蓝莓、黑莓精深加工生产线改建项目（新建 2 台电子加速器辐照装置）

生态环境影响报告表

（公示稿）

南京中亮有机蔬果食品有限公司

2026 年 11 月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

蓝莓、黑莓精深加工生产线改建项目（新建 2 台电子加速器辐照装置）

生态环境影响报告表

建设单位名称：南京中亮有机蔬果食品有限公司

建设单位法人代表（签名或盖章）：

通讯地址：南京市溧水区白马镇老明路 5 号

邮政编码：211200　　联 系 人：臧泉

电子邮箱：　　联系电话：

编制主持人职业资格证书



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： 南京泰坤环境检测有限公司　　**现参保地：** 江北新区

统一社会信用代码： 91320111589445415Q　　**查询时间：** 202601-202611

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			

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	董保林	1308 9030015	202601 - 202610	10

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）。

打印时间：2026年11月11日


南京泰坤环境检测有限公司环评现状调查
时　间：2026.07.16 09:46
地　点：南京市溧水区·中亮有机食品
海　拔：27.7米
经纬度：31.580103°N,119.163335°E
今日水印
相机真实可验


南京泰坤环境检测有限公司环评现状调查
时　间：2026.07.16 10:38
地　点：南京市溧水区·中亮有机食品
海　拔：26.5米
经纬度：31.579879°N,119.163506°E
今日水印
相机真实可验

打印编号：1791792391000

编制单位和编制人员情况表

项目编号	rkn30j
建设项目名称	蓝莓、黑莓精深加工生产线改建项目（新建2台电子加速器辐照装置）
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）	南京中亮有机蔬果食品有限公司
统一社会信用代码	91320117790444991H
法定代表人（签章）	臧泉
主要负责人（签字）	臧泉
直接负责的主管人员（签字）	臧泉
二、编制单位情况	
单位名称（盖章）	南京泰坤环境检测有限公司
统一社会信用代码	91320111589445415Q
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
董保林	2015035110350000003509110094	BH022704	

2.主要编制人员

姓名	主要编写内容	信用编号	签字
董保林	表1-表14	BH022704	

目　录

表 1 项目基本情况 1
表 2 放射源 6
表 3 非密封放射性物质 6
表 4 射线装置 7
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 8
表 6 评价依据 9
表 7 保护目标与评价标准 12
表 8 环境质量和辐射现状 16
表 9 项目工程分析与源项 22
表 10 辐射安全与防护 36
表 11 环境影响分析 58
表 12 辐射安全管理 97
表 13 结论与建议 103
表 14 审批 112

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="7">蓝莓、黑莓精深加工生产线改建项目
（新建 2 台电子加速器辐照装置）</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="7">南京中亮有机蔬果食品有限公司
（统一社会信用代码：91320117790444991H）</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>臧泉</td><td>联系人</td><td>臧泉</td><td>联系电话</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="7">南京市溧水区白马镇老明路 5 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="7">南京市溧水区白马镇老明路 5 号南京中亮有机蔬果食品有限公司厂内北部辐照中心</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">南京市溧水区政务服务管理办公室</td><td>批准文号</td><td colspan="3">溧政务投备〔2026〕894 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>1680</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>336.5</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td colspan="2">20.03%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☑新建 ☐改建 ☐扩建 ☐其他</td><td>占地面积（m^2）</td><td colspan="2">580</td></tr>
<tr><td rowspan="8">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>

项目概述：

一、建设单位情况、项目建设规模、目的和任务的由来

1.建设单位基本情况

南京中亮有机蔬果食品有限公司（以下简称“公司”）成立于 2006 年 9 月 11 日，注册地及厂区地址均位于南京市溧水区白马镇老明路 5 号。公司注册资本 10000 万元人民币，拥有“中亮”自主品牌，为省级重点农业龙头企业。

公司主要从事蓝莓、黑莓等浆果种植、精深加工及产品销售，主要产品包括鲜果、

果汁、果浆、果酒、速冻果蔬制品等，产品外销澳大利亚、美国、俄罗斯、欧盟等国家和地区。厂区总占地面积 60 亩，建有标准化深加工生产车间、万吨级恒温冷链仓储库房，配套 13 条浆果自动化深加工生产线，年加工各类有机果蔬成品规模超万吨。

2.项目建设规模及任务由来

为提升区域农产品保质加工能力，企业拟对厂区北部现有成品库房（含成品库房北侧现有三间其他库房）实施改造，改造后作为辐照中心；辐照中心内新建 2 座辐照机房（1#机房、2#机房），每座机房各设置 1 台 DZ-10/30 型电子加速器辐照装置（1#装置、2#装置）。项目建成后主要为本企业及周边同类企业生产的食品、鲜果蔬菜、果蔬制品以及各类农产品提供辐照灭菌、保鲜加工服务。

本项目所用 DZ-10/30 型电子加速器辐照装置，加速粒子为电子束，额定电子能量 10MeV 单一档位，无其他能量档位；设备未配套 X 射线转换靶，正常运行工况下不会直接产生韧致辐射 X 射线。

本拟建核技术应用项目基础参数详见下表。

表 1-1 本项目核技术应用情况一览表

射线装置名称及编号	型号	数量（台）	电子束最大能量	电子束最大束流强度	最大束流功率	装置类别	活动种类	工作场所名称	备注
电子加速器辐照装置（1#装置）	DZ-10/30	1	10MeV	3mA	30kW	II	使用	辐照中心 1#机房	本次环评
电子加速器辐照装置（2#装置）	DZ-10/30	1	10MeV	3mA	30kW	II	使用	辐照中心 2#机房	本次环评

本项目运行期间会对周边人员及环境产生辐射影响。为保护生态环境、保障公众辐射安全，降低乃至规避辐射污染风险，依据《中华人民共和国生态环境法典》《建设项目环境保护管理条例》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等相关法律法规要求，南京中亮有机蔬果食品有限公司委托南京泰坤环境检测有限公司开展新建 2 台电子加速器辐照装置应用项目环境影响评价工作，项目委托书详见附件 1。

对照《建设项目环境影响评价分类管理名录》（生态环境部令第 16 号，2021 年版），本项目属于“172 核技术利用建设项目”中使用 II 类射线装置类别，项目环评文件类型确定为生态环境影响报告表。

南京泰坤环境检测有限公司经现场踏勘、现状监测、资料收集及工程分析等工作，

编制完成本项目生态环境影响报告表。

3.劳动定员、工作制度与工作负荷

根据公司生产规划：近期配置一个班次，共 8 名辐射工作人员，班次内配置装置操作人员 2 名、上下货工作人员 4 名、质检人员 1 名、材料转运人员 1 名；其中 1 名兼任辐射防护负责人。每班工作 8h，年工作 250d，每名辐射工作人员年在岗时间约 2000h，单台电子加速器辐照装置年开机出束时间约 2000h；项目终期拟配备辐射工作人员 24 名，全部为新聘人员，实行三班制；每班合计配置 8 名辐射工作人员，同样由 1 名兼任辐射防护负责人；每班工作 8h，年工作 250d，每名辐射工作人员年在岗时间约 2000h，单台电子加速器辐照装置年开机出束时间约 6000h。

二、项目场址选址情况及周边保护目标

1.项目场址选址

南京中亮有机蔬果食品有限公司位于南京市溧水区白马镇老明路 5 号。厂区东侧为住宅楼（含好心情快捷酒店）、南侧为白马镇村民民房、西侧为 S341 省道（宜溧线）、北侧临神龙路，隔神龙路为南京源又源食品科技有限公司厂区南侧办公楼。

项目地理位置图见附图 1，厂区现状平面布置及项目周边环境示意图见附图 2。

本项目拟将厂区北部 2 间单层成品库房（含北侧 3 间其他库房）改造为单层辐照中心厂房；同步将成品库房东侧 2 间厂内附属用房、1 间挑选包装单层厂房、1 间速冻鲜果生产单层厂房、2 间果酒存放单层库房和成品库房西侧 1 间其他库房改造为辐照材料库房，用于项目运营期辐照物料的周转与储存。

辐照中心厂房东侧为南北向排布的 6 间辐照材料库房，南侧为场内道路（含厂区回车场）及果酒、果汁、果浆生产厂房及其附属用房、西南侧为门岗室、1 幢办公楼，西侧为 1 间辐照材料库房，北侧为锅炉房和北侧围墙；辐照中心下方为土层、上方为厂房屋顶。本项目 2 台电子加速器辐照装置布置于辐照中心内，1#装置、2#装置由东向西紧邻布设。辐照中心一层为辐照室，辐照室四周设置辐照材料转运区，无地下室，底板下为土层；二层为主机室及附属用房，二层四周临空。主机室东、西侧紧邻楼梯，南侧设置两台装置共用控制室、共用设备间（含制冷机组平台）、检测室、检修厅、通道等；二层主机室正上方为人员不可到达的屋面，正下方为一层辐照室。

项目建成后厂区总平面及周边环境示意图见附图 3，辐照中心平面布置示意图见附图 4。

对照《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》《省政府关于印

发江苏省生态空间管控区域规划的通知》《江苏省生态空间管控区域管理办法》《江苏省自然资源厅关于南京市溧水区生态空间管控区域调整方案的复函》，本项目拟建址评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域。评价范围内不涉及《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》第三条（一）所列国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。

经江苏省生态环境厅“江苏省生态环境分区管控综合服务系统”查询（查询报告见附件 8），本项目位于江苏南京国家农业高新技术产业示范区重点管控单元（ZH32011720135）。本项目属于农产品加工配套辐照工序，符合管控单元空间布局要求；项目污染物产生量少、无重金属排放，满足排放管控要求；项目可落实辐射风险防控与跟踪监测，设备能耗达到行业先进水平、资源利用高效，符合该管控单元各项管控要求。

2.项目周边保护目标

本项目为 II 类射线装置应用项目，本次评价范围确定为项目建成后电子加速器辐照装置机房实体屏蔽体外 50m 区域。评价范围内东侧位于厂区内，包含本次拟改造后形成的 6 间辐照材料库房（东侧北部 2 间）；南侧位于厂区内，包含厂内道路（含回车场）、1 间单层果酒、果汁、果浆生产厂房及其附属用房 1 间、西南侧有厂内 1 幢办公楼、门岗室；西侧包含厂内 1 间辐照材料库房，厂外为 S341 省道（宜溧线）；北侧包含厂内锅炉房，厂外为神龙路以及神龙路北侧南京源又源食品科技有限公司厂区南侧办公楼 1 幢。上述辐照材料库房均为地上一层建筑，详见附图 3。

经现场核查，本项目评价范围内有厂外环境敏感点 1 处：为位于拟建电子加速器辐照装置北侧、南京源又源食品科技有限公司厂区南部的 1 幢三层建筑物，相对位置详见附图 3；该敏感点不在本项目用地范围内，属于厂外公众保护目标，本项目东侧住宅楼（含好心情快捷酒店）、南侧白马镇村民民房位于本项目辐射评价范围以外，不纳入本次评价敏感目标。

本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线、生态空间管控区域，亦不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。

本项目环境保护目标分为两类：一类为本项目辐射工作人员，为职业照射管控对象；另一类为评价范围内公众，包括厂内办公楼人员、厂区其他非辐照中心内人员、

厂外道路过往人员以及南京源又源食品科技有限公司办公楼内人员，为公众辐射环境保护目标。

三、实践正当性分析

本项目运行过程中会产生电离辐射，会使电子加速器辐照机房周边辐射水平有所升高；在落实各项屏蔽防护及辐射安全管理措施后，辐射影响可得到有效控制，对周边环境的辐射影响满足相关标准限值要求。本项目建成后可满足企业和周边区域生产的食品、鲜果蔬菜、果蔬制品以及各类农产品等辐照灭菌需求，改善产品品质，具备良好的经济效益与社会效益。项目在严格落实辐射安全与防护措施的前提下，所获效益大于其潜在环境辐射危害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中实践的正当性原则。

四、原有核技术利用项目许可情况

本项目为南京中亮有机蔬果食品有限公司首次使用核技术利用项目，在此之前未购置、使用过核技术利用项目，未取得过《辐射安全许可证》。

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》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）电子加速器辐照装置：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型电子加速器辐照装置

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
1	电子加速器辐照装置（1#装置）	II	1	DZ-10/30 型	电子	10	3mA	辐照加工	辐照中心 1#机房	仅 10MeV 单一档电子能量，无其他能量档，不直接输出 X 射线，无 X 射线靶
2	电子加速器辐照装置（2#装置）	II	1	DZ-10/30 型	电子	10	3mA	辐照加工	辐照中心 2#机房	仅 10MeV 单一档电子能量，无其他能量档，不直接输出 X 射线，无 X 射线靶
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

（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	/	/	不暂存	通过排风系统排至车间外，臭氧常温下约 50min 即可自行分解成氧气，对环境影响较小
生活污水	液态	/	/	25m^3	300m^3	/	不暂存	生活污水经化粪池预处理，接入市政污水管网进入白马污水处理厂（南京国家农高区白马污水处理厂）
生活垃圾	固态	/	/	250kg	3000kg	/	不暂存	分类收集后将交由城市环卫部门处理
废速调管	固态	/	/	/	约 3～5 年 1 根，单根重量约 300 kg	/	/	属于一般固体废物，按一般固废相关要求处置
/	/	/	/	/	/	/	/	/

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/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. 《中华人民共和国生态环境法典》，中华人民共和国主席令（第七十号），2026年8月15日施行； 2. 《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709号，2019年3月2日施行； 3. 《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； 4. 《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）； 5. 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021年版），生态环境部令第16号，2021年1月1日起施行； 6. 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，原环境保护部令第18号，2011年5月1日起施行； 7. 《关于发布〈射线装置分类办法〉的公告》，生态环境部、国家卫生健康委，2026年第44号公告，2026年10月14日公布并施行； 8. 《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》，原国家环保总局，环发〔2006〕145号，2006年9月26日起施行； 9. 《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； 10. 《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； 11. 《关于启用环境影响评价信用平台的公告》，生态环境部公告2019年第39号，2019年10月25日发布； 12. 《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； 13. 《江苏省辐射污染防治条例》（2026年修正），2026年8月15日起施行； 14. 《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； 15. 《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； 16. 《江苏省自然资源厅关于南京市溧水区生态空间管控区域调整方案的复函》（苏自然资函〔2024〕383号）； 17. 《江苏省生态空间管控区域管理办法》，苏政办规〔2026〕1号，2026年3月1日起施行； 18. 《江苏省辐射事故应急预案》（2020年修订版），苏政办函〔2020〕26号，2020年2月19日发布； 19. 《江苏省突发生态环境事件应对办法》（江苏省人民政府令第189号），自2025年9月1日起施行； 20. 《市政府办公厅关于印发南京市突发环境事件应急预案等4个应急预案的通知》（宁政办发〔2024〕24号），2024年5月7日发布并实施，其中含《南京市辐射事故应急预案》； 21. 《关于进一步做好建设项目环境影响评价报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187号，2021年5月28日发布； 22. 《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）。
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. 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022）； 3. 《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）； 4. 《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）； 5. 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； 6. 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； 7. 《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）； 8. 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； 9. 《粒子电子加速器辐照装置辐射安全与防护规定》（GB5172-2025）； 10. 《辐射加工用电子加速器辐照装置工程通用规范》（GB/T25306-2010）； 11. 《电离辐射监测质量保证通用要求》（GB8999-2021）； 12. 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）；

	13. 《γ 射线和电子束辐照装置防护检测规范》（GBZ 141-2002）； 14. 《环境空气质量标准》（GB 3095—2026）； 15. 《工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学有害因素》（GBZ2.1-2019）； 16. 《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117—2022）。
其他	**附图：** 附图 1 南京中亮有机蔬果食品有限公司地理位置示意图 附图 2 南京中亮有机蔬果食品有限公司厂内平面布置现状和本项目周围环境示意图 附图 3 本项目建成后南京中亮有机蔬果食品有限公司厂内平面布置和周围环境示意图 附图 4 本项目建成后厂内辐照中心平面布置示意图 **附件：** 附件 1 委托书 附件 2 公司营业执照 附件 3 立项文件 附件 4 不动产权证 附件 5 本项目电子加速器辐照装置主要设计参数 附件 6 建设单位承诺 附件 7 本次环评项目辐射环境本底检测报告及检测单位资质 附件 8“江苏省生态环境分区管控综合服务系统”查询报告

表 7 保护目标与评价标准

评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）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”的要求，结合本项目特点，确定本项目辐射环境评价范围为电子加速器辐照装置机房实体屏蔽体外 50m 区域，详见附图 3。

保护目标

本项目为 II 类射线装置应用项目，本次评价范围确定为项目建成后电子加速器辐照装置机房实体屏蔽体外 50m 区域。评价范围内东侧位于厂区内，包含本次拟改造后形成的 6 间辐照材料库房（东侧北部 2 间）；南侧位于厂区内，包含厂内道路（含回车场）、1 间单层果酒、果汁、果浆生产厂房及其附属用房 1 间、西南侧有厂内 1 幢办公楼、门岗室；西侧包含厂内 1 间辐照材料库房，厂外为 S341 省道（宜溧线）；北侧包含厂内锅炉房，厂外北侧为神龙路以及神龙路北侧南京源又源食品科技有限公司厂区南侧办公楼 1 幢。上述辐照材料库房均为地上一层建筑，详见附图 3。

经现场核查，本项目评价范围内有厂外环境敏感点 1 处：为位于拟建电子加速器辐照装置北侧、南京源又源食品科技有限公司厂区南部的 1 幢三层建筑物，相对位置详见附图 3；该敏感点不在本项目用地范围内，属于厂外公众保护目标。本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线、生态空间管控区域，亦不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。

本项目环境保护目标分为两类：一类为本项目辐射工作人员，为职业照射管控对象；另一类为评价范围内公众，包括厂内办公楼人员、厂区其他非辐照中心内人员、厂外道路过往人员以及南京源又源食品科技有限公司办公楼内人员，为公众辐射环境保护目标。本项目保护目标详见表 7-1。

表 7-1 本项目保护目标一览表

序号	保护目标		方位及最近距离	性质	规模	环境保护要求（mSv/a）
	名称	保护对象				

1	机房二层共用控制室、共用设备间（含制冷机组平台）、检修厅、通道	装置操作人员	主机室外南墙，1.7m	职业人员	6	5
2	机房二层共用设备间屋顶上方		二层共用设备间上方、4m			
3	机房二层检测室，通道等	品控人员	主机室外南墙，1.7m	职业人员	3	
4	辐照中心上下货区操作位、机房周围	进出料人员	一层辐照室四周，紧邻	职业人员	12	
5	辐照中心机房周围、辐照材料库房	辐照材料转运人员	一层辐照室四周，紧邻	职业人员	3	
6	辐照材料库房	厂内其他工作人员	东、东南、西侧，约 10m	公众	10	0.1
7	门岗室	厂内其他工作人员	西南、约 4m	公众	3	
8	回车场	厂内通行人员、辐照材料厂外运输人员等	南，7m	公众	40	
9	办公楼	厂内其他工作人员	南，17m	公众	15	
10	（果酒、果汁、果浆生产区）附属用房	厂内其他工作人员	南，28m	公众	8	
11	（果酒、果汁、果浆生产区）生产厂房	厂内其他工作人员	南，40m	公众	25	
12	S341 省道（宜溧线）	道路上通行人员	西，24m	公众	流动人员	
13	锅炉房	厂内其他工作人员	北，3m	公众	2	
14	神龙路	道路上通行人员	北，15m	公众	流动人员	
15	南京源又源食品科技有限公司办公楼	厂外其他工作人员	北，42m	公众	80	

评价标准

1. 《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

对　象	剂量限值
职业照射剂量限值	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值： ① 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可做任何追溯平均），20mSv； 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。
剂量约束值通常应在公众照射剂量限值 10%～30%（即 0.1mSv/a~0.3 mSv/a）的范围之内。	

2. 剂量约束值

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）第 4.2.1 条第(3)款，辐射工作人员职业照射和公众照射的剂量限值应满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，即职业照射年有效剂量限值为 20mSv（连续 5 年平均），公众照射年有效剂量限值为 1mSv。

在电子加速器辐照装置的工程设计中，按辐射防护最优化原则，辐射防护的剂量约束值规定为：

a)辐射工作人员个人年有效剂量为 5mSv；

b)公众成员个人年有效剂量为 0.1mSv。

根据以上条款，确定本项目剂量约束值如下：

（1）辐射工作人员年有效剂量约束值取 5mSv/a（为 GB18871-2002 职业照射年剂量限值的 1/4）；

（2）公众成员年有效剂量约束值取 0.1mSv/a（为 GB18871-2002 公众照射年剂量限值的 10%）。

3. 辐射剂量率控制水平

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）4.2.2 辐射屏蔽设计依据：电子加速器辐照装置外人员可到达区域屏蔽体外表面 30cm 处以外区域周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h 。如屏蔽体外为社会公众区域，屏蔽设计必须符合公众成员个人剂量约束值规定。

确定本项目关注点剂量率参考控制水平：

本项目屏蔽关注点周围剂量当量率参考控制水平：一层辐照室屏蔽体四周、二层主机室屏蔽体外配套用房及通道、二层共用设备间屋顶上方、机房外区域均不大于 2.5 μSv/h；主机室屋顶上方无人到达（风机拟设置于共用设备间屋顶上方），参照《工业探伤放射防护标准》（GBZ 117—2022）第 6.1.4 b 款），贯穿辐射和束流损失所致屋顶外表面 30 cm 处周围剂量当量率控制值≤100μSv/h，主机室周围临空处剂量率参考控制水平参照 2.5μSv/h 控制。

屏蔽体外公众区域，屏蔽设计符合公众成员个人剂量约束值 0.1mSv/a 规定。

4. 工作场所臭氧的控制水平

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》(HJ 979-2018)要求，主机室和辐照室应设置通风系统，以保证辐照分解产生的臭氧等有害气体浓度满足 GBZ 2.1 的规定。根据《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）：工作场所空气中化学有害因素的职业接触限值，对于臭氧为 0.3mg/m^3。

确定本评价项目电子加速器辐照装置停机后，工作人员进入辐照室时，辐照室内的臭氧浓度不应大于 0.3mg/m^3。

5. 参考资料：

（1）《辐射防护导论》，方杰主编；

（2）《辐射防护手册》（第一分册），李德平、潘自强著；

（3）NCRP Report No.51. 《Radiation Protection Design Guidelines For 0.1 ~ 100MeV Particle Accelerator Facilities》；

（4）《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辐射剂量率（单位：nGy/h）

	原野	道路	室内
测值范围	33.1~72.6	18.1~102.3	50.7~129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14.0

注：1.测量值已扣除宇宙射线响应值；

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

表 8 环境质量和辐射现状

环境质量和辐射现状

一、项目地理位置和场所位置

南京中亮有机蔬果食品有限公司位于南京市溧水区白马镇老明路 5 号。厂区东侧为住宅楼（含好心情快捷酒店）、南侧为白马镇村民民房、西侧为 S341 省道（宜溧线）、北侧临神龙路，隔神龙路为南京源又源食品科技有限公司厂区南侧办公楼，本项目地理位置图见附图 1。

本项目拟将厂区北部 2 间单层成品库房（含北侧 3 间其他库房）改造为单层辐照中心厂房；同步将成品库房东侧 2 间厂内附属用房、1 间挑选包装单层厂房、1 间速冻鲜果生产单层厂房、2 间果酒存放单层库房和成品库房西侧 1 间其他库房改造为辐照材料库房，用于项目运营期辐照物料的周转与储存，厂区现状平面布置及项目周边环境示意图见附图 2。

辐照中心厂房东侧为南北向排布的 6 间本次改造后形成的辐照材料库房，南侧为厂区道路（含回车场）、果酒、果汁、果浆生产厂房及其附属用房，西南侧有门岗室、1 幢办公楼，西侧为 1 间辐照材料库房，北侧为锅炉房和北侧围墙；辐照中心下方为土层、上方为厂房屋顶。本项目 2 台电子加速器辐照装置布置于辐照中心内，1#装置、2#装置由东向西紧邻布设。辐照中心一层为辐照室，辐照室四周设置辐照材料转运区，无地下室，底板下为土层；二层为主机室及附属用房，二层四周临空。主机室东、西侧紧邻楼梯，南侧设置两台装置共用控制室、共用设备间（含制冷机组平台）、检测室、检修厅、通道等；二层主机室正上方为人员不可到达的屋面，正下方为一层辐照室。项目建成后厂区总平面及周边环境示意图见附图 3，辐照中心平面布置示意图见附图 4。

经现场核查，本项目评价范围内有厂外环境敏感点 1 处：为位于拟建电子加速器辐照装置北侧、南京源又源食品科技有限公司厂区南部的 1 幢三层建筑物，相对位置详见附图 3；该敏感点不在本项目用地范围内，属于厂外公众保护目标。本项目评价范围内不涉及国家级生态保护红线、生态空间管控区域，亦不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。

本项目环境保护目标分为两类：一类为本项目辐射工作人员，为职业照射管控对象；另一类为评价范围内公众，包括厂内办公楼人员、厂区其他非辐照中心内人员、厂外道路过往人员以及南京源又源食品科技有限公司办公楼内人员，为公众辐射环境保护目标

本项目及周边环境现状见图 8-1～图 8-12。



图 8-1 1#装置拟建址现状成品库房内部，1# 装置布置于改造后辐照中心厂房东部



图 8-2　2# 装置拟建址现状成品库房内部，2# 装置布置于改造后辐照中心厂房西部



图 8-3 拟建址东侧现状挑选包装厂房，拟改造为辐照材料库房



图 8-4 拟建址东侧现状附属用房，拟改造为辐照材料库房





图 8-5 拟建址东侧现状速冻鲜果生产厂房，拟改造为辐照材料库房	图 8-6 拟建址东侧南部现状果酒存放库房，拟改造为辐照材料库房
	
图 8-7 拟建址南侧厂内道路、果酒果浆厂房及附属用房、厂内道路，本次拟将厂内道路改建为本项目回车场	图 8-8 拟建址南侧厂内 1 幢 4 层办公楼
	
图 8-9 拟建址西侧现状成品库房，拟改造为辐照材料库房	图 8-10 拟建址西侧厂外 S341 省道（宜溧线）
	
图 8-11 拟建址北侧厂外神龙路	图 8-12 拟建址北侧厂外南京源又源食品科技有限公司南侧 1 幢 3 层办公楼（神龙路以北，评价范围内敏感点）

二、环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

环境现状评价的对象为本项目拟建址周围辐射环境。

监测因子：γ辐射空气吸收剂量率

监测点位：在拟建址周围及环境敏感目标等处进行布点。

三、监测方案、质量保证措施及监测结果

1.监测方案

监测单位：南京泰坤环境检测有限公司（公司检测资质见附件 7）

检测仪器：FH40G-L10+FHZ672E-10 型 X-γ辐射监测仪（设备编号：NJTK/YQ041，检定有效期：2026.03.26~2027.03.25，检定单位：江苏省计量科学研究院，检定证书编号：Y2026-0030832。

能量响应：40keV~4.4MeV，测量范围：1nSv/h~100μSv/h

监测时间：2026 年 07 月 16 日

监测方法：根据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）相关方法和要求，在环境现场调查时，于公司电子加速器辐照装置拟建址及周围进行γ辐射空气吸收剂量率的测量，监测结果见表 8-1，监测点位示意图见图 8-13。

数据记录及处理：γ辐射空气吸收剂量率每个监测点位读取 10 个数据，读取间隔不小于 10s，并待计数稳定后读取数值，根据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）5.5 中公式（1）对数据进行处理。其中，测量仪器校准参考源为 ^{137}Cs，空气比释动能和周围剂量当量的换算系数取 1.20Sv/Gy，各监测点所在建筑物对宇宙射线的屏蔽修正因子按楼房 0.8、平房 0.9、道路 1.0 进行取值。

2.质量保证措施

本项目监测按照《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）和《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）的要求，实施全过程质量控制。监测人员已取得检测资格证书或经能力确认，监测仪器经过计量部门检定，并在有效期内，监测仪器在使用前、后经过核查，监测报告实行三级审核。

3.监测结果

本项目环境现状监测结果见表 8-1，监测报告见附件 7。

表 8-1 本项目拟建址γ辐射空气吸收剂量率监测结果

测点编号	测点描述	测量结果（nGy/h）	
		γ辐射空气吸收剂量率	标准差
1	1#装置拟建址内（平房，室内）	54.6	1.3

2	2#装置拟建址内（平房，室内）	65.7	0.5
3	1#装置拟建址东侧（平房，室内）	88.1	1.6
4	1#装置拟建址南侧（平房，室内）	90.4	1.2
5	2#装置拟建址南侧（平房，室内）	56.0	0.7
6	2#装置拟建址西侧（平房，室内）	73.1	1.6
7	2#装置拟建址北侧（平房，室内）	68.3	0.9
8	1#装置拟建址北侧（平房，室内）	58.7	1.0
9	1#装置和 2#装置拟建址北侧南京源又源食品科技有限公司办公楼南侧（道路，室外）	59.7	0.3
10	公司办公楼（楼房，室内）	69.1	1.4

注：测量结果已依据《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）扣除宇宙射线响应值（8.69nGy/h）；注：布点图点位序号与上方检测结果序号一致，成品库房为 1 层平房，上部为坡屋顶，人员无法抵达；下部为土层，公司办公楼位于厂内南侧，南京源又源食品科技有限公司办公楼位于厂外北侧。监测点位见图 8-13。

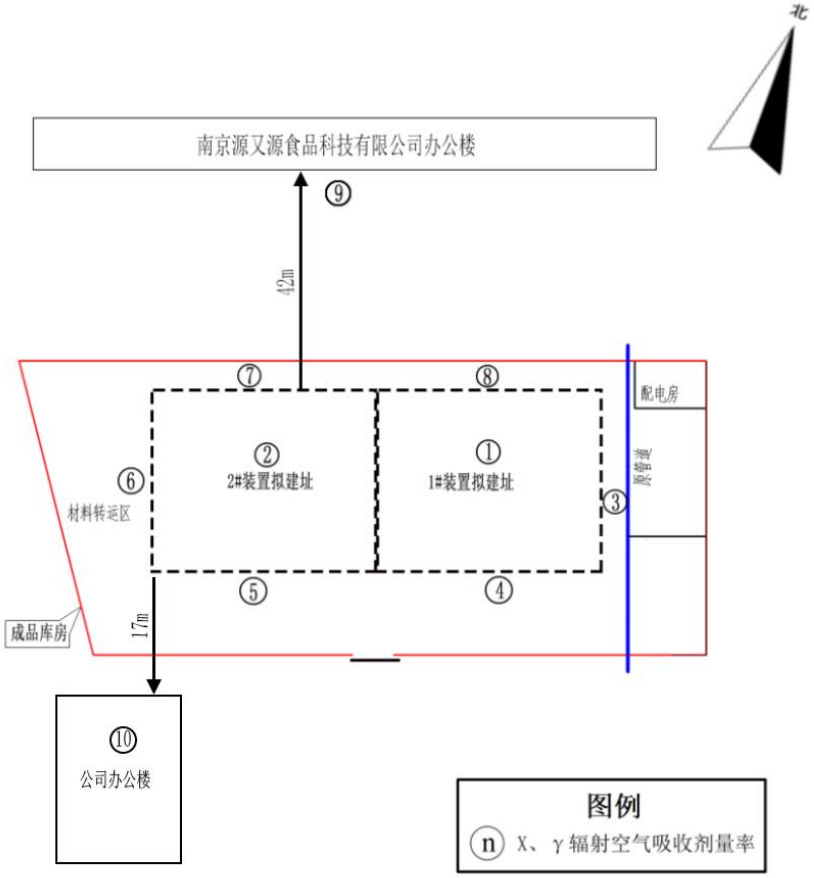


图 8-13 本项目拟建址周围环境γ辐射空气吸收剂量率监测点位示意图

4.环境现状调查结果评价

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

由表 8-1 监测结果可知，本项目拟建址周围室内环境γ辐射空气吸收剂量率为（54.6~90.4）nGy/h，各测点均位于江苏省环境天然γ辐射水平室内参考范围（50.7~129.4）nGy/h 内；拟建址周围室外道路环境γ辐射空气吸收剂量率为 59.7nGy/h，位于江苏省道路天然γ辐射水平参考范围（18.1~102.3）nGy/h 内。以上测量结果均已扣除宇宙射线响应值。

表 9 项目工程分析与源项

工程设备和工艺分析

一、工程设备

由于发展需要，公司拟将厂区北部成品库房（含北侧 3 间其他库房）改建为辐照中心，并在辐照中心内新建 2 座电子加速器辐照装置机房，并拟于电子加速器辐照装置机房内配备 2 台 DZ-10/30 型电子加速器辐照装置，用于对食品、鲜果蔬菜、果蔬制品以及各类农产品进行辐照灭菌、保鲜加工。

本项目拟配备的电子加速器辐照装置最大电子能量为 10MeV，最大束流强度为 3mA，根据电子加速器辐照装置厂家提供的资料，本项目电子加速器辐照装置在加速过程中的束流损失率为 1%（即电子束流强度为 0.03mA），束流损失点的能量为 3MeV（见附件 5、附件 6）。本项目电子加速器辐照装置参数见下表。

表 9-1 本项目电子加速器辐照装置技术参数

序号	项目	技术参数及内容
1	型号	DZ-10/30型
2	数量	2台
3	电子束最大能量	10MeV*
4	电子束最大束流强度	3mA
5	最大束流功率	30kW
6	电子加速器辐照装置粒子	电子
7	扫描宽度	600mm-800mm
8	扫描窗钛膜冷却	风冷配套系统
9	束流损失率	1%
10	束流损失点能量	3MeV
11	束流不稳定度优于	4%
12	能量不稳定度优于	4%
13	照射方向	垂直向下

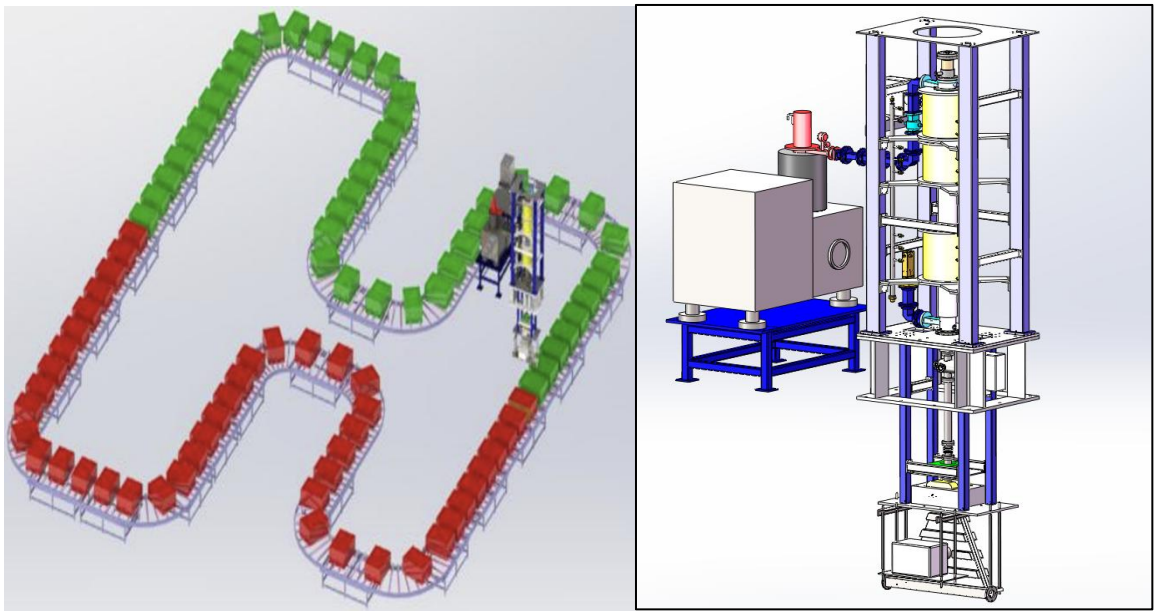
注：*本项目电子加速器辐照装置仅 10MeV 单一档电子能量，无其他能量档。

高能电子加速器辐照装置是一台综合的高科技设备，它包括电子枪、加速管、微波系统、高压脉冲调制器、电子加速器辐照装置控制系统、束流输运系统、安全联锁

系统、真空系统、充气系统、恒温水冷系统等装置，本项目电子加速器辐照装置主要设备如下。

（1）电子加速器辐照装置主机主体

电子加速器辐照装置采用上下两层垂直布局结构，加速管、速调管、微波系统布置于二层主机室，电子束自上而下加速，将电子从 50keV 加速至最高 10 MeV，经扫描磁铁展宽为扇面电子帘，透过 30μm 钛窗引出进行辐照加工。电子加速器辐照装置可实现 10 MeV 能量输出。



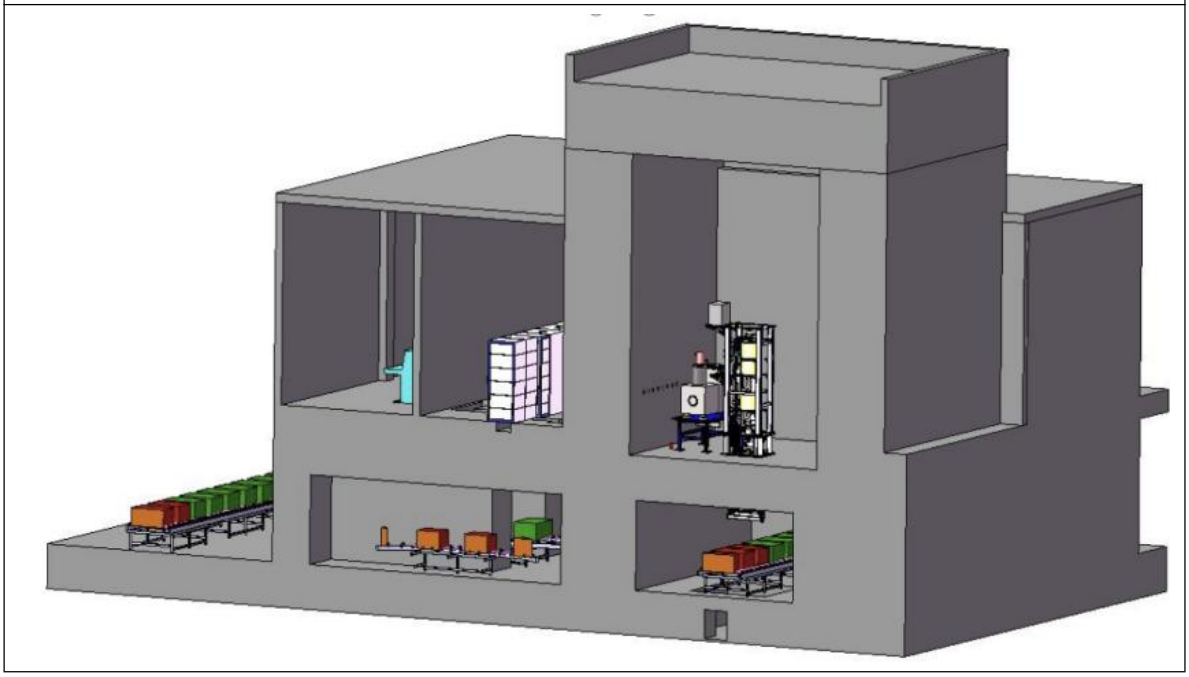


图 9-1 电子加速器辐照装置主体结构示意图（厂家提供同类型装置其他项目图片）

（2）加速管

加速电子束能量：10MeV。

加速管采用行波加速结构，工作频率 2856MHz，工作模式为 2π/3 模。这种模式较其他模式相比具有较高的稳定性、较高的分路阻抗等优点。采用束流动力学模拟程序 PARMELA 设计加速结构的腔长 D，腔内径 2b，盘片孔径 2a，盘片厚度 t，加速管输出电子束能量达到 10MeV，加速管结构见下图 9-2。

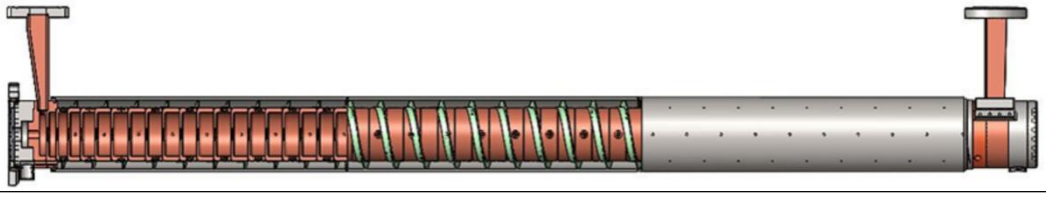


图 9-2 电子加速器辐照装置结构图（厂家提供同类型装置其他项目图片）

（3）微波系统

微波系统为电子加速器辐照装置提供高功率微波激励，主要包含固态功率放大器、高功率速调管、各类微波传输元件（弯波导、软波导、充气波导、定向耦合器、波导窗）、水负载。固态放大器输出激励信号给到速调管，速调管输出 5 MW 脉冲微波功率；微波经波导组件馈入加速管，充气波导内部充入 SF_6气体提高绝缘防止打火；定向耦合器用于微波信号取样监测；水负载吸收加速管剩余微波功率。

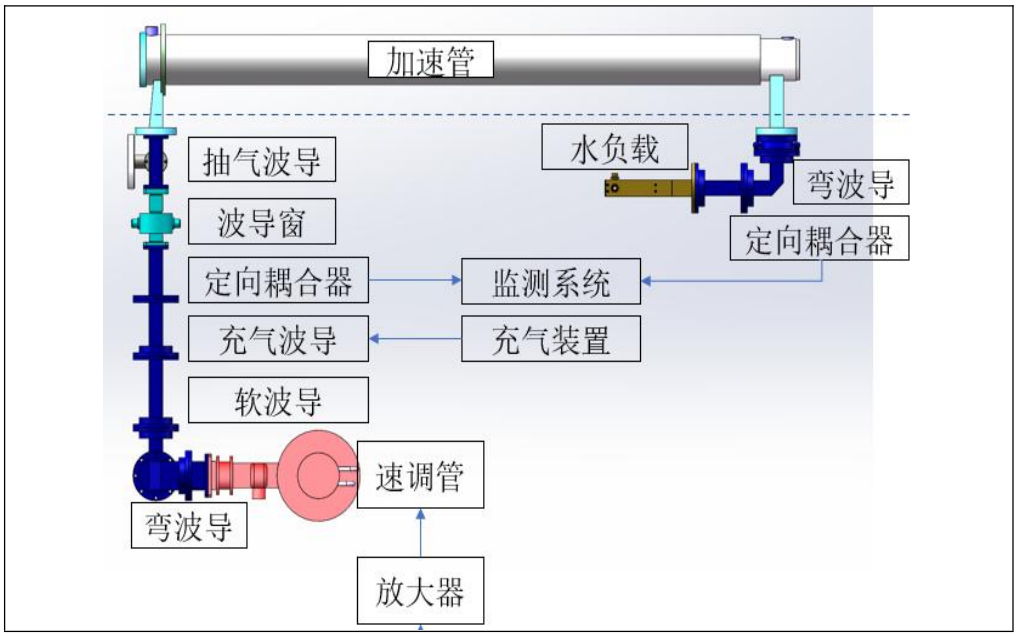


图 9-3 微波系统设计原理图（厂家提供同类型装置其他项目图片）

固态功率放大器：输出 2856MHz 激励微波，脉冲功率 100-400W 连续可调，为速调管提供激励信号。



图 9-4 固态功率放大器实物示意图（厂家提供同类型装置其他项目图片）

高功率速调管：核心微波功率源，将电子注能量转换为高功率微波。



图 9-5 速调管外形图（厂家提供同类型装置其他项目图片）

（4）高压脉冲调制器

高压脉冲调制器是电子加速器辐照装置核心脉冲功率源，采用线型调制器方案，三相 380V 供电，IGBT 充电控制、充氢闸流管 CX1549 为主开关，人工线储能，脉冲变压器升压，输出 135kV 高压脉冲供给速调管；同时为速调管、闸流管、电子枪灯丝供电，具备灯丝软预热、反峰保护，输出多路时序可调触发脉冲，保障整机部件同步；具备本地触摸屏、上位机远程双重控制，故障联锁切断高压。整套分为配电柜、控制柜、充电变压器柜、人工线柜、脉冲变压器油箱。

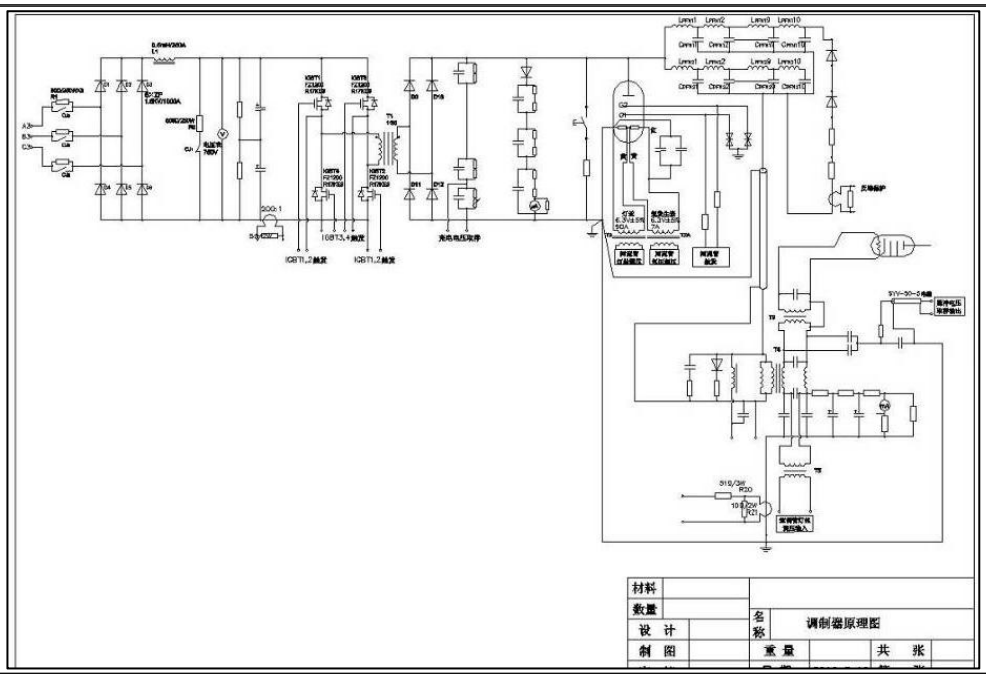


图 9-6 调制器电原理图（厂家提供同类型装置其他项目图片）



图 9-7 调制器柜效果图（厂家提供同类装置其他项目图片）

（5）真空系统

真空系统分为电子枪高真空子系统、加速管高真空子系统、扫描盒真空子系统；主泵采用溅射离子泵，配置分子泵作为前级泵；各段之间设置隔离阀门，可独立检修维护；严格控制各部分静态、动态真空度以及系统总漏率，减少电子束在传输过程中的散射损失。

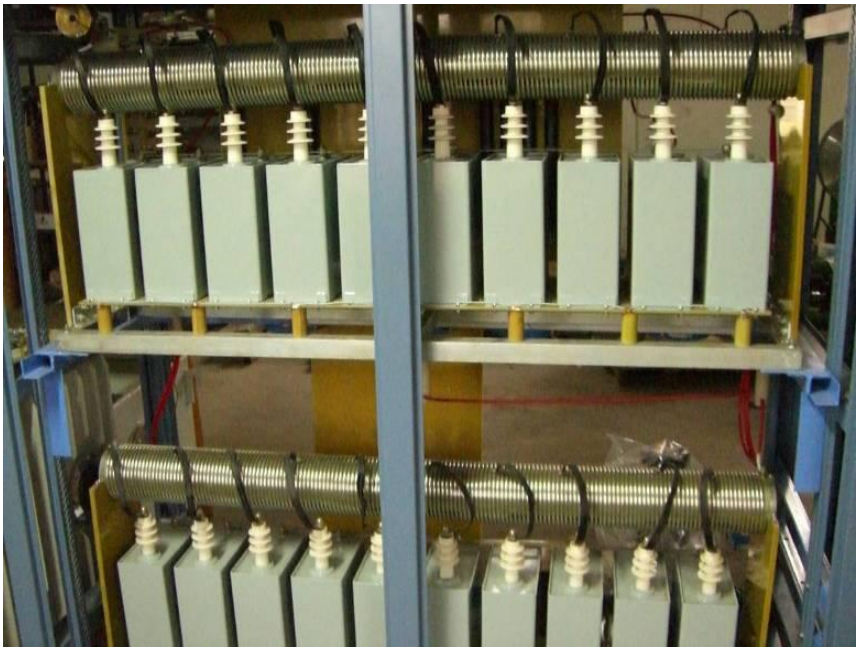


图 9-8 人工线柜（含部分真空配套器件）（厂家提供同类型装置其他项目图片）

（6）恒温水冷冷却系统

恒温冷却系统为电子加速器辐照装置发热部件提供恒温冷却水，温控精度可达±0.1℃，包含冷却水循环系统、制冷循环系统、控制系统；多台制冷机组可自适应轮换投切，满足不同负载下散热需求；水冷系统的水温、水压、水位异常直接接入整机安全联锁。



图 9-9 水冷系统组成实物图（厂家提供同类装置其他项目图片）

（7）控制系统

整机采用西门子系列 PLC 分布式网络控制系统，光纤通讯实现高压隔离，仅急停、快速保护采用硬接线。分为电子加速器辐照装置本体控制、束下传输装置控制、

辐射防护安全联锁控制、远程诊断控制四大模块；装置操作人员通过控制室操作台及上位机软件完成设备操作、参数监视；支持 VPN 远程诊断维护，配套辐照生产综合管理软件实现生产信息化管理。类装置控制系统软件运行状态界面见下图。

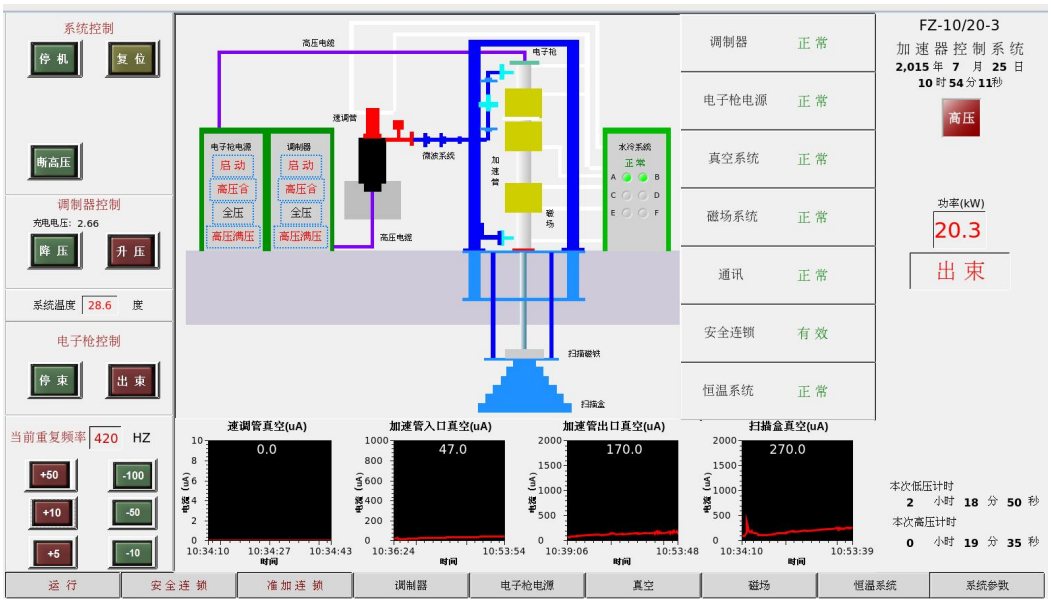


图 9-10 电子加速器辐照装置控制系统软件运行状态界面

（厂家提供同类装置其他项目图片）

（8）束下传输系统

束下传输系统完成待辐照物料的输送，主要由束下辐照段板机、直线输送辊道、弯道输送辊道、积放输送段、自动导正对中机构组成；束下区域采用抗辐照速度检测装置；输送速度 1-10 m/min 可调，支持往复辐照，与电子加速器辐照装置控制系统联锁，保证辐照剂量均匀。



图 9-11 束下辐照段板机实物图（厂家提供的该型装置其他公司实物照片）



图 9-12 直线输送段实物图（厂家提供的该型装置其他公司实物照片）





图 9-13 弯道输送段实物图（厂家提供的该型装置其他公司实物照片）

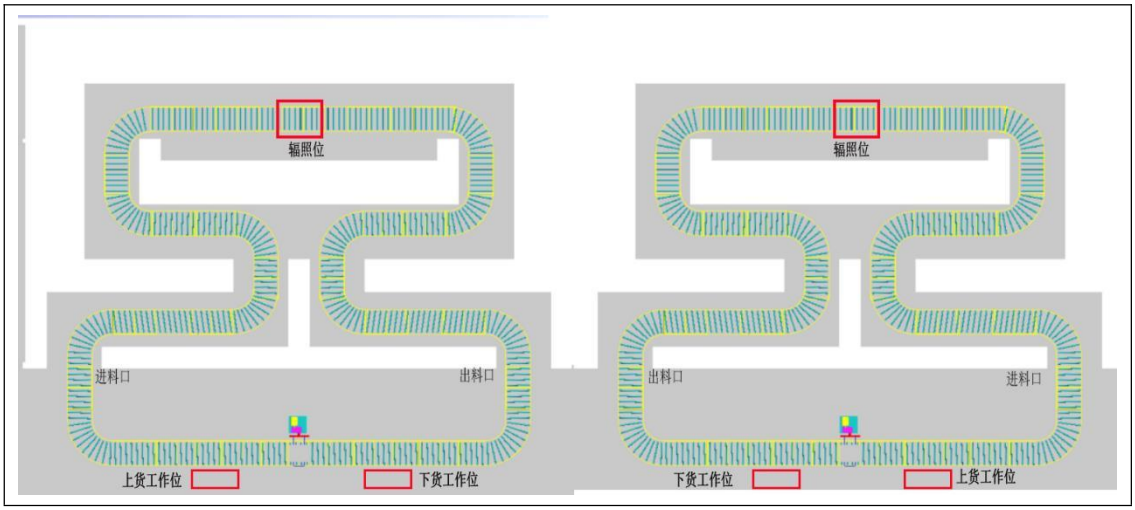


图 9-14 束下传输系统总体布局图

（9）辐射安全联锁系统

本项目电子加速器辐照装置为仅在通电加高压条件下产生电子束及次级 X 射线，本项目 2 台电子加速器辐照装置加速电子最大能量为 10MeV，按照 HJ979-2018 本项

目屏蔽设计不考虑中子防护，本项目 2 台电子加速器辐照装置断电均无 X 射线输出。整机配置多重联锁：急停联锁、门机联锁、风机联锁、边界剂量联锁、人员巡检联锁、束下速度联锁、束流强度异常联锁、钥匙联锁、声光警灯联锁、光电防误入联锁、烟雾报警联锁、臭氧报警联锁、调制器联锁、水系统联锁、气压联锁、真空联锁；配套摄像监视器进行视频监控。出现异常可实现声光报警、锁闭防护门、切断高压停止出束，保障人员与设备安全。

二、工作原理及工作流程

（一）工作原理

电子加速器辐照装置属于特种电磁、高真空类专用设备，主要通过高真空环境下磁场约束、电场加速的作用原理，人工产生高能电子束或 X 射线，是工业辐照灭菌加工的核心专用设备。

本项目选用 DZ-10/30 型电子加速器辐照装置，为高频高能电子加速器辐照装置，输出粒子为电子，不直接输出 X 射线，无 X 射线靶。依靠高频电场对电子进行加速，使电子沿直线轨道稳定传输。设备采用射频型加速结构实现电子束高能加速，高功率微波由大功率速调管提供，速调管通过晶振锁相源实现稳定激励，可输出脉冲功率 5MW、平均功率 45kW 的微波能量。微波功率经弯波导、软波导、定向耦合器、波导窗等波导传输部件稳定馈入加速管，在加速管内部建立均匀、稳定的射频加速电场。输入的微波功率主要通过三部分消耗，分别为束流负载吸收、加速管管壁损耗及终端水负载吸收。

设备运行过程中，电子枪发射能量为 50keV 的初始电子束流并注入加速管，电子束在加速管内与射频加速电场持续耦合作用、逐级提升能量，最终在加速管出口处达到 10MeV 高能电子束。高能电子束经束流管道进入扫描盒，由扫描磁铁将点状电子束均匀扫描扩展为扇面束流，穿过钛窗后形成有效辐照区域，可对输送至辐照区域的食品、鲜果蔬菜、果蔬制品以及各类农产品等物料实施穿透式辐照加工。针对不同产品的保鲜灭菌工艺要求，可通过调整电子加速器辐照装置输出参数、货物传输系统运行速度精准控制辐照剂量，并结合实时剂量监测与抽样实测方式，稳定把控辐照加工质量。

本项目主要开展食品、鲜果蔬菜、果蔬制品以及各类农产品的辐照灭菌、保鲜加工业务。电子束辐照灭菌技术具备穿透能力强、能耗低、无毒物残留、不污染环境、

加工速度快、操作安全、工艺可控性强、可常温加工等突出优势，现已在食品灭菌保鲜行业广泛应用。食品辐照保鲜技术主要利用电离辐射对食品产生物理、化学及生物效应，实现抑制食材发芽、杀灭有害微生物、祛除虫害、控制寄生虫感染等效果，有效延长产品货架期，提升食品卫生安全品质。

本项目电子加速器辐照装置工作原理见下图 9-15。

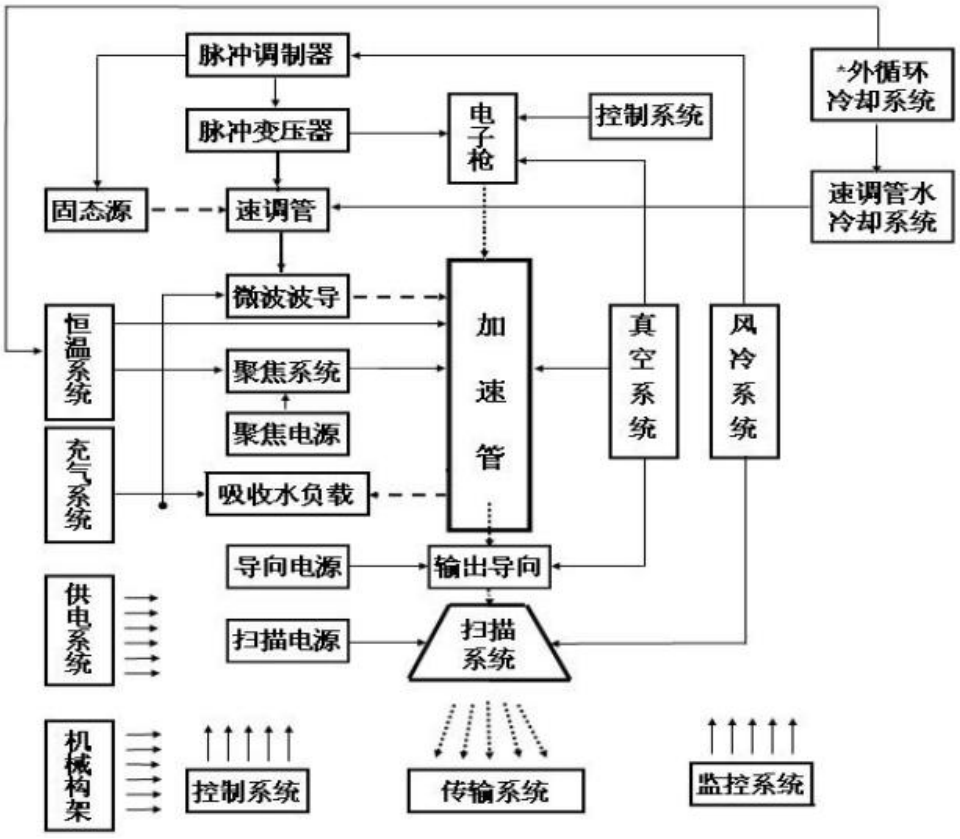


图 9-15 本项目电子加速器辐照装置工作原理图

（二）工作流程及产污环节

本项目电子加速器辐照装置主要用于对食品、鲜果蔬菜、果蔬制品以及各类农产品进行辐照灭菌、保鲜加工。本项目拟采用传送设备对辐照产品进行传输，辐照产品从辐照室货物进口经传输带传输进入辐照室，经过辐照加工后从货物出口传输出来。对辐照加工工艺流程简述如下：

1. 开机前准备

每次电子加速器辐照装置开机前，确认门机联锁、巡检按钮、光电联锁、紧急停机及急停拉绳等辐射安全系统及装置无异常，辐射工作人员对机房进行巡检（按要求依次按下巡检按钮）、清场，确认室内无人，辐射工作人员开启辅助系统、控制系统

等进行预热；

2. 设备参数设置

进出料人员将待辐照物品（货物）放置于传送设备上，装置操作人员返回控制室，根据待辐照物品种类、厚度及所需辐照剂量，设置电子加速器辐照装置电子束能量、束流强度、传送带速度等运行参数；

3. 开启辐照装置

启动电子加速器辐照装置，电子束经引出系统进入辐照室；同时开启辐照室排风系统，此过程会产生电子束、X 射线、臭氧及氮氧化物。

4. 辐照物（货物）传输与辐照

上货区工作人员将辐照产品通过传输装置，经辐照室货物进口送入辐照机房辐照区域开展辐照加工，辐照过程产生电子束、韧致 X 射线、臭氧及氮氧化物。

5. 辐照物分析与再辐照

品控（质检）人员在辐照前、后区取样，于检测室对辐照后货物开展剂量分析检测。若检测结果未达到目标剂量要求，该批货物随输送线返回翻面工位，经翻转后重新送入辐照室实施补辐；若检测满足剂量要求，辐照货物经出口迷道送出辐照室，转运卸货、入库存放。

输送线配置与链速联锁的自动翻转装置，对于需要双面辐照的货物，货物过扫描窗后到达翻转机构后自动翻面，实现双面辐照，降低正反面剂量差异；配套在线剂量监测系统实时监控电子束流及扫描场均匀性，参数异常可报警联锁，结合离线剂量片布点验证、分品类固化工艺参数，共同控制货物吸收剂量不均匀度，保障辐照剂量均匀。

6. 关闭辐照装置

辐照完成后，切断高压、关闭辐照装置。

本项目电子加速器辐照装置辐照加工工艺流程和主要产污环节示意见图 9-16。

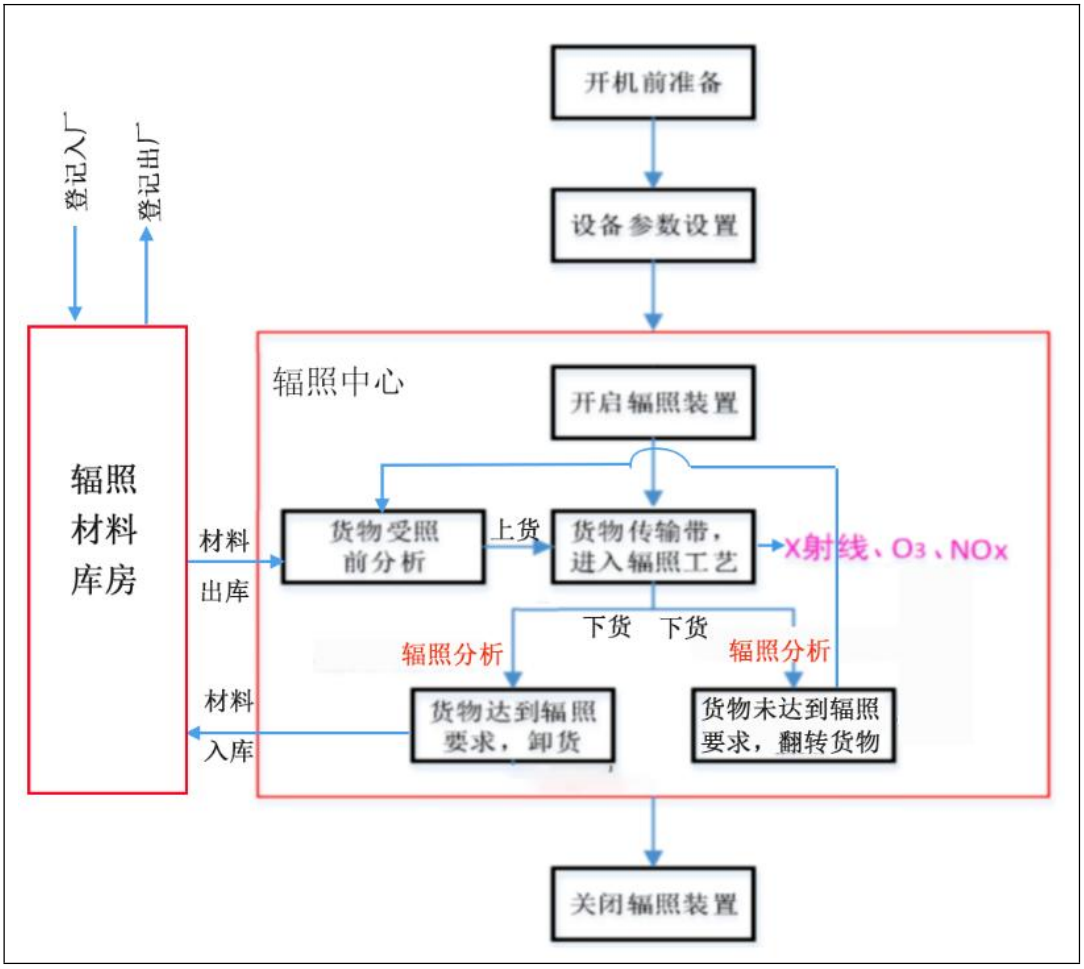


图 9-16 本项目电子加速器辐照装置辐照加工工艺流程和主要产污环节示意图

三、人员组成及工作负荷

根据公司生产规划：近期配置一个班次，共 8 名辐射工作人员，班次内配置装置操作人员 2 名、上下货工作人员 4 名、质检人员 1 名、材料转运人员 1 名；其中 1 名兼任辐射防护负责人。每班工作 8h，年工作 250d，每名辐射工作人员年在岗时间约 2000h，单台电子加速器辐照装置年开机出束时间约 2000h；项目终期拟配备辐射工作人员 24 名，全部为新聘人员，实行三班制；每班合计配置 8 名辐射工作人员，同样由 1 名兼任辐射防护负责人；每班工作 8h，年工作 250d，每名辐射工作人员年在岗时间约 2000h，单台电子加速器辐照装置年开机出束时间约 6000h。

污染源项描述

1、辐射污染源

本项目为最大能量 10 MeV电子束辐照装置，不设置 X 射线转换靶，运行过程中不产生加速器废靶。项目营运期正常运行时，无放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。本项目电子加速器辐照装置的最大能量为 10MeV，最大束流为 3mA，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），对于能量不高于 10MeV 的电子束，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题，因此本项目预测时未考虑中子防护问题。

电子加速器辐照装置在进行辐照时电子枪发射电子，电子经加速管加速并经扫描扩展成为均匀的有一定宽度的电子束。电子束打到机头及其他高Z物质时会产生高能X射线，X射线的贯穿能力极强，会对辐照室周围环境造成辐射污染。此外，电子在加速过程中，部分电子会丢失，它们打在加速管壁上，产生X射线，对电子加速器辐照装置机房产生一定的辐射影响。电子加速器辐照装置在运行时产生的高能电子束，其贯穿能力远弱于X射线，在X射线得到充分屏蔽的条件下，电子束亦能得到足够的屏蔽。速调管内部电子束加速电压通常仅 200～300 kV（0.2～0.3 MeV），远低于光核反应（γ,n）阈能（约 8～10 MeV），光子能量不足，无法触发光核反应，不会活化速调管壳体、收集极，停机后无残留感生放射性。速调管内电子轰击收集极仅产生 kV 级轫致 X 射线，相较于束流损失位置 3 MeV 对应的轫致 X 射线贡献很小，本次评价不再单独核算速调管产生 X 射线的影响。因此，在电子加速器辐照装置开机辐照期间，X射线辐射为项目主要的污染因素。

本项目电子加速器辐照装置电子束最大能量为 10MeV，最大束流强度为 3mA，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）表A.1，90°方向的X射线发射率为 13.5Gy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}。根据电子加速器辐照装置生产厂家提供的资料，本项目电子加速器辐照装置在加速过程中的束流损失率不大于 1%（即电子束流强度不大于 0.03mA），束流损失点的能量为 3MeV，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）表A.1，束流损失点 90°方向的X射线发射率为 3.2Gy·m^2·mA^{-1}·min^{-1}。

2、非辐射污染源

空气在强电离辐射的作用下，会产生一定量的氮氧化物和臭氧。电子加速器辐照

装置输出的粒子束流越强，电离所致臭氧和氮氧化物的产额越高。其中臭氧的毒性最大，产额最高，不仅对人体产生危害，同时能使橡胶等材料加速老化。电子加速器辐照装置机房在良好通风条件下，臭氧和氮氧化物很快弥散在大气环境中，臭氧在常温下可自行分解为氧气。

本项目主要考虑辐照室内产生的臭氧对停机后进入机房的工作人员的影响，需保证其有害气体职业接触限值满足 GB/T 25306-2010 中“C.3 有害气体职业接触限值”的要求。

电子加速器辐照装置在运行过程中风机会产生噪声，对周围声环境产生一定的影响。

本项目电子加速器辐照装置扫描盒为风冷设计，整套装置无束流相关水冷回路，不存在检修、事故工况下的活化冷却水，无放射性废水产生；设备配套循环冷却水（不和束流部件接触）循环使用，不外排，不会产生感生放射性，加速器维修过程或事故工况下产生的外排冷却水无感生放射性，按一般生产废水管理。

本项目运营期会产生废速调管；速调管停机后不存在残留感生放射性，产生频次约 3～5 年 1 根，单根重量约 300 kg，属于一般固体废物，按一般固体废物相关管理要求处置。

本项目辐射工作人员会产生一定量的生活污水和生活垃圾。本项目建成后终期新增辐射工作人员 24 人，人均生活污水产生量按 50L/d 计（按每天 8h 计算），全年工作 250 天，则职工生活污水年产生量为 300m^3/a（50L/1000×250 天/年×24 人），生活污水经化粪池预处理，接入市政污水管网进入白马污水处理厂（南京国家农高区白马污水处理厂）；人均生活垃圾产生量以 0.50kg/d 计，垃圾年产生量为 3.0t/a（0.5kg/（人·d）×250 天/年×24 人），生活垃圾由公司统一分类收集后交由环卫部门清运处理。

表 10 辐射安全与防护

项目安全措施

一、选址合理性分析

本项目每台电子加速器辐照装置独立机房，单台检修、故障不会影响另一台，屏蔽互相独立，控制室共用但布置在控制区外侧，工作人员长期居留位置处于监督区，减少职业照射；机房设置在厂区北部辐照中心内部，远离厂区内保护目标；物料进出集中在南侧，北侧为电子加速器辐照装置主机/高屏蔽墙体。故本项目选址合理，（详见图 10-1）。

二、项目布局及分区合理性分析

本项目为新增使用 2 台电子加速器辐照装置，2 台射线装置型号参数均相同（DZ-10/30 型，电子束能量为 10MeV，电子束流强为 3mA，最大束流功率：30kW），拟为每台射线装置单独建设 1 座两层结构机房，2 座机房拟布置于厂区北部辐照中心内，为独立机房，2 座机房东西方向对称布局，按楼层功能分区布置。

机房一层为辐照室和迷道，机房二层设置主机室和电子加速器辐照装置配套用房等：二层 2 间主机室靠北部布局，主机室内安装电子加速器辐照装置主机（电子枪、加速管等）；2 间主机室中间设置共用设备间，共用设备间内安装高低压电源设备、水冷机组（室内机组）等设施设备；共用控制室位于共用设备间南侧，控制室内设置操作平台和显示装置；控制室两侧分别设置 1 间检测室，共 2 间检测室，用于辐照物品辐照后质量检测；检测室外分别设置 1 间检修厅，共 2 间检修厅，用于存放备品备件以及设备拆除后维检修；房间之间设置通道，二层北侧设置 1 处制冷机组平台。

电子加速器辐照装置辐照货物传输设备设置在一层辐照室南侧，上货区分别设置于 1#电子加速器辐照装置辐照室（东侧辐照室）南侧外墙东部区域、2#电子加速器辐照装置辐照室（西侧辐照室）南侧外墙西部区域；下货区设置在 2 间辐照室南外墙外中间区域，货物由辐照室南侧外墙两侧进入，中间出。

公司拟将电子加速器辐照装置机房一层辐照室（含人员门）、二层主机室实体屏蔽体边界（含主机室防护门）划分为控制区，在人员出入口及机房周边设置电离辐射警告标志及中文警示说明，运行期间禁止任何人员进入控制区；拟将辐照中心控制区

外周边区域（含辐照室外四周材料转运区、配电房等）、二层配套用房（共用控制室、共用设备间（含制冷机组平台）、二层检测室、二层检修厅、二层通道以及共用设备间屋顶上方划分为监督区，拟在监督区的所有入口处设立标明监督区的标牌，限制无关人员进入，定期进行辐射剂量率检测，并经常对职业照射条件进行监督和评价。项目辐射防护分区划分符合 GB 18871-2002 相关规定，布局和分区合理。本项目电子加速器辐照装置机房布局及分区见图 10-1、图 10-2。

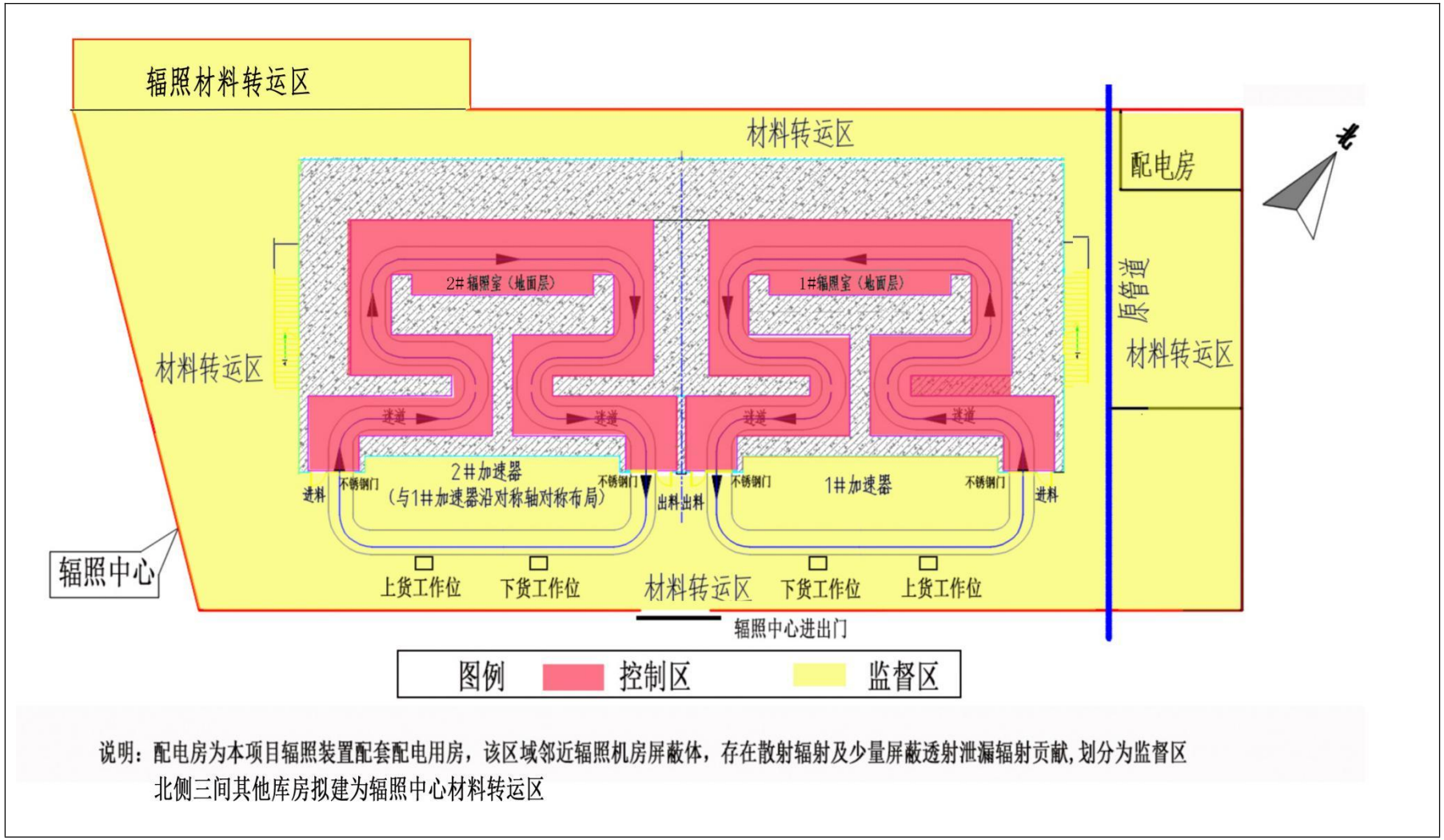


图 10-1 电子加速器辐照装置机房一层平面布局及分区示意图

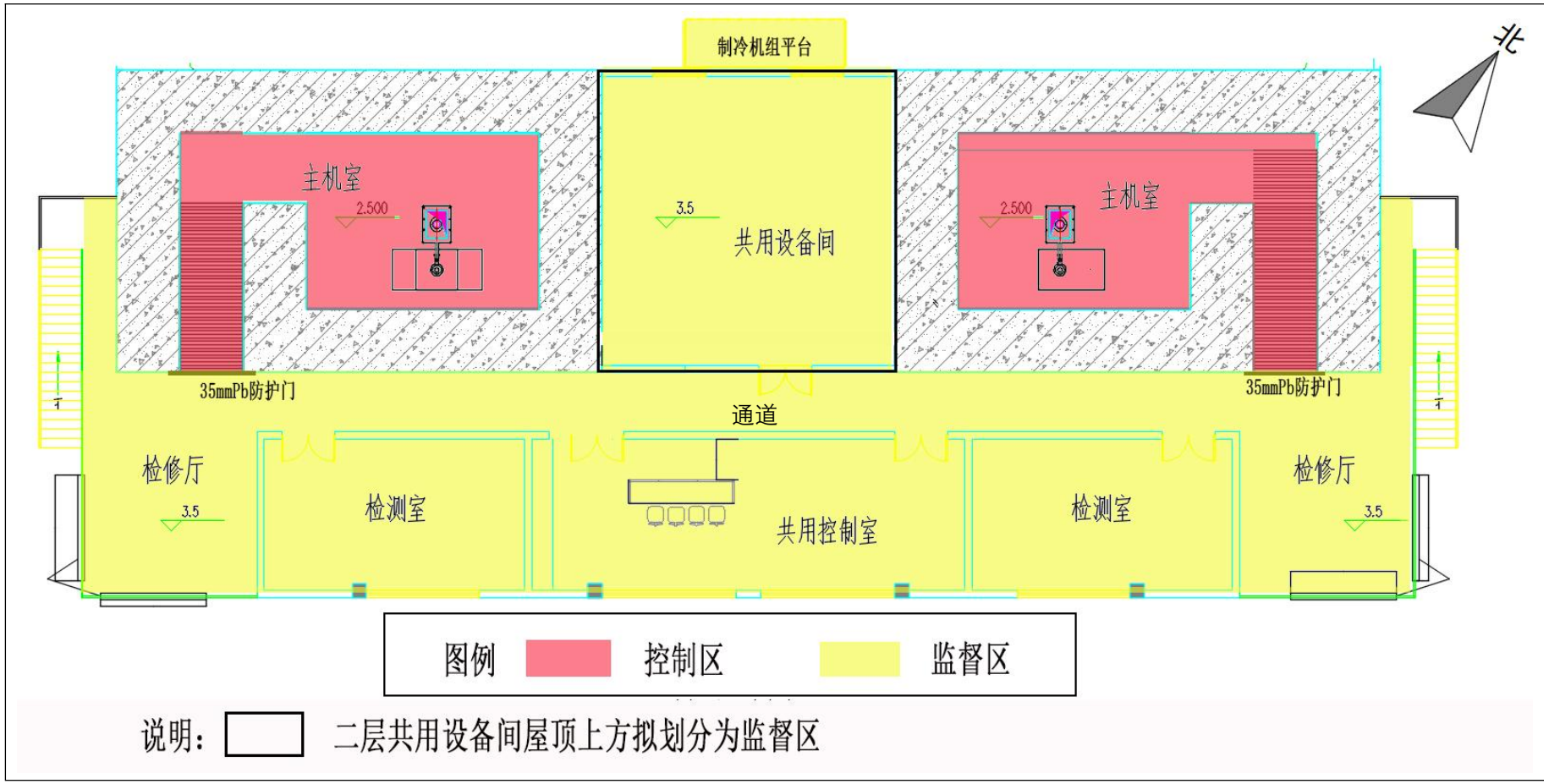


图 10-2 电子加速器辐照装置机房二层平面布局及分区示意图

三、辐射防护屏蔽设计

本项目电子加速器辐照装置机房的屏蔽设计依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）4.2.2 条款，电子加速器辐照装置机房辐射防护屏蔽设计见表 10-1。电子加速器辐照装置机房平面设计图见图 10-3、图 10-4、图 10-5（双层叠图），剖面设计图见图 10-6、图 10-7。

表 10-1 电子加速器辐照装置机房辐射防护屏蔽设计表

机房		1#电子加速器辐照装置机房（东侧）	2#电子加速器辐照装置机房（西侧）
尺寸单位		cm	cm
辐照室内尺寸（不包括迷道）		长 1500、宽 370、高 200	长 1500、宽 370、高 200
主机室（不包括迷道）		长 660、宽 500、高 650	长 660、宽 500、高 650
辐照室屏蔽	东墙	260 混凝土	270 混凝土
	南墙	“S”形双迷道，迷道内墙为 200 混凝土，迷道中墙为 100 混凝土，迷道外墙为 100 混凝土	“S”形双迷道，迷道内墙为 200 混凝土，迷道中墙为 100 混凝土，迷道外墙为 100 混凝土
	西墙	270 混凝土	260 混凝土
	北墙	300 混凝土	300 混凝土
	顶棚	与正上方为主机室设备安装区连接处顶棚厚 50 混凝土，东部顶棚与正上方共用设备间连接处顶棚厚 150 混凝土	与正上方为主机室设备安装区连接处顶棚厚 50 混凝土，西部顶棚与正上方共用设备间连接处顶棚厚 150 混凝土
主机室屏蔽	东墙	迷道内墙 180 混凝土，迷道外墙 180 混凝土	180 混凝土
	南墙	180 混凝土	180 混凝土
	西墙	180 混凝土	迷道内墙 180 混凝土，迷道外墙 180 混凝土
	北墙	180 混凝土	180 混凝土
	顶棚	150 混凝土	150 混凝土
辐照室迷道		“S”形双迷道，外迷道宽 200，内迷道宽 200，高 200	“S”形双迷道，外迷道宽 200，内迷道宽 200，高 200
主机室迷道		直迷道，迷道宽 180，高 650	直迷道，迷道宽 180，高 650
辐照室出入口（4 个）		普通不锈钢门，入口安装安全联锁装置	普通不锈钢门，入口安装安全联锁装置
主机室出入口防护门（2 个）		35mmPb防护门，设计已考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目设计防护门与墙之间的间隙小于 1cm，门四周与墙体及地槽的重叠	35mmPb防护门，设计已考虑防护门与周围墙壁及地面的重叠搭接，以防止门缝处射线泄漏。本项目设计防护门与墙之间的间隙小于 1cm，门四周与墙体及地槽的重叠

	宽度大于 10 cm，防护门安装安全联锁装置	宽度大于 10 cm，防护门安装安全联锁装置
通风设施	每座机房设置 1 套机械通风系统，本项目每座机房内由主机室上部进风，下部辐照室排风，每个辐照室设置 1 台排风机，排风机风量 12000m³/h，每个辐照室体积约 277.16m³，每个主机室体积约 288m³，主机室补风，单台送风机风量 1000m³/h，主机室设计有“S”弯送风管，每套通风系统的送风机和排风机均设置在共用设备间屋顶上方，新风通过屋顶送风机和 1 根DN100 送风管送至二层主机室，“S”形穿越主机室地面，经一层辐照室排风机负压排风排出，每个机房均采用全送全排方式通风可有效排除机房（辐照室和主机室）内产生的臭氧等有害气体，辐照室内排风口设置在辐照室内扫描窗下方（电子加速器辐照装置正下方），风管在辐照室地面下通过矩形排风风道出一层辐照室机房墙体，排风采用地下矩形风道，风道截面尺寸 60cm×60cm，并在辐照室地面下经过 2 道直角弯穿过辐照室的混凝土墙，在紧邻混凝土墙外侧部分连接排气筒。1 个机房设置 1 套单独的送风、排风系统，包含单独 1 套送风机、排风机、送风管、排风管，每个排气筒出口高于辐照中心部 2.5 米。	
电缆管道穿墙方式	1#、2#电子加速器辐照装置主机室地面设置 20 深度的电缆沟，1#电子加速器辐照装置主机室电缆管线向西侧穿越 1#主机室西墙进入共用设备间，2#电子加速器辐照装置主机室电缆管线向东侧穿越 2#主机室东墙进入共用设备间，1#、2#电子加速器辐照装置主机室水管穿越北侧混凝土墙向北进入北侧室外平台，所有电缆、水管穿线混凝土屏蔽体均采用“S”形穿越方式。穿墙部分不会影响墙体整体的防护性能。未使用的穿墙管道出口用铅板封口。	
主机室与辐照室之间束流通道屏蔽设计	主机室与辐照室之间束流通道上方通过多层不锈钢板和主机不锈钢筒体补偿，补偿效果不低于 50 厚混凝土。	
混凝土密度	本项目新建电子束辐照电子加速器辐照装置机房辐照室和主机房墙体设计为密度不小于 2.35g/cm³ 的混凝土浇筑	

注：见附件 6 建设单位承诺，表中数字后尺寸单位为 cm（DN 公称直径单位为 mm）。

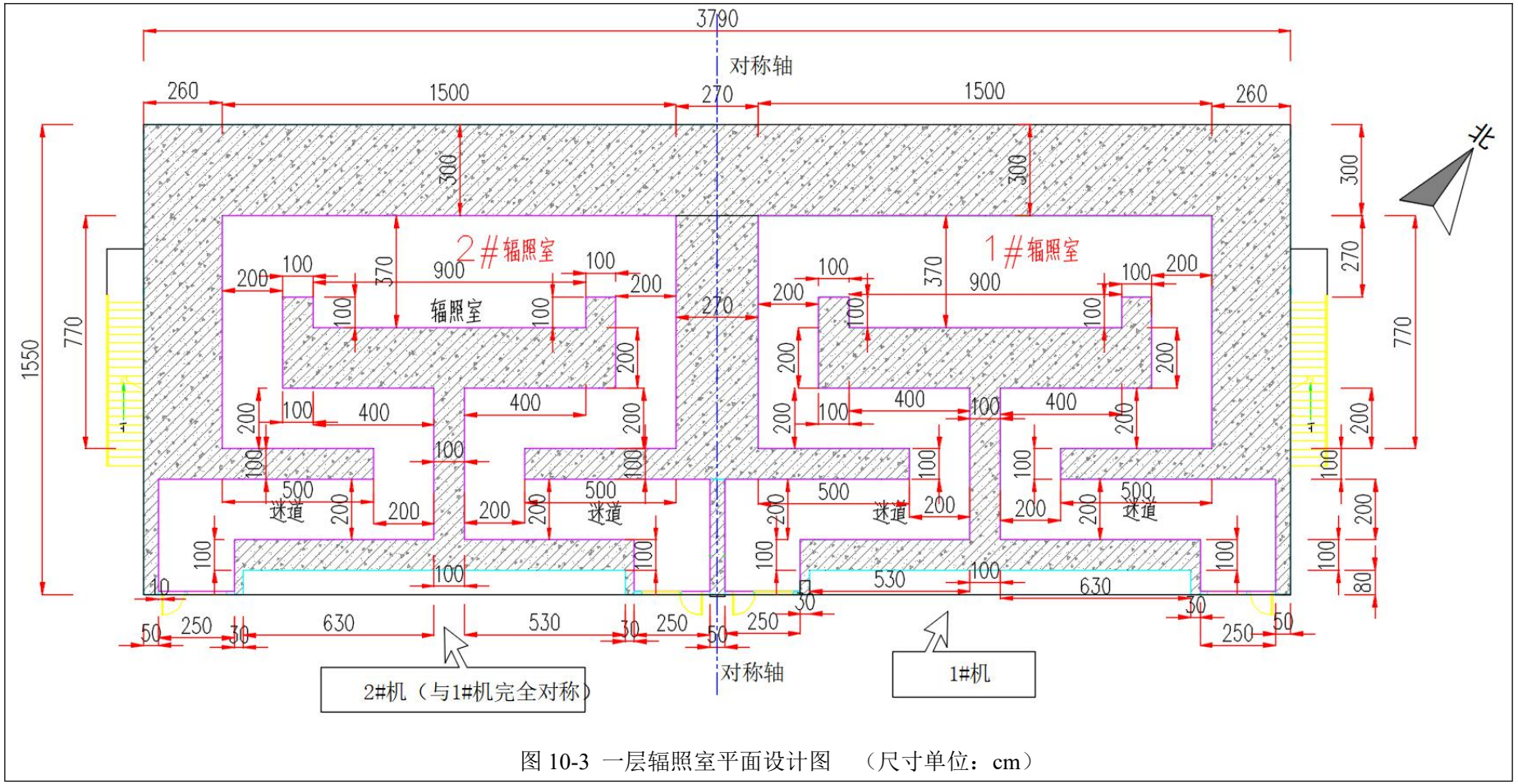
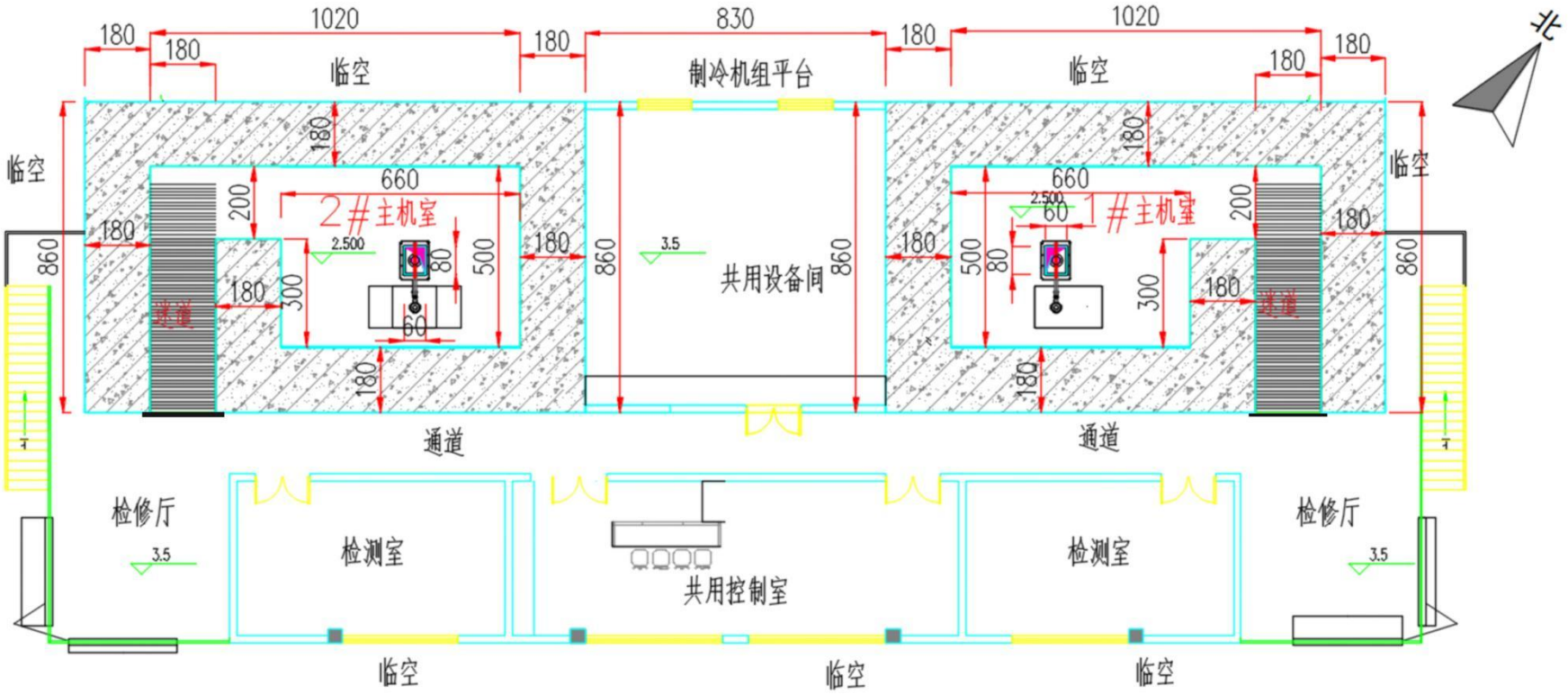


图 10-3 一层辐照室平面设计图 （尺寸单位：cm）



说明：1#、2#主机室防护门均采用35mmPb防护门，防护门与墙之间的间隙小于1cm，门四周与墙体及地槽的重叠宽度大于10 cm

图 10-4 二层主机室平面设计图 （尺寸单位：cm）

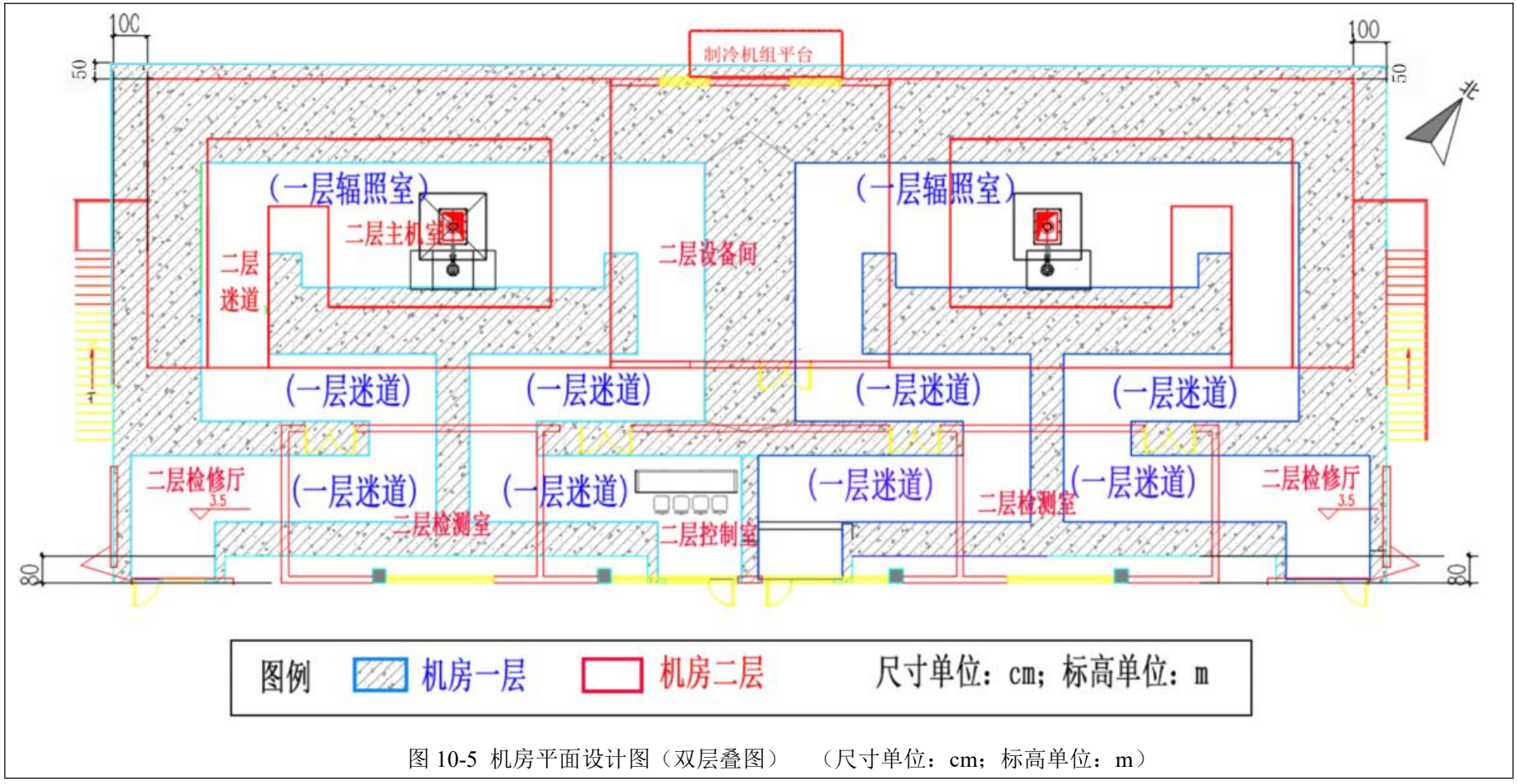


图 10-5 机房平面设计图（双层叠图） （尺寸单位：cm；标高单位：m）

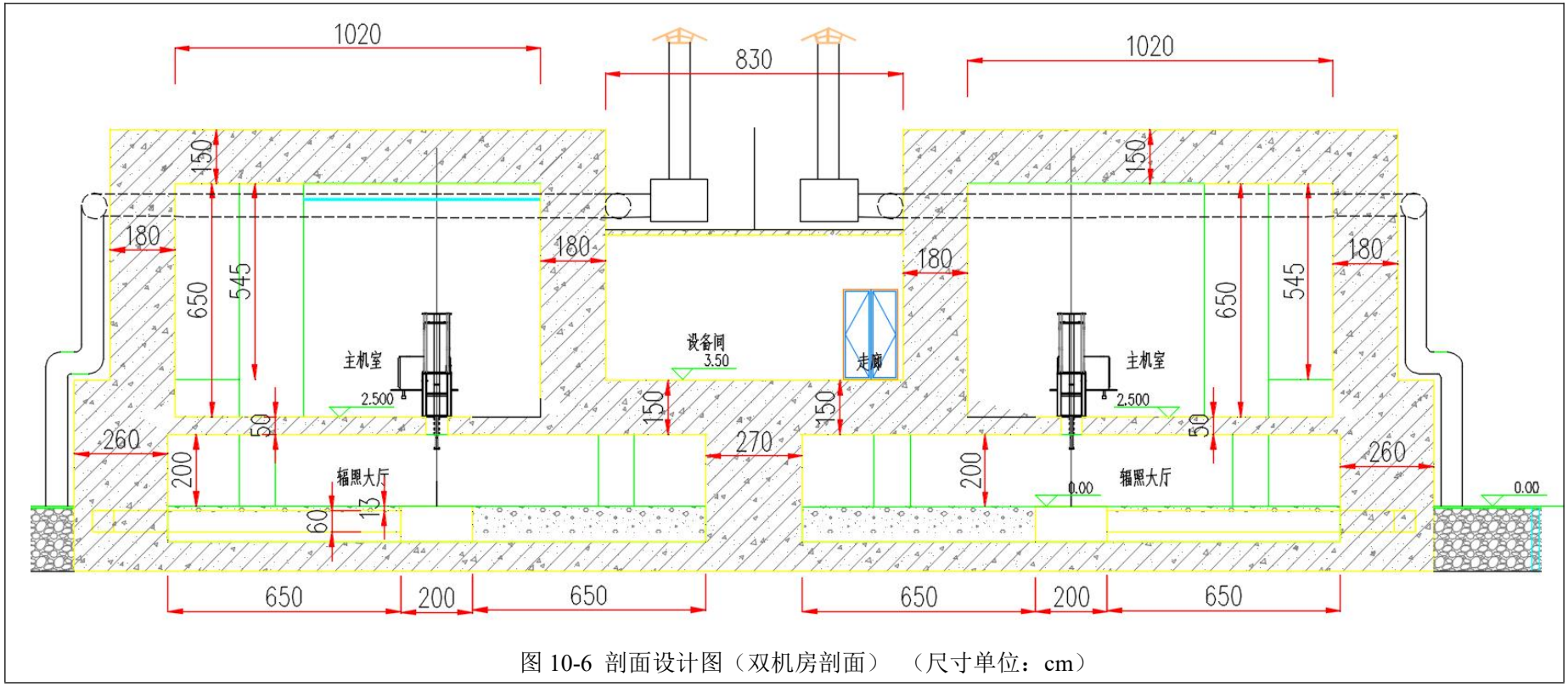


图 10-6 剖面设计图（双机房剖面） （尺寸单位：cm）

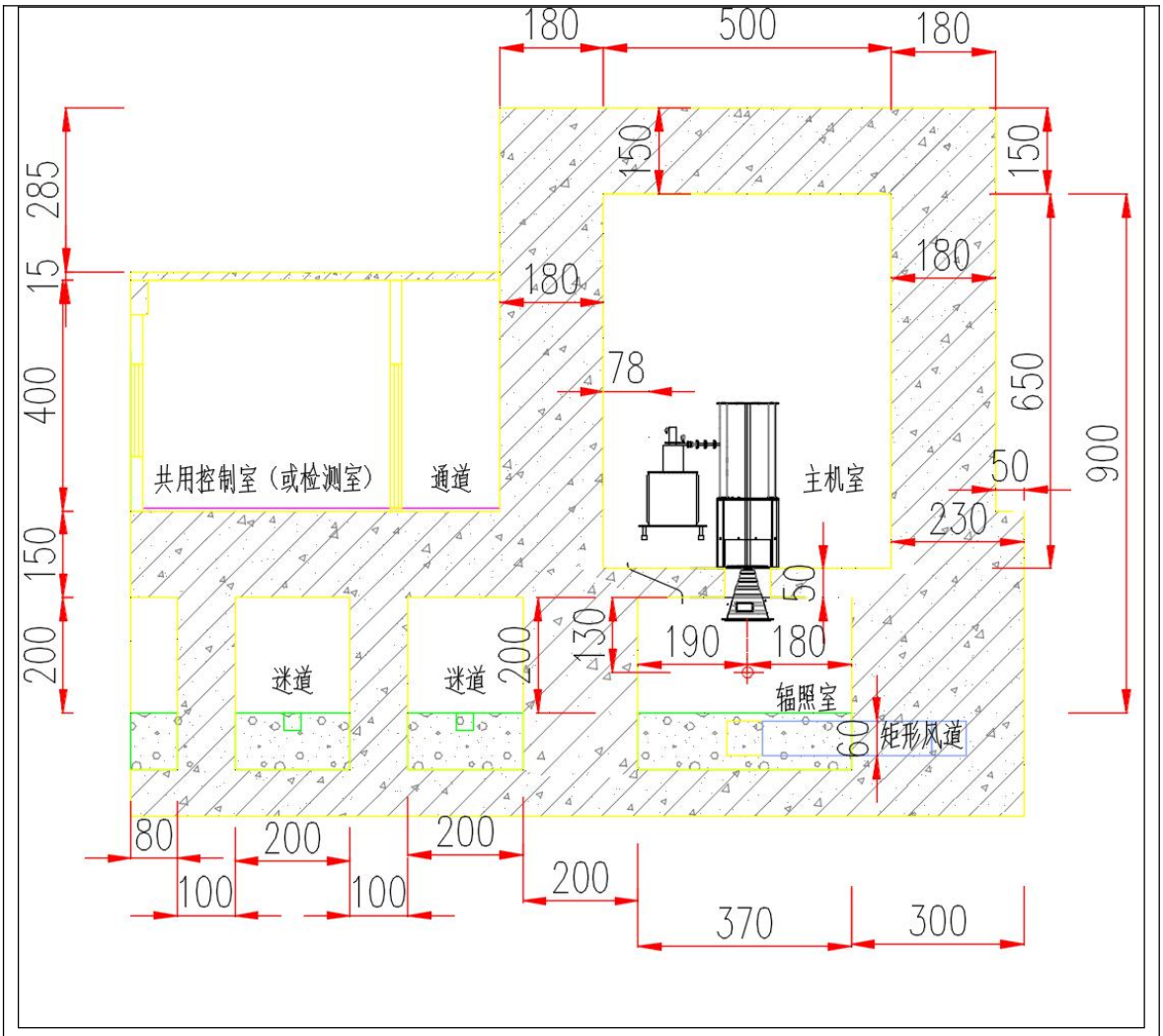


图 10-7 剖面设计图（单机房剖面）（尺寸单位：cm）

四、工作场所辐射安全与防护措施

本项目 2 台电子加速器辐照装置拟设计的安全联锁功能齐全、性能可靠，能对控制区的出入口门、电子加速器辐照装置的开停机和束下装置等进行有效联锁和监控。拟设计的安全联锁引发电子加速器辐照装置停机时必须自动切断高压，安全联锁装置发生故障时，电子加速器辐照装置不能运行。拟在本项目运行后安全联锁装置不得旁路，维护与维修后必须恢复原状。

辐射安全联锁逻辑见下图 10-8。

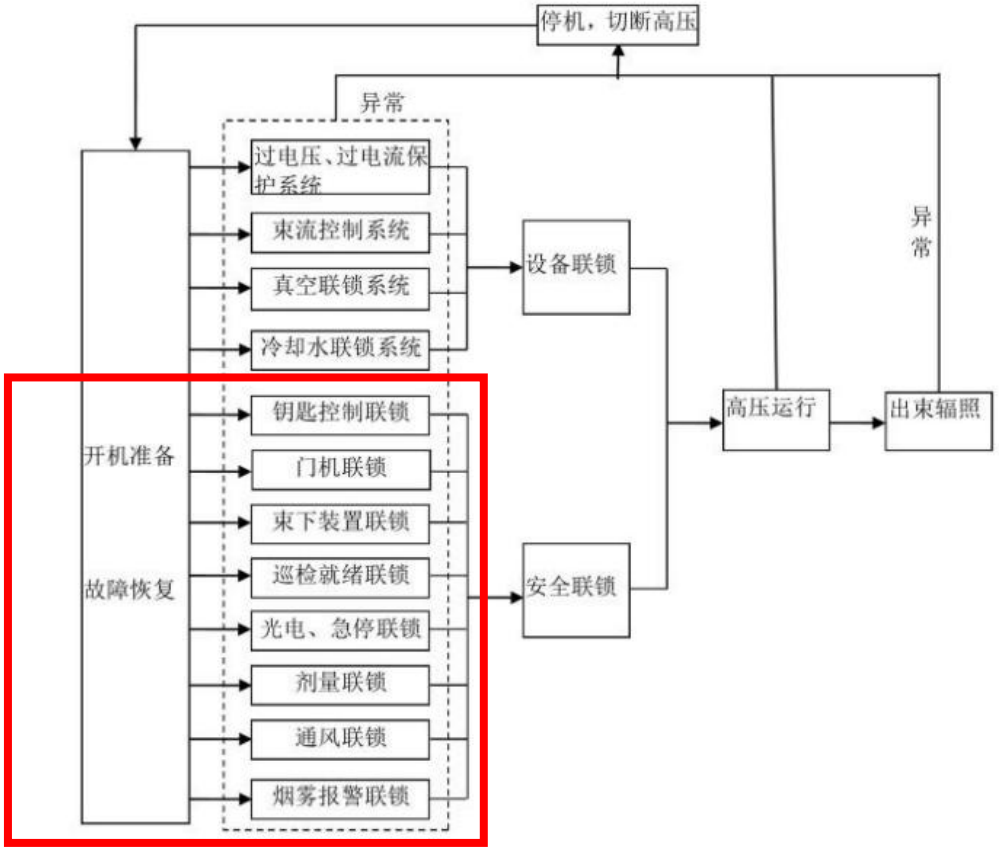


图 10-8 本项目辐射安全联锁逻辑关系示意图

经与 HJ979-2018 6.1 条款对照，符合规定。

为保障本项目安全运行，本项目电子加速器辐照装置机房拟设相应的辐射安全措施（见图 10-9 及图 10-10），主要有：

1、钥匙控制。本项目 2 台电子加速器辐照装置，共用控制台上为每台电子加速器辐照装置各拟配备钥匙开关 1 套，共 2 套相互独立的钥匙控制系统。每套钥匙开关与对应电子加速器辐照装置的辐照室及主机室防护门联锁；如从控制台上取出该钥匙，该台电子加速器辐照装置自动断开高压、停止出束。每套主控钥匙与一台便携式辐射监测报警仪相连。电子加速器辐照装置运行期间，本机主控钥匙唯一，仅由运行班长保管使用；两套钥匙系统互不干扰，拔出其中一台电子加速器辐照装置的主控钥匙仅使该台电子加速器辐照装置停机，不影响另一台电子加速器辐照装置运行。

2、门机联锁。本项目 2 台电子加速器辐照装置辐照室和主机室的门与束流控制和电子加速器辐照装置高压联锁。辐照室人员门或主机室门打开时，电子加速器辐照装置不能开机，电子加速器辐照装置运行中门被打开则电子加速器辐照装置应

自动停机并断开高压。辐照室及主机室迷道门在机房内设置开门开关，防止人员误留时无法从机房内打开防护门。

本项目 2 台电子加速器辐照装置共 6 个进出口门，拟设置 6 套门机联锁机构，分别与对应的电子加速器辐照装置高压出束联锁。

3、束下装置联锁。本项目 2 台电子加速器辐照装置的控制分别与束下装置的控制建立可靠接口和协议文件，束下装置因故障偏离正常运行状态或停止运行时，对应的电子加速器辐照装置自动停机并断开高压。

本项目共设置束下联锁 2 套，分别与对应的电子加速器辐照装置高压出束联锁。

4、防人误入装置。拟在每台电子加速器辐照装置机房辐照室人员入口、出口内侧及主机室人员出入口内侧分别设置连续 3 道光电报警装置（光电对射报警），3 道光电报警装置采用不同生产厂家不同品牌的产品，3 道光电报警装置位于不同水平、垂直位置，并与电子加速器辐照装置的开、停机联锁。当检测到人员误入辐照区时，立即发出报警信号，并自动切断电子加速器辐照装置高压、停止出束，防止人员受到意外照射。

本项目 2 台电子加速器辐照装置共 6 个进出口，拟安装防误入系统 6 套，分别与对应的电子加速器辐照装置高压出束联锁。

5、电离辐射警告标志和信号警示装置。

本项目拟在电子加速器辐照装置各机房门显眼位置张贴电离辐射警告标志，共 6 处；一层辐照室内及辐照室人员门外、二层主机室内及防护门外拟设置工作状态指示（三色警灯）警示系统和警铃，并与电子加速器辐照装置高压联锁。共设置警灯 14 个（2 个辐照室内各 2 个，2 个主机室内各 1 个，6 个门外各 1 个，共用控制室内 2 个），共设置警铃 12 个（2 个辐照室内各 2 个，2 个主机室内各 1 个，6 个门外各 1 个）。

绿灯表示电子加速器辐照装置停止运行（安全状态）；黄灯表示电子加速器辐照装置处于待机（就绪）状态；红灯表示电子加速器辐照装置正在运行（出束辐照），提醒周围工作人员勿靠近。电子加速器辐照装置开机出束前，警示系统发出声光警示信号，提示人员撤离；电子加速器辐照装置清场巡查期间，同时发出声、光信号。警示装置的设置与运行符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）

和《粒子电子加速器辐照装置辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）的有关要求，并与电子加速器辐照装置高压联锁，红灯点亮提示加速器处于出束状态，警示人员禁止进入；出束期间依靠门机联锁闭锁防护门，防止人员误入辐照室。

6、巡检按钮。本项目拟在 2 台电子加速器辐照装置的 1#、2#一层辐照室内进货迷道及出货迷道墙上拟分别设置 3 个“巡检按钮 ”，当 1#电子加速器辐照装置辐照室巡检时，辐射工作人员从辐照室东南侧上货区人员门进入进货迷道，关闭入口门防止巡检期间人员误入，然后依次按下 1#、2#、3#“巡检按钮”，进入辐照室巡视后向西进入出货迷道，依次按下 4#、5#和 6#“巡检按钮”，结束后按“紧急开门”按钮出辐照室，关闭出货口人员门后，系统检测到以上动作全部完成后系统将会同时收到一个硬线机电逻辑信号和一个PLC 控制信号，当两个信号都有效时才能完成该台电子加速器辐照装置辐照室巡检。

当 2#电子加速器辐照装置一层辐照室巡检时，辐射工作人员从辐照室西南侧上货区人员门进入进货迷道，关闭入口门防止巡检期间人员误入，然后依次按下 1#、2#、3#“巡检按钮”，进入辐照室巡视后向东进入出货迷道，依次按下 4#、5#和 6#“巡检按钮”，结束后按“紧急开门”按钮出辐照室，关闭出货口人员门后系统检测到以上动作全部完成后，系统将会同时收到一个硬线机电逻辑信号和一个PLC控制信号，当两个信号都有效时才能完成该台电子加速器辐照装置辐照室巡检。

本项目拟在 2 台电子加速器辐照装置的二层主机室迷道内各设置 3 个“巡检按钮 ”，1#主机室巡检时辐射工作人员从主机室东侧人员进出门进入主机室内，依次按下巡检按钮，最后从人员进出门离开主机室，关闭主机室人员进出门，完成巡检。如 2#主机室巡检时辐射工作人员从主机室西侧人员进出门进入主机室内，依次按下巡检按钮，最后从人员进出门离开主机室，关闭主机室人员进出门，完成巡检。

所有“巡检按钮 ”均与控制台联锁，只有当“巡检按钮 ”全部按下时，电子加速器辐照装置才能出束，否则相应电子加速器辐照装置无法开启。所有巡检按钮旁均拟设置清晰的文字说明。

本项目 2 台电子加速器辐照装置，2 间辐照室每间拟分别设置 6 个巡检按钮，2 间主机室每间主机室拟分别设置 3 个巡检按钮，合计 18 个巡检按钮，分别与对应的电子加速器辐照装置高压出束联锁。

7、急停装置

本项目急停开关设计两类，辐照室和主机室内设置急停拉绳，控制室设置急停按钮。

拟在每个辐照室内设置 6 个急停拉绳，拟在每个主机室内设置 3 个急停拉绳，若辐照室或主机室内有人滞留，可拉下急停拉绳，相应装置高压立即切断，所有急停拉绳旁均拟设置清晰的文字说明。本项目为每座机房分段设置急停拉绳，沿机房（含迷道）内人员巡检路线连续布设；拉绳安装高度满足人员伸手可及要求，全部覆盖机房内全部人员可达区域。共用控制室操作台上拟分别设置急停按钮，旁拟设置清晰的文字说明，按下按钮可切断对应装置的高压。

每台装置合计 10 个急停装置（9 个急停拉绳+控制台 1 个急停按钮），本项目合计 20 个急停装置。

8、紧急开门装置

辐照室人员门内迷道外墙表面和主机室防护门内迷道外墙表面各设有 1 个紧急开门开关以便人员快速离开控制区。所有紧急开门开关旁均拟设置清晰的文字说明。

本项目 2 台电子加速器辐照装置共 6 个门，拟设置紧急开门装置共 6 个。

9、剂量联锁。本项目拟在每台电子加速器辐照装置机房辐照室 2 个迷道内各安装 1 个固定式辐射监测仪探头，在每个主机室迷道入口内设置 1 个固定式辐射监测仪探头，控制室设置 2 个固定式辐射监测仪探头，固定式辐射监测仪与辐照室及主机室人员进出门联锁。2 台固定式辐射监测仪的显示装置安装于控制室内。当辐射剂量高于设定的阈值 2.5μSv/h时，机房门无法打开。

本项目合计为 2 台电子加速器辐照装置配置固定式辐射监测仪 2 套，每套配置探头 4 个，合计 8 个探头，监测仪能实时显示场所剂量率，能设置报警阈值并报警，分别与对应的辐照室人员门及主机室防护门联锁。

本项目设计剂量联锁不能阻断滞留人员紧急开门。

10、通风联锁。每台电子加速器辐照装置辐照室内的通风系统拟与臭氧浓度联锁，当辐照室内臭氧浓度超过设定阈值 0.3mg/m^3 时，防护门无法开启，人员无法进入辐照室：每个辐照室设置机械通风系统及臭氧浓度监测装置各 1 套，实时监测辐照室内臭氧浓度，并与电子加速器辐照装置辐照室人员门联锁，电子加速器辐照装置运行及运行后通风达到规定时间（本项目为 5min）室内臭氧浓度降至安全限

值以下，人员方可进入辐照室，以保证室内臭氧等有害气体浓度低于允许值。

通风系统故障时自动切断高压，只有通风系统修复后才能手动恢复，确保辐照室臭氧浓度达标，确保维修通风系统时设备不能出束。

本项目设计通风联锁不能阻断滞留人员紧急开门。

11、烟雾报警。本项目装置辐照室内，机房东、西侧排风管道内拟设置烟雾报警装置，遇有火险时，电子加速器辐照装置立即断开高压，停止出束，并停止通风。

12、摄像监控。拟为本项目 2 台电子加速器辐照装置各设置 1 套视频监控系统。

拟在每个辐照室（含进货迷道及出货迷道）内设置 9 个摄像头，能够全方位观察辐照室内情况，拟在每个辐照室人员门外共设置 2 个摄像头（上货口和下货口门各 1 个），实时观察辐照室货物进出口情况；拟在每个主机室内设置 2 个摄像头，实时观察主机室内情况，拟在每个主机室防护门外设置 1 个摄像头，实时观察主机室门外情况；拟在共用设备间及控制室内各设置 2 个摄像头，2 台视频监控显示器拟设置在控制室操作台上方墙上。

合计为 2 台电子加速器辐照装置配置 2 台视频监控显示器，于不同场所共设置 32 个摄像头。

13、拟在电子加速器辐照装置机房主机室、辐照室及控制室内设置应急照明系统及逃生指示装置，以便在紧急情况下指引人员逃离主机室及辐照室。

14、通往电子加速器辐照装置机房二层平台的楼梯口拟设置人员门进行管控，人员门钥匙由电子加速器辐照装置运行班长进行保管，防止电子加速器辐照装置运行时无关人员进入电子加速器辐照装置机房二层，辐照中心进出口通过设置门禁限制其他人员进入。

本项目辐照室上、下货口输送辊道上方设置货物门，共 4 个；货物门在出束前人工开启，供物料连续输送，通道仅允许货物通行、严禁人员进入，停机后人工锁闭，钥匙由专人保管。通过监督区管控、人员辐射安全教育、控制室视频监控、上下货区辐射工作人员定时巡视等管理手段，严防人员误入，避免发生误照射。

经与 HJ979-2018 6.2 条款对照，符合规定，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。

五、辐射安全原则符合性分析

1、纵深防御

本项目每台电子加速器辐照装置的一层辐照室人员门和二层主机室人员进出门出入口的安全联锁拟采用门机联锁、信号指示灯联锁、剂量联锁、通风联锁，在一层辐照室货物进出口及二层主机室迷道人员出入口拟设置警铃、三色警灯等；拟设置急停拉绳、急停按钮、紧急开门开关等。以上措施均可确保当某一层次的防御措施失效时，可由下一层次的防御措施予以弥补或纠正。

2、冗余性

本项目拟在每台电子加速器辐照装置的一层辐照室货物进出口及二层主机室迷道人员出入口处设置 3 道防误入光电报警装置，3 道光电报警装置采用不同生产厂家不同品牌的产品，3 道光电报警装置位于不同水平、垂直位置，并与电子加速器辐照装置的开、停机联锁。在运行过程中某一道光电报警装置失效或不起作用的情况下可使其整体不丧失功能。

3、多元性

每台电子加速器辐照装置的一层辐照室人员门和二层主机室人员进出门出入口的安全联锁分别采用门机联锁、信号指示灯联锁、剂量联锁、通风联锁，一层辐照室设置束下装置联锁。防护措施的多元性能够提高装置的安全可靠性，可以降低共因故障。

本项目电子加速器辐照装置拟设置完善的安全联锁机构，包括门机联锁、信号指示灯与高压联锁、剂量与防护门联锁、通风与臭氧浓度联锁、防误入光电报警装置与高压联锁等，并与电子加速器辐照装置高压（束流）状态实现可靠联锁：

上述安全联锁装置的设置与运行，符合《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）和《粒子电子加速器辐照装置辐射安全与防护规定》（GB 5172-2025）的有关要求。

4、独立性

本项目保证多道联锁之间的独立性、各部件之间的独立性、纵深防御各部件之间的独立性，从而保证某一安全部件发生故障时，不会造成其他安全部件的功能出现故障或失去作用。

六、个人防护用品

公司拟购置一批个人防护用品，供电子加速器辐照装置辐射工作人员使用，项目运行期间最多同时 8 名辐射工作人员（单班次人员）在岗，包括装置操作人员 2 名、品控人员 1 名、进出料人员 4 名、辐照物料搬运人员 1 名；拟为本项目配备 10 台个人剂量报警仪，每名辐射工作人员各佩戴 1 台、2 台连接每台装置的主控钥匙；本项目拟配备便携式辐射监测仪器 1 台，满足日常巡检及个人剂量报警仪核查需求；拟为每台电子加速器辐照装置配置 1 套固定式在线剂量监测设备，本项目合计 2 套；拟为本项目每名辐射工作人员配备个人剂量计，公司拟配备的便携式辐射监测仪器每年委托有资质的第三方进行校准，校准合格后方能使用，个人剂量报警仪与检定后的便携式辐射监测仪进行比对校准，综上，公司拟配备的辐射监测仪器能够满足工作需求。

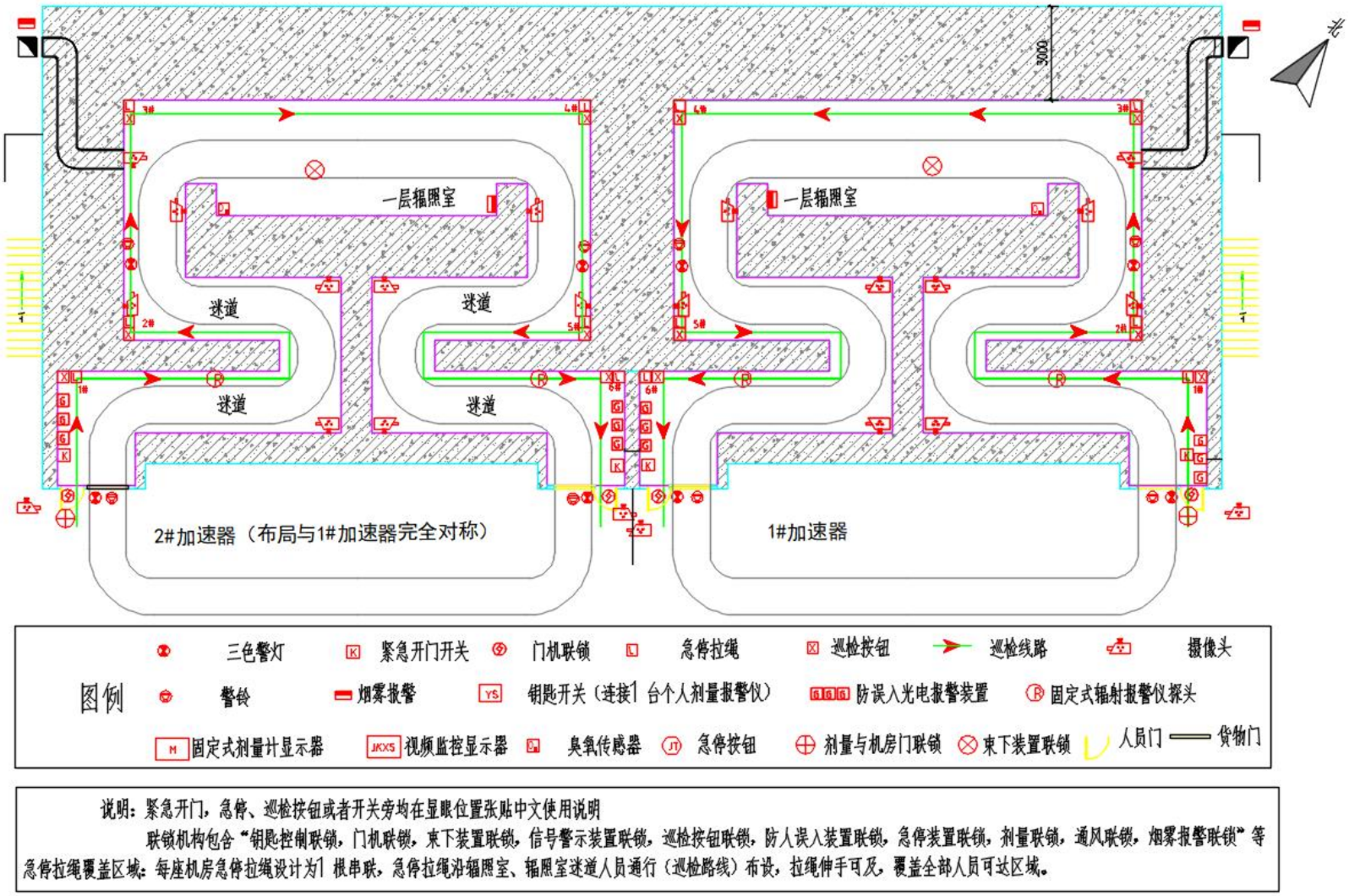


图 10-9 本项目机房一层辐射安全防护措施图

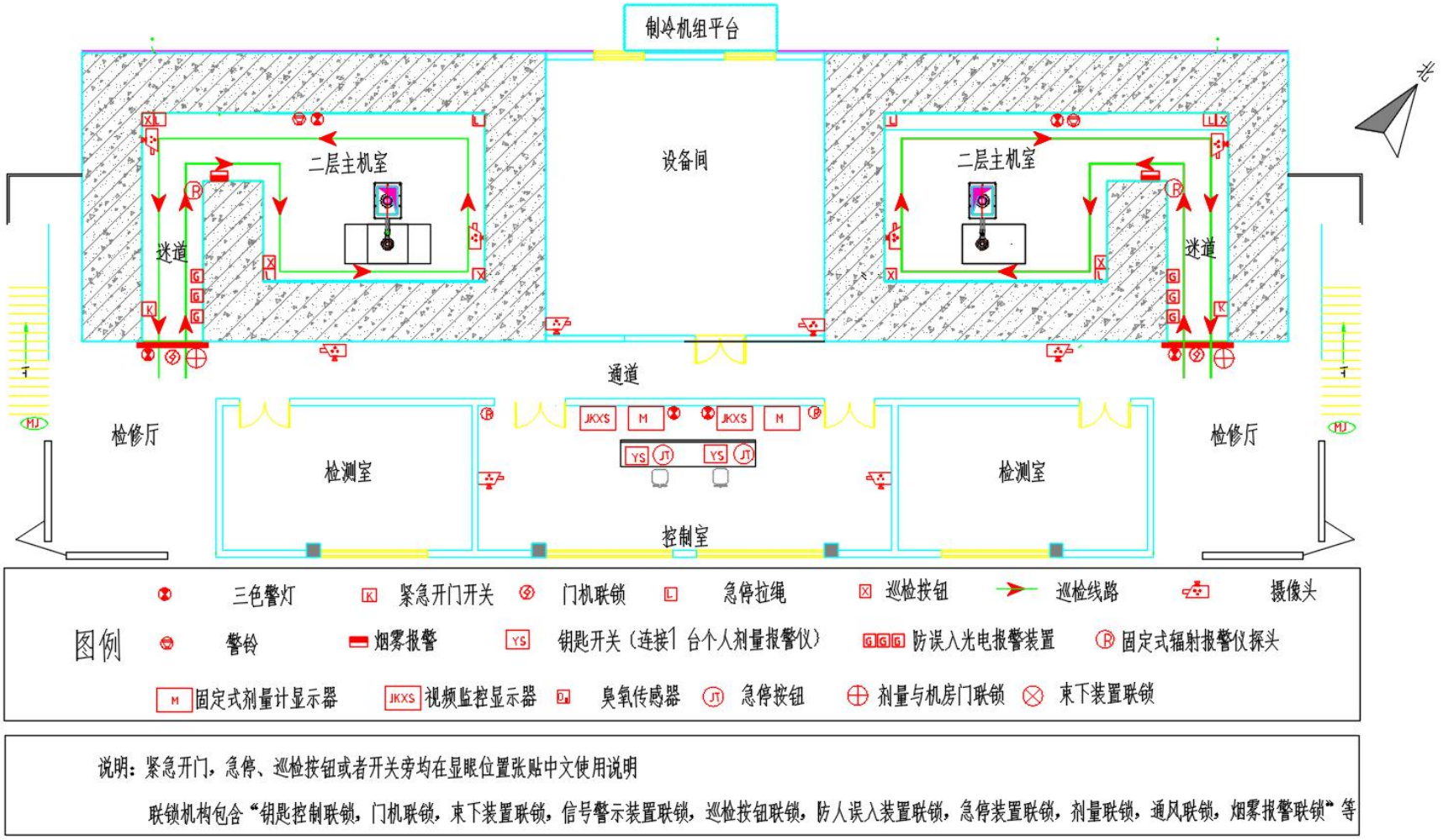


图 10-10 本项目机房二层辐射安全防护措施图

三废治理

本项目为最大能量 10 MeV 电子束辐照装置，不设置 X 射线转换靶，运行过程中不产生加速器废靶。项目营运期正常运行时，无放射性废水、放射性废气及放射性固体废物产生。

加速器运行产生的废气为臭氧、氮氧化物，属于非放射性有害气体，由专用通风系统排出。本项目电子加速器扫描盒采用风冷设计，整套装置无束流相关水冷回路，不存在检修、事故工况下的活化冷却水，无放射性废水产生；设备配套循环冷却水不与束流部件接触，密闭循环使用、不外排，不会产生感生放射性；加速器维修或事故工况下如产生外排冷却水，无感生放射性，按一般生产废水管理。

1、臭氧和氮氧化物处理

本项目电子加速器辐照装置在工作状态时，产生的 X 射线会使机房内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。电子加速器辐照装置输出的直接致电离粒子束流越强，臭氧和氮氧化物的产额越高。由于氮氧化物的产额约为臭氧的三分之一，且以臭氧的毒性最高，因此报告表内主要考虑辐照室臭氧的产生和排放影响，如果臭氧的环境影响能够满足要求，则可推断氮氧化物的环境影响也能满足要求。

本项目每座机房内由主机室上部进风，下部辐照室排风，每个辐照室设置 1 台排风机，排风机风量 12000m³/h，每个辐照室体积约 277.16m³，辐照室每小时换气次数不少于 43 次，本项目电子加速器辐照装置机房排气管道通过地下管道穿过屏蔽墙，经辐照室外东北侧、西北侧排气筒排放，出机房后排气管道直径 600mm，排气筒排放口标高 15m，高于周围 50m 范围内最高建筑，排风口设置合理。

2、生活污水和垃圾处理

本项目运行期间辐射工作场所内产生的常规污染物主要是办公过程中产生少量的生活污水、生活垃圾等。生活污水年产生约 300m³，经化粪池预处理后接入市政污水管网进入白马污水处理厂（南京国家农高区白马污水处理厂），生活垃圾年产生约 3000kg，经分类收集后将交由城市环卫部门处理，不会对外环境造成不良环境影响。

3、通风机噪声处理

本项目电子加速器辐照装置机房拟配备低噪声风机，风机拟安装于共用设备间屋顶上方，机房上方拟建设辐照中心屋顶，拟采取基础减振、建筑隔声等措施，降

噪后预计能达到 55dB（A）左右，此外，再经过厂区内距离衰减后，本项目低噪声风机的噪声对厂界外声环境影响较小。

表 11 环境影响分析

建设阶段对环境的影响

本项目为新建项目，涉及拆除现有成品库房部分建筑（含屋顶和部分墙体）、挖掘机房地基、混凝土浇筑、新墙体砌筑、辐照中心修建、建筑装修、设备安装等施工内容。在项目建设过程中，应采取污染防治措施，减轻对周边地区的环境影响。机房建设期间将产生施工噪声、扬尘和建筑垃圾污染，对施工期环境的影响主要如下：

1、大气：本项目建设施工期需进行挖掘地基等作业，各类施工活动将产生地面扬尘，施工机械和运输车辆作业时亦排放废气和扬尘，其影响范围主要局限在公司厂界内施工现场附近区域。施工扬尘和道路运输扬尘防治，严格按照《南京市扬尘污染防治管理办法》（南京市政府令第 287 号）和《南京市渣土运输管理办法》（市政府令第 301 号）的有关规定执行，规范渣土运输与处置，落实扬尘防治措施。针对上述大气污染，采取以下措施：a.及时清扫施工场地，并保持施工场地一定的湿度；b.对运输建筑材料的车辆采取遮盖、密闭措施，减少沿途抛洒；c.保持施工路面清洁、湿润，减少地面扬尘；d.重视施工机械和车辆燃油造成的废气排放污染，要求其使用符合国家标准的清洁燃料，安装尾气净化装置，尽量减少废气污染物排放。

2、噪声：整个建筑施工阶段，建筑设备运行将产生不同程度的噪声，对周围环境造成一定影响。施工期严格执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523-2025）规定的场界环境噪声排放限值，优先选用低噪声的先进施工设备，严禁夜间进行强噪声施工作业。如因生产工艺要求等特殊情况确需夜间施工的，依据《中华人民共和国生态环境法典》第五百七十二条的规定，因特殊需要必须连续施工作业的，应当取得地方人民政府住房城乡建设主管部门、生态环境主管部门或者地方人民政府指定的部门的证明，并在施工现场显著位置公示或者以其他方式公告附近居民。

3、固体废物：项目施工期间产生一定量以建筑垃圾为主的固体废弃物，委托经核准的渣土运输企业清运，运输车辆采取密闭措施，按规定的时间、路线行驶，并做好装载工作，防止建筑垃圾在运输途中散落；渣土运输和处置严格按照《南京市渣土运输管理办法》（市政府令第 301 号）的有关规定执行，建筑垃圾按照《南京市建筑垃圾资源化利用管理办法》（市政府令第 331 号）的要求进行综合利用。

4、废水：项目施工期间有一定量含有泥浆的建筑废水产生，对其进行初级沉淀处

理，并经沉淀后循环利用，不外排。

综上所述，建设工程施工期环境影响是短暂的、可逆的，将随着施工期结束而消失。施工单位应严格按照有关规定采取上述污染防治措施，并加强监督管理，使本项目施工对周围环境的影响降到最低。

运行阶段对环境的影响

一、辐射环境影响分析

根据工程分析可知，本项目运行后主要的环境影响是辐照电子加速器辐照装置运行中产生的 X射线对周围环境的辐射影响。本项目辐照电子加速器辐照装置运行时不会产生放射性废液、放射性固体废物、放射性气体废物。同时，本项目不考虑感生放射性及其影响。

（一）估算模式

1、估算内容

本项目主要估算辐照室及主机室屏蔽体外和评价范围内敏感目标处关注点处周围剂量当量率，辐照室及主机室迷道防护性能，辐照室臭氧浓度计算。辐射工作人员、公众年有效剂量估算。

2、辐照室和主机室屏蔽估算模式

本项目电子加速器辐照装置机房分为上、下两层，电子加速器辐照装置安装在上层的主机室内，电子束通过加速管、扫描窗引向下层的辐射室内。由于电子加速器辐照装置电子束固定朝下，不直射向四周屏蔽墙，因此辐照室四周墙体考虑对以垂直地面的电子束轰击“铁、铜”材料在 90°方向上产生的 X 射线的屏蔽防护，主机室主要考虑电子加速器辐照装置电子束流损失所致 X 射线的屏蔽防护。由辐照电子加速器辐照装置加工材料工艺流程及工程分析可知，电子加速器辐照装置运行时，电子束出束方向朝下在辐照室内电子束可能轰击的物质有 3 种：

（1）混凝土地面；

（2）电子扫描器下方的辐照货物传输带（不锈钢、铜合金材料）；

（3）辐照产品（货物）；

在以上几种轰击物质中传输带（不锈钢材料）中的 Fe、Cu 的 Z（Cu原子序数为 Z=29，Fe原子序数为 26），X 射线发射率最高，本报告选取铜为轰击靶，来进行辐射防护评价。

（二）屏蔽体外透射辐射影响

1、辐照室屏蔽计算

本项目电子加速器辐照装置的最大能量为10MeV，最大束流为3mA，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018），对于能量不高于10MeV的电子束，在辐射屏蔽设计中不需要考虑所产生的中子防护问题，因此本项目预测时未考虑中子防护问题。在辐照过程中，被辐照的靶材料有辐照产品传输带（不锈钢材料）、混凝土地面及辐照产品。在以上几种轰击物质中不锈钢Z值最大，X射线发射率最高，本报告选取不锈钢为辐照靶材料。本项目电子加速器辐照装置电子束朝下（地面）照射，不直射向四周屏蔽墙，四周屏蔽墙主要考虑韧致辐射所致与电子束入射方向呈90°的初级X射线。

辐照电子加速器辐照装置机房屏蔽效果依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中提供的计算模式及相关参数计算。

屏蔽墙外透射剂量率预测可利用以下公式：

$$H_M=1\times10^6\times\frac{D_{10}}{d^2}B_X$$（公式11-1）

$$B_X=10^{-\left\{1+\left[\frac{S-T_1}{T_e}\right]\right\}}$$（公式11-2）

式中：H_M—参考点周围剂量当量率，μSv/h；

B_X—屏蔽体对应的透射因子；

d—X射线源与参考点之间的距离，m；

S—屏蔽体的厚度，cm；

T_1、Te—分别为第一个十分之一值层厚度和平衡时的十分之一值层厚度，cm；对10MeV入射电子能量可查表A.4得90°方向的等效入射电子能量为6MeV。对于主机室对3MeV入射电子能量可查表A.4得90°方向的等效入射电子能量为1.9MeV；

对于辐照室，入射电子能量为 6MeV，本项目T_1、Te取值参考HJ979-2018附录A中给出的示例中的参数取值；混凝土的T_1=35.5cm，Te=35.5cm；对于主机室当入射电子能量为1.9MeV 时，本项目T_1、Te取值参考HJ979-2018附录A中给出的示例中的参数取值混凝土的T_1=22.1cm，Te=20.1cm（保守取入射电子能量为2MeV 时T_1和Te值）；

D_{10}—距离X射线辐射源1m处的吸收剂量率，Gy/h；

$$D_{10}=60\times Q\times I\times f_e$$（公式11-3）

式中：Q—X 射线发射率，$Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$，取值参考附录A表A.1，本项目电子加速器辐照装置电子束最大能量为 10MeV，最大束流强度为 3mA，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）表A.1，90°方向的X射线发射率为 $13.5Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$。根据电子加速器辐照装置生产厂家提供的资料，本项目电子加速器辐照装置在加速过程中的束流损失率不大于 1%（即电子束流强度不大于 0.03mA），束流损失点的能量为 3MeV，根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）表A.1，束流损失点 90°方向的X射线发射率为 $3.2Gy \cdot m^2 \cdot mA^{-1} \cdot min^{-1}$。

I—电子束流强度，mA；本项目电子加速器辐照装置辐照室内最大束流强度为 3mA（一层辐照室内），电子加速器辐照装置在加速过程中的束流损失率不大于 1%（即电子束流强度不大于 0.03mA）（损失点为二层主机室内）

f_e—X射线发射率修正系数，被辐照的靶材料为“铁、铜”时，0°方向的修正系数f_e为 0.7，90°方向的修正系数f_e为 0.5，本项目取电子束打靶以及电子束流损失打靶材料均为“铁、铜”。

根据设计单位提供的拟建 2 台电子加速器辐照装置的技术参数（同型号、同参数）及拟建电子加速器辐照装置机房的设计方案进行辐射屏蔽评价。电子加速器辐照装置的主线束垂直向下，因此辐照系统（辐照室）的屏蔽以电子加速器辐照装置的 90°方向发射 X 射线最大出射剂量率进行计算，由以上参数和数据可得。

①本项 2 台电子加速器辐照装置辐照室内距离X射线辐射源 1m处的吸收剂量率均为

$D_{10}(90^o)=60\times13.5\times3\times0.5=1215\ Gy \cdot h^{-1}$

②本项 2 台电子加速器辐照装置主机室内距离X射线辐射源 1m处的吸收剂量率均为

$D_{10}(90^o)=60\times3.2\times3\times1\%\times0.5=2.88Gy \cdot h^{-1}$

辐照室预测点位见图 11- 1。辐照室屏蔽体外辐射剂量率预测结果见表 11-1。

屏蔽体外剂量率计算：混凝土屏蔽厚度S（cm）取自 CAD 图纸；源距d（m）以辐射原点为基准沿箭头取值。各侧选取射线穿越最薄屏蔽体的典型点位，代表屏蔽体外该区域最大剂量率；关注点统一取屏蔽体外 30 cm。

一层辐照室预测点位见图 11-1，一层辐照室屏蔽体外剂量率预测见表 11-1。

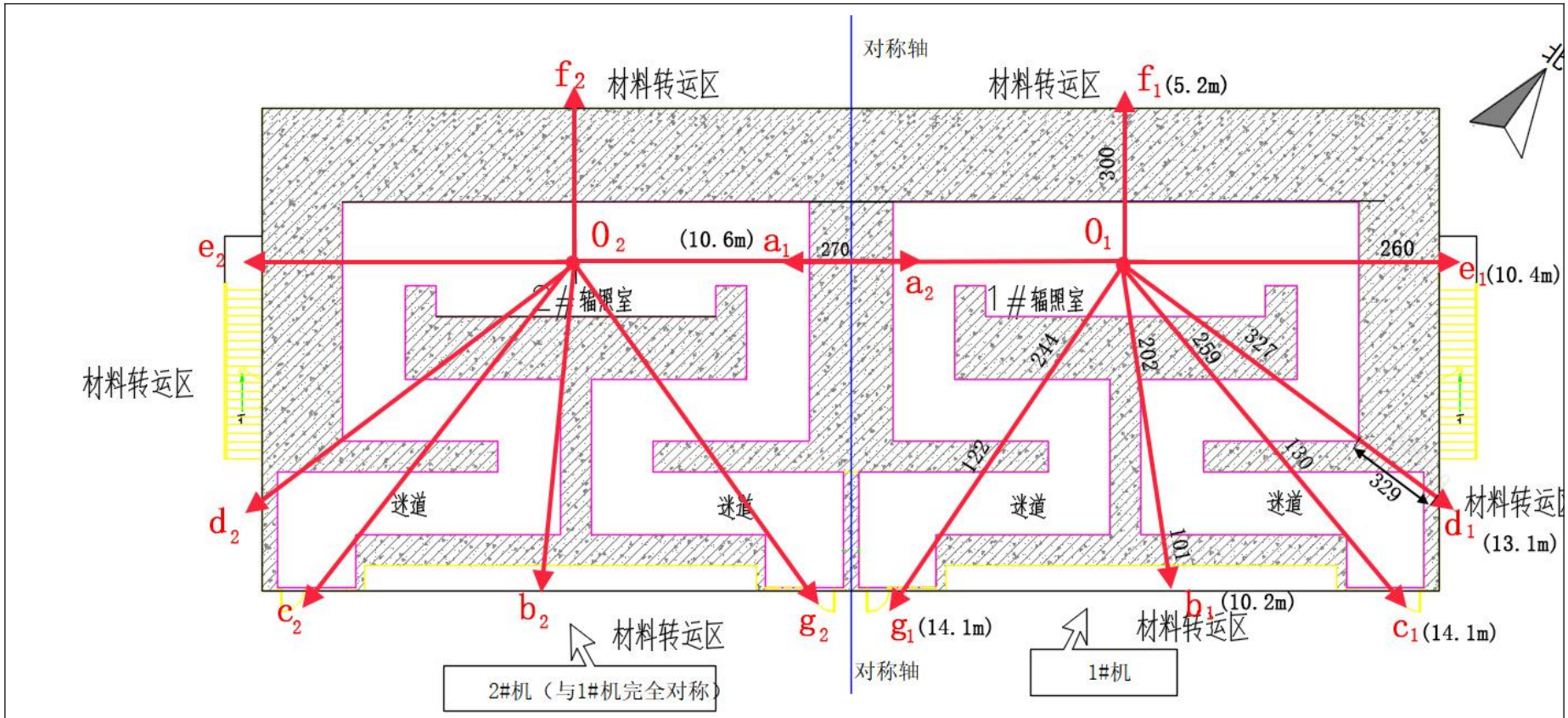


图 11-1 辐照室预测点位图（图中屏蔽体厚度单位 cm）

（说明：图中屏蔽体厚度单位 cm，2#机房关注点与 1#机房关注点沿辐照室共用墙体呈轴对称分布）

表 11-1　电子加速器辐照装置辐照室屏蔽效果计算

楼层	参考点	位置	距离 d（m）	D_{10} (Gy·/h)	T_1（cm）	Te（cm）	设计混凝土厚度（cm）	射线穿越混凝土厚度 S（cm）	Bx	关注点透射剂量率(μSv/h）	H_M (μSv/h)	是否满足
1#辐照室	a_1	2#电子加速器辐照装置辐照室	10.6	1215	35.5	35.5	270	270	2.48E-08	0.268	2.5	满足
	b_1	材料转运区	10.2	1215	35.5	35.5	200+100	303	2.92E-09	0.034		满足
	c_1	1#电子加速器辐照装置进料口	14.1	1215	35.5	35.5	200+100	389	1.10E-11	6.74E-05		满足
	d_1	材料转运区	13.1	1215	35.5	35.5	200+100+50	656	3.32E-19	2.35E-12		满足
	e_1	材料转运区	10.4	1215	35.5	35.5	260	260	4.74E-08	0.533		满足
	f_1	材料转运区	5.2	1215	35.5	35.5	300	300	3.54E-09	0.159		满足
	g_1	辐照室人员门	14.1	1215	35.5	35.5	200+100	366	4.90E-11	2.99E-04		满足
2#辐照室	a_2	1#电子加速器辐照装置辐照室	10.6	1215	35.5	35.5	270	270	2.48E-08	0.268	2.5	满足
	b_2	材料转运区	10.2	1215	35.5	35.5	200+100	303	2.92E-09	0.034		满足
	c_2	2#电子加速器辐照装置进料口	14.1	1215	35.5	35.5	200+100	389	1.10E-11	6.74E-05		满足
	d_2	材料转运区	13.1	1215	35.5	35.5	200+100+50	656	3.32E-19	2.35E-12		满足
	e_2	材料转运区	10.4	1215	35.5	35.5	260	260	4.74E-08	0.533		满足
	f_2	材料转运区	5.2	1215	35.5	35.5	300	300	3.54E-09	0.159		满足
	g_2	辐照室人员门	14.1	1215	35.5	35.5	200+100	366	4.90E-11	2.99E-04		满足

由表 11-1 可知 ，本项目电子加速器辐照装置机房辐照室四周墙外 30cm 处剂量率最大为 0.533μSv/h ， 能够满足屏蔽体外剂量当量率不能超过 2.5μSv/h 的要求。

2、主机室屏蔽计算

本项目电子加速器辐照装置机房二楼主机室内的辐射场均由三部分叠加：

①辐照室内轫致辐射初级 X 射线，经过辐照室屋顶（主机室地板）不完全屏蔽的强贯穿辐射场；

②辐照室内的 0°方向上产生的轫致辐射初级 X 射线，经地面 180°方向散射后的次级 X 射线，通过辐照室屋顶后照射入主机室内形成的散射辐射场；

③尚未加速到最高能量的电子在加速过程中束流损失而与电子加速器辐照装置钢筒作用产生的束流损失辐射场。

由于沿与电子束入射方向成 180°方向的次级散射 X 射线能量较低，当穿过辐照室屋顶后，照射到电子加速器辐照装置钢筒底部，该散射线将受到电子加速器辐照装置底部钢筒和主机室墙体的屏蔽，其产生辐射剂量较少。

为简化计算，二楼主机室辐射防护屏蔽评价，仅考虑第①项和第③项，即辐照室内与入射电子束成 130° 到 180°方向的轫致辐射初级 X 射线经过辐照室屋顶屏蔽对室外估算点的影响和电子加速过程中束流损失辐射场的影响，忽略第②项，即辐照室内的 0°方向上产生的轫致辐射初级 X 射线，经地面 180°方向散射后的次级 X 射线，通过辐照室屋顶后照射入主机室内形成的散射辐射影响。

（1）束流损失辐射场致机房四周屏蔽体外的透射剂量率

屏蔽体外剂量率计算：混凝土屏蔽厚度S（cm）取自 CAD 图纸；源距d（m）以辐射原点为基准沿箭头取值。各侧选取射线穿越最薄屏蔽体的典型点位，代表屏蔽体外该区域最大剂量率；关注点统一取屏蔽体外 30 cm。

主机室四周屏蔽体外估算点见图 11-2，屏蔽体外剂量率计算结果见表 11-2 。

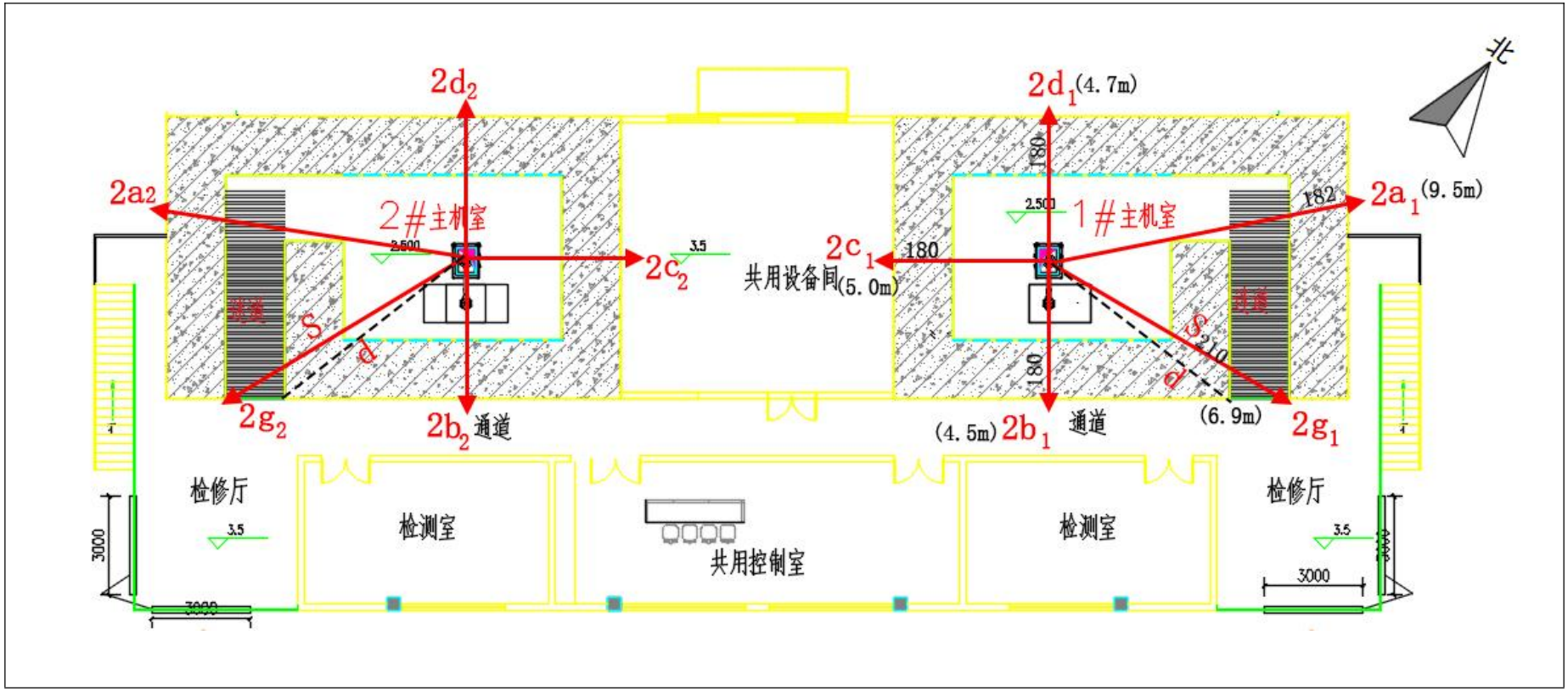


图 11-2 主机室四周屏蔽体外估算点位图

（说明：图中屏蔽体厚度单位 cm，2#机房关注点与 1#机房关注点沿辐照室共用墙体呈轴对称分布）

表 11-2　电子加速器辐照装置机房主机室四周屏蔽效果计算

楼层	参考点	位置	距离 *d**（m）	D_{10} *(Gy·/h)*	T_1（*cm*）	*Te*（*cm*）	设计混凝土厚度（cm）	射线穿越混凝土厚度 *S**（*cm*）	*Bx*	关注点透射剂量率(μSv/h）	H_M *(μSv/h)*	是否满足
1#电子加速器辐照装置主机室	$2a_1$	楼梯平台	9.5	2.88	22.1	20.1	180	182	1.11E-09	3.54E-05	2.5	满足
	$2b_1$	通道	4.5	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.98E-04		满足
	$2c_1$	共用设备间	5.0	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.61E-04		满足
	$2d_1$	临空	4.7	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.82E-04		满足
	$2g_1$	1#主机室迷道入口	6.9	2.88	22.1	20.1	180	210	4.48E-11	2.71E-06		满足
2#电子加速器辐照装置主机室	$2a_2$	楼梯平台	9.5	2.88	22.1	20.1	180	182	1.11E-09	3.54E-05	2.5	满足
	$2b_2$	通道	4.5	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.98E-04		满足
	$2c_2$	共用设备间	5.0	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.61E-04		满足
	$2d_2$	临空	4.7	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.82E-04		满足
	$2g_2$	2#主机室迷道入口	6.9	2.88	22.1	20.1	180	210	4.48E-11	2.71E-06		满足

注：*为计算迷道入口最大透射影响，在计算迷道入口 $2g_1$（$2g_2$）透射剂量率时，按照最薄处 S=210cm 混凝土取值，源至迷道口距离按照最近距离 d=6.9m 取值。

（2）辐照室初级 X 射线对主机室屋顶及二层其他房间的辐射影响

保守计算，辐照室初级 X 射线由 130° 到 180°方向至主机室屋顶处的发射率常数保守取 90°方向的发射率常数。

屏蔽体外剂量率计算：混凝土屏蔽厚度 S（cm）取自 CAD 图纸；源距 d（m）以辐射原点为基准。主机室屋顶上方沿垂直向上方向穿越屋顶混凝土核算；一层辐照室对二层辐射影响的关注点取二层地面上距离辐射原点最近场所地面上 100 cm、主机室墙体外 30 cm，该点位能够代表一层辐照室对二层工作场所最大辐射影响。预测点位见图 11-3、图 11-4，本项目电子加速器辐照装置机房主机室四周及屋顶屏蔽外辐照室源+束流损失两项叠加剂量率预测参数及结果见表 11-3。

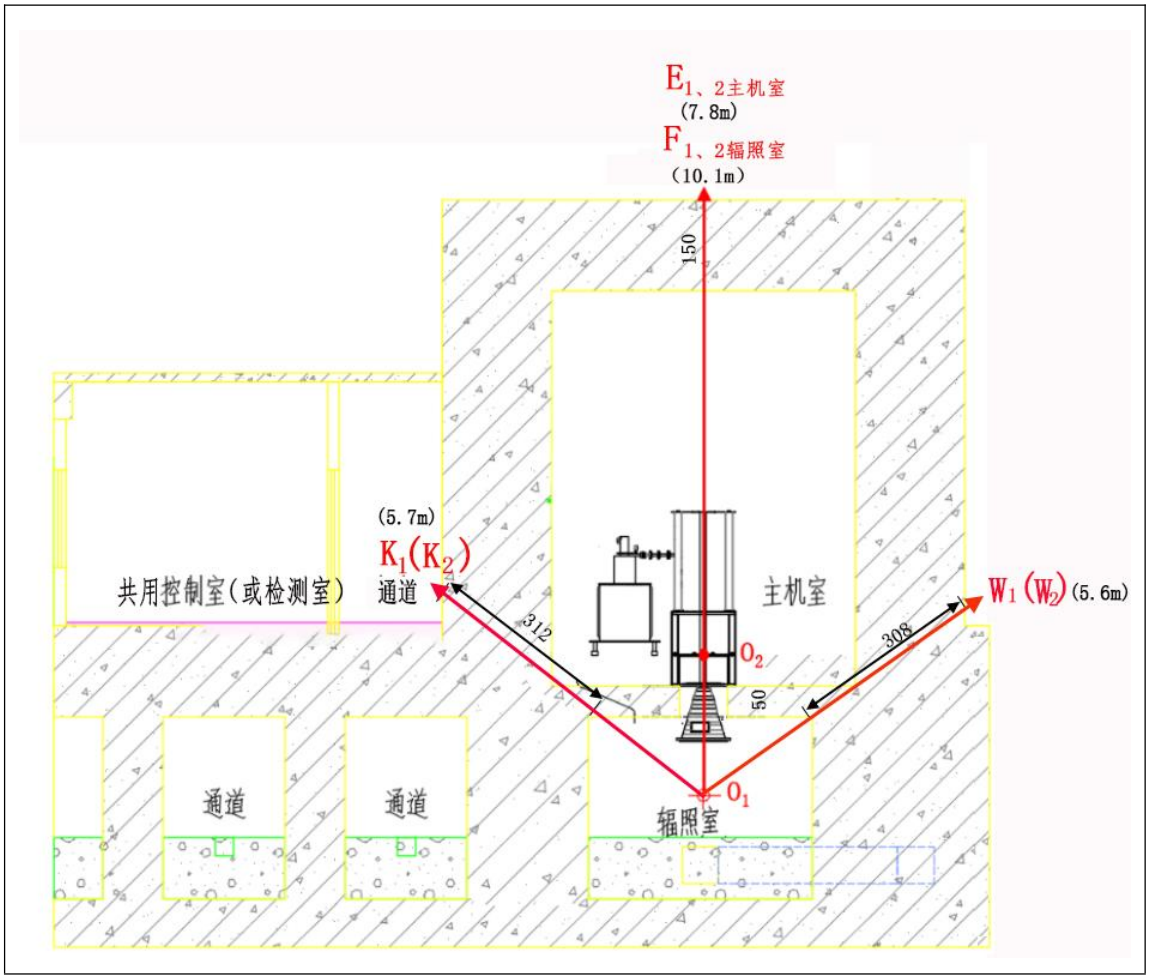


图 11-3 电子加速器辐照装置机房主机室屋顶屏蔽墙剂量预测参数示意图

（说明：图中屏蔽体厚度单位 cm，该图中 2#机房关注点与 1#机房关注点视图重合）

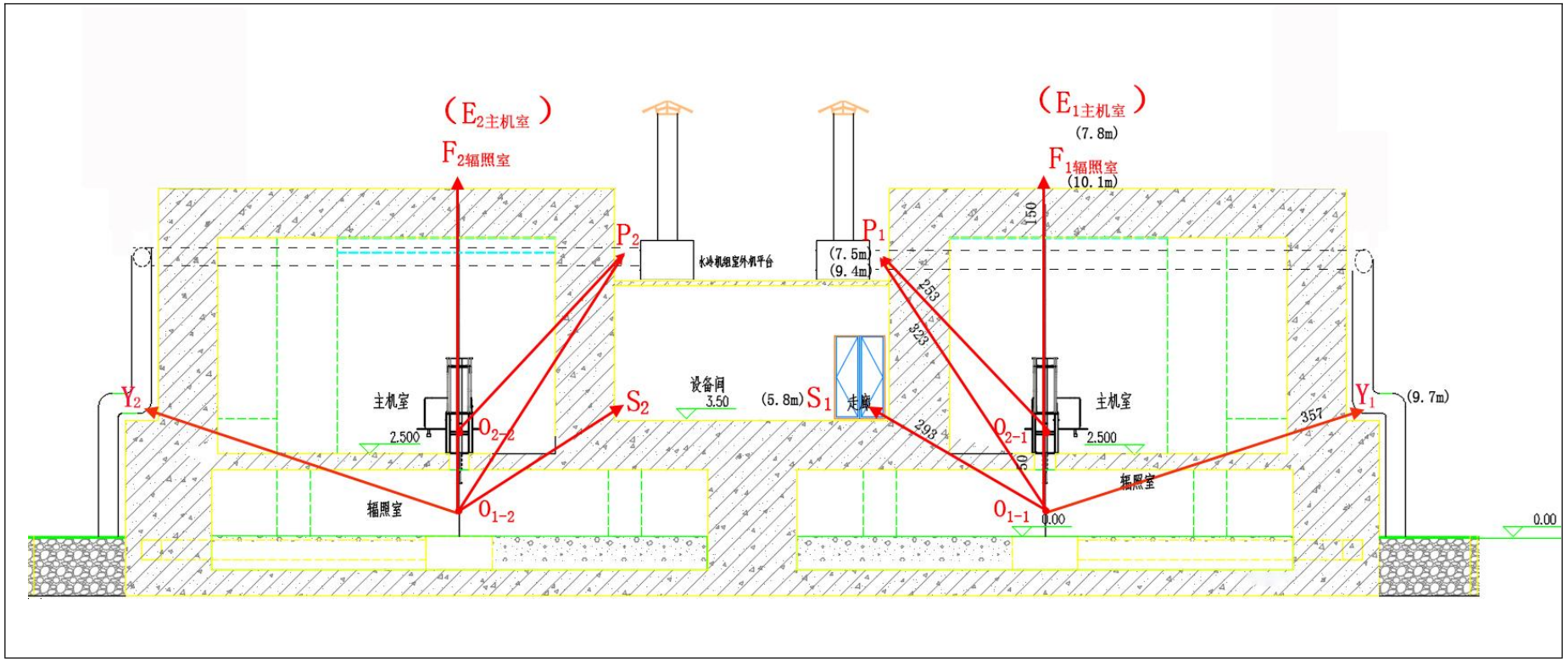


图 11-4 电子加速器辐照装置机房主机室屋顶屏蔽墙剂量预测示意图

（说明：图中屏蔽体厚度单位 cm，2#机房关注点与 1#机房关注点沿辐照室共用墙体呈轴对称分布）

表 11-3　本项目电子加速器辐照装置机房主机室四周及屋顶屏蔽外辐照室源+束流损失两项叠加剂量率预测参数及结果

楼层	楼层	辐射源	计算参考点	位置	距离 d（m）	D_{10} (Gy·/h)	T_1（cm）	Te（cm）	设计混凝土厚度（cm）	射线穿越混凝土厚度 S（cm）	Bx	关注点透射剂量率(μSv/h）	合计剂量率(μSv/h）	剂量率限值(μSv/h）	是否满足剂量率限值
1#机房	二层	辐照室靶点	F_1	1#主机室屋顶上方（无人到达）	10.1	1215	35.5	35.5	200	200	2.32E-06	27.678	27.680	100	满足
		主机室靶点	E_1		7.8	2.88	22.1	20.1	150	150	4.33E-08	0.002			
		辐照室靶点	S_1	二层共用设备间	5.8	1215	35.5	35.5	180	293	5.58E-09	0.201	0.201	2.5	满足
		主机室靶点	$2c_1$		5.0	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.61E-04			
		辐照室靶点	Y_1	二层 1#主机室东墙（楼梯平台）	9.7	1215	35.5	35.5	230	357	8.78E-11	0.001	0.001	2.5	满足
		主机室靶点	$2a_1$		9.5	2.88	22.1	20.1	180	182	1.11E-09	3.54E-05			
		辐照室靶点	K_1	二层通道	5.7	1215	35.5	35.5	240	312	1.63E-09	0.061	0.061	2.5	满足
		主机室靶点	$2b_1$		4.5	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.98E-04			
		辐照室靶点	W_1	二层 1#主机室北墙(临空、无人到达)	5.6	1215	35.5	35.5	250	308	2.11E-09	0.082	0.082	2.5	满足
		主机室靶点	$2d_1$		4.7	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.82E-04			
2#机房	二层	辐照室靶点	F_2	2#主机室屋顶上方（无人到达）	10.1	1215	35.5	35.5	200	200	2.32E-06	27.678	27.680	100	满足
		主机室靶点	$E2$		7.8	2.88	22.1	20.1	150	150	4.33E-08	0.002			
		辐照室靶点	S_2	二层共用设备间	5.8	1215	35.5	35.5	180	293	5.58E-09	0.201	0.201	2.5	满足
		主机室靶点	$2c_2$		5.0	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.61E-04			
		辐照室靶点	Y_2	二层 2#主机室西墙（楼梯平台）	9.7	1215	35.5	35.5	230	357	8.78E-11	0.001	0.001	2.5	满足
		主机室靶点	$2a_2$		9.5	2.88	22.1	20.1	180	182	1.11E-09	3.54E-05			
		辐照室靶点	K_2	二层通道	5.7	1215	35.5	35.5	240	312	1.63E-09	0.061	0.061	2.5	满足

		主机室靶点	$2b_2$		4.5	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.98E-04			
		辐照室靶点	W_2	二层 2#主机室北墙(临空、无人到达)	5.6	1215	35.5	35.5	250	308	2.11E-09	0.082	0.082	2.5	满足
		主机室靶点	$2d_2$		4.7	2.88	22.1	20.1	180	180	1.39E-09	1.82E-04			
共用设备间屋顶上方	二层屋顶	辐照室靶点	P_1（P_2）	1#辐照室西侧上方共用设备间屋顶上方	9.4	1215	35.5	35.5	180	323	7.97E-10	0.011	0.011	2.5	满足
		主机室靶点		1#主机室西侧上方共用设备间屋顶上方	7.5	2.88	22.1	20.1	180	253	3.25E-13	1.67E-08			

（三）散射辐射影响

1、穿过屋顶天空反散射计算

电子加速器辐照装置产生的辐射源通过屋顶泄漏，再经过天空中大气的反散射，返回至电子加速器辐照装置周围的地面附近，形成附加的辐射场。

根据 HJ979-2018 中公式 A-6，天空反散射的计算公式见以下公式 11-4，南-北方向天空反散射示意图见图 11-5、东-西方向天空反散射示意图见图 11-6：

$$H=\frac{2.5\times10^{-2}\left(B_{xs}D_{10}\Omega^{1.3}\right)}{(d_i d_s)^2} \quad （公式 11-4）$$

式中：

H 为在距离 X 射线辐射源 d_s 处地面，天空反散射的 X 射线周围剂量当量率（Sv/h）；

B_{xs} 为 X 射线屋顶的屏蔽透射比，由公式 11-2 求得；

d_i 为在屋顶上方 2m 处离靶的垂直距离（m），辐照室 d_i=11.8m，主机室 d_i=9.5m；

d_s 为 X 射线源到 P 点的距离（m）。本项目保守取各侧屏蔽体外 30cm 位置，东、南、西、北侧 d_i 分别为 10.4m、11m、10.4m、5.1m。见图 11-6、图 11-7。

$2.5\times10^{-2}\Omega^{1.3}$—散射因子，单位：无因次。

Ω为由 X 射线源与屏蔽墙对向的立体角（Sr），由公式 11-5 计算。

$$\Omega=\sum_{i=1}^{4}tg^{-1}\left[\frac{a_i b_i}{c_i d_i}\right]=tg^{-1}\left[\frac{a_1 b_1}{cd_1}\right]+tg^{-1}\left[\frac{a_2 b_1}{cd_2}\right]+tg^{-1}\left[\frac{a_2 b_2}{cd_3}\right]+tg^{-1}\left[\frac{a_1 b_2}{cd_4}\right] \quad 公式 11\text{-}5$$

式中：a_1、b_1、a_2、b_2 分别是数轴中心至房顶层边界 DA、AB、BC、CD 的距离。

$c_{辐照室}$=8.3m（辐照室靶点至主机室屋顶下沿垂直距离）、$c_{主机室}$=6m（主机室靶点至主机室屋顶下沿垂直距离）。

则 $d_1=\sqrt{a_1^2+b_1^2+c^2}$，$d_2=\sqrt{a_2^2+b_1^2+c^2}$，$d_3=\sqrt{a_2^2+b_2^2+c^2}$，$d_4=\sqrt{a_1^2+b_2^2+c^2}$。

根据图 11-5、图 11-6 和 11-7，机房各方向立体角Ω计算如下。

以单台机房（1#机房）为例，假定沿南北方向 AB=CD=5m、东西方向

AD=BC=10.2m，则沿南北方向 $a_1=a_2=2.5m$、沿东西方向 $b_1=7.3m$、$b_2=2.9m$，计算可得辐照室 $d_1=d_2=11.3m$、$d_3=d_4=9.14m$，主机室 $d_1=d_2=9.77m$、$d_3=d_4=7.12m$，

代入上式可得出，$\Omega_{辐照室}=0.5739$（Sr）；$\Omega_{主机室}=0.9398$（Sr）。

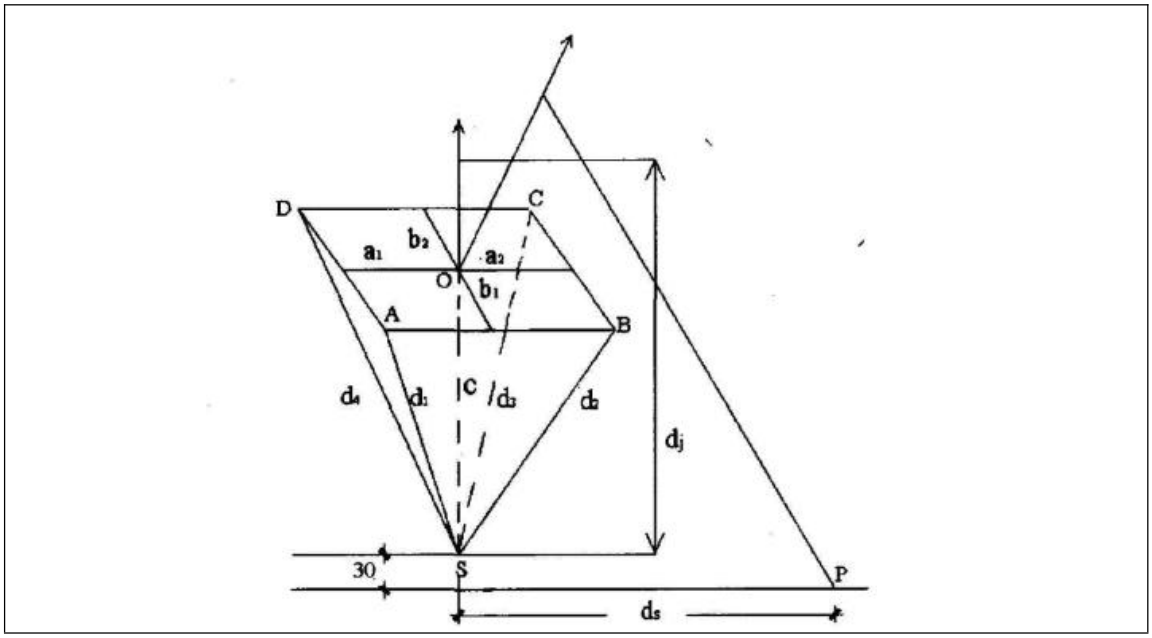


图 11-5 天空反散射辐射示意图

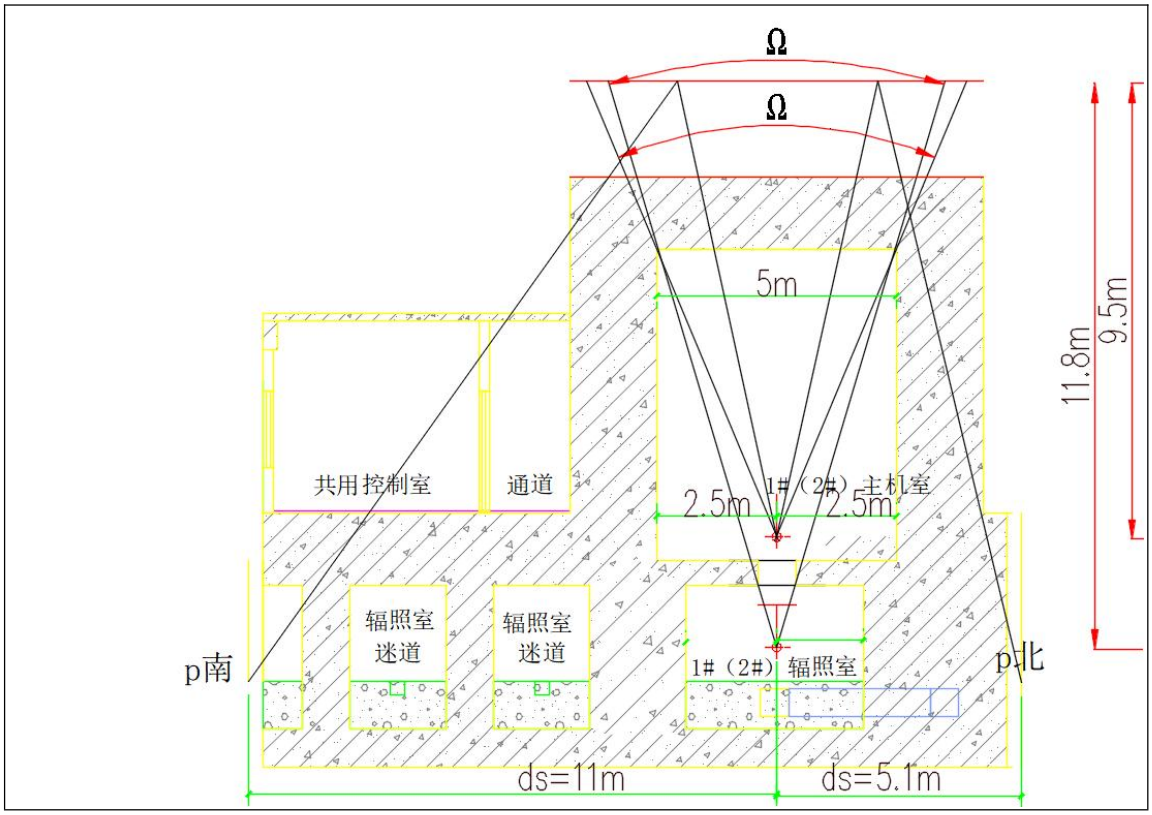


图 11-6 本项目天空反散射示意图（南-北方向）

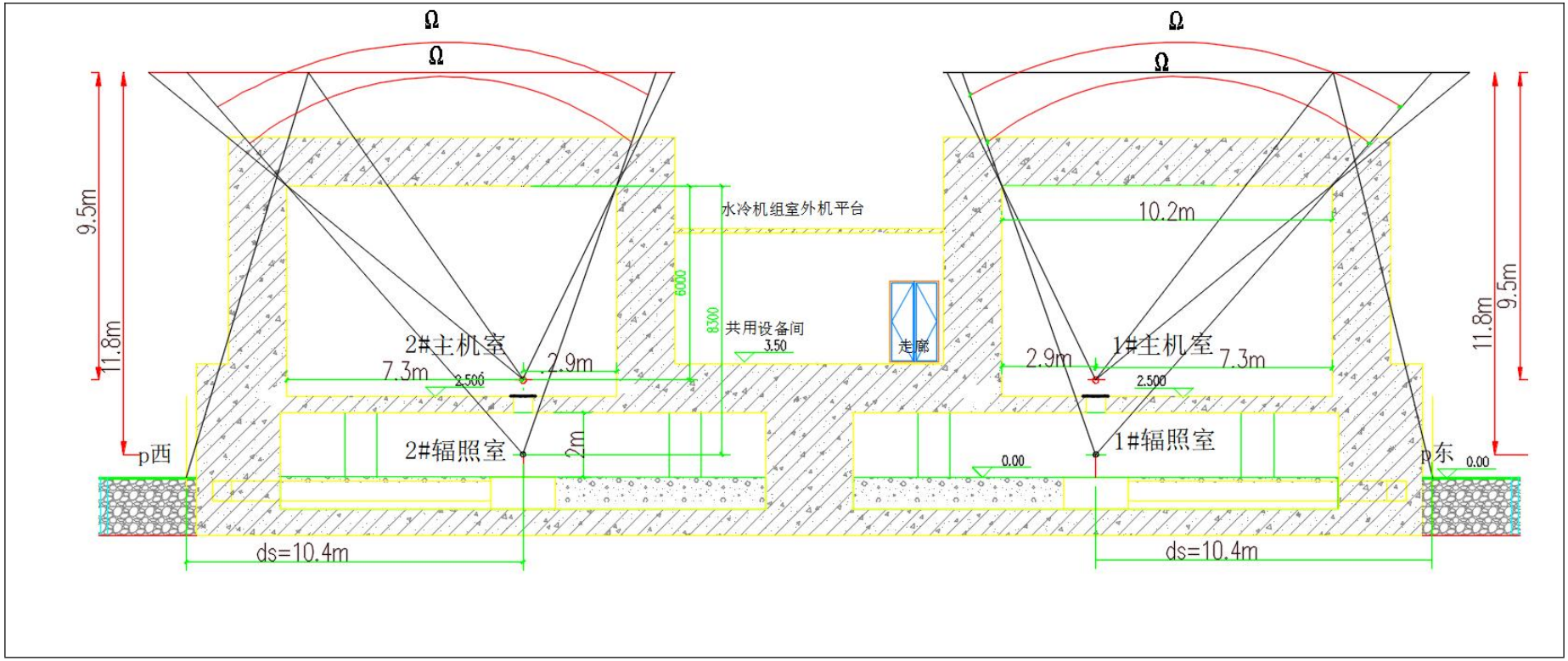


图 11-7 本项目天空反散射示意图（东-西方向）

表 11-4 本项目天空反散射计算结果表

方位	辐射源	D_{10}（$Gy \cdot h^{-1}$）	Ω	di(m)	ds(m)	屋顶混凝土厚度*（cm）	B_{xs}	H（Sv/h）	H（μSv/h）	叠加后剂量率 H（μSv/h）	装置数量（台）	合计剂量率（μSv/h）
东	辐照室	1215	0.5739	11.8	10.4	200	2.32E-06	2.27E-09	2.27E-03	2.27E-03	1	2.27E-03
	主机室	2.88	0.9398	9.5	10.4	150	4.33E-08	2.95E-13	2.95E-07			
南	辐照室	1215	0.5739	11.8	11	200	2.32E-06	2.03E-09	2.03E-03	2.03E-03	2	4.06E-03
	主机室	2.88	0.9398	9.5	11	150	4.33E-08	2.63E-13	2.63E-07			
西	辐照室	1215	0.5739	11.8	10.4	200	2.32E-06	2.27E-9	2.27E-3	2.27E-03	1	2.27E-03
	主机室	2.88	0.9398	9.5	10.4	150	4.33E-08	2.95E-13	2.95E-07			
北	辐照室	1215	0.5739	11.8	5.1	200	2.32E-06	9.42E-09	9.42E-03	9.42E-03	2	1.88E-02
	主机室	2.88	0.9398	9.5	5.1	150	4.33E-08	1.23E-12	1.23E-06			

注*：一层辐照室屋顶厚度=一层辐照室屋顶厚度 50cm+一层上方二层主机室屋顶厚度 150cm。

2、电子加速器辐照装置屋顶屏蔽体厚度的校核

本项目电子加速器辐照装置开机正常运行时屋顶上方无人到达，以周围公众年有效剂量约束值 0.1mSv 作为校核电子加速器辐照装置屋顶上方屏蔽体厚度，项目 2 台装置，按照单台年出束时间 6000h，周围公众按照居留因子取 1/4 进行校核计算，导出天空反散射剂量率控制水平 H=0.1mSv÷2 台×1000(μSv/mSv)/（6000h×1/4）=0.0333μSv/h，本项目单台装置所致天空反散射剂量率最大为 9.42E-03μSv/h，小于 0.0333μSv/h 限值要求，由此可知本项目 2 座机房屋顶屏蔽体厚度满足规定要求。

3、X 射线通过顶盖的侧向散射

本项目评价范围内南侧 17m 有 1 幢公司办公楼，地上 4 层，高约 12m，评价范围内北侧约 42m 处有 1 幢南京源又源食品科技有限公司办公楼，地上 3 层，高约 9m，与本项目电子加速器辐照装置屋顶高度基本处于同一水平高度，不属于高层建筑，因此本项目不对 X 射线通过顶部的侧向散射进行预测分析。

4、迷道散射及防护门屏蔽防护估算

本项目主要计算 2 台电子加速器辐照装置辐照室人员出入口处的散射主要考虑 90°方向出射的 X 射线的散射。主机室入口处散射主要为漏束 X 射线的散射。计算公式及参数如下

$$H_{1,rj}=\frac{D_{10}\alpha_1 A_1(\alpha_2 A_2)^{j-1}}{(d_1.d_{r1}.d_{r2}\ldots d_{rj})^2} \qquad \text{（公式 11-6）}$$

辐照室及主机室迷道入口处的辐射剂量率依据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中提供的计算公式计算：

式中：D_{10}—距离 X 射线辐射源 1m 处的标准参考点的吸收剂量率（$Gy\cdot m^2\cdot h^{-1}$）；根据电子加速器辐照装置生产厂家提供的资料，本项目电子加速器辐照装置机房内电子加速器辐照装置束流损失率为 1%（即电子束流强度为 0.03mA），束流损失点的能量为 3MeV，主机室迷道散射计算的 D_{10} 取值为 D_{10}=2.88Gy/h，辐照室迷道散射计算的 D_{10} 取值为 D_{10}=1215Gy/h。

α_1—入射到第一个散射体的 X 射线的散射系数；

α_2—随后从屏蔽层材料表面散射出来的对应 0.5MeV 的能量 X 射线的散射系数（假设对以后所有散射过程是相同的）；

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A，对于能量大于 3MeV 的 X 射线其散射一次后能量为 0.5MeV；对于初级 X 射线，散射系数 α_1 取值为 5×10^{-3}；对于一次散射后的 X 射线散射系数α_2、α_3、α_4、α_5取值均为 2×10^{-2}；

A_1—X 射线入射到第一散射物质的散射面积，m^2；

A_2—迷道的截面积（假设整个迷道的截面积近似常数，高宽之比在 1～2 之间），m^2；

d_1—X 射线辐射源到第一反射层的距离，m；

d_{r1}，$d_{r2}...d_{rj}$—沿着迷道长轴的中心线距离，m；$d_{rj}/A_2^{1/2}$ 的比值应在 1～6 之间；

j—指第 j 个散射过程；

本项目估算时按照 10MeV 的 X 射线的散射进行估算。辐照室人员出入口均散射 5 次，主机室入口散射 1 次，辐照室、主机室的散射路径示意图分别见图 11-8 及

图 11-9。

迷道散射面积的确定：A_1 为第一次散射宽度与高度的乘积，A_2 为迷道宽度与高度的乘积。根据图 11-8，对 G1（G2）点，A1=（3.1+3.0）×2=12.2m²，A2=A3=A4=A5=2×2=4m²；对 H1（H2）点，A1=（3.1+3.0）×2=12.2m²，A2=A3=A4=A5=2×2=4m²。

迷道散射面积的确定：根据图 11-9，对 2E1(2E2)点，A1=（2.6+1.5）×6.5=26.65m²。电子加速器辐照装置机房辐照室和主机室的迷道口辐射剂量率预测结果见表 11-5。

表 11-5 辐照室、主机室迷道散射计算结果（防护门无屏蔽防护设施时）

楼层	关注点	散射次数 j	路径 d_1，d_{r1}，d_{r2}，d_{r3}，d_{r4}，d_{r5}（d_1，d_{r1}）	辐射剂量率 H_j（μSv/h）
一楼辐照室	G1（G2）	5	6.4，4.8，4.8，3.0，6.9，2.7	4.47E-05
	H1（H2）	5	6.4，4.8，4.8，3.0，5.3，2.7	7.58E-05
二楼主机室	2E1（2E2）	1	（6.4，5.8）	278.512

从表 11-5 预测结果可知，辐照室人员出入口、货物进出口在迷道屏蔽作用下，周围剂量当量率最大值为 7.58E-05μSv/h，远低于 2.5μSv/h 的控制限值。由此可见，本项目 2 台电子加速器辐照装置辐照室迷道设计合理；人员出入口及货物进出窗口依托迷道散射衰减即可满足剂量控制要求，无需额外增设屏蔽结构。为防范人员误入辐照机房，辐照室人员进出口设置普通防盗门，并配套门机联锁、工作状态警示标识及指示灯等。

主机室入口处未采取屏蔽措施时的周围剂量当量率为 278.512μSv/h，远大于 2.5μSv/h 控制剂量，因此电子加速器辐照装置机房主机室入口需要设置防护门。本项目主机室防护门拟采用 35mmPb（3.5cmPb），根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）附录 A，对于能量大于 3MeV 的 X 射线其散射一次后能量均为 0.5MeV，故本项目取 0.5MeV 对应的透射因子进行计算（对铅的什值层为 T_l=0.5cm,Te=1.19cm），根据公式 11-2，计算得出主机室入口处经 35mmPb（3.5cmPb）防护门屏蔽后的剂量率见下表 11-6。

表 11-6 本项目 2 台电子加速器辐照装置主机室防护门屏蔽体外剂量率

主机室迷道出入口处无屏蔽时散射辐射剂量率H_j（μSv/h）	铅防护门对应屏蔽透射因子Bx	铅防护门屏蔽主机散射后剂量率（μSv/h）	二层主机室透射剂量率（μSv/h）	一层辐照室透射剂量率*（μSv/h）	防护门外剂量率合计（μSv/h）	限值（μSv/h）	是否满足
278.512	3.01×10^{-4}	0.084	2.71E-06	0.061	0.145	2.5	满足

注：*一层辐照室透射剂量率取保守取表 11-3 中 $K_1(K_2)$ 点（保守取辐照室辐射源点致二层通道剂量率贡献）

由表 11-6 的计算结果可知，主机室经 35mmPb 防护门屏蔽后，主机室防护门外周围剂量当量率约为 0.145 μSv/h，能够满足屏蔽体外剂量当量率不能超过 2.5 μSv/h 的要求。

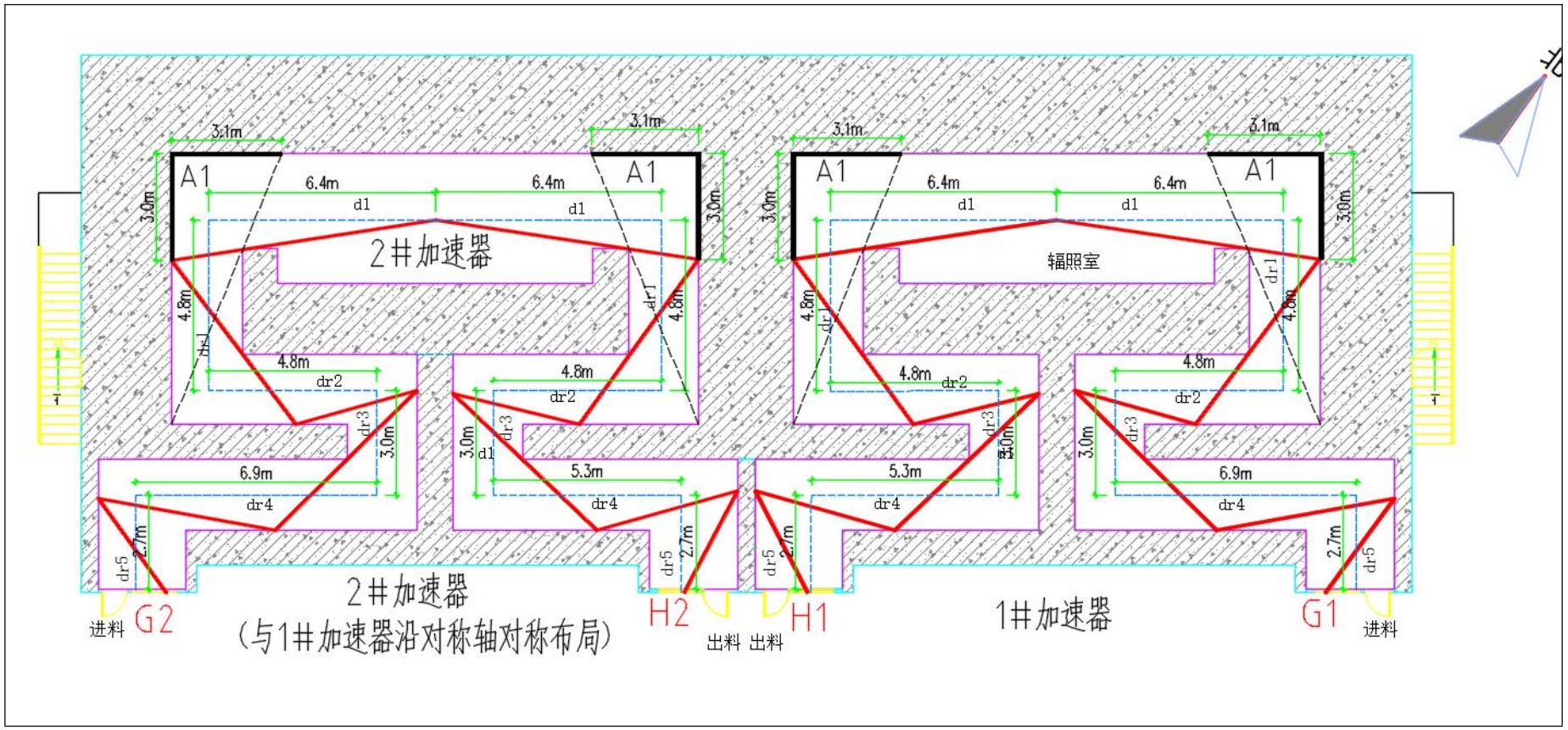


图 11-8 本项目 2 台电子加速器辐照装置辐照室迷道散射路径示意图

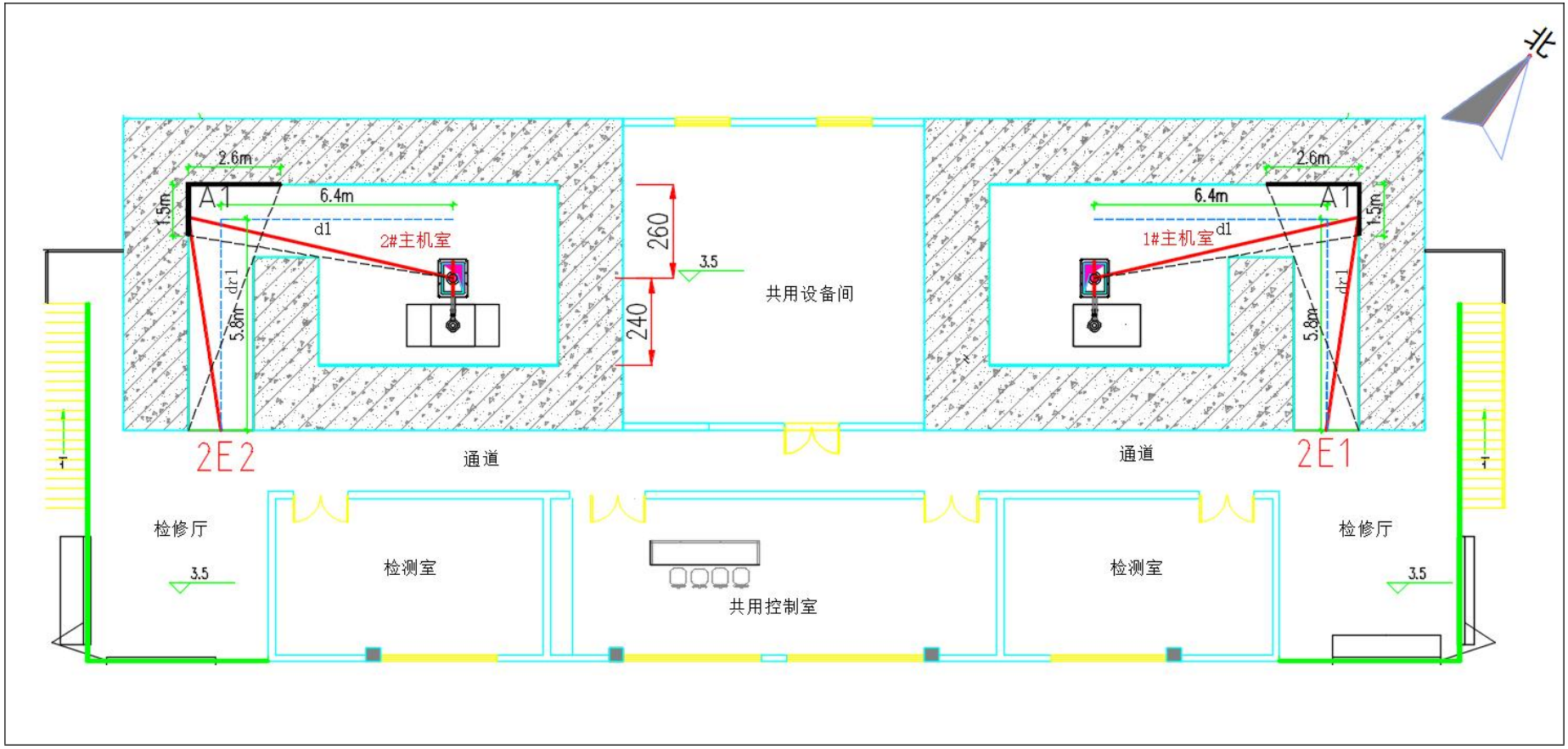


图 11-9 本项目 2 台电子加速器辐照装置主机室迷道散射路径示意图

（5）电缆沟及通风口、门缝辐射防护影响分析

本项目每座机房内由主机室上部进风，下部辐照室排风，每个辐照室设置 1 台排风机，排风机风量 12000m³/h，每个辐照室体积约 277.16m³，机房每小时换气次数不少于 43 次，

本项目电子加速器辐照装置机房排气管道通过地下管道穿过屏蔽墙，经辐照室外东北侧（1#机房排风）、西北侧（2#机房排风）排气筒排放，出机房后排气管道直径 600mm，辐照室内地面下排风管道管线埋地深度约为 0.7m（管道上皮距离地面 120mm），排气筒排放口标高 15m，高于周围 50m 范围内最高建筑，排风口设置合理。

由于通风管埋于地下，辐照室内电子加速器辐照装置产生的射线需经过通风管道至少 4 次散射后才能到达辐照室外（散射示意图见图 11-10、图 11-11），可推断排风口的辐射剂量率能够满足相关标准要求。

本项目主机室与共用设备间之间拟设宽 300mm 、深 200mm 的电缆沟，电缆沟顶部盖 8mm 钢板，两个主机室电缆沟之间通过多根 DN80、DN25 的钢套管之间连接，管道均采用“S”形穿越主机室与共用设备间之间混凝土墙体，另有少量钢套管穿越主机室北侧墙体至室外，管道均采用“S”形穿越主机室北墙。

一楼辐照室光电开关、剂量探头、警铃、巡检开关、急停拉绳、烟感、联锁、摄像头预留穿线管型号为 DN25,穿屏蔽墙体设计“S”形穿越，按距离最近原则接入地沟。二楼主机室光电开关、剂量探头、警铃、巡检开关、三色警灯、急停拉绳、联锁、摄像头预留穿线管型号为 DN25,穿屏蔽墙预埋管设计“S”形穿越,按距离最近原则接入地沟。电子加速器辐照装置产生的射线需经过至少 3 次以上散射后才能到达主机室外可推断电缆沟出口处以及所有穿越主机室套管出口处的辐射剂量率能够满足相关标准要求。散射示意图见图 11-12、图 11-13。

根据建设单位提供的资料，本项目防护门设计时已考虑防护门与墙壁及地面的重叠搭接，间隙拟小于 1cm，搭接不小于 10cm，满足重叠宽度大于缝隙十倍的要求。

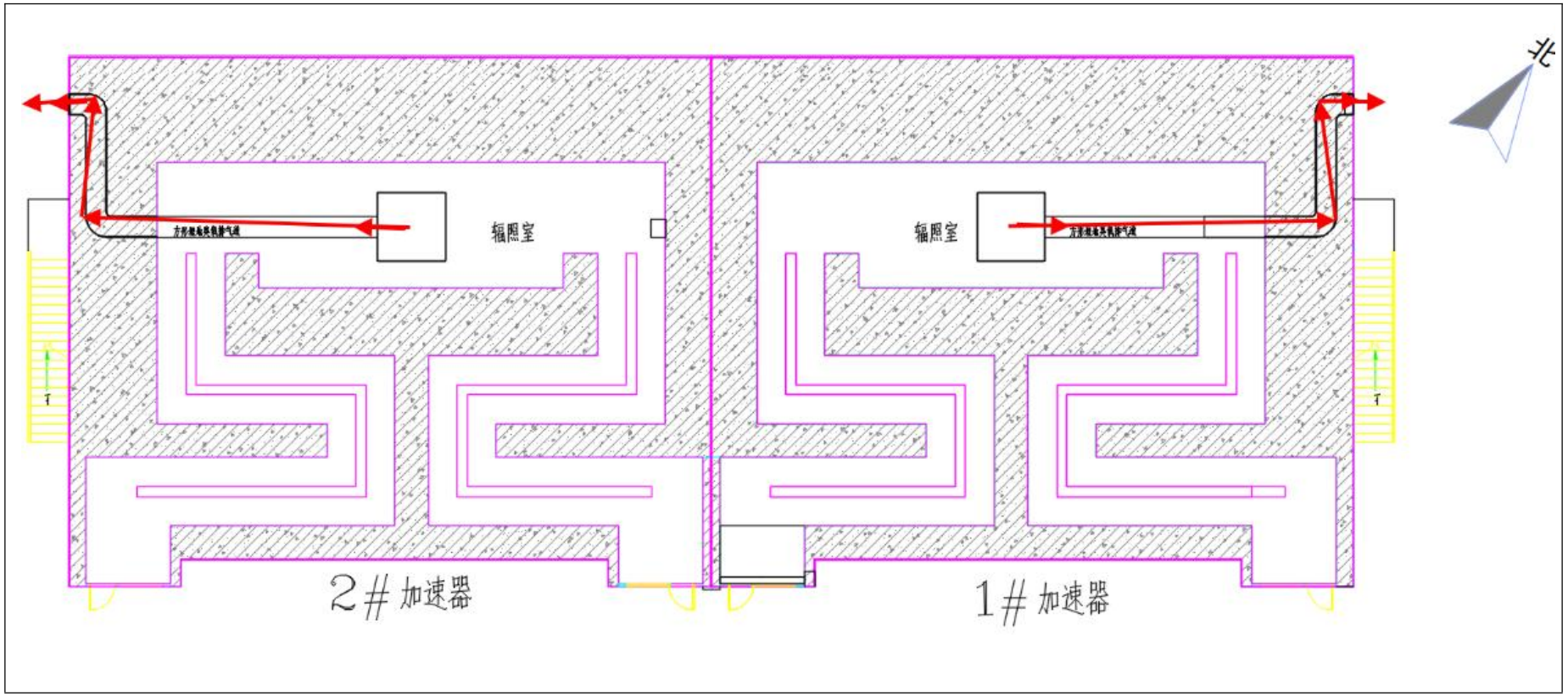


图 11-10 通风管道剂量散射示意平面图

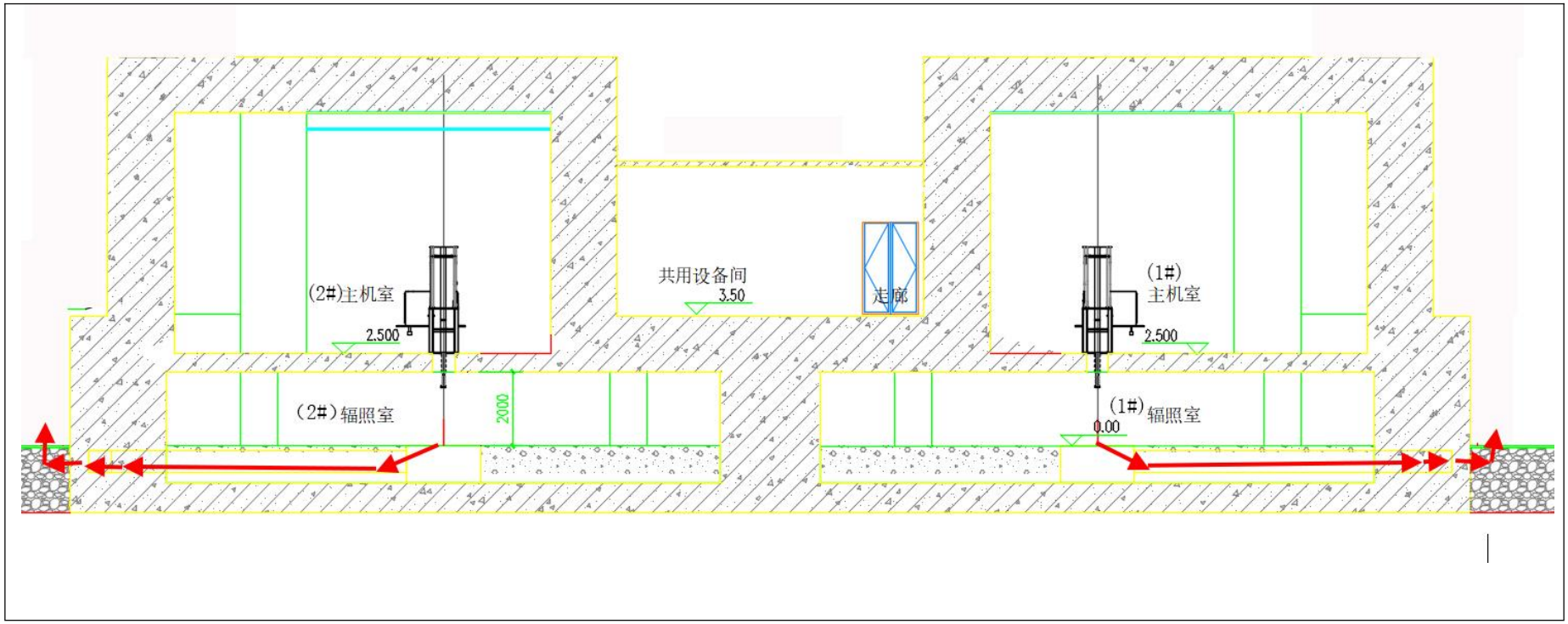


图 11-11 通风管道剂量散射示意剖面图

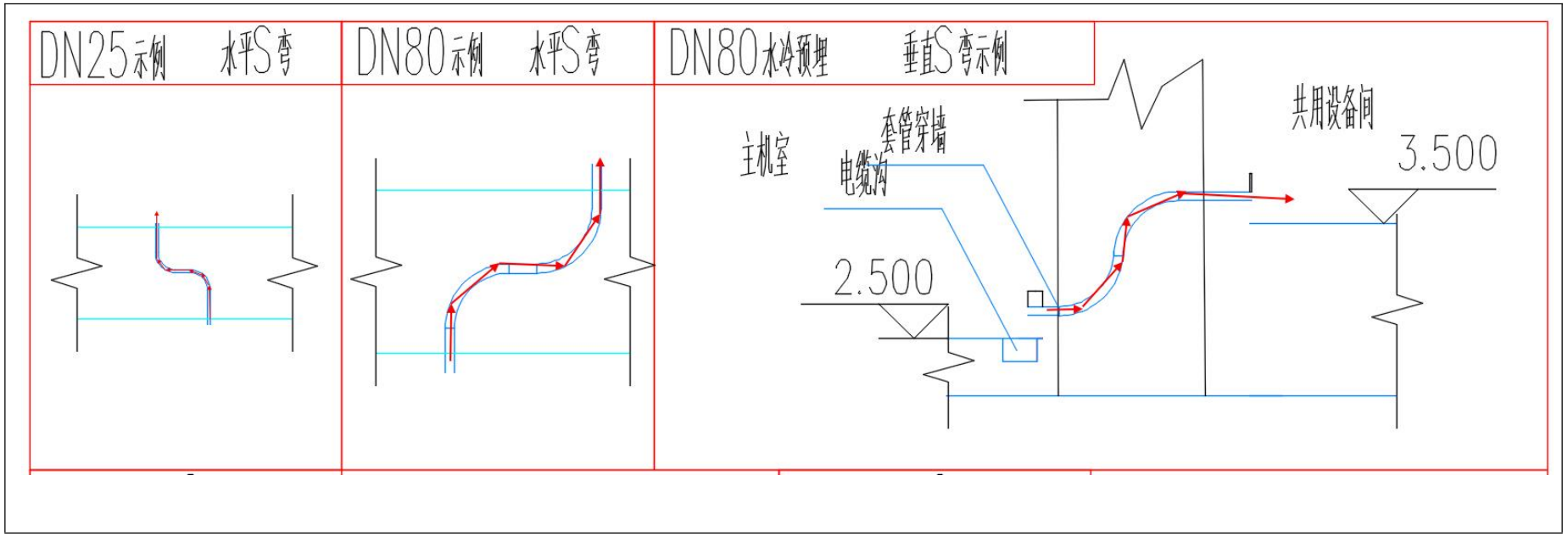


图 11-12 穿墙套管出机房散射示意图

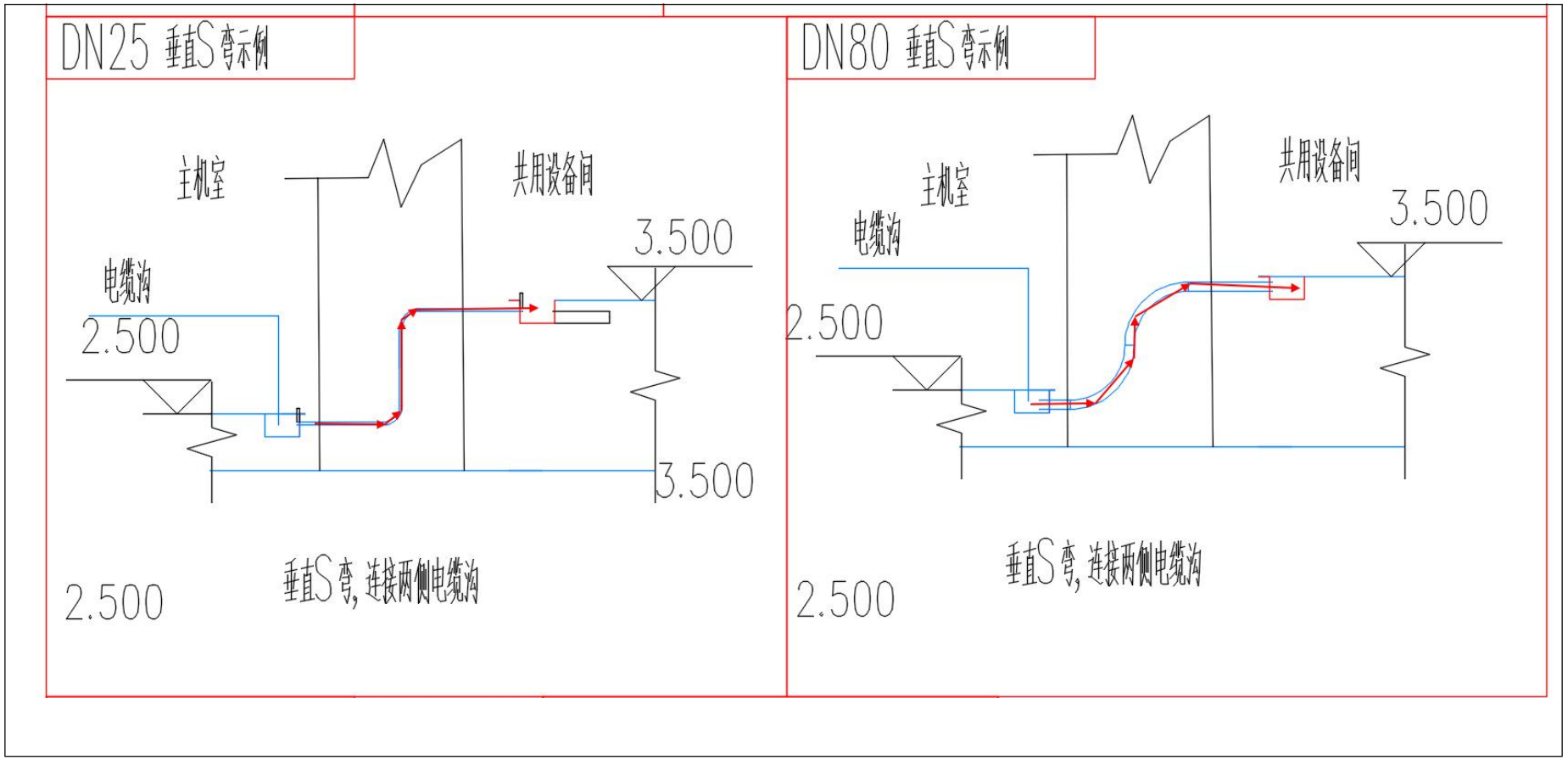


图 11-13 穿墙套管出机房散射示意图

（四）辐射工作人员和公众年有效剂量评价

1、估算公式及说明

辐射工作人员和公众年有效剂量由公式（11-7）进行估算：

$$E_{eff}=\dot{D}\cdot t\cdot T\cdot U \qquad （公式11-7）$$

式中：

E_{eff}—人员年有效剂量，μSv/年；

D—参考点处辐射剂量率，μSv/h；

t—年工作时间，单位h，本项目拟建2台电子束辐照装置。根据前文可知本项目单台电子加速器辐照装置每班次年工作时间为2000h。

T—居留因子；

U—使用因子，本项目U取1。

$$\frac{H_1}{H_2}=\frac{R_2^2}{R_1^2} \qquad （公式 11-8）$$

式中：H_1—距射线源点 R_1处的剂量率，μSv/h；

H_2—距射线源 R_2处的剂量率，μSv/h；

R_1—装置屏蔽体外关注点处距射线源的距离，m；

R_2—监督区外各点位距射线源的距离，m。

2、职业人员年有效剂量

公司拟为本项目终期配备24名辐射工作人员，其中由1人兼任辐射防护负责人，将前文表11-1、表11-2和表11-4（天空反散射）剂量率计算结果代入公式11-7和公式11-8得到职业人员年有效剂量核算表，具体如下。

表11-7　本项目职业人员年有效剂量核算一览表

序号	岗位	终期人数（人）	工作场所	年工作时间 t(h)	T	辐照室所致剂量率（μSv/h）	主机室所致剂量率（μSv/h）	叠加后剂量率 D（μSv/h）	年有效剂量（mSv/年）	参考点剂量率取值依据及叠加说明
1	装置操作人员	6	二层共用控制室	2000	1	0.061	1.98E-04	0.122	0.245	保守取 K 点（通道），$2b$ 点（通道）剂量率，2 台出束
			二层通道	2000	1/8	0.061	1.98E-04	0.122	0.031	

			二层主机室（维修）	2000	1/2	0.201	1.61E-04	0.201	0.201	保守取 c 点，S 点剂量率叠加，1 台出束
			二层共用设备间	2000	1/4	0.201	1.61E-04	0.402	0.201	取 c 点，*S* 点剂量率叠加，2 台出束
			共用设备间屋顶	2000	1/4	0.022	3.34E-08	0.022	0.011	取 $P_1(P_2)$点剂量率叠加，2 台出束
			一层辐照室（维修）	2000	1/2	0.268	/	0.268	0.268	取 *a* 点剂量率，单台出束
			一层配电房	2000	1/16	0.533	/	0.533	0.067	保守取辐照室东墙外 e_1 点剂量率，单台出束
			合计						**1.024**	/
2	品控（质检）人员	3	二层检测室	2000	1	0.061	1.98E-04	0.122	0.244	保守取 *K* 点（通道），*2b* 点（通道）剂量率，2 台出束
			二层通道	2000	1/8	0.061	1.98E-04	0.122	0.031	
			一层取样	2000	1/4	0.533	/	1.066	0.533	保守取辐照室东墙外 e_1 点剂量率，2 台出束
			合计						**0.808**	/
3	进出料人员	12	上货区操作位、下货区操作位	2000	1	0.034	/	0.068	0.136	取辐照室屏蔽体南侧，*b*、*c*、*g* 点中剂量率大者，2 台出束
			辐照中心材料转运区东、西侧，紧邻	2000	1/4	0.533	/	1.066	0.533	取东、西侧，*e*、*d* 点中剂量率大者，2 台出束
			辐照中心材料转运区北侧，紧邻	2000	1/4	0.533	/	1.066	0.533	保守取辐照室东墙外 e_1 点剂量率，2 台出束
			合计						**1.202**	/
4	辐照物料	3	辐照中心南侧	2000	1/16	0.034	/	0.068	0.009	取南侧，*b*、*c*、*g* 点中剂量率大

	搬运									者，2 台出束
			辐照中心材料转运区东、西侧，紧邻	2000	1/16	0.533	/	1.066	0.133	取东、西侧，*e*、*d* 点中剂量率大者，2 台出束
			辐照中心材料转运区北侧，紧邻	2000	1/16	0.533	/	1.066	0.133	保守取辐照室东墙外 e_1 点剂量率，2 台出束
			辐照材料库房	2000	1	0.533	/	1.066	2.132	保守取辐照室东墙外 e_1 点剂量率，2 台出束
			合计						**2.398**	/

由上表可知，本项目辐射工作人员年有效剂量最大 2.398mSv，根据前文计算天空反散射所致机房周边最大剂量率 9.42E-03μSv/h，天空反散射所致周围职业人员最大年有效剂量贡献为 9.42E-03μSv/h×2 台×2000h/1000＜0.038mSv，叠加 2 台装置天空反散射后本项目职业人员年有效剂量最大为 2.436mSv（2.398+0.038），满足本项目辐射工作人员年有效剂量约束值 5mSv/a 的要求。

3、公众年有效剂量

将前文表11-1、表11-2和表11-4（天空反散射）剂量率计算结果代入公式11-8得到公众年有效剂量核算表，具体见下表。

表11-8　本项目公众年有效剂量核算一览表

保护目标**	方位，最近距离	单台透射计算剂量率（μSv/h）	合计透射计算剂量率（μSv/h）	天空反散射剂量率	叠加后剂量率 *D*（μSv/h）	*T**	*U*	年工作时间 *t*(h)	年有效剂量(mSv)
辐照材料库房	东、东南、西，约10m	0.143	0.286	2.27E-03	0.288	1/8	1	2000	0.072
门岗室厂内其他工作人员	南、约4m	1.72E-02	3.45E-02	4.06E-03	3.86E-02	1	1	2000	0.077
回车场厂内通行人员、辐照材料厂	南，7m	1.17E-02	2.33E-02	4.06E-03	2.74E-02	1/16	1	2000	0.003

外运输人员等									
办公楼厂内其他工作人员	南，约17m	4.61E-03	9.21E-03	4.06E-03	1.33E-02	1	1	2000	0.027
（果酒、果汁、果浆生产区）附属用房厂内其他工作人员	南，约28m	2.32E-03	4.64E-03	4.06E-03	8.70E-03	1	1	2000	0.017
（果酒、果汁、果浆生产区）生产厂房厂内其他工作人员	南，约40m	1.34E-03	2.68E-03	4.06E-03	6.74E-03	1	1	2000	0.013
S341 省道（宜溧线）道路上通行人员	西，约24m	4.96E-02	9.91E-02	2.27E-03	1.01E-01	1/16	1	2000	0.013
锅炉房厂内其他工作人员	北，约3m	7.26E-02	1.45E-01	1.88E-02	1.64E-01	1/16	1	2000	0.020
神龙路道路上通行人员	北，约15m	1.11E-02	2.22E-02	1.88E-02	4.10E-02	1/16	1	2000	0.005
南京源又源食品科技有限公司办公楼厂外其他工作人员	北，约42m	1.97E-03	3.95E-03	1.88E-02	2.27E-02	1	1	2000	0.045

说明：*北侧锅炉房经建设单位确认和现场核查为无人值守锅炉房，公众居留因子取偶然居留典型值 1/16；*辐照材料库房公众居留因子取 1/8；**厂内其他工作人员（厂内办公楼、辐照材料库房和门岗室等）和厂外其他工作人员，按照三班三倒，按照年工作时间 2000h 计算。

由表 11-8 可知，本项目电子加速器辐照装置机房四周公众年有效剂量(叠加天空反散射)最大约为 0.077mSv/a，能够满足辐照公众年剂量约束值 0.1mSv/a 的要求。

对于本项目电子加速器辐照装置机房拟建址评价范围北侧厂外的南京源又源食品科技有限公司厂区南侧办公楼，辐射射线经本项目北侧锅炉房等构筑物（建筑物）进一步屏蔽衰减后，本项目两台电子加速器辐照装置对周边外单位公众产生的

辐射贡献水平极低，辐射影响基本湮没在环境天然本底辐射水平中，满足公众年有效剂量约束值 0.1mSv/a 的控制要求。

二、非辐射环境影响分析

（一）臭氧环境影响分析

1、臭氧产额

根据《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）中附录B，每台电子加速器辐照装置臭氧产额估算方法如下：

单位时间（每小时）内电子束生成的 O_3 的量（P）为：

$$P=45\times d\times I\times G$$（公式 11-9）

式中，P—单位时间电子束产生 O_3 的质量，mg/h；

I—电子束流强度，mA，本项目为 3mA；

G—空气吸收 100eV 辐射能量产生的 O_3 分子数，保守值可取为 10；

d—电子束在空气中的行程，cm，本项目 d=88cm。

由上式计算结果可得机房内臭氧产额为 1.188×10^5mg/h。

2、辐照室臭氧的平衡浓度

照射时间很长（即照射时间t远远大于O_3 的有效清除时间T）情况下O_3 饱和浓度：

$$C_S=\frac{PT_e}{V}$$（公式 11-10）

式中，C_s—辐照室内臭氧平衡浓度，mg/m^3；

P—单位时间电子束产生O_3 的质量，mg/h。

V—辐照室体积，m^3，本项目辐照室体积约 277.16m^3，排放量 12000m^3/h。

Te—臭氧的有效清除时间，h，按公式（11-11）计算。

$$T_e=\frac{T_v\times T_d}{T_v+T_d}$$（公式 11-11）

式中，T_d—臭氧的有效分解时间，h，约为 0.83h；

T_v—辐照室通风换气周期，h，电子加速器辐照装置机房辐照室通风换气周期为(277.16/12000)h；

按照计算出的换气次数由上式计算结果可得电子加速器辐照装置机房辐照室内臭氧平衡浓度为 9.63mg/m^3。

3、辐照室臭氧的排放

关闭电子加速器辐照装置后风机运行的持续时间为：

$$T = -T_e \ln \frac{C_0}{C_s} \quad （公式 11-12）$$

式中，C_0—GBZ2.1 规定的臭氧的最高容许浓度，C_0=0.3mg/m^3；

T—为使室内臭氧浓度低于规定的浓度所需时间，h；

由以上公式计算可得，在电子加速器辐照装置停机后，辐照室内通风系统以排风 12000m^3/h 继续工作，电子加速器辐照装置机房通过 4.677min 的通风排气，辐照室内的臭氧浓度可低于 GBZ2.1 规定的最高容许浓度：0.3mg/m^3，此时工作人员进入辐照室是安全的。本项目拟设计通风系统与电子加速器辐照装置控制系统联锁装置，将开门时间设定为 5min，只有达到设定的停机后 5min 时间后人员进出门才能够被打开，大于臭氧浓度降至允许值所需的最短通风时间 4.677min。本项目电子加速器辐照装置机房辐照室采用排风装置通过排气管道向外界排放，辐照室人员门、货物进出口等部位处于负压状态，辐照室内的含臭氧气体不会扩散到人员进出门、货物进出口外的区域。

4、臭氧对厂外大气环境的影响

本项目 2 台电子加速器辐照装置在运行过程中，在不断产生臭氧的同时，臭氧又通过自身的分解和强制通风排出室外而减少，长时间运行后，辐照室内空气中臭氧的浓度会达到稳定饱和值。辐照机房臭氧长期稳定的排放速率 Q，是辐照室空气中臭氧的平衡浓度 Cs 和机房风机排风量 L 决定，本项目 2 台电子加速器辐照装置机房臭氧长期稳定排放速率 Q=C_s×L/3600×2=9.63mg/m^3×12000m^3/h÷3600s /h×2=64.2mg/s。在分析臭氧排放对周围环境的影响时，以此排放速率预测臭氧落地浓度。

排放的臭氧造成的最大落地浓度增量，采用《环境影响评价技术导则大气环境》（HJ2.2-2018）推荐的估算模式 AERSCREEN 计算（点源，高斯扩散模型）。将电子加速器辐照装置机房 2 根排气筒等效计算后的臭氧排放速率、排放浓度以及排气筒参数分别代入大气估算模式 AERSCREEN 程序，臭氧污染源参数、估算模型参数、估算结果分别见图 11-14、表 11-9、表 11-10、表 11-11。臭氧浓度随距离变化

情况见图 11-15 所示。



图 11-14 臭氧影响估算模式示意图

表 11-9 臭氧污染源参数一览表(点源)

污染源名称	排气筒底部中心坐标(°)		排气筒底部海拔高度(m)	排气筒参数				污染物排放速率(kg/h)*
	经度	纬度		高度(m)	内径(m)	温度(℃)	流速(m/s)	O_3
等效排气筒	119.163626	31.580409	30.50	15.00	0.60	20.00	23.59	0.2311

说明*：O_3 排放速率=64.2mg/s×3600/1000000=0.2311kg/h，流速=24000（m^3/h）/3600/3.14/0.3m/0.3m=23.59m/s。

估算模式所用参数见下表。

表 11-10 估算模型参数表

参数		取值
城市/农村选项	城市/农村	农村
	人口数(城市人口数)	/
最高环境温度		41.5
最低环境温度		-17.0
土地利用类型		农田

区域湿度条件		潮湿
是否考虑地形	考虑地形	是
	地形数据分辨率(m)	90
是否考虑岸线熏烟	考虑岸线熏烟	否
	岸线距离/m	/
	岸线方向/°	/

估算结果见下表。

表 11-11 等效排气筒臭氧浓度预测

下风向距离（m）	O_3 浓度(μg/m³)	下风向距离（m）	O_3 浓度(μg/m³)
50.0	4.7884	2000.0	8.4024
100.0	14.2890	2500.0	13.9130
200.0	21.2910	3000.0	13.8100
300.0	18.3770	3500.0	13.0650
400.0	14.7400	4000.0	7.7219
500.0	11.9940	4500.0	8.1350
600.0	11.3500	5000.0	8.0857
700.0	10.6970	10000.0	3.7190
800.0	10.1330	11000.0	2.3494
900.0	9.4235	12000.0	2.9715
1000.0	8.7438	13000.0	2.1769
1200.0	7.9387	14000.0	1.8960
1400.0	7.1670	15000.0	1.7571
1600.0	6.5803	20000.0	1.1484
1800.0	5.9987	25000.0	0.9508
下风向最大浓度和距离排气筒的距离			
下风向最大浓度(μg/m³)	21.2910	下风向最大浓度出现距离（m）	200

臭氧浓度随距离变化见下图所示。

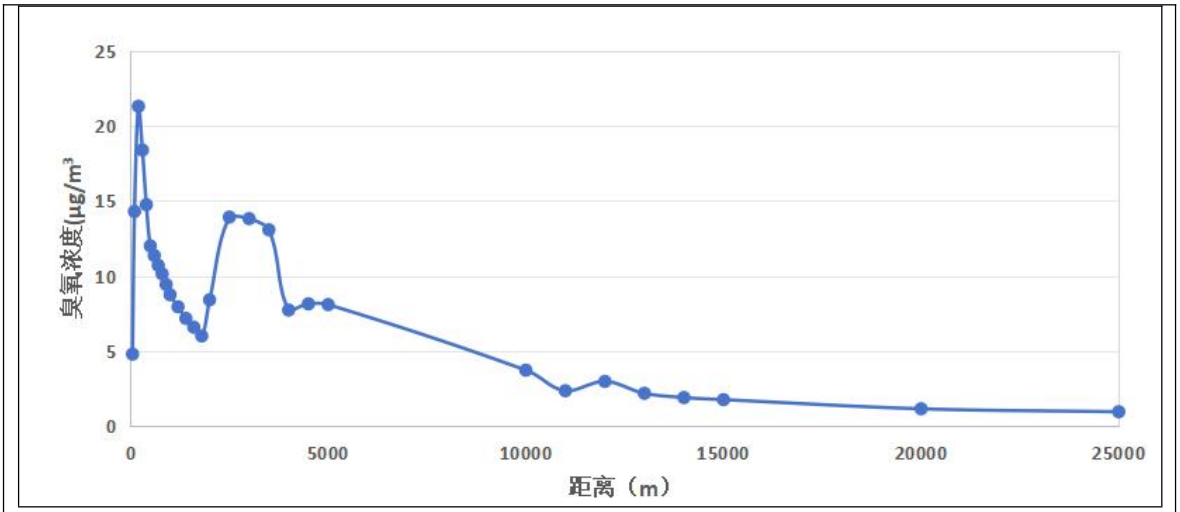


图 11-15 臭氧浓度随距离变化曲线

由以上预测结果可知，本项目电臭氧排放下风向最大落地浓度约为21.291μg/m³，占标准的 10.6455%，最大落地点浓度出现的位置位于排气筒下风向200m，臭氧在常温下约 50min 即可自行分解成氧气，因此本项目机房臭氧排放对周围大气环境影响很小。

（二）固废、废水环境影响分析

本项目运行期间辐射工作场所内产生的常规污染物主要是办公过程中产生少量的生活污水、生活垃圾等。生活污水，经化粪池预处理后接入市政污水管网进入白马污水处理厂（南京国家农高区白马污水处理厂），生活垃圾经分类收集后将交由城市环卫部门处理，不会对外环境造成不良环境影响。本项目运营期会产生废速调管，产生频次约 3～5 年 1 根，单根重量约 300 kg，属于一般固体废物，按一般固废相关要求处置。

（三）声环境影响分析

本项目电子加速器辐照装置机房拟配备低噪声风机，风机拟安装于共用设备间上方，机房上方拟建设辐照中心屋顶，拟采取基础减振、建筑隔声等措施，降噪后预计能达到 55dB（A）左右，此外，再经过厂区内距离衰减后，本项目低噪声风机的噪声对厂界外声环境影响较小。

事故影响分析

1、可能发生的辐射事故

电子加速器辐照装置仅在开机工作时产生电子及X射线，其潜在事故多为开机误照射事故，具体主要类型如下：

（1）电子加速器辐照装置开机工作前未按照要求开展巡检，未能及时发现滞留人员，造成人员停留于机房内，引发人员超剂量照射事故。

（2）辐射工作人员发生操作失误，或设备安全联锁装置失灵，导致工作人员误入、滞留机房，造成人员超剂量照射事故。

（3）设备联锁故障关机后未切断高压，设备暗电流持续产生X射线，引发意外事故照射。

（4）电子加速器辐照装置联锁装置发生故障期间，检修人员误入正常运行的机房内，发生人员超剂量照射事故。

（5）电子加速器辐照装置机房屏蔽结构受损，屏蔽防护效果大幅减弱，机房外辐射水平超标，造成周边人员事故照射。

（6）装置操作人员存在违规操作、误操作行为，导致周边人员受到不必要的辐射照射，情节严重时可造成人员辐射损伤，甚至危及生命。

（7）通风系统故障或通风不畅。电子加速器辐照装置工作时电子束电离空气会产生臭氧等有害气体，若机房通风系统故障、换气次数不足，会导致有害气体积聚、浓度超标，工作人员进入后会受到非辐射性有害气体伤害。

（8）高压电击事故。电子加速器辐照装置设备存在高压安全隐患，高压电路电压、X射线头内脉冲变压器输入输出电压、钛泵直流高压等均具有高危险性，在设备调试、检修作业中，不慎触碰相关高压部件，会造成严重电击伤害，甚至引发人身伤亡事故。

（9）束下装置出现停运、卡顿等故障且束下联锁失效时，辐照产品长期持续接受束流照射，极易引发火灾事故。

2、辐射事故预防措施

本项目拟使用的电子加速器辐照装置属于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》（2026 年修正）等相关规定，该类射线装置对应的辐射事故定义为：射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

为有效防范辐射事故发生，公司将强化日常安全管理，严格规范辐射工作人员操作规程，持续完善辐射安全管理制度，常态化开展从业人员辐射防护知识培训，全面提升岗位人员安全操作能力，最大限度规避各类辐射安全风险。本项目具体辐

射安全预防控制措施如下：

（1）巡检防护措施。每次辐照室安全门、主机室防护门开启后再次开机前，须严格执行标准化巡检流程，对机房内部区域开展全面排查，确认机房内无人员滞留、不存在安全隐患，方可启动辐照作业；巡检人员全程规范佩戴个人剂量报警仪与个人剂量计，落实辐射个人防护要求。

（2）设备安全核查措施。每次辐照作业前逐一核查各类安全联锁装置的完好性与有效性，定期监测电子加速器辐照装置机房周边辐射环境水平，确保设备各项安全防护功能正常，保障辐照作业安全稳定开展。

（3）规范作业管控措施。制定完善的电子加速器辐照装置专项操作规程，并张贴于操作岗位醒目位置，方便装置操作人员随时查阅、依规操作。所有辐照作业必须配备至少 2 名装置操作人员在岗，作业人员全程规范操作、做好个人防护，杜绝单人作业、违规操作等风险行为。

（4）常态化隐患排查整改措施。定期核查电子加速器辐照装置安全防护设施、联锁装置运行状态，常态化检测、核验设备安全防护效果，严格监督各项辐射安全管理制度落地执行。对排查发现的安全隐患建立台账、立即整改，从源头杜绝事故隐患。

（5）每日设备安全检查措施。每日开展辐照装置日常巡检，重点检查安全联锁控制系统显示状态、个人剂量报警仪、便携式辐射监测仪等常用安全设备的运行工况，发现设备异常、功能失效等问题立即停机检修，确保设备完好运行。

（6）月度专项安全检查措施。每月对辐照装置安全设备及控制系统开展专项检查，核查辐照室固定式辐射监测仪、控制台急停按钮、急停拉绳、通风系统、烟雾报警器等设施的有效性，全面验证安全联锁系统整体功能，对存在故障、失效的设备及时维修、整改到位。

（7）半年度全面安全核查措施。每半年对电子加速器辐照装置开展一次全面安全检查，结合年度检修工作，全面核查所有安全设备、控制系统的运行状态，针对排查出的问题及时落实整改措施，保障设备长期安全稳定运行。

（8）设备分级维修管控措施。针对电子加速器辐照装置故障实行分级维修管理，一般、小型故障由公司持证辐射工作人员组成的专项维修小组负责维修，维修作业严格执行作业票制度，落实安全复核确认机制；遇大型故障、疑难故障，公司

维修小组无法处置时，及时联系设备厂家专业人员进场维修，严格规避内外人员交叉作业、配合不当引发的安全事故。

（9）异常工况安全管控措施。建立完善故障及异常工况安全保障程序，一是突发停电时，安全联锁系统失效，设备自动锁定，禁止电子加速器辐照装置加高压、开机运行；二是计算机控制系统故障时，设备触发自动停机保护；三是辐照室全程布设监控设备，实时监测室内人员活动情况；四是工作人员进入辐照室、设备区域开展检修作业时，必须佩戴个人剂量报警仪，仪器报警时立即拉下急停拉绳、迅速撤离现场。

（10）火灾风险防控措施。严禁易燃易爆物品带入辐照作业区域，严禁在上下货作业现场吸烟、动用明火，全面防范辐照产品受照过热、明火引发的火灾事故。

本项目严格落实设备常态化检查、日常自检及年度委托检测制度，所有辐射安全设施、防护设备、联锁装置严禁带故障运行。因检修工作需要旁路联锁装置时，必须在控制台设置醒目中文警示牌，安排专人全程值守，检修未完成不得擅自离岗，杜绝无人监护作业。若出现声光报警失效、安全联锁失灵、辐射监测仪器故障等问题，立即停止辐照作业，完成维修校验、恢复设备正常功能后方可复工。通过全方位、常态化的安全管控，及时排查整改辐射异常隐患，有效预防人员异常照射、超剂量照射等辐射安全事故。

表 12 辐射安全管理

辐射安全与环境保护管理机构的设置

本项目属于使用II类射线装置，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，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；辐射工作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。

南京中亮有机蔬果食品有限公司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。公司拟为本项目近期配置 1 个班次 8 名辐射工作人员，终期配备 24 名辐射工作人员，其中 1 名人员拟定为辐射防护负责人。新增辐射工作人员均应通过生态环境部培训平台进行学习，其中装置操作人员考核专业为“电子加速器辐照，指定专人兼任的辐射防护负责人需同时考“电子加速器辐照”及“辐射安全管理”2 个科目，考核通过后方可上岗。辐射工作人员及辐射防护负责人持有的辐射安全培训合格证书到期后拟及时参加复训并通过生态环境部培训平台上的线上考核方可再次上岗。

辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》的有关要求，使用放射源和射线装置的单位要“有健全操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，并有完善的辐射事故应急措施”。

公司拟为本项目制定一系列辐射安全管理制度，包括操作规程、岗位职责、辐射安全和防护管理制度、设备维修检修制度、人员培训计划、监测方案等，并在以后的实际工作中对各种管理制度进行补充和完善，使其具有较强的针对性和可操作性。现对其提出相应的建议和要求：

1）操作规程：明确各岗位辐射工作人员的资质条件要求、操作过程中采取的具体防护措施及步骤，重点是工作前的安全检查工作，辐射工作人员佩戴个人剂量计，携

带个人剂量报警仪或检测仪器，避免事故发生。

2）岗位职责：明确管理人员、装置操作人员、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，层层落实。

3）辐射防护和安全保卫制度：根据公司的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度，重点是对电子加速器辐照装置的安全防护和维修要落实到个人。

4）设备检修维护制度：明确电子加速器辐照装置各项安全联锁装置及设施在日常使用过程中维护保养以及发生故障时采取的措施，确保电子加速器辐照装置的辐射安全设施有效地转运。明确定期对电子加速器辐照装置和辐射监测设备进行检查、维护，包括日检查、月检查和半年检查，并建立维修维护记录制度，对运行及维修维护期间进行日志记录；发现问题应及时维修，确保电子加速器辐照装置、安全设施、辐射监测仪器等仪器设备保持良好工作状态。重点是辐射安全联锁装置、剂量报警仪或检测仪器必须保持良好工作状态。

5）人员培训计划和健康管理制度：明确培训对象、内容、周期、方式以及考核的办法等内容，辐射防护负责人等所有辐射工作人员均拟通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台学习辐射安全和防护知识及相关法律法规，辐射工作人员考核类别为“电子加速器辐照”，兼任的辐射防护负责人拟同时通过“电子加速器辐照”及“辐射安全管理”2 个科目考核，考核合格后方可上岗，并强调对培训档案的管理，做到有据可查。公司拟对辐射工作人员开展职业健康监护，定期安排其在有相应资质单位进行职业健康体检，并建立职业健康档案。

6）台账管理制度：建立健全的射线装置使用台账登记制度，并在日常工作中落实到位，对公司电子加速器辐照装置的使用时间、使用工况及使用人员等信息均需记录在台账上，做到有据可查。

7）监测方案：为了确保辐射安全，公司拟制定相应的监测方案，内容包括：

①明确监测项目和频次；

②拟根据辐射工作人员个人剂量监测数据建立个人剂量档案，依据《江苏省辐射污染防治条例》（2026 年修正），在日常检测中发现个人剂量异常的，对有关人员采取保护措施，并在接到监测报告之日起五日内报告发证的生态环境、卫生健康部门调查处理；

③按照有关标准、规范的要求定期对工作场所及周围环境进行监测或者委托有资质的机构进行监测；发现异常情况的，应当立即采取措施，并在一小时内向生态环境主管部门报告。

④根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》规定，本项目属于使用II类射线装置，公司拟对本项目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，年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

8）辐射事故应急预案：成立辐射事故应急指挥小组，明确各小组成员的职责与分工，以及应急事故处理相关的联系方式。定期组织应急人员进行应急演练，在演练过程中发现问题能够及时解决。明确应急人员的组织、培训以及应急救助的装备、资金、物资准备，明确辐射事故分类与应急响应的措施。

辐射监测

1.环境监测方案

南京中亮有机蔬果食品有限公司拟根据本项目特点制定如下辐射监测方案：

1）公司自行对辐射工作场所进行辐射水平监测，并保留记录，监测点位及频次等见下表12-1；

2）委托有资质的单位定期对项目所在场所周围环境X-γ辐射剂量率进行监测，监测点位及频次等见下表12-1；

3）辐射工作人员开展个人剂量监测（1次/季），监测数据异常时，及时进行调查，建立个人剂量档案。

辐射监测计划见表12-1。

表12-1 辐射监测计划一览表

检测对象	检测项目		监测周期	监测点位	控制要求
2台电子加速器辐照装置	周围剂量当量率	委托有资质的单位进行监测	a）验收监测1次； b）每年检测1次； c）发现辐射工作人员个人季度剂量（3个月）可能超过1.25 mSv时检测； d）当电子加速器辐照装置运行参数、屏蔽条	①一层辐照室、二层主机室四周屏蔽体（含迷道门）外30cm人员可达处； ②机房电缆口、通风口外30cm人员可达处； ③辐照中心厂房内一层监督区（辐照中心内控制区以外）人员可达位置； ④二层控制室人员操作位、检测室内人员工作位、二层监督区其他场所；	《电子加速器辐照装置辐射安全和防

			件等发生可能增加环境影响的变化时检测。	⑤共用设备间屋顶上方； ⑥天空反散射至地面人员可达处； ⑦南京源又源食品科技有限公司厂区南侧办公楼以及评价范围内其他环境保护目标处。	护 》（ HJ979-2018）
		建设单位自测	1 次/3 个月		
辐射工作人员	职业性外照射个人剂量	委托有资质的单位进行	1 次/3 个月	/	年有效剂量不超过5mSv

公司拟为本项辐射工作人员（含辐射防护负责人）配备个人剂量计，并组织进行个人剂量监测（1 次/季）和职业健康体检（1 次/2 年），由拟成立的辐射安全与环境保护管理机构负责职业人员个人剂量的收发和管理以及职业健康监护、个人剂量监测档案的存放和保管。

公司拟根据上述监测计划，每年开展年度监测，每次辐照出束进行日常监测，并进行记录。监测结果定期上报生态环境行政主管部门。此外，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，南京中亮有机蔬果食品有限公司属于使用射线装置的单位，应当对本单位的射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前将上一年度的评估报告上传至全国核技术利用辐射安全申报系统。年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

2.监测仪器

根据《粒子电子加速器辐照装置辐射安全与防护规定》中“应根据粒子电子加速器辐照装置类型、能量和使用方式等特点配备相应的辐射监测仪器”。

拟为本项目配备 10 台个人剂量报警仪，每名辐射工作人员各佩戴 1 台、2 台连接每台装置的主控钥匙；本项目拟配备便携式辐射监测仪器 1 台，满足日常巡检及个人剂量报警仪核查需求；拟为每台装置配置 1 套固定式在线剂量监测设备，本项目合计 2 套；拟为本项目每名辐射工作人员配备个人剂量计，公司拟配备的便携式辐射监测仪器每年委托有资质的第三方进行校准，校准合格后方能使用，综上，公司拟配备的辐射监测仪器能够满足工作需求。

辐射事故应急

公司拟根据本核技术利用项目可能发生的辐射事故风险，制定辐射事故应急处理预案，明确人员职责和应急响应措施。按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管

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

1、应急机构和职责分工。明确辐射事故应急领导小组、现场处置组、应急联络组、后勤保障组等组织机构的设置、组成人员及各自职责范围，落实负责人、现场处置人员、联络人员岗位职责，确保事故发生后分工明确、响应迅速、处置到位。

2、应急的具体人员和联系电话。

3、应急人员的组织、培训以及应急救助的装备、资金、物资准备。建立应急人员管理制度，定期开展辐射应急知识、事故处置技能培训与应急演练；配备个人剂量报警仪、便携式辐射监测仪、应急防护用品、应急警示标识等应急物资，落实应急专项经费保障，确保应急装备、物资完好可用。

4、辐射事故分级与应急响应措施。根据国家辐射事故分级标准，明确特别重大、重大、较大、一般辐射事故分级判定标准，结合本项目II类电子加速器辐照装置最大可信事故特点，制定分级对应的预警、停机、断电、人员撤离、现场管控、医学救治等分级应急响应处置流程。

5、辐射事故调查、报告和处理程序。明确事故现场保护、事故原因排查、隐患分析、整改落实等调查处置流程；严格落实辐射事故上报制度，立即向当地公安机关、卫生健康主管部门和生态环境主管部门报告，2 小时内填报《辐射事故初始报告表》等完整报告流程，建立完整事故档案。

6、辐射事故信息公开、公众宣传方案。制定辐射事故信息报送、舆情管控、信息公开管理要求；常态化开展辐射安全、辐射事故应急知识公众宣传与内部科普教育，提升工作人员及周边公众辐射安全认知与应急自救能力。

7、本项目电子加速器特有事故类型及其应急处置措施

2016 年天津滨海北方辐照电子加速器误照射事故，该事故直接原因为操作人员未取得辐射安全考核合格证明、开机前未按规程开展巡检、控制区准入管理失控，维修人员误入辐照室内，被意外照射。本项目电子加速器主要潜在事故类型包括人员误照射、安全联锁失效，同时存在臭氧等辐照副产物积聚、机房电气火灾、冷却水系统故障等风险。

发生误照射事故时，第一时间按下急停按钮、切断加速器高压，封锁机房出入口，及时转移受照人员送往具备放射损伤救治资质的医疗机构救治，同步开展现场辐射水

平监测，同时立即向当地公安机关、卫生健康主管部门和生态环境主管部门报告；联锁发生故障时，严禁旁路、短接安全联锁装置，经检修完成并逐项验证联锁功能合格后方可恢复运行；通风系统故障引发臭氧积聚时，立即停机、组织人员撤离，启动强制排风系统，待气体检测达标后方可进入作业；发生火灾时优先停机断电，在保障辐射安全的前提下开展火情处置。

公司拟根据上述要求及本项目特点制定相应的辐射事故应急方案，拟配备辐射和环境监测等应急物资，每年定期开展应急培训和演练（每年不少于1次），形成记录并保存，使应急人员熟悉事故处置程序，有效执行应急响应、协同配合，以提高辐射事故应急处置能力。公司拟根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》和《江苏省辐射污染防治条例》（2026年修正）等要求，发生辐射事故的，立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，发生辐射事故时，公司应立即启动本单位辐射事故应急方案，采取必要防范措施，在事故发生后立即向当地公安机关、卫生健康主管部门和生态环境主管部门报告，并在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》。

表　结论与建议

结论

一、项目概况

南京中亮有机蔬果食品有限公司位于南京市溧水区白马镇老明路　号。由于发展需要，公司拟将厂区北部成品库房（含北侧　间其他库房）改建为辐照中心，并在辐照中心内新建　座电子加速器辐照装置机房（东侧为　机房、西侧为　机房），并拟于电子加速器辐照装置机房内配备　台　　型电子加速器辐照装置（东侧为　装置、西侧为　装置），单台装置其最大电子能量为　　，最大束流强度为　　，主要用于对食品、鲜果蔬菜、果蔬制品以及各类农产品进行辐照灭菌、保鲜加工。

二、产业政策符合性评价

本项目利用电子加速器辐照装置对农产品进行辐照，对照《产业结构调整指导目录（　　年本）》的相关规定，本项目属于“鼓励类－六、核能　．核技术应用：同位素、电子加速器辐照装置及辐照应用技术开发”，不属于限制类、淘汰类，故本项目符合国家产业政策要求。

三、实践正当性评价

本项目的建设将满足公司对食品、鲜果蔬菜、果蔬制品以及各类农产品等消毒灭菌的需求，提升产品的性能、品质，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，因此，该项目符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（　　）“实践的正当性”原则。

四、项目选址、布局及分区合理性评价

本项目位于南京市溧水区白马镇老明路　号南京中亮有机蔬果食品有限公司厂内辐照中心建筑内，用地性质为工业用地，厂界东侧为住宅楼（含好心情快捷酒店），南侧为白马镇村民民房，西侧为　　省道（宜溧线），北侧临神龙路、隔路为南京源又源食品科技有限公司厂区南侧办公楼　幢。

本项目每台电子加速器辐照装置独立机房，单台检修、故障不会影响另一台，屏蔽互相独立，控制室共用但布置在控制区外侧，工作人员长期居留位置处于监督区，减少职业照射；机房设置在厂区北部辐照中心内部，远离厂区内保护目标；物料进出集中在南侧，北侧为电子加速器辐照装置主机 高屏蔽墙体。故本项目选址合理。公司

内空气电离产生一定量的臭氧和氮氧化物。本项目电子加速器辐照装置机房辐照室内拟安装通风装置，本项目臭氧和氮氧化物可通过排风管道排出辐照室，后经排气筒排放，排气筒高于周围其他建筑物；臭氧在常温下 50min 可自行分解为氧气，对环境影响较小。

本项目电子加速器辐照装置不产生放射性废水；设备配套循环冷却水不与束流部件接触，循环回用、不外排。加速器维修或事故工况下可能外排的冷却水按一般生产废水管理，本项目运行期间辐射工作场所内产生的常规污染物主要为办公过程中产生少量的生活污水和办公垃圾，生活污水经厂内化粪池处理后纳入市政污水管网，生活垃圾分类收集后交由处理站集中处理，对外环境影响较小。

本项目电子加速器辐照装置机房拟配备低噪声风机，风机拟安装于共用控制室上方，机房上方拟建设辐照中心屋顶，公司拟采取基础减振、建筑隔声等措施，降噪后预计能达到 55dB（A）左右，此外，再经过厂区内距离衰减后，本项目低噪声风机的噪声对厂界外声环境影响较小

八、辐射安全措施评价

本项目 2 台电子加速器辐照装置设置的安全联锁功能齐全、性能可靠，可对控制区出入口门、加速器启停、束下装置等实施有效联锁与监控；安全联锁触发停机时可自动切断高压，联锁装置故障状态下加速器无法启动；项目运行期间安全联锁装置禁止旁路，检修维护完成后必须恢复原有功能。共用控制台为每台加速器各配置 1 套独立钥匙开关，合计 2 套独立钥匙控制系统；本项目 2 台加速器共 6 处人员进出口门，配套 6 套门机联锁机构，分别与对应加速器高压出束联锁；6 处进出口配套 6 套防误入系统，分别与对应加速器高压出束联锁；设置束下联锁 2 套，分别与对应加速器高压出束联锁；配套警铃 12 个、三色警示灯 14 个，与对应加速器联锁，同步设置电离辐射警告标志 6 处；2 间辐照室每间设置 6 个巡检按钮，2 间主机室每间设置 3 个巡检按钮，巡检按钮合计 18 个，分别与对应加速器高压出束联锁；每间辐照室内设置 6 个急停拉绳，每间主机室内设置 3 个急停拉绳，控制台单台配套 1 个急停按钮，机房内人员可通过急停拉绳/急停按钮触发停机，快速切断对应加速器高压；配置紧急开门装置 6 个；配套固定式辐射监测系统 2 套，每套含 4 个探测探头，合计 8 个探头，监测仪可实时显示场所剂量率、设置报警阈值并超标报警，监测系统分别与对应辐照室人员门、主机室防护门联锁；辐照室内通风系统设置臭氧浓度联锁，保障室内臭氧等有

害气体浓度满足限值要求；在辐照室内以及机房东、西侧排风管道内设置烟雾报警装置，发生火情时，加速器立即切断高压、停止出束并关停通风系统；为 2 台加速器各配套 1 套视频监控系统，设置 2 台监控显示器，各关键区域共布设 32 个摄像头；在主机室、辐照室及控制室内设置应急照明及疏散逃生指示装置，用于紧急工况下引导人员撤离；通往机房二层平台的楼梯口设置管控人员门，房门钥匙由运行班长保管，防止装置运行期间无关人员进入二层机房区域；辐照中心及辐照材料库房区域设置门禁，限制无关人员进入。本项目拟配置安全联锁功能以及辐射安全防护措施满足 HJ979-2018 中的相关规定，在落实以上措施后，本项目辐射安全措施能够满足辐射安全防护要求。

九、辐射安全管理评价

南京中亮有机蔬果食品有限公司拟设定专门的辐射安全与环境保护管理机构，拟指定专人兼任辐射防护负责人，并以公司内部文件形式明确其管理职责。公司拟制定相应的辐射安全管理制度。本项目拟配备的辐射工作人员及辐射防护负责人在上岗前拟参加并通过辐射安全与防护知识的培训，拟对辐射工作人员进行职业健康监护和个人剂量监测，并建立职业健康档案和个人剂量档案。

十、辐射防护监测仪器评价

拟为本项目配备 10 台个人剂量报警仪，每名辐射工作人员各佩戴 1 台、2 台连接每台装置的主控钥匙；本项目拟配备便携式辐射监测仪器 1 台，满足日常巡检及个人剂量报警仪核查需求；拟为每台装置配置 1 套固定式在线剂量监测设备，本项目合计 2 套；拟为本项目每名辐射工作人员配备个人剂量计，综上，公司拟配备的辐射监测仪器能够满足工作需求。

综上所述，本项目选址及布局合理，拟采取的辐射安全与防护措施适当，在落实本报告提出的各项污染防治措施和管理措施后，该项目的运行对周围环境产生的影响能够符合辐射环境保护的要求，从辐射环境保护角度论证，本项目的建设和运行是可行的。

建议和承诺

1.该项目运行中，辐射工作人员应严格遵守操作规程等辐射安全制度，公司应加强对辐射工作人员的操作技能培训和辐射防护安全的宣教。

2.保证各项安全措施及辐射防护设施正常运行，严格按国家有关规定及要求进行操

作，确保项目运行安全可靠。

3.定期对辐射工作场所进行检查和监测，及时发现并排除事故隐患。

4.取得本项目环境批复后，应及时申领辐射安全许可证，并按《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》的规定，在 3 个月内完成竣工环境保护验收工作，需对环境保护设施进行调试或整改的，验收期限可以适当延期，但最长不超过 12 个月。

辐射污染防治“三同时”措施一览表

项目	“三同时”措施	预期效果	预计投资（万元）
辐射安全管理	管理机构：公司拟设立专门的辐射安全与环境保护管理机构，指定专人兼任辐射防护负责人，并以文件形式明确管理人员职责。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》中使用放射性同位素和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。	/
	管理制度：拟制定操作规程、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、辐射事故应急措施等制度。	满足《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求。	
辐射防护措施	屏蔽措施：本项目电子加速器辐照装置机房辐射屏蔽设计见表 10-1	电子加速器辐照装置机房周围参考点的辐射剂量率均能够满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ 979-2018）中“ 电子辐照装置外人员可达区域屏蔽体外表面 30cm 处及以外区域对周围剂量当量率不能超过 2.5μSv/h”标准要求；同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）剂量限值和本项目管理目标限值的要求：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。	240
辐射安全措施	本项目 2 台电子加速器辐照装置设置的安全联锁功能齐全、性能可靠，可对控制区出入口门、加速器启停、束下装置等实施有效联锁与监控；安全联锁触发停机时可自动切断高压，联锁装置故障状态下加速器无法启动；项目运行期间安全联锁装置禁止旁路，检修维护完成后必须恢复原有功能。共用控制台为每台加速器各配置 1 套独立钥匙开关，合计 2 套独立钥匙控制系统；本项目 2 台加速器共 6 处人员进出口门，配套 6 套门机联锁机构，分别与对应加速器高压出束联锁；6 处进出口配套 6 套防误入系统，分别与对应加速器高压出束联锁；设置束下联锁 2 套，分别与对应加	满足《电子加速器辐照装置辐射安全和防护》（HJ979-2018）关于辐射安全设施的相关要求。	78

	速器高压出束联锁；配套警铃 12 个、三色警示灯 14 个，与对应加速器联锁，同步设置电离辐射警告标志 6 处；2 间辐照室每间设置 6 个巡检按钮，2 间主机室每间设置 3 个巡检按钮，巡检按钮合计 18 个，分别与对应加速器高压出束联锁；每间辐照室内设置 6 个急停拉绳，每间主机室内设置 3 个急停拉绳，控制台单台配套 1 个急停按钮，机房内人员可通过急停拉绳/急停按钮触发停机，快速切断对应加速器高压；配置紧急开门装置 6 个；配套固定式辐射监测系统 2 套，每套含 4 个探测探头，合计 8 个探头，监测仪可实时显示场所剂量率、设置报警阈值并超标报警，监测系统分别与对应辐照室人员门、主机室防护门联锁；辐照室内通风系统设置臭氧浓度联锁，保障室内臭氧等有害气体浓度满足限值要求；在辐照室内以及机房东、西侧排风管道内设置烟雾报警装置，发生火情时，加速器立即切断高压、停止出束并关停通风系统；为 2 台加速器各配套 1 套视频监控系统，设置 2 台监控显示器，各关键区域共布设 32 个摄像头；在主机室、辐照室及控制室内设置应急照明及疏散逃生指示装置，用于紧急工况下引导人员撤离；通往机房二层平台的楼梯口设置管控人员门，房门钥匙由运行班长保管，防止装置运行期间无关人员进入二层机房区域；辐照中心及辐照材料库房区域设置门禁，限制无关人员进入。		
人员配备	从事本项目辐射工作的人员及本项目辐射防护负责人均应通过核技术利用辐射安全与防护考核后方可上岗；其中，辐射工作人员考核专业为 “电子加速器辐照”，辐射防护负责人考核专业为“辐射安全管理”，取得考核合格成绩单后方可上岗。 本项目拟配备的辐射工作人员均拟开展个人剂量监测，送检周期为 3 个月，并拟建立辐射工作人员个人剂量监测档案	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

	本项目拟配备的辐射工作人员均拟进行职业健康体检，职业健康体检包括入职前体检、离职前体检及日常体检，日常体检两次体检的时间间隔不超过 2 年，并拟建立职业健康监护档案		
监测仪器和防护用品	监测仪器：拟为本项目配备 1 台辐射巡测仪及 10 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》对辐射监测仪器的配备要求。	4.5
辐射安全管理制度	公司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、辐照装置使用登记、台账管理制度以及辐射事故应急方案等制度，公司还应根据相关条例、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方案。	/
三废治理措施	1.废气 本项目 2 台电子加速器辐照装置机房辐照室内拟安装通风装置，本项目臭氧和氮氧化物可通过排风管道排出辐照室，后经排气筒排放，排气筒高于周围其他建筑物；臭氧在常温下 50min 可自行分解为氧气，对环境影响较小。 2.废水、固废 本项目电子加速器辐照装置不产生放射性废水；设备配套循环冷却水不与束流部件接触，循环回用、不外排。加速器维修或事故工况下可能外排的冷却水按一般生产废水管理，本项目运行期间辐射工作场所内产生的常规污染物主要为办公过程中产生少量的生活污水和办公垃圾，生活污水经厂内化粪池处理后纳入市政污水管网，生活垃圾分类收集后交由处理站集中处理，对外环境影响较小。 3.噪声 本项目电子加速器辐照装置机房拟配备低噪声风机，风机拟安装于共用设备间上方，机房上方拟建设辐照中心建筑房	满足相关标准中关于三废治理的相关要求。	14

	顶，公司拟采取基础减振、建筑隔声等措施，降噪后预计能达到 55dB（A）左右，此外，再经过厂区内距离衰减后，本项目低噪声风机的噪声对厂界外声环境影响较小		
总计	/	/	336.5

以上污染防治的措施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：   公 章 经办人　　年　月　日
审批意见：   公 章 经办人　　年　月　日