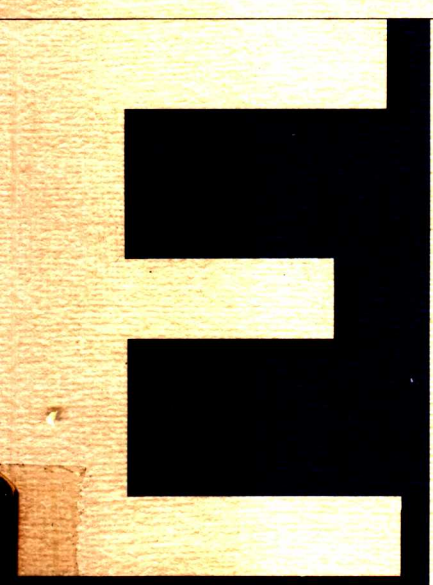


 国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



交代蚀变岩岩石学 及其找矿意义

胡受奚 叶 瑛 方长泉 著

arth

地质出版社



国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



交代蚀变岩岩石学 及其找矿意义

胡受奚 叶 瑛 方长泉 著

地质出版社

· 北 京 ·

交代蚀变岩岩石学及其找矿意义

Petrology of the Metasomatically Altered rocks and Its significance in Prospecting

内 容 提 要

本书是在大量实际资料基础上编著的一部有关热液成矿过程中对矿体内及周围岩石发生的交代蚀变作用所形成的各种交代蚀变岩岩石学的专著。它阐述影响交代蚀变作用的各种因素、各种交代蚀变岩的形成机理、岩石特征、矿物共生关系及与成矿关系等,并总结了找矿标志和拟定一些成矿模式。为了增强感性认识和避免繁琐的描述,本书附有大量可以供参照的岩石薄片的照片。

本书可供地质院所的师生、研究人员、地质勘探和矿山地质工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

交代蚀变岩岩石学及其找矿意义/胡受奚,叶瑛,方
长泉著. —北京:地质出版社,2004.6

ISBN 7-116-04075-7

I. 交... II. ①胡... ②叶... ③方... III. 交代岩:
蚀变岩石—岩石学 IV. P588.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 051112 号

JIAO DAI SHI BIAN YAN YAN SHI XUE JI QI ZHAO KUANG YI YI

责任编辑:陈磊 彭启明

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324565 (编辑部)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs @ gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京长宁印刷有限公司

开 本:787mm × 1092mm $1/16$

印 张:7.25 图版:118 页;彩色:36 页

字 数:176 千字

印 数:1—600 册

版 次:2004 年 6 月北京第一版·第一次印刷

定 价:98.00 元

ISBN 7-116-04075-7/P · 2473

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前 言

地壳中由流体，或矿床学中所称的气化-热液或热液对岩石的交代蚀变作用所形成新的岩石被称为交代岩 (metasomatite)：它的种类繁多，分布广泛。交代岩按其形成的环境和性质，又可分为区域变质交代岩和热液成矿作用形成的交代蚀变岩以及地幔流体的交代岩等；本书只讨论与成矿作用有关的交代岩。由于气化-热液矿床是一类矿种繁多、分布广泛和十分重要的矿床，其周围岩石经常伴生着不同类型和不同交代蚀变强度的岩石，因此通常将这种成岩作用称为围岩蚀变 (alteration of wall rock)，由其形成的岩石在习惯上称为蚀变岩 (altered rocks) 或合称为交代蚀变岩 (metasomatically altered rocks)，简称为交变岩。由于热液交代蚀变作用是流体或热液在开放或半封闭体系内运动过程中发生和进行的，因此成岩系统通常是在动态或非平衡过程中进行矿物和物质置换作用，其随机性很大；同时交代蚀变过程在时间上与区域变质作用过程相比常相对较短，在空间规模上常相对较小，所以在交代蚀变岩中常残留或保存原岩和早期岩石的矿物、结构、构造和矿物的假象和残留体。由于成矿热液中的物质可以以离子、分子、分子团进行运动，因此它们可以沿着各种大小裂隙，包括毛细裂隙、粒间、矿物的解理以及双晶面等对原岩和早期形成的矿物和岩石进行交代或物质置换；同时由于热液活动常与构造脉动性相适应而经常表现出多阶段性；造成多阶段性的另一原因是由热液在与围岩作用过程中所引起的物理化学条件变化造成的。早期早阶段矿物常被晚阶段矿物所交代，常使岩石内部的结构、构造和矿物共生关系变得更为复杂和丰富多彩，这为研究交代蚀变或成矿过程的轨迹创造了有利条件。

由于交代蚀变岩石学 (petrology of metasomatically altered rocks) 是介于矿床学和岩石学之间的一门学科，因此被人们长期忽视和缺乏专门研究。我们对这一领域的研究已有 40 余年，不同程度地研究了数百个矿床，积累了较为丰富的资料，在显微镜下观察了约

13000 块切片，因此想完成一本对岩石学及矿床学都有一定意义的交代蚀变岩石学，并填补它们之间不足的专著，同时也想建立不同类型的热液矿床的交代蚀变成矿模式，为找寻、勘探热液矿床提供重要的参考资料。但是应当指出：我们的专著除参考国内外有关研究成果外，主要以我们所掌握的实际资料为基础，但由于这些资料绝大多数为我国东部地区的热液矿床，而对我国广大的西部地区的热液矿床的研究明显不足，因此我们的愿望只是想以我国东部的研究成果为东部进一步找矿，也为西部地区找矿和勘探工作提供帮助，为此我们在该书最后一章特别阐述交代蚀变成矿模式，供有关地质人员参考。

此外，我们考虑到为了使读者不烦琐于对交代蚀变岩石的细节描述，精选了 708 帧黑白照片和 216 帧彩色照片以增加对交代蚀变岩的感性认识。应当指出：我们所研究观察的大量切片之中有相当数量是由南京大学矿床教研室和有关教研室的老师、同事、研究生们所提供的，主要有徐克勤、李学清、刘孝善、王鹤年、朱金初、周顺之、孙明之、徐兆文、叶俊、王尔康、富士谷、郑素娟、严正富等，研究生有卢冰、曹晓云和徐兵等，我们在此表示感谢。

总之，虽然地质工作者对各种交代蚀变作用和交代蚀变岩的研究，已有较长的历史，做了不少研究工作，并取得一系列成果，但总的来说，对这一重要课题的研究还不够系统和深入；除了我们在 1980 年写的《交代蚀变岩岩相学》外，至今在国际上尚未有像变质岩、岩浆岩和沉积岩那样多的专门著作。近十年来，我们在承担国家自然科学基金会的重点项目（编号 49733120 和 9488010）等过程中，又积累了较多资料，为此立志写出一本有特色、有创造性的和较为系统的专著，即《交代蚀变岩岩石学及其找矿意义》，以飨读者，并请指正，以求得这一领域的研究工作在前人的基础上向前迈进。

对国家自然科学基金会提供的出版基金深表感谢。

作 者

2003 年 10 月

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 关于交代蚀变岩的一些基本概念	(3)
第二节 交代蚀变岩的结构	(10)
第二章 各类交代蚀变岩及其找矿意义	(14)
第一节 矽卡岩及其找矿意义	(14)
第二节 钾长石化岩及其找矿意义	(28)
第三节 钠长石化岩及其找矿意义	(32)
第四节 条纹长石化岩及其找矿意义	(36)
第五节 云英岩及其找矿意义	(38)
第六节 电气石化岩及其找矿意义	(41)
第七节 黑云母化岩及其找矿意义	(44)
第八节 黄玉化岩及其找矿意义	(46)
第九节 斧石化岩和硅硼钙石化岩及其找矿意义	(47)
第十节 浅色云母化岩及其找矿意义	(49)
第十一节 方柱石化岩及其找矿意义	(51)
第十二节 纤磷钠长石化岩及其找矿意义	(53)
第十三节 交变等色岩及其找矿意义	(55)
第十四节 霓长岩化岩、碱性辉石化岩、碱性角闪石化岩及其找矿意义	(56)
第十五节 帘石化岩及其找矿意义	(60)
第十六节 独山玉化岩及其成因	(62)
第十七节 绢英岩、黄铁绢英岩及其找矿意义	(63)
第十八节 交变石英岩(或硅化岩)及其找矿意义	(65)
第十九节 绿泥石化岩、青磐岩及其找矿意义	(69)
第二十节 碳酸盐化岩及其找矿意义	(71)
第二十一节 叶蜡石化岩、水铝石化岩、刚玉化岩及其找矿意义	(76)
第二十二节 硫酸盐化岩及其找矿意义	(78)
第二十三节 蛇纹石化岩及其找矿意义	(81)
第二十四节 萤石化岩及其找矿意义	(83)
第三章 交代蚀变成矿模式及交变花岗岩的特征和成因	(86)
主要参考文献	(105)
图 版	(110)

第一章 绪 论

在地壳中通过流体或成矿热液所发生的交代蚀变作用是一类重要的地质作用，它对于成矿物质的活化转移、搬运和集中，矿床及其周围交代蚀变岩石的形成，以及对于区域变质作用和岩浆作用等都具有重要的意义。由于流体的交代作用十分广泛，所以在本书中只集中讨论与成矿有关的气化—热液或热液的交代蚀变作用，及其有关岩石的特征与找矿意义。

各种交代作用是在流体参与下发生的。当流体或成矿溶液在岩石的各种裂隙、孔隙和间隙中运动时，由于它们与不同物理化学条件下形成的围岩构成一个体系，则必然会趋于使该体系内的不同岩石、矿物和流体之间达到化学平衡，从而引起一系列化学反应，表现为某些新物质（或矿物）的形成和原物质（或原矿物）的消失或变化，或某些新物质的带入或原物质的带出。例如当石灰岩发生硅化时，则发生碳酸钙的带出和消失， SiO_2 的带入和石英等的形成。

交代作用的特点是：①溶解和沉淀几乎是同时进行的；②交代作用是成矿溶液对固体岩石直接发生作用，因此有时可以保存原来岩石的结构和构造，以及矿物的假象；③交代作用通常是受等体积定律支配的，也就是说交代作用过程中一般不发生体积的改变，所以交代作用并不是以等分子置换的方式进行的。在少数情况下，也存在不等体积的交代作用，如在交代作用过程中，物质的带出在体积上小于物质的带入，也就是说，热液作用于围岩或矿物时，所产生的平衡反应十分强烈，以至带出的量在体积上少于带入的量，从而使体积发生膨胀作用，形成不等体积的交代作用，如橄榄岩转变为蛇纹岩时，常发生明显的体积膨胀，并对介质发生挤压现象。但也存在着相反的情况，使岩石的空隙度增加，以及产生晶洞等现象。因此等体积交代定律不是绝对的。

按成矿溶液对交代和被交代物质（或组分）交换和转移方式的不同，可将交代作用分为：①交代作用主要是靠流动溶液进行的，也即是在交代作用过程中，组分或物质的带入和带出主要是通过流经岩石的溶液进行的渗滤交代作用；②交代作用是通过物质的扩散作用实现的，也就是说，组分或物质的带入和带出并不是依靠溶液的流动，而是由于组分浓度差（浓度梯度）所引起的扩散作用过程进行的扩散交代作用；组分总是从高浓度向低浓度方向扩散，因此浓度梯度是扩散作用的必要条件。事实上，这两种作用常是相互配合进行的。

决定交代作用的因素，是热力学的平衡因素，即温度、压力、浓度和化学组分的性质、活度或化学位以及被交代岩石的体积等。它们都是热力学平衡的参数。成矿溶液的数量、围岩的裂隙度和作用的时间等都不是平衡的因素，但它们能影响交代作用的强度和范围。

成矿溶液在各种温度下，一般对围岩都可发生交代作用，但在高温条件下，可以增加

成矿溶液中组分的扩散和渗透的能力、化学活动性及交代速度，因此高温常比低温条件下更易与围岩发生剧烈的交代作用。例如气化 - 高温的接触交代矿床，不仅可以形成大规模的矽卡岩体，且可形成大规模的矿体。但这不是说，低温条件下不能形成范围广大、强烈的交代蚀变岩石和大型矿床。

对于交代蚀变作用和交代蚀变岩石的命名问题，目前还没有统一的标准，存在着几种不同的命名途径。如以新生的特征性矿物作为命名根据，如绿泥石化、电气石化、绢云母化等；有的则以特征性的交代元素、化学组分或化合物作为命名根据，如钾交代、钠交代、氢交代、硅交代以及碳酸盐化和硫酸盐化等；有时还用交代蚀变岩石的颜色或颜色的变化来命名，如红色蚀变、深色蚀变、浅色蚀变和褪色蚀变等。这些命名方法目前都是通用的，它们都是从某一角度来阐述交代蚀变作用的特征。

对于交代蚀变岩石的命名，目前可以说是很不统一和不完善的，存在着不少混乱的现象，比较公认的和习惯上常用的交代蚀变岩石的名称，如矽卡岩、云英岩、青磐岩、电英岩等，它们反映一定的矿物共生组合，多数代表一类岩石。如矽卡岩又可分为石榴子石矽卡岩、透辉石矽卡岩、硅灰石矽卡岩等。但是对于大多数交代蚀变岩石来说，到现在还没有统一的命名规则：有的以矿物为命名原则，如绿泥石化岩、电气石化岩和方柱石化岩等；有的以元素命名，如钾化岩、钠化岩和硅化岩等；有的则以化合物命名，如硫酸盐化岩、碳酸盐化岩等。由于上述命名是从不同角度出发的，都有其合理性，或是应用已久，人们已经习惯，但用时需正确理解；如硅化，这一名词很含糊，因为碳酸盐围岩发生矽卡岩化时， SiO_2 有明显带入，但都不称其为硅化，只有当石英及其变体，如石髓、蛋白石等交代时才称为硅化；俄罗斯学者称此为次生石英岩化，也不无道理，只是他们将次生石英岩的内容过于扩大，搞乱了命名原则。

交代蚀变岩石常是多矿物组合，其中有的属于同阶段形成的“同届矿物”，有的却属于不同阶段的“异届矿物”，有的是原岩中的“残留矿物”，有的是参加热液交代平衡的原岩中的“继承性矿物”。这在研究交代蚀变岩石时，应把它们一一加以区别开来。交代蚀变岩石的科学命名必须建立在参加化学平衡的“矿物相”或“同届矿物”的基础上，因为它们是在一定物理 - 化学条件下的产物。如由绢云母 - 石英组合的交代蚀变岩石，即绢云母 - 石英相，应称为绢英岩；电气石 - 石英相，应称为电英岩；黄玉 - 白云母 - 石英相，称黄玉云英岩等。对于单矿物交代蚀变岩石来说，为了与其他成因大类岩石相区别，因此采用矿物的全名来命名更为合适，例如由钠长石组成的交代蚀变岩石，可称为钠长石岩，以区别岩浆成因的钠长岩；由钾长石组成的交代蚀变岩，可称为钾长石岩；其他如透辉石岩以区别超铁镁岩中的辉岩；阳起石岩以区别区域变质的角闪岩；白云石岩以区别白云岩；方解石岩以区别大理岩；用交代石英岩来区别沉积和变质的石英岩等；此外，为了区别交代蚀变的程度，我们认为，当原岩遭受较弱的交代蚀变，并基本上保持原岩特征时，应将原岩作为命名的基础，而冠以交代蚀变作用，如明矾石化流纹岩、钠长石化板岩和硅化灰岩（或石英化灰岩）等。当原岩较完全或完全被交代蚀变矿物交代时，则应采用通常的交代蚀变岩石的命名原则，如云英岩、钠长石岩等。如果要说明原岩的性质，则可称由灰岩交代蚀变成的交变石英岩；由玢岩交代蚀变而成的钠长石岩等。

我们采用按“同届矿物”作为第二级岩石的命名：如矽卡岩又可分为石榴子石矽卡岩、透辉石矽卡岩、石榴子石 - 透辉石矽卡岩等。

由于成矿溶液是不断运动的，其物理-化学条件在空间上和时间上是不断变化的，因此自下而上，从早到晚，由热中心向外，温度常是由高到低变化的，因此交代蚀变岩的分布常具有分带性，这为建立交代蚀变成矿模式提供了重要依据。尽管由于成矿溶液活动常表现出脉动性，使交代蚀变岩和成矿作用具有多阶段的叠加特征，但在研究矿物共生关系时，常能找出它们活动的轨迹，这也为找矿提供了重要线索。

总之，系统研究交代蚀变岩石具有重要的理论和实际意义。

第一节 关于交代蚀变岩的一些基本概念

一、概 述

当流体或热液作用于岩石时，两者之间必然趋于达到化学平衡和发生物质交换作用，其结果导致岩石中部分或全部原矿物的消失和新矿物的形成，即原岩中某些物质部分或全部地带出和新物质带入的交代作用。在矿床学上这种交代作用通常称为蚀变作用 (alteration)，一般不包括金属矿石矿物的交代作用。由于热液矿床的矿体周围岩石 (简称围岩) 经常伴生这种蚀变作用，因此，又称为围岩蚀变 (wall-rock alteration)，遭受蚀变的围岩，称为蚀变围岩 (altered rock)。

需要指出的是蚀变作用是个常用语，不很严格，除了应用于热液作用外，也常应用于表生作用等所引起的岩石和矿物的各种次生变化；而我们所讨论的仅限于与热液成矿作用有关的热液交代蚀变作用 (metasomatic alteration)，因为任何热液蚀变作用都不是原岩中矿物的简单的变化，而总是伴随着物质的带入和带出的作用。因此，为了尊重习惯我们认为仍可袭用蚀变作用一词；为了使概念确切，则可采用交代作用；为了兼顾两者，可称为交代蚀变作用 (metasomatic alteration)。目前，这些名称在国内外都是通用的，但本书主要采用交代蚀变作用这个术语。

任何岩石受到热液作用时都可能发生交代蚀变，并不局限于直接与成矿溶液有关的仅发生在矿体周围岩石的交代蚀变作用，因为成矿溶液只是各种热液中的一部分；而且成矿溶液也不完全是“传统”上所理解的那样，即从岩浆中分离出来形成的，而是多成因的。许多事实表明：成矿溶液也常是不同成因的热液在长期作用和发展过程中逐渐形成的。在许多情况下，成矿溶液中的成矿物质也可能是热液在交代围岩过程中获得的，并在有利的条件和地段集中成矿。同时成矿溶液在成矿以后，还会继续运移活动，继续对其流动经过的岩石发生交代蚀变作用，甚至再继续成矿。所以即使与成矿溶液有关的交代蚀变作用也不局限于矿体周围的岩石，而广及热液的整个活动范围。这一活动范围往往远比矿体周围的围岩广泛得多。例如一个埋藏在 500~600m，甚至 1000m 以下深度的矿体，在其上面的岩石也经常发生与该矿床形成有关的交代蚀变作用。同样，在矿体以下很深的地方，也常分布有与该矿床形成有联系的交代蚀变作用的交代岩。

有的热液交代蚀变作用具有区域性，例如在火山活动过程中的某些交代蚀变作用 (如有些青磐岩化、绿泥石化等)，可在整个火山岩盆地中不同程度地有所表现。此外，沿着断裂破碎带分布的硅化带，其厚度可达数百米至千米以上，长度可达几千米、十几千米、甚至几十千米。

大家知道，热液成矿作用总是伴随着热液的交代蚀变作用，但热液交代蚀变作用却并不一定伴随有矿床的形成。我们的重点虽然放在与成矿作用有关的交代蚀变作用和交代蚀变围岩上，但也需要指出：与成矿有关的交代蚀变岩石和与成矿无直接关系或无成矿现象的交代蚀变岩石，从本质上来说，都是热液作用的产物，在不少情况下，单从矿物组合上来看，是不易区分的，只有进行全面地和系统地研究，才有可能找到成矿的线索。

二、交代蚀变岩中的矿物共生关系

在研究蚀变围岩时，首先要搞清楚其中矿物的共生关系及其成因。一般把共生在一起的矿物称为共生组合或共生矿物。但严格地说，矿物组合是指在同一热液交代蚀变过程中所形成的矿物群，而不包括不同成因的矿物，即不包括原岩中残留的矿物和在地表条件下风化形成的矿物。因此不能把交代蚀变岩中共生在一起的各种不同成因的矿物理解为矿物共生组合，而共生组合是指在同一交代蚀变过程中所形成的一群矿物。

如果再深入一步研究，常会发现这一群矿物不都是同时形成的，而常是有先有后，这是由于整个交代蚀变过程常是一个漫长的过程，不仅热液的物理化学条件随时随地地不断变化，而且常表现出多期性和多阶段性。常可见到早期早阶段形成的交代蚀变矿物被后期后阶段的交代蚀变矿物所交代的现象。因此，搞清矿物共生组合中矿物形成的次序，彼此间的关系，即矿物共生关系（*paragenesis*），这对于交代蚀变岩和交代蚀变作用过程的研究是很重要的。首先，应区分出交代蚀变岩中同一阶段，即同时或接近同时形成的矿物，这一组矿物可称为“同届矿物”，它们是在平衡或准平衡条件下形成的。那些不同阶段形成的矿物组合，可称为“不同届矿物”。晚阶段形成的矿物对早阶段形成的矿物常具有明显的交代现象，这表示当热液演化到晚阶段时，物理化学条件，或平衡条件已发生一系列变化。当晚阶段交代蚀变作用不太强烈时，可见到晚阶段矿物对早阶段矿物的叠加交代现象；而当晚阶段交代蚀变作用强烈时，则早阶段矿物或原岩中的矿物成为残留矿物，甚至完全被“消灭”。总之，交代蚀变岩与岩浆岩中矿物的共生关系有着本质上差别，后者是由其组分的共结比（*eutectic ratio*）所决定的，而前者却要复杂得多，虽然它是各种平衡因素决定的，但这些平衡因素却是随时随地地变化。例如当花岗岩发生云英岩化时，常是白云母先交代长石，然后才是云母和石英同时交代，形成正常云英岩，再后石英交代云母，形成富石英云英岩，或云母交代石英，形成富云母云英岩。交代蚀变作用常形成单矿物岩，如石榴子石矽卡岩、钾长石岩、钠长石岩、方柱石岩和绿帘石岩，而在岩浆岩中单矿物岩是很少见的。

在交代蚀变岩中还应区分出原岩的“残留矿物”，不能把它们当作早阶段交代蚀变矿物，更不能把它们当作“同届矿物”。但是，应当指出的是当岩石被交代蚀变时，并不是原岩中所有的矿物都变为不稳定矿物而被交代，在不少情况下，某种或某些矿物可以参加热液交代过程中的平衡作用，成为“继承性矿物”。例如，花岗岩遭受云英岩化时，其中的石英，有时还有白云母，就成为交代蚀变岩中的“继承性矿物”，并成为交代蚀变岩的重要组成部分。但必须指出的是原岩中那些参加交代平衡过程的“继承性矿物”，不只是表现为扩大再生长，而是常常被改造为适应新条件下的新矿物。例如最常见的是当钠长石化时，原岩中的斜长石转变为钠长石（形成环状、环带状和假象交代结构等）；同样，还可见到钾长石交代钾长石、黑云母交代黑云母、辉石交代辉石、角闪石交代角闪石等各种

现象；这是由于在热液交代过程中，不仅要使原岩中“继承性矿物”在成分上完全或较完全适应新的条件，而且在矿物的结构上（如钾长石的双晶、三斜度、2V及晶胞常数等）适合新的条件；更为特殊的是石英，虽然没有根据认为：原岩中的石英与交代蚀变的石英在成分和晶体结构上有差别，但是花岗岩中的石英在中—低温硅化过程中也常见改造为细粒石英（交代石英岩）。灰岩和白云岩在热液交代蚀变过程中，新形成的碳酸盐矿物常表现为重结晶现象，并且在不少情况下，也伴随着成分上的变化，如钙、镁、铁和锰的增加或减少。灰岩的白云石化、白云岩的菱镁矿化等是常见的现象。

三、有关交代蚀变岩岩相、岩类建造和岩套问题

所谓交代蚀变相（*facies*）也就是交代蚀变岩的矿物相，它是在同一地质环境中，同一物理化学条件下，同时或近于同时形成的矿物共生组合。例如花岗岩在交代蚀变过程中转变为由黄玉、白云母和石英组成的交代蚀变岩，即黄玉云英岩，也即是黄玉—白云母—石英相，这一组共生矿物即是在同一地质环境中，同一物理化学条件下形成的“同届矿物”。有的交代蚀变岩是由一种交代蚀变矿物组成的，称为单矿物相，如石榴子石矽卡岩、透辉石矽卡岩、钠长石岩等。

目前，国内外对交代蚀变相的概念的划分标准不很一致，它与传统的和目前所流行的变质相和亚相（*subfacies*）的划分标准也不易作确切的对比，因此，交代蚀变相是指热液与围岩在平衡或准平衡的条件下所形成的具有一定矿物共生组合和特征的交代蚀变岩。现代关于变质岩相的概念（如 *eskola*、*turner* 等）可以概括为：“矿物相是在一定的、同一的地质条件和物理化学条件下形成的矿物共生组合的综合体”。这一概念或定义与我们所采用的交代蚀变相的概念基本一致。由此可见，云英岩中的石英—云母相、黄玉—浅色云母—石英相等，或矽卡岩中的石榴子石相、透辉石相、符山石相和透辉石—石榴子石相等都是在自然界中独立存在的矿物相，也是在一定物理化学条件下产生的交代蚀变岩。虽然石榴子石矽卡岩和透辉石矽卡岩的形成在许多条件上是相近或相同的，但在化学条件上却有一定差别。因此，将它们各自列为一种独立矿物相是符合定义的，也是合理的，实际上也是可行的。这种划分标准已为很多人（如 *Anderson*、*Burnham* 等）所采用。当每一种相进一步根据矿物细分时，一般不必采用变质岩中所采用的亚相这个术语，而用矿物组合即可。

云英岩、矽卡岩及青磐岩等都包括多种矿物相或交变岩，因此，可称为岩类，如矽卡岩类、云英岩类和青磐岩类等；在国外也有人把成因上有联系的岩类称为建造（*formation*）。所谓交代蚀变岩类或建造，即在同一交代蚀变作用过程中、在相近物理化学条件下形成的由多种矿物相所组成的岩石综合体。

我们在绪论中已谈到，交代蚀变作用在空间上影响的广度和时间上的延续性常远远超过成矿过程，因此，如果与成矿过程比较，常可分出成矿前的交代蚀变作用、成矿期间交代蚀变作用、成矿晚期和成矿期后的交代蚀变作用。由于热液在不断运动（在成矿中心常以向上运动为主），以及其物理化学性质（温度、压力、化学成分等）和介质的条件的不断变化和构造脉动作用，因此，交代蚀变作用及其产物不仅显出多期性和多阶段性，而且在空间上和时间内不同交代蚀变岩的分布具有垂直分带和水平分带以及叠加的特征，并产生由各种不同交代蚀变相和岩类或建造组成的交代蚀变柱或带。例如与花岗岩有关的热液

交代蚀变和成矿过程，在内接触带中发生钾长石化带、钠长石化带、云英岩化带等，在外接触带中产生浅色云母化带、电气石化带、黑云母化带、毒砂化带和黄玉化带等交代蚀变岩（非碳酸盐围岩）和矽卡岩（碳酸盐围岩）；在这些交代蚀变产物中，不仅产生多种交代变岩，而且产生几种岩类（或建造），这些彼此有成因上联系的岩类（建造）和岩相，应当称为交代蚀变岩套（suites of rocks）。岩套也就是彼此在成因上有联系的岩石、岩类（或建造）的综合体。交代蚀变岩套是拟订成矿模式的重要基础，某些交代蚀变岩套的命名就可以与成矿模式联系起来，如与钨、锡、铍、铌、钽等有关的交代蚀变岩有关的交代蚀变岩套、与斑岩铜矿有关的交代蚀变岩套、与玢岩铁矿有关的交代蚀变岩套、与超基性-碱性-碳酸盐岩有关的交代蚀变岩套等。虽然有些岩套目前还没有确切的专门名称，但客观上是明显地存在着的。这需要今后研究中逐步加以确定。

四、有关交代蚀变岩的命名问题

为避免混乱现象需对交代蚀变岩正确地定名。因此，确定交代蚀变岩的命名原则是有重要意义的。交代蚀变岩的科学命名必须建立在矿物相或矿物组合上。这是因为它们是由交代蚀变作用过程中的物理化学条件，即热力学条件所决定的。如由石英和绢云母组合的交代蚀变岩，即绢云母-石英相，命名为绢英岩；由黄铁矿、绢云母和石英等矿物组合的岩石，即黄铁矿-绢云母-石英相，即黄铁绢英岩。

对于交代蚀变岩的命名，必须考虑它们与火成岩、沉积岩和变质岩的区别。至于单矿物交代蚀变岩，为了区别于火成岩，可以采用主要矿物的全名来命名，例如由钠长石组成的交代蚀变岩，可称为钠长石岩，以区别于岩浆成因的钠长岩；由钾长石组成的交代蚀变岩，可称为钾长石岩；其他如透辉石岩或透辉石矽卡岩以区别于超铁镁岩中的辉岩；阳起石岩以区别于岩浆或变质成因的角闪岩等。同样，为了区别于沉积岩及变质岩，也可采用上述原则，例如由白云石组成的交代蚀变岩，可称为白云石岩，以区别于沉积的白云岩；由方解石组成的交代蚀变岩，可称为方解石岩，以区别于变质的大理岩或重结晶灰岩。但当有两种或两种以上矿物组合的交代蚀变时，为了避免名称过长，则可去掉“石”字，例如黝帘-钠长岩。此外，用硅化岩或交变石英岩以区别沉积的硅质岩和沉积或变质的石英岩。

由于变质岩的命名常把岩石的结构和构造当作重要的命名根据，如片麻岩、片岩和千枚岩等就是按岩石构造划分的；进一步再冠以矿物或岩石的名称，如花岗片麻岩、斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、白云母片岩等。而交代蚀变岩的命名一般是不考虑岩石的构造因素的。正因为如此，交代蚀变岩的名称就易于与一般的变质岩相区别；例如由金云母化形成的金云母岩，由绿泥石化形成的绿泥石岩，由绢云母化形成的绢云母岩，就可以与云母片岩、绿泥石片岩、绢云母片岩或千枚岩相区别。如果交代蚀变岩经区域变质，则应以变质岩来命名。特别是火山-热液-沉积成因的黄铁矿型矿床中的一套交代蚀变岩石，如绢英岩、黄铁绢英岩、绿泥石岩等，常因区域变质作用而成为绢云母-石英片岩、绿泥石片岩等。如果要将这些变质岩恢复原来的交代蚀变岩，需要进行详细的研究工作。为了说明问题，应该将原岩、交代蚀变岩以及变质成的岩石分别加以说明，如由角斑岩经交代蚀变形成的绢英岩，后经区域变质作用所形成的绢云母-石英片岩。

这里应当指出：近年来，在研究斑岩铜矿的交代蚀变岩石时，国外常用 phyllic rock 和

phyllic alteration 等术语。这类术语在美国有的指含有云母（绢云母、白云母和黑云母）的交代蚀变岩，其实是一类岩套，有的是指黄铁矿 - 绢云母 - 石英相岩石和绢英岩，有的是指泥化岩，我们认为按矿物组合分别命名更为合适。此外，在前苏联，最初把黄铁绢英岩当作黄铁细晶岩（Березит），这是不确切的，我们按矿物组合命名为黄铁绢英岩，它是交代蚀变岩，而不是岩浆岩。

目前，在交代蚀变岩的命名上还有一种模糊的用法，例如硅化灰岩这一名称，常不能明确反映原岩遭受交代蚀变的程度和矿物组合，因为矽卡岩化过程中也有大量的 SiO_2 带入，显然不能称此为硅化。但为了照顾传统上的命名，现在依旧可用此名。严格地说，应是指交变石英岩、交变石髓岩或交变蛋白石岩或交变似碧玉岩等。

当原岩遭受较弱的交代蚀变，基本上保持原岩的矿物、结构、构造和外貌特征时，我们认为应将原岩作为命名的基础，而冠以交代蚀变作用，如明矾石化流纹岩、钠长石化板岩等。当原岩较完全或完全被交代蚀变矿物取代时，则应采用通常的交代蚀变岩的命名原则，如云英岩、钠长石岩等。如果要说明原来岩石的性质，则可称由花岗岩交代蚀变成的云英岩，由玢岩交代蚀变成的钠长石岩等，而不必将原岩放入交代蚀变岩的命名中。

俄罗斯岩石学家（如纳科夫尼克等）所引用的次生石英岩的概念不只是指交变石英岩，而且包括由火山岩遭受的刚玉化、红柱石化、水铝石化、明矾石化、高岭石化（粘土化）、青磐岩化以及绢云母化等而形成的整个岩套，这显然过于扩大化了，另外，他们只把火山岩作为次生石英岩的原岩，又显得过于狭窄。我们认为，不能把青磐岩、明矾石岩、粘土化岩、绢英岩、叶蜡石岩和刚玉化岩等都归入次生石英岩；同样，也不能把灰岩、花岗岩等岩石经硅化作用形成的岩石不当作交变石英岩，因为由各种岩石经强烈硅化作用形成的岩石，都是由石英或玉髓等组成的。在成因上都是一致的。在特征上也常是相同的。因此，这种“次生石英岩”的名称不应受原岩性质所限制。我们认为次生石英岩可以由各种硅质岩经变质而成，因此不适宜用于交代蚀变岩的命名，这类岩石以交变石英岩命名最为适当。对于在国内已通用的交代蚀变名称，如“钠黝帘石化”及其有关的“钠黝帘石岩”（saussurite），我们认为有必要改变这一译名，因为这一名称容易使人误解为形成一种含钠的黝帘石的作用，其实“钠黝帘石化”是形成钠长石 - 黝帘石岩的作用；把化学元素和矿物名称混合在一起作为命名的根据，是不太适当的，建议改为钠长黝帘石化（saussuritization）和钠长黝帘石岩。

五、有关交代蚀变作用的相平衡问题

在气化 - 热液或流体与固相围岩两个不同成因和物质体系构成一个体系时，就会发生物质交换作用或新物质替代原物质的作用，此时平衡作用就会起重要的作用。一般所指的平衡作用是指在孤立体系中发生的，当外界条件不变的情况下，新和原物质的交换或替代作用就会发生，并能维持稳定。但自然界的热液交代蚀变作用是在开放体系中进行的。从总体来看，流动的热液与岩石相互作用过程中，各个片段间的温度、压力、组分（component）及其浓度等常是不相同的，而且热液又是在运动着，所以总的是不平衡的。但是在一很小的范围内，在瞬时间内，就可能接近或达到平衡。正如恩格斯所指出的：一切平衡都只是相对的和暂时的。绝对的静止，无条件的平衡是不存在的，个别运动趋向于平衡，总的运动又破坏平衡。

所谓平衡是表示体系内热力学参数（如温度、压力、组分及其浓度或活度等）之间的相互联系性的存在。从理论上说，当体系达到平衡时，交代作用过程也就停止了。但热液的交代蚀变过程是一个不断趋向建立平衡，又不断破坏平衡，并不断趋向建立新的平衡的过程；也就是说，在交代蚀变过程中，也是各种因素不断变化的过程，是平衡不断移动的过程，是典型的动态平衡过程。因此，从总体上来看，在时间上表现出交代作用的阶段性，在空间上表现出不同交代蚀变相的分带性。但也不是说，交代蚀变岩中矿物组合随时随地都有变化。事实上，交代蚀变作用形成的交代蚀变相，在一定范围内和一定阶段内是比较稳定的，这是因为每一种交代蚀变矿物或每一组的“同属矿物”的形成有它们一定的稳定域，在此稳定域内温度、压力、组分及其浓度等虽可发生变化，但并不影响交代蚀变矿物或其组合的形成和存在，即不影响交代蚀变的矿物组合。只有当这些影响平衡因素超过其稳定域时，才会使交代蚀变相发生变化，进一步发生交代，形成新的矿物组合或新的交代蚀变岩。

决定矿物相的平衡，也就是物理化学的相平衡。热液交代蚀变有相当一部分属于多元和多相体系（每一相代表一种矿物）。而多相体系内不论有多少组分参加和多少相所构成，在体系中各相平衡的条件内，任何一种组分在各相中的化学位应是相等的，即等化学位的。化学位是表示某一组分在一定条件下，从某一相内逸出的能力。具体地说，当在相平衡条件下，每一组分在各相里的化学位是相等的。

大家所熟悉的相律，更准确地说，应称为相平衡定律，通常所指的就是吉布斯相律，它只受外界温度和压力影响的平衡的热力学体系，它的自由度（ C ）的个数，等于体系的独立组分（ K ）减去相的个数（ F ），再加上 2，即：

$$C(\text{自由度}) = K(\text{独立组分}) + 2 - F(\text{相的个数})$$

自由度相当于在一定范围内能随着改变的条件（指温度、压力、各组分的浓度等）的个数。从相律可以清楚看出：自由度随着体系中相数（相当于交代蚀变矿物的种类）的增加而减少，而随着体系的独立组分数的增加而增加。当相数等于组分数，即 $F = K$ 时，表明体系中只有温度和压力能独立变化。

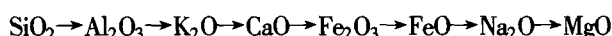
在热液与围岩相互作用的交代蚀变体系中，不论是原来岩石的成分或是热液本身所携带的成分几乎都是多组分的。不论原岩是花岗岩还是辉长岩，都或多或少含有 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O_5 、 H_2O 、 CO_2 、 HCl 、 HF 、 H_2SO_4 和 H_2S 等等主要造岩组分；同时热液本身也常常含有多种造岩组分（这在气-液包裹体的成分研究中得到证实），有时还有多种成矿组分，可是交代蚀变岩的矿物种类（相）却常常是很有限的；在很多情况下，只有一种矿物（单相）（如石榴子石矽卡岩、钠长石岩等）、两种（双相）（如有的云英岩）或是三种（三相）（如有的黄铁绢英岩）等。例如当花岗岩转变为由石英和浅色云母或全部由石英组成的云英岩时，大多数造岩组分不参加交代蚀变矿物（相）的组成，而被热液所带走或以杂质组分形式赋存于交代蚀变矿物中，而只有少数组分，如 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 、 H_2O 等参加交代蚀变岩的组成。在交代体系中这几种组分所形成的矿物，也常只有少数几种或一种（相）。这说明在交代蚀变过程中，不少组分都是作为在一定范围内能任意变化的外界条件，也就是自由度。这就要求在研究交代蚀变岩石时对组分进行分析和合理的归类。

对交代蚀变体系中的各种组分进行确切的分类有一定困难，因为对于溶液和固体岩石

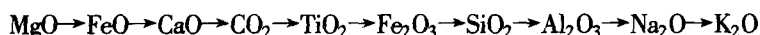
所组成的体系来说，相平衡方面的一些问题，包括组分的化学位，至今还不十分清楚。因此，一般可将组分分为“有效组分”和“杂质组分”两类。“有效组分”是指与建立相平衡有关的那些组分；“杂质组分”是指那些不参与建立相平衡的组分。“有效组分”又可分为“饱和组分”和“有效活动组分”两类。“饱和组分”无疑是指与建立相平衡密切有关的有效组分。它们的浓度或活度是平衡的因素，它们或是难溶的、不易活动的组分或是原岩中大量存在的，可以不断供给热液以维持其在热液中的饱和状态的组分或是热液大量带入的那些组分，它们是决定交代蚀变“同属矿物”的重要因素。在许多情况下，在岩石遭受热液交代蚀变的早期，原岩中大量存在的组分经常属于“饱和组分”，如花岗岩中的 SiO_2 、 Al_2O_3 ，石灰岩中的 CaO 、 CO_2 ，页岩中的 SiO_2 、 Al_2O_3 ，超镁铁岩石中的 MgO 、 FeO 和 SiO_2 等。它们经常是组成交代蚀变矿物（相）的主要组分。例如灰岩在遭受硅化过程中，看起来 CaO 、 CO_2 是不断被交代带走的，但是实际上，在交代早期，由于它们呈“饱和状态”，因此，灰岩的 CaCO_3 常重结晶作为继承性矿物，组成方解石-石英相。

“有效活动组分”通常是指那些活动性大和溶解度大的组分，虽然它们参与建立相平衡，它们的浓度或活度也是平衡因素，但其本身在热液中经常处于“不饱和”状态，因此它们在交代体系中常可在一定范围内任意变动，而不影响矿物相的数目，也就是它们各自带一个自由度，因此它们与矿物相数无关，它们本身不可能像 SiO_2 、 Al_2O_3 那样，可形成独立的矿物；在一般情况下， Na_2O 、 K_2O 、 H_2O 、 CO_2 、 HCl 、 HF 等是属于对矿物形成有意义的“有效活动组分”。

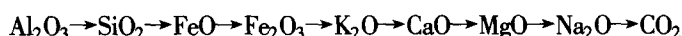
在交代蚀变的一定阶段内，组分的活动性是有一定次序的，但在不同体系中，不同阶段内，组分的活动性序列却常是不相同的；如花岗岩在云英岩化过程中，组分的活动性增大的序列一般是：



在超基性岩的碳酸盐化过程中，组分的活动性增大序列一般是：



页岩在绢云母化过程中一般是：



总之，组分活动性的顺序，是随着条件不同或条件变化而变化的。

前面已说明：决定相平衡的因素是温度、压力、组分及其有效浓度（或活度）；而组分及其浓度是由被交代的岩石和热液中的组分的浓度所决定的。交代蚀变作用一般受“等体积定律”所支配，也就是说，在交代蚀变过程中一般不发生体积的变化，因此，在交代蚀变过程中，常可残留或保留原岩的结构以及矿物的假象等。但这不是绝对的，例如交代蚀变岩与原岩的孔隙度相比常是不相同的，其中并可有晶洞构造，有的还可有体积明显膨胀现象（如橄榄岩的蛇纹石化）。此外，交代蚀变作用时间的长短、热液通过的数量、被交代岩石裂隙发育的程度、矿物颗粒的大小、岩石的空隙度和透水性等，虽不是平衡的因素，不能决定交代蚀变岩中交代矿物的种类和成分，但对交代蚀变作用的强度、广度和深度却有重要的影响。

在岩石遭受交代蚀变的早期，原岩的化学和矿物成分对交代蚀变相往往起着重要的作用，这是因为在交代蚀变的早期，围岩中的组分可以大量供给热液，以维持其“饱和”的

程度。常常可以看到，在初步交代蚀变的岩石中，不仅原岩中残留矿物的种类较多，继承性矿物种类也较多，而且交代蚀变矿物的种类也较多。例如在青磐岩化粗安岩中，常可见斜长石为钠长石、绿帘石、绿泥石和碳酸盐所交代；角闪石为绿泥石、碳酸盐及黄铁矿等所交代；钾长石有时稳定，并可有冰长石的形成，有时也可为绢云母等所交代。但随着交代作用的发展，当岩石中的残留矿物完全消失时，也就是当原岩中某些组分被大量带出时，热液带入的组分逐渐起到主导作用，早期形成的交代蚀变矿物（包括继承性矿物）中有些也逐渐变得不稳定，交代蚀变矿物的数目进一步减少，最后，青磐岩化粗安岩可以完全转变为由绢云母、石英或完全由石英组成的绢英岩或交变石英岩。因此，单矿物岩是交代蚀变岩所常见的。

第二节 交代蚀变岩的结构

交代蚀变岩石的结构（texture）是研究岩石成因和鉴别岩石类型的基本特征之一。

由于交代蚀变岩虽然是流体或气化—热液对其他固体岩石发生交代蚀变而形成的，但其成因却不同于岩浆岩和沉积岩及其他类型变质岩，因此交代蚀变岩的结构与其他岩类的结构常有较大差别。这类岩石在其形成过程中受到许多因素的影响和制约，局部性和随机性表现十分突出，这是野外观察和室内研究时必须注意的。

交代蚀变岩的结构是指交代蚀变岩中的交代蚀变矿物的形态、大小、相互关系以及对原岩中的矿物或早期形成的交代蚀变矿物的交代方式和保留原岩的结构残余等。根据定义，可知交代蚀变岩的结构指的是多方面的；有的是指整个岩石的结构，如变余辉绿结构、花岗变晶结构等；有的是指交代蚀变矿物本身的形态和交代其他矿物的方式等，如自形变晶结构、假象结构等；有的是指交代蚀变矿物内部的结构，如环带状结构、条纹状结构等；有的是指某一种矿物的各个个体组合的方式或形态，如放射状变晶结构和束状变晶结构等；有的是指几种矿物的颗粒组合的形态，如聚斑状变晶结构等；所以对一种交代蚀变岩常常从不同方面来描述其结构和构造。交代蚀变岩的结构一般采用变质岩的结构名称。下面对交代蚀变岩的结构进行分类和描述。

一、变余结构类

在交代蚀变不太强烈和不完全的交代蚀变岩中，在一定程度上残留或保留原岩的某些主要结构，并能根据这种结构和残留的矿物来识别原岩的性质。如云英岩化花岗岩，在外貌上基本上保持花岗岩的结构，同时还有较多的原生斜长石、钾长石、石英和云母的残留体，因此称为变余花岗结构（blastogranitic tex.）；其他如变余辉长结构、变余辉绿结构、变余安山结构、变余粗面结构、变余斑状结构、变余砾状结构和变余砂状结构等，都属于变余结构类的。

二、变晶结构类

交代蚀变中由交代蚀变作用形成的矿物，统称为变晶（blastasy）。如果原岩的结构基本或完全不保留，主要或全部由变晶矿物组成时，则称为变晶结构。变晶结构还可进一步划分。

1. 按变晶矿物粒大小

- (1) 巨粒变晶结构：也称伟晶状变晶结构。由粒径大于 10cm 的交代蚀变矿物所构成；
- (2) 粗粒变晶结构：由粒径为 0.3 ~ 10cm 的交代蚀变矿物所构成；
- (3) 中粒变晶结构：由粒径为 0.1 ~ 0.3cm 的交代蚀变矿物所构成；
- (4) 细粒变晶结构：由粒径为 0.01 ~ 0.1cm 的交代蚀变矿物所构成；
- (5) 极细粒变晶结构：由粒径在 0.01cm 以下的交代蚀变矿物所构成。

2. 按矿物结晶发育完好的程度

- (1) 全自形变晶结构 (panidioblastic tex.)：全部或几乎全部由自形晶的变晶，即晶形发育完好的交代蚀变矿物所构成的交代蚀变岩石的结构；
- (2) 自形变晶结构 (idioblastic tex.)：指岩石中某种自形程度良好的交代蚀变矿物的结构；
- (3) 半自形变晶结构 (hypidioblastic tex.)：岩石中部分显出自身外形的交代蚀变矿物组成的结构；
- (4) 他形变晶结构 (allotrioblastic tex.)：岩石中受其他矿物颗粒的轮廓控制或本身不具结晶外形的、形态不规则的交代蚀变矿物的结构；
- (5) 半自形 - 自形变晶结构：介于自形变晶和半自形变晶结构之间的结构；
- (6) 他形 - 半自形变晶结构：介于他形变晶和半自形变晶结构之间的结构。

3. 按变晶的形态及变晶集合体形态

- (1) 花岗变晶结构 (granoblastic tex.)：主要由粒状交代蚀变矿物所构成；
- (2) 纤维花岗变晶结构 (granonematoblastic tex.)：由含粒状矿物和纤维、柱状变晶矿物所构成；
- (3) 鳞片花岗变晶结构 (granolepidoblastic tex.)：主要由粒状矿物和鳞片变晶矿物所构成；
- (4) 鳞片变晶结构 (lepidoblastic tex.)：主要或全部由片状交代蚀变矿物所构成；
- (5) 柱状变晶结构：一般把柱状变晶结构列入纤维状变晶结构中，但事实上，柱状矿物和纤维状矿物在特征上不完全相同，因此有必要独立出来。这种结构是由柱状交代蚀变矿物所组成的，称为柱状变晶结构；
- (6) 纤状变晶结构 (nematoblastic tex.)：由纤状交代蚀变矿物所构成，如果交代蚀变矿物呈极细的纤维状，可称纤维状变晶结构 (fibrablastic tex.)；
- (7) 柱状 - 纤维状变晶结构：由柱状和纤维状的交代蚀变矿物所构成；
- (8) 放射柱状变晶结构：柱状的交代蚀变矿物呈放射状排列；
- (9) 他形变晶结构 (alotrioblastic tex.)：岩石中受其他矿物颗粒的轮廓控制或本身不具结晶外形的、形态不规则的交代蚀变矿物所组成的结构；
- (10) 半自形 - 自形变晶结构：介于自形变晶和半自形变晶结构之间的结构；
- (11) 帚状变晶结构：柱状、片状和纤状交代蚀变矿物呈帚状排列；
- (12) 稻束状变晶结构：柱状、片状和纤状交代蚀变矿物呈稻束状排列。

4. 不等粒和不均匀结构类

- (1) 斑状变晶结构 (porphyroblastic tex.)：又称为变斑状结构，变晶矿物可明显分为大小两群，大者称为变斑晶，小者称为石基。变斑晶在交代过程中常由于生长发育较快，而