编号：渝朕辐环评字[2026]0005号

核技术利用建设项目

西南大学

植物根系光学高通量检测分析系统

X射线装置建设项目

环境影响报告表

（公示版）

西南大学

2026年4月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

西南大学

植物根系光学高通量检测分析系统

X射线装置建设项目

环境影响报告表

建设单位名称：西南大学

建设单位法人代表（签名或签章）：王进军

通讯地址：重庆市北碚区天生路 2 号

邮政编码：400715　　联系人：吴林

电子邮箱：wulin2022@swu.edu.cn　　联系电话：18****** 866

打印编号：1775548630000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	43i118
建设项目名称	西南大学植物根系光学高通量检测分析系统X射线装置建设项目
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）	西南大学
统一社会信用代码	12100000450401733W
法定代表人（签章）	王进军
主要负责人（签字）	吴林
直接负责的主管人员（签字）	吴林
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	重庆朕尔医学研究院有限公司
统一社会信用代码	91500103MA5853FM41
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
孟楠	2016035410352015411801000074	BH005013	

2. 主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
刘涛	项目基本情况、放射源、非密封放射性物质、射线装置、废弃物（重点是放射性废弃物）、评价依据、保护目标与评价标准、环境质量和辐射现状、项目工程分析与源项、辐射安全与防护、环境影响分析、辐射安全管理、结论与建议	BH063232	

西南大学
关于同意对《西南大学植物根系光学高通量检测分析系统X射线装置建设项目环境影响报告表》（公示版）进行公示的说明

高新区生态环境局：

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》等有关规定，我单位委托重庆朕尔医学研究院有限公司编制了《西南大学植物根系光学高通量检测分析系统X射线装置建设项目环境影响报告表》，报告表内容及附图附件等资料均真实有效，我单位作为环境保护主体责任，愿意承担相应的责任。报告表（公示版）不涉及技术和商业秘密的章节。我单位同意对报告表（公示版）进行公示。

特此说明。

西南大学

2026年4月

环评编制主持人职业资格证书（复印件）

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

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

中华人民共和国人力资源和社会保障部

approved & authorized by

Ministry of Human Resources and Social Security

The People's Republic of China

中华人民共和国环境保护部

approved & authorized by

Ministry of Environmental Protection

The People's Republic of China

编号：HP 00019684

No.

孟楠

HP00019684

持证人签名：

Signature of the Bearer

姓名：孟楠

Full Name

性别：男

Sex

出生年月：1988.06

Date of Birth

专业类别：

Professional Type

批准日期：2016.05

Approval Date

签发单位盖章：

Issued by

签发日期：2016 年 12 月 30 日

Issued on

管理号：20160354l0352

File No.

证书编号：HP00019684

目　录

表 1　项目基本情况 1

表 2　放射源 13

表 3　非密封放射性物质 13

表 4　射线装置 14

表 5　废弃物（重点是放射性废弃物） 15

表 6　评价依据 16

表 7　保护目标与评价标准 18

表 8　环境质量和辐射现状 26

表 9　项目工程分析与源项 29

表 10　辐射安全与防护 38

表 11　环境影响分析 52

表 12　辐射安全管理 68

表 13　结论及建议 76

附图

附图 1　　本项目所在地理位置图

表 1　项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">西南大学植物根系光学高通量检测分析系统 X 射线装置建设项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">西南大学</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>王进军</td><td colspan="2">联系人</td><td>吴林</td><td>联系电话</td><td>182******866</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">重庆市北碚区天生路 2 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">重庆高新区金凤镇高新大道 28 号重庆（西部）科学城种质创制大科学中心（即高新区国家生物产业基地二期工程）1 号楼 1F 西侧大厅内</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="3">高新区改革发展局</td><td>批准文号</td><td colspan="2">2603-500356-07-01-690564</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>500</td><td colspan="2">项目环保投资（万元）</td><td>10</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>2.00%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="4">☑新建　☐改建　☐扩建　☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td>125</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="6">☐I 类　☐II 类　☐III 类　☐IV 类　☐V 类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="6">☐I 类（医疗使用）　☐II 类　☐III 类　☐IV 类　☐V 类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="6">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="6">/</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="6">☐乙　☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="6">☐II 类　☐III 类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="6">☐II 类　☐III 类</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="6">☑II 类　☐III 类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="7">/</td></tr>
</table>

1.1 建设单位简介

西南大学是教育部直属，教育部、农业农村部、重庆市共建的重点综合大学，国家“双一流”建设高校，“211 工程”和“985 工程优势学科创新平台”建设高校；学校现有重庆北碚、重庆荣昌两个办学校区，占地 8200 余亩，校舍面积 199 万平方米，绿地率达 40%，是闻名遐迩的花园式学校、教育部表彰的文明校园。

学校溯源于 1906 年建立的川东师范学堂。1936 年，更名为四川省立教育学院。1950 年，四川省立教育学院的教育、国文、外文、史地、数学等系与 1940 年成立的国立女子师范学院合并建立西南师范学院，农艺、园艺和农产制造等系与 1946 年创办的私立相辉学院等合并建立西南农学院。1985 年，两校分别更名为西南师范大学、

续表 1　项目基本情况

西南农业大学。2000 年，重庆市轻工业职业大学并入西南师范大学；2001 年，西南农业大学、四川畜牧兽医学院、中国农业科学院柑桔研究所合并组建为新的西南农业大学。2005 年，西南师范大学、西南农业大学合并组建为西南大学，开启了学校发展崭新篇章。

学校学科门类齐全，综合性强、特色鲜明，涵盖了哲、经、法、教、文、史、理、工、农、医、管、艺、交叉学科等 13 个学科门类，教育学、生物学为国家“双一流”建设学科，化学、农业科学、植物学与动物学进入 ESI 全球排名前 1‰、18 个学科进入前 1%。有 30 个一级学科博士学位授权点、5 种专业博士学位，51 个一级学科硕士学位授权点、35 种专业硕士学位。有博士后科研流动站（工作站）30 个。“十四五”以来获国家级教学成果奖 3 项、国家级一流专业建设点 62 个、国家教材建设重点研究基地 1 个。

1.2 项目由来

现代种业发展和农业科技原始创新都离不开种质资源，种质资源已被世界各国及有关国际组织公认为国家的重要战略资源。目前，国内大多生物育种仍以常规技术为主，采取基因编辑等技术挖掘优异资源不够。少数品种种质进口依赖度较高，供应链掌握在西方国家。种质科学工程的建设，将有利于贯通重要种质资源保护、新型遗传素材创制、分子育种与产业化利用全链条，实现重要种质资源的规模化创制。有助打破国外研究机构、种质公司长期垄断的局面，为我国种质创新发展和国家粮食安全奠定重要基础，进而取得战略先机、抢占农业科技发展制高点。

基于此背景，西南大学规划在国家生物产业基地持续投入科研力量，建设长江上游种质创制大科学中心。该中心将围绕三个方面进行建设：一是收集整理保护特色、珍稀和濒危物种资源，建成活体异地保存信息库；二是开展规模化种质创制核心技术的研发与集成创新，建设涵盖基因组、转录组、蛋白质组、代谢组、表观遗传组、表型组等的高标准多组学研究平台和大数据中心，系统建设自动化快速荧光鉴定与分选平台、高通量表型组学数据采集与分析处理平台等关键设施；三是围绕重点物种资源及长江上游特色资源开展种质资源规模化创制与应用，促进传统种质资源产业转型和升级。

2021 年，西南大学租赁高新区国家生物产业基地标准二期工程 1 号楼，启动长江上游种质创制大科学中心一期示范工程建设，先期建设青蒿、家蚕、杨树三个物种的创制研究示范中心。其委托重庆德与田环保科技有限公司编制的《西南大学长江上游种质创制大科学中心一期示范工程环境影响报告书》经重庆高新区生态环境局审批同意项目建

续表 1　项目基本情况

设，批准文号为：渝（高新）环准〔2021〕061 号，详见附件 3。该项目已建成，并投入使用，正在办理环保验收相关手续。

2023 年，西南大学租赁高新区国家生物产业基地二期工程 1 号楼 1F 未建部分和 2 号楼，启动长江上游种质创制大科学中心项目二期工程，购置种质创制研究实验专用设备，组建罗非鱼、水产、油菜、马铃薯、茶树、柑橘六个物种创制研究团队，以产出动植物品种、素材、专利、文章等成果为主要研究目的；同时改变建运模式，由重庆科学城城市建设集团有限公司与西南大学联合建设（重庆科学城城市建设集团有限公司作为建设单位、西南大学作为实施单位），在重庆科学城城市建设集团有限公司作为项目业主全面建设完成后，交由西南大学使用；其委托重庆市久久环境影响评价有限公司编制的《重庆科学城城市建设集团有限公司种质创制大科学中心项目二期工程环境影响报告书》经重庆高新区生态环境局审批同意项目建设，批准文号为：渝（高新）环准〔2023〕24 号，详见附件 3。该项目已建成，并投入使用，正在办理环保验收相关手续。

西南大学农业农村部长江上游种质创制重点实验室建设项目（以下简称：重点实验室建设项目）属于长江上游种质创制大科学中心的核心科研平台，该重点实验室建设项目依托种质创制大科学中心项目一期、二期工程建设，其主要建设内容为购置植物根系盆栽高通量植物表型成像系统、无人机植物表型成像系统等仪器设备 9 台（套），核定项目概算总投资 1466 万元，详见附件 3；其中植物根系光学高通量检测分析系统总投资 500 万元，为该重点实验室建设项目的核心建设内容，拟建场址位于重庆（西部）科学城种质创制大科学中心（即高新区国家生物产业基地二期工程）1 号楼 1F 西侧大厅内（以下简称：二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内），建设完毕用于植物根系光学高通量检测分析。

本项目为“西南大学植物根系光学高通量检测分析系统 X 射线装置建设项目”，建设内容为：拟在二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内新增 1 套植物根系光学高通量检测分析系统（以下简称：植物 CT），型号：nanoVoxel 4000，单管头，定向照射，最大管电压 225kV，最大管电流 3mA，用于植物根系光学高通量检测分析。

本项目植物 CT 属于工业 CT 范畴，工艺原理与工业 CT 基本一致，只是应用场景为植物根系光学高通量检测，根据《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行）的相关规定，

续表 1　项目基本情况

工业用 X 射线计算机断层扫描（CT）装置属于 II 类射线装置，故后文植物 CT 参照工业 CT 进行环境影响评价。

根据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国环境影响评价法》《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》等相关法律法规要求，本项目应进行环境影响评价，编制环境影响报告表。

西南大学委托重庆朕尔医学研究院有限公司对本项目进行环境影响评价。在接受委托后，评价单位组织相关技术人员进行了现场勘察、收集资料和现状监测等工作，并结合项目特点、性质、规模，按照《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）等规定要求编制完成本环境影响报告表。

1.3 评价思路

本项目施工期涉及设备安装等，植物 CT 是由厂家负责安装。本次评价仅对施工期的环境影响进行简要分析，重点对营运期辐射环境影响进行评价。高新区国家生物产业基地环保设施设计规模能容纳本项目产生的废水、固废处理需求，本环评就本项目依托高新区国家生物产业基地环保设施依托可行性进行分析的基础上，对非放射性三废进行简要评价。

1.4 建设内容及工程规模

（1）项目概况

本项目拟在二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内配置 1 套植物 CT（nanoVoxel 4000，单管头，定向照射，最大管电压 225kV，最大管电流 3mA），用于植物根系光学高通量检测分析。

本项目占地面积约 125m^2，总投资 500 万元，其中环保投资 10 万元。

项目基本组成情况详见表 1-1。

续表 1　项目基本情况

表 1-1　项目基本组成

类别	项目名称	建设内容	备注
主体工程	植物 CT	本项目植物 CT 拟位于二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内，包括铅房、自动输送线、工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区、X 射线机系统等。其 X 射线机系统内置一体化管头设计，定向照射，最大管电压 225kV，最大管电流 3mA。铅房外观尺寸：3300mm（长）×1736mm（宽）×2682mm（高），植物 CT 铅房六面屏蔽体均为钢板+铅板+钢板结构，设置 2 个左右滑动电动铅门。工作人员操作区（上料区、下料区）和操作展示区均拟布置于植物 CT 铅房前侧。操作展示区拟布置于植物 CT 铅房左侧。	新购
公用工程	供配电系统	依托 1 号楼供配电系统，来源于市政供电。应急供电依托高新区国家生物产业基地二期设置的柴油发电机房。	依托
	给水系统	依托产业高新区国家生物产业基地市政给水管网供水。	依托
	排水系统	采用雨污分流制，雨水排入雨水管网。 生活污水经生活污水管道排入高新区国家生物产业基地生化池（处理能力 220m^3/d）处理达标后，排入市政污水管网。	依托
环保工程	废水处理	本项目辐射工作人员在西南大学现有劳动定员内，故运营期不新增废水，本项目生活污水依托高新区国家生物产业基地生化池（处理能力 220m^3/d）处理达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准后排入市政污水管网，进入金凤污水处理厂深度处理达《梁滩河流域城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》DB50/963-2020 排放标准后经莲花滩河--梁滩河，最终排放至嘉陵江。	依托
	固废处理	本项目辐射工作人员在西南大学现有劳动定员内，故运营期不新增生活垃圾，本项目产生的生活垃圾，袋装分类收集后，统一由环卫部门运送城市垃圾填埋场。	依托
		报废的植物 CT 对其装置去功能化后，根据相关要求进行处理，保留相关手续并做好记录存档。	/
	废气治理	本项目铅房产生的废气通过设备顶部自带 2 个排风口（总排风量为 350m^3/h）排至大厅，经大厅排风系统引至 1 号楼楼顶排放。	设备自带和依托
	辐射防护	本项目植物 CT 为整体式固定检测分析系统自带屏蔽铅房，铅房屏蔽能力能达到辐射防护的要求。铅房采用钢板+铅板+钢板屏蔽结构，并按相关标准要求配置辐射安全设施（如门机联锁、电离辐射警示标志、工作状态指示灯、声光警示等）。	/
其他	辐射工作人员	在西南大学内部调配培养 2 名辐射工作人员开展检测工作。	/

（2）项目铅房建设方案

本项目植物 CT 铅房的具体设计如下表 1-2 所示。

续表 1　项目基本情况

表 1-2　本项目植物 CT 铅房设计情况表

名称	尺寸	设计情况	
nanoVoxel 4000 型植物 CT 铅房	铅房外观尺寸：3300mm（长）×1736mm（宽）×2682mm（高） 铅房内空尺寸：2800mm（长）×1280mm（宽）×2352mm（高） 2个门洞尺寸均为：1100mm×1965mm 2个铅门尺寸均为：1240mm×2060mm（工件与检修共用）	前侧	内2.5mm钢+10mmPb+外2.5mm钢
		后侧	内 2.5mm 钢+10mmPb+外 2.5mm 钢
		左侧	内 2.5mm 钢+8mmPb+外 2.5mm 钢
		右侧	内 2.5mm 钢+14mmPb+外 2.5mm 钢
		顶部	内 2.5mm 钢+10mmPb+外 2.5mm 钢
		底部	内 2.5mm 钢+10mmPb+外 2.5mm 钢
		2个工件进样门（检修门）	内2.5mm钢+10mmPb+外2.5mm钢
		走线孔防护罩	内2.5mm钢+8mmPb+外2.5mm钢
		排风孔防护罩	内2.5mm钢+10mmPb+外2.5mm钢

注：1.铅密度为 11.3g/cm³（后文不再赘述）；2.本项目方位描述以辐射工作人员操作区（即上料区和下料区）为前侧（即南侧），以辐射工作人员面对操作区（即上料区和下料区）右手边为右侧（即东侧）、面对操作区（即上料区和下料区）左手边为左侧（即西侧），后文按前侧、后侧、左侧、右侧进行方位描述；主射线方向朝向右侧（即东侧）（后文不再赘述）。

（3）设备概况

项目设备清单见表 1-3。

表 1-3　设备一览表

序号	名称	数量	用途	设备设施说明
1	植物 CT	1 套	植物根系光学高通量检测分析	II类射线装置，nanoVoxel 4000 型，定向照射，最大管电压 225kV、最大管电流 3mA。
2	个人剂量计	2 枚	个人剂量监测	工作人员工作时随身携带，拟配置 2 个。
3	便携式辐射监测仪	1 台	防护监测	自行定期监测，按要求校验，拟购置。
4	固定式场所辐射探测报警装置	1 套	辐射探测报警	配备 1 个探头，拟安装在植物 CT 铅房内，显示屏位于辐射工作人员操作区（上料区、下料区）。
5	个人剂量报警仪	2 个	剂量检测报警	工作人员工作时随身携带，拟配置 2台。

（4）检测植物情况

本项目用于植物根系光学高通量检测分析，检测植物的参数见表 1-4。

表 1-4　检测植物的相关参数一览表

设备型号	检测类型	植物类型	植物根系最大尺寸
nanoVoxel 4000 型	植物根系	水稻、玉米、马铃薯、油菜、棉花等	Φ250mm

（5）计划工作量

根据西南大学提供资料，本项目植物 CT 单次每株植物根系曝光时间为 5min，采用连续运行工作方式，全年预计总曝光次数共计约 24000 次，折合每周约 480 次/周，其工作情况见表 1-5。

表 1-5　本项目植物 CT 工作负荷一览表

设备型号	单次每株每株植物根系曝光时间	最大曝光次数		最大曝光时间	
		年	周	年	周
nanoVoxel 4000 型	5min	24000 次	480 次	2000h	40h
注：考虑设备训机时间，每天最大曝光时间按 8h 计。					

（6）劳动定员及工作制度

本项目拟配置 2 名辐射工作人员从事植物根系光学高通量检测分析，均为内部调配培养，不新增劳动定员；检修由设备厂家专业检修人员进行，不纳入本次劳动定员范围内，西南大学本项目年运营 250 天，辐射工作人员为一班制，每班 8h。

1.5 与项目依托可行性

本项目依托可行性分析见表 1-6。

表 1-6　本项目依托可行性分析

依托工程		可行性分析	结论
公用工程	供配电系统	依托二期工程 1 号楼供配电系统，来源于市政供电。应急供电依托高新区国家生物产业基地二期设置的柴油发电机房。	可行
	给水系统	依托高新区国家生物产业基地市政给水管网供水。	可行
	通风系统	铅房内废气经设备顶部排风口排至大厅，由大厅排风系统引至二期工程 1 号楼楼顶排放。	可行
环保工程	生活污水	本项目辐射工作人员在西南大学现有劳动定员内，故运营期不新增生活污水，本项目生活污水依托高新区国家生物产业基地生化池（处理能力 220m³/d）处理达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准后排入市政污水管网，进入金凤污水处理厂深度处理达《梁滩河流域城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》DB50/963-2020 排放标准后经莲花滩河--梁滩河，最终排放至嘉陵江。	可行
	固废处理	本项目辐射工作人员在西南大学现有劳动定员内，故运营期不新增生活垃圾，本项目产生的生活垃圾，袋装分类收集后，统一由环卫部门运送城市垃圾填埋场；报废的植物 CT 对其装置	可行

续表 1　项目基本情况

		去功能化后，根据相关要求进行处理，保留相关手续并做好记录存档。	
劳动定员		本项目在西南大学内部培养 2 名辐射工作人员从事植物根系光学高通量检测分析，具体人员待定，人员按照辐射工作人员进行管理，完善培训、职业健康体检、个人剂量计配置及检测。	满足要求后可行

由表 1-6 可知，本项目公用工程、环保工程均可依托二期工程 1 号楼内现有设施；劳动定员依托西南大学现有工作人员进行调配培养，经培训考试取得合格证后持证上岗。因此，本项目依托 1 号楼内现有设施和劳动定员是可行的。

1.6 外环境概况

本项目植物 CT 拟位于二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内，植物 CT 铅房高度为 2.682m，1F 大厅吊顶高度为 4.0m，1 号楼 1F 层高为 5.7m，其中植物 CT 铅房顶部至 1 号楼 1F 顶棚之间无建筑，为 1 号楼内架空区，无人员停留；2F 以上为其他办公区，植物 CT 下方-1F 为车库行车道。

本项目所在高新区国家生物产业基地二期工程 1 号楼四周紧邻为绿化带及人行车行道/空坝；二期工程 1 号楼西侧约 10m 外为二期工程 3 号楼，南侧约 25m 外为二期工程 2 号楼，东侧约 40m 外为新州大道，北侧约 24m 外为一期工程 1～3 号楼；本项目所在 1 号楼外环境见表 1-7 和附图 2。

表 1-7　本项目所在 1 号楼外环境一览表

序号	名称	方向	最近距离	高差	环境特征
1	绿化带及人行车行道/空坝	四周	紧邻	无	绿化、过道/空坝
2	二期工程 3 号楼	西	约 10m	无	建筑物（-1F～4F）
3	二期工程 2 号楼	南	约 25m	无	建筑物（-1F～4F）
4	新州大道	东	约 40m	无	市政道路
5	一期工程 1～3 号楼	北	约 24m	无	建筑物（-1F～4F）

本项目植物 CT 铅房屏蔽体外 50m 范围主要为 1 号楼内各研发用房及研发相关辅助用房及设施，以及 1 号楼外高新区国家生物产业基地内绿化带及人行车行道/空坝、二期工程 3 号楼内办公区等，本项目周边保护目标主要为从事本项目设备操作的辐射工作人员以及铅房周围活动的公众成员。

1.7 项目选址可行性分析

本项目拟位于二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内，其所在地块为工业用地和新型产业用地混合型，以新型产业用地为主。本项目主要为植物根系光学高通量检测分析提供技

术保障，与所在高新区国家生物产业基地的主导产业不冲突，符合高新区国家生物产业基地产业规划。

本项目植物 CT 拟安装在二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内，其正上方 2F 为养蚕房 15，之间为架空区，正下方-1F 为车库行车道，植物 CT 四周拟设置高度 0.8m 实体警戒线（硬质围栏），进行物理围挡隔离，地面同步布设警示语和警示边界线，禁止无关人员进入该区域；项目场址与西南大学重点实验室建设项目属于同一区域，便于研发产品植物根系检测分析时转运作业；1 号楼为研发楼，楼内人员以科研相关人员为主；项目所在大厅并非重要通行通道，人员流动量相对较小。大厅四周科研辅助用房均采用实体墙体与大厅区域分隔。植物 CT 铅房采用六面体屏蔽防护设计，经屏蔽防护后，对周围环境的辐射影响较小。根据现状监测结果，场址区域辐射环境质量良好，具备项目建设条件。

因此，从辐射防护与环境保护角度，项目选址可行。

1.8 与项目有关的原有核技术应用及环境问题

西南大学已取得《辐射安全许可证》（渝环辐证[00007]，有效期至2027年3月27日），西南大学许可的核技术利用项目包括使用V类放射源；使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所；使用III类射线装置。

根据现场调查，西南大学放射源使用情况、非密封放射性物质、现有射线装置具体情况见表1-8、1-9、1-10所示。

表 1-8　西南大学放射源许可一览表

序号	辐射活动场所名称	核素	类别	总活度（贝可）/活度（贝可）×枚数	备注
1	物理大楼 321 室	Sr-90（Y-90）	V	5.55E+7*1	已上证
2		Cs-137	V	7.4E+4*1	已上证

表 1-9　西南大学非密封放射性物质许可一览表

序号	辐射活动场所名称	场所等级	核素	日等效最大操作量（贝可）	年最大用量（贝可）	备注
1	地球化学与同位素实验室 113 超净实验室	乙级	Th-229	2.91E+7	7.26E+9	已上证
2			Pb-210	2.91E+7	7.26E+9	已上证
3			Ca-45	2.91E+7	7.26E+9	已上证
4			U-233	2.91E+7	7.26E+9	已上证
5			U-235	2.91E+7	7.26E+9	已上证
6			Po-209	2.91E+7	7.26E+9	已上证

续表 1　项目基本情况

7			Sr-90	2.91E+7	7.26E+9	已上证
8			Pu-236	2.91E+7	7.26E+9	已上证
9			Th-230	2.91E+7	7.26E+9	已上证
10			Pu-242	2.91E+7	7.26E+9	已上证
11			Pu-239	2.91E+7	7.26E+9	已上证
12			U-234	2.91E+7	7.26E+9	已上证
13			Sr-85	2.91E+7	7.26E+9	已上证
14			Ba-133	2.91E+7	7.26E+9	已上证
15			U-236	2.91E+7	7.26E+9	已上证
16			U-238	2.91E+7	7.26E+9	已上证
17			I-129	2.91E+7	7.26E+9	已上证
18			Po-210	2.91E+7	7.26E+9	已上证
19	地球化学与同位素实验室 113 多接受质谱室	丙级	Pu-236	2.65E+6	6.625E+8	已上证
20			U-236	2.65E+6	6.625E+8	已上证
21			U-235	2.65E+6	6.625E+8	已上证
22			Ca-45	2.65E+6	6.625E+8	已上证
23			Ba-133	2.65E+6	6.625E+8	已上证
24			Sr-85	2.65E+6	6.625E+8	已上证
25			Pu-242	2.65E+6	6.625E+8	已上证
26			Sr-90	2.65E+6	6.625E+8	已上证
27			Pu-239	2.65E+6	6.625E+8	已上证
28			I-129	2.65E+6	6.625E+8	已上证
29			U-233	2.65E+6	6.625E+8	已上证
30			Po-210	2.65E+6	6.625E+8	已上证
31			Pb-210	2.65E+6	6.625E+8	已上证
32			Th-229	2.65E+6	6.625E+8	已上证
33			U-238	2.65E+6	6.625E+8	已上证
34			Po-209	2.65E+6	6.625E+8	已上证
35			Th-230	2.65E+6	6.625E+8	已上证
36			U-234	2.65E+6	6.625E+8	已上证

续表 1　项目基本情况

表 1-10　西南大学射线装置许可一览表

序号	装置名称	规格型号	类别	数量	辐射活动场所名称	备注
1	多晶 X 射线衍射仪	XD-6	III类	1 台	24 教 504 室	已上证
2	X 射线单晶衍射仪	SuperNova	III类	1 台	29 教 110 室	已上证
3	农用 X 光机	HY-35	III类	1 台	35 教 412 室	已上证
4	全自动多晶 X 射线衍射仪	XD-2/XD-3	III类	1 台	35 教 606 室	已上证
5	牙科 X 射线机	X-mind dc	III类	1 台	北区二楼口腔科牙片机房	已上证
6	移动式摄影 X 射线机	M40-1A	III类	1 台	北区急诊科发热门诊	已上证
7	口腔 X 射线数字化体层摄影设备	CS9000C3D	III类	1 台	北区体检中心 2 楼口腔 CT 室	已上证
8	X 射线计算机体层摄影设备	Optima CT520	III类	1 台	北区体检中心放射科 CT 室	已上证
9	医用 X 射线摄影装置	AXIOM Aristos VXPlus	III类	1 台	北区体检中心放射科 DR 室	已上证
10	数字化医用 X 射线摄影系统	Q-RAD	III类	1 台	北区体检中心放射科 DR 室	已上证
11	双能量 X 射线骨密度仪	AKDX-09W	III类	1 台	北区体检中心放射科骨密度室	已上证
12	动物用数字化 X 射线摄影系统	DR8000B	III类	1 台	北碚校区 98 教 114 室	已上证
13	X 射线粉末衍射仪	XRD-7000	III类	1 台	材料与能源学院 21 教 109 室	已上证
14	X 射线光电能谱仪	ESCALAB250Xi	III类	1 台	材料与能源学院 21 教 112-1 室	已上证
15	X 射线粉末衍射仪	XRD-6100	III类	1 台	材料与能源学院 25 教 108 室	已上证
16	医用 X 射线摄影系统	新东方 1000MD	III类	1 台	南区二院 X 光检查室 118 室	已上证
17	X 射线计算机体层摄影设备	uCT520	III类	1 台	荣昌校区第二教学楼 2102 室	已上证
18	X 射线计算机体层摄影设备	InsitumCT568	III类	1 台	荣昌校区第三教学楼 1 层 112 室	已上证
19	大功率 X 射线源	XYG-1203	III类	1 台	荣昌校区第四教学楼 4118 室	已上证
20	动物专用高频 X 光机	SPL-HF-VET-8.0	III类	1 台	荣昌校区动物医学院 X 光机室	已上证
21	动物专用高频 X 光机	PLX101A	III类	1 台	荣昌校区动物医学院临床放射诊断室 1 楼	已上证
22	数字化摄影 X 射线机	MTP66C	III类	1 台	荣昌校区门诊部 110 室	已上证

续表 1　项目基本情况

23	车载 X 光机	AKHX-50/200D	III类	1 台	体检车	已上证
24	微焦点 X 射线发生装置	L9181-02	III类	1 台	物理大楼 216 室	已上证
25	多晶 X 射线衍射仪	XD6	III类	1 台	药化大楼 334 室	已上证

西南大学已委托有资质单位对现有各辐射场所的屏蔽能力进行了监测，屏蔽能力满足要求，西南大学上述设备的手续齐全，运行至今使用情况良好。经调查，西南大学现有辐射工作人员 29 人，已为每名辐射工作人员配置个人剂量计，建立个人剂量监测档案和职业健康体检档案，2024 年第四季度及 2025 年第一、二、三季度年度个人剂量监测结果汇总值在 0.20~0.81mSv/a 之间，满足本项目辐射工作人员年有效剂量管理目标值 5mSv/a 和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。辐射工作人员均已参加辐射安全防护培训或自主考核。西南大学运营至今，未发生辐射事故，也未产生辐射环保纠纷，无相关环保遗留问题。

1.9 项目所在 1 号楼环保手续情况

西南大学因发展需求，分别于 2021 年、2023 在高新区国家生物产业基地二期工程 1 号楼和 2 号楼实施了“种质创制大科学中心一期示范工程”和“种质创制大科学中心项目二期工程”，均取得了重庆高新区生态环境局下发的重庆市建设项目环境影响评价文件批准书，批准文号为：渝（高新）环准〔2021〕061 号、渝（高新）环准〔2023〕24 号，具体内容详见附件 3。

经现场调查及核实，本项目依托的种质创制大科学中心项目一期、二期工程已建成并投入试运营，正在办理环保竣工验收相关手续。

本项目所在高新区国家生物产业基地二期工程（1～5 号楼）为标准厂房，于 2016 年 9 月 21 日取得了重庆市九龙坡区生态环境局下发的重庆市建设项目环境影响评价文件批准书，批准文号为：渝（九）环准〔2016〕0145 号，具体内容详见附件 3；并于 2020 年 1 月 17 日通过竣工环境保护验收，具体内容详见附件 4。

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
本项目不涉及放射源。								

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
本项目不涉及非密封放射性物质。										

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
本项目不涉及加速器。										

（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	植物 CT	II	1 套	nanoVoxel 4000 型	225	3	无损检测	二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内	拟购

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（mA）	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	
本项目不涉及中子发生器。													

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
本项目不产生放射性废物。								
臭氧、氮氧化物	气态	/	/	/	/	/	/	经设备顶部排风口排至大厅，由大厅排风系统引至二期工程 1 号楼楼顶排放
报废的植物 CT	固态	/	/	/	/	/	/	对其去功能化后，按照相关要求处理，保留相关手续并做好记录存档
生活垃圾	固态	/	/	/	/	/	/	袋装分类收集后，统一由环卫部门运送城市垃圾填埋场
生活污水	液态	/	/	/	/	/	/	依托高新区国家生物产业基地生化池处理达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准后排入市政污水管网，进入金凤污水处理厂深度处理达《梁滩河流域城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》DB50/963-2020 排放标准后经莲花滩河--梁滩河，最终排放至嘉陵江

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/l，固态为 mg/kg，气态为 mg/m^3；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3）和活度（Bq）。

表 6　评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行修订版； （2）《中华人民共和国生态环境法典》，2026 年 8 月 15 日起施行， （3）《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日最新修正； （4）《中华人民共和国放射性污染防治法》，2003 年 10 月 1 日施行； （5）《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号令，2017 年 10 月 1 日施行修订版； （6）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，中华人民共和国生态环境部令第 18 号，2021 年 1 月 1 日施行； （7）《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，国务院第 449 号令，2005 年 12 月 21 日施行；国务院令第 709 号，2019 年 3 月 2 日修订实施； （8）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，生态环境部令第 20 号，2021 年 1 月 4 日修订实施； （9）《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 日施行； （10）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2023 年 12 月 27 日中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号修改，2024 年 2 月 1 日起施行； （11）《国家危险废物名录（2025 年版）》，2025 年 1 月 1 日起施行； （12）《关于发布<射线装置分类>的公告》（原环境保护部、国家卫生和计划生育委员会公告 2017 年第 66 号，2017 年 12 月 5 日施行）； （13）《重庆市环境保护条例》，2025 年 7 月 31 日修正施行； （14）《重庆市辐射污染防治办法》，渝府令〔2020〕338 号，自 2021 年 1 月 1 日起施行；

续表 6　评价依据

技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）； （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）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （4）《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）； （5）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及 2017 年修改单； （6）《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）； （7）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （8）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （9）《核技术利用建设项目重大变动清单（试行）》（环办辐射函〔2025〕313 号）。 （10）《梁滩河流域城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》DB50/963-2020，自 2020 年 4 月 1 日起施行。
其他	（1）环境影响评价委托书，支撑性材料附件 1； （2）重庆市企业投资项目备案证，支撑性材料附件 2； （3） 种质创制大科学中心项目二期工程立项批复、重庆市建设项目环境影响文件批准书，支撑性材料附件 3； （4）国家生物产业基地标准厂房二期工程竣工环境保护验收意见重庆市建设项目竣工环境保护验收意见，支撑性材料附件 4； （5）事业单位法人证书，支撑性材料附件 5； （6）辐射安全许可证，支撑性材料附件 6； （7）辐射安全相关管理制度，支撑性材料附件 7； （8）本项目环境现状监测报告，支撑性材料附件 8； （9）ICRP 33 号出版物《医用外照射源的辐射防护》； （10）项目设计等其他相关资料。

表 7　保护目标与评价标准

7.1 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）的相关规定，通常取装置所在场所实体屏蔽物边界外 50m 的范围为评价范围。因此，本项目以植物 CT 铅房屏蔽体外 50m 的范围作为项目辐射环境影响的评价范围。

7.2 保护目标

本项目植物 CT 拟布置于二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内，其正上方 2F 为养蚕房 15，之间为架空区，正下方-1F 为车库行车道。本项目铅房 50m 范围内主要为 1 号楼内各研发用房及研发相关辅助用房及设施，以及高新区国家生物产业基地内绿化带及人行车行道/空坝、二期工程 3 号楼内办公区等，本项目周边保护目标主要为从事本项目设备操作的辐射工作人员以及铅房周围活动的其他公众成员。本项目铅房外环境保护目标见表 7-1 所示。

表 7-1　本项目铅房外环境保护目标一览表

序号	环境保护目标名称	方向	与铅房最近距离	最低高差	敏感目标特征	主要影响因素	影响人群
1	拟建植物 CT 四周实体警戒线（硬质围栏）以内	北 0m~3.9m 西 0m~7.3m 南 0m~3.6m 东 0m~3.0m	约 0～7.3m	无	大厅，约 2 人	X 射线	辐射工作人员
2	室内过道	北 3.8m~11.7m 西 7.3m~10.0m 南 3.6m~30.0m 东 3.0m~4.9m	约 3～30m	无	室内公共区域，约 5 人		公众成员
3	室外绿化带及人行车行道/空坝等	北 22.3m~50m 西 20m~30m 南 15m~50m 东 50m~68m	约 15～50m	-7～0m	室外公共区域		公众成员
4	二期工程 3 号楼办公区等	西北侧、西侧、西南侧	约 30～50m	无	其他功能用房，约 30 人		公众成员
5	显微镜室、原生质体转化及显微镜操作间、原生质体再生培养间、基因组编辑操作综合实验区等	北侧	约 4～22m	无	其他功能用房，约 15 人		公众成员

续表 7　保护目标与评价标准

续表 7-1　本项目铅房外环境保护目标一览表

序号	环境保护目标名称	方向	与铅房最近距离	最低高差	敏感目标特征	主要影响因素	影响人群
6	植物全生育期步入气候室、准备间、基因工程操作培养间、表型组学实验区、药品储藏库、风井、RNA 及组学操作间等	西北侧	约 4.6～30m	无	其他功能用房，约 20 人	X 射线	公众成员
7	凝胶室、暗室、核磁室等	西侧	约 10～20m	无	其他功能用房，约 10 人		公众成员
8	灭菌室、酵母室、仪器设备室、药品试剂室、风井、办公室（三）、超低温室、公共实验室（一）、细菌室（一）、细菌室（二）公共实验室（二）、办公区等	西南侧	约 6~50m	无	其他功能用房，约 80 人		公众成员
9	楼梯间、弱电、货梯厅女卫、男卫、清洁间茶水间等	南侧	约 5~30m	无	室内公共区域，约 5 人		公众成员
10	办公区、条件保障办公室等	南侧	约 30~50m	无	其他功能用房，约 30 人		公众成员
11	货梯厅、预留风井、预留空调水管井、走廊、强电、弱电、蒸汽管井、女卫、男卫、清洁间等	东南侧	约 7~50m	无	室内公共区域，约 15 人		公众成员
12	闲置区域	东侧	约 5~14m	无	其他功能用房，约 5 人		公众成员
13	中转站、展厅、展览厅等	东侧	约 22~50m	无	室内公共区域、其他功能用房，约 30 人		公众成员
14	通风橱	东北侧	约 5~6m	无	室内公共区域，约 1 人		公众成员
15	闲置区域、空房、库房、实验材料超低温保存区、电泳检测间、实验消洗间、人工气候室（一）、人工气候室（二）等	东北侧	约 6~50m	无	其他功能用房，约 30 人		公众成员
16	养蚕房（正上方）、过道、工作区、办公室等（3F～楼顶）	楼上	/	+5.7	其他功能用房，约 60 人		公众成员
17	车库行车道	楼下	/	-5.7	室内公共区域，约 5 人		公众成员

注：“+”表示高于铅房所在地面，“-”表示低于铅房所在地面。

7.3 评价标准

（1）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）

本标准适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

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

B1 剂量限值

第 B1.1.1.1 款　应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：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 作为职业照射剂量限值。

第 B1.2 款　公众照射

实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv。

（2）《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）

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），植物 CT 探伤和非探伤目的同辐射源范围的无损检测参考使用。

第 5.1 条　X 射线探伤机

第 5.1.1 条 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（本报告表 7-2）的要求。

表 7-2　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
＞200	＜5

第 6.1 条 探伤室放射防护要求

第 6.1.3 条 探伤室墙体和门的辐射屏蔽应同时满足：

续表 7　保护目标与评价标准

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。

第 6.1.4 条 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 100μSv/h。

第 6.1.5 条 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。

第 6.1.6 条 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。

第 6.1.7 条 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。

第 6.1.8 条 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。

第 6.1.9 条 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。

第 6.1.10 条 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。

第 6.1.11 条 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。

续表 7　保护目标与评价标准

第 6.2 条 探伤室探伤操作的放射防护要求

第 6.2.1 条 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。

第 6.2.2 条 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。

第 6.2.3 条 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。

第 6.2.4 条 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。

第 6.2.5 条 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。

第 6.2.6 条 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。

第 8.3 条 探伤室放射防护要求

第 8.3.1 条 检测条件

检测条件应符合如下要求：

a）X 射线探伤机应在额定工作条件下、探伤机置于与测试点可能的最近位置，如使用周向式探伤机应使装置处于周向照射状态；主屏蔽的检测应在没有探伤工件时进行，副屏蔽的检测应在有探伤工件时进行。

b）γ射线探伤验收检测时，应在额定装源活度、没有探伤工件、探伤机置于与测试点可能的最近位置进行；常规检测时，按照实际工作状态进行检测。

（3）《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）

第 3.1.1 条 探伤室墙和入口门外周围剂量当量率和每周周围剂量当量应满足下列要求：

续表 7　保护目标与评价标准

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

1）人员在关注点的周围剂量参考控制水平 Hc 如下：

职业工作人员：Hc≤100μSv/周

公众：Hc≤5μSv/周

第 3.1.2 条 探伤室顶的剂量率参考控制水平应满足下列要求：

2）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 100μSv/h。

第 3.2 条 需要屏蔽的辐射

第 3.2.2 条 散射辐射考虑以 0^0 入射探伤工件的 90^0 散射辐射。

（4）评价标准及相关参数值

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，辐射工作人员年有效剂量不超过 20mSv，公众成员年有效剂量不超过 1mSv；根据西南大学提供的资料，西南大学辐射工作人员年剂量管理目标值：5mSv，公众成员年剂量管理目标值：0.1mSv。铅房周围剂量当量率以不大于 2.5μSv/h 进行控制。

7.4 铅房辐射屏蔽的剂量参考控制水平

（1）相关要求

使用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中公式。

①周剂量参考控制水平（H_c）和导出剂量率参考控制水平（$\dot{H}_{c\bullet d}$）：

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≤100μSv/周

公众：H_c≤5μSv/周

②相应 H_c 的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c\bullet d}$（μSv/h）按式（1）计算：

$$\dot{H}_{c\bullet d} = H_c /(t \bullet U \bullet T) \qquad \text{式（7-1）}$$

式中：

H_c—周剂量参考控制水平，单位为微希每周（μSv/周）；

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；

t—探伤装置周照射时间，单位为小时每周（h/周）。t 按式（2）计算：

$$t=\frac{W}{60\bullet I}$$ 式（7-2）

式中：

W—X 射线探伤的周围工作负荷（平均每周 X 射线探伤照射的累积“mA·min”值），mA·min/周；

60—小时与分钟的换算关系；

I—X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）。

b）关注点最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c.\max}$：

$$\dot{H}_{c.\max}=2.5\mu Sv/h$$

c）关注点剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$：

$\dot{H}_c$ 为上述 a）中的 $\dot{H}_{c\bullet d}$ 和 b）中的 $\dot{H}_{c.\max}$ 二者的较小值。

（2）剂量率参考控制水平的确定

根据西南大学提供资料，本项目植物 CT 周工作负荷见表 7-3；根据 GBZ/T250-2014 附录 A，居留因子取值原则见表 7-4，剂量率参考控制水平核算表见表 7-5。

表 7-3　X 射线探伤装置工作负荷

设备型号	最大电压	最大电流	周最大曝光次数	单次每株每株植物根系曝光时间	周最大照射时间（t）
nanoVoxel 4000 型	225kV	3mA	480 次	5min	40h

表 7-4　不同工作场所与环境条件下的居留因子

场所	居留因子	示例	备注
全居留	1	控制室、暗室、办公室、邻近建筑物中的驻留区	GBZ/T250-2014 附录 A
部分居留	1/2~1/5	走廊、休息室、杂物间	
偶然居留	1/8~1/40	厕所、楼梯、人行道	

续表 7　保护目标与评价标准

表 7-5　铅房剂量率参考控制水平核算表

方向与关注点		U	T	t（h/周）	Hc（μSv/周）	$\dot{H}_{c\bullet d}$（μSv/h）	剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c\bullet max}$（μSv/h）	本项目剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$（μSv/h）	需屏蔽的线束类型
铅房前侧	大厅	1	1	40	100	2.5	2.5	2.5	散射/漏射
铅房后侧	大厅	1	1	40	100	2.5	2.5	2.5	散射/漏射
铅房左侧	大厅	1	1	40	100	2.5	2.5	2.5	散射/漏射
铅房右侧	大厅	1	1	40	100	2.5	2.5	2.5	主射/散射/漏射
顶棚		/	/	/	/	/	/	2.5	散射/漏射
底板		/	/	/	/	/	/	2.5	散射/漏射

注：①$\dot{H}_c$ 为 $\dot{H}_{c\bullet d}$ 和 $\dot{H}_{c\bullet max}$ 二者的较小值；②铅房四周均为辐射工作人员活动区域，故周剂量参考控制水平均按 100μSv/周考虑，居留因子按工作人员在检测室内的活动，考虑不利情况，取 1；③顶棚和底板无人到达，$\dot{H}_c$ 保守取 2.5μSv/h。

综上所述，结合本项目实际情况，确定本项目的主要评价目标见表 7-6 所示。

表 7-6　项目主要评价标准及相关参数汇总表

序号	项目	控制限值	采用的标准
1	年剂量管理目标值	辐射工作人员：5mSv 公众成员：0.1mSv	GB18871-2002 及建设单位管理要求
2	周剂量管理目标值	职业工作人员周剂量：≤100μSv/周 公众成员周剂量：≤5μSv/周	GBZ/T250-2014
3	铅房外周围剂量当量率	专用铅房屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率：≤2.5μSv/h	GBZ117-2022 GBZ/T250-2014
4	通风要求	CT 铅房有效通风换气次数应不小于 3 次/h	GBZ117-2022

表 8　环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

西南大学本项目拟位于重庆高新区金凤镇高新大道 28 号重庆（西部）科学城种质创制大科学中心（即高新区国家生物产业基地二期工程）1 号楼 1F 西侧大厅内，地理位置图见附图 1，具体场所位置见附图 2、附图 3。

8.2 辐射环境质量现状

为掌握本项目所在场址的辐射环境背景水平，2026 年 3 月 2 日重庆朕尔医学研究院有限公司对项目所在场址的辐射环境质量进行了现状监测，监测结果见渝朕辐环检字[2026]0005 号。

（1）监测因子：环境γ辐射剂量率

（2）监测方法和依据：

表 8-1　监测方法和依据

监测项目	监测方法	监测依据
环境γ辐射剂量率	仪器法	《环境γ辐射剂量率测量技术规范》HJ 1157-2021

（3）监测仪器

监测仪器情况见表 8-2。

表 8-2　监测仪器情况

仪器名称	型号	仪器编号	计量检定证书编号	有效期至	校准因子
便携式 X-γ 剂量率仪	BH3103B	ZRSB-FS-30	DLjl2025-09777	2026.7.27	1.08

（4）监测点位：共设 17 个点。具体监测布点见图 8-1、8-2。

图 8-1　拟建项目监测布点图

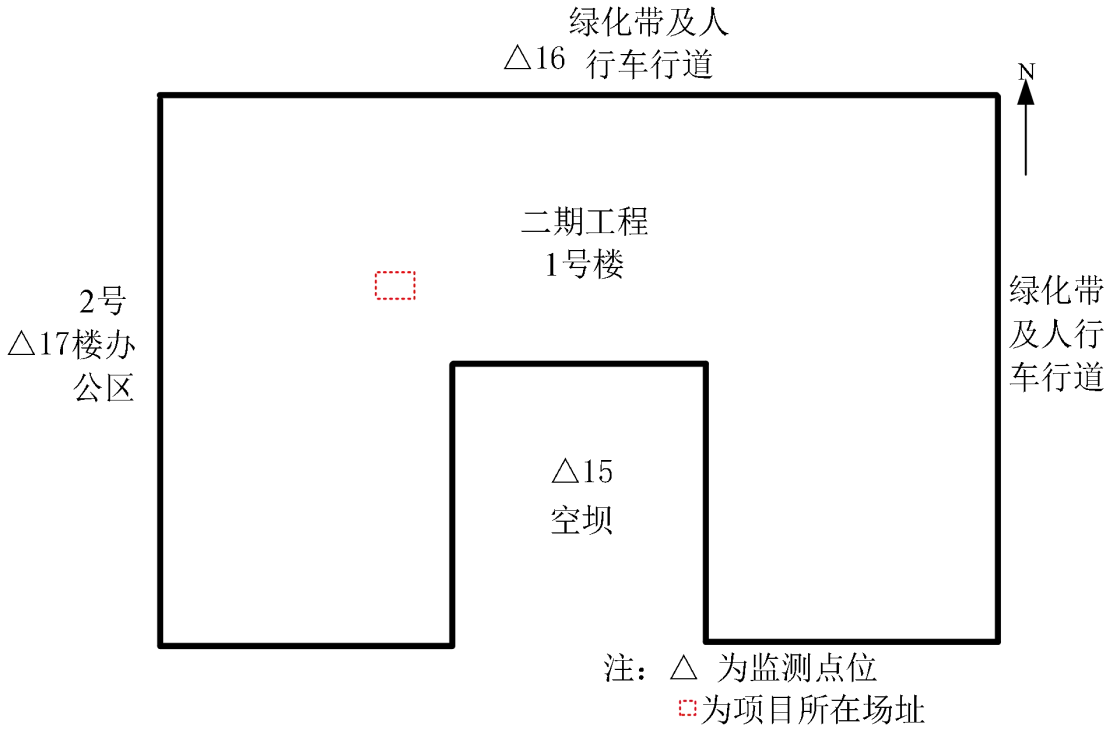

图 8-2　拟建项目监测布点图

监测布点合理性分析：监测时，监测点位分别布设在项目铅房拟安装位置、铅房周围区域及 1 号楼外绿化带及人行车行道、2 号楼内办公区域等。监测布点较全面的考虑了项目所在场址及其周围环保目标，总体上可以反映项目所在场址、临近（周围）环境辐射环境水平。

（5）质量保证措施

①本项目辐射环境监测单位为重庆朕尔医学研究院有限公司，具有重庆市市场监督管理局颁发的检验检测机构资质认定证书、质量管理体系认证及环境管理体系认证，并在允许范围内开展工作和出具有效的监测报告，保证了监测工作的合法性和有效性。

②采用国家有关部门颁布的监测标准方法，每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

③监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。

④监测实行全过程的质量控制，严格按照重庆朕尔医学研究院有限公司《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经培训、

考核合格后上岗。

⑤监测报告严格实行三级审核制度，经校核、审核，最后由授权签字人审定。

（6）监测结果统计：监测结果统计见表 8-3。

表 8-3　本项目辐射环境监测结果统计

监测点位编号	监测点位描述	环境γ辐射剂量率（nGy/h）
△1	项目拟建场址	79
△2	通风橱位置	82
△3	灭菌室	83
△4	酵母室	80
△5	仪器设备室	78
△6	凝胶室	82
△7	RNA 及组学操作间	82
△8	植物全生育期步入气候室	82
△9	原生质体转化及显微镜操作间	79
△10	显微镜室	81
△11	闲置区域	78
△12	楼梯间	82
△13	养蚕房 15	77
△14	车库行车道	81
△15	空坝	81
△16	室外绿化带及人行车行道	79
△17	2 号楼办公区	80
注：监测结果未扣除宇宙射线响应值。		

根据监测统计结果可知，本项目拟建场址及周围环境γ辐射剂量率的监测值在 77～83nGy/h 之间（未扣除宇宙射线的响应值）。根据《2024 年重庆市辐射环境质量报告书》中辐射环境质量状况数据，累积剂量法测得的重庆市γ空气吸收剂量率年均值范围为 79.2nGy/h～108nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），全市点位年均值为 96.1nGy/h（未扣除宇宙射线响应值）。两者相比，本项目拟建场址环境γ辐射剂量率均在重庆市 2024 年环境γ空气吸收剂量率正常涨落范围内。

表 9　项目工程分析与源项

9.1 建设阶段工艺流程及产污环节

本项目拟购置植物 CT 为整体式固定检测分析系统自带屏蔽铅房，拟放置在二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内，本项目施工期主要为植物 CT 成套设备的组装与调试，及其样品传送带组装等，均不需要现场焊接。整个施工过程基本由人工完成，不使用大型机械。产生的废弃物主要为设备外包装、安装人员生活垃圾和生活污水等，包装垃圾和生活垃圾均采用袋装分类收集后，统一由环卫部门处置，生活污水依托高新区国家生物产业基地生化池处理达标后排入市政污水管网。调试过程的影响因子主要为电离辐射，与营运期一致，其影响和污染防治措施参考营运期内容。

9.2 运行阶段（含调试阶段）工艺流程及产污环节

9.2.1 设备主要组成及工作方式

（1）X 射线机系统

本项目植物 CT 包括 X 射线源、平板探测器、样品台/旋转机架、扫描运动系统、电气与控制系统、软件与工作站、铅防护舱（整机一体化）、自动上料/下料流水线、样品托盘/RFID 识别、机械臂等组成。

X 射线机系统主要性能参数详见表 9-1 所示。X 射线管头、高压发生器外观典型照片见图 9-1、图 9-2，设备示意照片见图 9-3。

表 9-1　X 射线机系统主要性能参数

类别	主要技术参数	指标
X 射线系统		
X 射线源	型号	nanoVoxel 4000
	最大管电压	225kV
	最大管电流	3mA
	冷却方式	水冷
	X 射线束辐射角	40°
	滤过条件	3mmAl
	X 射线距辐射源点（靶点）1m 处发射率	10mGy.m^2/mA.min
	高压电缆	长度8m
	高频高压发生器	工作频率为47-63kHz
平板探测器		

续表 9　项目工程分析与源项

探测器	探测器有效面积	430mm×430mm
	接收能量范围	20kV-225kV
扫描运动系统	X 射线源、探测器升降	X 射线管头不能转动，仅可以上下、左右移动，上下升降行程600mm，左右移动行程615mm，不能前后移动
	立式转台	360°旋转

注：由于厂家提供的 X 射线距辐射源点（靶点）1m 处发射率为10mGy.m^2/mA.min，GBZ/T250-2014 表 B.1可知，本项目按 X 射线距辐射源点（靶点）1m 处输出量，保守估计取值为 G=13.9mGy.m^2/mA.min（250kV，3mmAl 过滤条件下），下文不再赘述。

图 9-1　X 射线管头

图 9-2　高压发生器

图 9-3　本项目植物 CT 外观典型照片

（2）辐射工作人员操作区（上料区、下料区）

辐射工作人员操作区（上料区、下料区）配置有铅门开关、急停按钮、电源

钥匙开关、高精度五轴电动样品台、样品固定与载具、辅助定位、自动样品交换系统、环境控制模块、辅助成像与预处理、样品转运车等。

（3）操作展示区

操作展示区配置有控制工作站、屏幕显示、UPS、高速存储、原厂控制+重建软件、安全联锁系统等。

（4）铅房

铅房外观尺寸：3300mm（长）×1736mm（宽）×2682mm（高）；铅房内空尺寸：2800mm（长）×1280mm（宽）×2352mm（高）；铅门尺寸：1240mm×2060mm（工件与检修共用）；门洞尺寸：1100mm×1965mm。

（5）工作方式

本项目采用自带屏蔽铅房 X 射线植物 CT 开展植物根系光学高通量检测分析，设备为全自动流水线作业模式，辐射工作人员仅需将带 RFID 标识的盆栽植物托盘放置于上料区料架，经第一段传送带输送至进料铅防护门处，防护门自动开启，托盘随第二段传送带进入扫描腔室并抵达指定工位后，进料门自动关闭并触发门机安全联锁，联锁生效后设备启动锥束 CT 扫描、数据采集与三维重建作业。

扫描完成后 X 射线源自动断电，出料铅防护门联动开启，盆栽托盘经第三段传送带输送至下料区料架，检测数据同步完成归档存储，系统进入下一批次循环作业。设备运行期间具备异常工况自动停机、声光报警及运行状态实时记录功能，进料/出料防护门与射线出束设置强制安全联锁，门体未完全闭合或联锁失效时无法出束，开门即瞬时断束。

本项目为固定式 X 射线植物根系光学高通量检测，其主射线束定向照射；X 射线出束期间，辐射工作人员在屏蔽铅房外侧监督区开展操作与巡检，不进入扫描腔室控制区。

9.2.2 工作原理及工作流程

（1）工作原理

①X 射线产生原理

X 射线管主要由射线管和高压电源组成，X 射线管由安装在真空玻璃壳中的

阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装在聚焦杯中。当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在铜阳极中的靶体射击。高压电压加在 X 射线管的两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度。高速电子与靶物质发生碰撞，就会产生轫致 X 射线和低于入射电子能量的特征 X 射线。靶体一般用高原子序数的难熔金属如钨、铂、金等制成。X 射线管结构及原理示意图见图 9-4。

②实时成像原理

X 射线通过物质时，其强度逐渐减弱，X 线束朝探测器方向出束，根据工件的摆放位置、厚度等，调节电流电压等来对工件进行 X 射线检测。当 X 线射向工件时，射线穿过工件被探测器接收，产生信号。因为物体各种组件的疏密程度不同，X 线的穿透能力不同，所以探测器接收到的射线就有了差异。将所接收的这种有差异的射线信号，转变为数字信息后由计算机进行处理，输出到显示的荧光屏上显示出图像。就可判断出缺陷图像，从而达到 X 射线无损检测的目的。

本项目植物 CT 利用 X 射线源提供 X 射线，根据 X 射线透过工件的衰减情况实现以各点的衰减系数表征的计算机扫描图像重建。高精度数控样品扫描转台实现扫描时工件的旋转或平移；探测器系统用来接收穿过工件的射线信号，经放大和模数转换后传入计算机；计算机系统包括软件和硬件，主要进行图像采集和三维重建，从而获得物体内部结构信息；安全防护屏蔽室用于射线安全防护。植物 CT 机工作原理见图 9-5。

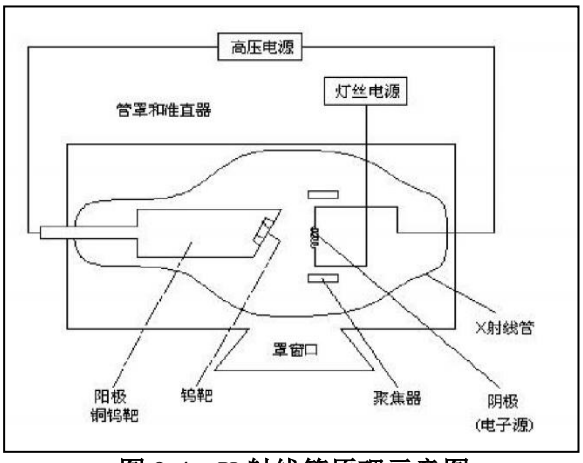

图 9-4　X 射线管原理示意图

续表 9　项目工程分析与源项

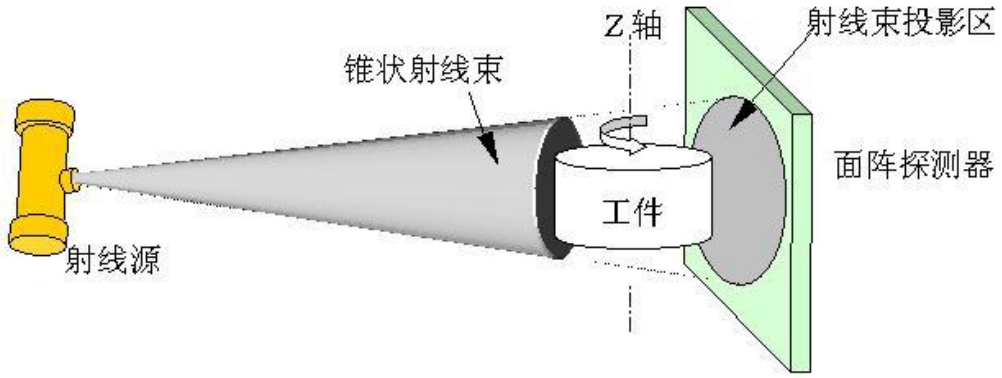

图 9-5　植物 CT 机结构工作原理简图

（2）工艺流程

在工作前必须做好一切准备，根据相关规范要求，调节好所需要的电流电压，准备检测后，非辐射工作人员不得进入大厅实体警戒线（硬质围栏）以内区域，以免发生误照事故。

①检测前将系统电源打开，打开计算机图像显示器等，确保检测前平台无其他样品影响检测。

②辐射工作人员将带 RFID 盆栽按顺序放入 ASE 样品架，系统批量读取 RFID，录入品种、编号、扫描参数和重建方案，确认铅房内无人后一键启动自动序列。

③传送带启动，样品经传送带送至扫描工位，防护门自动关闭并触发安全联锁后，设备自动完成锥束 CT 扫描、实时数据采集传输至工作站重建。

④扫描结束，X 射线源自动关闭，铅防护门自动开启，样品自动输送至下料区，数据同步归档，系统自动调度下一个样品流程循环作业。

⑤全部样品检测完成，关闭高压电源，分析检测结果，出具电子分析报告（不需洗片），再关闭软件和计算机。最后关闭总电源。

续表 9　项目工程分析与源项

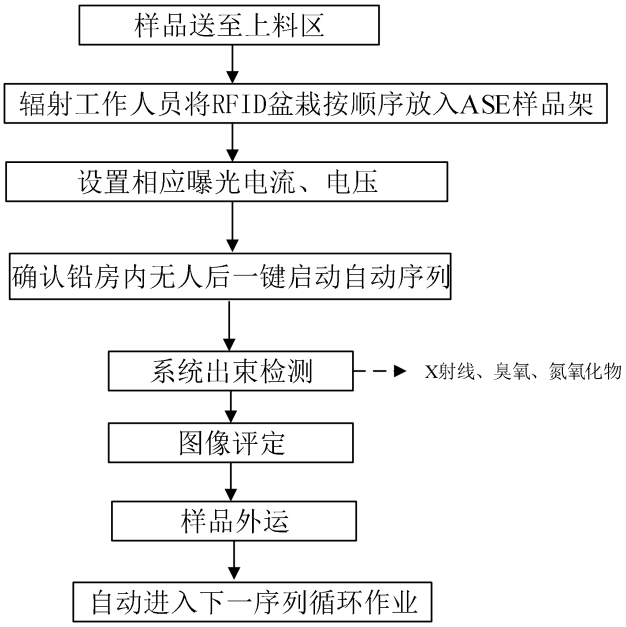

图 9-5　本项目 X 射线检测分析工艺流程及产排污简图

9.3 人流物流路径

（1）**物流路径：**待检植物根系由植物根系搬运工人搬运至大厅南侧实体警戒线（硬质围栏）外待检区，再由辐射工作人员将植物根系搬入上料区内，放入 ASE 样品架经传送带输送至铅房内扫描工位，检测完成后，再经传送带自动输送至下料区，由辐射工作人员将已检植物根系放回大厅南侧实体警戒线（硬质围栏）外已检区，由植物根系搬运工人原路运回。

（2）**人员路径：**检修人员经大厅南侧进入实体警戒线（硬质围栏）内，由铅房前侧铅门进入，检修完成后原路返回，除检修外人员不进入铅房，检修必须是设备呈关机状态下进行；辐射工作人员仅在铅房外、实体警戒线（硬质围栏）以内上料区、下料区和操作展示区活动，不进入铅房；植物根系搬运工人不进入大厅实体警戒线（硬质围栏）内。

本项目人流物流路径规划图见图 9-6。

续表 9　项目工程分析与源项

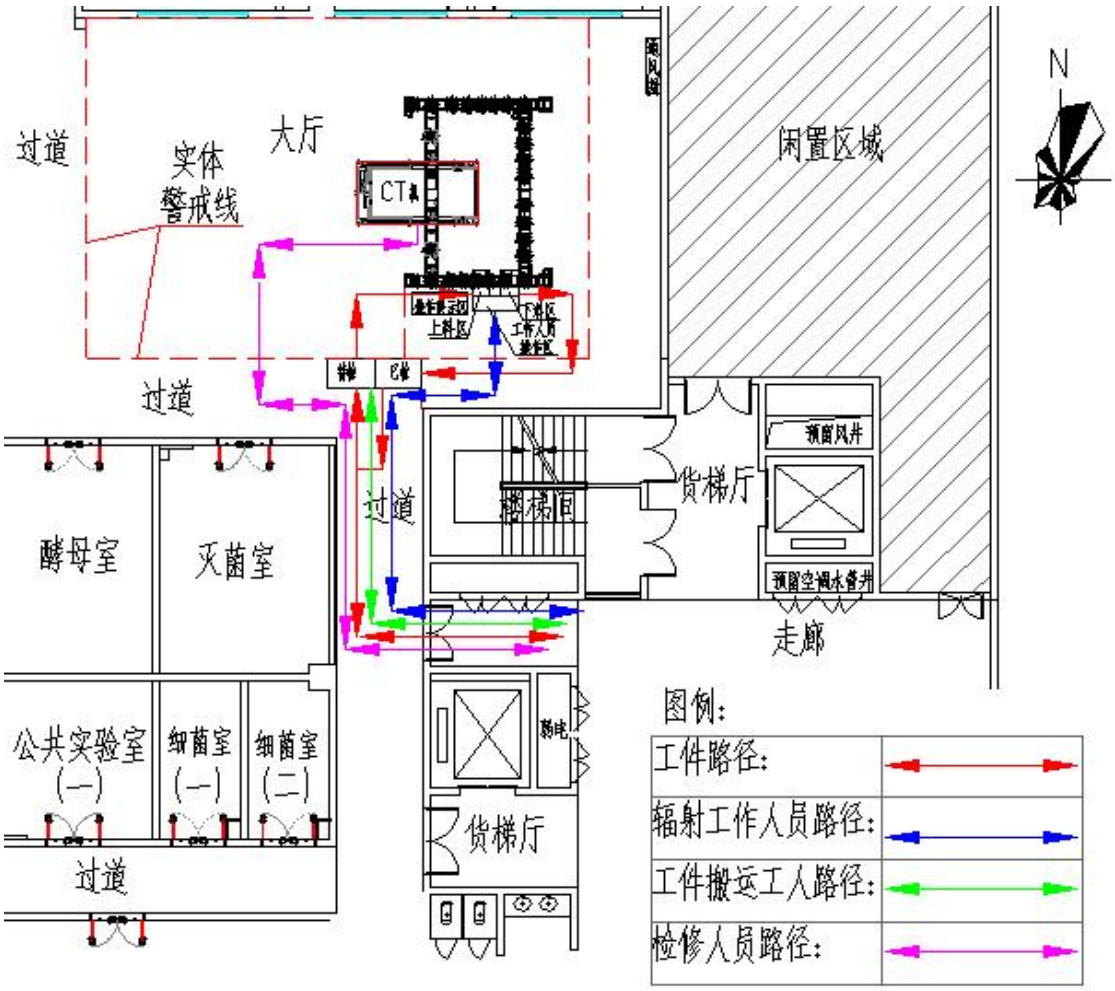

图 9-6 项目人流物流路径规划示意图

9.4 污染源项分析

根据工艺流程可知，本项目植物 CT 产生的污染物主要有设备曝光时的 X 射线、废气（臭氧、氮氧化物）等。

9.4.1 电离辐射

由植物 CT 工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失，本项目使用的植物 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。因此，在开机曝光期间，X 射线成为污染环境的主要污染因子。

根据项目 X 射线检测分析工作流程，植物 CT 与电离辐射危害有关的辐射安全环节主要为 X 射线球管出束照射工件期间，它产生的 X 射线能量在零和曝光管电压之间，为连续能谱分布，其穿透能力与 X 射线管的管电压和出口滤过有关。辐射场中的 X 射线包括有用线束、漏射线和散射线。

（1）有用线束：植物 CT 射线能量、强度与 X 射线管靶物质、管电压、管电流有关。靶物质原子序数越高，加在 X 射线管的管电压、管电流越高，光子束流越强。本项目植物 CT 为 225kV 射线源，由厂家提供的相关参数可知，该 225kV 射线源距靶 1m 处主射束在 3mmAl 的过滤条件下的最大输出量为 10mGy/mA•min。

（2）漏射线：由 X 射线管发射的透过 X 射线管组装体的射线。根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）表 1 可知，nanoVoxel 4000 型（225kV）距 X 射线管焦点 1m 处的漏射线周围剂量当量率小于 5mSv/h。

（3）散射线：由有用线束及漏射线在各种散射体（检测样品、射线接收装置、地面、墙壁等）上散射产生的射线。一次散射或多次散射，其强度与 X 射线能量、X 射线机的输出量、散射体性质、散射角度、面积和距离有关。

根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）表 2 可知，本项目 nanoVoxel 4000 型 X 射线 90°散射辐射能量最高，其相应的 kV 值为 200kV。

9.4.2 其他源项分析

本项目主要是在植物 CT 植物根系光学高通量检测分析作业过程中产生的 X 射线，不产生放射性“三废”。

（1）废气

在 X 射线检测分析作业时，X 射线使空气电离产生少量臭氧（O_3）和氮氧化物（NO_x），经设备顶部排风口排至大厅，由大厅排风系统引至二期工程 1 号楼楼顶排放。

（2）废水

本项目辐射工作人员在西南大学现有劳动定员内，故运营期不新增二期工程 1 号楼生活污水，本项目所在二期工程 1 号楼产生废水依托高新区国家生物产业基地生化池（处理能力 220m^3/d）处理达标后排入市政污水管网。

（3）固体废物

本项目一般固废主要为辐射工作人员产生的生活垃圾及报废的植物 CT，不产生危险废物。

本项目不新增劳动定员，不新增生活垃圾产生量；本项目产生生活垃圾经袋

装分类收集后，统一由环卫部门收集运送城市垃圾填埋场；报废的植物 CT 对其去功能化后，按相关要求处理，保留相关手续并做好记录存档。

9.4.3 项目产排污统计

本项目污染因子及源强分析汇总见表 9-3 所示。

表 9-3　本项目产排污一览表

污染物	污染因子	产生量	处理方式
电离辐射	X 射线	nanoVoxel 4000型：最大能量225kV，225kV射线源距靶1m处主射束的发射率为10mGy·m^2/mA•min；漏射线周围剂量当量率小于5mSv/h；X射线90°散射辐射最高能量相应的kV值为200kV。	专用铅房四周墙体、顶棚、底板、防护门等屏蔽。
废气	O_3、NO_X	少量	本项目运行时产生的废气经设备顶部排风口排至大厅，由大厅排风系统引至二期工程 1 号楼楼顶排放。
废水	生活污水	不新增	本项目所在二期工程 1 号楼产生生活污水依托高新区国家生物产业基地生化池处理达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准后排入市政污水管网，进入金凤污水处理厂深度处理达《梁滩河流域城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》DB50/963-2020 排放标准后经莲花滩河--梁滩河，最终排放至嘉陵江。
固废	生活垃圾	不新增	经袋装分类收集后，统一由环卫部门收集运送城市垃圾填埋场。
	报废的植物 CT	1 套	对其去功能化后，根据相关要求进行处理，保留相关手续并做好记录存档。

表 10　辐射安全与防护

10.1 布局与分区

10.1.1 工作场所布局合理性分析

本项目植物 CT 为整体式固定检测分析系统自带屏蔽铅房，设备固定安装在二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内，配套设置了自动上料/下料流水线，其四周外扩一定距离设置实体警戒线（硬质围栏）、地面警示语和警示边界线，禁止无关人员进入该区域。本项目植物 CT 自动连续运行，检测对象为植物根系，其主射方向朝向铅房右侧；铅房拟设置 2 个左右滑动铅门，辐射工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区、电缆孔、通风口均避开了有用线束照射方向，且距离设备有一定的距离，能增加辐射工作人员与辐射源之间的距离，减少影响；二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内布局单一，仅大厅东北角靠墙已设置固定式通风橱，该处工作人员偶尔使用，且停留时间较短，并不在主射线投照范围内。因此，本项目平面布局合理。

10.1.2 分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）控制区和监督区的定义划定控制区和监督区。其定义为“控制区：在辐射工作场所划分的一种区域，在这种区域内要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施；监督区：未被确定为控制区、通常不需要采取专门防护手段和安全措施但要不断检查其职业照射条件的任何区域。”根据《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）“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”。一般将探伤室墙壁围成的内部区域划为控制区，与墙壁外部相邻区域划为监督区。

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，对本项目工作场所进行分区管理。

控制区：植物 CT 检测分析设备配套整体屏蔽铅房内；监督区：铅房外实体警戒线（硬质围栏）以内（包括铅房的顶部）等控制区相邻场所区域。

本项目用房具体分区情况如下表 10-1，分区布置示意图见图 10-1。

因此，本项目分区满足相关标准要求。拟采取的分区管理措施如下：

①控制区：在此区进行设备维修等工作人员应当严格遵守防护规定和安全操作规程，铅房顶部靠近前侧（辐射工作人员操作区一侧）铅门处拟设置醒目的三色工作状态指示灯及声光报警器，拟在各铅门上黏贴电离辐射警告标志、设置红外线防夹装置，以及门机联锁系统等防止人员误入的控制措施。

②监督区：铅房外实体警戒线（硬质围栏）以内的区域（包括铅房顶部），该区域拟设置监督区标识及警示语。

本项目工作场所按照相关要求进行了分区，控制区、监督区互不交叉，分区合理，分区及其管理措施符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关要求。

表 10-1　项目分区管理情况表

类别	用房
控制区	铅房内
监督区	铅房外实体警戒线（硬质围挡）以内的区域（包括铅房顶部）

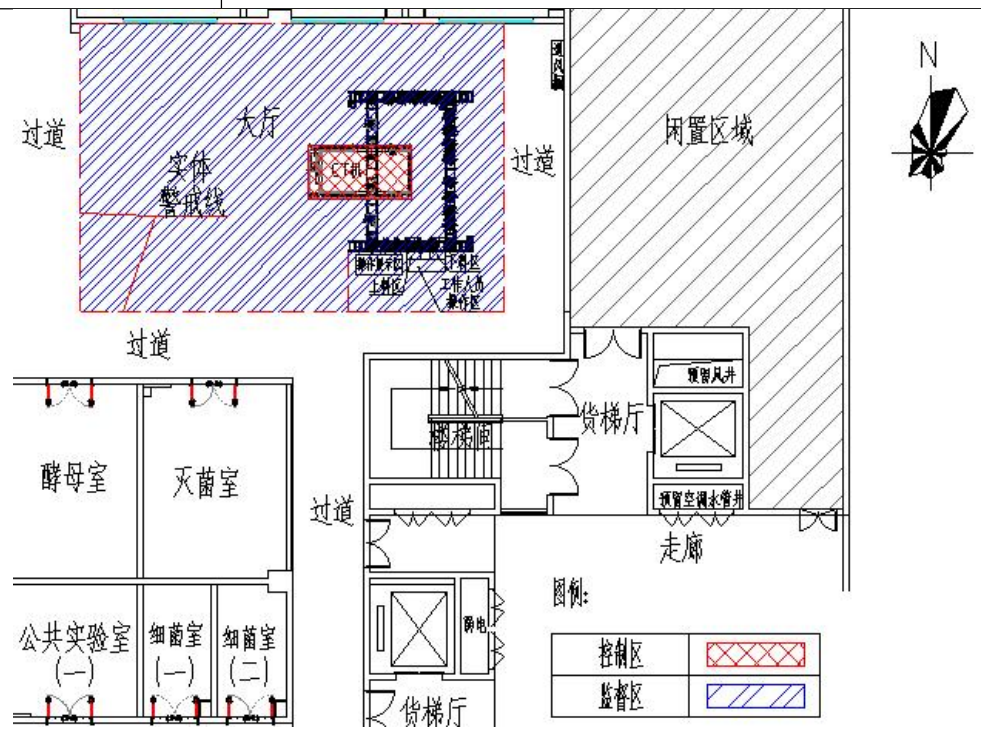

图10-1　本项目工作场所分区布置示意图

10.2 辐射安全与防护措施

本项目植物 CT 曝光时产生 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源及加以必要的屏蔽。

10.2.1 铅房屏蔽防护措施

（1）屏蔽体设计情况

西南大学拟购买的植物 CT 为整体式固定检测分析系统自带屏蔽铅房，其具有足够的屏蔽能力，具体设计参数见表 1-2。经后文核算，铅房的屏蔽能力满足《工业探伤放射防护

标准》（GBZ117-2022）标准限值要求。

（2）防护门缝搭接

根据设备厂家提供的资料，本项目铅门拟采用左右滑动电动铅门，铅房各屏蔽体之间、防护门与铅房之间均拟采用重叠方式搭接，由表 1-2 可知，铅门尺寸大于铅房门洞开孔尺寸，防护门与各屏蔽体之间的搭接宽度不小于缝隙的 10 倍，不影响屏蔽体的屏蔽能力。

（3）管线和通风口

①电缆孔

根据设备厂家提供的资料，植物 CT 电缆穿铅房孔洞位于铅房左侧屏蔽箱体下方靠近底板处（避开主射线方向），其直接在左侧屏蔽箱体上开设的 1 个孔洞，然后在屏蔽箱体孔洞外侧，设置 1 个内 2.5mm 钢+8mmPb+外 2.5mm 钢屏蔽罩，作为屏蔽防护补偿设施，经过屏蔽补偿后不影响屏蔽效能。电缆进出口罩剖面图见下图。

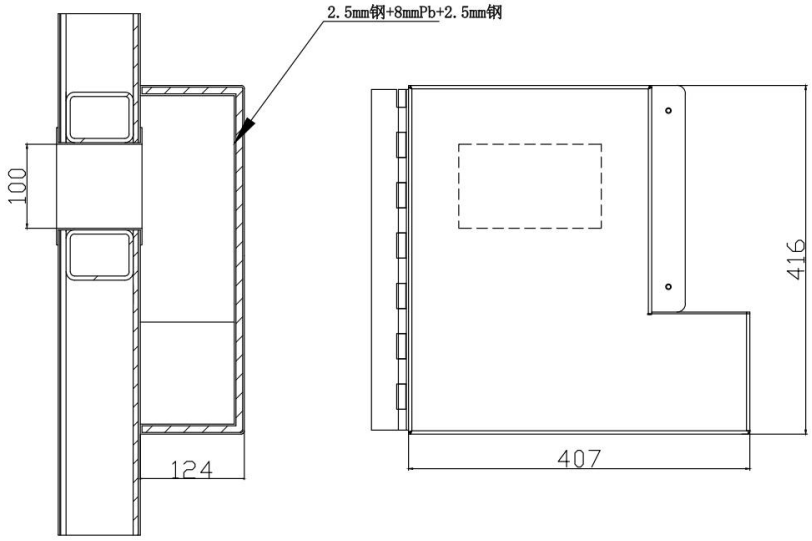

图 10-2　电缆口防护屏蔽示意图

②通风口

根据设备厂家提供的资料，植物 CT 机械排风扇（两扇）穿铅房孔洞位于顶部屏蔽箱体左侧靠近电气柜处（避开主射线方向），其直接在屏蔽箱体上开设 2 个孔洞，然后在屏蔽箱体孔洞外侧设置内 2.5mm 钢+10mmPb+外 2.5mm 钢屏蔽罩，经过屏蔽补偿后不影响屏蔽效能。排风扇防护罩剖面图见下图。

续表 10 辐射安全与防护

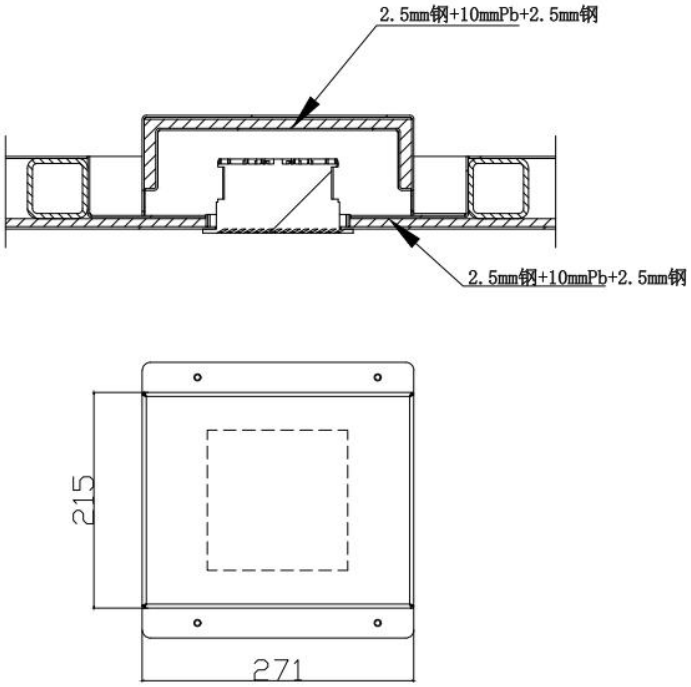

图 10-3　排风扇防护罩剖面图

10.2.2 设备固有安全性

拟配置满足标准要求的有相应安全性能的合格出厂的植物 CT：

（1）开机时系统自检

开机后控制器首先进行系统诊断测试。若诊断测试正常，该设备会示意（控制界面显示设备正常）操作者可以进行曝光或训机操作；若诊断出故障，在显示器上显示出故障代码，提醒用户关闭电源，与厂家联系并维修。

（2）当 X 射线发生器接通高压产生 X 射线后，系统将始终实时监测 X 射线发生器的各种参数，当发生异常情况时，控制器自动切断 X 射线发生器的高压。在曝光阶段出现任何故障，控制器都将立即切断 X 射线发生器的高压，提醒操作人员发生了故障。

（3）设备出束时，打开铅门，控制器将立即切断 X 射线发生器的高压，停止 X 射线出束。

（4）当曝光阶段正常结束后，系统将自动切断高压，进入休息阶段。

（5）设备停止工作 48 小时以上，再使用时要进行训机操作后才可使用，避免 X 射线发生器损坏。

（6）过电流保护

设备带有断路器，当管电流超过额定值时或高压对地放电时，设备会自动切断高压。

续表 10 辐射安全与防护

10.2.3 拟采取的安全联锁、紧急停机、工作状态指示灯等

（1）门机联锁系统：本项目植物 CT 铅防护门设置门机联锁系统。所有铅门未关闭的情况下不能打开高压产生射线；铅门关闭后，在开高压产生射线的情况下，铅门不允许打开；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。

（2）声光警示：本项目铅房外顶棚和铅房内部拟同时设置显示“预备”、“照射”和“通电”工作状态指示灯，“预备”信号、“照射”信号和“通电”信号拟分别采用有明显区别的黄色、红色和绿色指示；本项目铅房外顶棚靠近工作状态指示灯位置拟设置 1 个声光报警器，当工作状态指示灯为红色“照射”信号时，该声光报警器同时灯亮并伴随蜂鸣声响。铅房内、外醒目位置处拟张贴清晰的对“预备”、“照射”和“通电”信号意义的说明（黄色为预备，红色为照射，绿色为通电）。

（3）设备上工作人员操作区（上料区）设有主电源开关及钥匙开关。主电源开关包括主机电源、计算机电源、动力电源开关，只有主机电源开通，计算机进入扫描界面后，才能启动动力电源。启动动力电源后系统将自动进行自检，若自检正常，则电源指示灯变绿，辐射操作人员可进行放样，参数设置，然后关闭防护门，打开钥匙开关。钥匙开关打开后，观察确认铅门处及铅房内无人员逗留后，才能启动 X 射线高压电源。

（4）紧急停机：本项目植物 CT 项目拟设置 5 个急停按钮，分别位于辐射工作人员操作区（上料区、下料区）、铅房内前侧、后侧、左侧，铅房内前侧、后侧急停按钮拟位于防护门旁，急停按钮旁拟设置中文标识和相关说明，人员处在铅房内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用。急停按钮相互串联，按下按钮植物 CT 高压电源立即被切断，植物 CT 停止出束；铅门无应急开门按钮，在铅房内放一个撬棒，可从内侧将门撬开。

（5）视频监控系统

本项目铅房内拟设 3 个摄像头，显示器拟位于操作展示区，通过显示器可观察到铅房内实时情况。

（6）电离辐射警告标志

铅房各铅门上拟张贴固定的电离辐射警告标志。警示无关人员进入，以免受到不必要的照射。

（7）固定式场所辐射探测报警装置

固定式场所辐射探测报警装置探头拟安装在铅房内左侧靠顶部位置，监测铅房内的实时剂量，超过阈值会进行声光报警；显示器拟位于操作展示区。

10.2.4 安全联锁逻辑

（1）本项目辐射防护安全措施图详见图 10-4 所示。

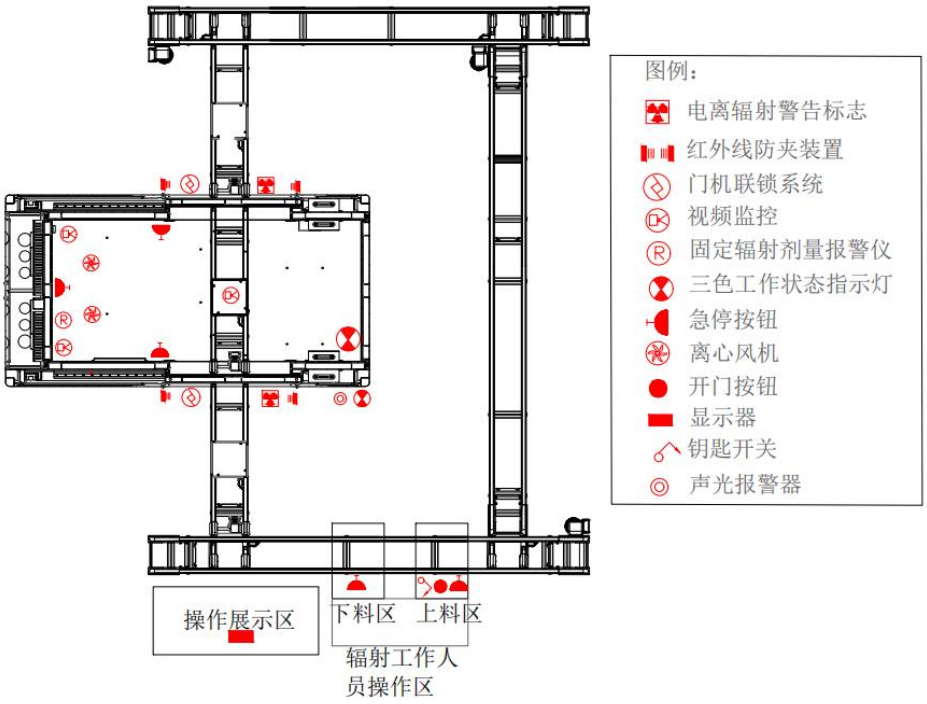

图 10-4　辐射防护安全措施图

（2）安全联锁逻辑分析

本项目植物 CT 拟设计具有冗余性、多元性与独立性的辐射防护安全联锁设施与措施，植物 CT 在主控钥匙转到开机位置，所有铅门关闭、工作人员操作区（上料区、下料区）及铅房内所有急停按钮复位、设备自检正常的情况下才能出束，出束时相应状态指示灯亮。当按下急停按钮或者铅门意外打开，设备立即停止出束，安全联锁逻辑图见图 10-5。

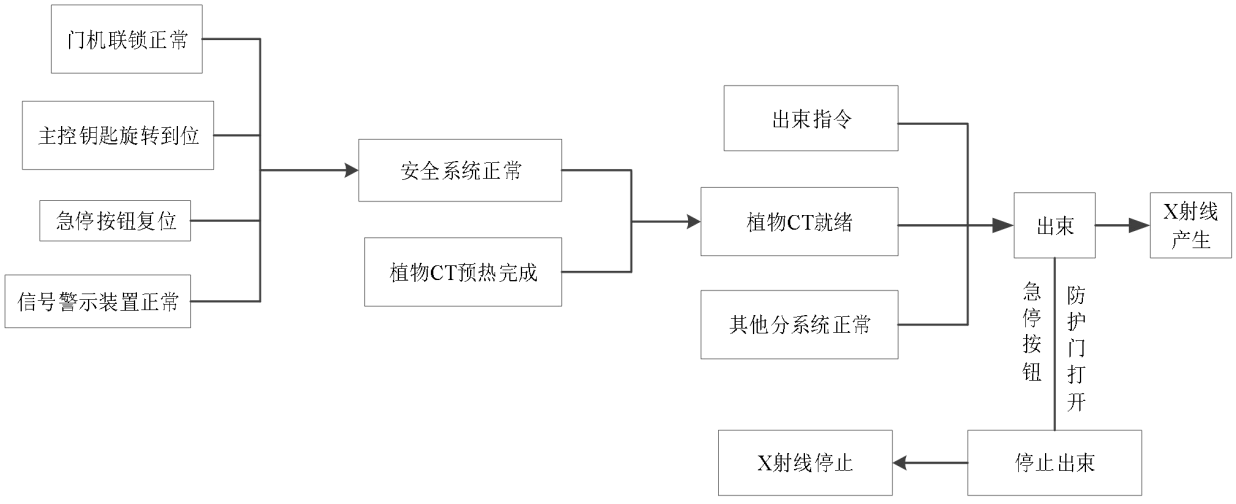

图 10-5　辐射安全联锁逻辑图

10.2.4 通风

植物 CT 铅房顶部左侧（避开主射线方向）拟设置 2 个排风口，总排风量为 350m³/h，排风次数约为 41 次/h，满足要求。铅房内废气经设备顶部 2 个排风口排至大厅，依托大厅排风系统引至二期工程 1 号楼楼顶排放。

10.2.5 相关监测仪器

本项目拟配置的相关监测仪器如下表 10-2 所示。

表 10-2 相关监测仪器一览表

序号	名称	数量	用途	备注
1	个人剂量报警仪	2 个	实时监测辐射工作场所是否超标。	拟配置
2	个人剂量计	2 枚	辐射工作人员在工作期间佩戴。	拟配置
3	便携式 X-γ辐射剂量率仪	1 台	铅房屏蔽体外（包括监督区）定期剂量监测，保证屏蔽体的屏蔽效果。	拟配置
4	固定式场所辐射探测报警装置	1 套	实时监测铅房内剂量。	拟配置

10.3 三废的治理

本项目主要是在植物 CT 开机检测作业过程中产生的 X 射线，不产生放射性三废。

10.4 项目措施与相关要求的符合性分析

根据上文介绍，项目拟采取的辐射防护措施与相关标准和规范的相关要求对比情况见表 10-3 所示。

根据表 10-3 可知，本项目采取的辐射安全与防护措施满足《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）、《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）的要求。

续表 10　辐射安全与防护

表 10-3　项目辐射防护措施与标准要求对比情况表

标准名称	标准要求		项目情况
《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）	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。	西南大学对放射防护安全负主体责任。
		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。	西南大学已成立辐射安全管理领导小组，并明确放射防护管理人员及其职责，制定了辐射防护管理制度。
		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。	建设单位拟为本项目辐射工作人员配备个人剂量计并定期送交监测，辐射工作人员拟按照要求进行职业健康检查。
		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。	本项目拟配置的 2 名辐射工作人员在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。	拟为本项目配置固定式剂量监测仪 1 套和个人剂量报警仪 2 个。
		4.6 应制定放射事故应急处置预案。	西南大学已制定放射事故应急处置预案，待本项目运行前再根据实际情况进行完善。
	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/T26837 的要求。	本项目拟购买合格出厂的设备。设备的漏射线所致周围剂量当量率能满足标准要求，设备随机文件有这些指标的说明。

续表 10　辐射安全与防护

		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） 安全联锁是否正常工作；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。	建设单位拟将本项目纳入原有安全检查相关制度，本项目辐射工作人员开展放射工作前检查以上项目是否异常，若无异常则正常工作；有异常立即停止工作，联系生产厂家检查维修。
	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。	本项目植物CT设备为整体式固定检测分析系统自带屏蔽铅房，属于整体探伤，工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区与铅房分开布置。本项目工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区、电缆孔、通风口均避开了有用线束照射方向。本项目铅门（工件与检修共用）防护性能与同侧屏蔽体防护性能一致。
		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。	项目实行分区管理，控制区即为植物 CT 铅房内部，监督区为铅房外实体警戒线（硬质围栏）以内的区域（包括铅房顶部），分区与分区管理措施均符合 GB18871 等标准要求。
		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。	经后文核算，本项目使用的铅房各屏蔽体外的周围剂量当量率均不大于 2.5μSv/h，设备屏蔽体均满足要求。
		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 100μSv/h。	根据后文核算，植物 CT 铅房顶部的辐射屏蔽满足标准要求，本项目植物 CT 顶部外表面 30cm 处的周围剂量当量率参考控制水平保守取 2.5μSv/h。

续表 10　辐射安全与防护

			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。	铅房拟配置门机联锁装置，铅门未关闭的情况下不能打开高压产生射线；在探伤过程中，铅门被意外打开时，能立刻停止出束。除检修情况下，设备内不进人，紧急情况，铅房内人员按下急停按钮，设备断电，门机联锁失效，人员可以在铅房内使用撬棒从内侧将门撬开。
			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。	本项目铅房外顶棚和铅房内部拟同时设置显示“预备”、“照射”和“通电”工作状态指示灯，“预备”信号、“照射”信号和“通电”信号拟分别采用有明显区别的黄色、红色和绿色指示；本项目铅房外顶棚靠近工作状态指示灯位置拟设置 1 个声光报警器，当工作状态指示灯为红色“照射”信号时，该声光报警器同时灯亮并伴随蜂鸣声响。铅房内、外醒目位置处拟张贴清晰的对“预备”、“照射”和“通电”信号意义的说明（黄色为预备，红色为照射，绿色为通电）。
			6.1.7 探伤室内和探伤室出入口应安装监视装置，在控制室的工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区应有专用的监视器，可监视探伤室内人员的活动和探伤设备的运行情况。	本项目铅房内拟配备 3 个监视摄像头，并连接到操作展示区旁计算机显示器，能全方位拍到铅房内的工作情况以及铅房防护门情况。视频监控屏幕位置拟设置在操作展示区，辐射工作人员能在操作展示区上实时监控检测过程铅房内情况。
			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。	本项目铅房各防护门上拟设置电离辐射警告标识，并设置中文警示说明。

续表 10　辐射安全与防护

		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。	本项目拟设置 5 个急停按钮，分别位于工作人员操作区（上料区、下料区）、铅房内前侧、后侧、左侧，铅房内前侧、后侧急停按钮拟位于防护门旁，急停按钮旁拟设置中文标识和相关说明，人员处在铅房内任何位置时都不需要穿过主射线束就能够使用；急停按钮位置拟位于人员方便接触的位置，且不在主射方向上，且带有中文标识。
		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。	植物 CT 铅房顶板左侧（避开了主射线照射方向）安装机械排风扇并设 2 个排风口，总排风量为 350m^3/h，通风次数约 41 次/h。
		6.1.11 探伤室应配置固定式场所辐射探测报警装置。	本项目拟配置固定式场所辐射探测报警装置，剂量探头位于铅房内左侧靠顶板位置。
	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。	拟每日对铅房的门机联锁系统、工作状态指示灯等防护安全措施检查一次，确保门机联锁系统、工作状态指示灯等防护安全措施正常后，方可开展检测工作。
		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。	从事本项目的探伤工作人员配备个人剂量计后方可上岗，拟为本项目配备便携式 X-γ剂量率仪 1 台、个人剂量报警仪 2 个、固定式场所辐射探测报警装置 1 套。运行工况下辐射工作人员不进入铅房内部。
		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。	拟定期对本项目铅房外周围区域、包括工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区、周围毗邻区域人员居留处的剂量率水平进行监测，并制定相关制度，当测量值高于参考控制水平时，终止探伤工作并向辐射防护负责人报告。

续表 10　辐射安全与防护

		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。	本项目为一班制，工作人员上班时按照相关要求检查剂量仪是否正常工作，发现不能正常工作时将暂停检测工作。
		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。	在每一次照射前，辐射工作人员检查铅房内是否会有人员驻留，且检查相关防护措施均能正常运行才开始检测工作。
		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。	本项目设备铅房大小满足西南大学研发的各类型植物根系检测使用，不会出现样品过大情况，并拟制定相关制度，不得开门检测分析。
	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。	植物 CT 报废，对其去功能化后根据建设单位相关要求处理，保留相关手续，并做好记录存档。清除工作场所内电离辐射警告标志和各类说明。
《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022	8.1 检测的一般要求	8.1.1 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。	建设单位拟将本项目纳入原有放射防护检测计划。在检测计划中对检测位置、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 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。	西南大学拟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，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。

续表 10　辐射安全与防护

	8.2 探伤机检测	8.2.1.2 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。	西南大学拟计划每年对植物 CT 的防护性能进行检测。植物 CT 移动后，拟进行安全装置的性能检测。
	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 GBZ128 的相关要求进行外照射个人监测。	西南大学拟按照 GBZ128 的相关要求对射线作业人员进行外照射个人监测。
《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）	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。	本项目植物CT设备为整体式固定检测分析系统自带屏蔽铅房，属于整体探伤，除设备检修外人员不进入整体植物 CT 屏蔽铅房内，因此不设人员门，仅设置样品进出门；针对检修情况，本项目铅房体积小，检修门与工件进出门共用。
		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射线束照射方向。	本项目工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区位于铅房前侧流水线外侧，X 射线球管拟位于铅房内左侧，平板探测器拟位于铅房内右侧，设备主射线朝铅房右侧，设备主射线朝铅房右侧；设备主射方向避开了辐射工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区和铅门。
		3.3.3 屏蔽设计中，应考虑缝隙、管孔和薄弱环节的屏蔽。	铅房主体钢+铅+钢结构焊接密闭；拟设置左右滑动铅防护门，在铅门搭接处设置合理尺寸铅门对左右两边进行搭接防护。拟设置电缆出口防护罩位于铅房左侧屏蔽箱体下方靠近底板处，避开了主射线方向，其屏蔽能力满足防护要求。
		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。	本项目铅房仅使用 1 套 X 射线装置，同时，根据后文计算，主射线方向和其它侧屏蔽体均能满足额定工况下的辐射防护要求。
《职业性外照射个人监测规范》	5.监测系统与使用	5.3.1 对于比较均匀的辐射场，当辐射主要来自前方时，剂量计应佩戴在人体躯干前方中部位置，一般在左胸前或锁骨对应的	本项目辐射工作人员主要辐射来自于身体前方，拟要求辐射工作人员在左胸前佩戴个人剂量计。

续表 10　辐射安全与防护

GBZ128-2019	要求	领口位置；当辐射主要来自人体背面时，剂量计应佩戴在背部中间。	
	7.质量保证	7.3.1 制定和严格遵守剂量计发放、佩戴、运输、回收和保存等环节的操作规程。	西南大学已制定《个人剂量管理制度》，并严格遵守剂量计发放、佩戴、运输、回收和保存等环节的操作规程。
		7.3.2 个人剂量计在非工作期间避免受到任何人工辐射的照射。	西南大学拟严格要求辐射工作人员个人剂量计在非工作期间避免受到任何人工辐射的照射。

表 11　环境影响分析

11.1 建设阶段环境影响分析

本项目建设阶段主要为 X 射线设备管线（含铅房）和自动上料/下料流水线安装，不涉及装修和土建。

建设过程中主要有包装垃圾产生，还有施工人员产生的少量生活污水和生活垃圾。施工人员产生的少量生活污水依托高新区国家生物产业基地生化池处理达标后排入市政管网，生活垃圾、包装垃圾统一由环卫部门运送城市垃圾填埋场。

本项目建设期短、工程量小，施工范围小，且随着建设期的结束而结束。

通过对建设期施工现场采取相应管理措施，可使本项目建设期环境影响可接受。

11.2 运行阶段（含调试阶段）环境影响分析

11.2.1 铅房辐射屏蔽核算公式

使用《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）中公式。

①有用线束

a） 关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时，屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按式（11-1）计算，然后由 GBZ/T250-2014 附录 B.1 的曲线查出相应的屏蔽物质厚度 X_e。

$$B=\frac{\dot{H}_c \bullet R^2}{I \bullet \dot{H}_0} \qquad (11\text{-}1)$$

式中：

$\dot{H}_c$—按（7-1）式确定的剂量率参考控制水平，单位为微希每小时（μSv/h）；

R—辐射源点（靶点）至关注点的距离，单位为米（m）；

I—X 射线探伤装置在最高管电压下的常用最大管电流，单位为毫安（mA）；

H_0—距辐射源点（靶点）1m 处输出量，μSv·m²/（mA·h），以 mSv·m²/（mA·min）为单位的值乘以 6×10^4，见 GBZ/T250-2014 附录表 B.1。

b）在给定屏蔽物质厚度 X 时，由 GBZ/T250-2014 附录 B.1 的曲线查出相

应的屏蔽透射因子 B。关注点的剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）按（11-2）计算：

$$\dot{H}=\frac{I\cdot H_0\cdot B}{R^2} \qquad (11\text{-}2)$$

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，单位为毫安（mA）；

H_0—距辐射源点（靶点）1m 处输出量，μSv·m²/（mA·h），以 mSv·m²/（mA·min）为单位的值乘以 6×10⁴，见 GBZ/T250-2014 附录表 B.1；

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屏蔽物质厚度 X 与屏蔽透射因子 B 相应的关系

a）对于给定的屏蔽物质厚度 X，相应的辐射屏蔽透射因子 B 按式（11-3）计算：

$$B=10^{-X/TVL} \qquad (11\text{-}3)$$

式中：

X—屏蔽物质厚度，与 TVL 取相同的单位；

TVL—什值层厚度，90°散射辐射最高能量为 200kV，根据《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）附录表 B.2，取 1.4mm；漏射 TVL 取 2.15mm。

b）对于估算出的屏蔽透射因子 B，所需的屏蔽物质厚度 X 按式（11-4）计算：

$$X=-TVL\cdot\lg B \qquad (11\text{-}4)$$

式中：

TVL—什值层厚度。

B—达到剂量参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时所需的屏蔽透射因子。

③泄漏辐射屏蔽

a）关注点达到剂量率参考控制水平 $\dot{H}_c$ 时所需的屏蔽透射因子 B 按式（11-5）

计算，然后按式（11-4）计算所需的屏蔽物质厚度 X。

$$B=\frac{\dot{H}_c\bullet R^2}{\dot{H}_L} \qquad (11\text{-}5)$$

式中：

$\dot{H}_c$—按 GBZ/T250-2014 第 3.1 条确定的剂量率参考控制水平，单位为微希每小时（μSv/h）；

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，单位为微希每小时（μSv/h）。

b）在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B 按式（11-3）计算，然后按式（11-6）计算泄漏辐射在关注点的剂量率 $\dot{H}$ 单位为微希每小时（μSv/h）：

$$\dot{H}=\frac{\dot{H}_L\bullet B}{R^2} \qquad (11\text{-}6)$$

式中：

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）；

$\dot{H}_L$—距靶点 1m 处 X 射线管组装体的泄漏辐射剂量率，单位为微希每小时（μSv/h）。

④散射辐射屏蔽

a）关注点达到剂量率参考水平 $\dot{H}_c$ 时，屏蔽设计所需的屏蔽透射因子 B 按式（11-7）计算。然后按式（11-4）计算出所需的屏蔽物质厚度 X。

$$B=\frac{\dot{H}_C\bullet {R_S}^2}{I\bullet H_O}\bullet\frac{{R_O}^2}{F\bullet\alpha} \qquad (11\text{-}7)$$

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，单位为毫安

（mA）；

H_0—距辐射源点（靶点）1m 处输出量，μSv·m²/（mA·h），以 mSv·m²/（mA·min）为单位的值乘以 6×10⁴，见 GBZ/T250-2014 附录表 B.1；

B—屏蔽透射因子；

F—R_0 处的辐射野面积，单位为平方米（m²）；

α—散射因子，入射辐射被单位面积（1m²）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；

R_0—辐射源点（靶点）至探伤样品的距离，单位为米（m）；

R_S—散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

b）在给定屏蔽物质厚度 X 时，相应的屏蔽透射因子 B，确定 90° 散射辐射的 TVL，然后按照式（11-3）计算。关注点的散射辐射剂量率 $\dot{H}$（μSv/h）按式（11-8）计算：

$$\dot{H}_C = \frac{I \bullet H_O \bullet B}{R_S^{\,2}} \bullet \frac{F \bullet \alpha}{R_O^{\,2}} \qquad (11\text{-}8)$$

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，单位为毫安（mA）；

H_0—距辐射源点（靶点）1m 处输出量，μSv·m²/（mA·h），以 mSv·m²/（mA·min）为单位的值乘以 6×10⁴，见 GBZ/T250-2014 附录表 B.1；

B—屏蔽透射因子；

F—R_0 处的辐射野面积，单位为平方米（m²）；

α—散射因子，入射辐射被单位面积（1m²）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；

R_0—辐射源点（靶点）至探伤工件的距离，单位为米（m）；

R_S—散射体至关注点的距离，单位为米（m）。

11.2.2 铅房防护核算原则

①根据西南大学提供的资料，对本项目植物 CT，取其装置的最大能量开机

运行时植物 CT 所需满足的屏蔽能力进行评价。

②屏蔽体厚度确定原则：当可能存在泄漏辐射和散射辐射的复合作用时，分别估算泄漏辐射和各项散射辐射。

③本项目植物 CT 电流随电压变化自动调节，本项目按照其以最大射线能量工作时进行核算；相同条件下，射线能量越大，距离辐射源点（靶点）1m 处的剂量率越大，因此，本次核算最大输出量保守取 250kV（3mm 铝过滤）条件下的参数，其余的按照 225kV、3mA 条件下的相关参数进行核算。

11.2.3 主要技术参数的选择及剂量率控制水平

（1）参考点的选择以及核算距离、方向

本项目植物 CT 工作时，主射线朝铅房右侧，核算距离为主射线的最短距离，其余方向（含防护门）考虑为散射和漏射。

根据表 9 本项目设备工作方式，本次校核铅房的屏蔽能力的考察点设置铅房四周及铅房底板、顶棚，按 X 射线管头离屏蔽体最近的距离计算。计算点位示意见图 11-1、图 11-2。

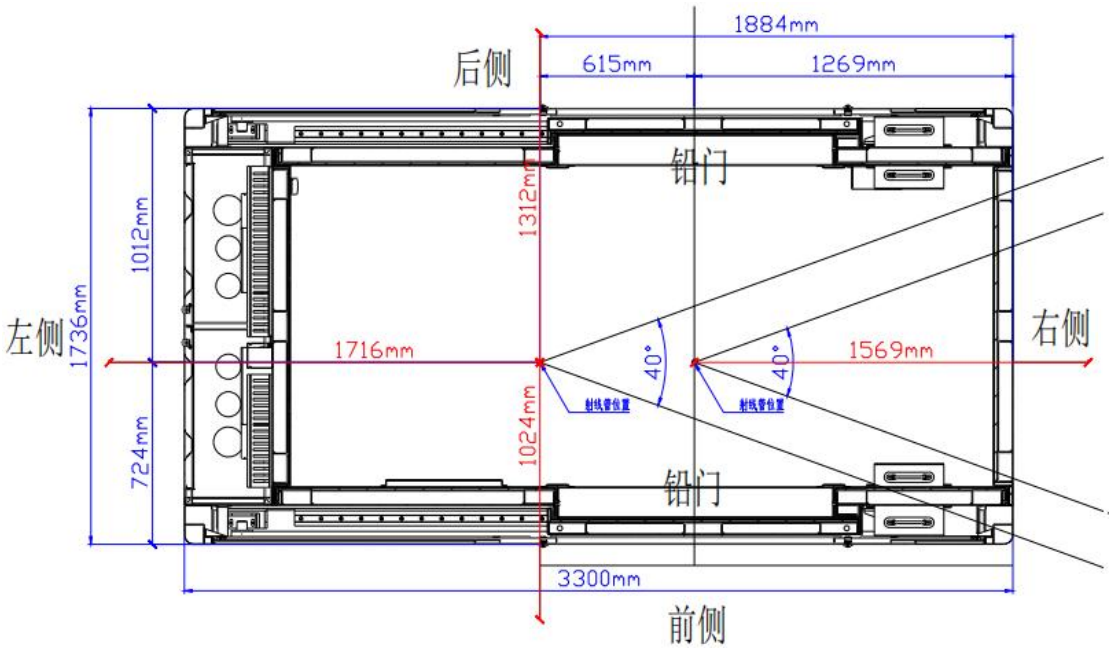

图 11-1 植物 CT 计算点位示意图（平面）

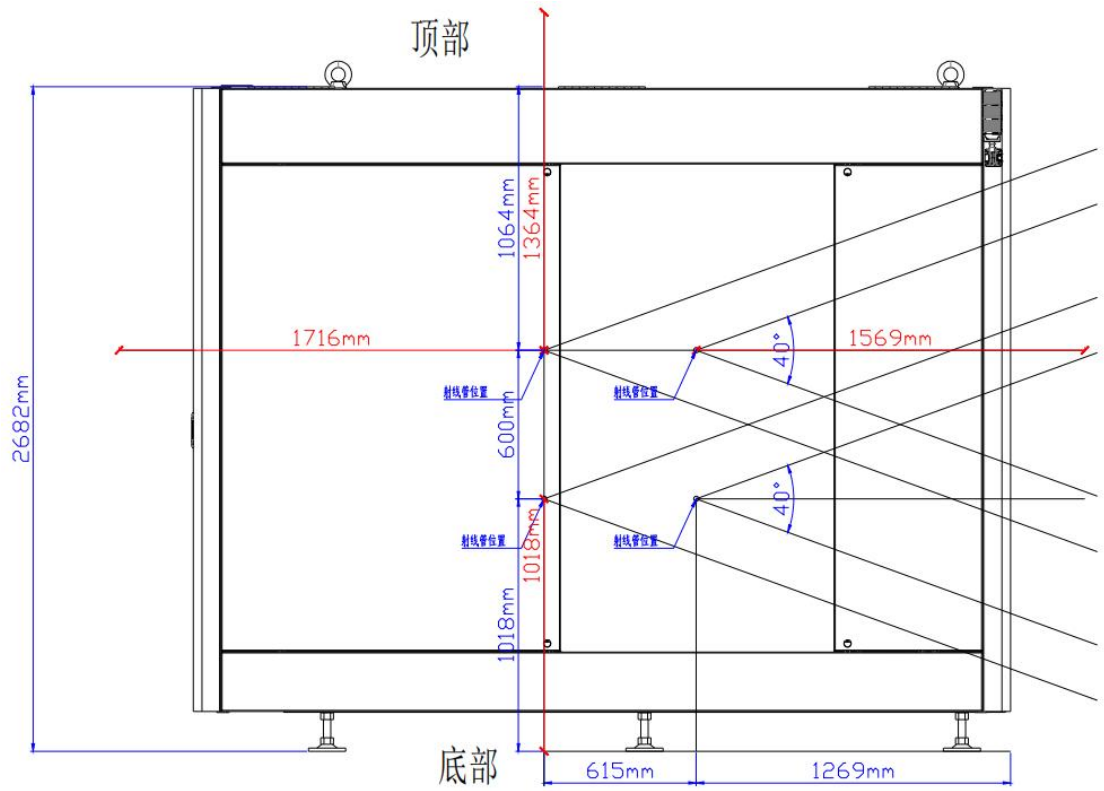

图 11-2 植物 CT 计算点位示意图（立面）

屏蔽核算时各方向距离核算情况见表 11-1。

表 11-1　各方向核算距离一览表

考察点			核算距离（m）
铅房左侧	屏蔽体外 30cm	散射、漏射	1.71
铅房后侧	屏蔽体外 30cm（含铅门）	散射、漏射	1.31
铅房右侧	屏蔽体外 30cm	主射	1.56
铅房前侧	屏蔽体外 30cm（含铅门）	散射、漏射	1.02
铅房顶棚	屏蔽体外 30cm	散射、漏射	1.36
铅房底板	地板	散射、漏射	1.01

注：①均为图上量出；②植物 CT 主射方向为铅房右侧；③前侧、后侧、左侧、顶棚和地面散射线为样品散射至屏蔽体外，其散射距离大于漏射线距离，此处保守按漏射线距离取值；④因铅房置于 1F 地面上，因此以 1F 地面为关注点；⑤距离保留两位小数，保守取值只舍不入。

（2）设备参数等

本项目铅房核算过程中的相应其他参数见表 11-2 所示。

表 11-2　屏蔽体核算相关参数

参数	数　值		来源
设备参数	运行最大管电压 225kV，最大管电流 3mA		厂家提供
G （$mGy·m^2/mA.min$）	保守取 250kV：13.9（3mm 铝过滤条件下）		GBZ/T250-2014 表 B.1
转换系数	$6×10^4$		GBZ/T250-2014　4.1 a）
H_0（$μSv·m^2/（mA·h）$）	$8.34×10^5$		
$\frac{R_0^2}{F×\alpha}$	保守取 50		GBZ/T 250-2014 附录 B.4.2
泄漏辐射剂量率 H_L（μSv/h）	$5×10^3$		GBZ/T250-2014 表 1
X 射线 90°散射辐射最高能量相应的 kV 值	200		GBZ/T250-2014 表 2
什值层（TVL）	铅		GBZ/T250-2014 表 B.2
	电压等级	TVL	
	200kV	1.4mm	
	225kV	2.15mm	
注：225kV 下什值层（TVL）通过插值法而来。			

11.2.4 铅房防护核算结果

本项目铅房的屏蔽体屏蔽能力核实结果见表 11-3。

表 11-3　铅房屏蔽效能核算表

考察点		剂量率参考控制水平 H_c（μSv/h）	铅房外 30cm 距离（m）	设计厚度	实际厚度下铅房外瞬时剂量（μSv/h）	是否达到屏蔽要求
铅房前侧/防护门	散射	2.5	1.02	10mmPb	$1.11×10^{-1}$	是
	漏射					
铅房后侧/防护门	散射	2.5	1.31	10mmPb	$6.72×10^{-2}$	是
	漏射					
铅房左侧	散射	2.5	1.71	8mmPb	$3.58×10^{-1}$	是
	漏射					
铅房右侧	主射	2.5	1.56	14mmPb	$3.17×10^{-1}$	是
顶部	散射	2.5	1.36	10mmPb	$6.23×10^{-2}$	是
	漏射	2.5				
底部	散射	2.5	1.01	10mmPb	$1.13×10^{-1}$	是
	漏射					

注：①顶棚外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h，故本次评价不考虑天空散射；②本次评价屏蔽物质厚度 X 保守按铅层进行核算。

根据表 11-3 计算结果可知，植物 CT 在最大工况时，各屏蔽体外四周 30cm 处的瞬时剂量最大值为 0.36μSv/h，均能满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）屏蔽防护的要求。

11.2.5 年有效剂量估算

（1）估算公式

X-γ射线产生的外照射人均年有效当量剂量按下列公式计算：

$$H_{Er} = H_{(10)} \times t \times 10^{-3} \qquad \text{式（11-9）}$$

式中：

H_{Er}：X 或γ射线外照射人均年有效剂量当量，mSv；

$H_{(10)}$：X 或γ射线周围剂量当量率，μSv/h；

t：X 或γ射线照射时间，小时。

（2） 估算结果

铅房外剂量估算表见表 11-4。

表 11-4　铅房外人员剂量估算

估算人员	活动场所	实际厚度下剂量率（μSv/h）	年最大曝光时间（h）	居留因子	有效剂量 mSv/a
铅房外辐射工作人员	铅房前侧辐射工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区	1.97×10^{-2}	2000	1	3.94×10^{-2}

根据表 11-4 可知，铅房外辐射工作人员所受的年有效剂量远低于本评价管理目标值 5mSv/a，满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

11.2.6 对周围环境保护目标的影响分析

本项目铅房外环境保护目标预测结果见表 11-5。

表 11-5　本项目铅房外环境保护目标一览表

序号	环境保护目标名称	方向	与铅房最近距离	关注点核算距离（m）	保护目标处周围剂量当量率（μSv/h）	居留因子	最大曝光时间（h）	有效剂量 mSv/a
1	室内过道	四周	约 3～30m	3.72	5.57×10^{-2}	1/5	2000	2.23×10^{-2}
2	室外绿化带及人行	四周	约 15～	15.72	3.12×10^{-3}	1/40	2000	1.56×10^{-4}

续表 11　环境影响分析

	车行道/空坝等		50m					
3	二期工程 3 号楼办公区等	西北侧、西侧、西南侧	约 30～50m	30.72	1.11×10^{-3}	1	2000	2.22×10^{-3}
4	显微镜室、原生质体转化及显微镜操作间、原生质体再生培养间、基因组编辑操作综合实验区等	北侧	约 4～22m	5.01	3.80×10^{-2}	1	2000	7.60×10^{-2}
5	植物全生育期步入气候室、准备间、基因工程操作培养间、表型组学实验区、药品储藏库、风井、RNA 及组学操作间等	西北侧	约 4.6～30m	5.61	3.33×10^{-2}	1	2000	6.66×10^{-2}
6	凝胶室、暗室、核磁室等	西侧	约 10～20m	11.41	8.04×10^{-3}	1	2000	1.61×10^{-2}
7	灭菌室、酵母室、仪器设备室、药品试剂室、风井、办公室（三）、超低温室、公共实验室（一）、细菌室（一）、细菌室（二）公共实验室（二）、办公区等	西南侧	约 6~50m	6.72	1.27×10^{-2}	1	2000	2.53×10^{-2}
8	楼梯间、弱电、货梯厅女卫、男卫、清洁间茶水间等	南侧	约 5~30m	5.72	3.52×10^{-3}	1/5	2000	1.41×10^{-3}
9	办公区、条件保障办公室等	南侧	约 30~50m	30.72	1.22×10^{-4}	1	2000	2.44×10^{-4}
10	货梯厅、预留风井、预留空调水管井、走廊、强电、弱电、蒸汽管井、女卫、男卫、清洁间等	东南侧	约 7~50m	7.72	1.29×10^{-2}	1/5	2000	5.17×10^{-3}
11	闲置区域	东侧	约 5~14m	6.26	1.97×10^{-2}	1	2000	3.93×10^{-2}
12	中转站、展厅、展览厅等	东侧	约 22~50m	23.26	1.42×10^{-3}	1	2000	2.85×10^{-3}
13	通风橱	东北侧	约 5~6m	6.01	2.13×10^{-2}	1/5	2000	8.53×10^{-3}
14	闲置区域、空房、库房、实验材料超低温保存区、电泳检测间、实验消洗	东北侧	约 6~50m	7.01	1.57×10^{-2}	1	2000	3.14×10^{-2}

	间、人工气候室（一）、人工气候室（二）等							
15	养蚕房（正上方）、过道、工作区、办公室等（3F～楼顶）	楼上	/	4.06	6.99×10^{-3}	1	2000	4.37×10^{-4}
16	车库行车道	楼下	/	4.71	5.19×10^{-3}	1/40	2000	2.60×10^{-4}
注：闲置区域从长远规划考虑，居留因子保守取 1。								

根据表 11-5 可知，铅房外公众所受的年有效剂量不超过 7.60×10^{-2}mSv/a，小于本评价管理目标值 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

11.2.7 环境保护目标辐射环境影响分析

本项目铅房各屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均满足国家相关标准要求，根据 X 射线随距离的平方快速减弱的特性可知，距离辐射源越远，受到的影响越小，根据表 11-5 可知，铅房外 50m 范围内环境保护目标位置周围剂量当量率低于 2.5μSv/h，铅房周围公众成员受到的年有效剂量低于 0.1mSv/a。因此，项目所致周围 50m 范围内环境保护目标的影响有限，对环境的影响可以接受。

11.2.8 其他影响

（1）废气对环境影响分析

在检测分析作业时，X 射线使空气电离产生少量臭氧(O_3)和氮氧化物(主要为NO_2)。设备顶板左侧拟安装机械排风扇并设 2 个排风口，换气次数约为 41 次/h。铅房内废气经设备顶部排风口排至大厅，由大厅排风系统引至二期工程 1 号楼楼顶排放。项目产生的废气对周围环境影响小。

（2）废水环境影响

本项目不新增劳动定员，不新增废水产排量；本项目产生生活污水依托高新区国家生物产业基地污水处理站（处理能力 220m^3/d）处理达到《污水综合排放标准》(GB8978-1996)三级标准后，进入市政污水管网，进入金凤污水处理厂深度处理达《梁滩河流域城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》DB50/963-2020 排放标准后经莲花滩河--梁滩河，最终排放至嘉陵江，对环境影响较小。

（3）固废对环境影响分析

生活垃圾经袋装分类收集后，统一由环卫部门运送城市垃圾填埋场；报废的植物 CT 对其去功能化后，按相关要求处理，保留相关手续并做好记录存档。

综上，本项目产生的固体废物均得到妥善处理，对环境影响很小。

11.2.9 实践正当性分析

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”要求，对于一项实践，只有在考虑了社会、经济和其他有关因素之后，其对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害时，该实践才是正当的。

本项目植物 CT 应用目的是为了对植物根系进行光学高通量检测分析，具有其他质量检验检测技术无法替代的特点；本项目建设为西南大学的植物根系研发提供检测保障，对其研发产品质量可以起到十分重要的作用，具有明显的社会效益；同时也将为西南大学创造更大的经济效益提供保障。本项目在采取符合相关要求的辐射防护安全措施后，对环境的辐射影响在可接受范围内。

本项目对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

11.2.10 政策符合性分析

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类第三十一项“科技服务业”中第 1 条“质量认证和检验检测服务”，属于鼓励类。所以，本项目植物 CT 的使用符合国家的产业政策。

11.2.11 事故影响分析

（1）风险事故类型

本项目 X 射线设备产生的最大可信辐射事故主要是人员受到误照射。

本项目辐射事故主要体现在以下几个方面：

①设备自身丧失屏蔽

X 射线设备机头是用重金属屏蔽包围住的，因各种原因（如检修、调试、改变照射角度等）可能无意中将设备管头及探测器上的屏蔽块移走，使设备丧失自身屏蔽作用，导致相邻的屏蔽体外出现高剂量率，人员受到不必要的照射。

②联锁装置失效等

由于门机联锁装置失效等原因，防护门未关闭或设备工作时门被开启，射线仍然能发射，造成射线外泄，可能对工作人员及公众成员产生较大剂量照射。

③人员滞留铅房内

工作人员或设备维修人员通过铅门可进入铅房内，在开机前，工作人员未通过监控或现场对铅房内部进行充分确认，从而导致滞留在铅房内的人员在工作模式下被误照射。

④屏蔽体出现膨胀变形

本项目铅房各方向屏蔽体、电缆出线口罩、风机排风口罩，使用多年以后，可能因铅门的自重等原因引起铅门之间的搭接、铆钉等处空隙增大，从而漏出射线，使铅房周围的人员受到误照射。

（2）后果分析

本项目植物 CT 正常工作模式下单个样品最长曝光时间 5min，本次估算考虑单次事故不同误照射时间的后果。

①联锁装置失效

安全联锁装置失效情况下，设备出束时防护门未关闭或门被意外开启，射线外泄导致植物 CT 外人员受到误照射，事故发生时可立即按下急停按钮停止 X 射线出束，单次情况下事故风险时间最长考虑 30min（即检测 5 个样品后发现），此种事故情景的后果估算见表 11-6。

表 11-6　安全联锁装置失效事故后果估算表

事故情景	植物 CT 铅房外剂量率（前侧防护门外）μGy/h	误照射时间	吸收剂量（mGy）
联锁装置失效	5.29×10^{4}	30s	4.41×10^{-1}
		1min	0.88
		5min	4.41
		30min	26.45

②人员滞留铅房内

人员滞留铅房内可能受到有用线束误照射，考虑人员在距离辐射源点 0.3m 处受到误照射（主射线），此类事故发生时滞留人员可按下铅房内急停按钮，铅

房外人员也可按下工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区急停按钮，按下急停按钮均能停止 X 射线出束，单次情况下事故风险时间最长考虑 5min，此种事故情景的后果估算见表 11-7。

表 11-7　人员滞留铅房内事故后果估算表

事故情景	植物 CT 铅房内 0.3m 处剂量率 mGy/h	误照射时间	吸收剂量（mGy）
人员滞留铅房内	2.78×10^{4}	30s	231.67
		1min	463.33
		5min	2316.67

③屏蔽体出现膨胀变形

X 射线机设备铅屏蔽体出现膨胀变形而未发现，即射线不经过屏蔽对铅房外的人员误照射情况，此时有用线束导致植物 CT 右侧外剂量率最大，若工作人员佩戴个人剂量报警仪则此类事故容易被发现，及时按下急停按钮即能停止 X 射线出束，假设辐射工作人员 1 天未佩戴个人剂量报警仪，此种事故情景的后果估算见表 11-8。

表 11-8　屏蔽体出现膨胀变形事故后果估算表

事故情景	X 射线数字成像检测系统外剂量率 mGy/h	误照射时间	吸收剂量（mGy）
屏蔽体出现膨胀变形	1.03×10^{3}	30s	8.58
		1min	17.17
		5min	85.83
		30min	515.00
		60min	1030.00
		8h（一天）	8240.00

④X 射线管丧失自身屏蔽

X 射线管失去自身屏蔽后可导致植物 CT 各侧均受到有用线束的照射，此时防护厚度最薄的铅房左侧屏蔽体外剂量率最大，若工作人员佩戴个人剂量报警仪则此类事故容易被发现，及时按下急停按钮即能停止 X 射线出束，假设工作人员 1 天未佩戴个人剂量报警仪，此种事故情景的后果估算见表 11-9。

表 11-9　X 射线管丧失自身屏蔽事故后果估算表

事故情景	X 射线数字成像检测系统外剂量率 mGy/h	误照射时间	吸收剂量（mGy）
X 射线管丧失自身屏蔽	1.63×10^{-1}	30s	1.36×10^{-3}
		1min	2.72×10^{-3}
		5min	1.36×10^{-2}
		30min	8.15×10^{-2}
		60min	1.63×10^{-1}
		8h（一天）	1.304

（3）事故状态可能引起的电离辐射生物效应

电离辐射作用于机体后，其能量传递给机体的分子、细胞、组织和器官等基本生命物质后，引起一系列复杂的物理、化学和生物学变化，由此造成生物体组织细胞和生命各系统功能、调节及代谢的改变，产生各种生物学效应。

电离辐射引起生物效应的作用是一种非常复杂的过程，大多数学者认为放射损伤发生是按一定的阶梯进行的。生物基质的电离和激发引起生物分子结构和性质的变化，由分子水平的损伤进一步造成细胞水平、器官水平的损伤，继而出现相应的生化代谢紊乱，并由此产生一系列临床症状。电离辐射生物效应按照剂量与效应的关系进行分类，分为随机性效应和组织反应。

随机性效应是指电离辐射照射生物机体所产生效应的发生概率（而非其严重程度）与受照射的剂量大小成正比，而其严重程度与受照射剂量无关；随机性效应的发生不存在组织反应阈剂量。辐射致癌效应和遗传效应属于随机性效应。受照射个体细胞受损伤引发突变的结果，最终可导致受照射人员的癌症，即辐射致癌效应；受照射个体生殖细胞遗传物质的损伤，引起基因突变或染色体畸变可以传递下去并表现为受照者后代的遗传紊乱，导致后代先天畸形、流产、死胎和某些遗传性疾病，即遗传效应。

组织反应定义为通常情况下存在组织反应阈剂量的一种辐射效应，受照剂量超过一定的阈值时才会发生，其效应的严重程度随超过阈值的剂量越高而越严重。组织反应是辐射照射导致器官或组织的细胞死亡，细胞延缓分裂的各种不同过程的结果，指除了癌症、遗传和突变以外的所有躯体效应、胚胎效应及不育症等，包括血液、性腺、胚胎、眼晶体、皮肤的辐射效应及急性放射病，如放射性

皮肤损伤、生育障碍。

本项目产生的随机性效应是关注的重点，因其无法防护，所以尽量降低人员的受照剂量，减少随机性效应产生的概率。

不同照射剂量的 X、γ射线对人体损伤估计见表 11-10。

表 11-10 不同照射剂量的 X、γ射线对人体损伤的估计表

剂量（Gy）	类型		初期症状和损伤程度	来源
＜0.25 0.25～0.5 0.5～1	/		不明显和不易察觉的病变 可恢复的机能变化，可能有血液学的变化 机能变化，血液变化，但不伴有临床症象	①
1.0～2.0 2.0～4.0 4.0～6.0 6.0～10.0	骨髓型急性放射病	轻度 中度 重度 极重度	乏力，不适，食欲减退 头昏、乏力、食欲减退、恶心，1h～2h 后呕吐、白细胞数短暂上升后下降 1h 后多次呕吐，可有腹泻，腮腺肿大，白细胞数明显下降 1h 内多次呕吐和腹泻、休克、腮腺肿大，白细胞数急剧下降	②
10～50	肠型急性放射病		频繁呕吐、严重腹泻以及水电解质代谢紊乱	
＞50	脑型急性放射病		意识障碍、定向力丧失、共济失调、肌张力增强、角弓反张、抽搐和震颤等中枢神经系统症状	

注：①《辐射防护导论》P33；②《职业性外照射急性放射病诊断》（GBZ104-2017）。

（4）事故分级

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，辐射事故从重到轻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，见表 11-11。

表 11-11 辐射事故等级分级一览表

事故等级	危害后果
特别重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果，或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上（含 3 人）急性死亡。
重大辐射事故	I类、II类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下（含 2 人）急性死亡或者 10 人以上（含 10 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
较大辐射事故	III类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下（含 9 人）急性重度放射病、局部器官残疾。
一般辐射事故	IV类、Ⅴ类放射源丢失、被盗、失控，或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

根据表 11-10 不同照射剂量对人体损伤的估计及表 11-11 辐射事故等级分级，结合上述后果分析可知，联锁装置失效和 X 射线管丧失自身屏蔽发生误照射的

事故状态下，辐射工作人员可能会出现不明显和不易察觉的病变，事故导致的辐射照射可能增加随机性效应的发生概率，这种情况下可能发生超年有效剂量限值照射的事故，造成一般辐射事故。

在人员滞留铅房内和铅房屏蔽体出现膨胀变形又长时间未发现造成多次或较长时间误照射等极端事故时，发生误照射导致人员受照剂量最大约为 8Gy，达到发生极重度急性放射病的剂量阈值，将导致严重的放射损伤甚至死亡，造成较大及以上级别辐射事故的发生。

（5）辐射事故防范措施

①检修、调试应由生产厂家专业技术人员进行，本项目辐射工作人员配合，禁止随便拆走植物 CT 及机架上的屏蔽材料，随意调整加大照射面积。不得擅自改变、削弱或破坏植物 CT 的铅房屏蔽体和防护铅门及孔洞等。

②辐射工作人员使用视频监控系统对铅房内进行检查，确认无人停留在内后才能开始进行操作。同时，如遇 X 射线出束情况下人员滞留铅房内，工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区人员或滞留人员应立即就近按下急停按钮，停止照射。

③定期检查设备的安全联锁装置、声光警示系统的有效性，发现故障及时清除，严禁违规操作。对于本项目涉及的安全控制措施的各机构及电控系统，制定定期检查和维护的制度。确保安全装置随时处于正常工作状态。辐射工作场所因某种原因损坏，应立即停止使用，修复后再投入使用。

④辐射工作人员佩戴个人剂量报警仪，实时监测 X 射线照射剂量是否对辐射工作人员超标，若发现问题，及时解决，不得在屏蔽体出现问题后继续开机检测工作。对植物 CT 铅房外定期进行曝光时的巡检，若发现铅房有变形、射线泄漏的情况，立即停止工作。

另外，辐射工作人员必须加强专业知识学习，加强防护知识培训，避免犯常识性错误；加强职业道德修养，增强责任感，严格遵守操作规程和规章制度；管理人员应强化管理，保证按照要求进行植物根系光学高通量检测分析。

表 12　辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条要求：使用I类、II类、III类放射源，使用I类、II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或至少有 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。

西南大学已按照相关要求成立了辐射安全管理领导小组，明确了小组组成与职责，制定并实施辐射工作安全管理制度，采取切实有效的措施，预防和控制辐射事故发生，保障设备使用安全及工作人员、社会公众的健康与安全，建设单位的辐射安全管理机构设置满足相关要求。

12.2 辐射安全管理

（1）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许可管理办法》第十六条规定：“使用放射性同位素、射线装置的单位申请领取许可证，应当具备下列条件：（六）有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案”等。

西南大学根据自身实际情况，制定了《关于成立西南大学辐射安全管理领导小组及明确工作职责的通知》《西南大学放射事故应急处置预案》《辐射防护与安全保卫制度》《NanoVoxel 4000 型植物根系光学高通量检测系统操作规程》《辐射工作岗位职责》《辐射工作人员健康管理规定》《设备维修维护制度》《放射性同位素和射线装置使用登记制度》《辐射工作人员年度培训计划》《辐射监测方案》《个人剂量管理制度》《放射工作档案管理制度》等制度。

上述各种制度考虑到了核技术利用项目的操作使用和安全防护，制度基本健全，具有一定的可操作性。西南大学在此之前按照各项管理制度执行，到目前为止未发生过放射事故。

本项目运行后，西南大学还应根据实际使用情况和新发布更新的法律法规等，对现有制度进行不断地完善和修订。

（2）辐射工作人员

本项目拟配置的 2 名辐射工作人员，均为内部培养，组织本项目相关辐射工作人员参加 X 射线探伤的辐射安全与防护考核，合格后方可上岗。

续表 12　辐射安全管理

①配置数量合理可行性

根据植物 CT 的操作需求，本项目拟配置 2 名辐射工作人员操作设备在工作时间上分配是可行的。

②辐射安全培训

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条的规定：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。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》（公告 2019 年第 57 号），辐射安全与防护培训需求的人员可通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台（以下简称培训平台，网址：http：//fushe.mee.gov.cn）免费学习相关知识；新从事辐射活动的人员，应当通过生态环境部培训平台报名并参加考核，做到考核合格后持证上岗，并定期参加复训。

本项目拟配置的 2 名辐射工作人员待通过 X 射线探伤的辐射防护与安全培训并考核合格后方可上岗。

③个人剂量管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。个人剂量档案应当终生保存。另外，辐射工作人员上岗期间，必须正确佩戴个人剂量计，并对个人剂量计严格管理，不允许将个人剂量片相互转借，不允许将个人剂量片带出项目建设单位。

西南大学现有辐射工作人员均配置了个人剂量计，并按照要求进行了个人剂量监测，上一年度个人剂量均低于建设单位的管理目标值 5mSv/a。建立了个人剂量档案，满足上述规定要求。

④职业健康检查

辐射工作人员上岗前，应进行岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的方可参加相应的辐射工作。

从事辐射工作期间，辐射工作人员应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。对不适宜继续从事辐射工作的，应脱离辐射工作岗位，并进行离岗前的职业健康检查。西南大学应建立和保存辐射工作人员的职业健康档案。

西南大学现有辐射工作人员均已进行了职业健康体检，符合辐射工作人员健康标准，并建立相应档案；本项目拟内部培养的辐射工作人员落实到位后，应按照要求进行岗前职业健康体检，按照相关要求每两年进行职业健康体检，并建立相应档案。

（3）年度评估

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第十二条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。

西南大学落实了年度评估制度，于每年 1 月 31 日前均向重庆市生态环境局提交上一年度的年度评估报告。年度评估报告主要内容包括西南大学基本信息、核技术应用项目内容、辐射安全和防护设施和监测设备的运行与维护情况、辐射安全管理制度、辐射工作人员安全培训管理情况、辐射工作人员个人剂量监测情况、本年度核技术应用项目的办理情况、工作场所辐射环境监测、辐射事故及应急响应情况、存在的安全隐患及其整改情况、其他有关法律法规的落实情况等内容。后续西南大学应完善年度评估制度将本项目的设备纳入评估，每年按要求开展年度评估工作，对评估中发现的问题或隐患及时整改，并继续按规定上报年度评估报告。

（4）核安全文化建设

核安全文化是从事核安全相关活动的全体工作人员的责任心，对于核技术利用项目核安全文化的建设要求西南大学树立并弘扬核安全文化。核安全文化表现在从事核技术利用工作的相关领导与员工及最高管理者具备核安全文化素养及基本的放射防护与安全知识。应建立安全管理体系，明确单位各层次人员的职责、不断识别企业内部核安全文化的弱化之处并加以纠正。将核安全文化的建设贯彻

在核技术利用项目的各个环节，确保项目的辐射安全。

具体操作参考如下：

①在单位内开展核安全文化宣贯推进专项培训，严格落实岗位职责，对隐瞒虚报“零容忍”，对违规操作“零容忍”。

②西南大学应不断总结、汲取经验教训，培植核技术利用项目领导及员工的全员核安全文化素养。

（5）档案管理

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十三条规定：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当安排专人负责个人剂量监测管理，建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当终生保存。

辐射安全与防护管理档案资料分以下九大类：“制度文件”、“环评资料”、“许可证资料”、“射线装置台账”、“监测和检查记录”、“个人剂量档案”、“培训档案”、“年度评估”、“辐射应急资料”。西南大学应根据自身核技术利用项目开展的实际情况将档案资料整理后分类管理。

西南大学认真落实了相关制度和规定，建立了档案管理制度，所有辐射工作人员已进行职业健康体检（两次检查的时间间隔不应超过 2 年）、个人剂量监测、辐射安全与防护培训，并将职业健康体检报告、个人剂量监测报告、辐射安全培训合格证等建立档案进行了保存。

本项目运营后，拟增加本项目相关资料，并纳入现有档案管理中，档案信息和保存等按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等规定执行。

12.3 从事辐射活动能力评价

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》第十六条规定，建设单位从事辐射活动应具备相应的条件，对建设单位从事的辐射活动能力评价如表 12-1。

表 12-1　从事辐射活动能力的评价

应具备条件	拟落实的情况
设有专门的辐射安全与环境保护管理机构或者至少有一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。	西南大学已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并指定 1 名本科以上学历技术人员负责单位日常辐射防护管理工作。

续表 12　辐射安全管理

从事放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。	本项目拟配置的 2 名辐射工作人员应按要求参加 X 射线探伤辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。
射线装置使用场所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	本项目植物 CT 拟设置主电源开关、工作人员操作区（上料区、下料区）钥匙开关、门机联锁、三色工作状态指示灯、声光报警器、紧急停机按钮、电离辐射警告标志等防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。
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，包括个人剂量计。	本项目拟配置个人剂量计 2 枚和便携式 X-γ 辐射剂量率仪 1 台、个人剂量报警仪 2 个和固定式剂量监测报警装置 1 套。
有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。	本项目已制定操作规程、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、监测方案等辐射安全管理规章制度。
有完善的辐射事故应急措施。	西南大学已制定放射事故应急处置预案，项目运行后，应定期进行演练并根据演练完善应急预案。

从表 12-1 可知，本项目的管理工作依托西南大学现有的辐射管理体系，已具备了一定的能力，但还应在本项目建设完成运营前，针对本项目的管理需求完善相应管理规定，认真落实上述要求后，方具备从事本项目辐射活动的能力，本项目通过竣工环境保护验收并取得辐射安全许可后方可投入正式运行。

12.4 辐射监测

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关法规和标准，必须对辐射工作人员个人剂量进行监测、探伤工作场所外的环境监测，开展常规的防护监测工作。

西南大学已制定辐射监测方案，包括放射工作场所监测及个人剂量监测等，其每年均委托有资质单位对现有放射源、射线装置和非密封放射性物质工作场所等屏蔽体外辐射环境及辐射工作人员个人剂量进行监测，根据 2024 年第四季度及 2025 年第一、二、三季度年度辐射工作人员个人剂量监测结果，均未见异常，满足相关要求。

本项目建成后，将本项目纳入监测计划，定期对各工作场所周围人员和环境进行监测，做好监测记录，存档备查。辐射监测内容包括：

（1）个人剂量监测

对辐射工作人员进行个人照射累积剂量监测。要求辐射工作人员在工作时必须正确佩戴个人剂量计，并将个人剂量监测结果存入档案。个人剂量监测应由具有个人剂量监测资质的单位进行。

监测频率：一般为 3 个月测读一次；如发现异常可加密监测频率。

（2）工作场所与环境监测

为保证本项目辐射工作场所的安全，本项目建成后的监测包括验收监测、例行监测和日常监测。

①验收监测：项目建成后、辐射防护设施等发生大的变化、设备大修等之后进行验收监测，委托有资质单位监测。监测结果交生态环境主管部门存档。

②例行监测：每一年监测一次，委托有资质单位监测。监测结果纳入年度评估报告提交生态环境主管部门。

③日常监测：按照监测计划开展日常监测，日常监测由西南大学自行监测。做好监测记录，存档备查，发现问题及时整改。同时，每次进行探伤检测作业时，设备运行条件及工件、操作人员信息等也应记录在案。

④监测点位：设备周围屏蔽体外、防护门外、顶棚上方 30cm 处、楼下距楼下地面 170cm 处，以及屏蔽体穿墙管线、门缝等辐射防护薄弱处。在巡测时发现数值异常高的区域，进行定点监测。人员经常活动的区域需要重点关注。

（3）安全检查维护

西南大学应按照相关法规及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）要求对植物 CT 进行安全检查维护，建立相应的检查维护制度。安全检查维护见表 12-2。

表 12-2 安全检查维护要求

类型	内容	频次
检查	防护门-机联锁装置，以及出束信号指示灯	日检
	a）外观是否存在可见的损坏；b）电缆是否有断裂、扭曲以及配件破损；c）安全联锁是否正常工作；d）报警设备和警示灯是否正常运行；e）螺栓等连接件是否连接良好。	日检
检查	a）电气安全，包括接地和电缆绝缘检查；b）冷却单元检查；c）所有的联锁和紧急停机开关的检查；d）制造商推荐的其他常规检测项目。	定期（建议每季度一检）
维护	设备维护包括植物 CT 的彻底检查和所有零部件的详细检测。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都来自设备制造商。应做好设备维护记录。	每年

12.4 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》（环保部令第 18 号）及《重庆市辐射污染防治办法》要求，申领辐射安全许可证的辐射工作单位应建立完善的辐射事故应急方案或具有针对性与操作性的应急措施。

西南大学已制定《西南大学放射事故应急处置预案》，明确了西南大学放射性事故应急处置小组由实验室技术安全工作领导小组兼任，应急处置小组下设办公室挂靠实验室建设与设备管理处，规定了应急组织的成员分工及其职责、事故分级、分类应急响应、应急终止、后期处理、应急装备器材和资金应急培训和演练、应急联系电话等。

西南大学在此之前严格按照《西南大学放射事故应急处置预案》相关要求，定期组织开展了应急预案演练工作；西南大学后期应结合自身实际情况继续细化完善应急预案的内容，及时更新、完善应急管理部门名称及联系方式；并继续定期组织开展应急预案演练工作，做好应急演练记录和资料归档，并根据应急演练情况，进一步完善辐射事故应急预案，在本项目建成后，将本项目纳入现有应急预案中。

12.5 辐射安全与管理投资估算

本项目环保投资估算表见表 12-3。

表 12-3　辐射安全管理投资估算

内容	措施	投资（万元）
操作制度、应急流程、电离辐射警告标志张贴	按规范制度、张贴上墙	0.5
辐射防护与安全措施	门机联锁、灯机联锁、紧急停机按钮等	计入设备投资
	工作状态指示灯、摄像机及视频监视器	1.5
	个人剂量计	
防护监测设备	个人剂量报警仪、便携式 X-γ辐射剂量率仪等	2.5
	固定式场所辐射探测报警装置	
环保手续办理	环评、验收监测等	5
合计	/	10

12.6 竣工验收

根据《建设项目环境保护管理条例》，项目建设执行污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度。建设项目正式运行前，

续表 12　辐射安全管理

西南大学应进行自主竣工环保验收，按照 HJ1326-2023 等组织验收工作。本工程竣工环境保护验收一览表见表 12-4。

表 12-4　　竣工验收内容和要求一览表

序号	验收内容	验收要求		备注
1	建设内容	二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内配置 1 套植物 CT（型号 nanoVoxel 4000，定向照射），整体式固定检测分析系统自带屏蔽铅房，最大电压≤225kV，电流≤3mA；植物 CT 四周实体警戒线（硬质围栏）以内划定为监督区，禁止无关人员进入该区域。		环办辐射函〔2025〕313 号，不发生重大变动
2	环保资料	项目建设的环境影响评价文件、环评批复、有资质单位出具的验收监测报告等。		齐全
3	环境管理	有辐射环境管理机构，设专人负责，制度上墙。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。		齐全
4	铅房防护措施	①工作场所分区及其分区管理措施； ②设备铅房各屏蔽体、铅门有足够的屏蔽能力，管线口不影响屏蔽效果； ③设置安全联锁系统，包括门机联锁、灯机联锁、声光报警器、工作状态指示灯，能表达预备、照射和通电的工作状态；铅房内、铅房外设急停按钮； ④通风：设备顶部安装机械排风扇，每小时有效通风换气次数应不小于 3 次；依托二期工程 1 号楼 1F 大厅内已有排风系统，将废气引至二期工程 1 号楼楼顶排放； ⑤植物 CT 四周设置实体警戒线（硬质围挡）、地面警示语和警示边界线，禁止无关人员进入该区域； ⑥铅房铅门上等醒目位置张贴固定的电离辐射警告标志； ⑦铅房内安装摄像头； ⑧每名辐射工作人员均配备个人剂量计，配置个人剂量报警仪 2 个、便携式 X-γ剂量率仪 1 台和固定式场所辐射探测报警装置 1 套。		符合相关要求
5	人员要求	配置符合要求的辐射工作人员，按照要求组织放射工作人员均经考核合格后上岗，按要求定期培训。		生态环境部公告 2019 年第 57 号等相关要求
6	电离辐射	年剂量管理目标限值	辐射工作人员≤5mSv/a； 公众成员≤0.1mSv/a。	GB18871-2002 GBZ117-2022 GBZ/T250-2014
		屏蔽体周围剂量当量率控制	铅房屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率≤2.5μSv/h。	

表 13　结论及建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

为进行植物根系光学高通量检测分析，西南大学拟在重庆高新区金凤镇高新大道 28 号高新区国家生物产业基地二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内实施“西南大学植物根系光学高通量检测分析系统 X 射线装置建设项目”，主要建设内容为在二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内新增 1 套植物根系光学高通量检测分析系统（简称：植物 CT），II 类射线装置，型号为 nanoVoxel 4000，单管头，定向照射，最大管电压 225kV，最大管电流 3mA。

本项目总投资 500 万，其中环保投资 10 万。

13.1.2 产业政策符合性

本项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类第三十一项“科技服务业”中第 1 条“质量认证和检验检测服务”，属于鼓励类。所以，本项目植物 CT 的使用符合国家的产业政策。

13.1.3 实践正当性

本项目植物 CT 应用目的是为了对植物根系进行光学高通量检测分析，具有其他质量检验检测技术无法替代的特点；本项目建设为西南大学的植物根系研发生产提供检测保障，对其研发产品质量可以起到十分重要的作用，具有明显的社会效益；同时也将为西南大学创造更大的经济效益提供保障。本项目在采取符合相关要求的辐射防护安全措施后，对环境的辐射影响在可接受范围内。

项目对受电离辐射照射的个人和社会所带来的利益远大于其对环境的辐射影响及可能引起的辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中辐射防护“实践正当性”的原则与要求。

13.1.4 辐射环境质量现状

本项目所在场址及周围环境γ辐射剂量率的监测值在 77～83nGy/h 之间（未扣除宇宙射线的响应值）。根据《2024 年重庆市辐射环境质量报告书》中辐射环境质量状况数据，累积剂量法测得的重庆市γ空气吸收剂量率年均值范围为 79.2nGy/h～108nGy/h（未扣除宇宙射线响应值），全市点位年均值为 96.1nGy/h（未扣除宇宙射线响应值）。两者相比，本项目所在地环境γ辐射剂量率在重庆市 2024 年环境γ空气吸收剂量率正常涨落范围内。

续表 13　结论及建议

13.1.5 选址可行性及布局合理性

本项目植物 CT 拟安装在二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内，其正上方 2F 为养蚕房 15，之间为架空区，正下方-1F 为车库行车道，植物 CT 四周拟设置高度 0.8m 实体警戒线（硬质围栏），进行物理围挡隔离，地面同步布设警示语和警示边界线，禁止无关人员进入该区域；项目场址与西南大学重点实验室建设项目属于同一区域，便于研发产品植物根系检测分析时转运作业；1 号楼为研发楼，楼内人员以科研相关人员为主；项目所在大厅并非重要通行通道，人员流动量相对较小。大厅四周科研辅助用房均采用实体墙体与大厅区域分隔。植物 CT 铅房采用六面体屏蔽防护设计，经屏蔽防护后，对周围环境的辐射影响较小。根据现状监测结果，场址区域辐射环境质量良好，具备项目建设条件。因此，从辐射防护与环境保护角度，项目选址可行。

本项目植物 CT 为整体式固定检测分析系统自带屏蔽铅房，设备固定安装在二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内，配套设置了自动上料/下料流水线，其四周外扩一定距离设置实体警戒线（硬质围挡）、地面警示语和警示边界线，禁止无关人员进入该区域。本项目植物 CT 自动连续运行，检测对象为植物根系，其主射方向朝向铅房右侧；铅房拟设置 2 个左右滑动电动铅门，辐射工作人员操作区（上料区、下料区）、操作展示区、电缆孔、通风口均避开了有用线束照射方向，且距离设备有一定的距离，能增加放射工作人员与辐射源之间的距离，减少影响；二期工程 1 号楼 1F 西侧大厅内布局单一，仅大厅东北角靠墙已设置固定式通风橱，该处工作人员偶尔使用，且停留时间较短，并不在主射线投照范围内。因此，本项目平面布局合理。

13.1.6 辐射防护与安全措施

（1）分区管理：西南大学对本项目进行分区管理，划分为控制区和监督区。控制区即为植物 CT 检测分析设备配套整体屏蔽铅房内，监督区为铅房外实体警戒线（硬质围挡）以内（包括铅房的顶部）等控制区相邻场所区域；并采取相应的分区管理措施。

（2）设备具备的辐射防护与安全措施：本项目拟配置射线装置自带有多种固有安全性，包括开机系统自检、故障报警显示、训机、过电流保护等；本项目拟配置辐射安全联锁装置（设施），包括门机联锁系统、紧急停机、声光警示、电离辐射警告标志、视频监控系统等，能很好的保证植物 CT 自身的稳定性和安全性。

铅房前侧、后侧、底部、顶部、铅门屏蔽体：内 2.5mm 钢+10mmPb+外 2.5mm 钢；左侧屏蔽体：内 2.5mm 钢+8mmPb+外 2.5mm 钢；右侧屏蔽体：内 2.5mm 钢+14mmPb+外 2.5mm 钢；铅房主体结构焊接密闭，设置电缆进出口防护罩和排风扇防护罩，其穿越位置远离 X 射线球管，且不位于主射线范围。防护门与各屏蔽体之间有足够的搭接宽度。

（3）相关监测仪器：西南大学拟在铅房内和铅房外均设置工作状态指示灯，“预备”信号和“照射”信号有明显的区别。拟设置 1 个声光报警器，拟配置个人剂量报警仪 2 个，个人剂量计 2 枚，便携式 X-γ辐射剂量率仪 1 台，固定式场所辐射探测报警装置 1 套。

（4）通风：植物 CT 铅房顶部左侧（避开主射线照射方向）拟设置 2 个机械排风扇，总排风量为 350m^3/h，排风次数约为 41 次/h，满足要求。铅房内废气经设备顶部 2 个排风口排至大厅，经大厅排风系统引至二期工程 1 号楼楼顶排放。

综上所述，本项目拟采取的辐射安全与防护措施符合《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《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）的相关要求。

13.1.7 环境影响分析结论

（1）屏蔽体的辐射防护

本项目植物 CT 为整体式固定检测分析系统自带屏蔽铅房。根据核算，在最大工况下，各屏蔽体厚度均能满足《工业 X 射线探伤室辐射屏蔽规范》（GBZ/T250-2014）及《工业探伤放射防护标准》（GBZ117-2022）屏蔽防护的要求，各屏蔽体外各关注点处（包括铅房顶部、防护门外）周围剂量当量率均小于 2.5μSv/h。

（2）剂量估算结果

辐射工作人员和公众成员受到的附加年有效剂量分别低于本评价剂量目标：辐射工作人员的剂量管理目标值 5mSv/a，公众成员的剂量管理目标值 0.1mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）及相关标准要求。

（3）环境保护目标影响

根据核算，铅房外 50m 范围内环境保护目标处的周围剂量当量率满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，同时也低于其年剂量管理目标值。因此，项目所致周围 50m 范围内环境保护目标的影响较小，

对环境的影响可以接受。

（4）其他影响

本项目运行不产生放射性废水、放射性废气、放射性固废。少量的臭氧（O_3）和氮氧化物在机械排风下能迅速排出和扩散，不会对周围环境产生不利影响；本项目工作人员产生的生活污水依托高新区国家生物产业基地生化池处理达标后排入市政污水管网，对环境影响较小；生活垃圾经袋装分类收集后，统一由环卫部门运送城市垃圾填埋场；报废的植物 CT 对其去功能化后，按相关要求处理，保留相关手续并做好记录存档；项目固废均得到妥善处理，对环境影响很小。

（5）事故风险

本项目可能产生的辐射事故主要为联锁装置失效、X 射线管丧失自身屏蔽、人员滞留铅房内、屏蔽体出现膨胀变形等情况，导致人员受到误照射，导致本项目可能发生的辐射事故等级为一般辐射事故或较大及以上级别辐射事故。西南大学通过定期检查本项目植物 CT 门机联锁装置的有效性，发现故障及时清除，严禁违规操作；定期做好设备质控检测、进行仪器维护，使设备始终保持在最佳状态下工作，并做好相关记录；辐射工作人员正确佩戴个人剂量计及个人剂量报警仪，加强专业知识学习，严格遵守操作规程和规章制度，定期参加辐射安全与防护知识的培训等措施后，本项目风险可防可控。

13.1.8 辐射环境管理

西南大学应按照相关要求修订完善西南大学实验室工作领导小组职责，补充制定辐射管理相关制度，保证辐射工作人员考核合格后上岗，并定期培训；建立辐射工作人员职业健康档案、个人剂量档案、辐射环境监测档案等，并及时办理辐射安全许可证，在许可范围内从事辐射活动。在今后的工作中，西南大学还应加强核安全文化建设，提高辐射安全管理能力，杜绝辐射事故的发生。

13.1.9 综合结论

综上所述，西南大学植物根系光学高通量检测分析系统 X 射线装置建设项目符合国家产业政策，符合辐射防护“实践的正当性”原则，选址可行和布局合理，辐射安全与防护措施可行。在完善相应的辐射防护与安全措施和环境管理措施后，项目运行时对周围环境和人员产生的影响满足环境保护的要求，其辐射事故风险可防可控。因此，从环境保护的角度来看，该建设项目是可行的。