

高等学校教材

材料力学实验指导

王绍铭 熊 莉 陈时通 葛玉梅 编

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 0 年 · 北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是高等学校机械、土木工程专业材料力学教学实验必用书,全书共四章。第一章主要介绍教学实验设备及操作使用方法;第二、三章为基本实验和选择性实验;第四章为实验报告。

本书可供高等学校机械、土木工程专业师生使用,也可供实验室等科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学实验指导/王绍铭等编. - 北京:中国铁道出版社,2000.7
ISBN 7-113-03709-7

. 材... . 王... . 材料力学-实验-高等学校-教材 . TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 17847 号

书 名:材料力学实验指导
作 者:王绍铭 熊莉 陈时通 葛玉梅 编
出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)
责任编辑:程东海
封面设计:李艳阳
印 刷:中国铁道出版社印刷厂
开 本:787×1092 1/16 印张:6.5 字数:157 千
版 本:2000 年 7 月第 1 版 2000 年 7 月第 1 次印刷
印 数:1~5000 册
书 号:ISBN 7-113-03709-7 TB·43
定 价:8.10 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换

前 言

材料力学实验是材料力学课程的重要组成部分。材料力学中的一些理论和公式是建立在实验、观察、推理、假设的基础上,它们的正确性还须由实验来验证。学生通过做实验,用理论来解释、分析实验结果,又以实验结果来证明理论,互相印证,以达到巩固理论知识和学会实验方法的双重目的。

本书是根据西南交通大学开设的材料力学实验内容和实验仪器设备情况而编写的,由仪器设备介绍、基本实验、选择性实验和实验报告组成。该书共有 16 个实验和与之对应的 16 个实验报告,并附有一定数量的思考题。全部完成各项实验需 32 ~ 44 学时,在目前情况下,要求学生必须完成 6 个基本实验,其余的实验,根据学生所学专业的特点,可选做。

本书在编写过程中,得到了西南交通大学应用力学与工程系领导和固体力学教研室和实验室老师的大力支持,并多次参与审阅书稿,提供了许多宝贵的资料,对此表示感谢。

编 者

2000 年 5 月

学生实验须知

1. 实验前,必须预习实验指导书中相关的内容,了解本次实验的目的、要求及注意事项。
2. 按预约实验时间准时进入实验室,不得无故迟到、早退、缺席。
3. 进入实验室后,不得高声喧哗和擅自乱动仪器设备。
4. 保持实验室整洁,不准在机器、仪器及桌上涂写,不准乱丢纸屑,不准随地吐痰。
5. 实验中,严格遵守操作步骤和注意事项。实验时,仪器设备发生故障,学生要立即报告教师,及时检查,排除故障后,方能继续实验。
6. 实验过程中,学生不按仪器操作规程操作损坏仪器设备者,将按学校《损坏仪器赔偿》规定处理。
7. 实验过程中,同学要相互配合,认真测取和记录实验数据。
8. 实验结束后,将仪器、工具清理摆正。不得将实验室的工具、仪器、材料等物品携带出实验室。
9. 实验完毕,须将实验数据经指导教师认可盖章后方能离开实验室。
10. 有些实验报告只给实验报告纸,实验报告格式由学生自行拟定。实验报告要求做到字迹端正、绘图清晰、表格简明。

目 录

第一章	主要仪器设备介绍.....	1
§ 1-1	WD-10A 电子万能试验机及附属装置	1
§ 1-2	静、动态应变仪及电阻应变片	6
§ 1-3	x - y 函数记录仪	18
§ 1-4	409- 型光弹仪	20
§ 1-5	日本岛津万能试验机	22
§ 1-6	液压式万能试验机	35
第二章	基本实验	38
§ 2-1	低碳钢和灰口铸铁的拉伸、压缩实验	38
§ 2-2	低碳钢和灰口铸铁的拉伸、压缩计算机采集实验	41
§ 2-3	低碳钢拉伸时弹性模量 E 与泊桑比 μ 的测定实验	43
§ 2-4	扭转实验	45
§ 2-5	矩形梁纯弯曲时正应力分布电测实验	48
§ 2-6	弯扭组合作用下电测实验	50
§ 2-7	弹性压杆稳定实验	53
第三章	选择性实验	56
§ 3-1	仪器设备操作使用实验	56
§ 3-2	粘贴电阻应变片实验	56
§ 3-3	普通光弹实验	56
§ 3-4	平面框架空间受力电测实验	58
§ 3-5	偏心拉伸实验	58
§ 3-6	悬臂等强度梁动态应变测量计算机采集实验	59
§ 3-7	冲击实验	60
§ 3-8	硬度实验	62
§ 3-9	设计性综合实验	65
第四章	实验报告	67
	一、低碳钢和灰口铸铁的拉伸、压缩实验报告	67
	二、低碳钢和灰口铸铁的拉伸、压缩计算机采集实验报告	69
	三、低碳钢拉伸时弹性模量 E 和泊桑比 μ 测定实验报告	71
	四、扭转实验报告	73
	五、矩形梁纯弯曲时正应力分布电测实验报告	75
	六、弯扭组合作用下电测实验报告	77
	七、弹性压杆稳定实验报告	79
	八、仪器设备操作实验报告	81

九、粘贴电阻应变片实验报告 83

十、普通光弹实验报告 85

十一、平面框架空间受力电测实验报告 87

十二、偏心拉伸实验报告 89

十三、悬臂等强度梁动态计算机采集实验报告 91

十四、冲击实验报告 93

十五、硬度测试实验报告 95

十六、设计性综合实验报告 97

第一章 主要仪器设备介绍

§ 1-1 WD-10A 电子万能试验机及附属装置

一、电子万能试验机

以 WD-10A 型万能试验机为例介绍其构造。该试验机由主机和控制显示柜两部分组成,最大荷载为100 kN,横梁移动速度由0.5 mm/ min ~ 250 mm/ min,共分 10 档。采用电阻应变片式荷载和变形传感器,由数字电压表显示其荷载和变形值。试验机外形构造如图 1—1。

图 1—1 WD-10A 电子万能试验机

1. 试验机加载原理

试验机动横梁由两根丝杆同步转动而向上或向下平行移动。如果固定于基座的下压头和固定于动横梁上的上压头之间放置一个试件,当横梁下移时,试件将受到压力而发生缩短变形。为了测量压力的大小,在上压头安装了一个受压的荷载传感器。由于传感器与试件串联将受到同样大小的压力,输出一个与所受压力成正比的信号,经放大后由数字电压表显示压力的大小。

如果在主机的上拉伸夹头和固定于动横梁上的下拉伸夹头之间夹持住一根试样。当横梁下移时,试样将受到拉力的作用,并产生伸长变形。为了测量拉力的大小,在上拉伸夹头上安装一只拉力传感器来产生与所受拉力成正比的信号,经放大后显示拉力的大小。

试验机除了能做拉伸和压缩试验外,如果配上其他的夹具,也可以作试样的剪切、弯曲等

试验,所以通常把它称为万能材料试验机。这种试验机的加力装置特点是丝杆传动。动横梁以上是拉伸试验区,动横梁以下为压缩试验区。不论拉伸或压缩,加载时横梁总是下行,横梁上行时为卸载。

2. 荷载测量单元

荷载测量单元实质上是一个高质量的应变测量放大器。传感器通过其内的弹性元件的变形和电阻应变片电桥,将弹性元件受力后的变形量转换成一个微小的电压变化量,通过放大器放大后用数字电压表显示与荷载成正比的数值。

荷载测量单元的面板如图 1—2。操作使用方法如下:

图 1—2 荷载测量单元面板

(1)传感器选择。万能试验机的最大荷载为100 kN,配有一个拉力荷载传感器和一个压力荷载传感器。根据所作的试验是拉伸或是压缩来进行选择。当进行拉伸试验时,按下标有“拉”字的键,就意味着已把拉伸荷载传感器接入了仪器系统。需作压缩试验时,则将标有“压”字的键按下。

(2)量程选择。量程即测量的范围。本机所配 100kN 荷载传感器,有四种测量范围可供选择,即100 kN、50 kN、20 kN和10 kN。每一种量程起作用时,荷载数字电压表显示相应的满量程数值均为1 000。例如按下50 kN键,则当荷载为50 kN时数字电压表显示1 000,荷载为10 kN时显示 200,荷载为5 kN时显示 100。为了使读数误差较小,所选择的量程应是比试验时的实际荷载稍大的量程。

在这组按键中还有“0”键和“标定”键。“0”键是使仪器系统输入为零,用于预热仪器和调试。“标定”键用于检查仪器的灵敏度是否正确,按下时显示出一个规定的标定值,便于检查调整。通常由实验室的教师检查调试。

为了使材料试验机安全地工作,在荷载测量单元还设置了“破断”和“过载”保护开关。若把“破断”开关置于“开”位置,试件破坏后,试验机就会自动停机。把“过载”开关置于“开”位置,试验机超载 10%时就会自动停机。在电子万能试验机主机的上、下部位安装了两个限位行程开关,也是起保护作用的。

(3)仪器调零。当试件尚未接触上压头或夹紧时,试样没有受到荷载作用,荷载数字电压表应显示为零。若数字表显示不为零,则可转动本单元面板上的调零电位器 R 旋钮,使数字显示零或在 ± 2 以内即可。

3. 变形测量单元

为了测量材料的弹性模量 E 和条件屈服应力 $\sigma_{0.2}$, 万能试验机配有引伸计变形测量系统。引伸计安装于试样上如图 1—3。引伸计两个刀口之间的距离为变形测量段的原始长度称为标距。引伸计的标距应该是标准的, 由一根长度杆控制。刀口用橡皮筋捆压在试样上。试样受力伸长时, 刀口之间距离就发生变化, 使弹性元件上的应变片组成的电桥产生一个微小的电压变化量, 经过放大后显示与变形成正比的数值。

变形测量单元的面板如图 1—4。其操作使用方法如下:

图 1—3 引伸计安装

(1) 变形传感器选择。试验机上现只配

图 1—4 变形测量单元

有一只标距 $\times \times \text{ mm}$ 而变形为 10 mm 的传感器, 按下此键即可把传感器接入仪器系统。

(2) 测量范围选择。测量范围分为四档, 量程各为 10 mm、5 mm、2 mm 和 1 mm。当选择 1 mm 量程时, 则 1 mm 的变形量显示数为 1 000、0.1 mm 的显示数为 100、0.01 mm 时显示为 10。其余量程类推即可。

(3) 将引伸计安装好后, 接好仪器之间的连线, 按下面板上传感器所需量程键, 调节 $R_{\text{粗}}$ 和 $R_{\text{细}}$ 旋钮, 使变形数字电压表显示为零或 ± 2 以内即可。

在变形测量单元还设有“0”键和“标定”键。“0”键是使变形单元系统输入为零, 用于预热仪器和调试。“标定”键用于检查变形单元系统的灵敏度是否正确, 按下此键时显示规定的标定值, 若与此规定值不相符, 可调节标定电位器。

4. 横梁位移测量单元

使用引伸计测量试样受力后的变形, 但是它的量程较小, 最大为 10 mm 的量程不能满足试样拉伸直至破坏的测量要求。所以它只能用于弹性和小塑性变形段的测量。测量试样的大变形往往用测量横梁的位移来代替。使用差动变压器式的位移传感器, 可以得到较大的测量范围。位移传感器的安装如图 1—5。位移计的筒体固定于试验机的动横梁上, 位移计心轴由固定于机器上的磁力平台所支持。当横梁向上或向下移动时, 位移计筒体随动横梁上下移动, 而

心轴是不动的。筒体与心轴的相对位移使传感器产生一个电压信号,经位移测量单元规范调节后显示于位移数字电压表。同时还把输出的电压信号接入 x-y 函数记录仪的 x 坐标上,以便于绘制曲线图。

在图 1—5 中,由于位移传感器固定在动横梁上,在实验过程中,把试件的变形、夹持端的滑移、传动装置间的间隙和横梁的弹性变形等量都输入给 x-y 函数记录仪绘制曲线图,所以绘制的曲线图精度不高。在图 1—6 中,使用了夹式引伸计直接装卡在试件上,在实验过程中,夹式引伸计的心轴借助于弹簧的作用,随着试件伸长而增长。把试件的真实伸长量输入给

图 1—5 位移传感器装置

x-y 函数记录仪绘图,所以绘制的曲线图精度较高。

位移测量单元面板如图 1—7,试验时,当安装好试样之后,移动用磁性千分表座改制的磁性平台,使位移计心轴大约处于初始位置(在心轴上有刻线),旋转调零电位器使位移数字显示一个较小的数值(± 100 以内),再打开 x-y 函数记录仪电源,以免记录笔架超限发生碰撞。图中的微机接口主要供计算机采集试验数据时使用。

位移传感器输出的位移电量,若未给出标定值,其位移量都是随机的,不能作为计算变形量的依据。位移传感器通常采用标准杆和引伸计检定仪来标定,其标定值可用于计算试样的变形量。

5. 速度选择单元

为了满足各种类型试验速度的需要,控制柜中设有一个速度选择单元如图 1—8 所示。采用可控硅闭环调节技术,使试件变形速度控制为指定值(误差在 2% 以内)。试验机设有两种类型的横梁移动速度。试样加载的速度有 0.5、1、2、5、10 mm/min,横梁快速移动的速度有 15、20、50、100、250 mm/min,它主要用于调整夹头之间的距离,以便安装试样。

图 1—6 夹式引伸计

按下所需速度键,就确定了横梁的移动速度。当再按下降(加载)或上升(卸载)按钮时,横梁将按设定的速度下降或上升。

试验时须特别注意: 速度设置经常是设置于小的加载速度范围内。当设置高速移动横梁之后,一定要返回到小的加载速度设置,以免误运行时损坏试样。在运转时,要想改变运动方向,须先按“停”,然后再按“上升”或“下降”。

6. 电子万能试验机的校准

万能试验机在出厂前,已由厂方对试验机荷载、变形和位移等量进行校准。出厂后,由于运

图 1—7 位移测量单元面板

图 1—8 速度选择单元面板

输、安装、使用都会影响试验机的精度。故对试验机荷载、变形和位移量都要定时地用精度较高的专用仪器进行校准。此项工作一般由实验室工作人员实施。

二、力传感器

传感器有各种各样的类型,在此只简单地介绍应变式负荷传感器(图 1—9),主要由弹性元件、应变片及外壳等部分构成。将 8 片电阻应变片用粘接剂粘贴在弹性元件的变形部位上,组成全桥电路。弹性元件在外力(拉力或压力)作用下产生应变,应变片上的电阻丝栅随之伸长或缩短,使其电阻值改变。然后由测量仪器将此电阻变化转换成与外力相对应的电量显示出来,这个电量就代表了力的大小。

只要在这种传感器的两端配上不同的联接接头,就可以作拉力传感器或压力传感器。WD-10A 型电子万能试验机就使用了这种传感器。力传感器在使用中,必须定时进行标定,保持其所测荷载的精度。

图 1—9 应变式负载传感器

三、位移传感器(差动变压器式位移传感器)

位移传感器把直线移动的位移量变换为电量,其工作原理实质上是铁心可动的变压器。其结构示意图和电原理图如图 1—10 所示。

差动变压器式位移传感器由初级线圈和两组次级线圈、插入线圈中心的棒状铁心及其外壳等部分组成。当铁心在线圈内移动时,改变了磁通的空间分布,从而改变了初、次级线圈之间的互感量。当供给初级线圈一定频率的交变电压时,次级线圈就要产生感应电动势,随着铁心的位置(上下移动)不同,互感量也不同,次级线圈产生的感应电动势也不同。这样,就把铁心的位移量变成了电压信号输出。

图 1—10 结构示意图和电原理图

1—初级线圈;2—次级线圈;3—铁心

差动变压器式位移传感器在使用时,必须与位移信号源配套使用,即由位移信号源供给位移传感器所需的电源,而位移传感器输出的位移电压量通过位移信号源经过相敏检波和放大后,输入到 x - y 函数记录仪的 x 坐标轴上。

§ 1-2 静、动态应变仪及电阻应变片

电阻应变测试技术广泛地用于机械、电力设备、化工容器、航空发动机、宇航飞行器、原子反应堆、铁道、桥隧、房屋建筑等的动、静态力学参数的测定;近些年来又用于地震预报、地质勘探和医学等领域。电阻应变测量技术已成为现代科学技术中必不可少的一种测试技术。故在此我们简单地介绍有关电阻应变测量技术的基本原理以及使用的仪器设备。

由于机械应变所引起的应变片阻值的相对变化 $\Delta R/R$ 十分微小,而应变值又有拉、压、动、静之分,因此必须借助专门的仪器才能对应变进行量测和鉴别。这种仪器称为电阻应变仪(简称应变仪)。应变仪通常分为静态、静动态、动态、超动态和多点巡回检测系统应变仪等类型。应变仪主要由电桥、振荡器、放大器、相敏检波器、滤波器、指示或记录器、电源等部份组成(见图 1—11)。从应变仪的方框图可知道,应变仪构造原理与惠斯登电桥有关。所以,我们首先介绍电阻应变片和惠斯登电桥的一些基本知识。

图 1—11 应变仪组成方框图

一、电阻应变片

根据电阻合金材料的应变电阻效应原理制成的应变传感元件称为电阻应变计,或简称为应变片。应变片可用于测量构件表面应变大小,并将非电量的线应变转换为电阻的变化。应变片一般由敏感栅(电阻线栅)、基底(纸基、胶基)、引出线和表面保护层组成(图 1—12)。电阻应变片的电阻值最常用的为 $120\ \Omega$,特殊应变片通常有 $350\ \Omega$ 、 $500\ \Omega$ 、 $600\ \Omega$ 、 $1\ 000\ \Omega$ 等,其线栅宽 b 和长度 L 根据需要使用制成多种规格,以供选用。当电阻应变片粘贴于构件上后,在外力作用下构件的伸长或缩短,将使应变片也随之伸长或缩短,从而改变了电阻应变片的电阻值。根据试验可知,当线应变 ε 不超过一定范围时($\varepsilon = 0 \sim 10^{-2}$),应变片电阻的变

图 1—12 电阻应变计的形状和结构

化率与线应变之比为一常数,即 $\frac{\Delta R}{R} = K$,其式中 K 称为应变片的灵敏系数。它与电阻箔材的材料和电阻应变片的形状有关,其值在 1.8 ~ 2.4 之间。

1. 常用的电阻应变片种类

(1)纸基电阻应变片或胶基应变片(见图 1—12)。

(2)残余应力应变片(见图 1—13)。

(3)裂纹扩展应变片(见图 1—14)。

图 1—13

图 1—14

(4)电阻应变花

测量平面应变场一点应变状态,需要在一点上粘贴两个或三个应变计以测出该点两个或三个方向的线应变。为使用方便和保证各应变计相对位置准确,制造时先把两个或三个,甚至四个敏感栅按一定的相对位置排列在同一基底上,称为电阻应变花。它不仅使用方便,而且也简化了计算工作。常用的几种应变花如图 1—15 所示。若测点主应变方向已知,可采用图 1—15 中(a)或图 1—15 中(a')类应变花;若测点主应变方向未知,应采用图 1—15 中(b)或图 1—15 中(b')类应变花。

图 1—15

(5)高温、中温、低温和常温应变片。

2. 应变计的选择、粘贴、连接、防护方法

(1)根据被测构件的工作情况选择应变计,检查外形有无损伤,测量电阻值,要求同一组应变片的电阻值相差应小于 0.2Ω。

(2)根据应变片的基底材料选择胶粘剂,再根据应变片的工作情况作如下选择:

若短期应变测量选用 502 等快干胶;

若长期应变测量选用 H-610、SX-902、H-611 等胶粘剂。

(3)对测点表面用砂轮、锉刀、砂纸等工具清除表面铁锈,并用细砂纸交叉打磨出与轴线成 45° 的细纹,用钢划针划出测点贴片的准确位置。

(4)用脱脂棉沾无水乙醇或丙酮清洗构件测点表面,并清洗应变片底部。

(5)在测点处和应变片底面涂一层胶粘剂,将应变片放在测点上并仔细对准位置和方向。在应变片上面放一张比应变片稍大的塑料纸,用手指均匀地挤压应变片 2 ~ 3 min。若胶粘剂

选用为 502 胶水, 只需几个小时就可完全干透。若选用 H-610 等胶粘剂, 须根据该胶粘剂的要求, 在应变片上加压加温固化。

(6) 在应变计引出线端用胶粘剂粘贴印刷电路板制成的接线端子, 用 20 ~ 25 W 电烙铁将引出线和输出电线焊接在接线端子上(见图 1 - 16)。

(7) 用兆欧表测量应变计敏感栅对地的绝缘电阻, 若绝缘电阻大于 500 MΩ 或无穷大, 表明胶粘剂已完全干透。

(8) 用万用表检查应变片的电阻值无误后, 用防潮剂在应变片、接线端子表面及周围涂一层 1 ~ 2 mm 厚的防潮层(见图 1—16)。

3. 防水防潮材料

长期使用的应变计和在液体压力使用的应变片, 必须要有防水防潮措施, 其防水防潮材料种类较多。如脂类防潮剂、石蜡类防潮剂、常温防水剂、环氧树脂防水涂料等。在此我们只简单介绍石蜡防潮剂和环氧树脂防水涂料的配制。

图 1—16

(1) 石蜡防潮剂

凡士林	30 %
黄蜡或白蜡	30 %
机油	20 %
松香	20 %

配制时, 先将松香加热熔化, 再加入石蜡、凡士林和机油混合均匀, 并煮沸 15 ~ 25 min 除去水份, 冷至 40 ~ 50 时使用。冬季使用时, 由于涂敷面和环境温度低, 涂在应变片及应变片周围的防潮剂很快就凝固, 不易涂匀, 可用电吹风对涂敷面进行预热和助熔处理, 使涂层均匀而严密。

(2) 环氧树脂防水涂料

6101 环氧树脂 650 聚酰胺树脂 = 100 (40 ~ 60), 混合后, 加丙酮 20 ml 左右搅均匀待用。在涂刷环氧树脂防水剂时, 时间不要拖得太长, 否则环氧树脂会固化。涂好环氧树脂防水剂的试件或传感器, 一般情况下都要存放 2 ~ 4 天才能投入使用。

二、惠斯登电桥

由四个电阻组成的如图 1—17 所示的电路, 称为惠斯登电桥。其作用是将电桥的电阻变化转换成电压输出。四个电阻称为桥臂, 若 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ 称为等臂电桥。其中两个对角 AC 为供桥端, 供给直流电压用 V_{AC} 来表示, 另两个对角 BD 为输出端, 输出电压用 U_{BD} 来表示。工作时只有两个相邻桥臂电阻由仪器外部接入称为半桥接法。四个桥臂电阻均由仪器外部接入称为全桥接法。

1. 电桥采用半桥接法时, 输出电压为

图 1—17 惠斯登电桥

$$U_{CB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{AC}$$

$$U_{CD} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{AC}$$

$$\begin{aligned} U_{BD} &= U_{CD} - U_{CB} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{AC} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{AC} \\ &= \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} V_{AC} \end{aligned}$$

电桥的平衡条件为 $R_1 R_4 - R_2 R_3 = 0$

一般电阻应变仪都设计为等臂电桥,即 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 120 \Omega$,所以电桥的原始状态是平衡的。当测量的构件受力作用时,构件的变形使粘贴于其上的电阻应变片 R_1 也跟着变形而产生电阻的变化。如 AB 桥臂上 R_1 这个电阻应变片(简称工作片),它从 R_1 变化为 $R_1 + \Delta R$,其他的几个桥臂固定不动。这就造成了电桥的不平衡,将有一个电压输出为

$$U_{BD} = \frac{(R_1 + \Delta R) R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + \Delta R + R_2)(R_3 + R_4)} V_{AC} = \frac{\Delta R}{2\Delta R + 4R} V_{AC} = \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R} V_{AC} \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R}} \right)$$

由于应变测量时,电阻变化率甚小, $\frac{\Delta R}{R} \ll 1$, 因此

$$U_{BD} = \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R} V_{AC} = \frac{K V_{AC}}{4} \varepsilon$$

式中 K ——应变片的灵敏系数;

ε ——应变片的应变值。

电桥输出的不平衡电压与构件的应变成正比,测量出这个电压就意味着测量出应变值。由于一般供桥电压为 $2V$ 左右,应变片的灵敏系数为 2 左右,当构件上有 $10 \mu\varepsilon$ 时(相当于钢上有 2 MPa 的应力)才产生 $10 \mu V$ 的电压值。所以必须要有一个高质量的放大器,把电桥的不平衡电压放大之后才能显示出应变值。这样由电桥、放大器、数字电压表就构成了应变电测法所应用的“数字电阻应变仪”。

在电阻应变片的实际使用中,还存在一个问题必须给予注意,即粘贴于构件上的工作应变片 R_1 的电阻值不仅会因构件变形而变化,而且当外界温度变化时,工作应变片的电阻值也将发生变化。这是因为构件与电阻材料的温度膨胀差和电阻的温度系数所引起的电阻的变化。为了消除温度变化对应变测量结果的影响,通常采用温度补偿应变片的方法,即桥臂 AB 为工作片 R_1 粘贴于受力的被测构件上,温度补偿片 R_2 与工作片 R_1 是同一类的电阻应变片,粘贴于与被测构件相同材料的一块板材上,再把它置于被测构件的近旁。电阻应变片 R_2 接于电桥的 BC 臂。电桥在温度变化的影响下,相邻两桥臂的电阻变化一样而使电桥输出为零。构件在外力作用下工作片 R_1 产生应变值,温度补偿块不受力无应变值。

2. 电桥采用全桥接法时,输出电压为

$$U_{BD} = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} V_i$$

由上式可见,若 $R_1 R_4 = R_2 R_3 = 0$, 则 $U_{BD} = 0$, 此时称电桥平衡。

设等臂电桥的 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$, 工作时, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 电阻都要产生电阻变化量,其变化量分别 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 、 ΔR_4 , 且 $R \gg \Delta R_i (i = 1, 2, 3, 4)$, 则

$$U_{BD} = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} V_i, \text{可近似为}$$

$$U_{BD} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R} - \frac{\Delta R_2}{R} + \frac{\Delta R_3}{R} - \frac{\Delta R_4}{R} \right) V_i$$

再将 $\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon$ 代入上式,可得

$$U_{BD} = \frac{K}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) V_i$$

式中, ε_1 、 ε_2 、 ε_3 、 ε_4 为应变片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 的应变变量。

应注意电阻变化 $\Delta R_1 \sim \Delta R_4$ 及应变 $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_4$ 的符号,压应变时用负值代入上列各式。

三、YJ-16 静态应变仪

YJ-16 静态应变仪是一种多点静态应变测试装置,采用数字显示其应变值。仪器前面板如图 1—18,设有电源开关,测量键和电阻平衡等旋钮;由于使用的各批电阻应变片的灵敏系数 K 值不相同,为了显示出真实的应变数值,面板上设置有标定钮和灵敏调节钮。仪器的背部面板设有专用插座,用导线与预调平衡箱联接。

图 1—18 静态应变仪

在使用应变仪之前,必须对应变仪进行校准,其方法如下:

1. 在应变仪后面板的 A、B、C 柱上分别接上两个120 Ω的电阻(一般称为标准电阻);把选择开关置于“半桥”位置;再把预调平衡箱上的拨点切换器旋钮拨至“0”位。
2. 打开应变仪电源开关,预热仪器。
3. 压下应变仪上的“测量键”,调节电阻平衡旋钮,使应变显示值为 0。
4. 根据所使用应变片的灵敏系数 K 值查表 1—1 确定标定值。按下应变仪上的“标定键”,用改锥调节“灵敏度”电位器使显示值为该标定值(表 1—1)。

表 1—1 灵敏系数的标定值

灵敏系数 K	标 定 值	灵敏系数 K	标 定 值
1.9	- 5 263	2.2	- 4 345
2.0	- 5 000	2.3	- 4 347
2.1	- 4 762	2.4	- 4 167

注:桥臂电阻为120 Ω,中间值用线性插值计算。

5. 从应变仪上取掉调仪器时接上的标准电阻。

6. 压下“测量”键,即仪器处于工作状态。

若应变仪满足以上各条,就说明该仪器正常,可以用于测试工作。

在实验前,须把应变片进行接桥,在此作简单介绍。在预调平衡箱背面或两侧面(如图1—19)都有A、B、C、D接线柱。半桥接法时,首先把应变仪上的选择开关拨至“半桥”位置,然后把工作片(R_1)的引线接入A、B柱上;温度补偿片(R_2)接入B、C柱上。温度补偿应变片根据构件上各测点温度条件,可采用逐片补偿法或公共补偿法。若采用公共补偿法,须用仪器备用的短路联接片把所有的C柱联接在一起。一般静态应变测量多采用外接半桥电阻

图 1—19 预调平衡箱

应变片,而另外的半桥由仪器内部的精密电阻构成。全桥接法时,把应变仪上的选择开关拨至全桥位置,取下预调平衡箱接线柱上的所有短路联接片,然后把工作片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 分别接于A与B柱、B与C柱、C与D柱和D与A柱上。

预调平衡箱面板如图1—19,根据切换旋钮刻线所指的数字,就说明已经把预调箱上该测点的电阻应变片与电阻应变仪相互接通。由于电阻应变片在生产中不可能作到完全相同的电阻值,接入应变仪后电桥不能处于初始平衡状态,所以预调箱上的各点电位器旋钮就是作电桥预调平衡用的。应变仪(按前面校准方法校准好后)与预调平衡箱联接后的使用方法如下:

1. 采用半桥接法,把工作片的引线接在A、B柱上,温度补偿片的引线接在B、C柱上。
2. 按下应变仪上的“测量”键,选择开关拨至“半桥”位置。
3. 旋转预调平衡箱上的切换器,逐个调节工作片所对应测点的电位器,使应变仪显示为零。
4. 所有测点都调平衡后,即可做实验。
5. 实验完毕关闭仪器电源。

四、YJ-25 型数字静态应变仪和平衡箱

1. YJ-25 型数字静态应变仪

在前面板(图1—20a)上设置有电源开关、粗-细开关、基零-测量开关、电阻平衡电位器、基零电位器和灵敏系数盘。在应变仪后面板上(图1—20b)设置有电源插座、标定-电桥盒-预调平衡箱选择开关、灵敏度电位器和预调平衡箱插座。

2. 预调平衡箱

在预调平衡箱的前面板上(图1—21a),设置有0~20个测点的切换旋钮,与20个测点对应的调零电位器。在平衡箱的后面板(图1—21b)设置有转换-全桥-半桥选择开关、地线柱、应变仪插座、平衡箱插座和20个测点接线柱。

3. 应变仪与平衡箱的使用调试方法

- (1)用专用线把应变仪与平衡箱联通。
- (2)将应变仪上“标定-电桥盒-平衡箱”开关拨至电桥盒档,平衡箱上切换旋钮拨至“0”档。
- (3)接通应变仪电源,按下电源开关,预热仪器30 min。
- (4)按下“基零”开关,调节“基零”电位器,使显示为 ± 0000 。