

岩组学导论

吴香尧 编著

重庆出版社

岩组学导论

吴香尧 编 著

重 庆 出 版 社

一九八六年·重庆

责任编辑：王镇寰

封面设计：陈有杰

岩组学导论

吴香尧编著

重 庆 出 版 社 出 版 (重庆李子坝正街102号)
新 华 书 店 重 庆 发 行 所 发 行
重 庆 新 华 印 刷 厂 印 刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:9.125 插页:5 字数:222千
1986年6月第一版 1986年6月第一次印刷
科技新书目 127—242 印数1—2,000

书号: 13114·35

定价: 1.65元

前 言

六十年代以来,我国各地质院校及综合性大学地质系先后开设有岩组学课程,但至今尚无国内自编的内容系统、充实、完善的此类参考书;虽已出版过三本有关译著,而又不适于这方面的教学需要。为了满足国内岩组学教学和岩组分析工作的需要,笔者根据从事岩组学教学和研究的心得体会,将历年授课讲稿予以编订、充实而编写成《岩组学导论》一书,以满足地质界的需求。但由于条件限制和笔者水平低,书中疏漏、欠妥或错误之处在所难免,希望读者批评指正。

岩组学包括晶组学和粒组学,本书着重于晶组学方面的内容,并力求做到内容全面、系统、实用。在粒组学方面,除介绍疏松砾石层粒组分析外,还专门介绍了固结的碳酸盐岩和碎屑岩的粒组分析技术,这是有关参考书所没有的,其方法尚不十分成熟,笔者恳切希望这方面的同行给予补充和指正。本书引用了国内外的一些应用实例,目的在于帮助初学者提高岩组图解释的能力;对于从事这方面工作已多年的科技和教学人员,也可供参考。

本书在编写过程中,南京大学地质系孙鼐教授、王德滋教授和牟惟熹同志以及安徽地质研究所李应运所长都给予热情的鼓励和极大的支持,孙鼐教授和王德滋教授还审阅了本书的初稿,并提出许多宝贵意见,在此谨向他们致以诚挚的谢意!

编 者
一九八四年九月

序 言

岩组学是岩石学的一个分支，主要利用显微镜和费氏台研究变形作用造成的岩石和矿物的显微组构，借以探讨岩石形成和变形时的古应力性质，恢复变形作用的历史和机制，是研究变质岩的重要方法之一。

本书《岩组学导论》是作者积多年从事教学和研究的心得，在多年讲授此课的基础上精心编写而成的。全书共分三部分，第一部分介绍岩组分析基本技术，包括定向标本的采集，岩组薄片的制定，矿物结晶要素方位的测定以及编制岩组图和岩组图旋转等技术。第二部分着重于组构对称运动的理论解释、组构类型的辨识，岩组图解释及古应力推算，尤其突出的是以矿物优选方位模式为根据的岩组图解释及其形成机制的研究。书中还介绍了利用位错密度等显微构造参数来估算构造运动驱动力的大小。第三部分讨论了粒组分析技术，岩组分析资料的计算机处理程序。最后作者介绍岩组分析在岩石学和构造地质学方面应用的实例。

近年来，组构与显微构造研究成果不仅为宏观构造地质学提供应变规模、应力状态、运动方式等地质构造成因的信息，而且用于探讨前寒武纪构造演化系列及演化历史，研究板块构造的驱动机制及地幔的塑性流动。我国地质工作者应用岩组技术进行古应力分析越来越多，遗憾的是我国目前尚未有一本使用自己材料编写的岩组学参考书。本书深入浅出，在方法描述和理论解释方面颇具特色。我们希望，它的出版将有助于推动我国岩组分析技术的教学和研究工作的进一步开展。

南京大学地质系孙贇教授、王德滋教授

一九八四年二月于南京

内 容 提 要

本书主要内容包括岩组分析技术(诸如采集定向标本、切制定向薄片、矿物结晶要素方位测量、编制岩组图和岩组图旋转等技术),组构对称运动学解释,组构类型的辨认,岩组图解释,岩组动力分析,古应力推算以及岩组资料的电算处理等。此外还专门介绍了疏松砾石层、碳酸盐岩及碎屑岩等粒组分析,书末列举岩组分析应用实例。

本书对象主要是从事构造地质学、地质力学、变质岩石学以及岩矿鉴定的科技人员及大专院校师生。

目 录

前言	(1)
序言	(1)
第一章 绪论	(1)
第一节 岩组学的定义和任务	(1)
第二节 岩组学发展简史	(4)
第二章 岩组分析技术	(7)
第一节 定向标本的采集	(7)
第二节 岩组坐标轴的选定	(10)
第三节 切制定向薄片	(14)
第四节 矿物结晶要素方位的测量	(16)
第五节 岩组图的制作	(51)
第六节 岩组图的旋转	(60)
第三章 岩石变形机制	(66)
第一节 岩石的力学性质	(66)
第二节 岩石蠕变及其机制	(75)
第三节 岩石的脆性变形	(91)
第四节 简单变形的力学分析	(95)
第四章 组构对称及其运动学解释	(104)
第一节 方位型式的对称类型	(104)
第二节 组构对称型的运动学解释	(106)
第三节 组构对称型与结构面性质及岩组坐标轴之间 的关系	(111)

第五章 组构类型及主要造岩矿物晶格优选方位的模式	(114)
第一节 拟构造岩组构和包体组构	(114)
第二节 构造岩组构的特点及其成因	(119)
第三节 矿物优选方位的解释	(132)
第四节 主要造岩矿物晶格优选方位的模式	(137)
第六章 矿物应力现象与岩组动力学分析	(159)
第一节 矿物应力现象的种类及特征	(159)
第二节 岩组动力学分析	(173)
第三节 古应力的估算及其存在的问题	(192)
第七章 粒组分析	(210)
第一节 疏松粗碎屑岩的粒组分析	(210)
第二节 碳酸盐岩的粒组分析	(221)
第八章 电算在岩组分析中的应用	(233)
第一节 方位数据的电算处理	(233)
第二节 岩组动力学分析资料的电算处理	(238)
第三节 多元统计分析在岩组分析中的应用	(245)
第四节 计算程序与框图	(250)
第九章 岩组分析应用实例	(259)
第一节 辨识褶皱的成因类型	(259)
第二节 确定断裂性质及位移方向	(264)
第三节 探讨岩石的成因	(273)
参考文献	(279)
附录	(282)

第一章 绪 论

第一节 岩组学的定义和任务

岩组是岩石组构的简称。组构 (Fabric) 一词首先由 E·B·Knopf 1934 年在美国耶鲁大学和哈佛大学讲课时引出。它最初由德文 Gefüge 译来, 后来逐渐在地质文献中出现。所谓岩石的组构, 既指岩石中矿物的结晶程度、形状、大小及其相互间的关系; 也指矿物排布的格式。显然组构比结构或构造的涵义要广泛些, 它用来表示岩石的结构和构造特征的总和。岩组学主要是研究岩石中矿物排列的方向性特征。这种特征可以由形变、生长或沉积等原因造成, 于是有形变组构、生长组构和沉积组构之分。形变组构是由应力作用所引起的矿物定向排列; 生长组构是由结晶体的定向生长而形成的矿物定向排列; 沉积组构是由矿物颗粒在流动介质或稳定介质中的机械沉积所形成的定向排列。

岩组学 (Petrofabric) 就是研究岩石中矿物颗粒和矿物内部结构的定向排列规律及其成因的一门科学。简而言之, 岩组学是研究岩石组构及其形成机制的一门科学。由于岩石组构可以由构造应力作用产生的, 也可以是流动介质或稳定介质中矿物颗粒机械沉积的结果, 于是矿物的定向方位便有矿物晶格定向方位和颗粒形态定向方位两种形式。因此岩组学相应地便有两个分支, 即所谓“晶组学”和“粒组学”。

晶组学是研究岩石中矿物晶格定向排列的规律, 并阐明构造

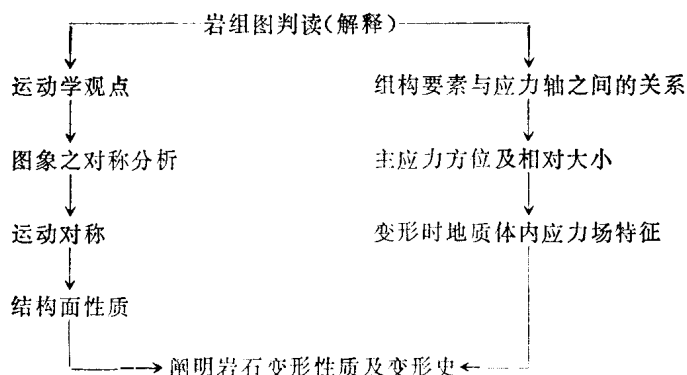
应力的成生及方向。所谓矿物晶格定向排列，是指岩石发生变形时，矿物晶体内部滑面和滑向的调整而使晶格构造作有规律的定向排列，它可从矿物解理、双晶结合面、延长、光轴等要素具统计规律的分布中体现出来。而要研究矿物结晶要素的统计分布规律，就必须利用偏光显微镜、费氏旋转台、甚至X光设备等。因此晶组学也称显微构造分析。但把岩组学称显微构造分析就不恰当了，因为岩组学除了研究岩石的显微组构特征外，还要研究宏观的组构特征。

粒组学是研究岩石中颗粒形态方位的排列规律，它通过岩石中颗粒形态方位的统计测量，予以阐明岩石（主要是沉积岩和岩浆岩）形成时物质运移的方向和方式。岩石中的“颗粒”，包括矿物晶粒、碎屑物及包裹体等，它们在动力环境中是以改变形体排列而具优选性的。其优选方位常由颗粒长轴和扁平面体现出来，如岩浆岩中的原生流动构造，某些沉积岩中砂砾石、化石碎片、岩屑、片状矿物或板状矿物的定向排列方位等。产生这种优选方位的动力并未影响颗粒内部的晶格构造。

就方法论角度而言，岩组学又称岩组分析。岩组分析系研究岩石定向构造的一种方法，是地质学重要研究手段之一。它的主要任务是通过分析岩石形成时或固结后在动力环境中所产生的矿物结晶要素或颗粒形态定向排列的组构特征，予以阐明岩石变形的条件、机制以及变形史，也讨论物质运移的原因。从岩组学问世以来，对岩石变形和矿物晶体的优选方位规律及其形成机制的研究，一直是这门学科的中心课题。很显然，岩组学的内容由如下两个部分组成：一是描述部分，包括组构的辨认、测量和图示；二是解释部分，它以岩石组构为依据，以说明岩石的运动学变形历史或动力学变形历史。岩组学的解释部分可以图示说明：

岩组学的具体任务，归纳起来有如下几个方面：

（一）岩组学最重要的任务之一是研究变形岩石（构造岩）所



特有的晶格优选方位，它通过岩石的组构要素（包括结晶轴、解理面、双晶面、光轴、变形纹等）的微观定向排列规律，运用运动学观点和动力学观点，提供宏观构造研究中的应变规模、应力状态、运动方式及应力分布等地质构造成因的信息，用以推断一定空间范围内构造运动的性质和方向，其中尤以判断褶皱成因类型、断层性质和错动方向等效果较好。因此，岩组学工作者很重视研究变形岩石中矿物晶体的优选方位规律及其形成机制，其目的是试图通过优选方位形成机制的研究，提供追溯岩石变形条件和变形历史的有意义的参考资料。

（二）岩组分析也常被用于矿床和矿田构造的研究，尤其用来确定含矿裂隙的成因，阐明成矿前，成矿期和成矿后含矿裂隙的性质及移动方向，已愈来愈受重视。另外，对于区分和确定岩石经受几次应力的作用，岩组分析有它独到之处，非一般地质研究方法可以比拟。

（三）根据岩石中颗粒形体的定向构造，查明沉积岩形成的方式，追溯古水动力特征，包括搬运介质的流速、流向以及沉积底面的特征。

（四）研究岩浆岩形成的方式。矿物若在岩浆侵入过程析出，

则在侵入体的内接触带的边部产生由延长矿物（如长石、角闪石、辉石等）定向排列所形成的流线流面构造，这些流线流面既反映接触带边部接触面的特征，也反映岩浆侵入的方向，据此可以查明岩浆岩的可能形成方式。

总之，岩组分析用于判别各类构造的性质，阐明矿田矿床构造的形成，探讨前寒武纪构造演化系列及其演化历史，研究板块构造的驱动机制及上地幔的塑性流动，是一个有效的手段。还可用它来揭示岩石、矿物变形所产生的几何性质及其运动学和动力学解释。但是必须强调指出，岩组分析不能代替地层学和构造地质学的研究，不能超脱野外地质调查，它只是地质研究的一种辅助性研究手段，只有配合详细地质调查工作，才能发挥它的重要作用。

第二节 岩组学发展简史

岩组学是地质科学中一门较为年轻的学科，至今只有八、九十年的历史。

岩组学是在费氏旋转台问世之后产生的。费氏旋转台是俄国结晶学家E·C·费德洛夫(Федоров)于1891年发明，并于1893年发表的《矿物学和岩石中经纬仪法》一书作了介绍。

岩组学的兴起是由研究变质岩形变开始的。其基本概念是G·F·贝克尔(Becker)在1893年提出的，但在当时并没有引起同时代地质学家的重视，虽然当时美国和西欧一些学者已经从观测岩石的小型形变而逐渐注意到它们的微型结构，甚至有的学者已提出构造岩的矿物定向排列与其结晶轴的关系。这种状况一直延续到本世纪三十年代初，直到B·桑德(Sander)和W·施密特(Schmidt)对阿尔卑斯山进行了广泛的研究，并利用费氏台以及统计学的方法分析岩石中矿物组分的定向排列，拟定出岩组

分析方法及其在地质实践中的应用，于1930年出版《岩石的组构学》(B·Sander, 1930年)之后，岩组学才算奠定了基础。桑德还确定了岩组学的研究范围，创立了用运动学方法研究岩石组构的桑德学派——微型构造学派。自此之后，岩组分析在西欧及苏联都有较大的发展，它被广泛应用于岩石学和构造地质学的研究中。到了五十年代岩组学已成为一门独立的学科，被作为构造地质研究中的一种辅助手段。六十年代，岩组学在构造地质学中的应用有了更大的发展，先后陆续发表了不少运用岩组分析解决一些构造问题的方法指南和论著，如F·J·特纳(Turner)和L·E·韦斯(Weiss)编著的《变质构造岩的构造分析》(1963)，М·И·鲁金(Лукин)主编的《显微构造分析》(1965)，А·Н·卡巴柯夫编的《碳酸盐显微构造方位的动力学分析方法指南》(1967)等。

早期的岩组分析只局限于在显微镜和费氏台下测量具有一定大小的矿物颗粒，这既费时又费力，影响显微构造研究的广泛开展和深入。五十年代后期由于 x 光岩组分析的引入及应用，于是一些隐晶质、纤维质或超显微晶粒的微细矿物均可进行鉴定并研究其选取的方位。这就扩大了岩组研究的领域，大大提高了测定优选方位的效率，将来它有可能取代显微镜和旋转台的复杂操作技术。到了七十年代中期，已采用电脑处理电算资料，同时还创立许多测定优选方位的新方法、新技术，诸如光度计法，介电不均一法，干涉显微镜法等等。尤其应该指出的是，自从借助透射电镜和扫描电镜对变形岩石的晶体位错缺陷性质及亚构造的直接观察，使显微构造的研究产生了飞跃，从而有可能从晶体的塑性变形、固态流动、晶体位错和缺陷等角度来研究岩石的构造(变形和破裂)形成的微观机制。近来岩石变形的实验研究急速发展，获得了大量数据。总之，随着新技术、新方法的引进，当前岩组学研究已不再是单纯描述组构的对称性和对它简单地进行运

动力学解释，而是深入到微观或超微观的变形机制来探讨形成或影响形成这些对称类型的动力学原因了，为解决构造地质学的一些基本问题提供微观方面的信息和佐证。

岩组学最早介绍到我国地质界来的是何作霖教授(1932年)，他曾跟随桑德教授学习岩组学，先后发表了不少有关岩组分析方面的论著，其中对玛瑙及矽化木的生长型岩组以及构造岩岩组的研究都有较高的造诣，对我国岩组学的发展起了开创性的推动作用。解放后，在他的直接领导下，中国科学院地质研究所开展了X光岩组学的研究以及其他岩组研究工作。

我国在岩组学研究方面有贡献的另一位学者是王嘉荫教授，他曾发表过一些岩组分析方面的论著，如《一轴晶矿物光轴方位之测定与岩组学》，《岩组分析实例》等，同时对应力矿物作了比较深入的研究，并有专著，对我国岩组分析的开展起着推动作用。另外，池际尚教授、吴磊伯教授、张保民副教授、李应运先生和何永年先生都运用岩组分析方法成功地解决了地质上不少的问题。

目前，岩组学在我国已大大发展起来，许多科研单位、高等学校以及一些省局中心实验室都有专人从事这方面的研究。随着地质科学的发展，岩组分析方法将成为有力的研究手段。

第二章 岩组分析技术

岩组分析主要用于研究构造岩内矿物结晶要素(解理、延长、双晶、光轴等)定向排列的统计规律,因此在工作中始终都围绕着物体方位的准确定向和统计问题,于是也就涉及到采集定向标本、确定岩组坐标系,磨制定向薄片以及在费氏旋转台上测量矿物方位和绘制岩组图等等技术问题。

第一节 定向标本的采集

微观的形变存在于宏观形变之中。因此,为了使矿物方位的统计测量资料能用于全面研究构造形迹的发生、发展过程以及彼此的成生联系,重现岩石形变过程的图案,就必须恢复矿物排列方位在宏观形变中的部位,这只有采集标明真实方向和空间位置的岩石标本——定向标本,才能达到上述目的。

采集定向标本的原则是:在任何情况下都能正确恢复这块标本原始产出的空间位置。这就要求必须根据这个原则,拟定出定向标本采集方法、规格要求及记录内容。

一、定向标本采集方法

(一) 采集部位的选定

根据岩组分析的对象及目的,选择定向标本的采集部位。比如要研究断裂构造的性质及两盘岩块移动的方向,则应依据断裂规模不同,布置数量不等的横切断裂走向的采样线,并分别在断

裂带上，靠近断裂带及断裂影响不大的三个构造部位上采集定向标本。如果是研究褶皱的成因类型，则应布置一横剖面，分别在两翼及转折端岩层中采集适当数量的定向标本，当然在倾伏端亦应采集一至两块定向标本。

(二)标本方位标志法

采集定向标本，通常采用如下两种标志方向的方法：

1. 产状定向法

在露头上，选好适当的位置，能保证欲采标本至少有两个基本是平面状的天界面，其一往往是构造分析上最有意义的结构面，如片理面、重要的劈理面及断层面等（这个结构面将是定向标志的面，有人称它为“标志面”）。然后在结构面上用产状符号（矢形）标记其走向和倾向，倾角标于倾向线旁侧，走向的方位角或象限角标于箭矢的前端（即 $\rightarrow 150^{\circ}$ ），并注明该面是朝上的，还是朝下的。若朝下，则在该面上记以“下”字；而朝上，则不必标记“上”字。一般采集结构面朝上的定向标本（图1见第9页）。而另一平面应尽可能是近于水平的面，便于在其上标以指北的小箭头。标记可选用塑料泡沫彩色笔。标记完毕后要采标本，大小以 5×6 平方厘米为宜，也可以先将标本打下，然后再放置原位作产状标记。

2. 地理定向法

若在露头上不易找到平整的结构面，则可用地理定向的方法来标定标本的原始空间位置。作法：在标本两侧任意二度空间上，用罗盘水准器定出两条水平线，同时在第三度空间（稍平的近于水平的平面）上标记指北方向。（图2见第9页）

在野外采集定向标本时应注意如下三点：

(1) 必须观察定向标本所在结构面的性质，并绘制露头和手标本的素描图，图上应附有定向的准确标志。

(2) 采集的标本其矿物粒度不宜过细，否则不利于费氏台操