

断陷湖盆层序地层学的几点进展

蒲仁海

(西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 西北大学地质系, 陕西西安 710069)

摘要: 断裂活动和湖盆基底下降会造成湖面下降, 湖平面变化时, 对深陷带和陡坡带的水深及沉积物类型影响不大, 因此湖平面相对变化主要表现在缓坡带。由于断陷湖盆往往具多物源特征, 同期 4~6 级层序单元沉积时不同位置的可容空间的变化类型不同, 因而可出现进积、加积和退积 3 种垂向序列, 这会给钻井小层对比带来困难。并非湖盆边缘处处发育粗粒沉积相, 粗粒沉积体系仅仅发育在主河口附近。潮湿气候条件下, 粗粒沉积主要发育在低位体系域中; 干旱气候条件下, 粗粒沉积物较易发育在高位期沉积中。平面上粗粒沉积体系最发育的地区是轴向带。湖平面的变化是构造沉降的大旋回和气候波动的小旋回共同作用的结果。

关键词: 断陷湖盆; 缓坡带; 湖平面变化; 层序地层学

作者简介: 蒲仁海, 男, 43 岁, 副教授(博士), 综合油气勘探

中图分类号: P539.2 文献标识码: A

多年来不同学者从不同角度对断陷湖盆的层序地层学做了大量深入的研究, 积累了丰富的研究成果。总结这些成果可以看出, 与其他沉积背景相比, 断陷湖盆由于受边界断裂活动的控制, 其湖平面变化、沉积序列、粗粒沉积体系的分布模式等都有一些独特的变化。王东坡、刘立^[1]最早注意到了陡坡带和缓坡带在体系域划分对比上的差异, 认为在陡坡背景由于不存在沉积滨线坡折, 因此体系域之间的划分标志可依据半深-深湖体系的存在与否, 若存在半深-深湖沉积体系, 层序内部才可三分。张世奇、纪友亮^[2]指出, 构造和气候变化为陆相断陷盆地层序发育的主控因素, 据此将层序划分出构造层序和气候层序两大类。Cross^[3], 邓宏文^[4,5]则提出了一些在高分辨率等时地层和储层对比及划分方面十分有用的概念, 如沉积物体积划分原理、相分异原理等。冯有良等^[6]对陆相断陷盆地层序地层学模式进行了总结, 归纳了分别与构造、气候、湖平面三大主控因素对应的 8 种层序地层模式, 反映了不同断陷湖盆层序的复杂性与特殊性。本文主要从湖平面的识别、同期湖相地层的非同一旋回的对比关系、粗粒沉积体系预测等几个方面谈谈近几年的一些研究进展。

1 断裂活动对湖平面升降的控制

湖盆水体是有限的, 假如水体体积不变, 断裂活动和湖盆基底下降会造成湖面下降, 这一特征与海相沉积相反。深陷带和陡坡带的下沉和湖面下降对等于缓坡带基底的相对上升和强制性水退。深水区所见的一些浅水成因的分流河道、三角洲等砂体均系此时形成。这些砂体属于低位体系域。由于此时暴露的缓坡带会遭受侵蚀, 使原来的粗粒沉积被侵蚀破坏和向湖盆更低的位置搬运, 因而古代保留下来的粗粒沉积体系多存在于低位体系域中。

Strecker^[7]提出了一个断裂活动与湖平面变化的关系, 假如一个断陷湖盆的降水量略大于蒸发量, 洪水期多余的水沿某种泄水河流流出, 则该断陷湖盆的水体的蓄水量是固定不变的, 这时湖平面的变化可分 3 个阶段。

1.1 阶段 1

断裂活动使谷底翘倾, 陡坡带基地下降, 湖泊水体重新分布, 缓坡带湖岸线朝构造沉降方向迁移发生湖退, 湖范围变小, 但比前期变深。这种强制性水退形成的沉积楔称之为低位楔(图 1A, B)。断陷盆地缓坡带地震剖面上上超点向盆地内部的迁移即指示了这种低位楔的形成。早期水淹没的地带大面积暴露, 它增大了盆地内部可能的泄流面积, 从而有利于盆地暴露边缘的侵蚀。

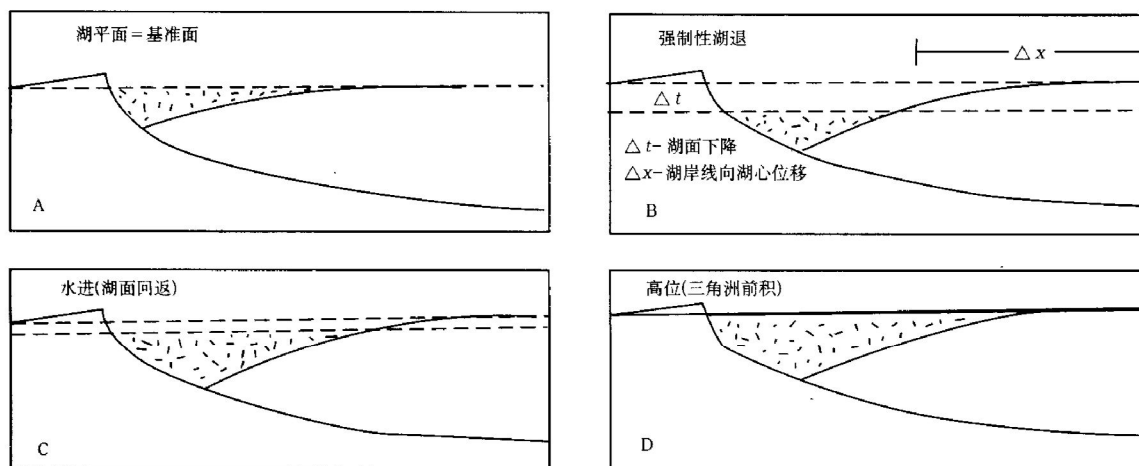
图1 断裂活动引起的湖平面变化^[7]

Fig. 1 Lake level fluctuation caused by fault activity

1.2 阶段2

假如构造沉降前后区域性长期的降水量与蒸发量的供耗关系相对稳定的话,湖泊将再度趋于扩张,形成一个与原来大小相当的水体(图1C),缓坡带的上超地震反射指示了这一湖进过程。

1.3 阶段3

由于上次沉降,沉积物搬运的坡度增大,因而可搬运的沉积物的数量增多,它们季节性或阶段性地供给湖盆,形成高位体系域(图1D)。

以上3个阶段分别形成湖泊层序的低位、水进和高位体系域。

若湖盆水体的补给速度大于边界断裂的沉降速度,由于箕状凹陷两侧的不对称沉降,常常造成一侧湖平面相对上升,而另一侧湖平面相对下降的情况^[8]。

2 缓坡带的湖平面相对变化明显

由于断陷盆地的陡坡带为一陡崖,湖平面变化时,对凹陷中心和陡坡带的水深和沉积物类型影响不大,所以湖退作用和湖平面下降有关的进积序列主要发生在缓坡带。缓坡带坡度越缓,岸线后退的距离就越长,低位期缓坡带暴露和被侵蚀改造的范围就越大。反之,缓坡带坡度越陡,湖退作用就越不明显。尤其在无缓坡带的双断型湖盆中,小规模湖平面变化很难在沉积记录中留下明显的烙印,也就是说,小规模湖面升降改变不了湖底沉积物的性质,从而也就很难反映湖面相对变化的沉积旋回形成。东非坦桑尼亚现代断陷湖盆Tanganyika,湖长80~160 km,宽30~80 km,最大水深可达

1 740 m^[8],如此深的湖泊即使变浅几十米甚至一两百米,深陷带或陡坡带湖底的沉积环境和沉积物类型均不会发生多大变化。因此湖平面的变化主要应从缓坡带或古隆起上及其周围来识别。

3 同期地层可具不同的沉积序列

不同位置的同期4~6级层序单元^[10]的地层可出现进积、加积和退积3种垂向序列,这主要取决于湖盆在该位置的可容空间的变化,即沉积供应与湖面升降的关系。如在湖平面上升时期,远离物源的位置可能出现水体向上变深的退积序列,而主物源河口附近则可能出现沉积物向上变粗的进积序列,而其他地区则可能出现加积序列。由于断陷湖盆往往具多物源的特征,所以在全凹陷或较大范围内精细钻井地层对比(储层或小层对比)中,很难应用旋回法(进积、退积和加积)进行对比。如东濮凹陷桥口斜坡大部分钻井揭示的沙街组三段3~4亚段沉积序列以进积式为主,反映了该区物源供应较丰富,三角洲砂体特别发育,似乎说明湖平面相对变浅,但同期地层在深洼处的濮深10井却以加积为主。在白庙和更深的濮深4、5、12、15井附近则加积、进积均有出现。

4 粗粒沉积体系分布

4.1 河口和岸边

现代断陷湖盆沉积考察表明,并非湖盆边缘处发育粗粒沉积相,粗粒沉积体系仅仅发育在主河口附近。河口间的湖盆边缘浅水区可发育很窄的滩相或碳酸盐岩,它们沿湖岸线分布或发育在古凸

起之上。这种浅水滩相在陡坡带的宽度仅仅数十米至数百米,缓坡带宽度稍大。缓坡带的坡度越缓,该相带越宽。滩砂厚度较薄,以粉-细砂为主,砂粒主要来自河口三角洲,被风浪沿岸线搬运改造而形成的(图 2)。

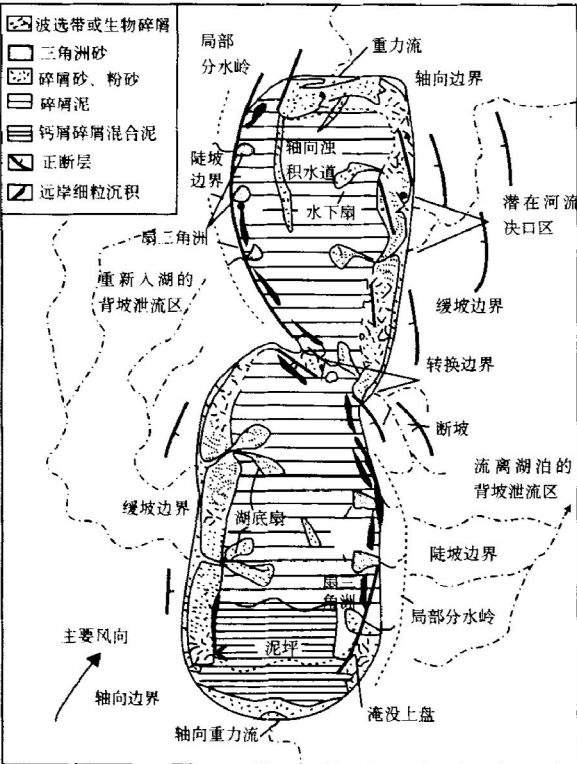


图 2 Tanganyika 断陷湖的现代沉积相带平面展布^[9]
Fig. 2 Plane distribution map of depositional facies in Tanganyika lake

4.2 与体系域的关系

湖湿气候条件下,粗粒沉积主要发育在低位体系域中,这是因为高位沉积物在湖平面下降后容易被侵蚀改造和搬运到湖盆更低的位置(低位体系域中),而难以保留下来^[11, 12]。干旱气候条件下或有蒸发岩伴生的地层中,粗粒沉积物主要发育在高位期,这是因为低位期主要为湖泊浓缩后的蒸发岩沉积,而高位期才有淡水河流或三角洲带入的砂体沉积。平面上粗粒沉积体系最发育的地区是轴向带,因为那里的高位和低位体系域均能较好地保留下来。

Scholz 等^[11]对东非最大的两个裂谷湖泊(Malawi 和 Tanganyika 湖)高分辨率地震资料进行

了研究,发现富砂环境为水下河道和淹没的冲积复合体,从大型侵蚀谷到深水浊积岩及水道体系均有粗粒砂岩的存在。不少粗粒沉积发育在轴向的高位和低位三角洲及缓坡带河道中。在断陷湖边界断裂底部附近低位期发育扇三角洲,高位期则发育水下扇。低位三角洲是裂谷盆地中保存最好的前积相。除构造单元背景对沉积体系分布的控制外,大地构造旋回或气候旋回除控制湖平面的突然变化外,也控制着裂谷湖中的粗粒沉积物的发育^[8]。

东濮凹陷沙河街组三段 3~ 4 亚段层序地层研究表明*,沙河街组三段背景沉积相为深-半深湖及半咸水浅湖,储层主要为轴向河道和分流河道砂体及三角洲砂体,浊积砂体次之。地震相预测的砂体大多以南北向分布。轴向水道和轴向三角洲是发育粗粒砂沉积物的最重要领域,而缓坡带和陡坡带的高位体系域的粗粒沉积大多受沉积后改造侵蚀而难以保留或保留不全。由于受古气候、降雨量和河水注入的影响,该断陷湖沙河街组三段 3~ 4 亚段泥岩中的含砂量与含钙量具明显的消长关系,厚的(> 10 m)低电阻率纯泥岩往往与厚的(> 5 m)三角洲河口坝或分流河道砂伴随出现,说明二者均与同一时期某一河流三角洲带来的大量淡水注入有关。在没有厚砂岩(> 5 m)的井段,则为干燥气候条件下形成的薄的(< 3 m)高阻钙质泥岩、泥灰岩、蒸发岩与低阻纯泥岩的互层。

5 湖平面变化周期与其成因有关

Vail^[10]把层序划为 6 个级别(表 1),认为不同

表 1 层序地层的级别

级别	持续时间/Ma		地层术语	
	间隔	平均		
1	350~ 500	450	巨层序组	
	50~ 100+	80	巨层序	
2	20~ 50	30	超层序组	
	5~ 20	10	超层序	
3	0.5~ 5	1	温室层序	冰期层序
4	0.05~ 0.5	0.1; 0.45	准层序组;	层序
5~ 6	0.01~ 0.05	0.02~ 0.04	准层序;	准层序组;
			层组	准层序
> 6	< 0.01		层; 纹层	准层序;
				层组; 纹层

* 蒲仁海. 东濮凹陷杜桥白地区沙三³⁻⁴层序地层与储层预测研究报告. 2000

级别的层序多由全球海面变化或区域构造运动所造成。Strecker^[7]认为湖平面的变化曲线是由构造沉降的大旋回和气候波动的小旋回叠合而成,湖相体系域划分主要由构造沉降旋回所控制,气候控制的蒸发量与降雨量关系的变化属于体系域内部次一级的旋回(图3)。

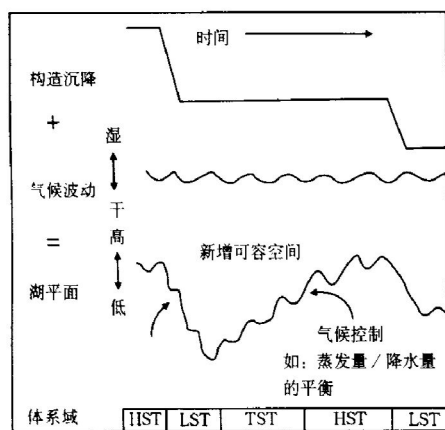


图3 湖平面变化及体系域划分与构造沉降和气候波动之间的关系^[7]

Fig. 3 Relationship between lake level fluctuation, division of related system tracts and tectonic subsidence as well as climate fluctuation

根据化石资料认为,勃海湾盆地沙河街组三、四段沉积期曾发生过海水内泛现象^[13]。沙河街组持续的时间大致为6 Ma^[14, 15],如果将其平均分配到各个段和亚段中,则可知东濮凹陷沙河街组三段发育蒸发岩的4, 2, 1三个亚段的持续时间约为0.4 Ma,沙河街组三段3~4亚段内部薄层状高电阻率钙质泥岩和蒸发岩与低电阻率纯泥岩旋回所持续的时间小于10万年,显然这种旋回(韵律)的形成受不同级别的气候干湿交替的控制。

参 考 文 献

1 王东坡,刘立. 大陆裂谷盆地层序地层学研究[J]. 岩相古地理,

1994, 14(3): 1~9

2 张世奇,纪友亮. 陆相断陷盆地层序地层学模式探讨[J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(5): 20~23

3 Cross T A, Lessenger M A. Sediment volume partitioning rationale for stratigraphic model evaluation and high resolution stratigraphic correlation [A]. In: Gradstein F M, Sandvik K O, Milton N J, eds. Sequence stratigraphy concepts and applications[C]. SPE Special Publication, 1998, 8: 171~195

4 邓宏文. 美国层序地层学研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89~97

5 邓宏文,王纪亮,宁宁. 沉积物体积划分原理——高分辨率层序地层学[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 305~314

6 冯有良,李思田,解习农. 陆相断陷盆地层序形成动力学及层序地层模式[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 119~132

7 Strecker U, Steidtmann J R, Smithson S B. A conceptual tectonostratigraphic model for seismic facies migration in fluvial-lacustrine extensional basin[J]. AAPG Bull, 1999, 83(2): 43~61

8 吴元燕,刘震,王伟华. 歧北凹陷沙河街组层序地层学研究[J]. 沉积学报, 1996, 4(1): 167~175

9 Soreghan M J, Andrews C. Textural and compositional variability across littoral segments of Lake Tanganyika: the effect of asymmetric basin structure on sedimentation in large rift lakes[J]. AAPG Bull, 1996, 80(3): 382~409

10 Vail P R, Audemard F, Bowman S A, et al. The stratigraphic signatures of tectonics eustasy and sedimentology— an overview[A]. In: Einsele G, ed. Cycles and events in stratigraphy[C]. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 617~659

11 Scholz C A, Rosendahl B R, Scott D L. Development of coarse-grained facies in lacustrine rift basins, example from East of America[J]. Geology, 1990, 18(2): 140~144

12 Spencer H W. Seismic expression and geological significance of a lacustrine delta in Neogene deposits of the western Snake Plain, Idaho[J]. AAPG Bull, 1994, 78(1): 102~121

13 王鸿祯,刘本培. 地史学教程[M]. 北京:地质出版社, 1980. 299~305

14 中原油田石油地质志编辑委员会编. 中国石油地质志(卷七)[M]. 北京:石油工业出版社, 1993. 3~67

15 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, 1993

ADVANCES OF SEQUENCE STRATIGRAPHY FOR RIFT LAKE BASIN

Pu Renhai

(Continental Dynamic Laboratory, One of Key Laboratories of the Ministry of National Education,
Department of Geology, Northwest University, Xi'an)

Abstract: Rifting activity and lake basin base subsidence would drop down the lake level. There is no real impact on water depth of deep fault-depression zone and steep gradient zone as well as types of sediments when the lake level changes, therefore, a relatively fluctuation of the lake level could mainly show in slow gentle gradient. The

presentation of three vertical successions of progradation, aggradation and retrogradation would bring about difficulties for the stratigraphic correlation of small units of well sections only because of the rift lake basin commonly with characteristics of multi-clastic – source supply for the same IV to VI order sequence and various types of variation for different accommodation spaces at different sites. Coarse depositional facies are not found to be developed everywhere along the lake margin, instead this system could be only developed near the main river mouth. Coarse sediments are chiefly developed in low stand system tract under damp climate; whereas coarse sediments are easily developed in high stand phase deposition under dry climate. The axial zone where horizontally coarse depositional system is very well developed. The changes of the lake level is believed to be effected commonly by a large cycle of tectonic subsidence and a small cycle of climate change.

Keywords: rift lake; gentle gradient zone; lake level change; sequence stratigraphy

(上接 405 页)

SEDIMENTATION AND DIAGENESIS OF DELTA IN TAIBEI SAG OF TURFAN– HAMI BASIN

Liu Linyu Liu Yiqun Li Wenhui Di Shixing

(*Department of Geology, Northwest University, Xian, Shanxi*)

Abstract: During sedimentation of the Jurassic Sanjianfang Formation in Taibei sag of Tuha basin, northern part of the sag developed into a fan– delta due to its steeper topography whereas southern part of the sag evolved into a braided channel delta owing to its gentle topography. Clastic rock compounds as a main sedimentation body deposited by means of distributary channel sediments are well developed in the sedimentation of the fan delta and braided channel delta. Mechanical compaction, cementation and solution effects are chief diagenesis of Sanjianfang Formation. Clastic rock body in front of the fan delta in northern part of the sag is mainly characterized by mechanical compaction effort and weaker solution effect. Most of primary interparticle pores would disappear in the reformation of intense mechanical compaction of clastic rock body and become a reservoir body of low porosity and permeability with the main feature of cementation of autogenic minerals and solution effect of unstable compositions. Whereas the braided channel delta in southern part of the sag has not experienced mechanical compaction because of its higher content of rigid material, preserved with a large amount of remaining interparticle pores which become a reservoir of good physical property with the reformation of solution effect.

Key words: Turfan– Hami basin; fan– delta; braided delta; sedimentation; distribution; diagenesis