

贵州六枝郎岱地区上二叠统玄武岩屑砂岩 成岩特征与自生矿物的成因

胡惟元*

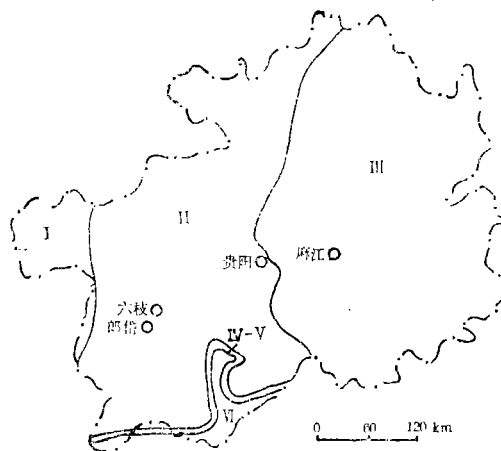
(地质矿产部○五项目工程处)

内容提要 本文在叙述玄武岩屑砂岩成岩序列的基础上,依据多种实验分析手段所获得的资料,对其成岩阶段和环境作了划分,并讨论了含Ti—Fe蒙脱石、绿泥石、菱铁矿、铁白云石、铁方解石等自生矿物的成因。它们的形成受控于下列因素的综合作用:1)砂岩的成分和结构;2)沉积层间的组合特征;3)有机质的还原作用和热成熟作用;4)粘土岩中粘土矿物的脱水和转化作用;5)温度和孔隙的水的酸、碱度;6)压实作用。

主题词 粘土矿物脱水 压实作用 有机质还原 孔隙 pH值

作者简介 胡惟元 男 51岁 工程师 石油地质

贵州中西部上二叠统为一套泥岩、玄武岩、屑砂岩、煤层所组成的旋回性沉积,由冲积平原相和潮坪—沼泽相组成。郎岱位于潮坪—沼泽相区(图1)。



I、冲积平原相 II、潮坪—沼泽相 III、碳酸盐台地相 IV—V、台地边缘生物礁台地前缘斜坡相、 VI、盆地相

图1, 贵州上二叠统沉积相略图(据杨宏1982略加修改)

Fig. 1 Sedimentary facies of the Upper Permian, Guizhou

* 参阅七页七下的尚存李静琰、邹志福、郑复中、王贵阳等同志。

一、上二叠统的岩性、沉积环境

研究区上二叠统为潮坪-沼泽-潮下相环境, 按岩性及沉积环境可分为三段(图 2):

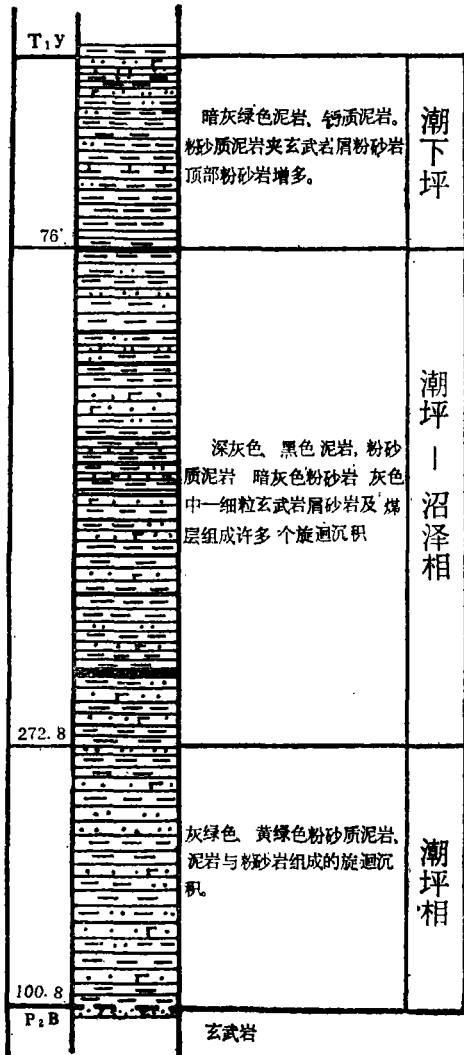


Fig. 2 Lithological characters and environment of Upper Permian in Langdai, Guizhou

图 2 贵州六枝郎岱上二叠统岩性与沉积环境

2. 胶结作用 共四种, 以绿泥石胶结物为主, 充填于原生孔隙中。

1) 黑色含钛铁的泥质边, 是砂岩最早的普遍的胶结物, 包裹颗粒(图版 I, 3、4、5、8), 其成分主要是硅、铝及少量铁、镁、钛(表 1)是一种含铁、钛的蒙脱石-伊利石类粘土矿物。

2) 绿泥石, 以浅绿色叶绿泥石、斜绿泥石为主, 鳞片状、微晶粒状, 可见二个世代

上段, 暗灰绿色泥岩、钙质泥岩、粉砂质泥岩夹玄武岩屑粉砂岩, 含腕足类等化石。厚 76m, 属潮下相。

中段, 由韵律旋回组成, 自下而上为: 泥岩, 含腕足类化石→粉砂岩, 具小砂纹层理→中、细砂岩, 具脉状层理、波状层理→粉砂岩、泥岩, 见透境状层理、菱铁矿结核或透镜体(图版 1, 2), 见腕足类化石。向上为富含黄铁矿的泥岩→炭质泥岩及煤层。这反映了水动力条件弱强的过程, 即由海侵开始的潮坪到海退结束的沼泽相的变化过程。厚 196.8m。

下段, 灰绿色泥岩与粉砂岩成旋回, 水平层理为主, 少透境状层理, 腕足类、瓣鳃类等化石富集成层。见菱铁矿结核沿层分布, 为潮坪相, 厚 100.8m。

二、玄武岩屑砂岩的成岩序列及其划分

砂岩细粒为主, 玄武岩屑颗粒含量多数达 99%; 石英、长石很少。砂粒分选中等, 磨圆较好。玄武岩屑由普通辉石、拉长石及含铁玻璃质组成。

(一) 玄武岩屑砂岩的成岩序列

1. 压实作用 主要为机械压实, 如颗粒压弯、压折、嵌入、变形等。颗粒压实接触处见含钛铁的泥质边, 但无绿泥石

(图版 I, 3)。

(图版 I, 4、5)。其成分如表 1 表示。它包裹含钛铁的泥质边及微球粒黄铁矿(图版 I, 1、5、8)。

3)水云母、高岭石, 含量少, 它们主要形成于沉积后不久的浅埋阶段。

4)硅化有两个时期, 早期的呈微、粉晶状、平行纤状石英, 沿纹层缝, 植物干缩缝, 早期黄铁矿结核边缘分布(图版 I, 1); 晚期的充填于绿泥石溶解的次生孔隙中(图版 I, 8)。

表 1 玄武岩屑砂岩电子探针分析数据

Table 1 Analytic data of electron probe of basaltic sandstone

分析的矿物及岩屑	元素的氧化物含量(%)								
	Na ₂ O	MnO	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	FeO	TiO ₂
含钛铁的泥质边	0.391	0.037	0.519	39.360	3.891	18.242	2.512	12.917	2.984
绿泥石—水云母化岩屑	0.057	0.042	2.202	41.464	4.778	21.951	3.691	16.256	0.000
第一世代绿泥石	0.035	0.060	0.114	25.904	8.517	20.077	0.108	30.251	0.077
第二世代绿泥石	0.067	0.006	0.113	30.782	13.504	14.837	0.032	28.507	0.109
玄武岩*	2.260	0.200	8.350	48.140	4.610	13.440	1.230	13.820	4.190

*号者系郑启铃(1981), 余为中国科学院贵阳地球化学研究所实测。

3. 交代作用 主要为绿泥石化和碳酸盐化。

1)绿泥石化 鳞片状绿泥石主要交代岩屑上的玻璃质、长石、辉石及硅质等(图版 I, 5、8)。

2)Ca-Fe-Mg碳酸盐化 发育于中段含煤层系的砂岩中, 以铁白云石为主, 菱铁矿次之, 方解石甚少。

铁白云石细—中晶、自形、半自形, 含量10—30%, 交代岩屑、长石、绿泥石和石英(图版 I, 6)及黄铁矿、菱铁矿等。

菱铁矿可分两种: 由泥微晶组成的结核及透镜体(图版 I, 2), 沿层分布, 微切层理, 其上方层纹略有弯曲, 显示形成于压实作用期间。分散状细晶者, 自形、半自形菱面体, 沿绿泥石环边外侧成排分布, 交代岩屑、长石及绿泥石(图版 I, 8)。

含铁方解石它形, 有双晶纹, 交代岩屑和铁白云石等及裂隙中充填, 数量少。

3)黄铁矿化 黄铁矿富集于潮坪—沼泽相上部的粉砂岩中, 由密集的微粒集合体组成层纹状、结核状, 常与炭质纹层、炭屑、植物屑相伴。细粒立方体黄铁矿(图版 I, 7)沿砂岩邻泥岩边缘富集, 并交代白云石。

4. 溶解作用 矿物和岩屑的溶蚀多发生在中、晚成岩的深埋和近地表的大陆环境。

通过地表与平碛中同一砂岩的对比研究, 发现碳酸盐矿物及黄铁矿等的溶蚀大部分是近地表淡水环境下发生的。

深部溶蚀主要是自生绿泥石被溶, 溶后的次生孔隙被石英(图 I, 8)或黄铁矿充填, 水域、织金、大方等地井下样可见绿泥石被溶的孔隙, 其中少数为自形菱面铁的白

云石充填，表明深部溶蚀发生于绿泥石之后，铁白云石之前。

综上所述，玄武岩屑砂岩的成岩序列主要环节为：含钛铁泥质边——压实——绿泥石化——溶解——硅化——黄铁矿化——Ca-Fe-Mg碳酸盐化——溶解、赤铁矿化、褐铁矿化（表2）。

表2 上二叠统玄武岩屑砂岩成岩作用模式

Table 2 Diagenesis model of basaltic sandstone, Upper Permian Guizhou

阶段 作用/环境	早期成岩	中 期 成 岩	晚期成岩
	海底—浅埋	深 埋	大 陆
压实作用	——	——	
钛铁蒙胶石边	——		
黄铁矿化	——	——	
绿泥石化		——	
硅 化	——	——	
菱铁矿化	——	——	
铁白云石化		——	
铁方解石化			——
溶 解	——	——	——
褐铁矿化赤铁矿化			——

（二）玄武岩屑砂岩成岩阶段、环境的划分

前述成岩作用、自生矿物和环境显示了阶段性。本文使用的成岩作用阶段术语与施密特^[2]，乔奎特^[3]的相同，唯早期成岩作用的下界下移到施氏的未成熟期末（表3）其划分依据如下：

表3 玄武岩屑砂岩成岩作用阶段、环境的划分

Table 3 Divided of diagenetic stage and environment of basaltic sandstone, Guizhou

乔奎特等（1970） 施密特（1979）	早期成岩作用	中 期 成 岩 作 用				晚期成岩作用
		未成熟期	半成熟期	成 熟 期	超成熟期	
本 文	成岩作用	早期成岩作用		中期成岩作用		晚期成岩作用
成岩环境	海底—浅埋	深 埋		大陆浅埋		

早期成岩作用阶段，上界与沉积物开始稳定埋藏的时期吻合，下界与中期成岩作用上界吻合；主要是机械压实作用、不稳定组份变化，形成多种自生矿物，如高岭石、水云母、黄铁矿、含钛铁的粘土矿物等，但数量很少。本阶段相当于泥炭-褐煤阶段，属海底-浅埋环境。

中期成岩作用上界即早期成岩作用下界,下界与变质作用上界或晚期成岩作用下界吻合,主要是胶结作用和交代作用。早期以绿泥石化为主,它们既充填了压实后的原生孔隙,也广泛交代了岩屑等颗粒。自生矿物为绿泥石、石英和黄铁矿组合,相当于长煤阶段。晚期以Ca-Fe-Mg碳酸盐化的交代作用为特征,自生矿物组合为菱铁矿、铁白云石、铁方解石,相当于气煤-肥煤-焦煤阶段,属碱性水深埋环境。

晚期成岩作用,上界为风化作用开始,下界与中期成岩作用相接。因砂岩抬升到近地表浅埋大陆环境,淡水淋滤了碳酸盐矿物,氧化了含铁矿物。

三、自生矿物的成因分析

如前所述,绝大部分自生矿物为含铁的铝硅酸盐和含铁碳酸盐及铁的硫化物。它们的成分与岩石的组份和有机质的热演化密切相关,其生成顺序则受成岩的地球化学环境的控制。下面着重讨论它们的形成的机理。

1. 黑色含钛铁的泥质边

如表1所示,其成份为蒙脱石/伊利石混层矿物类,呈雾状粘土,含少量尘点状质点,是锐钛矿、白钛石的雏晶,参混于粘土矿物中。据对玄武岩观察,含铁玻璃质全变为黑色雾状粘土矿物,辉石多变为绿泥石。玄武岩屑砂岩中除部分斜长石外,玻璃质和辉石已转化呈黑色雾状粘土。把玄武岩与含钛铁泥质边对比(表1)不难看出,后者的成分是就近取自玄武岩屑颗粒的。如前所述,在沉积物埋藏后不久,因岩屑中不稳定组份如玻璃质和辉石极易分解,并形成含钛铁的蒙脱石粘土矿物,与之共生的自生高岭石、海绿石表明是酸性水环境。随着砂岩不断埋深,蒙脱石向蒙脱石/伊利石混层矿物转化。

2. 绿泥石的生成和溶解

1) 绿泥石的生成

由于沉积时的湿热气候,来自玄武岩屑的大量铁质,呈 Fe^{3+} 形式被富含有机质的粘土质点吸附。随着埋藏成岩作用, Fe^{3+} 不断被有机质还原呈 Fe^{2+} ,并溶于粘土岩的孔隙水中。孔隙水中 Fe^{2+} 浓度增加的同时,碱度也增加。 Fe^{2+} 最先在还原环境中形成微晶球黄粒铁矿。随着埋深加大,压实增强,以及中期成岩的粘土矿物脱水作用,富含 Fe^{2+} 等离子的孔隙水,不断进入毗邻的砂岩中,于是改变了砂岩的地球化学环境,使低pH的酸性水,受到碱性水的缓冲,逐渐由酸性→中性→弱碱性转化,造成了绿泥石沉淀的环境。

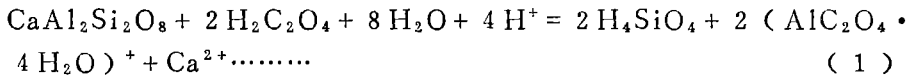
如前所述,玄武岩屑中的玻璃质、辉石等的溶解和转化,增加了砂岩孔隙水中的 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Si^{4+} 等的浓度,为绿泥石的形成提供了丰富的物源。

由表1可知,玄武岩屑提供绿泥石物源,只要上述条件具备,绿泥石必然大量形成。贵州西部玄武岩屑砂岩中绿泥石化普遍强烈的根本原因就在于此。由表1可知,第二世代绿泥石较第一世代富铁和铝,证实了上述对绿泥石形成过程的分析。

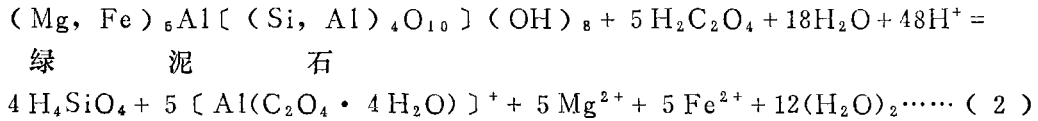
2) 绿泥石的溶解

(1)沙达姆(Surdam)等¹⁾(1983)作了铝硅酸盐的溶解试验,结论是:a、铝硅酸盐的溶解是一个铝的活度问题,在羧酸溶液中能有效地增加铝的活度,并使其变为有

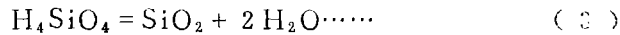
机络合物迁移, 他以斜长石为列, 其反应式为:



b. 用相当于油田水温度(80°-200℃)和浓度(5000ppm)的醋酸溶液作试验, 能使铝的溶解度上升一个数量级, 而同样条件下的草酸溶液, 则铝的溶解度上升三个数量级。上述a、b两点可引伸来解释绿泥石的溶解, 其反应式为:



如(2)式所示, 绿泥石的铝被草酸络合, 增加了铝的活度, 使绿泥石失去稳定性而溶解, 致使 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 等离子进入水中。因(2)式的 H_4SiO_4 不稳定, 不久就发生下式反应:



这就是绿泥石溶解的次生孔隙充填石英的原因。

(2)泥岩中具丰富的有机质, 主要是Ⅲ型干酪根类的成气母质, 在热成熟过程中干酪根上的单、双官能团羧酸自其核心上断裂, 随着压实和粘土矿物的转化和脱水作用, 它们就进入邻层砂岩中, 使砂岩中的孔隙水受到缓冲, 水介质由弱碱性→中性→弱酸性转化, 若在80—100℃时, 绿泥石就失去稳定^[1]。这个阶段正是泥岩中蒙脱石向混层矿物转化的脱水阶段。

综上所述, 泥岩中有机质热成熟产生大量羧酸, 并为压实和粘土矿物脱水作用的水带入砂岩中, 致使绿泥石中的铝被羧酸络合而出溶, 这就是中期成岩深埋阶段绿泥石被溶的机理。

3. 碳酸盐矿物

1) 由前述可知, 泥岩孔隙水中富含 Fe^{2+} 、 OH^- 、 HCO_3^- 等离子, 当它们在埋藏成岩过程中不断进入砂岩的孔隙中。如前述绿泥石的形成消耗了 Fe^{2+} 。但是, 绿泥石溶解, 如反应式(1)、(2)所示, 铝硅酸盐的溶解消耗了水介质中的酸的浓度, 使之向中性—碱性水转化, 同时增加了水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 等浓度。

2) 在埋藏过程中, 煤化作用形成丰富 CH_4 的同时, 也形成一定数量的 CO_2 。由于上二叠统上段有数十米泥岩封盖, 随着 CO_2 数量增加, 分压亦增加, 它们溶于碱性水后, 易与 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 离子结合形成Ca-Fe-Mg碳酸盐。此外, 钙还可由生物介壳的硅化, 长石的溶解和灰岩透镜体的压溶提供。

3) 如表4所示, 裂隙中方解石的氧同位素比菱铁矿结核中的值轻的多, 表明方解石形成更晚, 温度、埋深比菱铁矿结核更高、更深。结合前述的宏观成岩标志及方解石产状等说明, 两者形成的早、晚与环境明显不同。菱铁矿核心的氧同位素值高于边缘部位的值, 而分散细晶菱铁矿的氧同位素值又比前两者轻的多, 并接近方解石的值。根据

1) 沙达姆(Sudam)等, 1983, 形成次生孔隙的化学机理, 石油参考资料(1984), 第二期长庆石油勘探局, 石油勘探开发研究院, 荣龙春译。

前文的分析,笔者认为结核状泥微晶菱铁矿是压实过程的早中期逐渐形成的,分散晶粒菱铁矿是深埋期间形成的。但又早于铁方解石。透镜状灰岩裂隙方解石及其邻近的砂岩裂隙方解石的碳同位素均较煤层裂隙方解石及菱铁矿中的碳同位素重的多,说明前两者明显受灰岩压溶的影响。

表4 碳酸盐矿物中的碳,氧同位素分析数据

Table 4 Analytical data of carbon and oxygen in carbonate

样号	矿物与产状	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}(\text{PDB})$	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}(\text{PDB})$
841—157	分散细晶菱铁矿	-10.35	-4.18
841—157	菱铁矿结核外带	-3.48	-0.73
841—157	菱铁矿结核核心	-2.64	1.03
841—130*	灰岩中方解石脉	-17.12	5.27
841—124	砂岩中方解石脉	-9.43	8.10
841—190	煤层中水平状方解石脉	-12.56	-1.91
841—190	煤层中垂直状方解石脉	-13.48	-2.43

*系砂岩中夹的灰岩透镜体

本文编写过程中,曾得到金式刚、曹邦君同志的帮助,刘树晖同志审阅全文,并提出了宝贵意见,在此一并表示感谢。

1984年4月11日

参 考 文 献

- [1] 弗斯科尔斯, 1983, 国外地质, (1985), 11期, 15—25页。
- [2] Schmidt, V. and McDonald, D. A. 1979, AAPG Continuing education course note series, No. 12, p. 66—97
- [3] Choquette, P. W. and Pray, L. C, 1970, AAPG V. 54, p. 207—250
- [4] Shaw, 1980, Clay Minerals sediments and sedimentary rocks, Developments in Petroleum Geology—2 Edited by G. D. Hobson, P. 58—46. Applied Science publishers LTD. London

FEATURES OF DIAGENESIS AND GENESIS OF AUTHIGENIC MINERALS IN BASALTIC SANDSTONES (UPPER PERMIAN SERIES) IN THE LANGDAI DISTRICT LIUZH COUNTY GUIZHOU

Hu Weiyuan

(05 project Administration, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

The Upper Permian Series in Langdai district of Liuzhi County, western Guizhou, is composed of cyclical sequences of basaltic lithic sandstones, siltstones, mudstones and coalbeds. An examination of sedimentary features reveals that all these layers were deposited in tidal-swamp and subtidal environments.

The description of diagenetic sequence for the basaltic lithic sandstone is given in the present paper, and the genesis of the authigenic minerals, i.e., Ti-Fe montmorillonite, Chlorite, ferrodolomite and ferrocalcite, in this sort of rock are discussed in detail on the basis of the authors study means of various laboratory procedures such as thin section petrography, scanning electron microscopic analysis, electron probe analysis, X-ray diffraction analysis, and carbon and oxygen isotope analysis for the carbonate, etc. .

It is pointed out that:

1. The diagenetic sequence of basaltic lithic sandstones is Ti-Fe montmorillonite → compaction → chloritization → dissolution → silicification, pyritization → ferrodolomitization → ferrocalcitization → ferritization, hematitization.

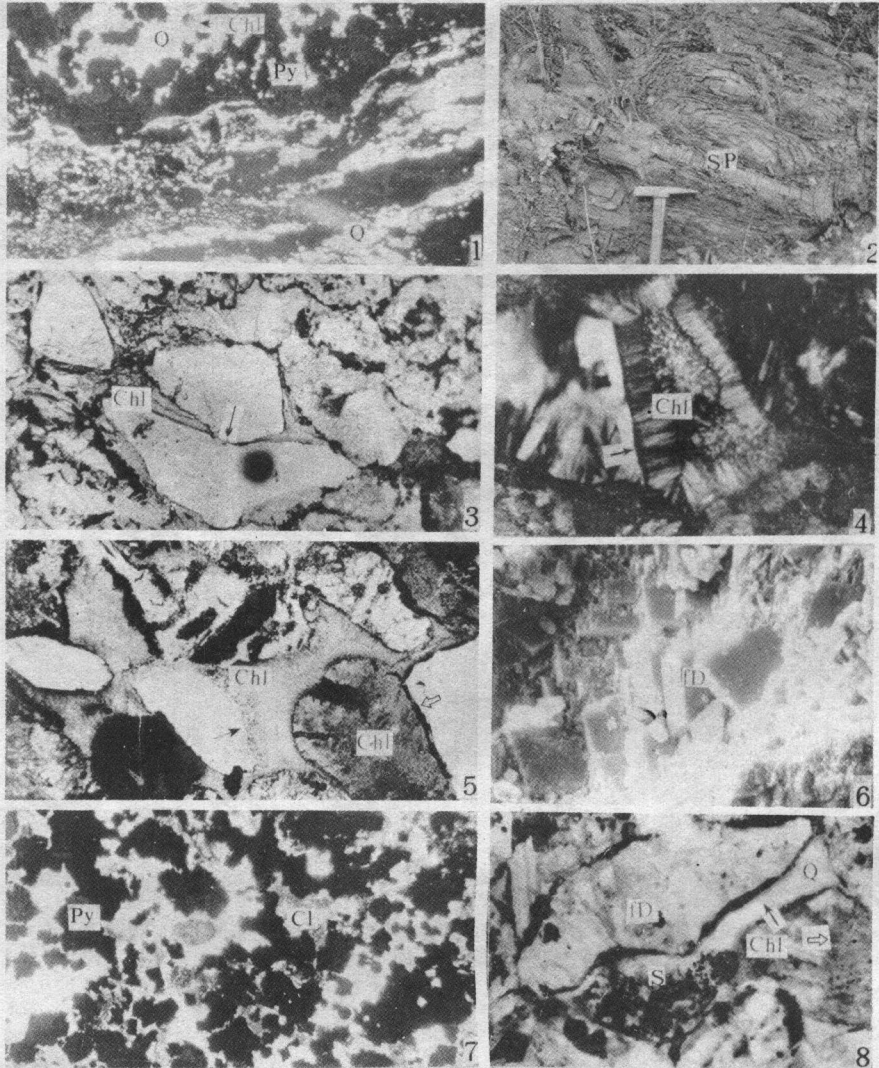
2. The diagenetic stage and environment of basaltic lithic sandstones may be divided into:

1) Shallow burial, early diagenetic stage, acid water environment;

2) Deepburial-mesodiagenetic stage, weak base acid alkalinity water environment;

3) Nearsurface, late diagenetic, meteoric freshwater environment.

3. Geneses of these authigenic minerals are essentially controlled by the variety of combination patterns of the following factors: 1) composition and texture of the sandstones; 2) characteristics of assemblages of the sedimentary layers; 3) the reduction level of organic matter and its thermal maturation; 4) transformation and dehydration of clay minerals in the mudstones; 5) compaction and 6) temperature and acidity or alkalinity of pore water.



1. 碳质泥岩, 微粒及纤状石英 (Q), 自生鳞片状绿泥石 (chl) 及微球粒状黄铁矿 (Py) 组成的结核, 单 × 400
 2. 泥质粉砂岩, 球形风化及薄层菱铁矿透镜体 3. 层纹状泥质玄武岩屑细砂岩, 含钛铁泥质边 (黑色) 及纤状绿泥石环边 (chl), 颗粒压入处无绿泥石 (箭头示), 单 × 125 4. 玄武岩屑中砂岩, 两个世代的绿泥石胶结物 (chl) 边为纤状中心微粒状 含黑色钛铁泥质边 (箭头示), 正 × 125 5. 玄武岩屑中砂岩, 颗粒具含钛铁泥质边 (白箭头示), 孔隙被纤状绿泥石充填, 并交代石英 (黑箭头示) 及岩屑颗粒, 单 × 100 6. 玄武岩屑中砂岩, 自形菱面铁白云石 (fD) 交代绿泥石 (chl), 扫描电镜 × 960 7. 玄武岩屑砂岩, 立方体黄铁矿 (Py) 间为残余长石、岩屑及粘土矿物 (Cl), 单 × 250 8. 中一细粒玄武岩屑砂岩, 含钛铁泥质边, 被溶蚀的绿泥石 (黑箭头), 石英充填次生孔隙 (Q), 菱铁矿 (SP) 交代岩屑, 绿泥石及石英。铁白云石 (fD) 绿泥石 (白箭头) 交代岩屑, 单 × 250