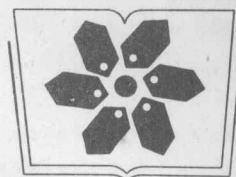


中国大陆东南部 花岗岩类云母

顾雄飞 梅厚钧 等 著

科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版

中国大陆东南部花岗岩类的云母

顾雄飞 梅厚钧 等著

科学出版社

1998

内 容 简 介

本书是顾雄飞先生生前所做的有关中国大陆东南部花岗岩类中云母族矿物学研究工作的系统总结,它主要论述中国大陆东南部九省区各类花岗岩中云母类矿物的结晶构造、物理性质、化学分类、地球化学及其与矿化的关系。在此基础上,执笔者梅厚钧先生又补充了大量矿物、地球化学及各岩类中云母的对比等方面的内容。

本书可供国内外从事云母族矿物、花岗岩类岩石学研究人员,区域地球化学和找矿工作者及有关高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国大陆东南部花岗岩类的云母/顾雄飞等著. -北京:科学出版社,1998
ISBN 7-03-005750-3

I. 中… II. 顾… III. 花岗岩-云母-矿物-研究-中国 IV. P578.959

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 22610 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

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

*

1998年1月第一版 开本:787×1092 1/16

1998年1月第一次印刷 印张:17 1/4

印数:1—800 字数:393 000

定价:38.00 元

序

花岗岩类岩石中的云母，虽在含量上远不如石英和长石，但由于它的矿物成分、晶体结构等方面的可变性与多变性，它却是一个重要的、敏感的示踪矿物；它可以从不同角度和方面给花岗岩类的形成机制、物质来源、发育演化、物化条件和矿化关系等提供不少信息，因而多年来它吸引了不少矿物学家和岩石学家对它的关注和研究。

顾雄飞同志在矿物学领域有很深的造诣，他不仅热爱专业、知识渊博、深思熟虑，而且还能亲自动手，实验测试。他的野外工作也很扎实、细致周到。由于他进行了广泛的实践和深入钻研，他对云母矿物学及粘土矿物学更有着一些独到的见解与建树。

十分令人惋惜的是顾雄飞同志英年早逝，来不及将研究思路、方法、成果等整理出版。他遗留下来的部分工作，还有延伸、提炼与加工等由他的好友梅厚钧同志承担了下来。梅厚钧主要是岩石学家，但对矿物也作过不少研究。在顾雄飞生前，他们配合默契，互相补充，在顾雄飞离去后，由梅厚钧来完成未竟工作，便是十分顺理成章的事了。

中国大陆东南部广泛分布的花岗岩类多年来一直是固体地球科学界热门研究和讨论的课题之一。研究重点多放在花岗岩类的地质背景、在壳幔演化中的作用与地位、构造岩浆序列、形成时代以及岩石学、岩石化学、微量元素及同位素地球化学等方面。通过上述的大量工作，人们对花岗岩类的形成机制、发育演化及与矿化关系的认识有了很大的提高。相对来说，花岗岩类的矿物学工作，特别是云母类研究则比较薄弱的。

顾雄飞、梅厚钧等同志完成的这本专著弥补了这方面的不足。它是作者对中国大陆东南部花岗岩类云母族矿物学研究的系统总结，它包含了深入的结构分析、化学分类、各种谱学研究及矿物的微量元素、同位素研究等。在上述工作的基础上，结合宏观地质，作者提出了云母标型花岗岩的成矿类型，将云母族矿物的示踪意义提到了新的高度。显然，这是全书的精华所在，也是作者的新意。无疑，本书的出版将进一步促进对我国大陆东南部花岗岩类及成矿和云母族矿物的深入讨论。

涂光炽

1996年12月28日

前言

在中国大陆东南部,苏、浙、皖、鄂、湘、赣、闽、粤、桂等九省区花岗岩类大、小岩体广泛出露,产有丰富的稀有金属矿床,其中有些是大型和超大型矿床。这一花岗岩区的各类型花岗岩体里含有种属繁多的云母族矿物,对这些云母的物理性质和地球化学特征的研究表明,云母的化学成分变化与母岩体的成矿特征有密切联系。

本书可以说是已故矿物学家顾雄飞先生的遗著。1984年在他病逝的前几天委托我代笔编写这本书。可惜那时他已生命垂危,无力交待此书的基本构思和重要结论。在他去世后约一周内,他的妻子宋云华同志和我翻检他的遗稿,除了一堆原始资料外,主要是他1980年晋升副研究员的论文手稿“华南花岗岩中的云母类矿物及其与稀有元素矿化的关系”,还有几页稿纸上题为“中国东部花岗岩类中云母矿物”的详细目录。此目录现由宋云华同志收存,据她回忆,系顾雄飞先生1982年去上海就医时在火车上草拟的。

顾雄飞(1929—1984),浙江黄岩县人,1955年毕业于南京大学地质系,被分配到中国科学院地质研究所工作,1966年到中国科学院地球化学研究所工作,主要致力于粘土矿物学的研究。1962年在进行湖南香花岭矿床的矿物学研究时,开始注意云母族矿物与稀有元素矿化的关系。他首次论证在二八面体云母与三八面体云母之间存在着过渡性化学成分的云母变种,取名为“铝黑鳞云母”(顾雄飞等,1973)。十几年后,国外学者的实验证实了他的结论。实验表明,随着锂含量的增加,白云母与黑云母之间的不混溶间隙逐渐缩小,以至于八面体阳离子的锂含量增加到20%时已达到完全混溶(Monier and Robert, 1986a, b)。

在中国大陆东南部花岗岩区,各种稀有元素金属矿床:Li、Rb、Cs、U、Th、Nb、Ta、Sn、W、Be等矿床皆产在含锂云母花岗岩中,这些矿种皆属于亲氟性亲石元素(Burt et al., 1982)。因而,本书主要内容是阐述含锂云母成分变化与稀有元素矿化的关系。

需要说明的是:顾雄飞当时草拟的书的目录与本书内容已有较大差别。他曾设想利用国内外已发表的大量云母矿物物理参数编制云母种属的鉴定表,但未留下这一方面的编写大纲。幸亏留下了他和原合作者已加工的几十件云母矿物样品,笔者得以补上了微量元素分析、差热分析、穆斯堡尔谱测定以及少量X射线粉晶分析和氢、氧同位素测定工作。后来得知他生前曾将一部分代表性样品送出外地分析测试。

还应当说明的是:我承担《中国大陆东南部花岗岩类的云母》一书的撰写任务的另一缘由是,1961年春,本人在李璞先生指导下完成了对中国基性超基性岩侵入体含矿性分类工作后(梅厚钧,1963),原中国科学院地质研究所所长侯德封先生召见我,向我提出了一个新任务:研究花岗岩体成矿类型。20年后,笔者受到顾雄飞研究云母的启发,才在本书后半部分形成一套以云母地球化学特征为主要标志的划分花岗岩类侵入体含矿类型的分类方案,并以此作为向先师侯德封院士和李璞教授交上的一份迟到的答卷。

至于我称顾雄飞“先生”,不仅因为他年长我数岁,并帮助我做矿物学研究工作,更主要是感叹他英年早逝,先我作古。他是新中国培养的早年富有成果的矿物学家(参看

本书后记), 可惜“有命无运”, 坎坷多难。作为科研工作中的朋友, 笔者虽然原本不精通矿物学, 却勉力为他完成此遗著。因而, 疏漏失误之处难免, 还望识者指正。

本书由下列同志执笔:

梅厚钧(前言), 顾雄飞、梅厚钧、李永明(第一章), 梅厚钧、顾雄飞(第二章), 梅厚钧、顾雄飞、龚国洪、张恩林(第三章), 梅厚钧、顾雄飞、徐英年、宋云华(第四章), 梅厚钧、顾雄飞(第五章), 梅厚钧(结束语、后记, 梅厚钧、李永明(附表 1、2)。

顾雄飞先生生前做云母研究工作的合作者有徐英年、赵惠兰、宋云华、雷剑泉、张凤秋、陈建隆等。在本书编写工作中, 龚国洪重新校订了 1980 年以前完成的全部云母样品的 X 射线粉晶分析的晶胞参数; 李永明和唐春景协助云母化学式的微机运算及制作表格; 赵云龙、梁玉堂等协助中子活化分析; 阚学敏、张恩林协助穆斯堡尔谱测量计算; 陈国玺完成差热分析; 彭文世协助完成红外光谱测量; 李荪蓉为顾雄飞遗留的几十件云母样品补上了 F、Cl 及 H_2O^+ 分析; 王之瑜协助清绘全部图件。

顾雄飞先生生前从事粘土矿物及云母研究工作时曾得到刘东生院士及彭琪瑞教授的指导, 本书稿在编写过程中曾得到欧阳自远院士、李正瑞书记、吴泽霖编审、陈福明副研究员、王冠鑫研究员、彭文世研究员和科学出版社第三编辑室谢洪源同志以及核工业部北京三所赵云龙研究员等许多同志的热心支持和帮助。叶大年院士审阅了全部稿件并提出了宝贵的修改意见。我的妻子方艺文给予了多方面的支持, 并做了一部分云母样品选矿提纯的工作。在此一并表示感谢。

梅厚钧

目 录

序

前言

第一章 真云母类矿物概论	1
第一节 云母研究简史 (中国部分)	1
第二节 真云母的晶体结构	2
第三节 云母矿物结晶化学	8
第四节 真云母的结晶化学式计算方法	11
第五节 真云母族矿物分类和种属名称	15
第二章 中国大陆东南部花岗岩区云母的分布与花岗岩含矿特征	18
第一节 中国大陆东南部花岗岩区岩体分布与构造条件分类	18
第二节 中国大陆东南部花岗岩区的花岗岩成矿系列和含矿类型	41
第三章 中国大陆东南部花岗岩区真云母物理参数变化	46
第一节 云母的 X 射线粉晶衍射	46
第二节 云母的红外光谱	59
第三节 镁铁云母和含锂云母的穆斯堡尔谱	79
第四节 云母的差热分析	86
第四章 中国大陆东南部花岗岩区云母的地球化学	93
第一节 中国大陆东南部花岗岩区云母的晶体化学特征	93
第二节 花岗岩中真云母的稀土元素地球化学	95
第三节 花岗岩中云母的微量元素	106
第四节 云母的微量元素与花岗岩体的构造条件	124
第五节 云母的氢、氧同位素地球化学	127
第五章 云母标型花岗岩侵入体的成矿类型	129
第一节 花岗岩类的成矿专属性	129
第二节 黑白云母花岗岩组	132
第三节 富镁云母花岗岩组 (MgG)	134
第四节 含锂云母花岗岩组 (LiG)	136
第五节 含锂云母花岗岩组的云母演化图式	143
第六节 花岗岩岩体群与各成矿类型相互关系	147
结束语	150
后记	154
附表	156
主要参考文献	261

CONTENTS

FOREWORD

PREFACE

CHAPTER 1 OUTLINE OF TRUE MICAS 1

- 1.1 Brief history of Chinese research works of mica 1
- 1.2 Crystal structure of true mica group 2
- 1.3 Crystal chemistry of true mica 8
- 1.4 Calculation methods of the crystal chemical formula of true mica 11
- 1.5 Classification and mineral species 15

CHAPTER 2 DISTRIBUTION OF THE MICA IN THE SOUTHEAST-ERN CHINA AREA OF GRANITE AND MINERALIZATION OF THE GRANITOIDS 18

- 2.1 Distribution of the granite intrusions in the southeastern China area of granite and their tectonic settings 18
- 2.2 Metallogenic series and mineralization types of the granitoids in the southeastern China area of granite 41

CHAPTER 3 PHYSICAL PARAMETERS OF THE TRUE MICA IN THE SOUTHEASTERN CHINA AREA OF GRANITE 46

- 3.1 X-ray powder diffraction of the mica 46
- 3.2 Infrared absorption spectrum of the mica 59
- 3.3 Mossbauer spectrum of the mafic mica and the Li-bearing mica of granitoids in the area 79
- 3.4 Differential thermal analysis of the mica 86

CHAPTER 4 GEOCHEMISTRY OF THE TRUE MICA IN THE SOUTHEASTERN CHINA AREA OF GRANITE 93

- 4.1 Crystal chemistry of the mica in the granite area 93
- 4.2 Geochemistry of rare earth elements of the true mica in granitoids 95
- 4.3 Trace elements of the mica in granitoids 106
- 4.4 Trace elements of the mica with respect to the tectonic settings of the granite intrusions 124
- 4.5 Isotope geochemistry of the hydrogen and oxygen in micas 127

CHAPTER 5 METALLOGENIC TYPES WITH MICA MARK OF THE GRANITE INTRUSIONS 129

- 5.1 Metallogenic exclusive features of granites 129

5.2	The black and white mica granite group	132
5.3	The Mg-rich mica granite group	134
5.4	The Li-bearing mica granite group	136
5.5	The mica evolution patterns of the Li-bearing mica granite group	143
5.6	The granite mass swarms with respect to their metallogenic types	147
CONCLUSIONS		150
POSTSCRIPT		154
APPENDIX TABLES		156
PRINCIPAL REFERENCES		261

第一章 真云母类矿物概论

本书所讨论的各种含锂的和不含锂的云母族矿物都属于真云母类。粘土矿物学家从成因矿物学的观点将云母族矿物分成两大类：一类是真云母 (true micas)，皆为发育良好的晶体，生成于火成岩及伟晶岩岩浆分异过程；另一类是粘土云母 (clay micas)，形成于低温条件下，为沉积岩的组分，晶体小，含硅和水高，含钾低。生成于水热和变质条件下的绢云母介于两大类之间 (Taboada and Ferrandis, 1957)。本书限定为花岗岩中的云母，因而以下皆称为云母。

第一节 云母研究简史 (中国部分)

一、释 名

云母一词是中国古汉语原有的矿物名称，并非从西方传来。《辞源》载《汉书·王莽传》有云：“常翳云母屏面，非亲近莫得见”。表明中国人在公元前已掘云母用作工艺品器材，而且显然是大片白云母。公元 2 世纪前后写成的《神农本草经》中已将其列入中药；后来中医医生按其质地和色泽区分出云英、云珠、云母、云沙、云液和云胆等药物品种（《抱朴子·仙药》）。明代李时珍引用《荆南志》曰：“华容方台山出云母，土人候云所出之处，于下掘取，无不大获。据此，在此石乃云之根，故得云母之名”。但是，这种解释令人仍觉得牵强，似为后代医药界附会之辞。王莽以前已经得名的云母一词的来源仍需考证。

英文和法文中云母一词为 mica。许多词典说该词源出于拉丁文 mica，意为“颗粒”或“屑末”。然而，这些词书又强调 mica 一词用作矿物名称时受到 micare 一词的影响，意思是“闪光”、“闪烁”。德文中云母一词为 Glimmer，也是“闪烁”的意思。俄文中云母一词为 слюда，可能由 слюз 一词转变而成，意思是在淘金的溜槽中常见的矿物。日文中云母一词读作ウンモ，似借用汉语温州方言的读音，看来日文中云母一词源于中国。

总之，中国人较早把云母用作矿物材料，当为白云母；还用作药物，就不一定限于白云母了。西方人早先只注意到云母闪闪发光，似为金云母或黑云母，有了电工业以后才把大片白云母用作绝缘材料。

二、我国云母矿物学研究小史

虽然中国古代采掘白云母时会有人粗略地研究该云母矿坑的开采价值，但作为近代矿物学研究课题，我国起步较迟。

50 年代，我国地质工作者对于花岗岩中云母的矿物学研究只是对各地花岗岩成矿作

用研究中的一小部分工作。60年代前期,黄蕴慧和顾雄飞在湖南临武县香花岭矿区研究工作中,同时注意到该矿区花岗岩中含锂云母成分复杂,并且与成矿作用有明显联系(黄蕴慧等,1965;顾雄飞等,1973)。

70年代,顾雄飞对东南花岗岩区云母矿物的初步总结(顾雄飞,1981),引起国内矿物学工作者较大兴趣。80年代前期,各刊物发表的几篇以云母为专题的论文多半与顾雄飞的工作直接关联(孙世华等,1984;钱汉东等,1985;陈图华等,1986)。另一些有关云母的论著或是对一重要矿区做了深入细致的研究(黄蕴慧等,1985),或是用另外的学术观点进行区域性综合研究(杨文金等,1986)。到了80年代后期,国内有关云母的论著日益增多,不一一枚举(详见附表1所引用的文献)。本书乃是在顾雄飞70年代工作基础上博采十几年来国内各项云母工作成果的一个综述,只是较侧重于云母地球化学与花岗岩成矿作用的关系。

第二节 真云母的晶体结构

云母晶体的基本结构在50年代已经查明(Smith et al., 1956),而云母晶体的多型现象直到近年还在深入研究(Abbott and Burnham, 1988)。

一、真云母晶体构造层和结构参数

真云母晶体的基本结构是在两个相同的硅氧四面体($[(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4]$)网层之间夹一个呈八面体配位的阳离子层(以白云母为例)。每个硅氧四面体的三个角顶与别的四面体相连成为六方网层,而该种四面体的第四个角顶(即活性氧)皆朝向一边。两层六方网层的活性氧的指向相对,并沿 $[100]$ 方向位移 $a/3$ (约 $1.7\text{\AA}$),使两层活性氧和同一平面上的附加阴离子(OH)呈最紧密堆积[而且(OH)位于六方网层的中央位置];其间所形成的八面体空隙为Y组阳离子($\text{Al}^{3+}, \text{Ti}^{4+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Li}^{+}, \text{Mn}^{2+}$)所充填。这样便构成了由两层六方网层和夹于其间的一层八面体层组成的结构层,称为云母结构层。在白云母的六方网层中的 Si^{4+} 有四分之一被 Al^{3+} 所代替,整个云母结构层内便出现剩余电荷,因而要求在云母结构层之间有较大的阳离子($\text{K}^{+}, \text{Na}^{+}, \text{Ca}^{2+}, \text{Rb}^{+}, \text{Cs}^{+}$)存在以平衡电荷。图1-1a表现云母结构层的切面,并朝Y轴方向投影;图1-1b则稍偏角度以表现活性氧与附加阴离子(OH)在同一层位。

根据云母结构层内的八面体阳离子层的阳离子价态的填充数量,可将云母划分为二八面体型和三八面体型:由三价阳离子($\text{Al}, \text{Fe}^{3+}$)充填八面体空隙的 $2/3$ 者为典型的二八面体型云母(如白云母、钒云母、钠云母);由二价阳离子($\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}$)填满全部八面体空隙者为典型的三八面体型云母(黑云母、金云母)。一部分富含锂的云母介于二八面体型与三八面体型之间,可称为过渡型。

云母晶格中,特别是八面体层中阳离子种类较多,大小不同,可能引起硅氧四面体相互不规则转动(Zussman, 1979)。图1-2展示三八面体型云母结构层各层位中各种阳离子的相对大小。

总之,云母结构层[或称云母“夹心饼干”(sandwiches)]被大阳离子 K^{+} 所分隔。但

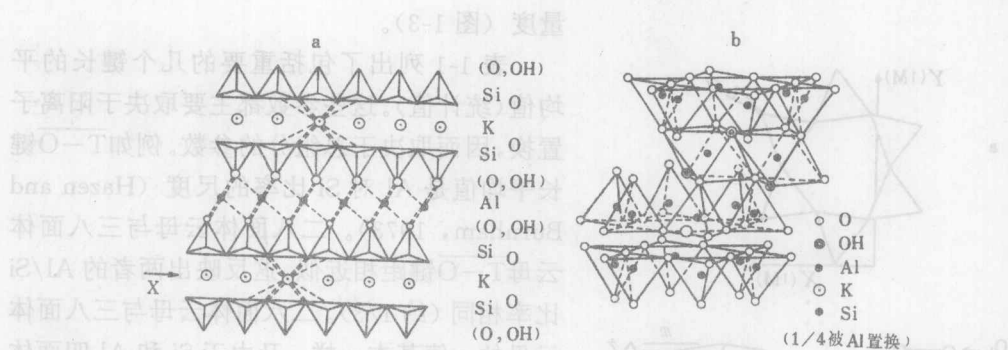


图 1-1a 云母结构层切面图 图 1-1b 云母结构层斜切面图

(Smith et al., 1956)

(转引自《系统矿物学》)

说明：往 y 轴方向投影，示六方网层与阳离子八面体层

(Al, Fe³⁺) 及云母结构层间大阳离子层排列

表示活性氧与附加阴离子的排布

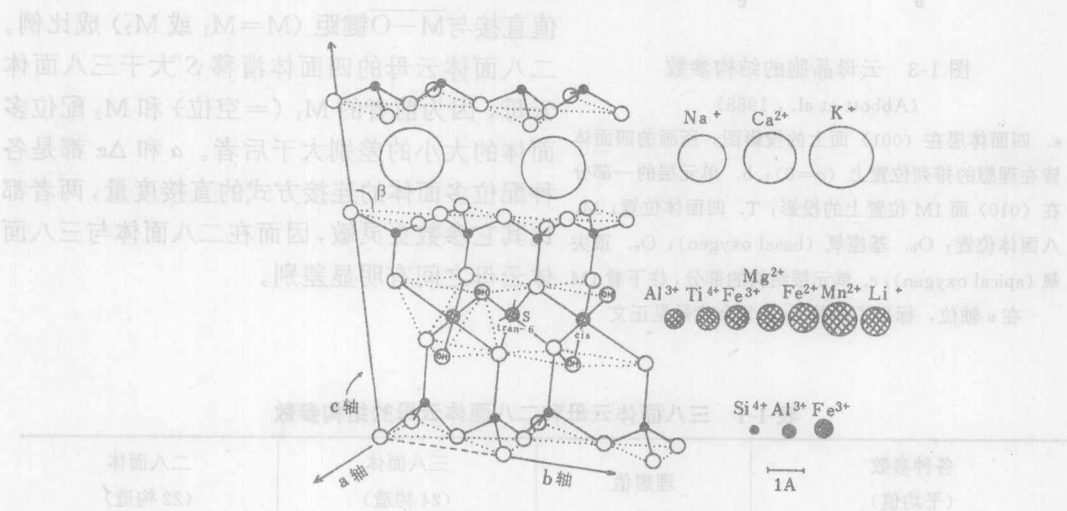


图 1-2 三八面体型云母结构层及离子大小

(Dyar, 1987)

cis. 顺向占位 M₂; trans. 逆向占位 M₁

应当注意到，直接位于每个钾层之上或钾层之下的硅氧四面体都是直接对齐的，没有位移。相反，“夹心饼干”的两半，即以活性氧相互对指着的 (Si, Al) — O 层，由于其间铝的配位而必然会出现互相移位，各种移位方式便导致云母族矿物的各种多型。Mauguin (1928) 最早指出这种多型。

云母的晶胞参数除了晶胞大小 a_0 、 b_0 、 c_0 和 β 角外，还有以下各种结构参数：①四面体转角 α ($0^\circ < \alpha < 30^\circ$)；② $O_b - T - O_a$ 键角 τ (O_b 为硅氧四面体的底座氧， O_a 为其顶氧， τ 的理想值 $\tau_1 = 109^\circ 28'$)；③八面体的扁平化角度 ψ (理想值 $\psi_1 = 54^\circ 44'$)；④层间四面体位移 S (近于 $0.333 \text{ \AA}$)；⑤硅氧四面体底座氧偏离底面的量度 $\Delta z = [z(O_b)_{\max} - z(O_b)_{\min}] \cdot [\cos \beta]$ ($0 \text{ \AA} < \Delta z < 0.35 \text{ \AA}$)； Δz 为底座氧构成的层面的波纹程度的大小

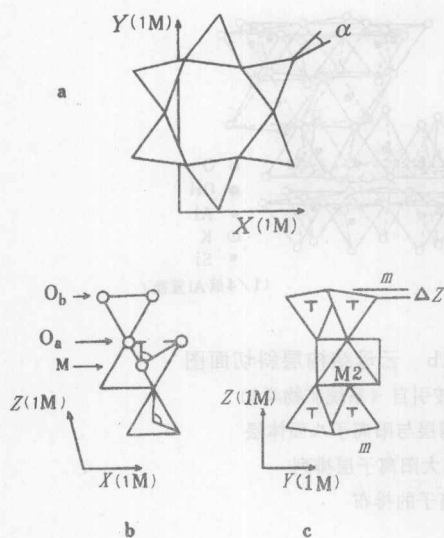


图 1-3 云母晶胞的结构参数

(Abbott et al., 1988)

a. 四面体层在(001)面上的投影图, 所画的四面体皆在理想的排列位置上($\alpha=0$); b. 单元层的一部分在(010)面1M位置上的投影; T. 四面体位置; M. 八面体位置; O_b . 基座氧(basal oxygen); O_a . 顶尖氧(apical oxygen); c. 单元层结构的部分, 往下看1M在a轴位, 标出了参数 Δz ; 其余代号见正文

量度(图1-3)。

表1-1列出了包括重要的几个键长的平均值(统计值)。这些参数都主要取决于阳离子置换, 因而取决于总组分的参数。例如 $\overline{T-O}$ 键长平均值是Al对Si比率的尺度(Hazen and Burnham, 1973)。二八面体云母与三八面体云母 $\overline{T-O}$ 键距相近似, 这反映出两者的Al/Si比率相同(约1/3)。二八面体云母与三八面体云母的 τ 值基本一样, 乃由于Si和Al四面体内在的刚性和不可压缩性。二八面体云母与三八面体云母 $\overline{M-O}$ 键长平均值是不同的, 但这不过是反映了共同的M离子置换的大小: 二八面体云母的 $M_2=Al$ 和 M_1 为空位, 而三八面体云母的 $M_1=M_2=Mg$ 或 Fe^{2+} 。 ψ 的平均值直接与 $\overline{M-O}$ 键距($M=M_1$ 或 M_2)成比例。二八面体云母的四面体滑移 S 大于三八面体云母, 因为前者的 M_1 (=空位)和 M_2 配位多面体的大小的差别大于后者。 α 和 Δz 都是各种配位多面体的连接方式的直接度量, 两者都比其它参数更灵敏, 因而在二八面体与三八面体云母之间有明显差别。

表 1-1 三八面体云母和二八面体云母的结构参数

各种参数 (平均值)	理想值	三八面体 (24 构造)	二八面体 (22 构造)
$\overline{T-O}$ (Å)	—	1.66 (0.01)	1.64 (0.02)
τ (°)	109.5	110.5° (0.5)	111.0° (0.8)
$\overline{M_1-O}$ (Å)	—	2.08 (0.02)	2.21 (0.06)
ψ (M_1) (°)	54.75	58.9° (0.6)	61° (1)
$\overline{M_2-O}$ (Å)	—	2.08 (0.02)	1.95 (0.04)
ψ (M_2) (°)	54.75	58.8° (0.6)	57.0° (0.4)
α (°)	0	6 (3)	11 (4)
Δz (Å)	0	0.02 (0.02)	0.18 (0.06)
S	0.333	0.333 (0.004)	0.37 (0.01)

注: 此表仅指不含锂的云母; 括弧内数字为标准差。

二、云母的多型

在云母结构层中,由于上、下两个六方网层之间的阳离子八面体层中阳离子 Al^{3+} 、 Ti^{4+} 、 Fe^{3+} 等等的配位不同而导致上、下六方网层之间发生有规则的位移,便构成了云母的多型。Smith 和 Yoder (1956) 推导出六种简单的位移,即六种可能的多型: 1M 、 2M_1 、 2M_2 、 2O_r 、 3T 和 6H , 后经 Bailey (1980) 做了修订 (图 1-4)。这里 M、O、T 和 H 分别表示单斜、斜方、三方和六方晶系; 这些英文字母前边的数字 1、2、3 和 6 表示周期性重复的层数; 其右下角码 1 和 2 用于区别晶系相同和重复层数相同但在堆积方式上不同的多型。天然的真云母已知存在四种多型 (1M 、 2M_1 、 2M_2 和 3T), 第五种多型 2O_r 只见于脆云母; 只有 6H 型尚无实例。二八面体云母和三八面体云母都有无序堆积, 称为 1M_d 型, 但多见于三八面体云母中。有些云母中 2M_1 型的 X 射线的特征衍射线和 1M 型的特征衍射线同时出现, 即 $2\text{M}_1+1\text{M}$ 型。

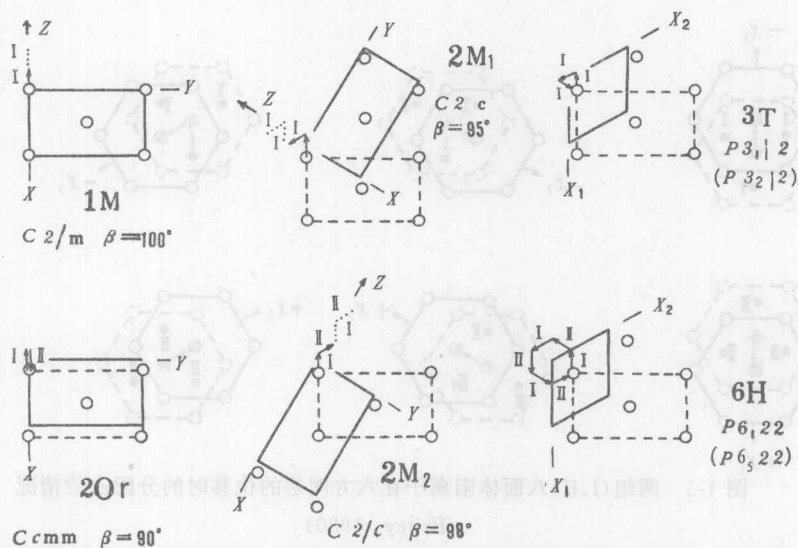


图 1-4 六种理想的云母多型的推导

(Smith et al., 1956; 后经 Bailey, 1980 年修订)

说明: 合成的单位晶胞 (实线) 的基底可以符合或不符合

第一层所用的定位晶胞 (虚线)

图 1-4 中八面体阳离子的两组占位方式(I 和 II)在 $[(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4]$ 六方网层中的分布情况见图 1-5。由 X 组离子层(大离子 K, Na)所连接的相邻两个六方网层的各离子的位置是相互对应的。这样的一套三层结构层与向上或向下邻接的同一种三层结构之间位移方向可以成 0° 、 60° 、 120° 、 180° 、 240° 和 300° 等六种角度, 从而形成云母的上述六种多型。

各种天然云母出现的多型见表 1-2。该表中, 为国外学者常用的 lepidolite 一词包括了本书云母分类中的含锂最高的“锂云母”(polyolithionite——多硅锂云母)和“白锂云母”(paucilithionite——钾锂云母, 或是 trilithionite——三锂云母)。故本书将含锂最高者称

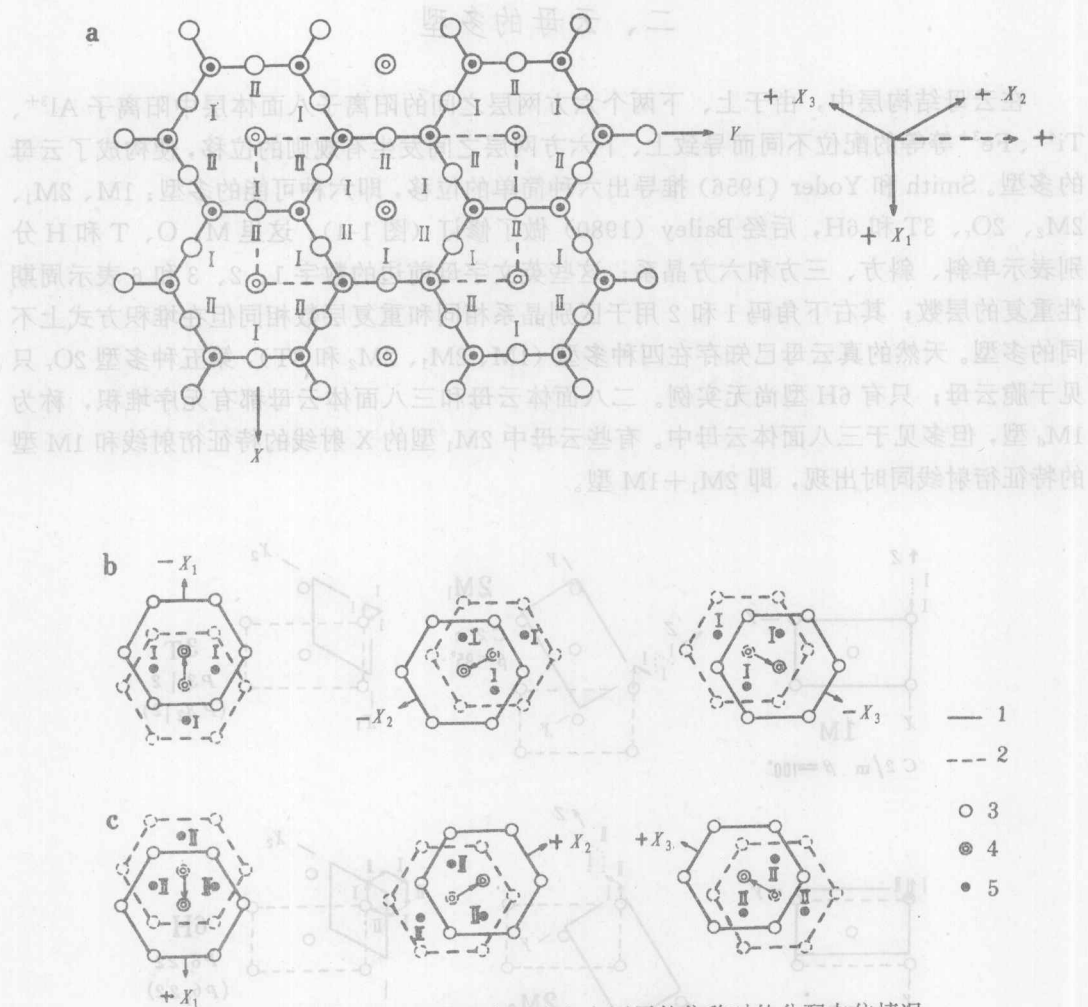


图 1-5 两组(I、II)八面体阳离子在六方网层的位移时的分配占位情况
(Bailey, 1980)

- a. 在一个四面体的六方网上的八面体阳离子位置的 I 组占位和 II 组占位, 相对于六方轴的位置, 2:1 层;
b. 八面体阳离子 I 组占位的层间位移三个可能的方向; c. 八面体阳离子 II 组占位层间位移的三个可能的方向。
1. 上四面体层; 2. 下四面体层; 3. 氧; 4. 氢; 5. 八面体阳离子

“锂云母”, 其多型据 Zussman J(1979), 其化学式据 Hey(1955)。花岗岩中真云母类晶胞大小见表 1-3。

表 1-2 各种云母的多型

(Bailey, 1980)

类型	云 母 名 称		常见的多型	中等情况	少见的
三八面体云母类	金云母	phlogopite	1M, 1Md	3T	2M ₁
	黑云母	biotite	1M, 1Md	3T	2M ₁
	铁云母	annite	1M		
	铁叶云母	siderophyllite	1M		

续表 1-2

类型	云 母 名 称		常见的多型	中等情况	少见的
三八面体云母类	“铁黑云母”	lepidomelane	1M, 2M ₂	3T	2M ₁
	铁锂云母	zinnwaldite	1M, 1M _d	2M ₁ , 3T	
	带云母	taeniolite	1M, 3T	2M ₁	
	锂云母	lepidolite	1M, 2M ₂	3T	2M ₁
	钠锂云母	ephesite	2M ₁		
	铀云母	hendricksite	1M	2M ₁	3T
	锰金云母	manganian phlogopite	1M	2M ₁	
二八面体云母类	白云母	muscovite	2M ₁	1M, 1M _d	3T
	钠云母	paragonite	2M ₁	1M	
	锂白云母	lithian muscovite	2M ₁		
	钡白云母	Ba-muscovite	1M		
	锰白云母	manganian muscovite	1M		
	钒云母	roscoelite	1M		
	钽钒云母	chernykhite	2M ₁		
	伊利石	illite	2M ₁ , 1M _d , 1M		
	多硅白云母	phengite	1M, 1M _d , 3T	2M ₁	
	淡云母	alurgite	2M ₁ , 3T		
	铬硅云母	mariposite	2M ₁ , 1M		
	海绿石	glauconite	1M, 1M _d		
	绿鳞石	celadonite	1M, 1M _d		

表 1-3 真云母类各种结构型的晶胞大小

(Bailey, 1980)

云母种类	多型	空间群	a(Å)	b(Å)	c(Å)	β(°)
三八面体型云母	1M	c2/m	5.33	9.24	10.22	100
白云母	2M ₁	c2/c	5.19	9.00	20.00	95.7
白云母	3T	p3 ₁ 2	5.196	5.196	29.970	120
锂云母	1M	c2/m	5.20	9.00	10.06	100
锂云母	2M ₂	c2/c	9.04	5.21	20.18	99.67
锂云母	3T	p3 ₁ 2	5.200	5.200	29.76	120
铁锂云母	1M	c2	5.296	9.140	10.096	100.8

在大多数云母种属中,云母结构层内的四面体成员重复的距离大于八面体成员,这时它们相互间是松脱自由的。而当它们连接在一起时,各成员层相互对位不准确现象就被四面体成员偏离理想位置的转动所减缓(图 1-6)。通常,对位不准的程度越大,转角 α 也越大;Radoslovich 和 Norrish(1962)提出它的定量关系式为:

$$\cos \alpha = b_{\text{obs}} / (9.051 + 0.254N)$$

这里 N 为在四个四面体位置的铝的原子数。还有另一种计算式(Donnay et al., 1964):

$$\cos \alpha = b_{\text{obs}} / 4 \sqrt{2} dt$$

这里 dt 为平均四面体键长。各种云母的四面体转角如下:锂云母 3°—7°;金云母 6°—7°;铁云母 2°;绿鳞石 2°;多硅白云母 6°—11°;白云母 13°;钠云母 16°;钙云母 22°;钽铁镁云母 3°。

在具有由“Si₃Al”组成四面体的三八面体型钾质云母系列中,转角 α 值随着八面体阳

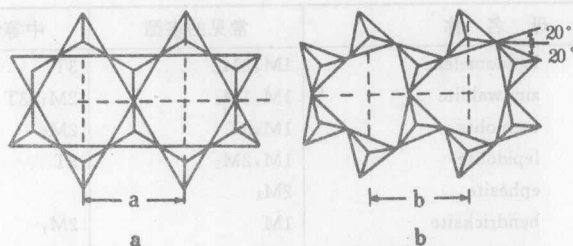


图 1-6 云母结构层中硅氧四面体转动图

(McCauley and Newnham, 1973)

a. 理想的由四面体构成的六角环; b. 转动 20° 产生的由四面体构成的双三角环

离子半径的增大而减小(图 1-7)。沿着此图的曲线向外推延,当八面体层中阳离子半径 $R_2 \simeq 0.76 \text{ \AA}$ 时, $\alpha = 0$ 。这意味着此云母系列中若八面体层某阳离子半径大于 $0.76 \text{ \AA}$ 时,就不会稳定。金云母-铁云母系列的纯 Fe^{2+} 端员恰在此理论限界之外;而锰端员就不会稳定,因为 R_{Mn} 大大地高于以上预测值。

第三节 云母矿物结晶化学

云母族矿物理想的结晶化学式可以写成:



此式中 Z 项为四面体层的阳离子,主要是 Si 和 Al^{IV} , 通常情况下 $\text{Si} : \text{Al}^{\text{IV}}$ 为 $3 : 1$; 一般认为,若 Al 较少,可依次补充 Fe^{3+} 和 Ti。式中 Y 项为八面体层的阳离子,主要是 Mg、 Fe^{2+} 、 Al^{VI} 和 Li, 可以含少量 Ti、V、Cr、Mn、Zn、Ni, 偶而可含 Ca。式中 X 项为云母的结构层之间的大阳离子,主要是 K、Na 和 Ca, 可以含 Rb、Cs、Sr 和 Ba。

三八面体云母矿物的穆斯堡尔谱研究表明,在四面体层中 Al^{3+} 和 Fe^{3+} 都可以置换 Si^{4+} ; 并得知四面体中 Al^{IV} 和 Fe^{IV} 对 Si^{4+} 的置换可能受八面体层中阳离子大小的影响,而且 Al^{IV} 与 Fe^{3+} 的相关程度很高(相关系数 $R = 0.97$)。此外,层间阳离子 Ca 与 K 高度相关($R = -0.96$) (Dyar, 1987)。也有报道,在合成的云母中 Mg 和 Mn 也可以置换四面体中的 Si (Seifert and Schreyer, 1971), 只是,本书所搜集到的花岗岩中云母分析样品中尚

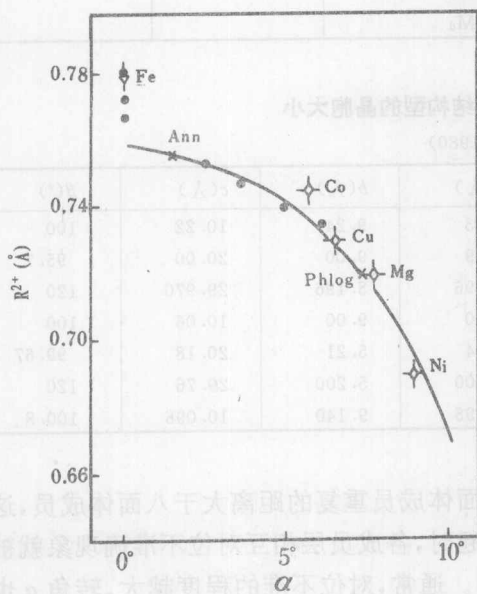


图 1-7 三八面体云母分子式为 $\text{KR}_3^{2+}\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$

$(\text{OH})_2$ 时,八面体层中阳离子 R^{2+} 的离子半径与

“ AlSi_3 ”-O 四面体转角关系图

(Hazen and Burnham, 1973)

× 由 Hazen and Burnham (1973) 测定值; —○— 合成云

母的预测值 (Hazen and Wones, 1972); • 金云母 (phlog)-铁云母 (Ann) 连线上合成的黑云母的预测值

(Wones, 1963)