

文章编号: 1009-3850(2007)04-0050-06

层序地层格架中碳酸盐岩准同生成岩作用分析 ——以轮南古隆起下中奥陶统碳酸盐岩为例

林小兵¹, 王振宇², 田景春¹, 谭秀成²

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 西南石油大学资源与环境学院, 四川 成都 610500)

摘要: 根据海平面升降而对海洋碳酸盐岩沉积划分的不同沉积体系域, 和其准同生成岩作用之间存在着相关性, 这种相关性可以通过不同体系域所发育的成岩作用类型体现出来。文章以塔里木盆地轮南古隆起下中奥陶统碳酸盐岩为例, 把准同生成岩作用放在层序地层学格架范畴内来研究, 总结了不同体系域内发育的成岩作用类型和特征, 认为海侵体系域主要发育方解石胶结作用和白云石化作用, 高位体系域主要发育有方解石胶结作用和大气淡水溶蚀作用等。在层序地层格架下进行成岩作用对比的结果表明, 高位期以及海侵期下伏的前期高位期沉积, 是有利的成岩作用改造层位, 并在物性统计数据中得到了证明, 为有利储集体的评价、预测提供了新的途径。

关键词: 轮南古隆起; 下中奥陶统; 碳酸盐岩; 成岩作用; 塔里木盆地

中图分类号: P588.2 文献标识码: A

国内外对层序地层学的研究在理论^[1~4]和应用^[5,9]等方面均取得了诸多进展, 特别是成岩作用在层序地层格架下的应用^[7~11]。对不同的沉积环境和海水性质反应敏感, 碳酸盐岩准同生成岩作用具有明显的阶段性特征^[7]。决定沉积环境、海水性质和沉积物矿物特征的主要因素, 是海平面的升降和气候变化, 因此, 可以把成岩作用放在根据海平面升降而划分的不同体系域的范畴内来研究。

本文以塔里木盆地轮南古潜山下中奥陶统碳酸盐岩为例, 在层序地层的格架内, 通过研究不同体系域内发育的准同生成岩作用及其对储层的影响, 为储层的预测提供新的思路。

轮南古潜山奥陶系碳酸盐岩地层划分方案多样, 但对奥陶系碳酸盐岩的三级层序的划分, 仍然可以沿用16个层序的划分标准^[12,13] (表1), 每个层序

一般都由海侵体系域(TST)和高位体系域(HST)组成。

表 1 轮南奥陶系层序地层划分简表
Table 1 Sequence stratigraphic division of the Ordovician strata in the Lunan region

系 统	顾家裕等 ^[14]	本文	三级层序划分
奥陶系	柯坪塔格组下部	桑塔木组	OSQ ₁₅₋₁₆
	桑塔木组		
	良里塔格组	良里塔格组	OSQ ₁₁₋₁₄
	吐木休克组	吐木休克组	OSQ ₈₋₁₀
	一间房组	一间房组	OSQ ₇
	大湾组上部	鹰山组	OSQ ₃₋₆
下统	大湾组下部		
	红花园组	蓬莱坝组	OSQ ₁₋₂

1 层序地层格架下成岩作用特征

1.1 体系域和成岩环境

随着海平面的升降变化, 沉积体系域不断进行着从低位、海侵至高位体系域的演变。相应地, 沉积物的成岩环境也在不断发生着变化^[11]。当海平面开始相对上升时, 沉积物处于海侵体系域的海底成岩环境, 然后随着高位体系域的出现及沉积物的不断叠置而进入埋藏成岩环境。早期的高位体系域沉积处于海底潜流成岩环境, 到晚期逐渐演变为混合水成岩环境, 最后在台地(或陆棚)边缘, 进入大气淡水成岩环境。

可以看出, 成岩环境是随着体系域的演化而不断变化的。因此, 根据对不同层序各个体系域垂向演化的分析, 便可为成岩环境和成岩作用的发育、演

化及预测提供新的信息和模式。由于轮南 12 井、羊屋 2 井等井岩心等资料比较丰富, 且在早—中奥陶世主要处于开阔台地—台地边缘沉积环境^[14, 15], 海平面波动频繁, 各体系域准同生成岩作用均较发育。

1.2 海侵体系域的成岩作用

海侵体系域(IST)时沉积的沉积物, 处于海底成岩环境, 主要发育海底胶结作用, 之后连同其孔隙水一起被埋藏, 直至发生压实作用, 或暴露遭受大气水淋滤(图 1)。

在海平面相对上升时, 海洋孔隙水带把混合孔隙水带和大气水孔隙水带向陆的方向推进^[16], 穿过早期沉积的活跃的不同孔隙水循环, 尤其是混合孔隙水, 能导致广泛的白云石化作用的发育, 同时也有利于硅化作用的发生。

轮南古隆起中下奥陶统碳酸盐岩海侵体系域以

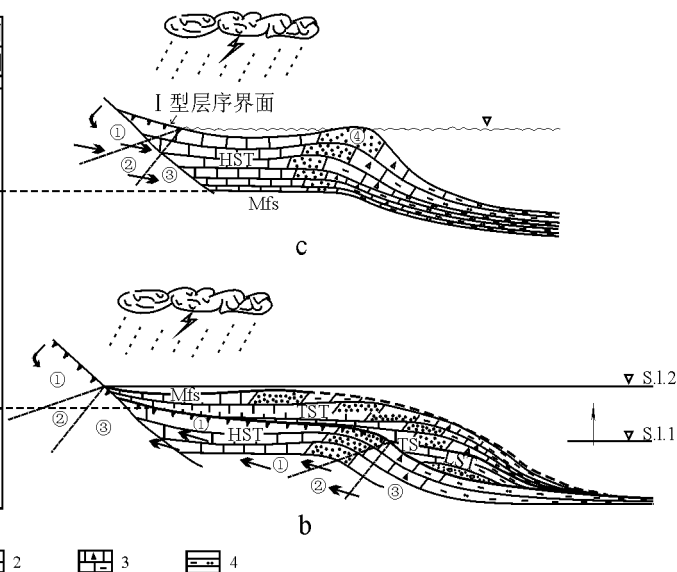
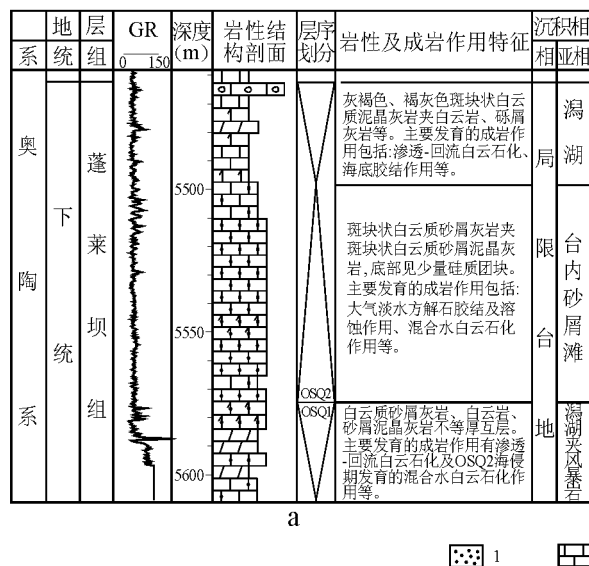


图 1 不同体系域内成岩作用发育模型及在剖面中的体现

a. 轮南 12 井下奥陶统剖面; b. 海侵期成岩作用模式; c. 高位期成岩作用模式。①. 大气淡水孔隙带: 前期高位域沉积暴露, 遭受大气淡水淋滤而大量发育溶孔蚀孔、洞, 在渗流及潜流带广泛发育大气淡水方解石胶结, 其中以重力垂和新月型胶结最具代表性, 其作用面随着海侵面逐渐缩减; ②. 混合水孔隙带: 主要在前期沉积内发育, 随着海侵的进行而不断向陆推进, 贯穿早期沉积, 发育混合水白云石化作用; ③. 海水孔隙带: 主要在海侵体系域沉积内发育。以发育少量方解石胶结物为特征; ④. 大气淡水透镜体: 发育在高位域的台地边缘。沉积主要为颗粒灰岩, 发育的成岩作用同①

Fig. 1 Vertical section (a) and models for the diagenesis (band c) in individual systems tracts

a. Lower Ordovician section through the Lunan-12 well; b. Model for the diagenesis during the transgressive phases; c. Model for the diagenesis during the highstand phases. ① Meteoric porosity zone: The early highstand deposits are exposed and subjected to the meteoric leaching giving rise to the development of abundant solution openings and pore spaces. The meteoric cementation of calcite represented by gravity overhanging and lunette cementation occurs in a wide range of vadose zone and phreatic zone; ② Mixed water porosity zone: The zone mostly appears in the early deposits and progrades landwards into the whole early deposits with the spreading of transgressions. The mixed water dolomitization is observed. ③ Sea-water porosity zone: The zone is generally developed in the transgressive systems tract and characterized by the development of minor calcite cementation; ④ Meteoric lenses: The meteoric lenses are recognized on the platform margins in the highstand systems tract and dominantly consist of grainstones. The diagenesis is the same as ① in Fig. 1 b and c.

普遍发育海底方解石胶结作用和微弱白云石化作用为主要成岩特征。对轮南12井蓬莱坝组OSQ2等多口井的典型海侵期沉积进行分析后发现(图 1a), 该期主要沉积环境为砂屑滩, 发育的岩性包括云质砂屑灰岩、灰质云岩、砂屑灰岩和砂屑泥晶灰岩等, 主要发育了海水胶结作用(图 2-1)及微弱的混合水白云石化作用。

1.3 高位体系域的成岩作用

在高位体系域(HST), 碳酸盐沉积作用的主要特征表现为加积作用和进积作用(图 1c)。海平面在高位体系域早期处于较高水平, 沉积物垂向加积, 为海底潜流成岩环境。颗粒灰岩中发育方解石等厚环边胶结^[11]。到了高位晚期, 沉积物随着沉积速率的增加而呈进积叠置, 海平面相对下降。这个进积过程同时伴随着大气水带和混合水带的向盆地方向迁移^[15], 使得高位沉积接受海水、大气淡水和混合水的成岩改造。台地边缘则由于不时出露海面而发育大气淡水透镜体, 包括强烈海水胶结、混合水白云石化、大气淡水胶结和溶蚀作用等一系列成岩作用均能出现, 同时, 高位下部沉积则被逐渐埋深而进入(浅)埋藏成岩环境。如果海平面相对下降程度大, 而沉积物暴露的时间足够长, 包括整个高位域甚至下伏海侵期和早期沉积等, 均可接受大气淡水的改造而发育层状白云石及大规模的溶蚀孔洞体系。

轮南地区高位体系域碳酸盐岩的成岩作用, 对轮南12井OSQ1HST和OSQ2HST等典型井高位期沉积的研究结果来看(图 1a), 主要特征为: 在高位域的颗粒灰岩中, 广泛发育多个世代的方解石胶结。第一期为纤状环边方解石胶结, 发育于海底成岩环境(图 2-2); 第二期为大气淡水环境的产物, 主要发育等厚的叶片状或马牙状及等轴细粒状方解石胶结, 部分细粒等粒状方解石晶体组合成新月形或悬垂状(图 2-3)。第三期方解石胶结的晶体明亮粗大,

生成于后期的浅埋藏—深埋藏环境。由于大气淡水的影响, 除了发育第二期方解石胶结外, 还发育大气淡水溶蚀作用和混合水云化作用等。主要表现在: 第一期海底环边方解石胶结被溶蚀, 并与随后充填的晶粒方解石呈胶结不整合接触(图 2-4); 发育有铸模孔、粒间、粒内溶孔, 以及非选择性溶蚀作用形成的不规则溶孔、小型溶洞等(图 2-5), 部分孔洞充填有渗流粉砂(图 2-4、6)。通过上面分析可知, 轮南地区各高位域沉积, 多经历了海底、大气淡水及埋藏等成岩环境, 发育了一系列相应的成岩作用类型, 尤其以大气淡水环境下发育的胶结作用、溶蚀作用和白云石化对储层影响较为深远。

2 层序地层格架下成岩作用对比及预测

通过综合研究不同体系域内发育的成岩作用, 在三级层序地层格架内, 对轮南地区中下奥陶统碳酸盐岩地层进行了成岩作用的区域对比分析(图 3)。结果显示, 高位期以及海侵期下伏的前期高位期沉积, 经历了大气淡水成岩环境, 为有利的成岩作用改造层位, 主要发育大气淡水溶蚀作用及混合水白云石化作用等。从该剖面中轮南16等井不同井段物性的统计结果(表 2)可以看出, 上述的有利成岩作用改造层位的孔渗性能相对其它层段要高, 为较好的储集层段。

3 结 论

(1)海侵体系域主要发育方解石胶结作用和微弱的白云石化作用, 而其下伏早期层序沉积则可在海侵期广泛发育大气淡水溶蚀作用和混合水白云石化作用; 高位体系域主要发育有大气淡水胶结、溶蚀和白云石化作用等。

(2)在层序地层格架下对轮南中下奥陶统碳酸

表 2 轮南地区下中奥陶统不同井位、井段物性统计表
Table 2 Statistics of the physical properties in individual well sites and intervals of the Lower and Middle Ordovician strata

轮南 16			轮古 13		
井段/m	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	井段/ m	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$
5585~5630	1.76	1.43	5573~5585	1.00	0.02
5633~5650	1.57	0.09	5678~5685	1.30	0.44
轮南 48			轮南 14		
井段/m	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	井段/ m	孔隙度/%	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$
5422~5440	0.66	0.07	5415~5430	1.40	0.293
5442~5470	1.88	0.22	5455~5468	2.52	0.10
5472~5482	0.81	0.23	5513~5565	1.68	0.09
5540~5550	1.04	0.20			

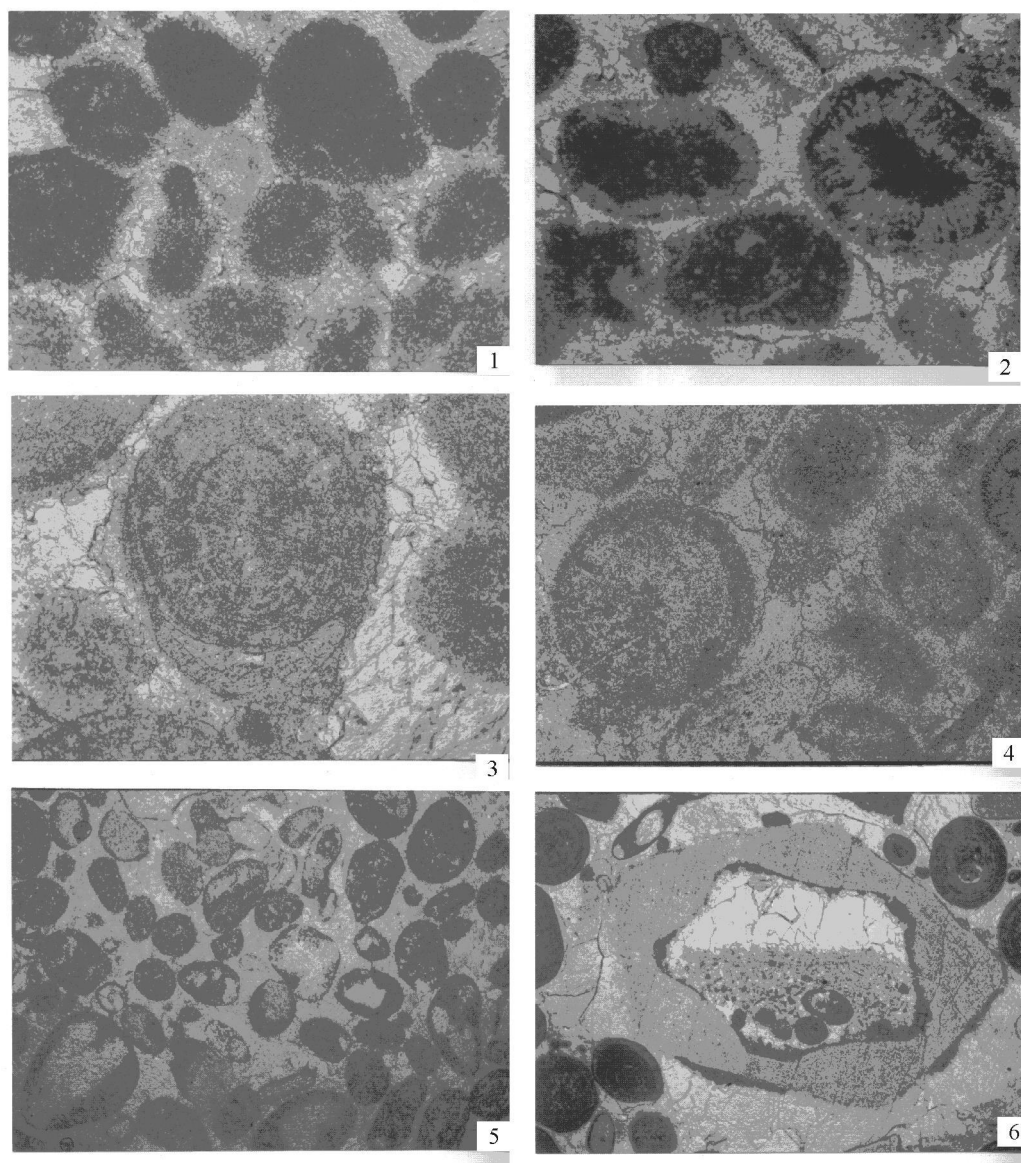


图2 轮南古隆起奥陶系不同体系域成岩作用特征照片

1. 亮晶砂屑灰岩, 海侵期发育海底方解石胶结, 被后期沉积物覆盖进入埋藏成岩环境, 粒间残余孔充填晚期粗晶方解石, 解放126井, OSQ7 (TST), $\times 100$, 单偏光; 2. 亮晶藻鲕灰岩, 高位期海底环边方解石胶结呈共轭状发育(箭头所示), 解放127井, OSQ7 (HST, 5499.3m), $\times 100$, 单偏光; 3. 亮晶鲕粒灰岩, 发育悬垂胶结(箭头所示), 羊屋2井, OSQ7 (HST, 6452m), $\times 100$, 单偏光; 4. 亮晶鲕粒灰岩, 颗粒发育纤状环边胶结, 遭大气淡水溶蚀后与后期胶结呈不整合接触, 部分溶孔中充填渗流粉砂, 轮古12井, OSQ7 (HST, 5526.68m), $\times 63$, 单偏光; 5. 亮晶砂屑灰岩, 大气淡水溶蚀成因铸模孔(泥晶套残余)、粒内溶孔(箭头所示)发育, 乡3井, OSQ7 (HST), $\times 25$, 单偏光; 6. 亮晶鲕粒灰岩, 棘屑体腔孔中充填具正粒序的渗流粉砂(箭头所示)并发育示顶底构造, 颗粒外围发育泥晶套和共轴增生, 羊屋2井, OSQ7 (HST, 6452m), $\times 25$, 单偏光

Fig. 2 Microphotographs showing the diagenetic features in individual systems tracts of the Ordovician strata in the Lunan palaeouplift

1. Sparry calcarenite cemented by submarine calcite developed during the transgressive phases and covered by subsequent deposits in the burial diagenetic environments. The intergranular residual pores are filled with late sparry calcite. Jiefang-126 well, OSQ7 (TST), $\times 100$, plane-polarized light; 2. Sparry algal limestone cemented by submarine rimmed calcite during the highstand phases displaying conjugate development (arrow), Jiefang-127 well, OSQ7 (HST, 5499.3 m), $\times 100$, plane-polarized light; 3. Sparry oolitic limestone displaying overhanging cementation (arrow), Yangwu-2 well, OSQ7 (HST, 6452 m), $\times 100$, plane-polarized light; 4. Sparry oolitic limestone displaying fibrous rimmed cementation that is in unconformable contact with later cementation after meteoric dissolution. Some solution openings are filled with vadose silts. Lungu-12 well, OSQ7 (HST, 5526.68 m), $\times 63$, plane-polarized light; 5. Sparry calcarenite with moldic pores of meteoric origin (residual micritic envelopes) and developed intragranular solution openings (arrows), Xiang-3 well, OSQ7 (HST), $\times 25$, plane-polarized light; 6. Sparry oolitic limestone. The echinoderm pores are filled with vadose silts with normal grading (arrow) and geopetal structures. The micritic envelopes and conjugate overgrowth are developed around the grains. Yangwu-2 well, OSQ7 (HST, 6452 m), $\times 25$, plane-polarized light

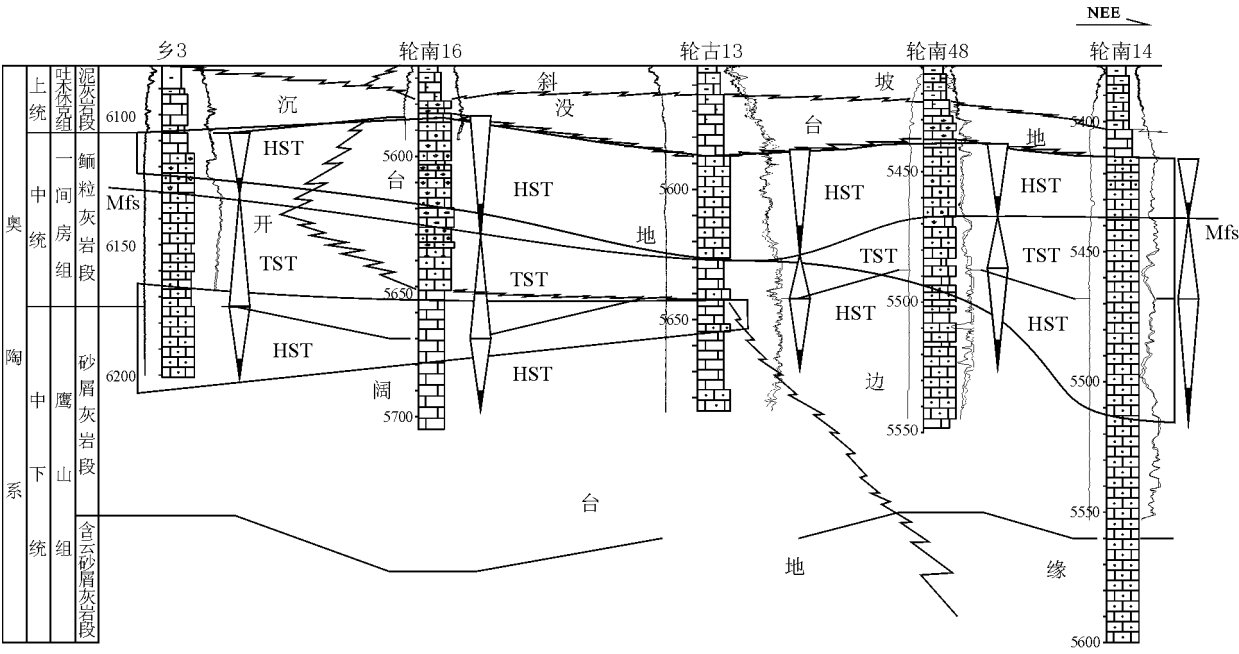


图3 轮南地区下中奥陶统层序地层格架下成岩作用发育对比图

Fig. 3 Correlation of the diagenesis in the Lower and Middle Ordovician sequence stratigraphic framework in the Lunnan region

盐岩进行成岩作用区域对比的结果表明, 高位期以及海侵期下伏的前期高位期沉积, 为有利的成岩作用改造层位, 并在物性统计数据中得到了证明, 因此, 可以作为该地区有利储集体评价和预测的一种新的理论支持。

参考文献:

[1] 田景春, 陈洪德, 彭军, 等. 右江盆地深水沉积层序地层学研究 [J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 210—214.
[2] 侯明才, 陈洪德, 田景春. 层序地层学的研究进展 [J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 128—134.
[3] 徐强, 姜烨, 董伟良, 等. 中国层序地层研究现状和发展方向 [J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 155—167.
[4] 赵俊青, 夏斌, 纪友亮, 等. 湖相碳酸盐岩高精度层序地层学探析 [J]. 沉积学报, 2005, 23(4): 646—656.
[5] 刘洪林, 王红岩, 张建博. 层序地层学在煤层气勘探中的应用 [J]. 天然气工业, 2004, 24(5): 30—32.
[6] 马如辉. 利用层序地层学方法预测川东北大安寨段介屑滩分布 [J]. 天然气工业, 2005, 25(2): 58—60.

[7] 杜远生, 颜佳新. 碳酸盐准同生成岩作用分析在层序地层研究中的意义 [J]. 岩相古地理, 1995, 15(1): 10—17.
[8] TUCKER M E. Carbonate diagenesis and sequence Stratigraphy [A]. V. P Wright. Sedimentary Review I [C]. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1993. 51—72.
[9] MOORE C H. Carbonate reservoirs: porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework [M]. Amsterdam: Elsevier Scientific Publ. Co., 2001. 128—143.
[10] 贾振远, 蔡忠贤. 成岩地层学与层序地层学 [J]. 地球科学, 1997, 22(5): 538—543.
[11] 陈方鸿, 谢庆宾, 王贵文. 碳酸盐岩成岩作用与层序地层学关系研究 [J]. 岩相古地理, 1999, 19(1): 20—24.
[12] 徐怀大, 樊太亮, 韩革华, 等. 新疆塔里木盆地层序地层特征 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 65—105.
[13] 王鸿祯, 史晓颖, 王训练, 等. 中国层序地层研究 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2000.
[14] 顾家裕, 周兴熙, 等. 塔里木盆地轮南潜山岩溶及油气分布规律 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 6—31.
[15] 郭建华. 塔北隆起早奥陶世碳酸盐岩沉积学与海平面变化 [J]. 新疆石油地质, 1996, 17(4): 338—344.
[16] 强子同, 等. 碳酸盐岩储层地质学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1998. 381—397.

Penecontemporaneous diagenesis of the carbonate rocks in a sequence stratigraphic framework: An example from the Lower and Middle Ordovician carbonate rocks in the Lunnan palaeouplift, Xinjian

LIN Xiao-bing¹, WANG Zhen-yu², TIAN Jing-chun¹, TAN Xiu-cheng²

(1. *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*; 2. *College of Resources and Environments, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China*)

Abstract: There is a correlation between the depositional systems tracts based on the eustatic fluctuations and penecontemporaneous diagenesis in the marine carbonate rocks. This correlation, in turn, can be incarnated by the diagenesis developed in the systems tracts. Exemplified by the Middle and Lower Ordovician carbonate rocks in the Lunnan palaeouplift, Tarim Basin, Xinjiang, the types and characteristics of the diagenesis developed in individual systems tracts are summarized in a sequence stratigraphic framework. The calcite cementation and dolomitization mainly occur in the transgressive systems tract (TST), and calcite cementation and meteoric dissolution dominantly appear in the highstand systems tract (HST). The comparative study of the diagenesis in a sequence stratigraphic framework shows that the HST deposits and their underlying deposits are believed to be the favourable intervals reworked by diagenesis and potential reservoirs, as proved by statistic physical data for the strata in the study area.

Key words: Lunnan palaeouplift; Middle and Lower Ordovician; carbonate rock; diagenesis; Tarim Basin