

短接线式电阻应变片的研制^{* 1)}

梁有民 陈时通

在我国各种工程技术中,已经广泛使用电阻应变片作为测量应力的工具和测量压力、力矩、位移、加速度等物理量的传感器。绕线式电阻应变片由于电阻丝栅弯头部分将同时

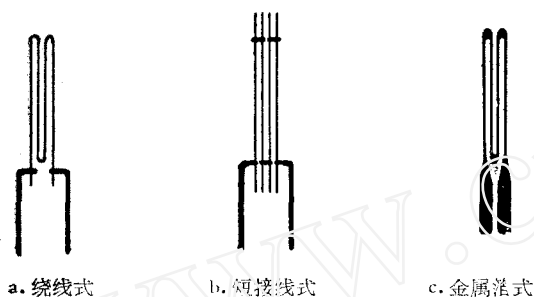


图1 电阻应变片丝栅结构

感受到各个方向的应变,在平面应力场的测量中将造成一定的误差,使用时须进行适当的计算修正;又由于电阻丝栅有弯头部分,在制片时将很难保证各应变片的丝栅形状一致,这将造成应变灵敏系数有较大的分散。为了尽可能减少电阻应变片的横向效应和提高测量精度,我们对比了目前国内外最通用的三种电阻应变片丝栅结构(图1),结合我们的具体条件,研制了短接线式电阻应变片。

我们认为,短接线式电阻应变片由于横向用较粗的铜导线短接,其电阻值与整个应变片的电阻相比较可以忽略不计,因而横向应变灵敏度亦可忽略不计;又由于电阻应变片丝栅皆由直线组成,较易保证各个电阻应变片的几何形状一致,从而可以提高其测量精度。此外,这种电阻应变片还可以用几种不同的丝栅材料组成,便于制成低温度系数的或温度自动补偿的电阻应变片。

一、电阻应变片制造工艺

1. 短接线电阻应变片丝栅的焊接

将应变片所用的电阻丝平行而等距地排列在如图2所示的短接线电阻应变片丝栅焊

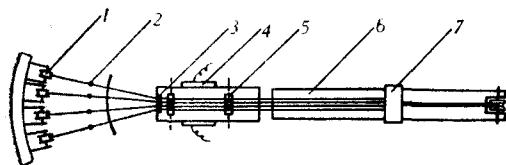


图2 短接线电阻应变片丝栅焊接机

1. 电阻丝轮 2. 拉力重锤 3. 固定梳子 4. 焊接电极
5. 活动梳轮 6. 导轨 7. 拉丝滑块

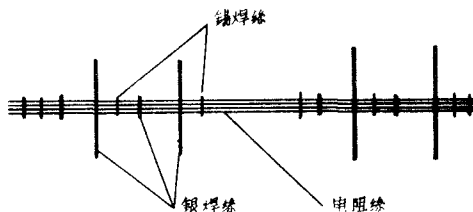


图3 焊制成的电阻丝栅

* 1964年10月中国力学学会推荐。

1) 本文初稿曾在1964年4月北京市力学学会年会上宣谈。

接机上。以电流加热的方法将镀有焊锡的紫铜丝垂直地焊于电阻丝列上以固定其形状, 并将镀有银铜合金焊料的紫铜丝垂直地焊于电阻丝列上作为电阻应变片的短接导线和引出导线。如此连续地焊成一长串丝栅如图 3。由于银焊需要 800°C 左右的高温, 为了防止焊不上或烧断电阻丝, 为了保证焊接质量, 需要严格地控制电流加热。我们用交流稳压器供电, 用调压变压器调整焊接电压, 用时间控制器控制电流接通的时间, 从而保证了焊接工艺正常进行。

2. 横接导线的切断

由于电阻丝之间的距离只有 0.4mm , 要把焊制成的并联丝栅切除一部分横导线, 使之形成串联回路, 在工艺上有一定的困难。为了解决这个问题, 我们制造了光学放大切丝机如图 4。

将焊制成的并联电阻丝栅, 一长段一长段地两端贴于有机玻璃板上, 再将有机玻璃板放于光学放大切丝机上, 眼看着放大了 15 倍的丝栅和刀片投影, 用手按刀架的手柄切除不需要的横接导线。制成的短接线电阻应变片丝栅如图 5。

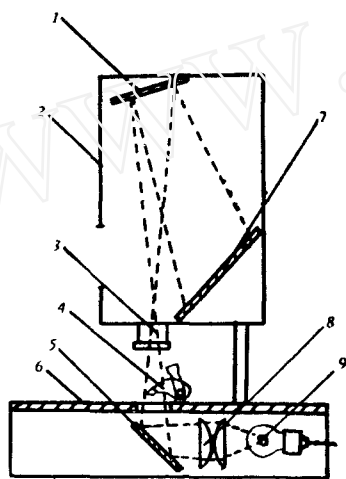
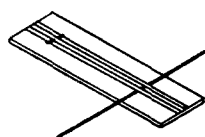


图 4 光学放大切丝机

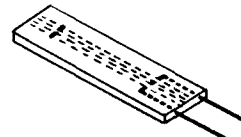
1,5. 反光镜 2. 暗箱 3. 放大镜头 4. 切刀
6. 工作台 7. 投影屏幕 8. 聚光镜 9. 光源



图 5 短接线电阻应变片丝栅



a. 应变片半成品



b. 应变片成品

图 6 短接线电阻应变片

3. 底基的粘贴和聚合处理

一般纸底基、赛璐珞胶的防潮性能较差。为了提高电阻应变片的质量, 我们选用以酚醛树脂为基的 $\text{B}\Phi$ 胶作为应变片的底基和粘贴胶水。使 $\text{B}\Phi$ 胶在水平的磨光玻璃板上成膜, 张在框架上进行热处理聚合作成 $\text{B}\Phi$ 胶膜。将胶膜裁成适当的宽度, 把短接线电阻应变片丝栅粘于其上, 剪成半成品、弯引出线、加盖层。然后在加压下在电热烘箱中聚合处理。冷却后即成电阻应变片成品如图 6。

二、基本性能的鉴定

我们研制的电阻应变片的规格如下:

表 1

名 称	1	2
型 号	6B1	5D1
名义电阻	120 Ω	120 Ω
丝栅尺寸	2 × 6mm	2 × 5mm
外形尺寸	6 × 12mm	6 × 10mm
敏感材料	$\phi 0.02$ mm 镍铬丝	$\phi 0.02$ mm 镍铬丝 $\phi 0.02$ mm 铁铬铝丝
底 基	B Φ -4 胶	B Φ -4 胶
粘 贴 胶 ¹⁾	B Φ -4 胶	B Φ -4 胶

1) 这种应变片的粘贴胶可以用 B Φ 胶, B/Л 胶、环氧树脂胶和氰基丙烯酸盐胶。前两种为加温固化,后两种胶可以室温固化。

我们作了以下几项基本性能的鉴定试验,方法和结果如下:

1. 电阻值: 用电阻箱和电阻应变仪测量。

2. 应变灵敏度系数: 在等强度梁上粘贴电阻应变片 20 片,施以实际应变约 700 $\mu\epsilon$ 。用千分表组成的三点挠度仪测量机械应变。将电阻应变仪的灵敏度系数调于 $k' = 2.00$ 上,用它测量应变读数。根据 20 片的实验结果,用公式

$$k = \frac{k' \epsilon'_{\text{示}}}{\epsilon_{\text{机}}}$$

算出平均应变灵敏度系数 k ,并算出其均方根误差 σ 。

3. 应变温度系数: 将 6 片电阻应变片粘贴于钢材上,单片测量,用三线接法与电阻应变仪连接。将试件置于烘箱中加温,从室温至 70 $^{\circ}\text{C}$ 测量温度应变,算出应变温度系数。

4. 机械滞后: 在等强度梁上粘贴新片,室温下进行连续加载卸载试验,载荷约 1000 $\mu\epsilon$ 。记取加载前及经三次加载卸载之后的读数,算取其读数差 δ ,根据各片测试结果,选取其最大值标称之。

5. 蠕变: 在等强度钢梁上粘贴电阻应变片 5 片,加载 1000 $\mu\epsilon$,在室温时测应变随时间的读数,以加载后一小时的指示应变变化标称之。

6. 绝缘电阻: 用常州柯桥仪器厂的电子管兆欧表测电阻应变片丝栅与试件之间的绝缘电阻。

7. 疲劳寿命: 由于设备限制,目前只作了破坏实验。用机械方法使粘贴有电阻应变片的等强度梁产生振幅为 $\pm 1500 \mu\epsilon$,每秒 24 次的周期应变。用示波器观察振动时应变仪输出的波形以判断电阻应变片是否损坏。以电阻应变片损坏前的振动次数为其疲劳寿命指标。

8. 应变极限: 在金属拉伸试件上粘贴电阻应变片,在试验机上作拉伸试验。用扛杆引伸计测量机械应变,用电阻应变仪测量指示应变。当指示应变与机械应变之差为 10% 的机械应变时,该机械应变值作为电阻应变片的应变极限。

根据初步鉴定的结果,短接线式电阻应变片的基本性能如表 2。

根据表 2 鉴定结果,在应变灵敏系数的分散方面较我们过去所制绕线式电阻应变片为好。在温度影响方面由于 5D1 型采用了铁铬铝丝和镍铬丝相互补偿,在一般金属工程

表 2

型号	6B1	5D1
名义电阻	120 Ω	120 Ω
整批的电阻分散	$\pm 3\Omega$	$\pm 3.5\Omega$
粘贴胶水	БФ-4	БФ-4
灵敏度系数 k	2.34	2.8
k 值均方根误差 σ	$< 1\%$	$< 1.2\%$
机械滞后 δ	$< 10\mu\epsilon$	$< 10\mu\epsilon$
应变温度系数	在钢上 $50\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ —	在钢上 $-6.5\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 在铝上 $+5\mu\epsilon/^\circ\text{C}$
蠕变	$< 15\mu\epsilon$	$< 15\mu\epsilon$
绝缘电阻	$> 2000\text{M}\Omega$	$> 2000\text{M}\Omega$
疲劳寿命	$> 1 \times 10^6$ 次	$> 1 \times 10^6$ 次
应变极限	$> 7000\mu\epsilon$	$> 7000\mu\epsilon$

材料中其应变温度系数的绝对值皆小于 $7\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ ，这样也就相当于或优于一般康铜丝的电阻应变片。由于采用以酚醛树脂为基的 БФ 胶膜底基，保存时间和绝缘性大大提高，在一般使用条件下不必作防潮处理。这种电阻应变片制造方法的缺点是整批的电阻分散较大，尤其是电阻应变片标距愈小时电阻分散愈大。在大量制作时，一般按电阻分选后包装应用。

参 考 文 献

- [1] Stein, P. K., Transverse sensitivity effects on transducers, *Strain Gage Readings*, II, 6, 1960.
 [2] Рузга, З., Электрические тензометры сопротивления, Госэнергоиздат, 1961.

MANUFACTURING OF RESISTANCE STRAIN GAGES WITHOUT TRANSVERSE SENSITIVITY

LIANG YOU-MIN CHEN SHI-TONG