

长寿命真空灭弧室的设计与制造

张玉珍, 王文静, 曹小军

(陕西宝光真空电器股份有限公司, 陕西 宝鸡 721006)

Design and Manufacture of Longevity Vacuum Interrupter

ZHANG Yu-zhen, WANG Wen-jing, CAO Xiao-jun

(Shaanxi Baoguang Vacuum Electric Device Co. Ltd., Baoji 721006, China)

摘要:通过对真空灭弧室的结构优化、波纹管的设计和制造工艺、屏蔽筒的固定方式以及灭弧室装配工艺等影响灭弧室机械寿命的因素进行分析、研究,在此基础上重点对波纹管的结构、材质、加工工艺、表面处理、焊接方式以及灭弧室设计中存在的失效隐患加以改进,并将改进后的研究成果应用在TD14A-12/1600-31.5C真空灭弧室上,配合ZN28-12K/T1250-31.5断路器在开距11mm下顺利完成10万次机械寿命试验,达到了预期的目的。

关键词:真空灭弧室;机械寿命;波纹管;长寿命

中图分类号: TM561.2

文献标识码: B

Abstract: In this paper, the factors influencing the mechanical endurance of vacuum interrupter (VI), such as optimization of the structure, design and manufacture technology of bellows, fixing methods of shielding tube, and assembling technology of VI etc. are analyzed. The bellows is improved in several aspects, the structure, material, manufacturing technology, external treatment, and welding method. Besides, the defects in VI design are also advanced. The results are used in TD14A-12/1600-31.5C vacuum interrupter, and the VI has passed 100000 times mechanical endurance test successfully.

Key words: vacuum interrupter; mechanical endurance; bellows; Longevity

0 引言

真空灭弧室的机械寿命不仅取决于灭弧室本身的性能,而且还和与之相配的断路器和开关的机械运动特性,包括开距、分合闸速度、断路器本身的其它性能密切相关。笔者仅从灭弧室的设计和制造角度出发,提出如何提高灭弧室的机械寿命。

将TD14A-12/1600-31.5C真空灭弧室作为研

究对象,其主要配用于ZN28,ZN63,ZN65,ZN68等真空断路器。通过对其设计结构和制造工艺进行充分优化,将其配用于ZN28-12K/T1250-31.5断路器进行试验,机械寿命达到10万次。

1 真空灭弧室设计结构的优化

1.1 TD14A-12/1600-31.5C真空灭弧室整体结构特点

该灭弧室采用一节陶瓷绝缘外壳、中间悬挂式屏蔽筒、杯状复合电极结构。陶瓷绝缘外壳与不锈钢动、静盖板之间采用无氧铜过渡封接;屏蔽筒采用旋压固定方式;灭弧室内部其余金属零件之间均采用AgCu焊料钎焊而成。

1.2 波纹管的优化设计

灭弧室的机械寿命之所以较难提高,主要是波纹管的寿命所限制,所以重点对波纹管进行优化。通过对过去灭弧室寿命试验得到的失效波纹管解剖,发现波纹管破坏的波纹基本集中在两端,往往在靠近端口第1,2波的波谷处。这是由于波纹管在外力作用下受到反复的拉伸和压缩,而且更重要的是靠近端口的第1,2波最先受到冲击力的作用,加之波纹管具有弹性后效性和弹性滞后性(玻璃灭弧室由于外壳透明,试验时可以看到疏密波的传递现象)^[1],因此最先受到冲击力的波纹承受更大的力,最先破坏的往往在靠近端口第1,2波波谷处。

做波纹管设计计算时,往往理想地认为波纹管每个波的最大单波位移是相同的,因此会有一些偏差。考虑这一点,长寿命波纹管设计时一定要注意单波应具有足够的抗疲劳能力^[2],特别是波纹管两端第1,2波处抗疲劳能力更应增加。基于这种思想,对波纹管做了如下改进:

收稿日期:2006-03-23

作者简介:张玉珍(1970-),女,工程师,从事真空灭弧室设计和工艺工作。

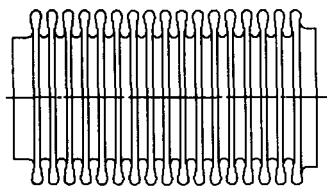


图1 波纹管

(1)波形改为标准的“S”型,并且增大 r 。将波峰处的 R 和波谷处的 r 设计成相同的结构尺寸。而原来波纹管波峰处的 R 是波谷处的2倍,改进以后使波谷处的 r 加大,有利于提高单波波谷处的抗疲劳强度。

(2)将波谷 r 的增大,使得波距较原来略有增加。

(3)将壁厚适当减少。其原因是波距基本不变的情况下波谷 r 增大引起的。

(4)根据波纹管单波最大位移以及灭弧室使用的实际开距,选择适当的波数。

(5)调整波纹管的壁厚。原 (0.16 ± 0.02) mm改为 (0.18 ± 0.01) mm。考虑波谷与波峰处的厚度差,以及波纹管工艺处理过程中酸洗对壁厚的损失,若采用 (0.16 ± 0.02) mm,则最薄处0.15 mm也较难保证。因此对波纹管的壁厚做了调整。

(6)采用冷挤工艺加工的整体导电杆。这样提高了导电杆本身的机械强度,还有利于整管形位公差的保证;同时封排时可将动管芯拉起来焊接,保证波纹管处焊接的可靠性。

1.3 真空灭弧室结构的优化设计

(1)屏蔽筒固定方式的可靠性设计

灭弧室采用旋压固定方式,方法是将屏蔽筒装入瓷壳后,采用旋压模具将屏蔽筒的一端翻卷,用卡环卡在卷边里来固定屏蔽筒,见图2。该方法简单、易操作、成本低。但首次试验进行到3万次时屏蔽筒掉,解剖灭弧室发现屏蔽筒卷边沿圆周一圈断裂,仔细分析发现是在多次冲击力作用下卡环将屏蔽筒割裂。通过对卡环做结构优化,并将卡环与屏蔽筒接触部位倒圆,改进后再未出现问题。

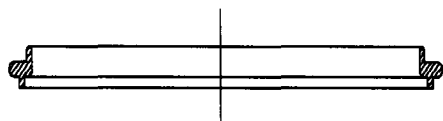


图2 卡环

(2)设计合适的波纹管与动导电杆之间的间隙。由于波纹管壁薄且为弹性元件,在运动过程中容易产生晃动,间隙过小会与动导电杆之间产生摩擦;同时动导电杆作为导流元件,因发热而使其温度较高,如果与波纹管间隙较小,对波纹管的寿命不利。因此波纹管与动导电杆之间应该有足够的间隙,一般应该不小于2 mm。

(3)波纹管保护罩的设计。真空灭弧室设计时一

般都有波纹管保护罩,用以防止真空电弧溅散在波纹管上,而且往往还具有均匀电场分布的作用。随着真空灭弧室小型化要求越来越高,一般波纹管与保护罩之间的间隙较小,如果灭弧室保护罩较长时,波纹管在运动过程中因晃动而容易与保护罩产生摩擦,致使在多次合分操作后可能导致波纹管破裂,在试验初期就发生了这样的问题。应将波纹管保护罩适当减短,只须遮住1~2个波峰即可。

2 长寿命波纹管的制造

2.1 长寿命波纹管需满足的条件

波纹管的外观质量及外形尺寸必须符合设计要求,且波纹管的表面不允许存在划伤、垫坑、裂纹、颜色明显不均以及明显的成型印等影响波纹管使用寿命的缺陷存在。

波纹管的壁厚必须保证均匀,波形保证为S型;晶粒度保证在7~8级;波纹管的波形要均匀、光滑、不允许波形歪斜;同时必须保证波纹管的刚度、气密性及疲劳寿命。

2.2 长寿命波纹管的加工

①材料:选用含碳小于0.08%的1Cr18Ni9Ti不锈钢薄壁管,管坯表面不允许存在起皮、螺旋、划伤、发纹等影响使用的缺陷;②旋压:对不锈钢薄壁管采用两次旋压。第1次采用少量快速旋压。一方面将不锈钢薄壁管壁厚矫正均匀;另一方面,避免大旋压量而导致材料加工硬化。第2次旋压采用慢速旋压直接旋至设计尺寸,保证表面粗糙度达到Ra1.6;③退火:退火温度选为 (1050 ± 50) °C,保温10~15 min,保证晶粒度达到8级;④成型:选成型压力 (50 ± 5) kN。压力太大,容易使管坯爆裂;压力太小,达不到所要求的波形;⑤定型:采用专用定型模具,波形保证纯“S”型;整个加工过程要轻拿轻放,防止管坯或波纹管表面划伤、磕碰、压(垫)伤。

2.3 长寿命波纹管的表面处理

(1)表面处理

采用通用工艺进行清洗,但清洗时间不得超过3 min,并采取有效措施防止在清洗的过程中产生磕碰;清洗后的波纹管要充分冲洗并及时电镀,保证电镀层的厚度要求;波纹管电镀时将波纹管挂于渡槽中央,并要经常移动挂具,使镀层均匀,防止产生气泡;电镀后的波纹管要充分超声冲洗,烘干,不得残留酸液;按照通用工艺进行烧氢处理,烧氢后表面色泽正常、无起层、发黄、镍杂及窝气现象。

(2)对表面处理波纹管的的要求

①电镀:电镀的波纹管必须保证平均 (10 ± 2) μm的镀层厚度;②清洗:波纹管必须采用喷淋冲洗干净、不允许残留酸液;③运输:波纹管在运输过程中不允许表面无磕碰、变形;④退火:烧氢后的波纹管

表面不允许发黄、存在镍杂及窝气。

3 长寿命灭弧室的装配

3.1 由原来的两次进炉改为一次进炉

波纹管原来是随动管芯钎焊的,在封排时波纹管再次进炉承受 800℃左右的高温,使材料晶粒进一步长大;同时波纹管多次进炉也会增大其表面氧化程度,影响波纹管的疲劳寿命。

3.2 用模具将动端拉开焊接。

将动管芯拉开焊接,使得波纹管端口在受力状态下钎焊,确保焊接质量;同时保证动触头不会将静触头压偏;另外还易于保证动管芯与动端导向套固定环端面垂直,有利于保证灭弧室自身的形位公差,如果灭弧室形位公差较差时,断路器机械运动往往将波纹管拉得歪斜,使其端口局部严重受力,从而影响波纹管寿命。因此采用合理的装配模具和装配工艺非常重要。

4 结语

(1)按照新的灭弧室设计结构,采用合理的加工工艺生产的 TD14A-12/1600-31.5C 真空灭弧

室,配合 ZN28-12K/T1250-31.5 断路器顺利完成了 10 万次的机械寿命试验(注:每一万次机械寿命试验更换一台弹簧机构)。

(2)波纹管设计为标准的“S”型结构,增大波谷处的 r,确保波纹管的单波具有足够的抗疲劳能力;选择合适的波纹管壁厚和波数等,对提高波纹管的抗疲劳强度非常重要。

(3)采用合理的波纹管制造工艺,是提高波纹管机械寿命的保证。

(4)合理的真空灭弧室装配工艺是保证真空灭弧室可靠性的关键。同时也有效地保证了各零件焊接的可靠性、气密性,以及部件、整管的形位公差等。

(5)断路器本身的性能对灭弧室机械寿命的影响也至关重要,关于这一点还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 孙国玉. 真空开关管中波纹管使用寿命影响因素的分析 [J]. 真空电器技术, 1992(2): 15-16.
- [2] 王季梅. 真空灭弧室设计、制造及其应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1986.

(上接第 309 页)

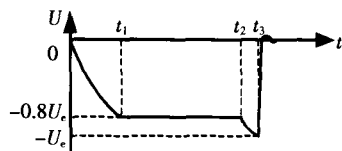


图9 高压输出电压波形

式中: ΔU_m 为电压测量最大绝对误差; U_m 为电压指示量程。输出电流指示精度为:

$$a_i\% = \frac{\Delta I_m}{I_m} \cdot 100\% < 1 \text{ 级}$$

式中: ΔI_m 为电流测量最大绝对误差, I_m 为电流指示量程。纹波系数为:

$$\gamma = \frac{U_{\sim}(\max)}{U_0} \leq 0.5\%$$

式中: $U_{\sim}(\max)$ 为输出最大纹波电压; U_0 为额定输出直流电压。由于采用了半导体冷却技术,样机在-10~40℃环境温度中可连续工作。

6 结语

运用单片机加 CPLD 的架构对高压直流发生器进行了研制。得出如下结论:①单片机和 CPLD 具有很强的互补性,基于单片机和 CPLD 架构的开关电源

模式代表了电源技术的发展方向。②采用计算机仿真技术,对方案的可行性作出指导,可节约开发周期。③小型化直流高压发生器体积小、重量轻、无噪音,非常适合现场电力设备的直流耐压试验。所研制的样机完全符合设计要求,性能稳定可靠,目前运行良好。

参考文献:

- [1] 黄镜明, 姚宗干. 高电压试验技术 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
- [2] 张仁豫, 陈昌渔, 王昌长. 高电压试验技术 (第2版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [3] 卢毅, 赖杰. VHDL与数字电路设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [4] 姜立东. VHDL语言程序设计及应用 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.
- [5] 潘琢金. C8051F高速单片机原理及应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [6] 高新华. 智能直流高压发生器 [J]. 电力设备, 2005, 6(3): 56-58.
- [7] 曹祁. Modbus协议在数据采集仪中的实现 [J]. 机电工程, 2004, 21(6): 49-50.
- [8] 阮新波, 严仰光. 直流开关电源的软开关技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.