

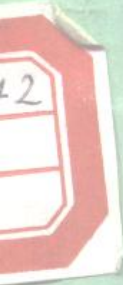
光学仪器丛书



# 金相显微镜

陈宗简 李良德 阮志成 编

机械工业出版社



光学仪器丛书

# 金相显微镜

陈宗简 李良德 阮志成 编



机械工业出版社

1110216

本书在介绍金相显微镜结构原理的基础上详细地叙述了  
金相显微镜的使用方法与维护、保养知识。

本书可供金相显微镜使用人员阅读。

光学仪器丛书

## 金相显微镜

陈宗简 李良德 阮志成 编

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{32}$  · 印张  $6 \frac{3}{4}$  · 字数 147 千字  
1982年6月北京第一版·1982年6月北京第一次印刷

印数 0,001—6,000 · 定价 0.55 元

\*

统一书号: 15033 · 5285

# 目 录

第一章 概述	1
一、金相显微镜在国民经济中的作用	1
二、金相显微镜的分类	2
三、我国金相显微镜的发展概况	5
第二章 金相显微镜的光学原理	6
一、透镜成象的几何光学原理	8
1. 几何光学的实验定律 全反射现象	8
2. 薄透镜的理想成象公式	9
3. 象差的概念	14
二、目镜、显微镜的视放大率	22
1. 人眼的构造 视放大率	22
2. 放大镜的视放大率	24
3. 显微镜的成象原理和视放大率	25
4. 目镜	30
5. 目镜和显微镜的视场直径	36
三、物镜、显微镜的有效放大率	37
1. 物镜的分类	37
2. 数值孔径与显微镜的分辨能力	43
3. 显微镜的景深	48
4. 显微镜的有效放大率	49
四、光栏与滤色片	52
1. 光栏的作用	52
2. 滤色片的作用	54
五、金相显微镜的照明系统	57
1. 光源、照明系统的类型	57
2. 国产金相显微镜明场照明系统实例	63

## IV

3. 国产金相显微镜暗场照明系统实例 .....	67
六、金相显微镜中的偏振光装置 .....	70
1. 自然光和平面偏振光 偏振片 .....	70
2. 偏振光装置的调节 .....	73
第三章 金相显微镜的机械结构 .....	77
一、金相显微镜的调焦机构 .....	78
1. 粗动调焦机构 .....	79
2. 微动调焦机构 .....	81
二、物镜转换器 .....	82
1. 物镜转换器的分类 .....	82
2. 物镜转换器的性能 .....	84
3. 外定位转换器的结构 .....	85
三、载物台 .....	86
四、物镜与目镜结构 .....	89
1. 物镜结构 .....	89
2. 目镜结构 .....	92
五、视场光阑与孔径光阑 .....	94
1. 视场光阑 .....	94
2. 孔径光阑 .....	96
六、照明光源结构 .....	99
1. 照明灯组 .....	99
2. 光源聚光镜组 .....	101
七、转向系统结构 .....	101
1. 转向系统聚光镜组 .....	101
2. 平行棱镜组 .....	103
3. 单筒目镜管组 .....	105
八、照相装置 .....	105
1. 摄影对焦装置 .....	105
2. 摄影物镜 .....	109

3. 快门组 .....	109
4. 片盒 .....	117
第四章 金相显微镜的使用、保养与维修 .....	119
一、金相显微镜的使用 .....	119
1. 使用环境的选择 .....	119
2. 对试样的要求 .....	120
3. 物镜的识别 .....	122
4. 干燥物镜与液浸物镜 .....	124
5. 目镜的识别 .....	126
6. 物镜与目镜的配合 .....	127
7. 物镜与目镜的安装 .....	128
8. 光源的调整 .....	130
9. 物镜的正确调焦 .....	132
二、显微摄影 .....	134
1. 摄影有效放大倍数 .....	134
2. 光栏的调节 .....	137
3. ZX-2 型照相装置的安装 .....	138
4. 摄影对焦目镜的使用 .....	141
5. 摄影胶卷 .....	141
6. 底片曝光 .....	145
三、金相显微镜的维护、保养 .....	149
1. 光学仪器的特点及一般维护、保养 .....	149
2. 光学部件的常见毛病 .....	149
3. 显微镜的防霉、防雾措施 .....	154
4. 显微镜光学部件发霉起雾后的处理 .....	156
四、金相显微镜的维修 .....	156
1. 光学部分 .....	156
2. 机械部分 .....	170
五、金相显微镜的保管 .....	191

1. 在使用状态下的保管 .....	191
2. 在仓库中的保管 .....	191
六、金相显微镜的包装和运输 .....	193
1. 成批仪器的包装和运输 .....	193
2. 单件台式金相显微镜的携带和运输 .....	194
第五章 金相显微镜介绍 .....	195
一、XJG-04 大型金相显微镜 .....	195
1. 仪器的用途和性能特点 .....	195
2. 仪器的构成 .....	197
3. 光学系统原理 .....	199
4. 物镜、目镜的性能参数 .....	200
二、XJL-02 型立式金相显微镜 .....	202
1. 仪器的用途和性能特点 .....	202
2. 显微镜总体的组成 .....	203
3. 光学系统 .....	204
4. 物镜和目镜的性能 .....	206
三、4X(XJB-1) 型金相显微镜 .....	206
四、XJW-01 型高温金相显微镜 .....	208

# 第一章 概 述

## 一、金相显微镜在国民经济中的作用

工业生产与科学技术的迅速发展，使金属材料获得广泛的应用。这是因为金属材料具有优良的机械性能（强度、硬度、塑性）、物理性能（导电、导热、导磁等）、化学性能（耐腐蚀、抗氧化等）及工艺性能（铸造性、焊接性、冷热加工等）。随着原子能技术、火箭技术、喷气技术、宇航技术、航海技术、化学及无线电等技术的广泛应用，对金属材料的各种性能要求更高，往往要求金属与合金具有高抗震强度，耐高温和耐低温，耐热冲击，弹性模量不随温度改变等。而这些性能与材料的金相组织结构是紧密地联系在一起。

很早以前，人们就采用各种方法来研究金属与合金的性质、性能与组织之间的内在联系，以便找到保证金属与合金材料的质量和制造新型合金的方法，但只有在显微镜问世以后，人们才具备了对金属材料深入研究的条件。在放大几百倍甚至上万倍的显微镜下，观察金属材料的内部组织，即金相组织结构，发现了金属的宏观性能与金相组织形态的密切关系，使得金相组织分析法成为最基本、最重要、应用亦最广泛的研究方法之一。所以在任何机械制造、冶金企业及与之相应的研究机关、理工科高等院校等都设有金相检验室或金相研究室，利用各种金相显微镜从事大量的、复杂的、精细的金相组织研究工作。

金相研究的主要工具是金相显微镜。绝大多数的金相研

1110216



究要靠金相显微镜这个观察装置才能实现。所以，凡是专门用来观察、研究金属组织结构的光学显微镜就称为金相显微镜。

金相显微镜是冶金、机械制造和交通运输等工业生产的眼睛，对防止产生废品、提高产品质量起重要作用。在工业生产中利用它来检查金属的冶炼和轧制质量，控制热处理工艺过程，帮助改进热处理工艺操作，提高工件质量；研究金属材料中非金属夹杂物的存在，观察夹杂物的形态、大小、分布及其数量，测定夹杂物的光学性能，从而判断夹杂物的类型，相应评定材料的级别；利用高倍金相显微镜对金属零件断口进行研究，可以根据断口的形状判断晶粒的大小，分析机械破坏的原因；利用高温金相显微镜还可以帮助人们研究组织转变的规律，跟踪转变过程，连续观察金属或合金在一段温度范围内组织的转变等。因此，金相显微镜广泛应用于钢铁冶炼、锅炉制造、矿山、机床、工具、汽车、造船、轴承、柴油机、农机等工业部门，成为工业生产，国防工程与科学研究工作广泛使用的光学仪器。

## 二、金相显微镜的分类

金相显微镜是用来观察不透明物体的。由于光线不能透过不透明物体，所以必须采用一套复杂的照明系统使光线从正面或侧面把物体表面照亮，然后依靠物体表面的反射能力，使部分光线反射入光学系统，经放大成象，为眼睛所观察。由此可见，金相显微镜是利用反射光观察不透明物体的。

金相显微镜的种类很多，它主要根据金相研究的目的、对象、方法的不同而设计。如偏光金相显微镜、相衬金相显微镜、紫外光金相显微镜等。从光路形式来看，也有正置式与

倒置式光路之分，两者的主要区别是基于对金相试样的要求不同。凡是金相试样磨面向上放置，试样表面要与底面平行，物镜朝下观察的都称为正置式光路（即与生物显微镜的观察形式相同）。凡是磨面朝下放置、试样底面为任意形状、物镜朝上观察的都称为倒置式光路。

正置式光路的缺点是试样底面必须与金相磨面平行，这就使试样制作的难度大大增加。因为要做到试样的底面与磨面平行往往是不容易的。但如果两表面不平行，就会使磨面与光轴不垂直，特别在高倍观察时，两面间的微小倾角都会使视场局部模糊不清。此外，试样的高度亦受到镜臂提升高度的限制。倒置式光路可以克服上述缺点。它的物镜朝上，金相磨面与载物台表面重合，因此能很好地与物镜光轴垂直，排除了试样两面间因不平行所引起的成象不清晰的缺点。同时试样高度亦不受限制，只要它的重量不超过载物台所容许承受的限度即可。

金相显微镜的分类，过去按其外形与用途划分为台式、立式、卧式三类。但近十多年来，国外金相显微镜发展很快，品种繁多，向着高质量、多性能、多用途方向发展。普遍采用了平场消色差物镜和大视场目镜，给金相组织的分析研究带来许多方便。在性能方面，不但有一般的明场照明、暗场照明、偏光观察、摄影、投影等，而且有相衬、干涉、差分干涉相衬、显微硬度，高、低温台，还带有电视和自动分析，自动摄影等，表现了一机多用的特点。因此，金相显微镜的分类，比较合理的是按其性能参数与用途而不按其外形分类。我国把金相显微镜的产品划分为初级型、中级型、高级型三类。

初级金相显微镜：可作明场观察和摄影，结构简单、体

积小，主要供工厂及学校金相实验室作一般金相组织分析之用。物镜采用 $10\times$ 、 $40\times$ 、 $100\times$ 的消色差物镜；目镜采用 $5\times$ 、 $10\times$ 、 $12.5\times$ 的惠更斯目镜；滤光片采用黄、绿两种；摄影总放大倍数必须为 $100\times$ 、 $500\times$ 等；工作台可作纵、横向移动；微动调焦范围不小于 $1.8$ 毫米，分度值为 $0.002$ 毫米；备有 $10\times$ 分划目镜和 $0.01$ 毫米测微尺。

中级金相显微镜：能作明场、暗场、偏光观察和摄影，主要供工厂及大专院校作金相分析研究之用。它采用 $4\times$ 、 $10\times$ 、 $25\times$ 、 $40\times$ 、 $63\times$ 、 $100\times$ 的平场消色差物镜及 $8\times$ 、 $10\times$ 、 $12.5\times$ 、 $16\times$ 等平场或广角补偿目镜，滤光片为黄、绿、蓝三种；摄影总放大倍数必须有 $100\times$ 、 $200\times$ 、 $500\times$ 、 $1000\times$ 等，摄影幅面不小于 $8.25$ 厘米 $\times$  $12$ 厘米；工作台可转动 $360^\circ$ ，最小读数值达 $1^\circ$ ，纵、横向移动范围均不小于 $10$ 毫米；微动调焦范围不小于 $2$ 毫米，分度值为 $0.002$ 毫米并要有 $10\times$ 分划目镜和 $0.01$ 毫米测微尺。

高级金相显微镜：具有明场、暗场、偏光、相衬、干涉观察和投影、摄影、显微硬度等，供大、中型工厂和高等院校及研究部门作金相研究用。它所采用的物镜是平场消色差、平场半复消色差或平场复消色差的，有 $2.5\times$ 、 $4\times$ 、 $10\times$ 、 $25\times$ 、 $40\times$ 、 $63\times$ 、 $100\times$ 物镜一套；目镜是平场或广角补偿目镜，有 $8\times$ 、 $10\times$ 、 $12.5\times$ 、 $16\times$ 、 $20\times$ 目镜一套；滤光片有黄、绿、蓝、中性四种；摄影总放大倍数必须有 $100\times$ 、 $200\times$ 、 $400\times$ 、 $500\times$ 、 $800\times$ 、 $1000\times$ 等，摄影幅面为 $12$ 厘米 $\times$  $16.5$ 厘米；投影幅面直径不小于 $250$ 毫米；工作台可转动 $360^\circ$ ，最小读数值 $6'$ ；纵横向移动范围均不小于 $15$ 毫米；微调范围及分度值与中级型金相显微镜相同，备有 $10\times$ 分划目镜， $0.01$ 毫米测微尺及显微硬度等，还可选购干涉装置。

上述分类方法，主要根据仪器的性能及用途划分，而不考虑其外形。这样有利于简化金相显微镜的品种规格，能以较少品种满足最大的需要，对提高产品的系列化、标准化、通用化及产品质量非常有利，对我国金相显微镜的发展起到促进作用。从上述分类标准对照我国目前金相显微镜产品可知，XJG-04大型金相显微镜是一种正在向高级金相显微镜发展的产品；XJL-02立式金相显微镜是属于中级型产品，我们将在第五章向读者介绍。而XJ-16型金相显微镜，是属于初级金相显微镜。它在国产金相显微镜产品中，产量最大，用户最多，生产历史最长；在显微原理上与中级、高级金相显微镜没有根本区别；在光路形式上采用倒置式。因此，本书将以XJ-16型初级金相显微镜为例子，对其光学设计原理、机械结构进行分析解剖，分别在下面各章中进行介绍。

### 三、我国金相显微镜的发展概况

我国金相显微镜的生产是解放后才开始的。五十年代初期，我国开始生产光学仪器，填补了光学仪器生产的空白，并逐步制造出比较简单的金相显微镜。到五十年代后期，我国光学仪器厂如雨后春笋般地发展起来，六十年代以后，初级金相显微镜的产量成倍增长，质量不断提高，结构不断革新，新型产品不断出现，具有我国特色的中级型金相显微镜，大型卧式金相显微镜相继问世，使我国金相显微镜系列基本齐全。到七十年代，我国金相显微镜又进行了统一设计，开展了产品标准化，系列化，通用化等方面的工作，向高质量，多用途，多性能的方向发展，目前正努力赶超世界先进水平。

## 第二章 金相显微镜的光学原理

由于人眼构造的自然条件，人的视力——“看得清楚”的能力，是受到一定限制的。如果直接用肉眼去观察金相试样的话，一般说来，对 0.1 毫米以内的细节就分辨不清楚了。但利用金相显微镜就可以分辨从几个微米到十分之几微米的细微组织结构。若用电子显微镜则进一步可以分辨从几十个埃到几个埃的细微组织。

图 2-1 就是帮助我们观察金相试样的国产 XJ-16 型金相显微镜光学系统示意图。由灯泡 1 发出的光线，经过聚光镜组 2 及反射镜 13 被会聚在孔径光栏 12 上，随后经过聚光镜组 3，穿过半反射镜 4 后经补助透镜 5 再度将光线会聚在物镜 6 的象方焦平面上，最后光线通过物镜，用平行光照亮试样，使其表面得到充分而均匀的照明。从试样反射回来的光线复经物镜 6、补助透镜 5、半反射镜 4、补助透镜 10 以及棱镜 9 和棱镜 8 成一放大实象，该象被目镜 7 再度放大。从图 2-1 所示光学系统可以看出，金相显微镜的光学系统大致可分为三个主要部分：

**照明系统**——给试样被观察表面以均匀充足的照明，建立显微镜最佳工作条件；

**物镜系统**——将试样金相组织构成一清晰的、反衬度高的放大实象；

**目镜系统**——用以观察试样经物镜初步放大的实象，目镜实质上是观察物镜所成实象的放大镜。

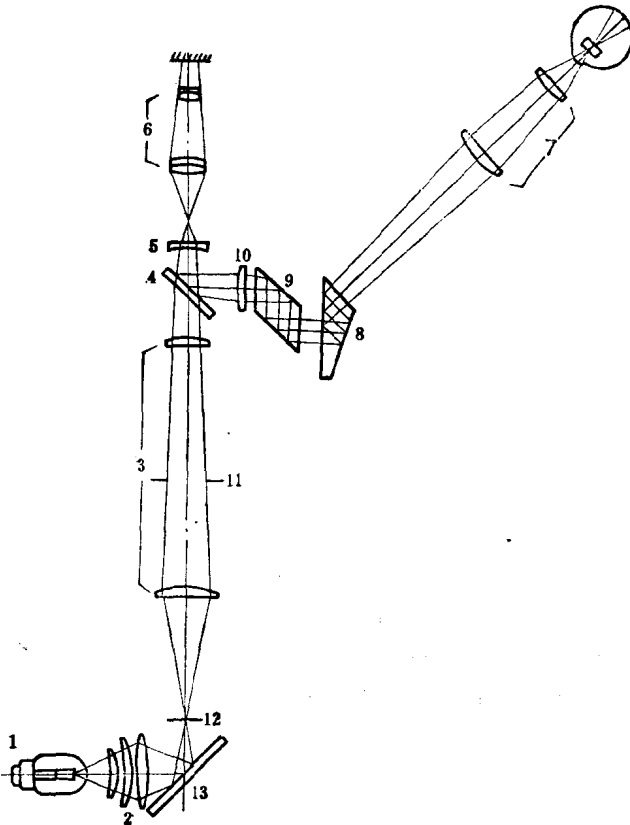


图2-1 XJ-16型金相显微镜光学系统示意图

1—灯泡 2、3—聚光镜组 4—半反射镜 5、10—补助透镜 6—物镜  
7—目镜 8、9—棱镜 11—视场光栏 12—孔径光栏 13—反射镜

本章内容是在介绍光学成象基本原理的基础上，逐步探讨金相显微镜所以能提高人眼视力的道理；了解目镜、物镜、照明系统等所起的作用；分析表征显微镜特性的一系列主要参数的本质；最后对金相显微镜的偏振光装置也作些初步介

绍。

## 一、透镜成象的几何光学原理

### 1. 几何光学的实验定律 全反射现象

在光学研究的初期，把光的传播看成是一种带有能量的几何射线的传播，这种几何射线人们叫做光线。根据实验确立了下列四条关于光线传播的实验定律：

#### (1) 光的直线传播定律

在各向同性的均匀介质中，光沿直线传播；

#### (2) 光的独立传播定律

两束光在传播过程中相遇后，各自继续传播，好象它们没有相遇过一样；

#### (3) 反射定律

入射线、反射线和入射点处的法线在同一平面内；入射线和反射线在法线的两侧；入射角和反射角的绝对值 $\ominus$ 相等，见图 2-2

$$\text{即} \quad i = -i'' \quad (2-1)$$

式中  $i$ 、 $i''$ ——分别表示入射角、反射角。

#### (4) 折射定律

入射线、折射线和入射点处的法线在同一平面内；入射线和折射线在法线两侧；入射

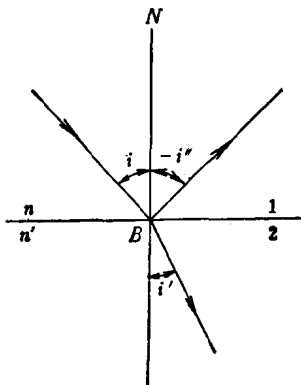


图2-2 光的反射和折射

$\ominus$  按规定：入射角、反射角、折射角均规定为代数量。符号规则是从光线转向法线，顺时针转向者为正，逆时针转向者为负。在图中所示各角度均标出其正值。

角的正弦与折射角的正弦之比等于折射光线所在介质折射率与入射光线所在介质折射率之比，见图 2-2。即

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = \frac{n'}{n} \quad (2-2)$$

或  $n \sin i = n' \sin i'$  (2-3)

式中  $i$  ——入射角；

$i'$  ——折射光线与界面法线的夹角，简称折射角；

$n, n'$  ——分别为介质 1 和介质 2 的折射率。

从公式 (2-2) 或公式 (2-3) 中不难看出：当光线从折射率  $n$  比较小的介质（通常称为光疏介质，例如空气）进入折射率  $n'$  比较大的介质（通常称为光密介质，例如玻璃）时，折射光线靠近法线；反之，当光线从光密介质进入光疏介质时，折射光线将偏离法线。

由此可知：当光线由折射率  $n$  大的介质向折射率  $n'$  小的介质入射时，随着入射角的增大折射角增得更大。此时反射光增强，折射光减弱。当入射角增大到某一角度  $i_c$ （称为临界角）时，折射光从两种介质的分界面掠过，即  $i'_c = 90^\circ$ 。也就是说，只有在入射角  $i$  小于临界角  $i_c$  时才有折射光和反射光。当入射角大于临界角  $i_c$  时，只有反射光而没有折射光，见图 2-3。没有折射只有反射的现象叫全反射现象。

从折射定律式 (2-3) 可见，临界角  $i_c$  是由下式决定的：

$$i_c = \sin^{-1}(n'/n) \quad (\text{其中 } n > n') \quad (2-4)$$

借助光在棱镜中的全反射（或镜面反射）来改变光的进行方向，在金相显微镜中应用得相当普遍。图 2-1 中 8、9 两个棱镜就是一个例子。

## 2. 薄透镜的理想成像公式

透镜是一切光学仪器的主要零件，它可以使光线会聚或



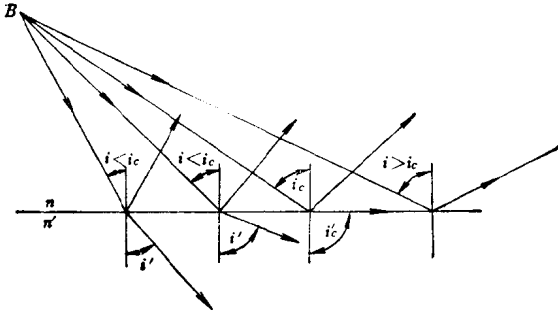


图2-3 光的全反射现象 (B点表示光源,  $n > n'$ )

发散, 使物象放大或缩小。透镜的中央部分比边缘部分厚的叫凸透镜, 见图 2-4。中央部分比边缘部分薄的叫凹透镜, 见图 2-5。透镜的表面通常都做成球面 (其中之一可以是平面), 但也有采用其它非球面形状的, 例如国产立式、大型卧式金相显微镜中光源和孔径光栏之间的聚光镜就使用了双曲面透镜。

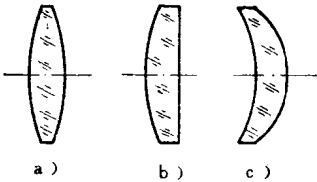


图2-4 凸透镜的各种形式示意图

a) 双凸 b) 平凸 c) 正弯月

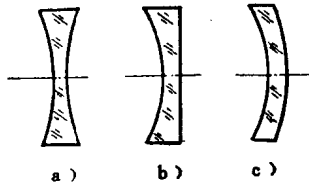


图2-5 凹透镜的各种形式示意图

a) 双凹 b) 平凹 c) 负弯月

透镜两球面曲率中心的连线叫光轴。厚度相对球面曲率半径来说非常小的透镜称作薄透镜。薄透镜与光轴的交点O