

螺旋弹簧应力松弛实验研究^{*}

常新龙 刘兵吉

汪 亮

(第二炮兵工程学院, 西安, 710025)

(西北工业大学航天工程学院, 西安, 710072)

摘 要: 对导弹弹体及发动机中常用的压缩螺旋弹簧进行了应力松弛实验研究, 得到了这种弹簧在常温下长期贮存中的应力松弛方程, 为导弹武器系统的质量评判和延寿提供了可靠的实验依据。

主题词: 发动机附件, 螺旋弹簧, 应力松弛, 实验应力分析

分类号: V414

EXPERIMENTAL STUDY ON STRESS RELAXATION OF HELICAL SPRING

Chang Xinlong Liu Bingji

(The Second Artillery Engineering Coll., Xi'an, 710025)

Wang Liang

(Coll. of Astronautics, Northwestern Polytechnical Univ., Xi'an, 710072)

Abstract: The stress relaxation experiment of helical spring used in missile systems was carried out. The equation of the stress relaxation for the spring stored in room-temperature was obtained. The reliable experimental basis of the quality-judgement and life-extending for the missile systems was provided.

Subject terms: Engine accessory, Helical spring, Stress relaxation, Experimental stress analysis

1 引 言

螺旋弹簧在导弹和航天器中的应用十分广泛, 弹簧的失效模式主要有疲劳断裂和应力松弛, 对处于长期贮存状态的弹性元件, 应力松弛是其主要的失效形式。根据某导弹延寿研究和国内外贮存实验工作的经验, 发现引起导弹弹体和发动机这两个系统发生故障的主要原因除非金属零件的老化外, 弹簧和紧固螺钉(或螺栓)长期贮存中的应力松弛导致对接密封结构的失效, 将直接影响导弹武器系统的可靠性^[1]。早在 1868 年 Maxwell 就开始对应力松弛进行研究^[2,3], 但至今, 人们对应力松弛的机制和发生的条件等还没有一个统一的理论。特别是应力松弛实验装置大都是基于蠕变实验方法, 并不完全符合应力松弛必须保证在外力作用方向上总变形保持恒定的条件, 有必要进一步研究。

2 螺旋弹簧应力松弛实验

传统的螺旋弹簧应力松弛实验装置结构简单, 能进行大批量的松弛实验, 但每测一次都

^{*} 收稿日期: 1998-04-11, 修回日期: 1998-08-08

要装卸,且测量误差大。为了克服这些缺点,在实验装置中设计了一种新的夹具。它通过不锈钢上压板固定在恒温箱箱体上,利用两个平行螺杆进行力的传递(见图1)。而两螺杆则是通过上、下盖板和其中间的衬层进行定位的。测量装置选用华东电子仪器厂制造的力传感器,量程为50 kg。显示装置采用SX 1824型高精度直流数字电压表,量程定在0 mV~20 mV,分辨力为1 μ V。电源装置采用IWY-II型集成电路稳压电源,其输出电流为0 A~3 A,输出电压为0 V~30 V,双路输出。测温控温装置选用Msz-6C型数字测温控温仪,其测温范围为-20 $^{\circ}$ C~120 $^{\circ}$ C;在全量程内,测温绝对值误差小于(± 1) $^{\circ}$ C,控制温度分辨率为0.2 $^{\circ}$ C,控制温度精度为(± 0.4) $^{\circ}$ C。

该装置的特点是:可实现螺旋压缩弹簧在一定温度下应力松弛的连续带温测量,试样经一次安装直到测试完毕,中途无需装卸,减少了人为误差;由于采用了高精度的力的传感器和高灵敏度的数字显示,从而提高了测量数据的精度;可实现室温

到120 $^{\circ}$ C的不同温度、不同压力下的带温松弛直接测量,更加接近实际情况;本装置可用少量弹簧试样一次测出其应力松弛特性曲线,省时又省料。

实验试样为清洗泄出活门弹簧和启动活门弹簧,试样材料为1Cr18Ni9Ti。

实验条件:温度为80 $^{\circ}$ C/40 $^{\circ}$ C;初始压缩量:11 mm;测试性能指标:负荷损失率 $\Delta P/P_0$ 或电压损失率 $\Delta V/V_0$ 。试样数量:每个温度下3个试样,共6个试样。

实验步骤:查阅有关活门装配图,得到弹簧的设计参数;标定试验温度,对炉腔、数字电压表和压力传感器进行预热,以保证数据稳定性;标定试验初始载荷;并读取数字电压表的初始电压值 V_0 。(也可换算成 P_0);然后每隔一段时间测定一次电压值,并进行记录。

3 压缩螺旋弹簧应力松弛实验结果分析处理

3.1 实验数据分析处理方法

压缩螺旋弹簧的应力松弛程度常用负荷损失率 $(P_t - P_0)/P_0$ 即 $\Delta P_t/P_0$ 来表示, P_0 是弹簧的初始载荷, P_t 是弹簧在任一时刻 t 时所承受的负荷。设计改进的螺旋弹簧试验装置测试的负荷值换算成负荷损失率,得出负荷损失率与时间的关系曲线。

目前较为适用的压缩螺旋弹簧的应力松弛方程有如下两种形式^[4,5]:

$$\Delta P/P_0 = K \ln(1 + r t)$$

$$\Delta P/P_0 = a + b \ln t$$

(1)

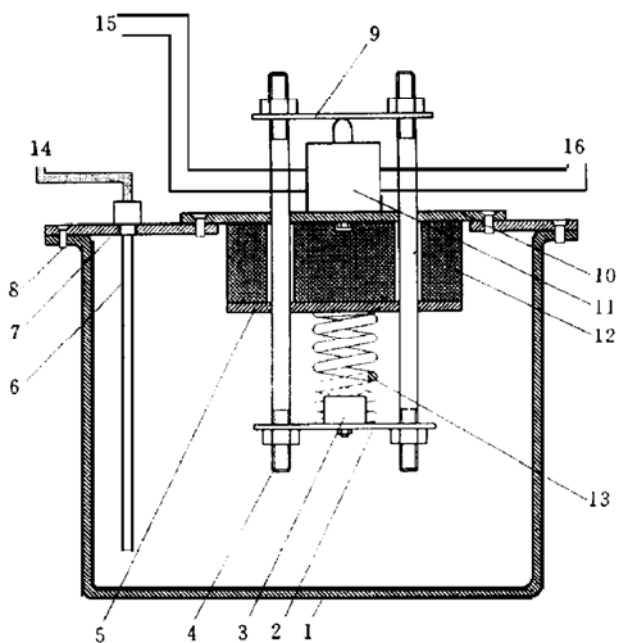


Fig. 1 Schematic diagram of experimental facility of the helical spring stress relaxation

- 1) Body 2) Lower platen 3) Spring seat 4) Screw stem
5) Lower cover plate 6) Temperature sensor 7) Cover plate
8) Bolt 9) Upper platen 10) Upper cover plate 11) Pressure transducer 12) Packing block 13) Spring 14) Temperature controller 15) Digital volt gauge 16) Regulated power supply

由以上方程对实验数据进行回归处理,可知式(1)的应力松弛曲线方程较为符合实验结果。由于负荷传感器的电压示值 V_t 与弹簧在松弛历程中相应的负荷 P_t 之间是线性正比关系,不妨设: $P_t = KV_t$, 式中 K 为常数。由以上关系式可推出:

$$\Delta P/P_0 = \Delta V/V_0 \quad (2)$$

把式(2)代入式(1),即可得:

$$\Delta V/V_0 = a + b \ln t \quad (3)$$

3.2 实验数据处理结果

编号为 1~3 的清洗泄出活门弹簧试验温度为 40℃, 弹簧贮存状态长 37 mm, 弹簧自由长 48 mm, 弹簧丝直径 3 mm, 弹簧中径 26.35 mm, 弹簧匝数 9, 实验激励电压为 10 V。由弹簧试验数据处理得到的应力松弛回归方程分别为:

$$1 \text{ 号弹簧: } \Delta V/V_0 = -1.256\,01 \times 10^{-2} + 3.503\,1 \times 10^{-3} \ln t \quad (R=0.990\,8)$$

$$2 \text{ 号弹簧: } \Delta V/V_0 = -6.159\,9 \times 10^{-3} + 1.994\,1 \times 10^{-3} \ln t \quad (R=0.988\,1)$$

$$3 \text{ 号弹簧: } \Delta V/V_0 = -2.175\,77 \times 10^{-2} + 5.902\,8 \times 10^{-3} \ln t \quad (R=0.983\,8)$$

式中, R 为回归方程的相关系数。

其松弛曲线如图 2 所示, 时间 t 的单位为 h。

编号为 4~6 启动活门弹簧的试验温度为 80℃, 弹簧贮存状态长 29 mm, 弹簧自由长 54 mm, 弹簧丝直径 3.5 mm, 弹簧中径 24 mm, 弹簧匝数 6, 实验激励电压为 10 V。相应的应力松弛回归方程为:

$$4 \text{ 号弹簧: } \Delta V/V_0 = -1.401\,11 \times 10^{-2} + 5.184\,2 \times 10^{-3} \ln t \quad (R=0.993\,4)$$

$$5 \text{ 号弹簧: } \Delta V/V_0 = -2.297\,98 \times 10^{-2} + 7.275\,2 \times 10^{-3} \ln t \quad (R=0.983\,9)$$

$$6 \text{ 号弹簧: } \Delta V/V_0 = -1.011\,27 \times 10^{-2} + 8.630\,4 \times 10^{-3} \ln t \quad (R=0.986\,9)$$

其松弛曲线如图 3 所示, 时间 t 的单位为 h。

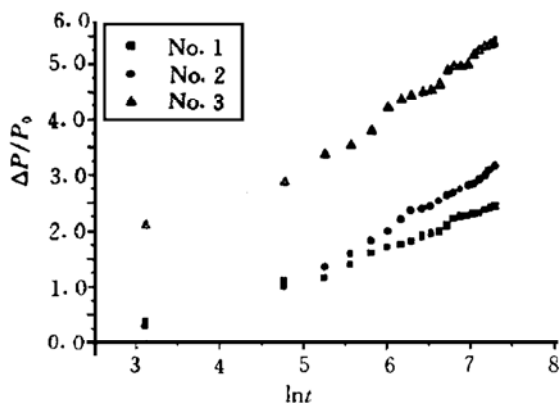


Fig. 2 Relaxation curves of No. 1~3 springs

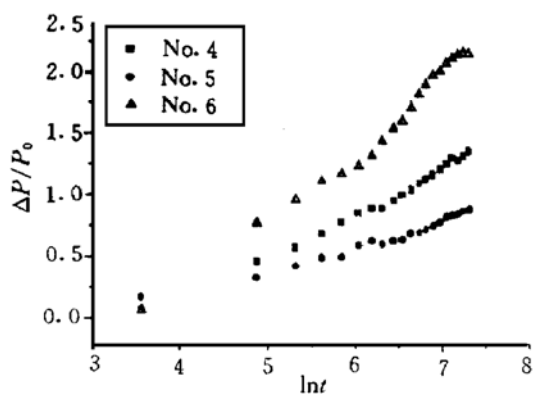


Fig. 3 Relaxation curves of No. 4~6 springs

4 结 论

(1) 通过实验研究, 得到了 40℃ 和 80℃ 下导弹武器系统中活门螺旋弹簧的应力松弛回归方程。从实验结果来看, 温度对弹簧应力松弛的影响是相当明显的。若以贮存 15 年为例, 用不同温度下的应力松弛回归方程计算可以发现, 在 80℃ 下的松弛率约是 40℃ 下松弛率的两倍。因此, 在武器装备的长期贮存中, 必须严格控制环境温度, 以降低受力金属零件的应力松弛率。

(2) 考虑到实验结果受环境随机因素的影响, 为了安全, 本文将 40°C 下的螺旋弹簧应力松弛实验结果 (即应力松弛回归方程), 用于常温环境下贮存的螺旋弹簧 (25°C)。经过计算和分析可以看出, 在常温和受力环境下长期贮存的螺旋弹簧, 其应力松弛对性能的影响是不容忽视的。计算表明, 经过 15 年的贮存, 其弹力下降最高可达 5%。

参 考 文 献

- 1 刘兵吉. 战略导弹延寿问题评述. 导弹管理与维修工程文集, 1992 (2)
- 2 Fox A. Stress-relaxation characteristics in tension of high-strength, high-conductivity copper and high copper alloy wires. Journal of Testing and Evaluation, 1974, 2 (1)
- 3 朱知寿. 弹簧应力松弛测试技术及松弛机理研究. 天津大学, 1989.
- 4 袁玉华. “205” 导弹阀门可靠性研究. 第二炮兵工程学院, 1997.
- 5 郑修麟. 材料的力学性能. 西安: 西北工业大学出版社, 1996.

简 讯

商用电推进的重要进展

1998 年是电推进系统有大幅度前进的一年。4 种类型计 78 台电推力器发射入轨, 包括 66 台肼电阻加热电离式发动机, 9 台肼电弧加热等离子体射流推力器, 2 台氙离子推力器和 1 台氙霍尔推力器系统。

摩托罗拉完成 15 次铱星发射, 67 颗铱星用 Primex 航天公司的肼电阻加热电离式发动机, 从驻留轨道爬升到 780 km。洛克希德·马丁公司的 11 颗通讯和广播同步卫星, 都用 Primex 航天公司的各种电推进系统入轨, 其中 2 颗用肼电阻加热电离式发动机, 比冲为 $3\,000\text{ N}\cdot\text{s}/\text{kg}$ 级, 5 颗用肼电弧加热等离子体射流推力器, 比冲为 $5\,000\text{ N}\cdot\text{s}/\text{kg}$ 级, 4 颗用先进的电弧加热等离子体射流推力器, 比冲为 $6\,000\text{ N}\cdot\text{s}/\text{kg}$ 级。Primex 航天公司还完成了用于日本 NASDA 数据中继和示踪卫星的低输入电压功率单元和电弧加热等离子体射流推力器的鉴定。

休斯公司两次成功地发射了带氙离子推进系统的宇宙飞行器, 实现了推力器在轨 1 100 h 的目标。氙推进剂既用于离子推力器, 又用于霍尔推力器, 前者用于姿态控制, 电阻加热电离式, 由 Moog 和电推进实验室研制, 功率 50 W, 比冲 $500\text{ N}\cdot\text{s}/\text{kg}$ 级; 后者由 Busek 和 Primex 研制, 已验证功率从 0.8 kW 到 5.0 kW。

另外, 美国还有 12 所主要大学在空军和 NASA 的资助下研制电推进系统。

莫 宫 供稿