ICS 27.120.30
CCS F 50

T/CS

团 体 标 准

T/CS 011—2025

低能自屏蔽电子加速器

Low energy self-shielding electron accelerator

2025－07－30 发布 2025－07－30 实施

中国商品学会 发 布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　缩略语 1
5　设备组成 1
6　设备参数 3
7　安全要求 4
8　技术要求 4
9　试验方法 5
10　检验规则 7
11　包装、运输和贮存 7

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏久瑞高能电子有限公司提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：江苏久瑞高能电子有限公司、成都奕康真空电子技术有限责任公司、重庆瑞炫橡塑有限公司、南通永华电子有限公司。

本文件主要起草人：曹娟、程永波、杨晓风、玄国哲、王锋锋。

低能自屏蔽电子加速器

1 范围

本文件规定了低能自屏蔽电子加速器的设备组成、设备参数、安全要求、技术要求、试验方法、检验规则、包装、运输和贮存。

本文件适用于低能自屏蔽电子加速器的生产和检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 150（所有部分） 压力容器

GB 5083 生产设备安全卫生设计总则

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 25306—2010 辐射加工用电子加速器工程通用规范

TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

GB/T 25306—2010 界定的术语和定义适用于本文件。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

IO：输入输出（Input/Output）

PLC：可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller）

5 设备组成

5.1 电子加速部分

5.1.1 电源钢筒和加速钢筒

5.1.1.1 电源钢筒与加速钢筒通过高压传输线管道相连，钢筒内应充有压力为（0.45～0.6）MPa 的绝缘气体 SF6，SF6 纯度应不低于 99.99%。

5.1.1.2 在加速钢筒里应设有加速管的管电流输出端子以及电子枪加热控制电缆输出口。在电源钢筒侧面应设有测量、监视气体温度的温度表，顶部应设有安全排气阀。

5.1.2 电子枪

电子枪通过设在加速管顶部的“电子枪阴极”通电加热，产生热电子。由于电子枪阴极有使用寿命，应定期更换电子枪阴极。

5.1.3 加速管

5.1.3.1 加速管由陶瓷和加速电极相互叠层连接而成，其内部和扫描盒及漂移管应连接在一起并保持高真空。

5.1.3.2 在加速管的周围应设有将直流高压的分压电压送给各加速电极的“柱形电阻”，提供用于电子发射、加速的电场。

5.1.4 加速器控制系统

5.1.4.1 主控制器

主控制器由 PLC 和 IO 模块组成，PLC 是整个控制系统的核心部分，执行数据采集并控制加速器设备各项功能，包括：

a) 实时监视加速器及辅助设备各种运行状态，当出现异常故障时自动采取控制措施，并做出相应的故障显示；
b) 满足加速器运行操作要求的各种操作控制功能，包括参数的设置、查询、修改等；
c) 对高压、束流、漏电流、真空等参数进行实时采集并送到上位机进行监控；
d) 对系统设备的逻辑控制、人身安全联锁及保护控制；
e) 对扫描系统进行故障检测并控制系统正常停机或紧急停机；
f) 对系统高压、束流、冷却等及辅助设备的控制。

5.1.4.2 高压控制系统

通过 PLC 的控制信号控制调压器输出电压，直流高压电源输出高压与触摸屏操作画面设定的电压应一致,即接通高压操作开关,PLC 的高压设定信号应按照事先设定的时间函数输出上升高压到设定值。

5.1.4.3 束流控制系统

通过 PLC 的控制信号实现对束流控制系统的控制，通过对电子枪灯丝电压的控制，电子枪灯丝输出电流值应和设置值相同。即当允许引出束流后，PLC 的束流值设定信号输出给束流控制系统，电子枪应按照事先设定的时间函数输出上升的束流。

5.1.4.4 扫描偏转系统

扫描线圈由沿着照射范围长方向进行电子束扫描的“X 扫描线圈”，与其呈直角方向扫描并将通过钛箔的电子束进行分散的“Y 扫描线圈”组成，均应安装在扫描盒顶部的漂移管上。扫描偏转电源由控制柜内的扫描控制电源机箱和扫描控制器提供,分别产生 X 方向扫描的电流波形和 Y 方向扫描的波形。

5.2 安全联锁系统

主要由屏蔽室的防护门联锁、紧急按钮、剂量监测联锁和故障报警指示组成。应具备以下功能：

a) 开机、关机指示；
b) 紧急停机，停机前警灯和警铃报警；
c) 门开关限位联锁和机械鸣锁（由钥匙控制）；
d) 射线泄漏检测联锁；
e) 运行参数检测联锁；
f) 联锁装置支持切断设备高压。

5.3 辅助设备

辅助设备主要包括真空机组、储气罐、排风机、冷却风机和调压器：

a) 真空机组：主要为电子束的产生和传输提供真空，用于维持加速管和扫描盒内的高真空状态，控制系统应设有监测真空度的传感器，在扫描漂移管的一侧设有加速器正常工作时维持真空的机械泵、分子泵、闸板阀和真空硅等；
b) 储气罐：用于高压电源及存储 SF6 气体；
c) 排风机：主要排除辐照室产生的臭氧，排风管道口直径应不小于 315 mm，风量应不小于 2 400 m^3·h，风压应不小于 3 600 Pa，排风机风室应为不锈钢，烟囱应高于附近 10 m 内最高建筑 2 m；
d) 冷却风机：主要对加速器引出窗进行冷却；
e) 调压器：用于为高压电源供电。

6 设备参数

6.1 电气参数

电子加速器的电源参数应符合表 1 的规定。

表 1 电源参数

项目	参数
输入电压	三相四线 AC 380 V，50 Hz
输入电流	180 A
输出电压	负极性 DC 500 kV
输出电流	(0～200）mA
电子枪电流	(0～12)A
电子枪电压	(0～8)V
输出功率	100 kW

6.2 技术参数

电子加速器的基本技术参数应符合表 2 的规定。

表 2 电子加速器基本技术参数

项目	技术参数
额定电压，keV	500
电压调节范围，keV	400～500
高压升压时间，s	＜30
高压升压完毕至电子束出束时间，s	≤60
额定电子束流，mA	150
电子束流调节范围，mA	0～150
电子束长度，mm	1 600
能量不稳定度，%	≤±2（电压上升或下降时除外）
束流不稳定度，%	≤±2
扫描不均匀度，%	≤±5
能量转换效率，%	＞90
设备工作方式	24 h 连续工作
电子枪灯丝使用寿命，h	＞8 000
窗膜使用寿命，h	＞6 000
钛膜与被辐照产品距离，mm	60±5

表2　电子加速器主要技术参数（续）

项目	技术参数
负载工作下的真空度，Pa	优于 8×10^{-4}
泄漏剂量（设备表面 50 mm 处），μSv/h	＜1.5
噪音水平，dB	≤75
辐照产品位置精度（设备入口处位置偏差），mm	≤±10
辐照深度，mm	0.7～1(400 keV～500 keV)
传送速度，m/min	0～80
输出辐照剂量不稳定度，%	≤5
最大束流功率，kW	75
对应扫描宽度最大束流密度，mA/cm	1
故障停机率（在规定条件下），%	≤0.5

7　安全要求

7.1　压力容器应在符合 GB/T 150（所有部分）的前提下制造，应持有国家压力容器产品安全性能监督检验证书。

7.2　为防止电离辐射，设备应采用自屏蔽构造，在设计宜考虑使用钢结构屏蔽方式。在使用铅屏蔽处的设计宜采用钢板包铅的方式，将铅全部密封于钢板内部，避免由于铅外露对环境的污染。

7.3　设备主屏蔽层四周、及顶部宜采用 Q235 材料，材料进出料口宜采用 3 次以上迷宫折射，折射角均应大于 90° 。

7.4　加速钢桶宜采用外设屏蔽罩方式，屏蔽罩宜为钢板包铅结构，铅厚度应大于 10 mm。

7.5　电缆进出线孔、设备进排风口宜采用 3 次以上大角度折射钢铅复合屏蔽结构。

7.6　设备应配置在线辐射安监仪，全方位实时监控设备辐射剂量泄露，当设备工作时辐射泄漏量大于 1.5 μSV/h 时，设备应能自动切断电源，确保安全。

7.7　设备宜随机配置 2 套个人剂量仪，实时监测、记录、报警输出等工作状态时设备周边的辐射量数据。

7.8　设备主体防护门对角处宜配置 4 路安全联锁装置，当其任意一路检测到防护门状态不符合开机要求时，设备应无法开机或紧急停机，并可将相关信息传输至主机，提醒相关工作人员。

7.9　设备正常运行时，主体防护门应无法打开。

7.10　设备应符合相关安全管理办法的规定，安全要求应符合 GB 18871、GB/T 25306—1020、TSG 21 和 GB 5083 的规定。

8　技术要求

8.1　束流能量

应符合表 2 的规定。

8.2　束流强度

束流在（0～150）mA 范围内应连续可调。

8.3　束流功率

应符合表 2 的规定。

8.4　电子束长度

应符合表 2 的规定。

8.5 能量不稳定度

应符合表 2 的规定。

8.6 束流不稳定度

应符合表 2 的规定。

8.7 扫描不均匀度

电子束在扫描范围内的不均匀度应符合表 2 的规定。

8.8 月故障停机率

月故障停机率应小于或等于 0.15%。

8.9 连锁测试

设备的保护回路应工作正常，根据模拟动作、模拟信号，互联互锁应按预期工作，设备操作屏应显示正确。

8.10 电子枪性能

电子枪电气性能应正常，赋予电子枪（0～8）V 电压，电流值应在（0～12）A±2 A 范围内。

8.11 电子束束斑

电子束束斑在扫描窗口中心处短方向、长方向应均在中心，近似圆形，直径（10～20）mm。

8.12 耐压性能

设备经耐电压试验后，应工作正常，真空度不应低于 1.0×10^{-4} Pa。

8.13 自动升压、升束流速度

设备在自动升压及出束过程中所需要的时间要求如下：

a) 升至额定电压：＜30 s；

b) 额定电压至出束：≤30 s。

8.14 连续运行测试

设备在额定条件下开机连续运行 4 h，性能应无异常：

a) 高压波动 ≤±2%（电压上升或下降时除外）；

b) 束流波动 ≤±2%（电压上升或下降时除外）。

8.15 X 射线泄漏量

额定条件下运行，屏蔽室的 X 射线泄漏量应为 0。

8.16 联动测试

将该设备同压延线主机进行通信联动测试，根据相互信号的约定，应得到相应运行动作。

9 试验方法

9.1 束流能量

通过辐照深度测试标签颜色改变与否及变色的深浅程度可判断电子束的辐照深度。

9.2 束流强度

高压电源正极通过保护与测量装置与大地相连，电子束发射后通过设备接地端回到电源正极，通过串联在电源正极与负极之间的电流表，测出电子束流的大小。

9.3 束流功率

实测最大高压值×最大束流值，计算出额定束流功率。

9.4 电子束长度

在引出窗下方放置感光相纸。在选定能量段以 1 mA 的束流辐照 1 min，以辐照产生的电子束轨迹尺寸来确认电子束长度。

9.5 能量不稳定度

额定功率下运行，参数不作调整，连续运行 1 h，每 5 min 记录一次能量指示值。按公式（1）计算能量不稳定度。

$$\frac{E_{max}-E_{min}}{E_{max}+E_{min}} \times 100\% \leq 2\% \cdots\cdots (1)$$

9.6 束流不稳定度

额定功率下运行，参数不作调整，连续运行 1 h，每 5 min 记录一次束流指示值。按公式（2）计算束流不稳定度。

$$\frac{I_{max-I_{min}}}{I_{max}+I_{min}} \times 100\% \leq 2\% \cdots\cdots (1)$$

9.7 扫描不均匀度

电子束引出面不少于 9 根材质相同的铝管均匀排列组成的分布靶，测量扫描宽度内的束流分布。同一时刻各铝棒所输出电流通过采样电阻产生的电压强度 V_0，获得 V_0 的最大值 V_{max} 和最小值 V_{min}，按公式（3）计算：

$$\frac{V_{max}-V_{min}}{V_{max}+V_{min}} \times 100\% \leq 5\% \cdots\cdots (1)$$

9.8 月故障停机率

进行运行时间及故障时间统计。

9.9 连锁测试

输入模拟动作、模拟信号，根据模拟动作、模拟信号，检查互联互锁是否按预期工作，检查设备操作屏有无显示。

9.10 电子枪性能

在电子枪输入部分通电，用仪表测量。

9.11 电子束束斑

在扫描窗口处安装电子束感应纸，利用该纸的感光特性确认电子束束斑的形状。

9.12 耐压性能

赋予设备额定高压的 10% 的过载电压保持 10 min 运行，检查设备工作性能和真空度。

9.13 自动升压、升束流速度

记录设备升压至额定电压及升压后出束时间。

9.14 连续运行测试

额定条件下开机运行 4 h，检查设备工作性能、高压波动和束流波动。

9.15 X 射线泄漏量

在额定条件下开机运行，距离设备表面 100 mm 处使用专用仪器测量。

9.16 联动测试

压延线传动设备同该设备同时采用联动模式，根据相互信号约定检查运行动作。

10 检验规则

10.1 检验条件

检验条件如下：

a) 电子加速器安装调试完成；
b) 辐射防护安全系统安装调试完成；
c) 相关的控制系统安装调试完成；
d) 公用工程、配套工程具备投运条件；
e) 满足环境条件及供电、给水、供气条件；
f) 相关区域具备封闭条件。

10.2 检验分类

电子加速器检验分出厂检验和现场检验，具体如下：

a) 出厂检验：供应商单位进行设备的初步验收，根据技术合同规定的检验项目，按检验大纲逐项进行，检验合格后形成验收文件，双方签字；
b) 现场检验：供应商在安装现场将装置安装调试完成后的交接验收。先进行单机检验，后进行联动检验。根据合同规定的检验项目，按检验大纲逐项进行。检验合格后形成验收文件，双方签字后，及时办理移交手续。若联动检验条件尚未完全具备，则应及时办理单机移交手续。条件具备时，供应商应保证联动检验。

11 包装、运输和贮存

11.1 重要或易损部件应用专门设计的包装箱，保证在运输过程中不受损伤。

11.2 对环境有特殊要求的电子枪等按规定条件运输。

11.3 对贮存环境有特殊要求的部件，按技术要求的环境条件贮存。

11.4 需长期保持真空状态的部件，在贮存期间按技术要求维持真空状态。