[接触电阻]

矩形母线接触电阻影响因素分析

文/郑州航空工业管理学院　刘顺新
许继集团有限公司　潘良胜　张　杰

使用矩形铜母线作为试样，通过试验重点对接触压力以及接触面积对矩形母线接触电阻的影响进行了详细的分析。

在高压开关柜断路器的工作过程中，电接触不良会影响正常导电，增大电能的损耗；同时可能发生触头的严重损坏或因电弧熔焊导致开关柜无法正常工作。电接触的好坏主要反映在接触电阻上，应该努力采取一切措施，降低接触电阻；这也符合节能减排的潮流。

接触电阻组成

1．母线导体电阻的组成

母线导体电阻分为两大部分：①导体本身的固有阻值：与导体的结构，电导率关系较大。②连接部位的接触电阻：接触电阻敏感性很大，影响接触电阻的原因也较多，如连接方式、接触压力、接触形式接触面的镀层质量等，本文主要对接触电阻进行分析。

2．接触电阻的本质

互相接触的两导体之间，在接触面会形成额外的电阻增量，这个电阻增量就称为接触电阻R_j。接触电阻R_j由收缩电阻R_s和膜电阻R_m两部分组成。

（1）收缩电阻

两个导体元件的接触，不管接触面在宏观上是如何精密合缝，在微观上总是体现为少数点之间的真正接触，真正的电流通路只在有限的点上。前者称为视在接触面，后者称为实际接触点。电流线从整个导体截面向实际接触点收缩，引起额外的电阻增量，这个电阻增量就叫做收缩电阻。

（2）膜电阻

除了因电流收缩引起的电阻增量外，由于接触点上导体表面氧化膜、硫化膜、油膜、水膜及尘埃等的存在，改变了电流通路中的位势分布，影响自由电子的运动，也会引入一个额外的电阻增量，这个电阻增量称为膜电阻。

影响因素分析

从接触电阻的产生原因可以知道，影响接触电阻的因素主要有：导体材料性质、接触压力、接触形式、接触面的平整度及温度等。

1．材料性质

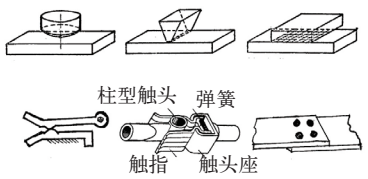
影响接触电阻的材料性质主要有电阻率ρ和硬度HB。

2．接触压力

接触压力对接触电阻有着至关重要的影响,在接触面处或导电件与接触面压力有关的弹性变形区域的弹性变形范围内，接触压力愈大，接触电阻会愈小。接触压力达到一定值后，电阻趋于稳定，因此过大的接触压力也没有必要，尤其对于可分合接触，无益而有害。

3．接触形式

各种电接触按接触形式可简单地概括为三类，如图1所示。



（a）点接触　（b）线接触　（c）面接触

图1　接触形式

1）点接触。多半是球面与平面之间或球面与圆弧面间的接触。从几何角度开看，两面接触于

基金项目：河南省科技攻关项目（102102210144）。

一点，但实际上是一个小面积中有多个接触点。多用于对接式触头（真空断路器触头除外），尤其在低压开关电器或继电器中，因接触压力小而采取点接触可获得较小的接触电阻。

2）线接触。圆柱面与平面、圆柱面与平行圆柱面、高压断路器玫瑰式触头等，广泛用于高压开关电器的可动接触中。

3）面接触。沿较宽阔表面发生的接触，如母线与线端的连接，刀闸隔离开关在闭合位置时动静触片间的接触。在大压力时，面接触的接触电阻较低。当压力达到一定值后，三种接触形式的接触电阻差别不大，多用于固定连接。

4．接触面的加工质量及温升

接触表面平整度的情况由于会影响接触点数的多少，故对接触电阻的大小有一定的影响，但并非愈光滑愈好，光滑表面的接触电阻较稳定一些，但可能比相对粗糙的要大些。一般接触面处的表面粗糙度对大中负荷的开关而言达 1.6 mm就足够了，有时用锉刀修平即可。面接触则要求表面的平整度较好。

接触点处的温升显然对接触点处的电阻变化是有影响的，因为除膜电阻外，接触电阻本质上仍是金属电阻，是温度的函数。此外，接触点处温度的增高可加剧氧化膜的生长变厚，使膜电阻增加。

实验设计

1．系统组成

本系统由以下几部分组成：压力机、回路电阻测试仪、测试电极安装夹具、测试平台、测试电极和试样。压力机提供精确的压力控制，回路电阻测试仪用于测量材料的表面接触电阻，测试电极安装夹具主要用于实现测试电极与压力机的连接，电极用来对试样加压，并作为微欧计进行电阻测试的传感器。测试平台本身绝缘，供摆放试样。测试平台具有浮动就位功能，能自动调整测试电极表面与测试件表面的相对位置，以确保电极与被测材料表面的充分接触。

2．测试电极及其连接方式

本系统测试电极设计参照美军标MIL－DTL－83528C，采用四电极法进行表面接触电阻的测试。测试电极连接方式如图2所示。

图2中所使用的回路电阻测试仪，采用瑞典堡伽码公司生产的MOM200测试仪，输出电流定为直流100 A，测试精度1 mΩ；压力机为济南时代试金仪器有限公司TLS－S弹簧拉力机，图中被测件有上下两个铜导体组成，其中暗红色为上下两个导体接触部分，*d*为接触距离大小，本次实验使用15 cm和10 cm，做一对比。

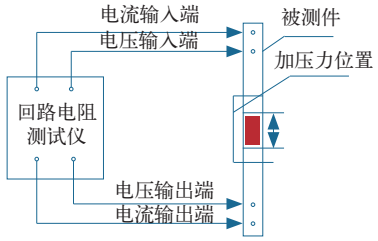


图2　实验电路图

选择的试样是铜矩形母线，试样尺寸为长60 mm、厚度4 mm，两个母线接触位置分别打上麻点。在试验条件下对两个矩形母线不同压力下的表面接触电阻进行了测试。

试验数据分析

由试验结果可以看到，在一定的压力范围内，材料表面的接触电阻随压力的增加快速下降，而后表面电阻随压力的变化曲线会出现拐点。当压强超过一定数值时，表面接触电阻的变化逐渐趋于平缓、稳定。表面接触电阻随压力的变化，两者之间成指数关系。试验中矩形母线的本征电阻10 cm为8.7 μΩ，接触距离每增加10 cm，两母线重叠部分增加10 cm，等效为两母线长度之和减少10 cm即本征电阻应减小为8.7 μΩ。

结束语

通过对材料表面接触电阻的研究，可以得出以下结论：母线的表面接触电阻随压力的变化曲线都存在一个共同的趋势。在压力小于其拐点压力时，电阻随压力增加而下降很快；当压力大于拐点时，一般为1 000 N。电阻随压力变化而逐渐趋于平缓，最终稳定在一定的范围内。拐点电压是材料的固有属性，是由材料本身的电性能所决定的，可作为判定材料电性能的一个重要参数。同时材料表面接触电阻趋于稳定的拐点压力，可作为临界压力。试验结果表明，在临界压力下，接触距离增加10 cm，导体电阻应减少8.7 μΩ；但试验显示接触电阻只减少了4.5 μΩ，未来需要在临界压力下接触距离的改变对母线电阻的影响这个方向上进一步研究，找到最经济的接触距离。**EA**

（收稿日期：2018.06.18）

（编辑：白文亭）