

塔里木盆地西部层序地层格架控制下的 石炭系沉积成岩演化特征

王 琪, 陈国俊, 薛莲花, 史基安

(中国科学院 兰州地质研究所 气体地球化学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 根据高频旋回层序在长周期旋回层序内的有序叠加方式可在研究区石炭系中划分出 3 个 C_1 级旋回层序和 2 个 C_2 级旋回层序。其中 C_1 和 C_2 旋回层序为海侵体系域, C_3 为高水位体系域, 它们共同构成了研究区的层序地层格架并且控制着沉积相和生储盖组合的时空展布特征。由于受成岩历史差异性和不同成岩环境的影响, 石炭系碎屑岩和碳酸盐岩储集岩成岩特征和储集性能在巴楚隆起区和麦盖提斜坡区均存在明显差异, 且分布在斜坡区的储层物性明显优于隆起区同层位的储层, 是近期有利的勘探区域。

关键词: 层序地层格架; 沉积成岩演化; 石炭系; 塔里木盆地西部

中图分类号: P539. 2

文献标识码: A

塔里木盆地西部是指和田河以西的盆地范围, 包括北部的柯坪隆起区、南部的铁克里克隆起区及其间的西南拗陷, 面积约 $20 \times 10^4 \text{km}^2$ 。该区石炭纪是继奥陶纪之后又一次大规模的海侵时期, 以碳酸盐岩为主夹部分硅质碎屑岩的沉积覆盖了盆地大部分地区, 在盆地西南缘发育了水体较深的台盆相碳酸盐岩, 而在西南拗陷内部次级构造巴楚隆起区则发育了一套由碎屑岩、碳酸盐岩和膏盐岩间互组成的水体较浅的环潮坪沉积。在石炭纪时期, 盆地西部为稳定的克拉通上发育的内拗陷盆地, 构造演化对沉积充填样式的影响相对较小, 而海平面阶段性上升形成的海侵过程则控制着盆地沉积产物的时空分布特征。因此, 利用层序地层学原理来分析石炭系地层的沉积和成岩演化史有助于阐明该区有利生储盖组合在时空上的展布规律。

1 石炭系层序地层格架的建立

1.1 高频旋回层序分析

旋回层序是旋回地层学和层序地层学相互渗透的产物。“旋回”本身着重强调的是地层沉积作用对称性或非对称性的周期性时间过程, 而“层序”则是相应旋回的产物。为了与非旋回性的沉积层序相区别, 本文使用“旋回层序”来泛指所有与异成因机制

(相对海平面变化) 有关的沉积层序。目前地质学家已在碳酸盐岩地层中识别出了各种与米兰科维奇机制具有成因联系的高频率振荡旋回层序, 如 Anderson 和 Goodwin 的“米级旋回”^[1]、Osleger 的“潮下碳酸盐旋回”^[2]、Read 等的“环潮坪碳酸盐旋回”^[3]、Tucker 等的“碳酸盐蒸发盐旋回”^[4] 等。这些高频层序在侧向或横向上的追索范围最小仅数千平方米, 最大可达数百平方千米, 具有局部或区域对比意义。

通过对塔里木盆地西部巴楚地区小海子剖面、康 1 井及和 2 井等钻井剖面的观察, 发现石炭系中普遍存在小级别的向上变浅单元。这些小组别向上变浅沉积单元的重复发育, 代表了海侵事件造成的碳酸盐台地的周期性海泛过程。在巴楚地区自东河砂岩段到小海子组(顶部灰岩段) 顶界, 可识别出 50 余个这种高级旋回层序。它们所代表的旋回级次相当于五级旋回或六级旋回^[5], 与层序地层的准层序组或准层序相对应, 在此可将其统称为高频旋回层序。根据各种资料的综合研究, 可见研究区石炭系地层中发育有 4 种典型的高频旋回层序, 即: a) 碳酸盐岩台地型旋回层序; b) 碳酸盐岩- 蒸发岩旋回层序; c) 潮下型碳酸盐旋回层序, 和 d) 碎屑岩潮坪旋回层序^[6]。这些高频旋回层序多属环潮坪沉积, 主要由潮下、潮间和潮上三单元沉积物组成, 沉积微相

收稿日期: 2001- 11- 07; 修订日期: 2002- 12- 10.

基金项目: 中国科学院资源环境领域知识创新工程重大项目(KZCX2- 111); 国家 973 重点基础研究发展规划项目(G1999043300) .

作者简介: 王 琪(1967-), 男(汉族), 副研究员, 主要从事储层沉积学方面的研究.

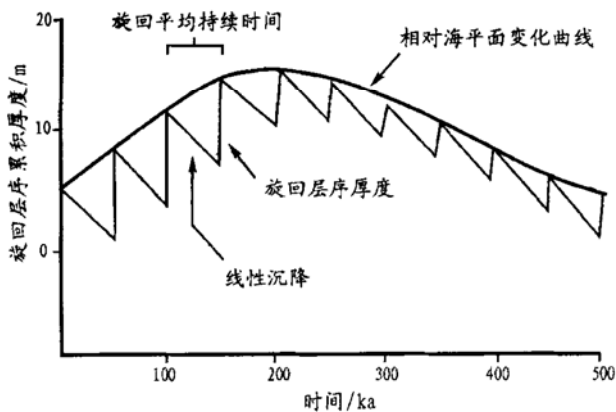


图 1 Fischer 图解
Fig. 1 Fischer diagram

看出, 较厚的碳酸盐岩高频旋回层序主要发育在图解的上升部分, 可被认为是在三级海平面上升阶段沉积物容纳空间增大的情况下形成; 较薄的含蒸发岩高频旋回层序主要叠加在图解的下降部分, 被认为是在海平面下降阶段容纳空间减小的情况下形成。这说明巴楚组沉积早期相对海平面开始逐步上升, 而后发生海退, 海平面缓慢逐渐下降。④层

序海侵体系域形成时期相对海平面迅速上升至最高位置; 随后, 海平面开始降低; 至卡拉沙依组时期, 海平面降低幅度达到最大。④旋回海侵开始, 相对海平面又开始上升; 至小海子沉积晚期——火山时期, 本区隆升海水退出。总之, 在早中石炭世, 塔里木盆地海平面是呈下降趋势。虽然研究区处于缓慢构造沉降区, 但从卡拉沙依期沉积环境的变迁来看, 海平面下降的速率略快于构造沉降速率; 而在小海子早期相对海平面上升速率明显增大。这一变化趋势与石炭纪全球海平面变化趋势是一致的^[10]。

2.2 石炭纪沉积演化及生储盖组合特征

泥盆纪末, 受海西运动和全球海平面下降因素的影响, 海水完全退出塔里木盆地, 大部地区抬升为陆地, 遭受剥蚀, 仅在盆地西部残留有泥盆系。石炭纪开始, 伴随全球海平面上升, 塔里木又经历了一次大规模的海侵。

早石炭纪初期, 相当于 ④层序海进体系域形成时期, 海水由古地中海海域自西向东推进, 使石炭系地层形成自西向东的超覆沉积, 从而形成了石炭

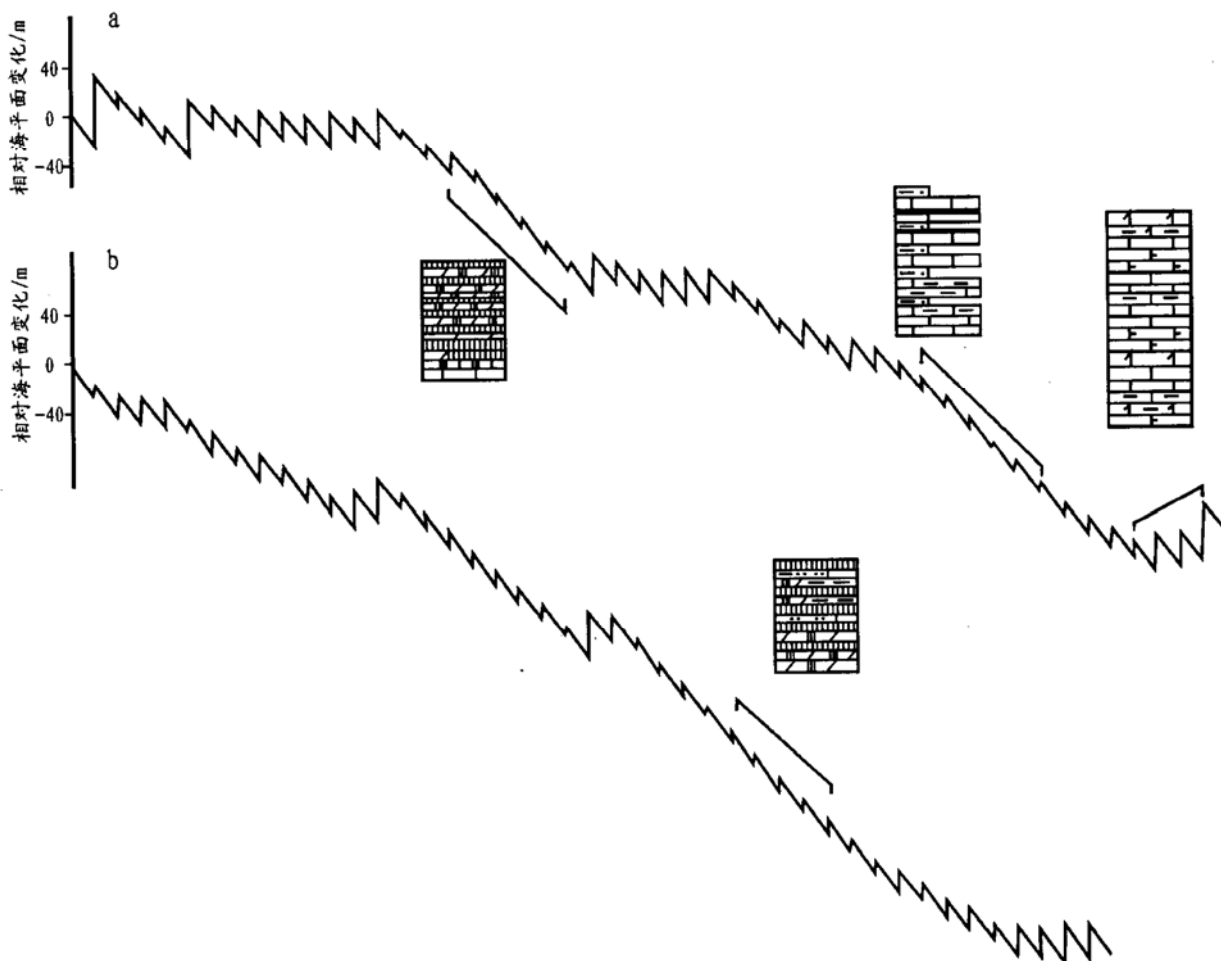


图 2 塔里木盆地西部钻井及露头石炭系 Fischer 图解特征对比
a. 康 1 井; b. 小海子

Fig. 2 Comparison of the Carboniferous Fischer diagrams for drilling well and outcrop profiles in the West Tarim Basin

系地层与下伏地层的大区域不整合的接触关系。海水向东推进,在沙雅、东河塘地区形成滨岸海滩典型海相沉积,在距物源区较远的地区(如玛扎塔格)水体相对较深,沉积了细粒的碎屑沉积物;海侵达到最大时,形成了以生屑灰岩为主的碳酸盐岩沉积。巴楚地区因靠近柯坪古陆,有大量陆源碎屑输入,形成较厚的碎屑沉积。④层序高水位体系域形成时期,海平面上升减慢甚至停止,整个盆地气候干燥,形成了一套以膏泥岩为主的沉积。早石炭世中期相当于④海侵体系域形成时期,伴随海平面的快速上升,海水迅速以更大规模自西向东进侵。由于地表的夷平,陆源物质供给稳定,盆地大部分地区形成以潮汐为主的碳酸盐台地沉积。至高水位沉积时期,海平面上升速度减慢,塔西南地区气候干燥,形成以蒸发台地和蒸发潮坪为特征的膏云岩及岩盐沉积类型。塔东地区陆源物质相对充分,整体以潮坪海湾沉积为主。晚石炭世早期,巴楚地区局部隆升,卡拉沙依组遭受剥蚀,但很快海水再次大规模侵入整个盆地,这是塔里木盆地石炭纪发生的最大规模的海侵事件,古陆面积更加缩小,导致陆源物质欠补偿,从而形成以浅海陆棚碳酸盐台地和局限台地为特征的沉积类型。至晚石炭纪后期,海水开始迅速向西退缩,从而结束了塔里木盆地石炭纪海相沉积的历史。

塔里木盆地西部整个石炭纪的沉积历史,实际上是在相对海平面上升、下降过程中发生的。受到全球海平面升降、陆源碎屑供给速率及构造沉降和气候诸因素的影响,在海平面相对上升的过程中,沉积类型由硅质碎屑岩的浑水沉积逐渐向碳酸盐岩的清水沉积过渡,在相对海平面下降时期,其环境

及沉积类型迅速向相反方向发展,并导致地层间的不连续面。以此为依据,可将石炭系划分为 3 个三级旋回层序,④为海侵体系域,④为高水位体系域,④为海侵体系域;二叠系地层为高水位体系域。这 3 个三级旋回层序控制的体系域、沉积相和生储盖组合可归纳于表 2 中。

3 层序地层格架控制下的石炭系成岩演化特征

3.1 下石炭统

巴楚组本身组成了本区④三级旋回层序,在海进体系域中形成了分布广泛的潮间砂坪和滨岸滩砂储集岩。由于受成岩历史差异性影响,这套储集岩在成岩特征和储集性能方面存在明显差异(表 3)。

在巴楚隆起区该套砂岩已进入晚成岩阶段 B 期,成岩强度大,原生粒间孔隙在早期机械压实过程中损失较大,粒间体积较小,加上成岩过程中各种胶结物沉淀、自生粘土矿物析出作用而进一步降低了砂岩孔隙;特别是晚期铁方解石充填破坏了大部分早期原生粒间孔和部分次生溶孔,使岩石更加致密,如小海子剖面石炭系细砂岩中就形成了所谓的“沉积石英岩”。这种岩石在组构特征上类似于变质石英岩,颗粒间界线呈似缝合线状紧密接触,残留原生粒间孔隙多被石英次生加大边占据,因此岩石孔渗性较差,实测孔隙度仅为 1.2% ~ 4.2%,渗透率通常小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于④类(中)储集岩。

而麦盖提斜坡区,特别是斜坡东部地区,该套砂岩目前正进入晚成岩阶段 B 期,孔隙流体呈酸性,

表 2 塔里木盆地西部古生界层序地层学与生储盖层分布的关系

Table 2 Relationship between the Paleozoic sequence stratigraphy and the distribution of source rock, reservoir and cap rock in the West Tarim Basin

地 层			层序	体系域	沉积相及发育特征	生储盖组合
系	统	组				
二叠系		阿恰群	④	HST	台地、进积型三角洲、河流相及湖泊相;分布广泛	碎屑岩储层
		小海子组		TST	台地;分布广泛	碳酸盐岩储层
石炭系	上统		④	HST	潮间灰泥坪、蒸发台地;分布广泛	盖层
	中统	卡拉沙依组		TST	台地;分布广泛	碳酸盐岩储层
	下统	巴楚组	④	HST	泻湖;广泛发育	盖层
				TST	潮间砂坪、滨岸滩沙;分布广泛	碎屑岩储层
泥盆系						

表 3 塔里木盆地西部下石炭统巴楚组石英砂岩储层特征统计表
 Table 3 Reservoir characteristics of quartzose sandstone in the Bachu Fm. (C_{1b}) of the Lower Carboniferous in the West Tarim Basin

剖面或井	巴楚隆起区				麦盖提斜坡	
	小海子剖面	康 1 井	巴 4 井	伽 1 井	琼 001a 井	和 2 井
孔隙类型	裂缝孔 残余粒间孔 少量粒间溶孔	残余粒间孔 裂缝孔 粒间溶孔	粒间溶孔 残余粒间孔	残余粒间孔 粒间溶孔	粒间溶孔 残余粒间孔	粒间溶孔 残余粒间孔
孔隙度 / %	6.84	3.15	3.86	2.27	4.15	16.95
渗透率 / $10^{-3} \mu\text{m}^2$	0.01	1.77	< 1	< 0.1	0.45	95.3
成岩阶段	晚成岩 B 期	晚成岩 B 期	晚成岩 B 期	晚成岩 B 期	晚成岩 B 期 早期	晚成岩 A 期
成岩环境	碱性	碱性	弱酸性	碱性	弱酸性	酸性
储层分类	㊦(中等)	㊦(中等)	㊦(中等)	㊦(差)	㊦(中等)	iv(好)
厚度 / m	167.7	152.0		105.0	160.0	

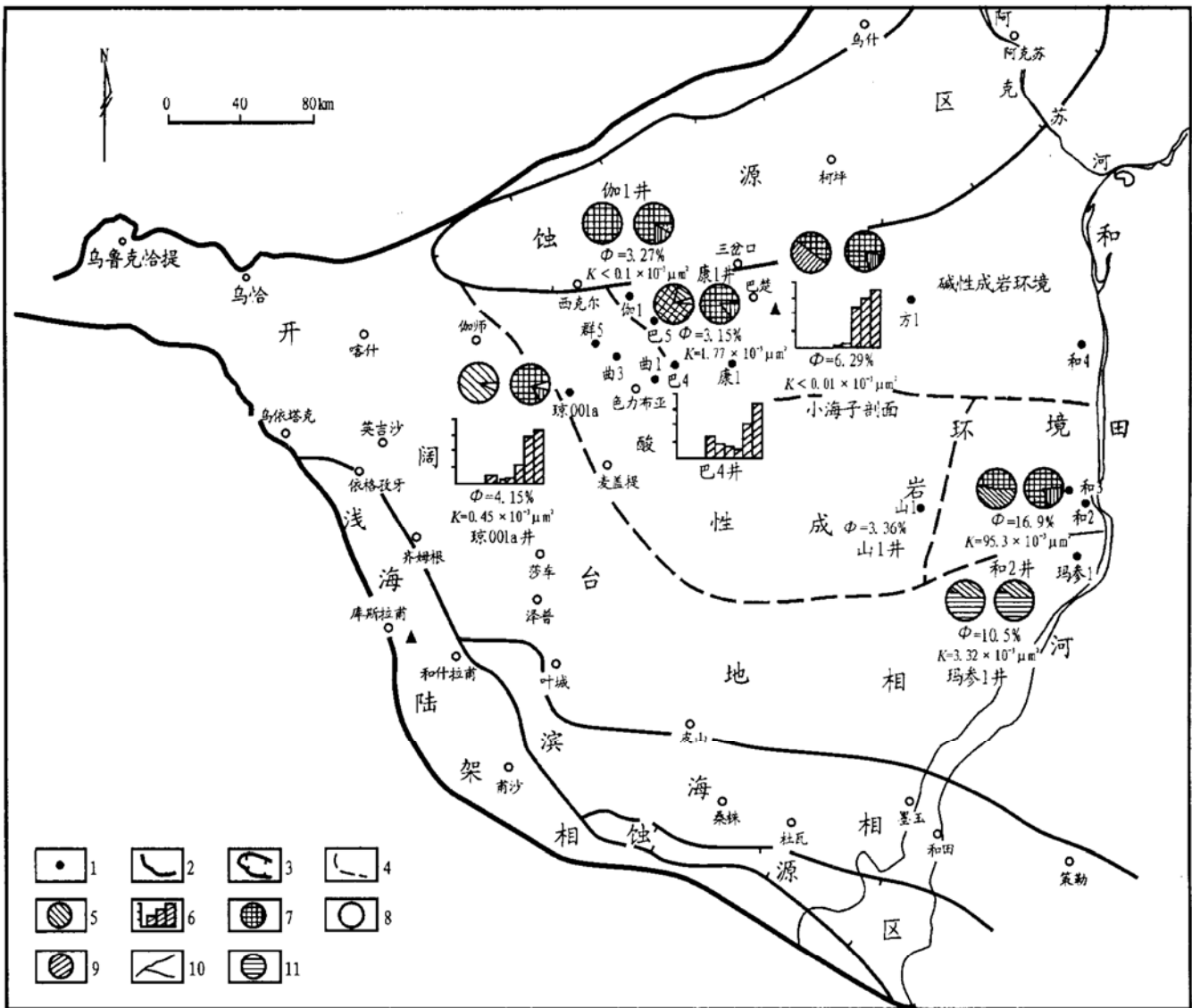


图 3 塔里木盆地西部下石炭统巴楚组石英砂岩储层特征平面图

- 1. 井位; 2. 相界; 3. 剥蚀区; 4. 储层分区线; 5. 残余粒间孔;
- 6. 裂缝孔; 7. 粒内溶孔; 8. 粒间溶孔; 9. 晶间溶孔; 10. 河流; 11. 水平溶孔

Fig. 3 Plan view showing the reservoir characteristics of quartzose sandstone in the Bachu Fm. (C_{1b}) of the Lower Carboniferous in the West Tarim Basin

具备溶蚀砂岩中可溶组分及产生次生溶蚀孔隙的能力,因此砂岩中各种粒间和粒内溶孔发育,储层性能明显优于隆起区同层位储层。如琼 001a 井平均孔隙度 4.15%,渗透率 $0.45 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。该套储层延至东部山 1 井、和 2 井地区,由于构造沉降的差异性,砂体成岩埋藏较浅,仍处于晚成岩阶段 A 期,孔隙水呈强酸性,溶蚀能力强,大量中期粒状方解石胶结物被溶,从而形成大量粒间溶孔,同时还保留着许多残余原生粒间孔隙,从而形成连通性较好的孔隙体系。实测物性表明,该区石炭系砂岩平均孔隙度高达 16.95%,平均渗透率 $95.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属 iv 类(好)储集层。由此可见,麦盖提斜坡东部地区是石炭系砂岩的有利勘探区域(图 3)。

3.2 中石炭统

卡拉沙依组本身组成本区 ④ 三级旋回层序,在下部海进体系域中形成分布广泛的开阔台地相碳酸盐岩沉积。这套灰岩储集岩层也存在着明显的分区性。在巴楚隆起区该组灰岩段储层在成岩特征方面,总体上呈现海水成岩环境的特征,即胶结成岩段、膏化成岩段发育。由于海水性质和所发生成岩作用强度的差异,导致该段储层强烈的非均质性,但储层物性总体上呈低孔低渗面貌,仅在伽 1 井地区形成了相对有利的储集层段。该地区灰岩由于发育了形成于正常海水成岩环境的弱胶结成岩段,致使颗粒灰岩中原生粒间孔大量保存,同时还可见粒间、粒内溶孔,实测孔隙度可达 6.55%,渗透率 $8.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属 ㊟类(较好)储集层。

在麦盖提斜坡区,该套储层成岩特征明显不同于隆起区,表现为该组在成岩早期经历了准同生白云化作用,形成了大量晶间孔,后经大气淡水淋溶改造而演变为晶间溶孔、晶内溶孔和针状孔,有效地改善了储层性能。其中 iv、㊟类储层发育,储层总体上呈高孔高渗特征,是该区非常有利的储集层段。

3.3 上石炭统

小海子组隶属 ④ 三级旋回层序的下部。该组上部高水位体系域形成的开阔台地相高能滩相颗粒灰岩储层在巴楚隆起区伽 1 井至巴 4 井地区广泛分布,其特点为早期胶结较弱,周期性地受淡水淋溶改造,原生粒间孔大量保存,粒间、粒内溶孔发育,因此实测孔隙度较高。如伽 1 井该组的孔隙度可达 16.54%,渗透率 $24.34 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,巴 4 井为 7.19%,

均属 iv 类(好)储集层。该组储层是巴楚隆起区有利的勘探层位。

在麦盖提斜坡区小海子组由于普遍发生了埋藏白云化,形成了以淡水溶解-白云化段为主的建设性复合成岩段,晶间溶孔-水平溶孔-溶解缝-溶洞为主的孔隙组合类型普遍出现,储层孔渗参数普遍较高。如琼 001a 井孔隙度为 18.87%,渗透率 $4.87 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属 iv 类(好)储集层分布区。由于大气淡水淋溶改造往往具有区域性,因此小海子组不仅在斜坡区西部,而且在中、东部地区均有可能形成有利储集层段。

参考文献:

- [1] Anderson E J, Goodwin P W. The significance of meter scale al cycles in the quest for a fundamental stratigraphic unit[J]. Journal of the Geological Society London, 1990, 147: 507- 518.
- [2] Osleger D A. Subtidal carbonate cycles: implications for allocyclic versus autocyclic controls[J]. Geology, 1991, 19: 917- 920.
- [3] Read J F, Goldhammer R K. Use of Fischer plots to define third order sea level curves in peritidal cyclic carbonates, Early Ordovician, Appalachians[J]. Geology, 1988, 16: 895- 899.
- [4] Tucker M E. Sequence stratigraphy of carbonate-evaporite basins: models and application to the Upper Permian (Zechstein) of Northeast England and adjoining North Sea[J]. J Geo Soc London, 1992, 148: 1019- 1036.
- [5] 梅冥相. 碳酸盐旋回与层序[M]. 贵州: 贵州科技出版社, 1995.
- [6] 陈国俊, 薛莲花, 王琪, 等. 塔里木盆地巴楚地区石炭系高频旋回层序分析[J]. 沉积学报, 1998, 16(4): 37- 41.
- [7] Ross C A, Ross J R P. Late Paleozoic depositional sequences are synchronous and worldwide[J]. Geology, 1985, 13: 194- 197.
- [8] Fischer A G. The Lofer cyclothems of the Alpine Triassic[A]. Merriam D F. Symposium of cyclic sedimentation[C]. State Geological Survey of Kansas(Bulletin), 1964, 169: 107- 150.
- [9] Osleger D A, Read J F. Relation of eustasy of stacking patterns of meter-scale carbonate cycles, late Cambrian, USA[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1991, 61(7): 1225- 1252.
- [10] 王毅, 纪友亮, 熊继辉, 等. 塔里木盆地上泥盆统与石炭系层序地层分析[J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 74- 81.

(下转第 52 页)

CHARACTERISTICS OF N-HEPTANE-SOLUBLE COMPONENTS IN THE MILD CHEMICAL OXIDATION DEGRADED PRODUCTS OF ASPHALTENE

LIAO Zewen, GENG Ansong

(State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute
of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

Abstract: Some hydrocarbon components adsorbed and included in the molecular skeleton of asphaltene. were subjected less reconstruction from the paleo evolution of oil pools, and were thought to be primary and containing important organic geochemical information. The experimental results showed that these primary components in the molecular skeleton of asphaltene can be released rationally by mild chemical oxidation degradation treatment, and can obtained well application in oil-oil correlation, oil-source correlation, the sedimentary environments of organic matter in oil pools, the secondary reconstruction of oil pools and other researches. To some oil pools subjected serious paleo degradation, these components especially possessed important significance in the study of restoring original organic geochemical information.

Key words: asphaltene; mild oxidation degradation; GC-MS analysis; GC-IR-MS analysis

(continued from page 44)

EVOLUTIONARY CHARACTERISTICS OF THE CARBONIFEROUS SEDIMENTATION AND DIAGENESIS CONTROLLED BY THE SEQUENCE STRATIGRAPHIC FRAMEWORK OF THE WEST TARIM BASIN

WANG Qi, CHEN Guojun, XUE Lianhua, SHI Jian

(State Key Laboratory of Gas Geochemistry, Lanzhou Institute of Geology, CAS, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: According to the ordered superimposed styles of high-frequency cyclic sequences within long-period cyclic sequences, three ④-order cyclic sequences and two ⑤-order cyclic sequences were divided in the Carboniferous of the study area. Among them, ④ and ⑤ cyclic sequences belong to the transgressive tract system, and ④ belongs to the highstand tract system. They constitute together the sequence stratigraphic framework of the study area and control the space-time distributive characteristics of sedimentary facies and source rock-reservoir-cap rock assemblages. As affected by the differences of diagenetic history and different diagenetic environments, the diagenetic characteristics and storage performances of the Carboniferous clastic and carbonate reservoir rocks have obvious differences between the Bachu Uplifting area and the Maigaiti Slope area. Besides, the reservoirs distributing in the slope area have obviously better physical properties than those in the same formations of the uplifting area, and are the favorable exploration targets in the near future.

Key words: sequence stratigraphic framework; sedimentary and diagenetic evolution; Carboniferous; the West Tarim Basin