

滇西宁蒗—丽江地区 泥盆系白云岩的成因

韩征 余素玉

(中国地质大学, 武汉)

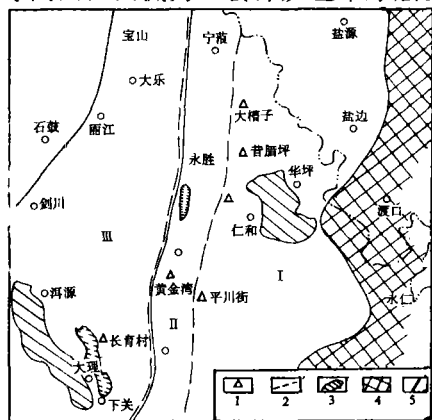
摘要 本区泥盆系主要为一套碳酸盐岩沉积物, 以白云岩为主。其形成机理以混合水白云石化作用为主。以白云岩镜下结构为飘浮菱面体结构、接触菱面体结构、直边镶嵌结构及缝合镶嵌结构。阴极发光和电子探针分析结果表明: 混合云化形成的白云石从中心到边缘, Fe^{++} 、 Mn^{++} 富集, K^+ 贫化, 形成白云石雾心亮边的特点, 阴极发光则表现为具核心和环带。在地下成岩及深埋环境中, 巨晶白云石在单偏光下具褐色环带, 阴极发光下因富铁而呈黑红色——不发光。

主题词 白云石 混合水白云石化 成岩环境 阴极发光 环带 雾心亮边

第一作者简介 韩征 女 24岁 助教 岩石学

一、沉积背景

工作区内地层从震旦系到第四系均有出露。其中泥盆系以程海—宾川大断裂为界分为东西两区(图1), 东区为浅灰色中—厚层生物灰岩、泥晶灰岩、灰质云岩、鲕状灰岩夹钙质角砾灰岩, 底部为砂岩、页岩, 该套岩层含丰富的浅海相化石, 分布在大槽子、昔腊坪、黄金湾等剖面。西侧为一套深灰色中厚层泥晶灰岩、生物灰岩、硅质结核灰岩、页岩、黑色硅质岩岩, 含大量竹节石和放射虫化石, 长育村为其代表性剖面。



I. 开阔台地相 II. 台地边缘相 III. 盆地相
1. 剖面 2. 相区长线 3. 剖蚀区 4. 古陆 5. 断层

图1 工作区泥盆系的沉积相略图

Fig.1 Depositional facies sketch map of Devonian in the study area.

昔腊坪剖面主要为开阔台地沉积, 可细分为浅滩和小生物丘微相。黄金湾和长育村剖面为台地边缘和盆地相沉积。

区内构造复杂, 断层发育, 从古生代就已存在的程海—宾川大断裂长期活动, 对古地理格局及沉积建造起控制作用。东部从奥陶纪开始抬升, 至泥盆纪则不接受沉积, 形成康滇古陆。

依据岩石、生物、地球化学等多方面相标志证实, 宁蒗大槽子泥盆系主要为潮坪—河口湾潮道沉积, 并据其岩石、生物组合、介形虫生态组合及古盐度(1986年由同济大学用沉积磷酸盐法测定)等特征, 可进一步分出泥坪、河口湾潮道、下潮间坪泻湖等微环境。

二、区内泥盆系碳酸盐岩的成岩环境及成岩史

本区碳酸盐岩包括颗粒泥晶灰岩、泥晶颗粒灰岩、亮晶颗粒（以砂屑、生屑为主）灰岩及云质灰岩和白云岩，这些岩石分别沉积于近岸的潮坪、潮间泻湖、潮下浅滩等环境（如大槽子剖面）。昔腊坪剖面多为亮晶砂屑（或鲕粒）灰岩及部分生物灰岩，并常见白云岩，为潮下浅滩及生物泥丘沉积。延续向西南侧则为远岸的台地边缘和盆地相。这些碳酸盐岩总体上属于海进层序的沉积，各剖面所处古环境不同，则其经历的成岩环境也各具特色（图2）。除大槽子地区为近岸沉积，某些层位的沉积表明因有过短暂海退，可能经历了大气成岩环境以外，其它剖面皆属远岸沉积，并未因海退而影响其环境经历，即大部分地区的碳酸盐岩沉积物通过海底成岩环境以后随即进入浅埋地下水及深埋成岩环境。最后因地壳抬升，各地岩石都经受表生淡水作用。

本区泥盆系碳酸盐岩在成岩过程中主要经历了胶结或沉淀作用、溶解作用、矿物转化、重结晶作用、白云石化作用、泥晶化作用及压实和压溶作用等等。

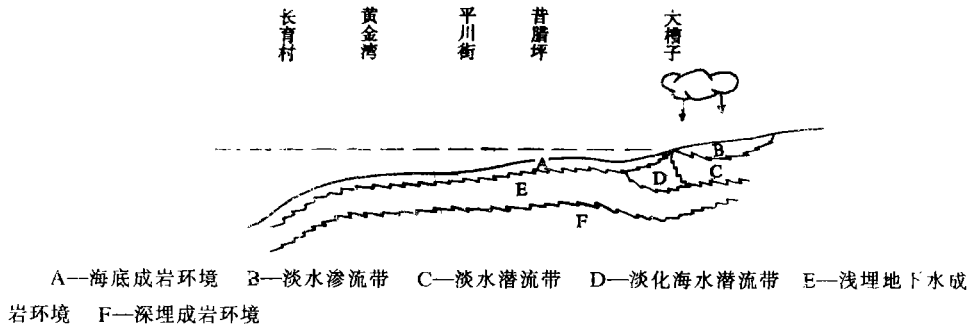


图2 本区泥盆系碳酸盐岩环境和成岩序次

Fig.2 Diagenesis environments and diagenesis succession of Devonian carbonate rocks in the study area

关于成岩环境的划分，基本上参考 Longman (1980) 的分类方案及有关术语和划分依据。

三、区内泥盆系岩石中白云岩的产出特点

白云岩为区内主要岩石类型之一，分布于大槽子、昔腊坪、平川街、黄金湾的中、上泥盆统。白云岩的类型多而复杂，自形、半自形、它形，粉晶、细晶、中晶、粗晶。其内部结构、产出特征、阴极发光下的特征及构成的岩石结构和岩石类型各有差异，详见表1。

四、白云岩的形成机理与成岩环境的关系

文中采用阴极发光与电子探针相配合的方法，对不同的发光部位进行探针分析，对白云岩的成因从定性、定量两方面进行初步探讨。

经综合研究证实，区内白云岩的形成机理以混合水白云石化作用为主，间有调整白云石化作用，局部且有重结晶作用。白云岩的主要结构有：飘浮菱面体结构、接触菱面体结构、直边镶嵌结构、缝合镶嵌结构 (Randazzo & Zachos, 1984)。白云岩的形成机理与其成岩环境

密切相关，不同的成岩环境中形成的之化产物各具特征。区内白云岩的形成总体上经历了海底成岩、大气成岩、地下成岩及表生淡水成岩四个环境。不同的原岩及原始组构，其云化产物也有差异。下文以砂屑灰岩、泥晶灰岩及含生物泥晶灰岩这三种原岩为线索，分析它们在不同的成岩阶段、成岩环境中的云化机理及白云岩的特征（图 3）。

表 1 本区白云石的主要类型及其成因
Table 1 Main dolomite types and their origin in the region.

晶形	内部结构	阴极发光	岩石结构	形成机理	形成环境	成岩阶段	层位	
自形	粉晶		均匀飘浮菱面体结构	混合白云石化为主，间有调整白云石化	淡化海水潜流带	早期	Dc-67-1	
	细晶		不均匀飘浮菱面体结构				Dc-68-3	
	中晶		飘浮菱面体结构		浅埋地下水成岩环境	早期	Y-173-2	
	粗晶		接触菱面体结构				Y-139	
半自形	粉晶		直边镶嵌结构		局部发生重结晶	淡化海水潜流带	中期	Dc-79-1
	细晶					浅埋地下水成岩环境		
	粗晶					浅埋地下水成岩环境	中期	Y-151 Y-190-2 Y-164-1
它形	粉晶		缝合镶嵌结构		淡化海水潜流带	早期	Dc-79-2	
	细晶			浅埋地下水成岩环境	中期	Dc-86-1		
	粗晶			深埋地下水成岩环境	晚期	H-15 P-中-2 Y 150-1		

1.海底成岩环境

沉积物沉积下来之后即进入海底成岩环境。本区发生云化的主要沉积物类型为：泥晶砂屑灰岩、亮晶砂屑灰岩、泥晶灰岩及含生物泥晶灰岩（图 3，A、B、C、D），类型 A、C、D 在大槽子广泛发育，形成于潮间坪；B 类形成于潮下浅滩，主要分布在昔腊坪一带。从整个成岩发展史来看，这些沉积物在海底成岩环境停留时间很短，迅速进入地下成岩环境或大气成岩环境，在同生阶段，沉积物饱含海水，一般不发生云化作用。

2.大气成岩环境

从海底成岩环境到大气成岩环境是过渡性的。淡化海水潜流带为二者之间的过渡环境，在此带中，海水为 5—30% 的混合水，对方解石仍不饱和，而白云石已达过饱和 (Badiozamani, 1937)，可以产生混合白云石化。

在大槽子一带，珊瑚比较发育，无蒸发岩矿物，说明气候比较温暖潮湿，再者潮间坪水体浅，短暂的海退或海平面稍许下降，就可使沉积物露出水面，大量雨水注入，在与海水接

触处产生混合水, 沉积于潮间坪的泥晶砂屑灰岩、泥晶灰岩、含生物泥晶灰岩的云化作用就是在这种情况下进行的。

云化作用首先从细粒物质开始, 在泥晶灰岩中交代灰泥的白云石, 细—粉晶、自形, 分布不均 (图 3, C₂), 若交代速度快, 结晶中心较多, 则白云石分布较均匀, 细—粉晶, 自形, 形成漂浮菱面体结构 (图 3, C₄, 图版 I, 4)。含生物泥晶灰岩, 仅灰泥基质被交代, 白云石自形为主, 少量半自形、半透明, 细—粉晶, 分布均匀, 形成接触菱面体结构 (图 3, D₂) 泥晶砂屑灰岩, 云化同样是从灰泥开始, 接着交代砂屑, 白云石为半自形, 只是交代灰泥的为细晶, 比较干净, 而交代砂屑的为比较浑暗的粉晶 (可能是砂屑中含有较多的有机质), 白云石为直边镶嵌结构 (图 3, A₂) 阴极发光下, 两种白云石发光一致, 为比较均匀的红色, 说明水体介质基本相同, 云化速度比较快。进行电子探针分析结果表明, $Sr/Ba < 1$, $Fe/Mn > 5$, 为淡化水, 证实这些白云石的确为混合水作用的产物。

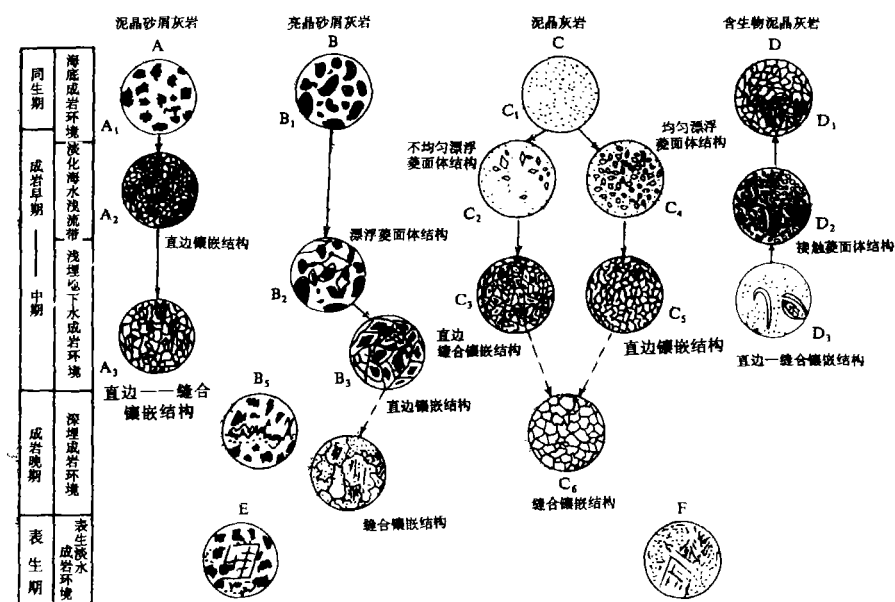


图 3 研究区白云石的成岩作用示意图。

Fig.3 Sketch map showing the diagenesis of dolomite

从以上分析可以看出, 在成岩早期淡化海水混合带中, 形成的白云石较小, 粉—细晶自形到半自形, 少数它形, 漂浮菱面体结构常见, 云化速度较快时可形成接触菱面体结构直边镶嵌结构。在此环境停留时间并不很长, 随着海水的上升或海侵持续, 将进入地下成岩环境, 第一次云化不彻底的, 在浅埋及深埋成岩环境中发生第二次云化作用。

3. 地下成岩环境

(1) 浅埋地下成岩环境 沉积物在经过海底或大气成岩环境之后, 进入浅埋地下成岩环境, 有些沉积物中孔隙已完全充填, 处于停滞水状态, 则不发生云化作用。如若早先未完全充填, 还剩余孔隙, 在该环境中流动的地下水与海水混合, 就发生混合白云石化, 形成的

白云石一般都比较粗大, 在孔隙中也可直接沉淀白云石。

在昔腊坪一带, 当海平面稍许下降或小海退时沉积物一般不露出水面, 由海底成岩环境直接进入浅埋地下水成岩环境。混合云化发生未完全固结, 还具一定孔隙的砂屑灰岩中, 无选择性交代, 形成的白云石自形、粗大(中晶), 半透明, 并可见砂屑的残余阴影, 具雾心亮边(图 3, B₂)。

在浅埋阶段, 白云石的结构通常为飘浮菱面体结构(图 3, B₂)及接触菱面体结构, 随着埋藏深度逐渐加大, 可形成直边镶嵌结构(图 3, B₃, Y-149)。此类白云石的最大特点就是晶体粗大, 这与成岩环境密切相关。在地下成岩环境, 云化速度缓慢, 要求的 $Mg^{++}+Ca^{++}$ 浓度不太高, 对溶液中 Mg^{++}/Ca^{++} 要求比较低, 若作用温度为 $50^{\circ}C$, $Mg^{++}/Ca^{++} > 0.16$ 即可(奚瑾秋, 1984), 因此, 溶液浓度低, 成核速度就慢, 形成的白云石很粗大, 并且这些白云石都是高钙的(见表 2) 钙在白云石中的富集程度可反映沉淀溶液的 Mg^{++}/Ca^{++} 比率, 在较潮湿的非蒸发环境中, 溶液的低 Mg^{++}/Ca^{++} 比就导致较富钙的白云石沉淀(Morrow, 1982)。随着云化作用的缓慢进行, 微量元素随之发生变化。对白云石晶体进行电子探针分析结果(表 3)表明, 从晶体中心到边缘, F^{++} 、 Mn^{++} 的浓度逐渐增大(富集), K^{+} 逐渐减少(贫化), 微量元素的富集与贫化造成晶体的分带现象, 在单偏光下表现为雾心亮边, 阴极发光一则为不同颜色的中心与环带, 一般情况下, 从中心到边缘, 发光由亮变暗甚至不发光, 这是由于 Fe^{++}/Mn^{++} 比升高造成的(如 Y-149 图版 I-1.2)。另外据 Morrow (1982) 认为, 具混浊中心和洁净环带的中晶白云石晶体是在逐渐稀释的溶液影响下逐渐连续生长的, 并且从中心到边缘 Fe^{++} 、 Mn^{++} 富集, Sr、 Na^{+} 贫化。本区浅埋阶段的白云石与之相似, 但也有独特之处, 即白云石中 Sr^{++} 、 Na^{+} 含量非常低, 接近于零, 晶体中心也不例外, 而变化明显的是 K^{+} 的含量, 从中心到边缘逐渐贫化。 K^{+} 在雾心富集, 其来源可能为:

①白云石交代砂屑时剩余的一些不溶残余物, 如粘土质; ②据研究, 在现代河水与海水中化学成分不同, 海水中 K^{+} 、 Na^{+} 、 Sr^{++} 的含量高于河水, 与之相对比, 在古代混合水中, 起初溶液中海水为主, 提供大量的 K^{+} , 随着溶液逐渐淡化, 则 K^{+} 的含量降低, 造成白云石从中心到边缘 K^{+} 的贫化。

表 2 白云石不同部位的电子探针分析结果

Table 2 Result of electronic probe analysis from different part of dolomite

部位	元素 点号	Fe	Mn	Sr	Ba	k	Na	Ca	Mg	Sr/Ba	Fe/Mn	发光	层位
中心	11	0.424	0	0.002	0.269	0.058	0	24.949	12.967	0.0074		红色	Y-149
	12	0.259	0	0.036	0.089	0.066	0	23.971	13.858	0.40		红色	
边缘	10	0.453	0.085	0	0.066	0	0	23.534	14.194		5.33	兰黑	
	9	1.496	0.072	0.036	0	0.03	0	26.318	10.777		20.78	不发光	
中心	23	0.097	0	0	0.131	0.099	0	25.641	11.459	0	/	桔黄	y-174
边缘	25	0.046	0	0	0.194	0.069	0	26.341	12.427	0	/	兰色红色	
边缘	50	0.049	0.041	0	0.05	0.032	0	24.339	12.644	0	0.22	明亮	y-182

在淡化海水混合带, 泥晶灰岩和含生物泥晶灰岩中的灰泥被白云石交代, 形成飘浮菱面体和接触菱面体结构。进入浅埋地下成岩环境后, 在稀释溶液(地下水与海水混合)的继续作用下, 发生二次白云岩化, 原来云化较均匀的接触菱面体结构(图 3, C₄, DC-67—

I), 逐渐转化为直边镶嵌结构 (图 3, C₅, DC—88—1, 图版 I, 6), 在阴极发光下, 直边镶嵌接触的细晶白云石都具小菱面体核心, 二者发光不一致, 核心菱面体为明亮的红色, 其周围为较暗的红色, 说明是不同的介质条件下两次云化的产物。在大气成岩环境中 Fe⁺⁺ 很少, 而地下成岩环境中 Fe⁺⁺ 比较富集, 因此, 从白云石菱面体核心到边缘的发光由于 Fe⁺⁺ 的增高而变暗。原来云化不均匀的飘浮菱面体结构的白云石则变为直边镶嵌结构、缝合镶嵌结构 (图 3, C₃, DC—85—3, 图版 I, 3)。组成缝合镶嵌结构的白云石半透明、较脏、细晶, 阴极发光下具近菱形的小核心, 为飘浮菱面体继续长大而成。组成直边镶嵌结构的白云石以细晶为主, 粉晶次之, 半自形—自形, 雾心亮边发育, 阴极发光下晶体自形好, 全部具有暗红色环带, 结构为接触菱面体—直边镶嵌结构 (图版 I, 4)。电子探针分析结果 (表 4) 表明, 白云石富钙, 具雾心亮边, 环带发育, 半自形—自形的白云石晶体从中心到边缘 Fe⁺⁺ 富集, K⁺ 贫化, 与前面所述浅埋地下成岩环境下的交代砂屑灰岩的白云石的特征及形成机理一致。

表 3 DC—85—3 细晶白云岩电子探针分析结果

Table 3 Result of electronic probe analysis of kfine crystalline dolomite (DC—85—3)

部位	元素 点号	Fe	Mn	Sr	Ba	K	Na	Ca	Mg	Fe/Mn	Sr/Ba	发光
		雾心	15	0.023	0.118	0	0.058	0.049	0	26.109	12.512	0.19
亮边	16	0.168	0	0	0	0.137	0	25.439	12.656	∞		暗红

在淡化海水潜流带, 白云石交代含生物泥晶灰岩中的灰泥形成接触菱面体结构, 进入浅埋后, 白云石缓慢长大, 形成缝合镶嵌结构, 同时生物壳体 (如介形虫) 也部分被交代, 形成自形细晶白云石 (图 3, D₃, DC—78—3)。

表 4 P—中—3 白云石电子探针分析结果

Table 4 Result of electronic probe analysis of dolomite (P—mid—3)

位置	元素 点号	Fe	Mn	Sr	Ba	K	Na	Ca	Mg	Fe/Mn	Sr/Ba	发光	
		巨晶	内部	45	0.142	0.052	0	0.124	0	0	26.368	12.033	2.73
	褐色环带	46	3.552	0.093	0.104	0	0.08	0	25.021	11.546	38.19		黑红—不发光
粗晶	雾心	47	0.025	0.094	0	0.042	0.077	0	25.799	11.309	0.27	0	亮红色
自形白云石	亮边	48	2.377	0.123	0.012	0.183	0.075	0	24.310	13.066	19.33	0.066	黑红—不发光

(2) 深埋成岩环境

在深埋地下成岩环境, 压实作用强烈, 致使白云石普遍发生重结晶作用, 形成缝合镶嵌结构, 有些白云石内仍有砂屑的阴影或轮廓 (图 3, B₄, Y—151—1)。说明其原岩为砂屑灰岩, 有些重结晶强烈, 残余结构全部消失 (P—中—3, H—12、14、15), 原始组构难以确定, 原岩可能为砂屑灰岩, 也可能为泥晶灰岩。在阴极发光下, 这些白云石晶体内都具有菱面体核心, 发光不同于周围, 反映其成岩环境的变迁, 菱面体可能形成于成岩早期淡化海水潜流带, 或形成于成岩中期的浅埋地下水成岩环境, 最后在成岩晚期进入深埋地下成岩环境, 白云石继续长大或发生重结晶作用, 形成缝合镶嵌结构。

重结晶作用非常强烈时, 可把几个粗晶它形白云石连成一个极粗大的晶体 (这里称之为巨晶), 消光近一致, 大小 0.6—1mm, 它形边缘有一周很宽的褐色环带, 在孔隙或裂隙中有粗晶自形白云石, 雾心亮边发育, 阴极发光下明显看出, 巨晶是由多个具相同发光环带的粗晶白云石组成, 巨晶周围的褐色环带发暗红色—黑红色光 (P—中—3, 图版 I, 5、6), 裂隙中自形白云石的雾心发光亮红色, 亮边发光黑红色—不发光。经电子探针分析发现 (表 5) 褐色环带中含 Fe^{++} 高达 3.552%; 自形白云石的亮边中 Fe^{++} 为 2.377%, 而雾心中仅为 0.025%。白云石中含有如此之高的 Fe^{++} 说明当时溶液中 Fe^{++} 的供应非常充足, 这种 Fe 含量很高的溶液在性质上与还原的地下水潜流带中的成岩作用有关 (Morrow, 1982), 在潜水带 Fe^{++} 的供应是波动的, 反映在白云石晶体中即 Fe^{++} 的含量中心低边缘高。

4. 表生淡水成岩环境

沉积物抬升至潜水面附近, 大气淡水大量注入, 非选择性溶解形成晚期裂隙、溶孔及沟缝, 在这些孔隙中可沉淀一些淡水白云石, 非常粗大, 粗—巨晶, 明亮自形, 阴极发光下, 环带很发育, 颜色以红、黄、蓝为主, 分带清晰明显。(图 3, E、F, 图版 I, 7、8)。

收稿日期: 1987 年 11 月 4 日

参 考 文 献

- (1) 陈彦华, 1983, 白云石化作用的环境标志初步探索, 石油实验地质, 5卷4期。
- (2) D. W. Morrow, 刘魁梧等译, 1984, I. 白云石化作用和白云石沉淀的化学问题; II. 白云石化作用模式和古代白云岩, 国外地质, 4—5 期。
- (3) J. R. Frank et al, 1982, J. Sediment. Petrol., Vol.52, No.2, p.631.
- (4) A. F. Randazzo & L. G. Zachos, 1984, Sediment. Geol., Vol.37, p.151—162.

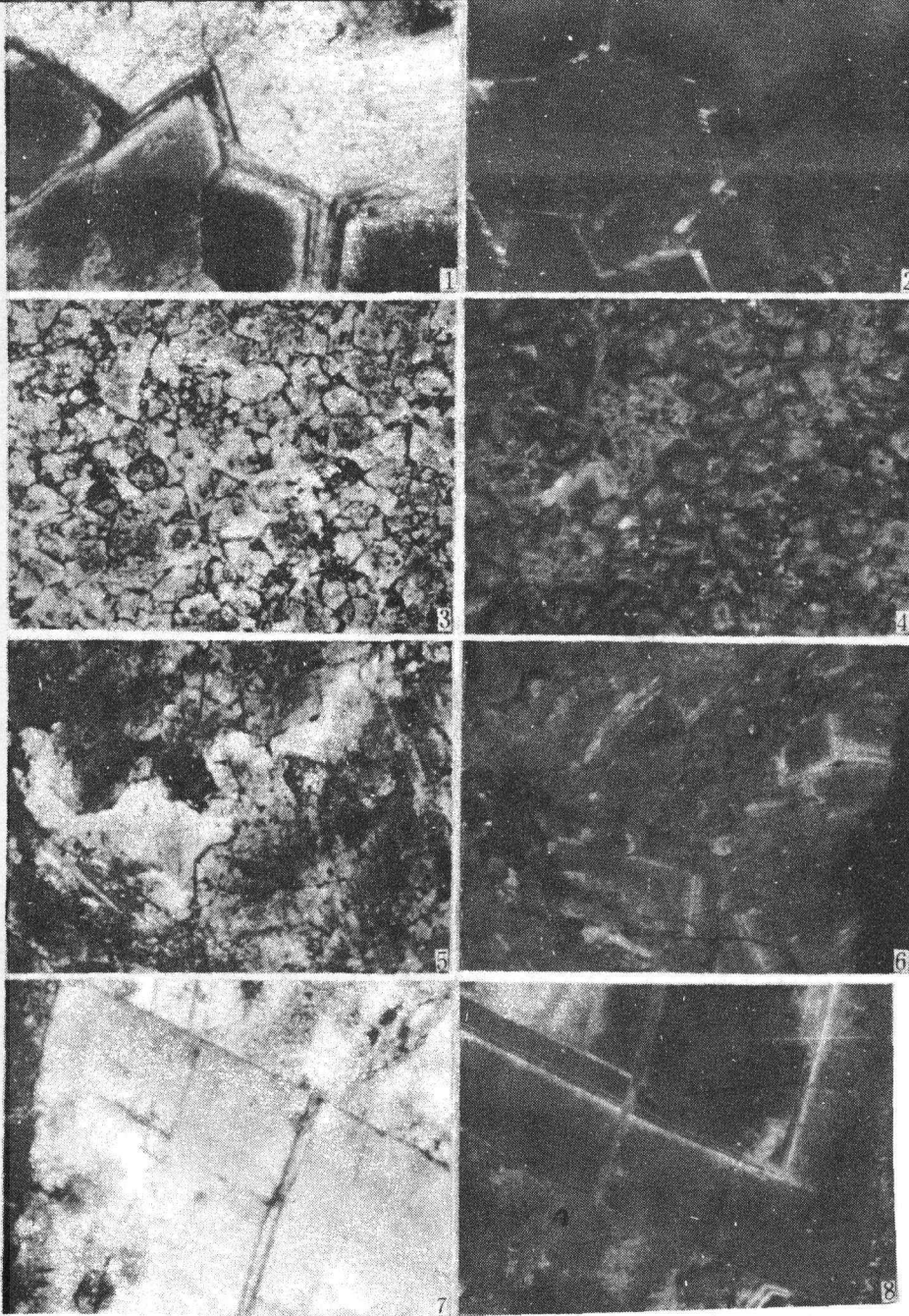
THE ORIGIN OF DEVONIAN DOLMITIC ROCKS FROM NINGLANG—LIJIANG REGION, WEST YUNNAN

Han Zheng Yu Suyu

(China University of Geosciences)

Abstract

The Devonian in Ninglang—Lijiang region of western Chuxiong Basin, Yunnan, is dominated by a series of carbonate sediments. The dolomitic rocks is one of the major rock types and has largely a forming mechanism of mixed dolomitization. Under microscopy, the fabrics of dolomitic rocks are floating—romb, contact—romb, hypidiotopic mosaic and sutured mosaic fabrics. It is suggested with the results of cathodoluminescence and electronic probe analysis that: the dolomite formed through mixed dolomitization has a tendency of Fe^{++} , Mn^{++} becoming rich but K^{+} poor from center to margin. Dolomite grains are characterized by fogged center with clear margin, which display nuclei and girdles under cathodoluminescence microscopy. The very coarsely crystalline dolomite in subsurface and deep burial diagenesis environments display brown girdles under microscopy but lumines dark—red to non—luminescence under cathodoluminescence microscopy.



1. 粗晶白云岩, 白云石半自形, 具雾心亮边, 中心为方解石充填的溶孔 y-149 单偏光 4×10
2. 上下为白云石溶孔周围环带发育, 黑点为探针位置—149 阴极发光 4×10
3. 细晶白云岩, 白云石为缝合镶嵌结构, 雾心亮边白云石为直边镶嵌结构 DC-85-3 单偏光
4. 缝合镶嵌结构的白云石具暗红色小核心, 近菱形, 直边镶嵌结构的自形白云石好, 全部具暗红色环带, 飘浮菱面体结构, 大小分布不均 DC-85-3 阴极发光 4×10
5. 粗晶白云石重结晶成巨晶边缘具暗褐色环带, 孔隙中自形粗晶白云石具亮边 P-中-3 正交
6. 组成巨晶的白云石都具相似的桔黄色环带, 巨晶边缘的环带发光暗为黑红色-不发光, 孔隙中的白云石中心发光明亮, 亮边不发光。黑点为探针位置 P-中-3 阴极发光 4×10
7. 孔隙中沉淀的粗晶白云石, 自形、干净—161 单偏光 4×10
8. 白云石环带发育, 分带清晰、截然—161 阻极发光 4×10 阴极发光 4×10