

# 工程力学实验教程

游斌 李彦军 著



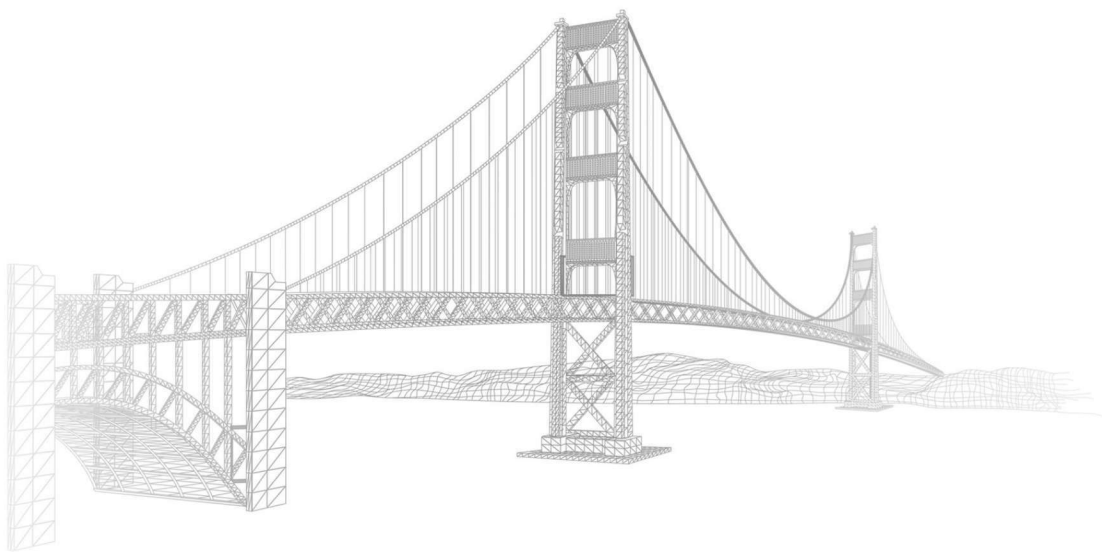
江西高校出版社



# 工程力学 实验教程

主 编 游 斌 李彦军

副主编 余兴强 韦友春 郑校辉



江西高校出版社

JIANGXI UNIVERSITIES AND COLLEGES PRESS

### 图书在版编目(CIP)数据

工程力学实验教程/游斌,李彦军著. —南昌:江西高校出版社, 2015.8

ISBN 978-7-5493-3705-7

I. ①工... II. ①游... ②李... III. ①工程力学—实验—教材 IV. ①TB12-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015) 第 201402 号

出版发行	江西高校出版社
社 址	江西省南昌市洪都北大道 96 号
邮 政 编 码	330046
总编室电话	(0791)88504319
销 售 电 话	(0791)88511423
网 址	www.juacp.com
印 刷	南昌市光华印刷有限责任公司
照 排	江西太元科技有限公司照排部
经 销	各地新华书店
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	9.75
字 数	243 千字
版 次	2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5493-3705-7
定 价	20.00 元

赣版权登字—07—2015—670

版权所有 侵权必究

# 前 言

实验是进行科学研究的重要方法,科学史上许多重大发明就是依靠科学实验而得到的,许多新理论的建立也要靠实验来验证。工程力学实验课在力学课程中有着重要的地位,它将巩固和加深学生对课堂上所接受的理论与概念的理解,并使学生对力学性质有一个直观的认识,以便更好地接受工程中的一些力学概念如塑性、脆性和强度等。另外,它作为工程测试的入门,使学生了解工程测试的基本原理和技术手段,对提高学生的思维能力、实际动手能力和培养学生对实际工程的测试技能都有很大的帮助。

本书分为绪论、基础知识、理论力学实验、材料力学实验、电测应力分析实验、选修实验、常用力学实验设备及软件七个部分。其中绪论主要介绍工程力学实验的目的、实验内容、实验方法和要求;基础知识介绍了游标卡尺、千分表的使用,电测法的基本原理,实验误差分析及数据处理;理论力学实验介绍了单自由度系统自由振动和强迫振动、连杆质心与转动惯量的测定、动力学综合演示等实验项目;材料力学实验介绍了低碳钢弹性模量  $E$  测定,金属材料拉伸、压缩、剪切、扭转、冲击,低碳钢剪切弹性模量  $G$  测定等实验项目;电测应力分析实验介绍了弯曲正应力电测、组合梁应力分析、薄臂圆管弯扭组合变形应力分析、等强度梁、偏心拉伸、压杆稳定等实验项目;选修实验介绍了应变片粘贴技术、单转子动力学、光弹性、力和位移传感器的制作与标定、钻孔法测定金属表面的残余应力等实验项目;另外,还介绍了微机控制电子万能试验机、扭转试验机、PowerTest 软件、静态应变仪及全自动金属摆锤冲击试验机的使用方法。

本教材由游斌统筹定稿。全书编写分工如下:第二章的 2.1、2.3 节,第四章,第五章,第七章由李彦军编写;第三章由余兴强编写;第一章,第二章的 2.2、2.4 节由韦友春编写;第六章由郑校辉编写。

本教材在编写过程中得到了江西科技学院于果董事长、王海校长、胡剑锋副校长、马红坤处长、王清玲主任及危子青副主任的大力支持,在此致以诚挚的谢意。

限于编者水平,加之编写时间仓促,书中难免有不足和疏漏之处,恳请各位专家、同仁和广大读者指正。

编 者

2015 年 7 月

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
1.1 工程力学实验的目的 .....	1
1.2 工程力学实验的主要内容 .....	1
1.3 工程力学实验的基本方法和要求 .....	2
第二章 基础知识 .....	4
2.1 常见游标卡尺的使用 .....	4
2.2 千分表的使用 .....	6
2.3 电测法基本原理 .....	7
2.4 实验误差分析 .....	12
2.5 常用材料的主要力学性能 .....	25
第三章 理论力学实验 .....	27
3.1 单自由度系统自由振动 .....	27
3.2 单自由度系统强迫振动 .....	33
3.3 连杆质心与转动惯量的测定 .....	38
3.4 动力学综合演示 .....	41
第四章 材料力学实验 .....	46
4.1 低碳钢弹性模量 $E$ 测定实验 .....	46
4.2 金属材料拉伸实验 .....	50
4.3 金属材料压缩实验 .....	55
4.4 金属材料剪切实验 .....	60
4.5 低碳钢剪切弹性模量 $G$ 测定实验(方案一) .....	62

4.6	低碳钢剪切弹性模量 $G$ 测定实验(方案二)	66
4.7	金属材料扭转实验	67
4.8	金属材料冲击实验	69
<b>第五章</b>	<b>电测应力分析实验</b>	<b>74</b>
5.1	弯曲正应力电测实验	74
5.2	组合梁应力分析实验	79
5.3	薄壁圆管弯扭组合变形应力分析实验	82
5.4	等强度梁实验	87
5.5	偏心拉伸实验	91
5.6	压杆稳定实验	95
<b>第六章</b>	<b>选修实验</b>	<b>99</b>
6.1	电阻应变片粘贴技术	99
6.2	单转子动力学实验	102
6.3	光弹性实验	105
6.4	力和位移传感器的制作与标定	110
6.5	钻孔法测定金属表面的残余应力	115
<b>第七章</b>	<b>常用力学实验设备及软件</b>	<b>119</b>
7.1	CMT 系列微机控制电子万能(拉力)试验机	119
7.2	CTT1000 型扭转试验机	125
7.3	试验机软件 PowerTest V3.0	129
7.4	TS3861 静态应变仪	143
7.5	ZBC-300B 全自动金属摆锤冲击试验机	146
<b>参考文献</b>		<b>150</b>

# 第一章 绪论

## 1.1 工程力学实验的目的

工程力学实验有丰富的内容,我们选取了较典型和较常用的实验内容和方法作为实验课的基本教学内容,在学生掌握工程力学基本理论的基础上,还能让学生掌握基本的实验技能,并探索通过综合性、设计性实验的教学方式,逐步培养学生的动手能力和实践能力。

1.要求学生通过对实验现象的观察、分析和对金属材料性能参数的测量,能初步掌握工程力学实验的基本知识、基本方法和基本技能,并能运用工程力学原理解释金属材料构件的力学特性,加深对工程力学原理的理解。

2.培养学生的科学实验能力,主要包括:动手实践能力、思维创新能力、书写表达能力和简单的设计能力,并通过实验课激发同学们的创造能力和学习热情。

3.培养学生从事科学实验的素质。要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风;严肃认真的工作态度;不怕困难主动进取的探索精神;遵守操作规程、爱护公共财物以及在实验中相互协作、共同探索的团队精神。

## 1.2 工程力学实验的主要内容

工程力学实验有多种分类方法。按测试手段来分有机测实验、电测实验、光弹性实验、声发射实验等。按实验目的来分有力学性能测定实验和构件应力、应变测量实验。在教学实验中按实验课的性质又可分为验证性实验、综合性实验和设计性实验。下面我们按实验目的不同来分类。

### 1.2.1 力学性能测定实验

设计构件时,均须了解所用工程材料的力学性能。工程实际中经常用到工程材料的屈服极限、强度极限和延伸率等。这些力学性能参数,是通过拉伸、压缩和扭转等实验测定的。实验选用的工程材料为常用的普通低碳钢和灰口铸铁,实验方法采用常用的机测法。这两项实验属基本知识及基本技能综合训练实验。材料的力学性能还包括冲击韧性和疲劳韧性等参数,本教材中讲述了拉伸、压缩、扭转、剪切、冲击等基本实验。

### 1.2.2 静态应力测量实验

在工程测试中,常常会遇到一些形状和载荷情况较为复杂的结构和构件。关于它们的强度、刚度、稳定性问题,单纯靠理论计算不能得到满意的结果。因此,需要通过实验测量,并进行应力、应变分析。这些实验测量的方法主要有前面提到过的机测法、电测法、光测法等。另外,还有较复杂的光弹性法、声发射法、脆性涂层法、云纹法、全息干涉法及散斑干涉法等,这些方法目前已成为解决工程实际问题的有效手段。本教材将着重介绍应用最为广

泛的机测法和电测法。包含的实验项目有:板状试样偏拉实验、组合变形实验、叠梁(缺口梁)弯曲正应力实验,这些实验为综合性、设计性实验。还有纯弯曲正应力实验、等强度梁实验、压杆稳定实验,这些实验为验证性实验。本教材还讲述了单梁、整梁、叠梁的正应力测试,圆截面管的弯扭组合变形等实验。

### 1.2.3 动力学和动应力测量实验

振动是工程中普遍存在的现象。构件或试样的工程振动实验的基本内容有构件的动力特性(固有频率、阻尼比、振型),构件的动力反应(动应力、振动位移、速度和加速度),动力载荷的特性参数(如风压力,水流脉动压力)等几个方面。振动测量的方法有机械法、电测法、光测法等。目前,电测法在工程中使用较为广泛,这些实验多为综合性实验。

## 1.3 工程力学实验的基本方法和要求

### 1.3.1 基本方法

在常温、静载荷条件下,工程力学实验所涉及的物理量主要是作用在试件上的载荷和试件的变形。在进行实验时,力与变形要同时测量,这些绝非一人所能完成,一般需要2~4人协调进行,否则就不能有效地完成实验。

实验时应注意以下几个方面:

#### 1. 实验前的准备工作

首先,应明确实验目的、原理和步骤,了解所用机器及测量仪表的构造、工作原理和使用方法。然后选定试样,测量试样尺寸,估算最大载荷并拟定加载方案。

实验小组成员应分工明确,操作要互相协调。实验小组成员一般可做如下分工:

(1)记录者(1~2人)。记录者应当是负责实验的总指挥。记录者的任务不仅仅是记录实验数据,更重要的是要及时地分析数据的好坏,并保证实验数据的完整。

(2)试验机操作者(1~2人)。担任这项工作的人员,应对试验机的操作要熟练,实验时要严格遵照规程操作试验机。发现试验机有异常要立即停车,以免安全事故的发生。

#### 2. 实验的进行

在正式实验前,先要检查试验机以及本次实验要使用的仪器是否工作正常。如正常才能进行实验,实验结束后要检查数据是否记录完整。最后将数据交指导教师签字,之后切断电源并清理现场,把使用过的设备和仪器复位后,方可离开实验室。

#### 3. 实验报告的书写

实验报告是实验者最后交出的研究成果,是实验过程的总结,实验报告一般应包括下列内容:

(1)实验名称、实验日期、实验者的姓名。

(2)实验目的和要求。

(3)实验中使用的设备和仪器。

(4)实验数据处理。在实验报告表中填写的测量数据,要注明它的单位和精度。

(5)计算。实验中测得的数据,有效数字位数有可能各不相同,在运算时就需要合理地处理,免得计算或记录过多的次数,浪费时间。例如,截面面积  $A = 23.4\text{mm} \times 52.1\text{mm}$  的计

算结果,不必写成  $A=1219.14\text{mm}^2$ ,写成  $A=1219\text{mm}^2$  即可。

在计算中所用到的公式,均须明确列出,并注明公式中各种符号所代表的意义,以将实验数据准确代入公式进行计算。

(6)实验结果的表示。在实验中除需对测得的数据进行整理并计算实验结果外,一般还要采用表格或曲线图等形式来表示实验结果。

(7)实验结果分析。在报告的最后部分,应当对实验结果进行分析,说明其主要内容是否正确,对误差也应加以分析,并回答指定的思考题。

### 1.3.2 基本要求

通过实验课系统训练,同学们应达到如下基本要求:

- 1.熟练掌握实验报告的书写方法,掌握实验基本原理、实验数据处理及误差分析方法。
- 2.了解实验设备、仪器的基本工作原理,掌握它们的操作方法。在大型设备的操作过程中,培养协作精神,逐步增强实践能力和动手能力。
- 3.掌握低碳钢材料机械性能参数的测试方法,并能采集数据、验证公式。
- 4.掌握工程力学实验中的机测法和电测法两种基本实验方法。能应用工程力学知识解释分析如拉伸、扭转、弯曲、组合变形等实验中所发生的应力和应变变化的规律。
- 5.初步具备对工程力学实验过程的设计能力,即能独立完成实验的全过程,具有一定的动手能力和思维判断能力。
- 6.对冲击、压杆稳定等内容的实验方法有选择地了解。

总之,希望同学们在实验课中,能仔细研究每一个环节,认真做好每一项实验。

**注:**全书涉及多项实验和多种试验机设备及软件,为便于描述,各实验相应介绍统一用“实验”,各试验机及软件相关介绍统一用“试验”。

## 第二章 基础知识

### 2.1 常见游标卡尺的使用

#### 2.1.1 机械游标卡尺的简介

游标卡尺是精密的长度测量仪器,常见的机械游标卡尺如下图 2-1 所示。它的量程为 0~110mm,分度值为 0.1mm,由内测量爪、外测量爪、紧固螺钉、微调装置、主尺、游标尺、深度尺组成。

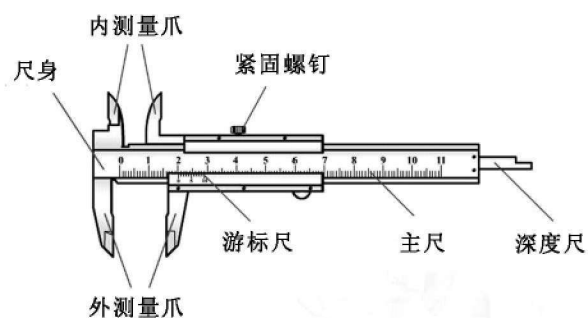
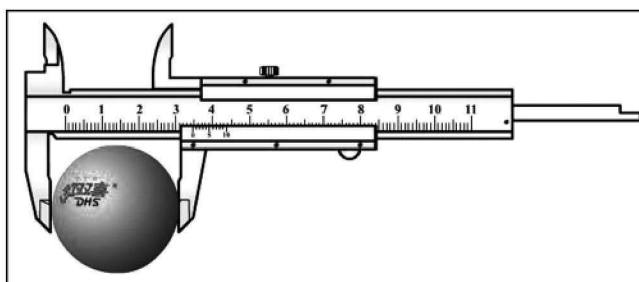
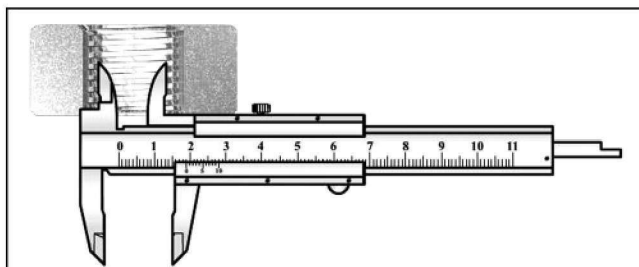


图 2-1 机械游标卡尺

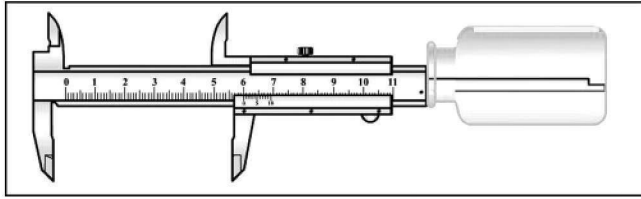
0~200mm 以内规格的游标卡尺具有测量外径、内径、深度三种功能,如图 2-2 所示。



(a) 外径测量



(b) 内径测量



(c)深度测量

图 2-2 游标卡尺的测量方法

### 2.1.2 游标卡尺的零位校准

步骤一：使用前，松开尺框上紧固螺钉，将尺框平稳拉开，用布将测量面、导向面擦干净；

步骤二：检查“零”位：轻推尺框，使卡尺两个量爪测量面合并，观察游标“零”刻线与尺身“零”刻线是否对齐，游标尾刻线与尺身相应刻线是否对齐。如果刻线并不对齐，应送计量室或有关部门调整。

### 2.1.3 游标卡尺的测量方法(外径)

步骤一：将被测物擦干净，使用时轻拿轻放；

步骤二：松开游标卡尺的紧固螺钉，校准零位，向后移动外测量爪，使两个外测量爪之间距离略大于被测物体；

步骤三：一只手拿住游标卡尺的尺架，将待测物置于两个外测量爪之间，另一手向前推动活动外测量尺，至活动外测量尺与被测物接触为止；

步骤四：读数。

注意：(1)测量内孔尺寸时，量爪应在孔的直径方向上测量。

(2)测量深度尺寸时，应使深度尺杆与被测工件底面相垂直。

### 2.1.4 游标卡尺的读数

游标卡尺的读数主要分为以下几步：

1.看清楚游标卡尺的分度。10分度的精度是0.1mm，20分度的精度是0.05mm，50分度的精度是0.02mm。

2.为了避免出错，要用毫米而不是厘米作为单位。

3.看游标卡尺的零刻度线与主尺的哪条刻度线对准，或比它稍微偏右一点，以此读出毫米的整数部分。

4.再看与主尺刻度线重合的那条游标刻度线的数值  $n$ ，则小数部分是  $n \times$  精度，两者相加就是测量值。

5.游标卡尺不需要估读。

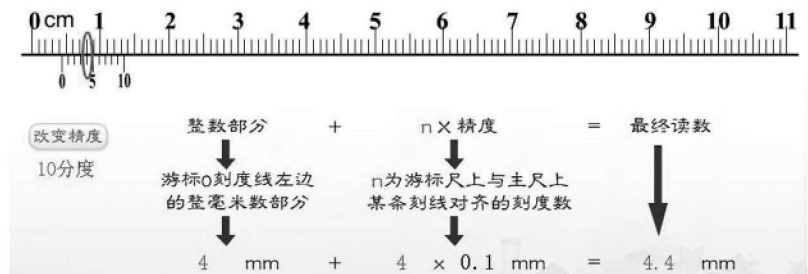


图 2-3 游标卡尺的读数

### 2.1.5 游标卡尺的保养和保管

- 1.轻拿轻放。
- 2.不要把游标卡尺当作卡钳或螺丝扳手及其他工具使用。
- 3.游标卡尺使用完毕必须擦净上油,两个外测量爪间保持一定的距离,拧紧固定螺钉后,放回到卡尺盒内。
- 4.不得放在潮湿或湿度变化大的地方。

## 2.2 千分表的使用

千分表属于长度测量工具,精度可达 0.001mm,目前千分表已经被广泛应用于测量工件的几何形状误差及位置误差等。千分表是通过齿轮或杠杆将一般的直线位移(直线运动)转换成指针的旋转运动,然后在刻度盘上进行读数显示的长度测量仪器。

### 2.2.1 使用方法

- 1.使用前,应检查测量杆活动的灵活性。即轻轻推动测量杆时,测量杆在套筒内的移动要灵活,没有任何轧卡现象,且每次放松后,指针能恢复到原来的刻度位置。
- 2.使用千分表时,必须把它固定在可靠的夹持架,夹持架要安放平稳,以免测量结果不准或摔坏千分表。
- 3.用千分表测量零件的方法,应根据各工程要求而定。



图 2-4 千分表的结构

如图 2-4 所示。其中:

- 1——主指针;2——转数指示盘;3——防尘帽;4——表盘;5——转数指针;6——表圈;  
7——套筒;8——量杆;9——测头。

读数:实际大小(mm)=(精度×长指针刻度)+(精度×大圈的总分度)×小指针转动圈数

$$= (0.001 \times \text{长指针刻度}) + (0.001 \times 200) \times \text{小指针转动圈数}$$

### 2.2.2 使用注意事项

1.使用前,首先擦拭下测量探针、测量杆、套筒和表盘。然后把千分表装夹在牢靠的支架上。夹紧千分表后,测量杆、指针应能平稳、灵活地转动,无任何轧卡现象。

2.千分表只能检测光滑机械表面,不要用于粗糙表面或有显著凹凸的机械面上,否则会损伤测量探针。

3.测量时,测量杆要与被测面垂直,且测量探针内盖紧锁。

4.不允许无故将测量探针来回快速推拉到底或从横向施加作用力。

5.当千分表发生跌落或受到剧烈冲击后,要先检查下千分表精度后再使用。

### 2.2.3 保养检查

1.要轻拿轻放,不要过多地拨动测头使它做无效的运动,以防止机件不必要的磨损。

2.不要使表受到剧烈震动,不得敲打表的任何部位。

3.不允许拆卸表的后盖,防止灰尘或潮气侵入表内。禁止水、油或其他液体侵入表内。

4.主轴滑动面的污垢可以用干布或沾上少许酒精进行擦拭。面板上的污垢也可以用干布或沾上少许中性洗涤剂进行清洗。

5.用完后要把表擦净放回原处,且不得在测量杆上涂凡士林或其他油类,否则会使测量杆和套筒黏结,造成移动不灵活。

6.不使用时,应让测量杆自由放松,使表处于自由状态,避免其内部构件受到外力作用,以保持精度。

7.千分表应放置在干燥、无磁性、无酸气的地方保存,且要实行周期检查。

## 2.3 电测法基本原理

材料力学实验所利用的物理原理多种多样,可使用力、热、声、电和光的物理量的变化关系。比较普遍使用的原理是力量测量原理、电量测量原理、光量测量原理。电测法就是基于电量测量原理,来主要测量线应变(或称正应变)的。

### 2.3.1 电测法的基本原理

#### 1.电测法的基本原理及重要性

电测法的基本原理是用电阻应变片测定构件表面的线应变,再根据应变—应力关系确定构件表面应力状态的一种实验应力分析方法。这种方法是将电阻应变片粘贴到被测构件表面,当构件变形时,电阻应变片的电阻值将发生相应的变化,然后电阻应变仪将此电阻变化转换成电压(或电流)的变化,再换算成应变值或者输出与此应变成正比的电压(或电流)的信号,由记录仪进行记录,就可得到所测定的应变或应力。此处的电阻应变片就是应变传感器。电阻应变片的作用范围由其形状尺寸决定,一般尺寸单位以厘米计。电测法原理如图2-5所示。

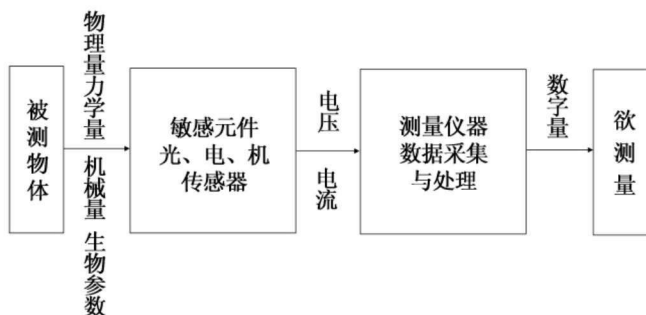


图 2-5 电测法基本原理

应力、应变的电测方法不仅用于验证材料力学的理论,测量材料的机械性能,而且作为一种重要的工程测量手段,为解决工程实际问题及从事科学研究提供了良好的实验基础。因此,掌握这种实验方法,可增强解决实际问题的能力。

## 2. 电测法的特点

电测法的优点如下:

(1) 测量灵敏度和精度高。其最小测量灵敏度为 1 微应变( $10^{-6}$ )。在常温静态测量时,误差一般为 1%~3%;动态测量时,误差在 3%~5% 范围内。

(2) 测量范围广。可测  $\pm(1\sim2)\times 10^4$  微应变,力或重力的测量范围在  $10^{-2}\sim 10^{-5}$  N 内。

(3) 频率响应好。可以测量从静态到  $10^5$  Hz 的动态应变。

(4) 轻便灵活。在现场或野外等恶劣环境下均可进行测试。电阻应变片最小标距仅为 0.2mm。

(5) 能在高、低温或高压环境等特殊条件下进行测量。

(6) 便于与计算机连接并进行数据采集与处理,易于实现数字化、自动化及无线电遥测,可广泛用于生产管理的自动化及控制。

(7) 可制成各种传感器,如力、位移、压力、加速度传感器等。

电测法的缺点如下:

(1) 只能测量构件表面有限点的应变,而不能测量构件内部的应变。

(2) 只能测得电阻应变片栅长范围内的平均应变值,因此对应力集中及应变梯度大的应力场进行测量时会引起较大的误差。

(3) 在尺寸较小的范围测量并且测点较多时,可能有电的随机干扰现象。

此外,电测法一般是在应变仪上读取测量数据,因此,数据的测量误差的形成应在整个电量的传输过程中查找,如应变片的质量、粘贴质量、仪器中元器件的质量、标准标定仪器的质量等都是影响因素。

许多实验可运用电测法,如弹性模量  $E$  的测定、主应力的测定等。

综上,电测法较好地利用了物理中力量、电量的对应变化规律,是人们通过物理现象的转化关系认识自然的一个范例。

### 2.3.2 电阻应变片和应变花

电阻应变片是电测法的硬件设备中的敏感元件,起传感器作用。应变花是指测量中常用的电阻应变片的组合设置形式,因排布形状似花瓣而得名。它们都与被测构件相贴合,作

用都是收集构件应变的信息,将其转化为电阻阻值的变化,通过电导线传入数据采集系统或应变仪主机身。显然,电阻应变片和应变花本质上是间接测量的敏感头。

### 1. 应变片构造及分类

应变片是电子工业产品,可大量或批量生产,如图 2-6 所示。应变片一般由敏感栅、黏结剂、盖层、基底和引线五部分组成。

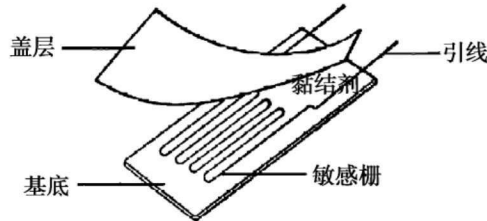


图 2-6 应变片的构造

敏感栅由具有高电阻率的细金属丝或箔(如康铜、镍铬等)加工成栅状,用黏结剂牢固地将敏感栅固定在盖层与基底之间。在敏感栅的两端焊有用铜丝制成的引线,用于与测量导线连接。基底和盖层通常用胶膜制成,它的作用是固定和保护敏感栅,当应变片被粘贴在试样表面之后,由基底将试样的变形传递给敏感栅,并在试样与敏感栅之间起绝缘作用。

应变片的种类很多,常用的常温应变片有金属丝式应变片和金属箔式应变片,其中箔式应变片应用最为广泛,如图 2-7 所示。



图 2-7 箔式应变片

### 2. 电阻应变片工作原理

电阻应变片工作时是与被测点成一体的关系。如果将电阻值为  $R$  的应变片牢固地粘贴在构件表面被测部位,当该部位沿应变片敏感栅的轴线方向产生应变  $\epsilon$  时,则应变片也随之变形,其电阻产生一个变化量  $\Delta R$ 。实验表明,在一定范围内,应变片的电阻变化率  $\Delta R/R$  与应变  $\epsilon$  成正比,即

$$\frac{\Delta R}{R} = K\epsilon \quad (2-1)$$

式中: $K$  为应变片的灵敏系数,与敏感栅的尺寸、形状及电阻变化率等有关,一般由生产厂家标定好,其值在 2.0 左右。

由上式可知,只要得出应变片的电阻变化率  $\Delta R/R$ ,即可确定试样的应变  $\epsilon$ 。感知线应变是电阻应变片的任务。

### 3. 电阻应变花

应变花是一种在一点周围粘贴多方向应变片的布片方式,是由两片或三片单个的应变片按一定角度组合而成的(如图 2-8 所示)。具体做法是,在同一基底上,按特殊角度布置了几个敏感栅,可测量同一点几个方向的应变,它用于测定复杂应力状态下某点的主应力大小和方向。

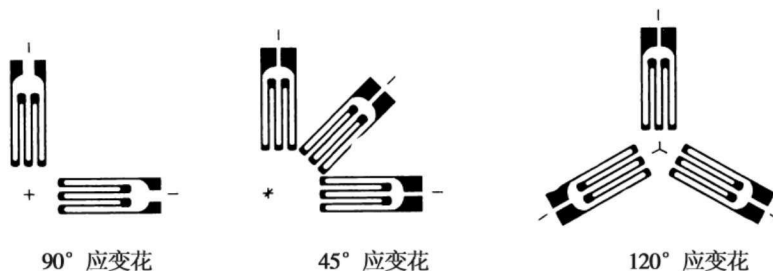


图 2-8 应变花

#### 4. 电阻应变片的选择

应变片种类、规格很多,只有正确选用合适的应变片,才能保证测量精度和可靠性,达到预期的测试目的。选用应变片时,应根据实验环境、应力状态、应变梯度及测量精度等因素确定,一般应遵循以下原则:

(1)应变片标距的选择。在均匀应变场或应变梯度小的构件上测量,应采用标距为 3~10mm 的中标距应变片。中标距应变片比其他标距的应变片性能好,且分散性较小。在应变梯度大或有应力集中的区域,应选用小于 3mm 的小标距应变片,以获得更接近于测点真实应变的测量值。在非均质材料上测量,如在混凝土、岩石等相似材料构件上进行测量,应选用长标距的应变片。对动态应变测量,如应变片在长期交变载荷下工作,应使用疲劳寿命高的应变片,如箔式应变片。测量高频应变时,宜选用标距相对较小的应变片。

应变片在强磁场作用下,敏感栅将产生磁致伸缩,从而产生干扰信号,造成测量误差。因此敏感栅材料应采用磁致伸缩效应小的镍铬合金、铂钨合金或直接选用防磁应变片。

(2)基底的选择。基底的材料决定了应变片的工作温度,测量时应根据构件的温度,选择适合该温度范围内使用的应变片,在明显超出工作温度范围时,应变片的正常工作特性不能被保证。

湿度对应变片的性能影响很大,潮湿环境将使应变片对构件之间的绝缘电阻变小、电容变化和黏结强度降低等,造成零点漂移,灵敏度下降,因而产生误差,严重时甚至使应变片锈蚀损坏。在潮湿环境中,应使用防潮性能好的胶膜基底应变片,并采取适当的防潮措施,如涂敷各种防潮剂等。

(3)敏感栅个数的选择。在单向应力状态下,沿应力方向贴片测量应变时,应采用单轴应变片。而在平面应力状态下测量应变时,应使用应变花,应变花的面积要尽量小,相对地接近于一个点为好,且横向效应系数要小。

(4)测量精度的选择。应变片同一规格分为若干精度等级,应根据应变测量中对精度的要求选择合适的等级。一般认为以胶膜为基底,如铜镍合金或镍铬合金材料为敏感栅的应变片性能较好,它具有精度高、稳定性和防潮性能好等优点。

(5)电阻值的选择。用于应变测量时,应选用名义值为 120Ω 的应变片,因为应变仪是按 120Ω 桥臂电阻的应变中系数  $K=2.08$  设计的。采用其他阻值时,对测量结果要进行修正。

#### 5. 电阻应变片的粘贴和防护

##### (1) 检查、分选应变片

首先对应变片进行外观检查和阻值测量。检查应变片的敏感栅有无锈斑,基底和盖层有无破损,引出线是否牢固等。阻值测量的目的是检查应变片是否断路、短路,并按阻值进

行分选,以保证同一组应变片的阻值相差不超过  $0.1\Omega$ 。

#### (2) 表面清理

首先将试件表面粘贴应变片处的漆层、油污等清除干净。然后用砂布打出光泽,对过于光滑的加工表面,用砂布打出与应变片轴线成  $45^\circ$  的交叉纹路,以增加粘贴力,再用酒精浸过的脱脂棉擦洗,并用画针画出贴片的定位线,最后再用棉球擦洗,直至棉球上不见污迹。

#### (3) 粘贴应变片

粘贴方法视粘贴剂和应变片种类而定。一般先在应变片底面和粘贴表面上各涂一层薄胶,用镊子将应变片放上并调好位置。用手指滚压,挤出多余的胶,并排出气泡,使应变片与构件完全贴合。

#### (4) 粘贴层的固化

对于常用的 501 胶、502 胶,用它们粘贴应变片,常温下数小时后即可固化。

#### (5) 粘贴质量检查

除对应变片的外观进行检查外,还应检查应变片是否粘贴好,位置是否正确,有无短路或断路,绝缘电阻是否符合要求等。

#### (6) 连线的焊接与固定

为与测量仪器相接,应变片的引出线需与连接线焊接。在常温静载测量时,连接线一般采用多股铜导线,如可用  $\Phi 0.12\text{mm} \times 7$  或  $\Phi 0.18\text{mm} \times 12$  的导线。

#### (7) 应变片的保护

应变片的保护主要是采取防潮和防油措施。胶层和基底会吸收水分,这样会影响绝缘程度,降低应变传递效率。机油浸入应变片,不影响绝缘,但会改变基底和胶层的物理性能,并降低黏结力,对此常采用硅橡胶密封胶防护。即用硅橡胶直接涂在经一般清理处理的应变片周围,在室温下经 12~24 小时即可黏结固化,硅橡胶是一种很好的防潮剂。

### 2.3.3 温度补偿

粘贴在被测构件测点上的应变片,如果周围环境变化时,应变片栅丝的电阻应变值也将随着温度改变而变化;同时,又因为栅丝材料和被测构件材料的膨胀系数不同,应变片被迫拉长或缩短,使栅丝电阻值也发生变化,这种由于温度改变引起的虚假应变,并不是由于载荷作用而引起的,如果只想测定构件在承受载荷作用下的变形,就应该设法消除它,消除的办法就是采取温度补偿。

在常温应变测量中温度补偿的方法是采用桥路补偿法。这种方法简单、经济,补偿效果好。这种方法是利用电桥特性来进行温度补偿的,桥路补偿法可以分为以下两种:

#### 1. 补偿块补偿法

其材料应与被测构件相同,但不受外力,并将它置于构件被测点附近,使补偿片与工作片处于同一温度场中。

#### 2. 工作片补偿法

这种方法不需要补偿块和补偿片,而是在同一被测试件上粘贴几个工作应变片,将它们接入电桥中。当试件受力且测点环境温度变化时,每个应变片的应变中都包含外力和温度变化引起的应变,根据电桥基本特性,在应变仪的读数应变中即可消除温度变化所引起的虚假应变,而得到所需测量的应变。因此工作应变片既参加工作,又起到了温度补偿的作用。