

贵州省采矿工程一流专业建设(培育)项目(黔教办高[2017]86号)

贵州省第二批国家级采矿工程专业综合改革试点项目(黔教高发[2013]446号)

贵州省一流专业建设项目(黔教高发[2012]426号)

采矿工程专业 实验指导书

魏中举 谢小平 艾德春 杨军伟 编著

Caikuang Gongcheng Zhuanye
Shiyan Zhidaoshu

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

贵州省采矿工程专业建设(培育)项目(黔教办高[2017]86号)

贵州省第二批国家级采矿工程专业综合改革试点项目(黔教高发[2013]446号)

贵州省采矿工程专业省级特色专业项目(黔教高发[2012]426号)

采矿工程专业实验指导书

编 著 魏中举 谢小平 艾德春 杨军伟

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书是在采矿工程专业实验教学大纲的基础上,参考全国各煤炭高校的实验指导经验编写而成。内容主要包括采矿工程专业课内实验、独立实验、开放实验等。课内实验涵盖了煤矿开采学、矿山压力与岩层控制、井巷工程、矿井通风与安全等主干专业课程的实验部分;独立实验为岩石力学实验,涵盖了六个实验内容;开放实验涵盖了地质、机械等实验内容。

本书可供采矿工程专业本科生作为教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

采矿工程专业实验指导书/魏中举等编著. —徐州:

中国矿业大学出版社, 2018. 3

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3925 - 9

I. ①采… II. ①魏… III. ①矿山开采—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TD82-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 053058 号

书 名 采矿工程专业实验指导书

编 著 魏中举 谢小平 艾德春 杨军伟

责任编辑 王美柱

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 10.5 字数 262 千字

版次/印次 2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 次印刷

定 价 25.80 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

实验教学能有效地培养学生的动手操作能力、观察能力、创造性思维能力、科学研究能力、数据处理能力等,而实验教学指导书在实验教学中具有无可替代的作用。本书的编写主要是为了充分发挥实验教学在激发学生的创新精神、培养学生的实践动手能力等方面的重要作用,形成较为完整的采矿工程专业实验教学体系。

本书分为三篇:采矿工程专业课内实验、独立实验、开放实验,共十五章内容。本书的编写结合了采矿工程专业的培养要求,涵盖了采矿工程主要专业课程的实验内容,另外增加了部分选做实验和开放实验。通过这些实验,使学生能较好地巩固课堂所学的专业理论知识,熟练使用专业仪器设备,同时培养学生严谨的科学实验态度。在本书编写过程中,编者力求从实验教学出发,配合理论课程,阐明实验基本原理与实验步骤,并辅以思考题。本书可供采矿工程专业本科生作为教材使用,也可供安全工程等相关专业学生学习参考。

本书是在六盘水师范学院矿业与土木工程学院采矿工程专业自编实验指导书(内部讲义)的基础上完成的,其中,第一、二、六章由江伟、张彩红编写;第三、十五章由刘永志编写;第四章由刘鸿、张太乐编写;第五章由余芳芳编写;第七章由陈才贤、梁华杰、魏中举编写;第八章由杨付领、岳虎编写;第九章由杨军伟、李健编写;第十章由魏中举编写;第十一章由艾德春、刘建刚编写;第十二章由谢小平、刘洪洋编写;第十三章由魏中举编写;第十四章由刘小亮编写。本书在编写过程中,得到了六盘水师范学院矿业与土木工程学院的领导和老师的大力支持,在此,笔者表示衷心的感谢!

本书在编写过程中参阅了许多煤炭类高校的实验大纲和指导书,未能完全标出,在此借本书出版的机会,向各有关单位和作者致以诚挚的感谢和歉意!

由于时间仓促及编者水平所限,书中难免存在疏漏和欠妥之处,恳请广大读者予以批评指正!

编 者

2018年1月

目 录

第一篇 采矿工程专业课内实验

第一章 “工程力学”实验	3
实验一 金属材料拉伸与压缩实验	3
实验二 金属材料扭转实验	8
实验三 梁弯曲正应力实验	11
实验四 弯扭组合作用下电测实验	15
第二章 “流体力学”实验	19
实验一 能量方程实验	19
实验二 雷诺实验	23
第三章 “机械设计基础”实验——机械传动综合实验	27
第四章 “煤矿地质学”实验	29
实验一 常见矿物手标本的鉴定	29
实验二 常见岩浆岩手标本的鉴定	39
实验三 常见沉积岩手标本的鉴定	43
实验四 煤样标本的鉴定	48
第五章 “矿山测量学”实验——高程、角度测量及数据处理综合实验	53
第六章 “液压传动”实验——液压基本回路	58
第七章 “采矿学”实验	60
实验一 采矿模型演示实验	60
实验二 现代化矿井仿真实验	62
第八章 “矿井通风与安全”实验	64
实验一 矿井通风与安全综合演示实验	64

实验二 巷道通风阻力测定与分析	65
第九章 “井巷工程”实验——锚杆锚索无损检测实验	72
第十章 “矿山压力与岩层控制”实验	82
实验一 二维相似材料模拟实验	82
实验二 矿压观测仪器仪表的使用	86
第十一章 “矿山机械与设备”实验——采掘虚拟实训实验	94
第二篇 采矿工程专业独立实验	
第十二章 岩石力学实验	111
实验一 测定岩石的密度	111
实验二 测定岩石的吸水率和饱和吸水率	113
实验三 测定岩石的静力变形参数	115
实验四 岩石的单轴抗压强度实验	119
实验五 岩石的单轴抗拉强度实验	121
实验六 岩石的抗剪强度实验	123
第三篇 采矿工程专业开放实验	
第十三章 数值分析实验	129
实验一 FLAC3D 数值分析实验	129
实验二 RFPA 数值分析实验	135
实验三 UDEC 数值分析实验	144
第十四章 边坡稳定性分析实验	149
第十五章 机构运动方案创新实验	156
参考文献	162

第一篇

采矿工程专业课内实验

第一章 “工程力学”实验

实验一 金属材料拉伸与压缩实验

一、实验目的

- (1) 通过对低碳钢和铸铁这两种不同性能的典型材料的拉伸、压缩破坏过程的观察和对实验数据、断口特征的分析,了解它们的力学性能特点。
- (2) 了解万能材料试验机的构造、原理和操作。
- (3) 测定典型材料的强度指标及塑性指标,低碳钢拉伸时的屈服极限(或下屈服极限),强度极限,延伸率,截面收缩率,压缩时的压缩屈服极限,铸铁拉伸、压缩时的强度极限。

二、实验仪器、设备

1. 电子万能材料试验机

试验机结构与原理——工程力学基本实验设备是静态万能材料试验机(图 1-1),能进行轴向拉伸、轴向压缩和三点弯曲等基本实验。试验机主要由机械加载、控制系统、测量系统等部分组成。当前试验机主要的机型是电子万能试验机,其加载是由伺服电机带动丝杠转动而使活动横梁上下移动而实现的。在活动横梁和上横梁(或工作台上)安装一对拉伸夹具或压缩弯曲的附件,就组成了加载空间。伺服控制系统则控制伺服电机在给定速度下匀

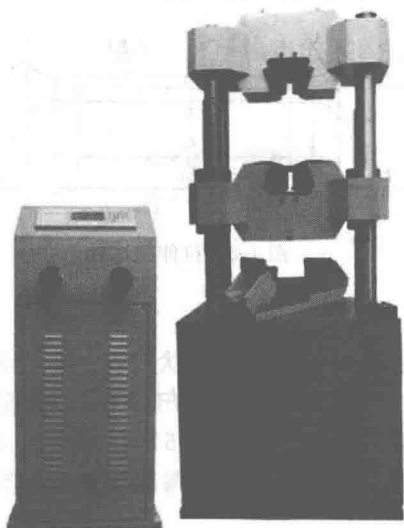


图 1-1 万能材料试验机结构图

速转动,实现不同速度下横梁移动或对被测试件加载。活动横梁的移动速度范围是 $0.05 \sim 500 \text{ mm/min}$ 。

测量系统包括负荷测量、试件变形测量和横梁位移测量。负荷和变形测量都是利用电测传感技术,通过传感器将机械信号转变为电信号。负荷传感器安装在活动横梁上,通过万向联轴节和夹具与试件连在一起,测量变形的传感器一般称作引伸计,安装在试件上。横梁位移的测量是采用光电转换技术,通过安装在丝杠顶部的脉冲编码器将丝杠转动信号转变为脉冲信号。三路信号均经过信号调理电路变为标准的信号。

现在实验室用于工程力学教学的试验机全部是计算机控制的电子万能试验机,计算机控制的电子万能试验机用鼠标操作可完成试验机的各种功能,此外增加了数据文件存储、实验数据处理、实验曲线及结果打印等功能。

2. 试件

为了使实验结果具有可比性,且不受其他因素干扰,实验应尽量在相同或相似的条件下进行,国家为此制定了实验标准,其中包括对试件的规定。

(1) 试件制备

拉伸实验的试件分为比例试件和定标距试件两种。比例试件是指按相似原理,原始标距 l_0 与试件截面面积平方根 $\sqrt{A_0}$ 有一定的比例关系,即 $l_0 = K \sqrt{A_0}$ 。 K 取 5.65 或 11.3,前者称短比例试件,后者称长比例试件,并修约到 5 mm,10 mm 的整倍数长。对圆试件,两者的 l_0 则分别为 $l_0 = 5d$, $l_0 = 10d$ 。一般推荐用短比例试件。定标距试件是指取规定 l_0 长度,与 $\sqrt{A_0}$ 无比例关系。

本实验取长比例圆试件。图 1-2 为一种圆试件图样,试件头部与平行部分要过渡缓和,以减少应力集中,其圆弧半径 r 依试件尺寸、材质和加工工艺而定, $d_0 = 10 \text{ mm}$ 的圆试件, $r > 4 \text{ mm}$ 。试件头部形状依试验机夹头形式而定,要保证拉力通过试件轴线,不产生附加弯矩,其长度 H 至少为楔形夹具长度的 $3/4$ 。中部平行长度 $L_0 = l_0 + d_0$ 。为测定延伸率 δ ,要在试件上标出原始标距 l_0 ,可采用画线或打点法,标出一系列等分格标记。

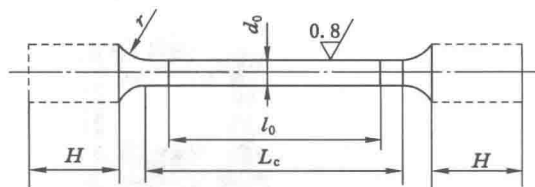


图 1-2 拉伸圆试件

(2) 试件形式

压缩实验的试件有圆柱形、正方柱形和板状三种。本实验取圆柱形。为了既防止试件压弯,又使试件中段为均匀单向压缩(距端面小于 $0.5d_0$,受端面摩擦力影响,应力分布不是均匀单向的),其长度 L 限制为 $L = (2.5 \sim 3.5)d_0$,或 $L = (1 \sim 2.5)d_0$ 。为防止偏心受力引起的弯曲影响,对两端面的不平行度及它们与圆柱轴线的不垂直度也有一定要求。图 1-3 为圆柱形试件图样。

(3) 试件尺寸测量

对拉伸试件,取标距的两端和中间共三个截面,每个截面测量相互垂直的两个直径,取

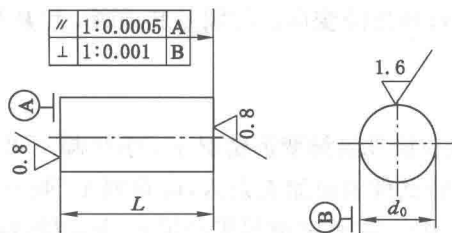


图 1-3 圆柱形压缩试件

两者的算术平均值为平均直径,取三个平均直径中最小者计算原始横截面积 A_0 。

对压缩试件,测量长度一次,测量中间截面相互垂直的两个直径,取两者的算术平均值计算原始横截面积 A_0 。

本实验用最小分度值为 0.02 mm 的游标卡尺为量具。

三、实验原理

1. 低碳钢的拉伸

实验原理如图 1-4 所示,首先,实验各参数的设置由 PC 传送给测控中心后开始实验,拉伸时,力传感器和引伸计分别通过两个通道将试件所受的载荷和变形连接到测控中心,经相关程序计算后,再在 PC 机上显示出各相关实验结果。

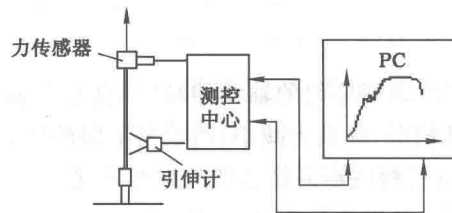


图 1-4 拉伸实验原理

以拉力 P 为纵坐标、伸长量 ΔL 为横坐标,所绘出的实验曲线图形称为拉伸图,即 $P-\Delta L$ 曲线。典型的低碳钢的拉伸 $P-\Delta L$ 曲线,可明显分为四个阶段(图 1-5)。

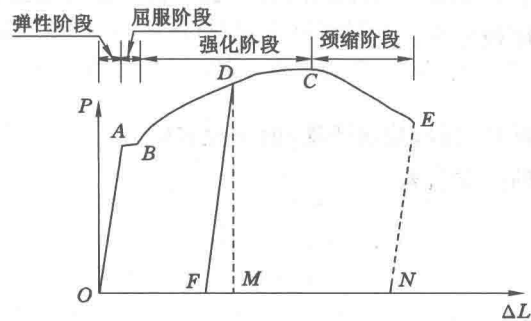


图 1-5 低碳钢拉伸 $P-\Delta L$ 曲线

(1) 弹性阶段

拉伸初始阶段(OA 段)为弹性阶段,在此阶段若卸载,记录笔将沿原路返回到 O 点,变

形完全消失,即弹性变形是可恢复的变形。特别是其前段,力 P 与变形 ΔL 呈正比关系,为斜直线。

(2) 屈服阶段

实验进行到 A 点以后,在试件继续变形情况下,力 P 却不再增加,或呈下降,甚至反复多次下降,使曲线呈波形。若试件表面加工光洁,可看到 45° 倾斜的滑移线。这种现象称为屈服,即进入屈服阶段(AB 段)。其特征值屈服极限 σ_s 表征材料抵抗永久变形的能力,是材料重要的力学性能指标。

(3) 强化阶段

过了屈服阶段(B 点),力又开始增加,曲线亦趋上升,说明材料结构组织发生变化,得到强化,需要增加荷载才能使材料继续变形。随着荷载增加,曲线斜率逐渐减小,直到 C 点,达到峰值,该点为抗拉极限荷载,即试件能承受的最大载荷。此阶段(BC 段)称强化阶段,若在强化阶段某点 D 卸去荷载,可看到记录笔沿与弹性阶段(OA) 近似平行的直线(DF) 降到 F 点;若再加载,它又沿原直线(DF) 升到 D 点,说明亦为线弹性关系,只是比原弹性阶段提高了。 D 点的变形可分为两部分,即可恢复的弹性变形(FM 段)和残余(永久)的塑性变形(OF 段)。这种在常温下冷拉过屈服阶段后呈现的性质,称为冷作硬化,常作为一种工艺手段,用于工程中以提高金属材料的线弹性范围。但此工艺亦同时削弱了材料的塑性,冷拉后的断后伸长(FN) 比原来的断后伸长(ON) 减少了。这种冷作硬化性质,只有经过退火处理,才能消失。

(4) 颈缩阶段

实验达到 D 点后,试件出现不均匀的轴线伸长,在其某薄弱处,截面明显收缩,直到断裂,称颈缩现象。因截面不断削弱,承载力减小,曲线呈下降趋势,直到断裂点 E ,该阶段(CE 段)为颈缩阶段。颈缩现象是材料内部晶格剪切滑移的表现。

2. 脆性材料的拉伸(圆形截面铸铁)

铸铁等脆性材料拉伸时的载荷—变形曲线不像低碳钢拉伸那样明显地分为弹性、屈服、强化、颈缩四个阶段,而是一根接近直线的曲线,且载荷没有下降段。它是在非常小的变形下突然断裂的,断裂后几乎没有残余变形。只要测定它的强度极限 σ_b 就可以了。

实验前测定铸铁试件的横截面积 A_0 ,然后在试验机上缓慢加载,直到试件断裂,记录其最大载荷 P_b ,求出其强度极限 σ_b 。

四、实验内容

(1) 低碳钢或脆性材料(圆形截面铸铁)的拉伸实验

(2) 低碳钢或铸铁的压缩实验

五、实验步骤

1. 拉伸实验

(1) 确定标距

选择适当的标距,并测量 l_0 的实际值。为了便于测量 l_1 ,将标距均分为若干格,如 10 格。

(2) 试件的测量

用游标卡尺在试件标距的两端和中央的三个截面上测量直径,每个截面在互相垂直的

两个方向各测一次,取其平均值,并用三个平均值中最小者作为计算截面积的直径 d ,并计算出 A_0 值。

(3) 仪器设备的准备

打开电子万能试验机右下角电源开关,打开计算机,进行测试软件的相关设定。

(4) 安装试件

试件先安装在试验机的上夹头内,再移动下夹头,使其达到适当的位置,并把试件下端夹紧。

(5) 试件加载、卸载

注意试件加载值不能超过比例极限。

(6) 测试

电子万能材料试验机操作步骤:

① 打开电子万能试验机右下角电源开关,再打开计算机主机电源。

② 静候数秒,以待机器系统检测。

③ 打开测试软件(选取相应测试程序,或直接在电脑桌面上双击程序图标)。

④ 按软件右下角【启动】按钮,以使程序与主机相连。

⑤ 点击软件左侧【调零】图标,以使各值清零。

⑥ 设定试样参数。

⑦ 点击【操作向导】按钮,进行相关设定。

其中〔第三步〕实验类型选择中,选择所需实验类型:如拉伸、压缩等;〔第七步〕实验过程控制设置中,第一阶段控制方式中选位移控制,低碳钢速率为 8 mm/min ,铸铁速率为 2 mm/min ;〔第九步〕实验正常结束控制参数选 60% ;其他选项已设定好,不用重新设定。

⑧ 完成后,点击【试样参数】按钮,输入试样数量及对应的尺寸。

⑨ 在文件下拉菜单下的实验方法存储中储存文件。

⑩ 在主界面上输入储存文件名(报告编号)。

⑪ 开始夹试件,先夹上夹头(上夹头顺时针夹紧),夹到钳口的 $3/4\sim 4/5$ 处,利用软件上的按钮或手持按钮点动向下移动到合适位置,点【向下】按钮右键,出现移动速度设定,选 350 。试件移动到钳口的 $3/4\sim 4/5$ 处,停止夹紧(下夹头逆时针夹紧)。

⑫ 点击【开始测试】图标,开始测试;如果出现曲线不正常,立即按 stop 键。

⑬ 测试终止后,先取出上夹头断裂试样,再取出下夹头断裂试样。程序自动计算测试结果并作出图表。

⑭ 将曲线图保存,进行图形分析,计算弹性模量。

⑮ 断裂试件的两断口对齐并尽量靠紧,测量断裂后标距段的长度 l_1 ;测量断口颈缩处的直径 d ,计算断口处的横截面积 A ,点击【试样参数】按钮,输入测量的数据得到断后伸长率,断面收缩率,记录计算结果,整理形成实验报告。

⑯ 保存测试结果文件,另存为 *.dat 格式的文件,退出程序。

⑰ 关闭主机电源,清理工作台。

2. 压缩实验

准备工作及实验方法与拉伸实验基本相同,先进行测试条件的设定,再移动水平横梁安装试件,注意置试件于其受力中心。控制横梁位置,使其停在无压接触位置,即上压头与试

件空隙刚好消除。加载测试,平缓加载。因压缩试件较短,屈服不明显,要特别注意平稳,以免干扰屈服点测读。应力速率控制在每秒钟 $1\sim 10\text{ N/mm}^2$,当出现屈服,按前述规定读取屈服荷载 P_{sc} 。屈服结束,继续加载,使试件明显变形成鼓状,即可关机停止实验。下降平台,取下试件。

铸铁压缩实验的准备工作及实验方法与低碳钢压缩实验基本相同,但测定的是抗压强度 σ_{bc} 。试件破坏前,注意观察力达到最高点后,要回摆一下,试件方破坏,这是剪切滑移所致。破坏后,读取最大荷载 P_{bc} 。

六、实验报告要求

- (1) 填写实验目的与实验内容。
- (2) 填写实验原理。
- (3) 分析实验结果。

七、实验注意事项

注意材料拉伸和压缩的两个极限。

八、思考题

观察拉、压试件断口破坏特征,对照测试数据和 $P-\Delta L$ 曲线,分析两种材料的破坏原因和力学性能特点。拼拢拉伸试件断口,观察铸铁和低碳钢在拉伸时的断口位置,为什么铸铁大都断在根部?比较两种材料的轴向伸长和横向收缩的差异。

实验二 金属材料扭转实验

一、实验目的

- (1) 学习了解微机控制扭转试验机的构造原理,并进行操作练习。
- (2) 确定低碳钢试样的剪切屈服极限 τ_s 、剪切强度极限 τ_b 。
- (3) 确定铸铁试样的剪切强度极限 τ_b 。
- (4) 观察不同材料的试样在扭转过程中的变形和破坏现象。

二、实验仪器、设备

- (1) RNJ—500 微机扭转试验机。整机结构如图 1-6 所示。
- (2) 游标卡尺。

采用圆形截面试件,直径 $d=10\text{ mm}$,标距 $l=100\text{ mm}$ 。试样加工如图 1-7 所示。

三、实验原理

金属材料的剪切机械性能,常用扭转破坏实验测定。由于试件受到扭矩作用后,材料完全处于纯剪切应力状态,因此,无论是塑性还是脆性材料,均可通过扭转破坏实验进行强度和塑性的测定。材料不同,其抗剪强度及破坏形式也就不同。对于低碳钢试件,当扭矩超过比例极限后,其横截面上的材料屈服区域逐渐由外向内扩展,直到占据大部分截面,这时,指示扭矩的测力几乎停止不动,但变形却在继续增加。

- (1) 低碳钢扭转下屈服点 τ_{sl} (也可用屈服点 τ_s)、抗扭强度 τ_b 的计算(图 1-8);

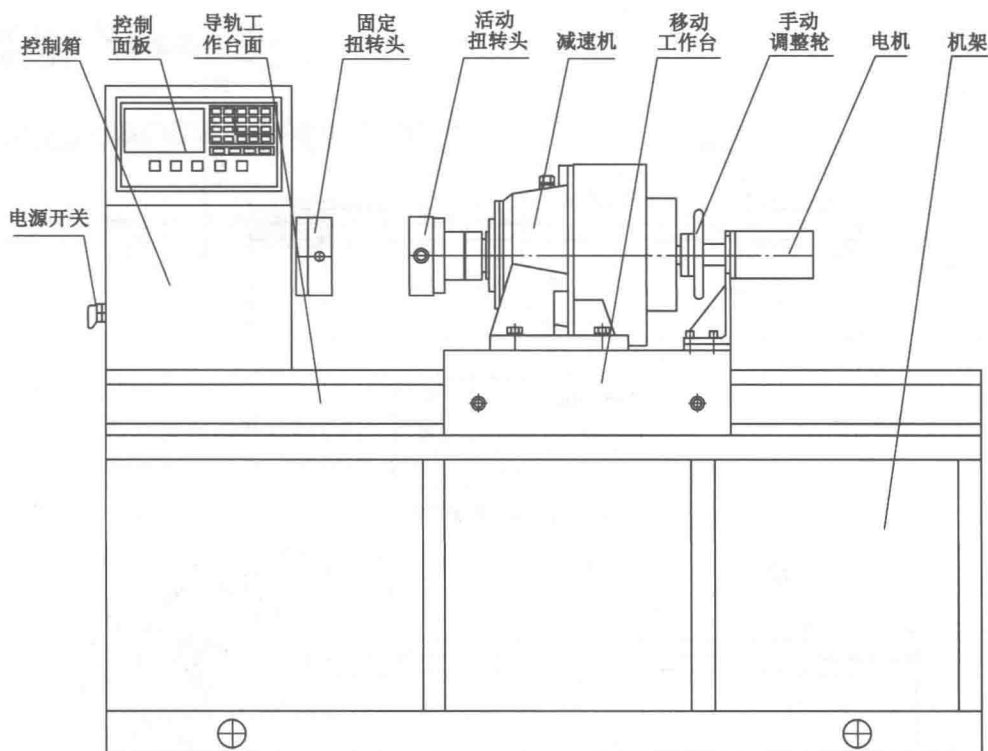


图 1-6 RNJ—500 微机扭转试验机整机结构图

$$\tau_s = \frac{3T_s}{4W_n} \quad (1-1)$$

式中, $W_n = \frac{\pi d^3}{16}$ 为抗扭截面模量。与求 τ_s 相似, 低碳钢的抗扭强度 τ_b 可近似按下式计算:

$$\tau_b = \frac{3T_b}{4W_n}$$

(2) 铸铁抗扭强度 τ_b 的计算(图 1-9): 铸铁的扭转曲线虽不是一直线, 但是可以近似为一直线, 其抗扭强度 τ_b 仍可近似地用圆轴受扭时的剪应力公式计算, 即:

$$\tau_b = \frac{T_b}{W_n} \quad (1-2)$$

由于低碳钢材料在纯剪切应力状态下, 其抗正断能力高于抗剪断能力, 故低碳钢试件将沿最大剪应力所在的横截面剪断, 断口平齐, 呈现了切断的特征。而铸铁材料在纯剪切应力状态下, 其抗正断能力低于抗剪断能力, 所以, 铸铁试件将从其表面某一最弱处, 沿与轴线呈 45° 的螺旋状曲面被拉断, 呈现正断断口的特征。

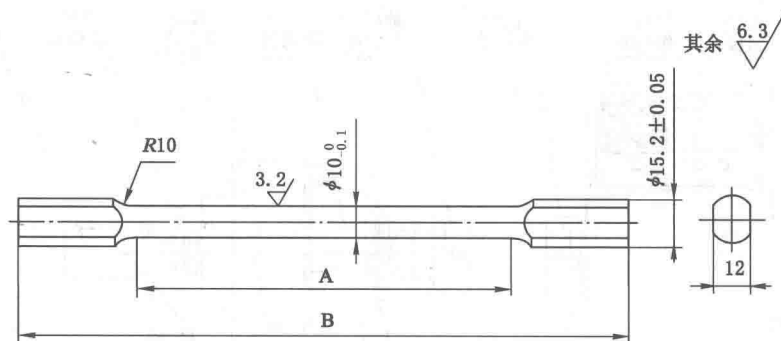
四、实验内容

(1) 低碳钢实验

(2) 铸铁实验

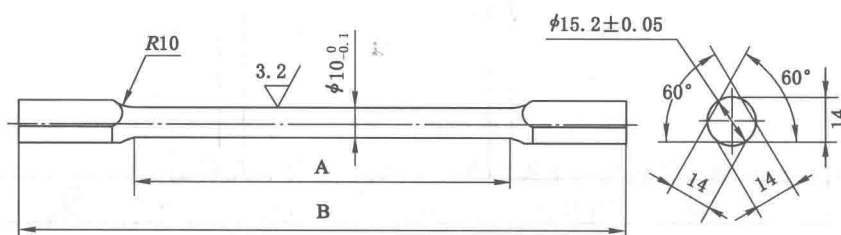
五、实验步骤

(1) 测量试件的直径和高度。测量试件两端及中部三处的截面直径, 取三处中最小一



标距/mm	A	B
50	75	145
100	125	195

标准夹具夹持试样加工图



标距/mm	A	B
50	75	145
100	125	195

三爪卡盘夹持试样加工图

图 1-7 试样加工图

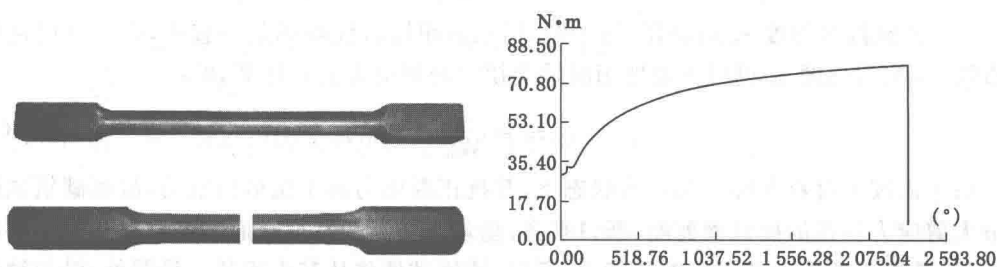


图 1-8 低碳钢扭转图

处的平均直径计算横截面面积。

(2) 将试件放在试验机活动台球形支撑板中心处。

(3) 设定试验方案和试验参数。对于低碳钢,要及时记录其屈服载荷,超过屈服载荷后,继续加载,将试件压成鼓形即可停止加载。铸铁试件加压至试件破坏为止。

(4) 初值置零。

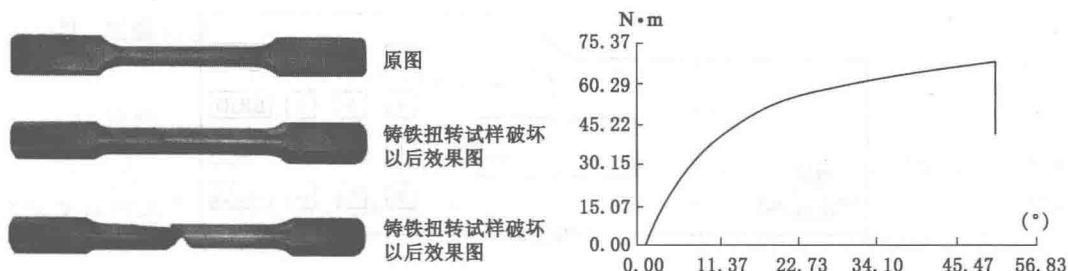


图 1-9 铸铁扭转图

- (5) 点击开始试验按钮,开始试验,试验结束自动停止,生成试验报告。
- (6) 安装下一根试样,重复上述步骤。
- (7) 直到所有试样全部试验结束。
- (8) 打印试验报告。

六、实验报告要求

- (1) 填写实验目的与实验内容。
- (2) 填写实验原理。
- (3) 分析实验结果。

七、实验注意事项

注意材料的疲劳极限。

八、思考题

- (1) 为何低碳钢压缩测不出破坏载荷,而铸铁压缩测不出屈服载荷?
- (2) 根据铸铁试件的压缩破坏形式分析其破坏原因,并与拉伸作比较?
- (3) 通过拉伸与压缩实验,比较低碳钢的屈服极限在拉伸和压缩时的差别?
- (4) 通过拉伸与压缩实验,比较铸铁的强度极限在拉伸和压缩时的差别?

实验三 梁弯曲正应力实验

一、实验目的

- (1) 学习使用电阻应变仪,初步掌握电测方法。
- (2) 测量纯弯曲梁上应变随高度的分布规律,验证平面假设的正确性。

二、实验仪器、设备

- (1) 纯弯曲梁实验装置。
- (2) YE2538A 程控静态电阻应变仪(图 1-10)。
- (3) 温度补偿块。

三、实验原理

纯弯曲梁实验装置如图 1-11 所示,简支于 A、B 两点,在对称的 C、D 两点通过杠杆加载使梁产生弯曲变形,CD 梁受纯弯曲作用。在梁承发生纯弯曲变形梁段的侧面上,沿与轴