

# 直接校准型高温电阻应变计的研究

卢文发 李春兰

(哈尔滨船舶锅炉轮机研究所)

〔摘要〕为消除高温电阻应变计热输出分散性,提高测试精度,避免现场测试失败,研制了一种新型高温电阻应变计——直接校准型高温电阻应变计。实验获得满意结果。为高温零、部件应力测量提供了一种新的、可靠的元件和方法。

关键词 高温 应变计 研究

## 符 号

$\varepsilon_\sigma$  ——被测结构的机械应变  
 $\varepsilon_{app}$  ——包含热输出在内的仪表指示应变  
 $\varepsilon_t$  ——应变计热输出  
 $K_0/K_t$  ——应变计热输出变化率  
 $\alpha_g$  ——应变计丝材的电阻温度系数  
 $K_0, K_t$  ——应变计室温和 $t$ 温度时的灵敏系数  
 $\beta_m, \beta_g$  ——试件和应变计丝材的线胀系数  
 $\Delta T$  ——温度增量

## 1 引 言

高温应变电测技术是研究高温零、部件强度问题的一种重要测试手段。多年来,取得不少进展。然而,随着温度的提高,难度显著增加,在工程实际应用中的成功事例报导甚少。究其原因,可以归结为一点,即温度补偿不尽人意。过大的热输出分散,导致产生很大的测量误差,以致对测试结果无法分析和判断。

人们熟知这两个公式:

$$\varepsilon_\sigma = (\varepsilon_{app} - \varepsilon_t) K_0 / K_t$$

$$\varepsilon_t = 1/K_0 [\alpha_g + K_t (\beta_m - \beta_g)] \Delta T$$

公式中所涉及到各物理量,皆程度不同地存在分散性、不稳定性和随机性,并随温度的提高而扩大。热输出和应变计的其它工作特性一样是按照统计抽样方法确定,它服从正态分布。稳定的热输出必然可以通过测量和计算方法得到 $\varepsilon_t$ 并从仪表指示应变 $\varepsilon_{app}$ 中除去,但是热输出的分散却无法避免,它构成应变测量的主要误差,正是这一点,决定了应变测量的结果可靠程度。

R. Bertodo 在其研究中曾列出了各种补偿系统的典型误差(见表1)指出,研究的所有温度补偿方法所得误差都比直接校准型应变计大得多,包括直接校准的应变计和有四个应变计的全桥在内,采用热电偶作补偿器的系统是最令人满意的。

一个高温应力实测项目,需要很长的准备周期,如若测试失败,不仅浪费了人力、物力,甚至还可能失去再测试的机会。基于这个考虑,我们对直接校准型高温应变计开展了研究,其目的是为高温零、部件的应力测量开辟一个新的领域,以提供可靠的元件和方法。

收稿日期 1991-01-09

本文联系人 卢文发 150036

表 1 各种系统的典型误差

补偿系统	典型误差	最高工作	最长试验
	$\mu en/in$	温度 °C	时 间
1. 顶点补偿的四个工作应变计全桥	4—8	150	28天
	10—15	300	14天
2. 热电偶补偿的 a)桥路并联 b)单臂	10—50	300	30天
	50—100	600	17天
3. 热电偶补偿的 a)桥路并联 b)单臂	75—150	300	24小时
	40—100	300	24小时
4. 热敏电阻补偿的	100—150	250	24小时
5. 复合双绕应变计	150—250	250	24小时

## 2 一般考虑

作为应变计所采用的丝材，应具有较高的稳定性，至少，在工作温度范围内，不产生金相或结构的变化，或影响很小。

有机应变胶不仅具有很好的抗拉和剪切强度，而且还有较好的韧性，但使用温度受到一定的限制。无机粘结剂使用温度较高，但脆性较大。

顾名思义，直接校准型应变计是逐片进行标定并连同标定曲线提供使用，这只能是焊接型比较合适，而粘贴型应变计看来是无能为力。

## 3 试验方法

### 3.1 应变计

底板 Fe—Cr—Al

丝材 Fe—Cr—Al  $\phi 0.3$  mm

粘结剂 1) 聚酰亚胺—环氧型应变胶

2) 磷酸盐无机粘结剂

在绕丝机上，按工艺要求制成焊接型应变计，阻值为120欧姆。

### 3.2 热输出试件

按标准制成，试件无内应力。

### 3.3 三线制

所有应变计皆采用高温导线（Fe—Cr—Al）三线制接法，以消除导线热输出影响。

### 3.4 测量仪器

采用UCAM—8BL通用数字测量仪，温度和应变同时测量，并自动打印记录。

### 3.5 试验步骤

简言之，包括三个过程，即：标定、揭片和模拟验证。

标定：做热输出试验，重复三次，获取各片热输出曲线；

揭片：将标定后的应变计从试件上取下，供以后应用；

模拟验证：将获得热输出曲线的应变计重新焊到试件上，作热输出试验（相当无工作应力的应力测量），验证与提供曲线的重合性。

## 4 结果与分析

应变计是由相同材料制成的，所不同的是，一部分用聚酰亚胺—环氧型应变胶，另一部分用磷酸盐无机粘结剂。这些应变计如按照统计抽样的方法确定其热输出特性，即按被测参数  $\epsilon_i$  是正态分布，抽取  $n$  个子样，求取某一温度下的  $\epsilon_i$  平均值  $\bar{\epsilon}_i$ ，则子样的标准偏差：

$$S_{max} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta \epsilon_{ii})^2}$$

计算结果列于表2。

标定后，获得各片的热输出曲线，揭片后再重新焊到试件上，验证其曲线的重合性。由曲线可见，数据的重合性非常令人满

表 2

热输出及其分散度 ( $\mu\epsilon$ )

聚氯亚胺-环氧型应变胶			磷酸盐胶
No1试件	No2试件	No3试件	No1 ~ No3试件
302.6°C	298.5°C	301.4°C	351°C
-2144 ± 251	-2729 ± 260	-2440 ± 312	-2780 ± 369

意,一般不重合性其绝对值在  $\pm 30 \mu\epsilon$  左右, 图1和图2。  
少数片不重合性在  $\pm 60 \mu\epsilon$  左右,典型曲线见

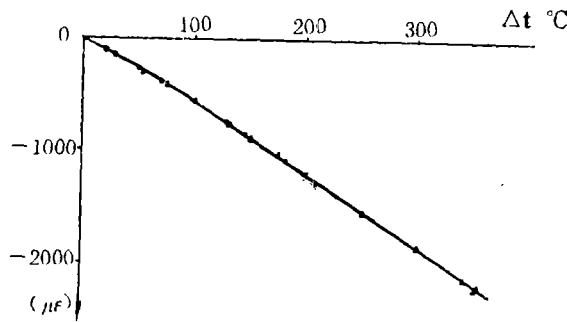


图 1 热输出曲线重合性

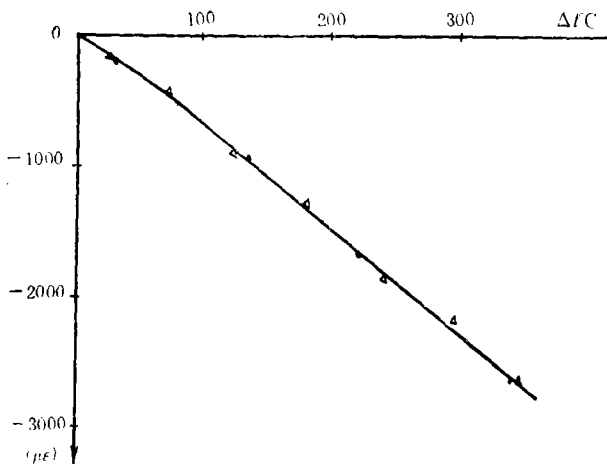


图 2 热输出曲线重合性

由此看出,若用目前统计抽样方法确定其热输出特性,用这批应变计进行应力实测,其测量误差是大得难以接受的。若应用这批直接校准型应变计,假设实测的真实应变为  $500 \mu\epsilon$ ,则此一项构成的最大可能误差也仅为10%左右,显然避免了粗大误差,显著提高测试精度。

### 5 结 论

1. 直接校准型应变计有较高的测试精度,可以免除因热输出分散所带来的测量误差,与校准曲线相比较,其不重合性一般为  $\pm 30 \mu\epsilon$ ,最大不超过  $\pm 60 \mu\epsilon$ (400°C以内)。

2. 按目前我们的贴片技术,其应变计 致谢。  
损坏率不大于10%。

3. 直接校准型应变计需逐片进行标定,生产成本较高。但我们认为,高温应力测量不同于常温实验应力分析,它无需也不能使用成百上千的应变片,只要在关键部位布上少许应变计,以获取可靠性大、精度又高的数据,力求一次实测成功,经济上也是合算的。

参加本课题试验研究的还有刘丽君、顾伟等同志,金淑敏同志给予很大帮助,特此

参 考 文 献

- 1 Bertodo R. Resistance strain Gauges for the Measurement of steady strains at temperature above 650°C. Journal of strain analysis,1965,1(1)
- 2 宁交贤,何思龙. 高温应变电测技术研究的现状和发展. 力学与实践, 1982 (3)
- 3 郝兵,张子起. 关于丝式应变计热输出分散度的讨论. 航空测试技术, 1983 (4)
- 4 电阻应变计专业标准. BY117-82,1983

# A Study of a Directly-Calibrated High-temperature Resistance Strain Gage

Lu Wenfa, Li Chunlan

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

### Abstract

To eliminate the heat output dispersion of high-temperature resistance strain gages, enhance measurement precision and avoid on-site measurement and testing failures, the authors have developed a new type of high-temperature resistance strain gages which feature direct calibration. The satisfactory test results show that such strain gages have met the needs of providing a new and highly reliable method for the stress measurement of high-temperature elements and components.

**Key words:** high-temperature, strain gage, study

(李乡复 编辑)

### 敬 告 读 者

编辑部现存有少量的《热能动力工程》杂志过刊,如有需要者,请来信订阅。