

塔里木盆地中上奥陶统碳酸盐岩层序格架及其对礁滩体的控制

王恩辉^{1,2}

1. 中国石油天然气股份有限公司辽河油田分公司, 辽宁盘锦 124010
2. 南京大学地球科学与工程学院, 南京 210093

摘要 以露头 and 钻井资料为基础, 结合层序地层学、生物地层学及沉积学理论, 建立了塔里木盆地中上奥陶统碳酸盐岩层序格架, 并探讨层序与礁滩体发育之间的关系。研究表明, 中上奥陶统发育 5 个 3 级层序, 其中塔中地区的良里塔格组 3 个 3 级层序可进一步划分为 7 个 4 级层序, 塔中的良里塔格组中上部与塔北地区的桑塔木组多为同时异相关系, 可见塔中与塔北良里塔格组为一明显的穿时地层单元; 塔中良里塔格组共发育 5 期礁滩体, 高频层序对礁滩体发育具有很好的控制作用, 对礁滩储层预测有指导意义。

关键词 碳酸盐岩; 礁滩体; 层序地层; 塔里木盆地

中图分类号 TE122.2

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.10.002

Tarim Basin Middle-upper Ordovician Carbonate Strata Sequence Framework and Its Control of Reef Beach Body

WANG Enhui^{1,2}

1. Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Panjin 124010, Liaoning Province, China
2. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract Based on the outcrop and drilling data, using the sequence stratigraphy, biostratigraphy and sedimentary theory, the Tarim Basin middle-upper Ordovician carbonate strata sequence framework and the relations between the sequence and the reef-shoal development are established. It is shown that the middle-upper Ordovician develops 5 third-grade sequences. The 3 third-order sequences of Lianglitage Formation in Tazhong area can be further divided into 7 fourth-order sequences, and the middle-upper Lianglitage Formation in Tazhong area and the Sangtamu Formation in Tabei area are contemporaneous heterotopic facies, so the Lianglitage Formation in Tazhong and Tabei is obviously a diachronism stratigraphic unit. The Lianglitage Formation in Tazhong area develops 5 periods of the reef beach body, the high-frequency sequences can well control the reef beach body development and is of great significance for the later reef-flat reservoirs prediction.

Keywords carbonate; reef-shoal; sequence stratigraphy; Tarim Basin

0 引言

生物礁储集油气资源得天独厚, 在碳酸盐岩油气田中占有极重要的地位。世界上已发现了墨西哥老黄金巷油田、加拿大深水礁油田、伊拉克基尔库克油田等著名的生物礁型油田, 其中有 12 个可采储量高达 8000 万 t 以上, 总可采储量高达 50 亿 t^[1]。在中国鄂尔多斯、华北、川东北地区、中下扬子地区、济阳拗陷滨南地区、塔里木盆地等陆续发现了生物礁油藏, 展现了中国在生物礁中找油气田的广阔前景。

塔里木盆地油气资源潜力巨大, 中石油在塔中地区、中

石化在塔北地区的奥陶系礁滩储层的油气勘探中先后获得突破, 晚奥陶世礁滩型油气藏成为塔里木盆地油气勘探的重要领域之一。塔里木盆地地下古生界礁滩储集体在油气勘探中的重要性已引起了普遍关注和肯定, 对于礁滩储集体发育的基本特征已开展了大量研究, 但其储层发育主控因素、分布与预测研究仍处于探索阶段, 影响了礁滩油气藏的勘探步伐^[2-3]。本文以碳酸盐岩层序地层学、古生物地层学、沉积学为指导, 开展生物地层与层序地层综合对比研究, 建立不同级别层序格架, 并将礁滩储集体纳入到层序地层格架内探讨礁滩复合

收稿日期: 2012-12-18; 修回日期: 2013-01-23

基金项目: 国家科技重大专项(2008ZX05005-002); 国土资源部国家专项(2009GYXQ02-02)

作者简介: 王恩辉, 工程师, 研究方向为油藏工程, 电子信箱: wangenh@petrochina.com.cn

体空间分布规律,旨在为礁滩储层预测提供依据。

1 中上奥陶统层序地层格架

1.1 上奥陶统地层系统简述

奥陶系自下而上发育下奥陶统蓬莱坝组白云岩段和鹰山组灰云岩段、中统一间房组砂屑灰岩段和哈尔巴克组紫红色瘤状灰岩段、上统良里塔格组灰岩段(可细分为含泥灰岩段、颗粒灰岩段和泥质条带灰岩段)及桑塔木组泥岩段,其中中统一间房组和哈尔巴克组在塔中隆起区基本缺失,仅分布在围斜区(如中2井、塔中88井、古隆1井)。

1.2 碳酸盐岩层序界面识别标志

与碎屑岩相比,由于碳酸盐岩主要由不稳定矿物组成,具有易溶解和易转换的特点,后期成岩改造作用改变了地层的原始沉积特征,加之碳酸盐岩相应的测井曲线特征不如碎屑岩明显,造成了碳酸盐岩层序界面识别难度较大。本次研究综合应用岩心、录(测)井、地震等多方面的资料识别层序界面,研究表明其主要识别标志有3个方面:(1)沉积标志,主要包括沉积的间断面、沉积(亚、微)相变面及沉积物堆积样式的转换面(进积-退积)等;(2)成岩标志,相对海平面的下降,水体变浅,碳酸盐岩成岩环境改变或者暴露地表,接受大气淡水淋滤溶蚀和混合水白云石化作用,是层序界面识别的重要标志之一;(3)测井标志,通常采用自然伽马和电阻率的曲线组合,自然伽马能够较好地反映泥质含量的变化,在碳酸盐岩台地相区内,泥质含量通常情况下能够反映水体能力的高低(深浅变化),可以作为识别层序界面的辅助性标志^[4-7]。

1.3 层序划分及其特征

1.3.1 层序划分结果

本次研究选井原则以奥陶系取心较长、地层发育全、揭示厚度大为依据,并兼顾其区带及平面分布,分层系开展层序地层划分与对比。层序划分结果如下:

本次研究中重点选择了巴楚一间房剖面、塔中北坡折带、塔中南坡、塔中隆起区、巴楚地区、塔北地区共47口钻井进行层序地层划分与对比,最终在塔里木盆地中奥陶统一间房组-上奥陶统良里塔格组中识别出5个3级层序,依次命名为Sq1、Sq2、Sq3、Sq4、Sq5,其中Sq3可进一步划分为2个4级层序(Sp1、Sp2),Sq4可划分为2个4级层序(Sp3、Sp4),Sq5可划分为3个4级层序(Sp5、Sp6、Sp7),各层序与岩石地层单元对应关系及层序总体划分方案见表1。

1.3.2 各层序发育特征

(1) 一间房组3级层序(Sq1)。该层序相当于中奥陶统一间房组,厚度约55~130m,其顶界面为一间房组与上奥陶统哈尔巴克组之间界面T₁,为大型区域不整合面,全盆可对比性强。界面之下为一间房组顶部发育的一套能量相对较高的台地相颗粒灰岩及藻粘结灰岩沉积,界面之上为哈尔巴克组底部的水体较深的含海绿石、富小型薄壳内生物碎屑泥灰岩沉积,两者在岩性上易于区分。该层序底界面为一间房组与鹰山组之间的界面,地震反射为T₁^S,虽然该反射波能量较弱也不

表1 塔里木盆地中上奥陶统碳酸盐岩层序地层划分方案
Table 1 Carbonate sequence stratigraphic classification program of the middle-upper Ordovician in Tarim Basin

地层系统		中央隆起区		塔北	巴楚一间房露	中央隆起区层序类型	
系	统	组	3级层序	4级层序	3级层序	3级层序	3级层序类型
奥陶系	上统	桑塔木组(O _{3s})					基准面上升半旋回远大于下降半旋回型层序
					Sq5		
					Sq4		
		Sq5	Sp7 Sp6 Sp5	Sq3	Sq3 (未见顶)	基准面上升半旋回小于下降半旋回型层序	
	Sq4	Sp4 Sp3	基准面上升半旋回大于下降半旋回型层序				
Sq3	Sp2 Sp1	基准面上升半旋回大于下降半旋回型层序					
	哈尔巴克组(O _{3q})	Sq2		Sq2	Sq2	基准面上升半旋回型层序	
中统	一间房组(O _{2yj})	Sq1		Sq1	Sq1	基准面升降旋回近对称型层序	

够连续,但在塔河地区宏观上很稳定,可连续对比追踪(图1)。

(2) 哈尔巴克组3级层序(Sq2)。该层序相当于上统哈尔巴克组,厚度约5~40m,其顶界面为哈尔巴克组与良里塔格组之间界面,底界面为一间房组与哈尔巴克组之间界面,顶底界面上下岩性变化、测井曲线GR与RD突变特征明显。Sq2为基准面上升半旋回型层序,岩性序列自下而上依次为暗棕色灰质泥岩夹浅灰色泥质灰岩(可含或富含海绿石)、紫红色或棕红色瘤状泥灰岩,主要为一套广海陆棚相沉积。该层序主要发育在塔河地区,塔中古城墟隆起及巴楚一间房剖面露头区,在塔中围斜区分布与Sq1层序相比范围略小。

(3) 良里塔格组3级层序(Sq3)。该层序在塔北地区大致相当于良里塔格组,局部地区相当于良里塔格组-桑塔木组底部,厚度约7~140m,顶界面为良里塔格组与桑塔木组之间界面,底界面为良里塔格组与哈尔巴克组之间界面,顶底界面上下岩性变化、测井曲线突变特征明显,该层序上升半旋回与下降半旋回大致相当,局部地区以上升半旋回为主。而在中央隆起区大致相当于上奥陶统良5段-良4段下部或良4段顶,厚度约50~200m,其底界面为良里塔格组与哈尔巴克组、一间房组及鹰山组之间的界面,测井曲线GR与RD突变特征明显。顶界面为良里塔格组内部界面,表现为高GR、低RD。该层序多以上升半旋回大于下降半旋回为主,表明沉积时期以海平面上升为主。Sq3层序在中央隆起区基本缺失,主要发育在围斜区,地震剖面上,以由斜坡低部位向隆起高部位超覆为特征,目前仅在塔中88井、塔中721井、中4、中2

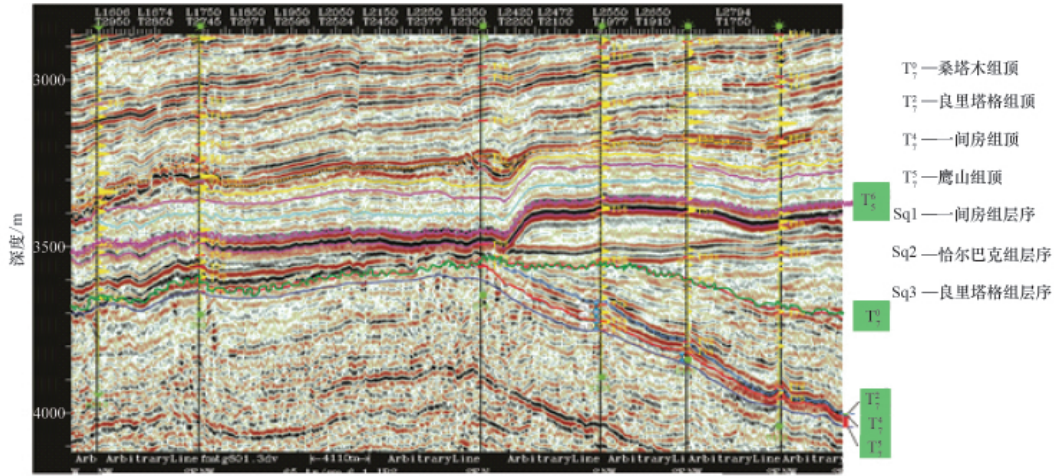


图 1 塔北地区中、上奥陶统地震层序界面反射特征

Fig. 1 Reflection characteristics of the seismic sequence interface of the middle-upper Ordovician in Tabei area

井等中识别出该层序,受加里东中期 I 幕构造运动后古地貌控制,不同部位厚度存在差异。

(4) 良里塔格组 3 级层序(Sq4)。该层序在中央隆起区大致相当于良 3 段,局部井区对应良 4 段上部—良 3 段下部或顶部(中古 3 井、中 4 井),厚度发育较稳定,约 150~200m。其顶界面测井曲线具低 GR、高 RD 特征,岩性上界面之上主要为砂屑灰岩,界面之下以泥晶灰岩、含泥灰岩为主。层序底界面在中央隆起主体区主要为良里塔格组与下奥陶统鹰山组之间的界面 T₁′,新钻井中 15、中 19 井岩芯上该界面岩性变化特征明显,界面之下为灰色云化泥晶灰岩,界面之上为灰黑色泥岩,表明此 T₁′界面为一海浸淹没不整合面(图 2)。该层序以下降半旋回大于上升半旋回为特征,表明多处于相对海平面持续下降期。Sq4 层序在塔北地区相当于桑塔木组下部,多以灰色泥岩与粉砂质泥岩、泥质粉砂岩或灰质泥岩互层为主,顶界面测井曲线表现为低 GR、高 RD,且局部地区界面上

下岩性突变特征明显,如羊屋 2 井、轮南 46 井界面之上为灰岩,界面之下为粉砂岩。总体上,Sq4 层序在中央隆起区与塔北地区层序充填方式存在差异,即中央隆起区为碳酸盐岩层序,而塔北地区以碎屑岩层序为主。

(5) 良里塔格组 3 级层序(Sq5)。该层序在中央隆起区大致相当于良 2 段—良 1 段,其顶界面多为桑塔木组与良里塔格组之间界面,界面之上为大套泥岩,界面之下为含泥灰岩、泥晶灰岩,局部地区为良里塔格组与泥盆系直接接触,如巴楚地区玛 5 井界面之上为砂砾岩段。该层序主要以上升半旋回大于下降半旋回为特征,反映沉积期以海平面上升为主,在岩性上表现为由相对高能颗粒灰岩向低能泥晶灰岩、含泥灰岩转变(图 3)。Sq5 层序在塔北地区大致相当于桑塔木组中部—上部,顶界面位于桑塔木组内部,主要以第 5 牙形刺带为划分依据,在英买 1、羊屋 2、轮南 46 等井区,以桑塔木组上部发育的一套灰岩段顶为界面,测井曲线具低 GR、高 RD 的特点。整体上 Sq5 塔北碎屑岩层序厚度大于塔中碳酸盐岩层序,两个地区相变、穿时特征明显。

1.4 上奥陶统生物地层与层序地层综合对比格架

建立以不整合及与之可以对比的整合为界的、周期性的、成因上有联系的等时层序地层格架,揭示沉积地层的空间分布类型及规律是研究层序地层的核心内容,也是分析生、储盖组合规律,合理进行油气资源预测的关键。

巴楚一间房剖面良里塔格组实测厚度 126.7m,中央隆起地区上奥陶统良里塔格组灰岩厚约 300~800m,而塔北隆起区良里塔格组厚约 3~100m,不同地区之间厚度差别较大。深入分析造成两者厚度差异的原因,对于认识加里东中期塔中古隆起与塔北古隆起之间的关系、分析中奥陶世一间房组沉积后晚奥陶世地层的沉积演化序列具有重要意义。开展层序地层对比,建立高精度等时地层格架,以等时思想为核心开展横向地层对比,在相变和地层厚度差异较大地区的地层对比工作中突显优势。为了使得层序对比结果更准确、精细,本次



图 2 中 19 井和中 15 井岩心 T₁′不整合面特征

Fig. 2 Core characteristics of T₁′ unconformity (Sq4 sequence bottom interface) in wells Z19 and Z15

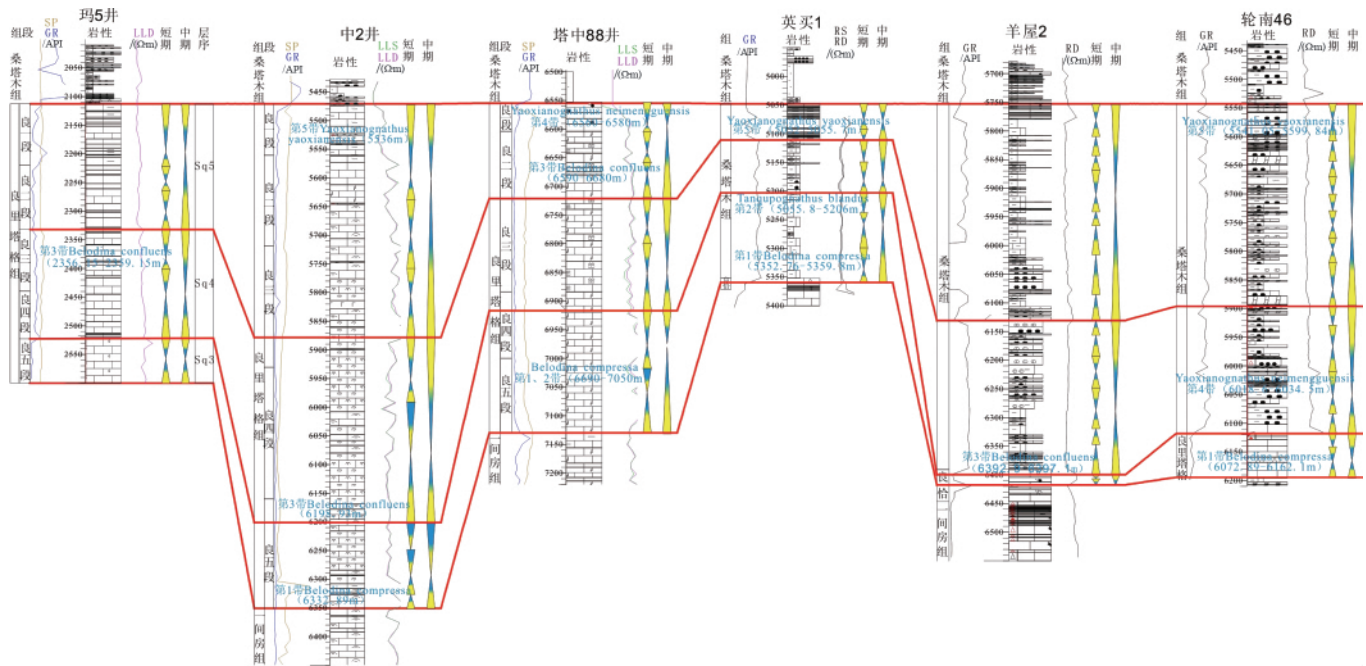


图4 塔里木盆地奥陶系生物地层与层序地层综合对比剖面

Fig. 4 Correlation profile of the biostratigraphy and sequence stratigraphy in Ordovician in Tarim Basin

高频旋回分析可操作性强。而地下碳酸盐岩在钻井岩性剖面上多为大套的灰岩与云岩沉积,岩性变化不如露头剖面明显,与碎屑岩相比,反映较深水特征的稳定的细粒岩发育段剖面上横向追踪较困难,而具有水退特征的小型喀斯特和白云石化现象,通过岩心观察和成像测井图像、钻(测)井等资料的解释与分析相对较易识别。因此本次高频层序划分过程中,首先进行单井水退面(喀斯特、白云石化),然后通过短期基准面旋回分析识别准层序,通过纵向上准层序的叠加样式进行横向上高频层序的对比。

本次研究共选取了4条连井对比剖面,搭建高频层序地层格架。其中近东西向2条:①中古19井-塔中88井-中古3井-塔中721井-塔中24井-中4井,②顺2井-顺6井-塔中86井-塔中54井-塔中82井-塔中44井-塔中161井-塔中24井-塔中26井;南北向1条:③中2井-中11井-顺3井-塔中88井;顺西区块任意线1条:④顺4井-顺3井-顺2井-顺6井。对比结果表明,在塔中地区最多可识别出3个3级层序7个4级层序,其中Sq3层序主要发育在南北斜坡带上,如北斜坡带塔中88井、塔中721井、中4井和南斜坡带中2井。表明在塔中地区良里塔格组沉积早期,具有从南北古斜坡带向隆起区超覆沉积的特点,塔中88井、中2井一间房组的沉积可能与之具有相似性。Sq4和Sq5层序在塔中地区普遍发育,其中Sq4层序以下降半旋回为主,在大多数地区基本相当于含泥灰岩段,而Sq5层序以上升半旋回为主,大致相当于颗粒灰岩段与泥质条带灰岩段。

在系统统计大量钻井礁、丘、滩(以下统称为礁滩体)发育层位及产油井段的基础上,将其标定在高频层序地层连井

对比剖面②上,发现塔中地区高频层序对于礁滩复合体发育具有很好的控制作用,共发育5期礁滩复合体(图5)。

在Sp3层序中发育第1期高位进积型礁滩复合体,分布在塔中北坡带东部。在Sp4层序中发育第2期海进晚期退积型礁滩复合体,主要也分布在塔中北坡带东部。在Sp5层序中发育第3期高位进积型礁滩复合体,其在塔中北坡带分布范围较广,主要以灰泥丘为主,仅在东部发育一些中高能滩和生物礁。在Sp6层序中发育第4期海进退积型礁滩复合体,其分布范围也较广,在北坡折带西部以灰泥丘与中高能滩复合为主,中部主要为灰泥丘,东部以生物礁与中高能滩复合为主。在Sp7层序中发育第五期高位早期进积型礁滩复合体,仅分布在坡折带中部塔中54-塔中82井区,以生物礁与中高能滩复合为主(图5)。

3 结论

对生物地层与层序地层进行了综合对比研究,建立了不同级别层序格架,并将礁滩储集体纳入层序地层格架内探讨礁滩复合体空间分布规律,得到如下结论:

(1) 塔里木盆地中上奥陶统划分为5个3级层序,其中一间房组与恰尔巴克组各为1个,塔北地区良里塔格组为1个,塔中地区良里塔格组最多为3个;分析了3级层序划分依据、层序界面特征及各层序的发育特征,建立了全盆上奥陶统生物地层与层序地层综合对比格架,指出良里塔格组为一明显的穿时地层单元,塔中地区良里塔格组中上部与塔北地区的桑塔木组多为同时异相关系。

(2) 塔中良里塔格组3个3级层序又可进一步划分为7

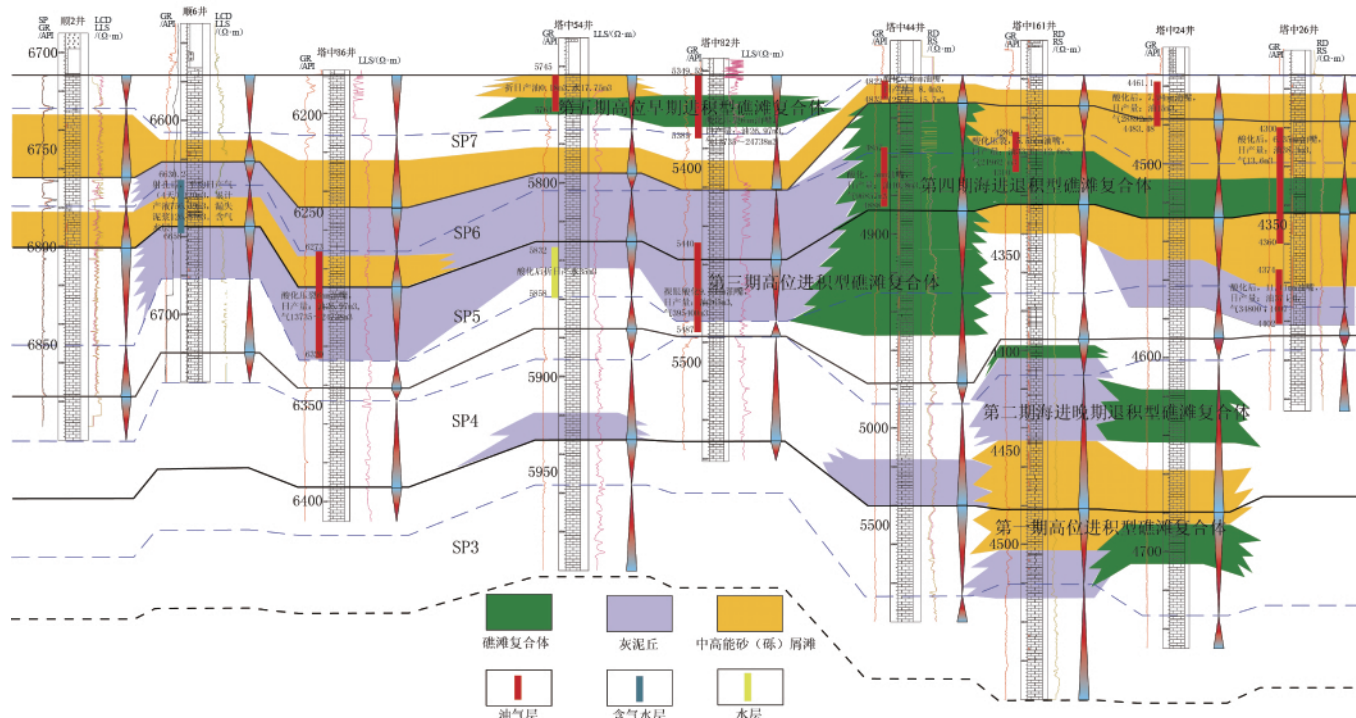


图5 塔里木盆地塔中地区良里塔格组高频层序与礁滩复合体发育连井剖面

Fig. 5 Correlation profile of the high-frequency sequence and reef-shoal complex in the Ordovician Lianglitage Formation in Tazhong area, Tarim Basin

个4级层序,塔中上奥陶统良里塔格组共发育5期礁滩复合体,高频层序(4级)对于礁滩复合体发育具有很好的控制作用。

参考文献 (References)

[1] 江怀友, 宋新民, 王元基, 等. 世界海相碳酸盐岩油气勘探开发现状与展望[J]. 海洋石油, 2008, 28(4): 6-13.
 Jiang Huaiyou, Song Xinmin, Wang Yuanji, et al. Offshore Oil, 2008, 28(4): 6-13.

[2] 张光亚, 赵文智, 王红军, 等. 塔里木盆地多旋回构造演化与复合含油气系统[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 653-662.
 Zhang Guangya, Zhao Wenzhi, Wang Hongjun, et al. Oil and Gas Geology, 2007, 28(5): 653-662.

[3] 高志前, 樊太亮, 焦志峰, 等. 塔里木盆地寒武-奥陶系碳酸盐岩台地样式及其沉积响应特征[J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 19-27.
 Gao Zhiqian, Fan Taiyang, Jiao Zhifeng, et al. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(1): 19-27.

[4] 李天太, 王清华, 张喜凤, 等. 塔中奥陶系碳酸盐岩储层敏感性实验研究[J]. 特种油气藏, 2005, 12(4): 9-82.
 Li Tiantai, Wang Qinghua, Zhang Xifeng, et al. Special Oil & Gas Reservoirs, 2005, 12(4): 9-82.

[5] 艾合买提江·阿不都热和曼, 钟建华. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩裂缝成因研究[J]. 特种油气藏, 2009, 16(4): 21-27.
 Ahmatjan Abdurahman, Zhong Jianhua. Special Oil & Gas Reservoirs, 2009, 16(4): 21-27.

[6] 李世臻, 王红亮. 高分辨率层序地层学在海坨子地区隐蔽油藏勘探中的应用[J]. 特种油气藏, 2008, 15(6): 20-23.
 Li Shizhen, Wang Hongliang. Special Oil & Gas Reservoirs, 2008, 15(6): 20-23.

[7] 肖传桃, 刘莉, 陈志勇. 层序地层学的研究状况及有关理论问题探讨

[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(6): 1-7.
 Xiao Chuantao, Liu Li, Chen Zhiyong. Journal of Oil and Gas Technology, 2006, 28(6): 1-7.

[8] 魏魁生, 徐怀大, 叶淑芬. 鄂尔多斯盆地北部奥陶系碳酸盐岩层序地层研究[J]. 地球科学, 1996, 21(1): 1-9.
 Wei Kuisheng, Xu Huaida, Ye Shufen. Earth Science, 1996, 21(1): 1-9.

[9] 李霞, 范宜仁, 邓少贵, 等. 利用测井资料研究层序的方法述评 [J]. 测井技术, 2006, 30(5): 411-415.
 Li Xia, Fan Yiren, Deng Shaogui, et al. Well Logging Technology, 2006, 30(5): 411-415.

[10] 符颖, 韩林. 淹没不整合型层序[J]. 海相油气地质, 2007, 12(3): 15-20.
 Fu Ying, Han Lin. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(3): 15-20.

[11] 贾承造, 刘德来, 赵文智, 等. 层序地层学研究新进展[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(5): 1-4.
 Jia Chengzao, Liu Delai, Zhao Wenzhi, et al. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(5): 1-4.

[12] 于炳松, 陈建强, 林畅松. 塔里木地台北部寒武纪-奥陶纪层序地层及其与扬子地台和华北地台的对比 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2001, 31(1): 17-26.
 Yu Bingsong, Chen Jianqiang, Lin Changsong. Science in China, Series D: Earth Sciences, 2001, 31(1): 17-26.

[13] 王毅, 张一伟, 金之钧. 塔里木盆地构造-层序分析 [J]. 地质论评, 1999, 45(5): 504-513.
 Wang Yi, Zhang Yiwei, Jin Zhijun. Geological Review, 1999, 45(5): 504-513.

[14] 樊太亮, 于炳松, 高志前. 塔里木盆地碳酸盐岩层序地层特征及其控油作用[J]. 现代地质, 2007, 27(1): 57-65.
 Fan Taiyang, Yu Bingsong, Gao Zhiqian. Geoscience, 2007, 27(1): 57-65.

(责任编辑 马宇红, 朱宇)