

[电连接]

表带触指在高压电器中的应用

文/史陶比尔（杭州）精密机械电子有限公司 郑成利

表带触指是经特殊成型的弹性连接元件，已实际应用超过50年，是大电流、高插拔寿命和严苛工况应用的极佳选择。表带触指适用于高压电器的各种电连接，广泛应用于高压开关、断路器、套管及母线等。

高压电器在运行过程中，电连接的稳定性是非常关键的，而表带触指作为电连接器的应用已经十分成熟了，其被广泛应用在组合电器、断路器、变压器、开关柜和气体绝缘母线等电气产品。在输配电行业中，电连接必须具备三个特征：安全、高效和稳定，表带触指极小的发热功率、极小的接触电阻和稳定均匀的接触力能保证一个优良的电连接。本次结合实际的设计需求及经验，简单介绍一下表带触指的技术原理和典型应用。

电连接常见问题及分析

电连接主要的失效机理为接触不良，其表现出来的形式大致为接触电阻值增大或接触电阻值飘移不定。电接触不良会导致产品出现异常的发热量超出国标所规定的温升允许值，进而影响产品的绝缘能力，甚至短路情况的发生。市面上常见的触指类型有表带触指、弹簧触指、梅花触指和自力型触指等。一般造成接触不良的现象及可能原因如表1所示。

因此，一个可靠有效的电连接对于电力设备及电力系统都是十分关键的，选择合适的触指方

案同样也是十分必要的。

表1 电接触不良成因

不良现象	可能原因
导体表面腐蚀	导体在存放或运输过程中镀银层长期裸露
导体被划伤，银层大面积脱落	接触滑动力过大或者镀银附着力不够
触指安装槽或配合尺寸设计不合理	触指的应用设计经验单一，想当然的借用
触指变形或者断裂	导体的插入导向不够，导致触指塑性变形
触指应力疲劳，接触力不够	触指回弹力不够

表带触指技术介绍

1. 接触理论

电连接是指通过机械力实现导体之间电能传输连接方式。然而，该机械力作用产生的接触面（表面接触区域）并不等于用于负载电流的有效接触面。金属表面的污染层包括灰层、油膜和金属化合物，使有效接触面积远远小于表面接触面积，电流通道集中在单个接触点，从而导致接触电阻增大。也就是说，看似面与面的连接，其实是点与点的连接，如图1所示。

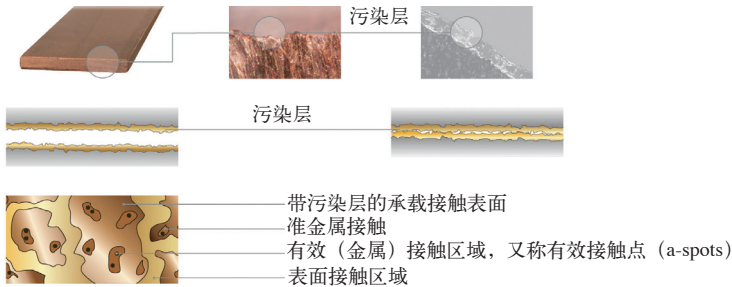


图1 有效接触区域与表面接触区域

2. 表带触指技术

MULTILAM技术，也称为表带触指技术，即在两个接触面之间建立平行接触点，并且提供一定的接触力，可以破坏污染层，实现有效的电连接。每一个接触页片形成独立的弹性负载回路，通过一圈若干回路的并联，能大大减少导体之间的接触电阻。根据给定的每一个表带页片的接触

力、几何结构、弹性特征以及表面材质的属性，可以比较准确地计算出接触电阻。

MULTILAM的接触电阻 R_i 相当于并联连接的接触页片的电阻。每一个接触页片的几何形状均为实现长久的工作寿命而设计。页片恒定的弹性压力可以使接触界面之间的连接保持稳定，从而实现恒定的低电阻。如图2、图3所示。

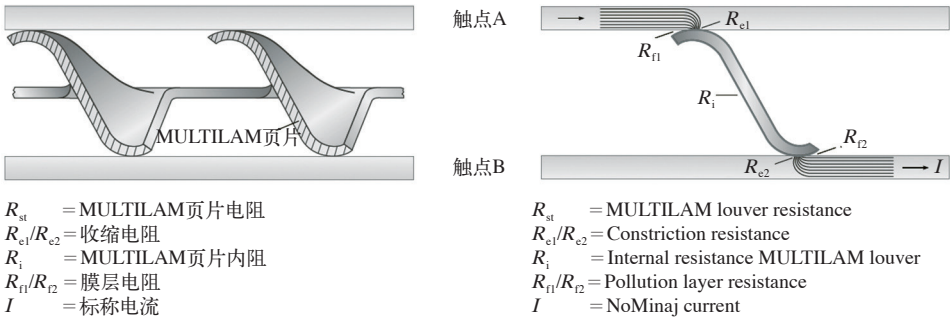


图2 表带触指原理

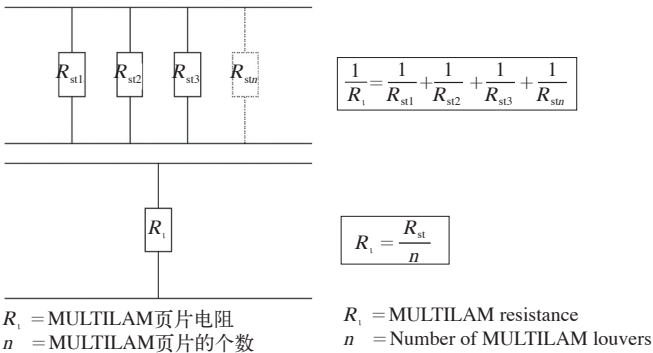


图3 表带接触电阻计算

3. 表带触指的优势

表带触指技术从20世纪60年代初面市，迄今已有超过半个世纪的成功应用经验。它已经成为满足严苛需求应用的绝佳选择：能够在对温度、振动

和冲击有严格要求的环境下安全运行；大电流，非常适合高压开关高负荷的要求；高插拔次数，能够完全满足开关的寿命实验要求。相比弹簧触指，表带触指的优势集中在以下方面，如表2中所示。

表2 表带触指vs弹簧触指

	表带触指	弹簧触指
开槽尺寸	≤2.3 mm，表带安装槽浅，材料利用率高	>8 mm，开槽尺寸较深，占用较大通流截面积
接触电阻	更低 表带骨架为不锈钢，具有良好机械性能，可以保证稳定的接触力；叶片为纯铜，电阻率低，进而保证稳定且低的接触电阻	多次插拔后，由于铜合金的疲劳变形，引起接触力变小，接触电阻增大
稳定性	更高	插拔时，弹簧可能有轴向自旋转，从而引起接触电阻不稳定

4. 表带触指技术趋势

小型化设计是GIS未来发展的趋势，表带触指技术也在适应这种变化，往紧凑型方向发展。史陶比尔新近推出的ML-CUX表带触指，采用创新型的双组分结构，拥有卓越的额定电流和短时耐受能力，安装空间较小，实现了高功率密度的紧凑型连接，可以有效降低设备的总体拥有成本。

如图4所示。



图4 ML-CUX表带触指

典型应用举例

1. 断路器

应用条件：断路器灭弧室内的压气缸和气室滑动连接（注：气缸外径120 mm）。

解决方案：1条LA-CU表带。

电气参数：额定电流4 000 A，短路电流50 kA/4 s，峰值电流125 kA。

机械参数：操作寿命M2等级1万次（滑动行程合计2.4 km）表带在断路器中的应用如图5所示。

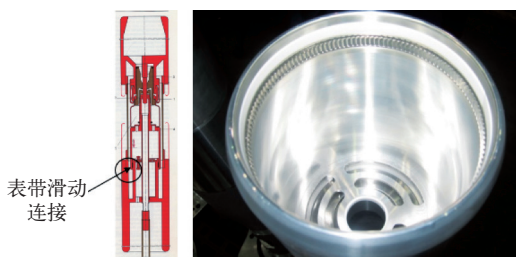


图5 表带在断路器中的应用

2. 隔离开关

应用条件：隔离开关动触头和动触头座的滑动连接，动触头与静触头座的插拔连接（注：动触头外径80 mm）。

解决方案：1条LA-CUD表带。

电气参数：额定电流4 000 A，短路电流40 kA/4 s，峰值电流100 kA。

机械参数：操作寿命M2等级1万次（滑动行程合计2.2 km）。

表带在隔离开关中的应用如图6所示。

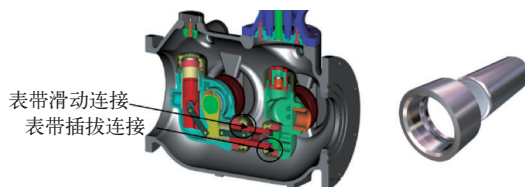


图6 表带在隔离开关中的应用

3. 母线/套管

应用条件：管母线与触头座之间的静连接（注：触头座内径85 mm）。

解决方案：1条ML-CUX表带。

电气参数：额定电流4 000 A，短路电流50 kA/4 s，峰值电流125 kA。

机械参数：满足安装大容差要求（注：轴套配合间隙一般为2.4 mm）。

表带在母线中的应用如图7所示。

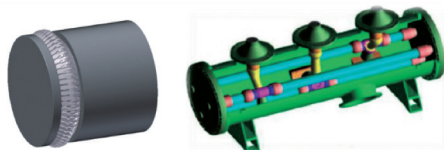


图7 表带在母线中的应用

结束语

本文主要介绍了接触理论及表带触指的技术特点，以及其在高压电器典型部件中的成功应用案例。表带触指可以根据高压电器的各种尺寸进行定制化选型，满足客户对产品结构设计多样性的需求。EA

（收稿日期：2019.09.01）

（编辑：朱金凤）

