



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

# 能源与动力工程 专业课程实验指导书

金秀慧 孙如军 主编



冶金工业出版社  
www.cnmip.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

# 能源与动力工程 专业课程实验指导书

主 编 金秀慧 孙如军  
副主编 门立山 胡晓花 卫江红 王锐



北京  
冶金工业出版社

2017

## 内 容 简 介

本书内容涵盖了能源与动力工程专业所有课程的实验,涉及学科基础平台课程和专业基础平台课程。主要内容有材料力学实验、电工技术实验、电子技术实验、机械工程材料实验、互换性与测量技术实验、机械工程测试技术基础实验、机械设计基础实验、工程流体力学实验、工程热力学实验、传热学实验。

本书可作为高等院校能源与动力工程专业的实验教学用书,也可供相关工程技术人员和研究人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

能源与动力工程专业课程实验指导书/金秀慧,孙如军  
主编.—北京:冶金工业出版社,2017.9

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7599-4

I. ①能… II. ①金… ②孙… III. ①能源—实验—  
高等学校—教材 ②动力工程—实验—高等学校—教材  
IV. ①TK-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第233097号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 [www.cnmp.com.cn](http://www.cnmp.com.cn) 电子信箱 [yjcbbs@cnmp.com.cn](mailto:yjcbbs@cnmp.com.cn)

责任编辑 贾怡雯 美术编辑 吕欣童 版式设计 禹蕊

责任校对 郭惠兰 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7599-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷  
2017年9月第1版,2017年9月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;9.5印张;225千字;142页

28.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 [tougao@cnmp.com.cn](mailto:tougao@cnmp.com.cn)

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 [yjgycbs.tmall.com](http://yjgycbs.tmall.com)

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

# 前 言

目前,能源与动力工程专业在教学中使用的实验指导资料多是单门课程的讲义形式。为了规范各门课程的实验讲义,并且方便学生和老师使用,我们编写了这本涉及本专业全部课程的实验指导书。

本书涵盖了能源与动力工程专业所有课程的实验,参照国内有关实验教学和研究成果,按照“基础层次—提高层次—综合性设计性实验”三个层次进行编写。各门课程都按照大纲要求,设置了适量的基础实验;同时,在原有验证性实验的基础上,增加了相应的创新性实验和综合性实验,以求全面提高学生的动手能力和实验教学的水平。

本书由德州学院机电工程学院金秀慧教授和孙如军教授担任主编;由德州学院机电工程学院门立山、胡晓花、卫江红和王锐老师担任副主编;参编的有德州学院机电工程学院教师王文斌、王会、赵岩、侯晓霞、陈超、张连山等。

由于编者水平所限,书中不足之处,恳请广大读者给予批评指正。

编 者

2017年7月

# 目 录

<b>1 材料力学</b> .....	1
1.1 低碳钢的拉伸实验 .....	1
1.2 测定材料弹性模量 $E$ .....	3
1.3 低碳钢和铸铁的扭转实验 .....	4
1.4 矩形截面梁纯弯曲正应力的电测实验 .....	6
1.5 测定材料切变模量 $G$ .....	9
<b>2 机械工程材料</b> .....	12
2.1 金相试样的制备 .....	12
2.2 金相显微镜的使用及组织观察 .....	13
2.3 淬火热处理对钢组织的影响 .....	15
2.4 淬火热处理对钢强度的影响 .....	16
2.5 布氏硬度计的使用及硬度测试 .....	17
<b>3 互换性与测量技术</b> .....	20
3.1 外径千分尺测量轴径 .....	20
3.2 内径百分表测量孔径 .....	21
3.3 形位误差测量 .....	23
3.4 螺纹参数测量 .....	24
3.5 齿厚测量 .....	25
3.6 齿轮公法线平均长度偏差及公法线长度变动测量 .....	26
<b>4 机械工程测试技术基础</b> .....	29
4.1 应变片单臂电桥性能实验 .....	29
4.2 应变片半桥性能实验 .....	34
4.3 应变片全桥性能实验 .....	36
4.4 应变片单臂、半桥、全桥性能比较 .....	37
4.5 应变片直流全桥的应用——电子秤实验 .....	38
4.6 应变片交流全桥的应用（应变仪）——振动测量实验 .....	39
4.7 压阻式压力传感器测量压力特性实验 .....	42
4.8 差动变压器的性能实验 .....	44
4.9 差动变压器测位移实验 .....	48

4.10	电容式传感器的位移实验 .....	51
4.11	线性霍尔传感器位移特性实验 .....	54
4.12	线性霍尔传感器交流激励时的位移性能实验 .....	56
4.13	开关式霍尔传感器测转速实验 .....	58
4.14	磁电式传感器测转速实验 .....	60
4.15	压电式传感器测振动实验 .....	61
4.16	电涡流传感器位移实验 .....	65
4.17	光电传感器测转速实验 .....	69
4.18	Pt100 铂电阻测温特性实验 .....	70
<b>5</b>	<b>机械设计基础</b> .....	<b>75</b>
5.1	常用机构和典型机械零件认识实验 .....	75
5.2	平面机构运动简图的绘制与分析 .....	75
5.3	渐开线齿轮齿廓范成加工原理 .....	76
5.4	渐开线直齿圆柱齿轮参数的测定 .....	78
5.5	带传动实验 .....	79
5.6	减速器拆装实验 .....	81
5.7	机构运动方案创新设计实验 .....	81
<b>6</b>	<b>工程流体力学</b> .....	<b>87</b>
6.1	局部阻力系数测定 .....	87
6.2	孔口、管嘴各项系数的测定 .....	90
6.3	雷诺实验 .....	92
6.4	伯努利方程验证 .....	95
6.5	沿程阻力系数的测定 .....	96
6.6	文丘里流量计流量系数的测定 .....	98
6.7	毕托管测流速系数 .....	99
<b>7</b>	<b>工程热力学</b> .....	<b>100</b>
7.1	二氧化碳临界状态观测及 $p$ - $V$ - $t$ 关系测定 .....	100
7.2	气体定压比热测定 .....	103
7.3	可视性饱和蒸汽 $p$ - $t$ 的关系 .....	107
7.4	空气绝热指数的测定 .....	109
7.5	喷管中气体流动特性的测定 .....	111
7.6	活塞式压气机性能实验 .....	116
7.7	充放气热力过程综合实验 .....	119
7.8	低品位能量有效利用实验 .....	119
7.9	制冷热泵循环演示实验 .....	119

8 传热学 .....	122
8.1 热管换热器实验台 .....	122
8.2 中温法向辐射时物体黑度的测定 .....	124
8.3 自由对流横管管外放热系数测试 .....	127
8.4 换热器传热系数综合测定实验 .....	129
8.5 顺逆流传热温差试验 .....	133
8.6 非稳态（准稳态）法测材料的导热性能实验 .....	135
8.7 强迫对流单管管外放热系数测试 .....	139
参考文献 .....	142

## 1.1 低碳钢的拉伸实验

### 1.1.1 实验名称

低碳钢的拉伸实验

### 1.1.2 实验目的

- (1) 测定低碳钢的屈服极限  $\sigma_s$ 、强度极限  $\sigma_b$ 、伸长率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$ 。
- (2) 观察低碳钢拉伸过程中的弹性变形、屈服、强化和缩颈等物理现象。
- (3) 熟悉材料试验机和游标卡尺的使用。

### 1.1.3 实验设备

手动数显材料试验机、MaxTC220 试验机测试仪、游标卡尺。

### 1.1.4 试样制备

低碳钢试样如图 1.1.1 所示，直径  $d=10\text{mm}$ ，测量并记录试样的原始标距  $L_0$ 。

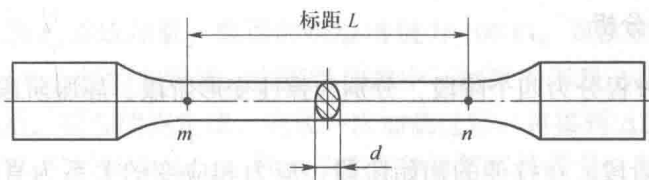


图 1.1.1 低碳钢试样

### 1.1.5 实验原理

- (1) 材料达到屈服时，应力基本不变而应变增加，材料暂时失去了抵抗变形的能力，此时的应力即为屈服极限  $\sigma_s$ 。
- (2) 材料在拉断前所能承受的最大应力，即为强度极限  $\sigma_b$ 。
- (3) 试样的原始标距为  $L_0$ ，拉断后将两段试样紧密对接在一起。量出拉断后的长度  $L_1$ ，伸长率为拉断后标距的伸长量与原始标距的百分比，即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$



(4) 拉断后, 断面处横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比为断面收缩率, 即

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中  $A_0$ ——试样原始横截面积;

$A_1$ ——试样拉断后断口处最小横截面积。

### 1.1.6 实验步骤

(1) 调零: 打开示力仪开关, 待示力仪自检停后, 按清零按钮, 使显示屏上的按钮显示为零。

(2) 加载: 用手握住手柄, 顺时针转动施力使动轴通过传动装置带动千斤顶的丝杠上升, 使试样受力, 直至断裂。

(3) 示力: 在试样受力的同时, 装在螺旋千斤顶和顶梁之间的压力传感器受压产生压力信号, 通过回蕊电缆传给电子示力仪, 电子示力仪的显示屏上即用数字显示出力值。

(4) 关机: 实验完毕, 卸下试样, 操作定载升降装置使移动挂梁降到最低时关闭示力仪开关, 断开电源。

### 1.1.7 数据处理

(1) 将相关数据记录在表 1.1.1 中。

表 1.1.1 低碳钢拉伸实验数据记录

参 数	原始直径 $d_0$	断口直径 $d_1$	原始标距 $L_0$	拉断后标距 $L_1$
长度/mm				

(2) 根据 1.1.5 节给出的公式计算伸长率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$ 。

(3) 在应力应变图中标出屈服极限  $\sigma_s$  和强度极限  $\sigma_b$ 。

### 1.1.8 应力应变图分析

低碳钢的拉伸过程分为四个阶段, 分别为弹性变形阶段、屈服阶段、强化阶段和缩颈阶段。

(1) 弹性变形阶段。在拉伸的初始阶段, 应力和应变的关系为直线, 此阶段符合胡克定律, 即应力和应变成正比。

(2) 屈服阶段。超过弹性极限后, 应力增加到某一数值时, 应力应变曲线上出现接近水平线的小锯齿形线段, 此时, 应力基本保持不变, 而应变显著增加, 材料失去了抵抗变形的能力, 锯齿线段对应的应力为屈服极限。

(3) 强化阶段。经屈服阶段后, 材料又恢复了抵抗变形的能力, 要使它继续变形, 必须增加拉力, 强化阶段中最高点对应的应力为材料所能承受的最大应力, 即强度极限。

(4) 缩颈阶段。当应力增大到最大值之后, 试样某一局部出现显著收缩, 产生缩颈, 此后使试样继续伸长所需要的拉力减小, 最终试样在缩颈处断裂。

### 1.1.9 实验作业

(1) 说明测定屈服极限  $\sigma_s$ 、强度极限  $\sigma_b$ 、伸长率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$  的实验原理及拉

伸实验的实验步骤。

- (2) 根据实验过程中记录的数据, 计算材料的伸长率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$ 。
- (3) 在应力应变图中标出屈服极限  $\sigma_s$  和强度极限  $\sigma_b$ 。
- (4) 对应力应变图进行分析。

## 1.2 测定材料弹性模量 $E$

### 1.2.1 实验名称

测定材料的弹性模量

### 1.2.2 实验目的

- (1) 掌握测定 Q235 钢弹性模量  $E$  的实验方法。
- (2) 熟悉 CEG-4K 型测  $E$  试验台及其配套设备的使用方法。

### 1.2.3 实验设备及仪器

CEG-4K 型测  $E$  试验台、球铰式引伸仪。

### 1.2.4 主要技术指标

- (1) 试样: Q235 钢, 如图 1.1.1 所示, 直径  $d=10\text{mm}$ , 标距  $L=100\text{mm}$ 。
- (2) 载荷增重  $\Delta F=1000\text{N}$  (砝码四级加载, 每个砝码重 25N, 初载砝码一个, 重 16N, 采用 1:40 杠杆比放大)。

### 1.2.5 实验原理

实验时, 从  $F_0$  到  $F_4$  逐级加载, 载荷的每级增量为 1000N。每次加载时, 记录相应的长度变化量, 即为  $\Delta F$  引起的变形量。在逐级加载中, 如果变形量  $\Delta L$  基本相等, 则表明  $\Delta F$  与  $\Delta L$  为线性关系, 符合胡克定律。完成一次加载过程, 将得到  $\Delta L$  的一组数据, 实验结束后, 求  $\Delta L_1$  到  $\Delta L_4$  的平均值  $\Delta L_{\text{平}}$ , 代入胡克定律计算弹性模量。即

$$\Delta L_{\text{平}} \times 0.001 = \frac{\Delta FL}{EA}$$

备注: 引伸仪每格代表 0.001mm。

### 1.2.6 实验步骤及注意事项

- (1) 调节吊杆螺母, 使杠杆尾部上翘一些, 使之与满载时关于水平位置大致对称。
- (2) 把引伸仪装夹到试样上, 必须使引伸仪不打滑。

注意: 对于容易打滑的引伸仪, 要在试样被夹处用粗纱布沿圆周方向打磨一下。引伸仪为精密仪器, 装夹时要特别小心, 以免使其受损。采用球铰式引伸仪时, 引伸仪的架体平面与试验台的架体平面需成  $45^\circ$  左右的角度。

- (3) 挂上砝码托。

- (4) 加上初载砝码,记下引伸仪的初读数。
  - (5) 分四次加等重砝码,每加一次记录一次引伸仪的读数。
- 注意:加砝码时要缓慢放手,以使之成为静载,防止砝码失落而砸伤人、物。
- (6) 实验完毕,先卸下砝码,再卸下引伸仪。

### 1.2.7 数据记录及计算

- (1) 将原始数据记录在表 1.2.1 中。

表 1.2.1 测定材料弹性模量  $E$  实验数据记录 (mm)

分级加载	初载 $L_0$	一次加载 $L_1$	二次加载 $L_2$	三次加载 $L_3$	四次加载 $L_4$
引伸仪读数					

- (2) 计算。

- 1) 计算各级形变量,将结果记录在表 1.2.2 中。

表 1.2.2 各级形变量计算结果 (mm)

分级加载	一次加载 $\Delta L_1$	二次加载 $\Delta L_2$	三次加载 $\Delta L_3$	四次加载 $\Delta L_4$	平均值 $\Delta L_{\text{平}}$
形变量					

- 2) 计算材料面积  $A$ 。

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

- 3) 计算弹性模量  $E$  (弹性模量单位为 MPa)。

$$\Delta L_{\text{平}} \times 0.001 = \frac{\Delta FL}{EA}$$

### 1.2.8 实验作业

- (1) 说明测定弹性模量  $E$  的实验原理、步骤及注意事项。
- (2) 根据实验过程中记录的原始数据,计算材料的弹性模量  $E$ 。

## 1.3 低碳钢和铸铁的扭转实验

### 1.3.1 实验名称

#### 低碳钢和铸铁的扭转实验

### 1.3.2 实验目的

- (1) 测定低碳钢的剪切屈服极限  $\tau_s$  及剪切强度极限  $\tau_b$ 。
- (2) 测定铸铁的剪切强度极限  $\tau_b$ 。
- (3) 观察比较两种材料扭转变形过程中的各种现象及其破坏形式,并对试件断口进行分析。

### 1.3.3 实验设备及仪器

扭转试验机、游标卡尺。

### 1.3.4 试样制备

低碳钢和铸铁试样如图 1.1.1 所示, 直径  $d=10\text{mm}$ , 分别测量并记录试样的原始标距  $L_0$ 。

### 1.3.5 实验原理

扭转实验是将材料制成一定形状和尺寸的标准试样, 置于扭转试验机上进行的, 利用扭转试验机上面的自动绘图装置可绘出扭转曲线, 并能测出金属材料抵抗扭转时的屈服扭矩  $T_s$  和最大扭矩  $T_b$ 。通过计算可求出屈服极限  $\tau_s$  及剪切强度极限  $\tau_b$ 。

$$\tau_s = \frac{T_s}{W_t} \quad \tau_b = \frac{T_b}{W_t}$$

式中,  $W_t = \frac{\pi d^3}{16}$ , 单位为  $\text{mm}^3$ ;  $\tau_s$  和  $\tau_b$  的单位为 MPa。

### 1.3.6 实验步骤

- (1) 测量试件标距。
- (2) 选择试验机的加载范围, 弄清所用测力刻度盘。
- (3) 安装试样, 调整测力指针。
- (4) 实验测试。开机缓慢加载, 注意观察试件、测力指针和记录图, 记录主要数据, 在低碳钢扭转时, 有屈服现象, 记录测力盘指针摆动后的最小扭矩为屈服扭矩  $T_s$ , 直至实验结束记录最大扭矩  $T_b$ 。
- (5) 铸铁在扭转时无屈服现象, 直至实验结束记录最大扭矩  $T_b$ 。
- (6) 关机取下试件, 将机器恢复原位。

### 1.3.7 数据记录及处理

- (1) 将原始数据记录在表 1.3.1 中。

表 1.3.1 低碳钢和铸铁扭转实验数据记录

材料	直径 $d_0/\text{mm}$	标距 $L_0/\text{mm}$	屈服扭矩 $T_s/\text{N}\cdot\text{m}$	最大扭矩 $T_b/\text{N}\cdot\text{m}$
低碳钢	10			
铸铁	10		—	

- (2) 根据 1.3.5 节中给出的公式计算抗扭截面系数  $W_t$ , 计算低碳钢的屈服极限  $\tau_s$  和剪切强度极限  $\tau_{b\text{低}}$  以及铸铁剪切强度极限  $\tau_{b\text{铸}}$ 。

### 1.3.8 绘制断口示意图并分析破坏原因

低碳钢和铸铁的断口示意图如图 1.3.1 所示。

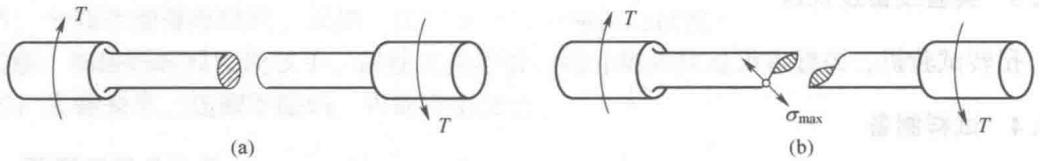


图 1.3.1 断口示意图

(a) 低碳钢断口示意图；(b) 铸铁断口示意图

破坏原因分析：

低碳钢材料的抗剪能力低于抗拉（压）能力，低碳钢扭转时沿最大切应力的作用面发生断裂，为切应力作用而剪断，因此，其破坏断面与曲线垂直，如图 1.3.1 (a) 所示；铸铁材料的抗拉强度较低，铸铁扭转时沿最大拉应力的作用面发生断裂，由应力状态可知，纯剪切最大拉应力作用的主平面与  $x$  轴夹角为  $45^\circ$ ，因此，铸铁圆形试件破坏断面与轴线成  $45^\circ$  螺旋面，如图 1.3.1 (b) 所示。

### 1.3.9 实验作业

- (1) 说明测定低碳钢剪切屈服极限  $\tau_s$ 、剪切强度极限  $\tau_{b低}$  及铸铁剪切强度极限  $\tau_{b铸}$  的实验原理及步骤。
- (2) 根据实验过程中记录的原始数据，计算低碳钢的剪切屈服极限  $\tau_s$ 、剪切强度极限  $\tau_{b低}$  及铸铁的剪切强度极限  $\tau_{b铁}$ 。
- (3) 绘制低碳钢和铸铁的断口示意图，并分析其破坏原因。

## 1.4 矩形截面梁纯弯曲正应力的电测实验

### 1.4.1 实验名称

矩形截面梁纯弯曲正应力的电测实验

### 1.4.2 实验目的

- (1) 学习使用电阻应变仪，初步掌握电测方法。
- (2) 测定矩形截面梁纯弯曲时的正应力分布规律，并与理论公式计算结果进行比较，验证弯曲正应力计算公式的正确性。

### 1.4.3 实验设备

WSG-80 型纯弯曲正应力试验台、静态电阻应变仪。

### 1.4.4 主要技术指标

#### 1.4.4.1 矩形截面梁试样

矩形截面梁试样受力情况如图 1.4.1 所示。

材料: 20 号钢,  $E=208 \times 10^9 \text{Pa}$ ;

跨度:  $L=600\text{mm}$ ,  $a=200\text{mm}$ ,  $L_1=200\text{mm}$ ;

横截面尺寸: 高度  $h=28\text{mm}$ , 宽度  $b=10\text{mm}$ 。

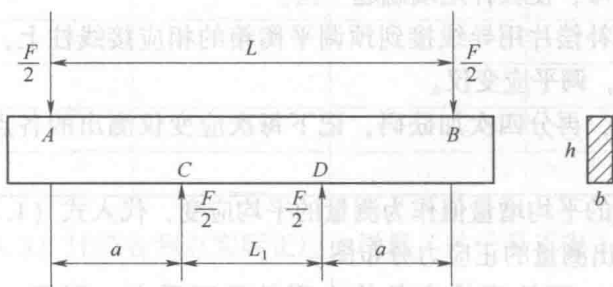


图 1.4.1 试样受力情况

#### 1.4.4.2 载荷增量

载荷增量  $\Delta F=200\text{N}$  (砝码四级加载, 每个砝码重  $10\text{N}$ , 采用  $1:20$  杠杆比放大), 砝码托作为初载荷,  $F_0=26\text{N}$ 。

#### 1.4.4.3 精度

满足教学实验要求, 误差一般在  $5\%$  左右。

#### 1.4.5 实验原理

如图 1.4.1 所示,  $CD$  段为纯弯曲段, 其弯矩为  $M=\frac{1}{2}Fa$ , 则  $M_0=2.6\text{N}\cdot\text{m}$ ,  $\Delta M=20\text{N}\cdot\text{m}$ 。根据弯曲理论, 梁横截面上各点的正应力增量为:

$$\Delta\sigma_{\text{理}} = \frac{\Delta My}{I_z} \quad (1.4.1)$$

式中,  $y$  为点到中性轴的距离;  $I_z$  为横截面对中性轴  $z$  的惯性矩。对于矩形截面

$$I_z = \frac{bh^3}{12} \quad (1.4.2)$$

由于  $CD$  段是纯弯曲的, 纵向各纤维间不挤压, 只产生伸长或缩短, 所以各点均为单向应力状态。只要测出各点沿纵向的应变增量  $\Delta\varepsilon$ , 即可按胡克定律计算出实际的正应力增量  $\Delta\sigma_{\text{实}}$ 。

$$\Delta\sigma_{\text{实}} = E\Delta\varepsilon \quad (1.4.3)$$

在  $CD$  段任取一截面, 沿不同高度贴五片应变片。1 片、5 片距中性轴  $z$  的距离为  $h/2$ , 2 片、4 片距中性轴  $z$  的距离为  $h/4$ , 3 片就贴在中性轴的位置上。

测出各点的应变后, 即可按式 (1.4.3) 计算出实际的正应力增量  $\Delta\sigma_{\text{实}}$ , 并画出正应力  $\Delta\sigma_{\text{实}}$  沿截面高度的分布规律图, 从而可与式 (1.4.1) 计算出的正应力理论值  $\Delta\sigma_{\text{理}}$  进行比较。

#### 1.4.6 实验步骤及注意事项

(1) 开电源, 使应变仪预热。

(2) 在  $CD$  段的大致中间截面处贴五片应变片与轴线平行, 各片相距  $h/4$ , 作为工作片; 另在一块与试样相同的材料上贴一片补偿片, 放到试样被测截面附近。应变片要采用窄而长的较好, 贴片时可把试样取下, 贴好片, 焊好固定导线, 再小心装上。

(3) 调动蝶形螺母, 使杠杆尾端翘起一些。

(4) 把工作片和补偿片用导线接到预调平衡箱的相应接线柱上, 将预调平衡箱与应变仪连接, 接通电源, 调平应变仪。

(5) 先挂砝码托, 再分四次加砝码, 记下每次应变仪测出的各点读数。注意加砝码时要缓慢放手。

(6) 取四次测量的平均增量值作为测量的平均应变, 代入式 (1.4.3) 计算可得各点的弯曲正应力, 并画出测量的正应力分布图。

(7) 加载过程中, 要注意检查各传力零件是否受卡、别等, 受卡、别等应卸载调整。

(8) 实验完毕将载荷卸为零, 工具复原, 经指导老师检查方可关闭应变仪电源。

#### 1.4.7 数据处理

(1) 计算弯曲梁截面各点处的理论正应力增量。

1) 将测点的位置记录在表 1.4.1 中。

表 1.4.1 测点位置

测点编号	1	2	3	4	5
测点至中性轴的距离 $y/\text{mm}$					

2) 根据式 (1.4.2) 计算矩形横截面对中性轴  $z$  的惯性矩  $I_z$ 。

3) 根据式 (1.4.1) 直接计算各点的理论正应力增量, 并记录于表 1.4.2 中。

表 1.4.2 理论正应力增量

测点编号	1	2	3	4	5
理论正应力增量 $\Delta\sigma_{\text{理}}/\text{MPa}$					

(2) 计算弯曲梁截面各点处的实际正应力增量。

1) 将各测点原始数据记录于表 1.4.3 中。

表 1.4.3 各测点原始数据

测点	初载 $\varepsilon_0$	一次加载 $\varepsilon_1$	二次加载 $\varepsilon_2$	三次加载 $\varepsilon_3$	四次加载 $\varepsilon_4$
测点 1 应变仪读数					
测点 2 应变仪读数					
测点 3 应变仪读数					
测点 4 应变仪读数					
测点 5 应变仪读数					

2) 计算各测点应变增量, 并记录于表 1.4.4 中。

表 1.4.4 各测点应变增量及平均值

测点	一次加载 $\Delta\varepsilon_1$	二次加载 $\Delta\varepsilon_2$	三次加载 $\Delta\varepsilon_3$	四次加载 $\Delta\varepsilon_4$	平均值 $\Delta\varepsilon_{\text{平}}$
测点 1 应变增量					
测点 2 应变增量					
测点 3 应变增量					
测点 4 应变增量					
测点 5 应变增量					

3) 根据式 (1.4.3) 计算各测点实际正应力增量, 并记录于表 1.4.5 中。

表 1.4.5 各测点实际正应力增量

测点编号	1	2	3	4	5
实际正应力增量 $\Delta\sigma_{\text{实}}/\text{MPa}$					

(3) 计算各测点理论与实际正应力的误差  $e$ , 并记录于表 1.4.6 中。

$$e = \left| \frac{\Delta\sigma_{\text{理}} - \Delta\sigma_{\text{实}}}{\Delta\sigma_{\text{理}}} \right| \times 100\%$$

表 1.4.6 各测点理论正应力与实际正应力误差

测点编号	1	2	3	4	5
误差 $e$					

### 1.4.8 实验作业

- (1) 说明矩形梁纯弯曲正应力电测实验的原理、实验步骤及注意事项等。
- (2) 分别计算各测点的理论和实际弯曲正应力增量, 验证弯曲正应力公式的正确性。
- (3) 绘制弯曲正应力沿截面高度的分布规律图。

## 1.5 测定材料切变模量 $G$

### 1.5.1 实验名称

测定材料切变模量  $G$ 。

### 1.5.2 实验目的

- (1) 掌握测定 Q235 钢切变模量  $G$  的实验方法。
- (2) 熟悉 NY-4 型扭转测  $G$  仪的使用方法。

### 1.5.3 实验设备及仪器

NY-4 型扭转测  $G$  仪、百分表、游标卡尺。



### 1.5.4 主要技术指标

- (1) 试样: 直径  $d=10\text{mm}$ , 标距  $L_0=60\sim 100\text{mm}$  (可调), 材料 Q235 钢。
- (2) 力臂: 长度  $a=200\text{mm}$ , 产生最大扭矩  $T=4\text{N}\cdot\text{m}$ 。
- (3) 百分表: 触点离试样轴线距离  $b=100\text{mm}$ , 放大倍数  $K=100$  格/mm, 用百分表测定扭转的位移。
- (4) 砝码: 4 块, 每块重 5N, 砝码托作初载荷,  $T_0=0.26\text{N}\cdot\text{m}$ , 扭矩增量  $\Delta T=1\text{N}\cdot\text{m}$ 。
- (5) 精度: 误差不超过 5%。

### 1.5.5 实验原理

实验时, 从  $F_0$  到  $F_4$  逐级加载, 扭矩的每级增量为  $1\text{N}\cdot\text{m}$ 。每次加载时, 相应的扭转角变化量即为  $\Delta T$  引起的变形量。在逐级加载中, 如果变形量  $\Delta\varphi$  基本相等, 则表明  $\Delta\varphi$  与  $\Delta T$  为线性关系, 符合剪切胡克定律。完成一次加载过程, 可计算得到  $\Delta\varphi$  的一组数据, 实验结束后, 求  $\Delta\varphi_1$  到  $\Delta\varphi_4$  的平均值  $\Delta\varphi_{\text{平}}$ , 代入剪切胡克定律计算弹性模量。即

$$\Delta\varphi_{\text{平}} = \frac{\Delta TL}{GI_p}$$

式中,  $I_p$  为横截面对圆心极惯性矩。

### 1.5.6 实验步骤及注意事项

- (1) 桌面目视基本水平, 把仪器放在桌上 (先不加砝码托及砝码)。
- (2) 调整两悬臂杆的位置, 大致达到选定标距, 固定左旋臂杆, 再固定右旋臂杆, 调整右横杆, 使百分表触头距试样轴线距离  $b=100\text{mm}$ , 并使表针预先转过 10 格以上 ( $b$  值也可不调, 按实际测值计算)。
- (3) 用游标卡尺准确测量标距, 在实际计算时用。
- (4) 挂上砝码托, 记下百分表的初读数。
- (5) 分四次加砝码, 每加一次记录一次表的读数, 加砝码时要缓慢放手。
- (6) 实验完毕, 卸下砝码。

### 1.5.7 数据记录及计算

- (1) 原始数据记录。测量试样标距  $L_0$ ; 读百分表读数, 并记录于表 1.5.1 中。

试样标距为  $L_0 = \underline{\hspace{2cm}} \text{mm}$ 。

表 1.5.1 分级加载百分表读数

分级加载	初载 $S_0$	一次加载 $S_1$	二次加载 $S_2$	三次加载 $S_3$	四次加载 $S_4$
百分表读数					

- (2) 计算。

- 1) 计算扭转位移, 并记录于表 1.5.2 中。