

HDS 系统称重传感器电阻应变环的结构与受力分析*

张有忱

修 燕

(中国矿业大学 北京 100083)

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

摘要 通过对 HDS 系统(移动式动态称重系统)称重传感器电阻应变环的结构分析和受力分析,证明这种结构具有较高的测量灵敏度。同时分析了应变环中电阻应变计长度对测试灵敏度的影响。

关键词 汽车 电阻应变计 传感器

Analysis on the Strain-Ring Structure and its Stressing of Weighing Transducer for HDS System

Zhang Youchen

(China University of Mine and Technology, Beijing)

Xiu Yan

(Research Institute of Highway, Beijing)

Abstract Through analysing the resistance strain-ring structure of weighing transducer for automobile HDS system (dynamic weighing system of mobile type) and structural stressing, it is proved that this kind of structure is higher sensitive in measurement. The influence of resistance strain gauge length in strain-ring on measuring sensitivity is analysed as well.

Key words Automobile Resistance strain gauge Transducer

为了进行汽车自动称重,本文采用测量涵洞顶板变形推算汽车重量的方法,而该变形是通过电阻应变环测得的,为此,下面对电阻应变环的结构及灵敏度进行详细的分析。

1 传感器电阻应变环受力及灵敏度分析

在相同的桥涵顶板变形或受力的情况下,采用电阻应变环可提高传感器自身的测量灵敏度,传感器输出信号较强。本文把由于采用电阻应变环结构而使输出信号得到加强的这种作

* 本文为“八五”国家攻关课题 85-403-05-03

收稿日期 1996-01-26

用称为传感器自身的机械放大作用。下面就其产生机械放大作用的原因进行定性分析。

电阻应变环的结构如图1所示。当应变环两端受到拉力(或压力)时,环5发生变形,产生应变。通过测量1、2、3、4电阻应变计的电阻变化,即可测得环5的应变。测量电路使用全等臂电桥,4个桥臂都要用电阻应变计。经推导可得该电桥输出电压信号 ΔV_c ,见式(1)。

$$\Delta V_c = \frac{E_c/4}{\Delta R_1/R - \Delta R_2/R + \Delta R_3/R - \Delta R_4/R} = \frac{K \cdot E_c/4}{\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4} \quad (1)$$

式中, R 为电阻应变计的初始电阻值; ΔR 为电阻增量; E_c 为电桥电源的电势; K 为电阻应变计的灵敏度系数。

根据材料力学可知,材料的应变与应力成正比,即

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (2)$$

式中, σ 为应力; E 为材料的弹性模量。

将式(2)代入式(1)可得

$$\Delta V_c \cong \frac{E_c \cdot K}{4E} (\sigma_1 - \sigma_2 + \sigma_3 - \sigma_4) \quad (3)$$

由式(3)可知,欲求输出电压 ΔV_c ,必须先求出 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 、 σ_4 。下面求解应变环的电阻应变计所在位置的应力。

通过对图1中应变环结构分析,可知这是材料力学中一个超静定问题。为了求解1、2、3、4位置的应力,必须找出应变环各部分之间存在的变形相容条件,并据此写出变形几何方程。根据图1可得到应变环的简化结构,如图2所示。为了计算分析方便,将环分解成1、2、3、4这4个杆的分离体,如图3所示,每个杆分离体分别求解。

首先看杆1,当仅受力 P 作用时(见图4b),杆1在B端点产生的角位移 $\theta_{1B'}$ 为

$$\theta_{1B'} = \frac{P \cdot L_1^2}{6E \cdot I_1} \quad (4)$$

式中, E 为杆1的弹性模量; I_1 为杆1的截面惯性矩; P 为杆1所受外力; L_1 为杆1的有效长度。

当仅在杆1A、B两点受到弯矩 Me 的作用时(见图4c),杆1在B端点产生的角位移 $\theta_{1B''}$ 为

$$\theta_{1B''} = \frac{Me \cdot L_1}{2E \cdot I_1} \quad (5)$$

$\theta_{1B'}$ 与 $\theta_{1B''}$ 转向相反,根据小变形叠加原理,可求得杆1在B点的总角位移 θ_{1B} 为

$$\theta_{1B} = \frac{P \cdot L_1^2}{16E \cdot I_1} - \frac{MeL_1}{2EI_1} \quad (6)$$

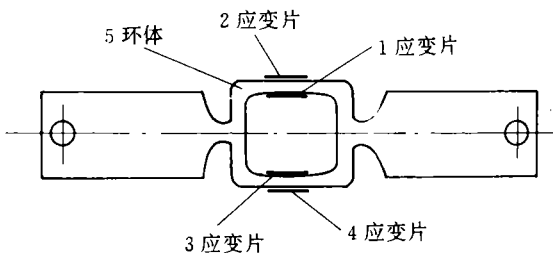


图1 电阻应变环结构示意图

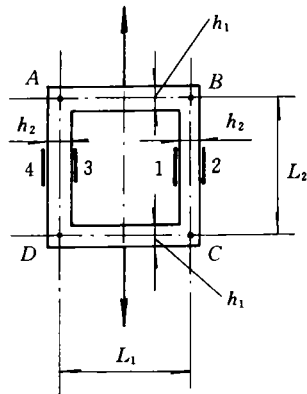


图2 应变环简化结构示意图

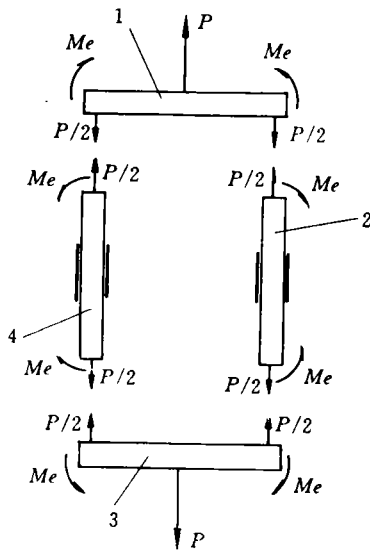


图3 应变环分解示意图

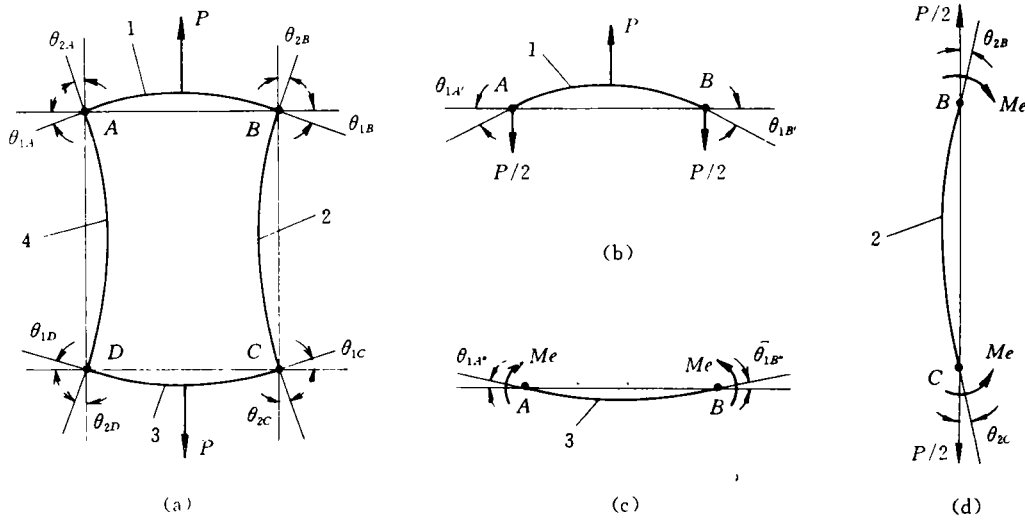


图 4 应变环分离杆角位移示意图

下面再分析杆 2 在 B 点的角位移。由图 4d 可知, 杆 2 受到弯矩 Me 和拉力 $P/2$ 的作用, B 点的角位移主要由弯矩 Me 产生, 拉力 $P/2$ 对角位移的影响可以忽略。根据材料力学有关公式可得

$$\theta_{2B} = \frac{Me \cdot L_2}{2E \cdot I_2} \quad (7)$$

式中, L_2 为杆的有效长度; I_2 为杆的截面惯性矩。

由于在 B 点, 杆 1 与杆 2 是固结的, 则在 B 点杆 1 与杆 2 所产生的角位移应相等, 即满足变形相容条件, 由此得到变形几何方程为

$$\theta_{1B} = \theta_{2B} \quad (8)$$

将 (6) 式、(7) 式代入 (8) 式, 经整理得到在 B 点处弯矩 Me 的表达式为

$$Me = \frac{P \cdot L_1^2 / (8I_1)}{L_1 / I_1 + L_2 / I_2} \quad (9)$$

求出弯矩 Me 后, 即可求得杆 2 上 1、2 电阻应变计所在位置的弯曲应力为

$$\sigma_{1m} = \frac{Me h_2}{2E \cdot I_2} \quad (10)$$

$$\sigma_{2m} = -\frac{Me h_2}{2E \cdot I_2} \quad (11)$$

根据应变环结构对称性, 同理可求得 3、4 电阻应变计所处位置的弯曲应力为

$$\sigma_{3m} = \frac{Me h_2}{2E \cdot I_2} \quad (12)$$

$$\sigma_{4m} = -\frac{Me h_2}{2E \cdot I_2} \quad (13)$$

由图 3 可知, 杆 2 上还受到拉力 $P/2$ 的作用, 故在 1、2 电阻应变计所处位置还存在拉应力 σ_{1P} 和 σ_{2P} , 其应力值为

$$\sigma_{1P} = \sigma_{2P} = \frac{P}{2A_2} \quad (14)$$

式中, A_2 为杆 2 和杆 4 的横截面积。

同理可得

$$\sigma_{3P} = \sigma_{4P} = \frac{P}{2A_2} \quad (15)$$

根据叠加原理可求得 1、2、3、4 位置的总应力分别为

$$\sigma_{1P} = \sigma_{3P} = \frac{Meh_2}{2I_2} + \frac{P}{2A_2} \quad (16)$$

$$\sigma_{2P} = \sigma_{4P} = \frac{Meh_2}{2I_2} + \frac{P}{2A_2} \quad (17)$$

将 (16) 式、(17) 式代入 (2) 式可得

$$\Delta V_c \cong \frac{E_c K}{4E} [2 \cdot (\frac{Me \cdot h_2}{2I_2} + \frac{P}{2A_2}) - 2 \cdot (\frac{Me \cdot h_2}{2I_2} + \frac{P}{2A_2})] = \frac{E_c K Meh_2}{2EI_2} \quad (18)$$

若不采用应力环, 而采用图 5 所示结构测量拉力 P , 则应力为

$$\sigma_P = \frac{P}{A_2} \quad (19)$$

在这种情况下, 由于电桥中 R_2 、 R_3 、 R_4 不参加测量, 故可以认为

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = 0 \quad (20)$$

将 (19) 式和 (20) 式代入 (3) 式可得

$$\Delta V_c \cong \frac{E_c \cdot K \cdot P}{4A_2 E} \quad (21)$$

下面求解应变环输出信号与图 5 所示结构输出信号的比值 C_1 为

$$C_1 \cong \frac{E_c K Meh_2}{2EI_2} / \frac{E_c K P}{4EA_2} = \frac{2E_c h_2 A_2}{PI_2} \quad (22)$$

式中, C_1 为应变环的机械放大倍数。

(22) 式中的 Me 可由 (9) 式求出。假定应变环 4 边杆的厚度均为 h , 宽度均为 b , 长度均为 L , 则弯矩 Me 为

$$Me = \frac{PL}{16} \quad (23)$$

将 (23) 式代入 (22) 得

$$C_1 = \frac{3L}{h} \quad (24)$$

由上式可见, 应变环输出信号与单杆结构输出信号比值和应变环的边长与 4 边厚度 h 之比有关。一般选用 L/h 为 4~5, 则应变环的机械放大系数为 12~15。

通过以上分析可知, 应变环的测试灵敏度要比单杆单电阻应变测试计的高得多, 故实验中传感器采用了应变环结构。由于实际应变环的 4 边厚度和长度并非一致, 故实际中的应变环机械放大倍数比上式计算略小一些, 通过实际测试, 所采用应变环的机械放大倍数为 10~13。

2 应变片长短对测量灵敏度影响分析

由图 2 可知, 杆 2 受到弯矩 Me 的作用, 由弯矩 Me 产生的应力 σ 在杆 2 同侧表面上均相同, 即在杆 2 表面每点均有相同的应变。在这种情况下, 应变片的长短对测试灵敏度没有太大影响, 此时应变片的选择主要取决于其它因素。但是, 如果应变环中各杆的厚度是非均匀

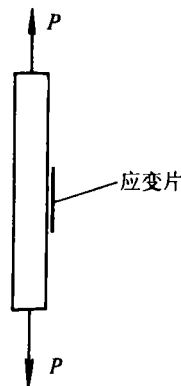


图 5 单杆单应变片测量示意图

时,应变片的长短对其测量结果就会产生一定的影响。考虑到加工工艺,一般所采用的应变环内环都存在不同程度弧度,如图6所示。这时4周杆的厚度是变化的,根据材料力学公式可知,表面处应力 σ 为

$$\sigma = \frac{6Mc}{bh^2} \quad (25)$$

由上式可以看出,厚度 h 越小,则应力 σ 越大,即 ε 越大,反之亦然。若应变环上应变片的有效工作长度分为 S_1 、 S_3 ,并且 $S_1 < S_3$,则1应变片上的平均应变显然小于3应变片的平均应变。这是因为在整个 S_1 上的平均杆厚 h 要大于 S_3 上的平均杆厚。由此可知,对于图6结构形式应变环,其应变片还是稍微短一些为好。据此分析,我们对澳大利亚的同类产品中应变片的长度进行了改动,采用了短一些的应变片。实验证明,短应变片的效果比长应变片的效果要好得多。

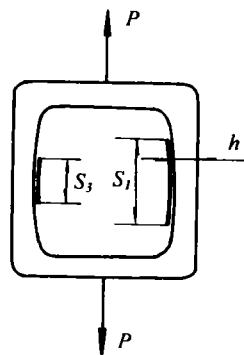


图6 变截面应变示意图

3 结论

1. 通过对电阻应变环结构分析和受力分析,从理论上证明电阻应变环具有较高的测试灵敏度。

2. 应变片长短对非均匀厚度应变环的测试灵敏度有一定影响。一般情况下选择稍微短一些的应变片为宜。

参考文献

- 1 张如一, 陆耀楨. 实验应力分析. 机械工业出版社, 1981
- 2 沈观林, 马良垚. 电阻应变计及其应用. 清华大学出版社, 1983
- 3 孙训方等. 材料力学. 高等教育出版社, 1987

公路防滑新技术

日本道路建设公团最近研究出一种能有效防止因路面冻结而导致车辆打滑的公路建设技术。

这项新技术是在刚铺上沥青的路面上铺上一层使用硬质橡胶生产的新材料。这种新材料为直径2厘米的五角形颗粒,将其铺在刚完工的沥青路面上,再用压路机压入沥青路面。压入路面后的五角形颗粒有小部分露出路面,可增加路面的摩擦力。

同时,车辆通过路面时产生的压力可使硬质橡胶变形,车辆过后的反弹力量可使冰破碎,防止路面打滑。

采用这种方法施工不用盐化物质就可以防止路面冻结冰层,并延长道路寿命,减少管理费用。

日本有关方面已决定在1998年冬季奥运会举办地从东京通往长野县的高速公路上采用这项新技术施工,以提高防滑效果。

陈吉飞