

薄板结构弹簧操动机构结构优化

吴小钊, 赵洪柏, 郑晓果, 张文凯, 李 鹏

(许昌许继德理施尔电气有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 结合设计制造薄板结构弹簧操动机构的实践经验, 论述了薄板结构弹簧操动机构设计制造中有效的结构优化方法, 并提供了一些具体应用案例。简单的结构优化方法, 可以达到较为理想的设计和应用目的, 能够有效促进薄板结构在弹簧操动机构中的应用。

关键词: 弹簧操动机构; 薄板结构; 优化设计

中图分类号: TM591

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2014)03-0120-05

Structure Optimization of the Spring Operating Mechanism with Sheet Structure

WU Xiaozhao, ZHAO Hongbai, ZHENG Xiaoguo, ZHANG Wenkai, LI Peng

(XJ-Driescher Wegberg Electric Co., Ltd., Henan Xuchang 461000, China)

Abstract: Combining with practical experiences, the effective structure optimization method in the design and manufacturing of the spring operating mechanism with sheet structure is discussed and some practical application cases are presented. The simple structure optimum method could achieve ideal design and application purpose and could effectively promote the application of the sheet structure in spring operating mechanism.

Key words: spring operating mechanism; sheet structure; optimum design

0 引言

随着中压开关技术的发展, 各类中压开关使用的弹簧操动机构的设计制造水平也日益提高, 尤其是随着开关的机械特性越来越稳定, 使得弹簧操动机构不必设计过大的裕度就能够满足开关的性能要求^[1-4]。近些年气体绝缘开关柜和固封技术的发展, 开关柜正在向小型化、轻量化发展, 对操动机构也提出了小型化、轻量化的要求^[5-8]。薄板结构弹簧操动机构除具备普通弹簧操动机构特性外, 主要零部件如机构左右(或前后)夹板、主要支撑件等大部分零件采用 2~4 mm 厚的冷轧钢板或耐腐蚀性能好的不锈钢板加工而成。薄板结构弹簧操动机构具有以下优点: 利用冷扎钢板易成型的特点, 增加零件复合来减少零件数量; 利用筋、凸台、压痕等工艺手段提高零件刚度来减轻零件重量^[9-10]; 利用金属冷成型硬化或热处理工艺增加刚度和强度的工艺, 充分保障各零部件机械性能, 由此提高材料利用率, 减少零件数量, 从而降低故障率、充分利用空间减少

机构体积和重量; 能够充分利用现代加工手段数控剪裁和激光切割机任意形状剪裁, 利用冷折弯和专制冷冲模具成型或热加工模具成形, 来满足和提高加工精度、减少金属切削余量、降低制造工艺复杂程度, 从而降低加工成本^[11-13]。因此设计制造弹簧操动机构大量使用薄板结构可以使其具有轻量化、小型化和低成本等特点。但薄板结构弹簧操动机构存在个别零部件强度不够和焊接接易变形等缺点, 因此优化薄板结构提高薄板零件的强度显得尤为重要。

1 薄板结构弹簧操动机构结构优化

1.1 不同类型薄板零件强度优化方法

一般来说, 钢材的强度和成形性是一种对立的关系, 选用高强度的钢板, 零件在冲压成形时出现的弹性变形恢复和翘曲等形状不良现象突显。这些不良现象受钢材的强度和弹性模量的影响, 靠提高钢材延性等机械特性是难以解决的。在采用薄板制造零件需要选择塑性好的材料这样有利于进行加工, 塑性好的材料强度相对弱, 随着运动次数的增

加机构上的止动点、撞击点、滑动接触面必然会很快产生磨损、变形,造成定位不准确,运动件轨迹偏离和卡滞等现象,如果不采取一些强化措施,直接影响机构的整体寿命^[14-18]。提高薄板零件强度的优化方法:

1)较小零件一般是采取将球化退火处理后变软的高碳钢板在成形后进行热处理来提高强度的方法;

2)较大零件的局部强度提高可采用渗碳(氮)后进行局部高频淬火;

3)采用电阻焊或氩弧焊在止动点、撞击点、滑动接触面的单侧或双侧加焊等厚的钢板或加焊热处理强化后的钢板,但须注意控制焊接热扩散区的范围,减少焊接变形的危害;

4)许多情况是需要对某些较大零件的局部孔、槽的周围进行强化。首先将该部位切空,然后用高碳钢已热处理强化的镶块焊接,注意焊接的热扩散区不能侵入孔、槽的周围以避免退火,焊后打磨齐平,实例见图1。

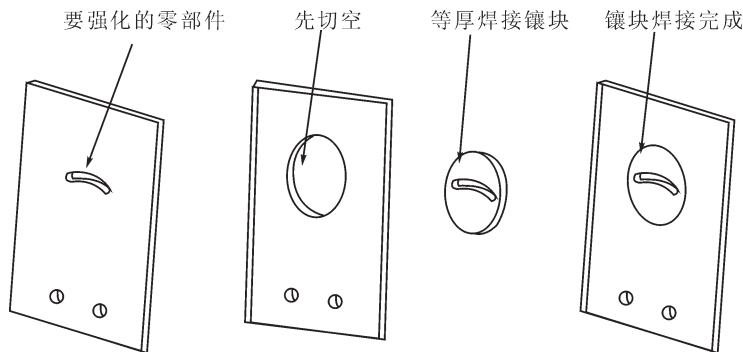


图1 镶块焊接示意图

Fig. 1 Panel board welding schematic diagram

1.2 对于精度要求不高、承载力较小的夹板联接形式

对于精度要求不高、承载力较小的连接方式可以采取一板开长孔,见图2,另一板制成T形凸起,见图3,依靠定位凸肩定位插入长孔内的长度,然后把T形凸起旋转一定角度相互锁紧,具体实施方式见图4。

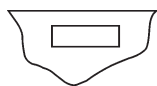


图2 长条孔
Fig. 2 Strip hole

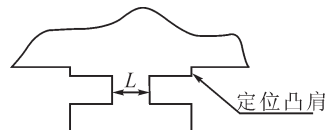


图3 T型凸起

Fig. 3 Embossment of T model

在设计时必须要考虑料宽 L 大小,它直接关系到承载能力的大小,在此需要进行危险截面处承载能力的计算,结合机构内部的受力情况,来确定 L 值的大小,从而保证机构具有足够的锁紧力。在这里有二个方面因素构成:①材料自身的抗拉伸力 P ,

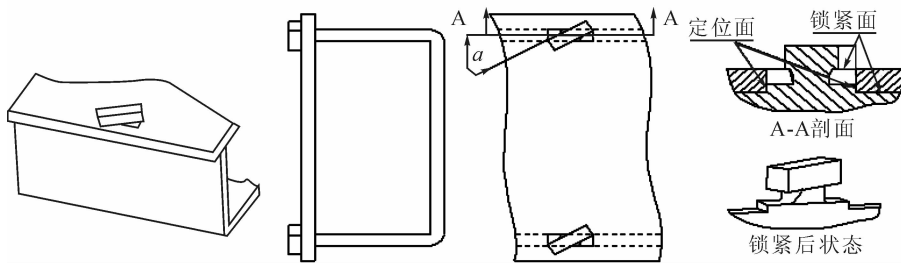


图4 夹板联接方式

Fig. 4 Clamp coupling method

抗拉伸能力 P 与材料自身的屈服强度 σ_s 、料宽及料厚有关^[19];②T形凸起(图3)宽度为 L 的部位装入长孔(图2)后扭转角度 a 后锁紧,使被旋转部位产生加工硬化会导致材料硬度,强度增加提高,增加了抗拉伸能力,经过多次试验得出的 a 与 P 的关系曲线见图5, a 取 30° 至 40° 时较合适。

1.3 通过焊接螺柱改善薄板攻丝强度不足的优化方法

由于薄板攻丝连接强度不够,若采用外加螺母锁紧不方便且占用空间。如图6所示若把螺柱直接焊接在薄板上,且螺柱下端留有焊料容装槽,焊料不干涉其他零件的安装,几种常用尺寸搭配方案、倒角以及焊缝尺寸确定方法在图6中已列出。

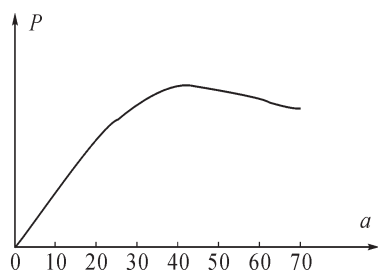


图5 抗拉伸能力与扭转角度关系

Fig. 5 The relationship of tensile ability and torsional angle

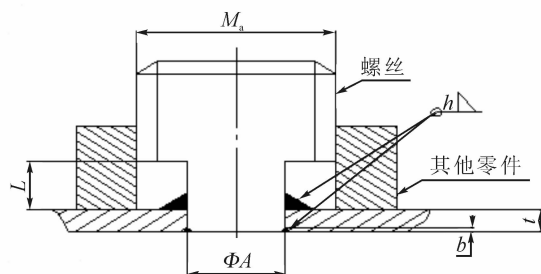


图6 螺柱焊接方法

Fig. 6 The method of stud welding

M_s	6	8	10	12
L	5	8	10	10
A	3	5	7	9

$$b=t/3$$

$$h=L/2$$

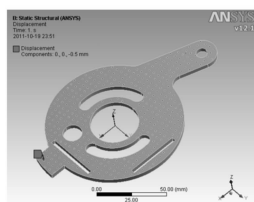


图7 凸轮盘两侧面加密集压痕

Fig. 7 Two side of CAM filled with dense indentation

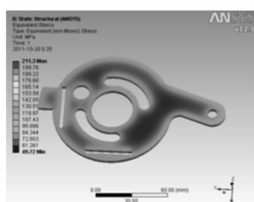


图8 凸轮盘的应力

Fig. 8 Stress of CAM

1.5 移动副联接形式

待安装位置见图9,将待安装位置旋转90°见图10,便成为工作状态,零件1便可沿着下面零件2长槽往复运动。

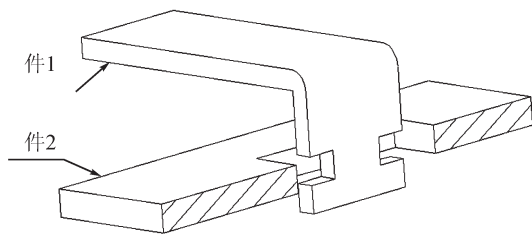


图9 待安装位置

Fig. 9 For installation position

1.4 薄板零件侧面加密集压痕优化方法

薄板零件两侧面加密集压痕不但能够提高零件的刚度且能提高其平面度。该工艺适用于一定厚度且表面允许有压痕的工件,压痕形状在平面上呈正方形或菱形,加工时齿尖磨钝,上下模的齿尖相互叉开。利用ANSYS仿真分析软件分析凸轮盘加密集压痕后刚度,加密集压痕凸轮盘的刚度能够提高30%左右。凸轮盘两侧面加密集压痕见图7,凸轮盘的应力见图8。

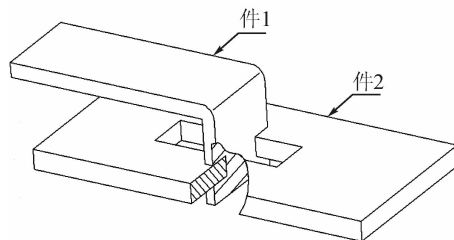


图10 工作状态

Fig. 10 Working state

1.6 薄板上轴承固定形式

由于通常薄板零件的厚度为2~4 mm,直接安装轴承难度大,可以采用图11设计方式。

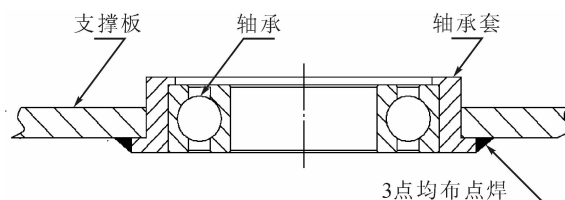


图11 薄板上焊接轴承套

Fig. 11 Welding bearing sleeve on the sheet

1.7 利用锁紧板固定轴承

利用锁紧的两个薄板固定轴承方法见图12,该结构能够保证轴承在承载条件下平稳转动。

1.8 翻孔结构形式的应用

翻孔是在有预制孔的坯料上(有时也可无预制孔,即顶破翻孔),对材料进行拉伸,使其沿一定的曲线翻成竖立直边^[20]。在薄板零件上翻孔可以增加攻丝长度、作为焊接的基础以减少热扩散区域见图13和作为轴承支撑套见图14,翻孔结构可利用数控冲

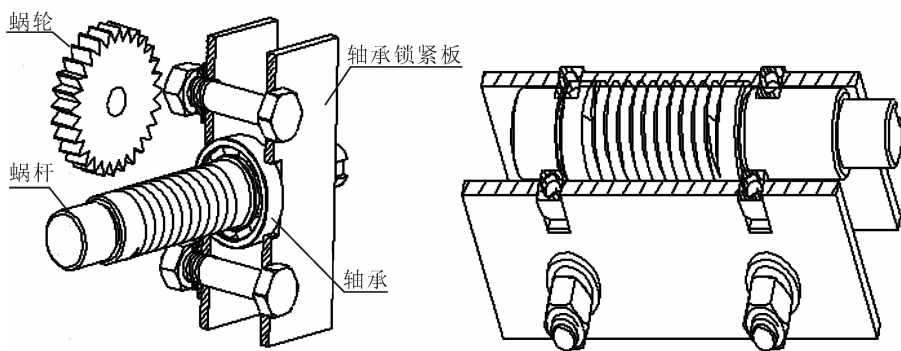


图 12 利用锁紧板固定轴承

Fig. 12 Fixing bearing by locking plate

床或用简单的专用模具完成。翻孔时,由于 D_0/D 和 d/D 相对值的组合不同,其变形情况和结果见图 15, 图 15 中分为 I-V 个工艺区域。上方的 A 区为翻边或翻孔的禁区, 在这个区域内翻孔会形成圆角裂纹,有时会产生底部断裂。试验条件是:材料为软钢,法向各向异性系数 $\Delta r=1$;模具圆角半径 $r_{凹}=r_{凸}=5t(t$ 为料厚)^[21]。

2 结语

笔者结合实践经验针对近几年薄板结构中压开关弹簧操动机构结构优化方法进行了论述,所述优化方法可以在薄板结构弹簧操动机构中广泛应用,为小型化、轻量化、高可靠性以及低成本薄板结构弹簧操动机构提供结构优化方法,看似简单的优化方法同样可以达到较为理想的设计和应用目的,

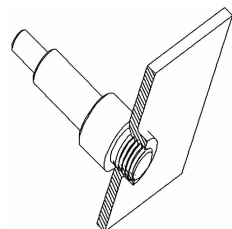


图 13 焊接基础

Fig. 13 Foundation for welding

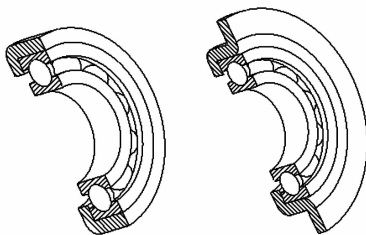


图 14 轴承座

Fig. 14 Bearing bush

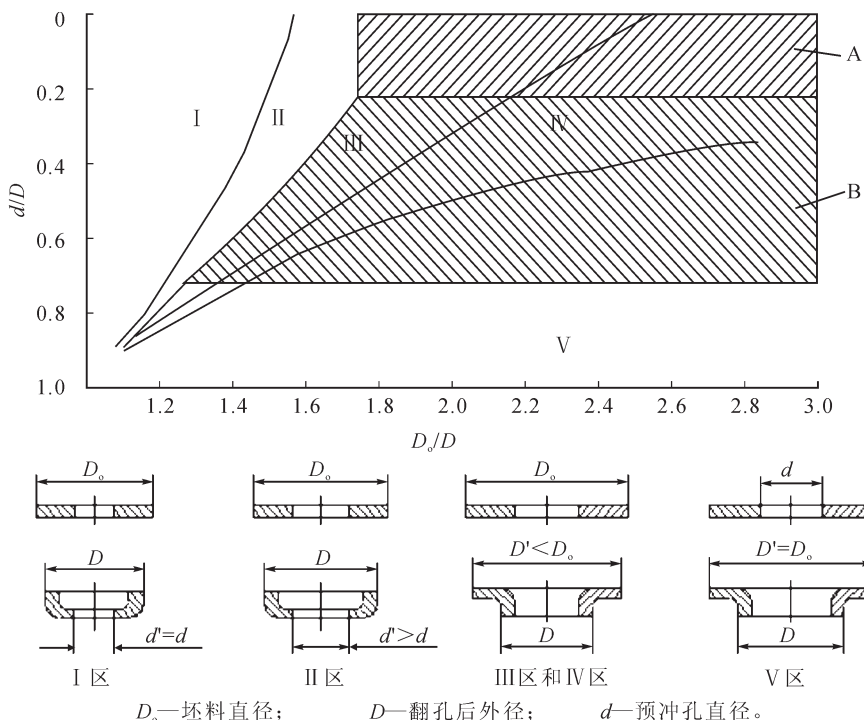


图 15 翻孔尺寸

Fig. 15 The size of flanging hole

提高薄板结构弹簧操动机构的性能,能够有效促进薄板结构弹簧操动机构在实际工程中的应用。

参考文献:

- [1] 方可行. SF₆断路器的弹簧操动机构及其应用[J]. 高压电器, 2003, 39(6): 76-77.
FANG Kehang. Spring actuator in SF₆ circuit breaker and its application[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(6): 76-77.
- [2] 陈刚, 孙波, 王尔智. 真空断路器弹簧操动机构中连杆机构的容差优化[J]. 高压电器, 2007, 43(4): 241-243.
CHEN Gang, SUN Bo, WANG Erzhi. Tolerances optimization for linking member of spring mechanism in vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(4): 241-243.
- [3] 舒服华. 高压断路器弹簧操动机构合闸弹簧可靠性分析[J]. 高压电器, 2007, 43(5): 368-370.
SHU Fuhua. Closing switch spring reliability analysis & improvement of high voltage circuit breaker operating mechanisms[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(5): 368-370.
- [4] 陈刚, 孙波, 王尔智. 真空断路器弹簧操动机构中分闸弹簧的多目标综合优化[J]. 高压电器, 2007, 43(6): 448-450.
CHEN Gang, SUN Bo, WANG Erzhi. Multi-target optimization design for breaking spring of spring actuator in vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(6): 448-450.
- [5] 李世芸, 唐夫阳. 基于UG和ADAMS的高压开关弹簧机构动力学仿真和优化[J]. 高压电器, 2008, 44(2): 110-113.
LI Shiyun, TANG Fuyang. Kinematic simulation and optimization for spring operating mechanism of circuit switch based on UG and ADAMS[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(2): 110-113.
- [6] 周丽丽, 方春恩, 李伟, 等. 27.5 kV 永磁机构真空断路器动作特性仿真与试验研究[J]. 高压电器, 2008, 44(3): 214-216.
ZHOU Lili, FANG Chun'en, LI Wei, et al. Simulation and testing of operating characteristic of 27.5 kV vacuum circuit breaker with permanent magnetic actuator[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(3): 214-216.
- [7] 骆虎, 游一民, 陈德桂, 等. 采用ADAMS与电磁系统的耦合优化永磁机构[J]. 高压电器, 2008, 44(4): 335-337.
LUO Hu, YOU Yimin, CHEN Degui, et al. Optimum design of permanent magnet mechanism by coupling ADAMS and electromagnetism system[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(4): 335-337.
- [8] 苑舜. 高压断路器弹簧操动机构[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
YUAN Shun. Spring operating mechanism for CB[M]. Beijing: China Machine Press, 2001.
- [9] 谭蓉, 姜琪. 高压真空断路器弹簧操动机构的设计[J]. 甘肃工业大学学报, 2000, 26(1): 36-40.
TAN Rong, JIANG Qi. A design method for the spring operated mechanisms of high-voltage vacuum circuit breakers[J]. Journal of Gansu University of Technology, 2000, 26(1): 36-40.
- [10] 王连鹏, 王尔智. 真空断路器弹簧操动机构优化设计与可靠性分析[J]. 高压电器, 2005, 41(3): 166-169.
WANG Lianpeng, WANG Erzhi. Optimal design and reliability analysis of the spring actuator for vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(3): 166-169.
- [11] 闫静, 马志瀛, 金黎. 真空断路器弹簧操动机构中凸轮机构的优化设计[J]. 高压电器, 2004, 40(6): 420-423.
YAN Jing, MA Zhiying, JIN Li. Optimum design of the cam of spring operating mechanism in vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2004, 40(6): 420-423.
- [12] 林莘, 李永祥, 徐建源, 等. 高压断路器直线电机操动机构的动态特性分析[J]. 高压电器, 2009, 45(2): 7-10.
LIN Xin, LI Yongxiang, XU Jianyuan, et al. Dynamic characteristics analysis of linear motor actuator for driving high voltage circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(2): 7-10.
- [13] 林莘, 李永祥, 徐建源. 高压断路器新型电机操动机构的动态特性[J]. 中国电力, 2008, 41(11): 5-9.
LIN Xin, LI Yongxiang, XU Jianyuan. Dynamic characteristic analysis of novel motor operating mechanism on a high voltage circuit breaker[J]. Electric Power, 2008, 41(11): 5-9.
- [14] 独田娃. 基于三工位隔离开关用简易型手动操作机构的研制[J]. 高压电器, 2011, 47(5): 100-102.
DU Tianwa. Development of simple operating mechanism for three-position isolating Switch[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(5): 100-102.
- [15] 张杰, 姜亚军, 郭大庆. 12 kV 真空断路器双线圈单稳态永磁机构的设计[J]. 高压电器, 2010, 46(9): 34-38.
ZHANG Jie, JIANG Yajun, GUO Daqing. Design of the double coils and single stable permanent magnetic actuator used in 12 kV vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(9): 34-38.
- [16] 陈保伦, 文亚宁. 断路器弹簧操动机构介绍[J]. 高压电器, 2010, 46(10): 75-80.
CHEN Baolun, WEN Yaning. Introduction of spring operating mechanism for CB[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(10): 75-80.
- [17] 崔景春, 袁大陆, 杜彦明. SF₆断路器操动机构的运行可靠性和选型探讨[J]. 高压电器, 2001, 37(2): 1-4.
CUI Jingchun, YUAN Dalu, DU Yanming. Investigation on operational reliability and type selection of actuator for SF₆ circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2001, 37(2): 1-4.
- [18] 王洪斌. CT19BN型弹簧操动机构拒分故障分析[J]. 陕西电力, 2004, 32(3): 115-115.

(下转第 132 页)

这3次试验对应于仿真图5。

2.4.1 从试验波形分析

从前面的仿真分析可以看出,第1次试验A相延长大半波满足直流分量的要求且具有最长燃弧时间,第3次试验C相首开大半波满足直流分量的要求且具有最长燃弧时间,第2次B相满足直流分量的要求,这3次试验满足标准的要求。

2.4.2 从燃弧时间

第1次试验图7(a)A相延长大半波的燃弧时间是9.5 ms,第2次试验图7(b)B相延长大半波,B相的燃弧时间应为: $9.5-1.9=7.6$ ms,与实际值7.6 ms一致;第3次试验,图7(c)直流分量满足要求的相从延长相变为首开相,燃弧时间应为: $7.6-1.9-1.5-(22.6-21.9)=3.5$ ms,与实际值3.5 ms相符。

第1次的延长大半波燃弧时间比第2次的长近2 ms($9.5-7.6=1.9$ ms),第3次的首开大半波燃弧时间比第2次的长近2 ms($3.5-2.4+22.6-21.9=1.8$ ms),所以,第1次延长大半波和第3次首开大半波满足最长燃弧时间的要求,第2次延长大半波满足直流分量的要求。与仿真图5的分析相符。

从试验波形和燃弧时间两个方面认为实际值与理论要求值一致且满足标准要求,是3次有效试验。

3 结语

对T100s的分析讨论得知,通过将脱扣脉冲前移40°使得断路器三相能够均匀换相,且燃弧时间以20°的步长变化。

对T100a的试验有效性判断,从试验波形和燃弧时间的计算两个方面着手。试验波形可结合仿真

图的例子来分析;对于直流分量要求的相,从燃弧时间的变化来判断最长燃弧时间是否满足要求。

在实际试验中,即使断路器的操作电压是高电压,固分时间有时也会发生一点变化,如果影响到波形和燃弧时间,可以通过移动脱扣脉冲重复上面的试验,来满足相应的试验波形和燃弧时间,以达到考核相应相的直流分量和燃弧时间的目的,从而满足标准要求,达到对高压交流断路器三相的考核。

参考文献:

- [1] IEC 62271-100:2008 High-voltage switchgear and controlgear-Part 100:High-voltage alternating current circuit-breakers[S]. 2008.
- [2] STL guide to the interpretation of IEC 62271-100: Edition 2.0 2008[S]. 2008.
- [3] 苏宇红,刘 朴,张海峰. 交流高压断路器三相合成试验燃弧时间的确定及整定方法简介[J]. 高压电器,2006,42(4):313-314.
SU Yuhong, LIU Pu, ZHANG Haifeng. Introduction of determination and setting method of the arcing time for three-phase synthetic test for high voltage circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2006, 42(4): 313-314.
- [4] 邱关源. 电路[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [5] GB/T 1984—2003 高压交流断路器[S]. 2003.
GB/T 1984—2003 High-voltage alternating current circuit-breakers[S]. 2003.

苏宇红(1970—),女,高级工程师,长期从事大容量试验检测工作。

(上接第124页)

WANG Hongbin. Analysis of CT19BN type spring operating structure rejecting assignment breakdown[J]. Shaanxi Electric Power, 2004, 32(3): 115-115.

- [19] 曹龙华. 机械原理[M]. 北京:高等教育出版社,1986.
CAO Longhua. Theory of machines and mechanisms[M]. Beijing: Higher Education Press, 1986.
- [20] 张鼎承. 冲模设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
ZHANG Dingcheng. Die design manual[M]. Beijing: China Machine Press, 2001.
- [21] 虞传宝. 冷冲压及塑料成型工艺与模具设计资料[M]. 北京:机械工业出版社,1992.

YU Chuanbao. Cold stamping and plastic forming technology and die design material[M]. Beijing: China Machine Press, 1992.

吴小钊(1979—),男,工程师,学士,主要研究中压开关技术,长期从事于中压开关设计开发工作。

赵洪柏(1962—),男,高级工程师,学士,研究方向为中压开关成套技术,长期从事于中压开关研发工作。

郑晓果(1975—),男,工程师,学士,研究方向为中压开关技术,长期从事于开关柜研发工作。