

应变仪在机械制造中的应用

[苏联]И.З.佩图霍夫 A.В.卡贊切夫著

叶鉄树 陈楚康 施評治 譯

中国工业出版社

应变仪在机械制造中的应用

[苏联] П. З. 佩图霍夫 A. B. 卡赞切夫著

叶铁树 陈楚康 施评治译

中国工业出版社

本书全面地敘述了应变仪的基本知識，以及在运轉条件下研究机器的具体范例。利用应变仪，是現代探求运轉机器所承受的載荷、压力以及零件內变形与应力的有效方法。設計师可以根据所获得的数据找到最有利的参数来設計新的机器。

前四章敘述了电阻应变片的原理、制造与定标；利用电阻应变片測量各种参数(应力、力、位移、速度、加速度等)；应变仪的工作原理；測量时的一些具体問題；应变仪实验室所需的一些必要設備等等。后六章介紹了作者們在应用应变仪法来研究冶金工厂的装料机、焙燒炉起重机、挖土机、金属切削等方面的实际經驗。

本书可供机械制造各部門的广大工程技术人员与研究工作者参考。

П.З.Петухов, А.В.Казанцев
**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОМЕТРИИ В
МАШИНОСТРОЕНИИ**

Машгиз, 1956

* * *

应变仪在机械制造中的应用

叶鉄树 陈楚康 施靜治譯

*

机械工业图书編輯部編輯(北京苏州胡同141号)

中国工业出版社出版(北京修羅園路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本850×1168 $\frac{1}{2}$ ·印張7 $\frac{1}{8}$ ·字数202,000

1964年4月北京第一版·1964年4月北京第一次印刷

印数0001—4,345·定价(科七)1.30元

*

統一书号: 15165·1727(一机-350)

前 言

近几年来在工程中用电阻应变仪进行研究的方法有了广泛的发展。应变仪的应用不仅在实验室的条件下，而且也能在生产的条件下成功地研究很多机器、机构和设备等工作情况。这样，可以研究缓慢的和快速的进行过程，及时地记录力与压力、变形与应力、速度、线加速度与角加速度、弯矩和扭矩、振动及温度等。

为了大力发展科学研究、设计和试验工作，以创造高生产率机器及机械的新结构的过程中，用电阻应变仪研究的方法将具有特别的意义。目前，除了电阻应变仪法之外，还没有其他可以用来研究运转中的机器与机构动力学的更有效方法。电阻应变仪法能够对机器的几个不同参数进行远距离测量，并同时把结果记录在一个示波图上。例如，可以同时记录变形、速度和加速度的值，这样，就能够在这些参数之间建立起对于时间的函数关系。

在运转条件下试验机器时，使用应变仪，就有可能使研究工作者和设计师的计算更加准确，使机器工作的理论更完善并加以发展。当应用理论方法不可能考虑到影响机器工作的各种各样因素时，用这种方法来进行研究，就更显得特别可贵了。在这些情况下，应变仪法可以在机器的个别环节中测量力、加速度、速度、变形以及其他参数的真正值，而这些值是常常不能用理论方法求得的。

广泛地研究在运转条件下的机器的工作，不但要求在科学研究机构建立应力测量实验室，而且也要求在各种工业部门中——机器制造业、冶金工业、建筑工业等的大企业中——建立应力测量实验室。但是，只有当工厂里有熟悉电阻应变仪方法的有经验的工作者，才能顺利地展开这种实验室的工作。因此，对研究

工作者能有所帮助的专门的科学技术文献就有着特别的意义。由此可见，近几年来在国内外刊物上，关于应变仪的问题引起了很大的注意就不是偶然的了。有关应变仪理论问题和实际问题的书籍已出版了不少，但是，现有文献大多数是供较熟练的工作人员参考的，而对于缺乏电工方面特殊训练的广大工程技术人员来说，就不可能阅读此种文献了。这就是为什么目前日益要求出版一本供一般工程技术人员用的有关电阻应变仪方面的专门书籍的原因。

根据上述情况，作者综合了在应变仪研究方面积累的一些经验而写成了这本书。本书用通俗的语言写成，它系统地描述了方法的实质，仪器设备，实际操作以及测量各种不同参数的方法，这是本书与其他有关应变仪书籍的不同之处。书中除了叙述作者本身的经验之外，个别部分还综合了苏联及国外有关研究应变仪方面文献中的资料。

本书分成两部分。在第一部分(第一章~第四章)里，提出了有关应变仪研究方面的理论和实际问题，阐述了关于电阻应变仪的性能及测量的实际知识；叙述了测量仪器、在运转条件下机械研究工作的实际，以及有关应力测量实验室设备的知识。读者可以从这里了解到用应变仪方法的基础知识，可以学习到操作测量仪器的实际技能，以及建立工厂应力测量实验室方面的知识。

在第二部分(第五章~第十章)里，主要是引述了工厂在机械运转条件下进行研究工作时所采用的一些独特的研究方法及研究成果。本部分是根据以C.M. 基洛夫命名的乌拉尔工学院机械系所做的研究工作为基础而写成的。这部分里简短地介绍了对下列几种机械所进行的研究工作：现正在诺沃-塔吉尔斯基冶金工厂采用的起重量为7.5吨由乌拉尔机器制造厂制造的装料机；乌拉尔机械制造厂制造的现在正在诺沃-塔吉尔斯基及车里亚宾斯基冶金工厂所采用的起重量为10吨的焙烧炉起重机、西伯利亚重型机器厂生产的起重量为100/20吨的安装和铸造用起重机、乌拉尔机器制造厂生产的ЭИИ-14/75巨步式挖土机及其他类型的机械。

研究题目的多样性指出：在机器制造的各个不同部门中采用应变仪方法是具有广泛可能性的。在本书第二部分里所提出的有关方法上的某些指示、结论和建议，读者可直接运用于自己的工作中，以测量适合于各种具体条件的不同机械参数。

本书的作者为：第一章到第四章——卡赞切夫(А.В. Казанцев)；第五章及第六章——佩图霍夫(П.Э. Петухов)；第七章——卡札克(С.А. Казак)；第八章——巴尔尼茨基(А.Б. Парницкий)、柯崗(Л.А. Коган)、柯托夫(В.И. Котов)、維謝尔柯娃(К.С. Веселкова)；第九章——布舒也夫(Г.С. Бушуев)、馬里柯夫(К.А. Маликов)、雷謝夫(Г.С. Рысев)、苏托里欣(В.Н. Суторихин)、米哈依洛夫(С.И. Михайлов)；第十章——依尔尼茨基(И.И. Ильницкий)、塔拉索夫(Н.М. Тарасов)、叶梅林(М.И. Емелин)。

作者希望本书对于在机械制造领域中从事于用应变仪法进行研究的工程技术人员和科学工作者能有所帮助。

目 录

前言

第一章 电阻絲应变片..... 1

1. 应变效应..... 1
2. 电阻絲式应变片..... 2
3. 电阻絲式应变片的参数..... 3
4. 测量的性能..... 6
5. 应变片的制造..... 10
6. 校准..... 16
7. 定标装置..... 17

第二章 应用电阻絲应变片的测量..... 20

1. 电桥綫路..... 20
2. 应变片在电桥綫路中的联接..... 26
3. 在测量变形和应力时应变片的配置图..... 32
4. 根据应变片的指示数来确定应变和应力..... 40
5. 在平面应力状态时的应力测量..... 44
6. 应变片的指示数与所测量数值的关系..... 48
7. 力的测量..... 52
8. 位移的测量..... 56
9. 变阻器式傳感器..... 60
10. 綫位移、綫速度、角位移和角速度的测量..... 67

第三章 测量装置 69

1. 烏拉尔工学院所設計的四十路静态测量应变仪..... 69
2. 在静载荷条件下应变的测量..... 75
3. 烏拉尔工学院所設計的三路放大器..... 81
4. 电源..... 90
5. 指示仪器及記錄仪器..... 93

第四章 在运转条件下机器的实践研究 98

1. 研究前的准备工作及組織工作..... 98
2. 应变片和电路的安装..... 100
3. 应变片的粘貼..... 106
4. 仪器的配置..... 109
5. 干扰的消除..... 110
6. 测量技术..... 112

7. 示波图比例尺的确定	118
8. 借助于应变元件的测量	120
9. 应变仪实验室的设备	121
第五章 装料机工作状态的研究	124
1. 研究任务	124
2. 装料杆工作状态的研究	126
3. 小车运动机构的研究	135
4. 装料机桥架金属结构的研究	137
5. 結論和建議	137
第六章 焙烧炉起重机工作状态的研究	140
1. 研究的任务	140
2. 夹钳机构的研究	142
3. 夹钳的操纵机构	147
4. 移动行车和桥架, 夹钳转动机构的研究	149
5. 起重机桥架鋼結構的研究	151
6. 清理炉底时作用在鍊上的力的测量	159
第七章 起重机机构的研究	165
1. 研究方法的简单說明	165
2. 移动阻力	167
3. 主动輪与軌道的嚙合	168
4. 傳动軸的載荷	171
第八章 起重机某些部件与零件的应变仪法研究	174
1. 在实验室条件下盒形断面梁模型的研究	174
2. 在工厂試驗台上起重机桥架的主梁研究	175
3. 在运转条件下桥式起重机主梁的研究	179
4. 起重机导輪的研究方法	183
5. 在疲劳过程中挂鈎杆的研究	188
第九章 重要机器零件工作情况的检查	192
1. 9M-14/75 型挖土机挖斗的工作	192
2. 高炉炉盖操纵系統零件的动应力的实验确定法	196
3. 厚板軋鋼牌坊零件的应力	203
4. 鍋炉壳体的試驗	207
第十章 在研究金属切削过程时应变仪的应用	214
1. 金属切削时所产生的振动的示波法	214
2. 应变仪在金属切削机床研究中的应用	224
3. 在旋风銑旋轉体时的圓周切削力	234
参考文献	241

第一章 电阻絲应变片

1. 应变效应^①

应变效应的现象是由于导体在机械变形时电阻^②的改变而形成。在测定机械量时，我們感到兴趣的是线性的应变效应，当导体在同一轴线变形时，此应变效应是以电阻絲电阻的改变表现出来。

电阻絲电阻的相对变化由下式来确定：

$$\frac{\Delta R}{R} = \gamma \varepsilon$$

式中 R ——电阻絲的初始电阻；

ΔR ——电阻絲在拉伸后电阻的增量；

ε ——电阻絲在轴向上的相对变形；

γ ——由試驗所确定的应变敏感系数。对不同的金属和合金，其敏感系数具有以下的数值：由-12（镍）到+6（铂钨合金），对最常用的康铜 $\gamma = +2 \sim 2.2$ 。

电阻絲应力测量性能的实验研究指出：第一，由变形引起的电阻絲电阻的改变不仅与电阻絲的几何尺寸的改变有关，而且与电阻系数的改变有关；第二，应变敏感系数随着电阻絲的直径的增加而减少，同时它还决定于原先的机械加工和热处理〔1〕情况。对每一种材料而言，在电阻絲一定的相对变形范围内，无论受拉或受压，应变敏感系数将保持不变。对于象镍、石墨等具有高的应变敏感系数的材料而言，电阻在变形的函数中的改变会出现一种滞后现象。

研究电阻絲性能的方法在文献〔4、5、6〕中有详细的叙述，

① 这种现象的本质在金属物理教程中研究。

② 这里及以后所述电阻的单位均为欧姆。

这里就不再加以说明，只就这些研究中的一些数据加以阐述。

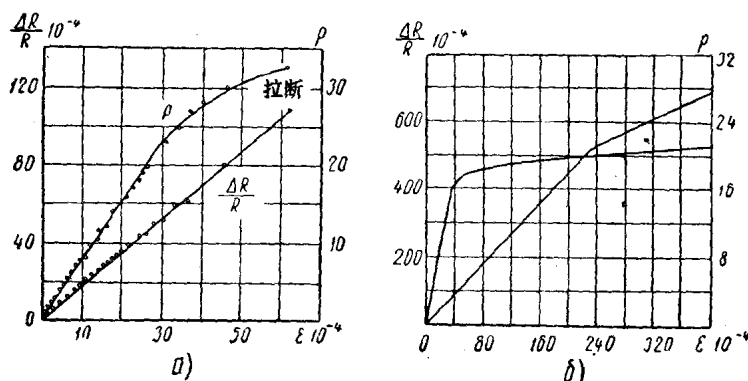


图1 拉伸图

a) — 未經退火的康銅电阻絲；b) — 在真空中退火的康銅， $t=650^{\circ}$ ，保持3小时，与加热炉同时缓慢冷却。

图1所示的是由康銅制成而直径为0.025毫米的电阻絲电阻的相对变形 $\Delta R/R$ 图形。图形清楚地指出：未經退火的康銅的应变敏感系数一直到电阻絲断裂时还保持不变。这种电阻絲的相对伸长 ε 为0.64%，应变敏感系数为1.7。对于退过火的电阻絲，只需要較小的外力 P （克）即可变形。这时应变敏感系数在 $\varepsilon = 2.4\%$ 时是2.2；在 $\varepsilon = 2.4 \sim 4\%$ 时是1。总的說来，由康銅、鎳鉻合金和鉑鉍合金制成的电阻絲具有实际使用价值的。

因此，利用应变效应的主旨，在于利用所测量的效应的发生程序，先引起电阻絲伸长或压缩，再由此而改变电阻絲的电阻。

2. 电阻絲式应变片

图2所示的是回弯电阻絲应变片，或称为寬 A 、基长 l 及綫栅寬为 a 的回弯应变片。对变形感受灵敏的綫栅5是由直径为0.03毫米的电阻絲做成的，并用专门的粘剂3粘貼在紙墊2上。綫栅上端粘貼一保护紙片4。为了联結导綫，在綫栅末端焊有接头6。粘剂层1使应变片固着在所测的零件表面上，并把零件的

变形傳給綫柵。由于电阻絲在綫柵部分的变形，致使应变片的电阻有所改变。测量变形和应力用的应变片的实际应用即基于此原理。

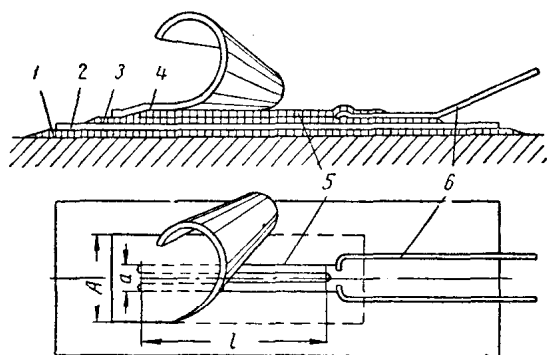


图2 电阻絲应变片

为使应变片的綫柵能与零件有同样的变形，电阻絲和紙垫应尽可能選擇得細些和薄些，并应采用專門的粘剂及專門的粘貼方法。这样，测量誤差就不会超过 1 %。然而，关于零件表面变形傳遞到应变片綫柵的机构問題还不十分清楚，現有的一些假說仍不能滿足，而且确凿的實驗資料目前还没有。

粘剂性能、粘貼方法以及各种不同的应用条件与应变片的关系，詳細地論述在文献〔7、8、9、10〕及本书第四章中。有关应变片的研究工作証明：如能用專門的粘剂和粘貼方法，無論是在测量时或是定标試驗时，零件表面的变形都能同样地傳遞給应变片中感受灵敏的綫柵。

3. 电阻絲式应变片的参数

用下列基本参数标志应变片的特性：(1)綫柵的几何尺寸；(2)变形敏感系数 s ；(3)初始电阻 R 以及(4)逸散功率 W 。电阻絲式应变片綫柵的几何尺寸决定了应变片的性能，并可在某些範圍內加以变动。如果是回弯应变片，直綫段的长，即基长 l 可

在3至75毫米範圍內加以變動，綫柵寬 a 可在10至0.03毫米範圍內加以變動，而回弯段的曲率半徑 r 則在0.1~0.3毫米的範圍內變動(圖3, a)。如果用銅制連接綫來代替回弯段(圖3, b)，或者是用箔制成的应变片來代替(圖3, c)，或应变片是只由一條电阻絲繞成時(圖3, d)，那麼就用基長 l 和綫柵寬 a 來标志应变片的尺寸。

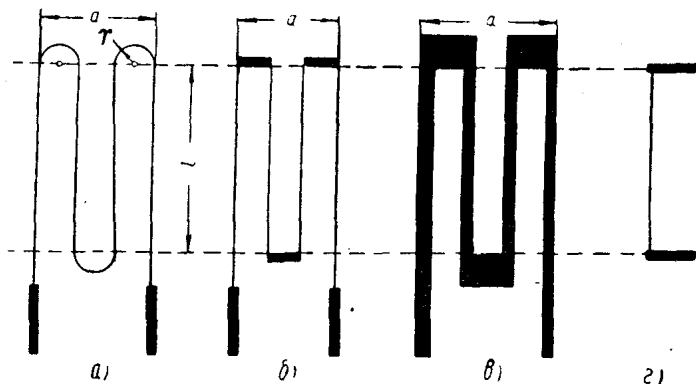


圖3 应变片的構造

a —回弯应变片； b —用銅制連接綫代回弯段的应变片； c —箔状应变片； d —綫状应变片。

一般說來，应变片的尺寸是由它的使用条件來決定的。

变形敏感系数 粘貼在零件上的应变片，如果它能准确地反

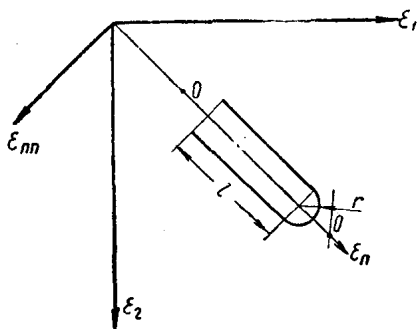


圖4 在变形場中，粘貼在零件上的应变片的回弯段

应零件变形的話，它必然会改变自己的初始电阻，这种改变不仅是由于发生在沿应变片軸向的纵向变形 ϵ_n 引起的，而且还由于发生在应变片橫向的变形而引起(圖4)。这里假定长度等于应变片基長的直綫段，只由于纵向变形而改变其电阻。而应变片的回弯曲綫电阻的改变，既由于纵向变形，也受橫向变

形 ε_{nn} 所影响。因此，变形敏感系数 s 就小于 γ 。

当提到应变片的变形敏感性时，必须注意到此敏感性是针对着一定方向的变形，尤其是对变形方向是与应变片轴线方向一致的变形而言的。应变片的初始电阻的相对改变除以沿其轴线方向的单位相对变形〔11〕称之为应变片的变形敏感系数：

$$s = \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{\varepsilon_x}$$

式中 R ——应变片的初始电阻；

ΔR ——由于线栅在纵向和横向变形而产生的应变片电阻的总增量；

ε_x ——零件的相对变形，也就是沿着应变片轴向的直线段的相对变形。

对横向变形敏感的应变片而言，系数 s 是决定于应变片几何尺寸的比例关系 $\pi r/l$ 和应变片横向与纵向变形的比例关系 $\varepsilon_n/\varepsilon_{nn}$ 的。变形敏感数值是随着比值 $\pi r/l$ 的增加而减少，且随着比值 $\varepsilon_n/\varepsilon_{nn}$ 的增加而增加。回弯式应变片对横向变形的敏感性是它的严重缺点。消除这个缺点的应变片已描绘在图 3 的 b, c, d 中，对它们来说 $s \approx \gamma$ 。

应变片的初始电阻使制成在 $10 \sim 3000$ 欧姆的范围内。这样，应变片的变形敏感度就与电阻无关。因此，在根据测量仪器的性能来选择电阻的大小时，所选取的电阻必须与这种测量仪器严格一致。

应变片的逸散功率 所谓应变片的逸散功率就是指当电流通过应变片时，于单位时间内，在应变片自身温度允许升高的范围内，它所传给周围介质的热量。当电流通过时，应变片线栅所传出的逸散功率由下式表示：

$$W = I^2 R \text{ 瓦}$$

由此，应变片中的电流许可值为：

$$I = \sqrt{\frac{W}{R}} \text{ 安}$$

因此，应变片中的电流许可值就随着逸散功率的增加而增大，随着应变片电阻的减少而增大。为使测量仪器简单化，应变片要尽可能在任何情况下都有较大的逸散功率。可是这种可能性要受热发散条件的限制。当电流通过应变片时所有由它发出的热，应该全部传递给所粘贴着的金属。因此，纸垫的厚度和粘剂层也应尽可能薄些，而应变片应避免与大气之间进行热交换。同时，为改善热发散条件，应变片最好不用金属丝而用有较大表面积箔制成。

由各种粗细不同的康铜裸丝制成的应变片中的电流许可值为〔24〕：

电 阻 丝 直 径 (毫米)	0.025	0.030	0.050	0.080	0.10
应变片中电流的许可值 (毫安)	20	30	80	200	300

粘贴在零件上的应变片纸垫，当电阻丝直径为0.030毫米时，仅在电流等于200毫安就开始烧坏。

4. 测量的性能

在机械制造中，测量机器、机构及金属构件的零件的机械变形方面，电阻丝式应变片有非常广泛的应用。作为这些测量的基本原理就是把所测量的量转化为应变片的伸长，从而使它的电阻改变。电阻丝式应变片比其他仪器的优越之处在于它能够在现场中来研究机器。借助于应变片可以在低温、高温、潮湿和水中的条件下来研究快速变形过程以及测量机械零件的弹性振动和变形。通过应变片可以把指示数传到几百米以外的远方，可以同时记录几种量，而在这些量之间是希望能建立互相联系的。

在测量物理量时，应变片不应该改变这种量的大小或者给予任何能引起这种量改变的作用。在这方面，应变片要比任何现有测量变形的仪器都优越，这是因为它只有很小的质量，同时在伸长时也无须很大的外力。当测量动载荷变形时，应变片实际上是

无惯性的。同时，可以用来记录频率达50,000赫芝的过程，这是經試驗驗證了的〔17〕。

在快速变形时，为保证必要的测量精确度，应变片的基边长不应超出零件所要测量的变形波长的1/20〔12〕。现代化的仪器测量应变片电阻的相对改变量可达到 10^{-7} 。即可测的最小相对改变为：

$$\frac{\Delta l}{l} = \varepsilon = \frac{4R}{R} \times \frac{1}{s} = 10^{-7} \times \frac{1}{2} = 5 \times 10^{-8}$$

由此，对于具有弹性模数 $E = 2 \times 10^6$ 公斤/厘米² 的鋼料，它的机械应力 σ 等于：

$$\sigma = \varepsilon E = 5 \times 10^{-8} \times 2 \times 10^6 = 0.1 \text{ 公斤/厘米}^2$$

那么，当应变片基长 $l = 20$ 毫米时的绝对变形或位移：

$$\Delta l = \varepsilon l = 5 \times 10^{-8} \times 20 = 10^{-6} \text{ 毫米}$$

测量值的上限决定于应变片相对变形的最大值，这时， $\frac{\Delta R}{R} = s\varepsilon$ 的函数关系仍維持綫性，它是取决于制造应变片所用的电阻絲的性能的。对退火的康銅來說，相对变形的上限 $\varepsilon = 2.4\%$ 〔4〕。当在应变片和零件間采用矩形或半圓环形的中間元件（应变元件）时，就有可能测量任意大小的相对变形。

为了测量压力、力、位移、加速度和其他的量，变形可通过应变元件来傳遞給应变片，元件的結構和尺寸取决于它們的使用条件。这样，应变片就成了动力測力計、扭力計、真空計、压力計及其他的仪器中的敏感元件。通过应变元件所測得数值的范围是由元件的結構所决定的。不用应变元件的应变片可能測得的最小力为 0.1 克，而采用应变元件測得的最大力实际上是不受限制的。

在测量机器零件或金属构件中的变形和应力时，应变片被特殊的粘剂貼得很牢，以致不可能从零件上取下来进行定标。在这种情况下测量工作可由一个应变片来进行，而用另一个应变片来进行定标，并且假定这两个应变片的性能是相同的。这种假定对于用同样的工艺方法和由同一根电阻絲（此电阻絲的性能沿其长

度是不变的)制成的应变片来说是正确的。此外,两个应变片的电阻和敏感綫栅的几何尺寸也必须相等。应变片的制造如果安排得很好的話,变形敏感系数的偏差将不会超过1%。

借助于应变片可以在温度高达1100°C的条件下进行测量。此时,应变片的綫栅用鉚或鉚鈹合金制成,并且不用任何可燃的紙墊而直接装貼在零件上。在水中进行测量时也可用普通的应变片,但必須加以保护,使电阻絲免于浸湿。

应变片电阻的改变不仅由于变形,而且还由于其他因素,这些因素在测量时是必須考虑的。例如,当温度改变时,应变片电阻的改变按下列公式計算:

$$\frac{\Delta R}{R} = \alpha \Delta t$$

但在測量变形时:

$$\frac{\Delta R}{R} = s\varepsilon$$

那么,比較一下两式間的关系,即得:

$$\alpha \Delta t = s\varepsilon = s \frac{\sigma_t}{E}$$

利用最后的算式,就容易算出温度和变形对应变片电阻改变的相对影响。例如,对于康銅: $\alpha = \pm 2 \times 10^{-6}$, $s=2$; 对于鋼 $E=2 \times 10^6$, 那么

$$\sigma_t = \frac{\alpha \Delta t E}{s} = \frac{\pm 2 \times 10^{-6} \times 1 \times 2 \times 10^6}{2} = \pm 2 \text{ 公斤/厘米}^2$$

也就是說,当温度改变1°C时,未粘貼在零件上的应变片的电阻相对改变,等于測量变形时粘貼在作用有应力为 $\sigma = \pm 2$ 公斤/厘米²的鋼制零件上应变片的电阻相对改变。

如果应变片粘貼在零件上,那么当由于温度改变所发生的应变片电阻的改变,是由三个因素引起的:应变片电阻絲材料电阻系数的改变;应变片的綫膨胀;零件的綫膨胀。当应变片的綫膨胀系数 α_0 与金属零件的膨胀系数 α_{μ} 相同时,起作用的仅是第一个因素。可是等式 $\alpha_0 = \alpha_{\mu}$ 是永远不存在的。当温度改变1°C时,

粘貼在金属上的应变片电阻总的相对改变为:

$$\frac{\Delta R}{R} = \gamma(\alpha_m - \alpha_0) + \alpha = \beta$$

与前式一样, 可以写为:

$$\sigma_t = \frac{E\beta}{s} \text{ 公斤/厘米}^2$$

数值 σ_t 常称为等价温度应力系数; 它取决于 $\alpha_m - \alpha_0$ 之差。对弹性模数为 2×10^9 公斤/厘米² 的鋼和由康銅制成的应变片:

$$\sigma_t = (-8 \pm 2) \text{ 公斤/厘米}^2$$

在测量变形和应力时, 温度影响的消除是借助于第二个应变片, 即利用电桥綫路图的特性的补偿应变片来达到的, 补偿应变片的参数与第一个应变片相同。

应变片的电阻随作用在它上面的压力的改变而改变。这个改变以下式表示之:

$$\frac{\Delta R}{R} = k p$$

式中 k ——应变片的电压系数。对粘貼在零件上的应变片, 这个系数是未知的;

p ——大气压力;

ΔR ——由于压力作用应变片电阻的改变。

为消除压力对应变片的影响, 与补偿温度时一样, 应用第二个应变片——补偿应变片和电桥綫路的特性[11]。当测量高压容器内部的变形时, 必須考虑压力对应变片的影响。

現有的测量动载荷变形时用的应变片要求复杂的仪器。仪器的复杂性是由于应变片具有較小的敏感度和不大的逸散功率而产生的。根据国外刊载的資料, 正在应用由箔制成的应变片, 其逸散功率比普通的应变片大到10~20倍。这样, 就有可能使测量仪器簡單化和得到較高的测量精确度[19, 20]。在苏联, 箔制的应变片实际上还没有得到应用。但是, 显然在不久的将来它会用到实际的测量方面去。有关箔制应变片的叙述已由拉耶夫斯基(Н.П.Раевский)写在[18]中。