

[绝缘子]

机械疲劳对空心支柱绝缘子密封性影响研究

文/江苏神马电力股份有限公司 刘超 方江 倪桂炎 蔡薛军 孙略 刘闯

以内填充标准大气压氮气的空心支柱复合绝缘子为研究对象，开展了1 000次的弯曲疲劳试验；通过对比疲劳试验前后的产品密封性和微水含量，研究了机械疲劳对产品密封性能的影响。试验结果表明，试验前后微水含量基本未改变，弯曲疲劳试验不会影响空心支柱绝缘子产品的密封性能。

支柱绝缘子在电力系统中主要用作导电体和接地体之间的电气绝缘以及机械支撑和固定连接，广泛应用于母线、隔离开关、平波电抗器、滤波电容塔、阀塔及输电塔横担等输变电设备，有着绝缘强度和机械强度的双重技术要求，同时还要承受外界温湿度环境以及恶劣气候的影响，其性能的可靠性直接关系到电力系统的安全可靠运行。

目前采用复合外绝缘的支柱绝缘子存在以下几种技术路线：①瓷绝缘子上涂覆室温硫化硅橡胶（RTV）涂料；②瓷芯复合支柱绝缘子（即伞裙）采用硅橡胶，芯棒选用瓷质绝缘子；③实心复合支柱绝缘子，即采用复合材料实心芯体；④空心复合绝缘子填充固体绝缘介质；⑤空心复合绝缘子填充压力气体。后三种的外绝缘伞套均采用硅橡胶材料。上述几种技术路线从长期生产制造和工程应用的实践来看，存在着诸如材质的先天性缺陷、生产工艺和质量控制的复杂性以及运行监测和维护的工作量大等诸多不足之处，所以在复合支柱绝缘子上急需导入新技术和新设计，实现产品的更新换代，更好地服务于电网的建设和发展。

基于以上原因，江苏神马电力股份有限公司从材质选型、结构设计、工艺实现、生产制造、品质控制、运输安装以及运行维护的全流程角度出发，开发新型“常压空心支柱复合绝缘子”，为电网提供结构更简单、性能更可靠、经济性更优异及全寿

命周期免监测免维护的新一代支柱绝缘子产品。

常压空心支柱复合绝缘子内部填充一个标准大气压的干燥氮气，作为其内绝缘材料。该产品的关键在于通过可靠的密封结构控制内部微水含量，使其不对内绝缘性能产生影响。支柱绝缘子在长期运行过程中，承受着压缩和弯曲等机械荷载。特别是当上部法兰受到弯曲荷载时，下部法兰胶装区域的应力较为集中，产品密封结构面临着机械疲劳的影响。因此，有必要研究弯曲机械疲劳对产品密封结构及其性能的影响。

试品计划

1. 试品准备

常压空心支柱复合绝缘子主要包括玻璃钢筒、硅橡胶外护套、伞裙、两端法兰、密封结构和逆止阀。玻璃钢筒是支柱绝缘子的核心部件，其材料为玻纤增强型环氧管，起到机械支撑和电气绝缘的作用，产品机械负荷主要由其承受；硅橡胶外护套的作用是保护内部玻璃钢筒不受外界天气及电气蚀损老化作用的影响，同时提供防污所需要的爬电距离；两端法兰作为金属连接件主要作用是传递扭矩，同时与密封结构共同为产品内部气腔提供密封保障；逆止阀主要用于出厂前的密封性试验及微水试验。

为了验证机械疲劳对产品密封性能的影响，

需要准备正常规格的常压空心支柱复合绝缘子试品。该试品玻璃钢筒内径为345 mm、外径为378 mm，外护套伞裙最大外径为538 mm，产品总长度为2 445 mm。其中，气嘴位于下法兰侧面。常压空心支柱复合绝缘子示意图如图1所示。

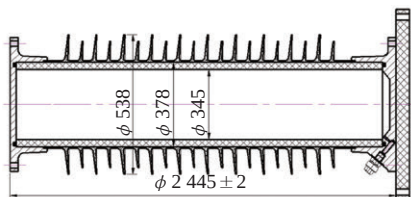


图1 常压空心支柱复合绝缘子示意图

2. 密封性试验与微水测量

根据IEC 62772标准相关要求，对于采用气体作为内绝缘材料的空心支柱绝缘子，需要进行气体密封性试验。因此，机械疲劳试验前也需要对产品密封性进行试验；同时，为了更直观地比较疲劳试验对微水含量的影响，试验前也需要测量产品内部的微水含量。

机械疲劳试验

1. 试验布置

考虑到产品运行过程中主要受到弯曲负荷的影响，故进行弯曲疲劳试验。绝缘子试品的疲劳试验通过立式抗弯试验机进行施加载荷，底部法兰固定在抗弯试验机的封板上，上端加载杆与绝缘子试品顶部法兰垂直相抵。同时，对于支柱绝缘子而言，在顶部法兰受到弯曲载荷时，底部法兰应力最为集中，为密封结构薄弱处。因此，通过加湿器产生高温气体，并用塑料袋将产品包扎密封，使得底部法兰暴露在高湿度的环境中，模拟现场实际的恶劣运行环境。塑料袋内放置温湿度仪，可以记录试验过程中实际的温湿度条件，整体试验布置如图2所示。

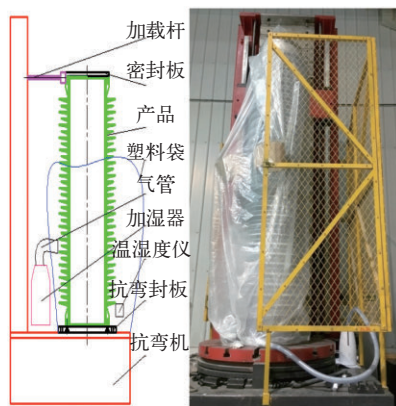


图2 弯曲疲劳试验布置图

2. 试验过程与结果测量

常压空心支柱绝缘子进行弯曲疲劳试验时，可以参考GB/T 21429—2008《户外和户内电气设备用空心复合绝缘子定义、试验方法、接受准则和设计推荐》中的试验方法。弯曲负荷应在30 s内从零平稳地增加到最大机械载荷（20 kN）。当达到最大机械载荷时保持30 s，再从20 kN平稳降低到零，间隔10 s后重复该加载过程。整个试验过程共重复1 000次，单次弯曲试验过程的加载如图3所示。

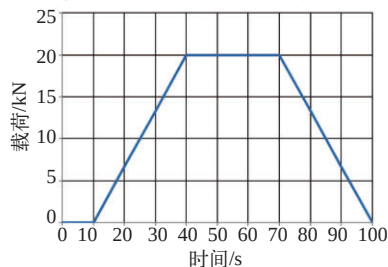


图3 弯曲疲劳试验单周期荷载图

试验结束后，对产品外观进行检测，检查结果未发现可见损伤。测量产品内部微水含量，机械疲劳后的检测微水值为 $529.4 \times 10^{-4}\%$ ，修正到20℃时微水值为 $804 \times 10^{-4}\%$ ；与试验前测量数据相比，微水含量仅增加了 $30 \times 10^{-4}\%$ 。考虑到设备的测量误差和测量过程中其他环境因素的干扰，可以认为试验前后产品内部微水含量未发生改变，即产品的密封性能未受到影响。

为了对密封性能未受到影响进行辅证，对疲劳试验后的产品进行了密封性试验。根据GB — 198911023《高压开关设备六氟化硫气体密封试验导则》中的局部包扎法，对产品开展密封性试验，经计算得到疲劳试验后的年泄漏率仍低于0.1%，较试验前未发生改变。

结束语

本文以内充标准大气压干燥氮气的常压空心支柱复合绝缘子为研究对象，开展1 000次弯曲疲劳试验对其密封结构及密封性能进行了研究。通过对比试验前后产品的气体年泄漏率和微水含量变化，可以得出以下结论：

1) 1 000次20 kN下的弯曲机械疲劳试验，未对产品底部法兰及其密封区域造成可见的损伤。

2) 机械疲劳试验未对产品密封性能产生影响，产品的气体年泄漏率和微水含量指标在试验前后未发生改变。EA

（收稿日期：2018.05.22）

（编辑：朱金凤）