



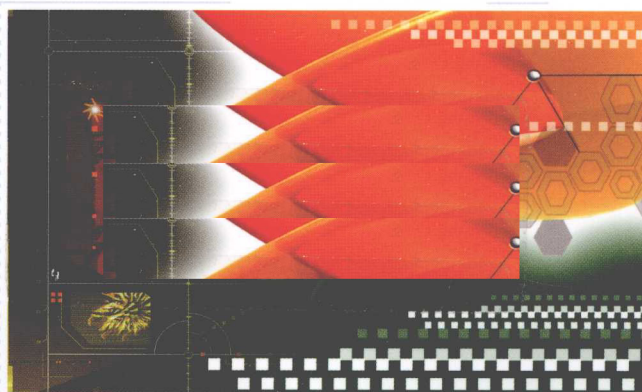
面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

机械工程材料与热处理

JIXIE GONGCHENG CAILIAO
YU RECHULI

◎ 主 编 张 俊 雷伟斌

◎ 主 审 侯会喜



面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

机械工程材料与热处理

主 编 张 俊 雷伟斌

副主编 张运真 王保华 张 黎

参 编 张保丰 杨 辉

主 审 侯会喜

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书根据教育部制定的高等教育基础课程教学基本要求编写,编写时吸收了当前高等教育先进的教育理念。全书共分5篇20个项目,它们包括机械工程材料基础、金属热处理、常用金属材料及其使用、其他材料及其使用、机械工程材料的选用。

本书可作为高等院校机械类专业的通用教材,也可作为相关专业技术人员的参考书。此外,为方便教学,本书还配备了习题册,可随本书使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料与热处理 / 张俊, 雷伟斌主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2010. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 3506 - 8

I. ①机… II. ①张… ②雷… III. ①机械制造材料—高等学校—教材
②热处理—高等学校—教材 IV. ①TH14 ②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 146198 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市文通印刷包装有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 18

字 数 / 322 千字

版 次 / 2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

责任编辑 / 葛仕钧

印 数 / 1 ~ 1500 册

责任校对 / 王 丹

定 价 / 36.00 元

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

机电系列编委会

主 任：翟瑞波

副主任：徐秀娟 王核心 李稳贤 侯会喜 袁世先

编 委（按姓氏笔画为序）：

卜养玲	孔 敏	王颖娴	王亚平	王 兰
王周让	王保华	王从钗	牛方方	邓小君
邓树君	代美泉	石 枫	白娟娟	冯秀萍
孙鹏涛	李 俊	李 宁	李 燕	李俊涛
李妍缘	李丽娟	吕栋腾	朱劲松	朱敬超
朱永迪	闫存富	刘书群	刘 峙	刘 畅
刘光定	刘龙江	安 宏	许云兰	宋 芳
宋志峰	宋述林	宋育红	张运真	张俊勇
张保丰	张志军	张 俊	张怀广	张明颖
张 峰	张文革	冶君妮	时 寸	辛小丽
辛 梅	罗亚军	宗一妮	房贯军	赵亚英
赵东辉	赵章吉	赵 斌	庞应周	杨 辉
杨 琳	杨 维	杨汉嵩	杨 爽	郭新民
侯晓芳	徐 铭	徐雅娟	徐家忠	高 凯
高 葛	唐志祥	符林芳	黄明惠	黄金磊
曾 霞	雷伟斌	蒋爱云	蔺国民	潘爱民
薛媛丽				

前 言

本书根据教育部组织制定的《高等教育基础课程教学基本要求》并参考教育部审定批准的《高等学校机械工程材料教学基本要求》（机械类专业）编写而成。

本书在编写过程中，认真总结和充分吸取了各校近年来的教学改革经验与成果，做到深入浅出、通俗易懂，使教材清晰、形象，易于自学；努力适应高等教育教学需要。全书名词、术语、材料的牌号均采用了最新国家标准，使用了法定计量单位；配套的习题集中前三篇的各项目都精心设计了习题，第四篇设计了该篇习题，以利于学生掌握基本概念，巩固所学知识，培养分析问题、解决问题的能力。

全书共分5篇20个项目，内容主要包括：机械工程材料基础；金属热处理基础及处理方法；常用金属材料及其使用；其他材料及其使用；机械工程材料的选用。本书是高等院校机械类专业的教材，也可作为相关专业技术人员的参考书。

本书由张俊、雷伟斌主编，侯会喜教授主审，由张运真、王保华和张黎任副主编。其中张俊编写了项目一、项目四和项目五；张保丰编写了项目二、项目三；雷伟斌编写了项目六、项目七和项目十三；张运真编写了项目八、项目九、项目十和项目十一；张黎编写了项目十二；杨辉编写了项目十四、项目十五、项目十六和项目十七；王保华编写了项目十八、项目十九和项目二十。附录由张俊和张运真编写。另外，本书还附带了习题集，各项目习题均由编写老师自行编写。

本书在编写过程中参考了一些兄弟院校编写的有关教材和资料，并得到了有关单位和领导的支持与帮助，在此谨向关心、支持和帮助本书编写工作的同志们表示衷心的感谢。

尽管我们在编写时已尽了最大努力，但由于水平有限，对于书中存在的缺点和错误，恳请同行和读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 机械工程材料基础	1
项目一 材料性能的认识	3
1.1 材料的力学性能	3
1.2 材料的其他性能	14
项目二 金属材料结构的认识	19
2.1 金属材料晶体结构	19
2.2 纯金属的结晶	24
2.3 合金的形成	26
第二篇 金属热处理基础及处理方法	29
项目三 二元合金相图的建立	31
3.1 二元合金相图	31
3.2 铁碳二元合金相图	37
项目四 钢的热处理基础	48
4.1 钢在加热时的组织转变	49
4.2 钢在冷却时的组织转变	52
项目五 钢的整体热处理	62
5.1 钢的退火	62
5.2 钢的正火	64
5.3 钢的淬火	65
5.4 钢的回火	67
项目六 钢的表面热处理	72
6.1 表面火焰淬火	72
6.2 表面感应淬火	73
项目七 钢的化学热处理	78
7.1 渗碳	78
7.2 渗氮	81
7.3 碳氮共渗	83
第三篇 常用金属材料及其使用	85
项目八 机械结构及零件用碳钢	87

8.1	钢中杂质元素对钢性能的影响	87
8.2	碳钢的分类	88
8.3	常用的碳钢牌号及性能	89
项目九	机械结构及零件用合金钢	93
9.1	合金元素对钢的影响	93
9.2	合金钢的分类	98
9.3	常用的合金结构钢的牌号及性能	99
项目十	工具用钢	109
10.1	工具用碳钢	109
10.2	工具用合金钢	110
项目十一	其他性能钢	125
11.1	不锈钢	125
11.2	耐热钢	129
11.3	耐磨钢	134
项目十二	铸铁	136
12.1	铸铁的石墨化	137
12.2	灰口铸铁	139
项目十三	有色金属材料	154
13.1	铝及其合金	154
13.2	铜及其合金	159
13.3	钛及其合金	165
13.4	镁及其合金	168
第四篇	其他材料及其使用	173
项目十四	粉末冶金材料	175
14.1	粉末冶金材料简介	175
14.2	粉末冶金材料的应用	176
项目十五	高分子材料基础	178
15.1	基本概念	178
15.2	高分子材料的性能特点	179
15.3	常用的高分子材料	180
项目十六	陶瓷材料基础	190
16.1	陶瓷材料基础	190
16.2	陶瓷的组织结构	191
16.3	陶瓷的性能及应用	193
项目十七	复合材料基础	197
17.1	基本概念	197

17.2	复合材料的性能	198
17.3	常用的复合材料	199
第五篇 机械工程材料的选用		203
项目十八	机械零件失效分析	205
18.1	零件常见的失效形式	205
18.2	失效分析在零件选材中的意义	207
项目十九	材料及热处理工艺选择	212
19.1	材料选择的原则	212
19.2	材料选择的一般步骤	214
项目二十	典型零件材料及热处理工艺选择	217
20.1	轴类零件的选材及热处理工艺安排	218
20.2	齿轮类零件的选材及热处理工艺安排	220
20.3	弹簧类零件的选材及热处理工艺安排	223
20.4	箱体的选材及热处理工艺安排	225
20.5	常用刀具的选材及热处理	226
第一篇习题		230
项目一习题	.....	230
项目一习题参考答案	.....	233
项目二习题	.....	234
项目二习题参考答案	.....	236
第二篇习题		238
项目三习题	.....	238
项目三习题参考答案	.....	240
项目四习题	.....	242
项目四习题参考答案	.....	245
项目五习题	.....	246
项目五习题参考答案	.....	249
项目六习题	.....	250
项目六习题参考答案	.....	251
项目七习题	.....	252
项目七习题参考答案	.....	253
第三篇习题		254
项目八习题	.....	254
项目八习题参考答案	.....	256
项目九习题	.....	257
项目九习题参考答案	.....	260

项目十习题	262
项目十习题参考答案	264
项目十一习题	265
项目十一习题参考答案	266
项目十二习题	267
项目十二习题参考答案	268
项目十三习题	269
项目十三习题参考答案	271
第四篇习题	272
第四篇习题参考答案	273
参 考 文 献	278

第一篇

机械工程材料基础

项目一 材料性能的认识

参考学时: 4 学时

内容简介:

本项目主要介绍衡量材料力学性能的强度、塑性、韧性、硬度以及疲劳强度指标的试验原理、表示方法、特点等内容;同时还介绍材料的物理性能、化学性能、工艺性能等内容。

学习目标:

- (1) 掌握材料强度、硬度、塑性等指标的表示方法、特点。
- (2) 明确材料强度、硬度、塑性等指标的试验原理。
- (3) 熟悉材料的物理性能、化学性能、工艺性能。

1.1 材料的力学性能

1.1.1 强度与塑性

1. 强度

强度是指金属在静载荷作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。

材料强度可以通过拉伸试验来测得,拉伸试验是在拉伸试验机(图1-1)上进行的。试验之前,先将被测金属材料制成图1-2所示的标准试样(参见GB 6397—1986《金属拉伸试验试样》),图中 d_0 为试样原始直径, L_0 为试样原始标距长度。按照GB 6397—1986《金属拉伸试验试样》规定:试样分为长试样和短试样,对圆形拉伸试样,长试样 $L_0 = 10d_0$;短试样 $L = 5d_0$ 。

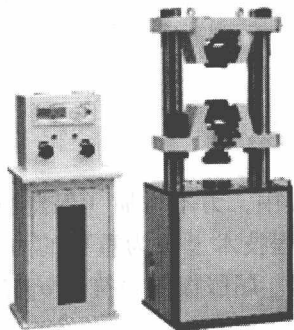


图 1-1 万能液压拉伸试验机

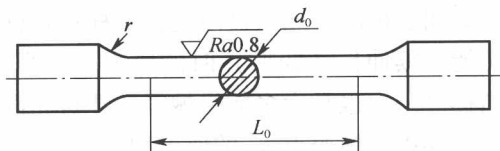


图 1-2 圆形标准试样

试验时,将试样装夹在试验机上,且在试样两端缓慢地施加轴向拉伸载荷,使试样承受轴向静拉力。随着载荷不断增加,试样被逐步拉长,直到拉断。在拉伸过程中,试验机将自动记录每一瞬间的载荷 F 与伸长量 ΔL 的变化曲线,通常把这种曲线称为拉伸曲线。图 1-3 为退火低碳钢的拉伸曲线。

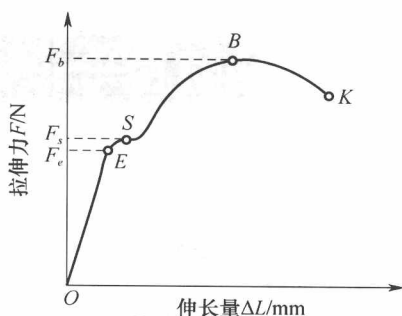


图 1-3 退火低碳钢的拉伸曲线

观察拉伸试验和拉伸曲线,会发现在拉伸试验的开始阶段,试样的伸长量 ΔL 与拉伸力 F 呈正比例关系,在拉伸曲线图中为斜线段 OE 。在该阶段,当载荷增加时试样的伸长量 ΔL 呈正比增加。当载荷去除后,试样能完全恢复到原来的形状和尺寸,此时试样处于弹性变形阶段。图中 F_e 是试样保持弹性变形的最大载荷。当载荷超过 F_e 后,试样除产生弹性变形外,还将产生微量的塑性变形;当载荷继续增加到 F_s 时,拉伸曲线在 S 点后出现一个平台,即在载荷不增加的情况下,试样也会有明显伸长,这种现象称为“屈服”, F_s 称为屈服载荷。当载荷超过屈服载荷后,试样抵抗变形的能力将会增加,此为冷变形强化现象。在拉伸曲线上表现为一段上升曲线。即随着塑性变形量的增大,试样变形抗力也逐渐增大。

当载荷达到 F_b 时,试样的局部截面开始收缩,产生“缩颈”现象。由于缩颈使试样的变形局限在缩颈部分,故此处承受的载荷迅速减小,直至试样被拉断。 F_b 是试样被拉断前能承受的最大载荷,称为极限载荷。

从该曲线上可以看出,试样从开始拉伸到断裂要经过弹性变形阶段、屈服阶段、冷变形强化阶段、缩颈与断裂阶段。

强度指标:金属材料的强度是用应力来表示的,即材料受载荷作用后内部产生一个与载荷相平衡的内力,单位面积上的内力称为应力,一般用 σ 表示。常用的强度指标有弹性极限、屈服点和抗拉强度。

①弹性极限。弹性极限是指试样产生完全弹性变形时所能承受的最大应力,用符号 σ_e 表示,工程上常用单位为 MPa。弹性极限的值可按式计算

$$\sigma_e = F_e / A_0 \quad (1-1)$$

式中, F_e ——试样产生完全弹性变形时的最大载荷, N;

A_0 ——试样原始横截面面积, mm^2 。

②屈服极限。屈服极限是指试样在拉伸试验过程中,力不增加(保持恒定)仍然能继续伸长(变形)时的应力。屈服极限是工程技术上极为重要的力学性能指标之一,也是大多数机械零件选材和设计的依据。屈服极限用符号 σ_s 表示,单位为 MPa。屈服点 σ_s 的值可用下式计算

$$\sigma_s = F_s / A_0 \quad (1-2)$$

式中, F_s ——试样屈服时的载荷, N;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

工业上使用的一些金属材料,如高碳钢、铸铁等,在进行拉伸试验时没有明显的屈服现象,也不会产生缩颈现象,这就无法确定 σ_s 。因此,GB 1063—1989 规定,试样去除拉伸载荷后,其标距部分的残余伸长量达到原始标距长度 0.2% 时的应力,为该材料的屈服强度,用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

③抗拉强度。抗拉强度是指试样拉断前所能承受的最大拉应力,用符号 σ_b 表示,单位为 MPa。 σ_b 可用下式计算

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (1-3)$$

式中, F_b ——试样承受的最大拉伸力, N;

A_0 ——试样原始横截面面积, mm^2 ;

σ_b 是金属由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值,也是金属在静拉伸条件下的最大承载能力。对于塑性金属来说,拉伸试样在承受最大拉应力 σ_b 之前,变形是均匀一致的,但超过 σ_b 后,金属开始出现缩颈现象,即产生集中变形。

2. 塑性及其指标

塑性是指金属在静载荷作用下发生不可逆变形的能力。金属材料的塑性指标也是可以通过拉伸试验测得的。材料的塑性指标可以用试样拉断时的最大相对变形量来表示,常用的有断后伸长率和断面收缩率,它们是工程上广泛使用的表征材料塑性好坏的主要力学性能指标。

(1) 断后伸长率。断后伸长率是试样拉断后的标距增长量与原始标距之比,用符号 δ 表示,可用下式计算

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中, L_1 ——拉断后试样的标距长度, mm;

L_0 ——试样原始标距, mm。

材料的伸长率是随标距的增加而减小的,所以同一材料的短试样要比长试样所测得的伸长率大 20% 左右,对局部集中变形特别明显的材料,甚至可大到 50%。因此长、短两种试样求得的断后伸长率应分别为 δ_{10} 和 δ_5 。

(2) 断面收缩率。断面收缩率是指试样拉断后缩颈处横截面面积的缩减量与原始横截面面积之比,用符号 ψ 表示,可用下式计算

$$\psi = \frac{A_1 - A_0}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中, A_0 ——试样原始横截面面积, mm^2 ;

A_1 ——试样断口处的横截面面积, mm^2 。

虽然材料的塑性指标通常不直接用于工程设计计算,但材料的塑性对零件的

加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成形加工,而且在使用时万一超载,由于能发生一定的塑性变形而不至于突然断裂,提高了工作的安全性。所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外,还必须具有一定的塑性。

1.1.2 硬度

材料局部抵抗硬物压入其表面(抵抗塑性变形和破裂)的能力称为硬度。它是衡量金属软硬程度的一种性能指标。材料的硬度可通过硬度试验测得,根据其测试方法的不同,硬度试验可分为静压法(如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等)、划痕法(如莫氏硬度)、回跳法(如肖氏硬度)及显微硬度、高温硬度等多种方法。对于金属材料的测量目前生产中应用较多的是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等试验方法。

1. 布氏硬度

布氏硬度的试验原理是用一定直径 D 的淬火钢球或硬质合金球,在规定的试验载荷 F 的作用下压入被测金属表面(如图 1-4 所示),停留一定的时间后卸除载荷,在被测金属表面上得到一直径为 d 的压痕,测量压痕直径 d ,并由此计算压痕的球缺面积 S ,然后再求出压痕的单位面积上所承受的平均压力,以此作为被测金属的布氏硬度值。当选择淬火钢球为压头时,硬度的符号为 HBS,适用于布氏硬度值低于 450 的金属材料;当选择硬质合金球为压头时,硬度的符号为 HBW 表示,适用于布氏硬度值为 450~650 的金属材料。图 1-5 为 HB-3000 布氏硬度试验机。布氏硬度值可用下式计算

$$\text{HBS(HBW)} = F/S = 2F/\pi D(D - D_2 - d_2) \quad (1-6)$$

式中, F ——载荷, N (kgf);

D ——压头的直径, mm;

d ——被测金属的压痕直径, mm。

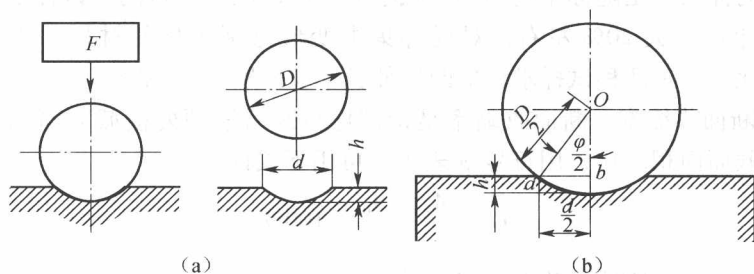


图 1-4 布氏硬度试验原理示意图

由于金属有硬有软, 工件有厚有薄, 在进行布氏硬度试验时, 压头直径 D 、载荷和载荷的保持时间应根据被测金属种类和厚度正确地进行选择。按 GB 231—1984 规定, 压头直径有 10 mm、5 mm、2.5 mm、2 mm 和 1 mm 共 5 种, 载荷与压头直径平方的比值 (F/D^2) 有 30 mm、15 mm、10 mm、5 mm、2.5 mm、1.25 mm 和 1 mm 共 7 种, 可根据金属材料的种类和布氏硬度范围, 按表 1-1 选定 F/D^2 的值; 黑色金属的载荷保持时间为 10~15 s, 有色金属的为 30 s, 布氏硬度值小于 35 时载荷保持时间为 60 s。

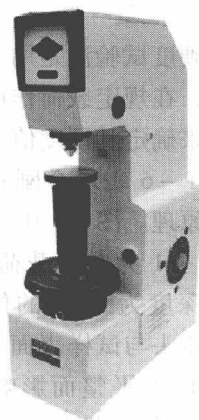


图 1-5 HB-3000 布氏硬度试验机

表 1-1 布氏硬度试验的 F/D^2 值的选择

材 料	布氏硬度	F/D^2 ①
钢及铸铁	<140	10
	>140	30
铜及其合金	<135	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5 (或 1.25)
	35~80	10 (或 5.15)
	>80	10 (或 15)
铅、锡		1.25 (或 1)

注: ①试验条件允许时, 应尽量选用 10 mm 压头和无括号的 F/D^2

布氏硬度的标注方法是所测得的硬度值写在硬度符号的前面。除了采用钢球直径 D 为 10 mm, 试验力为 3 000 kgf (注: 1 kgf = 9.806 N), 保持时间为 10 s 的试验条件外, 在其他试验条件下测得的硬度值, 均应在硬度符号的后面用相应的数字注明压头直径、载荷大小和载荷保持时间。例如, 150HBS10/1000/30 表示: 用直径为 10 mm 的淬火钢球, 在 1 000 kgf 载荷作用下保持 30 s, 测得的布氏硬度值为 150; 500HBW5/750 表示: 用直径为 5 mm 的硬质合金球, 在 750 kgf 载荷作用下保持 10~15 s 测得的布氏硬度值为 500。一般试验力保持时间为 10~15 s 时不需要标注。

布氏硬度的特点是试验时金属表面压痕大, 能客观地反映被测金属的平均硬度, 试验结果较准确, 数据重复性强。但由于其压痕大, 不宜测量成品或薄片金属的硬度。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验法是用一个锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球，在规定载荷作用下压入被测金属表面，由压头在金属表面所形成的压痕的深度来确定其硬度值。

如图 1-6 表示金刚石圆锥压头的洛氏硬度试验原理。图中，0—0 为金刚石压头初始位置，1—1 为在初载荷 98.07 N 作用下，压头压入深度为 h_0 时的位置，加初载荷的目的是使压头与试样表面紧密接触，避免由于试样表面不平整而影响试验结果的精确性；2—2 为在总载荷（初载荷 + 主载荷）作用下，压头压入深度为 h_1 时的位置；3—3 为卸除主载荷后由于被测金属弹性变形恢复，使压头略为提高的位置。这时由主载荷

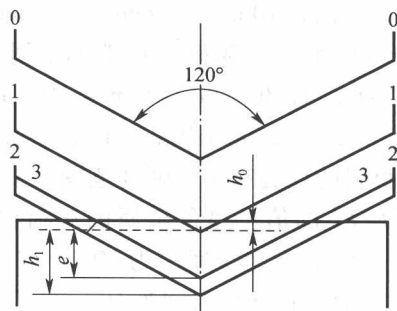


图 1-6 洛氏硬度试验原理图

引起的塑性变形而产生的压痕深度为 e ，称为残余压痕深度增量，以此来衡量被测金属的硬度。显然， e 值越大时，被测金属的硬度越低；反之则越高。为了照顾习惯上数值越大，硬度越高的概念，故采用一个常数 k 减去 e 来表示硬度的大小，并用 0.002 mm 的压痕深度为一个硬度单位，由此获得的硬度值称为洛氏硬度值，用符号 HR 表示。即

$$\text{HR} = (k - e) / 0.002 \quad (1-7)$$

式中， k 为常数，用金刚石圆锥体作压头时， $k = 0.2\text{ mm}$ ；用钢球作压头时， $k = 0.26\text{ mm}$ 。

为了能用同一硬度计测量从极软到极硬材料的硬度，可采用不同的压头和载荷，组成几种不同的洛氏硬度标尺，其中常用的是 A、B、C 三种标尺。表 1-2 为这三种标尺的试验条件和应用范围，图 1-7 为洛氏硬度试验机。

表 1-2 常用洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围

标尺	硬度符号	所用压头	总载荷/N (kgf)	硬度值有效范围	应用范围
A	HRA	金刚石圆锥	588.4 (60)	70 ~ 88	硬质合金、淬火工具钢、碳化物、浅表面硬化钢
B	HRB	$\phi 1.588\text{ mm}$ 淬火钢球	980.7 (100)	20 ~ 100	软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁
C	HRC	金刚石圆锥	1 471 (150)	20 ~ 70	淬火钢及低温回火钢、调质钢、深表层硬化钢

洛氏硬度值是量纲为 1 的，根据 GB/T 230—1991 规定，硬度数值写在符号