

层序地层学应用于古地貌分析

——以塔河油田为例

王家豪¹, 王 华¹, 赵忠新¹, 潘明年², 于 哲²

(1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074; 2. 中国石油新星公司西北石油局, 新疆乌鲁木齐 830011)

摘要: 层序界面的形成伴随着剥蚀夷平、水道下切、构造抬升等古地貌改造作用; 层序的样式、层序—体系域—准层序的平面分布及削截、超覆尖灭、前积角度、退积幅度等地震反射特征也受古地貌的直接影响。因而, 层序地层提供了可供古地貌分析的信息。通过对塔河油田石炭系层序地层研究, 应用初始海泛面、最大海泛面上超尖灭线、坡折线、褶皱形态等标志, 识别了SQ1、SQ3层序发育时期的隆起、差异压实低凸起、斜坡、缓坡、凹陷等古地貌单元, 揭示了SQ3层序发育之前的构造挤压活动, 应用II油组的砂体平面分布验证了古地貌分析结果。综合上述分析, SQ1、SQ3层序发育时期, 斜坡带和凹陷带有助于低位体系域砂体局部聚集, 是研究区岩性圈闭发育的有利场所。

关键词: 层序地层学; 古地貌; 塔河油田。

中图分类号: P53 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2003)04-0425-06

作者简介: 王家豪(1968—), 男, 讲师, 博士研究生, 主要从事沉积学、层序地层学、油气储层方面的研究工作。

古地貌是盆地分析的重要方面, 是研究区所受构造变形、沉积充填、差异压实、风化剥蚀等综合作用的结果, 特别是构造运动往往导致盆地地貌的整体变化, 是其中最大的影响因素。前人研究一般采用回剥分析恢复古地貌, 或借用沉积特征推测古地貌背景。层序地层学的产生和深入研究都始终贯穿着古地貌对层序发育的影响^[1~3], 如层序地层学中坡折带、下切谷、斜坡扇等系列概念。构造运动也是层序形成的4个控制因素之一, 高级别(一、二级)层序正是构造运动的结果。层序界面的形成伴随着剥蚀夷平、水道下切、构造活动等古地貌改造作用; 同时, 层序样式、层序—体系域—准层序的平面分布及削截、超覆尖灭、前积角度、退积幅度等地震反射特征也受古地貌的直接影响。因此, 层序地层学提高了地层等时性对比精度, 也提供了可供古地貌分析的标志, 具体包括: (1) 层序界面的削截反射及下部反射层缺失程度可初步分析古隆起区的位置。(2) 层序及其体系域的平面分布特点以及体系域、准层序发育的完整与缺失程度是全区宏观地貌分析的依据。(3)

与层序类型相关的地貌特征。其中, I型层序的低水位时期伴随着河道下切等差异剥蚀, 形成下切谷; II型层序以相对海平面缓慢下降和整体剥蚀夷平作用为特征。(4) I型层序低位楔、斜坡扇指示斜坡带、坡折带的位置。(5) 在斜坡部位, 海进体系域退积反射上超点的水平迁移幅度可反映坡度的大小(图1a)。(6) 在斜坡部位, 低位体系域和高位体系域的前积角度可反映坡度的大小(图1b)。(7) 双超或前积充填反射反映局部洼地(图1c)。下文以塔河油田为例, 叙述层序地层应用于古地貌分析的过程及意义。

塔河油田位于新疆维吾尔自治区轮台县境内, 面积644.29 km², 构造上属塔里木盆地沙雅隆起的次一级构造单元——阿克库勒凸起的南部。石炭系发育之前, 研究区遭受海西早期运动抬升, 中、上奥陶统一泥盆系剥蚀殆尽, 下奥陶统也存在不同程度缺失。早二叠世末的海西晚期运动使研究区再次抬升剥蚀, 仅保存了下石炭统巴楚组、卡拉沙依组地层。石炭系沉积时期, 潮坪相发育普遍, 特别是标志层段——巴楚组双峰灰岩为台地相沉积^[4,5], 厚度6~25 m, 分布稳定, 早期研究认为该时期地形高差约1/2 500, 显示了研究区总体地势平缓的地貌特点。

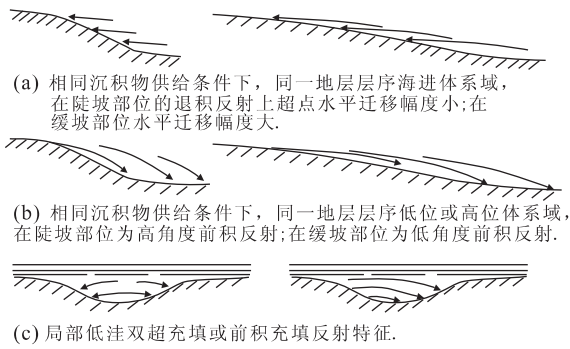


图 1 不同地形的地震反射示意图

Fig. 1 Sketch maps of seismic reflection in different topographies

1 石炭系层序地层识别

本次研究以南北剖面为骨干、以东西向剖面为辅,进行了全区三维地震层序解释. 研究区南北向地震剖面明显呈三层结构,根据反射终止类型,共识别层序界面 4 个: Sb1—Sb4, 分别对应于强连续反射界面 T70、T56、T55、T50, 为研究区内强振幅—(较)强连续反射轴, 界面之下削截或顶超接触关系明显, 界面之上普遍表现为下超、上超或双超反射接触类型^[1,4](图 2). 其中 T70、T50 分别与海西早、晚期运动对应. 依此将石炭系划分为 SQ1、SQ2、SQ3 共 3 个三级层序. 在南北向地震剖面上, SQ1 层序呈向东南缘和西北缘张开的长颈喇叭状; SQ2 层序呈上下界面相对平行的带状; SQ3 层序呈上平下凹、中部厚、两端薄的勺状.

体系域转换界面——初始海泛面(t_s)和最大海泛面(mfs),除了 SQ1- t_s 之外,在研究区表现为仅次于层序界面的较连续、连续—强反射同相轴,最大海泛面反射普遍比初始海泛面反射连续性好,由一组相位垂向迁移幅度小、水平迁移幅度大的退积反射

组成(图 2).

2 SQ1 层序发育时期古地貌分析

(1)体系域平面分布: SQ1 低位体系域(SQ1-LST)仅发育在研究区西北缘、东南缘,呈丘状双超或前积反射(图 2, 3a). 海进体系域(SQ1-TST)在研究区东北部不发育. 高位体系域(SQ1-HST)在整个研究区发育,主要为空白反射和少量断续反射,在西北缘、东南缘呈前积反射,在东南缘由于后期差异压实变形,地震反射呈束状(图 2). (2)SQ1-TST 在研究区西北缘、东南缘为 3 个退积反射波组,但分别向东、向北仅存最大海泛反射波组,地层厚度明显变薄,其下部反射波组上超尖灭,表明地形斜坡存在,尖灭点指示坡折点的位置^[2,6](图 3b). (3)研究区西南部, SQ1-TST 在东西向地震剖面上,退积反射从东、西 2 个方向上超,表现为一个低凸起(图 3c);在南北向地震剖面上,为一组水平迁移幅度大、较连续的退积反射和最大海泛反射波组组成. 总体表现为呈 SW 向倾伏的鼻状低凸起.

结合体系域的平面分布、坡折线位置、最大海泛面上超尖灭点(图 2)的位置,研究区可分为东北隆起区、西南鼻状低凸起、东南缓坡区、西北斜坡区、东南斜坡区 5 个地貌单元(图 4). 根据反射波组的对应关系,鼻状低凸起北部高程与东南缓坡区相当. 东北隆起区仅发育 SQ1-HST,是 SQ1 时期的物源供给区. 西北斜坡区、东南斜坡区是该时期的低地和粗粒沉积物汇聚的场所.

3 SQ3 层序发育时期古地貌分析

(1)构造挤压作用与褶皱隆起:如图 2 所示,在

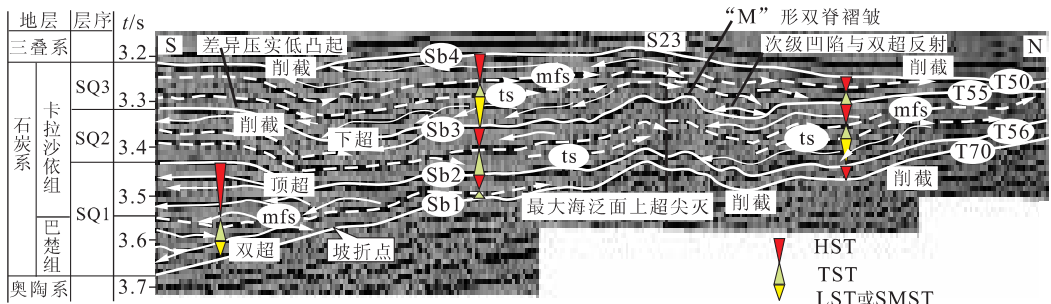


图 2 层序界面识别及其体系域划分

Fig. 2 Identification of sequence boundaries and their systems tracts

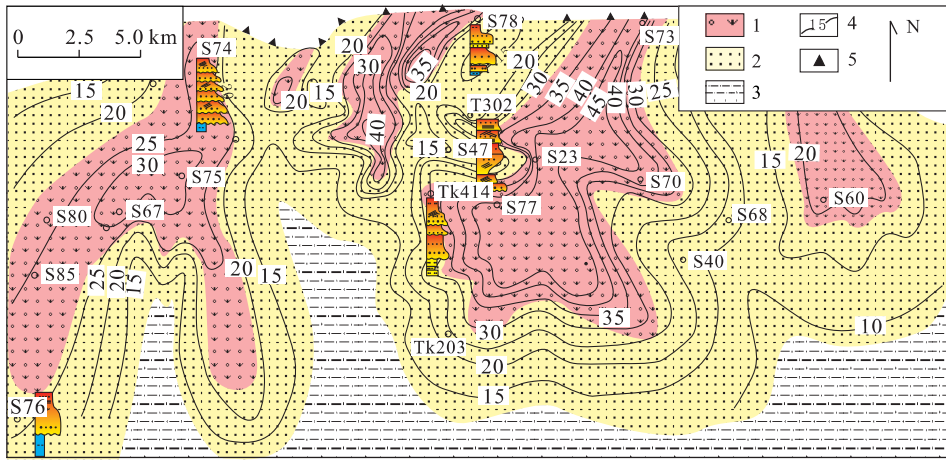


图 6 卡拉沙依组 II 油组砂体等厚图及沉积相

Fig. 6 Sand-body isopach map and sedimentary facies in II oil-unit, Kalashayi Formation

1. 辫状河三角洲平原相; 2. 辫状河三角洲前缘相; 3. 前三角洲; 4. 砂岩等厚线 (m); 5. 剥蚀界限

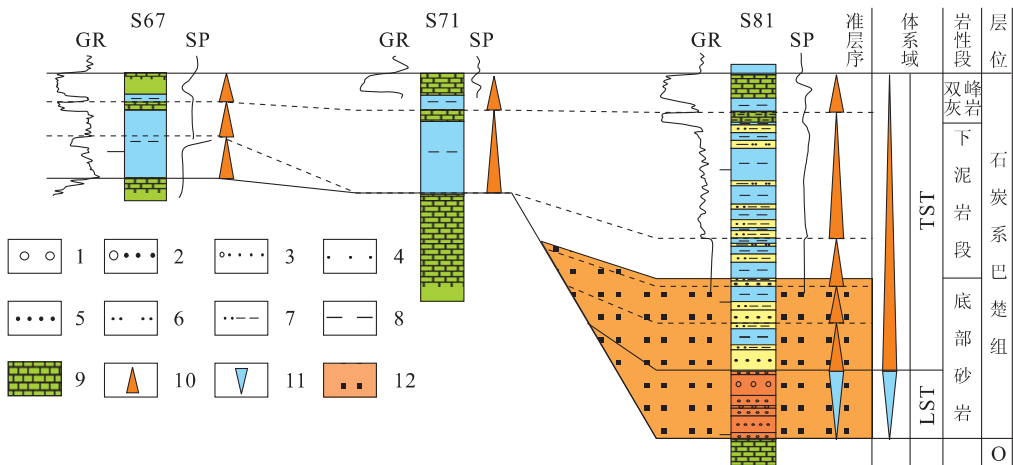


图 7 SQ1 层序西北斜坡区岩性圈闭预测

Fig. 7 Forecast of lithologic trap in westnorth slope, SQ1 sequence

1. 砾岩; 2. 含砾中砂岩; 3. 含砾细砂岩; 4. 中砂岩; 5. 细砂岩; 6. 粉砂岩; 7. 砂质泥岩; 8. 泥岩; 9. 灰岩; 10. 基准面上升; 11. 基准面下降; 12. 有利岩性圈闭

空间较大, 并且沿 S47 井—S23 井—S68 井一线砂体呈细颈状, 与褶皱隆起带位置一致。总体上, 三角洲的发育、砂体的展布明显受该时期的古地貌控制。

4 地质意义

本文以三级层序为时间单元, 分析了塔河油田 SQ1、SQ3 发育时期的古地貌特点; 揭示了研究区 SQ2 发育之后发生一期构造运动; 运用砂体分布和沉积特点验证了 SQ3 古地貌分析结果。古地貌影响着沉积物来源和供给方向、沉积物的分布及地层保

存与受剥蚀程度^[2], 特别是一些次级凹陷往往是低水位期砂体局部聚集和岩性圈闭发育的有利场所。本次研究进一步指出, 塔河油田 SQ1 发育时期的西北斜坡区和东南斜坡区、SQ3 发育时期东南凹陷带是寻找岩性圈闭油气藏有利区^[3](图 7)。总之, 即使在地形坡度总体平缓的研究区, 如塔河油田, 层序地层学应用于古地貌分析都具有较大意义。

参考文献:

[1] 樊太亮, 吕延仓, 丁明华. 层序地层体制中的陆相储层发育规律[J]. 地质前缘, 2000, 7(4): 315-321.
FAN T L, LÜ Y C, DING M H. The regularities of

- formation and distribution of reservoirs in systems of continental sequence stratigraphy [J]. *Earth Sciences Frontiers*, 2000, 7(4): 315—321.
- [2] 林畅松, 潘元林, 肖建新, 等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2000, 25(3): 260—265.
LIN C S, PAN Y L, XIAO J X, et al. Structural slope-break zone: key concept for stratigraphy sequence analysis and petroleum prospecting in fault subsidence basins [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25(3): 260—265.
- [3] 李思田, 潘元林, 陆永潮, 等. 断陷湖盆隐蔽油气藏预测及勘探的关键技术——高精度地震探测基础上的层序地层学研究[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2002, 27(5): 592—598.
LI S T, PAN Y L, LU Y C, et al. Key technology of prospecting and exploration of subtle traps in lacustrine fault basins: sequence stratigraphic researches on the basis of high resolution seismic survey [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2002, 27(5): 592—598.
- [4] 赵秀岐, 张振生, 李洪文. 塔里木盆地石炭系层序地层学及岩相古地理研究[J]. *石油地球物理勘探*, 1995, 30(4): 533—546.
ZHAO X Q, ZHANG Z S, LI H W. Sequence stratigraphy and petrofacies palaeogeography of Carboniferous system in Tarim basin [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 1995, 30(4): 533—546.
- [5] 马立祥, 万静萍, 王世凤, 等. 塔里木盆地早石炭世沉积体系域的基本特征[J]. *石油实验地质*, 1996, 18(2): 168—173.
MA L X, WAN J P, WANG S F, et al. Basic characteristics of the Early Carboniferous depositional system tract in the north of Tarim basin [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1996, 18(2): 168—173.
- [6] 王英民, 刘豪, 李立城, 等. 准噶尔大型凹陷湖盆坡折带的类型和分布特点[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2002, 27(6): 683—688.
WANG Y M, LIU H, LI L C, et al. Types and distribution characteristics of slope breaks of large-type down-warped lake basins [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2002, 27(6): 683—688.
- [7] 岳建华, 韩燕英, 虎北辰. 塔里木盆地艾协克地区石炭系盐体成因机制研究[J]. *新疆地质*, 1999, 17(2): 157—164.
YUE J H, HAN Y Y, HU B C. Research on genetic mechanism of salt body in Carboniferous in Aixieke region of Tarim basin [J]. *Xinjiang Geology*, 1999, 17(2): 157—164.

Sequence Stratigraphy in Paleogeomorphology Analysis:

An Example from Tahe Oilfield

WANG Jia-hao¹, WANG Hua¹, ZHAO Zhong-xin¹, PAN Ming-nian², YU Zhe²

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. The West Bureau of Petroleum, SINOPEC, Ulumq 830011, China)

Abstract: The development of sequence boundaries is usually associated with the eroding peneplaining, fluvial downcutting and tectonic uplifting processes which causes a great reforming of paleogeomorphology. By contrast, sequence patterns and the distributions of the sequences, their systems tracts and parasequences are influenced by paleogeomorphology, indicated by reflection characteristics such as truncation, lapout, progradation angle, regression scope on seismic sections. The sequence stratigraphy analysis here, therefore, provides a powerful tool to identify the paleogeomorphies. Based on the research on the sequence stratigraphy of the Carboniferous, Tahe oilfield, the marks of the onlap pinch-out lines of the first flooding surface and the maximum flooding surface, slope-break lines and folding shapes have been applied to identify the different paleogeomorphic units such as the uplifts, warps of differential compaction, moderately angled slopes, gently angled slopes and depressions during SQ1 and SQ3 se-

quence developments, firstly revealing an uplifting event caused by tectonic compression before SQ3 sequence. Meanwhile, the planar distribution of sand-bodies of the II oil-unit has also been used to verify the results of paleogeomorphy. Through the synthetic analysis above, the authors have found that the sand bodies in lower systems tracts of SQ1 and SQ3 sequence are mainly distributed in the slopes and the depressions consist of the favorable sites of the lithologic trapping target.

Key words: sequence stratigraphy; paleogeomorphy; Tahe oilfield.

(上接 384 页)

塔藏群,认为其时代为中—晚三叠世. 杨恒书等^[2]在这段地层中发现的牙形石有 *Palmatolepis marginifera*, *P. gracilis sigmoidalis*, *Polygnathus* sp., *Bispathodus stabilis*, *Hindeodella* sp. 等. 其中一些重要分子常在我国广西、贵州、云南及西秦岭等地区晚泥盆世法门期地层中出现,或是西欧、北美地区法门期的标准分子. 因而确定九寨沟地区确有晚泥盆世地层的存在,并将隆康、塔藏一带的地层置于三河口群上部. 当前笔者等在上述相同的地层中,又发现了 *Gansupora*, *Pachyfavosites* 等泥盆纪珊瑚动物群,又为这套地层的时代归属提供了更为充足的证据. (3)构造分析. 从岩相及生物群特征看,上述九寨沟泥盆纪的珊瑚化石及其赋存的岩性与甘肃文县岷堡沟组颇为相似,关系密切,进一步为西秦岭南带泥盆系由甘肃文县一带向川西北南坪地区延伸提供了证据. 从构造角度分析,隆康位于略阳—康县—隆康一线摩天岭地块与南秦岭之间的构造挤压带,也是松潘地块与扬子地台的接合部^[4],由于区域构造的挤压和剪切作用,常导致一些沉积岩或火山岩地层,局部变形、变位,形成构造岩片混合带,且彼此界线或隐或现,易于混淆,因而上述前人在工作中常以片带面,各执一词,且各有依据是可以理解的. 当前,造山带地区地层学研究的理论与实践已有许多实例^[5]. 九寨沟地区既有含 *Palmatolepis marginifera* 和 *Gansupora* 等生物化石的泥盆系,又有含 *Neogondolella mombergensis* 及 *Daonella-Halobia* 化石群的三叠系. 两者断层接触又是一例. (4)已查明西秦岭地区泥盆系赋存丰富的金属矿藏,如金、银、铅、锌等. 目前,在九寨沟地区,已由泥盆纪生物化石的发现而确定了泥盆系的存在,这为在这一地区寻找和开发更新的矿产开拓了新的领域,迎来了

新的希望,或许对我国西部开发具有重要意义.

参考文献:

[1] 赖旭龙,杨逢清. 四川南坪隆康、塔藏一带泥盆纪含火山岩地层的发现及意义[J]. 科学通报, 1995, 40(9): 863—864.
LAI X L, YANG F Q. Discovery of Devonian volcanic-bearing strata at Longkang and Tazang, Nanping County, Sichuan Province and its significance [J]. Chinese Science Bulletin, 1995, 40(9): 863—864.

[2] 杨恒书,赖旭龙,杨逢清,等. 四川隆康、塔藏含火山岩地层时代新证据[J]. 中国区域地质, 1995, (1): 71—75.
YANG H S, LAI X L, YANG F Q, et al. New evidence for the age of the volcanic-bearing strata in Longkang and Tazang, Sichuan [J]. Regional Geology of China, 1995, (1): 71—75.

[3] 张祖圻. 西秦岭西段早、中泥盆世地层与床板珊瑚动物群[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
ZHANG Z Q. Early and Middle Devonian strata and tabulata (Coral) fauna in western part of west Qinling [M]. Beijing: Science Press, 1981.

[4] 杨逢清,殷鸿福,杨恒书,等. 松潘甘孜地块与秦岭褶皱带、扬子地台的关系及其发展[J]. 地质学报, 1994, 68(3): 208—218.
YANG F Q, YIN H F, YANG H S, et al. The Songpan-Garzê massif: its relationship with the Qinling fold belt and Yangtze platform and development [J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(3): 208—218.

[5] 冯庆来,叶玫. 造山带区域地层学研究的理论、方法与实例剖析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2000.
FENG Q L, YE M. Principles, methods and examples on the regional stratigraphy in orogenic belt [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2000.