

螺旋弹簧应力松弛测试设备的研制

北京控制工程研究所 (100190) 武胜勇 许 东

一、弹簧应力松弛的概念

应力松弛是在恒应变条件下,金属材料或元件的应力随时间延长而减小的现象。典型的应力松弛(动力学)曲线如图1所示。该曲线明显分为两个阶段:第I阶段(图中ab线段)持续较短时间,应力随时间延长而急剧下降;第II阶段(图中bc线段)的持续时间很长,应力随时间延续而缓慢降低,并趋向恒定值。

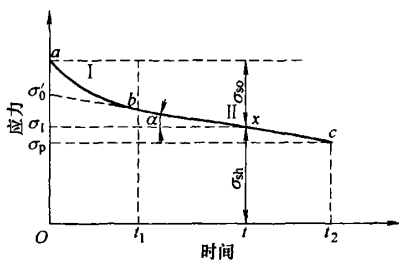


图1 典型的应力松弛(动力学)曲线

弹簧在使用过程中,由于载荷的作用,其塑性变形随着时间的延长而增大,并随着工作温度的升高而更加明显。如果是弹簧的工作高度不变,那么由于塑性变形,使弹簧的应力不断减少的现象称为应力松弛。如果是加在弹簧上的载荷不变,但是由于塑性变形,使弹簧的工作高度减小,这种现象称为蠕变。换言之,扭转应变一定时,应力减小就属于应力松弛,扭转应力一定时,变形增加就属于蠕变。松弛和蠕变现象的表现形式不同,但应力松弛(特别是高温应力松弛)和蠕变现象在本质上讲并无区别。松弛可以看作是一种在应力不断减小条件下的蠕变过程,或者说是在总应变量不变条件下的蠕变。

应力松弛现象是弹簧和弹性元件失效形式之一,故研究应力松弛的变化规律、探求其本质及其影响因素,对于提高元件或构件的抗应力松弛性能,预防或预测其使用寿命,具有重要的理论和实际意义。

二、弹簧应力松弛的测试

1. 应力松弛率与蠕变率

应力松弛常用“应力松弛率”或“负荷减少率”表示(常简称为应力松弛或负荷减少)。

设弹簧在试验前,压缩到给定高度时的载荷为 P_0 ,再把弹簧压缩到一定高度,在规定温度下放置一定时间,然后卸载,在室温下测量出压缩到试验前高度所需的载荷 P_1 ,则应力松弛率 C_{σ} 为:

$$C_{\sigma} = \frac{P_0 - P_1}{P_0} \quad (1)$$

弹簧的蠕变率,可用工作高度的减少率来表示。设弹簧蠕变试验前,在给定载荷下的工作高度为 H_0 ,蠕变试验后卸载,再在室温下测量在相同给定载荷下的工作高度为 H_1 ,则弹簧的蠕变率 C_{ϵ} 为:

$$C_{\epsilon} = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \quad (2)$$

2. 应力松弛率的测试方法

对弹簧测定其应力松弛性能,一般可分为静态和动态试验两类。前者由于装置简单应用较多;后者因要求在循环载荷(即在弹簧最大高度 $H_{\max}$ 和最小高度 $H_{\min}$ 范围内作往复压缩运动)下试验,虽然试验装置比较复杂、费时费事,但它更符合实际,试验结果可靠,故其应用有增加的趋势。

本文所介绍的静态试验法有螺栓螺母周期作业法(见图2)和连续测试法两大类,下面分别加以介绍。

(1) 螺栓螺母周期作业法 该方法简易可行,目前仍广泛应用。具体操作方法:压缩螺旋弹簧的自由高度为 H_0 ,当加上初负荷 P_0 时,其高度变为 H ,用螺栓螺母固定其高度 H 后,放入恒温箱[波动范围为 $\pm (1 \sim 2)^\circ\text{C}$] 内,保持一定时间后取出卸载,测定其高度为 H 时所需的负荷 P_1 。每隔一定时间测试一次,记录各次的

P_t 值, 即可绘制弹簧的应力松弛曲线, 进而计算弹簧的应力松弛率。



图2 弹簧应力松弛试验螺栓螺母周期作业法

(2) 连续测试法 该方法可在不同温度及应力水平下, 对弹簧试样的应力松弛进行连续观察和测量。试样一次安装完毕直到测试结束, 中途无须加载、卸载等过程, 从而减少了每次安装时造成的人为误差。该装置可以达到带温直接测量的要求, 明显地提高了测量数据的精度, 试验用的测试装置如图3所示。测试时先将恒温箱升到所需的测试温度, 安装弹簧试样, 对仪表进行校准, 然后每隔一定时间从仪表上读出弹簧的负荷 P_t , 由所测试的数据即可绘制弹簧的应力松弛曲线, 进而计算弹簧的应力松弛率。

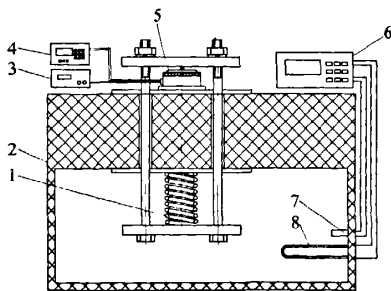


图3 弹簧应力松弛测试装置简

1. 弹簧试样 2. 恒温箱 3. 直流稳压源 4. 直流数字电压表
5. 力传感器 6. 恒温控制仪 7. 温度传感器 8. 加热电阻丝

利用该装置可以测试弹簧在有限时间内的应力松弛情况, 如果要预测弹簧在很长时间 (如5年, 10年) 后的负荷损失, 则需要借助于弹簧的应力松弛方程。它的原理是利用已测得的数据, 求解出方程中的未知系数, 然后利用该方程, 即可计算弹簧在任何时间的负荷损失。关于弹簧应力松弛曲线及拟合方程的应用可参见有关文献。

三、弹簧应力松弛测试装置的研制

弹簧应力松弛测试装置原理虽然简单, 但是要准确

地测量弹簧负荷的衰减量是相当困难的, 这是因为弹簧在短期内负荷的衰减是很微小的, 尤其是当弹簧较小、初始负荷较小的时候。

根据图3所示, 可将装置分为3个组成系统, 即恒温箱系统、机械框架系统和传感器测力系统。恒温箱系统主要为弹簧应力松弛测试提供恒定的环境温度, 模拟弹簧实际工作时的温度; 机械框架系统用来安装弹簧和传感器, 并将弹簧的负荷传递到测力传感器上; 传感器测力系统实现弹簧负荷的连续动态测量, 并将负荷数值显示在智能仪表上。

1. 恒温箱系统

目前, 我所产品中不锈钢弹簧的工作温度通常工作在 100°C 以内, 故恒温箱的最高控制温度在 200°C 即可。通过调研, 选择合适的生产厂家定制了 DA206C 型电加热恒温箱。该恒温箱的实际控温范围为 $20 \sim 200^{\circ}\text{C}$, 温度波动 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 温度偏差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$, 升温速率 $> 2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。温度控制器采用数显仪表, 可直接输入、显示、设定工作温度。为了安装机械框架系统, 要求生产厂家对恒温箱的顶部进行了改制, 在恒温箱顶部安装了加强筋, 预留了安装孔。

2. 机械框架系统

机械框架安装在恒温箱顶部, 弹簧试样经安放压缩后, 将负荷施加在下承压盘上, 负荷通过三个螺栓及上承压盘传递到称重传感器上, 进而对弹簧的负荷进行测量。为了保证测试结果的精确性, 机械框架系统应满足以下三个要求:

(1) 整个系统活动部件的重量应尽可能的轻 因为传感器上面施加的载荷是弹簧负荷和机械框架活动部件重量 (记为 $P_{\text{总}}$) 的总和, 当机械框架运动部件的重量远大于弹簧负荷的时候, 弹簧负荷的衰减量相对于 $P_{\text{总}}$ 来说更是微乎其微, 这样就很难测试出弹簧负荷的衰减量, 所以整个机械框架活动部件的重量越轻越好。

(2) 系统应有很好的刚性 在测试过程中, 机械框架处于受力状态, 如果系统的刚性不好, 弹簧的实际工作高度将变大, 进而导致弹簧负荷的减小。这对弹簧由于应力松弛而引起的负荷衰减是很大的干扰量, 导致测试结果不准确。

(3) 3个螺栓应能上下无阻碍得自由运动 3个螺

栓与导向固定装置之间的摩擦力应尽可能地小,这样弹簧的负荷才能几乎无损耗地传递到传感器上。因此如果螺栓与导向装置之间的摩擦力较大,同样影响实际测试结果的准确性。

基于上述分析,设计的机械框架系统如图4所示。上(下)底板材料采用超硬铝合金,有效地减轻了系统的重量,同时根据所测弹簧的负荷大小,合理地设计了上(下)底板的厚度,确保了刚性要求。

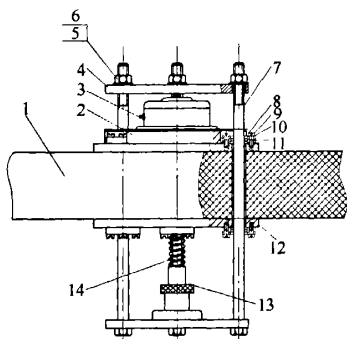


图4 弹簧应力松弛测试装置机械框架系统

1. 恒温箱（顶部） 2. 垫板 3. 称重传感器
4. 上（下）承压盘 5. 垫圈 6. M12螺母 7. 螺栓
8. 滚珠 9. M4螺钉 10. 滚珠轴承盖 11. 滚珠轴承座
12. 安装基板 13. 升降座 14. 弹簧

为了减小螺栓运动的摩擦力,导向固定装置采用滚动轴承的形式,在螺栓上下运动的过程中,滚珠与螺栓为滚动摩擦,摩擦力很小。3个螺栓直径为12mm、长300mm,属于细长杆,综合考虑加工经济性和系统的刚度要求,选择材料为45钢。加工时先粗加工,经淬火后提高其硬度与耐磨性,然后在磨床上精磨外圆,保证螺栓的直线度要求,同时获得了很低的表面粗糙度,降低了与滚珠之间的摩擦力。

(4) 传感器测力系统 传感器测力系统包括称重传感器和智能仪表。称重传感器采用量程分别为5kg、10kg和30kg三种,用来测量不同大小的弹簧,使用时根据所测量弹簧负荷的大小,选择合适量程的传感器安装在应力松弛测试装置上即可。智能仪表选用5位XSB—I型称重显示控制仪,它可提供传感器工作所需的稳压电源,基本误差 $\leq \pm 0.05\%$ 。

四、弹簧应力松弛理论的工程应用

研究弹簧的应力松弛现象在工程上具有重要意义。

这是因为,应力松弛和弹性衰退现象的发生意味着弹簧及弹性元件的功能部分甚至全部丧失,这种现象有时具有很大危害。特别是在高温下工作的弹簧,为保证弹簧机构的可靠性,往往对弹簧材料提出抗应力松弛的要求。例如,锅炉主安全阀弹簧,它在长期的高温工作后,如产生过大的应力松弛,弹力降低,便会造成主安全阀不能按规定值动作和产生漏气现象。于是便要求锅炉主安全阀的弹簧,在450℃的高温下具有较好的抗应力松弛性能,经长期运行后,其弹力不低于运行前的50%。石油工业中油井密封用扭簧及钻井用钻头卡簧,前者由于应力松弛造成漏油,使油田造成经济损失;后者由于应力松弛,导致钻头掉入井底的严重事故。特别是各种武器、精密仪器、仪表中的弹性元件等,由于应力松弛或弹性衰退严重,导致测力不准、控制失灵,甚至不能正常工作。所以,对一些工作中起关键作用的弹簧,必须考虑其应力松弛现象对其安全可靠工作的影响,在弹簧设计和加工阶段应留有足够的松弛裕量,确保弹簧不发生应力松弛失效。

据某文献介绍,在40℃和80℃下对导弹武器系统中的活门螺旋弹簧的应力松弛率进行测试,得出弹簧在80℃下的松弛率约是40℃下的两倍。将40℃下的螺旋弹簧的应力松弛试验结果,用于常温环境下储存的螺旋弹簧(25℃),经计算和分析,在常温和受力环境下长期储存的螺旋弹簧,其应力松弛对性能的影响是不容忽视的。计算表明,经过15年的储存,其弹力下降最高可达5%。根据以上结果可以得出,在武器装备的长期储存中,必须严格控制环境温度,以降低弹簧的应力松弛率。文献中对7029航弹伞引导伞截锥形弹簧的应力松弛率进行了测试,通过测试得出的数据来确定设计和制造时弹簧的预留松弛量,确保弹簧在10年内不发生应力松弛失效。

五、结语

由于弹簧应力松弛现象的存在,为了使弹簧在长期工作下不发生应力松弛失效,必须对弹簧的应力松弛率进行试验和测试,设计或制造弹簧时预留它的松弛裕量,再通过立定处理或松弛处理对弹簧进行预松弛处理,才能满足产品的使用性能要求,确保产品的安全可靠 MW

(20081201)