



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102095597 A

(43) 申请公布日 2011.06.15

(21) 申请号 201110004741.3

(22) 申请日 2011.01.11

(71) 申请人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路  
932 号

(72) 发明人 任伟新 陈格威

(74) 专利代理机构 长沙市融智专利事务所  
43114

代理人 颜勇

(51) Int. Cl.

G01M 99/00 (2011.01)

G01D 3/028 (2006.01)

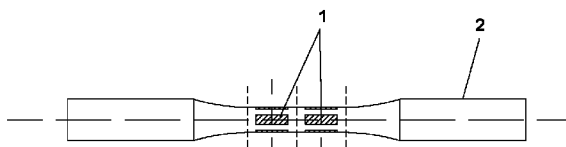
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法

(57) 摘要

一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法,是在待测材料制备的标准疲劳试件上粘贴实验疲劳寿命计;置于环境舱,在  $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$  之间,调整环境舱的温度,测量每个温度点实验疲劳寿命计的实时电阻值  $R_i$ ;将  $20^{\circ}\text{C}$  时测得的疲劳寿命计的电阻值作为基准电阻值  $R$ ;以温度为横坐标、电阻变化率为纵坐标设置笛卡尔直角坐标系,得到不同温度点电阻变化率数据点的离散分布图,采用三次多项式对离散的数据点进行曲线拟合;并采用最小二乘法原理,计算出三次多项式中各项的系数,从而得到相应材料的通用三次多项式  $\phi(T_j)$ ;根据疲劳寿命计温度修正系数  $S = \phi(T_j) \times R$ ,计算出待测材料相应温度点的温度修正系数  $S$ ,对实际工程中所测得的  $R_{测}$  进行修正。本发明根据被监测材料,在实验室分别测出其温度修正系数,在实际工程中直接应用,使现场测试变得简单方便,工程适用性强。



1. 一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法,包括下述步骤:

第一步:采用与待检测部件相同的材料,制备圆形横截面标准疲劳试件,在每根试件上对称粘贴至少 6 片实验疲劳寿命计;

第二步:把粘贴好实验疲劳寿命计的标准疲劳试件置于密闭的环境舱,设定环境舱的温度为 20℃,测量每一片实验疲劳寿命计的基准电阻值 R;

第三步:在 -20℃~60℃之间,按变温间隔区间  $\Delta T$  取 5℃或 10℃,调整环境舱的温度,每个温度点  $T_i$  保温 30~60 分钟,测量相应温度点每一片实验疲劳寿命计的实时电阻值  $R_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;

第四步:以温度 T 为横坐标、电阻变化率  $\frac{\Delta R}{R}$  为纵坐标设置笛卡尔直角坐标系,其中,  $\Delta R$  为实时温度的电阻值与基准电阻值 R 之差;根据第三步所得的  $T_i$ 、 $R_i$  数据,得到电阻变化率  $\frac{\Delta R}{R}$  数据点的离散分布图,根据离散分布图中  $\frac{\Delta R}{R}$  数据点的分布形状,采用三次多项式对离散的数据点进行曲线拟合,确定三次多项式为  $\phi(T_j) = \beta_1 T_j + \beta_2 T_j^2 + \beta_3 T_j^3 + \lambda$ , 式中  $\phi(T_j)$  是以温度  $T_j$  为自变量的函数,其中  $T_j$  为实际工程中所测得温度;

第五步:根据最小二乘法原理,将  $T_i$ 、 $R_i$  代入  $\min_{\phi(T_j) \in \Phi} \sum_{j=0}^m \left[ \frac{R_j - R}{R} - \phi(T_j) \right]^2$ ,  $\Phi$  为三次多项式集合;取  $j = i$ , 得到:  $\min_{\phi(T_i) \in \Phi} \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \phi(T_i) \right]^2$ , 令  $I = \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \phi(T_i) \right]^2$ , 即:  $I = \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - (\beta_1 T_i + \beta_2 T_i^2 + \beta_3 T_i^3 + \lambda) \right]^2$ , 将第三步所得的  $t_i$ 、 $R_i$  数据代入 I 中,

当  $\phi(T_i)$  满足  $\min_{\phi(T_i) \in \Phi} \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \phi(T_i) \right]^2$  时,由求多元极值的必要条件可得:  $\frac{\partial I}{\partial \beta_1} = 0$ ,  $\frac{\partial I}{\partial \beta_2} = 0$ ,  $\frac{\partial I}{\partial \beta_3} = 0$ ,  $\frac{\partial I}{\partial \lambda} = 0$ , 即得到含有 4 个未知数  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\lambda$  的四个方程,解方程组,得  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\lambda$ , 从而得到拟合的  $\phi(T_j) = \beta_1 T_j + \beta_2 T_j^2 + \beta_3 T_j^3 + \lambda$ ;

第六步:按式  $S = \phi(T_j) \times R$  计算出实际工程中所测得相应温度点  $T_j$  的疲劳寿命计温度修正系数 S, 对实际工程中所测得的  $R_{测}$  进行修正得到修正后的值  $R_{修}$ , 即  $R_{修} = R_{测} - S$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法,其特征在于:所述实验疲劳寿命计为 6~12 片。

3. 根据权利要求 1 所述的一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法,其特征在于:所述粘结采用 J-25 胶。

4. 根据权利要求 1 所述的一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法,其特征在于:所述环境舱为 MTS 810 环境舱。

5. 根据权利要求 1 所述的一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法,其特征在于:所述实验用疲劳寿命计由铜-镍-锰-铁-硅精密电阻合金制造,其组成成分的重量百分比为 43% Ni, 1.8% Mn, 0.1% Fe, 0.3% Si 余量为 Cu。

## 一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法,用于桥梁疲劳寿命计温度补偿。

### 技术背景

[0002] 国外 1966 年出现了报道疲劳寿命计的研究的,立即引起了极大的关注。Darrell R. Harting 在文中重点介绍了电阻随疲劳历程自动累积——这一疲劳寿命计的固有特性。

[0003] 1972 年, Rober S. Horne 和 Oscar L. Freyre 在他们的研究报告中介绍了用特殊退火康铜箔制成的疲劳寿命计的电阻疲劳累积性能、以及标定寿命计电阻疲劳累积性能曲线的实验方法,包括测试设备、测试流程、荷载控制方法等。在报告中,作者对寿命计的应用技术做了探讨,包括寿命计布设点位的优化,应变倍增器的尺寸定位,寿命计数据采集方法等;并以飞机的不同部件为测试对象,研究寿命计评估被测对象疲劳状态的方法。

[0004] 1975 年, P. Charsley 和 B. A. Robins 对由不同的合金成分、制备工艺的铜镍合金箔、纯铜箔制成的应变计进行大量的疲劳实验,分别从理论和实验说明了集聚体的作用,解释了在疲劳加载作用下电阻变化的机理。

[0005] 美国波音公司首先研制成功 S-N 疲劳寿命计并应用于航空航天结构的疲劳监测,1976 年美国微测量公司曾在其产品目录中出现过 S-N 疲劳寿命计的介绍,

[0006] 在我国国内,上世纪 80 年代后期,由南京航空航天大学、629 所、上海有色金属研究所、航天工业部 702 所等单位合作研制了箔式疲劳寿命计,90 年代陆续发表了一些论文。南京航空学院的陶宝祺等首次介绍了国内自行研制的箔式疲劳寿命计,内容包括疲劳寿命计的响应机理、特性曲线标定方法以及国产疲劳寿命计的主要性能指标;陈学立介绍了制备疲劳寿命计箔材的正交试验方法;胡明敏、周克印、陈杰等学者公布了对国产疲劳寿命计进行特性曲线标定的方法及结论,同时对国产疲劳寿命计的平均应变响应和周期变载响应特性进行了测试,并探讨了利用疲劳寿命计预测结构疲劳寿命的方法;尹福炎对国产疲劳寿命计与国外同类产品进行了比较。欧进萍院士课题组对疲劳寿命计在海洋平台结构监测中布设位置的确定、贴片及保护工艺进行了有益的探讨。

[0007] 由上述综述可知,现有的疲劳寿命传感元件研究基本上没有考虑桥梁结构这类土木结构特殊的使用环境,大型桥梁结构处于十分复杂的环境下长期工作,风、浪、温度、地震等作用频繁。其中粘贴于其上处于工作状态的桥梁疲劳寿命计受温度的影响非常大,常常桥梁结构上被监控的危险点已经达到了疲劳破坏状态,而由于温度的影响,疲劳寿命计却不能正确的指示出这种危险状态,因此要想利用疲劳寿命计对桥梁构件危险点进行疲劳监测就必须剔除环境温度的影响,温度补偿于是成为疲劳寿命计实际应用的关键问题之一。

### 发明内容

[0008] 本发明的目的是提供一种效果优良的桥梁疲劳寿命计温度补偿修正方法,用于粘贴在桥梁上长期工作的桥梁疲劳寿命计的温度补偿。

[0009] 本发明一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法,包括下述步骤:

[0010] 第一步:采用与待检测部件相同的材料,制备圆形横截面标准疲劳试件,在每根试件上对称粘贴至少 6 片实验疲劳寿命计;

[0011] 第二步:把粘贴好实验疲劳寿命计的标准疲劳试件置于密闭的环境舱,设定环境舱的温度为 20℃,测量每一片实验疲劳寿命计的基准电阻值 R;

[0012] 第三步:在 -20℃~60℃之间,按变温间隔区间  $\Delta T$  取 5℃或 10℃,调整环境舱的温度,每个温度点  $T_i$  保温 30~60 分钟,测量相应温度点每一片实验疲劳寿命计的实时电阻值  $R_i$ ,  $i = 1.2 \cdots m$ ;

[0013] 第四步:以温度 T 为横坐标、电阻变化率  $\frac{\Delta R}{R}$  为纵坐标设置笛卡尔直角坐标系,其中,  $\Delta R$  为实时温度的电阻值与基准电阻值 R 之差;根据第三步所得的  $T_i$ 、 $R_i$  数据,得到电阻变化率  $\frac{\Delta R}{R}$  数据点的离散分布图,根据离散分布图中  $\frac{\Delta R}{R}$  数据点的分布形状,采用三次多项式对离散的数据点进行曲线拟合,确定三次多项式为  $\Phi(T_j) = \beta_1 T_j + \beta_2 T_j^2 + \beta_3 T_j^3 + \lambda$ , 式中  $\Phi(T_j)$  是以温度  $T_j$  为自变量的函数,其中  $T_j$  为实际工程中所测得温度;

[0014] 第五步:根据最小二乘法原理,将  $T_i$ 、 $R_i$  代入  $\min_{\Phi(T_j) \in \Phi} \sum_{j=0}^m \left[ \frac{R_j - R}{R} - \Phi(T_j) \right]^2$ ,  $\Phi$  为

三次多项式集合;取  $j = i$ , 得到:  $\min_{\Phi(T_i) \in \Phi} \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \Phi(T_i) \right]^2$ , 令  $I = \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \Phi(T_i) \right]^2$ , 即

$I = \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - (\beta_1 T_i + \beta_2 T_i^2 + \beta_3 T_i^3 + \lambda) \right]^2$ , 将第三步所得的  $T_i$ 、 $R_i$  数据代入 I 中, 当  $\Phi(T_i)$  满

足  $\min_{\Phi(T_i) \in \Phi} \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \Phi(T_i) \right]^2$  时, 由求多元极值的必要条件可得:  $\frac{\partial I}{\partial \beta_1} = 0, \frac{\partial I}{\partial \beta_2} = 0, \frac{\partial I}{\partial \beta_3} = 0,$

$\frac{\partial I}{\partial \lambda} = 0$ , 即得到含有 4 个未知数  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\lambda$  的四个方程, 解方程组, 得  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\lambda$ ,

从而得到拟合的  $\Phi(T_j) = \beta_1 T_j + \beta_2 T_j^2 + \beta_3 T_j^3 + \lambda$ ;

[0015] 第六步:按式  $S = \Phi(T_j) \times R$  计算出实际工程中所测得相应温度点  $T_j$  的疲劳寿命计温度修正系数 S, 对实际工程中所测得的  $R_{测}$  进行修正得到修正后的值  $R_{修}$ , 即  $R_{修} = R_{测} - S$ 。

[0016] 本发明一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法中, 所述实验疲劳寿命计为 6~12 片。

[0017] 本发明一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法中, 所述粘结采用 J-25 胶。

[0018] 本发明一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法中, 所述环境舱为 MTS 810 环境舱。

[0019] 本发明一种桥梁疲劳寿命计温度修正系数的测量方法中, 所述实验用疲劳寿命计由铜-镍-锰-铁-硅精密电阻合金制造, 其组成成分的重量百分比为 43% Ni, 1.8% Mn, 0.1% Fe, 0.3% Si 余量为 Cu。

[0020] 本发明采用上述测量方法, 利用疲劳寿命计电阻对温度响应的累积很小这一关键特性, 升温时, 其电阻变化率出现负值, 降温时出现正值, 其电阻响应变化机理为疲劳寿命计敏感栅膨胀速度大于构件膨胀速度, J-25 粘结剂膨胀速度小于疲劳寿命计的敏感栅速

度,这样当温度升高时,疲劳寿命计首先膨胀,但被滞后的 J-25 粘结剂和构件挡住不能伸长而受到压缩,这就出现了升温时电阻变化率为负值的事实;后者刚好相反,当温度下降时,疲劳寿命计敏感栅受到拉伸,才会出现电阻变化率为正值,即疲劳寿命计敏感栅冷却速度小于构件冷却速度, J-25 粘结剂冷却速度又大于疲劳寿命计敏感栅冷却速度,从而使其敏感栅处于受拉状态。据此可通过控制环境温度舱温度获得被监测材料的不同温度下的疲劳寿命计温度修正系数,利用所得到的温度修正系数对被监测对象现场测得的疲劳寿命计测量值进行修正,从而完成被监测对象的疲劳寿命参数的温度补偿,经检测,采用本发明方法对桥梁疲劳寿命参数进行温度修正,修正后的误差数据通过式  $\frac{R_{测} - S - R_{常温}}{R_{常温}}$  计算,未修正

的误差数据通过式  $\frac{R_{测} - R_{常温}}{R_{常温}}$  计算,则补偿后所获得的桥梁疲劳寿命参数值误差在 0.48%~2.54% 之间,而未补偿所测得的测量值误差为 2.20%~5.13% 之间。

[0021] 另外,本发明采用了与被测构件相同的材料制成实验标准试件,从而保证了实验用疲劳寿命计与工作疲劳寿命计对温度产生相同的电阻响应,补偿效果较好;可以在实验室分别测出疲劳寿命计粘贴在不同类型的材料上时的温度修正系数,直接在实际工程中针对不同的桥梁材料应用相应的温度修正系数进行温度补偿,简单、适用性强;在得到各种类型桥梁钢材温度补偿修正系数后,可以方便的利用 Matlab 软件进行编程,为疲劳寿命计温度补偿软件平台的开发提供便利,从而适用于工程中大规模的应用。总结起来,本发明具有以下优点:

[0022] 1、实验用疲劳寿命计与工作疲劳寿命计始终对温度具有相同的电阻响应,确保了测量值的精度和稳定性。

[0023] 2、可以根据被监测材料,在实验室分别测出其温度修正系数,在实际工程中针对不同的桥梁材料直接应用,从而使现场测试变得简单方便。

[0024] 3、有利于编程开发软件平台,工程适用性强。

#### 附图说明

[0025] 附图 1 为本发明粘贴了实验用疲劳寿命计的实验标准试件示意图。

[0026] 附图 2 为本发明实施例 1 所得的实验数据离散分布图。

[0027] 附图 3 为本发明实施例 2 所得的实验数据离散分布图。

[0028] 图中:1- 实验用疲劳寿命计,2- 实验标准试件。

#### 具体实施方式:

[0029] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。

[0030] 实施例 1

[0031] 第一步:采用 14MnNbq 制备圆形横截面标准疲劳试件,用 J-25 胶在每根试件上对称粘贴 6 片由铜-镍-锰-铁-硅精密电阻合金制造,组成成分的重量百分比为 43% Ni, 1.8% Mn, 0.1% Fe, 0.3% Si 余量为 Cu 的实验疲劳寿命计;

[0032] 第二步:把粘贴好实验疲劳寿命计的标准疲劳试件置于密闭的 MTS 810 环境舱中,设定环境舱的温度为 20℃,测得基准电阻值如下表:

[0033]

温度(°C) \ 电阻值(Ω)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
20°C	79.292	79.624	79.951	79.688	80.255	62.225

[0034] 第三步：在 -20°C ~ 60°C 之间，按变温间隔区间 ΔT 取 10°C 调整环境舱的温度，每个温度点保温 30 ~ 60 分钟，测得：-20°C、-10°C、0°C、10°C、30°C、40°C、50°C、60°C 相应温度点每一片实验疲劳寿命计的实时电阻值 R<sub>i</sub>，i = 1, 2, …, m，具体测量值见下表；

[0035]

温度(°C) \ 电阻值(Ω)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
-20	79.305	79.634	79.971	79.702	80.280	62.243
-10	79.314	79.639	79.977	79.703	80.275	62.247
0	79.314	79.649	79.974	79.705	80.267	62.236
10	79.303	79.626	79.654	79.692	80.261	62.220
30	79.280	79.613	79.945	79.678	80.248	62.222
40	79.275	79.609	79.941	79.676	80.244	62.214
50	79.268	79.594	79.928	79.665	80.232	62.209
60	79.263	79.596	79.926	79.669	80.230	62.211

[0036] 以温度 T 为横坐标、电阻变化率  $\frac{\Delta R}{R}$  为纵坐标设置笛卡尔直角坐标系，其中，ΔR 为实时温度的电阻值与基准电阻值 R 之差；根据第三步所得的 T<sub>i</sub>、R<sub>i</sub> 数据，得到电阻变化率  $\frac{\Delta R}{R}$  数据点的离散分布图，根据离散分布图中  $\frac{\Delta R}{R}$  数据点的分布形状，采用三次多项式对离散的数据点进行曲线拟合，确定三次多项式为  $\Phi(T_j) = \beta_1 T_j + \beta_2 T_j^2 + \beta_3 T_j^3 + \lambda$ ，式中 Φ(T<sub>j</sub>) 是以温度 T<sub>j</sub> 为自变量的函数，其中 T<sub>j</sub> 为实际工程中所测得温度；

[0037] 第五步：根据最小二乘法原理，将 T<sub>i</sub>、R<sub>i</sub> 代入  $\min_{\Phi(T_j)=\phi} \sum_{j=0}^m \left[ \frac{R_j - R}{R} - \Phi(T_j) \right]^2$ ；取 j = i，得

到： $\min_{\Phi(T_i)=\phi} \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \Phi(T_i) \right]^2$ ，令  $I = \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \Phi(T_i) \right]^2$ ，即

[0038]  $I = \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - (\beta_1 T_i + \beta_2 T_i^2 + \beta_3 T_i^3 + \lambda) \right]^2$ , 将第三步所得的  $T_i$ 、 $R_i$  数据代入  $I$  中, 当

$\Phi(T_i)$  满足  $\min_{\Phi(T_i) \in \Phi} \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \Phi(T_i) \right]^2$  时, 由求多元极值的必要条件可得:  $\frac{\partial I}{\partial \beta_1} = 0$ ,  $\frac{\partial I}{\partial \beta_2} = 0$ ,

$\frac{\partial I}{\partial \beta_3} = 0$ ,  $\frac{\partial I}{\partial \lambda} = 0$ , 即得到含有 4 个未知数  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\lambda$  的四个方程, 解方程组, 得  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、

$\beta_3$ 、 $\lambda$ , 从而得到拟合的  $\Phi(T_j) = 2.688 \times 10^{-7} \times T_j^3 - 1.832 \times 10^{-5} \times T_j^2 - 6.936 \times 10^{-4} \times T_j + 1.929 \times 10^{-2}$ ;

[0039] 第六步: 按式  $S = \Phi(T_j) \times R$  即可计算出 14MnNbq 制作的工程构件在实际工程中相应温度点  $T_j$  的疲劳寿命计温度修正系数  $S$ , 对实际工程中所测得的  $R_{测}$  进行修正得到修正后的值  $R_{修}$ , 即  $R_{修} = R_{测} - S$ , 指导工程应用。

[0040] 本实施例中, 准备 2 片由 43% Ni, 1.8% Mn, 0.1% Fe, 0.3% Si 余量为 Cu 制成并且初始电阻值  $R = 79.258 \Omega$  桥梁疲劳寿命计工作片, 将 2 片桥梁疲劳寿命计工作片分别粘贴在 2 根由合金钢 14MnNbq 材料制成直径为 11mm 的标准圆试件上, 标准圆试件分别编号为 1、2; 所述桥梁疲劳寿命计工作片均设有两个由漆包铜线制作的信号引出端;

[0041] 1、将粘贴在 1 号标准圆试件上的桥梁疲劳寿命计工作片的两个信号引出端分别直接连接日本日置微电阻计 -3541; 将所述标准圆试件置于温度环境舱中, 随后关闭环境舱舱门, 控制环境舱温度为常温  $20^\circ\text{C}$ , 进行应力幅值为  $2000 \mu \epsilon$  的疲劳加载, 开启所述日本日置微电阻计 -3541, 直至标准圆试件断裂, 记录下标准圆试件断裂时的电阻采集仪显示的读数  $R_{20} = 83.998 \Omega$ , 即为所述桥梁疲劳寿命计工作片不受温度影响时的电阻读数;

[0042] 2、将粘贴在 2 号标准圆试件上的桥梁疲劳寿命计工作片的两个信号引出端分别直接连接日本日置微电阻计 -3541; 将所述标准圆试件置于温度环境舱中, 随后关闭环境舱舱门, 控制环境舱温度为  $60^\circ\text{C}$ , 进行应力幅值为  $2000 \mu \epsilon$  的疲劳加载, 开启所述日本日置微电阻计 -3541, 直至标准圆试件断裂, 记录下标准圆试件断裂时的电阻采集仪显示的读数  $R_{60} = 80.026 \Omega$ , 即为所述桥梁疲劳寿命计工作片受温度影响时的电阻读数;

[0043] 根据  $s = \Phi(T_j) \times R$  计算  $60^\circ\text{C}$  时, 由 14MnNbq 制备的构件的温度修正系数  $S = -2.395 \Omega$ ;

[0044] 得到  $R_{修} = R_{60} - S = 82.421 \Omega$

[0045] 修正后的误差数据通过式  $\frac{R_{60} - S - R_{20}}{R_{20}}$  计算为 1.88%, 未修正的误差数据通过式

$\frac{R_{60} - R_{20}}{R_{20}}$  计算为 4.73%。由上可知经本发明修正后所得到的疲劳寿命计测量值更接近其在

常温不受温度影响时的值, 因而经本发明修正后的的值更能真实的指示出所监测构件的疲劳损伤状态。

[0046] 实施例 2

[0047] 第一步: 采用 40Cr 制备圆形横截面标准疲劳试件, 用 J-25 胶在每根试件上对称粘贴 6 片由铜-镍-锰-铁-硅精密电阻合金制造, 组成成分的重量百分比为 43% Ni, 1.8% Mn, 0.1% Fe, 0.3% Si 余量为 Cu 的实验疲劳寿命计;

[0048] 第二步: 把粘贴好实验疲劳寿命计的标准疲劳试件置于密闭的 MTS 810 环境舱中, 设定环境舱的温度为  $20^\circ\text{C}$ , 测得基准电阻值如下表:

[0049]

电阻值(Ω) 温度(°C)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
20°C	79.287	79.616	79.951	79.685	80.251	62.205

[0050] 第三步：在 -20°C ~ 60°C 之间，按变温间隔区间  $\Delta T$  取 10°C 调整环境舱的温度，每个温度点保温 30 ~ 60 分钟，测得：-20°C、-10°C、0°C、10°C、30°C、40°C、50°C、60°C 相应温度点每一片实验疲劳寿命计的实时电阻值  $R_i$ ，具体测量值见下表；

[0051]

电阻值(Ω) 温度(°C)	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
-20	79.308	79.636	79.976	79.705	80.284	62.249
-10	79.315	79.642	79.975	79.705	80.272	62.247
0	79.316	79.649	79.980	79.718	80.276	62.257
10	79.304	79.635	79.973	79.702	80.271	62.239
30	79.282	79.620	79.952	79.688	80.253	62.209
40	79.278	79.608	79.939	79.675	80.243	62.204
50	79.269	79.604	79.936	79.672	80.239	62.206
60	79.263	79.596	79.926	79.669	80.230	62.211

[0052] 以温度  $T$  为横坐标、电阻变化率  $\frac{\Delta R}{R}$  为纵坐标设置笛卡尔直角坐标系，其中， $\Delta R$  为实时温度的电阻值与基准电阻值  $R$  之差；根据第三步所得的  $T_i$ 、 $R_i$  数据，得到电阻变化率  $\frac{\Delta R}{R}$  数据点的离散分布图，根据离散分布图中  $\frac{\Delta R}{R}$  数据点的分布形状，采用三次多项式对离散的数据点进行曲线拟合，确定三次多项式为  $\Phi(T_j) = \beta_1 T_j + \beta_2 T_j^2 + \beta_3 T_j^3 + \lambda$ ，式中  $\Phi(T_j)$  是以温度  $T_j$  为自变量的函数，其中  $T_j$  为实际工程中所测得温度；

[0053] 第五步：根据最小二乘法原理，将  $T_i$ 、 $R_i$  代入  $\min_{\Phi(T_j)=\Phi} \sum_{j=0}^m \left[ \frac{R_j - R}{R} - \Phi(T_j) \right]^2$ ；取  $j = i$ ，得

到： $\min_{\Phi(T_i)=\Phi} \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \Phi(T_i) \right]^2$ ，令  $I = \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \Phi(T_i) \right]^2$ ，即：



[0054]  $I = \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - (\beta_1 T_i + \beta_2 T_i^2 + \beta_3 T_i^3 + \lambda) \right]^2$ , 将第三步所得的  $T_i$ 、 $R_i$  数据代入  $I$  中, 当

$\phi(T_i)$  满足  $\min_{\phi(T_i) \in \phi} \sum_{i=0}^m \left[ \frac{R_i - R}{R} - \phi(T_i) \right]^2$  时, 由求多元极值的必要条件可得:  $\frac{\partial I}{\partial \beta_1} = 0$ ,  $\frac{\partial I}{\partial \beta_2} = 0$ ,

$\frac{\partial I}{\partial \beta_3} = 0$ ,  $\frac{\partial I}{\partial \lambda} = 0$ , 即得到含有 4 个未知数  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\lambda$  的四个方程, 解方程组, 得  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、

$\beta_3$ 、 $\lambda$ , 从而得到拟合的  $\phi(T_j) = 4.915 \times 10^{-7} \times T_j^3 - 3.327 \times 10^{-5} \times T_j^2 - 6.668 \times 10^{-4} \times T_j + 3.621 \times 10^{-2}$ ;

[0055] 第六步: 按式  $S = \phi(T_j) \times R$  即可计算出 40Cr 制作的工程构件在实际工程中相应温度点  $T_j$  的疲劳寿命计温度修正系数  $S$ , 对实际工程中所测得的  $R_{测}$  进行修正得到修正后的值  $R_{修}$ , 即  $R_{修} = R_{测} - S$ , 指导工程应用。

[0056] 本实施例中, 准备 2 片由 43% Ni, 1.8% Mn, 0.1% Fe, 0.3% Si 余量为 Cu 制成并且初始电阻值  $R = 80.029 \Omega$  桥梁疲劳寿命计工作片, 将 2 片桥梁疲劳寿命计工作片分别粘贴在 2 根由合金钢 40Cr 材料制成直径为 11mm 的标准圆试件上, 标准圆试件分别编号为 1、2; 所述桥梁疲劳寿命计工作片均设有两个由漆包铜线制作的信号引出端;

[0057] 1、将粘贴在 1 号标准圆试件上的桥梁疲劳寿命计工作片的两个信号引出端分别直接连接日本日置微电阻计 -3541; 将所述标准圆试件置于温度环境舱中, 随后关闭环境舱舱门, 控制环境舱温度为常温  $20^\circ\text{C}$ , 进行应力幅值为  $2000 \mu \epsilon$  的疲劳加载, 开启所述日本日置微电阻计 -3541, 直至标准圆试件断裂, 记录下标准圆试件断裂时的电阻采集仪显示的读数  $R_{20} = 83.630 \Omega$ , 即为所述桥梁疲劳寿命计工作片不受温度影响时的电阻读数;

[0058] 2、将粘贴在 2 号标准圆试件上的桥梁疲劳寿命计工作片的两个信号引出端分别直接连接日本日置微电阻计 -3541; 将所述标准圆试件置于温度环境舱中, 随后关闭环境舱舱门, 控制环境舱温度为  $-20^\circ\text{C}$ , 进行应力幅值为  $2000 \mu \epsilon$  的疲劳加载, 开启所述日本日置微电阻计 -3541, 直至标准圆试件断裂, 记录下标准圆试件断裂时的电阻采集仪显示的读数  $R_{-20} = 87.264 \Omega$ , 即为所述桥梁疲劳寿命计工作片受温度影响时的电阻读数;

[0059] 根据  $s = \phi(T_j) \times R$  计算  $-20^\circ\text{C}$  时, 由 40Cr 制备的构件的温度修正系数  $S = 3.215 \Omega$ ;

[0060] 得到  $R_{修} = R_{-20} - S = 84.049 \Omega$

[0061] 修正后的误差数据通过式  $\frac{R_{60} - S - R_{20}}{R_{20}}$  计算为 0.50%, 未修正的误差数据通过式

$\frac{R_{60} - R_{20}}{R_{20}}$  计算为 4.35%。由上可知经本发明修正后所得到的疲劳寿命计测量值更接近其在

常温不受温度影响时的值, 因而经本发明修正后的的值更能真实的指示出所监测构件的疲劳损伤状态。

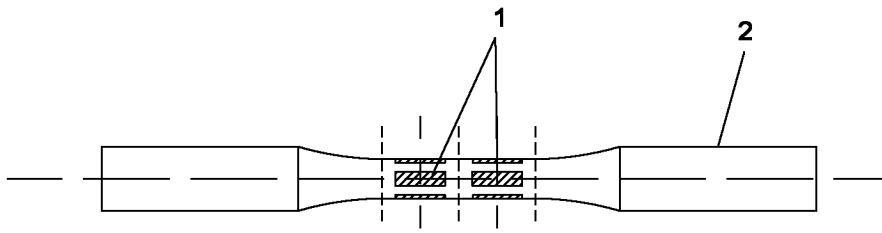


图 1

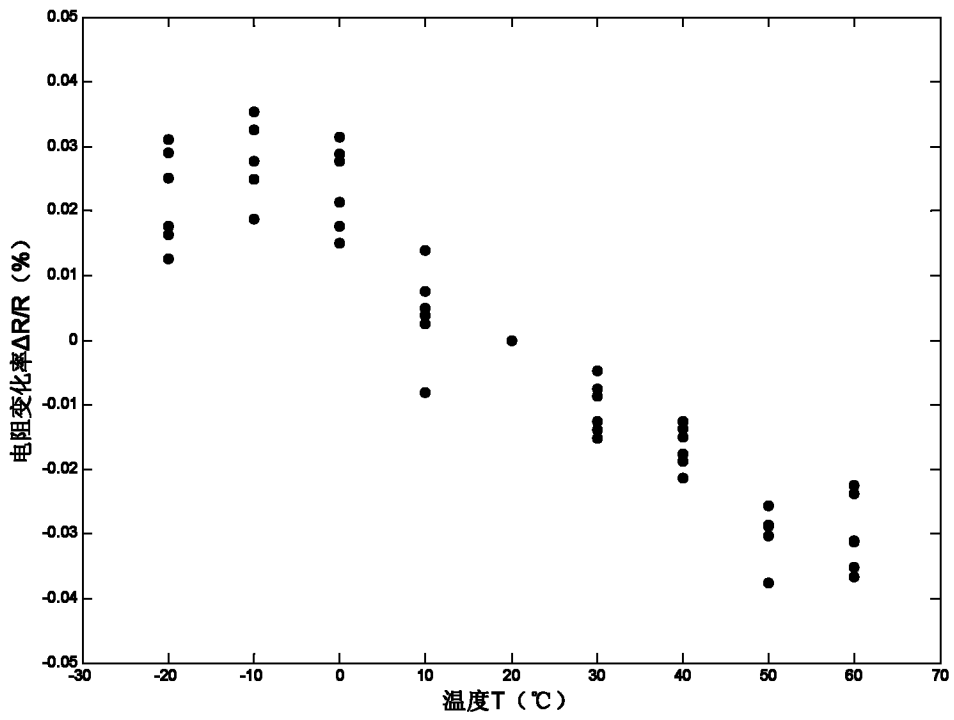


图 2

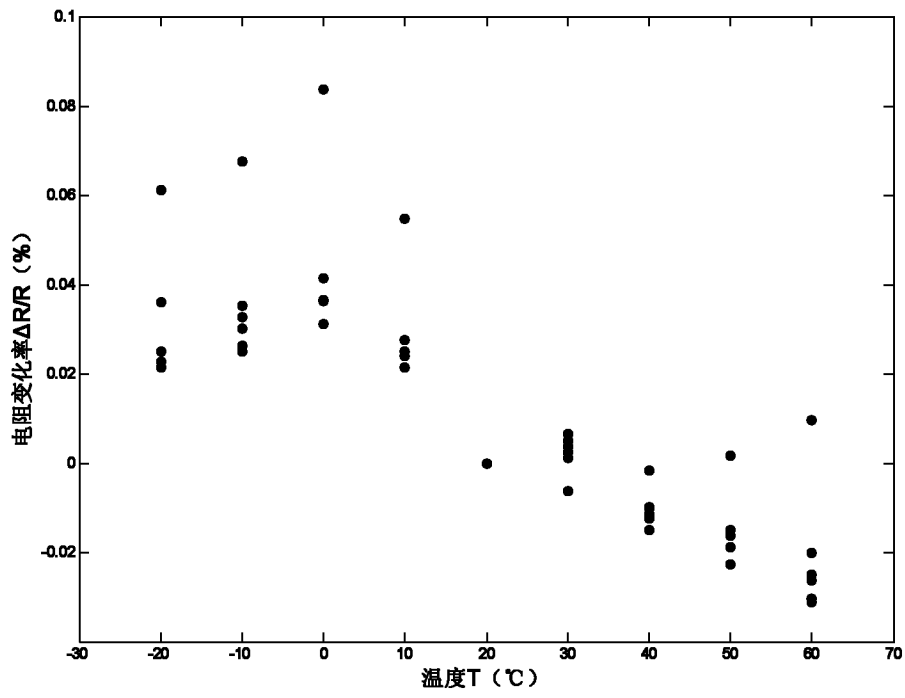


图 3