

● 应用技术研究

高精度S型力传感器的研制

长治市应用技术研究院 程宝平¹⁾

摘要 介绍了高精度S型力传感器的设计方法、结构特点、材质选用、应变片粘贴固化工艺,并对其中的关键点进行了详述。

关键词 S型双孔测力传感器 弹性体 金属箔式应变片

中图分类号 TH715.1

文献标识码 A

文章编号 1006- 4877(2003) 03- 0056- 02

电阻应变式传感器具有悠久的历史,也是目前应用最广泛的传感器之一。目前国内外测力传感器,有筒式、柱式、轮辐式、板环式、梁式、S型、桥式等多种类型。我们研制的各个量程的S型双孔测力传感器具有体积小、稳定性好、输出信号大、灵敏度高、抗侧向力强、粘贴方便、易于加工,各项技术指标(线性、重复性、滞后性、蠕变性)在满量程状态下测量结果均可达到0.030%之内。

1 工作原理

在S型双孔弹性体如图1所示部位粘贴4片金属箔式应变片,将它们用导线连成图2所示的电桥,其输出电压为:

$$\Delta U = \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} U_0 \dots\dots\dots (1)$$

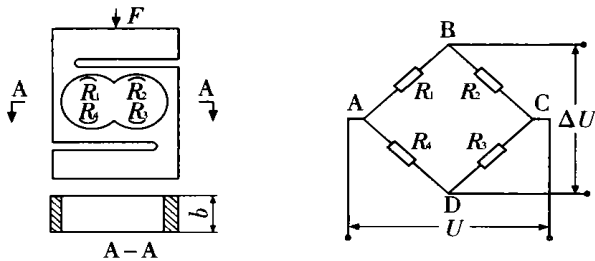


图1 S型双孔弹性体 图2 应变片连接电路图

当弹性受力作用产生变形,供桥电压一定,且 $\Delta R_i \ll R_i$ 时,可得:

$$\Delta U = \frac{KU}{4} (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) \dots\dots\dots (2)$$

式中:K——应变片灵敏系数;

ϵ ——线应变值。

从公式(2)中可以看出,相邻桥臂若极性一致时,电桥输出电压为两者之差;若极性不一致时,输出电压为两者之和。而相对桥臂则相反,若极性一致时,输出电压为两者之和;若极性不一致时,输出电压为两者之差。

2 S型传感器弹性体设计^[1]

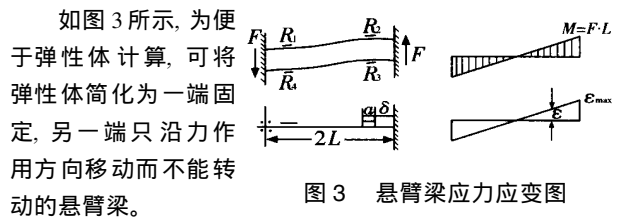


图3 悬臂梁应力应变图

如图3所示,为便于弹性体计算,可将弹性体简化为一端固定,另一端只沿力作用方向移动而不能转动的悬臂梁。
因为 $\sigma = \frac{FL}{W}$, $\sigma = E \epsilon$, $W = \frac{bh^2}{6}$, $\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W}$,
所以 $\epsilon_{max} = \frac{\sigma_{max}}{E} = \frac{FL}{WE} = \frac{6FL}{bh^2E} \dots\dots\dots (3)$

$$h = \sqrt{\frac{6FL}{b\sigma}} \dots\dots\dots (4)$$

- 式中: σ ——材料应力;
- F——作用力;
- L——梁端部到梁中心的距离;
- W——弯矩模量;
- E——弹性体材料的弹性模量;
- b——梁宽;
- h——梁厚;
- M——弯矩。

由于应变片不是贴在根部,而是贴在双孔孔壁最薄处,又因双梁结构,单梁受力为总受力的1/2,

$$\text{所以, } \epsilon_{\text{应变片}} = \frac{3F(L - a/2 - \delta)}{bh^2E} \dots\dots\dots (5)$$

式中: a——应变片基长;

δ ——梁端部到应变片的距离。

$$\text{因为 } \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} = K \epsilon,$$

$$\text{所以 } \Delta U = K \epsilon U = \frac{3F(L - a/2 - \delta)K U}{bh^2E} \dots\dots\dots (6)$$

设传感器的输出灵敏度 $S = \frac{\Delta U}{U}$,

$$S = \frac{3F(L - a/2 - \delta)K}{bh^2E} \dots\dots\dots (7)$$

以1t S型传感器弹性体为例,设 $b = 20.00 \text{ mm}$, $L = 14.00 \text{ mm}$,计算出 $h = 6.88 \text{ mm}$ 。为了研究该弹性体结构的合理性,可用有限元法进行分析,从而获得任何部位的应力应变状况。

1) 程宝平,男,1964年9月生,1985年7月沈阳建筑工程学院机械制造及工艺设备专业毕业,所长,工程师,046011,山西省长治市太行东街甲5号

收稿日期:2003-02-14

光弹分析结果表明, 选用的材料应具备高强度和高弹性极限, 以保证应变和载荷之间呈良好的线性关系; 经最终处理后, 残余应力要小, 并应具有均匀而稳定的金相组织; 应具有较小的热膨胀系数、小而恒定的弹性系数和温度系数; 弹性滞后要小。我们所设计的 S 型传感器的弹性体选用的是国产钢材 30CrMnSiA。由于这种钢材中含有 P、S 杂质, 致使该材质冷却时产生偏析, 所以在材质加工前要对其采用电炉精炼工艺处理。通过电炉精炼, 剔除材质中 P、S 杂质, 同时也明显提高了材质的横向和纵向机械性能。再通过自然时效和消磁来处理材质的残余应力, 使残余应力降到最低。由于传感器对硬度和机械加工精度的要求很高, 因此在加工工艺上做了很大的改进, 例如在保证精度的前提下, 取消了线切割加工工序, 从而大幅度降低了成本, 提高了经济效益。

3 结构特性

这种 S 型测力传感器的特点是: ① 作用力在加载点上移动时, 不影响输出灵敏度的大小。由于两孔间存在着零弯矩区, 可以减小力点移动的影响(见图 4)。由图 4 可见, 当作用力 F 偏离中心 ΔL 时, 中间梁受剪力和弯矩。此时 $R_1、R_2、R_3、R_4$ 除了产生 F 作用在中心处的正常变化外, 还要增加在 $M = F \Delta L$ 作用下的附加变化量。 $R_2、R_3$ 一侧所受弯矩绝对值增加了 ΔM ; $R_1、R_4$ 一侧所受弯矩绝对值减少了 ΔM 。对应于 ΔM , 应变片的电阻变化为 ΔR , 则 $R_2、R_3$ 的附加电阻值变化量为 $+\Delta R$; 而 $R_1、R_4$ 一侧为 $-\Delta R$ (见图 5)。从图 5 中可以看出, 这样的附加变化量在桥路中互相抵消, 因此不会引起输出量的变化。

② 输出灵敏度高。对于一个理想的力传感器, 都希望输出灵敏度高, 并希望只与粘贴应变片处一小块面积上的应力分布有关。为了保证力传感器的性能, 希望粘贴应变片处强度越高越好, 而贴片处应尽量减薄, 双连孔结构就是根据这些要求设计的(见图 6)。光弹分析显示, 在圆孔 A 处将产生应力集中, 在此处贴片可获得较大的输出。③ 刚度易于调节。这种受力结构的变形横断面为矩形, 梁的刚度为:

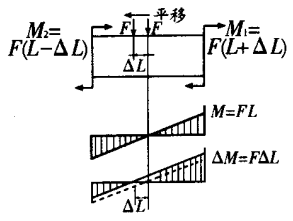


图 4 弯矩图

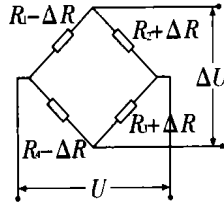


图 5 传感器应力应变电路图



图 6 贴应变片处应力示意图

$$y = \frac{Ebh^3}{32\rho^3} \dots \dots \dots (8)$$

式中: ρ ——梁材料的密度。

即刚度 $y \propto h^3$, 当梁厚度略有增加, 刚度即可提高很多。这种梁的固有频率为:

$$f_0 = \frac{0.0405h}{\rho^2} \sqrt{\frac{E}{e}} \dots \dots \dots (9)$$

即固有频率 $f_0 \propto \frac{1}{\rho^2}$, 当长度略有减少, 固有频率就会提高 1 倍。

从公式(8)、公式(9)中可以看出, 这种双连孔结构动态性能易于调节, 便于减少滞后和蠕变, 可提高抗侧向力。

4 应变片的粘贴与固化

应变片的粘贴位置如图 1 所示。应变片要经过筛选、清洗, 选用电阻值 350 Ω 的金属箔式应变片。应变胶选用改性环氧应变胶。弹性体也要经过脱脂、除锈、清洗处理。对粘贴应变片部位还要用 80 目水砂纸交叉打磨(45°角), 打磨面积应是应变片的 2 倍 ~ 3 倍。粘贴前要对弹性体进行加温, 还要对其粘贴面用丙酮清洗。粘贴完应变片后将弹性体置入恒温箱中进行应变片加压前固化和卸压后固化处理。这样可使应变胶干燥彻底、固化完全。这个阶段的工序决定着整个传感器的精度, 一定要严格按规程操作。

5 测试结果

测力传感器供桥电压 12 V, 电阻应变片电阻值 350 Ω , 绝缘度超过 1 000 M Ω , 因弹性体材料是国产优质合金钢, 时效时间较长, 因此制成后的初检结果与疲劳 1 万次后的检定结果差异不明显。该传感器采用的测试仪器有, 检定用测力机: EJ II - 6t 标准测力机; 稳压电源: CB - I 型传感器标定仪; 数字电压表: SOLartron 7150, Keithleg 192。测试结果见表 1。

表 1 测试结果

项目	课题指标	测试结果	
		一 组	二 组
输出灵敏度(mV/V)		2.82	2.90
重复性 ¹⁾ (%)	0.1	0.015	0.011
线性 ¹⁾ (%)	0.1	0.024	0.020
滞后 ¹⁾ (%)	0.1	0.018	0.013
蠕变 ²⁾ (%)	0.1	0.042	0.040
零点蠕变 ²⁾ (%)	0.1	0.031	0.017

1) 在满量程状态下测量结果。
2) 在满量程状态下, 持续 30 min 测量结果。

参考文献

[1] 刘鸿文. 材料力学. 北京: 人民出版社, 1997. 107 ~ 161.
(责任编辑 刘长生)

Development of S Type Transducer with High Precision

Changzhi Applied Technology Institute Cheng Baoping

Abstract: This paper introduces the design method, structural characteristic selection of material, sticking curing technology of strain gauge of S type transducer with high precision, expounds in detail key among them.

Keywords: S type double - hole dynamometric transducer, elastomer, metal foil stain gauge