



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOXUE “13·5” GUIHUA JIAOCAI

# 光学金相显微技术

主编 葛利玲

主审 刘国权



冶金工业出版社  
www.cnmip.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

# 光学金相显微技术

主 编 葛利玲

副主编 宗斌 赵玉珍 王浩 沈宏芳

主 审 刘国权



北京  
冶金工业出版社  
2017

## 内 容 提 要

全书由概论、金相试样的制备、金相显微组织的显示、光学金相显微镜、定量金相及图像分析、显微硬度及其应用、钢铁材料常见组织及检验、低倍金相显微组织分析等共8章,以及金相实验室的安全技术、常用金相显微分析设备相关标准、常用金相检验标准3个附录组成,覆盖了光学金相显微分析基本技术的各个主要方面。

本书可用于高等教育材料类、机械类专业金相显微技术实验课的教材,也可用于从事金相工作人员的培训。编录的各种金相浸蚀剂、相关国家标准等实用性资料,可用于高校、科研院所与企业中金相实验室人员案头备查和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

光学金相显微技术/葛利玲主编. —北京:冶金工业出版社, 2017. 8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7597-0

I. ①光… II. ①葛… III. ①金相组织—金属分析—高等学校—教材 IV. ①TG115.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第209514号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 吕欣童 版式设计 禹蕊

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7597-0

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2017年8月第1版,2017年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;10印张;244千字;148页

35.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

## 序

金相学是研究金属及合金内部组织结构的一门学科。“metallography”一词在1721年首次出现于牛津《新英语字典》(New English Dictionary)中,早期金相学的创建与发展是金属学,甚至是现代材料科学形成的先导。因其具有不可或缺的重要作用,故金相学这一名称沿用至今,金相技术也一直是国内外材料类、机械类及相关或相近多个学科专业的主要实验教学课程内容之一。

虽然国内外不乏各类金相图谱、手册或教材,各高校亦均有自己的金相实验指导书,但仍急需一本适合于本科大学生使用、系统全面、实用但又相对简明的光学金相显微技术教材或指导书。教育部高等学校材料类专业指导委员会和全国高校材料学科实验教学研究会等主办的全国大学生金相技能大赛、全国高校材料学科实验教学研讨会至2017年已连续举办六届,作为全国大赛历届评审委员会的主任,我深感编辑出版这样一本书是非常必要的。由教授级高级工程师葛利玲主编的《光学金相显微技术》一书则为满足这一需求应运而生。

该书由概论、金相试样的制备、金相显微组织的显示、光学金相显微镜、定量金相及图像分析、显微硬度及其应用、钢铁材料常见组织及检验、低倍金相显微组织分析等8章,以及金相实验室的安全技术、常用金相显微分析设备相关标准、常用金相检验标准3个附录组成,覆盖了金相显微分析技术的各个主要方面,且每章后均附有参考文献、思考题和推荐实验,可以作为专业实验课教学的教材或自学教材。在高等学校实验教学课程因课时有限、全国大赛因技术条件限制而都不可能覆盖金相显微分析技术的方方面面的现实下,学生通过自学该书可以更为全面系统地了解金相学和金相技术(包括相关标准和安全知识等),有望获得事半功倍的效果。

材料科学与工程的基础理论教学需要实验教学的相辅相成。本书编著者葛利玲、宗斌、赵玉珍、王浩、沈宏芳等分别是西安理工大学、北京工业大学、清华大学、北京科技大学和北方民族大学主讲(主持)相关实验课程的教授(副教授)、高级工程师,均多次担任全国大学生金相技能大赛预赛、预决赛或决赛的评委专家,具有丰富的教学和指导经验,编写此书时亦特别注意到实验

教学的特点与要求，保证了该书的实践性、实用性和方便自学的特性。

这是一部实用性、实践性很强的好书。希望该书的出版，能够对高等学校金相显微分析实验教学、相关竞赛的培训以及工业界相关科技人员对金相显微分析技术的自学提高，起到应有的促进作用。

中国体视学学会 理事长顾问  
中国科协 首席科学传播专家

2017年4月 于北京

## 前 言

金相显微术是观测与表征材料显微组织必不可少的重要实验技术，主要包含光学金相显微技术和电子显微技术。光学金相显微技术则是研究材料微观组织的最基本、最常用、最易行有效的技术，也是一门实用性很强的技术学科，它是提高材料内在质量的重要手段，在新材料、新工艺、新产品的研究开发和产品检验、失效分析、优化工艺等方面应用最广。近几年我国已跃居世界制造大国，但远非制造强国，因此，要提高制造业水平，必须掌握材料显微分析技术，为提高产品质量提供理论基础与技术支持。

“光学金相显微技术”作为高等教育材料类、机械类等专业的技术基础实验课，旨在培养学生掌握材料科学实验的基本方法、加强金相图谱分析能力和工程实践能力。从本科工程教育专业认证视角，本书在加强常规基本实验技能的基础上，注重实践操作和应用，形成了从基础理论、实践操作以及实际应用为一体的系统化实用教材，以满足学生工程实践能力培养的目的，为学生从校园走向职场提供基础保障。

书中所涉及的材料科学名词依据全国科学技术名词审定委员会 2010 年公布的名词执行，涉及的金相检验均引用国家最新标准。

本书撰写分工为西安理工大学葛利玲教授级高级工程师编写第 1 章、第 3 章、第 6 章、第 7 章，北京工业大学宗斌高级工程师编写第 2 章，清华大学赵玉珍高级工程师编写第 4 章，北京科技大学王浩副教授编写第 5 章，北方民族大学沈宏芳副教授编写第 8 章。全书由葛利玲统稿，北京科技大学刘国权教授主审。

本书得到了教育部高等学校材料类专业教学指导委员会主办的全国大学生金相技能大赛组委会的支持，编写过程中得到了北京科技大学孙建林教授、清华大学龚江宏教授、西安理工大学梁淑华教授、西安交通

大学席生岐教授、西北工业大学王永欣教授和卢艳丽教授、重庆理工大学程里教授的大力支持，他们为本书的编写提出了许多宝贵意见和建议；本书还得到了 BUEHLER 公司、ZEISS 公司、LEICA 公司、舜宇公司的大力支持，以及西安理工大学教材建设项目的资助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 3 月

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1 概论 .....                  | 1  |
| 1.1 金相学及其研究的范畴 .....        | 1  |
| 1.2 显微镜的发展史及类型 .....        | 2  |
| 1.2.1 光学显微镜的发展史 .....       | 2  |
| 1.2.2 电子显微镜的发展史 .....       | 6  |
| 1.2.3 光学显微镜的类型及应用 .....     | 7  |
| 1.2.4 显微分析的进展与趋势 .....      | 9  |
| 1.3 金相显微分析的任务 .....         | 10 |
| 1.3.1 显微分析的任务 .....         | 10 |
| 1.3.2 金属在不同放大尺度下的组织特征 ..... | 10 |
| 思考题 .....                   | 12 |
| 参考文献 .....                  | 12 |
| 2 金相试样的制备 .....             | 13 |
| 2.1 金相试样的取样 .....           | 13 |
| 2.1.1 取样的一般原则 .....         | 13 |
| 2.1.2 试样磨面的选择 .....         | 14 |
| 2.1.3 试样截取的方法 .....         | 15 |
| 2.1.4 试样截取时的注意事项 .....      | 16 |
| 2.2 金相试样的夹持与镶嵌 .....        | 17 |
| 2.2.1 试样的夹持 .....           | 17 |
| 2.2.2 试样的镶嵌 .....           | 17 |
| 2.3 金相试样的平整与磨光 .....        | 20 |
| 2.3.1 试样的平整 .....           | 20 |
| 2.3.2 试样的磨光 .....           | 20 |
| 2.3.3 试样的磨光方法 .....         | 21 |
| 2.4 金相试样的抛光 .....           | 24 |
| 2.4.1 机械抛光 .....            | 24 |
| 2.4.2 化学抛光 .....            | 27 |
| 2.4.3 电解抛光 .....            | 28 |
| 2.4.4 综合抛光 .....            | 32 |
| 2.4.5 振动抛光 .....            | 33 |



|        |                          |    |
|--------|--------------------------|----|
| 2.5    | 金相试样制备常见缺陷产生的原因及其排除方法    | 34 |
| 2.5.1  | 试样表层变形层                  | 34 |
| 2.5.2  | 彗星尾                      | 35 |
| 2.5.3  | 倒角                       | 35 |
| 2.5.4  | 嵌入                       | 36 |
| 2.5.5  | 拔出                       | 36 |
| 2.5.6  | 浮雕                       | 37 |
| 2.5.7  | 划痕                       | 37 |
| 2.5.8  | 污染                       | 37 |
| 2.5.9  | 麻点                       | 38 |
| 2.6    | 常用金属材料、有色金属与硬质合金试样制备技术概要 | 38 |
| 2.6.1  | 铝及其合金                    | 38 |
| 2.6.2  | 镁及其合金                    | 39 |
| 2.6.3  | 铜及其合金                    | 39 |
| 2.6.4  | 铅及其合金                    | 40 |
| 2.6.5  | 锡及其合金                    | 40 |
| 2.6.6  | 锌及其合金                    | 41 |
| 2.6.7  | 钛及其合金                    | 41 |
| 2.6.8  | 灰口铸铁、可锻铸铁及球墨铸铁           | 42 |
| 2.6.9  | 不锈钢                      | 42 |
| 2.6.10 | 硬质合金                     | 43 |
|        | 实验                       | 43 |
|        | 思考题                      | 44 |
|        | 参考文献                     | 45 |
| 3      | 金相显微组织的显示                | 46 |
| 3.1    | 化学浸蚀法                    | 46 |
| 3.1.1  | 化学浸蚀原理                   | 46 |
| 3.1.2  | 化学浸蚀剂                    | 48 |
| 3.1.3  | 化学浸蚀方法                   | 57 |
| 3.2    | 电解浸蚀法                    | 59 |
| 3.2.1  | 电解浸蚀的特点及应用               | 59 |
| 3.2.2  | 电解浸蚀的注意事项                | 60 |
| 3.3    | 光学法                      | 60 |
| 3.4    | 干涉层法                     | 61 |
| 3.5    | 高温浮凸法                    | 62 |
| 3.6    | 金相试样的质量鉴别与保存             | 63 |
|        | 实验                       | 63 |
|        | 思考题                      | 64 |

|       |                         |    |
|-------|-------------------------|----|
| 00    | 参考文献 .....              | 64 |
| 4     | 光学金相显微镜 .....           | 65 |
| 4.1   | 光学基本原理 .....            | 65 |
| 4.1.1 | 光的定义及特性 .....           | 65 |
| 4.1.2 | 几何光学基本定律 .....          | 65 |
| 4.1.3 | 光学基本元件及应用 .....         | 66 |
| 4.1.4 | 光学系统的像差 (透镜的像差) .....   | 66 |
| 4.2   | 光学金相显微镜的成像原理 .....      | 67 |
| 4.3   | 显微镜的光学技术参数 .....        | 68 |
| 4.3.1 | 数值孔径 .....              | 68 |
| 4.3.2 | 分辨率 .....               | 69 |
| 4.3.3 | 放大倍率 .....              | 70 |
| 4.3.4 | 显微镜的有效放大倍数 .....        | 70 |
| 4.3.5 | 焦深 .....                | 71 |
| 4.3.6 | 工作距离与视场直径 .....         | 72 |
| 4.3.7 | 镜像亮度与视场亮度 .....         | 72 |
| 4.4   | 显微镜的主要光学部件 .....        | 72 |
| 4.4.1 | 物镜 .....                | 73 |
| 4.4.2 | 目镜 .....                | 75 |
| 4.5   | 光学金相显微镜的构造、类型与使用 .....  | 76 |
| 4.5.1 | 光学金相显微镜的类型 .....        | 76 |
| 4.5.2 | 光学金相显微镜的构造 .....        | 76 |
| 4.5.3 | 金相显微镜摄影操作要点 .....       | 78 |
| 4.5.4 | 金相显微镜的使用和维护 .....       | 79 |
| 4.6   | 金相显微镜观察方法的基本原理及应用 ..... | 80 |
| 4.6.1 | 明场 .....                | 80 |
| 4.6.2 | 暗场 .....                | 80 |
| 4.6.3 | 偏光 .....                | 82 |
| 4.6.4 | 微差干涉相衬 .....            | 84 |
| 实验    | .....                   | 86 |
| 思考题   | .....                   | 87 |
| 参考文献  | .....                   | 87 |
| 5     | 定量金相及图像分析 .....         | 88 |
| 5.1   | 定量金相原理 .....            | 88 |
| 5.1.1 | 基本符号 .....              | 88 |
| 5.1.2 | 基本公式 .....              | 89 |
| 5.2   | 定量金相的基本测量方法 .....       | 90 |

|          |                    |            |
|----------|--------------------|------------|
| 5.2.1    | 计点分析法              | 90         |
| 5.2.2    | 线分析法               | 91         |
| 5.2.3    | 面积分析法              | 91         |
| 5.3      | 显微组织特征参数测量举例       | 92         |
| 5.3.1    | 平均截线长度             | 92         |
| 5.3.2    | 晶粒度                | 92         |
| 5.4      | 误差分析               | 92         |
| 5.5      | 图像分析技术在定量金相中的应用    | 93         |
|          | 实验                 | 94         |
|          | 思考题                | 95         |
|          | 参考文献               | 95         |
| <b>6</b> | <b>显微硬度及其应用</b>    | <b>96</b>  |
| 6.1      | 显微硬度的测量原理          | 96         |
| 6.1.1    | 压头类型               | 96         |
| 6.1.2    | 维氏显微硬度值            | 97         |
| 6.1.3    | 硬度值的表示及结果处理        | 98         |
| 6.2      | 显微硬度计的构造及使用        | 99         |
| 6.2.1    | 构造                 | 99         |
| 6.2.2    | 测试方法与注意事项          | 99         |
| 6.3      | 影响显微硬度值的因素         | 101        |
| 6.4      | 显微压痕异常判别           | 102        |
| 6.5      | 显微硬度计发展的趋势         | 102        |
| 6.6      | 显微硬度在金相研究中的应用      | 103        |
| 6.6.1    | 合金中相组成物的研究         | 104        |
| 6.6.2    | 金属学方面的研究           | 104        |
| 6.6.3    | 金属表面改性性能研究         | 104        |
| 6.6.4    | 金属及合金热处理的研究        | 105        |
| 6.6.5    | 极小零件表面硬度的测定        | 106        |
| 6.6.6    | 化合物脆裂倾向判定          | 106        |
|          | 实验                 | 107        |
|          | 思考题                | 108        |
|          | 参考文献               | 109        |
| <b>7</b> | <b>钢铁材料常见组织及检验</b> | <b>110</b> |
| 7.1      | 组织的定义及研究           | 110        |
| 7.1.1    | 组织的定义              | 110        |
| 7.1.2    | 影响组织变化的条件          | 111        |
| 7.1.3    | 组织分析               | 111        |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 7.2 钢中常见的金相组织与性能 .....     | 112        |
| 7.2.1 铁素体 .....            | 112        |
| 7.2.2 奥氏体 .....            | 112        |
| 7.2.3 渗碳体 .....            | 112        |
| 7.2.4 珠光体 .....            | 114        |
| 7.2.5 莱氏体 .....            | 115        |
| 7.2.6 贝氏体 .....            | 115        |
| 7.2.7 马氏体 .....            | 117        |
| 7.2.8 魏氏组织 .....           | 117        |
| 7.2.9 偏析组织 .....           | 118        |
| 7.2.10 柱状组织 .....          | 119        |
| 7.2.11 石墨结构 .....          | 119        |
| 7.2.12 带状组织 .....          | 120        |
| 7.3 金相组织常规检验 .....         | 121        |
| 7.3.1 标准的定义及基本知识 .....     | 121        |
| 7.3.2 金相检验标准的应用举例 .....    | 123        |
| 实验 .....                   | 126        |
| 思考题 .....                  | 127        |
| 参考文献 .....                 | 127        |
| <b>8 低倍金相显微组织分析 .....</b>  | <b>128</b> |
| 8.1 体视显微镜简介 .....          | 128        |
| 8.1.1 体视显微镜的类型 .....       | 128        |
| 8.1.2 体视显微镜的光学系统结构 .....   | 128        |
| 8.1.3 体视显微镜的构造、使用及维护 ..... | 129        |
| 8.2 宏观断口分析 .....           | 130        |
| 8.2.1 宏观断口分析的方法 .....      | 131        |
| 8.2.2 宏观断口分析的注意事项 .....    | 131        |
| 8.2.3 宏观断口分析的内容 .....      | 131        |
| 8.3 磨片的低倍金相组织 .....        | 135        |
| 8.3.1 铸件的晶粒大小、形状及分布 .....  | 136        |
| 8.3.2 铸锭缺陷的检验 .....        | 137        |
| 8.3.3 锻件缺陷的检验 .....        | 138        |
| 8.3.4 焊接质量分析 .....         | 138        |
| 实验 .....                   | 140        |
| 思考题 .....                  | 141        |
| 参考文献 .....                 | 141        |



材料 (materials) 指可以用来制造有用构件、器件或物品等的物质。研究材料成分、结构、工艺、性能与用途之间有关知识和应用的学科称为材料科学与工程 (materials science and engineering)<sup>[1]</sup>。材料科学与工程要素的两种示意图 (图 1-1a 和 b) 分别源于美国 MIT(麻省理工) 的 M. C. Flemings 教授和我国著名材料学家师昌绪院士<sup>[2]</sup>。图中“结构 (structure)”包括显微镜下可见的显微组织 (microstructure) 在内, 泛指不同尺度层次下的材料结构与组织。可见, 材料组织结构是材料科学与工程必不可少的要素, 也是决定材料性能与使役行为的主要因素。金相显微术则是观测与表征材料显微组织必不可少的重要实验技术。

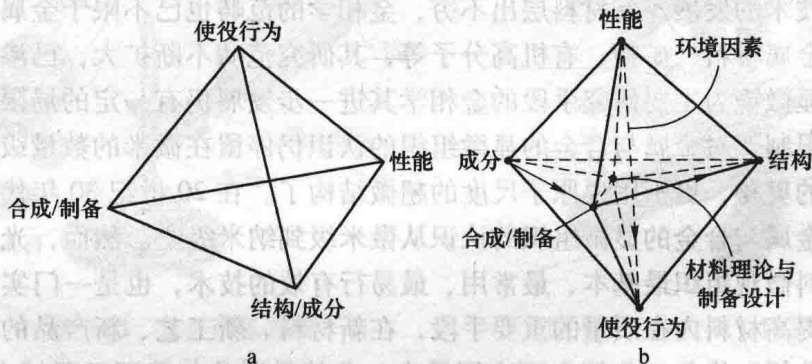


图 1-1 材料科学与工程要素的两种示意图

a—4 个要素; b—6 个要素

## 1.1 金相学及其研究的范畴

金相学 (metallography) 是主要依据显微镜技术研究金属材料的宏观、微观组织形成和变化规律及其与成分和性能之间关系的实验学科<sup>[1]</sup>。它讲述的内容是金属与合金组织结构以及它们与物理、化学和力学性能之间的关系, 所说的组织是指构成金属或合金各组织组成物的直观形貌, 所说的结构是指金属或合金中原子排列的特征。然而, 影响组织和结构变化的条件甚多, 诸如温度、加工变形、浇注情况以及化学成分等, 金相学就是研究金属材料在这些变化过程中组织和结构变化规律及其与性能之间的关系。研究材料微观组织结构主要借助于光学金相显微术和电子显微术, 这两部分都归纳入金相学的研究范畴。

光学金相 (optical metallography) 利用光学金相显微镜对金属或合金的宏观和微观显微组织进行分析测定, 以得到各种组织的尺寸、数量、形态及分布特征的方法<sup>[1]</sup>。

电子显微术 (electron microscope) 是利用各种电子显微镜观察、研究和检验材料微观特征和断裂形态的实验技术。其分辨率或放大倍数明显优于光学显微镜<sup>[1]</sup>。

19 世纪初 Widmanstätten 用硝酸水溶液腐蚀铁陨石切片, 观察到片状 Fe-Ni 奥氏体的规则分布 (魏氏组织), 预告金相学即将诞生<sup>[3]</sup>。1863 年英国科学家索比 (Henry Clifton Sorby) 采用反射式显微镜观察抛光腐蚀的钢铁试样, 不但看到了珠光体中的渗碳体和铁素体片状组织, 还对钢的淬火和回火作了初步探讨。他不仅首创了在显微镜下观察金属材料微观形貌的方法, 打开了人类认识研究金属微观世界的大门, 而且还进一步完善了金相抛光技术, 使金相学基本形成<sup>[3]</sup>。金相学发展到 20 世纪中叶已基本成熟, 不仅有了金相学的专著和学报, 在大学设立了金相学这门课程, 在冶金厂及机械厂普遍建立了金相实验室, 金相学也逐步发展成金属学、物理冶金和材料科学<sup>[3,4]</sup>。

目前, 金相学习惯上已只取其狭义, 主要指借助光学 (金相) 显微镜、放大镜和体视显微镜等对材料显微组织、低倍组织和断口组织等进行分析研究和表征的材料学科分支, 既包含材料三维显微组织的成像 (imaging) 及其定性、定量表征, 亦包含必要的样品制备、准备和取样方法。其观测研究的材料组织结构的代表性尺度范围为  $10^{-9} \sim 10^{-2} \text{m}$  数量级, 主要反映和表征构成材料的相和组织组成物、晶粒 (亦包括可能存在的亚晶)、非金属夹杂物乃至某些晶体缺陷 (例如位错) 的数量、形貌、大小、分布、取向、空间排布状态等<sup>[1]</sup>。

随着现代技术的发展, 新材料层出不穷, 金相学的范畴也已不限于金属与合金, 逐渐渗透到无机非金属材料、矿物、有机高分子等, 其研究范畴不断扩大, 已渗透到其他材料领域。但是以显微镜为主要研究手段的金相学其进一步发展仍有一定的局限性, 受显微镜分辨率不高的限制, 对金属与合金的显微组织的认识仍停留在微米的数量级, 尚不能洞悉更深层次结构的奥秘, 更不用说原子尺度的超微结构了。在 20 世纪 30 年代发明了电子显微镜, 人们对金属与合金的显微组织的认识从微米级到纳米级<sup>[5]</sup>。然而, 光学金相显微技术仍是研究材料微观组织最基本、最常用、最易行有效的技术, 也是一门实用性很强的技术学科。它是提高材料内在质量的重要手段, 在新材料、新工艺、新产品的研究开发和产品检验、失效分析、优化工艺等方面应用最广。尤其是近几年我国已跃居世界制造大国, 但远非制造强国, 要提高制造业水平, 必须掌握材料显微分析技术, 为提高产品质量提供理论基础与技术支持。

## 1.2 显微镜的发展史及类型

### 1.2.1 光学显微镜的发展史

早在公元前 1 世纪, 人们就已发现通过球形透明物体去观察微小物体时, 可以使其放大成像, 后来人们逐渐对球形玻璃表面能使物体放大成像的规律有了认识。

1590 年荷兰和意大利的眼镜制造者已经造出类似显微镜的放大仪器, 放大倍率不超过 20 倍。1610 年前后, 意大利的伽利略 (Galileo) 和德国的开普勒 (J. Kepler) 在研究望远镜时, 改变物镜和目镜之间的距离, 得出合理的显微镜光路结构, 提议复合式显微镜的制作方式。1665 年前后, 英国物理学家罗伯特·虎克 (Robert Hooke) 在显微镜中加入粗调和微动调焦机构、照明系统和承载标本片的工作台, 这些部件经过不断改进, 设计出了第一台具有物镜放大倍率, 可放大到 140 倍的显微镜, 成为现代显微镜的基本组成部分, 见图 1-2。

19 世纪高质量消色差浸液物镜的出现使显微镜观察微细结构的能力大为提高, 1827 年阿米奇首次采用浸液物镜, 19 世纪 70 年代, 德国人阿贝奠定了显微镜成像的理论基础。这些都促进了显微镜制造和显微观察技术的迅速发展, 并为 19 世纪后半叶包括科赫、巴斯德等在内的生物学家和医学家发现细菌和微生物提供了有力的工具。图 1-3 为 19 世纪 Zeiss 生产的生物显微镜。在显微镜结构发展的同时, 显微观察技术也在不断创新, 1893 年出现了偏光显微术和干涉显微术, 1935 年荷兰物理学家泽尔尼克创造了相衬显微术, 1952 年诺马基斯 (Nomarski) 研制出微分干涉相衬显微镜。1981 年 Allen and Inoue (艾伦及艾纽) 将光学显微原理上的影像增强了对比, 使显微图像成像发展趋于完美境界。



图 1-2 复合型显微镜

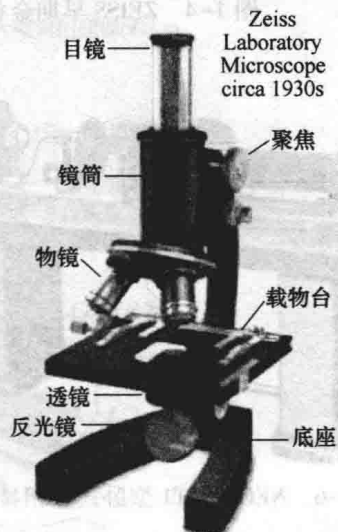


图 1-3 19 世纪生物显微镜

自 1863 年索比 (Henry Clifton Sorby) 首创采用反射式显微镜下观察金属材料微观形貌的方法后, 金相显微镜就成为研究金属内部组织结构的重要工具<sup>[3]</sup>。金相显微镜 (metallographic microscope) 是用入射照明观察金属表面显微组织的光学仪器。随着实际生产和人们对金属内部显微组织结构认识的需求, 金相显微镜也在不断地发展和完善。自第一台实用的金相显微镜问世以来已经历了近百年的发展历程, 这也是材料科学与金相显微镜相互促进发展的历程。世界著名的显微镜厂有四家: 德系的 ZEISS 公司和 LEICA 公司, 日系的 OLYMPUS (奥林巴斯) 公司和 NIKON (理光) 公司。图 1-4~图 1-6 分别为 ZEISS 公司在 20 世纪 50~60 年代生产的小型显微镜、立式金相显微镜和卧式金相显微镜。这些金相显微镜在 20 世纪冶金、机械行业以及材料科学的研究中起到了很大的作用。随着科学技术的不断进步, ZEISS 公司在 20 世纪 80 年代生产出 NEOPHOT21 大型卧式金相显微镜 (见图 1-7), 不仅分辨率有所提高, 功能上也有所改善, 具有低倍摄影、明场、暗场、偏光、相衬等功能, 为金属材料的微观组织结构研究提供了更多的手段。

我国在 20 世纪生产金相显微镜的厂家主要有上海光学仪器厂、江南光学仪器厂和重庆光学仪器厂。图 1-8 为 20 世纪 80 年代上海光学仪器厂生产的小型金相显微镜, 光源为 6~8V、15W 的白炽灯, 结构简单。图 1-9 为 20 世纪 80 年代江南光学仪器厂生产的卧式金相显微镜。



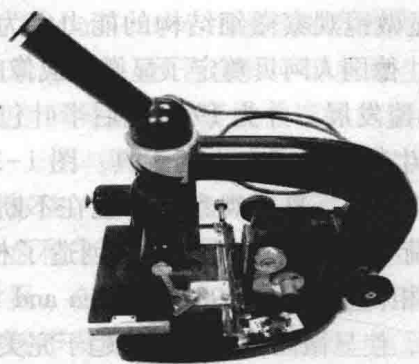


图 1-4 ZEISS 早期金相显微镜

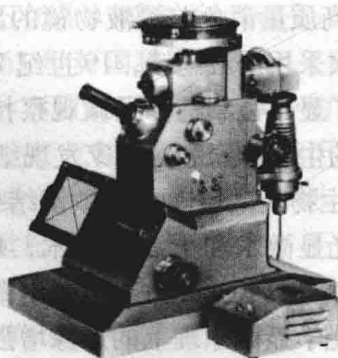


图 1-5 ZEISS 早期立式金相显微镜

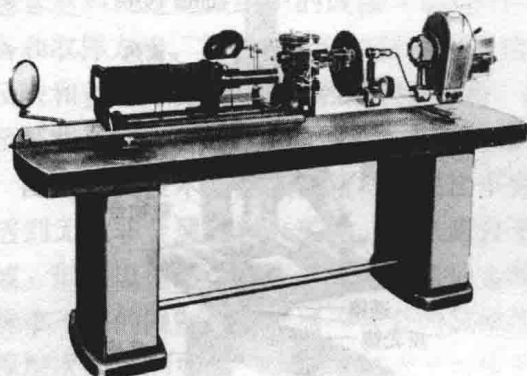


图 1-6 NEOPHOT1 型卧式金相显微镜

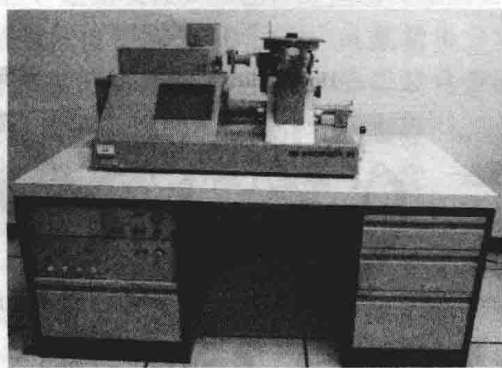


图 1-7 NEOPHOT21 大型卧式金相显微镜

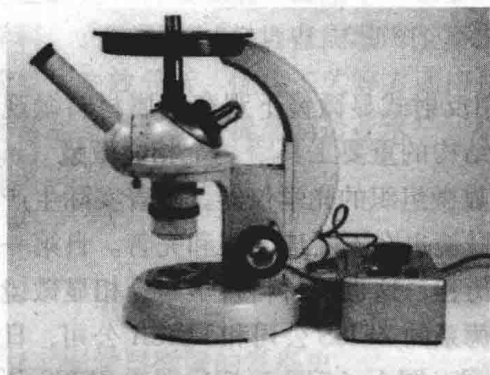


图 1-8 20 世纪 80 年代的小型金相显微镜

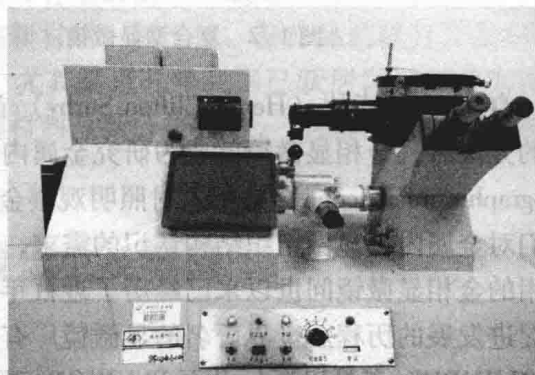


图 1-9 20 世纪 80 年代的卧式金相显微镜

因光学玻璃的性能在很大程度上有了明显的改进，现代的显微镜在设计及性能上远远超过了 20 世纪中期的显微镜，其可更好的校正光学像差，人工合成的镀膜技术也已十分先进。同时制造商们也开始在显微镜控制上采用集成电路技术，普遍采用光电元件、电视摄像管和光电耦合器等作为显微镜的接收器，计算机构成完整的图像信息采集和处理系统——电脑图像显微成像系统。操作和摄影较早期容易，自动化程度更高，不仅能适应复杂的工作任务，同时也极大地降低了使用者的工作强度。因此，现在的光学显微镜可用在很多领域，已成为研究和检验金属材料组织的有效手段。显微镜的功能有暗场、明场、相衬、偏光、干涉、紫外、荧光和体视（实体）。