

510032

35225

1044

应力矿物概论

王嘉荫 著



地质出版社

应力矿物概论

王 嘉 荫

地 质 出 版 社

应力矿物概论

王嘉荫

*

国家地质总局教育组教材室编辑

地质出版社出版

张家口地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1978年7月北京第一版·1978年7月北京第一次印刷

统一书号: 15038·新275 定价 0.90 元

出版说明

王嘉荫教授的遗著《应力矿物概论》，是由北京大学地质力学专业教师刘瑞珣，根据作者的遗稿、文摘和笔记整理而成的。

应力矿物学是光性矿物学与地质力学相沟通而发展起来的一门学科，在我国是王嘉荫教授首先倡导研究的。本书即是王嘉荫教授在长期地质实践中从事岩石学、矿物学教学和研究工作的经验总结。应力矿物学不仅从微观方面对研究由地壳运动而产生的各种形变现象指出了一个新的方向，同时对研究地壳构造和地壳运动规律，进而探讨地壳上矿产资源的分布规律，也将起重要作用。

本书可作地质力学专业和其他地质类专业的教学参考书，也可供科研和生产人员学习、研究。

目 录

序	1
第一章 思想方法与地质学的现状	3
(一)关于板块学说	3
(二)水成学派和火成学派的斗争	4
(三)岩矿上的几个问题	6
参考文献	11
第二章 为什么要研究应力矿物	13
(一)地壳上的力和应力	13
(二)应力矿物和矿物应力	15
(三)异常光性和光性异常	19
(四)地壳的圈层	22
(五)关于扭应力	25
参考文献	27
第三章 应力矿物和其他地质学的关系	30
(一)应力矿物和矿物学的关系	30
(二)应力矿物和岩石学的关系	31
(三)应力矿物和矿床学的关系	33
(四)应力矿物和古生物学的关系	34
(五)应力矿物和地球物理学的关系	35
参考文献	43
第四章 均匀与不均匀、连续与不连续和域的概念	46
(一)应力矿物的含意	46
(二)连续介质、不连续介质和“域”的概念	46
(三)均匀介质和不均匀介质	50
参考文献	53
第五章 矿物的形变	54
(一)脆性形变	54

(二)塑性形变.....	56
(三)脆塑性的转变.....	63
(四)裂纹.....	65
(五)破碎.....	69
参考文献.....	77
第六章 应力对矿物成分的影响	79
(一)一般区域变质中矿物成分的变更.....	79
(二)单向应力作用下矿物成分的变更.....	82
参考文献.....	96
第七章 封闭系和开放系	98
(一)封闭系中的变质作用.....	100
(二)开放系中的变质作用.....	101
(三)关于变质带的成对性.....	103
参考文献.....	104
第八章 封闭系中的应力矿物(以硬绿泥石为例)	106
(一)硬绿泥石的空间问题.....	107
(二)硬绿泥石的性质特征.....	108
(三)硬绿泥石的形成条件.....	110
(四)硬绿泥石的变质带问题.....	112
(五)硬绿泥石的稳定性.....	113
(六)小结.....	116
参考文献.....	117
第九章 开放系中的应力矿物(以兰闪石为例)	119
(一)兰闪石的空间问题.....	121
(二)兰闪石的性质特征.....	125
(三)兰闪石的形成条件.....	127
(四)兰闪石变质带问题.....	133
(五)兰闪石的稳定性.....	137
(六)小结.....	139
参考文献.....	140
第十章 显微镜下结构面力学性质鉴定 (以石英为例[石英域]).....	143

(一)石英域中的现象·····	143
(二)石英域的演化——破裂和重结晶·····	150
(三)石英的张裂·····	154
(四)小结·····	155
参考文献·····	155
附录 I 显微镜下结构面的鉴定 ·····	157
(一)前言·····	157
(二)方法·····	160
(三)应力矿物现象·····	164
(四)碎裂的结构构造·····	203
(五)小结·····	210
参考文献·····	212
附录 II 碎裂变质岩 ·····	213
(一)研究碎裂变质岩的意义·····	214
(二)碎裂变质岩分类·····	214
(三)碎裂变质岩种类·····	219
(四)小结·····	236
参考文献·····	238

序

应力矿物(Stress mineral)一词,最早是哈克尔提出的,系指在变质岩中与剪应力作用有关而形成的一些矿物,如绿泥石、硬绿泥石、滑石、钠长石、绿帘石、闪石类、兰晶石等。这个名词提出以后,从事矿物、岩石的学者有的赞同予以应用,有的持否定态度。

解放以后,李四光教授在研究地质力学过程中,曾强调岩石力学方面的研究并提出它的内容和途径:要结合自然界岩石流变、弹塑性形变、断裂和破碎现象的观察,研究高温、高围压及长期应力作用下岩石的变形规律和变形性质,并测定、描述岩石变形和破裂特征的各种参数;要了解应力矿物和岩石经过应力作用所产生的其他形变、相变和组构;研究地应力活动对于矿物晶格“位错”,畸变、形变、相变和组构的影响以及应力作用对岩石物理性质(如电学性质、磁学性质等)的影响。

王嘉荫教授在四十年代随李四光教授一起工作时,即从事岩石、矿物和岩组分析方面的工作。之后,他逐渐进入“构造岩”、“破碎变质岩”以及不同性质的应力作用形成的结构面的研究,进而研究在应力作用下,或受应力的影响而产生的或受改变的矿物,即研究反映应力作用情况的矿物。这对地质力学工作是有密切的关系的。李四光教授生前曾提到:“应力矿物的研究,是一种与地质力学有关的专业,值得进一步探索”。

王嘉荫教授自解放以来,在党和毛主席的领导下,一直从事矿物学和岩石学方面的教学和科研工作,他从实际出发,勤奋好学,刻苦钻研,特别是在晚年,他逐步自觉地用辩证唯物主义的观点指导自己的研究工作,在学术上有所创新,他积极支持李四光教授倡导研究的地质力学,并深入到应力矿物学这个新领域,从微观方面进行地质力学的研究。北京大学地质地理系自1971年创立地质力学专业以来,他集中精力于应力矿物方面的研究工作,为地质力

学专业学员首次讲授了“应力矿物”课。1972年他患病以来,仍然以顽强的毅力和极高的热情完成教学、科研和生产工作,同时他积极搜集资料,编写“应力矿物”课的讲义。不幸,由于癌症,医治无效,未能完成他的全部著作,竟于一九七六年六月一日逝世。

《应力矿物概论》这本书,就是按王嘉荫教授生前讲授的“应力矿物”课的讲义扩编而成的,这个书名是作者原拟的。作者原计划全书共写十一章和两个附录。可是,在他逝世前仅写出前三章清稿和一至十章的草稿,而第十一章“常见的应力矿物现象以长石为例(长石域)”未能来得及写。这本书是由刘瑞珣等同志根据作者的遗稿和部分资料加以整编而成的。即将前十章整理出来,加上作者早已写出的两个附录,合并起来而成这本书,以供教学、科研和生产的参考。

参考文献是整编者根据作者草稿和卡片的记载编录的,在整理过程中,只对本书中所引证的句子,与原文进行了核对,其余文献,并未来得及全部查阅。为便于读者深入研究的参考,将参考文献分章列出。

《应力矿物概论》这本书是王嘉荫教授一生地质研究工作中的一项重要贡献,他把应力矿物的研究,广泛地与地壳运动和地应力作用联系起来进行研究,这是一个创举。这不仅对矿物学的研究有重大影响和作用,而且,在微观方面,为研究由于地壳运动而产生的各种岩石、矿物的形变和相变现象,也指出了一个新的方向。当然,书中有的概念和认识是新提出来的,需要有一个再实践的过程来加以检验和充实,这有待于有志此项研究的地质工作者,继续努力前进。这本书也是作者一生勤勤恳恳从事地质研究工作的最后著作,是值得我们地质同行所纪念的一本书。

王嘉荫教授从事这项工作的时间,主要是在1972至1976年间,正是“四人帮”横行、干扰于北京大学的时期,他仍奋发努力,带病从事研究著述,这种治学精神,也是值得我们学习的。

孙殿卿

1977年10月于北京

第一章 思想方法与地质学的现状

“研究问题，忌带主观性、片面性和表面性。所谓主观性，就是不知道客观地看问题，也就是不知道用唯物的观点去看问题。……所谓片面性，就是不知道全面地看问题。”许多年来，长期存在的争论问题，多少都受到片面性的思维方式影响，以致许多问题都不能及时解决。现在列举几个问题，提供参考。

(一) 关于板块学说

自从1912年，魏格纳(A. Wagner)提出“大陆飘流说”以后，给大地构造学家带来新的观点，就是解决全球性的构造问题。“大陆飘流说”管经盛行一时，但有些问题不能解释，尤其是大洋海底，到处都有起伏的山岭，不象飘流过的样子。“大陆飘流说”进一步发展，成为现代的板块学说。也达到空前的盛况，轰动整个地质界。但也有不少问题，还值得考虑。

(1) 板块的接触问题 从洋底扩张来说，好像可以解决大陆和洋底的接触问题，其实并非如此简单。所以又分出三种接触情况，就是：(1)分裂*；(2)聚结*；(3)剪扭*⁽²⁾。实质上，就是李四光同志提出的张、压、扭三种应力作用方式。但是混乱的是聚结和剪扭分不清楚。世界上最大的扭性断裂带，如北美的圣安德利亚斯大断裂，就被当作聚结带来看待，兰片岩相也被当作高压低温变质岩相系来处理，完全忽视水平错距达到1700多公里的存在。

(2) 洋底扩张说不能说明大西洋中脊的形成 这个中脊用“大陆飘流说”也是难以解释的。因为中脊中还有片麻岩存在。最

* (1) divergence*, (2) convergence*, (3) shear*.

近经地应力测量,证明中脊部分还受到压应力作用⁽³⁾,并非张应力作用的结果。

(3) 世界两大地震带是已知的事实 环太平洋带和喜马拉雅—阿尔卑斯带略成直角,似乎和板块边界关系不大。一地区的震中,由深到浅,略成倒锥状,也难以用板块接触来解释。

(4) 洋底扩张说 不考虑大陆上的地质构造的演化过程,思维方法是不够全面客观的。

当然还有许多难以解释的问题,这里就不一一列举了⁽⁴⁾。板块接触有三种,地槽是属于哪一种呢?也就不清楚了。地槽假说本身也有问题,关于地槽的成因和发展,那就更加混乱了。”因此,在推广这个概念的过程中,就出现了各式各样的地槽,有的甚至与原来认为典型地槽的特点并不符合”⁽⁵⁾。

板块学说虽然有许多缺点,但有一点是对的,就是水平应力作用是主要的,垂直应力是派生的。不了解这种主次关系,就会把问题性质搞错,前面提到圣安德利亚斯扭性大断裂就是一个例子。

(二) 水成学派和火成学派的斗争

水成派和火成派的斗争,李四光同志已作了概括的总结⁽⁵⁾。这种百年斗争,以水成派的失败而告终。接着而来的是火成学派彻底胜利之后,走向另一个极端,一切以火成派的观点为主。在这种情况下,一九三〇年以前,一切地质现象几乎都是火成学派的观点。

地槽学说和火成学派联接起来,就丰富了地槽学说的内容,所说“正地槽”就是先有超基性或基性岩浆侵入,回返时期形成花岗岩体的侵入,最终是玄武岩喷发,结束了一次地槽活动或是构造运动。后来,又发展到“付地槽”“冒地槽”等名词,因为和“正地槽”的定义不符合。又后来出现“优地槽”,就是以火山沉积为主的地槽。但地槽是否就一定是这样发展和回返呢?火山活动是否只与地槽有关呢?地槽学说没有考虑。

同时期,岩石学也得到很大的发展,是以火成岩为主。以鲍文的《火成岩的演化》一书出现,达到登峰造极的程度⁽⁶⁾。火成学派的思想贯穿整个岩石学的内容。许多基本概念,现在看来不符合客观实际。但在当时,就成为无比正确。岩基、岩株、岩脊、岩铸体等形体分类出来了。岩基来自岩渊。火山岩固然来自岩浆,花岗岩也不例外。尽管谁也没有见过岩浆,但谁也不能不相信岩浆。这时的火成学派,也就成了岩浆学派。

鲍文和坩埚实验的结果,提出“反应原理”“结晶分异”和“岩浆分异”等一系列理论问题,用来说明自然界的一些现象,曾经轰动一时,似乎是掌握了客观规律,其实并不能完全说明真实情况。首先,坩埚实验是在空气中进行的,压力1个气压。实验材料又是化学纯品,微量短暂实验。这样的实验和自然界长时期的自然作用往往差别较大,单纯用这样的实验结果去阐明自然现象,多少带些片面性。另外一些从事实际工作的人,提出花岗岩基和片麻岩有过渡的关系。花岗岩是由沉积岩变来的,成为转变学派,和传统的火成派发生论战,到1948年达到顶点⁽⁷⁾。火成派和转变派的争论,实际上,还是火成派和水成派的斗争继续。

这类斗争也反映在变质岩石学上。转变学派本身也是变质学派,认为变质作用主要是区域动力变质或热动力变质,无所谓热变质或接触变质⁽⁸⁾。而另一派受到火成学派的影响,认为有热变质或接触变质⁽⁹⁾。后来有人依据物理化学原理,统在一起,称为变质岩相⁽¹⁰⁾。至1961年,出现新的气象,就是日本学者都城秋穗提出“变质岩相系”⁽¹¹⁾,一方面解决了愈来愈多的亚相问题,一方面和大地构造紧密联系⁽¹¹⁾,克服过去孤立片面地讨论变质作用的倾向。其中高压低温相系马上为板块学说所采用。但其缺点是没有联系环太平洋的大扭裂带的应力性质。正是由于这种缘故,和人工实验要求的条件大相径庭,就使人考虑到“构造超压力”⁽¹²⁾,而对于事物的本质也还不大清楚。

与此同时,变质作用又出现“地热变质”的观点,认为地热增温率是变质作用的主要因素。许多著名岩石学者^{(13)、(14)、(15)}都有这

些看法，这是热变质思潮的进一步发展，也是火成学派思想体系在变质作用问题上的反映。但是没有进一步去探讨，为什么各地地热增温率有不同。地热变质作用，实际上，也就是脱水变质。于是就有了新的变质岩分类，⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾也可以说是按脱水程度不同的分类。把复杂的问题过于简单化了。

另一方面，沉积岩石学的研究，发现许多自生矿物，又是典型的高温矿物。如震旦亚界长城系石英岩中，就有自生的微斜长石和电气石。国外还有发现钠闪石、白钛石*等，所以有人提出地质学就是自然界复杂的实验研究⁽¹⁸⁾，看来也还合适。这固然是水成学派思潮的反映，也说明矛盾现象随着时间发展而层出不穷。和硬绿泥石共生的还有刚玉、兰晶石等，也是见于火成岩中的矿物，能否产生实验室中的高温高压矿物，颇值得考虑。

随着晶体化学和固体化学反应研究的进展，提出矿物形成的新概念，就是晶架形变和离子交换。从表面化学研究，可知接触界面上，有足够高的温度和压力，形成一些高温高压矿物，并不是不可能的。

(三) 岩矿上的几个问题

(1) 关于兰片岩问题

兰闪石片岩相存在与否，是争论很久的问题，后面还准备单独进行讨论(见第九章)，这里介绍一般概况。就目前情况来说，兰闪石片岩相已为多数岩石学者所接受。但还是认为“现在比过去更为混乱”。^(13, P. 289)确实混乱，兰闪石片岩和绿泥石片岩成互层，所以或应该归入绿片岩相中。但是很多绿片岩相中，又见不到兰闪石。矛盾如何解决呢？这就是个问题。如果简单地取消兰片岩相的存在，这不是解决问题的方法，而是回避问题。

特别是北美洲圣安德利亚斯的断裂带中，所说高压低温兰片

*leucosphenite(淡钡钛石——整理者注)

岩以及硬玉岩,成透镜体或更形像一些成沙丁鱼状,上下左右都是变质程度低的岩石。高压低温的岩石形成的时代又不相同,有老有新,150—70 百万年不等⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾。当然还可以有更新的兰闪石形成。对这种现象有两种不同的理解:

(A) 从板块学说来理解 认为这些沙丁鱼式的构造包裹体,是在地下深达 20—30 公里处,先行变质,再顺逆断层面挤压上来,进入现时的位置⁽¹⁹⁾。从构造包裹体表面上布满擦痕来说,是有这种可能。但存在下述问题难以解释:

(i) 逆断裂是压性结构面,挤压紧密,构造包裹体很难挤上来。

(ii) 从地幔上部的物质成分来说,兰闪石不会存在,至少深带变质岩中,没有兰闪石。

(iii) 世界范围的兰闪石分布都是在走向滑动的断裂带中,并非真正的逆断裂带。

(iv) 形成兰闪石的时代,虽然有两个主要时代。但沉积物中,还有兰闪石碎屑矿物。

(v) 讨论的兰片岩相,不是板块间接触,而是在北美板块中⁽⁴⁾。因此,也就不符合板块学说的板块接触。

矛盾重重,难以解决。最后还是一句话,“对这种作用的一种机制解释,仍然等待发现”⁽¹⁹⁾。

(B) 用沉积同时发生变质和重结晶作用来说明 在“旧金山群”中兰片岩相里,不同部位的兰闪石为不同时代的沉积和重结晶现象⁽²¹⁾。这种解释也有些困难。

(i) 沉积时发生重结晶应该是特殊情况,一般沉积岩中,为什么没有这种现象呢?

(ii) 兰闪石片岩成透镜体或构造包裹体与围岩不像同时沉积和重结晶的样子。

(iii) 重结晶机制本身也难以理解,为什么会发生重结晶。

总之,这样解释说服力很小。当然还有些其他假说,不再列举。兰片岩相的状况就是这样。仅从兰闪石本身中去寻求答案,

看来是假说很多,问题难以解决。许多学者的经验很丰富,工作很细致,问题解决不了的原因可以说是没有抓住问题的实质,没有全面地去看问题。对待其他矿物,也有相似的问题。

(2) 长石

长石是最常见到的造岩矿物,研究的比较深入细致,但直到现在还没有得到统一认识。问题在于把长石作为孤立的矿物种属看待,虽经详细研究,但是未考虑产况。

(A) 关于钾长石 很久以前,有人发现冰长石和透长石成了一个晶体,低温长石(冰长石)和高温长石(透长石)同时结晶成为同一晶体,从高温骤然降为低温,是不可能的,只能说是后来变的,应当加以报导⁽²²⁾,这是合情合理的。但是报导不够满意。具体产况没有提,晶体有破碎,并有细脉贯穿其中,这些只能从照片上读出来。

毛主席教导说:“唯物辩证法认为外因是变化的条件,内因是变化的根据,外因通过内因而起作用。”在这里外因是长石的破裂和细脉贯入,内因是长石分子的排列,成为 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 的四面体立体网状晶架。长石破裂构成裂隙,是受到应力作用,晶架也会变形,分子排列发生改变,物理性质也必然要发生改变。由于应力分布不均匀,长石是各向异性体,应变当然也不均匀。导致光性发生变更。出现有趣的现象,冰长石和透长石形成共同晶体。如果只从温度变更来解释,无论如何也不符合事实。

为什么只考虑温度变更不考虑应力作用呢?显然是火成学派的思想体系起了主导作用,除了温度变更外,不考虑其他原因。其实一个显微晶体上的一部分,从一千度温度突然降低到室温条件,除了淬火以外,自然界中是不可能出现的。因为矿物产生的岩石本身是热的不良导体。同一晶体内,一部改变,一部未变,也更不易解释。

(B) 自生钠长石 自生钠长石一般都认为是比较纯的,常见于灰岩中。钠长石的光学性质研究得很仔细,现在业已进入矛盾重重的境地,在1968年的一篇文章中可以看出⁽²³⁾。其中谈到自

生钠长石具有沙钟构造,并有两次方解石细脉填充和切割,后来还出现缝合线。详细测定了光学数据和晶胞常数。但是和其他自生钠长石比较以后,发现不同。认为“光学数据和晶胞常数表明 Al—Si 分布比较有序,但不如伟晶岩和浅带变质岩中的“低钠长石有序程度高”。 $2V=81.0^\circ$ 。Y. B. Baskin (1956) 的数据是 $2V=90^\circ\pm5^\circ$, 晶胞也小些。因此,他的钠长石是属于“最大”低钠长石,表示 Al/Si 在晶架的四个单区中可能有无序存在。接着又提到:

“但不应依此推断 Rhodian 钠长石结晶温度较高,或认为 Al/Si 有序在低温下不稳定。除温度影响 Al/Si 有序程度外,序度的移动和机制尚不十分清楚”。“自生钠长石具有沙钟构造表现在其生成历史的清楚形象。没有岩石学上的证明是次生的,因之是原生包裹体。事实上,同样包裹体见于红柱石和硬绿泥石中,说明硅酸盐在成岩过程中,形成核心和生长机制以及深度变质的机制作用差别不大”。把沉积岩和深带变质岩等同起来了。

“从度量的精确程度说,折射率和光轴角度量数值的差别还没有解决。有的是两位学者在同一块标本上的度量。在光学标准,如标准低钠长石,能建立和在学者中交流以前,自生长石用光学数据判断的成分或 Al/Si 分布的任何结论,都必须当作试行的”。看来科学态度是严谨的,但是受了思想方法上的限制,不能全面地考虑问题。例如:

1. 没有考虑沙钟构造的存在与否的问题;
2. 没有考虑二次方解石脉的存在问题;
3. 没有考虑缝合线问题。

文中提到沙钟构造并和红柱石、硬绿泥石进行对比。得出的概念是结晶核心和生长机制与变质深度的差别不大。也就是说,沉积岩和深带变质岩中结晶核心形成和生长机制相同。显然是有问题,把沉积岩和变质岩的界线取消了。在我们看来,沉积岩中自生矿物、高温热变质和浅带变质岩中矿物都可以出现沙钟构造,正好说明沙钟构造的形成不受温度高低的影响,应当是另外的因素

起作用，可能是应力作用。因为这种构造的出现并不普遍。有时存在，有时不存在。产况也有影响，一般常见的石英没有沙钟构造，但断裂带中石英就带有这种构造，显然是应力作用的结果。应力是个特殊东西，几乎处处存在，而又见不到。只能见到应力作用的结果。

关于二次方解石脉，应该有它出现的条件。首先必须有裂隙形成。有两次方解石脉出现，应该有两次裂隙形成。地层中的裂隙形成也不是无缘无故产生的，而是受了应力作用。应力超过了钠长石的破裂强度，才能构成裂隙。

缝合线的存在也不是孤立的现象。沉积岩中的缝合线的形成问题，早已有人注意到，也深入地讨论过。多数人认为压性或扭性结构面上产生“压溶作用”构成的，也表明受过应力作用。

既然沙钟构造两次方解石脉和缝合线的形成都证明受过应力作用，就应该考虑应力作用下钠长石本身也受影响。其物理性质以及分子的有序程度都会有轻微改变。实际上，早已知道，压力作用下可使矿物的光率体发生变形，光性发生改变，所说“光性异常”也就是光弹现象，就是应力作用的结果。只有考虑到应力作用的影响，才能对自生钠长石光学常数进行对比。

以上只是两个例子，说明不考虑应力作用，不全面考虑各种有关现象和因素，就会得出不正确的结论。“只有感觉的材料十分丰富（不是零星不全）和合于实际（不是错觉），才能根据这样的材料造出正确的概念和论理来”（《实践论》）。上述两个例子，材料还是比较完全，但是考虑的不全面，也可以说是零星不全的引用材料，因而就不能得出符合实际情况的正确概念。

过去认为老的岩石都已发生变质，是埋藏变质作用的结果，也称作荷载变质。但随着研究深入，逐渐认识到，变质岩的埋藏深度不一定大。反之，埋藏深达十几公里的地层也未必变质。绝对年代测定，也用于变质岩研究上，又发现新的阿尔卑斯变质带中，还有未变的石炭纪矿物。又该如何给以说明？现在高压合成技术，已能合成所有变质矿物。所需要的压力相当地下三、四十公里的