

文章编号: 1001-6112(2011)03-0244-05

塔里木盆地石炭系层序地层划分及演化

肖朝晖^{1,2}, 王招明³, 吴金才², 姜仁旗²

(1. 成都理工大学 资源学院, 成都 610059; 2. 吉斯克能源技术(北京)有限公司, 北京 100101;

3. 中国石油天然气股份有限公司 塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 运用层序地层研究的理论及方法, 针对塔里木盆地石炭系东河砂岩开展层序地层研究, 探讨在塔里木盆地利用露头—钻井—地震资料为基础的综合层序地层解释方法技术, 识别层序边界, 建立地层格架。通过野外露头观察、钻井资料分析及地震剖面综合解释方法技术, 在石炭系识别出了 6 个层序。重点对觉马—赛克区东河砂岩段层序进行分析, 认为该段是一个穿时岩性地层单元, 跨 3 个层序, 即 C-SQ1, C-SQ2, C-SQ3, 其主体相当各层序的低位—海进域(TST), 为一套海岸上超砂岩沉积, 是今后的重点勘探目标。

关键词: 石炭系; 东河砂岩; 层序识别; 塔里木盆地

中图分类号: TE121.3⁺4

文献标识码: A

Sequence stratigraphic division and evolution of Carboniferous in Tarim Basin

Xiao Zhaohui^{1,2}, Wang Zhaoming³, Wu Jincai², Jiang Renqi²

(1. School of Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. Jisike Energy Resources Technology (Beijing), Ltd., Beijing 100101, China;

3. Tarim Branch Company, PetroChina, Kuerle, Xinjiang 841000, China)

Abstract: Sequence stratigraphic studies have been carried out in the Carboniferous Donghe sandstones in the Tarim Basin based on the theories and methodologies of sequence stratigraphy. An integrated technique for sequence stratigraphic interpretation has been discussed by means of outcrop, drilling and seismic data. The technique can be used to identify sequence boundaries and establish stratigraphic frameworks. Through field outcrop observation, drilling data analyses and seismic profile interpretation, we have identified 6 sequences in the Carboniferous. The Donghe sandstone sequence in Juema—Saike region is a diachronous lithostratigraphic unit including 3 sequences: C-SQ1, C-SQ2 and C-SQ3. The main part of the sequence is equivalent to TST. The sandstones consist of coastal onlap deposits and are the key targets for future explorations.

Key words: Carboniferous; Donghe sandstone; sequence identification; Tarim Basin

在前人研究基础上, 通过野外露头观察、岩心观察、钻/测井层序分析以及地震资料的综合解释, 以石炭系为例, 建立层序地层解释模型, 识别露头—钻/测井—地震的层序界面, 建立塔里木盆地石炭系层序地层格架。重点进行觉马—赛克区东河砂岩段层序解释, 探讨层序格架形成演化, 为下一步进行地层岩性圈闭发育有利部位研究提供基础资料。

1 层序地层理论基础

层序地层学是通过构造沉降、海平面变化、沉积物供应速率及气候等 4 大因素的综合分析来研

究可供沉积物沉积时空(即可容纳空间)的周期性变化。一个海平面变化周期内的沉积称为层序, 同一周期内海平面不同变化阶段沉积的地层划分为不同的体系域^[1]。

塔里木盆地石炭系层序为碎屑岩与碳酸盐岩混合型层序。本次研究采用旋回理论, 根据塔里木盆地石炭系层序发育的环境、准层序厚度变化及准层序叠加样式、体系域的发育规模, 认为石炭系为缓坡背景层序发育模式^[2-3]; 然后根据塔里木盆地地下古生界层序发育的实际情况, 分析塔里木盆地石炭系各层序特征, 并对有利勘探领域进行评价。

收稿日期: 2010-11-26; 修订日期: 2011-03-31。

作者简介: 肖朝晖(1968—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事石油地质研究。E-mail: zhaohui1221@sina.com。

基金项目: 中国石油塔里木油田分公司专项研究(41005060024)资助。

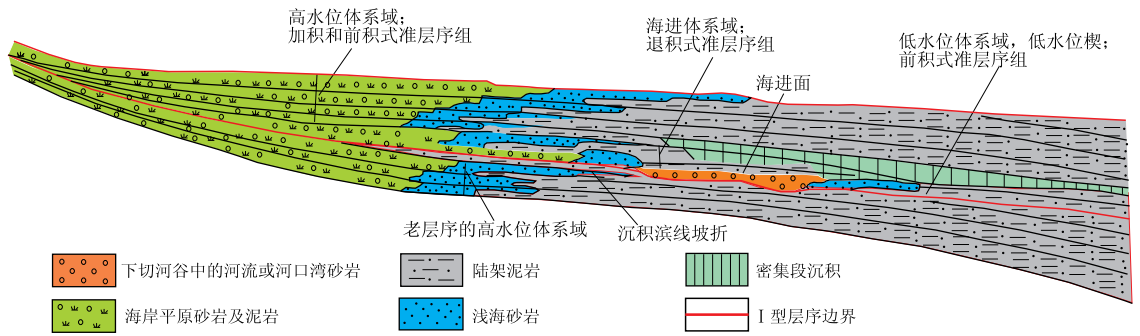


图 1 缓坡背景层序发育模式

Fig. 1 Pattern for sequence development in gentle slope setting

Van Wangoner 等人^[4]认为:在大陆边缘,在坡度很缓的情况下,斜坡边缘多具有缓坡特征(多小于 1°),在斜坡边缘具有发育低位体系域的能力,但低位体系域规模不大。低位体系域由相对薄的低水位楔(lowstand wedge)组成,它可能包含 2 个部分:第一部分以河流下切作用和沉积物过路冲刷海岸平原为特征,是在海平面相对下降时期发生的,在该时期滨线快速地向盆地方向推进,直至相对海面下降稳定下来为止。低水位楔的第二部分以海面的缓慢相对上升、下切河谷的充填以及滨线的连续前积为特征,造成一个由逆倾向的下切河谷充填沉积物和顺倾向的一个或多个前积准层序组构成的低水位楔(图 1)。

在解释石炭系时,层序模式的指导也起了很重要作用。石炭系层序发育时盆地为缓坡滨岸环境,缓坡背景低位域不发育或发育规模很小,在地震剖面上其低位域特征不明显,层序主体为海进域和高位域构成^[5]。

2 石炭系地层格架及层序基本特征

塔里木盆地石炭纪属于克拉通内部坳陷沉积盆地,石炭系为一套浅海相碎屑岩和碳酸盐岩沉积,沉积了厚约 700~1 000 m 的地层^[6],由下统的巴楚组、卡拉沙依组和上统的小海子组组成,自下而上包括了巴楚组的东河砂岩段、下泥岩段、生屑灰岩段,卡拉沙依组的中泥岩段、标准灰岩段、上泥岩段和砂泥岩段及小海子组的灰岩段(表 1)。钻井取心、岩屑资料、测井曲线资料及地震资料等均反映出石炭系岩性分布较稳定^[7-8]。

2.1 石炭系层序界面基本特征

通过巴楚小海子水库东侧石炭系野外露头剖面观察,同时结合井下岩心观察和测井资料解释以及盆地地震剖面解释,在石炭系中共识别出 6 个层序界面(表 1):

表 1 塔里木盆地石炭系层序边界划分

Table 1 Boundary division for Carboniferous sequences, Tarim Basin

地层系统		层序边界特征			
系	统	岩性段	反射界面	层序边界	
石炭系	上统	小海子组	含灰岩段	Tg2	C-SB6
			砂泥岩段		C-SB5
	下统	卡拉沙依组	上泥岩段	Tg2'	C-SB4
			标准灰岩段		
		中泥岩段	Tg2''	C-SB3	
	生屑灰岩段				
巴楚组	下泥岩段	Tg3	C-SB2		
东河砂岩段	C-SB1				

2.2 层序边界综合特征

层序边界 C-SB1 相当于东河砂岩段底,电测曲线上为电性突变形态;层序边界 C-SB2 相当于巴楚组下泥岩段底,电测曲线上为电性突变特征;层序边界 C-SB3 相当于生屑灰岩段底,电测曲线上为电性突变特征明显(图 2),在岩心剖面上表现为一岩心突变面(图 3)。

地震剖面上层序边界 C-SB3, C-SB4, C-SB5, C-SB6 为连续的强反射同相轴,容易追踪对比;层序边界 C-SB1, C-SB2, C-SB3 地震反射较弱,追踪比较困难(图 4)。

2.3 石炭系层序基本特征

通过对石炭系露头观察、钻/测井资料分析及地震剖面解释,石炭系共划分 6 个层序(图 2):

2.3.1 层序 C-SQ1

相当于巴楚组东河砂岩段,在岩性剖面上其底部层序边界 C-SB1 为区域不整合面,地震剖面上为 Tg3 的反射。在小海子露头区层序底部见薄层古风化壳,为基准面上升半旋回层序(图 5)。

2.3.2 层序 C-SQ2

相当于巴楚组下泥岩段,其顶底界面为沉积相

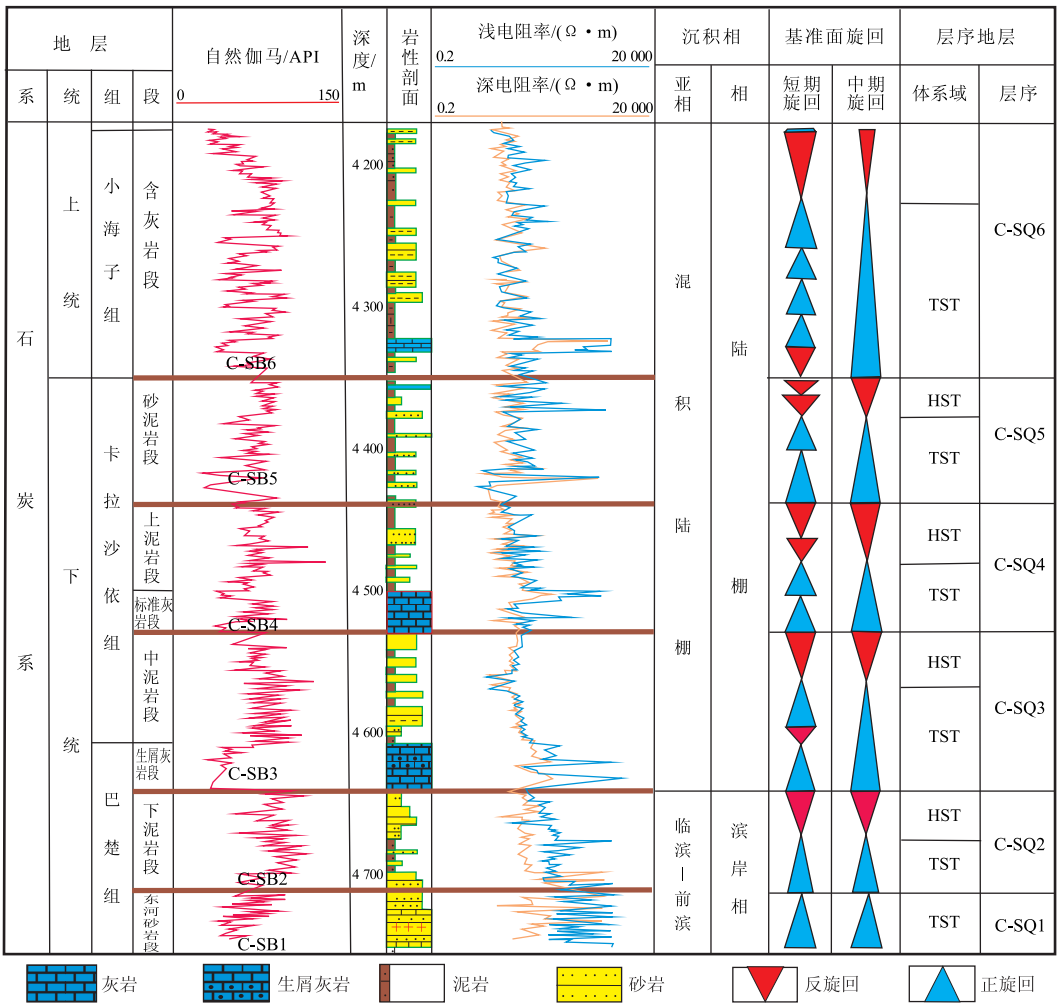


图 2 塔里木盆地 T1 井层序解释柱状图

Fig. 2 Histogram for interpretation of sequences in Well T1, Tarim Basin

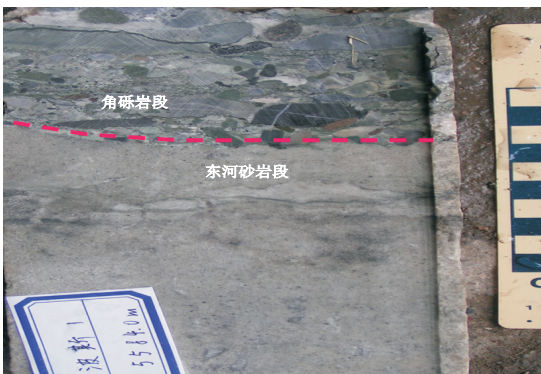


图 3 塔里木盆地 B1 井东河砂岩及其上覆的角砾岩段岩心照片第 8 筒心的第 4 块。

Fig. 3 Donghe sandstone and its overlying breccia section (4th core in 8th barrel), Well B1, Tarim Basin

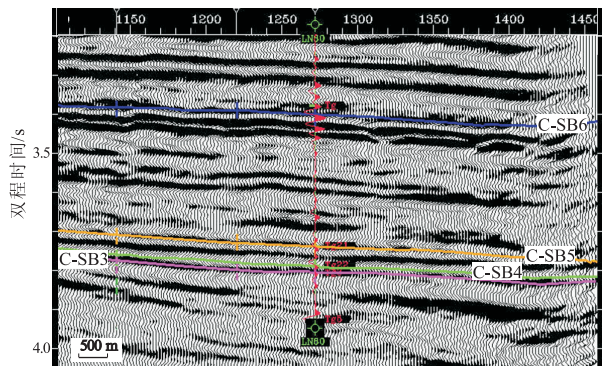


图 4 塔里木盆地过 LN60 井 inline1284 线石炭系层位边界标定

Fig. 4 Carboniferous horizon boundaries along Inline 1284 crossing Well LN 60, Tarim Basin

C-SQ2。为基准面上升旋回层序(图 5)。

2.3.3 层序 C-SQ3

相当于巴楚组生屑灰岩段和卡拉沙依组中泥岩段,层序底部为沉积相突变面,层序下部在电测曲线上为低电位、高电阻,表现为“钟型”,为基准面

突变面。在小海子露头区层序底部见海滩砂砾岩底部冲刷面(图 5)。层序底部层序边界 C-SB2 为区域不整合面,地震剖面上为 Tg2”的反射。该层序在工区内不发育,只有在塔东地区的 JM1 井钻遇层序

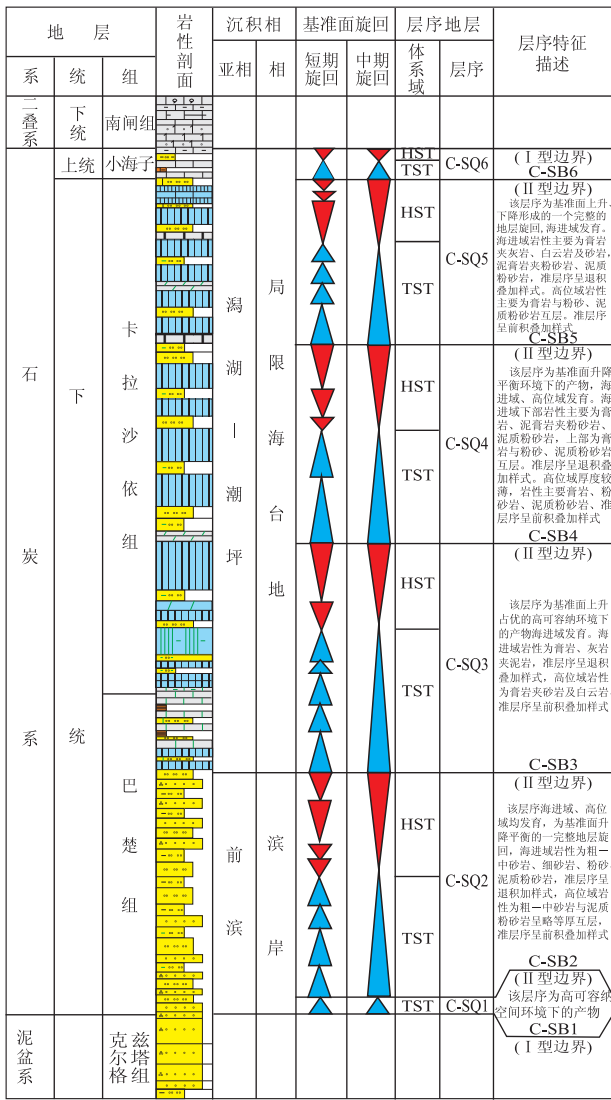


图 5 塔里木盆地石炭系井下及露头区层序划分综合柱状图
Fig. 5 Generalized columns for division of Carboniferous sequences in wells and outcrops, Tarim Basin

上升半旋回沉积。层序上部在电测曲线上表现为“漏斗型”，为基准面下降半旋回沉积。在小海子露头区层序底部见薄层古风化壳(图 5)。

2.3.4 层序 C-SQ4

相当于卡拉沙依组标准灰岩段和上泥岩段,在电测曲线上具有与层序 C-SQ3 相同特征(图 2)。为完整基准面升降旋回型层序(图 5)。

2.3.5 层序 C-SQ5

相当于卡拉沙依组砂泥岩段,为一套砂泥互层。在电测曲线上表现为“箱型”特征(图 2),其准层序以加积叠加样式为主。为完整基准面升降旋回型层序(图 5)。

2.3.6 层序 C-SQ6

相当于小海子组顶灰岩段(图 5),主要为一套含灰岩沉积。在小海子露头区层序底部见薄层古

风化壳。为完整基准面升降旋回型层序。

3 石炭系东河砂岩层序发育模式

石炭系包括巴楚组、卡拉沙依组和小海子组,根据层序地层研究,石炭系中共划分出 6 个层序: C-SQ1, C-SQ2, C-SQ3, C-SQ4, C-SQ5, C-SQ6。东河砂岩段是其主要勘探目的层。

东河砂岩段是一套跨时沉积单元,在盆地的不同部位表现出不同的岩性特征。在盆地中西部相当于东河砂岩段和下泥岩段^[7],即 C-SQ1 和 C-SQ2,在东河塘一轮南地区相当于生屑灰岩段,即层序 C-SQ3 海进域(TST)。在轮南觉马—赛克区相当于层序 C-SQ2 和 C-SQ3。石炭系层序 C-SQ1, C-SQ2, C-SQ3 为基准面上升半旋回型层序,层序 C-SQ4, C-SQ5, C-SQ6 为完整基准面升降旋回型层序。层序 C-SQ1, C-SQ2, C-SQ3 为重点勘探层序,海进域滨岸砂体为重点勘探对象。由此可见,东河砂岩共跨越了层序 C-SQ1—C-SQ3。尽管东河砂岩在盆地的不同部位其层序的归属不同,但东河砂岩层序主要为滨岸的沉积,属基准面上升半旋回的沉积,主体为不同层序的低位—海进体系域部分(图 6)。

通过钻/测井层序解释,东河砂岩层序在东河塘一轮南地区主要为滨岸的沉积,属基准面上升半旋回的沉积,海岸上倾尖灭砂体形成地层尖灭圈闭。

4 石炭系东河砂岩层序研究

觉马—赛克地区石炭系东河砂岩相当于层序 C-SQ2 和 C-SQ3 海进体系域部分,向南逐渐相变为泥岩沉积。

石炭系东河砂岩在 seismic 剖面上识别起来比较困难,主要是这套地层在觉马—赛克地区厚度较小,一般只有几米至几十米,在 seismic 剖面上不到一个相位(图 7)。通过地震属性分析发现,石炭系东河砂岩虽然厚度不大,但在 seismic 剖面上表现为强振幅反射特征,因此在对觉马—赛克地区石炭系东河砂岩进行解释时,一是要利用工区内的钻井资料,对石炭系东河砂岩进行钻井标定,开展石炭系东河砂岩追踪对比研究;二是要结合振幅分析资料,从而有效圈定石炭系东河砂岩的平面展布。

从层序解释的结果看,觉马—赛克地区石炭系东河砂岩主体相当于层序 C-SQ2 海进体系域部分,部分相当于 C-SQ3 海进体系域部分。这类层序海岸上倾尖灭砂体是形成地层尖灭圈闭的主体。

觉马—赛克地区石炭系东河砂岩向北、向西均

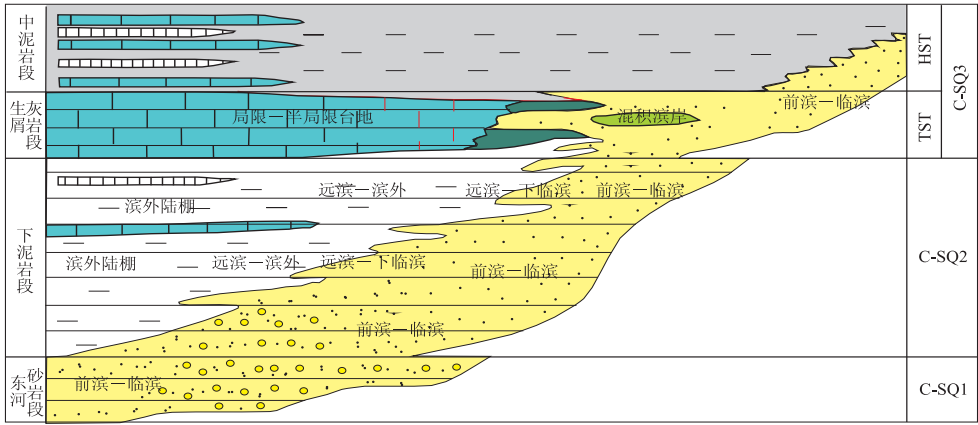


图 6 塔里木盆地石炭系东河砂岩层序发育模式
据中石油资料修编。

Fig. 6 Pattern for development of Carboniferous Donghe sandstone sequences, Tarim Basin

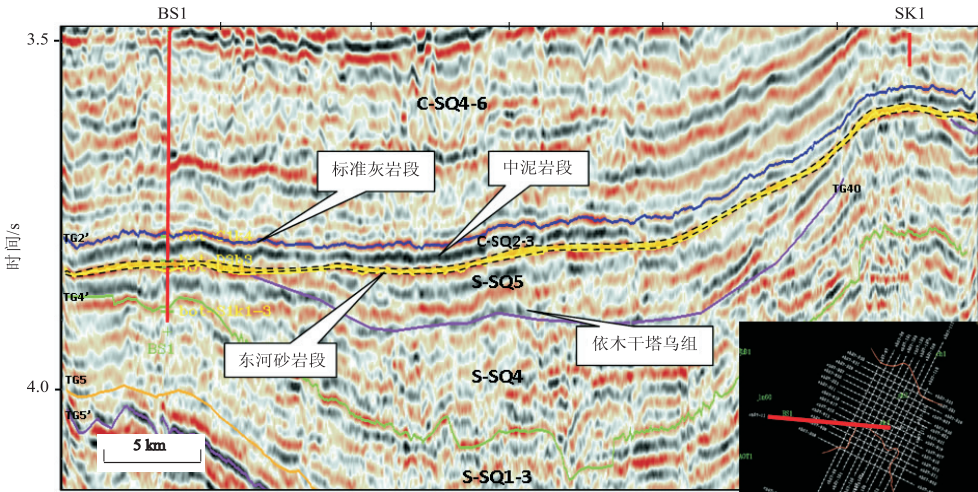


图 7 塔里木盆地 BS1—SK1 井连井层序地震解释剖面

Fig. 7 Seismic interpreted section for sequences from Well BS1 to SK1, Tarim Basin

遭到剥蚀,形成削截尖灭带,而向南石炭系东河砂岩发生相变,形成岩性尖灭带。因此在地层岩性尖灭带一线有望形成地层岩性圈闭,而地层削截尖灭带有望形成构造地层复合圈闭。

轮南围斜石炭系东河砂岩为层序 C-SQ3 海进体系域,海岸上倾尖灭砂体是形成地层尖灭圈闭的主体。

5 层序格架及形成演化

塔里木地区在经历了海西早期的强烈构造运动之后,形成了塔里木陆块腹地内石炭纪克拉通内部挤压性坳陷原型盆地^[9]。石炭纪早期,海水由西南方向的塔西南坳陷和西北方向的阿瓦提坳陷这 2 个通道涌进,在以滨岸沉积环境下的东河砂岩的基础上进一步对准平原化的盆底填平补齐。首先表现为较粗粒的含砾砂岩作为低位晚期海平面缓

慢回升期,沿东河砂岩顶部的侵蚀沟谷的充填作用;而后的海侵期限限制了粗粒碎屑物质的供给,主要以较深水的陆架泥或较封闭的潟湖沉积为主,高位期海平面的相对下降主要是以干旱潮坪沉积为主。之后,在石炭纪经历了较大规模的海平面升降旋回(三级旋回),其中以海进域的清水碳酸岩沉积和高位域的碎屑岩沉积,组成了区内颇具特色的碳酸盐岩与碎屑岩相间出现的岩相序列。结合全盆石炭纪沉积特征及层序地层单元演化的分析表明,塔里木盆地在石炭纪属于克拉通内部坳陷沉积盆地,具有盆底平坦,盆内水浅,局部发育河道,气候条件较为干旱的沉积环境特点,但整体上石炭纪沉积盆地范围由小到大,海侵规模一次超过一次。

6 结论

1)通过对露头剖面的观察与分析、大量的井岩
(下转第 254 页)

流河道的砂体宽度一般在 250 m 左右。

青二Ⅳ层第 5,4,3 小层的物源方向为近北方;此 3 个小层的砂体厚度结合对应层段的测井特征和地震特征分析,识别出主要的沉积微相为水下分流河道、河口坝、席状砂、水下分流间湾等。水下分流河道发育带分别有 4 个、5 个、4 个分支,第 5 小层砂体较为发育,第 4,3 小层砂体不是很发育。

青二Ⅳ层第 2,1 小层的物源方向为近北,小层的泥质含量较高;其砂体厚度结合对应层段的测井特征和地震特征分析,识别出主要的沉积微相为席状砂、远砂坝、前三三角洲泥等。

4 结语

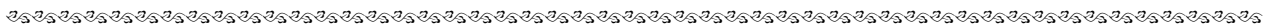
腰英台油田腰西区块沉积微相主要发育水下分流河道、河口坝、远砂坝及水下分流间湾,其中分流河道和河口坝为最有利的油气储集层,含油饱和度高,单井产量高;而水下分流间湾则为非储层,对井网的注采关系影响较大。特别是分流河道的砂体宽度一般在 200~300 m,小于井距 500 m 的研

究结论,为腰西区块井网加密、完善注采系统提供了重要依据。经过井距 250 m 的加密试验,注采关系得到明显改善,储量动用程度得到提高。

参考文献:

- [1] 周荔青,雷一心,王红燕. 松辽盆地长岭断陷无机与有机油气共生藏组合类型及分布规律[J]. 石油实验地质,2009,31(4):324-328.
- [2] 吴群,周荔青. 松辽盆地长岭断陷东部大中型火山岩(油)气田形成分布特征[J]. 石油实验地质,2009,31(1):40-45.
- [3] 周卓明,王再锋,伍泓. 松辽盆地长岭断陷层序岩地球化学特征研究[J]. 石油实验地质,2009,31(6):608-612.
- [4] 俞凯,侯洪斌,郭念发,等. 松辽盆地南部断陷层系石油天然气地质[M]. 北京:石油工业出版社,2002:257-302.
- [5] 石国平,矫革峰,张书麟. 试论松辽盆地湖盆三角洲沉积类型[J]. 石油实验地质,1984,6(4):279-286.
- [6] 刘友年,石海英,蔡先华. 岩性圈闭识别技术在松南长岭凹陷腰英台地区的应用[J]. 石油物探,2005,44(6):588-592.
- [7] 谢锐杰,秦刚,李向阳. 长岭凹陷前七号地区青山口组沉积相研究[J]. 特种油气藏,2009(5):51-61.

(编辑 徐文明)



(上接第 248 页)

心观察和单井层序地层综合解释以及大量的地震剖面对比研究,石炭系共划分 6 个层序。

2)通过钻/测井层序解释,东河砂岩层序在东河塘一轮南地区主要为滨岸的沉积,属基准面上升半旋回的沉积,海岸上倾尖灭砂体形成地层尖灭圈闭。

3)石炭系层序 C-SQ1,C-SQ2,C-SQ3 为基准面上升半旋回型层序,层序 C-SQ4,C-SQ5,C-SQ6 为完整基准面升降旋回型层序。层序 C-SQ1,C-SQ2,C-SQ3 为重点勘探层序,海进域滨岸砂体为重点勘探对象。C-SQ1-C-SQ3 发育海进体系域滨岸砂体以及高位体系域的前积复合砂体勘探领域。

参考文献:

- [1] 吴因业,李熙喆,施和生,等. 层序地层学在非构造圈闭勘探中的应用论文集[C]. 北京:石油工业出版社,2008.

- [2] 顾家裕,朱筱敏,王贵文,等. 塔里木盆地沉积层序特征及其演化[M]. 北京:石油工业出版社,1996.
- [3] 威尔格斯 C K. 层序地层学原理(海平面变化综合分析)[M]. 徐怀大,魏魁生,洪卫东,等译. 北京:石油工业出版社,1992.
- [4] Van Wagoner J C, Posamentier H W, Mitchum P R, et al. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions[J]. SEPM special publication, 1988(42):39-45.
- [5] 李兴平,许国明,李静璇,等. 新疆塔里木盆地层序地层格架[J]. 石油实验地质,1996,18(2):134-145.
- [6] 王君奇,武涛. 塔里木盆地石炭系沉积特征及石油地质意义[J]. 石油实验地质,1999,21(1):25-29.
- [7] 蒋小琼,郭建华,管宏林,等. 塔里木盆地满西地区石炭系层序地层与沉积体系分析[J]. 石油实验地质,2004,26(4):333-337.
- [8] 朱怀诚,罗辉,王启飞,等. 论塔里木盆地“东河砂岩”的地质时代[J]. 地层学杂志,2002,26(3):197-201.
- [9] 张光亚. 塔里木古生代克拉通盆地形成演化与油气[M]. 北京:地质出版社,2000.

(编辑 黄娟)