T/CSEE

团 体 标 准

发 布

中国电机工程学会

20XX-XX-XX实施

20XX-XX-XX发布

电力作业用纤维增强复合材料空心圆杆 轴向弯曲与工频耐受电压组合试验方法

Fiber reinforced composite hollow circular rod for power operation -combined test method of axial bending and AC withstand voltage

（征求意见稿）

T/CSEE

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。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会输电线路专业标准委员会技术归口和解释。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1 号，100761，网址：http：//www.csee.org.cn，邮箱：cseebz@csee.org.cn）

电力作业用纤维增强复合材料空心圆杆 轴向弯曲与工频耐受电压组合试验方法

1. 范围

本文件规定了电力作业用纤维增强复合材料空心圆杆轴向弯曲与工频耐受电压组合试验的试样制备、试验设备、试验步骤、试验结果处理等内容。

本文件适用于壁厚（t）范围（2.0～6.0）mm、直径（Φ）范围（20.0～70.0）mm的电力作业用纤维增强复合材料空心圆杆，测试其在实际使用场景下的机械 - 电气联合工作性能。

1. 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。

IEC 60060:1 高电压试验技术 第 1 部分：一般定义及试验要求

1. 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

1. 试验条件

试验应在实验室条件下进行，实验室的温度和湿度应满足相关要求。其中，测温系统显示值的最大允许误差控制在±2℃，湿度测量系统显示值的最大允许误差控制在±5% RH。

试样宜在实验室条件下静置24小时后进行测试。如需延长静置时间，应通过供需双方协商后决定。

1. 试验装置
	1. 弯曲试验装置要求

本文件涉及的弯曲试验装置适用于三点弯曲试验，由液压控制单元、力值测量单元、支架、加载块和支撑块等构成，应符合以下要求：

1. 液压控制单元具备输出（10～100）mm/min 的试验加载速率，并可均匀、平稳地对试样施加力值。
2. 力值测量单元的力值测量准确度等级不低于1.0级。
3. 支架的有效试验空间能够满足试验过程中试样的变形。
4. 加载块和支撑块都被设计成可以绕轴心旋转的圆盘状，且圆盘径向呈内弧。
	1. 工频耐受电压装置要求

本文件涉及的工频耐受电压装置应符合以下要求：

1. 交流电源与供电装置输出电压范围一般覆盖被测设备额定电压的 0%~120%（可调），频率稳定度通常≤±0.5Hz，波形失真度通常≤5%（正弦波）。
2. 电压表/电流表的精度等级一般选择≥0.5级，量程通常覆盖被测值的120%。
3. 红外测温仪的精度一般取±1%或±1℃（以较大值为准），适用于非接触式表面温度监测。
4. 为防止设备损坏，过流/过压保护的动作时间通常≤0.1s、保护精度±5%。
5. 漏电保护的动作电流通常≤30mA、响应时间≤0.03s。
6. 数据采集系统的通道数宜≥16路、采样速率≥1kHz，支持实时数据存储与曲线生成。
	1. 其他关键仪器要求
7. 关键仪器指标可参考表1，或由供需双方协商确定。
	1. 关键仪器指标参考表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **设备类型** | **测量参数** | **精度要求** | **应用场景** |
| 电压表/电流表 | 电压/电流 | ±0.5%FS | 耐压试验 |
| 温度传感器 | 温度 | ±0.5℃（0～100℃） | 环境试验 |
| 耐压测试仪 | 试验电压/泄漏电流 | 电压±3%，电流±5% | 耐压试验 |

* 1. 工装夹具要求

本文件涉及的工装夹具应符合以下要求：

1. 夹具采用铜或铜合金（导电率≥97% IACS），表面镀银/镀镍，接触电阻≤50μΩ。可调节夹持力，适配不同规格导线，防止接触不良导致发热。
2. 支持被测设备尺寸范围：长度0~500mm，宽度0~300mm，高度0~200mm（可定制扩展）。
3. 夹持方式宜采用/气动可调，压力范围0~100N，确保被测件固定稳固。
4. 夹具金属部件需可靠接地，接地电阻≤0.1Ω，防止静电积累与漏电风险。
5. 暴露于潮湿环境的夹具表面需做防锈处理（如镀锌、镀铬），盐雾试验后无锈蚀。
6. 高压试验区域需设置联锁装置，试验电压＞1000V时需配备绝缘围栏与警示标识。
	1. 试验装置功能检查

试验装置应定期进行功能检查和校准，以确保其性能符合试验要求。检查和校准的周期和方法可由供需双方协商确定，或按照相关标准执行。

1. 试验方法
	1. 试品的准备
		1. 试样制备

从同一批次中随机抽取12根杆件，并制备成长度为L=（400+50D）±10mm的试样，其中L为试样长度，D为杆件类直径。6根用于弯曲测试（破坏载荷和挠度）、3根用于轴向弯曲载荷与工频电压联合测试，余下的3根则保留作为备用。

试样表面应圆整、光洁、平滑、色泽一致，不应有目力可见的缺陷，如明显的划痕、压痕、干纱和单根凸起等，并不应有与良好商品不相称的任何缺陷。

以恰当的方法去除试验品两端出口处的内外径边缘毛刺。使用无水乙醇擦拭试样表面，以去除油脂和灰尘；让其自然晾干，避免使用压缩空气或加热干燥。

* + 1. 尺寸检查

用千分尺或游标卡尺等量具（精度0.02mm）测量每一根杆的外径。在一根试样上任选一处横截面，对其三个外径进行测量；汇总每根试样的3组外径值，然后计算所有试样的外径值的平均值，作为后续计算的R值，数值修约到0.2mm。

用游标卡尺测量杆的壁厚。任选杆一端部，测量其横截面上的壁厚，计算三个测量值的平均值，数值修约到0.2mm。

* 1. 试验步骤
		1. 破坏载荷值预试

将试样放置在试验支架上的两个支撑块上，调整两个支撑块之间的距离，使其满足间距为50D，并且让试样两端向外延伸对称长度200mm。

将加载块安置在试样跨距中央，并施加一垂直向下的力。以 10mm/min 的试验加载速率逐渐加力，直至试样发生开裂或破坏，以力值测量单元显示的最大力值为破坏载荷$F\_{01}$。

再取另两根试样，重复上述步骤，记录每一试样的破坏载荷F值（共3组破坏载荷值：$F\_{01}$/$F\_{02}$/$F\_{03}$）。

本试验取3根试样，取3组破坏载荷值的平均值作为试样破坏基值$F\_{0}$，数值修约到0.5。

* + 1. 挠度预试

将试样放置在试验支架上的两个支撑块上，调整两个支撑块之间的距离，使其满足间距为 50D，并且让试样两端向外延伸对称长度200mm。

将加载块安置在试样跨距中央，施加一垂直向下的力，在试样中间底部安装位移传感器。

以20mm/min的试验加载速率逐渐加力，至荷载为0.25$F\_{0}$，保存1min，然后逐渐减小力，并在卸除力1min后，测量试样挠度 $f\_{01（0.25）}$。

将试样转动120°和240°，重复上述试验，记录每一次的$f\_{01}$值，并取平均值（如$f\_{01（0.25）}$），数值修约到0.5mm。

重复以上步骤，对上述试样分别进行0.5$F\_{0}$ 和0.75$F\_{0}$载荷作用下的挠度测试，并记录每一次的$f\_{01}$值，并取平均值（如$f\_{01（0.25）}$、$f\_{01（0.75）}$），数值修约到0.5mm。

再取另两根试样，重复试验，记录每一次的f值。

本试验取3根试样，合计27组挠度值，对各载荷值对应的挠度取平均值得到3组值，分别是：$f\_{0.25F}$、$f\_{0.50F}$、$f\_{0.75F}$，数值修约到0.5mm。

* + 1. 轴向弯曲与工频耐受电压组合试验

将试样放置在试验支架上的两个支撑块上，调整两个支撑块之间的距离，使其满足间距为 50D，并且让试样两端向外延伸对称长度200mm。

将加载块安置在试样跨距中央，施加一垂直向下的力；在试样中间底部安装位移传感器；并将电极安装在试样中间两侧各150mm处。

以 20mm/min 的试验加载速率逐渐加力，挠度至$f\_{0.50F}$，保存1min，然后按IEC 60060:1 要求施加电压至100kV。

继续以20mm/min 的试验加载速率逐渐加力，挠度至$f\_{0.75F}$，也可以继续加载，期间观察泄流电流变化。

若试验过程中，试样出现破坏现象，导致泄流电流明显变化，记录破坏时的力值和变形量。

当加载的力值到达额定载荷$F\_{0}$，泄流电流未发生明显变化时，无需再用肉眼观察试样；可在卸载1min后，记录试样的永久变形量。

整个测试过程中，必须保证测试电压稳定输出，并保证数据采集设备能够同步记录杆件的力学荷载、电压及泄露电流数据。

* + 1. 外观检查

试验前后应对试样进行外观检查，记录试样表面是否有裂纹、破损、变形等缺陷。

1. 判定准则

若试样在轴向弯曲与工频耐受电压组合试验过程中，未出现破坏现象（泄流电流无明显变化），且在加载到额定载荷$F\_{0}$卸载后，永久变形量在规定范围内（可由供需双方协商确定），则判定该试样合格。

若试样在试验过程中出现破坏现象（泄流电流明显变化），则判定该试样不合格。

1. 试验报告

试验报告应至少包含以下内容：

1. 试验名称、试验日期、试验地点；
2. 试样的基本信息，包括批次、数量、尺寸（长度、直径、壁厚）等；
3. 试验设备的型号、编号及校准情况；
4. 试验条件，包括实验室温度、湿度、试样静置时间等；
5. 试验过程中记录的数据，包括破坏载荷值、挠度值、电压、泄流电流、破坏时的力值和变形量（若有）、永久变形量（若有）等；
6. 试样的外观检查结果；
7. 试验结果判定；
8. 试验人员、审核人员签字。

**━━━━━━━━━━━**