

钻盲孔法测量残余应力

作者： 来源： 发布时间： 2007-10-27 13:42:46 浏览次数： 870

一、目的

钻盲孔法测量焊接钢板的残余应力。

二、使用设备和仪器

- 1、DZDL-1 型钻孔装置。
- 2、（西格马的型号为：ASML.0）静态电阻应变仪。
- 3、万用表
- 4、测残余应力的应变花

三、试样

对焊钢板。

四、原理

在有残余应力的焊接钢板上钻一小孔，因小孔附近的残余应力被释放，孔区附近的残余应力场发生变化。只要测出该局部区域的应变变化量，即可计算出板上钻孔处释放前的残余应力值 σ_1 、 σ_2 ：

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{matrix} \right\} = - \left[\frac{E}{4A} (\varepsilon_{0^\circ} + \varepsilon_{90^\circ}) \pm \frac{E\sqrt{2}}{4B} \sqrt{(\varepsilon_{0^\circ} - \varepsilon_{45^\circ})^2 + (\varepsilon_{90^\circ} - \varepsilon_{45^\circ})^2} \right] \quad (1-10)$$

$$\tan(2\varphi) = \frac{2\varepsilon_{45^\circ} - \varepsilon_{0^\circ} - \varepsilon_{90^\circ}}{\varepsilon_{0^\circ} - \varepsilon_{90^\circ}} \quad (1-11)$$

式中： ε_{0° 、 ε_{45° 、 ε_{90° 量分别为该处在 0° 、 45° 、 90° 方向上的释放应变； σ_1 、 σ_2 ：分别为最大，最小主应力； φ 为最大主应力与 ε_{0° 电阻片参考轴的夹角；E为被测钢板的弹性模量；A、B为应变花的释放系数，TJ120-1.5- φ 1.5应变花在普通钢材上的释放系数，为：

A=-0.0725±10%（2倍标准差）

B=-0.15140±6%（2倍标准差）

需要说明的是，释放系数A、B与应变花的几何尺寸、孔径、孔深及材料的弹性模量E及泊松比 μ 有关，应用时必须对每种被测材料进行标定，A、B系数不能通用。

五、测试步骤

盲孔法测残余应力的步骤如下：

- ①、将 TJ120-1.5- φ 1.5 应变花按应变计粘贴通用方法准确粘贴在试样测量点上，并焊好测量导线。粘贴前试样表面应打磨，但在打磨时不能破坏原有残余应力场。
- ②、连接静态电阻应变仪。以待测的应变花作为补偿片，将各应变计所接电桥调零。
- ③、安装钻具，见图 1-10（a）。将带观察镜的钻具放在试样表面上，必要时开启照明灯，在观察镜里观察，初步对准应变花中心位置。然后在钻具支腿与试样接触处滴少许 502 胶水，胶水固化后拧紧钻具支腿上的锁帽，将钻具固定于试样表面。再松开锁紧压盖，调 X-Y 方向的四个调节螺钉 3（必须先松后紧），使观察镜 1 的十字线中心在转动观察镜观察时始终与应变花中心保持重合。锁紧压盖 2，静态电阻应变仪重新调零。
- ④、钻孔，见图 1-8（b）。取下观察镜，将专用端面铣刀的钻杆擦干净，滴上润滑油（需用缝纫机油，不可使用一般机油），插入钻具的套筒内，用手轻轻转动，划去钻孔部位的应变花基底后，取出钻杆。此时，每个应变计的应变读数应当变化不大，再次调整静态电阻应变仪的零点。

将配置 φ 1.0mm 钻头的钻杆擦干净，滴上润滑油插入钻具套筒内，松开钻杆上的定位卡圈 11，在钻杆卡圈与钻具套筒 7 间塞入厚度为 2.0mm 的钻孔深度控制垫块 8，使钻头与工件接触后固定卡圈。除去 2.0mm 的垫块，连接好手电筒，

调压器调至 60~70V，即可开钻。保持合适的压力，钻至卡圈与夹具套筒间贴合，即预定孔深（2.0mm），拔出钻杆。再换上配置 $\phi 1.5\text{mm}$ 麻花钻杆，按以上相同步骤进行钻孔，

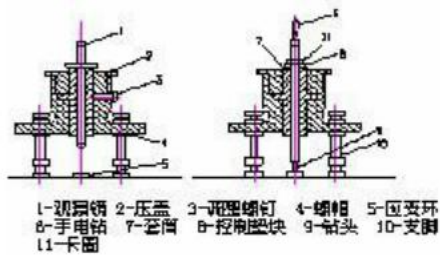


图 1-8 钻孔装置简图

调压器电压应保持在 60~70V，进刀量尽量小。至预定孔深后，拔出钻杆过 3~5 分钟，当静态电阻应变仪指示稳定时，测出应变示值 ϵ_0 、 ϵ_{45} 、 ϵ_{90} ，再减去附加应变即可得到钻孔加工所产生的应变输出。TJ120-1.5- $\phi 1.5$ 应变花在常用软钢、中碳钢、低合金钢上引起的附加应变为 $-39.4\mu\epsilon$ ，当使用其他应变花或特殊材料时需要事先进行标定。

六、数据处理与分析

全部实验数据与测量结果均应列表表示，按公式（1-10）和（1-11）计算残余应力的大小和方向，并对测量结果进行误差分析。

测量电桥的接法

作者： 来源： 发布时间：2007-10-27 13:41:09 浏览次数：776

各种应变计和传感器通常需采用某种测量电路接入测量仪表，测量其输出信号。对于电阻应变计或者电阻应变计式传感器，通常采用电桥测量电路，将应变计引起电阻变化转换为电压信号或电流信号。电桥的测量电路由电阻应变计及电阻组成桥臂，电桥的应变计接桥方式分为半桥和全桥。

在实际测量中，可以利用电桥的基本特性，采用各种电阻应变计在电桥中不同的连接方法达到不同的测量目的：

1. 实现温度补偿。
2. 从比较复杂的组合应变中测出指定成分而排除其他成分。
3. 扩大应变计的读数，以减少读数误差，提高测量灵敏度。

在实际测量中，常采用的电桥连接方法包括如下几种：

一、全桥接线法

在测量电桥的四个桥臂上全部连接电阻应变计，称为全桥接线法（全桥线路），如图 1-5(a)所示。对于等臂电桥，此时应变计的应变读数为：

$$\epsilon_r = \epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4 \quad (1-8)$$

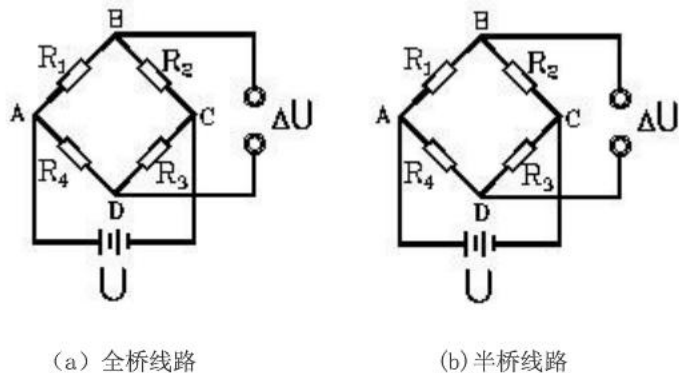


图 1-6 电桥线路

在实际测量过程中分为以下两种情况：

(一) 全桥测量

电桥的四个桥臂上都接工作应变计。

(二) 相对两桥臂测量

电桥相对两桥臂接工作应变计，另外相对两桥臂接温度补偿应变计。

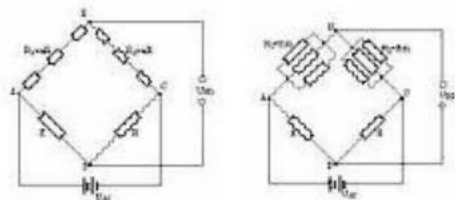
二、半桥接线法

若在测量电桥的桥臂 AB 和 BC 上接应变计，而另外两桥臂 DA 和 CD 接电阻应变变的内部固定电阻 R，则称为半桥接法（或半桥线路），如图 1-5(b)所示。由于桥臂 DA 和 CD 接固定电阻，不感受应变，因此对于等臂电桥得知应变计的读数为： $\epsilon_r = \epsilon_1 - \epsilon_2$ (1-9)

实际测量时，在 AB 上接一工作应变计，而在 BC 上接温度补偿应变计。

三、串连和并连接线法

在应变测量中，若采用多个应变计时，也可以将应变计串联或并联起来接入测量电路，如图 1-6 (a) 所示为串联半桥接线法，图 1-6 (b) 所示则为并联半桥接线法。若每个应变计的电阻值为 R，其增量均为 ΔR ，则在图 1-6 (a) 中， $R_1 = nR$ ， $\Delta R_1 = n\Delta R$ ；而在图 1-6 (b) 中， $R_1 = R/n$ ， $\Delta R_1 = \Delta R/n$ 。很容易看出，它们的 AB 桥臂电阻相对变化量均为 $\Delta R_1/R_1 = \Delta R/R$ ，这与在桥臂 AB 上只接单个应变计时的电阻相对变化量完全相同。因此串联和并连接线都不会增加读数应变。但是，串联后使桥臂电阻增大，因此在限定电流时，可以提高供桥电压，相应的便可以增加信号输出。并联后则使桥臂电阻减小，因而输出电流相应提高，这对于直接采用电流表或记录仪器时是比较有利的。



(a) 串联半桥电路 (b) 并联半桥电路

图 1-7 串连和并连接线法

电阻应变仪

作者： 来源： 发布时间：2007-09-07 23:26:13 浏览次数：878

盲孔法测残余应力是随着应变电测技术的发展而发展起来的一个新兴的行业，在国外已应用的较为广泛和成熟，在国内发展也较为迅速，已在大学实验室中的应力应变测试，工程中的焊接、铸造、锻造、机械加工、航天领域、桥梁工程、建筑等很多领域得到了应用。它应用的是应变电测原理，主要由被测工件、补偿件、打孔设备、显微镜、电阻应变计和显示仪表组成。济南西格马科技有限公司开发的应变仪就是专为盲孔法测残余应力而开发的产品，由打孔设备、应变花（三个应变电阻构成）和显示器共同构成应变仪，用于（盲孔法测）残余应力的测试。

各种不同规格及各种品种的电阻应变计现在有二万多种，测量仪器也有数百余种，但按其作用原理，电阻应变测量系统可看成由电阻应变计、电阻应变仪及记录器三部分组成。其中电阻应变计可将构件的应变转换为电阻变化。电阻应变仪将此电阻变化转换为电压（或电流）的变化，并进行放大，然后转换成应变数值。其工作过程如下所示：

应变→电阻变化→电压（或电流）变化→放大→记录

电阻应变计 电阻应变仪 记录器

其中电阻变化转换成电压（或电流）信号主要是通过应变电桥（惠斯顿电桥）来实现的，下面简要介绍电桥原理。

1、应变电桥

应变电桥一般分为直流电桥和交流电桥两种，本篇只介绍直流电桥。

电桥原理图 1-3 所示，它由电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 组成四个桥臂，AC 两点接供桥电压 U 。图中 UBD 是电桥的输出电压，下面讨论输出电压与电阻间的关系。

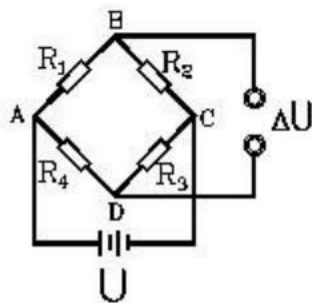


图 1-4 电桥原理图

通过 ABC 的电流为: $I_1=U/R_1+R_2$

通过 ADC 的电流为: $I_2= U/R_3+R_4$

BD 二点的电位差

$$U_{BD}= U_{AB} - U_{DA}=I_1R_1-I_2R_2=U \left[\frac{R_1R_3-R_2R_4}{(R_1+R_2)(R_3+R_4)} \right] \quad (1-2)$$

当 $U_{BD}= 0$, 即电桥平衡。由此得到电桥平衡条件为:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4$$

如果 $R_1 =R_2 =R_3 =R_4 =R$, 而其中一个 R 有电阻增量,

$$U_{BD}= \left[\frac{(R+\Delta R) \cdot R - R \cdot R}{(R+\Delta R+R) \cdot 2R} \right] U = \left[\frac{\Delta R}{4R+2\Delta R} \right] U \quad (1-3)$$

式 (1-3) 中 $2\Delta R$ 与 $4R$ 相比为高阶微量, 可略去, 上式化为

$$U_{BD}= 1/4\Delta R/RU=1/4UK\epsilon \quad (1-4)$$

如果 $R_1 =R_2 =R_3 =R_4$ 为电阻应变计并受力变形后产生的电阻增量为 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 、 ΔR_4 代入式 (3-2) 中, 计算中略去高阶微量, 可得

$$U_{BD}= 1/4U (\Delta R_1/R_1 - \Delta R_2/R_2 + \Delta R_3/R_3 - \Delta R_4/R_4) \quad (1-5)$$

将式 (3-1) 代入上式可得

$$U_{BD}=1/4UK (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) \quad (1-6)$$

从公式 (1-6) 表明, 电桥可把应变计感受到的应变转变成电压 (或电流) 信号, 但是这一信号非常微弱, 所以要放大, 然后把放大的信号再用应变表示出来, 这就是电阻应变仪的工作原理。电阻应变仪按测量应变的频率可分为: 静态电阻应变仪、静动态电阻应变仪、动态电阻应变仪和超动态电阻应变仪, 下面我们简要介绍常用的静态电阻应变仪中的一种应变仪—数字电阻应变仪。

2、数字电阻应变仪

从图 1-4 数字电阻应变仪工作原理方框图可以看出, 电压变换器供给测量电桥稳定的直流电压, 测量电桥产生

的微弱电压信号，即公式 (1-6) 中的 ΔU_{BD} ，通过放大器放大和有源滤波器滤波，变为放大的模拟电压信号，经 A/D 转换器，最后将电压 ΔU_{BD} 转换为数字量。

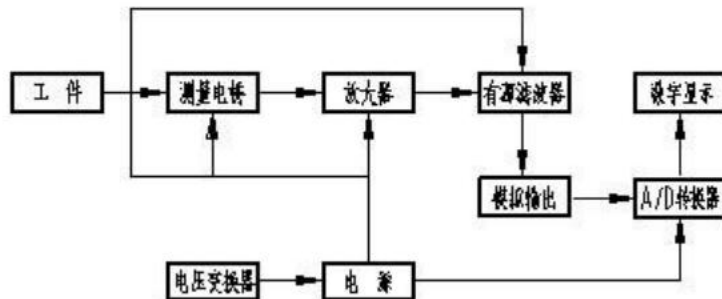


图 1-5 数字电阻应变仪工作原理方框图

由公式 (1-6) 知， ΔU_{BD} 应与 $(\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4)$ 成正比，经过标定（标定环节在仪器出厂前已由厂方完成），再将电压量转换成应变。这样，应变仪数字显示的应变为 ϵ_r ，则有：

$$\epsilon_r = \epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4$$

4

(1-7)

数字应变仪有多种型号，其原理都是相通的。

电阻应变计

作者： 来源： 发布时间：2007-09-07 23:26:01 浏览次数：826

电阻应变计一般由敏感栅、基底、粘结剂、覆盖层、引线构成（见图 1-1）。早期的敏感栅是由金属细丝绕成栅形，现在大多数为金属箔通过照相、腐蚀（也称为光刻）而成，已很少有使用金属细丝绕制的敏感栅。电阻应变测量技术是用电阻应变计测定构件的表面应变，再根据应力、应变的关系式，确定构件表面应力状态的应力分析方法，它的主要优点有：

1、测量精度高

电测法利用电阻应变仪测量应变，具有较高的精度，可以分辨数值为 1 个微应变 ($1\mu \varepsilon = 10^{-6}$)。

2、传感元件小

电测法以电阻应变计为传感元件。它的尺寸可以很小，最小标距可达 0.2mm，可粘贴到构件的很小部位上以测取局部应变。利用由电阻应变计组成的应变花，可以测量构件一点处的应变状态，应变计的质量很小，其惯性影响甚微，故能适应高速转动等动态测量。

3、测量范围广

电阻应变计能适应高温、低温、高压、远距离等各种环境下的测量。它不仅能传感静载下的应变，也能传感频率从零到几万赫兹的动载下的应变。此外，如将电阻应变计配以预调平衡箱，可以进行多点测量。

当然，电测法也有局限性，例如，一般情况下，只便于构件表面应变的测量，又如在应力集中的部位，若应力梯度很大，则测量误差较大。



图 1-1 丝绕式电阻应变计

金属电阻丝承受变形的同时，金属电阻丝的截面面积也发生变化，电阻丝的电阻也将发生变化，如图 3-2 所示，敏感栅长度随着构件的变形也相应的改变了，而电阻也相应的改变了。因此，在一定应变范围内，电阻丝的电阻改变率 $\Delta R/R$ 与变形改变率也就是应变 $\varepsilon = \Delta L/L$ 成正比，即

$$\frac{\Delta R}{R} = K, \quad \frac{\Delta L}{L} = K \varepsilon$$



(1-1)

图 1-3 电阻丝受力变形情况

式中 K 为比例系数，称为应变计的灵敏系数，它是应变计的重要技术参数。实际使用的应变计，是把由电阻丝往复绕成的敏感栅用粘结剂固定在绝缘基底上，两端加焊引出线，并加盖复盖层而成的。电阻应变计的灵敏系数 K 不但与电阻丝的材料有关，还与电阻丝的往复回绕形状、基底和粘结层等因素有关。 K 的数值一般由制造厂用实验的方法测定，并在成品包装盒上标明。

常温应变计有丝绕式应变计、箔式应变计和半导体应变计等，丝绕式应变计一般用直径为 $0.02\sim 0.05\text{mm}$ 的康铜丝或镍铬丝绕成栅状（敏感栅），基底和复盖层用绝缘薄纸或胶膜，引出线为 0.25mm 左右的镀银铜线，以便焊接导线。这种应变计的栅长难以做得很小，但价格便宜，使用颇广。箔式应变计用厚为 $0.003\sim 0.01\text{mm}$ 的康铜或镍铬箔片，涂以底胶，利用光刻技术腐蚀成栅状，再焊上引出线涂上复盖层。这种应变计尺寸准确，可制成各种形状，散热面积大，可通过较大电流，基底有良好的化学稳定性和良好的绝缘性。适宜于长期测量和高压液下测量，并可作为传感器的敏感元件，使用更广。

半导体应变计的敏感栅为半导体，灵敏系数高，数字欧姆表就能测出它的电阻变化，可作为高灵敏度传感器的敏感元件。

此外，还有多种专用应变计，如高温应变计，残余应力应变计，应变花等，应变计的基本参数为：标距 L ，宽度 b ，灵敏系数 K 和电阻值 R 。