

高等学校实验课系列教材

机械工程基础实验教程

主 编 冯文杰

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书的编写旨在提高学生的学习能力、实践能力和创新能力,全书共分5章,系统地介绍了材料力学、机械原理、机械设计、机械制造技术基础、互换性测量、机械振动与噪声测试等理论课程涉及的实验基本原理、方法、目的、内容和步骤,小节末附有思考题。本实验教程力求概念定义清楚、内容简洁明了,同时也注重学生实际动手能力和创新能力的培养。本书可作为高等院校机械类和近机类专业的机械工程基础实验教材,也可供其他专业的师生和工程技术人员参考,部分内容还可以作为机械创新设计竞赛的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程基础实验教程/冯文杰主编. —重庆:重庆大学出版社,2007.9

(高等学校实验课系列教材)

ISBN 978-7-5624-4254-7

I. 机... II. 冯... III. 机械工程—实验—高等学校—教材 IV. TH-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第125303号

高等学校实验课系列教材 机械工程基础实验教程

主 编 冯文杰

责任编辑:曾令维 穆安民 版式设计:曾令维

责任校对:邹 忌 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人 张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:11 字数:275千

2007年9月第1版 2007年9月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4254-7 定价:15.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

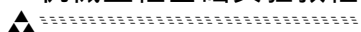
重庆工学院机械技术基础实验中心是重庆市实验教学示范中心,中心根据学校“高素质应用型高级专门人才”的培养目标,提出了“机械工程综合实践教育”的理念,着重培养学生综合应用所学知识和技能完成设定目标的能力。实验项目的设置紧紧围绕工程进行,打破了实验教学附属于理论教学的模式,建立与理论教学并行的,既相对独立、又相互联系的实验教学体系,并将“机械工程基础实验”设置成为机械类和近机类专业本科学生的必修课程,实行独立授课。《机械工程基础实验教程》正是在对实验教学不断探索、研究和实践的基础上,通过认真总结、不断完善而编写的。

本书围绕认知实验、基础实验、设计性实验、综合性实验、创新实验等方面展开,内容基本涵盖了材料力学、机械原理、机械设计、机械制造技术基础、互换性、测试技术等理论课程要求的知识点,注重实验项目设置的系统性和科学性,力求构建新的机械工程基础实验课程体系,加强培养学生的设计能力、研究能力、综合应用能力和工程技术实践能力。本书系统地介绍了机械工程基础实验的目的、内容、原理、方法、过程及操作等,在实验的设计方法、实验手段、实验数据的处理方法等环节对学生进行科学的指导,并通过本书的编写工作促进机械工程实验教学的改革和教学水平的提高。本书具有如下特点:

(1)注重实验教学和理论教学相结合,通过实验教学加深和巩固理论教学中的某些抽象概念和原理,突出机械工程基础实验的设计方法与相关知识的理论系统性。

(2)注重实验方法、实验设备仪器和测试手段的先进性和现代化,使读者在掌握基本的实验方法和测试手段的同时,了解现代先进的测试和评价方法,拓宽机械工程基础实验的内容,培养学生动手能力和实验研究能力。

(3)重视培养学生综合应用所学知识和技能完成实验目标的能



力,通过丰富的实例,讲授各类典型实验方法及其应用,激发学生的创新意识,培养创新能力。

(4)本书实验内容相对完整、系统,由不同层次模块有机构成,可直接用于实验教学。

参加本书编写的有:冯文杰,杨涛,宋鸷,朱岗,王伟,糜茵,崔秀梅,施全,钟莉蓉。全书由冯文杰任主编。

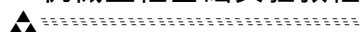
本书由廖林清教授担任主审,并对本书体系的构成与编写给予了悉心的指导,在此表示诚挚的谢意。本书的出版,得到了重庆工学院教材建设基金的资助。另外,对在本书编写过程中提供各种指导和帮助的同行人表示衷心感谢。

由于本书编写时间仓促和编者水平有限,难免存在不妥之处,恳请读者给予指正。

编者
2007年7月

目 录

0	绪论	1
0.1	机械工程基础实验课程的重要性、性质与任务	1
0.1.1	机械工程基础实验课程的重要性	1
0.1.2	机械工程基础实验课程的性质与任务	1
0.2	机械工程基础实验课程的主要内容	2
0.3	机械工程基础实验课程的学习方法	2
0.3.1	重视实际动手能力的培养,注重细节	2
0.3.2	要善于思考、总结,培养分析能力	2
0.3.3	注意理论知识的综合应用,培养创新精神	3
0.3.4	具有吃苦耐劳,以及团队协作的精神	3
1	材料力学基础	4
1.1	材料力学性能测定	4
1.1.1	低碳钢、铸铁的拉伸	4
1.1.2	低碳钢、铸铁的压缩	7
1.1.3	弹性模量的测定	10
1.1.4	低碳钢和铸铁的扭转破坏实验	14
1.1.5	低碳钢切变模量 G 的测定实验	17
1.2	应力应变测定	20
1.2.1	悬臂梁和简支梁挠度和转角测试	20
1.2.2	纯弯曲电测实验	21
1.2.3	复杂应力电测实验	28
1.2.4	循环动应力的测试	29
2	机械机构与结构	32
2.1	机械机构认知与运动参数测试	32
2.1.1	机械机构认知与现场教学	32
2.1.2	平面机构运动简图的测绘与分析	33
2.1.3	渐开线齿廓范成原理	36
2.1.4	回转构件的静平衡	40
2.1.5	回转构件的动平衡	41
2.1.6	机构运动方案创新设计	48
2.1.7	机构运动参数测定与机构动平衡	63
2.1.8	机组速度波动及飞轮调节	69



2.2	机械结构认知与性能测试	75
2.2.1	机械结构设计认知与现场教学	75
2.2.2	带传动实验	77
2.2.3	单万向节和链条传动不匀率的测试	81
2.2.4	转矩及机械传动效率的测量	83
2.2.5	流体动压滑动轴承油膜压力与摩擦测试	87
2.2.6	轴系结构设计与分析	94
2.2.7	减速器拆装与结构分析	97
3	机械制造技术基础	100
3.1	机械装备基础	100
3.1.1	车刀角度测量实验	100
3.1.2	机床结构剖析	105
3.2	液压传动技术	109
3.2.1	液压泵特性测试	109
3.2.2	节流调速性能实验	113
4	机械零件几何精度测量	117
4.1	常用量具的认识与使用	117
4.2	立式光学计测量塞规	121
4.3	合像水平仪测量直线度误差	124
4.4	光切法显微镜测量表面粗糙度	127
4.5	表面粗糙度测量仪测量表面粗糙度	130
4.6	外螺纹中径的测量	132
4.7	齿轮误差的测量	134
4.7.1	齿轮齿圈径向跳动测量	134
4.7.2	齿轮公法线平均长度偏差及公法线长度变动的测量	136
4.8	三维测量基础	138
5	机械振动与噪声测试	145
5.1	机械振动基础	145
5.1.1	振动参数测定	145
5.1.2	主动隔振和被动隔振	150
5.2	机械振动和噪声的测量	153
	附录	158
	附录1 ZDM-30T型万能材料试验机	158
	附录2 K-50扭转试验机	160
	附录3 NJ-100B型扭转试验机	163
	附录4 MEC-B机械动态参数测试仪指令说明	165
	参考文献	167

0 绪 论

0.1 机械工程基础实验课程的重要性、性质与任务

0.1.1 机械工程基础实验课程的重要性

实验一般指科学实验,即自然科学实验。实验是根据一定的目的(或要求),运用必要的手段和方法,在人为控制的条件下,模拟自然现象来进行研究、分析,从而认识各种事物的本质和规律的方法。它是将各种新思想、新设想、新信息转化为新技术、新产品的必要环节。回顾机械的发展历史,人类从使用的原始工具发展到今天的汽车、飞机、智能机器人等现代机械,都经过艰辛的科学实验。随着科学技术的发展,科学实验的范围和深度的不断拓展和深入,科学实验具有越来越重要的作用,已成为自然科学理论发展的基础。诺贝尔奖被公认为代表自然科学的最高水平,资料表明,自1901年以来颁发的91个诺贝尔奖中,72%以上授予实验项目。由此可见实验对理论和科学研究的重要性。

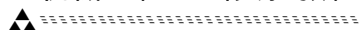
机械制造业是我国国民经济的支柱产业之一,随着科学技术的发展和市场经济体制的建立,现代机械产业对机械类专业人才提出了更高的要求,因此,高等学校工科类学生,尤其是机械类专业的学生,应该具有较高的实践能力和综合设计能力。实验教学正是培养学生具备这些能力的极好的教学环节。机械工程基础实验课程是高校工科专业实验教学中的重要组成部分,它不仅是学生获得知识的重要途径,而且对培养学生的自学能力、工作态度、工程实践能力、科研能力和创新能力具有十分重要的作用。

0.1.2 机械工程基础实验课程的性质与任务

机械工程基础实验是一门旨在培养机械类学生具有初步的实验设计能力、基本参数测定与相关测试仪器操作能力和实验分析能力的技术基础课程,是机械基础系列课程教学中重要的实践性教学环节之一,它是深化感性认识、理解抽象概念、应用基础理论的主要方法。

长期以来,在高等工程教育中偏重基础理论体系的改革而忽视了对学生实验技能的培养,使得许多工科毕业生不具备简单的、具有一定精度的工程实验的能力。特别是随着计算机与信息技术的高速发展,学生对实际动手操作和工程实验渐渐失去兴趣,而热衷于对各种CAD、CAE和CAM等工具软件的学习,他们并不清楚实验设计方法和实验基本技能才是进行科学研究的基础,因而他们学习知识是本末倒置的。本课程的主要任务就是让工科类学生通过机械工程基础实验的原理和方法的学习、实验操作训练及数据分析总结,达到以下目的:

- 1)了解机械工程基础实验在机械学科研究中的重要地位,培养科学、系统的工程实验观;
- 2)了解机械工程基础实验各实验内容的原理,掌握实验中常用评价参数的内容、测定方



法及相关仪器设备的选择和使用方法；

- 3)了解现代工程实验方法在机械工程基础实验领域中的应用；
- 4)初步具备根据工程实际情况正确设计实验、完成实验以及分析实验结果的能力；
- 5)具备在实验过程中发现问题、分析问题、解决问题的能力。

0.2 机械工程基础实验课程的主要内容

长期以来,由于受传统观念的束缚和影响,在高校教育过程中存在着程度不同的重理论而轻实践的现象,把实验教学仅仅看做理论教学的辅助手段,狭隘地把实验教学局限于验证某些理论,从而造成实验课从属于理论课教学,各理论课程的实验自成一体为本课程的理论验证服务的实验教学格局。在这样的实验教学格局下,学生难以综合应用所学知识和技能完成设计目标,结果就是培养出的学生工程实践能力、分析能力以及创新能力不足。

机械工程基础实验课程打破每门理论课程“各自为政”的界限,以自身系统为主线,设置实验课,成绩单独考核和计分,实验内容的设置着重培养学生的综合设计能力、分析能力和创造能力。

本教程按照上述的指导思想,以机械产品在生产过程中的不同阶段,按设计、分析、制造、测控到工程管理的流程来安排实验内容。第1章为力学基础实验,第2章为机械机构与结构实验,第3章为机械装备技术实验,第4章为机械零件几何精度测量实验,第5章为机械振动与噪声测试。各章的实验项目在保留必要的验证性实验的基础上增加了综合设计型实验的比例,综合设计型实验要求学生能综合应用多门理论课程的知识(如机械原理、机械设计、传感技术、数据采集、计算机检测与控制、数据分析等)以及各种实验仪器设备、检测与分析手段来完成预定实验目标。本教程在有的章节还安排了创新设计实验项目,比如机构创新设计,鼓励学生打破思维定势,充分发挥想象力设计并实现实验方案,培养其创新意识,提高其创新能力。

本教程各实验项目之间具有相对独立性,均由实验目的、实验内容、实验仪器、相关理论知识、仪器设备操作及原理、实验步骤、注意事项等部分有机组成,便于不同学校、不同层次要求的学生根据具体实际情况使用。

0.3 机械工程基础实验课程的学习方法

0.3.1 重视实际动手能力的培养,注重细节

机械工程基础实验课程是一门以学生实际操作为主的技术基础课程,在具体的实验过程中需要使用多种仪器设备和工具,因此,要求学生具有较强的动手能力。培养自己的动手能力不仅仅是学会操作使用各种仪器设备和工具,还要培养自己小心谨慎的工作作风,要注重细节,搞清楚各种工具的使用规范和注意事项。

0.3.2 要善于思考、总结,培养分析能力

许多学生在做实验的过程中,往往是按照实验步骤机械模仿,对于实验过程和实验结果很

少进行分析和思考,尤其对于验证性实验,认为其无非是对理论的检验,没有什么值得思考的。这种做法使学生在做完实验后只是验证了某个定理或者公式,并不能得到任何实用性结论,失去了做实验的意义。学习本门课程应该有意识地对实验过程和实验结果进行思考,为什么实验要安排这一个步骤?去掉这个步骤可行吗?实验得到的数据和理论是完全一致的吗?什么原因导致了误差甚至实验的失败?通过这样的思考可以很好地培养自己的分析能力,得到实用性结论,提高自身的工程实践能力。

0.3.3 注意理论知识的综合应用,培养创新精神

胡锦涛同志曾强调:“建设创新型国家,关键在人才,尤其在创新型科技人才。没有一支宏大的创新型科技人才队伍作支撑,要实现建设创新型国家的目标是不可能的。”机械工程基础实验课程作为一门技术基础课涉及多门理论课程的知识,特别是一些较复杂的综合设计型实验更是对多门学科知识的有机结合的应用,因而成为培养学生创新能力的重要平台。在学习本门课程的过程中,在重视动手能力的同时,也要注意夯实自己的理论基础,将多门学科的知识有机结合,在理论指导下综合利用各种实验设备和仪器设计出新的实验方案,提高自身的创新能力。

0.3.4 具有吃苦耐劳,以及团队协作的精神

机械工程基础实验课是一门实践性很强的课程,它与工程实践密切相关,实验过程中,往往难以避免油污、铁屑等脏物。学生应该克服实验环境的不利影响,严格按照要求完成实验。要注意培养自己的团队协作精神,须知,个人的能力和精力是有限的,在规定的时间内完成一个较复杂的综合设计型实验往往需要多人的协作,各行其是常常降低实验的效率,甚至导致实验的失败。

1 材料力学基础

1.1 材料力学性能测定

1.1.1 低碳钢、铸铁的拉伸

(1) 实验目的

- 1) 观察低碳钢在拉伸过程中的各种现象；
- 2) 确定低碳钢的屈服强度 σ_s 、抗拉强度 σ_b 、伸长率 δ 及断面收缩率 ψ ；
- 3) 比较低碳钢与铸铁的力学性能。

(2) 实验设备

- 1) 液压式万能试验机, 如 ZDM-30T 型或 WE 系列(试验机工作原理见附录 1)；
- 2) 游标卡尺；
- 3) 试样分划器。

(3) 实验内容

- 1) 对低碳钢和铸铁试样进行拉伸破坏, 观察实验现象；
- 2) 计算基本力学性能参数；
- 3) 分析断裂的原因, 比较低碳钢与铸铁的力学性能。

(4) 实验原理

1) 试样

由于试样的形状及尺寸对试验的结果会有影响, 为了避免这种影响, 使各种材料的力学性能数据能够相互比较, 国家标准 GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸试验方法》对试样的尺寸和形状作了明确的规定, 因此必须按照此标准加工标准试样或比例试样。

试样常用圆形或矩形截面, 圆形截面试样的形状如图 1.1 所示。试样中部长度 l_0 称为标距, 用于测量拉伸变形。试样标距部分尺寸的允许偏差和表面光洁度, 国家标准中都有规定。试样分为标准试样和比例试样两种, 两种都有长、短两类, 对于圆形截面试样, 长试样 $l_0 =$

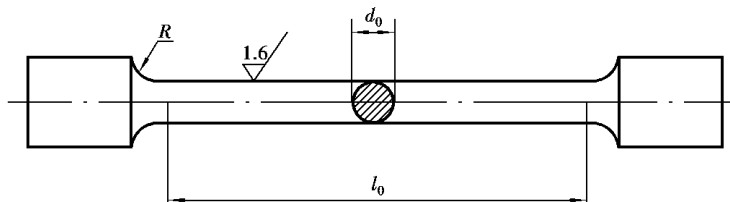


图 1.1 低碳钢拉伸试样

$10d_0$,常称为十倍试样 短试样 $l_0 = 5d_0$,常称为五倍试样。

实验中所用低碳钢试样均为直径 $d_0 = 10 \text{ mm}$ 的十倍试样。

2)过程分析

①利用试验机的自动绘图器 ,可绘出低碳钢的拉伸图如图 1.2(a)所示。由低碳钢的拉伸图可以看出下列特点 :

A. 拉伸的初步阶段 ,变形随拉力成正比例增加。

B. 当拉力超过 P_p ,即应力超过比例强度 σ_p 及弹性强度 σ_e 以后 ,拉伸曲线渐趋平坦 ,即变形比拉力增加得快 ,直到曲线上的 b 点 ,拉力不再增加 ,而变形继续增加 ,甚至拉力减小 ,而变形反而增加 ,这种现象称为屈服。发生屈服时测力表的指针第一次回摆所指示的最小拉力为屈服载荷 P_s ,由此可得试样的屈服强度 :

$$\sigma_s = P_s / A_0 \quad (1.1)$$

式中 A_0 ——试样拉伸前横截面积。

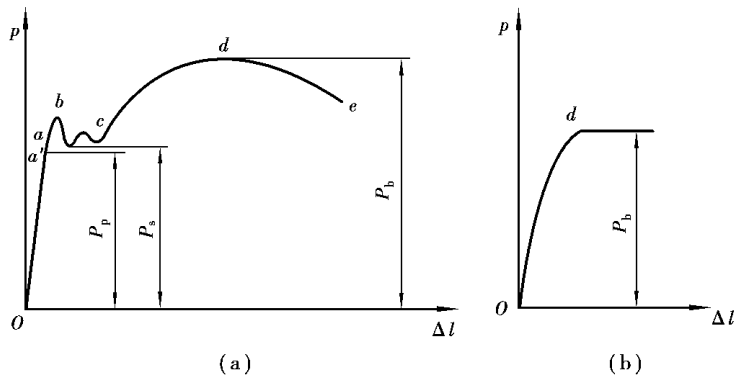


图 1.2 低碳钢、铸铁的拉伸曲线

C. 屈服以后 ,试样所受的拉力上升 ,其变形逐渐增加 ,进入强化阶段 ,到 d 点拉力达到最大值 P_b ,随后产生颈缩 ,拉力自动减小 ,变形继续增加 ,最后试样在缩颈处断裂 ,如图 1.2(a)所示。由此可得试样的抗拉强度 :

$$\sigma_b = P_b / A_0 \quad (1.2)$$

D. 由断裂后试样缩颈处的直径 d_1 及标距长度 l_1 可得试样的断面收缩率 ψ 和伸长率 δ 为 :

$$\psi = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100\% \quad (1.3)$$

$$\delta = [(l_1 - l_0) / l_0] \times 100\% \quad (1.4)$$

E. 试样断裂后标距 l_1 的测定方法 :将断裂试样的断口紧密对接在一起 ,并使两段的轴线在一条直线上 ,然后测量标距长度。由于断口附近的塑性变形最大 ,离开断口愈远则塑性变形愈小 ,因此 ,同一种材料的试样 ,断口在标距内的位置不同 ,其标距长度 l_1 也就不同。

F. 低碳钢试样断裂时有很大塑性变形 ,断口为杯状 ,周围为 45° 的剪切唇 ,断口组织为灰色纤维状 ,如图 1.3(a)所示 ,此种断口称为韧状断口。

②铸铁的拉伸曲线如图 1.2(b) ,可以看出下列特点 :

A. 在拉断过程中拉力一直增加 ,无屈服现象。当拉力达到最大值 P_b 时 ,断裂突然发生 ,

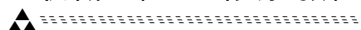


图 1.3 试样断口形状

且无颈缩现象。

B. 拉伸曲线的最初阶段弹性变形不随拉力成正比例增长。

C. 铸铁试样拉断后,其伸长率很小。

由于上述特点可知,铸铁拉伸实验时,一般只测出最大拉力 P_b ,可得试样的抗拉强度 σ_b :

$$\sigma_b = P_b / A_0 \quad (1.5)$$

D. 铸铁试样断裂时几乎没有塑性变形,断口与轴线方向垂直,断口平齐,为闪光的结晶组织,此种断口称为脆状断口,如图 1.3(b)所示。

(5) 实验步骤

1) 试样准备:在试样两端,根据标距长度 l_0 的要求,用试样分划器刻出不深的两道标距线,再用游标卡尺在试样的标距范围内,测量两端及中间三处截面的直径,要求测量精度至少达到 0.02 mm,在每一处截面的两个相互垂直方向各测量一次,取其平均值,并取三处截面中最小的平均直径来计算截面的面积 A_0 。

2) 试验机准备:熟悉试验机的操作规程。根据要求的最大载荷选用合适的测力表盘和配置相应的摆锤,调整摆杆处于铅锤位置,并调整测力指针对准“0”点,再拨动从动指针使其与主动指针靠拢,同时调整自动绘图装置。

3) 装夹试样:先将试样安装在试验机的上夹头内,再移动下夹头到适当的位置,把试样夹紧。

4) 检查及调试:开动机器,预加少量载荷(注意务必使应力远小于弹性极限),然后卸载至接近零点,以检查试验机及自动绘图装置等的工作情况。

5) 进行实验:开动机器,按下自动绘图器的笔尖,慢速加载,让试样缓慢而均匀地产生变形。继续增加载荷,当测力指针回退(或停止不动)时,说明材料发生屈服,记录下测力指针第一次回退到最低位置时的屈服载荷 P_s 。过屈服阶段后,需继续加载,直到试样断裂为止,并及时抬起自动绘图笔。停机,记录由从动指针指示的最大载荷 P_b 。

实验过程中,应注意测力指针的转动、自动绘图器的情况,以及试样发生的变形现象。

6) 结束实验:取下试样,将断裂试样两段的断口紧密拼接在一起,用游标卡尺直接测量长度 l_1 ,并测量颈缩处断口(最小截面)的直径 d_1 ,应在断口两个互相垂直的方向各测量一次,取其平均值。从自动绘图器上取下记录拉伸曲线的图纸。



(6) 注意事项

- 1) 实验前, 务必明确实验目的及内容。熟悉操作步骤及有关的注意事项, 如有不清楚的地方, 要进行分析、讨论或询问老师。
- 2) 实验时, 必须严格遵守所使用的试验机、仪器及量具等的操作规程。
- 3) 试样安装要正确, 防止偏斜或夹入部分过短。
- 4) 实验中, 如听到试验机有异响或发生故障, 应立即停机(即关断电源), 待排除故障后, 再进行实验。
- 5) 试样加载需缓慢均匀, 保证测力指针匀速缓慢转动。
- 6) 实验结束后, 应清理实验设备, 整理好所用的仪器及工具。

思考题

1. 根据拉伸实验所见到的现象说明低碳钢的力学性能。
2. 说明由拉伸实验所确定的材料力学性能数值的实用价值。

1.1.2 低碳钢、铸铁的压缩

(1) 实验目的

- 1) 测定压缩时低碳钢的屈服强度 σ_s 及铸铁的抗压强度 σ_b ;
- 2) 观察低碳钢、铸铁压缩时的变形及破坏现象, 并进行比较。

(2) 实验设备

- 1) WE-300B 液压式万能试验机 ;
- 2) 游标卡尺。

(3) 实验内容

- 1) 对低碳钢和铸铁试样进行压缩破坏, 观察实验现象 ;
- 2) 计算基本力学性能参数 ;
- 3) 分析破坏的原因, 比较低碳钢与铸铁的力学性能。

(4) 实验原理

低碳钢(铸铁)等金属材料的压缩试样一般制成圆柱形, 如图 1.4 所示。

当试样承受压缩时, 其上下两端面与试验机支承垫之间产生很大的摩擦力, 这些摩擦力阻碍试样上部及下部的横向变形(因此试样受压后变成鼓形)。若在试样两端面涂以润滑剂, 就可以减少摩擦力, 试样的抗压能力将会有所降低。当试样的高度相对增加时, 摩擦力对试样中部的影响将有所减小, 因此抗压能力与试样的高度 h_0 及直径 d_0 的比值 h_0/d_0 有关, 比值愈大, 低碳钢(铸铁)的强度极限就愈小。由此可见, 在相同的实验条件下, 才能对不同材料的压缩性能进行比较。金属材料压缩破坏实验所用的试样一般规定为 $h_0/d_0 = 1 \sim 3$ 。

为了尽量使试样承受轴向压力, 试样两端面必须完全平行, 并且与试样轴线垂直。其端面还应光滑, 以减小摩擦力对实验结果的影响。

试验机应附有球形支承垫, 如图 1.5 所示, 球形支承垫位于试样上端或下端。当试样两端面稍有不平时, 球形支承垫可以起调节作用, 使压力通过试样轴线。

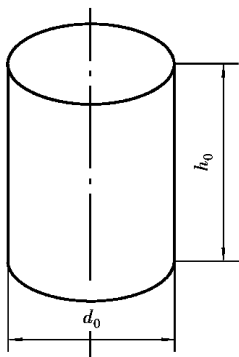
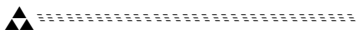


图 1.4 压缩试样图

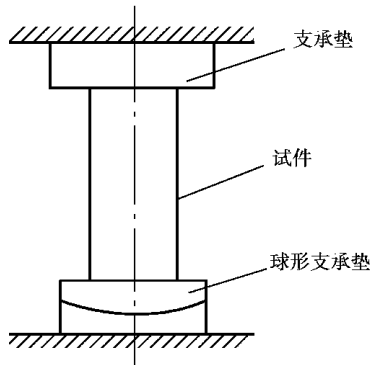


图 1.5 球形支承垫

实验时,可利用自动绘图器,绘出低碳钢、铸铁压缩曲线,如图 1.6(a)及图 1.6(b)所示。在低碳钢压缩曲线中,开始出现变形增长较快的非线性小段时,即达到了屈服载荷 P_s 。但是这时并不像拉伸那样有明显的屈服阶段。此后曲线继续上升(即载荷增长较快),这是因为塑性变形迅速增长,试样横截面面积也随之增大,而增大的面积能承受更大的载荷。因此,在压缩实验中测定 P_s 时要特别小心观察。在缓慢均匀加载下,测力指针等速转动,当材料发生屈服时,测力指针转动将减慢,这时对应的载荷即为屈服载荷 P_s 。由于指针转动速度的减慢不十分明显,故常要借助观察自动绘图器上绘出的压缩图来判断 P_s 到达的时刻。低碳钢试样最后可压成饼状而不破裂,所以无法测定最大载荷也就无法求出抗压强度。

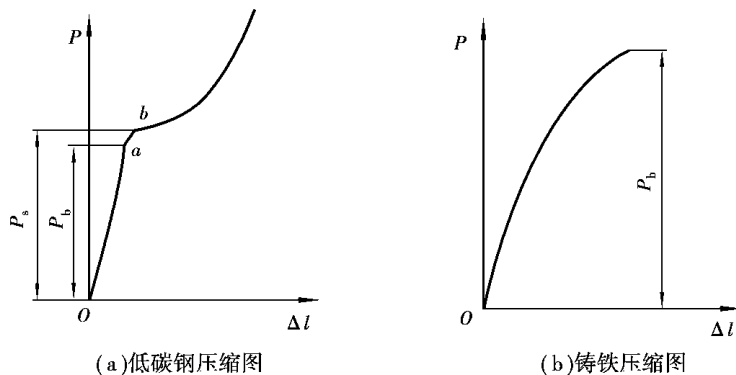


图 1.6 低碳钢和铸铁的压缩曲线

铸铁试样做压缩时,在达到最大载荷 P_b 前会出现较小的塑性变形后才发生破裂(但比铸铁拉伸时的变形大得多),此时测力指针迅速倒退,由从动指针可读出最大载荷 P_b 值。铸铁试样最后被压成鼓形,并在表面出现与试样轴线大约成 45° 的倾斜裂纹,以致破裂(破坏主要是由切应力引起的,在与轴线成 45° 的斜截面上的切应力最大)。

(5) 实验步骤

1) 低碳钢压缩实验步骤

① 试样准备:用游标卡尺测量试样的直径 d_0 ,并根据低碳钢的屈服强度估算出它能承受的载荷。

② 试验机准备:选择合适的测力表盘和相应的摆锤,调整指针对准零点;并调整自动绘

图器。

③安装试样 将低碳钢试样两端涂上润滑剂 ,然后准确地放在试样机球形支承垫的中心处。

④检查及试车 :试车时 ,快速上升试验机的下支承垫 ,使试样随之上升。当上支承垫将要接近试样时(注意不使二者接触受力) ,减慢下支承垫上升的速度 ,以避免急剧加载。

⑤缓慢均匀地加载 ,注意观察测力指针的转动情况 ,并记录下屈服载荷 P_s 。超过屈服阶段后 ,将试样压成鼓形即可停止。

2) 铸铁压缩实验步骤

①试样准备 :用游标卡尺测量试样的直径 d_0 ,并根据铸铁的抗压强度估算出它能承受的最大载荷。

②试验机准备 选择合适的测力表盘和相应的摆锤 ,调整指针对准零点 ;并调整自动绘图器。

③安装试样 将铸铁试样两端涂上润滑剂 ,然后准确地放在试样机球形支承垫的中心处。

④检查及试车 :试车时 ,快速上升试验机的下支承垫 ,使试样随之上升。当上支承垫将要接近试样时(注意不使二者接触受力) ,减慢下支承垫上升的速度 ,以避免急剧加载。

⑤缓慢均匀地加载 ,注意观察测力指针的转动情况 ,把最大载荷 P_b 记录下来。在做铸铁压缩实验时还要在试样周围加防护罩 ,避免试样破裂时 ,碎片飞出伤人。

(6) 实验结果的处理

1) 根据实验记录 ,计算出低碳钢的屈服强度 σ_s :

$$\sigma_s = P_s / A_0$$

2) 根据实验记录 ,计算出铸铁的抗压强度 σ_b :

$$\sigma_b = P_b / A_0$$

式中 A_0 ——实验前试样的横截面面积 $A_0 = \pi d_0^2 / 4$ 。

(7) 注意事项

1) 未经指导教师同意不得开动实验设备。

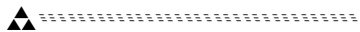
2) 严格遵守操作规程 ,操作者不得擅自离开。

3) 试样加载需缓慢均匀 ,保证测力指针匀速缓慢转动。

4) 实验时听见异声或发生任何故障 ,应立即停车。卸载时 ,按规定慢速均匀卸载。

思考题

1. 比较低碳钢在拉伸与压缩作用下的力学性能。
2. 比较铸铁在拉伸与压缩作用下的力学性能。
3. 低碳钢拉伸时有 P_b ,压缩时测不出 P_b ,为什么说它是拉压等强度材料?为什么说铸铁是拉压不等强度材料?
4. 根据铸铁压缩破坏的形状 ,分析其破坏的原因。



1.1.3 弹性模量的测定

(1) 实验目的

- 1) 在比例极限内,验证虎克定律;
- 2) 掌握低碳钢弹性模量 E 的测量方法;
- 3) 掌握机械式引伸仪的使用方法。

(2) 实验设备

- 1) ZDM—30T 万能材料试验机或 WE 型万能试验机;
- 2) QY—2 型球铰式引伸仪;
- 3) 游标卡尺。

(3) 实验内容

- 1) 测量低碳钢弹性模量 E ;
- 2) 学习机械式引伸仪的原理及使用方法;
- 3) 制订实验的加载方案。

(4) 实验原理

1) QY—2 型球铰式引伸仪介绍

在比例极限内,试样的变形量很小,需要用灵敏度和精确度较高的专门仪器才能测量出来。用来测量微小线变形的仪器称为引伸仪。为了精确地测定微小的线变形,在引伸仪的内部具有把变形进行放大的机构,其放大原理有杠杆放大、齿轮传动放大、光学杠杆放大及电学原理放大。

如果试样的实际变形(伸长量)为 Δl ,经过放大以后,在引伸仪的标距尺上所读得的读数为 N ,那么 N 与 Δl 之间的比值,称为引伸仪的放大倍数 K (一般都在 100 以上,最高可达到 3 000):

$$K = N/\Delta l \quad (1.6)$$

球铰式引伸仪主要由上标距块 4、下标距块 6 及千分表 2 三部分组成,如图 1.7 所示。上标距块 4 及下标距块 6 分别用螺钉 3 及 7 安装在试样上,并用球铰 5 连接。当试件标距 l_0 伸长 Δl 时,下标距块 6 绕球铰 5 点转动,而上标距块 4 几乎不发生转动,于是千分表 2 测出的距离为 $2\Delta l$,因此下标距块 6 的放大倍数为 2 倍,又因千分表的放大倍数为 1 000 倍,故此仪器总的放大倍数 $K=2\ 000$ 倍。

2) 弹性模量的测量

测定低碳钢的弹性模量时,应采用拉伸实验,低碳钢在比例极限内应服从虎克定律,其变形与载荷的关系式为:

$$\Delta l = \frac{Pl_0}{EA_0} \quad (1.7)$$

由此可得

$$E = \frac{Pl_0}{\Delta l A_0} \quad (1.8)$$

在试样上安装测量轴向伸长的球铰式引伸仪,如图 1.8 所示,对试样加载后,可以从引伸

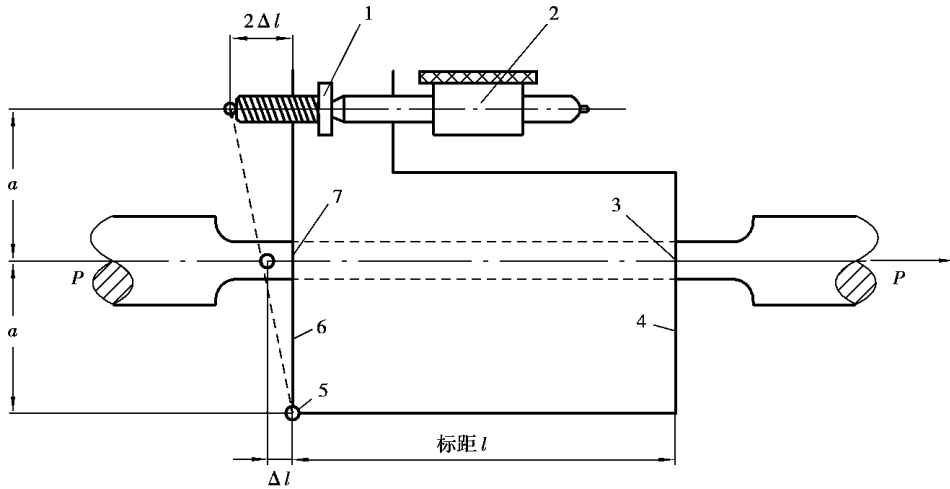


图 1.7 引伸仪原理简图

1—调零螺钉 2—千分表 3—螺钉 4—上标距块 5—球铰 6—下标距块 7—螺钉

仪测得试样在引伸仪标距内的轴向伸长量 Δl ,通过式(1.8)即可计算出低碳钢的弹性模量 E 。

为了消除测量中可能产生的误差和验证虎克定律,一般采用等增量加载法。所谓等增量加载法,就是把欲加的最终载荷分成若干等份,逐级加载来测量试样的变形。设试样的横截面积为 A_0 ,引伸仪标距为 l_0 ,各级载荷的增加量相同并等于 ΔP ,各级伸长增长量为 Δl_i ,则可改为:

$$E_i = \frac{\Delta P l_0}{\delta_i A_0} \quad (1.9)$$

式中 i ——加载级数($i=1, 2, 3, \dots$)。

设每级伸长量由引伸仪读得的数值为 N (刻度格数),每级读数的增加量为 ΔN , K 为引伸仪的放大倍数,则:

$$\delta_i = \Delta N_i / K \quad (1.10)$$

代入上式可得:

$$E_i = \frac{\Delta P l_0 K}{\Delta N_i A_0} \quad (1.11)$$

这就是用等增量加载法测弹性模量 E 的计算公式。

由实验可以发现,在各级载荷增量 ΔP 相等时,相应地由引伸仪测出的伸长量的增量 δ_i 也基本相等,这是因为载荷与伸长量成正比例的缘故。

由于实验开始时引伸仪机构间存在间隙,其刀刃(或紧定螺钉尖端)往往在试样标距刻线内有微小的滑动,从而影响读数的准确性,同时为了夹牢试样和消除试验机机构之间的空隙,必须加一定量的初载荷。按国家标准 GB/T 228—2002 中规定,初载荷应为已选定的测力表盘量程的 10% 以上,但不大于试验机最大负荷的 4%。

在实验前要制订加载方案。制订加载方案时根据上述要求,一般应考虑以下几点:

①由于在比例极限内进行实验,故最大应力值不能超过比例强度,低碳钢一般取屈服强度