ICS 25.180.10
CCS K 61

团　　体　　标　　准

T/CEATEC XXX—2026

等离子体炬阴、阳极组件寿命评定方法

Method for life evaluation of cathode and anode assemblies of plasma torch

（征求意见稿）

2026-XX-XX 发布　　2026-XX-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会　　发　布

目　　次

前　　言 V
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 评定原理 2
5 试验条件 2
5.1 样品要求 2
5.2 试验系统要求 2
5.3 测量仪器要求 2
5.4 试验环境要求 2
6 评定项目 2
6.1 电弧稳定性 2
6.2 冷却系统 3
6.3 电极烧蚀控制 3
6.4 电气性能要求 3
6.5 寿命终点判定要求 3
7 评定方法 3
7.1 试验准备 3
7.2 工况调试 3
7.3 连续寿命试验 3
7.4 烧蚀检测方法 3
7.5 失效判定试验 4
7.6 平行试验 4
8 寿命计算与结果评价 4
8.1 寿命计算方法 4
8.2 评定结论判定 4
8.3 结果溯源资料要求 4
9 试验报告 4
9.1 报告基本信息 4
9.2 试验过程记录 4
9.3 检测与评定结果 4
10 安全要求 5
10.1 总体要求 5
10.2 应急处置 5

10.3 拆装与处置 5
附 录 A 6
A.1 报告基本信息 6
A.2 额定试验工况参数 6
A.3 检测节点记录 7
A.4 评定结果汇总 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。

本文件由提出。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

等离子体炬阴、阳极组件寿命评定方法

1 范围

本文件规定了等离子体炬阴、阳极组件寿命评定的术语和定义、评定原理、试验条件、评定项目、评定方法、寿命计算与结果评价、试验报告及安全要求。

本文件适用于等离子体炬阴、阳极组件额定工况下的寿命评定，可用于冶金、先进材料制备、危废处置、煤粉点火及工业加热等领域的等离子体炬电极组件。不适用于等离子切割、焊接炬电极以及脉冲短时放电等离子体电极组件。

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 5959.1 电热和电磁处理装置的安全 第1部分：通用要求

GB 5959.5 电热装置的安全 第5部分：对等离子体装置的特殊要求

GB/T 10066.5 电热装置的试验方法 第5部分：电热和电化学用等离子体设备

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

等离子体炬 plasma torch

由阴极、阳极、炬体、冷却与供气通道及控制单元等组成，利用电弧放电将工作气体加热、电离并加速，形成高温、高焓等离子体射流的装置。

3.2

阴极组件 cathode assembly

等离子体炬中接电源负极，负责电子发射、引燃并维持等离子体电弧的电极总成，包含发射基体、支撑结构、冷却流道及密封部件。

3.3

阳极组件 anode assembly

等离子体炬中接电源正极，作为电弧收束通道，承受电弧根部烧蚀的电极总成，一般包含阳极喷嘴、冷却腔体、密封连接件。

3.4

额定工况 rated operating condition

等离子体炬在额定电弧电流、额定工作气体流量和额定冷却水流量下的连续运行工况。

3.5

起弧成功率 arc ignition success rate

规定条件下连续起弧试验中，成功起弧次数与起弧总次数之比，以百分数表示。

3.6

非计划熄弧 unintended arc extinction

在规定运行工况下，非因正常操作或程序控制而发生的电弧熄灭。

3.7

电弧电压波动 arc voltage fluctuation

电弧电压在稳定运行过程中围绕其平均值的周期性或非周期性变化，其幅度可用峰—峰值与平均电弧电压之比表征。

3.8

累计有效电弧运行时长 cumulative effective arc operation time

寿命评定中，扣除停机拆解检测、调试与异常中断等非电弧时间后，电弧实际稳定燃烧时间的累计值。

3.9

烧蚀速率 erosion rate

单位时间或单位放电电量内，电极材料因电弧烧蚀而损失的质量。

4 评定原理

4.1 寿命评定以额定工况下累计有效电弧运行时长为表征量，通过在线状态监测与周期性停机检测相结合的方式跟踪阴、阳极组件的烧蚀进程，依据 6.5 所列失效判据判定寿命终点，以触发失效判据时的累计有效电弧运行时长作为组件的评定寿命。

4.2 将评定寿命与产品技术文件规定的寿命保证值进行比较，形成评定结论。

注：电极寿命与电极型式、工作气体种类及运行工况密切相关，因此，本文件不规定统一的寿命限值，寿命保证值由产品技术文件规定。

5 试验条件

5.1 样品要求

受试阴、阳极组件应为量产成品，配套密封件、冷却通道、绝缘件均采用同批次出厂件。试验前应完成外观、尺寸与密封性检验，检验合格后方可开展寿命评定；同时建立受试组件唯一标识，记录原始几何尺寸与表面形貌，留存影像资料及材料出厂检测报告。

5.2 试验系统要求

试验系统包含等离子体电源、供气单元、冷却系统、参数采集单元，整体安全应符合GB 5959.5的规定。试验系统装配完成后应开展水压保压检漏和气路密封性检查。

5.3 测量仪器要求

所有测量仪器应在检定或校准有效期内。电流、电压采集设备准确度等级不低于0.5级。流量、压力、温度传感器准确度等级不低于1.0级；几何尺寸测量设备分辨力不低于0.01 mm。重量测量设备感量不低于0.01 g。

5.4 试验环境要求

试验区域通风良好，环境温度控制在5 ℃～35 ℃，环境相对湿度不大于85%（25 ℃时），试验区域设置高温隔离与漏电防护措施。

6 评定项目

6.1 一般规定

本部分评定项目适用于额定工况寿命试验，也可采用时间压缩测试方法开展加速寿命评定；采用时间压缩测试方法时，应在试验报告中明确压缩系数、加速工况条件，并说明加速等效依据。

6.2 电弧稳定性

额定工况下，电弧应连续稳定燃烧，无频繁断弧、弧根剧烈跳动现象。在任意连续8 h有效电弧运行时间内，非计划熄弧次数不应超过1次；单次连续电弧维持时长符合产品技术文件的规定；寿命评定全程的起弧成功率应符合产品技术文件的规定。

6.3 冷却系统

6.3.1 额定工况运行期间，冷却介质流量、进出口温度、压力保持在产品技术文件规定的范围内，无渗漏、压力突降现象。冷却系统发生异常时应终止试验，该次试验数据无效。

6.3.2 冷却水电导率应保持在产品技术文件规定范围内，试验过程应监测并记录冷却水电导率，当电导率超出规定限值时，应终止试验，该次试验数据无效。

6.4 电极烧蚀控制

在额定工况下累计运行至规定检测节点后，阴极发射端烧蚀凹坑深度、阳极内孔轮廓变形量应符合产品技术文件规定的限值；电极基体不得出现贯穿裂纹、大面积材料剥落。

6.5 电气性能要求

全程电弧电压、电流波动范围应控制在产品技术文件规定的范围内，若出现电压持续漂移、电流异常振荡，应记录异常发生时间，作为失效判定依据。

6.6 寿命终点判定要求

满足下列任一条件，判定组件到达寿命终点：

a) 起弧成功率低于规定值，或额定工况下发生非计划熄弧，无法维持稳定的等离子体射流；
b) 电极烧蚀量达到产品技术文件规定的最大限值；
c) 电极本体出现贯穿裂纹或大面积材料剥落；
d) 冷却回路出现介质泄漏；
e) 电弧电压平均值持续漂移超出产品技术文件规定的允许范围，且经确认非外部条件扰动所致。

7 评定方法

7.1 试验准备

7.1.1 按照受试等离子体炬产品装配规范，将阴、阳极组件安装至试验台，完成气路、冷却水路、电气接线连接。按照 GB 5959.5 的规定开展安全检查，对冷却系统做水压保压检漏，确认无渗漏。检查冷却水的电导率，确认冷却水的电导率满足产品技术文件规定要求后方可启动试验。

7.1.2 采集并记录组件初始尺寸、表面形貌与初始质量，设置数据采集系统，连续记录电弧电压、电流、气体流量、冷却水进出口温度与压力及冷却水电导率。工作气体的纯度及水汽、氧等杂质含量应予记录。

7.2 工况调试

向试验系统通入规定工作气体，启动冷却系统，逐步上调电源输出参数，平稳过渡至额定工况。稳定运行时间不少于30 min，确认电弧状态、冷却参数无异常，方可正式开始寿命计时。调试阶段运行时长不计入累计有效电弧运行时长。

7.3 连续寿命试验

7.3.1 维持额定工况不间断运行，实时监测各项运行参数。

7.3.2 拆机检测的时间间隔由产品技术文件规定；无规定时，单段连续运行时长不宜超过 20 h，时间检测点应覆盖寿命全程且不少于 3 个。阴极烧蚀主要发生在运行初期，首次拆机检测应安排在试验初期进行，其后可根据烧蚀进程逐步延长检测间隔。

7.3.3 按照预先设定的时间节点停机，停机操作按照设备操作规程执行，待组件充分冷却后拆解，开展外观检查、尺寸测量与形貌观测，记录烧蚀状态。完成检测后重新装配，检漏合格后继续开展试验并累计有效电弧运行时长。

7.3.4 每次停机拆解检测操作应尽量减少电极二次损伤，装配参数与初始装配保持一致。

7.4 烧蚀检测方法

7.4.1 外观检查：采用目视和体视显微镜观察，记录电极表面氧化、麻坑、裂纹、材料剥落等状态，

并留存影像资料。

7.4.2　尺寸测量：使用轮廓测量仪、深度规等器具，对阴极发射端烧蚀凹坑深度、阳极内孔关键截面的轮廓与直径进行测量；测量器具应经检定或校准合格。

7.4.3　质量测量：使用感量满足精度要求的的电子天平，在各检测节点称量阴、阳极组件的质量，并计算相对上一节点的质量损失；必要时以单位运行时间或单位放电电量的质量损失表征烧蚀速率。

7.4.4　金相分析：必要时对电极取样进行金相分析，观察基体内部裂纹与热损伤区域。

7.4.5　在线监测：必要时，可通过发射光谱法在线监测电极材料特征谱线的辐射强度，连续跟踪电极烧蚀速率随运行时间的变化，作为停机拆解检测的补充手段。电弧电压波动超出产品技术文件规定的稳定工况范围，可作为电极发生烧蚀劣化的预警信号，应加密拆解检测频次，确认电极烧蚀状态；是否达到寿命终点仍应按照 6.6 的规定进行判定。

7.5　失效判定试验

当监测参数出现异常，或拆解检测发现电极烧蚀量接近规定限值时，应缩短拆机检测间隔并持续观察电弧状态。一旦触发6.5所列任一失效判据，立即停止试验并停止计时，以触发时的累计有效电弧运行时长作为组件的评定寿命。

7.6　平行试验

同型号同批次的阴、阳极组件应至少选取两组分别开展寿命评定试验，每组包含配套的阴极组件与阳极组件。两组试验寿命结果偏差在产品技术文件规定范围内时，取算术平均值作为该型号组件的评定寿命；若偏差超出规定限值20%，应分析试验差异来源，补充重复试验。

8　寿命计算与结果评价

8.1　寿命计算方法

8.1.1　寿命评定结果以累计有效电弧运行时长表示，单位为小时（h），保留一位小数。非电弧工作时间不计入评定寿命。

8.1.2　寿命评定结果按 7.6 规定的规则，取各平行试验评定寿命的算术平均值。

8.2　评定结论判定

评定结论分为合格与不合格。在达到产品技术文件规定的寿命保证值前，未触发6.5所列任一失效判据的，评定为合格；否则评定为不合格。

8.3　结果溯源资料要求

评定结果应说明试验工况、平行试验数量、失效模式，附原始参数曲线、电极形貌照片、尺寸测量与质量测量记录。

9　试验报告

9.1　报告基本信息

报告应包含标准编号、报告编号、试验日期、受试组件型号、批次及出厂编号、材料信息、试验设备信息、仪器检定状态、额定试验工况参数等内容。

注：寿命评定报告格式参见附录A。

9.2　试验过程记录

记录试验全过程运行参数、启停事件及异常现象与发生时间，记录各阶段电极外观、尺寸、烧蚀检测数据。

9.3　检测与评定结果

写明寿命终点判定情况、评定寿命结果与评定结论；载明试验人员、审核人员的签字及日期。

10　安全要求

10.1　总体要求

试验全过程应遵守GB 5959.5的规定。高压、高温、高速射流区域应设置隔离防护，试验人员应配备防护用品。

10.2　应急处置

出现冷却系统故障、漏气或漏电时，应立即停机，切断电源和气源，待系统降温、泄压后方可处置。

10.3　拆装与处置

拆解高温电极组件前，应充分冷却，防止烫伤。废旧电极应按材料类别和危险废物管理的有关规定处置。

附 录 A

（资料性）

寿命评定报告格式

A.1 等离子体炬阴、阳极组件寿命评定报告参考表 A.1～表 A.4 给出的格式编制。

A.1.1 报告基本信息

表 A.1 寿命评定报告基本信息

项目	内容
报告编号	
试验日期	
试验地点	
受试组件名称与型号	
批次与出厂编号	
组件材料信息	
等离子体电源（型号、额定输出）	
供气单元	
冷却系统	
数据采集系统	
测量仪器及检定/校准状态	
委托单位/试验单位	

A.1.2 额定试验工况参数

表 A.2 额定试验工况参数

项目	规定值	实测值
工作气体种类及流量		
额定电弧电流		
额定功率		
冷却水流量		
冷却水进口温度		

项目	规定值	实测值
冷却水出口温度		
冷却水压力		
工作气体纯度（水汽、氧等杂质含量）		

A.1.3 检测节点记录

表 A.3 各检测节点试验与烧蚀检测记录

检测节点序号	累计有效电弧运行时长/h	电弧电压平均值及波动	外观与形貌观测	尺寸测量结果	质量损失/g	异常现象及处置
1						
2						
……						

A.1.4 评定结果汇总

表 A.4 评定结果汇总

项目	结果
平行试验组数	
各组评定寿命/h	
评定寿命（算术平均值）/h	
寿命终点判定情况	
失效模式	
评定结论	
溯源资料清单	
试验人员及日期	
审核人员及日期	