

基础地质工作方法译丛

花岗岩类岩石构造 分析方法

J·马尔 著

地质出版社



基础地质工作方法译丛

花岗岩类岩石构造分析方法

J. 马尔 著

陈凤莲 译

卢 星 刘小汉 校

地 质 出 版 社

Methodes d'analyse structurale des granitoides

Jacques Marre

Bureau de Recherches géologiques et minières 1982

**基础地质工作方法译丛
花岗岩类岩石构造分析方法**

J. 马尔 著

陈凤莲 译

卢星 刘小汉 校

*

责任编辑：马志先

地质出版社出版

(北京 西四)

妙峰山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：850×1168 1/32 印张：47/16 插页：1个 字数：112,000

1985年9月北京第一版·1985年9月北京第一次印刷

印数：1—2,385册 定价：1.30元

统一书号：13038·新183

写 在 前 面

本书主要以比利牛斯山凯里居特岩浆杂岩体为例，比较全面系统地概述了花岗岩类岩体的构造研究方法。从微观、宏观和伟观三种不同角度，通过对结构、组构、原生流动构造、原生节理、伴生岩脉、接触带、捕虏体等所作的研究，分析了花岗岩岩浆侵入过程中岩体的形成机制及其演变历史，探讨了各种规模和类型的构造的基本特征、形成顺序及其分布规律。同时，对深成岩体（包括岩基）的组合关系以及岩浆期后的构造发展特征作了必要的论述。当前，岩体的构造岩石学工作已经开始从方法研究发展到探索深成岩变形作用的一些基本问题的阶段。

在翻译本书的过程中，承蒙邵济安、王玉芳同志特别是罗永国同志抽出时间对译稿进行了专业审阅，特此致谢。

译者

1985. 5.

目 录

引 言

1. 历史背景	1
2. 本书的目的	3
3. 构造岩石学的内容及方法	4
A. 几何形态分析及运动学解释	4
B. 岩石物质单元, 结构及构造, <i>niveaux d'organisation</i>), 观察范围	5

第一部分 微观分析

1. 结构分析	8
1.1 花岗岩类岩石的不同结构	8
A. 岩浆岩结构	8
B. 经过变化的岩浆岩结构	10
C. 岩浆期后结构或非岩浆成因的压碎结构	11
1.2 矿物分布	14
A. 垂直于面理、平行于线理的切面	14
B. 平行于面状构造的切面	15
C. 垂直于线理的切面	15
1.3 矿物的定向排列	16
2. 组构分析	19
2.1 各种亚组构	20
2.2 对称性	20
2.3 变形作用	23
A. 变形的各种表现	23
B. 二维旋转应变	24
C. 三维应变——应变椭球体	27
a) 应变椭球体的各种类型	27
b) 各种组构类型	28

2.4	刚性颗粒在非旋转应变粘性流体中的运动	30
2.5	组构与流动变形的关系	31
A.	同类亚组构	31
B.	组构的空间演变	33
a)	对称性的改变	33
b)	优选方位的变动	34
c)	组构强度的变化	35
C.	组构的时间演变	35

第二部分 宏观分析

1.	均匀介质的构造	39
1.1	基本面状流动	40
A.	标志矿物	40
B.	面状流动的代表法及其解释	42
C.	面状流动方向的变化	43
D.	特殊流动方式	43
1.2	面状及线状流动	46
A.	标志矿物	46
B.	面状和线状流动的代表法及其意义	48
C.	面状和线状流动方向的变化	51
D.	特殊流动方式	51
1.3	单纯线状流动	53
A.	标志矿物	53
B.	单纯线状流动的代表法及其意义	54
C.	线状流动方向的变化	55
1.4	小结	55
2.	原生节理及伴生岩脉	56
2.1	平行节理及岩脉	58
2.2	横节理及岩脉	59
2.3	纵节理及岩脉	61
2.4	斜节理	63

2.5 岩脉的叠加	61
3. 接触带	66
3.1 一般特征	66
3.2 整合接触	69
3.3 不整合接触	71
A. 局部不整合	71
B. 一般不整合	72
C. 冷凝边	73
4. 捕虏体	73
4.1 拉长状捕虏体	74
A. 拉长状包体的性质和形状	74
B. 变形条件	75
C. 流动变形作用	77
a) 旋转变形	77
b) 与实验结果对比	78
D. 小结	81
4.2 角砾状捕虏体	82
A. 角砾状捕虏体的性质	82
B. 捕虏体及其围岩的变形条件	83
C. 含角砾状捕虏体岩石中与岩浆活动有关的变形作用	84
a) 角砾状捕虏体的形成	84
b) 流动与角砾状捕虏体	84
c) 特殊排列方式	86
D. 小结	88
4.3 捕虏体与小构造	89
A. 观察面的重要性	89
B. 不同的粘度比值	90
a) 不同的初始粘度	90
b) 捕虏体与围岩粘度比值的减小	91
c) 捕虏体与围岩粘度比值的增大	92
d) 小结	94
C. 与岩浆岩侵入过程有关的变形类型	94

a) 滑动小构造	94
b) 拉伸及压扁小构造	95
D. 变形作用的叠加	96
4.4 关于捕虏体研究的总结	98
5. 岩浆岩构造的改造	99
5.1 流动构造	99
5.2 捕虏体	100
5.3 岩脉	100
5.4 接触带	102
5.5 小结	103

第三部分 伟观分析

1. 分析原则：确知的几种主要现象	104
1.1 单一岩浆的运移	105
A. 一般情况	105
B. 与几种线状流动构造共生的面状流动构造	106
C. 与几种面状流动构造共生的线状流动构造	107
D. 接触带的影响	108
1.2 几种共生岩浆的运移	108
A. 近似粘度	108
B. 可变粘度差	113
C. 高粘度差	114
a) 局部差别	115
b) 侵入顺序	116
2. 深成杂岩体的结构：对几个岩体的分析	117
2.1 阿达拉深成岩体	117
A. 构造特征	117
B. 与实验结果对比	118
C. 解释	119
2.2 凯里居特岩浆杂岩体	119
A. 构造特征	119

B. 与实验结果对比	121
C. 解释	121
2.3 罗塞斯向心杂岩体	122
A. 构造特征	122
B. 与实验结果对比	123
C. 解释	124
2.4 巴恩斯摩深成岩体	125
A. 构造特征	125
B. 解释	126
3. 深成岩组合	126
3.1 区域深成作用	127
A. 摩勒纳山脉西部不同深成岩体的特征	127
B. 深成岩体与围岩的关系	129
3.2 深成岩基	130
A. 科西嘉岩基的结构	130
a) 花岗闪长岩和英云闪长岩	132
b) 含巨晶微斜长石的花岗闪长岩	132
c) 二长花岗岩	132
d) 淡色花岗岩	133
B. 岩基的构成	133

引 言

从最广义的角度来说, *structurologie* (构造岩石学) 一词是指对组成某一整体的不同部分之间的排列关系进行的研究; 而在地质学中, 它是指对岩石的组织结构进行的研究。这个定义显然也适用于花岗岩类岩石, 而对这类岩石的岩石学研究又包括如下两方面的内容, 一方面侧重于岩石的物质构成, 另一方面则着眼于岩石的构造特征。

然而, 人们对这两方面内容的重视程度却大不相同。例如, 岩石的物质构成特征常常被看作是解释岩石成因的主要基础, 花岗岩类岩石的生成又被描述为岩浆的分异作用和结晶作用; 然而对岩石构造特征的研究则少得多, 这种趋势导致人们对于诸如岩浆的运移、侵位等基本问题认识不足。

但岩浆岩的构造岩石学毕竟是一门完整的科学, 它以大量的野外及实验室工作成果为基础, 根据这些工作可以确定岩石的构造特征, 对其进行精确的描述和表达, 并为理解这类岩石的成因机制提供必要的解释。

1. 历史背景

对主要研究工作作一个简略的历史回顾就可以知道岩浆岩构造岩石学的发展过程。H·克鲁斯 (H. Cloos) 第一次在实际工作中应用了这些方法: 从1923年起, 他的研究就证实了花岗岩类岩石在总体上具有一些反映出深成岩体形态和内部几何形态特点的宏观构造, 这些构造被解释为岩浆侵入时岩浆流动过程的结果。

在同一个时期, G·B·杰弗里 (G. B. Jeffery, 1922)、G·I·泰

勒(G.I. Taylor, 1923), 然后是A·马奇(A. March, 1932) 最先把颗粒浸在粘度很大的液体中, 对其在变形过程中的定向排列进行过数学分析和实验研究。

B·桑德(B. Sander)建立了岩石变形作用的现代研究原则, 并于1930年初就创立了以统计方法为基础的、通过对矿物方位的微观研究进行构造分析的方法, 从而促进了对岩石组构的了解; 几年以后, E·B·诺夫(E. B. Knopf)和E·英格森(E. Ingerson, 1938)进一步改善了这些方法, 使岩石组构的研究有了新的进展。

R·鲍克(R. Balk) 1937年出色地奠定了花岗岩类岩石的构造岩石学基础, 他确定了火成岩许多宏观的和伟观的构造特征; 他的研究在这一领域内现在仍然是最好的开创性工作。

此后又出版了许多著作, 如H·W·费尔贝恩(H. W. Fairbairn, 1949)、D·弗林(D. Flinn, 1960)、M·S·佩特森(M. S. Paterson)和L·E·韦斯(L. E. Weiss, 1961)、J·G·拉姆齐(J. G. Ramsay, 1967)等人的著作, 这些著作虽然没有直接谈到岩浆岩, 但是, 对于正确分析岩石变形的基本过程是必不可少的。

构造分析还有赖于实验工作的成果: 如N·C·盖伊(N. C. Gay, 1968)关于刚性颗粒在粘性流体中的运动和非均质粘性液体的不同变形方式的实验工作, E·尼克尔、H·科克和W·农加塞(E. Nickel, H. Kock和W. Nungesser, 1967)关于岩浆岩构造形成机制的实验, 最后H·兰伯特(H. Lambert, 1967)阐明了岩浆侵入的实验模型。

尽管有这些基础资料, 但是直到1970年, 构造岩石学方法在花岗岩类岩石中的应用仍明显比在变质岩或构造岩中的应用少得多, 而且往往局限于几何形态的分析上。W·S·皮彻尔和A·R·伯杰(W. S. Pitcher和A. R. Berger, 1972)最早论述了花岗岩类岩石的一些特殊问题, 他们把岩石构造现象看成是在深成岩体形成末期或期后发生的变形作用的记录。

在法国, 研究人员也长期忽视了这项工作, 后来几乎在上述

同一时代才发现这种方法的意义。继一些相互独立的工作之后，法国研究人员在开展凯里居特（比利牛斯山）岩浆杂岩体的研究工作时才发现了H·克鲁斯提出的方法，并重新作了解释；他们把观察资料与有关岩石结构、组构、变形原理和实验等方面的新资料作了对比之后，第一次成功地对所有具有不同结构的岩浆岩的岩浆基本流动过程进行了描述和解释（J.Marre, 1967, 1970, 1973, 1975; J.Pons, 1970, 1971, 1975; D.Laffont, 1971）。

根据花岗岩深成岩体构造现象反映了相应岩浆物质侵位时的运动学过程这一论证，我们又反复进行了多次恢复这些过程的研究，并在布列塔尼、中央地块、孚日、西班牙或其他地区验证了许多实例。与此同时，主要是从岩浆流动过程来考虑，或是从深成岩体在其形成过程中或之后的构造变形来考虑，还是从这两者的叠加来考虑，这些研究工作可能得出一些截然不同的动力学解释。以上说明，花岗岩类岩石的构造岩石学已越过了方法的阶段，进入到探讨深成物质变形的一些基本问题的阶段了。

2. 本书的目的

要进行解释，就得善于观察，在这方面是不能临时凑合的，而是需要对一切在分析时能加以利用的要素进行精确和全面的调查研究。因此，本书的内容首先是描写花岗岩类岩石所具有的各种原生构造，指出各主要观察范围内存在的所有补充要素；本书编写的目的正是为了揭示各个要素之间的联系，阐明它们的意义，并提出深成物质运动学的解释。本书不讨论侵入体与其围岩之间可能存在的动力学关系问题。

本书的例子和许多图件主要取自比利牛斯山产在古生代浅变质地层中的凯里居特岩浆杂岩体，因为这个火成岩体最能说明问题^①；这一分析方法当然对任何一种花岗岩物质（无论它是一

①凯里居特杂岩体的位置表示在本书开始的插图上。

个孤立的侵入岩体，还是一个巨大杂岩体）都可适用，这点从科西嘉-撒丁岛岩基取得的结果得到了证实（J.Marre, P.Rossi 和 J.Rouire, 1981）。

3. 构造岩石学的内容及方法

A. 几何形态分析及运动学解释

花岗岩类岩石构造研究的目的主要有两个：揭示这类岩石的结构构造并结合侵入成岩过程对其作出解释；因此，构造岩石学的内容也包括两个明显不同的方面，即几何形态分析以及随后的运动学分析，有时也进行动力学分析。

几何形态分析是在假定花岗岩类岩石具有一些密切相关的构造特征这种条件下进行的。自H·克鲁斯开展这项工作以来，还没有人对此有过怀疑，但就是没有把这项研究始终不懈地坚持下去，原因有两个：这类岩石的结构并不都是清清楚楚的；有些岩体的物质分布不均匀，而恰是这种不均一性使构造要素增多并容易观察出来，可是另外一些岩体则非常均一，因此就缺少这类构造要素。然而最大的问题还在于观察者本身没有充裕的时间，因为凡是具有重要意义的结构只有经过仔细的观察之后才能查找出来。当这些结构识别出来时，就要系统地测量其方位，然后把它准确地表达出来；总之，从薄片直到区域地质图，对所有的岩石结构构造现象都应当进行描述。

运动学分析的目的在于对所观察到的与侵入过程有关的所有现象作出解释。这种方法的基本前提是，岩石形成的力学机制仍保留在如今能观察到的结构构造特征之中，而解释工作就是尽力查明所观察到的构造和产生构造的变形作用这两者之间的关系。要做到这点显然需要对岩石物质变形的普遍规律有所了解，以便排除一些不符合实际的推理。还有，鉴于岩浆作用是受许多因素控制的，因而也应利用这个领域中的实验结果进行解释。因此，根据对几何形态分析得出的事实进行解释，就可以编制出在花岗

岩类岩石研究中当时还无法理解的基本过程示意图。

运动学分析可以揭示出岩浆的运移和流动，以及在圈闭带中聚积的机制，有时还可能揭示出后期影响深成岩体的、由于不同流动过程而形成的一些变形作用（分别发生在岩体完全结晶之前和之后的塑性及脆性变形作用）。这些有关深成岩物质活动性的新数据同时可用于确定结晶过程和分异过程赖以发生的条件。

B. 岩石物质单元, 结构及构造 (niveaux d'organisation), 观察范围

在开展上述工作时，由于所研究物质的性质，必要的谨慎是需要的(R. Mirouse, 1973)。一个由若干类型岩石组成的岩体可以被看成是一个由同样多的排列在一起的岩石物质单元所形成的综合体：其中每个单元都有自己的成分特征和构造特征，这些特征使其在一定空间内形成一个连续体。这种划分成不同岩石单元的做法有时容易，有时困难一些，它对确定每一连续体的特征和追索相邻连续体之间的关系是必需的。

对一个岩石单元的研究，例如对其岩石学内容来说，必定包括以下几个方面：各种矿物的结构关系，定向构造中晶体的分布和排列，捕虏体的成分或者与相邻岩石的关系；因此，在每个岩石单元中，其结构、构造内容表现为几个不同方面。在岩浆岩中，颗粒的大小、形状及其相互关系决定岩石的结构、方向性和组构；而颗粒、捕虏体、节理和岩脉的定向分布，也就是说，宏观非均质性说明构造的特征；不同岩体的结构 (architecture) 及其关系决定其产出类型。但是，与其他任何物质相比，岩浆岩更能提供结构构造不同表现之间的明显关系：微观组构往往可以在样品上察觉出来，它可在露头的可见构造中显示出来，在图上可以见到；因此对同一种现象的所有特点都可作出分析。

一个构造要素，例如两类岩石接触带，应该在双筒显微镜下，在露头上和在区域图件上进行研究，因而每种结构现象都应该通过放大倍数不同的各种范围进行观察分析，以便适应研究之需。但是，这种研究要求确切，因为一定的结构构造与观察范围

之间显然存在着某种实际的对应关系：结构可在镜下观察，构造可在野外露头上进行观察，而产出类型则主要具有伟观的特征。

下面将依次根据微观、宏观和伟观三种主要观察范围对构造岩石学的不同方面进行描述，但不应忘记这种研究必须从野外开始。

第一部分 微 观 分 析

微观分析是指用双筒显微镜和光学显微镜对所有可见的结构特征进行观察。因此，它主要研究毫米级的细节，根据这些细节，可以描述矿物颗粒等级的岩石结构情况。微观分析在传统上可分为结构研究和组构研究。

结构分析的目的在于查明矿物生长的方式及矿物结合的方式，以便把结晶作用的历史重现出来。结构分析还应研究颗粒的分布，因为它常常表现为与侵入过程有关的岩石定向结构。最后，这种分析还可以把来源于岩浆结晶作用的物质与其他具有更复杂历史的物质区分开来。因此，结构分析可用于确立每种岩石形成的主要过程。

组构分析的目的是查明岩石中晶体的方向：同一种矿物的许多颗粒的方向测定出来之后，就可以统计性地得出亚组构赤平投影图，根据一套这样的图解，就可以把组构测定出来。组构的对称性与产生组构的变形作用的对称性有关系。

但是，在这个阶段，一定要通过结构分析区分两类亚组构。一种矿物的颗粒可以在其结晶的晚期或在重结晶过程中定向，以嵌晶或填隙形式（通常呈他形）出现；这个方向表示结晶网在各向异性应力场（该应力场作用于已经形成的并且可能处在现有位置上的深成岩）中的定向发育。与此相反，能用以确定深成作用的亚组构乃是颗粒被岩浆流动所定向的记录，所以这些颗粒是早已形成了的，往往呈自形，形成带状和常常连结成聚晶状（J.P. Bard, 1980）。对后面一种亚组构作出解释就能进而描述颗粒的定向过程，搞清楚岩浆侵入的许多形迹。

1. 结 构 分 析

1.1 花岗岩类岩石的不同结构

结构分析必须研究各种细节，以便确定每种矿物晶体的大小、形状、自形特征或他形程度、分带性、包裹体、共生组合、所有的反应边和熔蚀结构以及变形形迹和重结晶形迹 (M. Lelubre, 1972)。这样描述出来的结构构造内容可能是多种多样的，但是它能够依据岩石形成的方式区分出基本岩浆岩结构、经过变化的岩浆岩结构和岩浆期后结构。

A. 岩浆岩结构

在岩浆岩结构中，矿物颗粒及其共生组合反映了主要由岩浆结晶作用形成的特征。构成凯里居特杂岩体核部的斑状花岗岩就是一个很好的例子。现把石英、微斜长石、斜长石和黑云母简练而又明确地叙述如下。

一石英晶体组成厘米大小的等轴集合体，其特征是分凝作用十分明显。这是一些由三个至五个无包裹体的晶体组成的域，各晶体接触线有时呈直线形，很象聚晶状 (图1a)；它们被与黑云母、斜长石和巨晶微斜长石接触带上更小的他形单晶包围着。因此，可以看到多晶体斑晶，然后在边缘上发育有小晶体，它标志着石英结晶作用的终止。

一微斜长石也有点类似，存在有厘米大小的自形到半自形巨晶微斜长石，沿c轴或a轴拉长，沿(010)面或(001)面压扁，并具卡式双晶或底面双晶；但有些双晶很不完整，表现为聚晶状连生 (图1b)。微斜长石呈毫米大小的晶体，自形程度与上述巨晶微斜长石类似或者在与石英、黑云母和斜长石接触处全部呈他形。碱性长石首先发育成自形单晶，其中有些个体很大；后来，碱性长石呈他形产在自形单晶的周围，或者孤立地存在。

一斜长石毫米大小，形成拉长和压扁集合体，具钠长石双