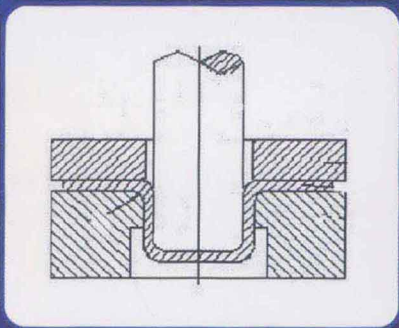
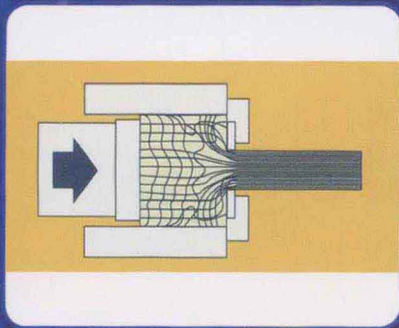
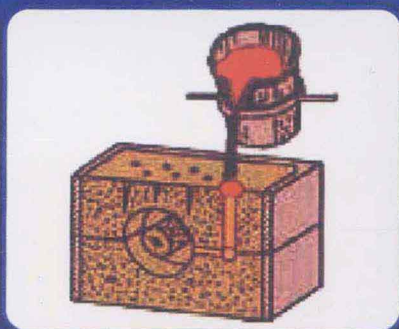
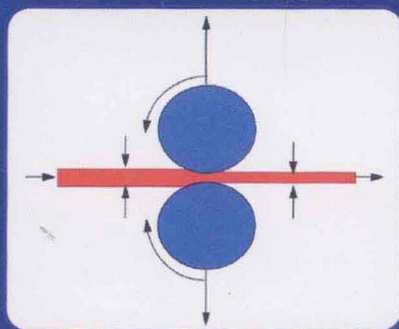


材料成型及控制工程专业 实验指导书

丁 桦 主编



材料成型及控制工程专业 实验指导书

丁 桦 主 编

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 丁 桦 2013

图书在版编目 (CIP) 数据

材料成型及控制工程专业实验指导书 / 丁桦主编. —沈阳: 东北大学出版社, 2013. 9
ISBN 978 - 7 - 5517 - 0433 - 5

I. ①材… II. ①丁… III. 工程材料 - 成型 - 实验 - 高等学校 - 教学参考资料
IV. ①TB302

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 210042 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024 - 83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024 - 83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市第二市政建设工程公司印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 9

字 数: 197 千字

出版时间: 2013 年 9 月第 1 版

印刷时间: 2013 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑: 任彦斌 刘 莹

封面设计: 聂 鑫

责任校对: 辛 思

责任出版: 唐敏志

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0433 - 5

定 价: 16.00 元

《材料与冶金类本科实验系列教材》编委会

主 编 张延安

副主编 刘常升 杨东坪 蒋 敏

编 委 (按姓氏笔画排序)

丁 桦 于福晓 王 梅 左 良 厉 英 刘春明 刘常升

吴 迪 杜 涛 邸 馗 杨中东 杨东坪 沙玉辉 张延安

邹宗树 杨洪英 沈峰满 姜茂发 赵宪明 耿树江 崔建忠

蒋 敏 储满生 蔡九菊 薛向欣

秘 书 谢鹏飞 杨 澈

2013 年 10 月

序 言

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》指出，“注重知行统一，坚持教育教学与生产劳动、社会实践相结合。开发实践课程和活动课程，增强学生科学实验、生产实习和技能实训的成效”。东北大学材料与冶金学院出版的“材料与冶金类本科系列实验教材”（以下简称《系列实验教材》），是贯彻规划纲要、加强实践环节、培养创新型人才的重要举措。

实验是重要的科学研究方法，是人类认识世界、探索规律的最根本的手段。纵观世界科技发展历史，通过实验观察到新现象、探索出新科学规律的例子不胜枚举。实验教学是重要的教学方法。通过实验阐释艰深的理论内容和复杂的工艺方法，让学生在趣味中学习、认知，将极大地激发学生的学习积极性和创造性。同时实验教学本身可向学生传授实验研究方法，使学生掌握实验技能，并从中培养他们自己动手、科学实验、探索规律的科学精神和方法。相信《系列实验教材》的出版发行，将促进材料冶金学院相关专业的学生沿着“知行合一”的方向发展，成为有创新精神、有实践能力的一代新人。

该《系列实验教材》有其鲜明的特色。首先，在实验内容上，《系列实验教材》注意与专业定位、培养模式及培养计划相联系，遵循材料与冶金相关学科研究与教学的基本规律，坚持加强基础，拓宽专业领域，适应专业发展的方向。

其次，《系列实验教材》结合学科发展的最新进展，安排相应的实验内容，为学生掌握专业的发展趋势、了解学科发展的前沿，提供了丰富的信息和基本理论知识，有利于培养学生的专业技能和综合素质。

第三，《系列实验教材》充分利用现代科学仪器和实验装备的条件，特别是我校材料与冶金相关学科教师和学生开发的先进实验设备和中试研究平台，开设综合性和设计性的实验，使实验教学站在较高的起点上。这对于激发学生进行创新，培养创新型人才具有重要的作用。

相信《系列实验教材》的出版发行对材料与冶金相关专业人才培养和教学水平的提高会发挥重要的促进作用。



2013年10月9日

前 言

材料成型在国民经济中占有重要的地位，是先进制造技术的重要组成部分。材料成型在冶金、机械制造、轨道交通、航空航天等各个方面得到了广泛的应用。材料成型及控制工程专业培养的学生应具有坚实的工程技术基础知识，受到较为系统的工程实践和研究能力的训练，具有良好的综合素质和较强的创新与开拓能力。

实验教学可培养学生的实践能力、创新能力和综合素质，在高等学校的教育中有着不可替代的作用。实验教学是学生亲历验证新理论、充实新知识、尝试新方法、掌握新技术的过程。因此，实验教学是培养学生宽厚的文化素养、扎实的专业理论基础、精湛的专业技能的实践性课堂，是大学生素质培养的重要途径。

本实验指导书包括金属材料微观组织分析基础、塑性成形工艺实验、液态成型工艺实验和材料组织性能控制综合实验四个部分，可作为“材料成形力学”“金属学及热处理原理”“金属凝固理论”“材料成形金属学”“材料成形工艺学”等材料成型及控制工程专业平台课程配套的实验教学教材。同时，材料组织性能控制综合实验一章将数门专业课程有机结合，要求学生查阅相关文献、撰写综述报告、实施实验及分析、撰写小论文形式的实验报告，培养学生的创新精神和综合能力。

本实验教材由东北大学材料成型及控制工程专业的部分教师编写。参加编写的有王群骄（实验1、实验2）、王平（实验3、实验4）、邱春林（实验5至实验7）、高秀华（实验8）、刘越（实验11至实验15）、唐正友（实验16）、李英龙（实验17）、丁桦（实验9、实验10和实验18）。此外，高敏坤和石路参加了第1章和第4章的编写，全书由丁桦统稿。东北大学材料成型与控制工程研究所的部分博士研究生和硕士研究生参加了排版和校对。

由于编者水平有限，书中如有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2012年11月于东北大学

目 录

第 1 章 金属材料组织分析基础	1
实验 1 金相显微试样的制备	1
实验 2 铁碳合金显微组织观察分析	19
第 2 章 金属塑性成形工艺实验	28
实验 3 平面变形抗力 K 值测定	28
实验 4 外端和外摩擦对平板压缩矩形件单位压力的影响	33
实验 5 轧制最大咬入角的测定	39
实验 6 轧制宽展及其测量	46
实验 7 轧制前滑及其测量	57
实验 8 二辊斜轧穿孔实验	65
实验 9 金属挤压工艺实验	72
实验 10 挤压时金属的流动景象	76
第 3 章 金属液态成型工艺实验	83
实验 11 铸造合金流动性测定实验	83
实验 12 铸件凝固动态曲线测定实验	88
实验 13 铝合金线收缩测定实验	91
实验 14 铝合金熔炼及变质处理实验	94
实验 15 铸钢及铸铁金相微观组织观察实验	98
第 4 章 材料组织性能控制综合实验	102
实验 16 碳锰钢控制轧制与控制冷却实验	102
实验 17 铝及铝合金塑性成型与组织性能控制	116
实验 18 退火工艺对镀锡板基板组织性能的影响	124

第1章 金属材料组织分析基础

实验1 金相显微试样的制备

1.1 实验目的

- ① 熟悉金相显微镜的基本构造原理。
- ② 掌握金相显微镜的使用方法，学习利用金相显微镜进行金相组织观察的技能。
- ③ 掌握金相试样制备技术和方法。

1.2 实验原理

显微镜有透射光线与反射光线两种。观察透射光线样品的显微镜叫作生物显微镜，它被应用在医药、生物等科学范围。观察反射光线样品的显微镜叫作金相或金属显微镜。一般金相显微镜总放大倍数范围约在 25 ~ 2000 倍。

金相显微镜由物镜和目镜两部分组成。利用物镜和目镜两次放大，使物体得到高的放大倍数。

不管是哪一种类型的显微镜，都是由机械系统、照明系统和放大系统三个基本部分构成的。属于机械系统的有：载物台、镜身、镜筒、支柱、粗调螺丝和微调螺丝等，照明系统有：光源、聚光镜、孔径光栏、视场光栏和垂直照明器（平面玻璃或三棱镜）等，放大系统主要有：物镜和目镜。

1.2.1 显微镜基本光学部分及成像原理

(1) 透镜成像原理

透镜是一切光学仪器的主要组成部分。根据几何光学的基本规律：一个凸透镜有将平行光束聚焦至一点的作用，这个点称为透镜的焦点（ F ），焦点到透镜中心（ O ）的距离称作透镜的焦距（ f ）（如图 1-1 所示）。

(2) 物镜成像原理

将物体 AB 放在一个凸透镜焦点外，在 2 倍

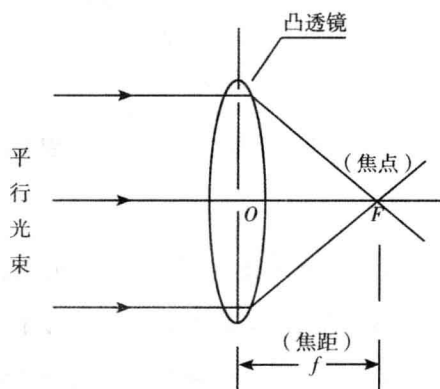


图 1-1 凸透镜的聚焦作用

焦距之内，由于A点经过透镜中心O的光线不受折射而沿直线传播，A点平行光轴的光线，经过折射，并通过后焦点（ F_1 ），与通过O点的光线相交于一点A'。同样道理，B点也有B'。因此，物体AB经过透镜后，将在透镜的另一方某处得到物体经放大的倒立的实像B'A'。如果在此处放一块毛玻璃或纸，便可以把实像映现出来，故称为实像。从平面几何关系可求得透镜的放大倍数M，这就是物镜放大成像的原理（如图1-2所示）。

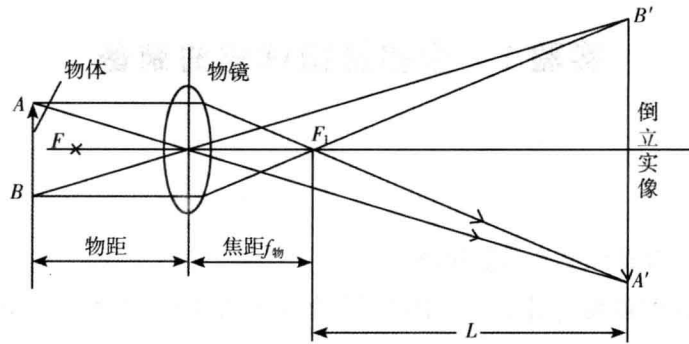


图 1-2 物镜放大成像原理

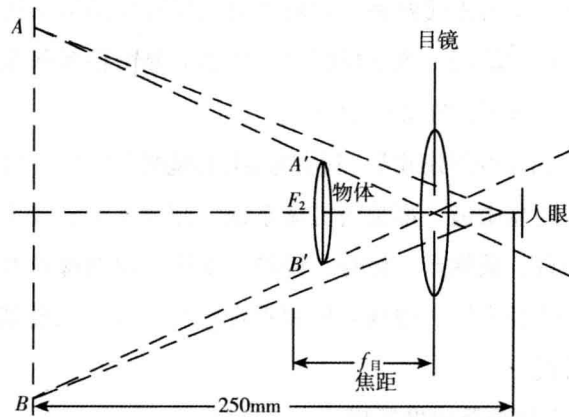


图 1-3 目镜放大成像原理

(3) 目镜成像原理

假若把物体放在焦距之内，则在透镜的另一方得不到一个实像，只能透过透镜在物体的同一侧看到一个放大的正立的像。若不透过透镜去看这个像是不存在的，无法用毛玻璃映现出来，因而叫虚像。这就是目镜放大成像原理（如图1-3所示）。目镜的设计与制造都使放大的虚像与人的眼睛相距250mm。由此得出目镜的放大倍率应为 $M_{目} = \frac{250}{f_{目}}$ 。

(4) 显微镜的成像原理

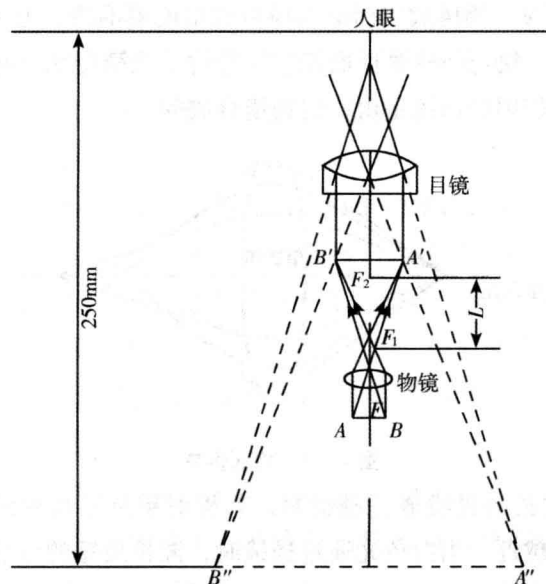


图 1-4 金相显微镜的成像原理图

若将上述两个凸透镜组合在一起，就组成了简单的台式金相显微镜（如图 1-4 所示）。若把物镜装在下方，目镜装在上方，把要观察的金相试样 AB 放在物镜下方的焦点（ F ）外，但在小于 2 倍焦距内，则物镜将把试样 AB 放大为倒立的实像 $A'B'$ 。在金相显微镜的设计上，使实像 $A'B'$ 正好落在目镜的焦点（ F_2 ）之内，经过目镜放大后，人眼在目镜内观察时，便能看到一个再次放大的倒立的虚像 $A''B''$ 。因此，在金相显微镜中看到的像正是由物镜和目镜两次放大的结果。总的放大倍率为

$$M_{\text{总}} = M_{\text{物}} \times M_{\text{目}} = \frac{L}{f_{\text{物}}} \times \frac{250}{f_{\text{目}}} \quad (1-1)$$

式中， L 为物镜的后焦点（ F_1 ）到目镜的前焦点（ F_2 ）之间的距离，叫作光学镜筒长度。从显微镜的构造上说，由物镜座面到目镜顶的距离叫作机械镜筒长度，每一种显微镜都有规定的机械镜筒长度。从公式 $M_{\text{物}} = \frac{L}{f_{\text{物}}}$ 可知，物镜的放大倍率必须按照设计的光学镜筒长度和规定的机械镜筒长度使用，显微镜才能得到应有的倍率。若将某台显微镜的物镜用到设计不同的另一种显微镜上，而这种显微镜的机械镜筒长度又与物镜原规定使用的机械镜筒长度不同，则 L 值就发生了变化，故显微镜的放大倍率也随之改变。此时显微镜的放大倍率为

$$M = M_{\text{物}} \times M_{\text{目}} \times C \quad (1-2)$$

式中： C ——显微镜的系数。当 $C \neq 1$ 时， C 值通常刻在显微镜的镜座外表上。

1.2.2 物镜的构造与种类

(1) 物镜的几种像差

① 球面像差。产生球面像差的原因是由于球面单片透镜的中心与边缘厚薄不相同，

即使是单色光通过透镜，也将产生不同的折射而在透镜的主轴上不交于一点，形成一系列的映像（如图 1-5 所示）。物体放大后的映像将变得模糊不清。为了消除球面像差，可以采取复合的透镜。即用一块与凸透镜球面像差相等的凹透镜合在一起，这样就起到校正球面像差的作用，所以金相用的物镜是由一组透镜合成的。

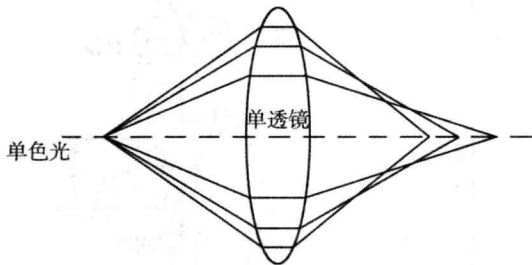


图 1-5 球面像差

② 色像差。不同波长的光线通过透镜时，其折射率是不相同的。波长越短，折射率就越大，其焦点距透镜越近。当白色光通过透镜时，波长最短的紫色光折射率最大，所以焦点距透镜最近；绿色光波长次之；而红色光波长最长，折射率最小，其焦点距透镜最远。因此，当白色光通过透镜时，各种波长的光聚焦在不同的点上，这样就产生了一系列的群像，使成像模糊不清，而且在视场的边缘上可以见到一个彩色环，这种缺陷叫作物镜的色像差（如图 1-6 所示）。

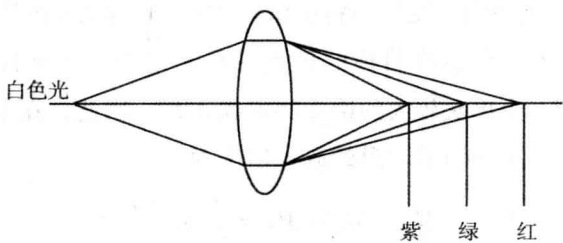


图 1-6 色像差

③ 像域弯曲。直立的物体通过厚透镜时，得到弯曲的映像，这种现象叫作像域弯曲（如图 1-7 所示）。像域弯曲是各种像差的总和造成的，它使成像变形而不平坦，球面像差、色像差越严重，像域弯曲也越严重。但这种缺陷可以随球面像差和色像差的校正而相应地被消除。

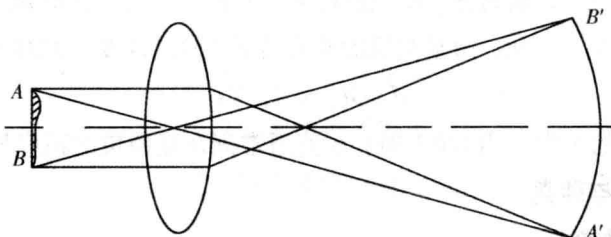


图 1-7 像域弯曲

(2) 物镜的种类

由于单片透镜有以上几种缺陷, 因此在实际制造中, 物镜(或目镜)都是由一组透镜组成的。位于物镜前面的平凸透镜起着放大作用, 其余的透镜都是为了消除各种像差的透镜, 叫作校正透镜。一般金相用的物镜对球面像差都进行了校正, 物镜的种类主要是根据对色像差及像域弯曲来区分的。

① 消色差物镜。是金相显微镜上常用的构造简单的物镜, 它适用于低倍和中倍放大。消色差物镜对球面像差的校正范围为黄、绿光波段, 对色像差的校正范围为红、绿光波段。对红、紫光的球面像差及紫光的色像差没有加以校正, 所以当显微镜的物镜聚焦时, 焦点稍有调动, 就可以看见残余的色差, 成像也不平坦, 但对低中倍放大影响不大。

② 复消色差物镜。它是由多组特殊玻璃和萤石制成的透镜组合。这种物镜对色像差的校正是很完善的, 校正范围从红、绿至紫色光, 包括可见光的所有波段。对球面像差也校正了紫、绿波段。所以复消色差物镜比消色差物镜的质量高, 适用于高倍。

③ 平面消色差物镜。它对球面像差、色像差的校正与消色差物镜相同, 这种物镜对像域弯曲也做了校正, 使成像更加清晰平坦。

④ 平面复消色差物镜。对色像差和球面像差的校正与复消色差物镜相同, 同时又对像域弯曲进行了校正。因此多用于高倍照相与观察, 映像既清晰又平坦。

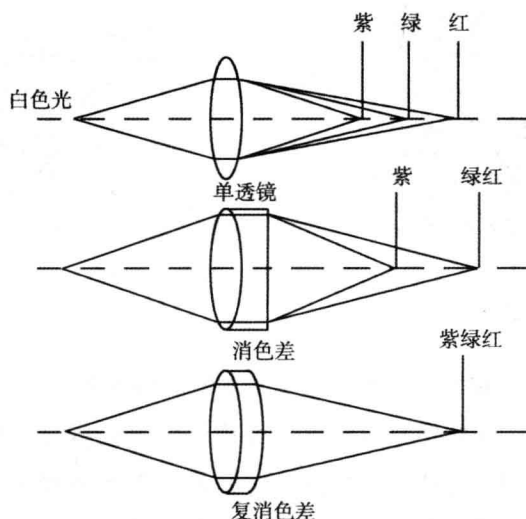


图 1-8 不同物镜对色像差的校正示意图

(3) 物镜的性质

物镜的性质有四种, 即放大率、数值孔径、鉴别能力和垂直鉴别能力。

① 放大率。它是指物镜本身放大实物若干倍的能力。物镜与目镜相配合, 二者放大倍数的乘积才是显微镜的放大倍数。从公式 $M_{\text{物}} = \frac{L}{f_{\text{物}}}$ 可知, 物镜的放大率与本身透镜组的焦距和光学镜筒长度有关。焦距越短, 放大倍率越大, 所以, 一般高倍率的物镜的焦面都

较短，调焦时必须注意。

② 数值孔径。其大小表示物镜聚光的能力，它是金相显微镜一个很重要的常数。数值孔径大的物镜聚光能力就强，从试样上反射而进入物镜的光线就多，从而提高了物镜的鉴别能力。

物镜的数值孔径与孔径角的大小及介质的折光系数有关，即

$$N \cdot A = \eta \cdot \sin \alpha \quad (1-3)$$

式中： $N \cdot A$ ——数值孔径；

η ——介质折光系数；

α ——孔径角之半。孔径角是指进入物镜的光线锥所张开的角度。

从公式 (1-3) 可以看出，孔径角越大，则数值孔径就越大；介质的折光系数越大，则数值孔径也越大。要提高数值孔径，一种方法是采用增加透镜的直径，增大孔径角的途径。但实际上，不能这样做，因为透镜直径的增大，必然会增大物镜的球面像差和像域弯曲。设计时主要采用减小物镜的焦距来达到目的；另一种是选择折射系数大的液体来增大数值孔径，如图 1-9 所示。

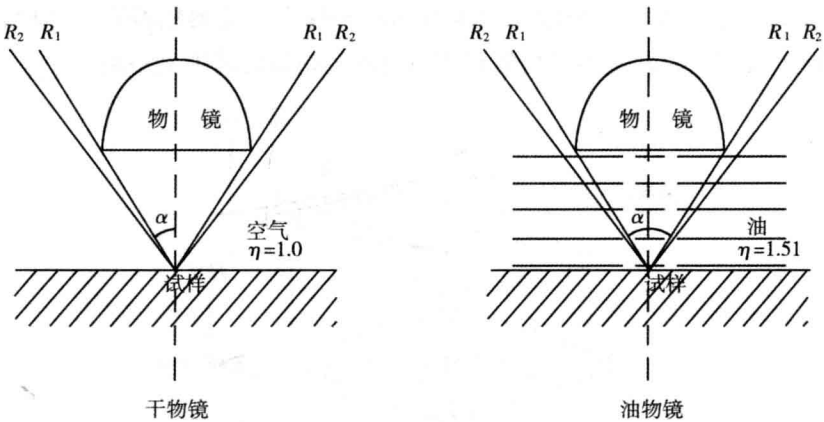


图 1-9 折射系数大的液体增加数值孔径

从图 1-9 可以看出，干物镜是以空气为介质（空气的折光系数 $\eta = 1.0$ ）。由试样反射的光线，在 R_1 内的反射光才能进入物镜，大于 R_1 的反射光都不能进入镜内。油浸物镜是以油为介质，即在物镜和试样之间滴一点松柏油（或甘油），松柏油的折光系数 $\eta = 1.51$ ，比空气的折光系数大，所以从试样上反射的倾斜度较大的反射光线 R_2 也能进入物镜。此时进入物镜的光线更多，聚光能力也较强，提高了物镜的鉴别能力。

干物镜一般用于中、低倍显微镜，其数值孔径在 0.95 以下。油浸物镜多用于高倍显微镜，其数值孔径在 1.5 以上。使用油浸物镜时，油中不能有气泡，油过多或过少都不好。

物镜的数值孔径多标注在物镜的镜筒上，如 63X/0.80，4X/0.10 等，其中 0.80 和 0.10 均表示物镜的数值孔径。

③ 鉴别能力。它是物镜能将细微组织分清的能力，即指物镜对于试样彼此最近的两点，可清晰分辨成像的能力。根据理论推导，鉴别能力 d 用下式表示：

$$d = \frac{\lambda}{2N \cdot A} \quad (1-4)$$

式中： λ ——入射光的波长；

$N \cdot A$ ——数值孔径。

由上式可知，物镜的鉴别能力与入射光的波长和物镜的数值孔径有关。入射光的波长越短，则鉴别能力越强；入射光的波长不变时，数值孔径越大，则物镜的鉴别能力越好能分辨的最小距离 d 越小。

④ 垂直鉴别能力。也叫作景深度，是观察试样表面高低不平组织的能力。

经腐蚀后的金相试样表面的显微组织是凹凸不平的，经物镜放大之后，它的映像也会落在一个理想的平面上。为了使显微组织中各点都能清晰成像，要求物镜有一定的垂直鉴别能力。物镜的垂直鉴别能力与其数值孔径和放大倍数成反比。数值孔径越大，垂直鉴别能力越低。为了获得较好的垂直鉴别能力，常缩小照明系统的孔径光栏，但缩小孔径光栏又会使物镜的数值孔径缩小，降低了物镜的鉴别率，所以应注意它们之间的适度调整范围。

1.2.3 目镜的构造与种类

根据物镜的性质，在显微镜中看到的像是经过物镜和目镜两次放大的结果，物镜的放大是初级放大，如果经过物镜放大后的物像不清晰，那么再经过目镜放大后得到的物像仍然不清晰。单纯地提高目镜放大倍数并不能提高成像的质量。对每一个物镜，都应合理地选择目镜，保证得到清晰可见的成像。

人的眼睛在明视距离范围内的鉴别率为 $0.15 \sim 0.3\text{mm}$ ，小于 0.15mm 的点，人的眼睛就分辨不清了。在显微镜中，若使金相组织中细微的部分能为人眼看清，必须保证显微镜的有效放大倍率放大到以下的范围，即

$$M_{\text{有}} = \frac{0.15}{d} \sim \frac{0.30}{d} \quad (1-5)$$

式中： $M_{\text{有}}$ ——显微镜的有效放大倍率；

d ——物镜的鉴别率。

若入射光为黄、绿光，平均波长为 $0.55\mu\text{m}$ ，则

$$M_{\text{有}} = \frac{0.15}{\frac{\lambda}{2N \cdot A}} \sim \frac{0.3}{\frac{\lambda}{2N \cdot A}} \approx 500N \cdot A \sim 1000N \cdot A$$

得显微镜的有效放大率近似 $500N \cdot A \sim 1000N \cdot A$ 倍，就是说，这个物镜最好在这两个放大倍率范围内使用。例如，对 $40\times/0.65$ 的物镜，它的有效放大率应在 $325 \sim 650$ 倍之间。小于 325 倍，物镜的作用未完全发挥；大于 650 倍，又不能得到清晰的映像，只能将物体虚伪地放大，而视场模糊不清。因此，与物镜 $40\times/0.65$ 相配合的应是 $10\times$ 或 $15\times$ 的目

镜，即镜可在 10~15 倍范围内选择目镜。在物镜与目镜的配合上，一般尽量选择较大倍率的物镜，而选择较小倍率的目镜。

(1) 补偿目镜

补偿目镜是为了与复消色差物镜配合使用的，可以进一步消除复消色差物镜的残余像域弯曲，使成像更加清晰平坦。

(2) 放大型目镜

放大型目镜是专为摄影及近距离投射用而设计的，以协助物镜共同造成一个放大的投射实像，放大型目镜只能做摄影投射，而不能作为显微观察或单独作为放大镜使用。

(3) 测微目镜

测微目镜是为了测量脱碳层深度、晶粒度和其他组织或缺陷用的。测微目镜的放大倍数多在 10X 以下。

测微目镜是在普通目镜光栏上（即初像焦面上），安装一块按照 0.1mm 或 0.5mm 等分度的测微玻璃片，物镜测微尺是一把刻有按照 0.01mm 分度的玻璃尺，尺的刻度全长为 1mm。测量步骤如下。

将物镜测微尺作为被观察物体放在试样台上，刻度面朝物镜，使用测微目镜观察（目镜刻度尺按照 0.1mm 分度）。调好焦后，将物镜测微尺的若干刻度 n 与测微目镜上若干刻度 m 对齐（如图 1-10 所示）。因为已知物镜测微尺每小格为 0.01mm，所以测微目镜中每小格所度量的实际长度

$$L = \frac{n}{m} \times 0.01\text{mm} \quad (1-6)$$

例如，物镜测微尺上 10 格与测微目镜中 50 格对齐，所以测微目镜内每小格所量度的实际长度

$$L = \frac{10}{50} \times 0.01\text{mm} = 0.002\text{mm}$$

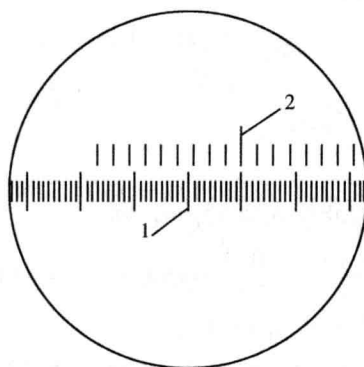


图 1-10 测微尺与目镜刻度尺对齐

1—物镜测微尺刻度；2—目镜刻度尺刻度

对组织进行测量时，调好焦后，使测微目镜刻度与组织组成物的映像重合。前面已校

好测微目镜每小格所测之实际长度，可以用它作为尺寸来测量某一组织的实际尺寸。如表面脱碳层深度测出长度为50格，则实际脱碳层深度为 $0.002 \times 50 = 0.1\text{mm}$ 。

必须注意，若使用其他物镜时，必须重新计算测微目镜中每小格所量度的实际长度。

1.2.4 金相显微镜的光源及其照明方式

(1) 光源

金相显微镜是靠金属试样反射的光线进入物镜，必须备有照明系统。小型金相显微镜最常用的光源是低压钨丝灯泡，如6V 15W或8V 20W，用变压器将220V变成低压，供金相显微镜使用。

(2) 孔径光栏

孔径光栏置于聚光透镜之后，用它控制入射光束的粗细。当孔径光栏缩小时，进入物镜的光束也跟着缩小，由透镜边缘引起的球面像差可以消除，物像显得清晰；但孔径光栏也不能缩得太小，因为孔径光栏缩小会引起射入物镜的光束的孔径角的缩小，使物镜的鉴别率降低，引起组织中微细部分鉴别不清。一般调节到试样显微组织映像清晰，光的强度强弱以人的眼睛舒适为宜。

(3) 视场光栏

视场光栏安装在孔径光栏之后，是用来调节视场大小的。当视场光栏缩小时，可以减少镜筒内的反射眩光，提高映像的衬度，不影响物镜的鉴别能力。其调节方法是将显微镜聚焦后，缩小视场光栏，在目镜中观察其像，然后慢慢扩大，使光栏的边缘正好包围整个视场。

(4) 滤光片

一般显微镜都要有黄、绿、蓝等颜色的滤光片，它的作用是使光源的白光经滤光片后成为单色光。波长越短，物镜的鉴别能力越高。如使用复消色差物镜时，虽然各种波长的光线都做了校正，但若加入滤光片，可人为地提高物镜的鉴别能力。特别是对消色差物镜，只校正了黄、绿波区，因此必须配上黄、绿滤光片，才能获得最小的像差，若使用其他滤光片，就会使映像模糊不清。因此滤光片是金相观察和照像的重要辅助工具。

(5) 垂直照明器

金相显微镜的光源多安装在镜筒侧面，与主光轴呈直交。光线由侧面射入，为了使光线射在金相试样上，需要在光轴交点处安装一个反射镜，起到光线垂直转向的作用，这种反射镜称为垂直照明器。常用的垂直照明器有平面玻璃和全反射棱镜两种。

① 平面玻璃。小型金相显微镜多采用平面玻璃作为垂直照明器，平面玻璃放在与光轴呈 45° 倾斜的位置，光线从侧面射入后，经平面玻璃转向反射到试样表面，试样整个表面都被光线照射到，物镜被直射光线充满着，充分利用了物镜的数值孔径，发挥了物镜的鉴别能力，可分辨组织中最微细的部分，高倍观察多采用平面玻璃反射的垂直照明器。但平面玻璃反射时光线散失大，因此最后映像亮度较弱（如图1-11所示）。

② 全反射棱镜。它是将来自光源的光线利用直角棱镜的全反射作用，将光线全部反

射到达试样表面，光线的消失较少，最后映像亮度高，入射光路略呈斜射，景深和衬度也较好。但由于反射棱镜占据镜筒一半的地方，物镜透镜组也被盖去一半，物镜的数值孔径减小，降低了物镜的鉴别率，因此这种全反射棱镜只能用在对反射光线要求不高的情况下（如图 1-12 所示）。

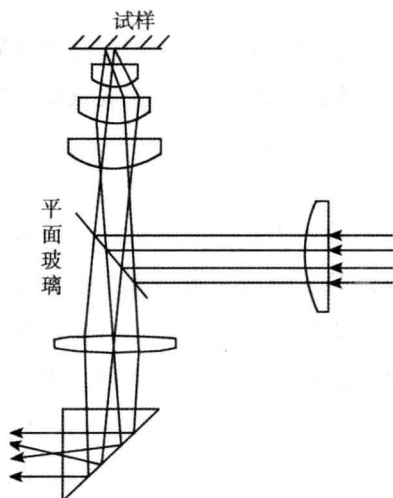


图 1-11 平面玻璃反射光程图

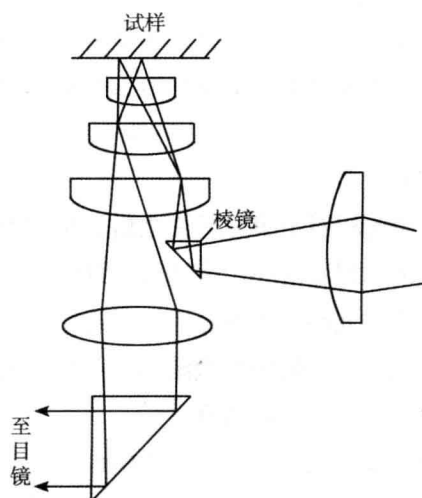


图 1-12 全反射棱镜光程图

(6) 明视场照明

明视场照明是金相检验中最常用的照明方式。它的特点是将来自光源的光线通过垂直照明器（平面玻璃或全反射棱镜）转向垂直反射，经物镜后垂直或近似垂直射在试样表面上，由试样表面反射的光线又垂直地反向反射回物镜而放大成像。如果试样是一个未经浸蚀的磨面，就能将光线反射回物镜，最后的映像将是明亮的一片。如果入射光线照在被浸蚀的晶界、裂缝等处，光线将被散射到物镜外面，最后的映像将是黑暗的线条或黑暗的区域。因此把这种照明方式叫作“明视场照明”。

(7) 暗视场照明

暗视场照明的特点是采用平行光线照明。来自光源的光线用透镜使之变成一平行光束，在光路中放置一环形遮光板，平行光束中心部分光线被遮去而形成一束光环，射入垂直照明器（暗场照明的垂直照明器是一个环形反射镜）。它将空心圆形光束反射沿着物镜的外壳投在反射集光镜的金属弧形反射面上。入射光不通过物镜聚焦，而是靠金属弧形反射面反射使光线以很大的倾斜角度射至试样表面上，因为试样是磨光面，试样仍以极大的倾斜角度将光线反方向反射，故光线不可能进入物镜，目镜筒里只能看到一片黑暗；而试样被浸蚀的组织凹凸处，光线能反射而进入物镜内。这些试样上的组织呈明亮的映像映在黑暗的视场内，这叫作暗视场照明。在大多数情况下，暗场中的明亮部分在明场中呈黑色，明场中明亮的部分在暗场中呈黑色。这种照明方法对于鉴定透明的非金属夹杂物提供了有力的手段。