

文章编号:1672-6561(2012)04-0036-07

川东北元坝地区长兴组层序地层及沉积相分析

田成伟¹, 安显银^{2,3}, 罗清园⁴, 徐少华⁴

(1. 四川省地质矿产勘查开发局 区域地质调查队, 四川 双流 610213; 2. 中国地质大学(武汉) 地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 3. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 4. 成都理工大学 能源学院, 四川 成都 610059)

摘要:以 Vail 经典层序地层学理论为基础, 根据露头、钻井、测井、地震等资料对川东北元坝地区长兴组进行单井层序地层划分。通过对单井层序地层特征的分析, 结合三维地震, 选择典型联井剖面进行了层序地层横向对比, 并建立了层序地层格架; 利用每个时期的古地貌图叠加地震相, 得到沉积相平面展布图, 最后分析各体系域的沉积相平面展布特征及演化规律。结果表明: 元坝地区长兴组可划分为 2 个由海侵体系域和高水位体系域组成的三级层序, 层序界面为 II 型层序界面, 层序向盆地方向逐渐减薄; 2 个三级层序中, 海侵体系域厚度较薄, SQ2 中高水位体系域在元坝 X 井中较元坝 22 井更为发育; 礁滩主要在三级层序的高水位体系域中发育, 海侵体系域中虽也有生长, 但是规模小。

关键词:层序地层; 沉积相; 古地貌; 地震相; 礁; 长兴组; 元坝地区; 四川

中图分类号:P618.13; TE121.3 **文献标志码:**A

Analysis of Sequence Stratigraphy and Sedimentary Facies of Changxing Formation in Yuanba Area of Northeast Sichuan

TIAN Cheng-wei¹, AN Xian-yin^{2,3}, LUO Qing-yuan⁴, XU Shao-hua⁴

(1. Regional Geological Survey Party, Sichuan Bureau of Geological and Exploration of Mineral Resources, Shuangliu 610213, Sichuan, China; 2. School of Geosciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 3. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China; 4. School of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: Based on the theory of Vail classical sequence stratigraphy, according to the outcrop, drilling, logging and seismic data, sequence stratigraphy of single well in Changxing Formation of Yuanba Area was divided; characteristic of sequence stratigraphy of single well was analyzed, and sequence stratigraphy of typical profiles in connected wells was laterally compared by the means of three-dimensional seismic, and sequence stratigraphic framework was established; sedimentary facies layouts were obtained by the overlay between palaeolandform map and seismic facies, and the characteristic and evolution rule of the layouts in different system tracts were discussed. The results showed that Changxing Formation in Yuanba Area could be divided into two third-order sequences which were composed by transgressive system tract(TST) and highstand system tract(HST); the sequence boundary was type II, and sequence gradually thin toward the basin; the thickness of TST was thinner than that of HST, HST of SQ2 sequence developed in Well YuanbaX better than that in Well Yuanba22; reef and shoal mainly developed in HST of third-order sequence, and grew little in TST.

收稿日期:2012-01-08

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(1212011121257)

作者简介:田成伟(1986-),男,四川江油人,助理工程师,工学硕士,E-mail:270874618@qq.com。

Key words: sequence stratigraphy; sedimentary facies; palaeogeomorphology; seismic facies; reef; Changxing Formation; Yuanba Area; Sichuan

0 引言

2006年,在普光气田勘探思路的启示下,在川东北元坝地区发现大型飞仙关—长兴组礁滩相地质异常体,后经元坝1井、元坝1-侧1井、元坝2井等证实了该区长兴组—飞仙关组的含气性^[1],显示该区巨大的勘探开发前景。目前,该区勘探开发中存在的主要问题是储层的非均质性限制了油气大量产出,因此如何寻找长兴组—飞仙关组优质储层,即碳酸盐岩台地边缘礁滩相储层预测成为了该区目前亟待解决的问题。已有勘探实践表明,层序地层学是沉积特征和储层预测研究领域有力的地质方法^[2-9]。因此,笔者利用露头、钻井、测井、地震等资料建立元坝地区长兴组层序地层格架,分析层序格架内部地层发育分布特征,并在层序地层格架模式的指导下,探讨沉积相及其平面展布特征,寻找有利礁滩储层相带,对元坝地区长兴组下一步勘探开发具有重要意义。

1 研究区概况

元坝地区位于四川盆地北部苍溪、旺苍、巴中交汇区域。从区域构造上看,该区位于龙门山北段前缘,受龙门山、米仓山和大巴山控制,为九龙山背斜、通南巴背斜以及南部一阆中凸起挟持之下的近东西向平缓构造带,被3个背斜构造带所围绕,总体为单斜构造,属于川中低缓构造带的一部分(图1^[1])。元坝地区作为一个大型低缓构造带,位于九龙山背斜构造带南翼、通南巴背斜构造带西南侧;受构造活动影响相对较弱,区内地层仅有轻微褶皱,构造形变

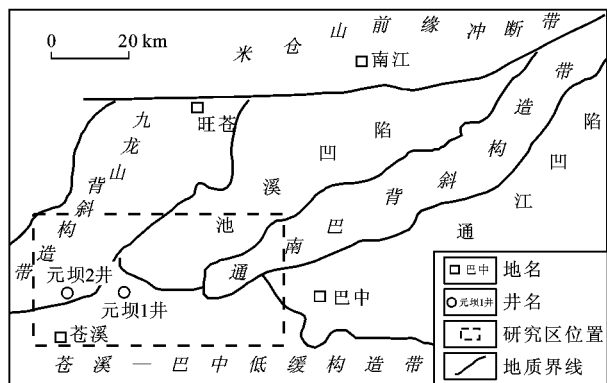


图1 元坝地区地理及构造位置

Fig. 1 Geographic and Tectonic Location of Yuanba Area

弱,断裂不发育,仅形成小规模的低幅构造,以岩性圈闭为主^[10]。

2 三级层序划分对比

2.1 钻井层序划分

在前人研究^[11-12]的基础上,结合露头、测井、地震资料,对研究区内18口典型井进行层序划分。碳酸盐岩主要是生物生长式的原地沉积,而碎屑岩主要通过河流、海浪、潮汐搬运沉积,因此碳酸盐岩层序划分不能照搬碎屑岩的模式。笔者采用的层序地层划分步骤为:沉积趋势分析→堆砌方式确定→体系域划分→沉积层序划分。具体的层序地层单元划分为(以元坝X井为例):元坝X井位于自西向东第2排堤礁靠海湾(潮汐通道)一侧,总体处于台地边缘礁滩相带;该井钻遇地层齐全,岩性变化所反映的沉积趋势变化非常清晰,层序地层划分具有代表性。利用Vail经典层序地层学理论将长兴组划分为2个三级层序,分别为SQ1和SQ2,并划分出4个体体系域,由老到新层序依次划为SQ1海侵体系域(TST)、SQ1高水位体系域(HST)、SQ2海侵体系域、SQ2高水位体系域(图2)。

SQ1海侵体系域:基准面快速上升的沉积体系^[13],自然伽马曲线形态呈漏斗形。岩性剖面上,底部为高自然伽马的潟湖滨沼相碳质泥岩,其上为礁滩相的含云生屑灰岩夹生屑灰岩,再往上为泥质灰岩,顶部为硅质灰岩,反映岩性向上变细、基准面快速升高的沉积旋回,尤其从含云生屑灰岩直接过渡到泥质灰岩,这种岩性组合表明纵向上的跳相,反映基准面快速上升过程中的沉积。

SQ1高水位体系域:海侵结束到基准面快速下降开始时的沉积体系^[10],自然伽马逐渐减小,自然伽马曲线形态呈钟形。岩性剖面上,岩性由老到新依次为硅质灰岩、生屑灰岩、微晶灰岩、生屑灰岩、白云岩、生屑灰岩、白云岩。其中,下部由硅质灰岩—生屑灰岩的岩性组合变为微晶灰岩—生屑灰岩,表明海平面来回动荡但整体呈缓慢上升的台地边缘相沉积,上部的2个生屑灰岩→白云岩的沉积旋回表明基准面稳定在最高位置的潟湖潮坪相沉积。

SQ2海侵体系域:自然伽马从下到上逐渐增大,该体系域为白云岩→含云灰岩→生屑灰岩→微晶灰岩的岩性组合,表明海平面快速上升过程中的

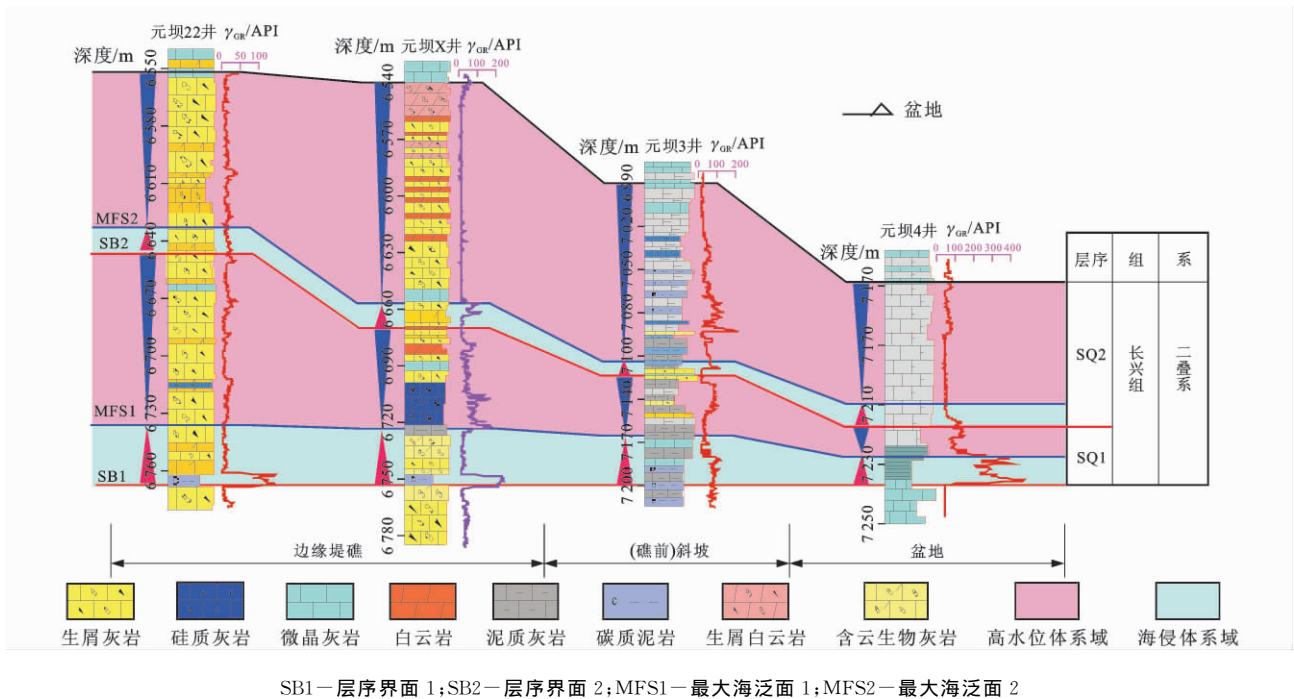


图3 元坝22井—元坝4井长兴组沉积相剖面

Fig. 3 Sedimentary Facies Profiles of Changxing Formation from Well Yuanba22 to Well Yuanba4

梁平海槽西北侧,整体上处于古隆起到深水海槽的坡折带。针对研究区特殊环境,利用钻井、测井、地震资料将该区长兴组划分为盆地、陆棚、(礁前)斜坡、开阔台地、礁、滩、潟湖、潮坪以及滨海(沼泽)9个相带。

(1)盆地-陆棚-(礁前)斜坡相为深水环境,以沉积远洋灰泥为特征,自然伽马较高。盆地相典型标志为页岩(密集段);深水陆棚发育大量泥灰岩;(礁前)斜坡相以发育泥灰岩、滑塌堆积的生物屑灰岩为特征。在地震剖面上,(礁前)斜坡以楔状收敛强反射为特征[图4(a)],盆地以平行光滑连续强振幅为特征[图4(b)],陆棚则为弱振幅杂乱反射(图4)。

(2)开阔台地-礁-滩相为一个浅水高能环境组合,自然伽马较低。开阔台地相以发育微晶灰岩、生屑灰岩为特征,礁相在抗浪条件下发育,水深可以与开阔台地相当或更深,滩相则在相对浅水无抗浪条件下发育。在地震剖面上,开阔台地为层状弱反射[图4(c)],滩为强振幅丘状叠置反射[图4(d)],礁为丘状凸起内部近空白反射[图4(e)]。

(3)潟湖-潮坪-滨海(沼泽)相为浅水低能环境组合,自然伽马较高。在抗浪的前排高大礁体之上发育潮坪相白云岩,礁体之后区域发育潟湖相泥晶灰岩、生屑灰岩、礁灰岩、白云岩,以含云、高自然伽马为特征。潟湖-滨海(沼泽)相地震响应为:下凹古地貌、整洁—不整洁、弱—中振幅反射[图4(f)]。

3.2 沉积相平面展布特征

本研究的沉积相图是利用每个时期的古地貌图叠加地震相分析得到的礁滩相带、低能相带以及开阔台地相、潟湖相等标定制成。

通过 SQ1 海侵时期古地貌图与礁滩沉积体(地震扫描解释)的叠合,得到 SQ1 层序中海侵体系域的沉积相图(图5)。其主要特征为:碳酸盐岩台地初见雏形,台地边缘坡折带礁滩呈个体出现,独立发育,规模较小,礁滩总体欠发育。

同样方法得到的 SQ1 层序中高水位体系域沉积相图(图6)主要特征为:碳酸盐岩台地开始初步形成,开阔台地相带、台地边缘礁滩相带、盆地相带清晰可辨,但此时(礁前)斜坡/陆棚相带比较模糊,不能辨认。台地边缘坡折带礁滩快速发育,并通过礁体的侧向生长连接成为堤礁,呈5排北西向右旋雁行排列,整个台地边缘内部发育礁群、点礁、滩群构成台地边缘礁滩相带。与海侵体系域时期相比研究区西南角由斜坡变为开阔台地相,(礁前)斜坡/陆棚相带范围向盆地方向扩大,台地边缘礁滩由规模小独立发育的点礁连接成为规模较大的礁滩群。

SQ2 层序中的海侵体系域时期海平面快速上升,持续时间短,沉积厚度较薄。虽然在台地边缘继续发育礁滩,但生长缓慢,规模小。斜坡盆地内沉积含泥灰岩。礁滩的生长厚度与斜坡盆地内灰岩的沉

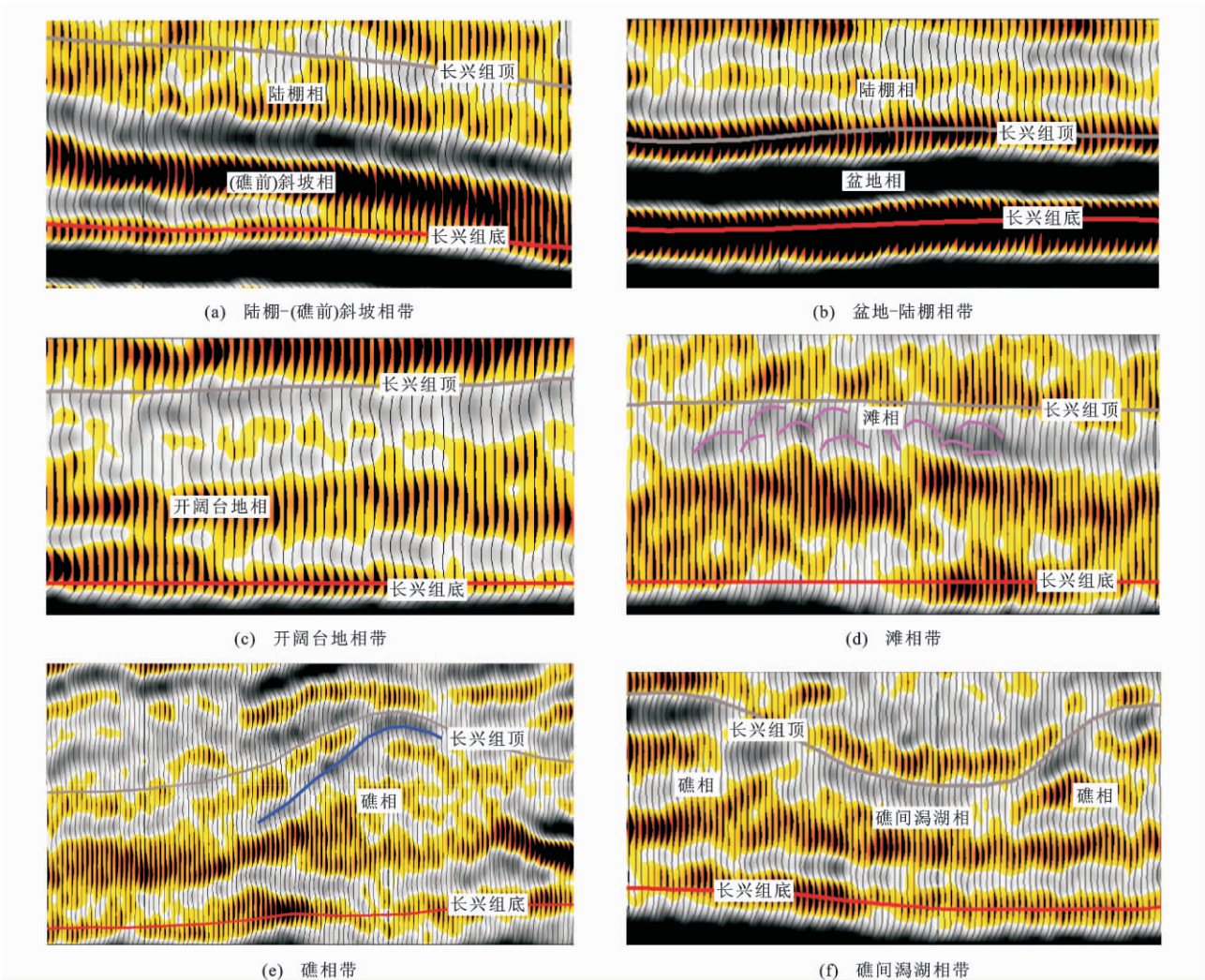


图 4 各沉积相带地震响应特征

Fig. 4 Seismic Reflection Characteristics of Different Sedimentary Facies Zones

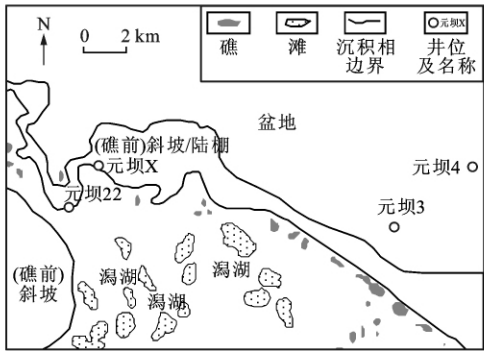


图 5 SQ1 层序海侵体系域沉积相分布

Fig. 5 Distribution of Sedimentary Facies of Transgressive System Tract in SQ1 Sequence

积厚度大致相等。

图 7 为 SQ2 层序中的高水位体系域沉积相图。其主要特征为:碳酸盐岩台地正式形成,各相带之间界限非常清晰。台地边缘坡折带礁滩继续在原址生

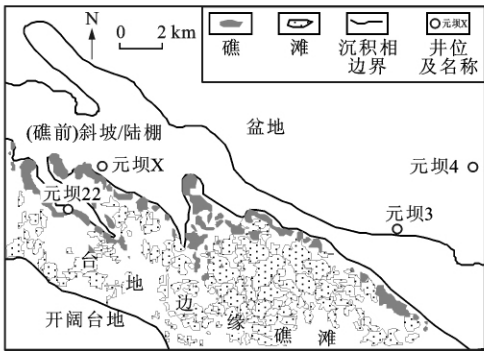


图 6 SQ1 层序高水位体系域沉积相分布

Fig. 6 Distribution of Sedimentary Facies of Highstand System Tract in SQ1 Sequence

长,由 SQ1 时期的 5 排堤礁演变为 7 排,台地边缘内部礁滩大量发育,几乎充填了所有可以生长的空间,扩大了台地边缘礁滩相带的范围,研究区西南角的开阔台地相已演变成台地边缘礁滩相。

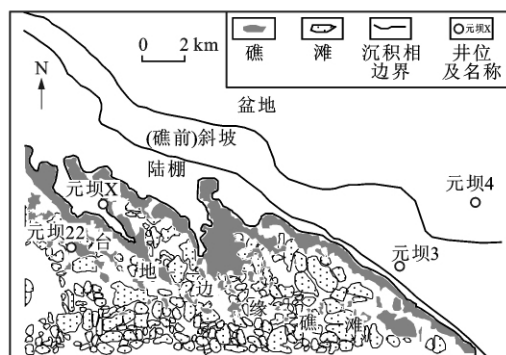


图7 SQ2高水位体系域沉积相分布

Fig. 7 Distribution of Sedimentary Facies of Highstand System Tract in SQ2 Sequence

4 结 语

(1)以 Vail 经典层序地层学理论为指导,在川东北元坝地区上二叠系长兴组划分出2个三级层序(SQ1、SQ2),其均由海侵体系域和高水位体系域组成。层序界面为Ⅱ型层序界面。层序横向上分布稳定,向盆地方向逐渐减薄,2个三级层序中海侵体系域厚度较薄。

(2)礁滩主要在三级层序的高水位体系域中生长。海侵体系域中虽也有生长,但是规模小,且水位较高,不易遭受溶蚀形成储层。因此,建议将元坝地区长兴组高水位体系域台地边缘礁滩相带作为下一步勘探开发目标,落实含油气性。

(3)应用露头、钻井、测井、地震等资料综合分析碳酸盐岩沉积特征的层序地层学方法,无疑是预测碳酸盐岩沉积特征的一种有效而实用的方法,这为碳酸盐岩勘探提供了一套非常适用的手段。

参考文献:

References:

- [1] 段金宝,黄仁春,程胜辉,等.川东北元坝地区长兴期—飞仙关期碳酸盐岩台地沉积体系及演化[J].成都理工大学学报:自然科学版,2008,35(6):663-668.
DUAN Jin-bao, HUANG Ren-chun, CHENG Sheng-hui, et al. Depositional System and the Evolution of Carbonate Rock Platform of Changxing-Feixianguan Period in Yuanba Area of Northeast Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition, 2008, 35(6): 663-668.
- [2] 肖朝晖,王招明,吴金才,等.塔里木盆地石炭系层序地层划分及演化[J].石油实验地质,2011,33(3):244-248.
XIAO Zhao-hui, WANG Zhao-ming, WU Jin-cai, et al.

Sequence Stratigraphic Division and Evolution of Carboniferous in Tarim Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2011, 33(3): 244-248.

- [3] 丁晓琪,张峭楠.层序地层学在河流相地层研究中的应用[J].西安石油大学学报:自然科学版,2010,25(4):1-5.
DING Xiao-qi, ZHANG Shao-nan. Application of Sequence Stratigraphy in the Research of Fluvial Strata [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2010, 25(4): 1-5.
- [4] 周雨双,李群,姜海健,等.塔里木盆地巴楚隆起HT1井区志留系层序地层分析和隐蔽圈闭识别[J].石油实验地质,2011,33(4):359-363.
ZHOU Yu-shuang, LI Qun, JIANG Hai-jian, et al. Sequence Stratigraphic Analysis and Subtle Trap Identification of Silurian Around Well HT1, Bachu Uplift, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2011, 33(4): 359-363.
- [5] 陈飞,胡光义,孙立春,等.鄂南地区上三叠统延长组层序地层特征及其控藏因素分析[J].西安石油大学学报:自然科学版,2012,27(1):27-34.
CHEN Fei, HU Guang-yi, SUN Li-chun, et al. Sequence Stratigraphic Characteristic of Yanchang Formation of Upper Triassic in Southern Ordos Basin and Its Control Factors[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2012, 27(1): 27-34.
- [6] 田景春,彭军,陈高武,等.塔里木盆地东河塘组层序地层学研究[J].地球科学与环境学报,2007,29(2):130-136.
TIAN Jing-chun, PENG Jun, CHEN Gao-wu, et al. Researches on Sequences Stratigraphy of Donghetang Formation in Tarim Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2007, 29(2): 130-136.
- [7] 吴因业,朱如凯,罗平,等.沉积学与层序地层学研究新进展——第18届国际沉积学大会综述[J].沉积学报,2011,29(1):199-206.
WU Yin-ye, ZHU Ru-kai, LUO Ping, et al. Advance on Sedimentology and Sequence Stratigraphy—A Summary from 18th International Sedimentology Congress[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(1): 199-206.
- [8] 伊海生.测井曲线旋回分析在碳酸盐岩层序地层研究中的应用[J].古地学报,2011,13(4):456-466.
YI Hai-sheng. Application of Well Log Cycle Analysis in Studies of Sequence Stratigraphy of Carbonate Rocks[J]. Journal of Palaeogeography, 2011, 13(4): 456-466.
- [9] 冯有良,吴河勇,刘文龙.徐家围子断陷下白垩统营城

- 组四段层序地层与沉积体系发育特征[J]. 沉积学报, 2011, 29(5): 899-905.
- FENG You-liang, WU He-yong, LIU Wen-long. Sequence Stratigraphy and Depositional Characteristics of the 4th Member of Yingcheng Formation of Lower Cretaceous, Rifted Depression of Xujiaweizi, Songliao Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(5): 899-905.
- [10] 王 银. 川东北元坝地区生物礁的识别与追踪[J]. 天然气技术, 2009, 3(4): 25-29.
- WANG Yin. Detecting and Tracking of Bioreef in Yuanba Area, Northeastern Sichuan Basin[J]. Natural Gas Technology, 2009, 3(4): 25-29.
- [11] 陈洪德, 钟怡江, 侯明才, 等. 川东北地区长兴组—飞仙关组碳酸盐岩台地层序充填结构及成藏效应[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 539-547.
- CHEN Hong-de, ZHONG Yi-jiang, HOU Ming-cai, et al. Sequence Styles and Hydrocarbon Accumulation Effects of Carbonate Rock Platform in the Changxing-Feixianguan Formations in the Northeastern Sichuan Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2009, 30(5): 539-547.
- [12] 马永生, 牟传龙, 郭彤楼, 等. 四川盆地东北部长兴组层序地层与储层分布[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 179-185.
- MA Yong-sheng, MOU Chuan-long, GUO Tong-lou, et al. Sequence Stratigraphy and Reservoir Distribution of the Changxing Formation in Northeastern Sichuan Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 179-185.
- [13] VAIL P R. Seismic Stratigraphy Interpretation Using Sequence Stratigraphy Part 1: Seismic Stratigraphy Interpretation Procedure[C]//BALLY A W. Atlas of Seismic Stratigraphy. Tulsa: AAPG Studies in Geology, 1987: 1-10.
- [14] 刘永强, 刘晓龙. 冀中坳陷饶阳凹陷留西地区沙三上亚段层序地层与隐蔽油藏[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(6): 747-753.
- LIU Yong-qiang, LIU Xiao-long. Sequence Stratigraphy of the Upper Third Member of the Shahejie Formation in Liuxi Area of the Raoyang Sag, the Jizhong Depression and Exploration of Subtle Reservoirs[J]. Oil and Gas Geology, 2009, 30(6): 747-753.

《地球科学与环境学报》约稿函

尊敬的各位专家学者:

《地球科学与环境学报》(以下简称《学报》)自 1979 年创刊以来,得到了各位专家的支持,使期刊得到了快速发展。《学报》系地学综合性权威学术期刊,刊登的主要内容有基础地质与矿产地质、水资源与环境、工程地质、应用地球物理和地球信息科学等。据中国科学技术信息研究所 2012 年版《中国科技期刊引证报告(核心版)》,《学报》影响因子为 0.887,他引率为 0.80。

为了不断提升《学报》的学术质量和影响力,特向各位专家学者约稿,诚盼各位专家学者能鼎力支持《学报》的发展。《学报》目前的优势包括:

- 1、中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)刊源。
- 2、不收取版面费,并且刊出后向作者支付一定稿酬。
- 3、发表周期短。
- 4、对学术质量高、有重大基金项目支持的论文优先发表。
- 5、刊登综述类论文。
- 6、可同期刊登同一主题的系列成果。

联系地址:西安市南二环路中段长安大学杂志社

邮政编码:710064

电 话:029-82334686

E-mail:dkyhxb@chd.edu.cn

《地球科学与环境学报》编辑部