

文章编号 1004-924X(2006)03-0463-04

应用激光技术进行继电器簧片气隙的校正

宋文荣^{1,2}, 何惠阳¹, 郭凡林¹

(1. 厦门宏发电声有限公司 博士后工作站, 福建 厦门 361021;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 博士后流动站, 吉林 长春 130033)

摘要:给出了激光校正的原理和激光测量方法,并用于某型号继电器,具体测试了其簧片气隙的大小和分布情况。利用继电器金属簧片进行了大量的激光校正测试试验,测试结果表明:激光照射后,簧片得到的校正量 h 与激光测量点到激光校正点的间距 x_2 成正比例线性关系,可用 $h=kx_2$ 近似表示;而激光功率 P 和照射时间 t 与簧片获得的校正量 h 之间则大致成抛物线关系,起始时功率越大,时间越长,校正量越大,但过了拐点之后情况则相反。测试结果同时表明:在性能指标范围内,激光校正并不会影响继电器簧片的机械寿命。分析和计算证明,选择合适的激光功率 P 与时间参数 t ,利用激光对该继电器的簧片气隙进行校正可行的;结合气隙大小的测试数据分析可知,生产线上绝大多数继电器的簧片气隙调整只需通过静簧片的激光校正就能得以实现,与手工校正相比具有较高的校正效率。

关键词:继电器; 弹簧片; 气隙; 激光测量; 激光校正

中图分类号: TM58; TN249 **文献标识码:** A

Adjusting gap of relay springs by using laser beam

SONG Wen-rong^{1,2}, HE Hui-yang¹, GUO Fan-lin¹

(1. *Post-doctoral Programme of Xiamen Hongfa Electroacoustic Co., Ltd, Xiamen 361021, China;*

2. *Post-doctoral Programme of Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)*

Abstract: The principle of laser-adjusting and the method of laser-measuring were described and applied to adjust the gaps of one model relay. A plenty of tests and measurements for adjusting relay's springs by laser beam were finished. After data analyzed, several results were summarized and shown as follows: the laser-adjusting quantum h is in linear direct proportion to the distance x_2 between measuring point and adjusting point, and the formula can be expressed by $h=kx_2$. The laser power P and the irradiation time t are approximate parabola relation curves to adjusting quantum h . The stronger the power P and the longer the irradiation time t , the bigger the quantum h at the rise phase, But when it is over the inflexion, the results are opposite. The experimental results also show that there is no negative influence of laser-adjusting on the relay's mechanical life. It is feasible for adjusting the relay's gap by laser beam when the laser power P and the time t set equal each other. With combining the test data of the relay's gap, it is known that the gap of the most relays on the assembly line can be

收稿日期:2005-07-26; 修订日期:2006-04-02.

基金项目:厦门市博士后专项基金资助项目,中国博士后科学基金资助项目(No. 2005038570).

adjusted correctly after adjusting the settled spring only, which will be more efficiency in comparon of laser-adjusting with manual-adjusting.

Key words: relay; spring; gap; laser-measuring; laser-adjusting

1 引言

作为电子器件的继电器,其外形尺寸遵循着摩尔定律日益小型化。但随着小型化的发展,继电器动、静簧片气隙的接触式校正方式已经不能适应此趋势。为此,本文基于热变形原理,尝试着应用激光技术对簧片气隙进行非接触性的校正,并在某一型号产品上进行了大量的激光校正测试试验。试验及分析结果表明,应用激光技术对日益小型化的继电器簧片气隙进行非接触性校正是可行的。

2 激光校正原理与校正量的测量

激光校正就是将能量高度集中的强激光束照射在需要加工的金属工件部位,使得该部位金属表面瞬间升温,且在相应横截面内形成大小不一的温度梯度,由此热应力集中不均衡导致了金属的变形,从而达到最终的校正作用^[1-5]。

图 1 所示为激光校正与校正量测量原理示意图。簧片一端固定,激光位移测量仪固定在簧片悬臂的另一端,在校正之前将测量仪与簧片的垂直间距归为零。一旦受热变形,簧片上翘使该垂直间距减小,减小量 h_i (称之为激光校正量 h_i) 将实时显示在液晶屏上。

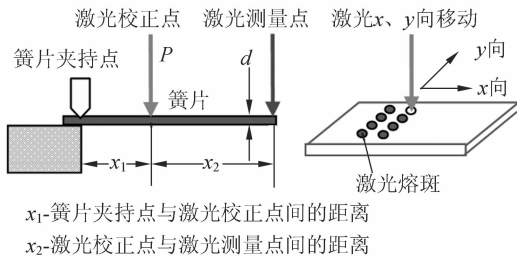


图 1 激光校正与测量示意图

Fig. 1 Sketch of laser-adjusting and laser-measuring

假定功率为 P 的激光垂直照射在厚度为 d 的簧片表面,并沿 y 和 x 方向间歇移动,那么簧

片上将留下一排排的激光熔斑。每一个熔斑都将使簧片变形产生一个微小的校正量 h_i ,而簧片总的校正量 h 则是所有熔斑产生的校正量 h_i 之和。

3 继电器簧片的激光校正测试

以某一型号继电器为例,其放大图片如图 2 所示。动、静簧片宽 3.5 mm,触点中心到底座上表面的高度 $H=10.5$ mm,气隙参数的指标范围为 0.35~0.5 mm。为便于后面的激光校正测试试验,将动、静簧片所用铜带裁剪为长 50 mm、宽 3.5 mm 的铜片,其中动簧片厚 0.12 mm,静簧片厚 0.25 mm。试验中所用激光发生器为 Nd-YAG 发生器,激光波长为 1 064 nm,平均功率 50 W^[6];所用激光位移测量仪的最高解析度为 0.1 μm ,最大量程为 4 mm^[7]。测试试验证明夹持距离 x_1 对激光校正量 h 的影响可以忽略不计。

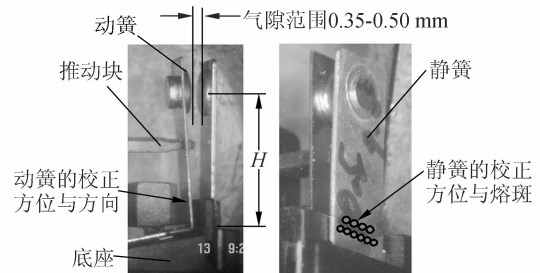


图 2 继电器的图像与激光校正的方位

Fig. 2 Photo of relay and direction of laser-adjusting

3.1 距离 x_2 对激光校正量 h 的影响

每次沿 y 向在簧片上照射 5 个点,测量距离 x_2 对校正量 h 的影响。测试时设定激光功率 $P=25$ W,对动簧片的照射时间 $t=11$ ms,对静簧片的照射时间 $t=5$ ms。测试数据整理结果详见表 1,相应的曲线图如图 3 所示。

表中数据与图中曲线表明随着距离 x_2 的增大,簧片的校正量 h 随之成正比例地增加。为了检验测试结果的真实性和可靠性,对测试试验重复进行了多次,测试结果和趋势均为一致。

表 1 动、静簧片激光校正($x_2 \sim h$)的测量数据

Tab.1 Measuring data of adjusting quantum h for moving & settled springs

距离 x_2 /mm	10	13.5	15	20	25	30	35	40
总校 正量 h /mm	动簧片 $P=25\text{ W}$ $t=11\text{ ms}$	0.086	0.120	0.185	0.256			
	静簧片 $P=25\text{ W}$ $t=5\text{ ms}$		0.070	0.115	0.145	0.062	0.093	0.127

1. 动簧片($t=11\text{ ms}$) 2. 静簧片($t=5\text{ ms}$)

图 3 距离 x_2 与校正量 h 的关系

Fig. 3 Distance x_2 vs adjusting quantum h

通过拟合,对于动、静簧片,距离 x_2 与校正量 h 之间的关系均可以用式(1)来描述,只是测试条件不同时,比例系数 k 各不相同。

$$h = kx_2, \quad (1)$$

3.2 激光功率 P 与照射时间 t 对校正量 h 的影响

在进行该两项试验测试时,选用动簧片材料,距离 x_1 恒定为 3 mm。测试功率影响时设定时间 $t=10\text{ ms}$,测试时间影响时设定功率 $P=30\text{ W}$ 。通过测试距离 x_2 与校正量 h 之间的对应关系,分析功率及时间对校正量 h 的影响。节选部分测试数据列举在表 2、表 3 中,由此得到功率 P 、时间 t 分别与校正量 h 之间的对应图形关系如图 4、图 5 所示。

表 2 激光功率 P 对校正量 h 影响的测试数据

Tab.2 Testing data of adjusting quantum h vs laser power P (when $t=10\text{ ms}$)

激光功率 P /W	20	30	40	50	60	70	80
校正量 h /mm	0.040	0.173	0.384	0.165	0.088	0.242	0.300

图 4 激光功率 P 对校正量 h 的影响

Fig. 4 Laser power P vs adjusting quantum h

由数据和图形可知,随着激光功率 P 的增大和照射时间 t 的延长,簧片得到的激光总能量随之增加,获得的校正量 h 也随之增大。但在图 4、图 5 中又可以很清晰地看到,当功率 P 增大到一定值(如图 $P=60\text{ W}$)以及时间 t 延长到某一值后(如图 $t=13\text{ ms}$),校正量曲线均出现了拐点,此后校正量 h 随着功率 P 的增大和时间 t 的延长而减小。这是很值得注意的现象。

究其原因有二:其一,瞬时功率太大,将把簧片熔透,如试验中当 $P=80\text{ W}$ 时簧片被击穿,此时校正量骤然减小。其二,对应于一定材料的簧片,其热传导系数是恒定不变的,热量由受热表面传导到背面的时间主要由簧片的厚度决定。当激光照射时间 t 等于或大于热传导时间,则激光能量迅速从簧片受热表面被传导到背面,并同时向四周扩散。这样,在簧片横截面内形成的校正弯曲所需要的温度梯度则减小,校正量也随之减小。由此可知,并不是激光功率越大、照射时间越长,得到的校正量 h 会越大。

表 3 照射时间 t 对校正量 h 影响的测试数据

Tab.3 Testing data of adjusting quantum h vs irradiation time t

时间 t /ms	校正量 h /mm		
	$x_2=15$	$x_2=25$	$x_2=35$
3	0.072	0.119	0.175
5	0.082	0.171	0.200
7	0.108	0.188	0.273
9	0.120	0.204	0.281
11	0.141	0.220	0.294
13	0.146	0.239	0.324
15	0.143	0.228	0.313
17	0.141	0.206	0.271
19	0.115	0.193	0.239

图 5 照射时间 t 对校正量 h 的影响Fig. 5 Irradiation time t vs adjusting quantum h

3.3 激光校正后簧片的机械寿命测试

继电器高频率长时间的吸合动作决定着簧片(尤其是动簧片)必须具有较高抗疲劳强度和较长的机械寿命(即簧片不断裂的吸合总次数)。为验证激光校正是否影响簧片的机械寿命,委托某继电器产品检测中心进行了相应的机械寿命对比测试试验。

对比试验样品为:如图 2 指示位置的仅校正过动簧片的继电器 10 只,仅校正过静簧片的继电器 10 只,以及正常继电器产品 10 只。测试条件完全按照该产品机械寿命检测的测试条件:常温,动作频率 300 次/分钟,线圈激励电压 12 VDC,占空比 50%,寿命指标不小于 1000 万次。

表 4 机械寿命对比试验的测试结果

Tab. 4 Contrasting results of mechanical life test for relays

正常继电器 10 只	一只继电器的动簧片在与推动块接触处断裂,寿命次数为 352 万次,九只寿命次数超过 1000 万次。
仅校正动簧片的继电器 10 只	一只继电器的动簧片在与推动块接触处断裂,寿命次数为 643 万次,但与校正无关,九只寿命次数超过 1000 万次。
仅校正静簧片的继电器 10 只	两只继电器的动簧片在与推动块接触处断裂,寿命次数分别为 260 万次和 176 万次,八只寿命次数超过 1000 万次。但动簧片的断裂与静簧片的激光校正没有任何牵连。

对比测试结果如表 4 所示。由此可知,激光校正并不影响继电器簧片的机械寿命,因此,激光校正方法是可靠且可信的。

4 簧片气隙激光校正的可行性分析

在分析该继电器簧片气隙激光校正的可行

性之前,对 200 个未校正的继电器的簧片气隙进行了测试。测试结果显示簧片气隙的合格率约为 15%,剩余 85%的簧片气隙都小于指标下限 0.35 mm,需要通过校正来调大气隙,因此,校正的工作量极其繁重和庞大。其中气隙的平均校正量为 0.085 mm,个别气隙的最大校正量为 0.226 mm。根据继电器的结构,正好便于从气隙两边外侧对动、静簧片的根部进行激光校正,从而调大气隙(详见图 2 所示)。但利用试验所用的激光发生器能否使簧片获得“最大”的激光校正量 0.226 mm,下面将进行简单的理论计算和分析。

如果气隙需要的校正量大于 0.15 mm,则在校正过程中将对动、静簧片同时进行激光校正,以减小单个簧片的校正量,但又满足不大于 0.3 mm 的气隙校正量。于是在此设定动、静簧片的最大校正量不超过 0.15 mm。

表 5 距离 $x_2 = 10$ mm 时的单次校正量 h_i 与实现 0.15 mm 校正量所需照射次数 n Tab. 5 Measuring data of h when $x_2 = 10$ mm and the irradiation times n when $h = 0.15$ mm

单次校正量 h_i 照射次数 n	动簧片	静簧片
$P = 25$ W, $t = 5$ ms	$h_i = 0.005, n = 30$	$h_i = 0.01, n = 15$
$P = 25$ W, $t = 10$ ms	$h_i = 0.016, n = 10$	$h_i = 0.027, n = 6$
$P = 30$ W, $t = 15$ ms	$h_i = 0.023, n = 7$	$h_i = 0.033, n = 5$

由图 2 已知触点中心到底座上表面的高度 $H = 10.5$ mm,由此可以保证激光测量点与激光校正点之间的距离 x_2 不小于 10 mm。在此情况下,节录三种激光状态时获得的动、静簧片单次激光校正量 h_i 和实现 0.15 mm 校正量所需要的照射次数 n 于表 5 中。

由表 5 中测试数据可知:(1) $P = 25$ W、 $t = 5$ ms 时的功率和时间匹配很不利于提高设备的校正效率,不适合簧片的实际校正生产。(2) 当 $P = 25$ W、 $t = 10$ ms 时,或许要在动簧片的根部照射 9~10 次,形成 3×3 或 2×5 的激光光斑矩阵;或许要在静簧片的根部照射 6 次,形成 2×3 或 1×6 的激光光斑矩阵。(3) 当 $P = 30$ W、 $t = 15$ ms 时,在动簧片上只需照射 6~7 次,形成 2×3 (4) 的激光光斑矩阵;或只需在静簧片的根部照射 5 次,形成 1×5 激光光斑矩阵。总之,为实现 0.15 mm 的校正量,需要选择匹配合理的激光功率和