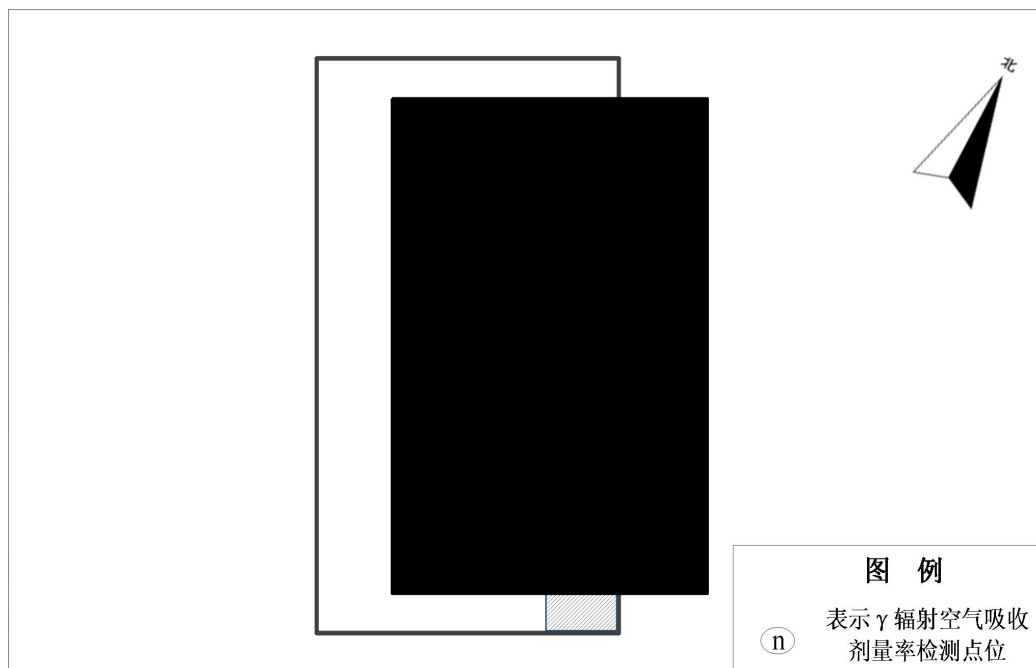


图 8-7 本项目拟建址及周围 γ 辐射空气吸收剂量率监测点位示意图

4、环境现状调查结果评价

评价方法：参照江苏省 γ 辐射空气吸收剂量率水平调查结果，评价项目周围的辐射环境质量。

由表 8-2 监测结果可知，本项目拟建址周围“室内”点位 γ 辐射空气吸收剂量率为（53.2~58.9）nGy/h，“道路”点位 γ 辐射空气吸收剂量率为 71.3nGy/h，测量结果均已扣除宇宙射线响应值，本项目周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率均位于江苏省室内、道路天然 γ 辐射水平参考范围内，属江苏省天然 γ 辐射剂量正常水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、设备组成及工作方式

1、设备组成

南京航空航天大学新增一台工业 CT 型号为 diondo d5 型，该装置由 X 射线管、探测器、数据处理、机械手、控制单元、图像处理单元、钢+铅屏蔽外壳（铅房）等部分组成。X 射线管及辐射安全防护装置集成在铅房内，外部模块为 PC 控制端、电气及制冷公辅设备。X 射线发生器的核心部件是 X 射线管。X 射线管由阳极、阴极、灯丝、钨靶、铜体、发射罩等组成。

该工业 CT 装置自带屏蔽铅房，铅房与工业 CT 装置一体设计，铅房外形尺寸：5058mm（长）×3003mm（宽）×3056mm（高）；铅房内部尺寸：4621mm（长）×2323mm（宽）×2855mm（高）。铅房正面朝西，正面中间位置（西侧立面）设有 1 个工件防护门，该工件防护门性质为电动推拉门防护门，可以左右平移，该门使用功能包含扫描前人工送入工件、扫描结束后人工取出工件以及铅房及内部设施设备运维时工作人员进出，铅房内顶部设有导轨，开口位于铅房正面（西立面），用于工件进出，门尺寸为 1200mm（宽）×2000mm（高），铅房直接建设在地面上，建成后铅房底部与现状地面之间无空隙。工业 CT 配套有操作台及显示器，单独设置在工业 CT 铅房西北侧。

工业 CT 装置内部安装有 2 个小焦点封闭式射线管，1#X 射线管最大管电压 450kV，最大管电流 2mA；2#X 射线管最大管电压 300kV，最大管电流 1mA（见附件 6）。1#和 2#射线管，通过互锁装置保证不同时出束。

2 台 X 射线管均位于铅房内靠北侧，主束照射方向均固定向南（铅房右侧）；1#X 射线管和 2#X 射线管射线辐射角均为 40° （x 轴）× 40° （y 轴）；2 台 X 射线管均只能上下垂直移动，移动时 1#射线管中心距上、下屏蔽体内表面最小距离分别为 0.811m 和 1.04m，2#射线管中心距上、下屏蔽体内表面最小距离分别为 0.795m 和 1.06m；2 个射线管出束期间只能保持上下垂直移动，因此 2 个射线管中心距东、西、南、北侧屏蔽体内表面距离均固定不变，1#X 射线管分别为 1.072m、1.251m、3.708m、0.913m，2#X 射线管分别为 1.183m、1.14m、3.251m、1.37m。射线管可根据

扫描需要上下移动，载物台可在射线管与探测器之间沿东西方向、南北方向水平移动，检测过程中载物台可以托着工件在水平方向上做 360° 旋转，以此可以确保满足对工件进行全方位立体扫描的需要。工业 CT 装置配套有操作台及显示器，单独设置在工业 CT 铅房外西北侧。见附件 6。

本项目设备技术参数一览表见表 9-1。本项目工业 CT 外观图见图 9-1，工业 CT 内部结构示意图 9-2。

表 9-1 本项目 diondo d5 型工业 CT 主要技术参数表

主要技术指标		技术参数		
型号		diondo d5 型工业 CT		
生产厂家				
本项目工业 CT 铅房尺寸				
1#射线管	射线管类型			
	最大管电压（kV）			
	最大管电流（mA）			
	最大功率（W）			
	辐射角度范围			
	滤过材料			
	主射线方向			
2#射线管	射线管类型			
	最大管电压（kV）			
	最大管电流（mA）			
	最大功率（W）			
	辐射角度范围			
	滤过材料			
	主射线方向			
注：相关参数来源详见附件 6。				

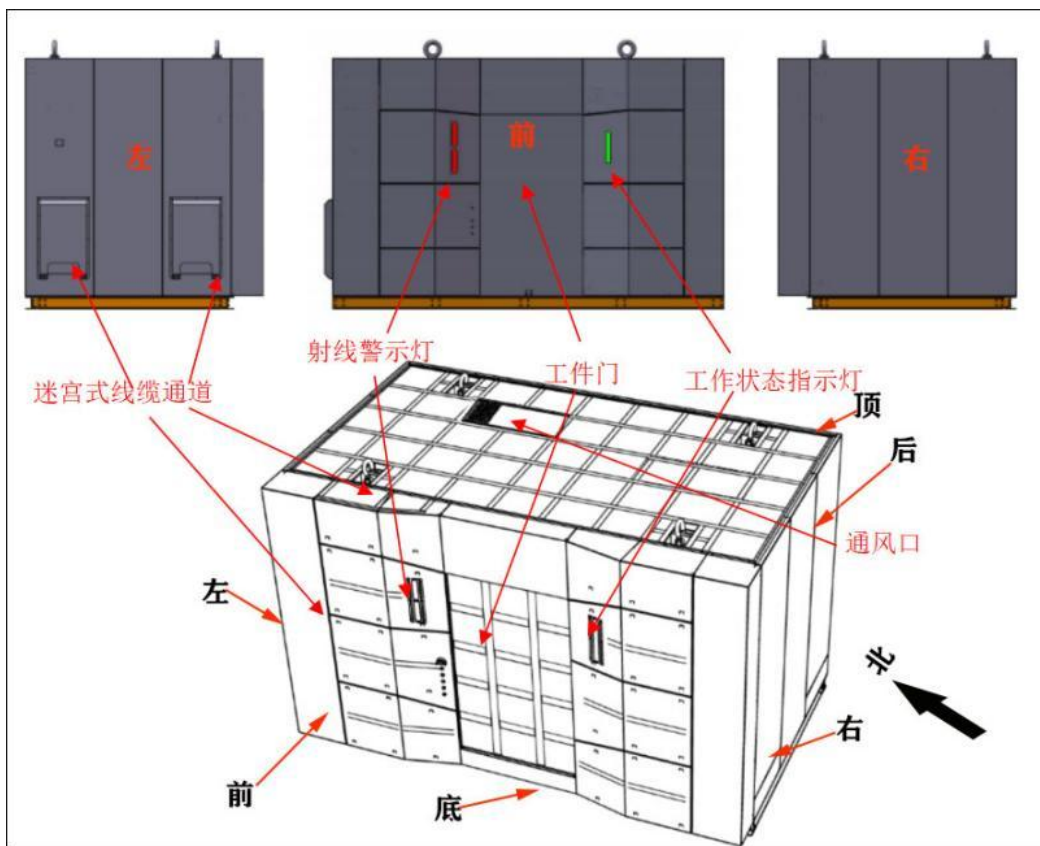


图 9-1 本项目工业 CT（diondo d5 工业 CT）外部结构示意图

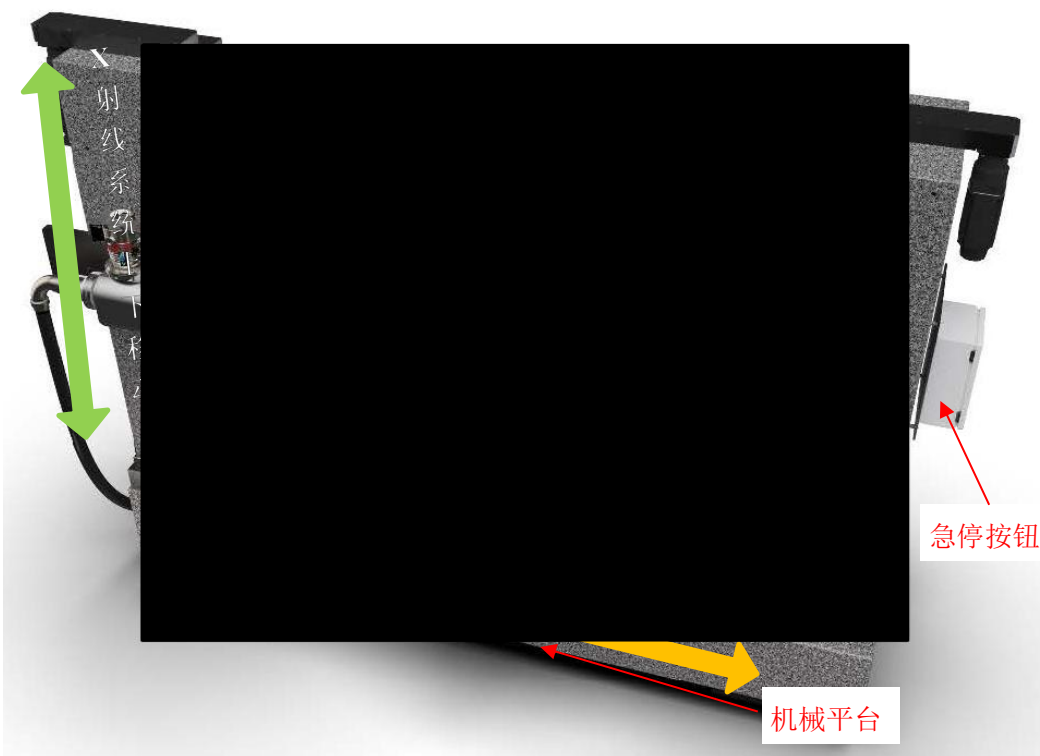


图 9-2 本项目工业 CT 内部结构示意图

2、工作方式

本项目工业 CT 主要用于复合材料无损检测，用于航空航天等领域、待检材料种类和大小不一，以高分子聚合物、树脂材料为主，部分金属复合材料含少量的金属和塑料，主要对复合材料焊缝内部微观结构和缺陷进行分析研究。本项目工业 CT 对待检工件的规格限制为最大直径 1000mm、最大高度 1000mm、最大重量 200kg。将根据待检工件的材质及厚度不同，选用不同的 X 射线管(450kV 或 300kV)进行出束，单次检测时两个射线管不会同时出束。当需要对复合材料扫描时，工作人员从铅房西侧工件防护门将工件放入载物台，关闭工件防护门后在铅房西北侧操作台（操作位）打开射线出束开关预热，射线管开始出束，预热结束后通过扫描后形成的实时成像装置观察判断工件有无缺陷以及缺陷的种类，以此评定被测工件的质量，无损检测完成后，在铅房操作台关闭射线出束开关，打开工件防护门，取出被 X 射线照射后的工件。

二、工作原理及工作流程

1、工作原理

工业 CT 核心部件为 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。

在 X 射线无损检测过程中，由 X 射线管发出 X 射线，X 射线穿透被测物体，根据被测物体的不同密度及不同厚度对 X 射线的吸收和反射特性不同，成像器将穿透被测物体的 X 射线信息转换成灰度信息并传输给计算机，计算机通过图像处理软件对原始图像进行图像降噪、锐化等处理，将被检测物体内部结构状况清晰地显示出来，并根据需要进行数据的本地存储、打印。

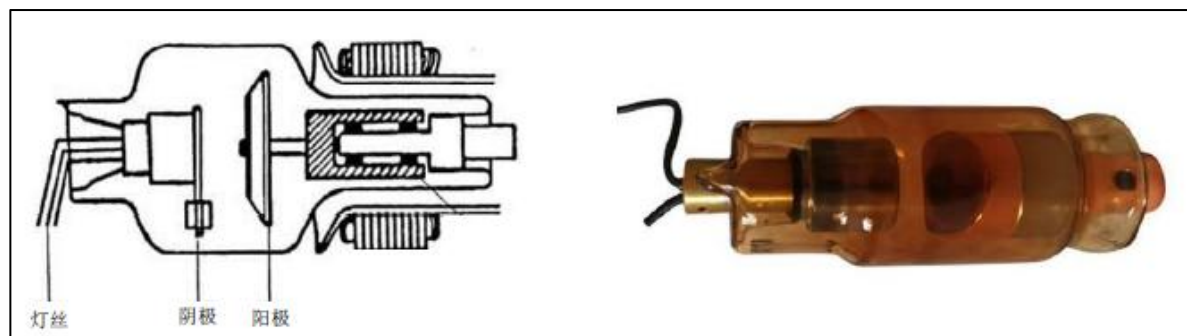


图 9-3 X 射线管示意图

2、运行工况和工作负荷

1) 学校拟为本项目拟配备 3 名工作人员, 其中辐射工作人员 2 人, 1 人负责装置操作射线装置, 1 人负责工件搬运, 管理 1 人(本项目不涉及学生操作), 本项目采取一班制工作制;

2) 本项目工业 CT 两个射线管(1#和 2#)每天出束照射时间不超过 2h(含开机预热时间 0.5h), 每周出束照射时间不超过 10h(含每次开机预热时间), 每年出束照射时间不超过 500h(含每次开机预热时间)。

3、工作流程及产污环节

辐射工作人员首先对待检工件的规格进行扫描实时成像和缺陷判定, 满足检测规格要求的工件直接通过辐射工作人员人工运至工业 CT 铅房内进行检测, 对于体积或重量超过检测规格要求的, 在铅房外西侧进行分解后再人工运至工业 CT 铅房内检测。本项目工业 CT 在非工作状态(不接通高压)时不产生 X 射线; 进行检测工作时接通设备电压, 发射 X 射线。本项目工作流程及产污环节如下, 分析示意图如图 9-4 所示。

1) 检测前的安全检查, 包括: 工业 CT 外观是否完好; 电缆是否有断裂、扭曲以及破损; 液体制冷设备是否有渗漏; 安全联锁是否正常工作; 报警设备和警示灯是否正常运行; 螺栓等连接件是否连接良好; 固定辐射检测仪是否正常、铅房周围无关人员的劝离等。

2) 开机初始化: 检测工作开始时, 对工业 CT 进行开机初始化, 并打开工件防护门。

3) 放置工件: 工作人员将工件送入铅房内载物台上, 将工件调整至合适的位置并固定。

4) 关闭工件防护门: 确认周围环境及工作人员安全后关闭工件防护门。

5) 参数设置: 根据放置的工件材质及厚度不同, 选用不同的 X 射线管(450kV 或 300kV)进行出束, 进行参数设置, 同时通过互锁装置保证 2 支 X 射线管不能同时出束。

6) 工业 CT 预热: 当启动系统或长时间停机之后, X 射线系统必须进行预热, 预热时会进行灯丝调整以及射束聚中, 此期间产生 X 射线, 根据厂家提供的资料, 本台工业 CT 每日开机均需预热, 预热时间不超过 0.5h。

7) 工业 CT 扫描：工作人员开启工业 CT 出束曝光进行无损检测，装置利用载物台旋转和移动工件调整至不同位置，通过平板探测器获取大量不同角度被测对象受 X 射线照射后的断层扫描图像。开机曝光时会发出 X 射线，并产生少量臭氧及氮氧化物。

8) 结束扫描：曝光结束，辐射工作人员开启工件防护门，移出工件。

9) 重构分析和判定：工作人员在工业 CT 铅房西北侧电脑前操作位对图像进行分析，将断层扫描图像按照重建算法重构得到完整的三维数模，判断工件质量、缺陷等，得到最终检测结果。

10) 检测工作全部结束后，装置关机。

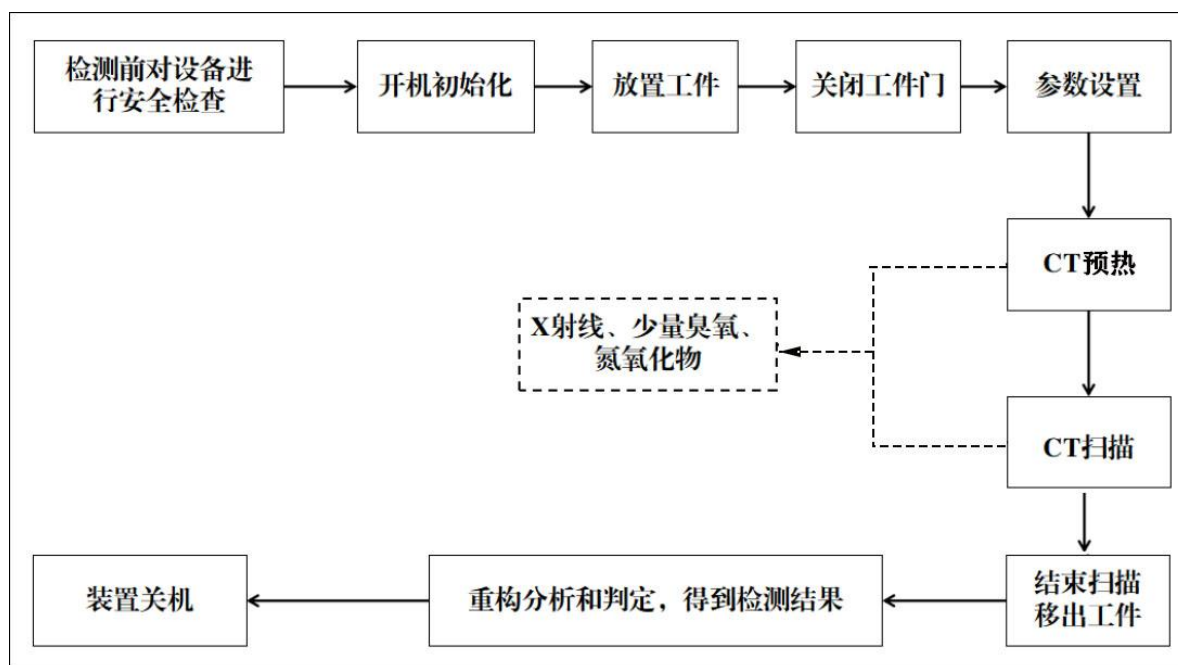


图 9-4 本项目工作流程及产污环节示意图

三、原有工艺不足及改进情况分析

学校目前在用放射源合计 2 个使用场所，1 个源库，使用 I 类 Co-60 放射源共计 65 枚（合计活度按照 1 枚 I 类放射源计），已编制环境影响报告书并取得环评批复；使用 IV 类 Am-241/Be 放射源 1 枚，用于科研应用，使用 V 类放射源合计 41 枚（Co-57、Co-60、Cs-137、Ni-63、Pm-147、Pu-238 等），用于科研应用，以上使用 IV 类、V 类放射源已备案、已许可。

学校目前在用射线装置合计 19 台，包含使用 II 类射线装置 5 台，使用 III 类射线装置 14 台。II 类射线装置均取得环评批复并完成辐射安全许可，其中使用 1 台断层

扫描微观分析系统（型号：Xradia610Versa，管电压 160kV，管电流 0.16mA）正在进行竣工环境保护验收工作，其余 II 类射线装置均已完成竣工环境保护验收工作。III 类射线装置均已完成备案和辐射安全许可。

学校已成立安全工作委员会，是学校的辐射安全与防护工作的领导机构，其下设的辐射安全与防护工作组具体负责辐射安全与防护管理工作，指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作。学校已经制定《辐射安全与防护管理办法》，包含总则、组织与职责、辐射工作人员职责、工作场所的管理、放射性同位素和射线装置的管理、放射性废物的管理、事故的应急处置、事故责任的处理以及辐射事故应急预案。已建立完善的辐射安全与防护规章制度，且在日常工作中严格按照规章制度执行；已按照国家标准要求配备了相应的辐射安全设施和个人防护用品；现有辐射工作人员均已建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案，现有辐射工作人员均已参加辐射安全与防护培训和考核，成绩合格，并在有效期内。

六合高新科技城聚焦航空材料研发，研发工作具备快速迭代特点。现有工业 CT 设备设于校内不同区域，样品送检路途远、检测时效不足，难以满足现场研发即时检测需求。项目落地园区研发现场，可实现无损检测就地作业，大幅提升检测与研发效率，完善园区配套检测能力，保障航空材料研发工作高效推进，根据本项目特点，在规章制度中补充本项目工业 CT 岗位职责、操作规程等制度；拟将本项目新配 2 名辐射工作人员和 1 名辐射安全管理人员纳入辐射安全与防护管理体系，并加强现有辐射工作人员管理。

污染源项描述

一、辐射污染源

根据工业 CT 销售单位提供的资料，滤过材料为 5mmBe，该 diondo d5 工业 CT 包含 2 支 X 射线管，1#X 射线管最大管电压为 450kV，最大管电流为 2mA，最大功率 450W；2#X 射线管最大管电压为 300kV，最大管电流为 1mA，最大功率 80W。

由工业 CT 工作原理可知，X 射线管只有在开机并处于出束状态时（曝光状态）才会发出 X 射线，对装置周围的工作人员和公众产生一定外照射，因此 X 射线管在开机曝光期间，X 射线是本项目辐射污染物。

本项目工业 CT 正常运行时，可能产生的辐射影响因子包括 X 射线有用线束辐射、泄漏辐射、扫描工件的散射辐射。

1、有用线束

X 射线机发出的用于工件检测的辐射束，又称主射线，按照销售商提供的 X 射线管输出量曲线图（见附件 6），1#X 射线管在 450kV 最大管电压下距源点 1m 处的最大输出量为 $1.86\text{mGy}\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ （ $6.696 \times 10^6 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ）；2#X 射线管在 300kV 最大管电压下距源点 1m 处的最大输出量为 $1.1\text{mGy}\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ （位于 $1.0\text{mGy}\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $1.2\text{mGy}\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 中间）（ $3.96 \times 10^6 \mu\text{Sv}\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ）。

本项目工业 CT 取 1#X 射线管在最大管电压 450kV 下最大管电流 1mA（1#X 射线管为定功率 450W）；2#射线管在最大管电压 300kV 下最大管电流 0.27mA（2#X 射线管为定功率 80W）。

2、泄漏射线

由辐射源点在各个方向上从屏蔽装置中泄漏出来的射线，本项目两个射线管最大管电压为 450kV 和 300kV，根据工业 CT 销售厂家提供的资料（见附件 6），1#X 射线管（450kV）射线管距靶点 1m 处的泄漏辐射剂量率为 5mSv/h ；厂家未提供 2#X 射线管（300kV）1m 处的泄漏辐射剂量率证明材料，参考《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中表 1，2#X 射线管（300kV）距辐射源点（靶点）1m 处的泄漏辐射剂量率取 $5 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$ （ 5mSv/h ）。

3、散射线

当主射线照射到检测工件时，会产生散布于各个方向上的散射辐射。根据《辐射防护手册（第一分册）》P354 中的康普顿散射定律：

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0(1-\cos\theta)}{0.511}} \quad \text{公式 9-1}$$

式中： E —散射射线能量，keV。

E_0 —入射射线能量，keV；

θ —散射方向与入射方向的夹角；

0.511—单个光子的能量，MeV。

代入计算后 450kV 射线经过一次 90° 散射后的能量为 239.3kV，保守取散射后的能量 250kV。参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中 P4 表 2 的数据，300kV 射线经过一次 90° 散射后的能量值为 200kV。

二、非辐射污染源

1、废水

本项目射线装置为实时成像装置，使用过程中不产生废显影液、废定影液，本项目辐射工作人员为学校现有职工，不新增生活污水。

2、废气

工业 CT 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）。

3、固体废物

本项目射线装置为实时成像装置，使用过程中不产生废胶片。本项目辐射工作人员为学校现有职工，不新增生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、工作场所布局与分区

1.工作场所布局

本项目铅房拟位于 B1 幢一层西侧的扫描室内，铅房正面朝西，控制台位于铅房西北侧，铅房正面设置 1 个工件防护门，用于工件及检修人员进出；使用时主射线始终朝向南，经理论计算，主射线范围可至铅房南部和顶部、底部、东部部分区域，不朝向控制台。建成后的铅房东紧邻本项目公辅设施区，以东为 B1 幢东侧外墙，铅房南紧邻扫描室内空地，空地南侧为一层展厅，铅房西紧邻扫描工件准备区，该区以西为扫描室外侧一层其他场所，铅房北侧紧邻本项目设备维护区，铅房正上方为该楼二层 4m 大尺寸打印工作区，铅房下方为土层，无地下室。

本项目布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中“操作室应避开有用线束照射的方向并应与探伤室（本项目铅房）分开”的要求。

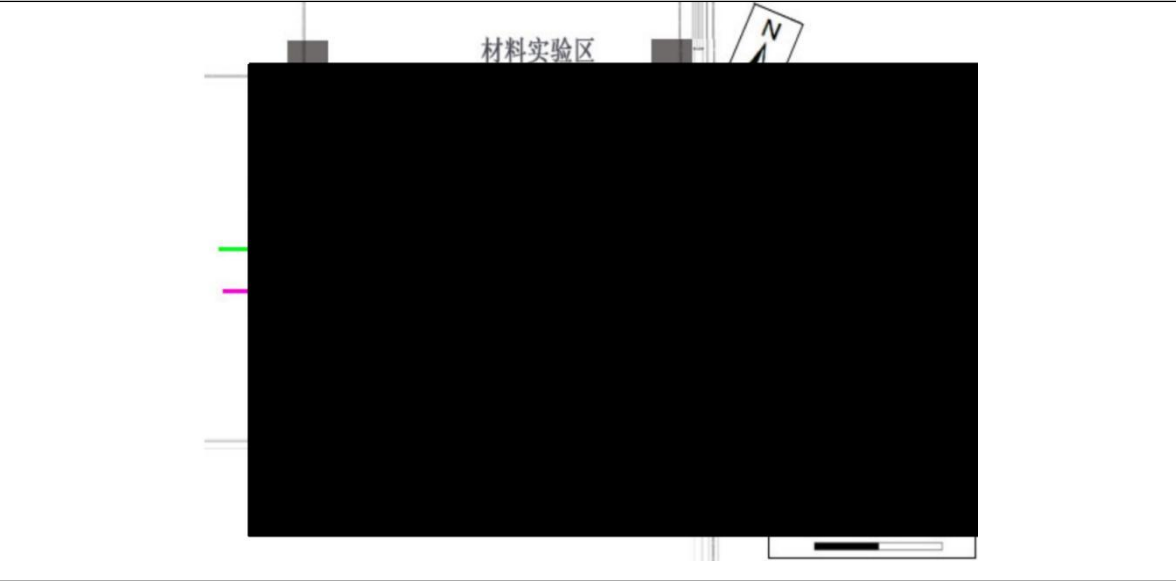


图 10-1 本项目工业 CT 平面布置、分区及流动路径示意图

本项目扫描室东侧与室外道路、南侧与 1 楼展厅、北侧与材料实验区之间均为实体围墙分隔，东、南、北侧均无人员进出门，扫描室西侧与材料试验区之间设固定围栏，出入口开向西侧材料试验区。学校拟对本项目工作场所进行分区管理，拟将铅房实体范围作为控制区，拟在防护门显著处设置电离辐射警告标志及中文警示说明，扫描出束期间禁止任何人员进入；拟将扫描室内除铅房以外的其他区域设置

为监督区，拟在监督区的入口处设立标明监督区的标牌，除工作人员外，其他无关人员不得入内。本项目辐射防护分区的划分符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射工作场所的分区规定。工作场所分区及人流、物流路径见图 10-1。

二、辐射防护屏蔽设计

根据学校以及本台工业 CT 设备代理商提供的资料，本项目 1 台工业 CT 采用整体铅房结构，包含六面体屏蔽结构。每面屏蔽结构为钢包铅板复合金属材料，在两层钢体结构内固定一层铅板，各个铅板贴合面之间相互叠加并有不少于一定长度重合，能够保证在任何情况下均无缝隙，无射线直接泄漏至铅房外，从而保证射线安全屏蔽的可靠性，本项目工件防护门与铅房屏蔽体缝隙为 2mm，重叠搭接宽度为 5cm，电缆口及通风口处铅防护罩均采用迷宫式设计，本项目铅房无底层铅板，铅房接触地面部分做“L”型包角，底部伸入铅房铅板厚度 20mmPb，伸入铅房内长度不低于 5cm。

根据本台工业 CT 设备代理商提供的资料，设备外形尺寸：5058mm（长）×3003mm（宽）×3056mm（高）；设备内部尺寸为 4621mm（长）×2323mm（宽）×2855mm（高），铅房除南面采用钢板+58mm 铅板+钢板结构以外，东面、西面、北面 and 顶面均为钢板+38mm 铅板+钢板；正面（西面）设置 1 个工件防护门，为电动移动防护门，左右平移，1200（宽）×2000（高）mm，采用钢板+38mm 铅板+钢板，门缝拟通过重叠搭接进行防护，工件防护门与铅房屏蔽体缝隙为 2mm，重叠搭接宽度为 5cm，满足重叠宽度不小于缝隙宽度十倍的要求；铅房顶部北侧靠东位置设置 1 个通风口，北面下方靠近地面位置设置 2 个电缆孔，电缆孔和通风口防护罩均采用钢铅防护罩（38mm 铅当量），排风管道连接到扫描室西侧外墙墙体外；无观察窗。铅房底部与地面无缝隙，地面为土层，无地下室。工业 CT 的 2 支 X 射线管可以单独向上、下垂直移动，2 支 X 射线管主束照射方向均固定照向南向（照向铅房右侧），射线辐射角为 40°，球管在上、下垂直移动过程中主射线主要照向铅房南面（右侧一面）和东面、顶面和地面的部分区域，主射束不直接朝向工件防护门、通风口和电缆口。

铅房六面体主体结构以及电缆口和排风口开孔处辐射防护屏蔽设计情况见表 10-1。

表 10-1 本项目工业 CT 铅房屏蔽设计一览表

序号	铅房屏蔽体	与本项目的相对位置	屏蔽设计材料
1	铅房前面	西侧	钢板+38mm 铅板+钢板
2	前面工件防护门	西侧	钢板+38mm 铅板+钢板
3	铅房后面	东侧	钢板+38mm 铅板+钢板
4	铅房右面（主束直接照射面）	南侧	钢板+58mm 铅板+钢板
5	铅房左面	北侧	钢板+38mm 铅板+钢板
6	铅房顶面	上	钢板+38mm 铅板+钢板
7	铅房底部	下	/
8	左侧电缆口屏蔽补偿措施	北侧	钢铅防护罩（38mm 铅板）
9	上部排风口屏蔽补偿措施	顶部	钢铅防护罩（38mm 铅板）

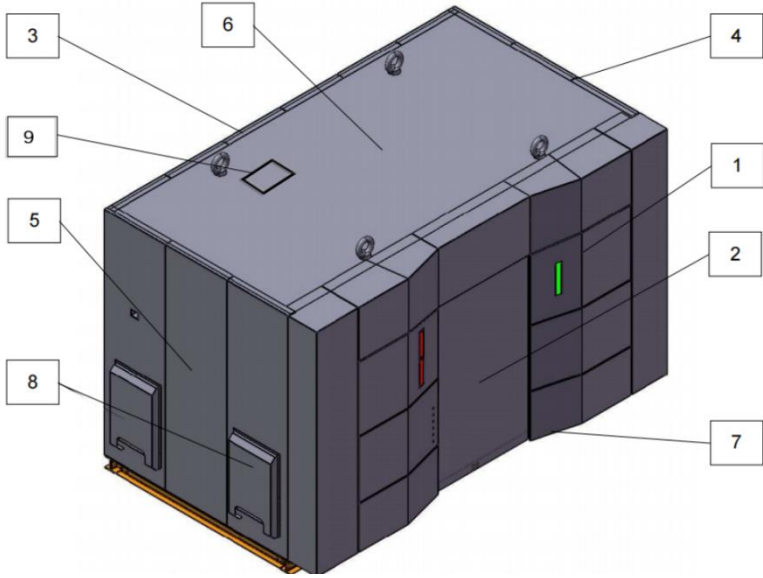


图 10-2 本项目工业 CT 铅房辐射防护屏蔽设计情况示意图

注：铅密度为 11.3g/cm³，序号与图中指示位置编号一致。

三、工作场所辐射安全与防护措施

1、辐射防护措施

本项目拟设置的辐射安全与防护设施与《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）标准符合性分析一览表见表 10-2、表 10-3 和图 10-3。

表 10-2 本项目拟设置的辐射安全措施一览表

序号	设施	GBZ117-2022	拟建情况	满足情况
1	门-机联锁装置	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。	本项目工业 CT 装置只设计 1 樘工件防护门，用于辐射工作人员和被扫描工件进出，1#和 2#X 射线管与设备的工件防护门之间拟设置门-机联锁装置，同时设备设置有软件联锁。工件防护门关闭后，物理门锁锁死同时软件联锁锁死后，X 射线装置才能出束，运行期间强行打开工件防护门，或强制开启软件联锁时 X 射线管将自动停止出束，关上门或软件联锁锁死不能自动开启 X 射线照射。在扫描过程中，工件防护门被意外打开时，能立刻停止出束。	满足
2	工作状态指示装置及声音提示装置	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。	射线声光警示灯，射线启用时灯会闪亮，同时开始射线前有预警声光提醒，射线开启也有声光警示。 防护铅房内外各有一个红色警示灯。 射线警示灯和 LED 灯牌在设备铅房门口和设备防护室内各有一个。 开启射线时，射线在预备状态 10 秒后进入射线开启状态。 射线预备时：黄色射线警示灯亮，LED 灯牌显示"预备中"文字，并有"射线预备中"语音，持续 10 秒； 射线开启时：红色射线警示灯亮，LED 灯牌显示"照射中"文字，并有"射线照射中"语音。 本工业 CT 配置了两套 X 射线管，只能分别单独操作开启射线，不可以同时开启。两个 X 射线管（450kV 和 300kV）射线管分别在开启前 10s 预警提示,黄灯亮起，10s 后转换为出束状态，红灯亮起。	满足
3	监视装置	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。	本项目铅房内部有两路监控摄像装置实时显示内部工作的影像。安装在铅房内部顶面上，一个在射线管装置上端，一个在铅房中间位置，在操作台设置专用的监视器，辐射工作人员可通过监视器实时监控屏蔽铅房内部的设备运转和防护铅门的开闭状态。	满足

4	标志标识	6.1.8 探伤室防护门上应有符合 GB18871 要求的电离辐射警告标志和中文警示说明。	在铅房工件防护门外表面均拟设置“当心电离辐射”警告标志和中文警示说明。操作台上拟设置辐射警告、出束指示和禁止非授权使用的警告等标识；在监督区边界拟放置监督区标识。	满足
5	紧急停机按钮	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。	拟在铅房外控制台操作位、工件防护门旁、电控柜位置、铅房内手动操作盒各设置 1 个紧急停机按钮，铅房内部设置 3 个紧急停机按钮（共 7 个）、确保出现紧急事故时，能立即停止照射，急停按钮旁设置标签，标明按钮名称和使用方法。	满足
6	通风装置	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。	本项目工业 CT 铅房上面配有轴流风扇进行铅房的排风。风扇的排风气流量是 322m ³ /h，工业 CT 铅房设计的室内空间是 30.65m ³ （铅房内净尺寸：4621mm（长）×2323mm（宽）×2855mm（高）），换风次数每小时将大于 10 次。满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中探伤室（本项目铅房）“每小时有效通风换气次数不小于 3 次”的要求	满足
7	固定式场所辐射探测报警装置	6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	本项目拟设置 2 个固定式辐射探测报警装置探头（铅房内南侧内墙 1 个，铅房正面（西侧铅房门）外 1 个），显示报警装置（剂量率显示主机）设置在电脑桌上方显眼位置，便于实时监测无损检测过程中的辐射水平。	满足



图 10-3 本项目辐射安全与防护设施分布示意图

2、操作防护措施

表 10-3 本项目拟设置的操作防护措施一览表

序号	GBZ117-2022	拟建情况	满足情况
1	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。	工作前辐射工作人员对拟建工业 CT 工件防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施进行检查，确保防护安全措施可以运行。	满足
2	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。	本项目辐射工作人员在进入铅房时，佩戴常规个人剂量计并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，本项目辐射工作人员立即退出铅房，同时防止其他人进入铅房，并立即向辐射防护负责人报告。	满足
3	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。	拟制定辐射监测计划，定期测量铅房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（铅房周围包含展厅、材料实验区等）。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，	满足

		应终止扫描工作并向辐射防护负责人报告。	
4	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。	工作前辐射工作人员将对辐射巡测仪进行检查，确保其能正常工作；如发现辐射巡测仪不能正常工作，学校拟不开展工作。	满足
5	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。	本项目辐射工作人员正确使用配备的辐射防护装置。	
6	6.2.6 在每一次照射前，操作人员都应该确认探伤室内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。	每次照射前，辐射工作人员都将检查并确保铅房内部没有人员停留。所有防护与安全装置系统均启动并正常运行、防护门关闭时，才开始工作。	满足

3、本项目扫描设备退役措施

表 10-4 本项目扫描设备退役措施一览表

序号	退役措施	GBZ117-2022	满足情况
1	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。	本项目扫描装置不再使用时，学校拟将设备处置至无法使用，或经监管机构批准后转移给其他已获许可机构。当本项目扫描装置从现场移走后，拟办理注销手续，清除所有电离辐射警告标志和安全告知。	满足

三废治理

1、废水

本项目工业 CT 运行过程中，采用数字成像，无废显影液及定影液产生，无需相关治理措施。本项目工作人员在工作中产生的生活、工作污水由园区统一处理后达标排放至城市生活污水管网。

2、废气

本项目工业 CT 铅房上面配有轴流风扇进行铅房的排风。风扇的排风气流量是 322m³/h，工业 CT 铅房设计的室内空间是 30.65m³（铅房内净尺寸：4621mm（长）×2323mm（宽）×2855mm（高）），换风次数每小时将大于 10 次。满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中探伤室“每小时有效通风换气次数不小于 3 次”的要求，臭氧在常温下约 50min 可以自行分解为氧气，排风口拟设置于铅房东

北部屋顶上方，避开人员密集区，对环境影响较小。

3、固体废物

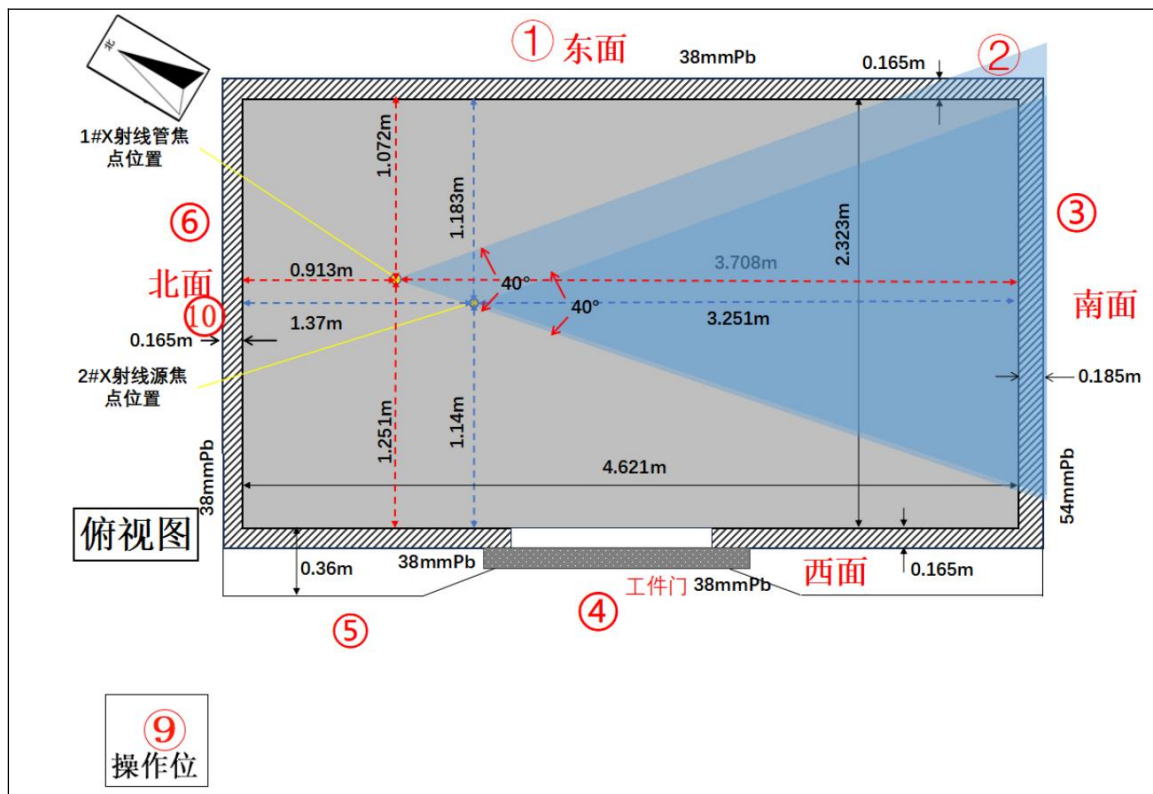
本项目采用数字成像，无废胶片产生。项目运行过程中工作人员产生的生活垃圾经分类收集后，由园区环卫部门处理。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响 本项目工业 CT 外部自带铅房，铅房成品整体运送至项目，无需在项目现场进行建设和组装；在将铅房通风装置外接管道延伸至西墙外建设过程中，需在墙体上进行钻孔等工作，此过程将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，对环境会产生如下影响： 1、大气：安装排风时将产生地面扬尘，机械作业时排放废气，但此种影响仅限于施工现场附近区域。针对上述大气污染，学校拟采取及时清扫施工场地、设立围挡等措施。 2、噪声：安装排风时将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定影响。建设单位拟严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025），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。 3、固体废物：安装排风期间，会产生一定量的固体废弃物，施工单位将进行清运，并做好清运工作中的装载工作，防止垃圾在运输中散落。 学校在项目建设阶段拟采取上述污染防治措施，将施工期的影响控制在园区内部，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 本项目运行过程中主要辐射环境影响为 X 射线影响，依据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中推荐的计算模式及相关参数对工业 CT 的辐射环境影响采取理论计算方法进行分析与评价。 1、参考点剂量率估算 根据销售厂家提供的资料，2 支 X 射线管均位于铅房内靠北侧，主束照射方向均固定向南（铅房右侧）；射线辐射角均为 40°（x 轴）×40°（y 轴）；2 支 X 射线管均可上下垂直移动，移动时 1#射线管中心距上、下屏蔽体内表面最小距离分别为 0.811m 和 1.04m，2#射线管中心距上、下屏蔽体内表面最小距离分别为 0.795m 和 1.06m；2 个射线管中心距东、西、南、北侧屏蔽体内表面距离均固定不变，1#X 射线管分别为 1.072m、1.251m、3.708m、0.913m，2#X 射线管分别为 1.183m、

1.14m、3.251m、1.37m。根据表 9 中“工作方式”一节可知，球管在移动过程中主束照射野覆盖南面屏蔽体，1#射线管主射线照射在南面、东面靠南局部、顶部靠南局部，2#射线管主束照射南面和顶部靠南局部区域。

本次理论计算，因为 2 个射线管工作时与各面距离不同，所以分别按照 2 个射线管的工件条件进行理论计算。对于 1#射线管，铅房南面、东面局部靠南、顶部靠南区域按主射线计算，其余部位按非有用线束方式进行估算；对于 2#射线管，铅房南面和顶部靠南局部按主射线计算，其余部位按非有用线束方式进行估算，非有用线束方向剂量率为泄漏辐射和散射辐射剂量率之和。由于铅房外壳中的钢板较薄，与铅板相比，其防护作用可以忽略，因此，对本项目辐射环境影响理论计算时不考虑钢板的屏蔽作用。本项目工业 CT 球管位置及计算点位示意图见图 11-1。



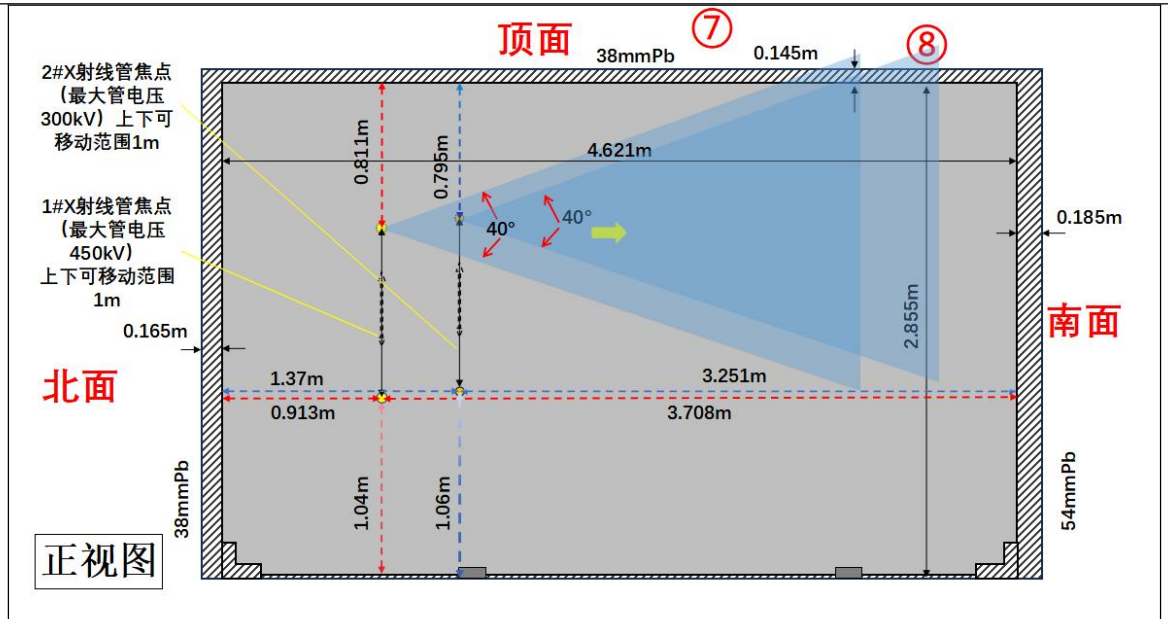


图 11-1 本项目 X 射线球管位置及计算点位示意图

(1) 主射线所致铅房外剂量率

对主射线所致铅房外剂量率预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中的主射线剂量率计算公式：

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

上式中： I —本项目工业 CT 中 X 射线管在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安(mA)。由前文辐射源项可知，本项目工业 CT 取 1#X 射线管在最大管电压 450kV 下最大管电流 1mA（1#X 射线管为定功率 450W）；2#射线管在最大管电压 300kV 下最大管电流 0.27mA（2#X 射线管为定功率 80W）。

H_0 —根据前文辐射源项分析，1#X 射线管在 450kV 最大管电压下距源点 1m 处的最大输出量为 $6.696 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ；2#X 射线管为 $3.96 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）。

B —屏蔽透射因子，按公式 11-2 进行计算：

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

X —屏蔽厚度，本项目铅房屏蔽体指铅屏蔽层厚度，当主束照向顶部屏蔽体时（顶部南侧部分），采用有效屏蔽厚度计算。公式如下。

$$X_e = X / \cos\theta \dots \dots \dots \text{公式 11-3}$$

式中：X—设计屏蔽厚度，mm；

θ —斜射角。本项目铅房东面靠南、铅房顶部靠南受主束照射， $\theta=90^\circ-20^\circ=70^\circ$ ， $\cos\theta=0.342$ 。根据上式可以得出主束照射铅房东面靠南、铅房顶部靠南位置处有效铅板厚度 X_e （mm）保守取东面和顶部设计屏蔽厚度 X （mm）/0.342=38/0.342=111mmPb。

TVL—本项目工业 CT 铅房铅什值层厚度，mm。

对照屏蔽物质的什值层厚度，参考《辐射防护导论》P98 表 3.5，由内插法得管电压为 450kV 时，铅什值层厚度为 9.25mm。参照《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.2，管电压为 300kV 时，铅什值层厚度为 5.7mm。

分别计算工业 CT 1#X 射线管和 2#X 射线管在最大管电压下最大管电流运行工况下主射线照射屏蔽体外剂量率，将相关参数代入公式 11-1，可得到铅房主射线照射铅房屏蔽体外剂量率计算结果，见表 11-1 和表 11-2。

表 11-1 1#X 射线管（最大管电压 450kV）铅房外参考点辐射剂量率（主射线）

编号	点位描述	屏蔽材料及厚度 (mmPb)	B	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{h}^{-1}$)	I (mA)	R (m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)
2	铅房东面靠南	111	1×10^{-12}	6.696×10^6	1	3.917	<0.001
3	铅房南面	58	5.37×10^{-7}	6.696×10^6	1	4.193	0.204
8	铅房顶部靠南	111	1×10^{-12}	6.696×10^6	1	3.095	<0.001

注：1#X 射线管最大管电压 450kV，最大功率 450W，最大管电压下最大管电流 1mA

估算点距离：1#X 射线管 $R_2=(1.072\text{m}+0.165\text{m})/\sin 20^\circ+0.3\text{m}=3.917\text{m}$ ；
 $R_3=3.708\text{m}+0.185\text{m}+0.3\text{m}=4.193\text{m}$ ； $R_8=(0.811+0.145)/\sin 20^\circ+0.3\text{m}=3.095\text{m}$

表 11-2 2#X 射线管（最大管电压 300kV）铅房外参考点辐射剂量率（主射线）

编号	点位描述	屏蔽材料及厚度 (mmPb)	B	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{mA}\cdot\text{h}^{-1}$)	I (mA)	R (m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)
3	铅房南面	58	6.68×10^{-11}	3.96×10^6	0.27	3.736	<0.001
8	铅房顶部靠南	111	3.36×10^{-20}	3.96×10^6	0.27	3.048	<0.001

注：2#X 射线管最大管电压 300kV，最大功率 80W，最大管电压下最大管电流 0.27mA

估算点距离：2#X 射线管； $R_3=3.251\text{m}+0.185\text{m}+0.3\text{m}=3.736$ ； $R_8=(0.795+0.145)/\sin 20^\circ+0.3\text{m}=3.048$ ；。

2) 泄漏辐射所致铅房外剂量率

泄漏辐射所致铅房外剂量率利用下列公式计算：

$$H = \frac{B \cdot H_L}{R^2} \dots \dots \dots \text{公式 11-4}$$

式中： B —屏蔽透射因子，按公式 11-2 进行计算，参考上文 450kV 管电压条件下，泄漏射线铅的什值层厚度为 9.25mm，管电压为 300kV 时，铅什值层厚度为 5.7mm。

R —辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

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 $\mu\text{Sv/h}$ 。

根据前文辐射源项分析，1#和 2#X 射线管距辐射源点（靶点）1m 处的泄漏辐射剂量率均取 $5000 \mu\text{Sv/h}$ 。

分别计算工业 CT 1#X 射线管和 2#X 射线管泄漏射线照射屏蔽体外剂量率，将相关参数代入公式 11-4，可得到 1#X 射线管和 2#X 射线管泄漏射线照射铅房屏蔽体外剂量率计算结果，见表 11-3 和表 11-4。

表 11-3 1#X 射线管（最大管电压 450kV）铅房外参考点辐射剂量率（泄漏射线）

编号	点位描述	屏蔽材料及厚度 (mmPb)	B	H_L ($\mu\text{Sv/h}$)	R (m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)
1	东面	38	7.8×10^{-5}	5×10^3	1.537	0.165
4	工件防护门 (西面)	38	7.8×10^{-5}	5×10^3	1.716	0.132
5	铅房西面	38	7.8×10^{-5}	5×10^3	1.911	0.107
6	铅房北面	38	7.8×10^{-5}	5×10^3	1.378	0.205
7	铅房顶	38 (排风口处同 顶面 38)	7.8×10^{-5}	5×10^3	1.256	0.247
9	操作位	38 (西北侧，按 北侧计算)	7.8×10^{-5}	5×10^3	2.611	0.057
说明： $R_1=1.072\text{m}+0.165\text{m}+0.3\text{m}=1.537\text{m}$ ； $R_4=1.251\text{m}+0.165\text{m}+0.3\text{m}=1.716\text{m}$ ； $R_5=1.251\text{m}+0.36\text{m}+0.3\text{m}=1.911\text{m}$ ； $R_6=0.913\text{m}+0.165\text{m}+0.3\text{m}=1.378\text{m}$ ； $R_7=0.811\text{m}+0.145\text{m}+0.3\text{m}=1.256\text{m}$ ； $R_9=1.251\text{m}+0.36\text{m}+1\text{m}=2.611\text{m}$ （操作位取 5 点处屏蔽 体墙体西侧 1m 位置）						

表 11-4 2#X 射线管（最大管电压 300kV）铅房外参考点辐射剂量率（泄漏射线）

编号	点位描述	屏蔽材料及厚度 (mmPb)	B	H_L ($\mu\text{Sv/h}$)	R (m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)
1	东面	38	2.15×10^{-7}	5×10^3	1.648	<0.001
4	工件防护门 (西面)	38	2.15×10^{-7}	5×10^3	1.605	<0.001
5	铅房西面	38	2.15×10^{-7}	5×10^3	1.8	<0.001
6	铅房北面	38	2.15×10^{-7}	5×10^3	1.835	<0.001
7	铅房顶	38 (排风口处同顶 面 38)	2.15×10^{-7}	5×10^3	1.24	0.001
9	操作位	38 (西北侧，按北	2.15×10^{-7}	5×10^3	2.5	<0.001

		侧计算)				
说明: $R_1=1.183\text{m}+0.165\text{m}+0.3\text{m}=1.648\text{m}$; $R_2=1.14\text{m}+0.165\text{m}+0.3\text{m}=1.605\text{m}$; $R_3=1.14\text{m}+0.36\text{m}+0.3\text{m}=1.8\text{m}$; $R_6=1.37\text{m}+0.165\text{m}+0.3\text{m}=1.835\text{m}$; $R_7=0.795\text{m}+0.145\text{m}+0.3\text{m}=1.24\text{m}$; $R_9=1.14\text{m}+0.36\text{m}+1\text{m}=2.5\text{m}$ (操作位取 5 点处屏蔽体墙体西侧 1m 位置)。						
(3) 散射辐射所致铅房外剂量率 散射辐射所致铅房外剂量率利用下列公式计算: $H = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R_s^2} \cdot \frac{F \cdot \alpha}{R_0^2} \dots \dots \dots \text{公式 11-5}$ 式中: I —本项目工业 CT 在最大管电压下的最大管电流, 单位为毫安(mA)。 由前文辐射源项可知, 本项目工业 CT 取 1#X 射线管在最大管电压 450kV 下最大管电流 1mA (1#X 射线管为定功率 450W); 2#射线管在最大管电压 300kV 下最大管电流 0.27mA (2#X 射线管为定功率 80W)。 H_0 —根据前文辐射源项分析, 1#X 射线管在 450kV 最大管电压下距源点 1m 处的最大输出量为 $6.696 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; 2#X 射线管为 $3.96 \times 10^6 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)。 B —为屏蔽透射因子。 根据前文源项分析, 1#X 射线管在最大管电压 450kV 时主射线散射后的能量为 250kV, 2#X 射线管在最大管电压 300kV 散射后的能量值为 200kV, 根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》(GBZ/T250-2014) 表 B.2, 铅的什值层厚度分别为 2.9mm 和 1.4mm。 F — R_0 处的辐射野面积, 单位为平方米 (m^2)。 R_0 —辐射源点 (靶点) 至被扫描工件的距离, 单位为米 (m), 本项目取 0.5m (0~0.85m 中间的常用距离)。 R_s —散射体至关注点的距离,单位为米(m)。 α —散射因子, 入射辐射被单位面积 (1m^2) 散射体散射到距其 1m 处的散射辐射剂量率与该面积上的入射辐射剂量率的比; 参考 GBZ/T250-2014 附录 B.4.2, 本项目辐射角 40° , 圆锥束中心轴与圆锥边界夹角为 20° (垂直方向), $R_0^2/(F \cdot \alpha)$ 取值 200kV~400kV 时的值 50。 R —散射体至关注点的距离, 单位为米 (m)。 铅房外散射辐射剂量率计算结果见下表 11-5 和表 11-6						

表 11-5 1#X 射线管（最大管电压 450kV）铅房外关注点辐射剂量率（散射辐射）								
编号	点位描述	屏蔽材料及厚度（mm）	B	$R_0^2/$ (F·a)	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/$ $\text{mA}\cdot\text{h}^{-1}$)	I (mA)	R (m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)
1	东面	38	7.88×10^{-14}	50	6.696×10^6	1	1.537	<0.001
4	工件防护门（西面）	38	7.88×10^{-14}	50	6.696×10^6	1	1.716	<0.001
5	铅房西面	38	7.88×10^{-14}	50	6.696×10^6	1	1.911	<0.001
6	铅房北面	38	7.88×10^{-14}	50	6.696×10^6	1	2.378	<0.001
7	铅房顶	38（排风口处同顶面 38）	7.88×10^{-14}	50	6.696×10^6	1	1.256	<0.001
9	操作位	38（西北侧，按北侧计算）	7.88×10^{-14}	50	6.696×10^6	1	2.611	<0.001
说明： $R_1=1.072\text{m}+0.165\text{m}+0.3\text{m}=1.537\text{m}$ ； $R_4=1.251\text{m}+0.165\text{m}+0.3\text{m}=1.716\text{m}$ ； $R_5=1.251\text{m}+0.36\text{m}+0.3\text{m}=1.911\text{m}$ ； $R_6=0.913\text{m}+1\text{m}$ （1#X 射线管与被扫描件距离） $+0.165\text{m}+0.3\text{m}=2.378\text{m}$ ； $R_7=0.811\text{m}+0.145\text{m}+0.3\text{m}=1.256\text{m}$ ；操作位取 5 点处屏蔽体墙体西侧 1m 位置， $R_9=1.251\text{m}+0.36\text{m}+1\text{m}=2.611\text{m}$ 。								

表 11-6 2#X 射线管（最大管电压 300kV）铅房外关注点辐射剂量率（散射辐射）								
编号	点位描述	屏蔽材料及厚度（mm）	B	$R_0^2/$ (F·a)	H_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/$ $\text{mA}\cdot\text{h}^{-1}$)	I (mA)	R (m)	H ($\mu\text{Sv/h}$)
1	东面	38	7.20×10^{-28}	50	3.96×10^6	0.27	1.648	<0.001
4	工件防护门（西面）	38	7.20×10^{-28}	50	3.96×10^6	0.27	1.605	<0.001
5	铅房西面	38	7.20×10^{-28}	50	3.96×10^6	0.27	1.8	<0.001
6	铅房北面	38	7.20×10^{-28}	50	3.96×10^6	0.27	2.835	<0.001
7	铅房顶	38（排风口处同顶面 38）	7.20×10^{-28}	50	3.96×10^6	0.27	1.24	<0.001
9	操作位	38（西北侧，按北侧计算）	7.20×10^{-28}	50	3.96×10^6	0.27	2.5	<0.001
说明： $R_1=1.183\text{m}+0.165\text{m}+0.3\text{m}=1.648\text{m}$ ； $R_4=1.14\text{m}+0.165\text{m}+0.3\text{m}=1.605\text{m}$ ； $R_5=1.14\text{m}+0.36\text{m}+0.3\text{m}=1.8\text{m}$ ； $R_6=1.37\text{m}+1\text{m}$ （2#X 射线管至被扫描件的距离） $+0.165\text{m}+0.3\text{m}=2.835\text{m}$ ； $R_7=0.795\text{m}+0.145\text{m}+0.3\text{m}=1.24\text{m}$ ；操作位取 5 点处屏蔽体墙体西侧 1m 位置， $R_9=1.14\text{m}+0.36\text{m}+1\text{m}=2.5\text{m}$ 。								

(4) 剂量率估算结果汇总

工业 CT 铅房外剂量率统计见表 11-7、表 11-8。

表 11-7 1#射线管出束时工业 CT 铅房外剂量率统计一览表

编号	点位描述	剂量率 $H(\mu\text{Sv/h})$	剂量率限值 $(\mu\text{Sv/h})$	评价结果
1	东面	0.166	2.5	满足
2	铅房东面靠南	0.001	2.5	满足
3	铅房南面	0.204	2.5	满足
4	工件防护门（西面）	0.133	2.5	满足
5	铅房西面	0.108	2.5	满足
6	铅房北面	0.206	2.5	满足
7	铅房顶	0.248	2.5	满足
8	铅房顶部靠南	<0.001	2.5	满足
9	操作位	0.058	2.5	满足

说明：主束照射面外编号 2、3、8 点位剂量率直接取前文表 11-1，其他关注点位受泄漏和散射影响，其他关注点位剂量率为泄漏（见表 11-3）叠加散射（见表 11-5），在叠加计算时保守把小于 0.001 的值直接按 0.001 进行相加。

表 11-8 2#射线管出束时工业 CT 铅房外剂量率统计一览表

编号	点位描述	剂量率 $H(\mu\text{Sv/h})$	剂量率限值 $(\mu\text{Sv/h})$	评价结果
1	东面	0.002	2.5	满足
2	铅房东面靠南	0.002	2.5	满足
3	铅房南面	0.001	2.5	满足
4	工件防护门（西面）	0.002	2.5	满足
5	铅房西面	0.002	2.5	满足
6	铅房北面	0.002	2.5	满足
7	铅房顶	0.002	2.5	满足
8	铅房顶部靠南	0.001	2.5	满足
9	操作位	0.002	2.5	满足

说明：主束照射面外编号 3、8 点位剂量率直接取前文表 11-2，其他关注点位受泄漏和散射影响，其他关注点位剂量率为泄漏（见表 11-4）叠加散射（见表 11-6），在叠加计算时保守把小于 0.001 的值直接按 0.001 进行相加。

(5) 天空反散射影响分析

由表 11-7 和表 11-8 可知，铅房顶部关注点的辐射剂量率为 $0.248\mu\text{Sv/h}$ ，天空反散射辐射剂量率应小于 $0.248\mu\text{Sv/h}$ ；则铅房四周叠加天空反散射剂量率不会超过 $0.454\mu\text{Sv/h}$ （天空反散射辐射剂量率 $0.248\mu\text{Sv/h}$ +铅房四周剂量率最大值 $0.206\mu\text{Sv/h}$ ），能满足《工业 X 射线探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）及《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中铅房辐射屏蔽剂量率参考控制水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的要求。

(6) 通风口、穿线孔、门缝处、铅房与地面接触位置辐射防护分析

本项目铅房电缆口及通风口均设有铅防护罩，铅房北侧电缆口铅防护罩铅当量与北侧主屏蔽体相同，顶部通风口铅防护罩铅当量厚度等于顶部主屏蔽体铅当量厚度，因此，电缆口铅防护罩具有与铅房北侧屏蔽体相同的防护效果，通风口铅防护罩强于铅房顶部屏蔽体防护效果。

根据表 11-7 和表 11-8 可知，铅房北侧外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 $0.206\mu\text{Sv/h}$ ，铅房顶部外表面 30cm 处辐射剂量率最大为 $0.248\mu\text{Sv/h}$ ，均能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）及《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中“关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，因此，通风口及电缆口铅防护罩外表面 30cm 处辐射剂量率亦能满足要求。

根据《辐射防护导论》第 189 页“实例证明，如果一个能使辐射至少散射三次以上的迷道，是能保证迷道口工作人员的安全”。本项目扫描装置电缆口及通风口处铅防护罩均采用迷宫式设计，X 射线至少经过 3 次散射才能到达防护罩外，可确保电缆口及通风口铅防护罩不破坏铅房的整体防护效果。射线在电缆口及通风口铅防护罩中的散射路径示意图见图 11-2。

本项目工件防护门与铅房屏蔽体缝隙为 2mm，重叠搭接宽度为 5cm，墙体搭接与门缝间隙不小于 10 倍，射线经过多次散射后才能出门缝隙，可推断工件防护门缝隙处的辐射剂量率能够满足标准要求。本项目铅房无底层铅板，铅房接触地面部分做“L”型包角，底部伸入铅房铅板厚度 20mmPb，伸入铅房内长度不低于 5cm，则铅房地面缝隙总长不低于 8cm，按照铅房与装饰完成后地面最大缝隙高度 4mm 计算，铅房地面缝隙总长不小于铅房与地面缝隙高度的 10 倍，射线经过多次散射后才能出地面缝隙，可推断出地面缝隙外侧的辐射剂量率能够满足标准要求。

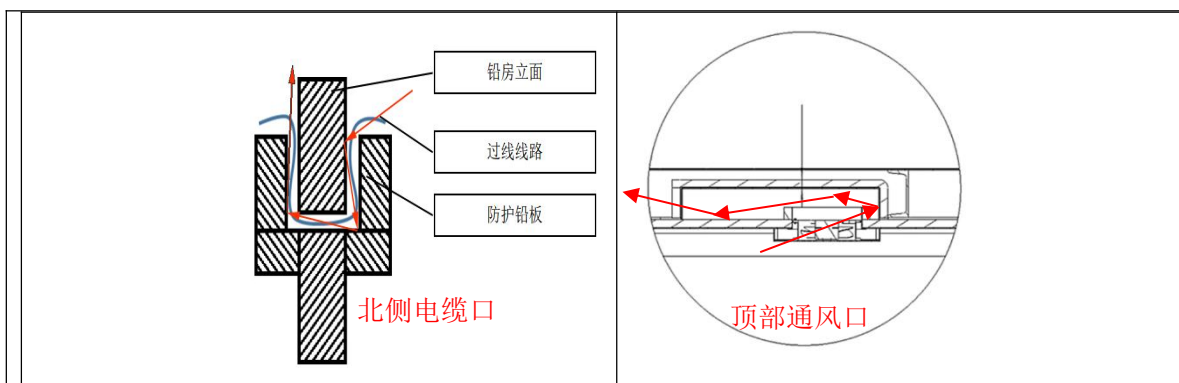


图 11-2 射线在电缆口及通风口铅防护罩中的散射路径示意图

2、周有效剂量及年有效剂量计算

铅房外各参考点处周有效剂量及年有效剂量可按下式计算，选取各关注点处剂量率预测结果最大值进行计算，计算结果见表 11-9：

$$P = H_{max} \cdot U \cdot T \cdot t \dots \dots \dots \text{公式 11-6}$$

式中： H_{max} —本项目取 1#X 射线管和 2#射线管出束最大剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

P —周或年有效剂量， mSv/周 或 mSv/年 ；

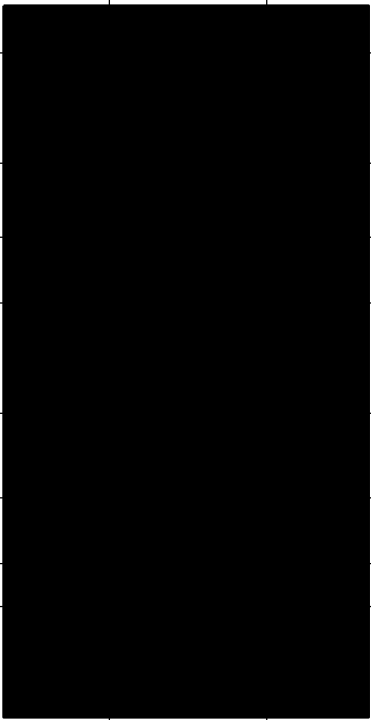
t —周或年工作时间， h ，根据学校提供的资料，本项目周出束时间最大为 10h；年出束时间最大为 500h；

U —使用因子；

T —居留因子。

表 11-9 本项目铅房外关注点周有效剂量及年有效剂量计算结果

关注点位	H ($\mu\text{Sv/h}$)	U	T	周有效剂量(μSv)	参考控制水平 ($\mu\text{Sv/周}$)	年有效剂量 (mSv)	剂量约束值 (mSv/年)
操作位	0.058	1	1				5 (辐射工作人员)
铅房东侧（公辅设施区）	0.166	1	1/4				
铅房南侧（空地）	0.204	1	1/4				
铅房西侧（扫描工件准备区）	0.133	1	1/4				
铅房西侧通道	0.133	1	1/4				
铅房北侧（设备维护区、配电区）	0.206	1	1/4				
东侧 1.5m（园区内道路）	0.074	1	1/8				0.1 (公众)
东侧 30m（B3 幢楼）	<0.001	1	1				
东南侧 1.5m（B4 幢楼）	0.074	1	1				
南侧 1.5m（B1 幢一层展厅）	0.138	1	1				

南侧 33m（园区内道路）	<0.001	1	1/8		1
西南侧 1.5m（B1 幢一层贵宾接待室、值班室、电梯间、门厅等）	0.092	1	1		
西侧 4m（B1 幢一层材料实验区、新材料展台）	0.008	1	1		
西侧 32m（园区室外道路）	<0.001	1	1/8		1
西北侧 22m（B1 幢一层卫生间、电梯间、候梯厅、设备间、楼梯间）	<0.001	1	1/8		1
北侧 1.5m（B1 幢一层材料实验区）	0.092	1	1		
北侧 18m（园区内道路）	0.001	1	1/8		1
北侧 28m（B2 幢楼）	<0.001	1	1		1
上方 5m（铅房正上方 B1 幢 2 层“4m 大尺寸打印机”工作区，B1 幢铅房上方 2 层、3 层、4 层）	0.01	1	1		

注：1）关注点位使用因子保守取 1；

2）B1、B2、B3 和 B4 幢建筑关注点处公众居留因子保守取 1。

3）各点位剂量率保守取表 11-7、11-8 中的较大值，各环境保护目标处的剂量率按剂量率距离平方反比进行估算。其中东南侧公众取铅房外东、南侧较大值，西南侧、西北侧同理。

根据表 11-9 可知，当本项目 1 台工业 CT 按最大管电压下最大管电流运行时，铅房外辐射工作人员及保护目标处公众周有效剂量及年有效剂量均能满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中剂量限值要求和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。

综上所述，根据理论估算，本项目工业 CT 在经实体屏蔽后，对辐射工作人员和周围公众的环境影响较小，开展无损扫描检测时，在采取有效的辐射防护措施和学校良好的管理情况下，辐射工作人员和周围公众的年有效剂量可以满足标准限值要求。

二、非辐射环境影响评价

1、废水

本项目工业 CT 运行过程中，采用数字成像，无废显影液及定影液产生，无需相关治理措施。本项目不新增劳动定员，工作人员依托现有生活污水处理排放系统。

2、废气

此工业 CT 配有自由送风的工业空调，可以连续 24 小时工作，独立对铅房室内进行温度调整，并进行室内的通排风，且空调安装位置有铅层叠加防护；并配有轴流风扇进行铅房的排风，排风扇安装位置也有铅层叠加防护。风扇的排风流量是 322m³/h，工业 CT 铅房设计的室内空间是 30.65m³（铅房内净尺寸：4621mm（长）×2323mm（宽）×2855mm（高）），换风次数每小时将大于 10 次。满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中探伤室（本项目铅房）“每小时有效通风换气次数不小于 3 次”的要求，同时，铅房在操作过程中会打开移动门进行试件的放置，此时铅房室内可以有自然通风补风。排出的臭氧在常温下约 50min 可以自行分解为氧气，对环境影响较小。

3、固体废物

本项目工业 CT 运行过程中，采用数字成像，无废胶片产生。本项目工作人员在工作中产生的生活垃圾经分类收集后，统一交由城市环卫部门处理。

三、事故影响分析

事故影响分析

一、可能产生的辐射事故

本项目工业 CT 为Ⅱ类射线装置，Ⅱ类射线装置为中危险射线装置，发生辐射事故会使受照人员产生较严重的放射损伤。本项目主要事故风险为：

1、由于工件防护门机联锁失灵，在防护门未关闭的情况下即进行曝光操作，或在扫描过程中，防护门被意外打开时，不能立刻停止出束，可能对工作人员和周围活动的人员造成不必要的照射。

2、当工作人员开展 X 射线扫描工作时，违反操作规程或误操作等，造成超剂量照射。

3、由于工件防护门漏射线造成不必要的照射。

二、事故预防措施

针对本项目可能发生的辐射事故，可采取以下事故预防措施：

1、定期进行辐射防护设施的检测与维修，杜绝因设施问题造成人员误照射；

2、严格按照相应规章制度与操作规范，在扫描工作时，安排工作人员巡场；

3、加强人员培训，定期组织工作人员内部学习与考核，强化人员素质，明确

操作流程，尽可能降低因人员操作失误产生事故的可能性；

4、定期对铅房周围环境进行监测，保证铅房周围环境辐射水平处于正常范围之内；

5、辐射工作人员在工作时，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；

6、定期对工件防护门的防护效果、机械性能等进行检查，防止因工件防护门损坏造成射线泄漏。

三、事故处理措施

1、立即切断电源，停止照射，工作人员可就近按下紧急停机按钮；

2、立即向学校领导汇报事故情况，控制现场，防止无关人员进入；

3、核算人员受照剂量，必要时送专业医院进行诊疗；

4、检查和维修工业 CT 装置，必要时请设备厂家进行检修，检测合格后方可继续使用。

依照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》的规定，根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。本项目运行期间的最大事故为射线装置失控导致人员受到超年剂量限值的照射，属于一般辐射事故。

学校拟根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》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部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康行政主管部门报告；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行政主管部门报告。

学校拟严格执行射线装置的操作规程及工作场所分区管理要求，定期监测辐射工作场所的辐射环境剂量率等，确保辐射工作场所安全。当发生或发现辐射事故后，当事人应立即向所在单位的辐射安全负责人报告，启动辐射事故应急预案。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置 本项目工业 CT 为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》的要求，使用Ⅱ类射线装置的单位，应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，并以文件形式明确管理人员职责。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的要求，应对直接从事生产、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。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》（生态环境部第 57 号公告）的要求，从事辐射工作的人员及辐射防护负责人均应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，管理人员考核类型为“辐射安全管理”，辐射工作人员考核类型为“X 射线探伤”。 学校已成立安全工作委员会，是学校的辐射安全与防护工作的领导机构，其下设的辐射安全与防护工作组具体负责辐射安全与防护管理工作，指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作。学校拟根据本次新增一台工业 CT 项目制定相关文件，明确与本项目相关的辐射安全与环境保护管理人员及其职责，并将该项目辐射安全管理纳入学校的安管理工作之中。 学校拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，配备 1 名辐射防护负责人；辐射工作人员及辐射防护负责人均拟通过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知识及相关法律法规，辐射工作人员考核专业类别为“X 射线探伤”，辐射防护负责人考核专业类别为“辐射安全管理”，考核合格后方可上岗；同时如有辐射培训证书到期人员拟及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核。
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，使用放射源和射线装置的单位要“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”。

学校已经制定《辐射安全与防护管理办法》，包含总则、组织与职责、辐射工作人员职责、工作场所的管理、放射性同位素和射线装置的管理、放射性废物的管理、事故的应急处置、事故责任的处理以及辐射事故应急预案。

已建立完善的辐射安全与防护规章制度，且在日常工作中严格按照规章制度执行；已按照国家标准要求配备了相应的辐射安全设施和个人防护用品；现有辐射工作人员均已建立个人剂量监测档案及职业健康监护档案，现有辐射工作人员均已参加辐射安全与防护培训和考核，成绩合格，并在有效期内。

对照《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《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，现有的辐射安全管理存在工作不足情况，学校拟根据本项目特点，在规章制度中补充放射本项目工业 CT 岗位职责、操作规程等制度；拟将本项目新配 2 名辐射工作人员和 1 名辐射安全管理人员纳入辐射安全与防护管理体系，并加强现有辐射工作人员管理。

学校拟根据本项目的特点及以下内容完善相关制度。

1) 操作规程：明确本项目辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤。

2) 岗位职责：明确管理人员、射线装置操作人员的岗位责任，使每名工作人员明确自己所在岗位具体责任。

3) 辐射防护和安全保卫制度：根据本项目的具体情况制定相应的辐射防护和安全保卫制度。定期检查辐射安全装置及检测仪器，确保辐射安全联锁装置、个人剂量报警仪、环境辐射剂量监测仪保持良好工作状态及有效性。

4) 设备维修制度：明确本项目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，并做好记录。确保辐射检测装置、报警装置及急停按钮、联动装置、电离辐射警告标志、工作状态指示灯等安全措施保持良好工作状态。

5) 人员培训计划和健康管理制度：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核办法等内容，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。学校拟对辐射工作人员

开展职业健康监护，定期安排其在有相应资质单位进行职业健康体检，并建立职业健康档案。

6) 监测方案：为了确保II类射线装置的辐射安全，学校应制定本项目监测方案，内容包括：

①明确监测项目和频次；

②辐射工作人员个人剂量监测数据应建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2018年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，应当对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理；

③对发生辐射事故处理进行全程监测；

④定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的单位进行监测，发现异常情况的，应当立即采取措施，并在1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；

⑤委托有资质监测单位对本单位的放射源和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。

7) 本项目工业CT退役管理：当本项目工业CT不再使用时，拟实施退役程序。

①应将工业CT内2个X射线发生器处置至无法使用，或经监管机构批准后，转移给其他已获许可机构。

②清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

辐射监测

1、环境监测方案

学校拟制定如下辐射监测方案，辐射监测计划见表12-1。

1) 委托有资质的单位对项目所在场所周围环境X-γ辐射剂量率进行1次竣工验收监测；

2) 委托有资质的单位对项目所在场所周围环境X-γ辐射剂量率进行年度监测，监测频次：1次/年；

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，

监测频次：1次/3个月；

4) 委托有资质的单位对辐射工作人员开展个人剂量监测（1次/3个月），建立个人剂量档案。

表 12-1 辐射工作场所监测计划表

监测项目		监测频次	监测点位	结果评价
X-γ辐射剂量率	竣工验收监测	1次	铅房屏蔽体外、防护门外、门缝隙处、操作位、通风口、电缆线口外；铅房四周保护目标处。	铅房屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5μSv/h。
	场所年度监测，委托有资质的单位进行	1次/年		
	定期自行开展辐射监测	每3个月1次		
个人剂量监测	委托有资质的单位进行	每3个月1次	/	年有效剂量不超过 5mSv

学校在项目运行过程中拟结合本项目特点完善监测计划的频次及监测内容。同时拟对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日前向全国核技术利用辐射安全申报系统上传评估报告，年度评估发现安全隐患的，立即整改。

2、监测仪器情况

学校拟为本项目配备1台辐射巡测仪及2台个人剂量报警仪，用于辐射防护监测和报警，所有辐射工作人员均配备个人剂量计，工作时随身佩戴。

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》（原环境保护部令第18号）等相关规定，辐射事故应急预案拟明确以下几个方面：

- 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。

学校已制定辐射事故应急预案，涵盖以上5方面的内容，包含应急机构（安全工作委员会）和职责分工，具体的应急部门和联系电话，应急人员培训演练和应急和救助的装备、资金、物资准备，辐射事故发生的可能、分级及应急响应措施，辐

射事故调查、报告和处理程序。

学校拟根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》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部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生健康行政主管部门报告；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，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向当地卫生健康行政主管部门报告。

表 13 结论与建议

结论

一、项目概况

为支撑先进复合材料科研工作，南京航空航天大学拟在南航国际创新港（六合高新科技城）B1 幢 1 层新增 1 台工业 CT 项目，内置 2 支 X 射线管（两支射线管不同时出束）。1#X 射线管最大管电压、最大管电流、最大功率分别为 450kV、2mA、450W；2#X 射线管最大管电压、最大管电流、最大功率分别为 300kV、1mA、80W；该装置外部自带铅房。本项目工业 CT 属于Ⅱ类射线装置。

二、产业政策符合性评价

本项目为使用Ⅱ类射线装置，对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》的相关规定，本项目不属于限制类、淘汰类，故本项目符合国家现行产业政策。

三、实践正当性评价

本项目为南京航空航天大学新增一台工业 CT 项目，主要用于复合材料无损检测，该项目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》（GB18871-2002）“实践正当性”原则。

四、项目选址及布局合理性评价

本项目位于南京市六合区六合高新科技城 B1 幢，六合高新科技城东临冶六路、南邻马玉线（郁庄路）、西侧与规划支九路相邻、北侧为康强路。

本项目工业 CT 拟放置于六合高新科技城 B1 幢一层扫描室内。B1 幢东侧为 B3 幢、B4 幢及园区道路，南侧、西侧均为园区道路，北侧为园区道路及 B2 幢。

扫描室东侧为园区道路、B3 幢；东侧偏南为 B4 幢；南侧为 B1 幢一层展厅，向外为园区道路；西南侧为 B1 幢一层其他人员活动用房，向外为园区道路；西侧为 B1 幢一层其他场所，向外为园区道路；西北侧及北侧为 B1 幢一层材料实验区等其他场所，向外为园区道路，道路北侧为 B2 幢，扫描室上方为 B1 幢 2~4 层，铅房正上方为 B1 幢 2 层“4m 大尺寸打印机工作区”；建筑下方为天然土层，无地下室。

本项目周围各方向 50m 范围内为六合高新科技城园区内 B1、B2、B3、B4 幢及园区内道路，无学校、宿舍、居民区等环境敏感目标；本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线与生态空间管控区域及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文

化和自然遗产地等环境敏感区。运行后环境保护目标主要是从事本项目辐射工作人员以及 B1、B2、B3、B4 幢建筑内其他工作人员及周围公众等。

本项目工业 CT 铅房布置于拟建扫描室内靠东部区域，紧邻铅房周边为扫描室内场所，操作位位于铅房西北侧，设备运行期间 X 射线主束由北向南（由左向右）照射，主束不照向操作位。本项目布局满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）的要求。本项目工作场所划分了控制区及监督区，控制台与铅房分开，区域划分明确，主射线方向已避开控制台方向，布局设计合理。

五、辐射环境现状评价

南京航空航天大学新增一台工业 CT 项目扫描室及其周围“室内”点位 γ 辐射空气吸收剂量率为（53.2~58.9）nGy/h，“道路”点位 γ 辐射空气吸收剂量率为 71.3nGy/h，测量结果均已扣除宇宙射线响应值，本项目拟建址周围环境点位 γ 辐射空气吸收剂量率均位于江苏省天然 γ 辐射水平涨落区间，属江苏省环境天然 γ 辐射正常水平。

六、辐射环境影响分析评价

根据预测结果可知，在落实本报告提出的各项辐射安全与防护措施的情况下，本项目投入运行后辐射工作人员和公众所受辐射剂量能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对职业人员和公众年有效剂量限值要求以及本项目管理目标限值要求（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），本项目铅房墙体和门的辐射屏蔽同时满足 GBZ117-2022 中规定的以下要求 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 μ Sv/周，对公众场所，其值应不大于 5 μ Sv/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 μ Sv/h。

七、“三废”的治理评价

本项目工作人员产生的生活污水，由园区统一处理；该台工业 CT 使用过程中分解产生的少量臭氧、氮氧化物等有害气体，通过动力排风装置排入室外大气；工作人员产生的生活垃圾，分类收集后交由园区环卫部门处理，“三废”经以上处理后对周围环境影响较小。

八、辐射安全措施评价

本项目工件防护门外表面拟设置有“当心电离辐射”警告标志；拟设置有门-机

联锁安全装置和紧急停机按钮；铅房外工件防护门上方拟设置清晰的显示“预备”“照射”状态的指示灯；拟在铅房内安装监视装置，拟在控制台设置专用的显示屏，辐射工作人员可方便监视铅房内扫描设备的运行情况和工件防护门内情况；拟在铅房南墙内侧设置1个固定式辐射探测报警装置探头，显示报警装置设置在方便工作人员观察的位置（铅房西墙外靠北）；辐射工作人员拟佩戴有个人剂量计和个人剂量报警仪；辐射工作人员在开展扫描工作前对该工业CT进行安全检查；定期检测拟建工业CT铅房外剂量率水平。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

九、辐射安全管理评价

学校已经制定《辐射安全与防护管理办法》，包含总则、组织与职责、辐射工作人员职责、工作场所的管理、放射性同位素和射线装置的管理、放射性废物的管理、事故的应急处置、事故责任的处理以及辐射事故应急预案。

学校拟根据本项目的特点建立健全相关制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备维修制度、人员培训计划和健康管理制度和监测方案等，经完善后能够满足本项目辐射安全管理要求。

十、辐射防护监测仪器评价

学校拟为本项目配备1台便携式辐射监测仪、2台个人剂量报警仪，用于辐射防护监测和报警，辐射工作人员均配备个人剂量计，工作时随身佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，符合要求。

综上所述，南京航空航天大学新增一台工业CT项目选址及布局合理，采取的辐射安全与防护措施适当，在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该项目的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，从辐射环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

1、该项目运行中，学校应加强对射线装置工作场所的管理，加强对辐射工作人员的操作技能和辐射防护安全的培训，严格遵守操作规程等辐射安全制度。

2、保证各项安全措施及辐射防护设施正常运行，确保各项安全防护措施和设施正常使用。

3、定期对辐射工作场所进行检查和监测，及时发现并排除事故隐患。

4、取得本项目环境批复后，应及时重新申领辐射安全许可证，并按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定，在 3 个月内完成竣工环境保护验收工作。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	验收要求	预计投资（万元）
辐射安全管理机构	已成立安全工作委员会，是学校的辐射安全与防护工作的领导机构，其下设的辐射安全与防护工作组具体负责辐射安全与防护管理工作，指定专人负责辐射安全与环境保护管理工作。学校拟根据本次新增一台工业 CT 项目制定相关文件，明确与本项目相关的辐射安全与环境保护管理人员及其职责，并将该项目辐射安全管理纳入学校的安管理工作之中。	已按要求成立辐射安全管理机构，负责辐射安全与环境保护管理工作	/
辐射安全和防护措施	铅房右侧（南侧主照射面）防护效果为 58mmPb，东面、西面、北面和屋顶防护效果为 38mmPb，底板（紧贴地面）。同时配套设置迷宫式线缆通道及通风口，避开主束的照射方向，防护效果为 38mmPb。	铅房表面外 30cm 处辐射剂量率能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）剂量率限值要求。 辐射工作人员及公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）和《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中关于“剂量限值”的要求，也符合本项目目标管理值的要求。（职业人员周有效剂量不超过 100μSv；公众周有效剂量不超过 5μSv。职业人员年有效剂量约束值 5mSv，公众年有效剂量约束值 0.1mSv）。	8
	设备操作台和 2 支 X 射线管组装体上设置与工件防护门联锁的接口，工件防护门设置与高压联动的门-机安全联锁装置；设置有软件联锁。	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中的要求。	4
	设备铅房西侧屏蔽门上设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置，并与工业 CT 设备联锁。		
	铅房内安装视频监控装置，在操作		

	台有专用的监视器，可监视探伤设备的运行情况。		
	铅房工件防护门外等显眼位置处张贴电离辐射警告标志和中文警示说明		
	拟在铅房外操作位、电控柜、工件防护门旁、铅房内手动操控盒各设置 1 个紧急停机按钮，铅房内部设置 3 个紧急停机按钮，按钮处上方张贴标签，标明使用方法。		
	本项目拟设置 2 个固定式辐射探测报警装置探头（铅房内南侧内墙 1 个，铅房正面（西侧铅房门）外 1 个），显示报警装置（剂量率显示主机）设置在电脑桌上方显眼位置。		
	屏蔽铅房内部设置为控制区，配备联锁装置，出束情况下禁止任何人员进入；本项目工业 CT 铅房周边工作人员工作场所为监督区，包括铅房东侧公辅设施区、南侧空地、铅房西侧工作人员操作位、通道和被扫描工件准备区、铅房北侧设备维护区。其中铅房东、南、北侧周边工作人员工作场所通过实体围墙分隔保证只能职业人员进入，公众无法进入，监督区边界拟张贴监督区警示标志防止无关人员误入造成不必要的电离辐射照射。	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中的要求。	2
人员配备	辐射工作人员拟及时通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台进行学习并通过考核，学校拟为本项目配置 2 名辐射工作人员和 1 名管理人员，2 名辐射工作人员拟取得辐射安全与防护考核合格成绩单方可上岗，考核专业为“X 射线探伤”1 名管理人员拟通过“辐射安全管理”专业考核，成绩有效期 5 年。	2 名辐射工作人员和 1 名管理人员已取得辐射安全与防护考核合格成绩单方可上岗。	1
	拟委托有资质的单位进行个人剂量监测，检测周期一般为 1 个月，最长不超过 3 个月。	委托有资质的单位进行个人剂量监测，检测周期每 3 个月 1 次。	
	学校拟为该项目配置 2 名辐射工作	2 名辐射工作人员已进行职业	

	人员进行职业健康体检，体检结果合格方可从事辐射相关工作，相关规定要求两次检查的时间间隔不应超过2年，并建立职业健康档案。	健康体检，体检结果合格方可从事辐射相关工作，两次检查的时间间隔不应超过2年，并建立职业健康档案。	
监测仪器	拟配备1台辐射巡测仪	按要求配置1台辐射巡测仪	0.5
	拟配备2台个人剂量报警仪	按要求配置2台个人剂量报警仪	
三废治理	工业CT扫描出束期间在铅房内部产生臭氧及氮氧化物，拟通过设置动力排风装置排至扫描室外，每小时通风换气约10次。	满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中的要求。	0.5
合计			16

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

下一级生态环境部门预审意见:

公章

经办人

年 月 日

审批意见:

公章

经办人

年 月 日