

高等学校教材

工程材料 与机械制造基础

陶亦亦 潘玉娴 主编

戈晓岚 姜 左 主审



CHEMICAL INDUSTRY PRESS



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

工程材料与机械制造基础

陶亦亦 潘玉娴 主编
戈晓岚 姜 左 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与机械制造基础/陶亦亦, 潘玉娟主编. —北京:
化学工业出版社, 2006. 1

高等学校教材

ISBN 7-5025-8156-1

I. 工… II. ①陶…②潘… III. ①工程材料-高等学校-教材②机械制造-高等学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 000300 号

高等学校教材

工程材料与机械制造基础

陶亦亦 潘玉娟 主编

戈晓岚 姜 左 主审

责任编辑: 程树珍 陈 丽

文字编辑: 宋 薇 余德华 徐卿华

责任校对: 陈 静

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社
教材出版中心

出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 350 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8156-1

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

《工程材料与机械制造基础》是机电类专业的一门重要技术基础课,它主要研究工程材料的性能及强化工艺、各种成形工艺方法本身的规律及其相互联系与比较、各种加工方法的特点和应用。

本教材根据教育部高教司有关通知对该课程的基本要求,结合学校专业的实际需要,坚持以理论联系实际为指导,以熟悉原理和掌握应用为原则,旨在创新和实践的基础上进行编写。在编写本教材时力图表现以下特点。

① 调整知识能力结构,旨在培养学生的综合工程技术能力,强调对各种工艺的综合论述与横向比较,使之初步达到具有选择材料及强化工艺、零件成形方法的能力。

② 在内容上力求做到系统性、实用性、综合性相结合,并适当拓宽知识面,力图反映近年来在工程材料和制造工艺领域的最新成果。

③ 在叙述上图文并茂、深入浅出、通俗易懂、文字简练、直观形象,便于教学。

④ 本教材在使用国标规定的术语时,考虑到贯彻新国标应有的历史延续性,所以也兼顾了长期沿用的名称和定义,并尽可能使两者达到统一。

本书共分为三篇。第一篇工程材料,主要介绍金属材料的主要性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金、钢的热处理、常用金属材料六个部分的内容,其中着重讲述了钢铁材料和热处理的内容。第二篇热成形工艺基础,主要介绍铸造成形、锻压成形、焊接成形三部分内容,系统阐述了各种热加工工艺方法、特点、规律、应用与结构工艺性等内容。第三篇冷成形工艺基础,主要介绍金属切削的基础知识、常用加工方法综述、典型表面加工分析等内容,并综合介绍了各种机加工方法、特点、应用等。

本书可以满足教学计划 60~90 课时的教学需要。可作为高等学校机电类本科教材,也可供高职高专、夜大等学生作为教材,以及工程技术人员参考。

参加本书编写人员有陶亦亦(第一、第九、第十章),潘玉娴(第二、第三、第四、第八、第十一、第十二章),汪浩(第五、第六章),宁海霞(第七章)。本书由陶亦亦、潘玉娴任主编,汪浩任副主编。

本书承江苏大学戈晓岚教授、苏州职业大学姜左教授主审,对教材的编写提出了许多具体的指导;在编写过程中,参阅了国内外相关资料、文献和教材,并得到了专家和同行的指导,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平和经验所限,书中难免存在不妥之处,敬请同行与读者批评指正。

编者

2005 年 10 月

内 容 提 要

本教材根据教育部高教司有关通知对该课程的基本要求,结合学校专业的实际需要,坚持以理论联系实际为指导,以熟悉原理和掌握应用为原则,旨在创新和实践的基础上进行编写。

本书共分为三篇。第一篇工程材料,主要介绍金属材料的主要性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金、钢的热处理、常用金属材料六个部分的内容,其中着重讲述了钢铁材料和热处理的内容。第二篇热成形工艺基础,主要介绍铸造成形、锻压成形、焊接成形等内容,系统阐述各种热加工工艺方法、特点、规律、应用与结构工艺性等内容。第三篇冷成形工艺基础,主要介绍金属切削的基础知识、常用加工方法综述、典型表面加工分析与零件的结构工艺性等内容。综合介绍了各种机加工方法、特点、应用等内容。

本书可以满足教学计划 60~90 课时的教学需要。可作为高等学校机电类应用性本科教学用书,也可作为高职高专、夜大等学生的教材,并可供工程技术人员参考。

目 录

第一篇 工程材料

第一章 工程材料概论	2
一、材料科学与工程材料	2
二、材料科学的发展与展望	2
第二章 金属材料的主要性能	4
第一节 静载下金属材料的力学性能	4
一、弹性和塑性	4
二、刚度	5
三、强度	5
四、硬度	5
第二节 动载和高温下金属材料的力学性能	7
一、冲击韧性	7
二、疲劳强度	7
三、蠕变	8
第三节 金属材料的物理、化学和工艺性能	8
一、物理性能	8
二、化学性能	8
三、工艺性能	8
复习题	9
第三章 金属的晶体结构与结晶	10
第一节 金属的晶体结构	10
一、晶体概念	10
二、常见的金属晶格	10
三、晶体结构的致密度	11
第二节 实际金属的结构	12
一、多晶体结构	12
二、晶格缺陷	12
第三节 金属的结晶	13
一、金属的结晶过程	13
二、金属的同素异构转变	14
三、金属铸锭的组织特点	14
复习题	16
第四章 铁碳合金	17
第一节 合金的相结构	17

第二节 二元合金状态图的建立	18
一、二元相图的建立	19
二、杠杆定律	19
三、共晶相图	20
四、共析相图	21
第三节 铁碳合金的结构和相图	21
一、铁碳合金的基本组织	21
二、铁碳合金相图	22
三、典型成分合金平衡结晶过程分析	23
四、铁碳合金的应用	27
复习题	28
第五章 钢的热处理	30
第一节 钢在加热时的组织转变	30
一、奥氏体的形成	31
二、奥氏体的形成速度	32
三、奥氏体晶粒大小及其影响因素	32
第二节 钢在非平衡冷却时的转变	33
一、过冷奥氏体等温转变曲线	33
二、过冷奥氏体等温转变产物的组织与性能	34
三、过冷奥氏体连续冷却转变曲线	37
第三节 钢的常用热处理工艺	38
一、钢的退火和正火	38
二、钢的淬火	40
三、钢的回火	44
第四节 钢的表面热处理工艺	46
一、钢的表面淬火	46
二、钢的化学热处理	48
第五节 其他热处理工艺简介	50
第六节 热处理工艺举例	51
复习题	51
第六章 常用金属材料	53
第一节 工业用钢	53
一、碳素钢	53
二、合金钢	55
第二节 铸铁	63
一、概述	63
二、常用铸铁	64
第三节 有色金属及其合金	68
一、铝及其合金	68
二、铜及其合金	71
复习题	73

第二篇 热成形工艺基础

第七章 铸造成形	76
第一节 砂型铸造	76
一、砂型铸型的组成	77
二、型砂和芯砂	77
三、造型和造芯的方法	78
四、浇注系统和冒口	83
第二节 铸件成形工艺基础	85
一、液态合金的充型能力	85
二、铸件的收缩	87
三、铸造应力、铸件变形和裂纹	91
四、合金的偏析和吸气	94
第三节 铸造缺陷分析与铸件质量控制	95
第四节 铸件结构的铸造工艺性	97
一、铸造工艺对铸件结构的要求	97
二、合金铸造性能对铸件结构的要求	101
三、不同铸造方法对铸件结构的要求	104
第五节 铸造工艺分析与设计	106
一、浇注位置与分型面的确定	106
二、主要工艺参数的确定	110
三、铸造工艺图及铸件图	114
第六节 特种铸造	115
一、金属型铸造	116
二、熔模铸造	117
三、压力铸造	119
四、离心铸造	122
五、低压铸造	123
六、消失模铸造	124
七、连续铸造	125
八、常用铸造方法比较	126
复习题	126
第八章 锻压成形	129
第一节 金属的塑性变形	129
一、金属塑性变形的实质	129
二、金属的冷变形强化、回复和再结晶	130
三、锻造比和流线组织	132
四、金属的锻造性	133
第二节 自由锻造	134
一、自由锻造工艺规程的制订	134
二、自由锻件结构工艺性	136

第三节 模锻	138
一、锤上模锻	138
二、模锻工艺规程的制订	139
三、模锻零件结构工艺性	141
四、胎模锻造	142
第四节 板料冲压	142
一、分离工序	143
二、变形工序	144
三、冲压件的工艺性	146
复习题	147
第九章 焊接成形	149
第一节 熔焊	149
一、电弧焊	150
二、其他熔焊方法	157
第二节 压焊和钎焊	159
一、压焊	159
二、钎焊	161
第三节 常用金属材料的焊接性能	162
一、金属材料的焊接性	162
二、碳钢及合金钢的焊接	164
三、铸铁的焊补	165
四、有色金属及其合金的焊接	166
第四节 焊接件的结构工艺性	167
一、焊接结构材料的选择	167
二、焊接方法的选择	168
三、焊接件结构设计的工艺性	169
复习题	172

第三篇 冷成形工艺

第十章 金属切削的基础知识	176
第一节 概述	176
第二节 金属切削过程	177
一、切屑的种类	177
二、积屑瘤	178
三、切屑收缩和冷变形强化	178
四、切削力和切削热	179
第三节 刀具材料和刀具构造	180
一、刀具材料	180
二、刀具的构造	181
第四节 切削加工的经济性	182

一、刀具寿命和切削速度	182
二、进给量和背吃刀量	183
三、材料的切削加工性	183
复习题	185
第十一章 常用加工方法综述	186
第一节 车削加工	186
一、车削的工艺特点	186
二、车削的应用	186
第二节 孔的钻、镗加工	187
一、钻削的工艺特点	188
二、钻削的应用	188
三、扩孔和铰孔	189
四、镗孔	190
第三节 平面的铣削加工	190
一、铣削加工的工艺特点	191
二、铣削加工的应用	192
第四节 拉削加工	192
第五节 磨削加工	193
一、磨削的工艺特点	193
二、磨削的应用	194
第六节 光整加工	197
一、珩磨	197
二、研磨	197
三、超精加工	198
四、抛光	198
复习题	199
第十二章 典型表面加工分析	200
第一节 外圆面加工	200
一、外圆面的结构特点和技术要求	200
二、外圆面加工方案分析	200
第二节 孔加工	201
一、孔的类型和技术要求	201
二、孔加工方案分析	202
第三节 平面加工	203
一、平面的类型和技术要求	203
二、平面加工方案分析	204
第四节 螺纹加工	205
一、螺纹的类型	205
二、螺纹的常用加工方法	205
第五节 齿轮加工	206
一、齿轮的技术要求	206

二、齿轮的常用加工方法	207
第六节 零件的结构工艺性	210
复习题	217
参考文献	219

第一篇

工 程 材 料

第一章 工程材料概论

一、材料科学与工程材料

1. 材料科学概况

材料用于制造机器零件、工程构件以及生活日用品，是生产和生活的物质基础。材料、能源、信息被称为现代社会的三大支柱，而能源和信息的发展，在一定程度上又依赖于材料的进步。因此许多国家都把材料科学作为重点发展学科之一，使之成为新技术革命坚实的基础。

材料科学的发展离不开科学技术的进步，科学技术的发展又依赖于材料科学的发展。例如，耐腐蚀、耐高压材料广泛应用于石油化工领域；强度高、质量轻的材料广泛应用于航空航天、交通运输领域；高温合金、无机非金属材料广泛应用于高温装置；半导体材料、磁性材料、贮氢材料、形状记忆合金、纳米材料广泛应用于通信、计算机、航空航天、电子器件、医学等领域；在机械制造领域中，从简单的手工工具到复杂的智能机器人，都应用了现代工程材料。

在工程技术发展史上，每一项理论，每一项发明，能否转化成生产力，材料是解决问题的关键。因此，开发新材料是一项至关重要的工作。

2. 工程材料的分类

现代材料种类繁多，据粗略统计，目前世界上的材料总和已经达到 40 余万种，并且每年还以 5% 的速度增加。材料按经济部门可分为土木建筑材料、机械工程材料、电子材料、航空航天材料、医学材料等；按材料的功能分为结构材料、功能材料。

工程材料按化学成分分为以下四大类：金属材料，高分子材料，无机非金属材料 and 复合材料。

目前，机械工业中应用最广泛的是金属材料。因为金属材料具有优良的力学性能、物理性能、化学性能以及工艺性能，所以能满足机器零件的使用要求。金属材料还可以通过热处理改变其组织和性能，从而进一步扩大使用范围。

高分子材料的力学性能不如金属材料，但它们具有金属材料不具备的某些特性，如耐蚀性、电绝缘性、隔音、减振、质量轻、价廉、成形加工容易等优点。目前已广泛应用于生活日用品，而且在工业中已部分代替了金属材料。

新型无机非金属材料的塑性与韧性远低于金属材料，但它们具有熔点高、硬度高、耐高温以及特殊的物理性能，已成为发展高温材料和功能材料的新型工程材料。

复合材料是一种新型的、具有很大发展前途的工程材料。它是将两种或两种以上不同性质、不同组织结构的材料组合在一起而构成的。它不仅保留了各组成材料的优点，而且具有单一材料所没有的优越性能。

二、材料科学的发展与展望

1. 材料科学的发展历史

历史表明,生产中使用的材料性质直接反映了人类社会的文明水平。所以历史学家根据制造生产工具的材料,将人类生活的时代划分为石器时代、陶器时代、铁器时代,当今人类正跨入人工合成材料、复合材料、功能材料的新时代。

约在 50 万年前,人类学会了用火。在六七千年前,人类开始用火烧制了陶器,到东汉出现了陶瓷,于 9 世纪传至东非和阿拉伯,13 世纪传到日本,15 世纪传到欧洲,对世界文明产生了很大的影响,瓷器已经成为中国文化的象征。

5 千年前,我们的祖先冶炼了红铜和青铜。春秋战国时期,我国已大量使用铁器。西汉后期,我国发明了炼钢法——炒钢法,这种方法在德国 18 世纪才获得应用。2 千年以前,我国已经使用了淬火和渗碳工艺,热处理技术已经有了相当高的水平。

1863 年,第一台光学显微镜的问世,出现了“金相学”,人们对材料的观察和研究进入了微观领域。1912 年,人们采用 X 射线衍射技术研究材料的晶体微观结构。1932 年,电子显微镜的问世,各种先进能谱仪的出现,将人类对材料微观世界的认识带入了更深的层次,形成了跨学科的材料科学。

新中国成立以来,我国的工业生产、农业生产、人们的日常生活水平得到了迅速发展,钢的年生产能力从 1949 年的 17 万吨增至目前的 1 亿多吨,非金属材料的产量也有了很大的增长。

2. 材料科学的展望

随着原子能、航空航天、通信电子、海洋开发等现代工业的发展,对材料提出了更为严格的要求,出现了一大批相对密度更小、强度更高、加工性能更好并能满足特殊性能要求的新材料。

近年来,非金属材料的用量正以数倍于金属材料的速度增长。高纯度的原料代替过去的天然材料制备现代陶瓷,使陶瓷具有了许多优异的性能;利用人工合成有机高分子材料,满足了工农业生产及人们生活方面的需要。例如航天飞机外壁瓦片就是新型的无机非金属材料;吸收电磁波的隐射材料,用的是高分子复合材料。

20 世纪末,纳米材料的开发和应用,引起了世界各国政府、科学技术界、军界的重视。美国政府投资 5 亿美元,将纳米材料的研究列入 21 世纪头 10 年 11 个关键领域之一。专家预测,纳米材料科学技术将成为 21 世纪信息时代的核心,其应用将超过计算机工业。

本课程主要介绍金属材料的成分、组织、性能之间的相互关系,了解强化金属材料的基本途径,熟悉常用金属材料的牌号、成分、组织、性能及用途,为正确选用材料提供理论依据,为后继专业课程的学习提供材料方面的知识。

第二章 金属材料的主要性能

第一节 静载下金属材料的力学性能

金属材料应具备的最主要的性能是力学性能，即受外力作用时所反映出来的性能。它是衡量金属材料的极其重要的指标。金属材料的力学性能指标主要有强度、硬度、刚度、塑性、冲击韧性、疲劳强度和断裂韧性等。

一、弹性和塑性

金属材料受外力作用时产生变形，当外力去除后能恢复其原来形状的性能，称为弹性。随外力消失而消失的变形，称为弹性变形，其大小与外力成正比。

金属材料在外力作用下，产生永久变形而不致引起断裂的性能，称为塑性。在外力去除后保留下来的这部分不能恢复的变形，称为塑性变形，其大小与外力不成正比。

将金属材料制成图 2-1 所示的标准试样，在拉伸试验机上，使试样承受轴向拉力 P 并使试样缓慢拉伸，直至试样断裂。将拉力 P 除以试样的原始截面积 F_0 为纵坐标（即拉应力 σ ），试样沿轴向产生的伸长量 $\Delta L (=L_1 - L_0)$ 除以试样原始长度 L_0 为横坐标（即应变 ϵ ），则可画出应力-应变曲线。图 2-1 为低碳钢拉伸试样和拉伸图。

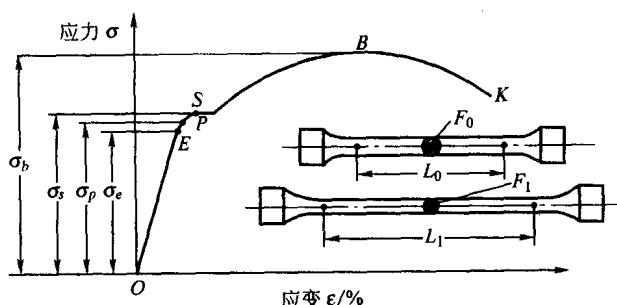


图 2-1 低碳钢拉伸试样和拉伸图

由图 2-1 可知，当载荷未达到 E 点以前，试样只产生弹性变形。故 σ_e 是材料所能承受的、不产生永久变形的最大应力，称为弹性极限。当载荷超过 E 点时，试样开始产生塑性变形，当载荷继续增加到 S 点时，试样承受的载荷虽不再增加，仍继续产生塑性变形，图上出现水平线段，这种现象称为屈服， S 点称为屈服点。它是金属材料从弹性状态转向塑性状态的标志。当出现明显塑性变形时的应力称为屈服极限，用符号 σ_s 表示。当载荷增加至 B 点时，试样截面局部出现缩颈现象，因为截面缩小，载荷也就下降，至 K 点时试样被拉断。

金属材料的塑性一般用伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 表示。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% ; \Psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样原始长度；

L_1 ——试样拉断后的长度；

F_0 ——试样原始横截面积；

F_1 ——试样拉断处的横截面积。

δ 或 Ψ 越大，表示材料的塑性越好。伸长率 δ 的值随试样原始长度增加而减小。所以，同一材料的短试样 ($L_0 = 5d_0$) 比长试样 ($L_0 = 10d_0$, d_0 为试样原始直径) 的伸长率大 20% 左右。用短试样和长试样测得的伸长率分别用 δ_5 和 δ_{10} 表示。

金属材料因具有一定的塑性才能进行各种变形加工，并且零件在使用中偶然过载，将产生一定的塑性变形，而不致突然断裂，从而提高了零件使用的可靠性。

二、刚度

金属材料受外力作用时，抵抗弹性变形的能力称为刚度。在弹性变形范围内，应力 σ 与应变 ϵ 的比值称为弹性模量，用符号 E 表示，即 $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ 。弹性模量越大，表示在一定应力作用下，能发生的弹性变形越小，也就是刚度越大。

弹性模量的大小主要决定于材料内部原子的结合力，因此，同一种材料的弹性模量差别不大，基本一样。但是，相同材料的两个不同零件，弹性模量虽然相同，但截面尺寸大的不易发生弹性变形，而截面小的则容易发生弹性变形。因此，考虑一个零件的刚度问题，不仅要注意材料的弹性模量，还要注意零件的形状和尺寸大小。

三、强度

强度是金属材料在外力作用下，抵抗塑性变形和断裂的能力。按外力作用的性质不同，可分为抗拉强度、抗压强度、抗扭强度等。工程上表示金属材料强度的指标主要是指屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。

屈服强度 σ_s 是金属材料发生屈服现象时的屈服极限，即表示材料抵抗微量塑性变形的能力。脆性材料的拉伸曲线上没有水平线段，难以确定屈服点 S ，因此，规定试样产生 0.2% 残余塑性变形时的应力值，为该材料的条件屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。它可按下式计算：

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

抗拉强度 σ_b 是金属材料在拉断前所能承受的最大应力，它可按下式计算：

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

σ_s 与 σ_b 的比值称为屈强比，其值一般在 0.65~0.75 之间。屈强比越小，工程构件的可靠性越高，万一超载也不会马上断裂；屈强比越大，材料的强度利用率越高，但可靠性降低。

抗拉强度是零件设计时的重要参数。合金化、热处理、冷热加工对材料的 σ_s 与 σ_b 均有很大的影响。

四、硬度

硬度是指金属材料表面抵抗其他更硬物体压入的能力，它是衡量金属材料软硬程度的指

标。测定硬度最常用的方法是压入法，工程上常用的是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验通常用 $3000\text{kgf}^{\text{①}}$ 的压力 P ，将直径为 D 的淬火钢球压入金属表面，载荷保持 $10\sim 60\text{s}$ 后卸载，得到一直径为 d 的压痕，如图 2-2 所示。载荷除以压痕表面积的值即为布氏硬度，以 HB 表示。布氏硬度的单位为 kgf/mm^2 （或 MPa），但习惯上只写硬度的数值而不标出单位。

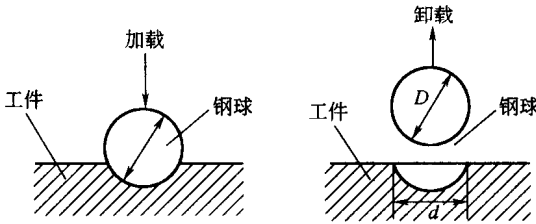


图 2-2 布氏硬度测试原理和方法

布氏硬度分为两种：当压头为淬火钢球时，硬度符号为 HBS，适用于硬度值小于 450 的材料；当压头为硬质合金钢球时，硬度符号为 HBW，适用于硬度值为 $450\sim 650$ 的材料。

布氏硬度试验使材料表面压痕较大，故不宜测试成品或薄片金属的硬度。通常用于测定铸铁、有色金属、低合金结构钢等毛坯材料的硬度。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验采用顶角为 120° 的金刚石圆锥压头，如图 2-3 所示，施加一定的压力，压入被测材料，根据压痕的深度来度量材料的软硬，压痕越深，硬度越低。洛氏硬度用符号 HRC 表示，每 0.002mm 的压痕深度为一个硬度单位。

洛氏硬度用于测量的硬度范围为 $20\sim 67$ ，而且压痕很小，几乎不损伤工件表面，故可用于测定淬火钢、调质钢等成品件的硬度。

3. 维氏硬度

维氏硬度试验采用锥面夹角为 136° 的金刚石四棱锥体压头，在一定载荷下经规定的保持时间后卸载，得到一对角线长度为 d 的四方锥形压痕，见图 2-4，载荷除以压痕表面积的值即为维氏硬度，以 HV 表示。

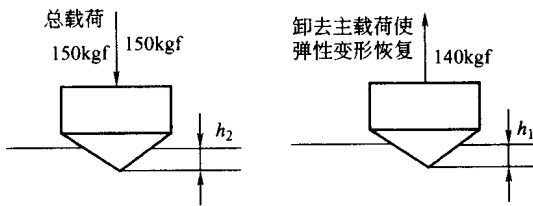


图 2-3 洛氏硬度测试原理和方法

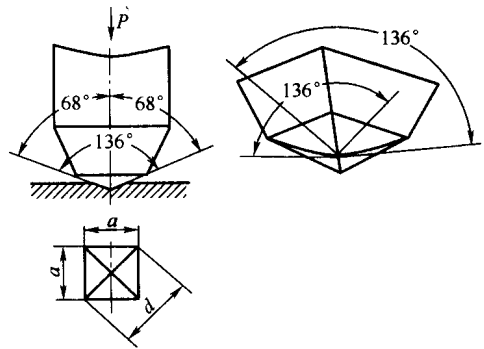


图 2-4 维氏硬度测试原理示意

维氏硬度用于测定从极软到极硬的薄片金属材料、表面淬硬层、渗碳层等的硬度。

由于各种硬度试验的条件不同，因此，相互间没有换算公式。但根据试验结果，可获得大致的换算关系如下： $1\text{HBS}\approx 10\text{HRC}$ ； $1\text{HBS}\approx 1\text{HV}$ 。

^① $1\text{kgf}=9.80665\text{N}$ ， $1\text{kgf}/\text{mm}^2=9.80665\text{MPa}$ ，下同。