

# 塔里木盆地北部丘里塔格群 (寒武系至奥陶系) 白云岩的成因

叶德胜<sup>1)</sup>

(地矿部 05 项目工程处)

**提要** 本文通过详细岩石学及地球化学研究,探讨了塔里木盆地丘里塔格群(寒武至奥陶系)白云岩的成因。研究表明藻纹层白云岩、微晶白云岩及颗粒白云岩中的颗粒为近地表准同生白云化的产物。结晶白云岩(细晶以上)及颗粒白云岩中的中粗晶白云岩胶结物是深埋藏成岩环境的产物。并对埋藏白云化的镁离子来源及搬运机理进行了探讨。

**关键词** 白云岩成因 埋藏白云化 塔里木盆地北部 丘里塔格群

**作者简介** 叶德胜 男 49 岁 高级工程师

寒武至奥陶系丘里塔格群白云岩是塔里木盆地北部的主要油气产层之一。著名的沙参 2 井及英迈 7 井的高产油气层即是该群白云岩;此外塔里木盆地中部塔中 1 井也于该白云岩中钻获高产油气流。因此,查明该群白云岩的成因,掌握其分布规律、储集空间特征及其随地质历史的演化,对于塔北油气勘探具有重要意义。

1985 年以来,笔者等详细研究了塔里木盆地北部已完钻的各探井(集中于沙雅隆起)及柯坪地表剖面丘里塔格群白云岩的沉积特征、岩石学及地球化学特征,以查明该白云岩的成因。采集各类样品 200 余件,较系统地进行了岩石薄片、阴极发光、电镜扫描、电子探针、原子吸收光谱、x 射线衍射、氧碳稳定同位素及流体包体等各种分析、鉴定。

研究区位于塔里木盆地北部,其北以南天山山前断裂带与南天山褶断带为界,其南以图木休克断裂及卡塔克隆起北断裂与中央隆起为界,东至库尔勒,西到柯坪一带。

## 一、丘里塔格群白云岩的沉积特征

丘里塔格群在时代上属晚寒武世至早奥陶世,其沉积格局是:工区东部柯坪至沙雅一带以台地(包括部分潮坪)相白云岩为主,西部草湖至满加尔一带以盆地相粘土岩及泥质碳酸盐岩为主,其间为台地边缘礁滩及斜坡相(图 1)。

在出露完整的柯坪剖面,丘里塔格群白云岩厚 432.4m,自下而上组成一个海侵序列。

下部主要为浅灰色中层藻纹层白云岩与微至细晶白云岩互层,发育水平层理、藻纹层构造。属潮间灰泥坪、藻灰泥坪与局限台地半封闭泻湖相间互。

<sup>1)</sup> 参加野外工作的尚有周棣康、罗孝质、刘树晖、郝继鹏、秦天西等。

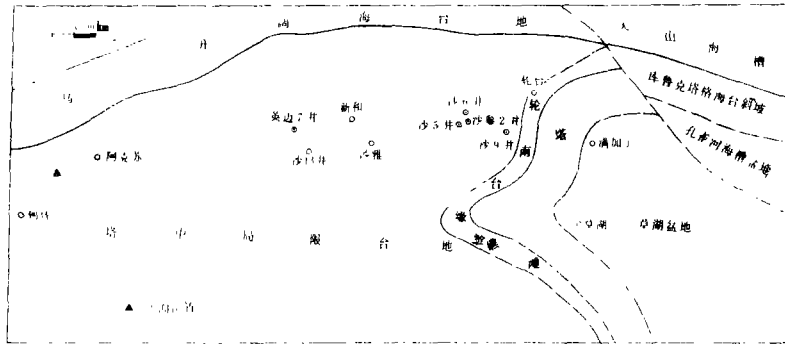


图 1 塔北晚寒武世至早奥陶世岩相古地理略图

Fig. 1 Sketch map showing sedimentary facies and paleogeography of Late Cambrian to Early Ordovician in Northern Tarim Basin

中部为灰色微晶至粉细晶白云岩夹残余砂屑白云岩、鲕粒白云岩及藻粘结白云岩。砂屑及鲕粒白云岩常具底冲刷现象，发育小型及中型低角度板状交错层理、人字型层理。属局限台地半封闭泻湖、潮间灰泥坪及潮渠亚相韵律交互。

上部以灰至浅灰色中晶白云岩夹粗晶白云岩、细晶白云岩及残余砂屑、鲕粒白云岩。中段硅化较强，局部富集呈硅质团块或条带；上段去云化作用较强，形成去云化灰岩条带或薄层，并间夹亮晶砂屑灰岩等颗粒岩。在横向上时变为亮晶颗粒岩。属能量较高环境中的台地浅滩沉积。

塔北覆盖区各探井中所钻遇的丘里塔格白云岩的层位有所不同，其中沙参 2 井，沙 13 井及英近 7 井所钻遇的层位之岩性、岩相特征与柯坪剖面的上部相似；沙 6 井及沙 5 井所钻遇的层位之岩性、岩相特征与柯坪剖面的中下部相似。

## 二、丘里塔格群白云岩的岩石学特征

如上所述，丘里塔格群白云岩的主要类型包括藻纹层白云岩、微晶白云岩、颗粒白云岩及结晶白云岩等。

### 1. 藻纹层白云岩及微晶白云岩

藻纹层白云岩中的藻纹层基本保留了其原始微细结构，其特征类似于灰岩中未白云化的藻纹层。蓝绿藻粘结物的原始矿物成分为高镁方解石。显然这种白云化作用发生于准同生期，而使藻纹层的原始结构得以保存。

微晶白云岩的特征及白云化时期与藻纹层白云岩相似。

### 2. 颗粒白云岩

颗粒白云岩中颗粒类型主要有砂砾屑、团块、球粒、藻屑及鲕粒等。颗粒由泥微晶白云石构成，除部分经重结晶而成粉晶白云石或经溶蚀后被粉至细晶白云石充填外，其余均保留了其原始微细结构，如鲕粒的同心层纹（图版 1）。显然这种保持原始结构的颗粒，其白云化机制与藻纹层白云岩相似。

粒间多为亮晶白云石胶结, 也有泥微晶白云石填隙。亮晶白云石胶结物主要有细粒及粗粒两种, 两者大多为等轴状、洁净、明亮, 不含固状包体 (即无交代或重结晶的残余物), 晶体具向孔隙中心增大的特征 (图版 2)。因而它们应是直接沉淀的产物。

### 3. 结晶白云岩

主要包括细至粗晶白云岩, 其主要特征是: 晶体较粗 (0.1—0.9mm, 部分大于 1mm); 以半自形至它形为主 (图版 3), 亦有部分具有环带结构的自形晶 (图版 4); 晶体脏, 富含固态包体; 时见各种沉积组构 (如鲕粒、砂屑、生物屑) 的残余 (图版 5); 同时可见白云石晶体切割或包裹裂隙的现象 (图版 6); 时见白云石晶体中有缝合线残余, 原来的缝合线几乎被横切它的白云石晶体破坏而消失。

晶体大小是区别早期 (准同生) 和晚期 (埋藏) 白云化的标准之一, 白云石晶体越粗, 表明白云化越晚。近来许多学者, 如 Zenger (1983)、Gregg (1985)、Lee 和 Friedman (1987) 等均用白云石的粗结晶特征作为埋藏白云化的标准之一。当然粗结晶的白云石也可能由细的白云石多次重结晶而成。但由于重结晶是溶解和沉淀的“湿”过程, 因此多次重结晶必然会破坏原始沉积组构并使之消失。丘里塔格群结晶白云石中常见残余沉积组构, 这表明它们不是细的白云石反复重结晶的结果, 而是在埋藏环境中直接交代灰岩的产物。

白云石结晶形态是判断近地表和埋藏白云化的另一标准。基于理论计算和实验资料, Gregg 和 Sibley (1984) 指出, 白云石中的它形结构 (Xenotopic—A 型) 仅形成于“临界糙度温度” (critical roughness temperature) 之上。对白云石, 该温度为 50—80℃。丘里塔格群结晶白云岩中相当部分白云石具这种它形结构, 表明它们形成于温度较高的埋藏环境中。

在结晶白云岩中所观察到的残余缝合线及裂隙被白云石切割或包裹的现象, 表明这种白云石的形成晚于缝合线及裂隙的形成期。显然, 应属埋藏白云化的产物。

除上述三种类型外, 在丘里塔格群白云岩之上的灰岩中尚有较多沿缝合线分布的白云石。白云化作用与缝合线有密切的伴生关系。白云石晶体 0.06—0.35mm, 其中以 0.1—0.2mm 的半自形晶为主, 晶体较脏, 其中见交代残余。当白云化弱时, 白云石沿缝合线呈线状分布 (图版 7); 当白云化逐步增强时, 白云石沿缝合线呈不规则斑块状分布 (图版 8), 并可见白云石蚕食缝合线, 残留缝合线呈断续分布; 当白云化强烈时, 可使整个岩石白云化, 其中时见缝合线残余, 此时白云石之晶体较大, 以中晶为主, 半自形至它形, 其特征类似于上述结晶白云岩。这种沿缝合线分布的白云石无疑是埋藏白云化的产物。

## 三、丘里塔格群白云岩的地球化学特征

### 1. 氧碳稳定同位素

丘里塔格群白云岩各种结构组分的氧碳稳定同位素测定结果如图 2, 表 1 所示。

近年来的研究表明, 寒武纪至泥盆纪海相碳酸盐岩的原始同位素值平均为 -4 至 -6‰PDB (Veizer et al., 1986; Popp et al., 1986)。这与现代海相碳酸盐岩的原始同位素之平均值 (0‰PDB) 有很大差别。因此, 在研究寒武至奥陶系碳酸盐岩氧同位素时, 必须考虑这一点。

微晶白云石及砂砾屑的氧同位素平均值拉近于当时海相碳酸盐岩的原始同位素组分, 表明它们是海水环境的产物, 即对同生白云化的结果。

经较微重结晶的微至粉晶白云石的氧同位素值降低, 而碳同位素值稳定, 反映在浅埋环境温度增加时重结晶作用的影响。

表1 塔北丘里塔格群白云岩各种结构组份的氧碳同位素值

Table 1 Oxygen and carbon isotopes of various texture composition in Qiulitage Group dolomites, Northern Tarim Basin

结构组份	$\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB)		$\delta^{18}\text{O}$ (‰PDB)		样品数
	范围	平均	范围	平均	
砂砾屑	0.25—2.79	1.10	-5.51—6.50	-5.86	6
微晶白云石	0.32—2.77	1.32	-5.35—5.60	-5.46	3
微-粉晶白云石	0.40—2.56	1.43	-5.72—6.74	-6.24	5
粉-细晶白云石及胶结物	0.14—1.90	1.13	-6.62—7.60	-6.97	3
细晶白云石及胶结物	0.67—2.50	1.68	-6.49—8.14	-7.62	4
中-细晶白云石及胶结物	0.52—1.05	0.83	-7.57—8.91	-8.45	6
中晶白云石及胶结物	0.25—2.27	1.15	-8.50—9.68	-9.23	6
中-粗晶白云石及胶结物	0.80—1.62	1.31	-9.96—10.75	-10.32	4

(美国伊利诺大学地质系地球化学实验室分析)

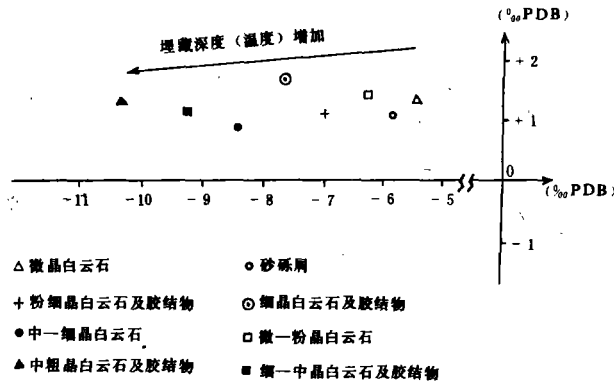


图2 塔北丘里塔格群白云岩各种结构组份的氧碳同位素

Fig. 2 Oxygen and carbon isotopes of various texture composition in Qiulitage group dolomites, Northern Tarim Basin

细至粗晶白云石及胶结物总的趋势是随晶体增大, 氧同位素越偏负, 而碳同位素值一直较稳定。这表明随埋藏深度增加 (即温度增加), 白云石晶体增大, 氧同位素值逐步降低。

## 2. 微量元素

丘里塔格群白云岩各种结构组分的钠、锶、铁、锰等微量元素测定结果如表 2。

表 2 塔北丘里塔格群白云岩各种结构组分的微量元素平均值 (ppm)

Table 2 Mean values of Na, Sr, Fe, Mn in various texture composition of Qiulitage Group dolomites, Northern Tarim Basin

结 构 组 分	Na	Sr	Fe	Mn	样品数
砂砾屑	242.8	191.5	563	483	6
微晶白云石	334.0	206.0	558	557	3
微至粉晶白云石	311.0	183.8	772	809	5
粉细晶白云石及胶结物	255.3	75.3	1057	1060	3
细晶白云石及胶结物	92.5	48.5	920	836	4
中细晶白云石及胶结物	127.0	47.0	1552	1237	6
中晶白云石及胶结物	87.0	32.0	1663	1395	6
中粗晶白云石及胶结物	55.0	0.0	1792	1632	4

(美国伊利诺大学地质系地球化学实验室分析)

由上表可见, 沉积组分 (微晶白云石及砂砾屑) 微量元素的特征是钠、锶含量高, 铁、锰含量低, 反映海水的特征。随白云石及白云石胶结物晶体增大, 钠、锶含量逐步降低, 而铁、锰含量逐步增加, 反映还原程度的增加, 即它们是埋藏环境的产物。这与岩石学及同位素资料是一致的。

此外, 电子探针分析成果表明, 沿缝合线分布的白云石及结晶白云岩中的中晶白云石的微量元素特征相似 (表 3), 反映两者的成因一致, 即在相同成岩环境 (埋藏环境) 中形成的。

表 3 丘里塔格群中至相晶白云岩及沿缝合线分布的白云石电子探针分析成果 (ppm)

Table 3 Results of electron probing analysis of medium to coarse dolomites and dolomite distributed along stylolite in Qiulitage Group, Northern Tarim Basin

结 构 组 分	Na <sub>2</sub> O	SrO	FeO	MnO	测点数
中晶白云石	160	40	2190	523	3
沿缝合线分布的白云石	190	60	2470	690	2

(地矿部成都地质矿产研究所分析)

## 3. 流体包体

丘里塔格群结晶白云岩（细晶以上）中的白云石及充填晶洞的石英中两相流体包体均一温度测定结果如图3、4。

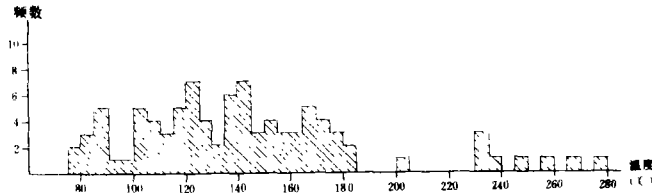


图3 塔北丘里塔格群中粗白云岩中两相流体包体的均一温度直方图（据魏大卫1989资料补充）

Fig. 3 Histograms of homogenized temperature (Th) of fluid inclusions in medium to coarse dolomites in Qiulitage Group, Northern Tarim Basin

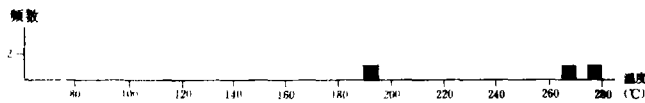


图4 塔北丘里塔格群白云岩晶洞中石英晶体的两相流体包体的均一温度直方图

Fig. 4 Histograms of homogenized temperature (Th) of fluid inclusions in vuggy quartz of Qiulitage Group dolomite, Northern Tarim Basin

从图3可以看出结晶白云岩中两相流体包体均一温度的变化范围很大，其原因有：

(1) 虽然只测定原生流体包体的均一温度，但在一定程度上次生流体包体与原生包体难于区别。因此可能测定了少量次生包体。次生包体的均一温度不反映晶体结晶温度，而反映晶体形成后地层流体的温度。

(2) 白云石晶体结晶速度很慢，因而原生包体的俘获跨越了相当长的时期。

(3) 最为重要的是：晶体中的原生流体包体在埋藏受热或其它原因受热时，部分原生包体将发生再平衡，而均一温度会随之增加 (Goldstein, 1986; Prezbinowski and Larese, 1987)。石英中包体的均一温度为192—278°C，反映热液活动。白云石中包体均一温度的高端部分反映了该热液活动的影响。此外，部分反映了晶体形成后埋藏受热的影响。

无论何种可能性，均一温度分布范围的低端部分应反映白云石的最低结晶温度（75—80°C）。因此，假定当时地表平均温度为12—15°C、古地温梯度为3°C/100m，则白云石结晶的最低深度为2000—2100m，显然属深埋成岩环境的产物。

综合岩石学及地球化学资料表明，丘里塔格群白云岩的成因有所不同。其中藻纹层白云岩及颗粒白云岩中的颗粒是准同生白云化的产物；结晶白云岩（细晶以上）及颗粒白云岩、晶洞中充填的中粗晶白云石胶结物是深埋成岩环境的产物；其间尚有许多过渡类型。

#### 四、镁离子来源及搬运机理探讨

对于近地表准同生期的白云化作用, 镁离子来源 (海水或来自海水的浅部地层水) 及搬运机理 (蒸发泵、潮汐泵及淡水头等) 是毫无疑问的。对于埋藏白云化作用, 有些学者认为地下深部缺乏足够的镁离子来源, 并且缺乏输送镁离子所需要的卤水运动, 因而认为在埋藏环境不能形成大规模的白云岩 (Morrow, 1982; Land, 1985)。但情况并非完全如此。例如, 对墨西哥湾沿岩等地的地下超压带的性质和分布研究的进展曾描绘出一幅超出人们意料的复杂压力系统, 它可以导致层内和层系间有大规模的流体运动 (Parker, 1984)。Garven and Freeze (1984) 和 Garven (1986) 指出, 由于地形所引起的水头之驱动, 深部盆地卤水可能由上朝盆地边缘及台地上运动, 运动距离可达数百公里。Bethke (1986) 在实验模拟和盆地水动力研究的基础上提出了重力流模式, 表明了一种能使大量地层水从盆地流到相邻台地的机理。此外, 由于断裂和裂隙系统的存在, 也有下伏地层中的卤水向上运动的可能。

塔北丘里塔格群深埋环境中所形成的结晶白云岩, 其镁离子来源及地下流体的活动机制主要有两种。柯坪地区白云化地层水可能主要来自深部地层, 尤其是中寒武统含蒸发盐岩地层。这种地层卤水沿断裂系统向上运移, 使上覆地层广泛白云化。野外观察表明, 在巴楚地区存在断裂控制白云化的现象, 这为上述推断提供了佐证。而沙雅地区临近塔东盆地, 该盆地寒武至奥陶系主要为大套泥质碳酸盐岩及粘土岩沉积, 在埋藏逐步增大时, 蒙脱石将转化为伊利石, 并释放出镁离子。在一定条件下, 含镁离子的地层水将在压实现或重力流的驱动下, 从盆地向斜坡及邻近的台地流动, 而发生广泛的白云化作用 (图 5)。同时, 该区也存在下伏含镁卤水沿断裂向上运动, 而使上覆地层白云化的可能。

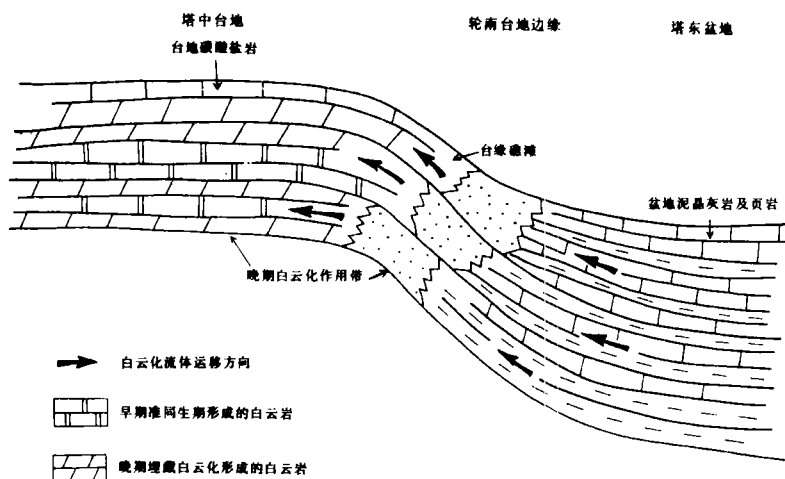


图 5 塔北丘里塔格群白云岩埋藏白云化作用模式图

Fig. 5 Burial dolomitization model of Qiulitage Group dolomite, Northern Tarim Basin

## 结 语

寒武至奥陶系丘里塔格群白云岩是塔里木盆地北部的主要产层之一。详细岩石学及地球化学等研究表明：丘里塔格群各种白云岩的成因机制不同。其中藻纹层白云岩、微晶白云岩及颗粒白云岩中的颗粒为近地表准同生白云化的产物。其主要依据是它们保持原始组构特征；氧同位素值接近当时海相碳酸盐岩的原始氧同位素值；微量元素具钠、锶高，而铁、锰低的特征。结晶白云岩（细晶以上，特别是中粗晶白云岩）及颗粒白云岩中的中粗晶白云石胶结物是深埋成岩环境的产物。中粗晶白云岩深埋成因的主要依据是：晶体结晶较大，且多为半自形至它形；具原始沉积组构的残余；晶体切割或包裹裂隙；晶体破坏缝合线或其中有缝合线残余；沿缝合线分布的白云石与中粗晶白云石微量元素的相似性；白云石氧同位素偏负而碳同位素较稳定；白云石微量元素具钠、锶低，而铁、锰高的特征；两相流体包体的均一温度较高。

本文中的氧、碳稳定同位素及微量元素为笔者在美国伊利诺大学地质系进修期间由该系实验室分析、感谢该系 T.F.Anderson 教授和 P.A.Sandberg 教授等的指导和帮助。

## 参 考 文 献

- (1) Bethke C.M., 1986. *Econ. Geol.*, V.81, p.233-249.
- (2) Garven G., 1986. *Econ. Geol.*, V.81, p.307-324.
- (3) Garven G. and Freeze R.A., 1984. *Am. J. Sci.*, V.284, p.1125-1174.
- (4) Goldstein R.H., 1986. *Geology*, V.14, p.792-795.
- (5) Gregg J.M., 1985. *Geology*, V.14, p.792-795.
- (6) Gregg J.M. and Sibley D.F., 1984. *Jour. Sed. Petro.*, V.54, p.908-931.
- (7) Land L.S., 1985. *Geological Education*, V.33, p.112-125.
- (8) Lee Y.I. and Friedman G.M., 1987. *Jour. Sed. Petro.*, V.57, p.544-557.
- (9) Morrow D.W., 1982. *Geoscience Canada*, V.9, p.5-13.
- (10) Popp B.N., Anderson T.F. and Sandberg P.A., 1986. *Jour. Sed. Petro.*, V.56, p.715-728.
- (11) Prezbindowski D.R. and Larese R.E., 1987. *Geology*, V.15, p.333-336.
- (12) Zenger D.H., 1983. *Geology*, V.11, p.519-522.
- (13) Veizer J., et al., 1986. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V.50, p.1679-1696.



# The Origin of the Qiulitage Group Dolomite (Cambrian to Ordovician) in Northern Tarim Basin

Ye Desheng

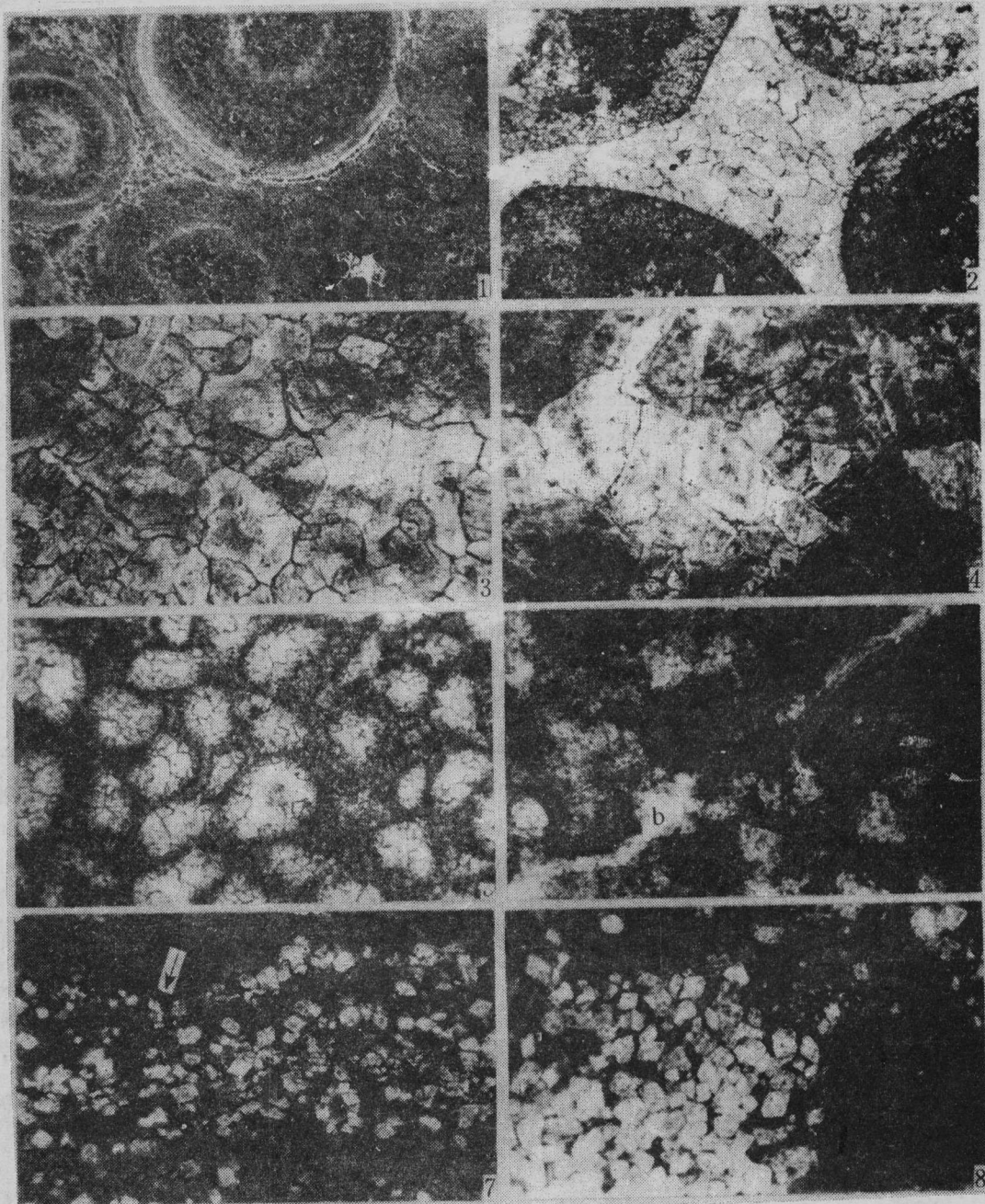
(05 Project Administration, Ministry of Geology and Mineral Resources)

## Abstract

The Qiulitage Group dolomite (Cambrian to Ordovician) is one of the main hydrocarbon producing horizons in Northern Tarim Basin. Detailed petrographic and geochemical studies indicate that the origin of various dolomites of the Qiulitage Group is different.

Algal laminated dolomite, micritic dolomite and grains in grained dolomite are products of penecontemporaneous dolomitization. The evidence of penecontemporaneous dolomitization is that they maintain characteristics of primary fabrics (such as algal lamination and concentric lamination of oolite); oxygen isotope composition ( $\delta^{18}\text{O}$  -5.35 to -6.50‰ PDB) is near the primary oxygen isotope composition of Cambrian to Ordovician marine carbonate ( $\delta^{18}\text{O}$  -4 to -6‰ PDB); the content of Na (242.8 to 334.0 ppm) and Sr (197.5 to 206.0 ppm) is high and the content of Fe (558 to 563 ppm) and Mn (483 to 557 ppm) is low.

Medium to coarse crystalline dolomites and medium to coarse crystalline dolomite cements in grained dolomite are products of deep-burial diagenetic environment. The evidence of deep-burial origin for medium to coarse crystalline dolomites is that a) medium to coarse crystal of the dolomites; b) abundant xenotopic texture; c) remnants of depositional textures in medium to coarse crystalline dolomites; d) dolomite crystal cuts fracture; e) stylolite destroyed by dolomite crystal or remnants of stylolite in dolomite; f) similarity of trace element values for the medium to coarse dolomites to the dolomites distributed along stylolite; g) oxygen isotope composition ( $\delta^{18}\text{O}$  -8.50 to -10.75‰ PDB) is light and carbon isotope composition ( $\delta^{13}\text{C}$  +0.25 to +2.27‰ PDB) is relative constant; h) the content of Na (55-87 ppm) and Sr (0-32 ppm) is low and the content of Fe (1663 to 1792 ppm) and Mn (1396 to 1632 ppm) is high; i) high fluid inclusion homogenized temperature indicates that the crystalline temperature of medium to coarse dolomites is at least 75-80°C.



1. 鲕粒白云岩, 保持了鲕粒的同心纹结构, 柯坪, 丘里塔格群白云岩。 2. 亮晶砾屑白云岩, 白云石胶结物由颗粒边缘向孔隙中心逐步增大。柯坪丘里塔格群白云岩, 单偏光,  $\times 50$ 。 3. 中晶白云岩, 白云石呈它形相嵌状, 其中可见交代残余。柯坪丘里塔格群, 单偏光,  $\times 50$ 。 4. 中-粗晶白云岩, 部分白云石为具生长环带的自形-半自形晶, 部分为它形晶, 可见交代残余。柯坪丘里塔格群, 单偏光,  $\times 50$ 。 5. 残余颗粒白云岩, 白云石中的残余颗粒。柯坪丘里塔格群, 单偏光,  $\times 25$ 。 6. 中晶白云岩, 白云石 (a) 切割裂隙 (b)。沙参 2 井, 丘里塔格群, 正交偏光,  $\times 50$ 。 7. 白云化泥晶灰岩, 白云石沿缝合线 (箭头处) 呈线状分布。沙 9 井, 丘里塔格群, 单偏光,  $\times 25$ 。 8. 白云化泥晶灰岩, 白云石分布于缝合线之间呈不规则扁豆状或团块状。沙 9 井, 丘里塔格群, 单偏光,  $\times 25$ 。