

文章编号:0253-9985(2010)05-0561-06

层序生物地层学在柴达木盆地中的应用及展望

杨平¹, 邓奎², 刘学会³, 秦恩朋³, 余水生³, 刘桂花¹

(1. 中国石油天然气股份有限公司 青海油田分公司 石油勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736202;

2. 中国石油天然气股份有限公司 青海油田分公司 冷湖油田管理处, 青海 冷湖 816000;

3. 中国石油天然气股份有限公司 吐哈油田分公司 石油勘探开发研究院, 新疆 哈密 839009)

摘要:在单井高分辨率层序地层分析基础上,应用层序生物地层学原理,以柴达木盆地西部咸东1井和咸8井为例,在新近系上油砂山组划分了一个层序生物地层单元,作为与下油砂山组分界的标志。以红柳泉-跃进地区为例,在古近系下干柴沟组下段划分了两个层序生物地层单元。连井等时对比发现,下干柴沟组下段标志性的“红层”顶界由西向东时代变新,反映了在基准面旋回的波动过程中湖泊范围随时间由西向东的扩大。在乌南地区,进一步将层序生物地层单元与地震地层相结合,在标准化石的约束下建立了该区层序生物地层格架,为柴西南地层划分对比建立了标准。研究认为,古生物、地震和高分辨率层序地层学的结合是层序生物地层学研究并建立区域等时地层格架的良好途径。

关键词:上油砂山组;下油砂山组;下干柴沟组;基准面旋回;层序生物地层单元;柴达木盆地

中图分类号:TE121.3 **文献标识码:**A

Application of sequence biostratigraphy in the Qaidam Basin and its prospects

Yang Ping¹, Deng Kui², Liu Xuehui³, Qin Enpeng³, Yu Shuisheng³ and Liu Guihua¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang, Gansu 736202, China; 2. Lenghu Oilfield, PetroChina Qinghai Oilfield Company, Lenghu, Qinghai 816000, China;

3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Turpan Oilfield Company, Hami, Xinjiang 839009, China)

Abstract: An integration of high-resolution sequence stratigraphic and sequence biostratigraphic analysis of well logs allows the recognition of a distinctive sequence biostratigraphic unit from the Neogene Shangyoushashan Formation of the well Xiandong-1 and the well Xiandong-8 in western Qaidam Basin, NW China. The unit is distinguished from the Xiayoushashan Formation in the same well of the same area and is used as a boundary marker. Two comparable sequence biostratigraphic units are also recognized from the lower Paleogene Xiaganchaigou Formation in the Hongliuquan-Yuejin area of the basin. Sequence biostratigraphic correlations show that the top boundary of the remarkable “red bed” in the lower Xiaganchaigou Formation gets younger eastwards, indicating an eastward lake expansion following fluctuations of base-level cycle. In the Wunan area of the basin, a sequence biostratigraphic framework is constructed under the constraint of characteristic fossils by integrating sequence biostratigraphic units with seismic stratigraphy, providing standards for regional stratigraphic division and correlations in southwestern Qaidam Basin. Accordingly, the integration of biostratigraphy, seismic stratigraphy and high-resolution sequence stratigraphy is a powerful approach in sequence biostratigraphic study and establishing regional isochronous stratigraphic frameworks.

Keywords: Upper Youshashan Formation, Lower Youshashan Formation, Lower Ganchaigou Formation, base-level cycle, sequence biostratigraphic unit, Qaidam Basin

收稿日期:2009-10-26。

第一作者简介:杨平(1968—),男,博士,高级工程师,古生物与层序地层学。

基金项目:中国石油天然气股份有限公司项目(07-01Z-01-02)。

高精度等时地层对比是油气勘探开发中统一规划、整体部署的基础工作,因此,无论是海相还是陆相油气田,层序地层学在地层对比、沉积储层等研究领域都被广泛应用^[1~3]。柴达木盆地是青藏高原北部陆相油气勘探的重要区域,在半个世纪的石油地质基础研究中,已经形成了一套全盆地框架性的新生界地层系统^[4~6](表 1),但在实际工作中,地震地层与生物地层间的矛盾、不同构造间地层对比的矛盾也同时存在。造成这种现象的表面原因是不同资料研究角度的差异,深层原因是缺乏能够融合、发挥多种资料优势的地层对比方法和思路。

层序生物地层学^[7]以便于钻井层序划分的高分辨率层序地层学为基础,充分发挥地震地层学和生物地层学的优势,以基准面旋回的同步性、地震标准层的可追踪性和标准化石的等时性优势互补,进行从井间到跨构造、跨相区的等时地层对比,在柴达木盆地西部(图 1)油气勘探中解决了一系列地质问题。

1 层序生物地层学原理

层序生物地层学是层序地层学与生物地层学的结合。覃建雄(1997)^[7]指出:层序地层提供可预测的相关界面体系组成的一个物理框架,把生物地层学观察结果置于此框架中,这些物理相关面确定了真实的年代地层单元,通过时间间隔网格,这些地层单元可用于评估生物带“顶”和“底”

的相对位置,这样的地层单元就是层序生物地层单元。层序生物地层格架由一个或多个层序生物地层单元组成,通过地震引层,可以实现远距离地层对比。可见,化石带和层序地层框架是层序生物地层学的主要研究对象。

2 层序生物地层学的应用

2.1 咸水泉构造上油砂山组层序生物地层单元的建立

高分辨率层序地层学分析以露头、岩心、测井和高分辨率三维地震反射资料为基础^[8],在钻井层序划分中可广泛应用,单井层序划分不但是研究沉积相平面展布的有效手段^[9],而且还可以成为等时地层划分的新方法。柴达木盆地西部咸东 1 井与咸 8 井(图 1)经过高分辨率层序地层划分之后,上油砂山组下部的介形虫标志化石 *Eucypris concinna qaidamensis*(柴达木美丽真星介)—*Cyprideis* sp. 2(正星介种 2)—*Eucypris obtus*(顿头真星介)组合处于一个中期旋回之内,旋回底界位于化石组合带之下,可作为层序界面和上油砂山组底界,标定在地震剖面上相当于地震标准层 T₂'(图 2)。因此,上油砂山组下部的层序(中期旋回)顶、底界所代表的“物理相关面”与标定该段地层的化石组合共同构成了一个层序生物地层单元,该化石带在盆地西部具有代表性,其所在层序生物地层单元是柴达木盆地西部上油砂山组下部的标志。

表 1 柴达木盆地新生界地层系统
Table 1 Stratigraphic division of the Cenozoic in the Qaidam Basin

地层			地震标准层	主要化石
系	统	组(年代)		
第四系	全新统		T ₀	介形虫: <i>Leucocythere mirabilis</i> <i>Qinghaicypris</i>
	更新统	七个泉组(2.5 Ma)		
	上新统	狮子沟组(5.1 Ma)	T ₁	<i>Microlimnocythere</i>
新近系	中新统	上油砂山组(12 Ma)	T ₂ '	<i>Cyprideis</i>
		下油砂山组(24.6 Ma)	T ₂	<i>Qaidamocythere</i> , <i>Youshashania</i>
	渐新统	上干柴沟组	T ₃	<i>Hemicyprinotus</i> , <i>Mediocypris</i>
古近系	始新统	下干柴沟组	上段(44 Ma)	<i>Eucypris mutilis</i>
			下段(52 Ma)	<i>Austrocypris levis</i>
	古新统	路乐河组(65 Ma)	T _R	<i>Candoniella</i>

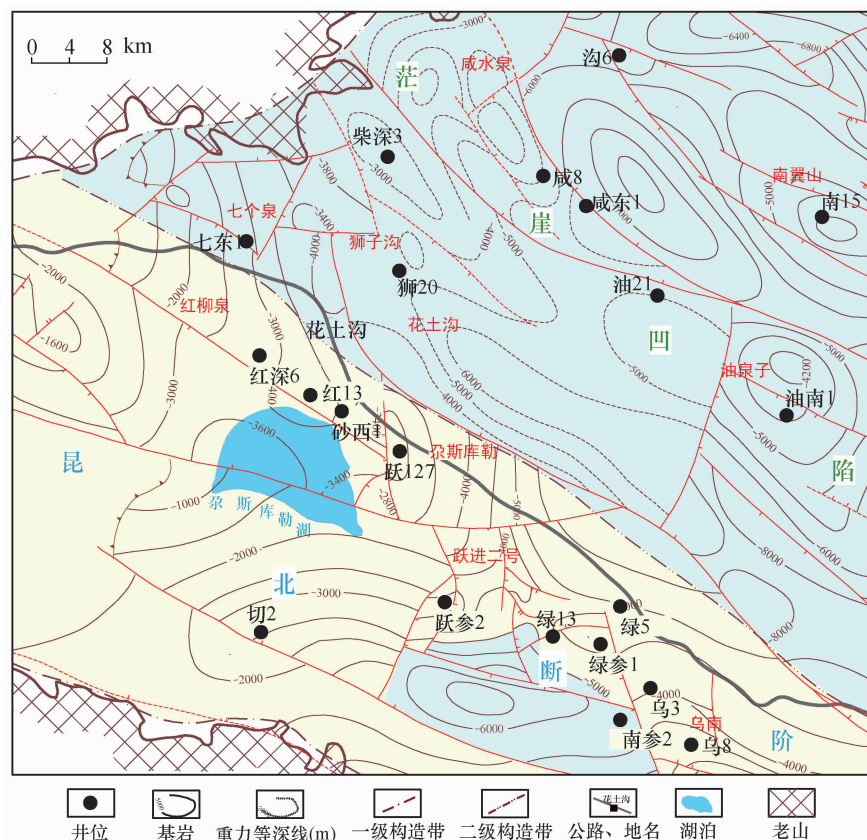


图1 柴达木盆地西部研究区井位

Fig. 1 Well location map of the study area in the western Qaidam Basin

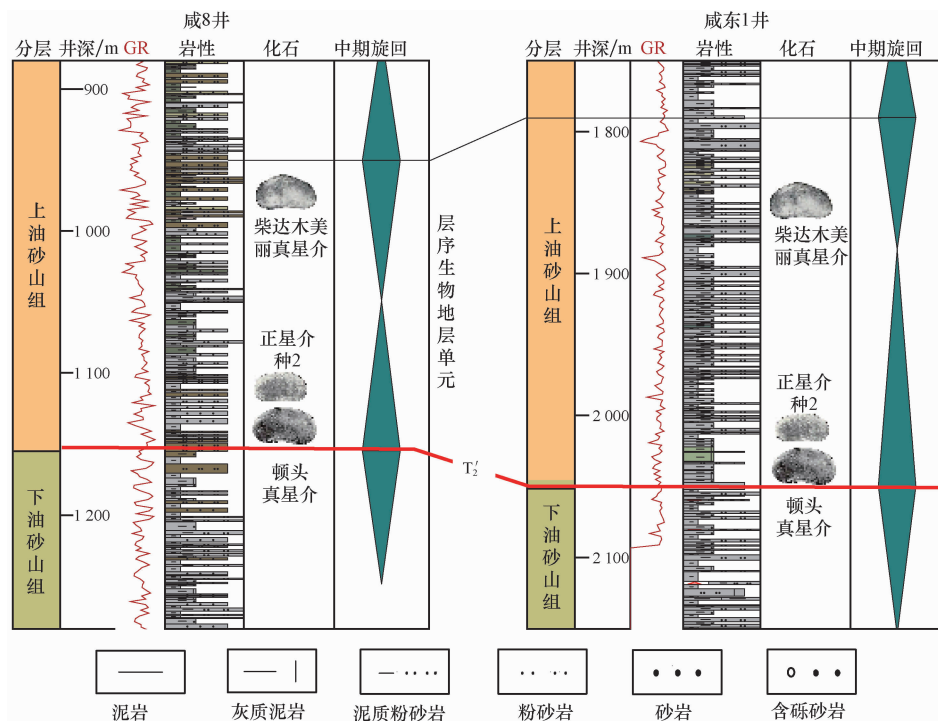


图2 柴达木盆地咸8井-咸东1井上油砂山组层序生物地层单元示意图

Fig. 2 A diagram showing the Upper Youshashan sequence biostratigraphic unit in the well

Xian-8 and Xiandong-1 in the Qaidam Basin

2.2 红柳泉-跃进地区下干柴沟组下段层序生物地层对比

2.2.1 高分辨率层序地层划分

柴达木盆地西部下干柴沟组下段可划分为两个中期基准面旋回,下部旋回由冲积扇辫状河道-三角洲平原分流间湾-决口扇复合体^[10]组成,含常见于该层位的轮藻化石;上部旋回由决口扇复合体-滨浅湖-三角洲前缘组成,产标准化石 *Austrocypris*(南星介)。以红柳泉-跃进地区为例,这些化石的产出局限在中期基准面半旋回内(图3)。

1) 半旋回 I:底界即下干柴沟组下段底界,常见河道砂砾岩沉积,具三级层序低位域性质,电

测曲线箱状低值,GR 值快速升高。

2) 半旋回 II:底界相当于中期旋回最大洪泛面,GR 曲线高值点,氧化环境沉积为主,多见浅、淡水域中的轮藻化石。

3) 半旋回 III:底界是下干柴沟组下段两个中期旋回分界,位于红层段上部,GR 曲线低值点。中上部滨浅湖沉积含下干柴沟组下段标准化石 *Austrocypris*(南星介)。

4) 半旋回 IV:底界位于层序最大湖泛面,泥岩段 GR 曲线高值。顶界即下干柴沟组下段顶界,位于灰层段,GR 曲线低值点。本段 GR 值多呈减小趋势,是一次短暂的进积式半旋回沉积,之上泥灰岩增多,GR 值又逐渐升高,进入了柴西古近纪最大规模的下干柴沟组上段湖泛时期。

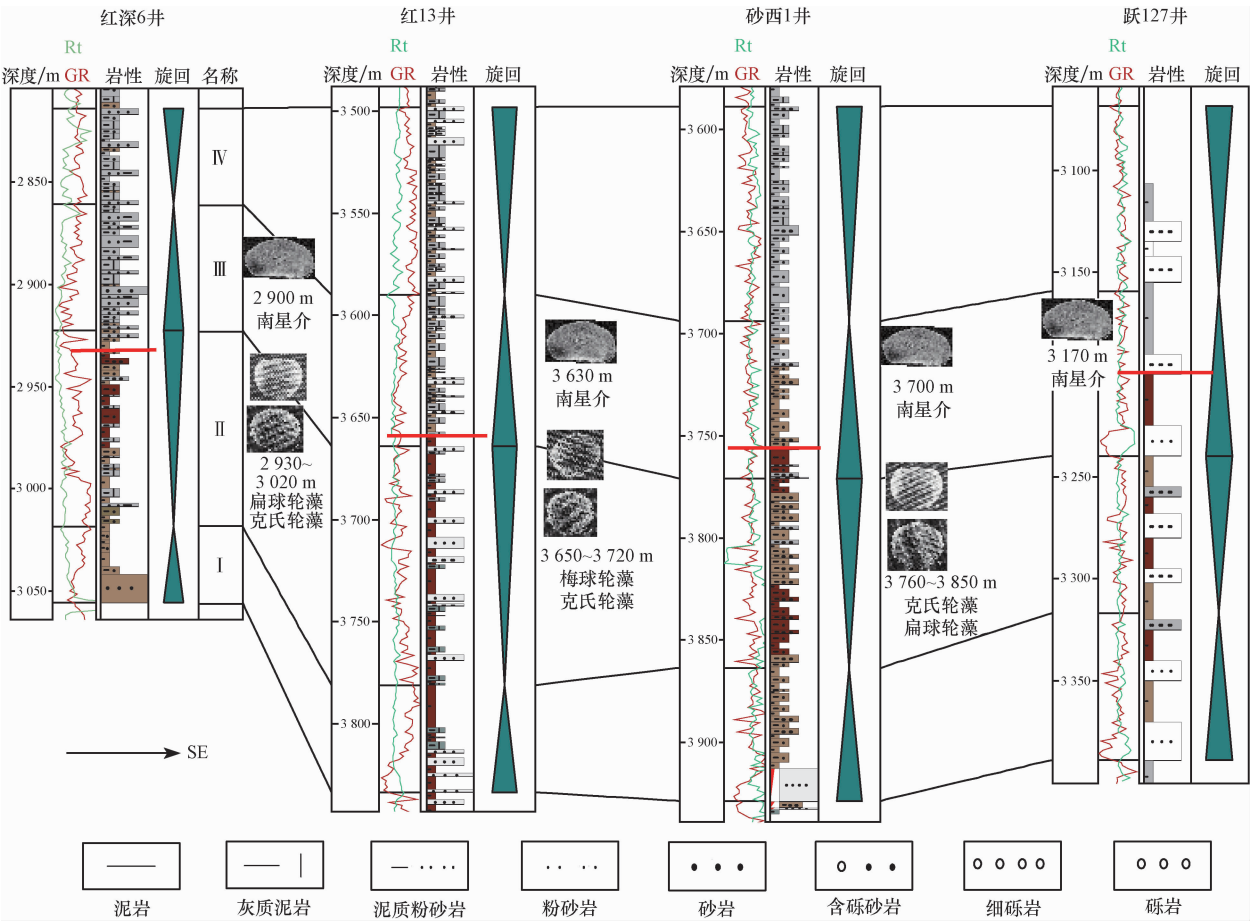


图 3 柴达木盆地西部下干柴沟组下段层序生物地层对比及红层顶(红线)示意图

Fig. 3 Map showing the top boundary of red-bed and the sequence biostratigraphic correlation of the lower member of the Lower Ganchaigou Formation in the western Qaidam Basin

2.2.2 层序生物地层单元的建立及其对比

结合化石的古生态特征所反映的沉积环境来分析层序基准面演化是建立层序生物地层单元的基本思路。古生物标志经常是沉积环境分析的直接证据^[11]。研究区下干柴沟组下段的标准化石 *Austrocypris*(南星介)主要分布于以灰色沉积为主的半旋回“Ⅲ”,*Austrocypris* 体型扁平,属浅水浮游类型,在这一层段出现说明红层代表的水上沉积转化为灰色水下沉积,层序基准面上升。*Croftiella*(克氏轮藻)-*Grogona*(扁球轮藻)组合主要分布于以红色沉积为主的半旋回“Ⅱ”(图3),轮藻生长于小型洼地、沼泽和静水滨湖地带,与层序基准面下降之后的水上沉积有关。这两套化石分别构成了一个具有先后时间顺序的层序生物地层单元并能相互对比。在构成这些单元的基准面旋回和古生物化石这两个要素中,化石主要分布井段均在半旋回范围内(表2),化石带的顶、底界为半旋回边界。与上油砂山组中期基准面旋回基础上的层序生物地层单元相比,这里的中期基准面半旋回提供了层序生物地层格架。可见,化石分布时限越短,层序生物地层单元的划分精度就可以越高。

2.3 “红层”顶的时代与沉降中心迁移

“红层”是下干柴沟组下段中、下部呈红、绿、黄及杂色冲积河流相岩石的总称,是一重要的岩相识别标志,一般厚几十米至300 m不等。红柳泉-跃进地区层序生物地层等时对比发现,“红层”顶界在高分辨率层序地层格架中因地理位置不同而处于不同的基准面旋回——即时代不同,

表2 柴达木盆地西部下干柴沟组基准面半旋回中的化石分布

井号		基准面半旋回		化石	
		名称	深度/m	名称	深度/m
红深6井	Ⅲ	2 861 ~ 2 923	南星介	2 900	
	Ⅱ	2 923 ~ 3 018	轮藻	2 930 ~ 3 020	
红13井	Ⅲ	3 590 ~ 3 664	南星介	3 630	
	Ⅱ	3 664 ~ 3 781	轮藻	3 650 ~ 3 720	
砂西1井	Ⅲ	3 694 ~ 3 771	南星介	3 700	
	Ⅱ	3 771 ~ 3 864	轮藻	3 760 ~ 3 850	
跃127井	Ⅲ	3 159 ~ 3 240	南星介	3 170	

从红深6井到跃127井,红层顶界从半旋回“Ⅱ”上部迁移到半旋回“Ⅲ”中部(图3),说明红-灰沉积转化期在靠西的红深6井地区更早,接着随时间推移向东梯次出现红灰岩相转化面,说明湖泊范围从西部山前向东部盆地方向逐步扩大。最上部基准面半旋回“Ⅳ”中,砂西构造以西的红柳泉构造红13井、红深6井等均见氧化条件成因的杂色泥岩夹层,而砂西1井及其以东各井均为较深湖相灰色泥岩。基准面旋回控制的地层单元分布型式的这种变化规律为地层和沉积相预测^[12~19]提供了前提,说明西部近山前的湖泊早发育、早结束,随着层序的发育,下干柴沟组下段沉降中心从阿尔金山前红柳泉地区向东南部砂西、跃进地区迁移。

3 井-震一体的层序生物地层格架

单井层序划分结果经过连井地震剖面的标定,互相校正之后才能成为较为完整的等时界面体系。柴达木盆地跃进-乌南地区新生界做了大量井-震一体的层序生物地层对比工作,在不同断块同一标准化石与地震标准层配合,实现区域等时地层对比。首先在单井以中期基准面旋回为层序划分单元,标准化石 *Cyprideis*(正星介)、*Hemicyprinotus*(半星介)、*Austrocypris*(南星介)等控制层序的年代,然后将划分结果标定在地震剖面上远距离追踪对比,形成井-震等时对比体系(图4)。地震标准层($T_2, T_3, \dots$)是一个物理相关面,它与附近标识地质年代的古生物化石建立了层序生物地层单元,在纵向上多个层序生物地层单元的叠加构成井-震一体的层序生物地层格架。同一构造运动和古气候背景下,基准面旋回的同步性以及生物演化阶段的可对比性是层序生物地层格架跨断层、跨相区建立的理论基础。

4 现状与展望

柴达木盆地层序生物地层学研究从单井层序划分到连井对比,再到标准化石约束下的跨构造三维(二维)地震校对,是一个尝试性的研究,具有明显特色。但其古生物、测井和地震等多学科相结合的方法是大势所趋,如吐哈油田在古生界地层对比中大量应用露头与井下结合的岩石地层和

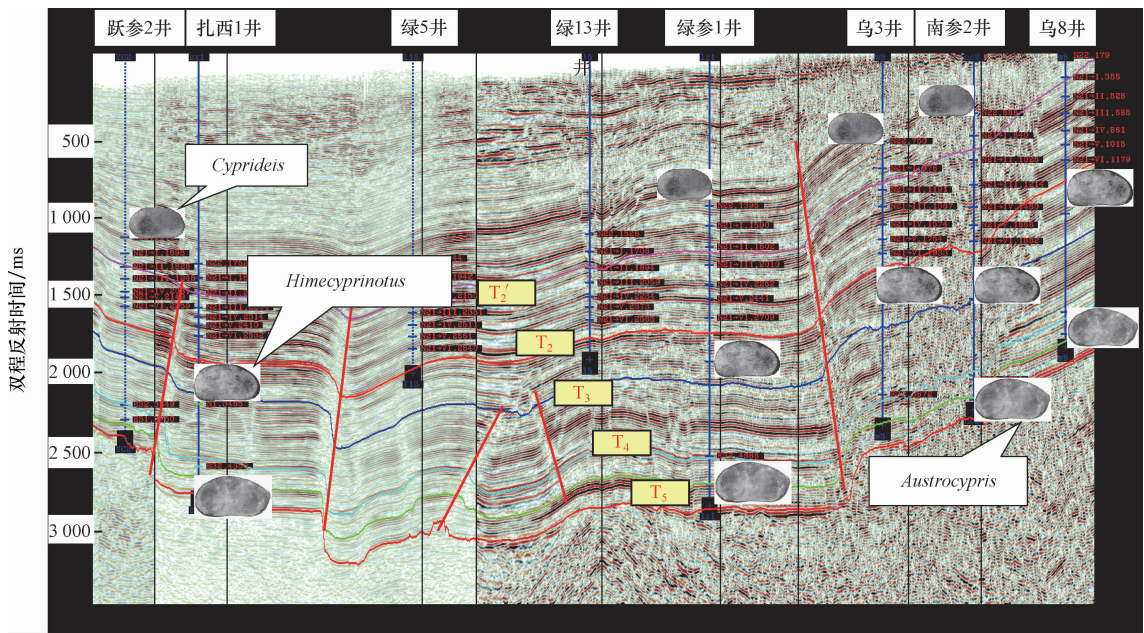


图 4 柴达木盆地跃进-乌南地区新生界井-震等时对比

Fig. 4 Well-tie seismic section showing isochronal stratigraphic correlation in Yuejin-Wunan area of the Qaidam Basin

生物地层方法,辅之以测井和地震资料,同时应用了地球化学资料^[14],展现了地层研究中多学科、多方法综合应用的前景。为使地层研究在勘探地质和开发地质继续产生更大的作为,可从 3 个方面加深、加强层序生物地层学研究:1)更系统的露头 and 岩心多门类古生物化石分析;2)更精细的钻井高分辨率层序地层划分;3)更积极的三维地震资料应用。

5 认识与结论

- 1) 在柴达木盆地西部咸东 1 井-咸 8 井地区上油砂山组下部建立的层序生物地层单元是划分上油砂山组与下油砂山组的依据。高分辨率层序地层学中期基准面旋回和稳定化石带是层序生物地层单元的构成要素。
- 2) 古近系下干柴沟组下段可划分为两个中期基准面旋回。在浅湖区浮游南星介 *Austrocypris* 出现在基准面上半旋回,在静水滨湖和沼泽生长的克氏轮藻 *Croftiella* 等出现在基准面下降半旋回内,据此可建立以基准面半旋回为层序框架的层序生物地层单元。因此,层序生物地层单元的精度依基准面旋回和化石带范围而定。
- 3) 在层序生物地层格架内的等时对比发现,红柳泉-跃进地区下干柴沟组下段红层顶界时代

由西向东变新,反映了随时代变新沉积范围从西部山前向东部盆地方向逐步扩大的地质历史。

4) 单井层序划分结果在地震时间剖面上对比较正后才能形成较为完善的等时界面体系。古生物、地震资料与高分辨率层序地层学的结合是建立跨构造层序生物地层格架的有效手段。

参 考 文 献

- 1 马永生,储昭宏. 普光气田台地建造过程及其礁滩储层高精度层序地层学研究[J]. 石油与天然气地质,2008,29(5):548 ~ 556
- 2 马洪,辛仁臣,刘豪,等. 松北宾县-绥化地区下白垩统沉积相研究[J]. 沉积学报,2009,27(4):592 ~ 605
- 3 陈欢庆,朱筱敏,董艳蕾,等. 深水断陷盆地层序地层分析与岩性- 地层油气藏预测——以中国南海 C 盆地深水区古近系 T 组为例[J]. 石油与天然气地质,2009,30(5):626 ~ 34
- 4 青海石油管理局勘探开发研究院,中国科学院南京地质古生物研究所. 柴达木盆地第三纪介形类动物群[M]. 南京:南京大学出版社,1988
- 5 唐伦和,狄恒恕. 柴达木盆地轮藻化石[M]. 北京:科学技术文献出版社,1991
- 6 杨藩,唐文松,魏景明,等. 中国油气区第三系(Ⅱ):西北油气区分册[M]. 北京:石油工业出版社,1994
- 7 覃建雄. 层序地层学发展的若干重要方向[J]. 岩相古地理,1997,17(2):63 ~ 70
- 8 邓宏文,王红亮,祝永军. 高分辨率层序地层学——原理及应用[M]. 北京:地质出版社,2002