

矿相学

地质出版社

新 編 學 子

新 編 學 子

矿 相 学

[美国] E. N. 卡梅伦 著

地质出版社

本书原本是一本教材。书中以相当多的篇幅叙述用矿石显微镜研究金属矿物的光学性质及其他物理性质的理论和方法。书中还对矿石显微镜的结构及其部件、光片制备以及矿相学在选矿工作中的应用等也作了介绍。书末有七个附表。

本书可供地质院校有关专业师生及岩矿鉴定工作者参考。

本书由闵茂中、苏树春、蔡绍周译。

Ore microscopy

E. N. Cameron

John Wiley & Sons, Inc. 1961

New York · London

矿 相 学

[美国] E. N. 卡梅伦著

*

地质局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1974年8月北京第一版·1974年8月北京第一次印刷

印数1—6,300册·定价0.80元

统一书号: 15038·新64

序

近十五年来, 矿相学的仪器及其在金属矿物性质定量测定上的应用, 均有了重大的进展。定性的观察日益为定量测定的数据所补充。本书是作者过去十一年中在威斯康星大学讲授矿相学课程期间编写的, 对定性和定量研究方法均作了介绍。

从最广泛的意义上说, 矿相学的内容不仅包括矿物镜下鉴定的理论和实践, 矿石和选矿厂产品的矿物学分析与结构分析, 还包括金属矿物的描述, 以及从形成的条件和作用的角度对结构特征的解释。本书的内容主要限于矿物鉴定的理论和实践, 以及矿石的矿物学分析与结构分析。在结构特征方面, 毋需重复现有的有关著作, 特别是已故的 A. B. 爱德华兹(Edwards)的著作《金属矿物的结构》(*Textures of the ore minerals*)。至于在描述矿物学方面, 作者的经验表明, 只有对金属矿物进行最为全面充分的描述, 才能在矿物鉴定上起到较大的作用。所以, 作者并不为了追求表面的完整性, 而对金属矿物(或仅对其中较为重要的种属)作一简扼的描述。在矿物描述方面, 作者向大家推荐保罗·拉姆多尔(Paul Ramdohr)的巨著《金属矿物及其交生》(*The ore minerals and their intergrowths*), 此书不久将以英文出版。

矿相学工作者要充分发挥反光显微镜的作用, 就必须掌握反射光的光学理论, 正如岩相学工作者必须掌握透射光的光学理论一样。因此, 本书的一个重要部分是介绍反射光理论的。直到最近, 有些理论还难以应用于现有的仪器。而现在的市场上, 已有各种适合于定量测定光学性质的仪器供应, 既有新型的显微镜, 又有能将旧显微镜改装作定量测定之用的附件。1955年起, 作者就开始在矿相学课程中介绍定量测定的方法。结果相当令人满意, 定量测定已成了矿相学研究的例行程序。

第五章描述了金属矿物的光学性质及其测定方法。本章内容的处理, 多半是根据作者的经验, 反射光的理论则推后到第六章讨

论。这样安排, 有两点纯粹实践性的理由。第一, 在一节矿相学课中, 我们希望学生尽快地获得光学性质的知识, 从而在该节课时间内, 学生能有尽可能多的实践机会去测定这些光学性质。第二, 根据作者的经验, 当学生有了观测矿物光学性质的实践经验, 并学会了显微镜的基本操作之后, 就能更加容易地掌握理论原理。

在第六章中, 对理论原理尽量采用图解方式进行说明。一般的矿相学学生, 没有时间学习光学理论的全部数学处理, 这对于灵巧地使用显微镜也并无必要。因而, 作者对理论性讲解的深度作了限制。已故的 M. 贝瑞克(Berek)指出, 对金属矿物的光学性质进行理论分析, 能导致折射率和吸收率的确定。然而, 理论未在实践中验证以前, 所论述的方法只有学理上的意义。

由于测定光学性质和物理性质的实用意义日益增大, 微化分析鉴定法的价值就逐渐降低了。过去, 特别是在美国, 在矿相学中微化分析法得到相当广泛的应用。相形之下, 本书对微化分析法的重视就相当不够了。不过, 以微化分析法作为金属矿物鉴定的主要依据, 从未得到过满意的结果。况且, x 光鉴定法的发展已取代了许多微化分析工作。特别是浸蚀试验的价值已经降低, 因为浸蚀反应数据的积累工作未能与新矿物的发现以及对一些矿物性质的重新研究同时并进。

E. N. 卡梅伦

1961 年 10 月

于威斯康星 麦迪逊

目 录

序	1
第一章 引言	1
参考文献	2
第二章 矿石显微镜	5
概述	5
矿石显微镜简介	6
物镜和目镜	11
照明装置	15
反射器	18
分析镜	20
定量测定旋转性质的设备	20
为做定量工作显微镜的改装	24
其它附件	24
显微镜的调节	25
石膏试板	28
云母试板的振动方向	29
矿相学中的实体显微镜	29
参考文献	30
第三章 抛光面的制备	31
概述	31
样品的制备	31
研磨和抛光	38
水平安装	44
光薄片	45
参考文献	48
第四章 金属矿物在光片中的物理性质	51
概述	51

晶体形态和结晶习性·····	51
环带·····	56
解理和裂理·····	57
双晶·····	60
包体和连晶·····	63
硬度·····	68
刻划硬度·····	68
显微硬度·····	69
抗磨硬度·····	75
韧性·····	80
粉末颜色·····	80
参考文献·····	80
第五章 金属矿物的光学性质 ·····	83
概论·····	83
颜色·····	83
双反射·····	85
非均性·····	88
反射率·····	90
概论·····	90
反射率的测定·····	92
内反射·····	105
旋转性质·····	106
概论·····	106
均质矿物的偏光图·····	107
非均质矿物的偏光图·····	110
可由分析非均质矿物反射光测得的性质·····	112
视旋转角和相差的测定·····	113
贝瑞克法·····	115
哈利蒙德法·····	124
结果的校正·····	125
未经校正的结果在日常鉴定中的应用·····	126

使用棱镜反射器的哈利蒙德法	127
测定的准确度	128
旋转角的标准测定	128
在油中的旋转性质	130
相差 $\Delta_{x,y}$ 的定性测定	130
旋转向指符号	131
参考文献	132
第六章 反射光的理论	135
概论	135
光的偏振	138
平面偏光的反射	146
概述	146
平面偏光自均质透明介质的反射	147
平面偏光自均质吸收性介质的反射	154
非均质透明矿物的光学性质	158
垂直入射的平面偏光自一轴晶透明矿物的反射	160
平面偏光自一轴晶吸收性矿物的反射	166
平面偏光自低对称性透明矿物的反射	170
平面偏光自低对称吸收性晶体的反射	173
非均质矿物偏光图的色散现象	175
测定旋转性质的理论	178
哈利蒙德分析法	182
贝瑞克分析法	187
相差符号	188
用石膏试板测定相差符号	188
旋转向指符号	189
根据光学性质测定晶体的对称性	189
参考文献	190
第七章 显微化学法	193
浸蚀试验	193
概述	193
浸蚀鉴定	193
结构浸蚀	196

结构浸蚀所显露的特征·····	198
光线浸蚀·····	199
重要元素的微化分析·····	201
概述·····	201
微化分析的程序·····	201
各元素的微化分析法·····	205
印痕法·····	207
各元素的特效印痕法·····	209
参考文献·····	210
第八章 矿物鉴定系统 ·····	211
物理性质和化学性质·····	211
光学性质·····	212
E. E. 费尔班克的穿孔卡片系统·····	214
参考文献·····	215
第九章 矿相学的应用 ·····	217
概述·····	217
矿物分析·····	217
概述·····	217
固结矿物的矿物分析·····	219
固结矿石分析的准确度·····	221
松散物质的矿物分析·····	225
矿物分析的目的·····	230
矿石和选矿产品的结构分析·····	232
矿物状态·····	242
参考文献·····	246
附 录 ·····	249
表 1 按维氏硬度递增顺序排列的矿物表·····	249
表 2 按抗磨硬度递增顺序排列的矿物表·····	253
表 3 金属矿物的反射率·····	255
表 4 显示内反射的矿物·····	259
表 5 部分非均质金属矿物的旋转性质	
表 6 重要元素的微化分析法·····	260
表 7 元素的印痕法试验·····	268

第一章 引言

矿相学是在反射光中研究金属矿物的科学。它是矿物学、经济地质学和选矿工作的一种基本手段。大多数矿石是各种矿物紧密连生的混合物。在手标本上鉴别矿物,不仅困难,而且经常是不可能的;显微镜是鉴定矿物的主要工具。矿石中的透明矿物,可用显微镜在透射光中研究。然而,大多数重要的金属矿物是不透明的,必须用反射光研究。

矿物鉴定是矿石研究的一项重要内容,但矿石结构和构造的研究具有同等的重要性,因为这些特征是矿石形成的条件、金属矿物沉淀的过程及其生成顺序的记录。在这些问题上,矿相学的研究能够提供别的方法所不能取得的资料,这些资料对矿石成因概念的发展起了重大的作用。正如岩相学可以解决与地壳岩石成因有关的很多问题一样,矿相学的研究,可以解决矿石沉淀作用的很多问题。

在选矿工作中,矿石显微镜同样也成了一个标准工具。矿石的试金分析,很难充分解决矿石组成的问题。现代选矿工作通常需要了解所选样品的矿物成分、结构和矿物状态的详细情况。为什么试金分析结果相同的两种金矿矿石,用氰化法一个回收率高,而另一个回收率低?某铅锌矿石磨碎到200网目,方铅矿和闪锌矿能够解离到什么程度?X矿山铜矿中尾矿损失的原因是什么?怎样来提高Y选矿厂加工的矿石的精矿品级?提高的是否合算?象这些问题,应在选矿实验室进行系统的探索,但是所要了解的很多基本情况,是在显微镜下检查矿石和选矿产品而取得的。

象所有其它技术一样,矿相学的研究只有与其它的方法结合起来,才是最有效的,其中象光谱学、化学、x光的研究,对金属矿物的研究特别重要。各种方法相辅相成,为矿石和金属矿物研究者的工作提供了有效的仪器设备。

矿相学的第一步,是在反射光下鉴定见于矿石光片中的矿物。鉴别矿物要根据各种性质的研究,下面是比较重要的性质:

1. 物理性质

晶体的形态和结晶习性	环带构造
解理和裂理	连晶
双晶	硬度
塑性	粉末颜色

2. 光学性质

单偏光	正交偏光
颜色	均质性与非均性
反射率	偏光色
双反射效应	旋转性质
	内反射

3. 化学性质

- 对标准浸蚀试剂的反应
- 各种元素的显微化学试验

本书的主要目的,是使学生熟悉金属矿物的上述较为重要的性质,以及研究这些性质的方法。矿相学研究中也曾应用金属矿物的其它性质,如导电性、化学染色、红外光中的性质和化学点滴试验,但一般只应用于特殊的研究工作中,在这里只作简要的讨论。在地质工作中,在对矿石中的矿物进行鉴定之后,通常继而进行其它研究工作——矿物定量分析,结构特征的定性和定量分析,以及从矿物沉淀的条件和过程的角度对结构性质进行解释。在矿物工业方面,矿物成分的定量研究,矿物状态的研究,矿石和选矿产品的粒度分析及其它结构特征的分析,都有重大的意义。上述两种研究领域所包括的方法,将在本书最后一章讨论。

参考文献

M. Berek, Optische Messmethoden im polarisierten Auflicht, *Fortschritte der Mineralogie, Petrographie, und Kristallographie*, vol. 22, pp.

- 1-104, 1937. An outstanding exposition of the optics of ore microscopy.
- M. Berek, *Rinne-Berek Anleitung zu optischen Untersuchungen mit dem Polarisationsmikroskop*, E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1953, 366 pp.
- E. N. Cameron, The study of opaque minerals in reflected light, American Society for Testing Materials, *Symposium on microscopy*, 1959, pp. 39-75.
- W. M. Davy and C. M. Farnham, *Microscopic examination of the ore minerals*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1920, 154 pp.
- H. Ehrenberg, Die Mikroskopie im auffallenden Licht, *Handbuch der Mikroskopie in der Technik*, Band I, Teil 2, Umschau Verlag, Frankfurt am Main, 1954, pp. 1-186.
- A. B. Edwards, *Textures of the ore minerals*, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, 2nd ed., 1954, 242 pp. An excellent discussion of textural features of ores and applications of ore microscopy to mineral dressing.
- E. E. Fairbanks, and others, *Laboratory investigation of ores*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1928, esp. Chs. VI, VII, and VIII.
- C. M. Farnham, *Determination of the opaque minerals*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1931, 236 pp.
- A. F. Hallimond, *The polarizing microscope*, 2nd ed., Cooke, Troughton and Simms, Ltd, York, England, 1953, 204 pp.
- H. Freund, Mikroskopie der Erze, Aufbereitungsprodukten und Hüttenschlacken, *Handbuch der Mikroskopie in der Technik*, Band II, Teil 2, Umschau Verlag, Frankfurt am Main, 1954, 654 pp.
- Paul Ramdohr, *Die Erzminerale und ihre Verwachsungen*, Akademie Verlag, Berlin, 1960, 1089 pp. An exhaustive treatise on ore minerals. An English translation is in preparation.
- H. Schneiderhöhn and P. Ramdohr, *Lehrbuch der Erzmikroskopie*, 2 vols., Gebrüder Bornträger, Berlin, 1931, 1934, 1026 pp. A classic work on ore microscopy and the characteristics of ore minerals as then known.

- H. Schneiderhöhn, *Erzmikroskopisches Praktikum*, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1952, 274 pp.
- M. N. Short, *Microscopic determination of the ore minerals*, U. S. Geological Survey, Bulletin 914, 1940, 314 pp. An older work still valuable for its treatment of microchemical techniques.
- E. Thomson, History of the study of ore minerals, *American Mineralogist*, vol. 24, pp. 137-154, 1939. An informative discussion of the development of ore microscopy and related techniques, with an excellent bibliography to date of publication.
- W. Uytendogaardt, *Tables for microscopic identification of ore minerals*, Princeton University Press, 1951, 282 pp. A most useful reference for brief descriptions of ore minerals.
- R. W. Van der Veen, *Mineragraphy and ore deposition*, The Hague, 1925 (transl. by J. F. Kemp), esp. pp. 39-50.

第二章 矿石显微镜

概述

在最近十五年中，反光显微镜的质量有了显著的提高。镀膜透镜和玻片反射器的采用，是一项重大的改进，它们使得矿相学工作者能观测到一些光学现象，这些光学现象过去是很少用到的。最近，为定量研究非均性设计的几种光学器具已经问世。较为新式的显微镜，虽然大部分的基本光学部件与老式显微镜相同，但其性能要远远优于任何过去的显微镜。一些老式显微镜现在已被淘

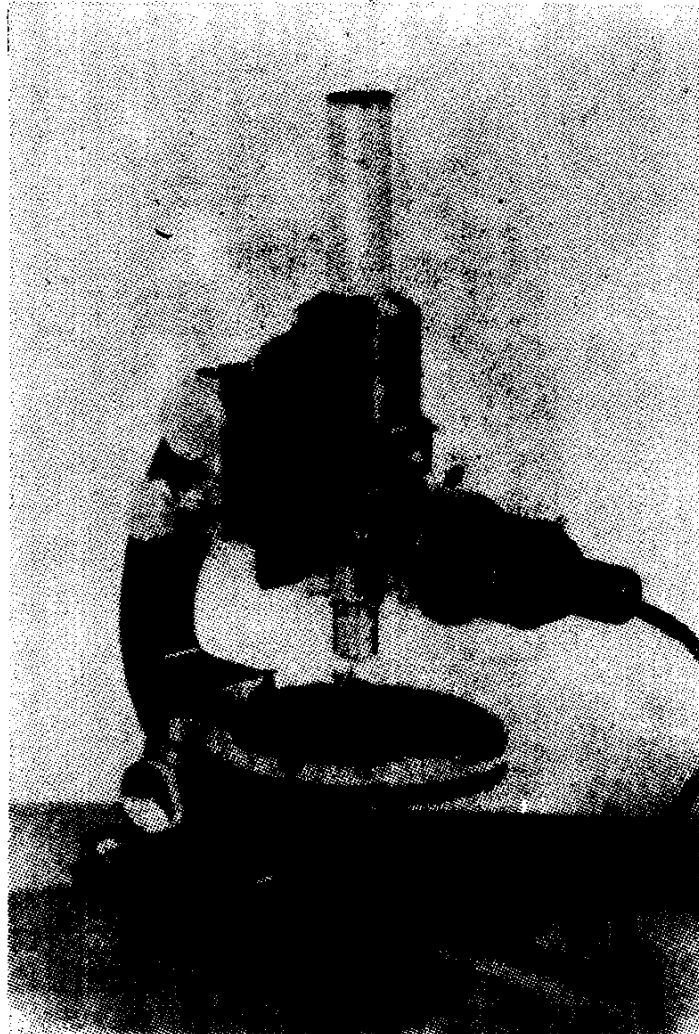


图 2.1. 鲍希和伦姆标准 O 型矿石显微镜

汰, 在编写本书时, 作者主要针对新式的仪器进行讨论。

矿石显微镜简介

图 2.1 至 2.10 为各种型式的矿石显微镜的照片。它们的外形不同, 但都有一些共同的基本部件, 首先是装载其它部件的显微镜镜架。鲍希和伦姆(Bausch and Lomb), 美国光学公司(American Optical Company), 库克(Cooke)和莱茨(Leitz)MOP 和

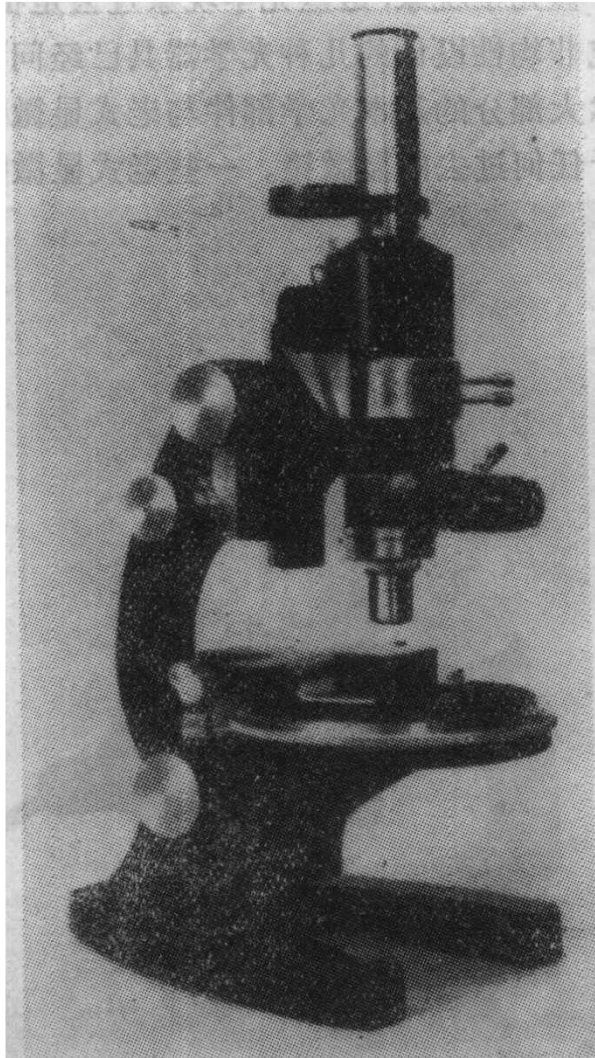


图 2.2. 鲍希和伦姆的特种 O 型矿石显微镜, 图中未示出固定光源。这种显微镜备有可转动的分析镜和云母试板(右边, 照明管上面)。分析镜和云母试板的刻度及游标借助滑动透镜(位于棱镜之上, 自镜筒左边伸出)通过刻度尺左方的直角棱镜读出

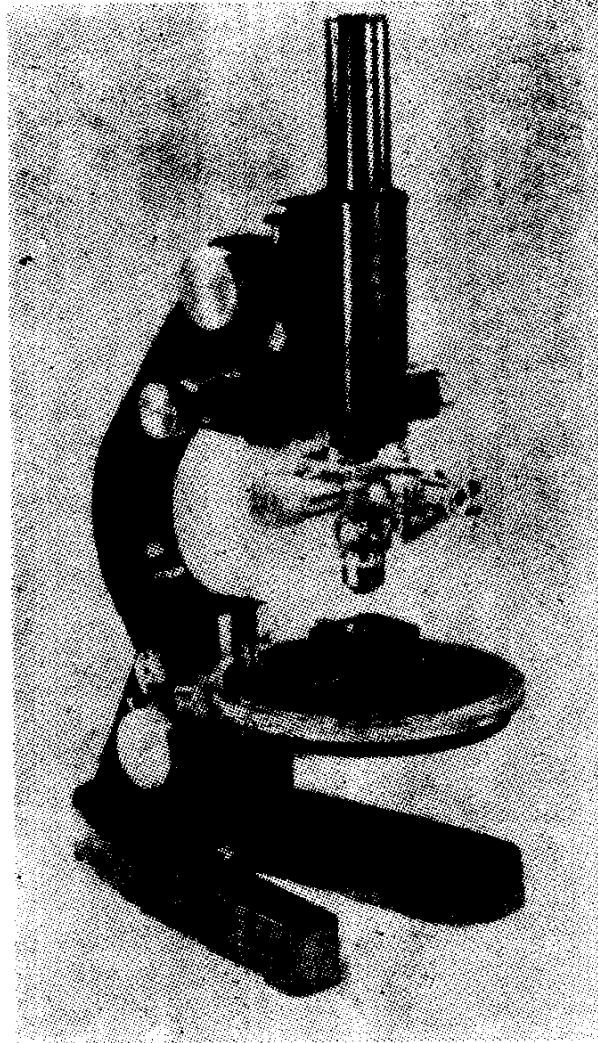


图 2.3. 莱茨 MOP 型矿石显微镜

AMOP 型的显微镜(图 2.1-2.5), 镜架上部载有镜筒, 镜架可向后倾斜成所需要的任一角度。镜架上安装有可作 360° 转动的圆形载物台。载物台的周边上标有刻度, 另有一游标能将载物台的位置读至一度的分数。载物台通常具有齿轨-齿轮式运动装置, 可使之上下移动。这一装置很重要, 因为移动载物台至少可以粗略地准焦, 也便于采用与显微镜不相联结的照明光源, 如碳弧灯。假若载物台是固定的, 每次变动镜筒的位置, 就需要重新调节外部光源光束高度, 使之位于进光管轴线位置上。

鲍希和伦姆, 美国光学公司, 库克和老式的莱茨和蔡斯矿石显微镜, 其镜筒(双目镜或单目镜)由两个楔形滑道安装在镜架上, 用