

弹簧触头设计(II)

张正周, 黎 斌

(陕西维柯瑞电气有限责任公司, 陕西 西安 701168)

摘要: 为了使弹簧触头结构的设计制造更加标准和规范, 笔者对近两年来弹簧触头在使用中出现的接触电阻波动等问题的原因进行了分析, 提出了相应的结构设计方法, 对钴铜丝和铍青铜的材质性能进行了比对和分析, 并给出了弹簧触头设计的规范化方案, 对 GCB/GIS 的设计、制造、运行维护有一定的指导意义。

关键词: 弹簧触头; 接触电阻; 接触应力; 触头结构

中图分类号: TM56

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)03-0070-03

Design of Spring Contact(II)

ZHANG Zheng-zhou, LI Bin

(Shannxi Victory Electric Co. Ltd., Xi'an 710077, China)

Abstract: To make the design and manufacture of the spring contact more standardized, the authors analyzes the causes of such problem as contact resistance fluctuation of the spring contact in use, and proposes a corresponding structure design method of spring contact. Comparison and analysis are performed for the properties of cobalt bronze and beryllium bronze, and a standardized design scheme of spring contact is presented, in order to support the design, manufacture, operation and maintenance of GCB/GIS.

Key words: spring contact; contact resistance; contact stress; contact structure

0 引言

近年来, 结构简单、性能可靠的弹簧触头在 GCB/GIS 产品中广泛应用, 它简化了产品的电接触设计, 提高了电接触可靠性, 受到 GCB/GIS 制造行业和电站运行人员的关注。由于制造行业对这种触头结构设计和制作经验不足, 导致某些产品在工厂组装试验或电站安装调试时出现接触电阻忽大忽小的波动现象, 分析其原因并寻找相应的对策是当务之急。相关实验证明, 导电性能比铍青铜更好的钴青铜丝为弹簧触头的推广使用创造了条件, 但如何使钴青铜丝弹簧触头的性能更加优越, 还需要对其设计、工艺、制造等技术做进一步研究。目前弹簧触头放置位置多样, 相关尺寸的设计方法也没有规范和明确, 给弹簧触头制造、使用和质量控制带来了不便。因此, 必须对弹簧触头进行规范化和标准化设计。

1 弹簧触头接触电阻波动的原因及对策

弹簧触头的接触电阻, 涉及触头结构的设计、加工工艺及材质等多种因素。笔者将针对几个主要因

素进行分析, 并给出了一些防止触头接触电阻波动的对策和措施, 供交流与探讨。

1.1 定位杆(套)的影响

通常弹簧触头设计在触头座的沟槽内(少数是套在动触头的槽内)。当动触头(或导电杆、母线等件)插入后, 动触头中心必须设置定位杆(或在触头座内设置定位套), 以保证动触头与弹簧触头同心。插入后弹簧触头四周每圈压缩变形量每个接触点的接触压力相同, 是保证弹簧触头接触电阻稳定的首要条件。有些设计没有定位杆, 接触不稳定必然会导致接触电阻的波动。

定位杆(套)的设计和使用能有效地防止电动力引起导电杆的偏心摆动, 可保证弹簧触头的电动稳定性。定位杆(套)的单边配合间隙宜取 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}^{[1]}$ 。

1.2 触头座沟槽形状的影响

依据形状的不同, 可将触头座的沟槽形式分为 5 种, 见图 1。每种形状的沟槽, 都有其自身的性能特点。从每个接触点接触压力分布的均衡性和接触稳定性考虑, 第③种沟槽较好; 从加工质量的可控性考虑, 第③种也不错。其他形状的沟槽形状不同时具备

以上3个优点,其中有的存在接触不可靠的隐患,如第②、④种沟槽,当导电杆(动触头)插入后,动触头左右窜动或抽出后重新插入,都可能引起左右两个接触点的接触压力的改变,进而引起接触电阻的波动。第①种圆弧形沟槽接触点位置和接触压力都有随机性,导电杆插入后的轴向窜动或径向不大的位移都有可能引起电阻的波动。

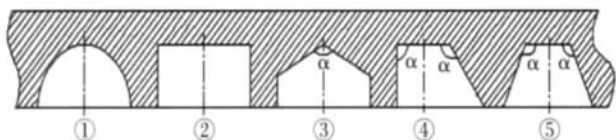


图1 触头座沟槽形状

为保持电接触的稳定性,弹簧触头沟槽设计的标准化,推荐使用第③种槽形。槽的有关尺寸设计可参见文[1,2]。

1.3 弹簧触头单圈压缩变形量的影响

在合理的压变量范围内,对于某种有确定压变量的触头,压变量大小不会引起接触电阻的波动。试验及使用经验得出合理的范围是:铍青铜丝弹簧触头的压变量宜取1.5~2.5 mm,钴铜丝弹簧触头的弹性较铍青铜丝的弹性要差,弹簧触头的压变量宜取1~1.5 mm。如果压变量超过上限、工作应力太大,弹簧会发生塑性变形,进入塑性变形区后接触压力将出现不稳定现象,接触电阻会波动。

1.4 弹簧触头并圈的影响

一定结构的弹簧触头,压缩量有极限值,超过该极限值时弹簧会并紧;当压缩量适合时,若弹簧圈数太多也会使弹簧并紧,同时此弹簧圈数也有极限值 n_m 。

当压缩量或圈数超过极值时,动触头不能插入,弹簧触头无法工作。

当压缩量或圈数很接近极值时,动触头可插入,但弹簧触头可能处于临界工作状态(亦部分弹簧处于并聚的随机波动状态),由于动触头的运动、拔出与插入,运输颠簸都会引起接触压力及接触电阻的波动。

不仅如此,当短路电流通过时,即使设置有触头定位杆,当圈数与压变量设计不当处于并紧临界状态时,由电动力引起的触头震动也会导致触头接触不良产生电弧而烧熔。某些设计不当的产品在短时耐受电流试验中发生过这种现象。

1.5 弹簧触头材质的工艺影响

铍青铜丝和钴铜丝材质(化学成分、机械特性)的变化和热处理工艺的变化也会导致接触压力和接触电阻的变化,同样的热处理对不同材质也会产生不同的结果。弹簧绕好后,淬火硬度的控制以及回火去应力的效果一旦超出正常的范围,都可能导致接触压力的不稳定,接触电阻的波动是不可避免的。弹

簧触头制造厂严格控制铜丝材质和热处理工艺对保证触头的电接触性能十分重要。

1.6 弹簧触头品种繁多的影响

目前,弹簧触头设计不规范,铜丝线径 d_0 规格太多、弹簧直径 d 规格太多、弹簧倾斜角 α_1 及圈高 h_1 多种多样。设计不规范、品种太多太杂,不仅工装多不宜安排规模化生产导致成本增加,还造成热处理工艺管理不便,甚至造成弹性失控。因此,从稳定性和降低成本考虑,简化弹簧触头品种进行标准化设计是十分必要的。

2 对不同材质的弹簧触头导电性能应进行研究

研究弹簧触头的接触电阻和通流能力,对于弹簧触头的设计和推广使用十分必要。文[1]中的表8-5给出了铍青铜弹簧触头在不同压缩变形量时每圈的接触电阻。经热处理后的铍青铜导电率为29%~34%,通过对部分产品的温升试验、短时耐受电流试验和峰值耐受电流试验进行总结,得出了额定电流密度许用值 $[j_r]=5\sim6\text{ A/mm}^2$ 和短时耐受电流密度许用值 $[j_k]=100\text{ A/mm}^2$ (通流时间3~4 s)。

钴铜导电率 $\rho=60\%$,比铍青铜高一倍,这将使钴铜触头中触点接触电阻降低;但钴铜弹性不如铍青铜,触点接触压力较低,这又会导致钴铜触头的接触电阻增大。因此镀银后的钴铜弹簧触头每圈接触电阻与铍青铜触头相比,可能变化不大,对此应进行研究试验。

令铍青铜允许电流密度为 $[j_{v_1}]$ 和 $[j_{k_1}]$, 钴铜为 $[j_{v_2}]$ 和 $[j_{k_2}]$, 导电率 $\rho_2=2\rho_1$, 由热量平衡式

$$\frac{j_{v_1}^2}{\rho_1} = \frac{j_{v_2}^2}{\rho_2}, j_{v_2}^2 = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times j_{v_1}^2$$

得钴青铜

$$[j_{v_2}] = \sqrt{2} j_{v_1} \approx 7 \sim 8\text{ A/mm}^2$$

$$[j_{k_2}] = \sqrt{2} j_{k_1} \approx 140\text{ A/mm}^2$$

钴青铜的允许电流密度也需要通过相应的试验来验证。

钴铜丝因弹性比铍青铜差,因此允许的工作应力较低,允许的触头变形量也较少,建议取1~1.5 mm。允许的变形量极值,也需要试验研究来决定。

3 装于轴槽中的弹簧触头结构设计

文[1]中第8.5.3节分析了套槽中的弹簧触头结构设计计算方法。产品试验证明,文[1]中叙述的设计计算方法是可行的。当弹簧触头置于轴(导电杆、活塞)上时,其结构见图2,各参量的计算方法为:

已知:套(气缸、触头座)内径 D_1 、套与轴单边间隙 δ_1 (0.1~0.2 mm)、压缩量 f 、 d_0 、 d 、 h_1 。

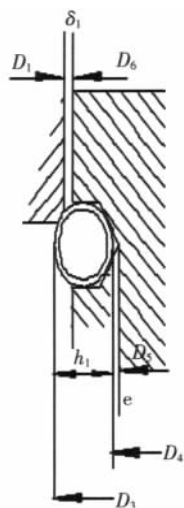


图2 弹簧触头置于轴上时的结构

分析:弹簧触头装入轴(活塞)后外径为 D_3

$$D_3 = D_1 + 2f \quad (1)$$

$$D_5 = D_3 - 2h_1 - 2e = (D_1 + 2f) - 2h_1 - 2e \quad (2)$$

($e = 0.041d$ 参见文[1,2])

$$D_4 = D_5 + 2e = D_1 + 2f - 2h_1 \quad (3)$$

$$D_6 = D_1 - 2\delta_1 \quad (4)$$

弹簧压紧时的极限圈数

$$n_m = \frac{\pi D_4}{d_0} \times \frac{h_1 - f}{d + 0.5d_0} = \frac{\pi (D_1 + 2f - 2h_1)}{d_0} \times \frac{h_1 - f}{d + 0.5d_0} \quad (5)$$

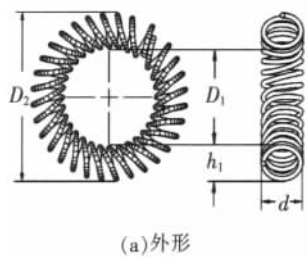
4 弹簧触头安装位置的选择

从工作特性考虑,弹簧放于套(触头座、气缸等)的槽中和放于轴(动触头、活塞等)的槽中,没什么不同。但是,从加工和尺寸检测考虑,槽置于轴上更方便。在运动的滑动接触中,弹簧触头处于静止状态时,相对运动状态更为可靠。

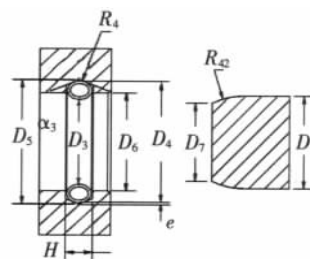
5 弹簧触头标准化设计

从方便制造、稳定质量、降低成本和提高运行可靠性方面考虑,弹簧触头实行标准化设计是十分必要的。

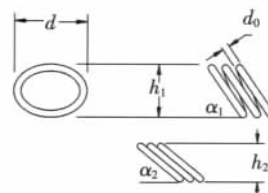
(1)弹簧触头的形状和基本尺寸参数固定4种,分别见图3与表1。其他形状、尺寸的弹簧触头希望向表1靠拢。



(a)外形



(b)装配 B型弹簧触头



(c)并圈

图3 弹簧触头的形状和结构

表1 弹簧触头基本尺寸

型号	d_0 /mm	d /mm	h_1 /mm	$\alpha_1/(\circ)$	长期工作电流/A(推荐值)
A	0.8	9.5	8.5	63	<630
B	1.0	11.7	10.0	59	630~1 000
C	1.2	11.7	10.0	59	1 250~2 500
D	1.5	12.7	10.5	56	3 150~6 300

(2)沟槽设计。使用经验表明:图1中第3种沟槽工作特性较稳定,可作为弹簧触头的标准槽形推广使用。沟槽基本尺寸和形状见表2。

表2 沟槽形状及基本尺寸

型号	d_0 /mm	d /mm	h_1 /mm	$\alpha_1/(\circ)$	沟槽形状及基本尺寸
A	0.8	9.5	11	135	
B	1.0	11.7	13		
C	1.2	11.7	13		
D	1.5	12.7	14		

轴上: $D_5 = D_1 + 2f - 2h_1 - 2 \times 0.041d$
套上: $D_5 = D_1 - 2f + 2h_1 + 2 \times 0.041d$

6 结语

笔者全面分析了定位杆(套)、沟槽形状、弹簧压变量、圈数、触头材质和工艺以及弹簧触头品种对接电阻波动的影响。对导电性能优良的钴铜触头的电气性能提出了研究试验课题。指出对弹簧触头进行规范化设计和制造已是当务之急,并提出了弹簧参数、沟槽形状的标准化设计方案,在此也希望使用弹簧触头的断路器生产厂家大力配合与支持。

参考文献:

- [1] 黎斌. SF₆ 高压电器设计(第2版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [2] 黎斌, 张正周. 弹簧触头的设计[J]. 高压电器, 2007, 43(5): 358-360.