

核技术利用建设项目

河海大学
新建 1 台工业 CT 装置项目
环境影响报告表
(公示版)



生态环境部监制

核技术利用建设项目

河海大学
新建 1 台工业 CT 装置项目
环境影响报告表
(公示版)

建设单位名称: 河海大学

建设单位法人代表 (签字或签章):

郑金海

通讯地址: 江苏省南京市江宁区佛城西路 8 号

邮政编码:

联系人:

电子邮箱:

联系电话:

编制单位和编制人员情况表

项目编号	2fodh4		
建设项目名称	河海大学新建1台工业CT装置项目		
建设项目类别	55--172核技术利用建设项目		
环境影响评价文件类型	报告表		
一、建设单位情况			
单位名称 (盖章)	河海大学		
统一社会信用代码	121000004660068699		
法定代表人 (签章)	郑金海		
主要负责人 (签字)	刘瑾		
直接负责的主管人员 (签字)	马晓凡		
二、编制单位情况			
单位名称 (盖章)	江苏玖清玖蓝环保科技有限公司		
统一社会信用代码	91320105MA1MQU5T14		
三、编制人员情况			
1. 编制主持人			
姓名	职业资格证书管理号	信用编号	签字
吴小平	08353243507320555	BH001785	吴小平
2. 主要编制人员			
姓名	主要编写内容	信用编号	签字
畅雷	表1项目基本情况 表2放射源 表3非密封放射性物质 表4射线装置 表5废弃物 表6评价依据 表7保护目标与评价标准	BH054057	畅雷
吴小平	表8环境质量和辐射现状 表9项目工程分析与源项 表10辐射安全与防护 表11环境影响分析 表12辐射安全管理 表13结论与建议	BH001785	吴小平

姓名:

吴小平

Full Name

性别:

男

Sex

出生年月:

Date of Birth

专业类别:

Professional Type

批准日期:

Approval Date 2008年05月

持证人签名:

Signature of the Bearer

吴小平

管理号: 08353243507320555
File No.:

签发单位盖章:

Issued by

签发日期: 2008年07月29日

Issued on

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

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



编号: 0008447
No.:

编制主持人现场照片

拍照时间：2024 年 11 月 27 日

拍照地点：河海大学江宁校区（江苏省南京市江宁区佛城西路 8 号）

编制主持人：吴小平

职业资格证书管理号：08353243507320555



本项目建设单位



本项目拟建址

江苏省社会保险权益记录单
(参保单位)



请使用官方江苏智慧人社APP扫描验证

参保单位全称：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司

现参保地：建邺区

统一社会信用代码：91320105MA1MQU5T14

查询时间：202412-202502

共1页，第1页

单位参保险种		养老保险		工伤保险		失业保险	
缴费总人数		29		29		29	
序号	姓名	公民身份号码（社会保障号）		缴费起止年月		缴费月数	
1	吴小平			202412 - 202502		3	
2	畅雷			202412 - 202502		3	

说明：

1. 本权益单涉及单位及参保职工个人信息，单位应妥善保管。
2. 本权益单为打印时参保情况。
3. 本权益单已签具电子印章，不再加盖鲜章。
4. 本权益单记录单出具后有效期内（6个月），如需核对真伪，请使用江苏智慧人社APP，扫描右上方二维码进行验证（可多次验证）。



目录

表 1	项目基本概况	- 1 -
表 2	放射源	- 5 -
表 3	非密封放射性物质	- 5 -
表 4	射线装置	- 6 -
表 5	废弃物（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	- 10 -
表 8	环境质量和辐射现状	- 15 -
表 9	项目工程分析与源项	- 20 -
表 10	辐射安全与防护	- 24 -
表 11	环境影响分析	- 28 -
表 12	辐射安全管理	- 38 -
表 13	结论与建议	- 42 -
表 14	审批	- 48 -

附图：

附图 1 河海大学江宁校区地理位置图

附图 2 河海大学江宁校区平面布局及周围环境示意图

附图 3 河海大学江宁校区局部平面布局示意图

附图 4 河海大学校区笃学楼一层平面布局示意图

附图 5 河海大学校区笃学楼二层平面布局示意图

附图 6 本项目工业 CT 装置设计示意图

附件：

附件 1 项目委托书

附件 2 射线装置使用承诺书

附件 3 屏蔽设计说明

附件 4 辐射环境现状检测报告复印件

附件 5 X 射线管参数说明

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新建 1 台工业 CT 装置项目			
建设单位		河海大学			
法人代表姓名	郑金海	联系人		联系电话	
注册地址		江苏省南京市鼓楼区西康路 1 号			
项目建设地点		江苏省南京市江宁区佛城西路 8 号笃学楼西部 1 层岩土体分析室			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资（万元）	360	项目环保总投资（万元）	15	投资比例（环保投资/总投资）	4.17%
项目性质		☒ 新建 ☐ 改建 ☐ 扩建 ☐ 其他			占地面积（m ² ） /
应用类型	放射源	☐ 销售	☐ I类 ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
		☐ 使用	☐ I类（医疗使用） ☐ II类 ☐ III类 ☐ IV类 ☐ V类		
	非密封放射性物质	☐ 生产	☐ 制备 PET 用放射性药物		
		☐ 销售	/		
		☐ 使用	☐ 乙 ☐ 丙		
	射线装置	☐ 生产	☐ II类 ☐ III类		
		☐ 销售	☐ II类 ☐ III类		
		☒ 使用	☒ II类 ☐ III类		
	其他	/			

1 建设单位基本情况、项目建设规模、任务由来

1.1 建设单位基本情况

河海大学（以下简称“学校”）是以水利为特色，工科为主，多学科协调发展的教育部直属全国重点大学，是实施国家“211 工程”重点建设、国家优势学科创新平台建设、“双一流”建设以及教育部批准设立研究生院的高校。在水旱灾害防御、国家水网重大工程建设、河湖生态环境治理、智慧水利建设、新能源开发等重点领域，紧密结合三峡工程、南水北调工程、西南水电开发、流域综合治理等重大工程建设管理，承担了一大批国家层面重点、重大研究计划和科研项目，实现一系列引领性、原创性和标志性成果产出。

学校注册地址位于江苏省南京市鼓楼区西康路 1 号，在南京市、常州市设有西康路校区、江宁校区和常州校区，本项目建设地址位于江宁校区。

1.2 项目规模及任务由来

为服务国家深入实施创新驱动发展等重大战略，培养水利高层次创新创业人才，发展水利科技创新，建设高能级创新实践平台，河海大学拟进行“多尺度高分辨 X 射线三维数字岩心成像分析系统”建设，拟在江宁校区笃学楼 1 层岩土体分析室内配备 1 台 nanoVoxel 4561 型工业 CT 装置，服务岩土体宏微观结构探测与研究，为水利水电工程、土木交通工程、地质灾害防治工程等国家重点工程提供技术支持。主要检测样品为岩土体材料，包括：天然岩石、天然土体、工程混凝土、人工重塑土体等，样品形状为直径 5mm-200mm 圆柱体及边长 5mm-150mm 长方体，厚度为 5mm-200mm。

本项目工业 CT 装置工作时主射线朝东照射，装置工件门拟朝南摆放在岩土体分析室内。学校拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，设备年开机曝光时间约为 300 小时。

本次评价核技术应用项目情况一览表见下表 1-1：

表 1-1 河海大学本次评价核技术应用情况一览表

序号	射线装置名称 型号	数量	最大管电 压 kV	最大管电 流 mA	额定功 率 W	射线装 置类别	工作场所 名称	备注
1	nanoVoxel 4561 型工业 CT 装置	1	300	3	350	II	江宁校区岩土 体分析室	主射线朝 东照射

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》及《建设项目环境影响评价分类管理名录》等法律法规的规定，本项目使用 II 类射线装置，应当编制环境影响评价报告表。受河海大学委托，江苏玖清玖蓝环保科技有限公司承担该项目的环境影响评价工作。我公司通过资料调研、现场监测和评价分析，编制该项目环境影响报告表。

2 项目周边保护目标及项目选址情况

河海大学江宁校区位于江苏省南京市江宁区佛城西路 8 号，地理位置图见附图 1。学校江宁校区东侧为居民区及将军大道，南侧为佛城西路，西侧及北侧为康厚街，学校江宁校区平面布局及周围环境示意图见附图 2，局部平面布局见附图 3。

本项目工业 CT 装置拟建于学校江宁校区笃学楼西部 1 层岩土体分析室内，笃学楼东部为 2 层建筑，西部为 12 层建筑，局部为 13 层建筑。岩土体分析室东侧为低场核磁共振分析室、大厅、茶水间、会议室、实验室、消防控制室及架空通道，南侧为水

井、走廊、地下水渗流分析室、校内道路及乐学楼，西侧为配电间、走廊、测井分析室、电气设备间、校内道路及康厚街，北侧为卫生间、楼梯间、电梯间、走廊、地质灾害防治模拟分析室、校内道路及节水园（实验田），正上方 2~5 层、12 层均为实验室，6、7、9 层为会议室，8、10、11 层为研究生工作室，13 层为配电间，正下方无建筑。河海大学笃学楼 1 层及 2 层平面布局图见附图 4、附图 5。

本项目工业 CT 装置周围 50m 范围内没有居民区、医院等环境敏感目标，评价范围内涉及建筑为学校的笃学楼及乐学楼，主要为校内学生和教职工从事科研实验的场所，距离校内教学楼、生活区都在 160m 以上。本项目辐射环境保护目标主要为辐射工作人员及装置周围评价范围内的公众。

3 建设单位已有核技术利用项目许可情况

河海大学尚未申领辐射安全许可证，本项目为该单位首次开展核技术利用项目。

4 实践正当性分析

本项目在运行期间将会产生电离辐射，可能会增加工业 CT 装置拟建址周围的辐射水平，但采取各种屏蔽措施和管理措施后可得到有效的控制，其对周围环境的辐射影响能够满足标准要求。本项目的建设可实现以下目标：

在技术层面上，从微观尺度上快速获取岩土体的颗粒形态、尺寸分布、孔隙构成等结构特征，分析应力-应变-渗流-温度等多物理场耦合作用下岩土体内部结构变化，以三维地质智能建模、工程方案智能比选、多场数据智能获取，实现重大工程智能化设计、施工、监测与评价，为我国水利、电力、交通、能源相关工程提供有效的理论依据和科学支撑。

在应用领域上，面向国家战略需求和重大水利水电工程、交通工程等，解决工程地质、水文地质及环境地质领域前沿科学技术问题。在地质体稳定性、地质工程安全监控、水文地质、地质环境与地质灾害、工程地下水、地下水资源与环境、岩土体边坡生态修复等方向领域开展关键技术研究，从而有效支撑未来科学研究、人才培养与地区发展面临的重大技术难题，服务地区经济与社会发展，在水利、电力、交通、国土、能源等相关行业进一步发挥重要作用。

本项目的建设将满足学校实现岩土体宏微观结构探测与研究的需求，发展水利科技创新，建设高能级创新实践平台，创造更大的经济效益和社会效益，在落实辐射安全与防护管理措施后，其带来的效益远大于可能对环境造成的影响，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）“实践的正当性”的原则。

5 产业政策相符性分析

本项目利用工业 CT 装置对岩土体材料进行宏微观结构探测与研究，对照《产业结构调整指导目录（2024 年本）》（2023 年国家发展改革委令第 7 号）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。

表 2 放射源

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

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》（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

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	工业 CT 装置	II类	1	nanoVoxel 4561 型	300	3	无损检测	江宁校区岩 土体分析室	主射线朝东 射；额定功率 350W
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电 压 (kV)	最大靶电 流 (μA)	中子强 度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	少量	少量	/	不暂存	通过通风口排入岩土体分析室内，最终通过岩土体分析室排风系统排入外环境，臭氧常温下 50min 可自行分解为氧气，对环境影响较小
/	/	/	/	/	/	/	/	/
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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》(2014 年修订版)，国家主席令第 9 号公布，2015 年 1 月 1 日施行 (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018 年修正版)，2018 年 12 月 29 日中华人民共和国主席令第 24 号公布实施，2018 年 12 月 29 日修订，2018 年 12 月 29 日起施行 (3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，国家主席令第 6 号公布，2003 年 10 月 1 日起施行 (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 日发布施行 (5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》(2019 年修订版)，国务院令第 449 号，2005 年 12 月 1 日起施行；2019 年修订，国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日起施行 (6) 《产业结构调整指导目录(2024 年本)》，国家发展改革委令第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行 (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，自 2021 年 1 月 1 日起施行 (8) 《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 6 日起施行 (9) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》(2021 年修正版)，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日起施行 (10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，环境保护部令第 18 号，2011 年 5 月 1 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) 《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 (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) 《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 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) 《江苏省辐射污染防治条例》(2018 年修订版), 江苏省第十三届人民代表大会常务委员会公告第 2 号, 2018 年 5 月 1 日起施行 (17) 《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 (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) 《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) 《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 11 月 9 日
技术标准	(1) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》(HJ 2.1-2016) (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》(HJ10.1-2016) (3) 《环境影响评价技术导则 生态影响》(HJ 19-2022) (4) 《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021) (5) 《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》(HJ 1157-2021) (6) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) (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/T 250-2014) 及第 1 号修改单 (9) 《职业性外照射个人监测规范》(GBZ128-2019) (10) 《无损检测仪器 1MV 以下 X 射线设备的辐射防护规划第 3 部分: 450kV 以下 X 射线设备辐射防护的计算公式和图表》(GB/Z41476.3-2022)
其它	与本项目相关附件: (1) 项目委托书(附件 1) (2) 射线装置使用承诺书(附件 2) (3) 屏蔽设计说明(附件 3) (4) 辐射环境现状检测报告复印件(附件 4) (5) X 射线管参数说明(附件 5)

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”相关规定，确定本项目评价范围为工业 CT 装置边界外 50m 区域。

保护目标

本项目评价范围内不涉及自然保护区、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）及《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），本项目评价范围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。对照《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），本项目评价范围内不涉及受影响的重要物种、生态敏感区以及其他需要保护的物种、种群、生物群落及生态空间等生态保护目标。

本项目利用 X 射线进行无损检测，占用资源少，不会降低评价范围内的水、气、土壤的环境功能类别和环境质量，符合“三线一单”相关要求。本项目工业 CT 装置周围 50m 范围内没有居民区、医院等环境敏感目标，评价范围内涉及建筑为笃学楼及乐学楼，主要为校内学生和教职工从事科研实验的场所，本项目环境保护目标主要为辐射工作人员、工业 CT 装置周围评价范围内的公众。

表 7-1 本项目工业 CT 装置评价范围内保护目标一览表

保护目标名称	保护目标位置		方位	最近距离	规模	环境保护要求
辐射工作人员	岩土体分析室		四周	紧邻	2 人	职业人员年剂量约束值 5mSv/a
公众	笃学楼	低场核磁共振分析室	东侧	约 0.5m	2 人	公众人员年剂量约束值 0.1mSv/a
		水井、走廊	南侧	约 0.5m	流动人员	
		配电间	西侧	约 1.2m	流动人员	
		卫生间、楼梯间	北侧	约 1.2m	流动人员	
		其他场所	四周及楼上 2~13 层	约 0.5m	约 300 人	
	乐学楼		南侧	约 28m	约 200 人	
	康厚街		西侧	约 43m	流动人员	
	节水园		北侧	约 40m	流动人员	
	校内道路		四周	约 13m	流动人员	

1 剂量限值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

表 7-2 工作人员职业照射和公众照射剂量限值

/	剂量限值
职业照射 剂量限值	工作人员所接受的职业照射水平不应超过下述限值： ①由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv； ②任何一年中的有效剂量，50mSv。
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： ①年有效剂量，1mSv； 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。

2 剂量约束值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中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。确定本项目辐射工作人员及公众的剂量约束值如下：

（1）辐射工作人员年剂量约束值取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员年剂量限值的1/4，即职业人员年剂量约束值不大于**5mSv/a**；

（2）公众年剂量约束值取《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中公众照射剂量限值的10%，即公众年剂量约束值不大于**0.1mSv/a**。

3 辐射剂量率控制水平

根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

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 GB18871 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 100μSv/周，对公众场所，其值应不大于 5μSv/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 2.5μSv/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 μ Sv/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 GB18871 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。

6.3 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。

f) 清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）

3.1 探伤室辐射屏蔽的剂量参考控制水平

3.1.1 探伤室墙和入口处周围剂量当量率（以下简称剂量率）和每周剂量当量（以下简称周剂量）应满足下列要求：

周剂量参考控制水平（ H_c ）和导出剂量率参考控制水平（ $\dot{H}_{c,d}$ ）：

人员在关注点的周剂量参考控制水平 H_c 如下：

职业工作人员： $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$ ；

公众： $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$ 。

关注点最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,\max}$ ： $\dot{H}_{c,\max} = 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$

关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ： $\dot{H}_c$ 为上述 a) 中 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的 $\dot{H}_{c,\max}$ 二者的较小者。

3.1.2 探伤室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

探伤室上方已建、拟建建筑物或者探伤室旁邻建筑物在自然辐射源点到探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时，距探伤室顶外表面 30cm 处和（或）在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处，辐射屏蔽的剂量参考控制水平同 3.1.1。

除 3.1.2 a) 的条件外，应考虑下列情况：

穿过探伤室顶的辐射与室顶上方空气作用产生的散射辐射对探伤室外地面附近公众的照射。该项辐射和穿出探伤室墙的透射辐射在相应关注点的剂量率总和，应按 3.1.1 c) 的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) 加以控制。

对不需要人员到达的探伤室顶，探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平通常可取为 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

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，不需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，当它们的屏蔽厚度相差一个什值层厚度 (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)。

3.3 其他要求

3.3.1 探伤室一般应设有人员门和单独的工件门。对于探伤可人工搬运的小型工件探伤室，可以仅设人员门。探伤室人员门宜采用迷路形式。

3.3.2 探伤装置的控制室应置于探伤室外，控制室和人员门应避开有用线束照射的方向。

3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。

3.3.4 当探伤室使用多台 X 射线探伤装置时，按最高管电压和相应该管电压下的常用最大管电流设计屏蔽。

3.3.5 应考虑探伤室结构、建筑费用及所占空间，常用的材料为混凝土、铅和钢板等。

确定本项目关注点剂量率参考控制水平：

(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 μ Sv/周**，对公众场所，其值不大于 **5 μ Sv/周**。

(2) 工业 CT 装置屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平不大于 **2.5 μ Sv/h**。本项目工业 CT 装置曝光室上方在自辐射源点到曝光室顶内表面边缘所张立体角区域内存在已建建筑物，故装置顶部外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平不大于 **2.5 μ Sv/h**。

4 环境天然 γ 辐射水平参考值

参考《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。

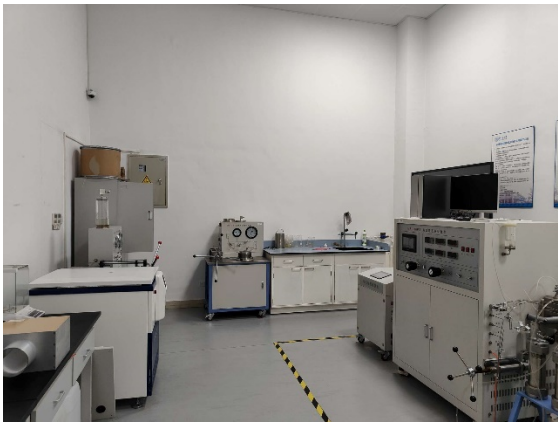
表 7-3 江苏省环境天然 γ 辐射水平（单位：nGy/h）

/	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，参考测值范围进行评价。

表 8 环境质量和辐射现状

1 项目地理和场所位置 河海大学江宁校区位于江苏省南京市江宁区佛城西路 8 号，地理位置图见附图 1。学校江宁校区东侧为居民区及将军大道，南侧为佛城西路，西侧及北侧为康厚街，学校江宁校区平面布局及周围环境示意图见附图 2，局部平面布局见附图 3。 本项目工业 CT 装置拟建于学校江宁校区笃学楼西部 1 层岩土体分析室内，笃学楼东部为 2 层建筑，西部为 12 层建筑，局部为 13 层建筑。岩土体分析室东侧为低场核磁共振分析室、大厅、茶水间、会议室、实验室、消防控制室及架空通道，南侧为水井、走廊、地下水渗流分析室、校内道路及乐学楼，西侧为配电间、走廊、测井分析室、电气设备间、校内道路及康厚街，北侧为卫生间、楼梯间、电梯间、走廊、地质灾害防治模拟分析室、校内道路及节水园（实验田），正上方 2~5 层、12 层均为实验室，6、7、9 层为会议室，8、10、11 层为研究生工作室，13 层为配电间，正下方无建筑。河海大学笃学楼 1 层及 2 层平面布局图见附图 4、附图 5。 本项目工业 CT 装置周围 50m 范围内没有居民区、医院等环境敏感目标，评价范围内涉及建筑为笃学楼及乐学楼，主要为校内学生和教职工从事科研实验的场所，距离校内教学楼、生活区都在 160m 以上。本项目辐射环境保护目标主要为辐射工作人员及装置周围评价范围内的公众。 本项目工业 CT 装置拟建址周围环境现状见图 8-1。	
	
拟建址东侧（低场核磁共振分析室）	拟建址南侧（走廊）

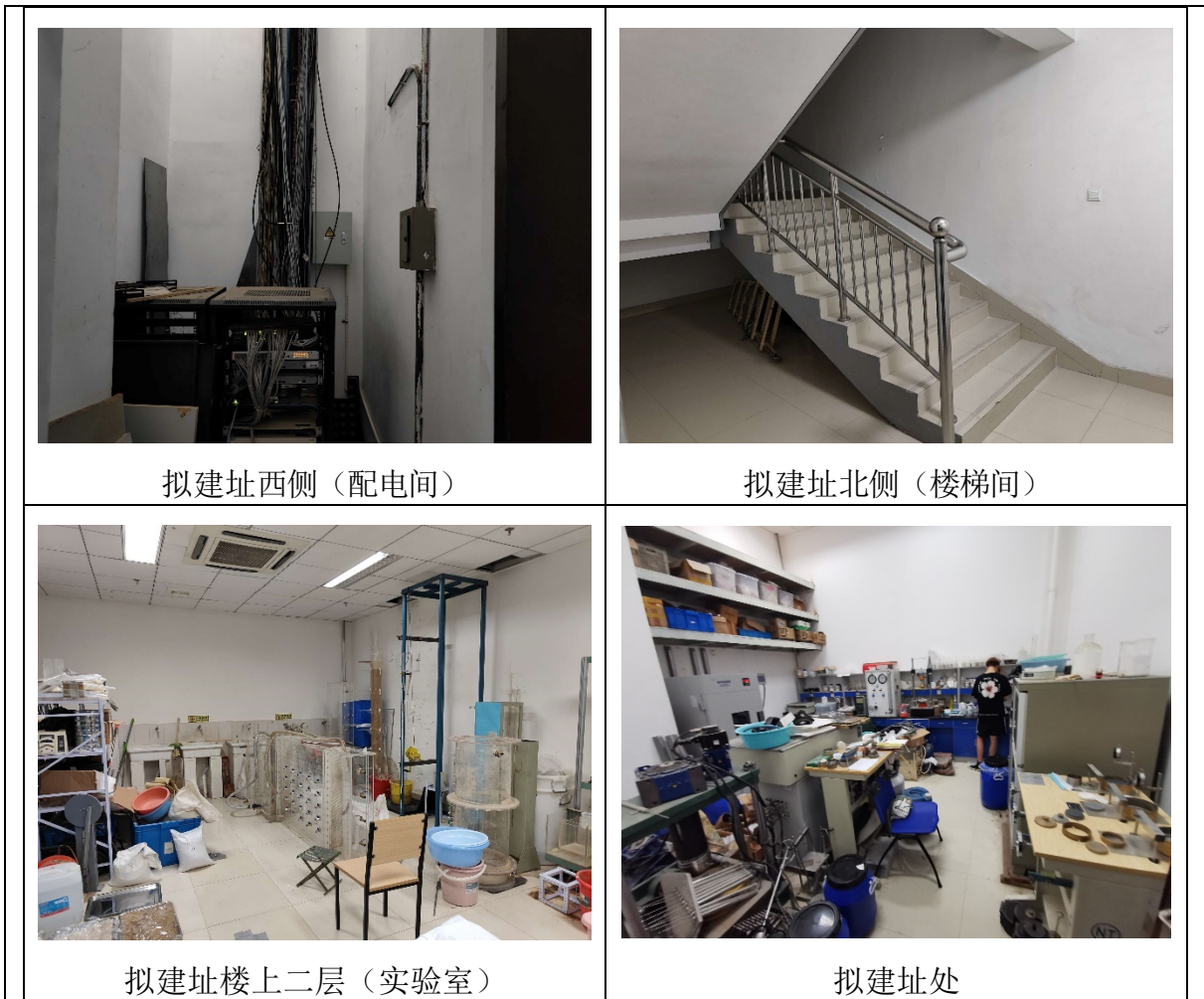


图 8-1 本项目工业 CT 装置拟建址周围环境现状

2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

评价对象：工业 CT 装置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：在工业 CT 装置拟建址周围布置监测点位，共计 9 个监测点位

3 监测方案、质量保证措施及监测结果

3.1 监测方案

检测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司

检测仪器：FH40G 型多功能辐射测量仪（探头型号 FHZ672E-10）（设备编号：J2718，检定有效期：2024.5.21~2025.5.20，检测范围：1nSv/h~100 μ Sv/h，能量响应：48keV~4.4MeV）

环境条件：天气：晴 温度：37°C 湿度：43%RH

监测项目： γ 辐射空气吸收剂量率

监测布点：在工业 CT 装置拟建址及周围进行布点，具体点位见图 8-2 及图 8-3

监测时间：2024 年 7 月 29 日

监测方法：《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

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。每组数据计算每个点位的平均值并计算方差。根据《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021），本项目空气比释动能和周围剂量当量的换算系数参照《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）中 5.5，使用 ^{137}Cs 作为检定/校准参考辐射源，换算系数取 1.20Sv/Gy

3.2 质量保证措施

监测单位：江苏玖清玖蓝环保科技有限公司，公司已通过检验检测机构资质认定

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：本项目监测按照《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检测上岗证，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测报告实行三级审核。

3.3 监测结果

评价方法：对照江苏省环境天然 γ 辐射水平调查结果进行评价，监测结果见表 8-1，详细检测结果见附件 4。

表 8-1 本项目工业 CT 装置拟建址及周围 γ 辐射水平测量结果

测点编号	测点位置描述	测量结果(nGy/h)	备注
1	工业 CT 装置拟建址处	110	楼房
2	工业 CT 装置拟建址东侧（低场核磁共振分析室内）	108	楼房
3	工业 CT 装置拟建址南侧（走廊）	116	楼房
4	工业 CT 装置拟建址西侧（配电间）	112	楼房
5	工业 CT 装置拟建址北侧（楼梯间）	109	楼房
6	工业 CT 装置拟建址楼上二层实验室	106	楼房
7	拟建址东侧（雅学楼内）	108	楼房
8	拟建址南侧（乐学楼内）	111	楼房
9	拟建址北侧（节水园外）	101	道路

注：测量数据已扣除仪器宇宙射线响应值。建筑物对宇宙射线屏蔽修正因子楼房取 0.8，道路取 1。

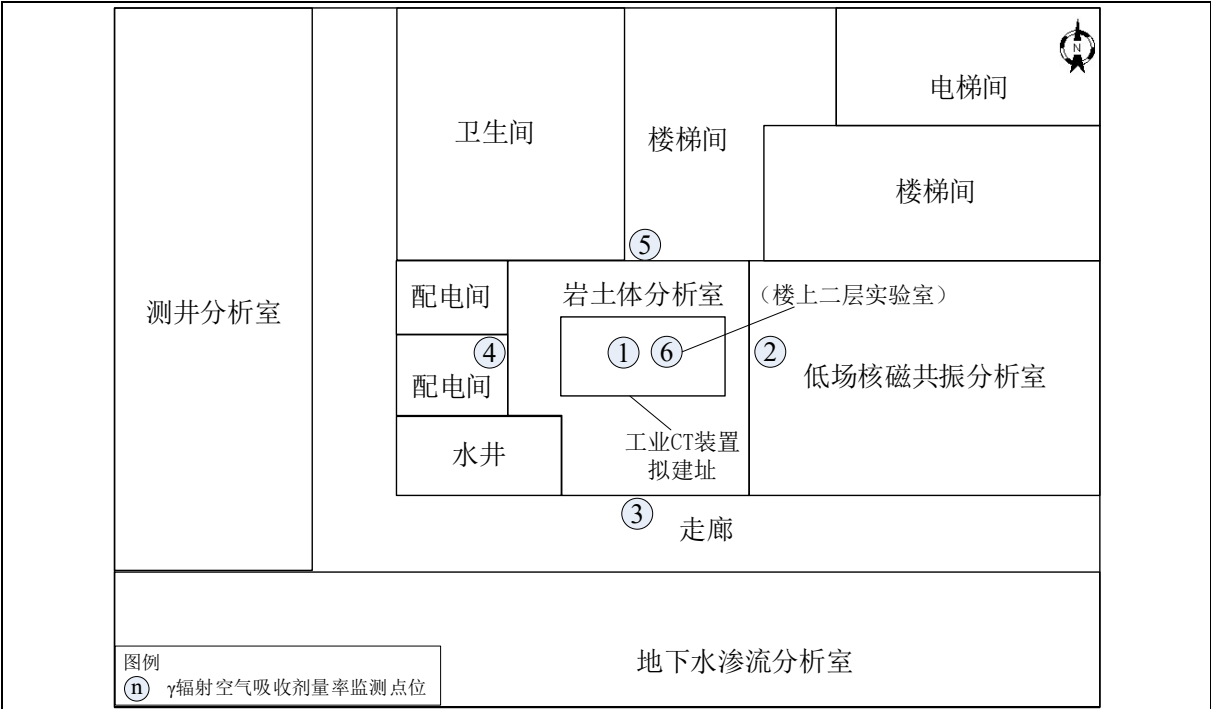


图 8-2 本项目工业 CT 装置拟建址周围环境 γ 辐射空气吸收剂量监测点位示意图 1

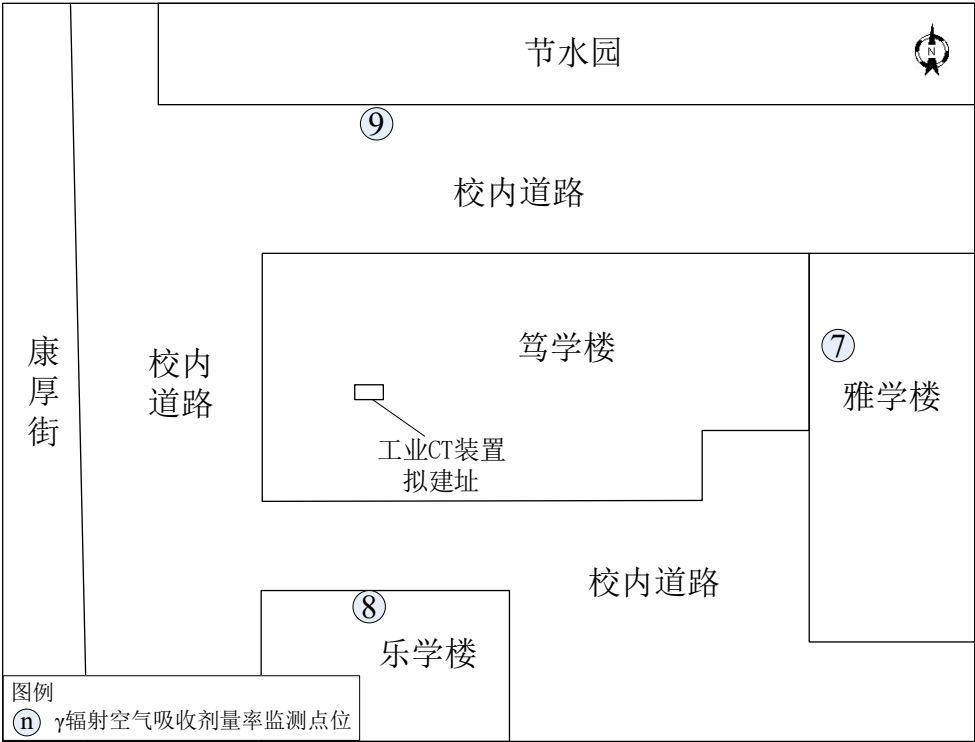


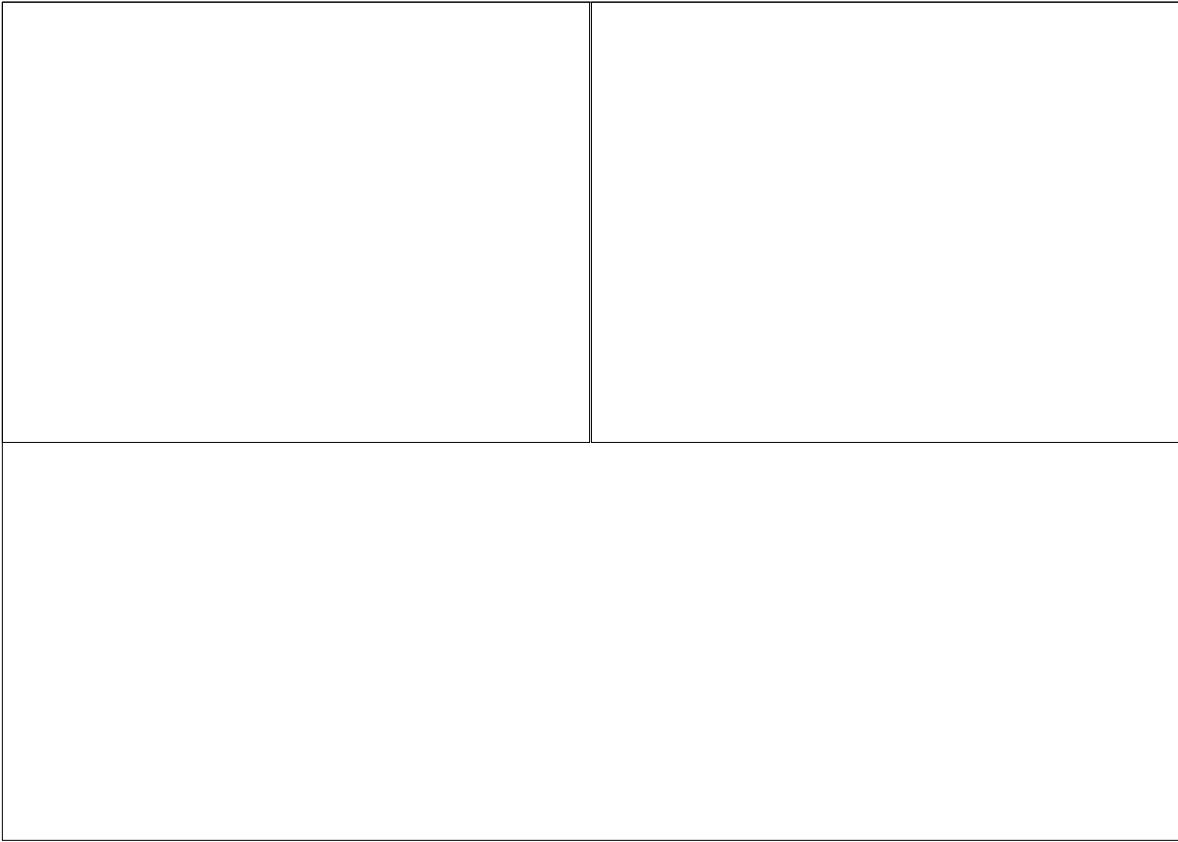
图 8-3 本项目工业 CT 装置拟建址周围环境 γ 辐射空气吸收剂量监测点位示意图 2

4 环境现状调查结果评价

从现场监测结果可知，本项目工业 CT 装置拟建址及周围环境扣除仪器宇宙射线响应值后的室内 γ 辐射水平为（106~116）nGy/h，室外道路 γ 辐射水平为 101nGy/h，根据《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)，江苏省扣除仪器宇宙射线响应值后的室内 γ 辐射水平为（50.7~129.4）nGy/h，室外道路 γ 辐射水平为（18.1~102.3）nGy/h，本项目工业 CT 装置拟建址周围室内外监测点位 γ 辐射水平处于江苏省环境天然 γ 辐射水平室内、室外道路测值范围内，属于正常辐射水平。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备与工艺分析 1 工程设备 由于研究需要，河海大学拟进行“多尺度高分辨 X 射线三维数字岩心成像分析系统”建设，拟在江宁校区笃学楼 1 层岩土体分析室内配备 1 台 nanoVoxel 4561 型工业 CT 装置，服务岩土体宏微观结构探测与研究，为水利水电工程、土木交通工程、地质灾害防治工程等国家重点工程提供技术支持。主要检测样品为岩土体材料，包括：天然岩石、天然土体、工程混凝土、人工重塑土体等，样品形状为直径 5mm-200mm 圆柱体及边长 5mm-150mm 长方体，厚度为 5mm-200mm。 本项目 nanoVoxel 4561 型工业 CT 装置最大管电压为 300kV，最大管电流为 3mA，额定功率为 350W，工作时主射线朝东照射，装置工件门拟朝南摆放在岩土体分析室内。本项目工业 CT 装置结构图见图 9-1。 学校拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，设备年开机曝光时间约为 300 小时。	
	
图 9-1 本项目工业 CT 装置结构图 本项目工业 CT 装置主要由 X 射线管、样品台、平板接收器、观察窗、工件门、	

维修门及工作状态指示灯等组成。本项目工业 CT 装置 X 射线管出束角为 30°，射线管可在竖直方向上下移动，移动范围为 600mm，在水平方向左右、前后均不可移动。X 射线管离顶部的最近距离约为 676mm，离底部的最近距离为 890mm，离东侧的最近距离约为 2276mm，离西侧的最近距离约为 1380mm，离南侧的最近距离约为 754mm，离北侧的最近距离约为 899mm。本项目工业 CT 装置参数见表 9-1。

表 9-1 本项目工业 CT 装置参数一览表

设备型号	nanoVoxel 4561 型工业 CT 装置
最大管电压	
最大管电流	
额定功率	
出束角度	
滤过条件	
阳极靶材料	

2 工作原理

2.1 X 射线产生工作原理

工业 CT 装置核心部件是 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。常见典型的 X 射线管结构图见图 9-2。

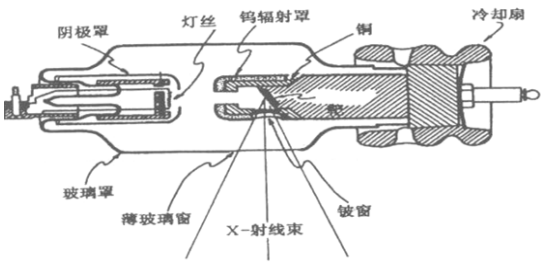


图 9-2 典型的 X 射线管结构图

2.2 工业 CT 装置工作原理

工业 CT 系统通常由射线源、机械扫描系统与自动控制系统、探测器系统及数据采集系统、计算机系统、辅助系统等组成。其中，最核心的原理是：计算机控制射线源发出射线束，数控扫描平台承载被测物体，可以在计算机控制下移动或旋转，平板探测器则负责采集扫描数据；屏蔽设施确保射线不外泄以及扫描过程的安全；最后，计算机通过采集到的投影数据重建工业 CT 切片图像，并对图像中存在的缺陷进行分

类。X 射线以光速直线传播，不受电场和磁场的影响，可穿透物质，在穿通过程中有衰减，X 射线无损检测的实质是根据被检验样品与其内部介质对射线能量衰减程度不同，从而引起射线透过被检样品后强度差异。X 射线无损检测过程中，由于被检样品内部结构密度不同，其对射线的阻挡能力也不一样，物质的密度越大，射线强度减弱越大，从而可以从图像上的差异判断被检样品内部的细微结构等。

工业 CT 装置可实现样品三维微观结构的扫描，在不破坏样品状态的情况下三维数字化直观描述金属样品的内部结构，如孔隙度分布、密度变化、夹杂分布及大小，裂缝、孔洞等，并能为所检测样品进行三维尺寸测量，为产品研发、制造提供可靠数据。

3 工业 CT 装置工作流程及产污环节

辐射工作人员将待检样品通过工件门送至曝光室样品台上进行检测，关闭工件门后，辐射工作人员在操作台处进行操作，在对被测样品无损伤条件下，清晰、准确、直观地展示被检测样品的内部结构，其工作流程如下：

- （1）辐射工作人员在开展检测工作前对工业 CT 装置进行检查，重点检查安全联锁、报警设备和警示灯等安全防护措施是否运行正常；
- （2）确认各项安全防护措施正常后，打开工件门，将被检测样品放至样品台上（人员摆放样品无需进入曝光室内）；
- （3）关闭工件门，辐射工作人员首先在操作台处通过控制系统调整样品台至合适位置，然后开启工业 CT 装置进行检测，检测过程中会产生 X 射线及少量 O_3 、 NO_x ；
- （4）通过操作台处的显像器对被测样品的内部结构进行分析；
- （5）检测完成后，关机，打开工件门，将被测样品运出曝光室。

本项目工业 CT 装置工作流程及产污环节示意图见图 9-3。

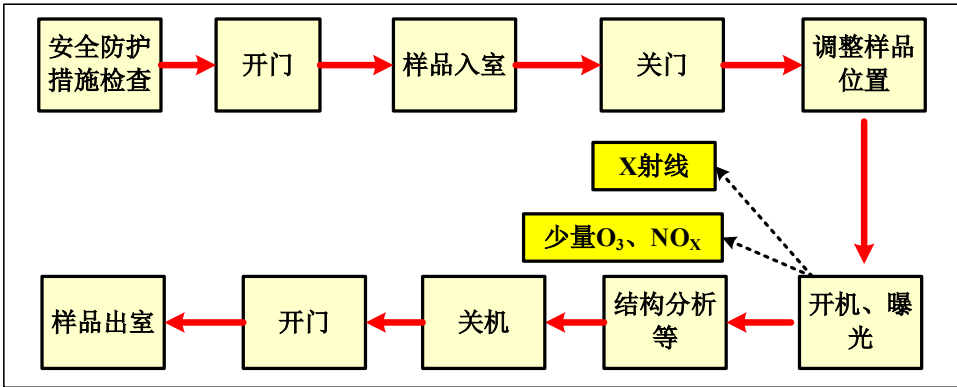


图 9-3 本项目工业 CT 装置工作流程及产污环节分析示意图

4 工作人员配置及工作机制

学校拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，设备年开机曝光时间约为 300 小时。本项目拟采取一班制工作制。

污染源项描述

1 放射性污染源分析

由工业 CT 装置工作原理可知，只有 X 射线装置在开机并处于出束状态时才会发出 X 射线，对曝光室外工作人员和公众产生一定外照射，因此工业 CT 装置在开机检测期间，X 射线是项目主要污染物。本项目 X 射线辐射类型主要分为以下三类：

有用线束辐射：X 射线机发出的用于样品检测的辐射束，又称为主射线束。根据生产单位提供材料（附件 5），本项目工业 CT 装置 X 射线管滤过条件为 3mmAl，参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 B.1，300kV 的 X 射线管滤过条件为 3mmAl 时，1m 处的输出量为 $20.9\text{mGy}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{min})$ 。

漏射线辐射：由辐射源点在各个方向上从屏蔽装置中泄漏出来的射线称为漏射线。根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 1，本项目距 X 射线机辐射源点（靶点）1m 处的泄漏辐射剂量率为 $5\times 10^3\mu\text{Sv/h}$ 。

散射线辐射：当主射线照射到检测样品时，会产生散布于各个方面上的散射辐射，参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）表 2，300kV 的 X 射线 90°散射辐射最高能量对应的 kV 值为 200kV。详细参数见表 9-1。

表 9-1 本项目工业 CT 装置参数一览表

设备型号	nanoVoxel 4561 型工业 CT 装置
最大管电压	
最大管电流	
额定功率	
滤过条件	
X 射线机的发射率常数	
泄漏辐射剂量率	
90°散射后最高能量对应的 kV 值	

2 非放射性污染源分析

工业 CT 装置在工作状态时，产生的 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物。

本项目辐射工作人员在工作过程中将产生生活污水和一般生活垃圾。

表 10 辐射安全与防护

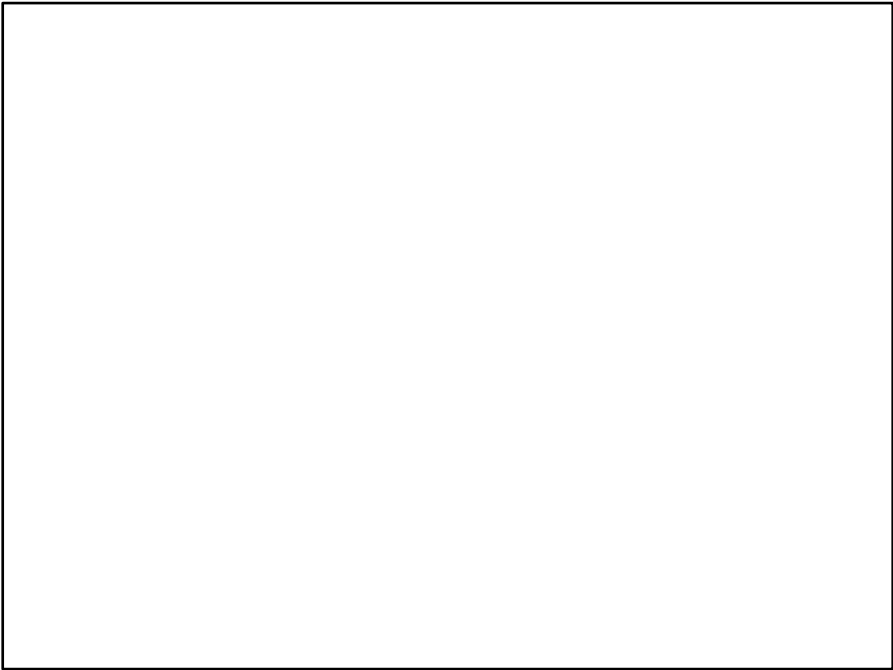
项目安全措施 1 项目布局及分区合理性分析 河海大学新建 1 台工业 CT 装置项目包括曝光室和操作台等，工作时主射线朝东照射，操作台位于曝光室南侧，操作台避开了 X 射线主射线方向，工业 CT 装置布局设计满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中关于操作台与曝光室分开设置及操作台应避开有用线束照射方向的要求，本项目布局设计合理。 本项目拟将工业 CT 装置曝光室作为本项目的辐射防护控制区（图 10-1 中红色阴影），在曝光室表面明显位置设置电离辐射警告标志及中文警示说明，工作时任何人不得进入；将岩土体分析室除曝光室外的其他区域作为辐射防护监督区（图 10-1 中蓝色阴影），岩土体分析室入口悬挂“无关人员禁止入内”警告牌和监督区标牌，并设置明显的电离辐射警示标志和警告标语，工作时无关人等不得靠近。 本项目工业 CT 装置平面布局及分区图见图 10-1，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。  图10-1 本项目工业CT装置平面布局及分区图 2 辐射屏蔽设计 本项目工业 CT 装置曝光室屏蔽防护设计见表 10-1，屏蔽设计见附图 6。
--

表 10-1 本项目工业 CT 装置曝光室屏蔽设计参数一览表

工业 CT 装置 型号	曝光室屏蔽参数		外尺寸参数	主射线 方向
	防护材料	厚度		
nanoVoxel 4561 型	东侧屏蔽体			主射线朝 东照射
	南侧屏蔽体			
	西侧屏蔽体			
	北侧屏蔽体			
	顶部屏蔽体			
	底部屏蔽体			
	工件门（南侧）			
	维修门（北侧）			
	观察窗			
	电缆口铅罩（西侧）			
	通风口铅罩（西侧）			

3 辐射安全措施设计

为确保辐射安全，保障工业 CT 装置安全运行，本项目拟设置相应的辐射安全装置和保护措施。

3.1 辐射防护措施

（1）工业 CT 装置曝光室南侧、操作台及电气柜南侧拟各设置 1 个急停按钮，按钮带有标签，标明使用方法。

（2）电气柜处拟设置钥匙开关，只有在打开钥匙开关后，X 射线管才能出束；钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。

（3）工业 CT 装置的曝光室顶部外拟设置工作状态指示灯，并拟与 X 射线管联锁。装置工作时，警示灯开启，警告无关人员勿靠近装置或在装置附近做不必要的逗留。工作状态指示灯绿色表示设备处于准备状态，黄色表示设备联锁就绪，红色表示设备正常出束。曝光室表面拟设置对“预备”和“照射”信号意义的清晰说明。

（4）工业 CT 装置的曝光室工件门及维修门拟设置门机联锁装置，只有当工件门及维修门完全关闭后 X 射线才能出束，任何一扇门打开时立即停止 X 射线照射，关上门不能自动开始 X 射线照射。

（5）工业 CT 装置曝光室表面明显位置拟设置“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及警示说明，提醒无关人员勿在其附近逗留。

(6) 工业 CT 装置曝光室设有观察窗，辐射工作人员可通过观察窗监视设备运行情况，故曝光室内未设置视频监控。

(7) 工业 CT 装置曝光室屏蔽体南侧拟设固定式辐射探测报警装置，在操作台处拟设置专用的显示屏，可了解 X 射线管是否正常出束。

(8) 本项目曝光室西侧拟设机械通风装置，曝光室体积约为 14m^3 ，通风装置的通风量约为 $180\text{m}^3/\text{h}$ ，每小时通风换气次数约为 12 次，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中曝光室每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。

(9) 正常运行情况下人员摆放样品无需进入装置内部，故装置内未设置急停按钮及工作状态指示灯等措施。

本项目辐射安全措施平面布局示意图见图 10-2。

图 10-2 本项目辐射安全措施平面布局示意图

3.2 操作防护措施

(1) 辐射工作人员在开展检测工作前拟按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 5.1.2 要求对工业 CT 装置进行检查，重点检查安全联锁和警示灯等是否运行正常。

(2) 正常使用工业 CT 装置时拟检查防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护措施。

(3) 辐射工作人员在进入岩土体分析室时，除佩戴常规个人剂量计外，还拟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，辐射工作人员应立即退出岩土体分析室，同时防止其他人进入岩土体分析室，并立即向辐射防护负责人报告。

(4) 辐射工作人员拟定期测量工业 CT 装置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，应终止检测工作并向辐射防护负责人报告。

(5) 使用便携式 X-γ 剂量率仪前，拟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，则不应开始检测工作。

(6) 学校拟对工业 CT 装置的设备维护负责，每年至少维护一次，设备维护拟由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行，并做好设备维护记录。

(7) 在每一次照射前，辐射工作人员都拟确认工业 CT 装置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，才能开始检测工作。

3.3 探伤设备退役措施

当工业 CT 装置不再使用时，应实施退役程序。

(1) 工业 CT 装置的 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。

(2) 清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

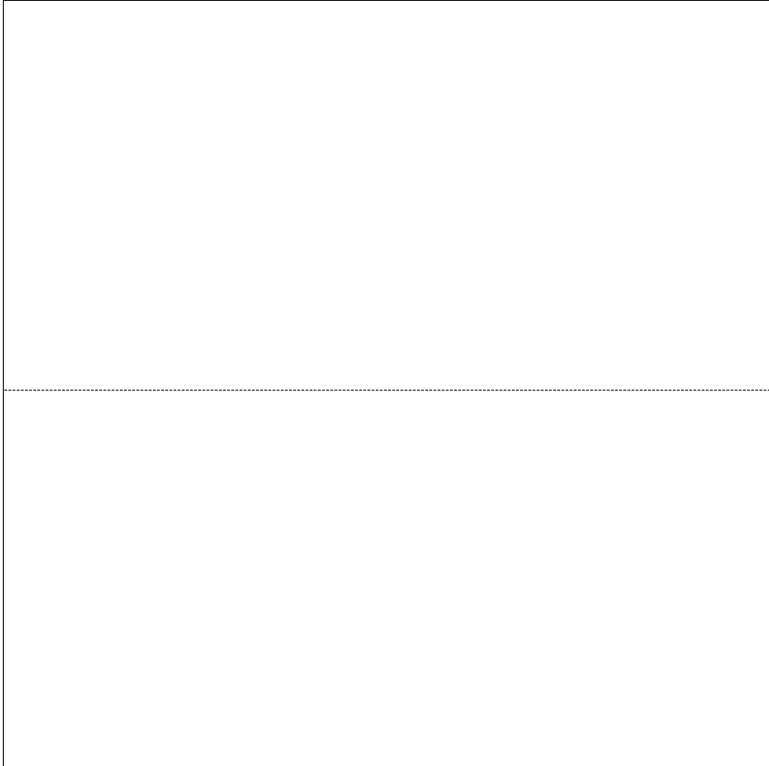
在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全措施能够满足辐射安全要求。

三废治理

本项目的工业 CT 装置在工作状态时，会使曝光室内的空气电离产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x），少量臭氧和氮氧化物可通过装置西侧通风口排入岩土体分析室内，最终通过岩土体分析室排风系统排入外环境。本项目曝光室体积约为 14m³，曝光室通风口安装的通风装置的通风量约为 180m³/h，每小时有效通风换气次数约为 12 次，岩土体分析室体积约为 150m³，室内设有通风装置，通风量约为 500m³，每小时有效通风换气次数约为 3 次，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中曝光室每小时有效通风换气次数不小于 3 次的要求。臭氧常温下 50min 可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

本项目辐射工作人员在工作过程中产生的生活污水及生活垃圾拟依托学校现有处理设施处置，对周围环境影响较小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响 本项目工业 CT 装置是由曝光室和操作台等组成的一体式设备，由专业供应商直接运送安装到指定区域，供应商进行设备安装调试过程中应注意辐射防护。
运行阶段对环境的影响 辐射环境影响分析 本项目工业 CT 装置投入运行后每周平均开机曝光时间约 6 小时，年曝光时间为 300 小时。nanoVoxel 4561 型工业 CT 装置的最大管电压为 300kV，最大管电流为 3mA，额定功率 350W，主射线朝东照射。本次评价选取工业 CT 装置满功率运行时的工况进行预测（最大功率 350W 条件下，300kV 电压对应电流为 1.17mA）。 因工业 CT 装置运行时主射线朝东照射，故计算时将曝光室东侧屏蔽体按照有用线束照射进行预测计算，将南侧、西侧、北侧、顶部、底部屏蔽体、通风口铅罩、电缆口铅罩、工件门及维修门均按照非有用线束照射进行预测计算。本项目预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的计算公式。本项目工业 CT 装置计算示意图见图 11-1。  图 11-1 本项目工业 CT 装置计算示意图

本项目工业 CT 装置 X 射线管出束角为 30°，射线管可在竖直方向上下移动，移动范围为 600mm，在水平方向左右、前后均不可移动。X 射线管离顶部的最近距离约为 676mm，离底部的最近距离为 890mm，离东侧的最近距离约为 2276mm，离西侧的最近距离约为 1380mm，离南侧的最近距离约为 754mm，离北侧的最近距离约为 899mm。

1 理论预测公式

1.1 有用射束方向屏蔽效果预测公式

曝光室预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中有用线束屏蔽估算的计算公式：

$$\dot{H} = \frac{I \cdot H_0 \cdot B}{R^2} \quad \dots\dots\dots (11-1)$$

式中： $\dot{H}$ ：关注点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

I ：X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA；

R ：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

H_0 ：距辐射源点（靶点）1m 处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，取值参考《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的附录表 B.1；

B ：屏蔽透射因子，因《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中图 B.1 无本项目参数对应的曲线，按公式（11-2）计算得出：

$$B = 2^{-X/\text{HVL}} \quad (11-2)$$

式中： X ：屏蔽物质厚度，与 HVL 取相同的单位；

HVL：屏蔽材料的半值层厚度。

1.2 非有用线束屏蔽效果预测公式

非有用线束方向预测计算模式采用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中非有用线束屏蔽估算的计算公式：

① 泄漏辐射

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

式中： $\dot{H}$ ：关注点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

$\dot{H}_L$ ：距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ，取值参考工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的表 1；

R ：辐射源点（靶点）至关注点的距离，m；

B ：屏蔽透射因子，按公式（11-2）计算得出。

② 散射辐射

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

式中： $\dot{H}$ ：关注点处剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ ；

I ：X射线装置在最高管电压下的常用最大管电流，mA；

H_0 ：距辐射源点（靶点）1m处输出量， $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{mA} \cdot \text{h})$ ，取值参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的附录表B.1；

B ：屏蔽透射因子，按公式（11-2）计算得出；

F ： R_0 处的辐射野面积， m^2 ；

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。与散射物质有关，在未获得相应物质的 α 值时，可以用水的 α 值保守估计，取值参考《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T 250-2014）中的附录B表B.3；

R_s ：散射体至关注点的距离，m；

R_0 ：辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，m。

1.3 参考点的年剂量水平估算公式

$$H_c = \dot{H}_{c,d} \cdot t \cdot U \cdot T \quad \dots (11-5)$$

式中： H_c ：参考点的年剂量水平， mSv/a ；

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

t ：射线装置年照射时间，h/a；

U ：射线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。

2.屏蔽计算结果

2.1 理论计算结果

表 11-1 有用线束方向屏蔽效果预测表

关注点	设计厚度	I (mA)	$H_0^{①}$ $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h})$	$B^{②}$	$R^{③}$ (m)	$\dot{H}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考 控制水平 ($\mu\text{Sv/h}$)	评价
A 东侧 屏蔽体							2.5	满足

表 11-2 非有用线束方向屏蔽效果预测表

关注点		B1 南侧屏蔽体/工件门/观察窗	B2 观察窗	C 西侧屏蔽体/通风口铅罩/电缆口铅罩	D 北侧屏蔽体/维修门	E 顶部屏蔽体	F 底部屏蔽体
X 设计厚度							
泄漏辐射	HVL (mm)						
	$B^{③}$						
	$\dot{H}_L(\mu\text{Sv/h})$						
	$R^{①}$ (m)						
	$\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$						
散射辐射	散射后能量对应的 kV 值						
	HVL (mm)						
	$B^{③}$						
	I (mA)						
	$H_0^{②}(\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{mA}\cdot\text{h}))$						
	F (m^2)						
	α						
	R_0 (m)						
	$R_s^{①}$ (m)						
	$\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$						
泄漏辐射和散射辐射的复合作用 ($\mu\text{Sv/h}$)							
剂量率参考控制水平($\mu\text{Sv/h}$)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
评价		满足	满足	满足	满足	满足	满足

① R 南侧屏蔽体=出束口到曝光室南侧屏蔽体的距离 0.754m + 参考点 0.3m=1.054m

从表 11-1 及表 11-2 中预测结果可知，本项目工业 CT 装置满功率运行时，工业 CT 装置曝光室四周屏蔽体、顶部、底部及防护门外 30cm 处的最大辐射剂量率约为 0.359 μ Sv/h，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/T 250-2014）中“关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5 μ Sv/h”的要求。

2.2 地面反散射影响分析

根据表 11-2 可知，本项目工业 CT 装置满功率运行时，装置底部外的最大辐射剂量率为 0.297 μ Sv/h，穿透底部屏蔽体后的 X 射线在经地面散射后的辐射剂量率将更低，并且穿出曝光室四周屏蔽体的透射辐射剂量率最大为 0.359 μ Sv/h，因此穿过曝光室底部的辐射经地面反射产生的反散射辐射对曝光室周围人员的照射和穿出曝光室屏蔽体的透射辐射在相应关注点的剂量率总和将小于 0.656 μ Sv/h，能够满足“关注点最高周围剂量当量率参考控制水平不大于 2.5 μ Sv/h”的要求。

2.3 通风口、电缆口、门缝隙处辐射防护分析

本项目工业 CT 装置通风口及电缆口均拟设置铅防护罩（18mmPb+4.5mmFe），根据表 11-2 可知通风口及电缆口铅防护罩表面 30cm 处泄漏辐射的剂量率最大为 0.120 μ Sv/h，能够满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）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 μ Sv/h”的要求。

本项目工业 CT 装置通风口及电缆口处均拟采用迷宫设计，X 射线至少经过 3 次散射才能到达曝光室外，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”，可推断通风口及电缆口出口处的辐射剂量率能够满足标准要求。通风口及电缆口 X 射线散射路径示意图见图 11-2。



图 11-2 通风口及电缆口 X 射线散射路径示意图

本项目工件门与曝光室屏蔽体缝隙小于 8mm，搭接长度不少于 90mm，本项目维修门为双开门，双开门与曝光室屏蔽体缝隙小于 6mm，搭接长度不少于 60mm，双开门接缝搭接 60mm，接缝缝隙小于 6mm，工件门及维修门与屏蔽体搭接长度不小于门与屏蔽体缝隙宽度的 10 倍，射线经过多次散射后才能出门缝隙，可推断门缝隙处的辐射剂量率能够满足标准要求。

2.4 年有效剂量估算

本项目辐射工作人员为射线装置操作人员，公众主要为工业 CT 装置曝光室 50m 范围内其他人员。辐射工作人员年有效剂量拟取操作台处最大辐射剂量率进行计算。公众人员年有效剂量拟按照监督区外辐射剂量率取值计算。根据剂量率与距离的平方成反比公式可得到监督区外各关注点处辐射剂量率，计算点位图见图 11-3。

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2} \dots\dots\dots (11-6)$$

式中：H₁—距射线源点 R₁ 处的剂量率，μSv/h；

H₂—距射线源 R₂ 处的剂量率，μSv/h；

R₁—装置各屏蔽体外 30cm 处距射线源的距离，m；

R₂—监督区外各计算点位距射线源的距离，m。

图 11-3 监督区外计算距离示意图

表 11-3 本项目工业 CT 装置周围人员关注点位辐射剂量率

关注点	H ₁ (μSv/h)	R ₁ (m)	R ₂ (m)	H ₂ (μSv/h)
东侧监督区外				
南侧监督区外				
西侧监督区外				
北侧监督区外				
楼上二层实验室				

将表 11-1 至表 11-3 估算结果代入公式 (11-5)，计算得到本项目辐射工作人员及公众周有效剂量及年有效剂量。岩土体分析室东侧低场核磁共振分析室及楼上二层实验室场所，由学校博士生、研究生等根据课题需要申请开展实验，无人员长期居留，故居留因子取 1/4。

表 11-4 本项目工业 CT 装置周围人员周受照有效剂量结果评价

序号	关注点	使用因子 U	居留因子 T	剂量率值 (μSv/h)	周工作时间 (h)	周剂量估算值 (μSv/周)	剂量约束值 (μSv/周)	评价
1	东侧监督区外	1					5 (公众)	满足
2	南侧监督区外	1						满足
3	西侧监督区外	1						满足
4	北侧监督区外	1						满足
5	楼上二层	1						满足
6	南侧	1					100 (职业人员)	满足

从表 11-4 中预测结果可以看出，本项目工业 CT 装置曝光室周围辐射工作人员周有效剂量最大值为 $1.836\mu\text{Sv}$ ，周围公众成员周有效剂量最大为 $0.380\mu\text{Sv}$ ，均能够满足本项目要求：职业人员周有效剂量不超过 $100\mu\text{Sv}$ ，公众周有效剂量不超过 $5\mu\text{Sv}$ 。

表 11-5 本项目工业 CT 装置周围人员年受照有效剂量结果评价

序号	关注点	使用因子 U	居留因子 T	剂量率值 ($\mu\text{Sv/h}$)	年工作时间 (h)	年剂量估算值 (mSv/a)	剂量约束值 (mSv/a)	评价
1	东侧监督区外	1					0.1 (公众)	满足
2	南侧监督区外	1						满足
3	西侧监督区外	1						满足
4	北侧监督区外	1						满足
5	楼上二层	1						满足
6	南侧	1					5 (职业人员)	满足

从表 11-5 中预测结果可以看出，本项目工业 CT 装置曝光室周围辐射工作人员年有效剂量最大值为 0.092mSv ，周围公众成员年有效剂量最大值为 0.019mSv ，均能够满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 剂量限值和本项目年剂量约束值的要求：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 。

本项目工业 CT 装置仅允许辐射工作人员进行操作，学校研究生或者临时需要使用工业 CT 装置的人员，在通过实验室安全培训教育（8 学时/6 小时）的基础上，还必须全面接受射线装置安全教育培训（8 学时/6 小时），掌握该工业 CT 装置的型号规格、基本构成、测试原理、测试方法、测试过程、设备风险与应急措施，掌握射线装置法律法规、安全须知，提交标准化实验方案并通过后，方允许进入本实验室陪同开展试验，但仅限于辅助测试工作与进行数据分析，不允许操作射线装置，根据表 11-5 计算结果可推知开展试验的研究生或者临时需要使用工业 CT 装置的人员年受照有效剂量能满足公众年有效剂量不超过 0.1mSv 的要求。

对于本项目评价范围内笃学楼及乐学楼的其他学生和教职工，在经过岩土体分析室墙体的屏蔽和距离的进一步衰减，本项目对其他公众人员的辐射影响很小，可湮没在本底辐射中。

3 三废治理评价

本项目的工业 CT 装置在工作状态时，会使曝光室内的空气电离产生臭氧（O₃）和氮氧化物（NO_x），少量臭氧和氮氧化物可通过装置西侧通风口排入岩土体分析室内，最终通过岩土体分析室排风系统排入外环境，臭氧常温下 50min 可自行分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

本项目辐射工作人员在工作过程中产生的生活污水及生活垃圾拟依托学校现有处理设施处置，对周围环境影响较小。

采取上述措施后本项目的废物处置方式能够满足当前生态环境保护管理的要求。

事故影响分析

1 潜在事故分析

本项目工业 CT 装置只有在开机曝光时才产生 X 射线，因此，辐射事故多为开机误照射事故，主要有：

（1）由于安全联锁装置失灵，导致防护门未关闭时开机工作，造成人员误照射。由于门机联锁装置失灵，X 射线管正常出束时意外打开防护门，不能立刻停止出束，造成人员误照射。

（2）机器调试、检修时误照射。工业 CT 装置在调试或检修过程中，责任者脱离岗位，不注意防护或他人误开机使人员受到照射。

（3）二人作业，配合失误受照。两个人一起作业时，一人放置待测工件，而另一人却仍误开机导致人员受到误照射。

2 辐射事故预防措施

河海大学应加强管理，严格要求辐射工作人员按照操作规程进行操作，并在实际工作中不断对辐射安全管理制度进行完善；加强职工辐射防护知识的培训，尽可能避免辐射事故的发生。针对可能发生的辐射事故，学校拟采取以下预防措施：

（1）学校内部加强辐射安全管理，管理人员定期开展监督检查，营造持续改进的辐射安全文化。

（2）严格执行辐射安全管理制度，按照操作规程工作。每次在开启 CT 装置前，检查确认各项安全措施的有效性，严禁在安全设施故障情况下开机检测。

（3）辐射工作人员工作时注意佩戴好个人剂量计、个人剂量报警仪等监测仪器，装置运行时定期巡测装置周围剂量率水平，当个人剂量报警仪发出报警时，辐射工作人员应尽快采取应对措施。

3 辐射事故处置方法

根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》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，辐射事故可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。本项目拟使用的 CT 装置属于Ⅱ类射线装置，根据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》的规定，该类射线装置可能发生的事故是指射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射，通常情况下属于一般辐射事故。在发生事故后：

（1）辐射工作人员应第一时间关停射线装置的高电压，停止射线装置的出束，然后启动应急预案；

（2）立即向学校领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；

（3）对可能受到大剂量照射的人员，及时送医院检查和治疗。

当发生或发现辐射事故时，学校应当立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，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，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，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。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置 本项目开展工业 X 射线探伤使用的设备为工业 CT 装置，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》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。从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。 河海大学拟成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。学校拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，其中 1 名人员兼职辐射防护负责人，辐射工作人员均应通过生态环境部培训平台上科目为“X 射线探伤”的线上考核方可上岗，辐射防护负责人应通过生态环境部培训平台上科目为“辐射安全管理”的线上考核方可上岗。
辐射安全管理规章制度 本项目为新建项目，河海大学拟根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》规定制定一系列辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、事故应急方案等，在实际工作中学校还应不断对其进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。本报告对各项管理制度制定要点提出如下建议： 操作规程：明确工业 CT 装置辐射工作人员的资质条件要求、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 装置操作步骤以及作业过程中必须采取的辐射安全措施。 岗位职责：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。 辐射防护和安全保卫制度：根据学校的具体情况完善辐射防护和安全保卫制度，重点是工业 CT 装置的运行和维修时辐射安全管理。 设备检修维护制度：明确工业 CT 装置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 装置、剂量报警仪等仪器设备保持良好工作状态。

人员培训计划：制定人员培训计划，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。

监测方案：制定辐射工作人员剂量监测工作制度和工作场所定期监测制度。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部门、卫生健康部门调查处理。发现工作场所监测异常的，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部门报告。

射线装置使用登记、台账管理制度：对工业 CT 装置使用情况进行登记，标明使用人员、设备名称、型号、电压、电流等，并对工业 CT 装置使用进行严格管理。

退役管理制度：制定退役计划，当工业 CT 装置不再使用时，应实施退役程序。工业 CT 装置的 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。清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

事故应急预案：依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》的要求，必须明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。当发生事故时，学校应当立即启动辐射事故应急预案，采取有效防范措施，及时制止事故的恶化，并在 1 小时内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，还应同时向当地卫生行政部门报告。

辐射监测

学校使用的工业 CT 装置属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》，本项目须配置至少 1 台辐射巡测仪，以满足射线装置日常运行时，对装置周围 X 射线的辐射水平进行巡测。

学校拟为本项目配备 1 台环境辐射剂量巡测仪及 2 台个人剂量报警仪，能够满足审管部门对于监测仪器配备的要求。

本项目运行后，学校拟定期（不少于 1 次/年）请有资质的单位对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测；在进行检测作业时，学校拟定期对辐射工作场所和周围环境的辐射水平进行监测，并做好相关记录；本项目辐射工作人员均拟佩戴个人剂量计监测累积剂量，定期（不少于 1 次/3 个月）送有资质部门进行个人剂量测量，并建立个人剂量档案。同时学校拟定期（两次检查的时间间隔不应超过 2 年）安排辐射工作人员进行职业健康体检，并建立职业健康档案。学校还拟对辐射安全和防护状况

进行年度评估，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。

辐射监测方案见表 12-1。

表 12-1 辐射监测方案

监测对象	监测项目	监测方式	监测周期	监测点位
nanoVoxel 4561 型工业 CT 装置	周围剂量当 量率	竣工验收监测	1 次	①四周屏蔽体外 30cm 处； ②防护门外 30cm 处及门缝 隙处； ③操作位处； ④通风口及电缆口外； ⑤装置周围保护目标处。
		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	1 次/3 个月	
辐射工作人员	个人剂量当 量	委托有资质的单 位进行	1 次/3 个月	/

落实以上措施后，学校安全管理措施能够满足辐射安全的要求。

辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》中关于应急报告与处理的相关要求，河海大学应针对CT装置无损检测过程中可能产生的辐射事故情况制定事故应急方案，应急方案内容应包括：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- (3) 辐射事故分级与应急响应措施；
- (4) 辐射事故调查、报告和处理程序；
- (5) 辐射事故信息公开、公众宣传方案。

河海大学拟依据《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》及《江苏省辐射污染防治条例》的要求制定辐射事故应急预案，明确建立应急机构和人员职责分工，应急人员的组织、培训以及应急，辐射事故分类与应急响应的措施。学校拟组织应急人员对应急处理措施进行培训，并组织应急人员进行应急演练。

本项目潜在辐射事故多为开机误照射事故，例如由于安全联锁装置失灵，导致防护门未关闭时开机工作，造成人员误照射。工业 CT 装置在调试或检修过程中，责任者脱离岗位，不注意防护或他人误开机使人员受到照射。

发生辐射事故时，辐射工作人员应第一时间关停射线装置的高电压，停止射线装置的出束，然后启动应急预案；立即向单位领导汇报，并控制现场区域，防止无关人员进入；对可能受到大剂量照射的人员，及时送医院检查和治疗。

学校应在 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向卫生健康部门报告。事故发生后学校应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生部门调查事故原因，并做好后续工作。

表 13 结论与建议

结论 1 辐射安全与防护分析结论 1.1 项目位置 河海大学江宁校区位于江苏省南京市江宁区佛城西路 8 号。学校江宁校区东侧为居民区及将军大道，南侧为佛城西路，西侧及北侧为康厚街。 本项目工业 CT 装置拟建于学校江宁校区笃学楼 1 层岩土体分析室内，笃学楼东部为 2 层建筑，西部为 12 层建筑，局部为 13 层建筑。岩土体分析室东侧为低场核磁共振分析室、大厅、茶水间、会议室、实验室、消防控制室及架空通道，南侧为水井、走廊、地下水渗流分析室、校内道路及乐学楼，西侧为配电间、走廊、测井分析室、电气设备间、校内道路及康厚街，北侧为卫生间、楼梯间、电梯间、走廊、地质灾害防治模拟分析室、校内道路及节水园（实验田），正上方 2~5 层、12 层均为实验室，6、7、9 层为会议室，8、10、11 层为研究生工作室，13 层为配电间，正下方无建筑。 本项目工业 CT 装置周围 50m 范围内没有居民区、医院等环境敏感目标，评价范围内涉及建筑为笃学楼及乐学楼，主要为校内学生和教职工从事科研实验的场所，距离校内教学楼、生活区都在 160m 以上。本项目辐射环境保护目标主要为辐射工作人员及装置周围评价范围内的公众。 1.2 项目分区及布局 河海大学新建 1 台工业 CT 装置项目包括曝光室和操作台等，工作时主射线朝东照射，操作台位于曝光室南侧，操作台避开了 X 射线主射线方向，工业 CT 装置布局设计满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）中关于操作台与曝光室分开设置及操作台应避开有用线束照射方向的要求，本项目布局设计合理。 本项目拟将工业 CT 装置曝光室作为本项目的辐射防护控制区，在曝光室表面明显位置设置电离辐射警告标志及中文警示说明，工作时任何人不得进入；将岩土体分析室除曝光室外的其他区域作为辐射防护监督区，岩土体分析室入口悬挂“无关人员禁止入内”警告牌和监督区标牌，并设置明显的电离辐射警示标志和警告标语，工作时无关人等不得靠近。 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。 1.3 辐射安全措施

本项目工业 CT 装置曝光室南侧、操作台及电气柜南侧拟各设置 1 个急停按钮；电气柜处拟设置钥匙开关；装置曝光室顶部外拟设置工作状态指示灯，并拟与 X 射线管联锁；曝光室工件门及维修门拟设置门机联锁装置；曝光室表面明显位置拟设置“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及警示说明；曝光室设有观察窗；曝光室南侧拟设固定式辐射探测报警装置；曝光室西侧拟设机械通风装置。

辐射工作人员在开展检测工作前拟按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 5.1.2 要求对工业 CT 装置进行检查，重点检查安全联锁和警示灯等是否运行正常；辐射工作人员正常使用工业 CT 装置时拟检查防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施；拟定期测量工业 CT 装置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；交接班或当班使用便携式 X- γ 剂量率仪前，拟检查是否能正常工作；拟对工业 CT 装置的设备维护负责，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，并做好设备维护记录。

当工业 CT 装置不再使用时，应实施退役程序。工业 CT 装置的 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；退役时应清除所有电离辐射警告标志和安全告知。

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。

1.4 辐射安全管理

学校拟成立辐射防护管理机构，并以文件的形式明确各成员管理职责，同时拟在项目运行前制定各项辐射安全管理制度。学校拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，其中 1 名辐射工作人员兼职辐射防护负责人，辐射防护负责人及辐射工作人员均应通过生态环境部培训平台上的线上考核方可上岗；学校拟对本项目辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并为辐射工作人员建立个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

学校拟配备 1 台辐射巡测仪和 2 台个人剂量报警仪，能够满足审管部门关于仪器配备的要求。

在落实以上辐射安全措施后，本项目的辐射安全管理措施能够满足辐射安全管理要求。

2 环境影响分析结论

2.1 辐射防护影响预测

根据理论预测结果，学校配备的工业 CT 装置满功率运行时曝光室各侧屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率能够满足《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/T 250-2014）的剂量率限值要求。

2.2 保护目标剂量

根据理论预测结果，本项目投入运行后辐射工作人员和周围公众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有效剂量限值要求以及本项目的剂量约束值要求：职业人员周有效剂量不超过 100 μ Sv，公众周有效剂量不超过 5 μ Sv；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。

2.3 三废处理处置

本项目无放射性三废产生。本项目工业 CT 装置在工作状态时，产生的 X 射线会使空气电离产生少量臭氧和氮氧化物，少量臭氧和氮氧化物可通过装置西侧通风口排入岩土体分析室内，最终通过岩土体分析室排风系统排入外环境。臭氧在空气中 50min 内可自动分解为氧气，对周围环境空气质量影响较小。

本项目辐射工作人员在工作过程中产生的生活污水及生活垃圾拟依托学校现有处理设施处置，对周围环境影响较小。

3 可行性分析结论

河海大学新建 1 台工业 CT 装置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，该学校将具有与其所从事的辐射活动相适应的技术能力和具备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，从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

1) 该项目运行后，应严格遵循操作规程，加强对辐射工作人员的培训，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。

2) 各项环保设施及辐射防护设施必须正常运行，严格按国家有关规定要求进行操作，确保其安全可靠。

3) 项目建成投入运行前，学校应及时办理辐射安全许可证。

4) 项目竣工后，学校应按照国家《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的有关规定及时进行自主环境保护验收，环境保护设施的验收期限一般不超过 3 个月，最长不超过 12 个月。

5) 落实辐射安全管理措施：1.辐射安全管理机构及职责；2.操作规程；3.岗位职责；4.辐射防护和安全保卫制度；5.辐射监测方案；6.辐射工作人员培训计划；7.设备检修维护制度；8.制定辐射事故应急处理预案，并定期组织辐射事故应急人员培训和应急演练；9.辐射安全年度评估；10.结合日常运行和管理情况，建设单位应不断完善辐射安全管理规章制度和辐射事故应急预案使之更具有实操性和针对性。

6) 建议对本项目拟建址东侧和楼上实验室工作人员进行辐射防护教育(科普宣传)，避免引起恐慌。提升公众沟通和信息公开。建议通过学校官方网站或公告栏定期向公众公开辐射安全监测数据和安全管理措施，提升信息透明度和公众信任。

辐射污染防治措施“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	投资 (万元)
辐射安全管理机构	学校拟成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，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	满足《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的要求	/
辐射安全防护措施	本项目工业 CT 装置曝光室南侧、操作台及电气柜南侧拟各设置 1 个急停按钮；电气柜处拟设置钥匙开关；装置曝光室顶部外拟设置工作状态指示灯，并拟与 X 射线管联锁；曝光室工件门及维修门拟设置门机联锁装置；曝光室表面明显位置拟设置“当心电离辐射”的电离辐射警告标志及警示说明；曝光室设有观察窗；曝光室南侧拟设固定式辐射探测报警装置；曝光室西侧拟设机械通风装置。 辐射工作人员在开展检测工作前拟按照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117-2022）中 5.1.2 要求对工业 CT 装置进行检查，重点检查安全联锁和警示灯等是否运行正常；辐射工作人员正常使用工业 CT 装置时拟检查防护门-机联锁装置、照射信号指示灯等防护安全措施；拟定期测量工业 CT 装置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；交接班或当班使用便携式 X-γ 剂量率仪前，拟检查是否能正常工作；拟对工业 CT 装置的设备维护负责，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，并做好设备维护记录。 当工业 CT 装置不再使用时，应实施退役程序。工业 CT 装置的 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；退役时应清除所有电离辐射警告标志和安全告知	工业 CT 装置周围的辐射剂量率能够满足《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/T 250-2014）中“关注点最高剂量率参考控制水平 2.5μSv/h”的要求 满足《工业探伤放射防护标准》(GBZ 117-2022)中相关辐射安全要求和本项目辐射安全的需要	13

人员 配备	学校拟为本项目配备 2 名辐射工作人员，其中 1 名为辐射防护负责人，辐射防护负责人及辐射工作人员应通过生态环境部培训平台上的线上考核方可上岗 学校拟委托有资质的单位对 2 名辐射工作人员开展个人剂量检测，定期送检（不少于 1 次/3 个月），并按相关要求建立辐射工作人员个人剂量监测档案 学校拟定期（两次检查的时间间隔不应超过 2 年）组织 2 名辐射工作人员进行职业健康体检，并按相关要求建立辐射工作人员职业健康监护档案	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》中关于人员培训、个人剂量监测及职业健康体检的相关要求	定期 投入
监测仪器和防护用品	学校拟配置 1 台环境辐射剂量巡测仪及 2 台个人剂量报警仪	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，本项目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，包括个人剂量报警仪、辐射剂量巡测仪等仪器的要求	2
辐射安全管理制度	学校拟根据相关标准要求，制定一系列辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案、射线装置使用登记、台账管理制度以及辐射事故应急预案等制度，学校还应根据相关条例、办法以及本报告的要求对制度的内容进行补充，并在今后运行中结合实际工作不断完善，使其具有较强的针对性和可操作性	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》中的有关要求，使用射线装置的单位要健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、台账登记制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急预案	/

以上措施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入运行。

