

压阻法测试电路中端接电阻的计算*

果明明

(国防科技大学机电工程与仪器系 长沙 410073)

王诚洪

(国防科技大学应用物理系 长沙 410073)

摘要 采用普遍的方法导出了压阻法测试电路中端接电阻的计算公式,并从实验上进行了验证。

关键词 压阻法;端接电阻;计算公式

分类号 TM13

压阻传感器久已被用来测量冲击加载条件下凝聚介质中的压力剖面。但为了获得正确可靠的波形以便求得有用的数据,在测量时,除了使用性能良好的传感器和电源(恒流源或恒压源)外,还必须采取一些相应的措施,如,测试电路的匹配是个值得重视的问题^{[1][2]}。要解决好匹配问题,事先应计算出端接电阻的阻值,这对高阻值(一般的碳压阻传感器的阻值为50欧姆)的传感器尤为重要。在以往发表的关于压阻法测试技术文献中,很少见到有关这一问题的专门阐述。本文将采用普遍的方法导出测试电路中端接电阻的计算公式,并从实验上进行了验证。

1 端接电阻的计算公式

通常,压阻法测试电路的示意图如图1所示。图中, R_s 为压阻传感器的有效电阻; R_1 、 R_2 和 R_3 为端接电阻; Z_1 、 Z_2 和 Z_3 分别为同轴电缆1、2和3的特性阻抗。

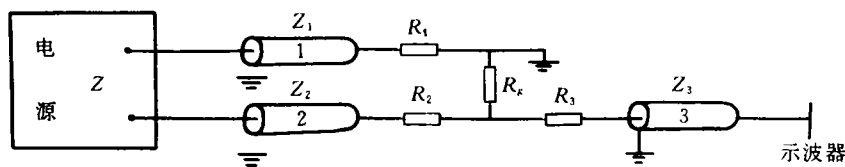


图1 测试电路示意图

* 1993年12月2日收稿

在测试电路中，我们使用的同轴电缆是均匀传输线，其中，每一区段的参数都是相同的。但是，由于在传输线中接入了压阻传感器、端接电阻等具有集中参数的元件，或与其有不同特性阻抗的传输线相连，此外，还会遇到几条线并联接入的节点，因此，传输线的均匀性遭到了破坏。为了决定在上述情况下的瞬变状态，就要有适用于任何电路图的普遍方法。

设任意形状的波 u_λ (电压) 和 i_λ (电流) 沿着特性阻抗为 Z 的传输线运动，而 $u_\lambda = Zi_\lambda$ 。这个波可以是矩形的，也可以是指数衰减的脉冲、衰减振荡的脉冲或任意其它形状的波。波投射到联接或分支节点处，这些节点的电路图也可以是任意的 (见图 2)。在所有情况下，电路图中心 2-2 的那一部分可以看作是一个二端网络，它的电压和电流是某一时间函数。

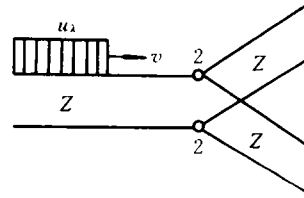


图 2

因为二端网络的两个端纽 2-2 也属于特性阻抗为 Z 的传输线，故在这些端纽上的电压永远是入射波和反射波的电压之和，而电流则等于入射波和反射波的电流之差。

$$u_2 = u_\lambda + u_{\bar{\lambda}}, \quad i_2 = i_\lambda - i_{\bar{\lambda}} = \frac{u_\lambda - u_{\bar{\lambda}}}{Z}$$

联立求解这两个方程式就得：

$$2u_\lambda = u_2 + Zi_2$$

最后这个关系式是用来决定在波投射处的电压和电流的基本计算方程式。此式表示，当波前进到传输线的输出端时，为了计算出此时输出端的电流或电压，可将整个传输线用集中参数的含源支路代替，其电源电动势为 $2u_\lambda$ ，而内阻为 Z ，在节点 2-2 右边的电路部分，也可以用一个含有集中参数的元件的电路图来代替 (见图 3)，由于在波投射时，节点的右边没有反射波，故在节点的右边，电流和电压之间有 $u_2 = Zi_2$ 的关系。因此，不管线路终端联接的电路图如何，接向节点的每一根线都可以用一个集中的阻抗 Z_i 来代替。

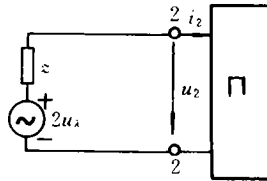


图 3

根据上面的分析，对于图 1 中特性阻抗为 Z_1 的同轴电缆有 (见图 4)

$$2u_\lambda(1) = u_2(1) + Z_1 i_2(1) = R_1 i_2(1) + Z_1 i_2(1)$$

$$i_2(1) = \frac{2u_\lambda(1)}{R_1 + Z_1}, \quad u_2(1) = R_1 i_2(1) = \frac{2R_1 u_\lambda(1)}{R_1 + Z_1}$$

反射波的电压和电流为

$$u_{\bar{\lambda}}(1) = u_2(1) - u_\lambda(1) = \frac{R_1 - Z_1}{R_1 + Z_1} u_\lambda(1)$$

$$i_{\bar{\lambda}}(1) = i_\lambda(1) - i_2(1) = \frac{R_1 - Z_1}{R_1 + Z_1} i_\lambda(1)$$

要使 $u_{\bar{\lambda}}(1)$ 和 $i_{\bar{\lambda}}(1)$ 为零，即无反射波产生，必须使

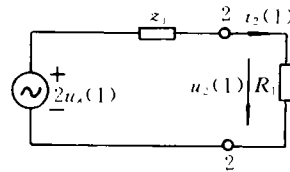


图 4

$$R_1 = Z_1 \quad (1)$$

对于特性阻抗为 Z_2 的同轴电缆 2, 有 (见图 5)

$$2u_1(2) = u_2(2) + Z_2 i_2(2) = R i_2(2) + Z_2 i_2(2)$$

$$i_2(2) = \frac{2u_1(2)}{R + Z_2}, \quad U_2(2) = R i_2(2) = \frac{2R u_1(2)}{R + Z_2}$$

这里, $R = R_2 + R_g // (R_2 + Z_1)$ 。

反射波的电压和电流为

$$u_{\text{反}}(2) = u_2(2) - u_1(2) = \frac{R - Z_2}{R + Z_2} u_1(2)$$

$$i_{\text{反}}(2) = i_1(2) - i_2(2) = \frac{R - Z_2}{R + Z_2} i_1(2)$$

要使 $u_{\text{反}}(2)$ 和 $i_{\text{反}}(2)$ 为零, 即无反射波产生, 必须使

$$R_1 = Z_2 \quad (2)$$

对于特性阻抗为 Z_3 的同轴电缆 3, 其右端与示波器 (阻抗为 R_c) 相连, 这时有 (见图 6):

$$i_2(3) = \frac{2u_1(3)}{R_c + Z_3}, \quad u_2(3) = R_c i_2(3) = \frac{2R_c u_1(3)}{R_c + Z_3}$$

反射波的电压和电流为

$$u_{\text{反}}(3) = u_2(3) - u_1(3) = \frac{R_c - Z_3}{R_c + Z_3} u_1(3)$$

$$i_{\text{反}}(3) = i_1(3) - i_2(3) = \frac{R_c - Z_3}{R_c + Z_3} i_1(3)$$

要使 $u_{\text{反}}(3)$ 和 $i_{\text{反}}(3)$ 为零, 即入射波传到示波器处无反射, 必须使

$$R_c = Z_3 \quad (3)$$

通常, 同轴电缆 3 的特性阻抗与示波器的阻抗不能完全匹配。而且, 在测试过程中, 往往把示波器的内阻置于高阻档以获得较高幅度的示波记录。这样, 同轴电缆 3 的右端与示波器之间阻抗失配, 于是有反射波沿同轴电缆 3 向左传播。因此, 同轴电缆 3 的左端也必须匹配, 以保证反射波到达传感器时就完全终止, 不再发生第二次反射。这时, 对于同轴电缆 3 的左端有

$$i'_2(3) = \frac{2u'_1(3)}{R_D + Z_3}, \quad U'_2(3) = \frac{2R_D u'_1(3)}{R_D + Z_3}$$

这里, $R_D = R_3 + R_g // (R_2 + Z_2)$

反射波的电压和电流为

$$u'_{\text{反}}(3) = u'_2(3) - u'_1(3) = \frac{R_D - Z_3}{R_D + Z_3} u'_1(3)$$

$$i'_{\text{反}}(3) = i'_1(3) - i'_2(3) = \frac{R_D - Z_3}{R_D + Z_3} i'_1(3)$$

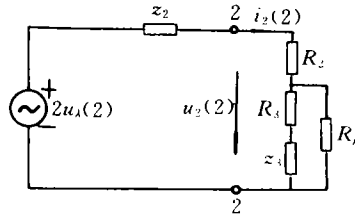


图 5

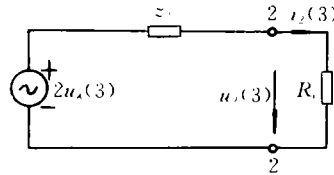


图 6

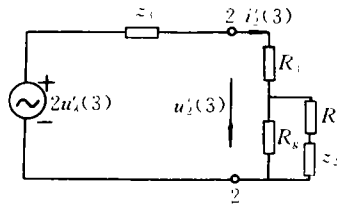


图 7

这里, $u'_1(3) = u_{\text{反}}(3), i'_1(3) = i_{\text{反}}(3)$.

要使 $u'_1(3)$ 和 $i_{\text{反}}(3)$ 为零, 即在传感器处无反射波产生, 必须使

$$R_D = Z_3 \quad (4)$$

最后, 由 (2) 和 (4) 式得:

$$R_2 = -R_k + \sqrt{R_k^2 \frac{Z_2}{Z_3} + Z_2^2} \quad (5)$$

$$R_3 = -R_k + \sqrt{R_k^2 \frac{Z_3}{Z_2} + Z_3^2} \quad (6)$$

这样, (1)、(5) 和 (6) 式就是计算端接电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 的公式。通常, $Z_1 = Z_2 = Z_3 \equiv Z$, 于是由 (5)、(6) 式可得

$$R_2 = R_3 = -R_k + \sqrt{R_k^2 + Z^2} \quad (7)$$

当 $R_k = 50\Omega, Z = 50\Omega$ 时, $R_2 = R_3 = 20.71\Omega$, 当 R_k 很小时, 则有 $R_2 = R_3 = Z$. 由此可看出, 当传感器的阻值很小时, 端接电阻的阻值与同轴电缆的阻抗近似相等, 而当传感器的阻值较大时, 则两者相差很大。另外, 如果图 1 中的电源供电同轴电缆只用一根, 即用阻抗为 Z_2 的同轴电缆 2 的外导线来代替特性阻抗为 Z_1 的同轴电缆 1。这时, 公式 (5)、(6) 和 (7) 仍然成立, 当然, 这里 $R_1 = 0$ 。

2 讨论

我们已经导出了计算端接电阻的公式。根据这些公式就可求端接电阻的阻值。为了检验其正确性, 我们做静态模拟实验。实验时, 把传感器接入测试电路, 并接上端接电阻。同时使示波器内阻处于高阻档。然后触发电源 (这里采用恒流源), 这时有一恒定电流通过传感器。与此同时, 示波器上显示出传感器上的电压波形。通过改变端接电阻的阻值, 来观察示波器上所显示出的电压波形变化情况。实验发现, 随着端接电阻阻值的变化, 会出现三种不同类型的示波图 (见图 8)。其中: 图 8(a) 所对应的端接电阻的阻值是根据本文所导出的公式求得的。而图 8(b) 所对应的端接电阻的阻值小于根据计算公式求得值, 至于图 8(c) 所对应的端接电阻的阻值则大于根据计算公式求得值。为了分析这种现象, 我们画出图 1 的等效电路图 (图 9)。图中, $\epsilon(t)$ 为传感器上的电压, l 为同轴电缆 3 的长度。

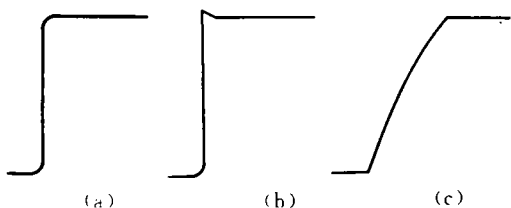


图 8

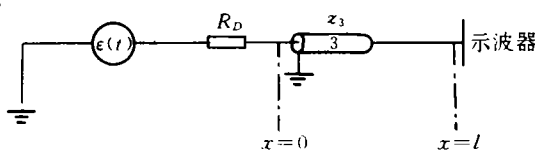


图 9 等效电路

把由输入电阻 R_D 和同轴电缆 3 的特性阻抗 Z_3 所构成的电压分配器上的电压看成是

由传感器上的电压传输过来的。对于图 8(a)、由于端接电阻的阻值是根据计算公式求得的,所以,必有 $R_D = Z_3$ (见(4)式)成立。所以,输送给同轴电缆的电压是传感器上的电压的二分之一。当这一电压信号到达示波器时,它遇到的线是开路的(示波器内阻为高阻抗),要发生反射,此时反射波电压和入射波电压相等。因此,示波器所记录到的合成波电压为入射波电压的两倍,即等于传感器上的电压,但比后者滞后 l/v 时间(v 为电压波沿同轴电缆传播的速度)。这样,示波器所记录的波形真实地反映了传感器上的电压波形。如果端接电阻的阻值小于根据计算公式所确定的值(如图 8(b)),这时会导致 $Z_3 > R_D$,于是,传感器输送给同轴电缆的电压大于传感器电压的二分之一,因而示波器所显示的电压要大于传感器上的电压。这样,在示波器上所显示的波形的前沿有一小的尖峰出现,直到经过数次反射后,在波形中才出现平台。与此相反,如果端接电阻的阻值大于根据计算公式所确定的值(如图 8(c)),这时会导致 $Z_3 < R_D$,于是,传感器输送给同轴电缆的电压小于传感器电压的二分之一。因而示波器所显示的电压要小于传感器上的电压,从而导致示波器上所显示的波形前沿上升缓慢,平台较晚出现。

参 考 文 献

- 1 Peter Krehl. Rev. Sci. instrum, 1978, 49 (10)
- 2 Harry Vantine, John Chan, Leroy Erickson, James Janzen and Richard Weingart, Rev. Sci. instrum Jan, 1980, 51 (1)

The Computation of Terminal Resistance in Piezoresistance Measurement Circuit

Guo Mingming

(Department of Mechantronics Engineering and Instrumentation)

Wang Chenhong

(Department of Applied Physics, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract

In this paper, the computation formulas are obtained by common methods and verified through the experiments.

Key words piezoresistance method; terminal resistance; computation formula