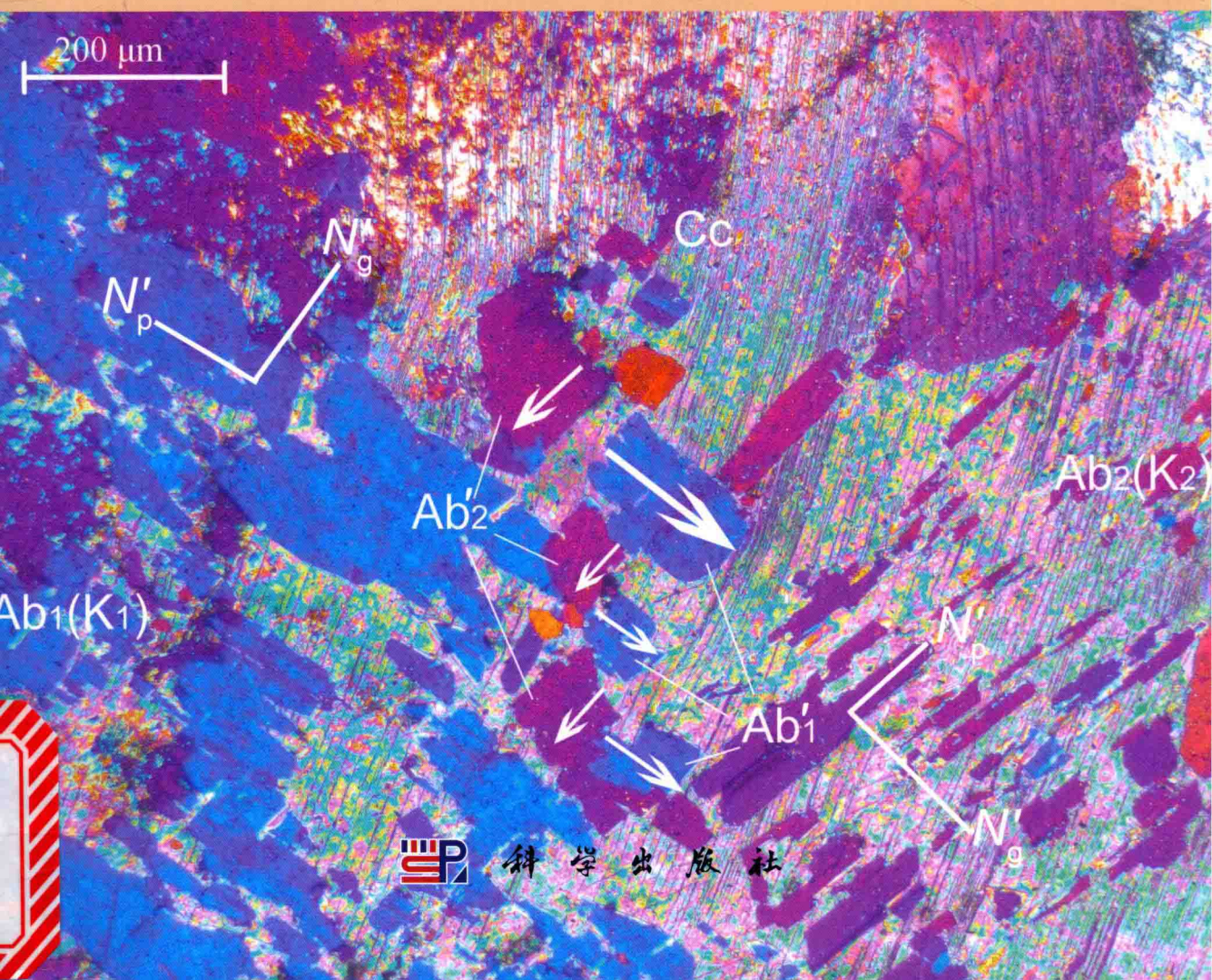




论花岗岩交代结构

——来自岩相学的证据

戎嘉树 王凤岗 著



国家科学技术学术著作出版基金资助出版

论花岗岩交代结构

——来自岩相学的证据

戎嘉树 王凤岗 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

花岗岩中的交代结构不是杂乱无章的,而是有规律的。按交代矿物和被交代矿物结晶方位的异同,作者首次提出将交代结构分为“异方位交代”及“同方位交代”两种类型。钾长石的异方位钠长石交代和同方位钠长石交代很不一样,尽管都称它们为钾长石的钠长石化。它们是分别发生的,没有过渡,形成条件应该不同。对常见的净边钠长石、粒间钠长石、细小叶片状钠长石、钾长石化、石英化、绿泥石化、白云母化、绿柱石化、蠕英石、条纹钠长石、钾长石巨斑晶等的成因以及多次交代的先后顺序进行了探讨和解释。书中配有大量正交偏光下加上石英试板拍摄的彩色显微照片,使相关矿物晶体方位与交代现象、交代规律之间的关系更加清晰、明了。

本书的出版将有利于丰富和发展岩浆岩和变质岩的岩石学研究。对从事矿物学、岩石学、矿床学研究的地质专业人员、教师、大学生和研究生有学术指导价值。

图书在版编目(CIP)数据

论花岗岩交代结构:来自岩相学的证据 / 戎嘉树,王凤岗著. —北京:科学出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-03-051541-4

I. ①论… II. ①戎… ②王… III. ①花岗岩-岩石结构-研究 IV. ①P588. 12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 012566 号

责任编辑:王 运 韩 鹏 / 责任校对:何艳萍

责任印制:张 伟 / 封面设计:铭轩堂

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 1 月第一次印刷 印张:6 插页:23

字数:150 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



序 1

《论花岗岩交代结构——来自岩相学的证据》是以花岗岩中所见的各种矿物之间的交代现象为重点研究内容的一本交代结构图册。与当代国内外已出版的花岗岩结构图册相比,更加突出了各种矿物交代结构的现象和机理的论述,弥补了前者的不足。从钾、钠为主的交代现象,扩展到了黑云母、石英、方解石、磷灰石等多种矿物的交代,矿物交代范围更加广泛而多样。各种交代现象都配有清晰的彩色显微照片和说明,便于交流。

作者提出了花岗岩单矿物的异方位交代型和同方位交代型两种类型,是一种新的尝试,也是一种新的发展。异方位交代型包括异方位交代钠长石化(出现在斜长石与钾长石交界处,以及两颗不同方位的钾长石交界处);异方位交代钾长石化包括新钾长石交代老斜长石,以及新钾长石交代老钾长石;异方位交代黑云母化以及异方位白云母化交代钾长石等。同方位交代型主要包括斜长石(去钙长石化)同方位转化为钠长石、钾长石同方位钠长石化,以及黑云母同方位白云母化、同方位绿泥石化等。这种交代类型的划分和各种钾、钠交代过程的细化,反映了客观事实,具有重要实际意义。

该书对矿物交代的形成机理、成因假说、外来热流通道、溶解沉淀机理、离子交换(或离子转换)机制等都做了系统的阐述。蠕英石是花岗岩中最为常见的一种结构,截至目前,已有包括交代解说在内的6种成因假说,作者旁征博引,分析了各种假说的可能性和矛盾所在,最后论证认为其成因不是重结晶和出溶作用,也不是钾长石交代斜长石,而是在长石(斜长石或钾长石)的背景基础上,新生长出斜长石,交代原先已存在的(可能为原生的)钾长石,因有 SiO_2 的多余,形成含蠕状石英的蠕英石。

该书是戎嘉树研究员在退而不休的情况下,孜孜不倦地利用各种途径广泛收集资料,精心编制而成,在编写过程中还曾得到美国著名岩石学家 Collins 教授的支持和帮助。他在花岗岩交代结构的研究中所得到的认识和判断,是反映实际的,但是否完全符合客观实际,就需要实践的检验和同行们进行广泛评论了。有些交代现象可能存在不同观点,需要进一步讨论和再深入研究,使问题得到科学合理的解释。

花岗岩交代结构的研究对岩浆岩岩相学的研究是很大的补充,对花岗岩形成机理的研究极有参考价值,建议尽快出版,在国内外广泛交流,以推动花岗岩交代作用的研究向更深层次发展。

沈其韩

2015年5月于中国地质科学院

序 2

戎嘉树研究员和他的团队积多年辛勤研究工作的成果，写成《论花岗岩交代结构——来自岩相学的证据》专著。该书内容丰富，图件精美，所介绍的现象都是从事花岗岩、片麻岩鉴定的人所习见的，加之作者文笔很好，所以读来引人入胜。

该专著有许多具有创见性的论述。其中最主要的是根据作者多年的观察，指出研究花岗岩矿物的交代，应区分“同方位交代”和“异方位交代”两种类型，这一观点提高了我们对交代作用的认知水平，对于显微镜下所遇到的结构现象，也会有更深入的理解。

过去我在教学科研中，对于花岗岩矿物交代现象，没有建立起“异方位交代”“同方位交代”的概念，所以对一些现象，不求甚解。比如同是包裹在钾长石斑晶内的不同颗粒斜长石，有的有净边，有的却没有。因为没有考虑主晶钾长石和客晶斜长石在结晶方位上的差异，所以就不知如何解释，读了该专著，我豁然开朗，得到很大帮助。

该专著涉及的现象很多，除了净边，还涉及蠕英石、条纹、反条纹长石等，特别是交代作用过程的历史分析法，对全面深入研究花岗岩形成后发生的多次交代作用的叠加，以及探讨花岗岩中稀有金属矿化与交代作用的关系，提供了新见解。

蠕英石的发现，迄今已近 140 年。国内外许多学者都在讨论蠕英石的成因，提出了不同的成因假说。该专著列举实际材料说明蠕英石多出现在斜长石与不同方位钾长石交界的边部，而且还可出现在两颗钾长石交界边上，形成（对错生长）两排或两块。作者还发现蠕英石中确实有（尽管很少有）不改变方位的条纹钠长石残留、甚至还有钾长石的残留体存在。这些证据有力地支持了蠕英石的异方位交代成因说，从而深化了对蠕英石成因的认识。

弥足珍贵的是，该书对前人的一些观点，进行了科学的分析，提出了自己的见解。这为后人继续在这方面工作树立了榜样，也指明了继续前进的方向。例如对条纹长石的成因、正斑晶与变斑晶的区别等花岗岩中争议较多的问题，都提出切合实际的见解。再如对黑云母绿泥石化的成因的分析就引用了高精度透射电镜图像观察资料，指出绿泥石化的两种机理，令人信服。斜长石是否可能同方位被钾长石交代，是一个未解决的问题，为说明此问题，引用了 Labotka (2004) 发表的实验资料，虽然结论尚有待证实，但却带来解决的新途径。

总的看来，作者为我们全面地展示了花岗岩交代结构的现象学特征，并对这些现象给予系统细致的分析，做出精辟的解释，引导我们从现象中去深入研究问题的本质。该书是一本很有价值的岩石学专著，对于从事岩矿鉴定及花岗岩有关岩石研究的人员有实际参考意义。

花岗岩的成因，历来是地质学中一个令人困惑的永恒话题。花岗岩中交代结构，恰恰

是解开成因之谜的钥匙之一。据我所知，现代关于混合岩成因的认识，也是以重熔作用为主流认识。所以该项成果不仅对从事花岗岩研究的有意义，对从事变质岩研究的，同样有很高的参考价值。

游振东

2015年6月于中国地质大学（武汉）

序 3

嘉树研究员是我院资深并有突出贡献的岩石学家。自从 20 世纪 70 年代以来,他在华南花岗岩铀矿田(诸广、贵东、桃山、会昌、金滩、摩天岭等)岩石学研究、诱发裂变径迹方法开发、全国三百多个花岗岩体中晶质铀矿普查,以及红石泉、丹凤伟晶花岗岩型铀矿床和后来的地幔岩捕虏体岩石学研究(自然科学基金项目)中,做出了重要的科研成果。他有雄厚的光性矿物学和矿物晶体学的功底,并且又有多年野外岩体地质考察的经验,遂使他得出学界未曾见及的新发现,现举例如下。

(1) 对于花岗岩中的交代现象,划分为异方位交代和同方位交代两种类型(大部分属于异方位交代类型)。异方位交代最容易交代的是钾长石,如钠长石化、石英化、白云母化、绿柱石化等,属溶解-沉淀机理。同方位交代,如黑云母的绿泥石化、白云母化,属离子交换机理。而斜长石和钾长石的同方位钠长石化的形成机理,还有待研究探讨。

(2) 异方位交代不是随意进行的,既要有交代对象,也要有结晶核心。当岩石中有同类矿物存在时,异方位交代矿物必以其同类矿物为其生长基础(为其结晶核心),向旁侧易被交代的矿物交代生长出与其背后贴靠的同类矿物结晶方位一致的交代矿物。而当岩石中没有同类矿物存在又必须发生交代生长时,才会以杂质作为生长基础(结晶核心),发生交代生长。

(3) 同方位钠长石化,斜长石很容易发生,而钾长石则很不容易发生。但一旦钾长石发生同方位钠长石化时,则进展迅速、彻底,往往不易见到过渡现象。

(4) 虽然钾长石同方位钠长石化形成的钠长石与条纹钠长石属同一方位,但它们的形态、产状不同,有可能加以区分。

(5) 他发现,异方位钠长石化强烈的(强烈交代了钾长石),并未促使钾长石也发生同方位钠长石化;而后来有的岩石中的钾长石遭遇了强烈的同方位钠长石化的(使钾长石彻底地转化为同方位的钠长石),然而钾长石的异方位钠长石化却没有得到增强。这说明这两种钠长石化不仅是分别独立进行的,而且它们的形成条件和环境是很不相同的(尽管都泛称为钾长石的钠长石化)。所以,把它们区分开来,显然是必要的。

(6) 在矿物晶体中存在有周围矿物的多个残粒,且其结晶方位彼此仍保持一致未变的,这表明这个矿物是在全岩保持固体状态下(已不再存在岩浆),交代了周围矿物所形成的新生矿物。这在正交偏光下加石英试板观察,容易察觉出来。

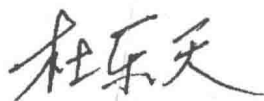
(7) 锂氟花岗岩中的细小叶片状钠长石不是以“杂乱无章”的方式交代形成,而属原生成因。

(8) 蠕英石为含钙的钠质热液交代钾长石而形成的新生的斜长石,由于钾长石所含的 SiO_2 总比新形成的斜长石所需要的 SiO_2 高,多余的 SiO_2 成分析出形成蠕虫状石英。

此外，他还得出一些倾向性结论，例如：①碱性长石（无论钠长石还是钾长石）都不交代或不会交代石英；②钠长石交代生长的能力，与岩浆状态下结晶的相似，为沿 a 、 c 轴明显大于沿 b 轴；③钾长石中的条纹钠长石主要不是交代作用形成，而是固溶体分离或同时结晶形成；④钾长石和钠长石连生的自形晶不是交代成因而是原生的；⑤钾长石大斑晶非交代成因而主要是原生的正斑晶或其残留晶，即使其中确实有钾长石局部交代斜长石的现象；⑥依据交代生长规律，有可能查明矿物多次交代叠加的先后顺序等。

以上是本人不成熟的理解。相信书中还会有许多有价值的结果被读者发现。

总之，该书是嘉树毕生对花岗岩交代现象研究成果的综合，堪称为高水平的学术专著，很值得中、英文公开出版，以飨读者。



2015 年 7 月于核工业北京铀矿地质研究院

前 言

花岗岩浆结晶成岩后,随着温度缓慢下降,加上与岩体内残余流体的作用,已经晶出的矿物会发生一些成分和结构上的变化。无论是超溶线的碱性长石花岗岩,还是亚溶线的正常花岗岩、花岗闪长岩等,碱性长石会析出钠长石,形成条纹长石,而原先的正长石会向微斜长石转化,甚至彻底变为微斜长石。斜长石也会向低温态转化。这些都是在固相线下(约500℃)发生的变化,岩石的总成分保持不变,都不属于交代作用所致。

但是花岗岩类岩石形成后,或者与成岩相隔很近的残余流体(温度也在固相线下),或者与成岩时间相隔很久有一些深部上来的热液流体渗入,使某些原生矿物不稳定而发生溶解或变化,较稳定的新生矿物随即在此(溶解或变化之处)形成,从而使岩石的部分矿物成分改变,岩石的结构也发生了变化,这就属于交代作用了。

林格仑(Lindgren, 1925)认为交代作用发生时,被交代矿物刚一发生溶解,等体积的交代矿物就立即在那儿沉淀结晶出来,因此交代矿物与被交代矿物的体积相等。在交代过程中,溶解-沉淀结合得如此紧密,即使在显微镜下观察也不见有空间孔隙存在。

普特尼斯(Putnis, 2002)认为离子交换、岩浆期后蚀变、假象交代、化学风化、成岩作用和变质作用等都涉及矿物的交代现象。矿物交代现象的共同的特征是一种矿物被另一种更稳定的矿物所替代。

此外,在新的物理化学环境下,旧矿物被外来的气液通过离子交换就地改造,局部或全部转变为新矿物,这里没有经历旧矿物逐渐溶解、新矿物逐渐形成的过程,这种矿物成分的变化也应该是一种交代作用的结果。

于是普遍认为交代作用过程应具有三个特点:

(1) 交代过程中整个岩石保持固体状态。

(2) 被交代矿物的溶解或改变(改造、质变、转化)和交代矿物的形成或结晶,几乎是同时进行的。

(3) 被溶解或改变(改造、质变、转化)的原矿物和新形成及结晶的新矿物的体积一致。即交代后,岩石体积保持不变^①。

通常,交代作用和现象也常用“化”字来表示。原生甲矿物被(或遭受)新生乙矿物交代,称甲矿物被(或遭受)乙矿物“化”。例如,钾长石被钠长石交代,称钾长石被钠长石化;黑云母被绿泥石交代,称黑云母被绿泥石化;钾长石被石英交代,称钾长石被

^① 另有一种观点为“不等体积交代”,认为大规模交代过程中,在大量加入 K_2O , Na_2O , SiO_2 时,不带出相应数量的 CaO , MgO , FeO , Fe_2O_3 ,致使地槽或拗陷沉积岩体积膨胀隆起,形成大体积的富碱的酸性花岗岩体(南京大学地质系, 1981)。

石英化等。矿物交代的程度,即“化”的程度,大体上常用微弱、中等、强烈、彻底等几个等级进行描述。

如果原矿物先被溶解掉一部分,出现了一个自由空间,之后再结晶出新矿物,严格说就不能算作交代,而应属于充填。

交代概念与岩浆结晶过程中形成矿物时发生的类质同象替换的概念有质的不同。交代作用造成的现象有时与两种矿物结晶时达到共结线而发生同时结晶现象相似。交代现象也容易与有的矿物在成岩后发生固溶体分离(出溶作用)现象相混淆。

交代作用的关键证据是在交代矿物中存在有被交代矿物的交代残留体。然而,应该把交代残留体跟同时结晶的夹裹矿物,岩浆岩中的正常包裹矿物区分开。

花岗岩是否发生过或强或弱的交代作用,是地质工作者,尤其是岩矿研究者经常会遇到的问题。例如产 Li、Be、Nb、Ta 矿化的花岗岩,与普通花岗岩的结构有很大不同,是否由强烈钠长石化所造成?花岗岩中的钾长石大斑晶主要是岩浆结晶的,还是交代形成的?这涉及花岗岩是岩浆成因还是交代成因的大问题。岩石是否遭受过某种强烈的交代作用,例如强烈的钠长石化、钾长石化或硅化。作者认为可以通过显微镜下仔细观察,在判别交代现象的基础上,查明和弄清这些问题。

有关各种岩浆岩、变质岩的典型结构特征在教科书(如武汉地质学院岩石教研室,1980;贺同兴等,1980;王仁民,1989;路凤香等,2002;梅森,2007等)中和岩石结构构造图册和鉴定手册(张树业等,1982;胡受奚等,2004;常丽华等,2009;陈曼云等,2009;李子颖等,2010,2014等)中都有详细的介绍,其中也常包含或涉及一些交代结构,但对其探讨分析较少。

本书讨论的是单个新生矿物对单个原生矿物之间发生的交代现象。研究的主要素材来自中国广东台山阳江沿海一带和广东湖南交界的诸广山中新世代花岗岩杂岩体和甘肃茆岭古生代花岗岩体,以及其中发育的碱交代岩。在数以百计薄片观察的基础上,依据交代矿物和被交代矿物的方位的异同,作者认为交代结构主要应分为两类:异方位交代型和同方位交代型。钾长石的异方位钠长石化与钾长石的同方位钠长石化是很不相同的,它们是分别发生的,没有过渡。它们的形成条件必然彼此不同,尽管都被笼统地称为钾长石的钠长石化。

本书对净边钠长石、粒间钠长石、细小叶片状钠长石、钾长石化、石英化、绿泥石化、绿柱石化、蠕英石、条纹钠长石、反条纹长石、钾长石巨晶等的形成原因,对交代机理以及多次交代现象的分辨,作了较详细的探讨和解释。主要是使用岩石偏光显微镜进行观察、对照和研究。至于原生矿物发生重结晶和被新生矿物集合体替代等情况比较复杂,本书未作讨论。书中所有的图都做成图版附在书末。

戎嘉树^① 王凤岗^②

2016年2月于核工业北京地质研究院

^① rongjs520@163.com; ^② wfg9818@163.com。

目 录

序 1

序 2

序 3

前言

第 1 章 花岗岩单矿物交代的两种类型	1
1.1 异方位交代型	1
1.1.1 异方位交代钠长石化	2
1.1.2 异方位交代钾长石化	5
1.1.3 异方位交代白云母化	10
1.1.4 石英化	13
1.1.5 黑鳞云母化	15
1.1.6 绿柱石化	16
1.1.7 方解石化	16
1.1.8 黄铁矿化	17
1.2 同方位交代型	17
1.2.1 黑云母转化为白云母	17
1.2.2 黑云母转化为绿泥石	17
1.2.3 斜长石（去钙长石化）转化为钠长石	18
1.2.4 钾长石同方位钠长石化转化为钠长石	18
1.2.5 氯磷灰石同方位磷灰石化转化为羟氟磷灰石	21
第 2 章 矿物交代形成机理	23
2.1 外来气液的通道	23
2.2 溶解-沉淀机理	24
2.2.1 矿物被异方位交代有难易之分	25
2.2.2 异方位交代生长的矿物需要有结晶生长基础或结晶中心	26
2.2.3 对异方位交代钠长石化的理解	26
2.3 离子交换（或离子层替换）机理	28
2.4 长石矿物的同方位交代	29
2.4.1 斜长石同方位钠长石化	29
2.4.2 钾长石同方位钠长石化	29

2.5	同方位交代长石中出现显微空洞 (微孔)	30
2.6	两种交代类型的关系	31
2.6.1	黑云母的白云母化	32
2.6.2	钾长石的钠长石化	32
2.6.3	斜长石的钠长石化	33
第3章	应用这两种交代类型探讨花岗岩矿物结构成因	35
3.1	细小叶片状钠长石成因	35
3.1.1	交代成因假说	35
3.1.2	岩浆成因假说	36
3.2	蠕英石的成因	37
3.2.1	蠕英石成因假说	38
3.2.2	蠕英石成因讨论	39
3.3	条纹长石的成因	42
3.3.1	条纹钠长石的含量	43
3.3.2	条纹钠长石的形态	43
3.3.3	条纹钠长石成因假说	44
3.3.4	长石中见含定向排列的长棒状包裹晶	48
3.3.5	条纹钠长石的成因讨论	49
3.3.6	反条纹长石成因	50
3.4	钾长石变斑晶与正斑晶的识别	50
3.4.1	变斑晶成因说	51
3.4.2	岩浆结晶成因说	53
3.5	交代作用的历史	54
3.5.1	先形成对错交代钠长石化, 后发生石英化	54
3.5.2	先发生对错交代钠长石化, 后发生绿柱石化	55
3.5.3	三次异方位交代 (早钠长石化, 后钾长石化, 晚钠长石化)	55
3.5.4	黑云母异方位白云母化, 同方位绿泥石化	56
3.5.5	异方位钠长石化、黑鳞云母化、白云母化和石英化	56
3.6	碱交代岩中多次交代作用的先后顺序	57
3.6.1	同方位钠长化 (发生在早期异方位钠长石化之后)	58
3.6.2	方解石化 (交代石英和钾长石) (晚于同方位钠长石化)	58
3.6.3	晚期净边钠长石化 (交代方解石)	60
3.6.4	钠长石微脉及脉壁纯净钠长石化 (交代方解石)	61
3.6.5	晚期石英化 (交代方解石)	61
3.6.6	晚期石英中的钠长石微脉是交代残留物	61
3.7	交代结构与非交代结构的区分	63

3.7.1 同方位的非交代结构	63
3.7.2 异方位的非交代结构	64
结束语	69
致谢	71
参考文献	72
图版及说明	

第1章 花岗岩单矿物交代的两种类型

以往在观察和论述矿物交代时，注重的是判断和确定所见到的现象是否属于交代，至于交代矿物和被交代矿物两者的结晶格架方位是一致还是不一致，却不大注意和关注。作者通过多年的观察，认为论述矿物交代时，宜按交代矿物和被交代矿物两者的结晶格架方位是否一致，分为两种交代类型：异方位交代类型和同方位交代类型。

(1) 异方位交代类型 (hetero-oriented replacement)。指交代和被交代矿物的结晶格架方位不一致。

(2) 同方位交代类型 (co-oriented replacement)。指交代和被交代矿物的结晶格架方位一致或基本一致。

不同种类的矿物，它们的结晶格架是不同的。所以异类矿物之间发生交代，必然属于异方位交代，如石英或白云母交代钾长石。

此外，还有相当多的长石类矿物和云母类片状矿物，这些同类矿物的结晶格架相同、相似或者近似。如果同类矿物之间发生交代，就会依据它们的结晶方位不相同和相同而分为异方位交代和同方位交代两种。下面分别就异方位交代型、同方位交代型进行讨论。

1.1 异方位交代型

异方位交代发生在两颗矿物交界处，其特点是：

(1) 交代生长的新生矿物（客晶）选择岩石中已有的同类矿物作为结晶中心（生长的起点或基础），向着容易被交代的矿物进行交代生长。

(2) 交代矿物的结晶格架方位，与前方被交代矿物的结晶格架方位不一致，但与其后方所贴靠的同类矿物的结晶格架方位却是一致的。

异方位交代时，交代矿物和被交代矿物可以是异类的（结晶格架不同）。也可以是同类的（结晶格架相同或类似），但它们的结晶方位必定是不一致的。如果结晶方位一致，则异方位交代现象反而不会发生。

花岗岩中的异方位交代现象主要是常见造岩矿物的交代现象，如钠长石化、钾长石化、石英化、白云母化等。这些构成花岗岩主要成分的造岩矿物在花岗岩中普遍存在，到处都有。因此，很容易以岩石中已有的造岩矿物作为生长基础或结晶中心，交代生长。

有关同方位交代的钠长石化、钾长石化和白云母化将在后面同方位交代型中叙述，现将常见的异方位交代现象分述如下。

1.1.1 异方位交代钠长石化

异方位钠长石化交代现象相当多见,尤其是在富硅、富铝的花岗岩中。一般常出现在斜长石和钾长石的交界处,或在无结晶学联系的两颗钾长石的交界处。

1.1.1.1 斜长石与钾长石交界处的异方位钠长石化

在钾长石大斑晶里常可包裹一些较小的、与钾长石具有不同结晶方位的斜长石晶粒。围绕这些斜长石晶粒周边经常有一圈薄薄的钠长石环边(图1、图2、图4)。由于这个环边钠长石干净,被称为钠长石“净边”(clear rim)(Phemister, 1926)。净边钠长石或连续或不连续,其宽度很窄,一般 $<0.1\text{mm}$ 。在偏碱、富铝、富硅的花岗岩中,钠长石净边宽度可达 $0.3\sim 0.6\text{mm}$ 。“净边钠长石与主晶斜长石(通常为奥长石)的界线清晰而平滑,但净边钠长石和钾长石的边界常不甚规则。在净边钠长石中,有时还可察觉有细小的蠕虫状石英存在”(Smith, 1974)。

钠长石净边和净边所环绕的斜长石的方位是一致的,然而,净边的号码更低,如果仔细观察,钠长石净边 Ab_1' 会比斜长石 Pl_1 边部的干涉色略高,显得更干净。

真正的钠长石净边 Ab_1' 只出现在斜长石与钾长石搭界处,而且是与不同结晶方位的钾长石交界处。如果斜长石(Pl_1)与其周围的钾长石(K)结晶方位一致(如图5),则不出现钠长石净边。钠长石净边也不出现在两、三个斜长石颗粒接触处(图1、图4)以及斜长石与石英的交界处(图2)。

有时,或许是由于斜长石本身含钙量的差异,内部含钙略高的斜长石因易发生绢云母化而显浑浊,边部含钙略低的斜长石则可保持比较干净,似乎也像是“净边”(如图9的绢云母化斜长石的干净边部),它可以平整地与原生石英 Q_1 、 Q_2 搭界。可以说,如果是与原生石英直接搭界的干净的斜长石,往往不属于“净边钠长石”,而是原生斜长石本身。

此外,斜长石较干净的边部(不是净边钠长石),可与其他矿物(如斜长石、石英)直接接触,而钠长石净边则只出现在斜长石与不同方位的钾长石的交界部位。

当钠长石净边较宽,其周围钾长石中条纹钠长石也比较发育时,净边的发育会受条纹钠长石阻挡(图1)。在净边钠长石中有时可以发现有条纹钠长石的细小残留体(图6、图8),甚至条纹钠长石像是呈细脉穿切在(实际上像天桥状残留在)净边钠长石中(图7)。作者认为,净边钠长石是异方位钠长石化交代作用(交代钾长石)形成的。

1.1.1.2 两颗不同结晶方位的钾长石粒间发生的异方位钠长石化

在多铝、富硅的浅色花岗岩中,在两颗不同结晶方位的(没有结晶学联系的)钾长条纹长石(K_1 与 K_2)交界部位,经常可以看到有一些钠长石聚集,可称之为“粒间(intergranular)钠长石”。如果在正交偏光下加上石英试板,即可察觉出它们可分为两排(Ab_1' , Ab_2')(图10~图14)。每一排钠长石都分别与其相隔的(即其背后贴靠的)钾长

石中条纹钠长石的光性方位很相近,即与该钾长石的结晶方位一致^①。如果粒间钠长石(Ab_1')直接与其相隔的钾长石中条纹钠长石(Ab_1)搭界(如图12),就难以确定它们两者之间的准确界线。但有时只发育一排,而另一排不很发育或不发育(图13)。净边钠长石和粒间钠长石都位于与钾长石交界处,它们的宽度(在同一个岩石中)相当,或差不多(图10、图11),但净边钠长石一般会比粒间钠长石的连续性较好。

对于净边钠长石和粒间钠长石的成因,曾有过以下几种推测或解释。

1. 相邻两钾长石的不混溶作用

Phemister (1926)、Tuttle (1958)、Voll (1960)、Ramberg (1962)、Phillips (1964)、Hall (1966)、Carstens (1967)、Haapala (1997)等认为原来含有钠长石组分的钾长石,由于固溶体分离(出溶或不混溶)而析出钠长石。一部分形成条纹钠长石,另一部分扩散到斜长石边上构成钠长石净边,或者到钾长石边缘部位形成粒间钠长石。因此净边不会在斜长石和斜长石之间、斜长石和石英之间、斜长石和黑云母之间出现。

对于两排粒间钠长石的成因,Ramberg (1962)认为是由于颗粒边界扩散迁移作用(grain boundary diffusion migration)降低了表面能(surface energy),使析出物越过不协调(不一致)边界(incoherent boundary)进入邻旁钾长石中。

2. 岩浆作用晚阶段结晶及交代

Rogers (1961)、Peng (1970)、Hibbard (1995)等认为,粒间钠长石只是在局部边缘地段不规则出现而不是沿整个钾长石边缘分布,而且净边和粒间钠长石中可以含细小蠕状石英,这跟不含蠕状石英的条纹钠长石不同,所以它们不是来自钾长石的固溶体分离,而是属于粒间残余岩浆结晶,并伴有对钾长石的交代作用(它会长到邻旁钾长石上去)所致。Peng (1970)认为净边不出现在与石英搭界处,是因为石英石最晚晶出(石英还晚于净边)的缘故。

3. 钠质热液滤走绢云母化斜长石边部的绢云母

程裕淇(Cheng, 1942;程裕淇等,1963)首先提出,贺同兴等(1980)、王仁民等(1989)赞同,认为斜长石(主要是奥长石)先遭受绢云母化,后来含微量钠质的热液使其边部重溶,绢云母被溶解移去,此边缘重新结晶形成钠长石净边。鉴于斜长石与斜长石、与石英及与黑云母交界处没有净边出现,而只出现在与钾长石交界处,于是认为,“钾长石的存在(与之搭界),可能有利于奥长石的重溶”。

4. 钾长石交代斜长石而形成

主张这种看法的有Deer (1935)、Schermerhorn (1956)。

^① 在岩石显微镜下如果不凭解理、双晶,很难判断两种矿物的结晶方位是否一致。但由于长石类矿物的结晶方位与光性方位,随着成分的变化,有一定的关联性(请参考光性矿物学),所以可以在正交偏光下加石英试板,并旋转载物台来观察它们的光性方位是否一致或相近似,以大致判断它们结晶方位是否一致。

对以上几种说法或解释,似乎都存在一些疑问。作者认为,净边钠长石和粒间钠长石的发育状况可能有些差别,但在同一种岩石中,它们的宽度大体比较近似(图10、图11)。它们的成因可能是相似的,或者就是一致的。

作者认为,以下一些现象应该有助于查明它们的成因。

(1) 并非只有绢云母化的斜长石的边部才有净边出现。在未发生绢云母化的新鲜斜长石与钾长石交界处也可有钠长石“净边”出现(图3)。

(2) 在“净边”或粒间钠长石[尤其 $An>3$,甚至 An 为1(据游振东等,1996)]中,经仔细观察有时还可以发现其中有细小蠕虫状石英存在(图8、图13)。

(3) “净边”或粒间钠长石的发育受近旁斜长石、石英之阻,也受较粗条纹钠长石之阻(图1、图2、图6、图8)。

(4) 在此甚薄($<0.2\text{mm}$)的“净边”或粒间钠长石内,有时可发现有其周围钾长条纹长石中钠长石条纹的残留体(图6、图8、图12)。残留体与周围条纹钠长石的光性方位保持一致,但个体更细小(往往会显得更纯净)。这是最为关键的足以证明净边属交代成因的依据。

尽管粒间钠长石的连贯性一般来说不如净边钠长石,但上述(2)(3)(4)现象是一致的。这说明它们同属一种成因(异方位交代成因)。粒间钠长石分为两排,可称对错交代钠长石(或双层围边钠长石)[swapped rims (Voll, 1960)]。两排粒间钠长石的出现,每排钠长石各与其相隔的钾长石结晶方位一致,也很有依据地证明它们是在固体状态下对相邻钾长石进行交代作用所形成的。

条纹钠长石和净边或粒间钠长石的关系,往往不易确定,这也许是因为以下几个原因所致:

(1) 条纹钠长石发育较差,净边或粒间钠长石发育(宽度)也都很有限,它们两者的接触机会少。

(2) 净边或粒间钠长石中未见有条纹钠长石的残留体。

(3) 条纹钠长石可呈楔形“刺”入净边或粒间钠长石(图8、图13),甚至似细脉穿在其中(图7),给人以条纹钠长石交代净边和粒间钠长石,甚至条纹钠长石呈细脉穿切斜长石的假象[请参考 Augustithis (1973)《花岗岩片麻岩及有关岩石结构图册》中图428、图429]。作者认为,像是被条纹钠长石穿切的“斜长石”,比较干净,它不是真正原生的被包裹的斜长石,而是位于斜长石边部的后来异方位交代生长而形成的净边钠长石。实际上,不是条纹钠长石细脉切穿斜长石。恰恰相反,是斜长石(位于薄片的上方或下方)的边缘生长出的净边钠长石(比较干净),交代掉了钾长石,但对条纹钠长石因交代不掉而残留着。所以这条纹钠长石是交代残留下的“天桥”。

(4) 镜下观察时,未加上石英试板。据作者观察,如果在条纹钠长石和净边钠长石交界部位发现有残留体出现,那么,这残留体只可能是条纹钠长石落在净边或粒间钠长石中,而绝不可能是净边或粒间钠长石残留在条纹钠长石之中。

钠长石交代条纹长石时,主要交代掉条纹长石中的钾长石部分,但也可以交代掉其中的一些细小的条纹钠长石,故不容易见其呈残留体存在。如果观察时未加上石英试板,即