

高 等 学 校 教 材

材料力学 实验与训练

邓宗白 主编

邓宗白 陶 阳 金 江 编

高等教育出版社



高等学校教材

材料力学实验与训练

Cailiao Lixue Shiyan yu Xunlian

邓宗白 主编

邓宗白 陶 阳 金 江 编

高等教育出版社·北京

内容简介

本书根据《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》中“材料力学课程教学基本要求(A类)”,结合新颁行的相关国家标准,总结参编学校多年来的材料力学实验课程教学改革经验及教学实际情况编写而成。主要包括:绪论、金属材料的力学性能及测试、应变电测法、主要实验仪器和设备、基本实验、综合性实验、分析思考与训练等。

本书可作为高等学校工科力学类、机械类、土木类等专业的材料力学实验课程教材,亦可作为材料力学实验独立设课的参考教材以及开展材料力学综合性、设计性实验和实验竞赛的指导用书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学实验与训练 / 邓宗白主编; 邓宗白, 陶阳, 金江编. --北京: 高等教育出版社, 2014. 7
ISBN 978-7-04-040012-0

I. ①材… II. ①邓… ②陶… ③金… III. ①材料力学-实验-高等学校-教材 IV. ①TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 128801 号

策划编辑 黄 强	责任编辑 周 婷	封面设计 王 洋	版式设计 余 杨
插图绘制 杜晓丹	责任校对 陈旭颖	责任印制 韩 刚	

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	廊坊市文峰档案印务有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	787mm×960mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	11.75	版 次	2014 年 7 月第 1 版
字 数	190 千字	印 次	2014 年 7 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	17.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 40012-00

前 言

本书根据《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》的“材料力学课程教学基本要求(A类)”中关于材料力学实验的有关要求,总结多年来实验课程教学和改革的经验,结合新颁行的金属材料力学性能的相关国家标准及参编学校实验教学的实际情况编写而成。

材料力学实验是材料力学课程体系的重要组成部分,是重要的实践性教学环节。它不仅有助于学生深入理解并掌握课程的基本理论,更重要的是能提高学生的动手能力、培养学生的创新精神。材料力学实验与工程实际密切相关,是解决很多工程问题的重要方法。无论材料的力学性能测试还是应变应力测试,其设备和方法都与工程实际中所用的相同,所以材料力学实验技能可以直接用于工程实际。学生通过材料力学实验可以提高其解决工程实际问题的能力。

本书的特色为:(1)贯彻了新国家标准。在金属材料力学性能测试方面,所述的基本术语、名词和测试方法,均以最新颁布的国家标准为依据。并根据新国标的相关规定阐述材料的性能曲线,以尝试改变材料力学教学中存在的材料力学性能的教学与新国标脱轨的现象。将教学与工程实际接轨。(2)强化应力应变测试技术。由于应变电测技术在工程中广泛应用,所以本着教学结合工程的宗旨,比较详细全面地介绍了应变电测法的原理及使用,帮助学生掌握实际工程中进行测试的初步知识和技能。(3)增强分析训练。本书精选汇集了一部分有关材料力学实验的概念题、综合分析题和历届(全国或江苏省)实验竞赛题,作为教学的拓展部分。使学生在巩固基本的基础上,增强训练,提高综合分析能力。

本书的第2章、第3章由南京航空航天大学邓宗白编写,第5章、第6章、第7章和4.5节部分内容及实验报告由扬州大学陶阳编写,第1章、第4章由南通大学金江、曹小建编写。全书由邓宗白统稿。

本书在编写过程中,参阅了众多国内外公开出版和网上发行的相关资料、历届全国和江苏省大学生基础力学实验竞赛的试卷及江苏省高校关于江苏省大学生基础力学实验竞赛的交流材料,特此说明,并向原作者表示衷心感谢。

限于编者水平,疏漏、遗误等不足之处在所难免,恳请不吝赐教。

编 者
2014年2月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学实验的性质和任务	1
1.2 材料力学实验的内容与要求	1
1.3 材料力学实验的特点与方法	2
第 2 章 金属材料的力学性能及测试	3
2.1 金属材料拉伸时的力学性能	3
2.1.1 试样形状与尺寸	3
2.1.2 金属材料的拉伸曲线	4
2.1.3 试验环境、设备和要求	9
2.1.4 材料的力学性能	9
2.1.5 强度性能的测定	11
2.1.6 塑性性能的测定	15
2.1.7 弹性性能的测定	17
2.1.8 试验结果数值的修约	20
2.2 金属材料压缩时的力学性能	20
2.2.1 试样形状与尺寸	20
2.2.2 金属材料的压缩曲线	21
2.2.3 试验环境、设备和条件	22
2.2.4 压缩强度性能的测定	23
2.2.5 压缩弹性模量 E_c 的测定	25
2.2.6 性能测定结果数值的修约	26
2.3 金属材料扭转时的力学性能	26
2.3.1 试样形状与尺寸	26
2.3.2 金属材料的扭转曲线	27
2.3.3 试验条件和设备	29
2.3.4 扭转力学性能的测定	29
第 3 章 应变电测法	32

3.1	概述	32
3.2	电阻应变片的原理及使用	33
3.2.1	电阻应变片的工作原理	33
3.2.2	电阻应变片的结构	34
3.2.3	电阻应变片的分类	35
3.2.4	电阻应变片的主要工作特性	38
3.3	测量电桥的原理及特性	40
3.3.1	测量电桥的工作原理与特性	40
3.3.2	温度的影响与补偿	42
3.4	电阻应变片在电桥中的接线方法	43
3.4.1	半桥测量接线法	43
3.4.2	全桥测量接线法	44
3.4.3	串联和并联测量接线法	45
3.5	应力应变测量	47
3.5.1	已知主应力方向的单向应力状态	47
3.5.2	已知主应力方向的二向应力状态	47
3.5.3	未知主应力方向的二向应力状态	48
3.6	测量电桥的应用	52
3.6.1	半桥接线法的应用	52
3.6.2	全桥接线法的应用	55
3.6.3	串联接线法的应用	58
第 4 章	主要实验仪器和设备	60
4.1	电子位移引伸计	60
4.2	电子万能试验机	60
4.3	液压万能试验机	64
4.4	扭转试验机	67
4.5	静态电阻应变仪	68
4.5.1	DH3818 型静态应变测试仪	69
4.5.2	TS3861 静态电阻应变仪	76
第 5 章	基本实验	78
5.1	金属材料拉伸实验	78
5.2	金属材料压缩实验	81
5.3	材料弹性常数 E 和 μ 测定实验	83
5.4	金属材料扭转实验	85

5.5 梁弯曲正应力测试实验	86
5.6 弯扭组合变形的主应力测试实验	88
第6章 综合性实验	92
6.1 压杆稳定实验	92
6.2 应变测量组桥实验	96
6.3 叠梁、复合梁应力测试实验	98
6.4 电阻应变片的粘贴	100
6.5 刚架综合实验	102
第7章 分析思考与训练	107
7.1 基本概念题	107
7.1.1 选择题	107
7.1.2 填空题	110
7.1.3 简答题	112
7.2 综合分析题	115
7.3 历届大学生实验竞赛综合实验任务书	125
参考文献	130
分析思考与训练参考答案	131
材料力学实验报告	

第 1 章

绪 论

1.1 材料力学实验的性质和任务

材料力学实验是材料力学课程的重要组成部分之一。作为课程的实践性教学环节,它具有独特的不可替代的作用,这体现在两个方面:

(1) 材料力学理论是建立在材料力学实验的基础上,只有通过实验学生才能深刻理解材料力学理论。材料力学的先驱是达芬奇(L. Da Vinci),他最先用实验来研究结构材料强度。材料力学的奠基人是伽利略(G. Galilei),他用实验方法研究了杆件弯曲现象,得出了正确的结论,他也是近代实验科学的先驱者。胡克(R. Hooke)从实验中总结出材料受力和变形成比例的著名的胡克定律。此后材料力学实验随着材料力学学科体系的发展受到各国重视,材料力学实验室也逐步建立起来。同时材料力学实验技术的进步也为材料力学理论的发展奠定了坚实的基础。

(2) 材料力学实验所测定的材料的力学性能是机械、建筑等工程构件设计的基本依据。通过材料力学实验,学生可以掌握实际工程中应变测试技术的初步知识和技能,这是他们以后成为工程技术人员所需要的技能之一。

材料力学的研究对象是可变形固体,故材料力学实验的基本任务是分析在外力作用下可变形固体的应力和应变(或外力和变形)之间的相互关系及特征参数。

1.2 材料力学实验的内容与要求

材料力学实验主要包括以下两方面内容:

1. 材料的力学性能测定

为了对构件的强度、刚度和稳定性进行分析,就必须要了解构件材料的力学性能。材料的力学性能主要是通过实验的方法获得,即按照国家标准规定的方

法,通过拉伸、压缩、扭转等实验,测定材料的强度、弹性、塑性等力学性能。力学性能是构件设计的基本依据。

2. 实验应力分析和应变电测技术

(1) 验证材料力学理论的实验应力分析

材料力学的一些理论和公式(如弯曲正应力公式、稳定的临界荷载等)是在假设和简化的基础上推导出的。这些假设和简化是否与实际相符,可以在实验中,通过实验应力分析和应变电测技术对通过假设和简化推导的公式加以验证,确定公式的使用范围和误差。另外对于一些近似分析,其精度也必须通过实验验证后才能在工程中使用。本书中介绍的梁弯曲正应力测试实验、弯扭组合变形的正应力测试实验、压杆稳定实验等就属于这类实验。

(2) 复杂应力状态的实验分析

工程中许多结构构件的受力状态复杂,很难用力学理论进行分析和计算,因此通常是使用应变电测技术和实验应力分析方法确定构件的实际应力分布情况。另外即使用有限单元法等现代数值方法,要经过大量简化,其计算结果的精确性亦必须通过实验进行验证。本书介绍的应变电测方法就用于这类复杂应力状态的实验。实验应力分析已发展为一门独立学科,材料力学实验只涉及其初步知识和技术。

1.3 材料力学实验的特点与方法

材料力学实验与其他学科实验相比,具有以下特点:

1. 标准化

材料的力学性能,如屈服强度、抗拉强度、弹性模量等,与试样的形状、尺寸、表面粗糙度、环境及实验方法有关,美国、欧洲、日本及中国等都制定了相应的标准,以使实验结果具有可比性。其中国家标准(GB)已与国际标准基本接轨。

2. 实用性

材料力学实验与工程实际密切相关,无论材料的力学性能测试还是应变应力测试,其设备和方法都与工程实际中所用相同,所以材料力学实验技能可以直接用于工程实际。如建筑工程现场的钢筋力学性能测试、钢筋混凝土梁柱的应力测试、钢结构构件的应力测试等都用到材料力学实验技能。

3. 组织性

材料力学实验由于设备复杂、测试精度高、读取数据多,单人完成比较困难,一般由两人以上组成实验小组,小组成员分工合作、协调操作,这样可以较好地完成材料力学实验。

第 2 章

金属材料的力学性能及测试

材料在外力作用下表现出的变形和破坏等方面的特征,称为材料的力学性能(亦称机械性能)。主要是指材料的宏观性能,如弹性性能、塑性性能和强度等。为了使测试的力学性能具有通用性和可比性(即能互相对照和引用),通常都是根据国家标准(简称国标),对不同材料制成的标准试样,在材料试验机上分别进行拉伸、压缩和扭转试验而测到的。

2.1 金属材料拉伸时的力学性能

拉伸试验是研究材料力学性能的基本试验,测定的相关指标可用于质量检验、材质评定和进行强度、刚度计算,具有重要的工程意义。国标 GB/T 228.1—2010《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》对试验做了规定。

2.1.1 试样形状与尺寸

材料应加工成标准拉伸试样,由平行长度(工作部分)、过渡部分和夹持部分组成(图 2.1)。国标 GB/T 228.1—2010 规定拉伸试样分为比例试样和非比例试样。比例试样的原始标距 L_0 与横截面原始面积 S_0 应满足:

$$L_0 = k \sqrt{S_0} \quad (2.1)$$

当 k 取值 5.56 时称为短试样, k 取值 11.3 时称为长试样。国际上使用的比例系数 k 的值为 5.56,且原始标距 L_0 应不小于 15 mm。

对于圆形横截面试样: $L_0 = 5 d_0$ (短试样) 和 $L_0 = 10 d_0$ (长试样),其中 d_0 为圆形横截面的直径。

机加工试样的尺寸规定,试样的平行长度 L_c :

对于圆形横截面试样: $L_c \geq L_0 + d_0/2$,仲裁试验时, $L_c \geq L_0 + 2d_0$,除非材料尺寸不够。其他形状试样: $L_c \geq L_0 + 1.5 \sqrt{S_0}$,仲裁试验时, $L_c \geq L_0 + 2 \sqrt{S_0}$,除非材料尺寸不够。

机加工试样的形状规定,平行长度和夹持头部之间应以过渡弧连接,过渡弧半径 r 应为:圆形横截面试样不小于 $0.75d_0$,其他形状试样不小于 12 mm。

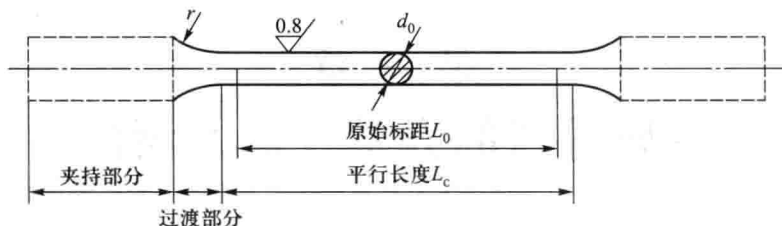


图 2.1 标准试样

2.1.2 金属材料的拉伸曲线

将试样装夹在试验机的夹头上进行常温静态力拉伸试验(图 2.2a),通过传感器可把试样所受的拉力 F 和试样原始标距的伸长量 Δl 实时地绘出一条 $F-\Delta l$ 曲线,称为拉伸曲线(图 2.2b)。

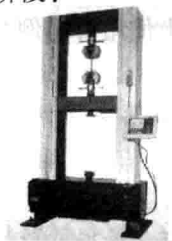
拉伸曲线与试样的几何尺寸有关,为了消除试样几何尺寸的影响,将拉力 F 除以横截面的原始面积 S_0 即为应力 $\sigma = \frac{F}{S_0}$;将伸长量 Δl 除以试样的原始标距 L_0

即为应变 $\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0}$;由此得出应力-应变曲线即 $\sigma-\varepsilon$ 曲线(图 2.2c)。在国标 GB/T 228.1—2010 中使用的是应力-延伸率曲线,该曲线的横坐标为引伸计标距 L_e 的增量与标距之比的百分率,即延伸率。应力-应变曲线(或应力-延伸率曲线)是确定材料力学性能指标的重要依据。

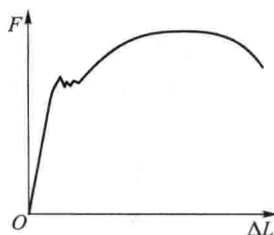
1. 低碳钢的拉伸

(1) 应力-应变曲线(应力-延伸率曲线)

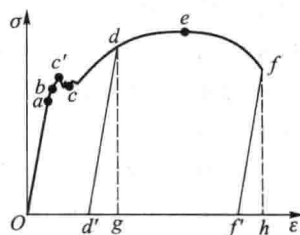
低碳钢是一种典型的塑性材料,其应力-应变曲线(图 2.2c)可分为四个阶段:



(a) 电子万能试验机



(b) 低碳钢的拉伸曲线



(c) 低碳钢的应力-应变曲线

图 2.2 拉伸试验

弹性阶段:在这个阶段,试样受力 F 作用后,产生伸长变形,但当力卸去后变形全部消失,曲线回到 O 点。这种当作用力除去后能完全消失的变形,称为弹性变形。

在 Oa 段呈直线,弹性变形与作用力之间服从线性规律,这称为线弹性变形;此阶段为线弹性变形阶段。 a 点的应力称为比例极限。在 Oa 段,根据胡克定律, σ 与 ε 成正比,即

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.2)$$

式中比例系数 E 称为弹性模量。

在 ab 段, σ 与 ε 不再成比例关系, ab 为一小段曲线,但变形仍是弹性变形,仍为弹性变形阶段。 b 点的应力称为弹性极限。

当超过 b 点后卸载,试样的弹性变形部分随之消失,还有一部分变形不能消失而残留在构件内部,故称之为塑性变形或残余变形。所以,过了弹性阶段,试样的变形包含弹性变形和塑性变形两部分。

由于在实际试验中,理想的直线段以及比例极限、弹性极限往往难以确定。国标 GB/T 228.1—2010 规定,在试验中用产生规定塑性延伸率 e_p (塑性应变) 时的应力作为弹性阶段的极限,称为规定塑性延伸强度,用 R_p 表示,见图 2.3。使用时,规定塑性延伸率的百分率值用下标表示,例如 $R_{p0.01}$ 表示塑性延伸率为 0.01% 时的应力。

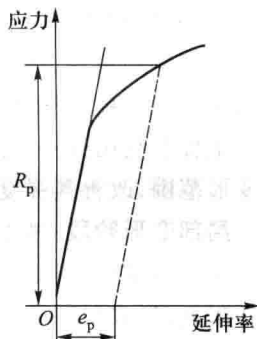


图 2.3 规定塑性延伸强度

屈服阶段:过了弹性阶段,随着力的增大,突然间材料似乎暂时失去了抵抗变形的能力,力先是突然下降,然后在小范围内上下波动,而试样的伸长变形却显著增加。这一现象称为屈服。

屈服现象的出现是因为在这个过程中,晶格产生畸变,当加载到一定程度后晶粒会沿最大切应力作用面(45° 的截面)发生相对滑移。若将试样表面抛光,会发现此时试样表面有与轴线大致成 45° 夹角的条纹(图 2.4),这些条纹称为滑移线。滑移后形成了新的晶格,原来的原子间伸长消失,晶粒内部卸载。然后继续加载,再产生新的滑移和再一次的卸载,就这样反复经历加载、滑移、卸载、再加载的过程。

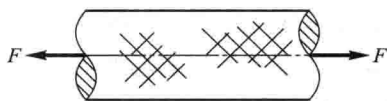


图 2.4 滑移线

国标 GB/T 228.1—2010 规定,试样发生屈服而力首次下降前的最大应力(c' 点处的应力)为上屈服强度,用 R_{eH} 表示。在屈服期间,不计初始瞬时效应时的最小应力(最低点 c 点处的应力)为下屈服强度,用 R_{eL} 表示。

由于下屈服强度比较稳定,所以在强度计算中一般以下屈服强度为依据。

材料在屈服阶段会产生明显的塑性变形,这将影响构件的正常工作,工程上将这个现象称为屈服失效。

强化阶段:屈服阶段以后,材料又恢复了抵抗变形的能力,要使试样继续变形必须增加作用力,这种现象称为材料的强化。此时,力与变形之间已不成正比,具有非线性的变形特征。

若在强化阶段的某一 d 点将力卸掉,曲线会沿着与原弹性阶段相平行的斜直线 dd' 回到 d' 点,表明弹性变形部分 $d'g$,即弹性应变被恢复,只残留塑性变形部分 Od' ,即塑性应变。这被称为卸载定律。若重新加载,曲线仍会沿着卸载线上升,与开始卸力点 d 汇合,然后继续上升直至作用力最大的 e 点。这说明,材料经卸载再加载后,弹性变形阶段升高了,塑性变形的范围缩小了,由 Of 降低至 $d'f'$,这一现象称为材料的冷作硬化。

工程上利用这一特点进行冷加工,例如冷轧钢板或冷拔钢丝,提高产品的弹性变形范围,改善其强度,但降低了抵抗塑性变形的能力。

局部变形阶段:过了最大力 F_m 作用点(最高点 e)之后,会发现试样某处横向尺寸急剧缩小,该处表面温度升高,形成颈缩现象。颈缩时,变形主要集中在该处附近,形成局部变形(图 2.5)。由于受力面积迅速减少,虽然外力随之降低,但该截面上的应力迅速增大,最后在颈缩处被拉断。

国标 GB/T 228.1—2010 规定,最大力 F_m 与原始面积 S_0 之比为抗拉强度,用 R_m 表示。

(2) 低碳钢试样拉伸的断口分析

低碳钢试样的断口呈杯状,四周一圈为与轴线成 45° 倾角的斜截面(图 2.6),该截面上切应力最大,表明周边是剪切破坏。中心部分呈粗糙平面,这是因为颈缩变形使得中心部分为三向拉伸状态,这个区域是拉伸断裂。一般来说,断口中心的粗糙平面越小,材料的塑性越好。

(3) 真实应力-应变曲线

在图 2.2c 中,由于纵坐标应力 σ 与试样横截面的原始面积 S_0 有关,而试样在超过屈服阶段以后,横截面面积显著缩小,所以 σ 不能表示横截面上的真实应力,是名义应力。横坐标 ε 与试样的原始标距 L_0 有关,在超过屈服阶段以后,试样标距的长度显著增加, ε 也不能表示试样的真实应变,为名义应变。因此,实际上图 2.2c 不是材料真实的应力-应变曲线,是名义应力-应变曲线。

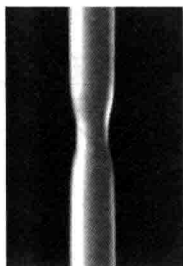


图 2.5 颈缩现象



图 2.6 低碳钢拉伸破坏的断口

材料真实的应力-应变曲线见图 2.7, 反映出试样横截面上的应力实际上是一直在增加, 直至试样断裂。

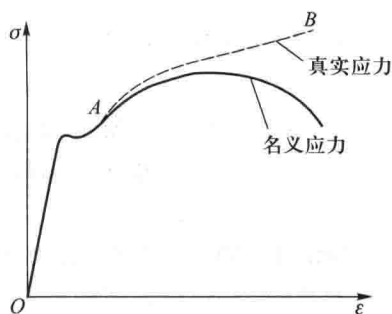


图 2.7 真实应力-应变曲线

2. 其他塑性材料的拉伸

工程上常用的塑性材料, 除低碳钢外, 还有中碳钢、某些高碳钢、合金钢、铝合金、青铜和黄铜等。它们拉伸的应力-应变曲线的特点是:

(1) 不一定存在明显的弹性阶段、屈服阶段、强化阶段和局部变形阶段等四个阶段, 一般只有其中的部分阶段。由图 2.8a 可见, 除低碳钢外, 其他塑性材料都没有明显的屈服平台阶段。

(2) 在各类碳钢中, 通常含碳量愈高, 其屈服点和抗拉强度等强度指标也愈高, 但其伸长率等塑性指标将降低。例如合金钢、工具钢、弹簧钢等高强度钢, 就是屈服点较高而塑性性质较差。

对于无明显屈服平台的塑性材料, 通常将卸载后残留某一规定的应变时的应力作为强度计算的依据, 一般是残余应变为 0.2% 时的应力。

国标 GB/T 228.1—2010 规定, 卸除应力后残余延伸率等于规定的原始标距 L_0 或引伸计标距 L_e 百分率时的应力为规定残余延伸强度, 用 R_t 表示, 见图 2.8b。

使用时,规定残余延伸率的百分率值用下标表示,例如 $R_{0.2}$ 表示残余延伸率为 0.2% 时的应力。

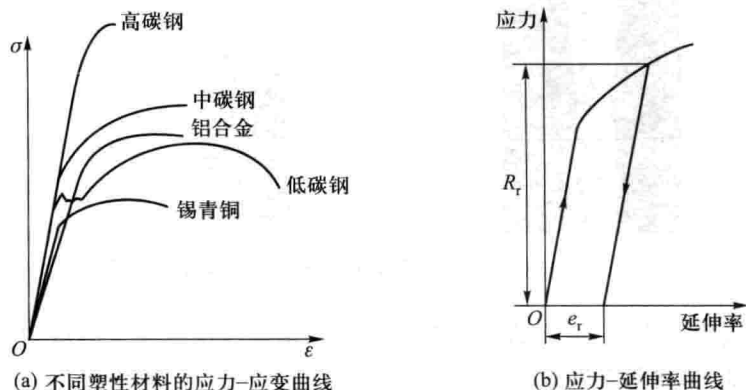


图 2.8 其他塑性材料的拉伸

3. 铸铁的拉伸

铸铁拉伸时的应力-应变曲线,如图 2.9a 所示,没有明显的直线段,也没有屈服平台和颈缩现象,拉断前的变形(应变)很小,断后的伸长率也很小,是典型的脆性材料。

虽然铸铁的应力-应变曲线没有明显的直线段,仍可近似认为,在低应力段服从胡克定律,其弹性模量常用应力-应变曲线初始弹性范围内的弦线斜率或切线斜率来表示,分别称为弦线模量或切线模量,参见图 2.9a。

铸铁拉伸时无屈服阶段和颈缩现象,抗拉强度是衡量其强度的唯一强度指标。由于铸铁等脆性材料的抗拉强度较低,一般不宜作为抗拉构件。

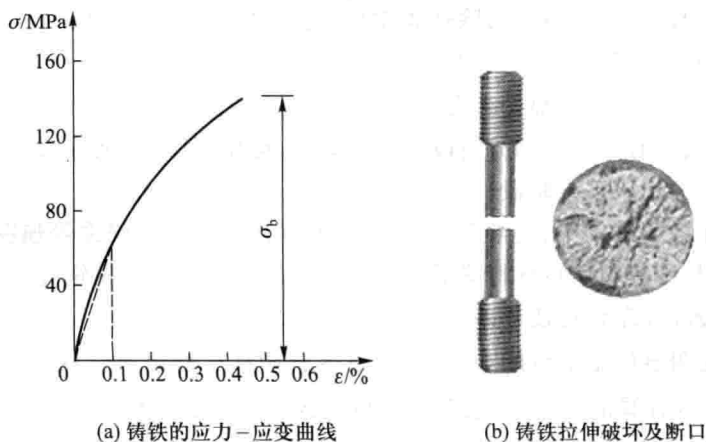


图 2.9 铸铁拉伸

铸铁是脆性材料,拉伸破坏的断口沿横截面方向与试样的轴线垂直,断面平齐(图 2.9b),是典型的脆性拉伸破坏。

2.1.3 试验环境、设备和要求

国标 GB/T 228.1—2010 对试验环境、试验设备和试验速率的要求如下:

(1) 试验一般在室温 $10 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 范围内进行。对温度要求严格的试验,温度应为 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 试验机的测力系统应按照 GB/T 16825.1 进行校准,并且其准确度应为 1 级或优于 1 级。

(3) 引伸计的准确度级别应符合 GB/T 12160 的要求。测定上屈服强度、下屈服强度、规定塑性延伸强度、规定总延伸强度、规定残余延伸强度以及屈服点延伸率,应使用不劣于 1 级准确度的引伸计;测定其他具有较大延伸率的性能,例如抗拉强度、最大力总延伸率和最大力塑性延伸率、断裂总延伸率以及断后伸长率,应使用不劣于 2 级准确度的引伸计。

(4) 试验速率的控制方法有三种。第一种方法 A 为应变速率控制,是为了减小测定应变速率敏感参数(性能)时的试验速率变化和试验结果的测量不确定度。第二种方法 B 为应力速率控制,试验速率取决于材料特性并应符合表 2.1 要求。第三种方法 C 为横梁分离速率控制,如试验机无能力测量或控制应变速率,应采用等效于表 2.1 规定的应力速率的试验机横梁分离速率。

(5) 利用计算机控制的拉伸试验机进行数据采集和力学性能测定,应满足 GB/T 22066 和 GB/T 228.1—2010 附录 A 的相关要求。

表 2.1 应力速率

材料的弹性模量 E/GPa	应力速率 $/(\text{MPa/s})$	
	最 小	最 大
<150	2	20
≥ 150	6	60

2.1.4 材料的力学性能

国标 GB/T 228.1—2010 规定,所有屈服强度、规定强度和抗拉强度均用符号 R 表示;各种伸长率和延伸率均用符号 A 表示,断面收缩率用符号 Z 表示,详见表 2.2。