

面向

21

世纪材料科学与工程高等
教育改革试用教材

所院校材料科学与工程学科
公共专业课系列共建教材

材料性能学

王从曾 主编
刘会亭 主审

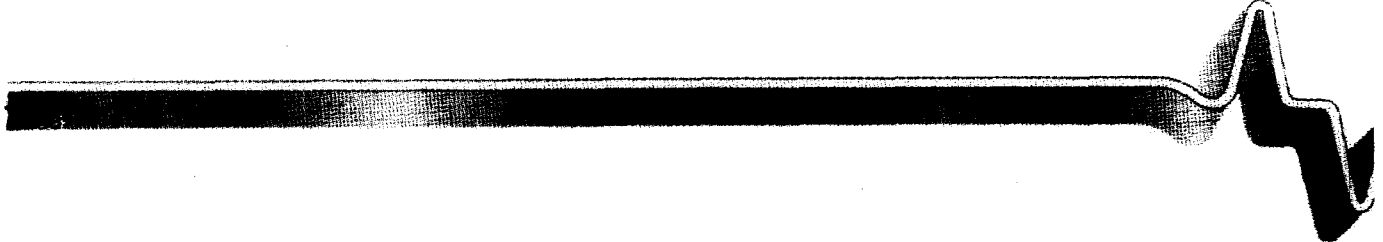


北京工业大学出版社



数据加载失败，请稍后重试！

面向 **21** 世纪材料科学与工程高等教育改革试用教材
所院校材料科学与工程学科公共专业课系列共建教材



材 料 性 能 学

王从曾 主编

孙会亭 主审

北京工业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

材料性能学/王从曾主编. —北京: 北京工业大学出版社, 2001. 5

面向 21 世纪材料科学与工程高等教育改革试用教材.
21 所院校材料科学与工程学科公共专业课系列共建教材
ISBN 7-5639-0933-8

I. 材... II. 王... III. 工程材料-高等学校-教材
IV. TB302

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 028995 号

材 料 性 能 学

王从曾 主编
刘会亭 主审

*

北京工业大学出版社出版发行
邮编 100022 电话 67392308
各地新华书店经销
徐水宏远印刷厂印刷

*

2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷
787 mm×1 092 mm 16 开本 19.75 印张 487 千字
印数: 1~3 000 册
ISBN 7-5639-0933-8/G·510
定价: 26.00 元

内 容 提 要

本书系全国 21 所院校面向 21 世纪材料科学与工程学科高等教育改革, 共建学科公共专业课系列教材之一。

本书内容界定在“材料科学与工程”一级学科范围, 是将改革前分属不同系(类)的各二级学科课程内容(包括“金属材料力学性能”、“金属物理性能分析”、“无机材料物理性能”、“高分子材料力学性能”、“金属腐蚀与防护”等)及近年来一些有关材料性能方面的研究成果进行综合优化而形成的系统性教学用书。

全书共分 14 章, 第一~七章为力学性能, 介绍材料在静载条件下的力学性能、冲击韧性、断裂韧性、疲劳性能、磨损性能, 以及高温力学性能等; 第八~十二章为物理性能, 介绍材料的热学性能、磁学性能、电学性能、光学性能、压电及铁电性能等; 第十三、十四章为材料的腐蚀及老化性能。全书突出各种性能的基本概念、物理(化学)本质, 影响材料性能的因素及性能指标的测试原理与工程应用, 还注意到不同材料的共性与个性。本书涉及知识面宽, 信息量大, 基础性强, 在叙述方面, 深入浅出, 清晰易懂。在每一章末还附有思考题与习题及参考文献, 便于巩固提高及进一步深入学习有关内容。

本书可供材料科学与工程一级学科专业或二级学科专业公共专业课教学使用, 也可供研究生及有关工程技术人员、企业管理人员阅读参考。

出版说明

为适应面向 21 世纪材料科学与工程高等教育改革的需要, 全国 21 所高等院校在“材料教育改革交流研讨会”上就共建材料科学与工程学科公共专业课 (7 门) 系列教材达成共识, 成立了由 9 所院校组成的“共建教材编写协作组”负责本系列教材的编写组织工作。系列教材的编写得到各院校相关领导与教师的重视, 得到北京工业大学教材建设基金的支持, 并被列入北京市教委教育科研项目。

本系列教材内容界定在“材料科学与工程”一级学科范围内, 试图成为材料科学与工程类二级学科专业 (教育部新的学科专业目录) 或一级学科专业 (材料科学与工程) 公共专业课 (本科) 教材或主要教学参考书。

本系列教材包括如下 7 种, 将由北京工业大学出版社陆续出版:

材料科学概论

材料科学基础

材料工程基础

材料性能学

材料现代分析方法

材料工程测试技术

计算机在材料科学中的应用

材料科学与工程学科公共专业课系列教材共建单位

北京工业大学 太原理工大学 上海大学 内蒙古工业大学 福州大学 山东工业大学 河北工业大学 青岛大学 天津理工学院 (以上单位组成“共建教材编写协作组”) 辽宁工学院 广东工业大学 山东建材工业学院 山东建筑工程学院 山东轻工业学院 四川工业学院 吉林工学院 北京联大机械工程学院 沈阳工业学院 河北理工学院 南昌大学 贵州工业大学

前 言

(本书编写说明及使用建议)

本书为面向 21 世纪的材料科学与工程高等教育改革而作，试图成为高等院校材料科学与工程类专业公共课“材料性能学”的教材或主要教学参考书。

近年来材料科学与工程学科的发展非常迅速。为了适应材料学科体系的形成及对材料类专业人才需求的变化，许多院校都将原来分属不同系别的相关材料专业进行整合重组，普遍成立了材料科学与工程学院，在教学内容及教学体系上进行了大幅度改革。教育部也作出有关规定，提出指导性的材料类专业目录。在以拓宽专业面，加强基础理论知识教育，培养高素质人才为目标的人才培养模式的指导下，以材料科学与工程一级学科进行专业教育已成为一种发展趋势。原先各材料类专业开设的有关材料性能方面的课程往往只局限于某一类材料，在这种趋势下，课程内容及相关教材已难以适应新的需求。加之专业面拓宽以后，理论课教学学时并未增加，反而有相应缩减的趋势。而材料性能又是构成材料四要素的要素之一，是材料类专业的必修课程。因此编写一本适应新形势需要的综合性《材料性能学》已成为当务之急。全国 21 所高等院校在“材料教育改革交流研讨会”上就共建材料科学与工程学科公共专业课系列教材达成共识（见“出版说明”），并讨论制定了相应的教材编写大纲。本书的编写就是在上述指导思想及 21 所院校审定的教材编写大纲的指导下进行的。

材料性能学属于材料科学与工程一级学科主干专业课。其任务是使学生在学完“材料科学概论”、“材料科学基础”等有关课程后，通过学习“材料性能学”，并与材料工程理论及实践相结合，进一步掌握材料各种主要性能的基本概念、物理本质、变化规律以及性能指标的工程意义，了解影响材料性能的主要因素及材料性能与其化学成分、组织结构之间的关系，基本掌握改善或提高材料性能指标、充分发挥材料性能潜力的主要途径，以及材料或机件失效的基本分析方法，同时对材料性能测试原理、方法及相关仪器设备有所了解，以培养学生具有合理选材用材、开发新型材料的必要的基础知识和基本技能。

为达到上述目的，本书的编写力求有较广的知识覆盖面、足够的信息量和适当的理论深度。在满足教学要求的基础上，给学生提供必要的自学素材，为学生毕业后在专业岗位上的再学习打好应有的基础。因此在内容编排方面，把过去分散在不同专业、不同课程中的有关材料性能的内容，如金属材料力学性能、金属物理性能分析、无机材料物理性能、高分子材料力学性能、材料的腐蚀与老化等，进行综合优化，形成系统理论。以“性能的基本概念—物理本质—影响因素—性能指标的工程意义—指标的测试与评价及应用”为主线贯穿始终，使学生对材料性能知识有一个完整的了解，以便达到举一反三、触类旁通的效果。

本书内容共分十四章。第一~七章为力学性能部分，介绍材料在静载下的力学性能（包括弹性、塑性、强度、硬度、断裂等）、冲击韧性、断裂韧性、疲劳性能、磨损性能及高温力学性能等。论述以金属材料为主，兼顾陶瓷及高分子材料的特殊性能。第八~十二章为材

料的物理性能,介绍材料的热学、磁学、电学、光学及压电与铁电性能.论述以金属和陶瓷材料为主,兼顾高分子材料的特殊性能.第十三、十四章为金属材料的腐蚀性能及高分子材料的老化与稳定性能,其他化学性能则因篇幅所限未予涉及.

因本书内容界定在“材料科学与工程”一级学科范围,因此本书可作为材料科学与工程类二级学科专业(教育部新的学科专业目录)或一级学科专业公共课“材料性能学”的教材或主要教学参考书.由于教育改革中各校专业设置不尽相同,基础与培养目标各具特色,因而教学要求与学时安排也不尽相同,因此选用本书时可灵活选择讲授内容.本书如果能与本系列其他教材一起使用则效果更好.

本书为全国21所院校材料科学与工程学科公共专业课系列共建教材之一,由北京工业大学、太原理工大学、福州大学、天津理工学院、山东轻工业学院等校相关教师合作编写,各章编者(按章节顺序)分别为:王从曾(北京工业大学.第一、十三、十四章);陶小克(天津理工学院.第二、三章);贾虎生(太原理工大学.第四、七章);张琼(福州大学.第五、六章);俞建长(福州大学.第八章);周禾丰(太原理工大学.第九、十章);陈玉清(山东轻工业学院.第十一章);李强(福州大学.第十二章);卢荣玲(北京工业大学.第十三、十四章).全书由王从曾教授主编,由刘会亭教授(太原理工大学)主审.

作者在编写本书时参考和引用了一些学者的书籍资料,研究生任志远、刘琼为本书稿件的整理、校对、打印、制图等做了大量工作,在此一并致以谢意.

由于编者学识水平所限,书中疏漏和欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正.

编 者

目 录

前言 (本书编写说明及使用建议)	(I)
第一章 材料单向静拉伸的力学性能	(1)
第一节 力—伸长曲线和应力—应变曲线	(1)
一、力—伸长曲线	(1)
二、应力—应变曲线	(2)
第二节 弹性变形及其性能指标	(3)
一、弹性变形的本质	(3)
二、弹性模数	(4)
三、影响弹性模数的因素	(5)
四、比例极限与弹性极限	(7)
五、弹性比功	(8)
第三节 非理想弹性与内耗	(9)
一、滞弹性	(9)
二、粘弹性	(10)
三、伪弹性	(11)
四、包申格效应	(11)
五、内耗	(12)
第四节 塑性变形及其性能指标	(14)
一、塑性变形机理	(14)
二、屈服现象与屈服强度	(16)
三、影响金属材料屈服强度的因素	(18)
四、应变硬化	(21)
五、抗拉强度与缩颈条件	(22)
六、塑性与塑性指标	(23)
七、超塑性	(24)
第五节 断裂	(25)
一、断裂的类型及断口特征	(25)
二、裂纹形核的位错模型	(30)
三、断裂强度	(32)
四、真实断裂强度与静力韧度	(35)
参考文献	(36)
思考题与习题	(36)
第二章 材料在其他静载下的力学性能	(38)
第一节 应力状态软性系数	(38)

第二节 扭转、弯曲与压缩的力学性能	(39)
一、扭转及其性能指标	(39)
二、弯曲及其性能指标	(41)
三、压缩及其性能指标	(42)
第三节 缺口试样静载力学性能	(43)
一、缺口处的应力分布特点及缺口效应	(43)
二、缺口试样的静拉伸及静弯曲性能	(45)
三、材料缺口敏感度及其影响因素	(47)
第四节 硬度	(48)
一、硬度试验的意义	(48)
二、硬度试验方法	(48)
三、硬度与其他力学性能的关系	(53)
参考文献	(54)
思考题与习题	(55)
第三章 材料的冲击韧性及低温脆性	(56)
第一节 冲击弯曲试验与冲击韧性	(56)
一、冲击弯曲试验	(56)
二、冲击韧性及其工程意义	(57)
三、冲击脆化效应	(59)
第二节 低温脆性	(60)
一、系列冲击实验与低温脆性	(60)
二、韧脆转化温度及其评价方法	(61)
三、影响材料低温脆性的因素	(62)
参考文献	(64)
思考题与习题	(64)
第四章 材料的断裂韧性	(65)
第一节 线弹性条件下的断裂韧性	(65)
一、裂纹扩展的基本方式	(66)
二、裂纹尖端的应力场及应力场强度因子 K_I	(66)
三、断裂韧度 K_{Ic} 和断裂 K 数据	(67)
四、裂纹尖端塑性区及 K_I 的修正	(68)
五、裂纹扩展能量释放率 G_I	(70)
六、断裂韧度 G_{Ic} 和断裂 G 判据	(71)
第二节 弹塑性条件下的断裂韧性	(71)
一、 J 积分的概念	(71)
二、 J 积分的能量率表达式	(72)
三、断裂韧度 J_{Ic} 及断裂 J 判据	(73)
四、裂纹尖端张开位移 (COD) 的概念	(74)
五、弹塑性条件下的 COD 表达式	(74)
第三节 影响材料断裂韧度的因素	(75)
一、化学成分、组织结构对断裂韧度的影响	(75)

二、特殊改性处理对断裂韧度的影响	(77)
三、外界因素对断裂韧度的影响	(77)
四、断裂韧度与强度、塑性和冲击韧度的关系	(78)
第四节 断裂韧度在工程中的应用	(79)
一、材料选择	(80)
二、安全校核	(81)
三、失效分析	(81)
四、评价材料脆性	(82)
五、材料开发	(83)
参考文献	(83)
思考题与习题	(84)
附表：几种裂纹的 K_I 表达式	(84)
第五章 材料的疲劳性能	(86)
第一节 疲劳破坏的一般规律	(86)
一、疲劳破坏的变动应力	(86)
二、疲劳破坏的概念和特点	(87)
三、疲劳断口的宏观特征	(88)
第二节 疲劳破坏的机理	(90)
一、金属材料疲劳破坏机理	(90)
二、非金属材料疲劳破坏机理	(93)
第三节 疲劳抗力指标	(95)
一、疲劳试验方法	(96)
二、疲劳强度	(97)
三、过载持久值及过载损伤界	(98)
四、疲劳缺口敏感度	(99)
五、疲劳裂纹扩展速率及扩展门槛值	(100)
第四节 影响材料及机件疲劳强度的因素	(102)
一、工作条件的影响	(103)
二、表面状态及尺寸因素的影响	(104)
三、表面强化及残余应力的影响	(104)
四、材料成分及组织的影响	(105)
第五节 热疲劳	(106)
一、热疲劳的概念	(106)
二、热疲劳损伤	(107)
三、影响材料热疲劳性能的因素	(108)
参考文献	(108)
思考题与习题	(108)
第六章 材料的磨损性能	(110)
第一节 磨损的基本概念及类型	(110)
一、摩擦与磨损的概念	(110)
二、磨损的基本类型	(111)

第二节 磨损过程	(111)
一、粘着磨损	(111)
二、磨粒磨损	(113)
三、接触疲劳	(114)
第三节 耐磨性及其测量方法	(117)
一、材料的耐磨性	(117)
二、磨损试验方法	(118)
第四节 提高材料耐磨性的途径	(119)
一、减轻粘着磨损的主要措施	(119)
二、减轻磨粒磨损的主要措施	(120)
三、提高接触疲劳抗力的措施	(120)
四、非金属材料的磨损特性	(121)
参考文献	(122)
思考题与习题	(122)
第七章 材料的高温力学性能	(124)
第一节 高温蠕变性能	(124)
一、蠕变的一般规律	(124)
二、蠕变变形及断裂机理	(126)
三、蠕变性能指标	(128)
四、影响蠕变性能的主要因素	(131)
第二节 其他高温力学性能	(133)
一、高温短时拉伸性能	(133)
二、高温下材料的粘性流动性能	(134)
三、高温硬度	(134)
四、高温疲劳性能	(135)
参考文献	(136)
思考题与习题	(136)
第八章 材料的热学性能	(137)
第一节 热学性能的物理基础	(137)
第二节 热容	(138)
一、热容的基本概念	(138)
二、固体热容的量子理论	(139)
三、影响材料热容的因素	(141)
四、热容的测量	(143)
五、热分析方法的应用	(144)
第三节 热膨胀	(146)
一、热膨胀的概念及热膨胀系数	(146)
二、热膨胀的机理	(146)
三、热膨胀与其他性能的关系	(147)
四、影响材料热膨胀系数的因素	(148)
五、热膨胀系数的测定及应用	(150)

第四节 热传导	(151)
一、材料的热导率	(151)
二、热传导的微观机理	(152)
三、影响材料热传导性能的因素	(154)
四、热导率的测量及应用	(157)
参考文献	(159)
思考题与习题	(159)
第九章 材料的磁学性能	(160)
第一节 基本磁学性能	(160)
一、材料的磁性	(160)
二、材料的磁化	(161)
第二节 抗磁性与顺磁性	(162)
一、材料抗磁性与顺磁性的物理本质	(162)
二、影响材料抗磁性与顺磁性的因素	(163)
三、抗磁与顺磁磁化率的测量及应用	(165)
第三节 铁磁性与反铁磁性	(167)
一、铁磁材料的原子组态和原子磁矩	(167)
二、自发磁化	(167)
三、磁各向异性与磁致伸缩	(168)
四、磁畴结构	(168)
五、磁化曲线与磁滞回线	(169)
六、反铁磁性	(171)
七、铁磁材料的技术磁化	(171)
八、影响铁磁性参数的因素	(173)
九、铁磁性的测量与应用	(175)
参考文献	(179)
思考题与习题	(179)
第十章 材料的电学性能	(180)
第一节 导电性能	(180)
一、电阻与导电的基本概念	(180)
二、导电机理	(181)
三、超导电性	(185)
四、影响材料导电性的因素	(187)
五、导电性的测量及应用	(189)
第二节 热电性能	(192)
一、热电效应	(192)
二、影响热电势的因素	(193)
三、热电势的测量与应用	(194)
第三节 半导体导电性的敏感效应	(195)
一、热敏效应	(195)
二、光敏效应	(195)

三、压敏效应	(195)
四、磁敏效应	(196)
五、其他敏感效应	(197)
第四节 介质极化与介电性能	(197)
一、极化的基本概念	(197)
二、极化的基本形式	(198)
三、介电常数	(199)
四、影响介电常数的因素	(201)
第五节 电介质的介质损耗	(202)
一、电介质损耗的基本概念	(202)
二、介质的损耗形式	(202)
三、影响材料介电损耗的因素	(203)
第六节 绝缘材料的抗电强度	(205)
一、强电场作用下绝缘材料的破坏	(205)
二、击穿形式	(205)
三、影响抗电强度的因素	(206)
四、抗电强度的测量与应用	(207)
参考文献	(207)
思考题与习题	(207)
第十一章 材料的光学性能	(208)
第一节 线性光学性能	(208)
一、线性光学性能的基本参量	(208)
二、线性光学性能的应用及其影响因素	(213)
第二节 非线性光学性能	(218)
一、非线性光学性能的概念	(218)
二、产生非线性光学性能的条件	(218)
三、非线性光学晶体的结构与性能的相互关系	(220)
四、非线性光学性能的应用	(221)
五、非线性光学极化系数的测量	(225)
参考文献	(226)
思考题与习题	(226)
第十二章 材料的压电性能与铁电性能	(227)
第一节 压电性能	(227)
一、压电效应的基本原理	(227)
二、压电振子与压电方程	(228)
三、压电性能的主要参数	(232)
四、压电材料的应用	(234)
第二节 热释电与铁电性能	(235)
一、自发极化及其微观机制	(235)
二、晶体的热释电效应	(236)
三、晶体的铁电性	(238)

第三节 铁电材料的电光效应及其应用	(242)
一、电控双折射效应	(243)
二、电控光散射效应	(243)
三、PLZT 陶瓷的各种电光性能及应用	(244)
第四节 影响材料压电性及铁电性的因素	(246)
一、化学成分的影响	(246)
二、晶粒间界的影响	(248)
三、预极化条件	(249)
四、薄膜材料的择优取向	(250)
第五节 压电与铁电性能的测量	(250)
一、铁电和热释电参数的测量	(250)
二、压电振子参数的测量	(252)
三、压电常数 d_{33} 的测量	(255)
参考文献	(256)
思考题与习题	(257)
第十三章 材料的耐腐蚀性能	(258)
第一节 材料腐蚀的基本概念	(258)
一、腐蚀的基本概念	(258)
二、腐蚀的类型	(258)
第二节 金属的电化学腐蚀倾向	(261)
一、电化学腐蚀中的电极电位	(261)
二、金属的电化学腐蚀机理	(262)
三、金属电化学腐蚀倾向的判据	(264)
第三节 金属腐蚀速度及其控制	(267)
一、法拉第定律与腐蚀速度的计算	(268)
二、极化及其对腐蚀速度的影响	(268)
三、极化曲线	(270)
四、电极电位对电极反应速度的影响	(271)
五、钝化	(272)
第四节 金属材料的应力腐蚀断裂	(274)
一、应力腐蚀断裂的条件及特征	(274)
二、应力腐蚀的机理	(275)
三、影响应力腐蚀断裂的因素	(276)
四、防止应力腐蚀的措施	(277)
第五节 材料的耐蚀性及抗腐蚀措施	(277)
一、耐蚀性及其评定方法	(277)
二、影响金属材料腐蚀性的因素	(279)
三、防止金属材料腐蚀的措施	(282)
参考文献	(284)
思考题与习题	(284)
第十四章 材料的老化与稳定性能	(286)

第一节 高分子材料的老化与稳定性能	(286)
一、老化的基本类型	(286)
二、化学老化	(286)
三、影响化学老化的因素	(288)
四、物理老化	(289)
五、防止老化的措施	(290)
第二节 老化与稳定性能的测试与评价	(293)
一、塑料加工热稳定性能的测试与评价	(293)
二、塑料长效热稳定性能的测试与评价	(294)
三、塑料防光氧化性能的测试与评价	(296)
参考文献	(299)
思考题与习题	(299)

第一章 材料单向静拉伸的力学性能

材料力学性能研究的重要任务，就是研究材料在受载过程中变形和断裂的规律。作为一种重要手段，单向静拉伸试验是工业生产和材料科学研究中应用最广泛的材料力学性能试验方法。通过拉伸试验可以揭示材料在静载作用下的应力应变关系及常见的3种失效形式（过量弹性变形、塑性变形和断裂）的特点和基本规律，还可以评定出材料的基本力学性能指标，如屈服强度、抗拉强度、伸长率和断面收缩率等。这些性能指标既是材料的工程应用、构件设计和科学研究等方面的计算依据，也是材料的评定和选用以及加工工艺选择的主要依据。

本章将介绍这些性能指标的物理概念和工程意义，讨论材料弹性变形、塑性变形及断裂行为的基本规律及其与材料组织结构的关系，并在此基础上探讨提高材料性能指标的途径和方向。

第一节 力—伸长曲线和应力—应变曲线

一、力—伸长曲线

材料的单向静拉伸试验通常是在室温下按常规的试验标准，采用光滑圆柱试样在缓慢加载和低的变形速率下进行的。试验方法和试样尺寸在试验标准中有明确规定。在拉伸过程中，随着载荷的不断增大，可由试验机上安装的自动绘图机构连续描绘出拉伸力 F 和绝对伸长量 ΔL 的关系曲线，直至试样断裂。图 1-1 就是典型的低碳钢拉伸时的力—伸长曲线。

图 1-1 中，曲线的纵坐标为拉力 F ，横坐标为绝对伸长 ΔL 。图中表明，拉伸开始后，试样的伸长随力的增加而增大。在 P 点以下拉伸力 F 和伸长量 ΔL 呈直线关系。当拉伸力超过 F_p 后，力—伸长曲线开始偏离直线。拉伸力小于 F_e 时，试样的变形在卸除拉伸力后可以完全恢复，因此 e 点以内的变形为弹性变形。当拉伸力达到 F_A 后，试样便产生不可恢复的永久变形，即出现塑性变形。在这一阶段的变形过程中，最初试样局部区域产生不均匀的屈服塑性变形，力—伸长曲线上出现平台式锯齿，直至 C 点结束。接着进入均匀塑性变形阶段。达到最大拉伸力 F_b 时，试样再次出现不均匀的塑性变形，并在局部区域产生缩颈。最后在拉伸力 F_k 处，试样断裂。

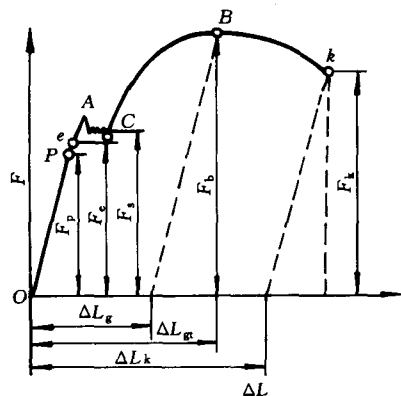


图 1-1 低碳钢的力—伸长曲线