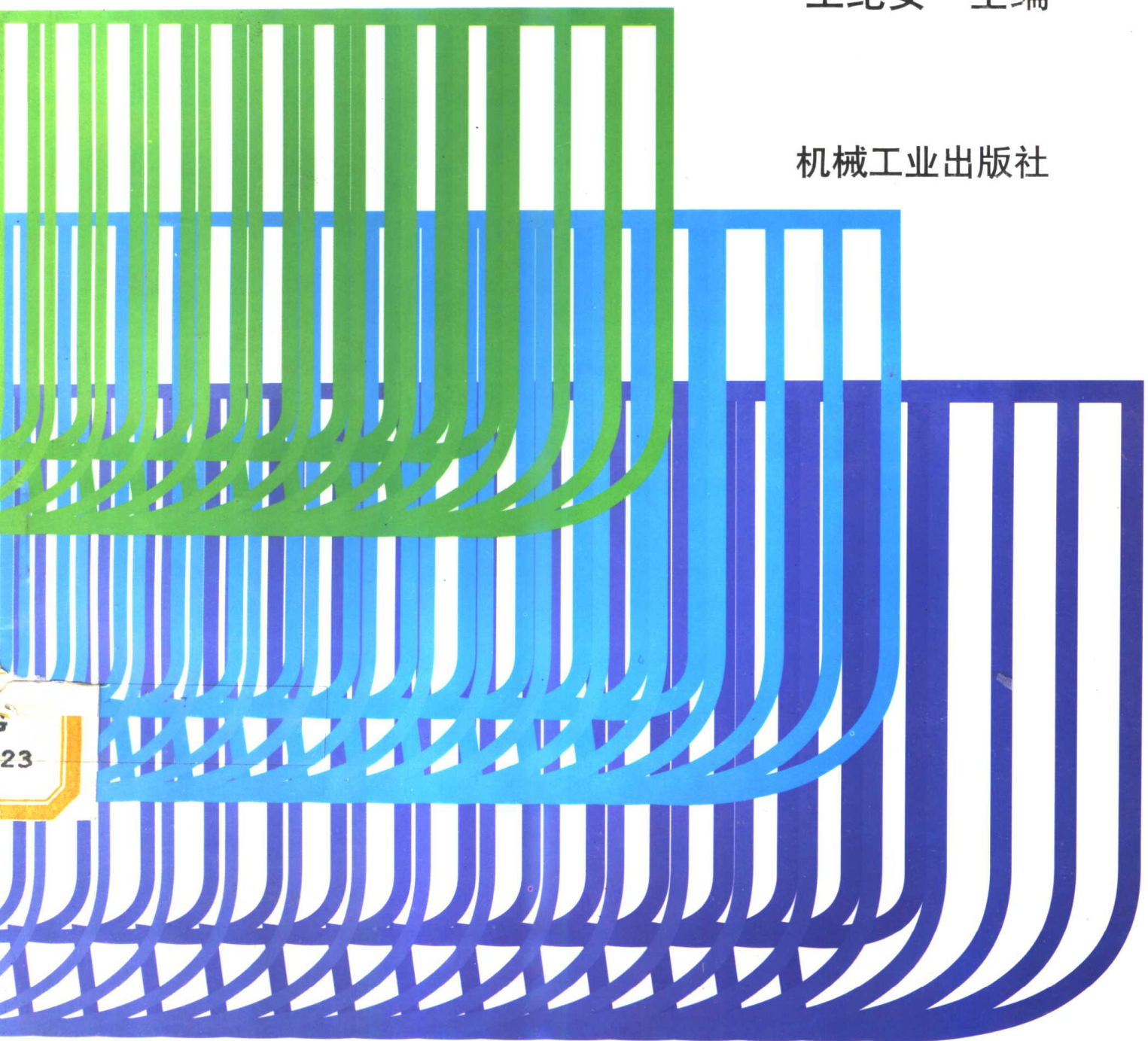


高等学校工程专科金工系列教材

金属工艺学实验

王纪安 主编

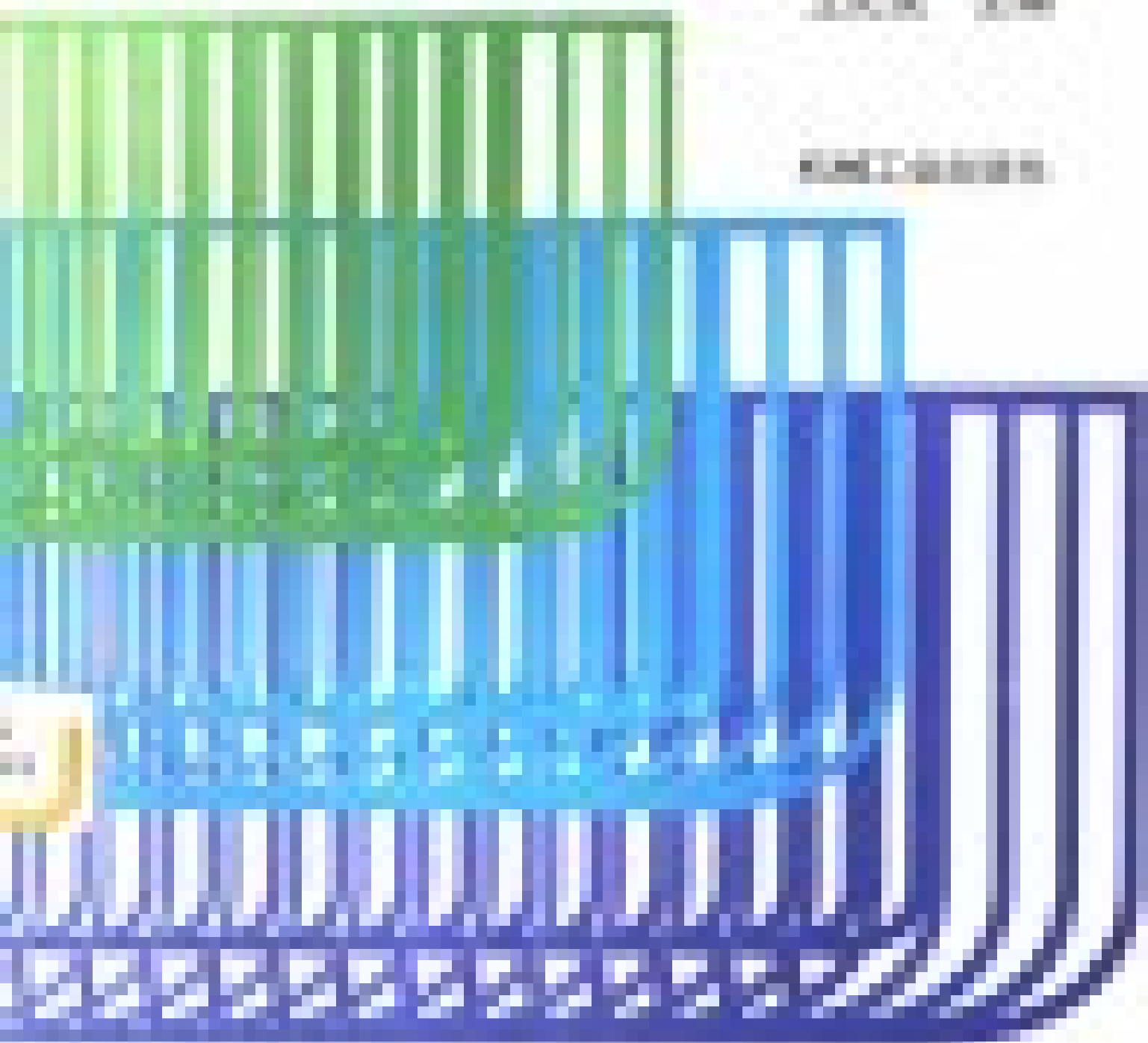
机械工业出版社



中国工业家私展

1999年 10月

中国工业家私展



高等学校工程专科金工系列教材

金属工艺学实验

王纪安 主编

陈文明 主审



机械工业出版社

前 言

本书是根据 1996 年国家教委重新组织修订的《高等学校工程专科金属工艺学课程教学基本要求》，为适应机械类各专业加强实验教学环节的需要而组织编写的，是高等学校工程专科金工系列教材之一。它与丁德全主编的《金属工艺学》（机械工业出版社），杨森主编的《金属工艺实习》（机械工业出版社），丁德全主编的《金属工艺设计》（高等教育出版社）配套使用。

本书主要介绍了金属工艺学实验的实验目的、基本原理、实验内容、实验设备与材料、实验方法及步骤和实验报告要求，其中大部分为基本实验，也设计了一些综合型、设计型实验，各校各专业可根据不同需要自行选择。本书的实验顺序按讲课先后依次编排。

本书由承德石油高等专科学校王纪安副教授主编，王拥军编写了实验七、实验八；张连生编写了实验十、实验十二；刘雄编写了实验十四、实验十五、实验十六；苏海青参加了实验一的部分编写；其余各实验由王纪安编写。本书由河北科技大学陈文明副教授主审。

由于编者水平有限，书中难免出现缺点和错误，殷切希望使用本书的同志提出宝贵意见。

编者

1997 年 2 月

目 录

前言

实验一 金属的力学性能测试	1
I. 拉伸试验	1
II. 硬度试验	3
III. 冲击试验	6
IV. 实验报告	7
实验二 金相试样的制备及金相显微镜的使用	9
实验三 铁碳合金成分、平衡组织与性能间的关系	16
实验四 碳钢的热处理及组织、性能分析	20
实验五 常用钢铁材料的火花鉴别	26
实验六 综合性实验——高速钢的热处理	29
实验七 铸造应力的测定	31
实验八 合金的流动性及充型能力	33
实验九 加工硬化与再结晶	35
实验十 锻造纤维组织及对力学性能的影响	37
实验十一 焊接接头的组织分析	39
实验十二 不同材料的焊接性分析	42
实验十三 车刀几何角度的测量	46
实验十四 不同切削用量对加工质量的影响	48
实验十五 材料可加工性比较	50
实验十六 装夹方法对零件加工精度的影响	52
附录	54
附录 A 有关硬度及金相浸蚀剂	54
附录 B 金相显微摄影方法	60
参考文献	62

实验一 金属的力学性能测试

所谓金属的力学性能，是指金属材料受到各种不同性质的载荷（外力）作用时所表现的对变形和破裂的抵抗能力。金属的力学性能测试主要包括拉伸试验、硬度试验和冲击试验等。

I. 拉 伸 试 验

一、实验目的

- 1) 了解拉伸试验机的构造原理及操作方法。
- 2) 观察材料在拉伸过程中所呈现的特性。测定碳钢的屈服点 σ_s 、抗拉强度 σ_b 、伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 及铸铁的抗拉强度 σ_b 。
- 3) 加深对碳钢拉伸曲线的认识。

二、基本原理

拉伸试验是测定金属材料的强度指标和塑性指标的常用方法，是在拉伸试验机上进行的。图 1-1 为万能材料试验机的构造示意图，其主要包括加力和测力两大部分。加力部分是使试样

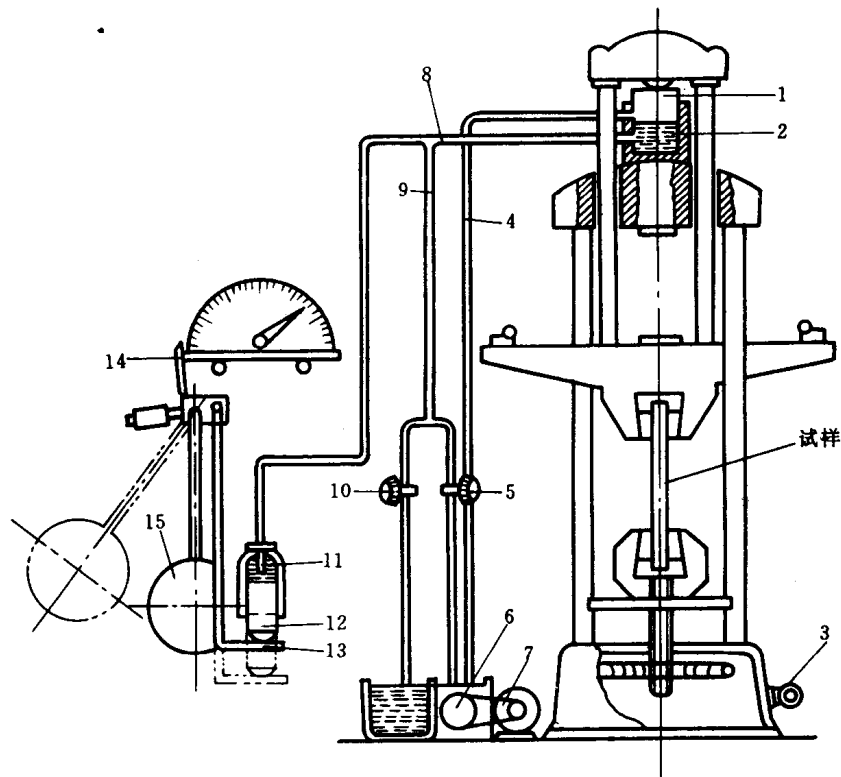


图 1-1 万能材料试验机构造示意图

- 1—大活塞 2—工作液压缸 3—下夹头电动机 4—渗油回油管 5—送油阀 6—液压泵 7—电动机 8—测力油管
9—送油管 10—回油阀 11—测力液压缸 12—测力活塞 13—测力拉杆 14—推杆 15—摆锤

受力的装置，有机械式和液压式两种；测力部分是将试样受力情况显示在表盘上的机构。图中右边为加力部分（液压式），左边为测力部分。

试验机上还有装夹和绘图装置（图上未画出）。装夹装置用来支承和夹持试样，绘图装置可以自动绘出拉伸曲线。

国家标准（GB228—87）对拉伸试样的形状、尺寸以及截取部位、切取方法等都有明确规定。常用的试样截面为圆形，如图 1-2 所示。试样可分为长试样和短试样两种。长试样 $L_0 = 10d_0$ ，短试样 $L_0 = 5d_0$ 。 L_0 为试样标距长度， d_0 为试样直径。

拉伸试验的过程是：把拉伸试样夹持在拉伸试验机上，然后开动试验机对试样逐渐施加拉伸试验力。在此过程中，可以观察到试样发生的变形过程，同时通过试验机上的测力装置测量出某些特定时间的试验力，直至试样被拉断为止。

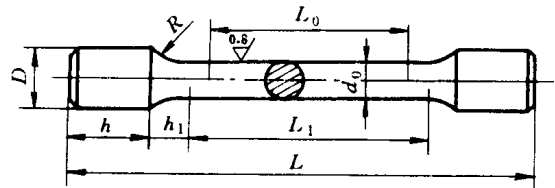


图 1-2 圆形拉伸试样示意图

试样发生屈服时的试验力 F_s 与试样的原始横截面积 S_0 之比即为材料的屈服点 σ_s ，

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

试样所能承受的最大载荷 F_b 与试样的原始横截面积 S_0 之比即为材料的抗拉强度 σ_b ，

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

试样拉断后标距长度的增长量 $(L_1 - L_0)$ 与原标距长度 L_0 的比值即为材料的伸长率 δ ，

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_1 ——试样拉断后的标距长度（mm）。

试样拉断处横截面积的缩小量 $(S_0 - S_1)$ 与原横截面积 S_0 之比即为材料的断面收缩率 ψ ，

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_1 ——试样拉断后的最小横截面积（mm²）。

三、实验内容

- 1) 学习万能材料试验机的构造原理及操作方法。
- 2) 测定碳钢的 σ_s 、 σ_b 、 δ 、 ψ 和铸铁的 σ_b 数值。
- 3) 分析试验机自动绘出的拉伸曲线。

四、实验设备及材料

- 1) 万能材料试验机。
- 2) 低碳钢及铸铁拉伸试样若干。
- 3) 游标卡尺。

五、实验方法及步骤

- 1) 用游标卡尺测量试样的原始直径 d_0 （在标距的两端和中间这三处测量，每次在互相垂直的两个方向上各量一次，取其算术平均值，最后以三个平均值的最小者作为 d_0 ），并记下测量数据。

- 2) 用游标卡尺测量原始标距长度 L_0 并记下测量数据。
- 3) 在了解试验机的构造后, 估计本实验的载荷使用量程。
- 4) 安装低碳钢试样, 注意防止偏斜及夹入部分过短。
- 5) 调整测力指针于零位并检查好自动描图机构。

6) 开动机器, 进行拉伸试验。试验过程中要注意观察试样的形状变化、拉伸曲线的变化和测力指针的走动情况, 并及时记下必要的数。当测力指针来回摆动或几乎不动时 (绘图纸上出现平台或锯齿形), 材料即发生了“屈服”, 记下屈服时的试验力 F_s 。当试验力继续上升到某一数值后, 测力指针开始回转, 此时试样产生“缩颈”现象, 记下此最大试验力 F_b 。此后试样急剧伸长, 直至被拉断。

7) 关闭机器, 取下拉断的试样。将断裂的两半试样对合起来, 测量断裂后的标距长度 L_1 和缩颈处最小直径 d_1 (测量方法同上), 记下测量数据。

8) 取下并分析记录纸上的拉伸曲线。

9) 以同样的实验方法及步骤对铸铁试样进行拉伸试验。

II. 硬度试验

一、实验目的

- 1) 了解布氏硬度和洛氏硬度的试验原理和应用范围。
- 2) 掌握布氏硬度和洛氏硬度这两种试验机的基本构造和操作方法。

二、基本原理

硬度是指金属材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度试验简便易行, 基本无损于零件, 因此在生产和科研中应用十分广泛。

常见的硬度试验方法有: 布氏硬度 (主要用于原材料检验)、洛氏硬度 (主要用于热处理后的产品检验)、维氏硬度 (主要用于薄板材料及材料表层的硬度测定)、显微硬度 (主要用于测定金属材料的显微组织及各组成相的硬度)。本实验重点介绍布氏硬度和洛氏硬度试验法。

1. 布氏硬度试验

用试验力 F 将直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球压入试样表面, 保持一定时间后卸除试验力, 测量压头在试样表面上压出的压痕直径 d , 从而计算出压痕面积 S , 以 F/S 值来表示试件的布氏硬度。布氏硬度用 HBS (钢球压头) 或 HBW (硬质合金球压头) 表示。布氏硬度试验原理如图 1-3 所示。

设压痕深度为 h , 则压痕球面积为

$$S = \pi Dh = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

$$\text{则 HBS (HBW)} = \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——施加的试验力 (N)

D ——淬火钢球或硬质合金球直径 (mm);

d ——压痕平均直径 (mm);

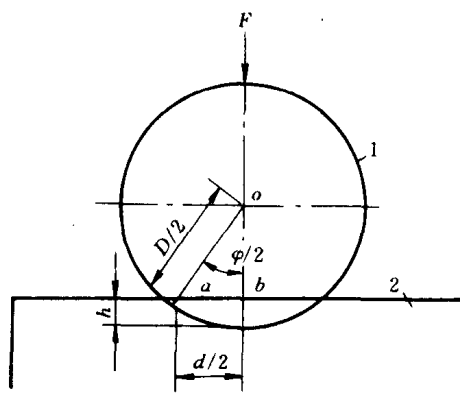


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

1—压头 2—试样

S ——压痕面积 (mm^2)。

试验中, d 值可借读数显微镜读出, 然后通过计算或直接从附表 A-1 中查出该试样的布氏硬度值。按国家标准规定, 硬度值应写在布氏硬度符号的前面。如用 D 为 10mm 的钢球为压头, 在 30000N 试验力作用下保持 10s 时, 所得硬度值后面只写符号 HBS, 如 250HBS 等, 习惯上不标注单位。

布氏硬度 (HBS) 试验规范可按表 1-1 进行选择。

表 1-1 布氏硬度 (HBS) 试验规范

材料	HBS 范围	试样厚度 mm	$\frac{F}{D^2} / (\text{N} \cdot \text{mm})^{-2}$	钢球直径 D mm	试验力 F N	保持时间 s
黑色 金属	140~450	>6	300	10	30000	10
		6~3		5	7500	
		<3		2.5	1875	
	<140	>6	100	10	10000	10
		6~3		5	2500	
		<3		2.5	625	
有色 金属	36~130	>6	100	10	10000	30
		6~3		5	2500	
		<3		2.5	625	
	8~35	>6	25	10	2500	60
		6~3		5	625	
		<3		2.5	156	

图 1-4 为 HB-3000 型布氏硬度试验机构造简图, 其主要由机体、工作台、大小杠杆、减速器和换向开关等部件组成。

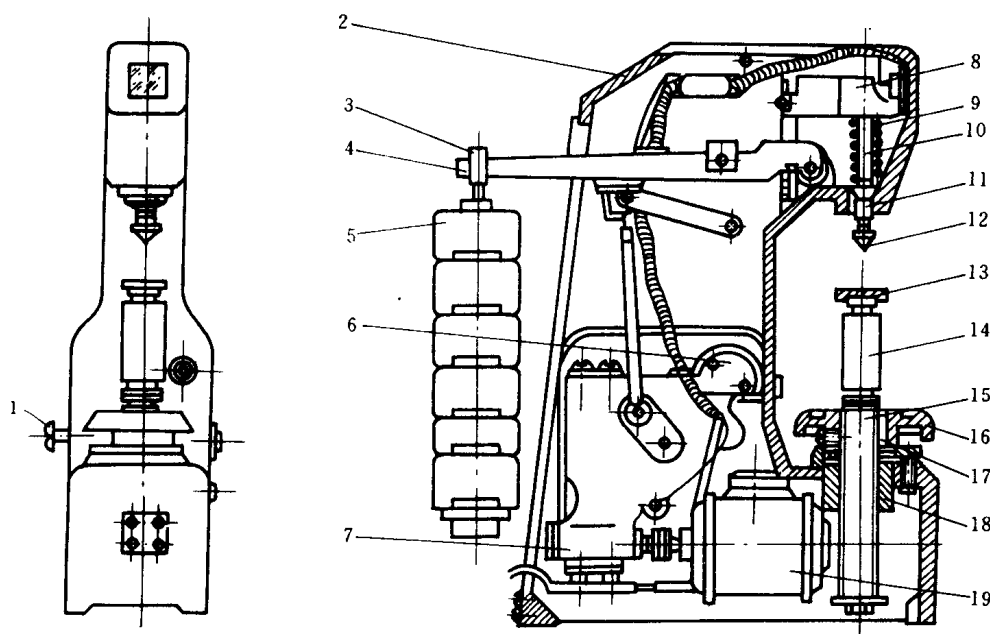


图 1-4 HB-3000 型布氏硬度试验机简图

- 1—电源开关 2—机体 3—吊环 4—大杠杆 5—砝码 6—换向开关 7—减速器 8—小杠杆 9—弹簧
10—压轴 11—主轴衬套 12—钢球 13—可更换工作台 14—工作台立柱 15—螺杆 16—升降手轮
17—螺母 18—套筒 19—电动机

布氏硬度试验的压痕较大,试验结果比较准确,但不能测定高于 450HBS (钢球压头) 和高于 650HBW (硬质合金球压头) 的材料,否则压头会发生变形及损坏,同时也不宜测定厚度太薄或表面不允许有较大压痕的零件。

2. 洛氏硬度试验

洛氏硬度试验是用金刚石圆锥 (锥顶角为 120°) 或钢球 (直径为 1.588mm) 为压头,在先后施加的两个试验力 (初试验力和主试验力) 的作用下压入试样表面,然后卸除主试验力,在保留初试验力的情况下,测出由残余压痕深度增量 e 来计算洛氏硬度的。洛氏硬度用 HR 值表示。 e 值越大,被测材料的 HR 值越低;反之,则越高。在实验中,硬度值可直接从硬度计表盘上读出。

为了能用同一硬度计测定由软到硬各种金属材料的硬度,扩大洛氏硬度机的使用范围,根据被测材料的不同,可采用不同的压头和试验力,组成各种不同的洛氏硬度标度、常用的三种洛氏硬度试验规范见表 1-2。

表 1-2 常用三种洛氏硬度试验规范

符 号	压头类型	试验力/N	硬度值有效范围	表盘刻度颜色	应用范围
HRA	120° 金刚石圆锥	600	HRA > 70	黑	硬质合金、表面淬火钢等
HRB	D1.588mm 钢球	1000	25~100HRB	红	有色金属、退火钢、正火钢等
HRC	120° 金刚石圆锥	1500	20~67HRC	黑	一般淬火钢等

以上几种洛氏硬度中,以 HRC 应用最多。

图 1-5 为 HR-150 型洛氏硬度试验机简图,其主要由机架、加载机构、测量指示机构及工作台升降机构等几部分组成。

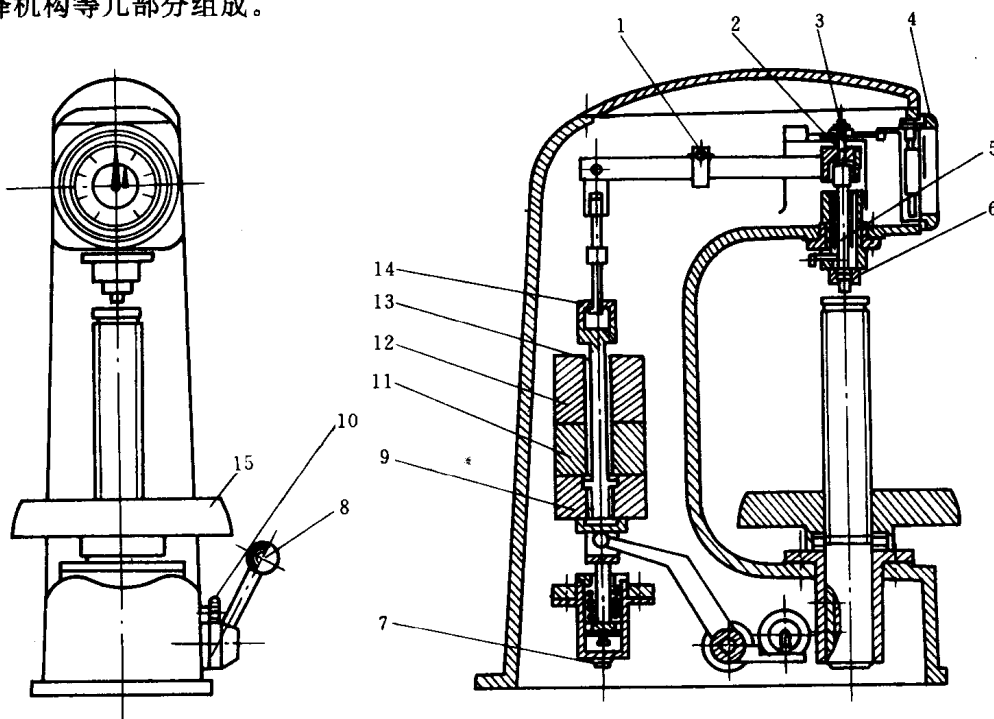


图 1-5 HR-150 型洛氏硬度试验机简图

1—调整块 2—顶杆 3—调整丝 4—表盘 5—按钮 6—紧固帽 7—放油螺钉 8—操纵手柄 9—砝码座
10—油针 11、12—砝码 13—杆 14—吊套 15—手轮

三、实验内容

布氏、洛氏硬度试验机的使用方法。

四、实验设备及材料

- 1) 布氏硬度试验机、洛氏硬度试验机。
- 2) 读数显微镜。
- 3) 各种试样若干块。

五、实验方法及步骤

1. 在布氏硬度试验机上作布氏硬度试验

- 1) 准备试样。试样表面应为无氧化皮或其它污物的光滑平面。
- 2) 按表 1-1 选择钢球直径、试验力大小及保持时间。
- 3) 将试样平稳放置在压头正下方的工作台上，顺时针转动工作台升降手轮 16，使压头与试样接触，直到手轮与升降螺母 17 产生相对运动时为止。为保证试验结果准确，相邻两压痕的中心距离应不小于压痕直径的 4 倍；压痕中心距试样边缘的距离不小于压痕直径的 2.5 倍。
- 4) 开动电动机 19 将试验力加到试样上，并保持一定时间。
- 5) 逆时针转动手轮，取下试样。
- 6) 用读数显微镜测量两个相互垂直方向的压痕直径 d_1 和 d_2 ，求出平均值 d 。
- 7) 用公式求出布氏硬度值，并查附表 A-1 看与计算结果是否吻合。

2. 在洛氏硬度试验机上作洛氏硬度试验

- 1) 准备试样。试样表面应光洁平坦，不得带有油脂、氧化皮、裂纹、凹坑或其它污物。
- 2) 根据试样材料、形状和大小，按表 1-2 规范选择压头、试验力。
- 3) 将试样平稳放置在工作台上，顺时针转动手轮 15 使试样升起与压头接触，当表盘上小针移动至红点处后停止转动手轮。此时大指针应垂直向上指向 B 与 C 处，左右偏移不超过 5 格。试样此时即已施加了 100N 的初载荷。应当注意的是，试样上各压痕中心的距离及压痕中心至试样边缘的距离均不得小于 3mm。
- 4) 调整读数表盘 4，使大指针对准“0”位（测 HRC 时对准“30”）。
- 5) 平稳地操纵手柄 8 向后推倒，加上主试验力，待大指针停住后，保留试验力 10s，再将手柄扳回，卸除主试验力
- 6) 读硬度值。表盘上大指针指示的数字即为硬度读数。
- 7) 逆时针转动手轮，降下工作台，取下试样。
- 8) 用同样方法在试样的不同位置再测二个数据，取其算术平均值即为该试件的硬度值。若三个值相差过于悬殊，应予重测。

Ⅲ. 冲击试验

一、实验目的

- 1) 了解冲击试验机的基本构造和操作方法。
- 2) 掌握金属材料在常温下冲击韧度的测定方法。

二、基本原理

摆锤式一次冲击试验是目前应用最普遍的一种冲击试验方法。它是将一定尺寸和形状的

金属试样放在专门的摆锤式冲击试验机上进行的。如图 1-6 所示, 将试样放在试验机的支座上,

试样的缺口背向摆锤冲击方向。将质量为 m 的摆锤升高到规定的高度 H , 使其获得一定的位能, 然后落下, 将试样冲断。试样冲断后, 摆锤摆过零点后继续向左升高到 h 的高度。摆锤冲断试样所消耗的能量即为冲击吸收功 A_k , 该值可在试验机刻度盘上直接读出。冲击韧度 a_k 则用冲击吸收功 A_k 除以试样断口处的原始横截面积 S 来表示, 即

$$a_k = \frac{A_k}{S}$$

按国家标准规定, 冲击试样采用夏比冲击试样作为标准试样, 图 1-7 所示为 U 型夏比冲击试样。

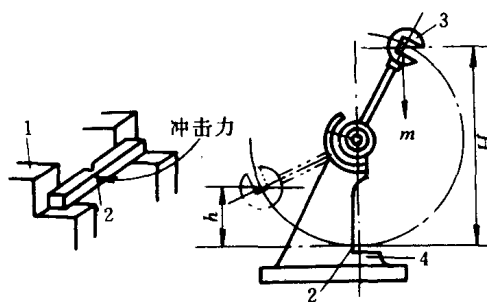


图 1-6 摆锤式一次冲击试验原理示意图
1—支座 2—试样 3—摆锤 4—机架

三、实验内容

测定低碳钢和铸铁的冲击韧度值 a_k 。

四、实验设备及材料

- 1) 摆锤式冲击试验机。
- 2) 游标卡尺。
- 3) 低碳钢及铸铁冲击试样若干个。

五、实验方法及步骤

- 1) 检查试样有无明显缺陷。用游标卡尺测量缺口处的断面尺寸, 并记下测量数据。
- 2) 检查好试验机的结构, 看其工作是否正常。
- 3) 将试样放在钳口支架上, 试样缺口背向摆锤刃口。
- 4) 将试验机上操纵手柄扳至预备位置, 然后扬起摆锤, 使摆锤处于冲击前的预备位置。同时将指针拨至刻度最大读数处。
- 5) 将手柄从预备位置拨至冲击位置, 这时摆锤就以摆轴为旋转中心而自由下落, 进行冲击。当摆锤冲断试样后, 其剩余能量又使摆锤向另一方向上升一定高度, 这时将手柄再拨至停止位置, 使摆锤停止摆动, 然后在刻度盘上读取冲击吸收功 A_k 。

应当指出, 进行本实验时要特别注意安全, 尤其不能在试验机摆锤运动的平面内站人, 以免摆锤或试样碎块伤人。

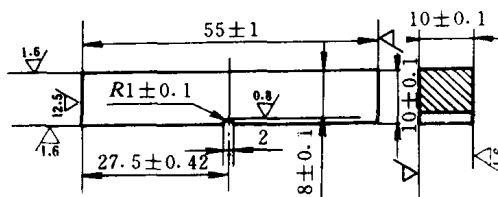


图 1-7 U 型夏比标准冲击试样

IV. 实验报告

一、拉伸试验实验报告

- 1) 实验目的。
- 2) 简述拉伸试验过程。
- 3) 填写如下实验数据记录表。

材 料	项 目	试 样 尺 寸					试验力		
		d_0/mm	d_1/mm	S_0/mm^2	S_1/mm^2	L_0/mm	L_1/mm	F_t/MN	F_b/MN
低碳钢									
铸 铁									

- 4) 计算各试验材料的强度与塑性指标。
- 5) 在同一坐标上画出并分析各试验材料的拉伸曲线。
- 6) 实验结果讨论。

二、硬度试验实验报告

- 1) 实验目的。
- 2) 简述布氏与洛氏硬度试验原理。
- 3) 填写实验数据。
- a. 布氏硬度

材 料	项 目	试 验 规 范				实 验 结 果				换算值
		钢球直径 D/mm	试验力 F/N	F/D^2 $\text{N} \cdot \text{mm}^2$	保持时间 t/s	压痕直径 d_1/mm	压痕直径 d_2/mm	平均压痕 直径 d/mm	HBS	HRC

b. 洛氏硬度

材 料	项 目	试 验 规 范		实 验 结 果				换算值
		压 头	试验力/N	第一次	第二次	第三次	平均值	HBS

- 4) 实验结果讨论。

三、冲击试验实验报告

- 1) 实验目的。
- 2) 简述冲击试验过程。
- 3) 填写下表。
- 4) 比较低碳钢与铸铁的冲击韧度值和断口特征，分析原因。
- 5) 实验结果讨论。

试验材料	试样缺口处断面尺寸			冲击吸收功 A_k/J	冲击韧度 $a_k/\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$	断口特征
	高/cm	宽/cm	断面积/ cm^2			

实验二 金相试样的制备及金相显微镜的使用

一、实验目的

- 1) 学会金相试样的制备方法。
- 2) 了解金相显微镜的构造和使用方法，并能利用显微镜进行显微组织分析。

二、基本原理

在对各种金属或合金的组织进行研究的方法中，利用金相显微镜来观察和分析金属和合金的内部组织是一项最基本的实验技术。至今，这种方法仍在金属学和热处理领域中占有十分重要的地位。其中金相试样的制备则是这种观察与分析的前提。

(一) 金相试样的制备

为了在金相显微镜下确切地、清楚地观察到金属内部的显微组织。金属试样必须进行精心的制备。试样制备过程包括取样、磨制、抛光、浸蚀等工序。现简述如下。

1. 取样

首先确定在金属材料上要进行研究的部位，根据研究的需要来截取试样。

如在研究零件的失效原因时，应在失效的部位取样，并同时在完好的部位取样，以便作比较性分析。

取样时要注意取样方法，确保不使试样被观察面的金相组织发生变化。对于软材料可用锯、车等办法；对于硬材料可用砂轮切片机切取；硬而脆的材料则可用锤击；大件可用氧气切割等。

试样尺寸不要过大或过小，以高度 20~30mm，观察面的边长或直径为 10~20mm 的方形或圆柱形为宜。

对于那些尺寸过于细小的细丝、薄片或有特殊要求的试样(如表层组织观察)，由于制备较为困难，可将其镶嵌起来以便磨制。镶样方法很多，一般是在专门的镶嵌机内加电木粉镶嵌。

2. 磨制

(1) 粗磨 软材料(如有色金属)可用锉刀锉平，一般钢铁材料常在砂轮机上磨平。磨样时应利用砂轮侧面，以保证试样磨平。磨制过程中试样要不断用水冷却，以防温度升高引起试样组织变化。另外，试样边缘的棱角如无保存的必要，可最后磨圆或倒角，以免在细磨抛光时划破砂纸或抛光布。

(2) 细磨 细磨有手工磨和机械磨两种，手工磨是用手拿持试样在金相砂纸上磨平。我国金相砂纸按粗细分为 01 号、02 号、03 号、04 号、05 号和 06 号等几种。细磨时将砂纸平放在玻璃板上，轻轻按住已洗净的试样，使试样磨面朝下并与砂纸接触，然后加压将试样朝前推，试样退回时不与砂纸接触，这样反复进行，依次从 01 号磨至 06 号，必须注意不可越次进行。手握试样务求平稳，用力均匀，压力不宜过大，以免磨痕过深及磨面金属变形。每更换砂纸时，试样的研磨方向应转 90°，使新磨痕与旧磨痕垂直，一直磨到前一号砂纸的磨痕消除，整个磨面产生一个方向的新磨痕为止。另外，当更换砂纸时，试样及操作者的双手均需冲洗干净，以免有较粗的砂粒带到次一号砂纸上，引起较深的磨痕。在磨制软材料时，可

在砂纸上涂一层润滑剂，如机油等，以免砂粒嵌入试样磨面。

为了加快磨制速度、减轻劳动强度，也可采用在转盘上贴水砂纸的预磨机上进行机械磨光的办法。

3. 抛光

细磨以后的试样，用水冲洗后即可进行抛光。

抛光的目的在于去除细磨时遗留下的磨痕，以获得光亮而无磨痕的镜面。抛光有机械法、电解法等几种方法。

机械抛光是在抛光机上进行的。抛光机主要由电动机和被其带动的抛光盘组成。抛光盘上铺以不同材料的抛光布。粗抛时常用帆布和粗呢，精抛时常用绒布、细呢或丝绸。抛光时在抛光盘上不断洒以抛光液。抛光液一般采用 Al_2O_3 、 MgO 、 Cr_2O_3 等细粉末在水中的悬浮液。抛光时应将试样磨面均匀地、平整地压在旋转的抛光盘上，压力不宜过大，并沿盘的边缘到中心不断做径向往复运动。抛光时间不宜过长，试样表面磨痕全部消除而呈光亮的镜面后，抛光即可停止。

抛光后的试样先用水冲洗，然后用酒精冲洗，最后用吹风机吹干。

4. 浸蚀

除观察试样中某些非金属夹杂物或铸铁中的石墨等情况外，金相试样磨面经抛光后还需进行浸蚀，否则不能显示金属及合金的内部显微组织。浸蚀剂通常为酸和碱的酒精或水溶液。钢铁材料常用 4% 硝酸酒精溶液来浸蚀。

浸蚀时可将试样磨面浸入浸蚀剂中，也可用棉花蘸浸蚀剂擦拭表面。浸蚀的深浅应根据组织的特点和观察时的放大倍数来确定。高倍放大时浸蚀应浅些，低倍放大时略深些；单相组织浸蚀重一些，双相组织浸蚀轻一些。一般浸蚀到试样磨面稍发暗即可。浸蚀后用水冲洗，必要时用酒精清洗，然后用吹风机吹干。必须注意不可用手摸试样表面，也不可将试样表面倒置于桌上。如果试样浸蚀过度或由于其它原因显微组织模糊不清时，试样可重新抛光和浸蚀。

(二) 金相显微镜的基本原理、构造及使用

1. 显微镜的基本原理

显微镜的光学系统由物镜、目镜及一些辅助光学零件组成。其中靠近所观察物体的两组透镜构成物镜，而靠近眼睛的两组透镜构成目镜。借助物镜和目镜的两次放大，就能将被观察的组织放大到很高的倍数。图 2-1 即是在显微镜中得到放大物像的光学原理图。

被观察的物体 AB 放在物镜之前离其焦距略远一些的位置，物体的反射光线穿过物镜经折射后，就得到一个放大的倒立实像 $A'B'$ ，若 A'

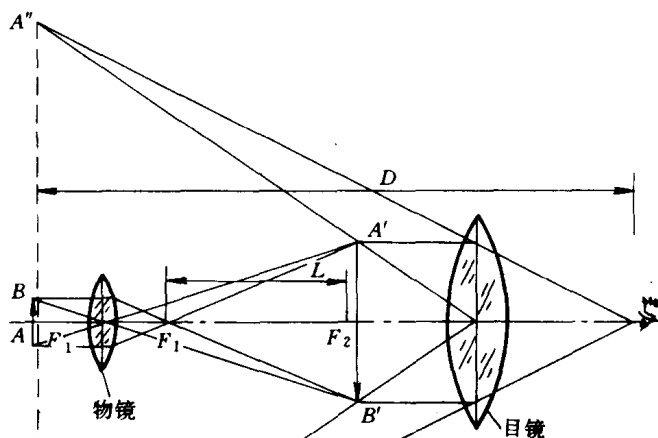


图 2-1 金相显微镜光学原理图

B' 处于目镜焦距之内, $A'B'$ 再经目镜放大, 即得到了一个经再次放大的倒立虚像 $A''B''$ 。

正常人眼观察物体时最适宜的距离叫明视距离。因此在观察时应使最终的倒立虚像在距眼睛 250mm (约等于正常人眼睛的明视距离) 处成像, 这样观察到的物体的影像最为清晰。

显微镜质量的好坏, 主要取决于以下主要性能。

(1) 显微镜的放大倍数 显微镜的放大倍数由下式确定

$$M = M_{\text{物}} M_{\text{目}} = \frac{L}{F_1} \frac{D}{F_2}$$

式中 M —— 显微镜的放大倍数;

$M_{\text{物}}$ —— 物镜的放大倍数;

$M_{\text{目}}$ —— 目镜的放大倍数;

F_1 —— 物镜焦距;

F_2 —— 目镜焦距;

L —— 显微镜的光学镜筒长度;

D —— 明视距离 (250mm)。

使用时, 显微镜的放大倍数就是物镜和目镜放大倍数的乘积, 且主要通过物镜来保证。通常, 金相显微镜的物镜放大倍数可达 100 倍, 目镜的放大倍数可达 15 倍。

放大倍数用符号 “ $\times$ ” 表示。一般均标注在物镜和目镜的镜筒上。

表 2-1 为 XJB-1 型金相显微镜的放大倍数一览表。

表 2-1 XJB-1 型金相显微镜的放大倍数

目 镜		5 $\times$	10 $\times$	15 $\times$
物 镜	8 $\times$	40 $\times$	80 $\times$	120 $\times$
	45 $\times$	225 $\times$	450 $\times$	675 $\times$
干 系	100 $\times$	500 $\times$	1000 $\times$	1500 $\times$
油 系				

(2) 显微镜的鉴别能力 显微镜的鉴别能力 (即鉴别率) 是显微镜的一个十分重要的性能, 它是指显微镜能清晰地分辨试样上两点间最小距离 d 的能力。显然 d 值越小, 鉴别率越高。由于物镜使被观察物体第一次放大, 故显微镜的鉴别率主要取决于物镜的鉴别率。

物镜的鉴别率可由下式求得

$$d = \frac{\lambda}{2NA}$$

式中 λ —— 入射光源的波长;

NA —— 物镜的数值孔径, 表征物镜的聚光能力。

从上式可以看出, 显微镜的鉴别率取决于使用光线的波长和物镜的数值孔径。波长越短, 数值孔径越大, 则鉴别能力越高。

其中光线的波长可通过滤色片来调节。比如黄绿光由于波长较短 ($\lambda=0.55\mu\text{m}$), 用这种滤色片进行金相观察鉴别率就较高, 用蓝色滤色片 ($\lambda=0.44\mu\text{m}$) 观察其鉴别率更高。

物镜的数值孔径可由下式求出

$$NA = \eta \sin \varphi$$

式中 η —— 物镜与试样间介质的折射率;

φ —— 通过物镜边缘的光线与物镜轴线所成的角度。

η 越大或 φ 角越大, 则物镜数值孔径越大。由于 φ 总是小于 90° , 所以在空气介质中 ($\eta=1$) 使用时, NA 一定小于 1, 这种物镜叫干系物镜。若在物镜与试样之间滴入一种松柏油 ($\eta=1.52$) 时, 则其 NA 可达到较高值, 这种物镜我们称为油系物镜, 可用于高倍观察。图 2-2 表明了干系物镜与油浸系物镜对聚光能力的差别。

物镜的数值孔径刻在物镜镜头外壳上。油系物镜用“油”或“oil”来表示。

(3) 物镜的成像质量 单个透镜在成像过程中由于几何光学条件的限制, 会造成透镜成像的缺陷, 从而影响映象的质量, 这种缺陷称为像差。像差主要包括球面像差和色像差。

1) 球面像差。如图 2-3a 所示, 当从某点发出的光通过透镜后, 由于透镜表面呈球形, 使得通过中心的光线与通过边缘的光线折射后不能交于一点, 而造成放大后映像的不清晰, 这种现象叫球面像差。

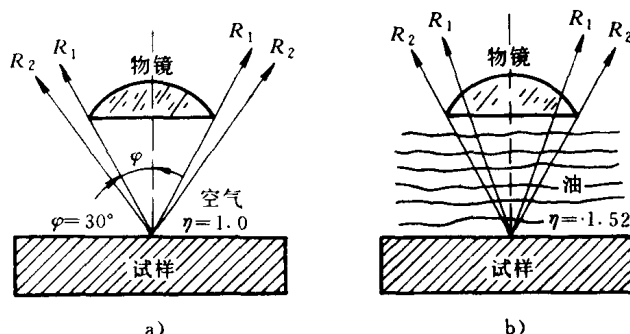


图 2-2 不同介质对物镜聚光能力的比较

a) 干系物镜 b) 油系物镜

校正球面像差多采用由多片透镜组成透镜组, 或适当调节孔径光阑控制入射光束粗细等办法, 使球面像差降低到最低程度。

2) 色像差。如图 2-3b 所示, 由于组成白光的各种不同的光线在通过物镜时折射率不同, 使折射后的光线不能交于一点, 而造成最后映像的不清晰, 这种现象叫色像差。

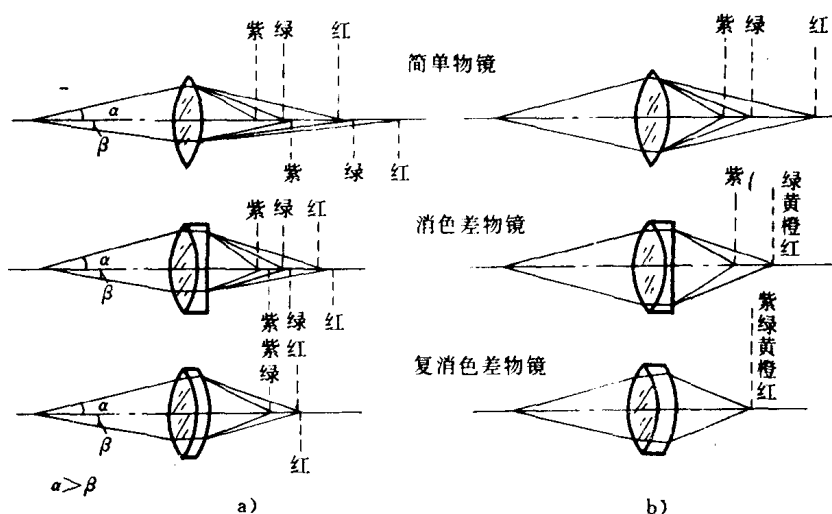


图 2-3 透镜产生象差的示意图

a) 球面像差 b) 色像差

消除色像差可采用单色光源 (加滤色片) 或使用复合透镜的办法。按校正的程度, 物镜可分为消色差物镜和复消色差物镜。

2. 金相显微镜的构造

金相显微镜和生物显微镜的构造基本上是相同的, 其中主要的区别是: 生物显微镜是通过透射过试样的光线进行观察, 而金相显微镜则利用试样的反射光线来观察。