

700680

2

地质研究的微矿物学技术

赵景德 谢先德 著

科学出版社

内 容 简 介

本书以作者多年从事地球和月球岩石矿物、玻璃陨石、冲击坑物质、煤和页岩等方面的研究经验为基础,系统阐述了微矿物学的研究方法和各种先进的分析鉴定技术,反映了国际上在这一领域的先进水平。本书的主要着眼点是通过微矿物学研究,正确地获取尽可能多的科学信息,从而有效地解决地质过程中的一些关键性问题。全书共分四个部分十七章。第一部分论述了从课题设计到样品采集照相和样品制备等方面的方法和技术;第二部分详细介绍了各种微矿物学技术和仪器设备;第三部分列举了大量研究实例,详细论述了微矿物学技术在解决地质问题上的应用;第四部分介绍了如何为不同的研究目的和对象选择合理的研究方法。书末附有一个理想的矿物学和岩石学实验室应配置的实验装备说明。

本书可供从事地质学、岩石学、矿物学、地球化学、天体化学、陨石学、沉积岩石学和煤岩学等方面的专业人员参考。特别对广大野外地质工作者,掌握和运用微矿物学方法和技术来解决各种复杂的地质问题具有重要实际意义。此书亦可供大专院校有关专业教学参考。

地质研究的微矿物学技术

赵景德 谢先德 著

责任编辑 衣晓云

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1989 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1989 年 7 月第一次印刷, 印张: 12 插页: 17

印数: 0001—650 字数: 270,000

ISBN 7-03-000945-2/P · 161

定价: 16.80 元

序 言

目前,国外关于微矿物研究理论及方法的单篇文章较多,但缺乏系统的专著,对各种方法的介绍和评价也不够全面。在国内,微矿物学方法也还处于起步阶段。《地质研究的微矿物学技术》一书是我国地学领域内第一本有关微矿物学技术及其在地质研究中应用的系统论述和总结,这本书的出版必将推动微矿物学领域的发展。

从全书的内容看,本书具有以下优点和特色:

(1) 全书结构和层次安排合理,重点突出。各章节之间有机联系较为密切,内容全面而系统,基本上总结和概述了微矿物学的研究方法和各种先进的分析鉴定技术,反映了国际上在这一研究领域的先进水平。

(2) 本书突出的特点是作者根据研究月球岩石和矿物、玻璃陨石、冲击坑物质、煤和页岩等行之有效的实际经验,并以此作为实例,系统地阐述了从课题设计—样品采集—样品制备—室内各种分析测试—结果处理等一整套野外和室内研究方法和技术,以及在工作中应注意的问题,这样更易于为读者所接受和学习。此外,在本书的各重要章节内,都有有关重要参考文献资料的介绍,便于读者查找,同时也大大压缩了本书的篇幅,有利于作者提炼其精华。

(3) 本书简明扼要地介绍了各种分析测试手段和方法及其应用范围,并分别加以综合评述,反复强调在研究细粒地质样品过程中采用多种手段进行综合研究是行之有效的方法,并提出了按序配合的微矿物学方法等。

(4) 本书所论述的微矿物学技术,不仅对月岩、陨石及冲击坑物质的研究有重要的参考价值,而且对地质样品和煤,以及新矿物的研究,都具有重要的实际意义。受冲击矿物的形变特征、天然产出的柯石英和斯石英,以及其它矿物的相变等已应用于作为地质压力和温度的指示剂,在推定人工爆炸的应力场分布上也有重要的实用意义。

本书的第一作者赵景德博士是国际知名的岩石学家和矿物学家,曾对著名的美国格林河建造矿物学、玻璃陨石、月球岩石和矿物、地表和月球表面的陨石冲击成坑机理等作过大量深入而细致的工作,发表了一系列水平很高的学术论文和专著。他首次在陨石坑中发现了天然产出的柯石英和斯石英,为陨石冲击成坑学说提供了可靠的依据。他成功地将现代分析测试技术引进到地学研究,特别是微矿物学研究中,取得非常好的效果。本书第二作者谢先德研究员在矿物学研究方面也作了大量的工作,并写有专著,近十多年来,他在陨石学、矿物的冲击变质,特别是石英等造岩矿物的微观和亚微观结构方面进行了深入而系统的研究,经验丰富,成绩显著。他六年前在美国工作期间曾与赵景德博士进行了卓有成效的合作研究,发表了一系列高水平的论文,本书就是在二位作者大量实际工作的基础上写成的。

总之,本书系统而全面地论述了微矿物学技术和研究方法。本书的出版将为我国地学工作者研究显微矿物学,特别是研究矿物的精细结构提供一个有效的范例。本书所阐

述的思想方法，即多学科和多手段协同作战，并通过微矿物学研究，有利于正确地获取大量的科学信息，从而有效地解决地质过程中某些带关键性的问题。

涂光炽

1986年6月26日

前 言

作者写作本书的决心是经过长期的考虑而逐渐形成的。早在 70 年代,在生物学、药理学、冶金学、物理化学和地质学等许多研究领域内,就已经有很多介绍仪器设备的好文章、好资料和专著问世。近十多年来,技术的进步是很快的,一个实验室如果希望始终保持技术上的先进性,那就需要各方面的专家协同努力,而这一任务是本书作者所不能胜任的。就微矿物学技术而言,人们只是到了阿波罗登月并从月球上采回了月岩样品时,才意识到这种技术的重要性,并着手去发展这方面的技术。月球样品不但十分珍贵,而且有其独特性。为采集月球样品而花费的金钱是惊人的。因此,只能把极少量的样品分发给研究者去研究,重点是进行非破坏样品的研究。当然,对珍贵的月球样品所采用的微量技术也完全可以用来研究稀有珍贵的地球样品。

我们对微矿物学技术的兴趣,早在 30 多年前就已开始了,那时第一作者在研究新泽西州的新矿物,以及犹他州和怀俄明州格林河建造的新矿物。20 多年前,我们在研究玻璃陨石和冲击变质作用时,也倍感微矿物学技术的重要性,但是,只是在接受了月球和陨石样品以及随后的细粒煤岩物质的科研任务后,才使这方面的兴趣得到增强。

我们认为,发展微矿物学技术来研究地质样品的原因有以下三个方面:(1)当人们在首次发现一种新矿物或是一个稀有珍贵的矿物时,样品量一般都非常少,颗粒也很小;(2)在实际工作中,人们往往很难找到一种合适的方法,来富集足够量的纯单矿物样品作化学成分分析。有时,分析的样品量越大,进入样品的杂质也就越多。有一些矿物常与其它矿物紧密连生,或是作为包裹体产在其它矿物相中,这样就很难用常规方法来进行研究。大量的事实证明,微矿物学技术现已在微粒微量矿物的研究上取得了很大成功。一般说来,现在只需要用少数几个矿物颗粒,就可获得最大量的科学数据;(3)现代研究技术和方法的进展,已能够满足对微粒微量矿物的鉴定和研究要求,有很多技术方法都是以研究微小样品为目的而发展起来的,如光学研究中的旋转针台,对矿物碎片作 X 射线鉴定用的甘道菲照相机,以及一些大型电子光学仪器(扫描电镜、电子探针、扫描透射电镜)的逐渐普及等。近年来又出现了在薄片或经过离子减薄后的超薄片中,对无机物质和矿物作就地研究的新趋势。而以前对矿物作完整的光学研究,和通过选矿和富集来制备矿物分析样品的一些传统方法,已用得越来越少了。

本书的第一部分是对各种微矿物学技术的叙述。我们认为,读者对用常规技术鉴定通常的矿物颗粒都是比较熟悉的,故本书中只对那些与微矿物学技术有关系的仪器设备和使用方法作适当的介绍。我们的着眼点是不仅让读者了解如何应用某一种技术,而且要让读者懂得如何对某种矿物样品选择最为合适的鉴定或分析技术,也就是说,所选用的工艺应是最适用、最简便和省时的,而且也是最经济的,这样就可以避免用很复杂贵重的仪器来解决很简单的矿物学问题。

总的说来,有关仪器设备的重要进展,在文献报道中并不缺乏。但关于一些小的、往往

是很重要的改进和创新则很少有人报道。在样品制备、处理和分析方面,很多实验室在工作中都有一些独到的经验,但这些经验常被认为是自己的“特技”,甚至被认为是商业“秘密”而很少发表出来。在我们自己的长期专业工作中,我们深深感到,确有一些技术、方法和工艺对我们的同行们是非常有用的。但这方面的资料却很分散,有一些是作为某篇文章中的一个小段落被记录下来,有的则是随便记在某个笔记本上,如不花气力是很难把这些零散的资料整理出来发表的。为了不使这些有用的东西散失掉,我们下了很大的决心,花了相当多的时间,把它们整理出来作为专著发表,希望本书所介绍的一些内容能对我们的广大同行们有所裨益。

应该说明,促使作者写作本书的另一个重要因素是: 70年代,第一作者在国内访问过许多实验室和地学研究单位,并作了几个专题学术报告,其中微矿物学技术的报告最受听众的欢迎,并希望得到有关这个方面的文字资料。随后,本书第二作者,到美国联邦地质调查所的实验室访问,工作了一年半,共同研究了受冲击石英的微形变特征。由于他的参加,本书才得以首先在国内用中文出版。本书能顺利写成,还与我们在美国联邦地质调查所的同事们,特别是与作者共同工作的同事们的支持和鼓励分不开。在编写本书的过程中,作者还得到了中国科学院地球化学研究所的侯渭、李斌、费英伟、程应良等同行们的诸多帮助。本书写成后又承蒙涂光炽教授和王道德教授在百忙中审阅全稿,特此谨致谢忱。

作者

1986年3月

目 录

序言.....	i
前言.....	iii

第一部分 总体考虑和准备工作

第一章 矿物与地质学研究.....	2
第一节 概述.....	2
第二节 工作大纲和研究人員組合方式	3
第二章 采样程序和样品选择.....	8
第一节 概述	8
第二节 区域性研究	9
第三节 专题性研究	9
第四节 采样程序及采集和选择样品的数量和质量	9
第三章 研究和处理细粒地质样品的主要微矿物学技术.....	11
第一节 概述	11
第二节 两面抛光薄片的研究和制作	12
第三节 单粒矿物的研究	18
第四章 样品和薄片照相.....	25
第一节 概述	25
第二节 宏观照相	26
第三节 低倍照相	28
第四节 显微照相	28

第二部分 研究技术和仪器设备

第五章 光学技术.....	32
第一节 概述	32
第二节 双目显微镜技术和低放大倍数下的研究	32
第三节 旋转针台	38
第四节 岩石显微镜观察	43
第五节 干涉显微镜技术	47
第六节 自动图象分析系统	58
第六章 X射线技术.....	63
第一节 概述	63
第二节 研究目的和设备选择原则	63
第三节 使用方法	64
第四节 实际应用	65

第七章 非破坏样品的分析技术·····	66
第一节 概述 ·····	66
第二节 扫描电子显微镜 ·····	66
第三节 电子探针显微分析 ·····	69
第八章 精细结构的研究技术·····	72
第一节 概述 ·····	72
第二节 光学显微镜和干涉显微镜研究 ·····	73
第三节 扫描电镜研究 ·····	74
第四节 透射电镜和扫描透射电镜研究 ·····	74
第九章 分析技术和仪器研制的新进展·····	78
第一节 概述 ·····	78
第二节 离子探针质谱分析 ·····	78
第三节 激光探针质谱分析 ·····	79
第四节 质子诱导X射线发射分析 ·····	80
第五节 同步加速器辐射分析 ·····	83
第六节 显微拉曼光谱在分析和鉴定薄片中微细矿物上的应用 ·····	85

第三部分 微矿物学技术的应用

第十章 地质研究的途径·····	92
第一节 概述 ·····	92
第二节 概念的途径 ·····	92
第三节 观察、实验和经验的途径 ·····	92
第四节 阿波罗月球样品的研究 ·····	93
第五节 瑞斯陨石坑的研究 ·····	95
第六节 煤的研究 ·····	96
第十一章 对新矿物种的描述·····	98
第一节 概述 ·····	98
第二节 描述一个新矿物必需具备的资料 ·····	98
第三节 研究方法 ·····	98
第四节 发现新矿物的意义 ·····	101
第十二章 玻璃陨石和地球击变岩·····	102
第一节 概述 ·····	102
第二节 研究任务及基本问题 ·····	102
第三节 研究方法手段及观察实验事实 ·····	103
第四节 玻璃陨石成因解释小结 ·····	113
第十三章 受冲击石英单晶颗粒形变特征的微矿物学研究·····	114
第一节 概述 ·····	114
第二节 光学常数变化范围和微页理分布特征 ·····	115
第三节 冲击微页理的形成机制 ·····	125
第四节 单晶X射线研究 ·····	127
第五节 德拜-席勒技术在推定石英冲击压力上的应用 ·····	137
第十四章 矿物形成的擦痕及陨石冲击成坑过程中的非弹道抛射搬运·····	144

第一节	概述	144
第二节	研究内容及方法	144
第三节	现有的观察和实验资料	145
第四节	矿物形成擦痕的成因解释	146
第十五章	较松软细粒岩石——煤和页岩的研究方法	149
第一节	概述	149
第二节	定向专题研究的轮廓和基本问题	149
第三节	研究和观测资料的方法	150
第四节	研究资料的解释及其意义	156

第四部分 各种研究方法的选择

第十六章	地质研究所用方法的局限性和对方法的选择	160
第一节	概述	160
第二节	各种微矿物学研究方法的缺点和对方法的选择	160
第三节	在实验研究中的应用	162
第四节	资料解释的背景和途径	162
第十七章	地质研究中按序配合的微矿物学方法	163
第一节	概述	163
第二节	已分离矿物的鉴定	163
第三节	两面抛光超薄片中粘土矿物的鉴定	165
第四节	两面抛光薄片寄主矿物中矿物包裹体的鉴定	166
附录	一个理想的矿物学和岩石学实验室应配置的实验装备	167
参考文献		170
照片说明		177

第一部分 总体考虑和准备工作

这是本书所有四个部分中的第一部分,主要内容包括四个方面,分四章来阐述。第一章叙述了矿物研究在解决地质问题中的意义和作用。第二章强调了采集新鲜的有代表性样品,以及如何合理地制定分阶段采样方案的重要性。第三章介绍了样品制备的各种工序和方法,重点介绍了硬质粗粒岩石的两面抛光薄片,以及像页岩和煤那样软质岩石两面抛光薄片的制备方法。在该章中,还阐述了如何利用近代微矿物学技术,对单个矿物的细小颗粒进行按序研究的工作程序。第四章讨论了对矿物和岩石样品进行照相和观察的各种装置。

我们对月球岩石、地球上的稀有样品和煤的长钻孔岩心的研究经验表明,采用科研协作小组的做法,是一种值得倡导的研究组织形式。协作小组的组长可以是一位野外地质学家,或者是一位地质-岩石学家,由他来制定科研计划、指导系统和专题性地质研究工作。组长本人的学术水平和知识面的宽广是专题研究工作能否取得成功的关键条件之一。组长还有责任对解决问题的方法,实测资料的获得顺序,以及如何在同一样品上或同一样品的不同切块上进行分析测试工作进行选择。最后,组长和他的合作者还要负责对所有实际资料进行综合,并作出准确可靠的解释。

第一章 矿物与地质学研究

第一节 概 述

本书的主题包括两个主要部分：一是对矿物本身的研究；另一是对地质作用和地质学研究进行探讨。至于矿物知识已包括在矿物学、结晶学和岩石学等学科之中，在这方面目前已有大量有价值的参考书问世，所以在本书中我们不准备对前人的成果作重复描述。除了从矿物百科全书选出的一些参考书籍外（Frye 等，1981），我们还选出了下列一些有关的主要书籍供读者参考：

在矿物学通论方面：

Palache, Berman and Frondel (1944, 1951); Strunz, H. (1957); Tröger, W. E. (1959); Frondel, C. (1962); Wells, A. F. (1962); Deer, Howie and Zussman (1962—1963); Deer, Howie and Zussman (1964); Clark, S. P. Jr., (1966); Ramdohr, P. (1980); Smith, J. V., (1974); Rumble Douglas III (1976); Fleischer, M., (1984); Touloukian, Judd and Roy (1981); Veblen, D. R., (1981); Veblen, and Ribbe, (1982); 谢先德(1965); 中国科学院地球化学研究所 (1971, 1972, 1978, 1981); 中国地质科学院地质矿产所 (1977, 1977, 1978); 曲懿华等 (1979); 郭宗山和辛美玉 (1980); 王濮等 (1982, 1984)。

在光性矿物学和结晶学方面：

Winchell, A. N., and Winchell, H., (1951); Wahlstrom E. E., (1969); Bloss, F. D., (1961, 1971)。王德滋 (1975), 王曙 (1976), 陈正等 (1979)。

在光性矿物学和岩石学技术和仪器方法方面：

Hutchison, C. S., (1974); Hurlbut C. S. Jr., and Klein, C., (1977); Zussman, J., (1977); 刘永康等 (1973); 应育浦和李哲 (1977); 中国科学院地球化学研究所包裹体实验室 (1977); 徐登科 (1977); 王曙 (1978); 周剑雄 (1980); 叶大年和从柏林 (1981); 李维华和殷玉然 (1981); 中国科学院地球化学研究所单矿物分选实验室 (1981); 耿建民 (1982); 何知礼 (1982); 张儒缓和从柏林 (1983); 李林等 (1984)。

包括地学各分支学科的有关地质作用和成因方面的文献其中有一些地学百科全书已经出版了，有一些还正在编写，即将出版。我们认为最方便有用的系列书籍是由美国科学出版社 (Academy Press) 发行和计划发行的一套地学大百科全书。下面列出的书名就是根据 1975 年的发行说明所列的全书内容：

* 矿物学百科全书 (Frye, 1981)

* 已出版。

火成岩和变质岩岩石学百科全书

* 沉积学百科全书 (Fairbridge 等, 1978)

土壤科学百科全书

地层学百科全书

* 古生物学百科全书

地史学百科全书

构造地质学百科全书

地球物理学百科全书

矿石成因和矿床成因论百科全书

应用地质学百科全书

石油地质学百科全书

海滩和海岸环境百科全书

火山和火山学百科全书

雪、冰和冰川学百科全书

水文地质学和水文学百科全书

此外,还有地球化学和环境科学百科全书 (Fairbridge, 1972)。

已经出版的地学百科全书通常都包括一份本分支学科的主要参考文献目录。虽然有时这份目录并不很完全,但已能满足我们的要求了。

地质部地质辞典办公室 (1981) 编辑的“地质辞典”第二分册为矿物岩石地球化学分册,共收入有关词条二千二百余条,插图一百多幅,其矿物学部分包括结晶学、矿物学、玉石和宝石,以及岩矿鉴定等,内容较丰富,可供参考使用。

我们希望本书保持短小精炼,尽量直观地用实例来进行阐述,利用各种矿物来解决地质问题的实际途径,特别是利用很少量的矿物样品获取最全的科学信息。在解决有关地质作用或与能源、资源成因有关的问题方面,说明其主要组成以及它们之间的内在联系。

第二节 工作大纲和研究人員組合方式

要解决与地质作用、岩石成因学,以及金属成矿理论等有关方面的问题,如果没有一个有依据的、或者前后连贯的工作大纲,就不容易获得可靠和有效的结果。我们选择科协小组的途径来共同制定工作大纲,它包括了为解决地质问题而作的多方面研究。这种多重途径就是研究各种专题的多种学科,它们可以是实验性的、理论性的,或者是应用性的。在专题性研究中需进一步强调的是系统性研究,下面我们将举例说明。

不论是来自月球的样品,还是稀有的地球样品,首先和最重要的任务是选择样品、决定研究对象,和确认研究的问题。我们先以月球样品(也包括对陨石的研究)为例,分别对研究中牵涉到的学科和技术加以剖析,以及对可能获得的科学成果进行讨论。

表 1.1 说明不同课题研究所采用的不同技术,为了能从月球样品上获取各种科学数

* 已出版。

据,现对表 1.1 中有关内容补充说明如下:

1. 野外地质

宇航员在每个阿波罗着陆地点登上月球之后,首先要在月面上打开各种各样的实验用包裹,所以剩下的时间只够来采集样品。因此,野外的地质研究是极有限的,或者是不可能进行的。阿波罗-17 登月时曾获得一些关于岩石类型组合的资料,这是因为宇航员 Harrison Schmit 在登月点上对一些巨大转石作了描述,并从转石上取回了样品,即使这样,也还只是获得一星点关于转石产地和样品在转石上的位置等有限资料。

2. 样品的编录

从月球采回的样品,包括表土、岩石、甚至还有岩心。这些样品是放在一个真空的不锈钢容器内,而此容器又放置于一个大的真空容器中运回地面,这样就可保护样品不受地球物质或海水的污染。采回的月球样品都要仔细称重和拣选分类,并包装在真空的不锈钢或聚四氟乙烯容器中。每个样品都要编号。样品的拣选要在通风柜内干燥无污染的氮气中进行。样品的切割、细分和向不同研究人员的分发,包括照相和次一级样品数量上的分配都受到全面的监督。样品历史的纪录也妥善保存起来。从月球采回的样品中只有很少一部分作分析研究用。因月球样品十分珍贵,对每一个样品都作了周密的研究计划,这样就大大促进了从同一样品的各个小块上取得一套准确的科学数据。我们认为,用这种做法来处理稀有的地球样品也是很有价值的。

表 1.1 月球样品(连续)研究的剖析

研究目的和内容	所采用的研究技术和方法
1. 野外地质和地质产状	1. 宇航员在月球表面的活动
2. 样品送回地面和样品编录	2. 编目、分样照相、样品贮藏库的准备,以及统计表报
3. 矿物集合体、共生情况和岩石成因	3. 光学显微镜技术、X 射线鉴定、扫描电镜、电子探针、扫描透射电子显微镜、相平衡的实验研究
(1) 源岩浆的类型	
(2) 源区	
(3) 冲击历史	
4. 化学特征	4. 湿法化学、原子吸收、X 射线荧光、稀土分离、中子活化、发射光谱、电子探针
(1) 主元素丰度	
(2) 稀土分配模式	
(3) 少量和微量元素成分	
5. 结晶年龄和变质年龄	5. 放射性同位素分析: Rb-Sr、U-Pb、K-Ar、 ³⁹⁻⁴⁰ Ar、Nd-Sm、其它稀有气体年龄、同位素稀释法和质谱技术,裂变径迹技术
6. 稳定同位素组成	6. 稳定同位素分析: ¹⁶⁻¹⁸ O、Si、S 等
7. 冲击变质历史	7. ³⁹⁻⁴⁰ Ar 的释放模式、光学显微镜技术寻找冲击变质证据
8. 磁性历史	8. 岩石的磁学性质
月球磁性内核是否存在的证据	

3. 矿物学和岩石学

取得各种月球样品的矿物组合、矿物共生和岩石成因等方面的资料,是科协小组在研究的第一阶段十分重要的任务。这个任务一般均委派给科协小组的组长——一位岩石学

家来担任。原因是：①样品是由宇航员采集的，所以没有能掌握所有样品第一手情报的野外地质学方面的领导人，如果确实有这样一位领导者，那这位野外地质学家可以和岩石学家共同担任小组的组长；②岩石学家大多具有广阔的知识面，能向小组的主要成员推荐协作研究的样品，以及对样品采用的不同分析技术。在对分析作规划时，要求掌握有关结晶过程和冲击变质历史方面的矿物学和岩石学资料，目的是为了能从一块样品或样品的切块上按顺序进行研究，以取得最全的数据和信息。最先采用的应是非破坏性或非消耗性的分析方法，损耗样品的破坏性实验则应放在最后来进行。

本阶段工作的次级课题包括：

(1) 未受过冲击的岩石的研究 如果样品是一块未受过冲击的岩石，研究目的是考查其历史、矿物组成、共生组合，以及它们的母岩浆类型，即看它是一块月海（Mare）玄武岩，还是一块高地（Highland）的斜长岩类型。如果样品是一块月表土角砾岩，那就应考查它是否是一块月壤角砾岩，还是一块复杂的晶质角砾岩。

(2) 冲击历史的研究 冲击熔融和加热会影响月岩稀有气体和其它同位素年代学的研究。在解释同位素数据时一定要考虑到样品是否遭受过冲击，所以，用作同位素分析的样品，必须在矿物学和岩石学的研究基础上进行细心的挑选。冲击熔融有时也能产生一种看起来很象是细粒结晶“火成岩”的岩石。因此，要了解某一登月点的月球历史，就必须具有区分晶质火成岩和由当地岩石经冲击熔融而形成的岩石的能力。

(3) 不透明矿物的研究 这不是一种独立的研究题目，而是利用反射光来研究矿物集合体和微量元素在各主要矿物相中的分配，因而这是样品岩石学研究的一个组成部分。

(4) 化学成分研究 样品在经过上述的矿物学和岩石学研究以后，将被送去进行化学分析，包括主元素、少量元素和微量元素的分析，还包括矿物样品和全岩样品中稀土元素的测定和配分研究。化学成分是我们对月球岩石进行鉴别的一个主要标准。分析中采用各种各样的技术（包括一些很先进的技术），可以分析很微量的样品，且检测限和分辨率都很好，有些方法是非破坏性的。

(5) 同位素研究 包括对源物质和结晶年龄方面作的 Rb-Sr、U-Pb、Sm-Nd 和 K-Ar 等地质测年的同位素研究。对月海玄武岩和未受冲击的高地斜长岩作结晶年龄测定，是了解地球早期演化历史的重要依据。因此，同位素研究成了研究月球的重要任务之一。

(6) 稀有气体研究 它包括有关的年龄测定和暴露年龄的³⁹⁻⁴⁰Ar 和其他稀有气体释放模式及比值的研究。因为月球岩石常受冲击事件的影响，对月岩作³⁹⁻⁴⁰Ar 释放模式的研究意义就比较重大。一般说来，要解释月球事件，并不是一件轻而易举的事。重要的一条，就是要对研究的模式作出正确合理的解释。由于有太阳风稀有气体注入，我们就可测定月球表面的暴露年龄，还可测定各地质时代的太阳风流量大小。由于月球没有大气层保护，通过月球样品来研究太阳风是非常有利的，也是得天独厚的。

(7) 稳定同位素研究 首先是¹⁶⁻¹⁸O 的研究，它能展示月岩中氧同位素比值的特点，并可与不同的地球岩石样品的氧同位素比值进行对比。

(8) 贵金属含量测定 对月岩中贵金属含量的测定可以指出月球岩石原有的贵金属丰度特征，或者分辨由冲击体析出并掺入到月球角砾岩中的重元素分布特征。这对于

了解月岩的历史是很重要的。

(9) 月球矿物和岩石磁学性质研究 通过对月岩磁性的研究可以探讨月球有无铁核,或者了解月球角砾岩中碎片的冲击加热历史。

(10) 地球物理研究 在月面的各登月点上已安置有被动式地震监察站用的地震仪,用以记录月震事件。在月面上还做了一些人工地震试验。研究月岩的地球物理性质是整个月样计划的一个组成部分,不过通常这种研究与前述的月样研究形式关系不大。

对月球样品研究的剖析不难看出存在着如下的一些缺点:

①最主要的缺陷就是没有野外地质资料,即没有样品在野外产出关系方面的资料。

②除少数样品外,大多数样品的数量都有限,因而对它们的研究只能局限于采用一些研究细小样品的方法。不同实验室的不同科研人员很难有机会对这些小样品作平行分析。一旦把某一小样品用完之后,就不可能再有机会去采集同一类型的更多其它样品。

③与大多数地球样品不同,月球样品多具有一定的冲击历史,且不易对其作出估价。很多研究者也不管是否正确,多趋向于把一些异常的分析结果或不熟悉的结构归因于受冲击的影响。

④由于在月面上经受过冲击,假如不作充分的矿物学及岩石学研究,或者不了解样品的经历,就很容易对同位素测年数据作出错误的解释。因此,很有必要在矿物学家、岩石学家和同位素地球化学家之间建立起密切的联系。同样地,在岩石矿物学家和化学家或其它科学家,包括研究地球岩石的野外地质学家之间也极需建立起这样的联系。

用科协小组的方式来研究月球样品已取得了不同程度的成功。有时即使因样品本身的问题,或者协作配合得不好而没有取得理想的预期结果,但从在同一块样品的不同切块上取得最全的科学资料的原则来看,这种方法还是应该加以充分肯定的。现在,几乎所有地质学研究方面的负责人士对科研协作小组的方式都给以一致的支持和承认。

表 1.2 中所列地球样品研究的剖析是仿照表 1.1 制定出来的,只是为适应地球样品的特点,作了某些修改。因在地表可以获得大量的野外地质资料,包括地层关系、地质构造和大地构造等,因而可以通过地质产状的调查拟出搞清地球样品成因关系的工作大纲,而对采回样品的研究,以及在采用的分析技术方面,与研究月球样品基本相同。在这一点上,我们可以学习月球研究中在样品编录、使用管理、以及分析等方面所取得的经验。地球样品与月样不同,可以采集的样很大。地球样品研究还有另一个优越性就是可以根据已获得的资料再次到野外采集更多的样品。

在地球样品的研究中,还需要用一些实例,对与地质填图、地层学、古生物学、构造和大地构造学,以及地球物理学研究等野外地质有关的矿物研究原则,进行说明,因为在月球研究中就缺少这些方面的研究。

1. 野外地质填图

为了勘查的目的,作区域填图时,进行岩石类型和岩石建造的对比,需要作矿物学研究。遥感技术的应用也牵涉到粘土矿物和铁的氧化物。在使用多谱段遥感装置时,如航天飞机多谱段红外辐射计(SMIRR)作检测,Al和Fe对某一特定的波段是灵敏的。哥伦比亚号航天飞机于1981年11月飞行时,就曾作过这样的测量。虽然SMIRR的开发还处于初始阶段,而且也是尝试性的测量,但它已指出了在遥感装置中利用矿物学或岩石类

型的资料来帮助野外地质填图和进行矿床勘探,是一个新的发展方向。在填图阶段,还包括粘土和页岩的显微矿物学技术。

表 1.2 地球样品(连续)研究的剖析

研究目的和内容	所采用的研究技术和方法
1.野外地质填图、地质产状	1.野外填图技术、应用遥感技术
2.地层和沉积环境	2.化石和微化石的古生物学和古植物学研究
3.构造和大地构造格局	3.地球物理和地质学分析,还借助于年龄测定资料
4.样品采集和编录	4.打钻、钻取岩心,常规的岩石学编录
5.矿物集合体,共生情况和岩石成因: (1) 岩浆结晶程序 (2) 变质历史(包括冲击) (3) 蚀变和风化产物	5.光学显微镜技术、X射线鉴定、扫描电镜、电子探针、扫描透射电镜、相组合的实验研究
6.化学特征: (1) 主元素成分 (2) 稀土分配 (3) 少量和微量元素成分和分配	6.湿法化学、原子吸收、X射线荧光、稀土分离、中子活化、发射光谱和电子探针等
7.同位素数据: 结晶年龄、放射性同位素和地质年代	7.Rb-Sr、U-Pb、Zr- α 、K-Ar、Nd-Sm, 同位素稀释法和质谱技术,裂变径迹年龄测定
8.稳定同位素组成	8. $^{16-18}\text{O}$ 、Si、S 等的化学和质谱技术
9.变质年代	9. $^{39-40}\text{Ar}$ 、气体释放模式的自动化质谱分析
10.物理性质	10.密度、硬度、强度和电、磁、声、热、扩散系数等的测定技术

2. 地层学和古生物学

在地层学的研究中,特别是对岩相特征作研究时,经常会牵涉到一些鉴定细小矿物颗粒或粘土矿物用的显微矿物学技术。在进行古生物学的研究中,根据煤中牙形石(Conodont)的着色和镜质组反射率所作的成熟度测定,在石油、天然气和煤的勘探中已得到很大重视。对从钻孔岩心中采集的呈细分散状的镜质组粒子作反射率测定,就要求使用包括样品处理、研究和测定在内的一整套显微矿物学技术。

3. 构造学和大地构造学

对构造单元和大地构造演化的分析,必须立足于各种矿物和岩石的地质年代学数据的基础之上。这些年龄数据不仅对地质构造的研究是重要的,同样,在岩石成因和矿床成因的研究上也是很重要的。

4. 地球物理学

在地球物理勘探中,岩石的物理性质对研究变形和研究固体地球的内部构造都是必不可少的基本资料。此外,还需要了解矿物的一些特殊性质,如密度、波速、热扩散性质和矿物相的多形转变等。如对常呈细小颗粒产出的柯石英和斯石英的研究,在地球物理研究中占有很重要的位置。

总之,研究地球样品时,应尽可能地采取科研协作小组的形式,这样可以对同一套样品进行系统而完整的深入研究,从而可以获得最大数量的准确可靠的数据。小组的负责人应该是一位知识面很广的野外地质学家,或者是一位经验丰富的岩石学家。这样的负责人能够通观全局,熟悉和了解要求研究的各个方面,而且在研究工作上能占领先的地位。

第二章 采样程序和样品选择

第一节 概 述

本章的目的在于强调采样程序和样品的采集与选择中,必须有周密计划的重要意义,也是为了从样品上获取大量数据的解释中,找出一个总的纲目来。它可以是区域地质或者是一个特指的专题研究。根据作者近二十年来参加月球研究、陨石坑研究,特殊环境成因矿物的专题研究的经验,不论是在区域性研究,还是在专题性研究中,均存在着明显忽视对取样作周密计划的倾向。最糟糕的情况是一个进行区域调查的地质学家,并不明确了解他所研究地区的各种地质问题,而他却采集了大量的样品作主元素、微量元素和微量元素分析,试图通过这些数据来发现某些问题。这种大量采集样品的做法费资巨大,造成很大浪费,今后应该完全杜绝或至少尽量减少这种现象的发生。

我们直接关心的是熟练掌握现代实验研究技术,同时又熟悉各种地学学科中区域和专门领域研究现状的矿物-岩石学家所起的作用。在第一章中,我们曾经作过这样的建议:一位知识渊博的地球科学家,他可以是一位岩石学家,或者是一位区域地质学家,应该成为一个研究集体的领导者。作者冒昧地提出了组成一个研究协作集体的方式是最为有效的做法。所以我们说,样品采集和取样程序的设计也应该遵循这种集体协商的做法,这样才能对某些关键性的露头作认真的取样工作。如果需要的话,我们还要认真根据区域地质填图和对区域地质情况的了解,选择合适的钻孔位置,以便取得必要的岩心样品。

取样时应特别注意,按统计工程网络的取样和在不同采集和研究阶段的取样,在内容和做法上都是不相同的。对从事专门研究的科学家来说,我们建议最好采用后一种分阶段的渐进作法。这种作法的第一步是选择一套间隔比较宽,在区域内有代表性的、且与地质年代有关系的样品进行研究。采集的第二步,是在对第一次所采样品作了研究和分析的基础上,进行补充采样,以便对一些信息的空白地区进行填补。我们相信,采取这样的做法不仅在科学上是合乎逻辑的和合理的,而且还可以大大节省分析费用。我们在研究含煤地层中的煤层时所提出的取样程序,就是一个很好的例子(Chao等,1983)。

在本书中,我们反复强调了如下的三个重要主题:①研究协作集体的作法;②分阶段的取样方法;③在作解释时,要有一个总体的思路或格局,以及要有一位矿物岩石学者,他在联络野外地质学家、地球物理学家、地球化学家,以及其它一些实验室研究人员方面,能起很重要的协调作用。

对样品的采集或选择,应该以能提出一个总的构思为目的,这样就能对实验分析所获得的那些资料作出确切的解释,而为了取得实验数据,就必需在取样之前作出细心的设计和周密的安排,以及筹措经费等。作为一个研究者,如果缺乏一个总体思想,那他就是一