

岩矿鉴定与物质成分研究

参 考 手 册

桂 林 冶 金 地 质 研 究 所

一 九 七 四 年 十 月

毛主席语录

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

开发矿业。

古为今用，洋为中用。

编辑说明

本《手册》主要是根据国外文献和部分国内资料，重点介绍岩矿鉴定和矿石物质成分的研究方法。书中包括：透明矿物、金属矿物、岩浆岩及其结构的鉴定数据和图表；矿物分离与某些金属矿石物质成分研究的方法、典型流程和常用数据；岩矿鉴定和矿石分析的新技术、新方法以及费德罗夫方法等。

书中“主要造岩矿物鉴定表”一章由孙延绵同志编写，“电子探针分析简介”一节由陈振玠同志编写，“同位素地质年代学与金属矿床地质”一节由陈民扬同志编写，“费德罗夫方法”一章由金尚麟同志编写，其余各章节均由本所情报室编写。

本书可供野外地质人员、岩矿鉴定和选矿工作者以及有关大专院校师生参考。

由于我们的水平和掌握的资料所限，难免挂一漏万，甚至存在错误，均盼读者批评、指正。

编者

一九七四年十月

岩矿鉴定与物质成分研究参考手册

目 录

一、岩矿鉴定技术与方法的进展概况·····	(1)
光学显微镜法·····	(2)
差热分析与热重分析·····	(5)
X-射线衍射法·····	(6)
电子显微镜·····	(6)
几种固体物理学方法·····	(7)
单矿物分离法·····	(10)
二、矿物与矿石物质成分研究的内容及方法概述··	(12)
矿物研究的试样·····	(12)
矿石物质成份研究的主要任务·····	(14)
矿物研究的方法·····	(33)
仪器·····	(52)
三、主要造岩矿物鉴定表·····	(62)
使用说明·····	(62)
主要造岩矿物鉴定索引·····	(66)
均质体矿物·····	(68)
一轴晶正光性矿物·····	(78)
一轴晶负光性矿物·····	(87)
二轴晶正光性矿物·····	(98)

二轴晶负 光性 矿物	(125)
------------------	-------

四、岩浆岩及其结构鉴定

(151)

岩浆岩鉴定表	(151)
全晶质粒状结构深成岩类	(152)
全晶质显微粒状结构脉岩类	(156)
半晶质或玻璃质结构的喷出岩类	(160)
岩浆岩主要结构鉴定表	(164)
第一类 全晶质粒状结构	(164)
第二类 显微全晶质结构	(167)
第三类 半晶质与玻璃质结构	(168)

五、金属矿物的鉴定

(180)

以反射率分类为基础的金属矿物光学性质的相互关系	(180)
金属矿物的反射率 (R) 和硬度 (H 与 H_o) 综合表	(182)
可见光谱域中反射率测定的基础上金属矿物分类的 新尝试	(214)
不同负荷 (P) 下显微硬度 (公斤/毫米 ²) 对照表	(233)
显微化学法	(239)

六、单矿物分离

(267)

磁场中分离矿物	(268)
利用不同试剂中矿物的选择溶解性分离单矿物	(272)
分离单矿物的试料加工典型流程	(285)

七、某些矿石的物质成分研究流程

(292)

铅、锌、铜矿石	(292)
氧化铅锌矿石	(295)
含金矿石	(299)
钼矿石和钨矿石	(303)

锡矿石.....	(309)
钛矿石.....	(312)
锂辉石矿石.....	(319)
铍矿石.....	(325)
铌铁矿-锆石矿石.....	(328)
碳酸盐岩型铌-钽矿石.....	(331)
稀有元素伟晶岩.....	(338)
稀有金属花岗岩.....	(339)

八、矿产资源的综合利用..... (343)

九、新技术、新方法的应用..... (356)

电子探针分析简介.....	(356)
同位素地质年代学与金属矿床地质.....	(365)
矿物包体地质测温工作简介.....	(373)
新测试技术简介.....	(378)

十、费德罗夫方法..... (397)

费氏台的构造、安装、校正和维护.....	(398)
基本测定方法.....	(408)
§ 1 解理和晶面测定.....	(408)
§ 2 赤平投影网的应用.....	(408)
§ 3 光率体和晶体消光原理.....	(416)
§ 4 晶体轴性和晶体切面的消光类型.....	(418)
§ 5 光率体位置的测定(四轴法).....	(421)
§ 6 锥光投影方法.....	(433)
§ 7 晶体测定的五轴法.....	(467)
§ 8 光轴角的测定.....	(472)
§ 9 双折射率的测定.....	(483)
§ 10 其他测定方法.....	(492)

斜长石的鉴定法	(497)
§ 11 斜长石的特点及其双晶	(497)
§ 12 斜长石鉴定的解理法 (四轴法)	(502)
§ 13 斜长石鉴定的双晶法 (四轴法)	(505)
§ 14 斜长石鉴定的晶带消光角法	(512)
§ 15 斜长石鉴定的五轴法	(526)
§ 16 斜长石鉴定的三律晶法	(532)
§ 17 斜长石构造状态 (及成分) 的测定	(554)
钾钠长石的鉴定方法	(570)
§ 18 钾钠长石的一般概念	(570)
§ 19 钾钠长石的鉴定方法	(583)

主要附表目录

岩石中稀有和有色金属的平均含量 (表2)	(18)
载体矿物中的稀有和分散元素 (有色和稀有金属矿石)	
(表3)	(21)
紫外线照射下的发光矿物 (表7)	(36)
阴极射线照射下的发光矿物 (表8)	(38)
矿物的热效应 (表9)	(43)
重液表 (表10)	(48)
主要造岩矿物鉴定表 (表12)	(62)
岩浆岩鉴定表 (表13~15)	(152)
岩浆岩主要结构鉴定表 (表16~20)	(165)
以反射率分类为基础的金属矿物光学性质的	
相互关系 (表22)	(180)
金属矿物的反射率 (R) 和硬度 (H与H ₀) 综合表	
(表23)	(182)
不同负荷 (P) 下显微硬度 (公斤/毫米 ²) 对照表	
(表27)	(233)
显微化学测试元素表 (表28)	(253)
印痕法测试元素表 (表29)	(261)
矿物的磁性 (表30)	(269)
矿物的相对引力 (表31)	(270)
矿物的比磁化率 (表32)	(271)
矿物与金属在酸中的可溶性 (表33)	(275)
主要造岩矿物的可溶性 (表34)	(276)
矿物在盐酸中的可溶性 (表35)	(281)
铁矿石的综合利用表 (表44)	(347)
二十九个矿种中有益和有害伴生组分 (表45)	(353)
九种砂矿的综合利用组分 (表46)	(355)

一、岩矿鉴定技术与方法的进展概况

无论是普查探勘工作，还是地质科学研究，都经常要进行大量甚至是繁重的、花费很大的岩矿工作。诸如岩矿光薄片鉴定，天然或人工重砂分析，矿样及选矿产品的鉴定与分析等等。岩石与矿石物质组成的查定与研究，是地质勘探及其研究工作中的一项重要基础工作。它不仅具有理论意义——加深对地质体、地质作用过程、矿床成因及矿产分布规律的认识；而且具有重要的实际价值——了解矿物中有益与伴生元素的分布及其赋存状态、制订复杂矿石的有效选矿流程，以利矿产资源的综合利用；直接探索新矿物及新矿种的利用；确定寻找新矿床和评价其远景的岩石和矿物标志等等。因此，多快好省地进行岩矿物质成分的查定与研究，一直为广大的地质工作者所关心。

当前，对于矿物鉴定和各种矿物数据的精确测定，仍然继续尽量综合采用各种常规方法和现代科学技术方法。尽管常规方法不断取得新的改进，但现代科学的新技术、新方法、新仪器、新设备却正被大量引进到岩矿工作中来了。为了提高矿物研究的工作效率、加快速度、降低成本、增加矿物测定的可靠性，分析测试手段在向微粒微量、高精度、高灵敏度和快速的方向发展；其努力方向是：（1）各种矿物方法，尤其是光薄片与重砂矿物定量的光学方法、X-射线分析、矿物分离和单矿物挑选的自

动化。(2) 提高矿物常数测定的精度和灵敏度，特别是矿物单位晶胞、折光率、反射率和介电渗透常数的测定等。

(3) 在方法研究中，以尽量少的样品（譬如1毫克），获得矿物尽量多而准确的数据；微量化学分析及核物理分析方法的进一步完善，在单个矿物的局部地域和光薄片的任意一点上，鉴定矿物成分、结构及其物理性质；进一步发展薄片中小矿物的显微光谱、电子探针及X-射线分析；在发展衍射测量、差热分析和红外光谱的基础上，对复杂多组分矿石进行快速相分析；包括细分散矿物在内的各种矿物的高效率分离方法的研究，如水电破碎、超声波、静磁、水磁和静电分离，电泳分离及根据颜色色调、采用核物理（首先是X-射线放射性测量法）分离矿物等等。(4) 建立配有最新设备的流动矿物实验室，做到在野外条件下，快速进行从碎样、分离，直到全面的矿物研究及单独矿物粒级的核物理分析等一整套工作。

兹将岩矿鉴定技术近年的一些进展情况概略介绍如下。

光 学 显 微 镜 法

在岩矿鉴定中，它仍是应用最普遍、最经常的手段。仪器和方法的改进，主要反映在迅速、准确地测定矿物的折光率和反射率等光学常数。在仪器方面由于光源及附件的改进，出现了一些新类型。

在透明矿物偏光显微镜的研究中，国内外开展了热变法及双变油浸法测定矿物的折光率。在国外，并研制出几种型号的热台。如莱兹热台（温度范围为 $+30^{\circ}\sim$

+1000℃)、科弗勒热台(+30°~+350℃, +30°~750℃)、莱兹冷热台(-20°~350℃)、莱彻特冷热台(-55°~+340℃), 莱兹微型加热炉可高达1600°~1800℃, 科弗勒“万能”热台具有更广泛的温度范围(-55°~1500℃)。热台主要应用于测定矿物折光率, 特别是高折光率矿物, 鉴定重砂矿物(如锆石、独居石、金红石等), 并进行定量计算, 直接观测并测定水化矿物(如硫酸盐、盐类矿物及沸石等)的光性变化(干涉色及消光等现象), 精确测定脱水温度, 精确测定并研究矿物多形结构转变的温度及某些矿物加热时的光性变化, 等等。

此外, 还研制了以附有衍射板(相板)的相物镜代替物镜, 以附加一带周环的相聚光镜代替普通聚光镜的相差显微镜。目前它主要用于测定微粒矿物(最小粒度可达1微米)的折光率, 以及矿物包体和杂质、矿物裂隙中的物质, 缺陷和固溶体中的析出相; 对粘土矿物高岭石的研究, 已取得较好效果。

在金属矿物的矿相显微镜研究中, 采用光电管和光电倍增管作为接收器, 测定金属矿物的反射率。目前主要是采用单色光下工作的单光束仪器。如西德昂通公司的MPM显微镜光度计、东德卡尔·蔡司公司的显微镜光度计、苏联列宁格勒的ΦMΘ—1型和全苏地质勘探研究所的ΠООС型显微镜光度计、奥地利列赫特公司的显微镜光度计等等。

反光镜下测定矿物的反射率是以矿物与标准体反射率对比为基础的。这种标准体的选择与测定, 早在1964年国际矿相学委员会就已确定了反射率(R) = 0~100%的一

套标准，对标准体物质提出的要求是：光学均质体和均一体、反射色散率低、质硬、不透明、化学性质稳定、表面磨光。近年来有人提出以单晶硅、多晶钨、镍和铝等化学纯度高、稳定性好的人造矿物或晶体作为标准体。

此外，在方法上由于进行旋光性质的研究，使光学常数不多的金属矿物鉴定新增加了一些光学常数：可见旋转角、可见旋转角色散、相差、相差符号、旋转方向等；并已测出130多个非均质体金属矿物，这种方法的研究正在美、苏等国开展。

近年**红外线显微镜**也得到了一些进展。由于许多在可见光下不透明或半透明的矿物，在红外光下则“变得”透明，因此可利用红外光源测定这些矿物的重折射率、消光角、轴性和光轴角等光学常数。最初，红外线显微镜由普通显微镜和红外变相管构成，工作时将显微镜的接目镜换上红外变相管。1966年后，又研制出一种带反射转换器的红外暗箱，使光电阴极得到的红外线象在阳极（萤光屏）上转换为可见像，大大方便了矿物的红外线研究。这种类型的红外显微镜，如苏联的МИК-1型、МИК-2型等。

研究含沥青质的**萤光**和**紫外显微镜**，其光源目前皆为汞-石英灯，并配备有能阻断可见光，而通过紫外光的各种滤光器。许多岩石或矿物受紫外光辐射后，便发出特征的各种不同颜色的萤光。随着在紫外光中研究物质的显微镜法的完善和仪器结构的改进，目前许多显微镜都配有萤光光谱仪，以代替过去的萤光目测法。它可以进一步准确测定显微镜下发现的岩石和矿物中细小沥青物质的成分和分布。

差热分析与热重分析

在矿物学中主要研究对象是各种胶体分散矿物、含结构水和氢氧根的以及加热过程中晶体构造发生变化的矿物（如粘土矿物、含水氧化铝矿物、含水氧化锰矿物、各种含稀土碳酸盐矿物、各种硫酸盐、硼酸盐、氯盐以及非晶质的铀钼矿物等）。

差热分析的基本状况是：光电系统已广泛用于控制温度，虽一般温度（ $0^{\circ}\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ）仍延用铂-铂铑和镍-铬镍热电偶，但记录低温（ $< 0^{\circ}\text{C}$ ）和记录高温（ $1600^{\circ}\sim 3000^{\circ}\text{C}$ ）已用热敏电阻和光电二极管真空管；摄影记录已成为标准记录法，利用镍和铬-镍热元件可追记到 0.01°C 的温度变化；发展了高温度的仪器（达 $2800^{\circ}\sim 3000^{\circ}\text{C}$ ，一般高温在 1600°C 以下），温度范围大体在 $-180^{\circ}\sim 3000^{\circ}\text{C}$ 之间（通常为 $80^{\circ}\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ）；出现了高压（200个大气压）下进行测定的仪器；许多型号仪器都可控制样品上方或通过样品的空气，或可在真空（ < 0.01 个大气压）条件下工作；有许多仪器把差热分析和热重分析以至微分热重分析组装在一起，有的设备并附有加热干涉显微镜；出现了可测定微量样品的仪器，样品称重可小到 $10^{-3}\sim 10^{-8}$ 克；加热速度一般为 $10^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$ ，有的可达 $100\sim 300^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$ 。

近年来还注意探索了在高热效应背景中记录细微热效应的方法。如提出严格控制零点线和使用对数标度问题；探讨在不同条件下的分析方法与不同种矿物理想分析检查条件的选择（称量、研磨粒度、加热速度等），并用许多

实例（如粘土矿物、蛇纹石、石棉、云母、含稀土的碳酸盐）说明新方法的应用情况。

过去差热分析仪器设备多为实验室自制，分析成果不易对比。六十年代起出现了一批商品型号。

微量差热分析方面，法国曾设计了一种分析样重 $10^{-6} \sim 2 \times 10^{-4}$ 克或 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ 克的热分析仪。1971年苏联报导了一种可分析 $10^{-6} \sim 1$ 克的差热分析仪。

X-射线衍射法

该法是矿物结构分析中较为成熟的方法。近年来，随着电子计算机的应用和电子控制衍射仪的问世，方法有显著改进。出现了一些自动化单晶X-射线衍射仪、聚晶高效衍射仪、自动小角度X-射线衍射仪、由电子计算机控制并组装在一起的X-射线衍射仪，以及与X-射线光谱仪组装在一起，掀动电钮即可更换用途的X-射线光谱、X-射线衍射两用的仪器等等。还出现了一些型号的高压（如35千巴）单晶衍射仪。有的采用了样品转换器，这种自动化装置，据称可提高工效8倍。有的采用新型胶片，可把拍摄X-射线衍射图象的曝光时间缩短到原来的十分之一，并能降低成本。

电子显微镜

在矿物学中经常要鉴定和研究许多细小颗粒的矿物，如粘土类矿物，其粒径多小于1微米，普通光学显微镜的鉴别能力已不胜任，因而广泛采用各种电子显微镜。随着

新式仪器的生产,研究方法和样品制备技术的改进,电子显微镜技术近年发展亦很快。目前,普通光学显微镜最大放大倍数不过2500倍,其分辨能力约5微米左右,最高不过2000Å。本世纪三十年代出现的德国电子显微镜,分辨力约为100Å,而目前已达2~5Å,英国EM-8型的分辨力为3Å,日本JEM-100B型的分辨力为2Å。据介绍,透射型电子显微镜(如日本的JEM-7A和JEM-100U型)的放大倍数一般已达25~30万倍,有的甚至达50万倍。透射型电子显微镜除可研究各种细粒分散矿物的个体和连晶、致密矿物和矿物集合体、矿物表面的理想构造外,还可用于研究晶体内部构造和缺陷以及矿物相的转变。因此,其应用范围不断扩大。

据报导,1968年以后,国外电子显微镜每年以一千台的速度增长着,至1970年总数已达万台以上,其中以日本产品占多数。

据认为,现代电子显微镜的基本发展方向是:高压电子显微镜、扫描电子显微镜、微探针和电子显微镜衍射技术的利用和改进,而透射型电子显微镜、电子显微衍射和电子探针三者的综合使用,又被受到特殊的强调。因为它成功地用于推导矿物公式、观察混溶性界限、查明稀有和分散元素在矿物中的赋存状态、说明矿物成分与化学计算比值间的差异或反射率、显微硬度和比重间的差异,并可查明出现矿物非均匀性的原因等。

几种固体物理学方法

1. 穆斯鲍尔谱仪: 目前已开始应用于矿物学研究。

1958年, R.L. 穆斯鲍尔(Mössbauer) 在研究 ^{101}Ir 原子核的 γ 射线共振吸收时, 发现当吸收或发射 γ 射线的原子核存在于固体晶格中时, 则这种原子核有一定的几率不单独发生反冲, 而是整个晶体受到反冲。这种无单独反冲 γ 射线共振吸收的效应被称为穆斯鲍尔效应。它在矿物研究中可探讨固体内部的磁场和电场梯度强度、晶体的化学键性质、固体的相变、晶格的振动(杂质原子和晶体缺陷)、辐射对物质的损害或核衰变引起的物质结构变化。但目前仅限于矿物中原子的氧化状态, 原子的配位对称, 原子的外层电子的构型等方面, 而所讨论的元素也仅限于Fe、Mn、Sn等少数几种元素。

2. 各种磁共振方法: 在矿物研究中愈来愈受到重视。

电子顺磁共振法, 与其他方法配合可解决矿物晶体学中的如价态、配位数、局部结晶场对称性、对称轴方向、结晶场中各种物质成分的数量、键的共价程度、晶格中不等价位置的存在及其相互取向、晶位、二价置换的电荷补偿机理、分子轨道、矿物的电子结构、有序和有序现象、晶体的缺陷和色心等问题。在类质同象方面可查明杂质元素的赋存位置和状态, 同时可定量或半定量地测定杂质元素的含量。

顺磁共振法可对各种天然晶体进行广泛研究, 特别是了解晶体的杂质和能级结构, 有助于发现新的激光器原料。

核磁共振法实为以原子核为探针研究物质结构的方法。其原理是: 对应于某一特定的 H_0 值(均匀磁场), 一种磁场只有一个跃迁频率。在磁场中, 原子核对具有这种特征频率的无线电辐射进行吸收。由于共振吸收线的宽

度、位移、裂距以及弛豫时间与核子所处的化学环境和周围电子的分布及原子的运动有关，所以有可能利用核磁共振数据来研究晶体结构、晶体点阵的运动、晶体缺陷、扩散现象和化学反应等情况。还可提供矿物中的吸附水、层间水、结构水、沸石水的显微性质，水化作用和脱水作用的机理等等。

核四级共振与核磁共振接近，是由于核四极距有关的能级之间转变而产生的。在无外磁场条件下，可在中、长波范围内看到共振吸收现象；对于分子和晶体结构的最小部分有极高的灵敏度，甚至比核磁共振的灵敏度更高。这些方法现已用来研究矿物中最重要的原子的同位素，如 Li^6 、 Li^7 、 Be^9 、 B^{10} 、 B^{11} 、 O^{17} 、 Na^{23} 、 Al^{27} 、 K^{39} 、 K^{41} 、 Cu^{63} 、 Cu^{65} 等，目前研究最多的是 Al^{27} 的四极偶合能量。

3. 矿物的分子光谱鉴定法：近年来在不断发展中。

红外光谱技术能鉴定成分较稳定的矿物（如石英）；对成分显著不同的两个端元组分的矿物（如斜长石类、橄榄石类等）可表出主要元素含量的细微变化（但不能表示痕量元素的变化）；可鉴定成分相同而结构不同的矿物（如石英、陨石英、方石英、鳞石英等，方解石和文石等）；也可鉴定结构和化学成分都有变化的矿物（如钠斜长石）。此外，在矿物颜色变化的原因和矿物多色性的解释方面，也取得了一定效果。

拉曼光谱法近年来是受到广泛注意的一种方法。它可测定含有 MO_2 和 MO_4 官能团的碳酸盐、硅酸盐、磷酸盐、砷酸盐、钒酸盐、硫酸盐、铬酸盐、钼酸盐和钨酸盐等多种矿物。