

# 用调节电阻补偿法消除多维 力测量中向间干扰\*

郑海波<sup>①</sup> 金问林<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>华侨大学机械工程系, 泉州 362011; <sup>②</sup>南京航空航天大学机械工程系, 南京 210016)

**摘要** 介绍一种消除各分力之间相互干扰的新方法——调节电阻补偿法。其特点是通过联接适当的调节电阻, 改变某个或某几个应变片的输出灵敏度, 从而在测量电桥内部完全消除各分力之间的干扰。

**关键词** 调节电阻补偿法, 多维力测量, 向间干扰

**分类号** TM 934.112

我们知道, 用于检测作用力某一分量的电桥输出不应受其它分量的影响。目前消除向间相互干扰的方法有: 计算补偿法和电路补偿法。这两种方法实际上都属于信号处理技术, 对某一分量干扰的补偿是建立在相应干扰力分量检测值(输出)已知的基础上。当实际作用着的某个分量因某种原因无法检测或检测很困难时, 这两种方法便不能使用。此外, 多分量力传感器各分力间的相互干扰一般只能控制在5%左右。国际上很成熟的、高精度的传感器也只能控制在2%的水平上<sup>[1]</sup>。为此, 本文介绍一种用于消除各分力之间相互干扰的新方法——调节电阻补偿法。这种方法可在测量电桥内部完全消除各分力之间的干扰。

## 1 调节电阻补偿法的原理

如图1所示的测量第*i*个分量 $f_i$ 的电桥在第*j*个分量作用下的输出为

$$\Delta U_{ij} = \frac{U}{4R} \sum_{k=1}^4 (-1)^{k+1} \Delta R_{ijk} \quad (j = 1 \sim n, j \neq i), \quad (1)$$

式中  $R$  为各桥臂的总阻值;  $\Delta R_{ijk}$  为各桥臂的阻值变化量。

由于加工误差、应变片特性离散和贴片误差的存在, 即使采用可消除干扰的布片方式, 式中所表示的各干扰输出也往往不会等于零。但如果给各应变片的输出灵敏度加权, 即

$$\Delta U_{ij}^* = \frac{U}{4R} \sum_{k=1}^4 (-1)^{k+1} W_k \Delta R_{ijk} \quad (j = 1 \sim n, j \neq i), \quad (2)$$

并通过选择合理的权重系数  $W_k$ , 使得  $\Delta U_{ij}^*$  为零, 则可消除  $f_j$  对测量电桥的干扰。显然, 在各应变片阻值增量已知的条件下, 权重系数  $W_k$  可通过求解下列线性方程组得到, 即

\* 本文 1994-12-07 收到

$$\sum_{k=1}^4 (-1)^{k+1} W_k \Delta R_{ijk} = 0 \quad (j = 1 \sim n, j \neq i). \quad (3)$$

基于式(3),本文提出了如图2所示的调节电阻补偿方式. 图中  $R_i$  为电桥  $B_i$  中第  $k$  个桥臂应变片,其阻值为  $R_0$ ;  $R_a$  为调节电阻,其作用是调节该桥臂的应变输出灵敏度;  $R_b$  为平衡电阻,其作用是保持调节后的桥臂阻值不变.

设在干扰分量  $f_j$  的作用下,应变片的阻值增量已知为  $\Delta R_{ijk}$ ,则按图2调节后的桥臂阻值

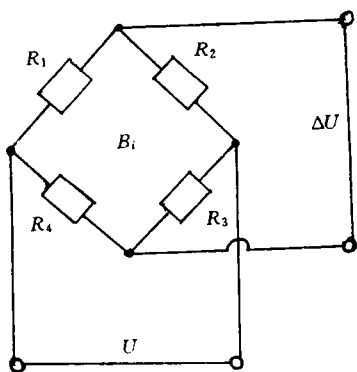


图1 测量电桥

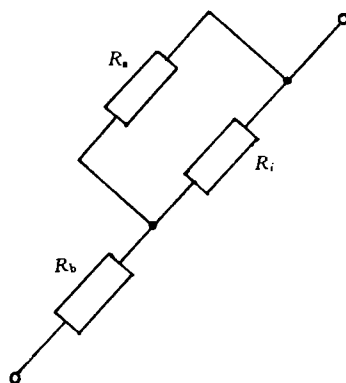


图2 调节电阻补偿法原理

增量为

$$\delta R_{ijk} = \frac{R_a}{R_a + R_0} \Delta R_{ijk}, \quad (4)$$

调节后电桥输出为

$$\Delta U_{ij}^* = \frac{U}{4R} \sum_{k=1}^4 (-1)^{k+1} \left( \frac{R_a}{R_a + R_0} \right) \Delta R_{ijk}, \quad (5)$$

式中

$$R = \frac{R_a R_0}{R_a + R_0} + R_b.$$

比较式(2)与式(5)可得

$$W_k = \frac{R_a}{R_a + R_0},$$

或者

$$R_a = \frac{W_k}{1 - W_k} R_0. \quad (6)$$

平衡电阻则按下式确定,即

$$R_b = R - W_k R_0. \quad (7)$$

在  $W_k$  已知的条件下,由式(6)和式(7)选择各调节电阻和平衡电阻的阻值,然后按图2所示的方式与各桥臂应变片联接,便可实现应变片的输出加权,进而消除电桥其它分力作用而产生的干扰.

## 2 调节补偿范围及调节对检测灵敏度的影响

由式(6)知,采用图 2 的方法所能实现的权重系数只能是小于 1 的正数.若式(3)的解不满足这一条件,则需要根据情况进行如下处理.

(1) 当权重系数大于零,但不满足小于 1 的条件时,即

$$W_k \geq 0 \text{ 且 } (W_k)_{\max} > 1 \quad (k = 1, 2, 3, 4),$$

可对权重系数进行如下处理,即

$$R_k^* = \frac{W_k}{(W_k)_{\max}} \quad (k = 1, 2, 3, 4). \quad (8)$$

(2) 当求解得到的权重系数小于零时,则无法采用调节电阻补偿来实现,而需要重新考虑应变片的选择及组桥方式.在实际应用中应在传感器结构设计时就考虑这一因素,以保证调节电阻补偿法的顺利实施.

(3) 当  $W_k=1$  时,电桥不需补偿.

此外,调节电阻在消除干扰输出的同时,也将影响电桥的检测灵敏度.这点从单个桥臂来看就显得非常清楚,第  $k$  个桥臂的灵敏度相对衰减系数为

$$\begin{aligned} \beta_s &= \frac{\Delta R_{ijk} - \delta R_{ijk}}{\Delta R_{ijk}} \times 100\% \\ &= (1 - W_k) \times 100\%. \end{aligned}$$

由上式可见,  $W_k$  愈大,各桥臂的灵敏度衰减得愈大.

## 3 可补偿性的讨论

我们知道,  $m$  元齐次方程有非零解的条件是

$$r(A) < m. \quad (9)$$

在对应图 1 测量电桥的齐次方程组(3)中,如果  $r(A) \geq 4$ ,则方程只有零解(这种情况在需要补偿的干扰分量维数  $n \geq 4$  时,很有可能).因而无法实施补偿.那么在这种情况下该怎么办呢?下面就补偿任意  $n$  维干扰分量的情况做一般性的讨论.

设  $m$  为电桥中的应变片数,且  $\Delta R_{ijk} \ll R_0$ ,  $\Delta R_{ijk}$  的高次方( $\geq 2$ )可忽略.则不管应变片在桥臂中如何分配与联接,都有

$$\Delta U_{ij} = \frac{U}{4R} \sum_{k=1}^m a_k \Delta R_{ijk} \quad (j = 1, 2, \dots, n+1, j \neq i), \quad (\leq \supset)$$

式中  $R$  为每桥臂总电阻,  $a_k$  为一个带符号的常数,  $\Delta R_{ijk}$  为每个应变片电阻值的变化.

补偿后干扰输出为

$$\Delta U_{ij} = \frac{U}{4R} \sum_{k=1}^m a_k W_k \Delta R_{ijk} \quad (j = 1, 2, \dots, n+1, j \neq i). \quad (11)$$

为了讨论齐次方程组

$$\sum_{k=1}^m a_k W_k \Delta R_{ijk} = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n+1, j \neq i) \quad (12)$$

的解的情况,假定它的系数矩阵  $A = (a_k \Delta R_{ijk})_{n \times m}$  为满秩矩阵,即

$$r(A) = \min(n, m), \quad (13)$$

事实上,由于设计和制造中的各种误差,上式在实际中往往是自动满足的.由式(9),(13)可知齐次方程组(12)有非零解的必要条件是

$$r(A) = n < m.$$

由此可知,在理论上,要补偿  $n$  维干扰分量,至少需要  $n+1$  个应变片组成电桥.

## 4 结论

(1) 本文提出的调节电阻补偿法可通过合理选择调节电阻的阻值,调节电桥各应变片的输出灵敏度达到完全消除相互干扰的目的,该方法简单易行.

(2) 在多维力的检测中,理论上只需  $n+1$  个应变片组成电桥便可消除  $n$  维干扰分量的影响.

(3) 加权系数的取值范围在  $0\sim 1$  之间.

(4) 采用调节电阻补偿法进行相互干扰输出补偿将使原始电桥的灵敏度下降.相互干扰愈大,灵敏度下降愈大.

## 参 考 文 献

- 1 表哲俊.金属切削实验技术.北京:机械工业出版社,1988.67~71

## Eliminating Mutual Interference in Strain Type Multidimensional Measurement by Regulating Resistance Compensation Method

Zheng Haibo<sup>①</sup> Jin Wenlin<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>Dept. of Mech. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou;

<sup>②</sup>Dept. of Mech. Eng., Nanjing Univ. of Aviation & Space Flight, 210016, Nanjing)

**Abstract** Regulating resistance compensation as a new method is presented here for eliminating the mutual interference of component forces. By connecting adaptive regulating resistance to change the output sensitivity of one gauge or several ones, the mutual interference of component forces in the measuring bridge can thus be completely eliminated.

**Keywords** regulating resistance compensation method, multidimensional force measurement, mutual interference