

# 北部湾盆地福山凹陷流沙港组 湖底扇沉积特征及发育背景

刘丽军<sup>1</sup>, 佟彦明<sup>2</sup>, 纪云龙<sup>1</sup>, 旷宏伟<sup>1</sup>, 卢明国<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学 能源系, 北京 100083; 2. 江汉石油学院 地质系, 湖北 荆州 434102)

**摘要:** 福山凹陷流沙港组内发育一套具有一定规模的湖底扇沉积, 其中可识别出浊流沉积、水下泥石流沉积和滑塌堆积 3 种沉积相单元。湖底扇沉积主要发育于低位域及水进早期, 地震剖面特征显示为双向下超的丘形反射复合体, 测井曲线特征为箱形、钟形或漏斗形。湖底扇在平面上由扇根、扇中和扇端沉积所组成。垂向层序上湖底扇下部常见厚度较大的重力流沉积充填的下切水道, 中上部发育多个叠置的浊积扇体组成。湖底扇的发育主要受控于盆地东西两侧的断层活动、湖平面变化及物源供给。流二段时期沉积的较大规模的湖底扇与这一时期的构造快速沉降和充足的物源供给有关。

**关键词:** 湖底扇沉积; 控制因素; 福山凹陷; 北部湾盆地

**中图分类号:** TE121.3

**文献标识码:** A

隶属于北部湾盆地的福山凹陷是一北断南超的箕状断陷, 盆内下第三系从老到新为长流组、流沙港组及涠洲组, 其中流沙港组为该盆地油气重点勘探的目的层位。前人对下第三系地层进行过层序地层学研究<sup>[1]</sup>, 但是对流沙港组发育的湖底扇的沉积特征及主控因素没有更深入的探讨。本文基于大量的岩心观察、详实的钻井资料和地震剖面的综合研究, 阐明了湖底扇的沉积特征和空间分布, 揭示了湖底扇与构造作用、湖平面变化及沉积物供给的内在联系。

## 1 盆地的充填序列

福山凹陷的扩张背景发育于燕山运动第五幕的晚期, 盆内的下第三系厚达 1~ 3km。盆地下部初始裂陷期由冲积相和滨浅湖相沉积组成, 中部的深陷期充填由半深湖和深湖沉积组成, 上部的萎缩期充填由三角洲和河流相沉积组成。湖底扇主要发育在深陷期的流沙港组。

现代和古代的湖盆层序研究表明, 层序界面主要受控于古构造作用和古气候变化<sup>[2-3]</sup>。层序内部的沉积体系域主要依据湖泛面和碎屑体系的进退演化等进行划分。依此原则, 我们将流沙港组划为一个二级层序, 内部的流一、流二和流三段每段划为

1~ 2 个三级层序, 而湖底扇在各个三级层序的低位域和湖侵体系域出现(图 1)。

## 2 湖底扇的沉积特征

流沙港组内发育的湖底扇体系具有特定的沉积类型和构成样式。结合地震、测井及岩心资料分析可识别出 3 种主要的沉积相单元(表 1), 即浊流沉积、水下泥石流沉积及滑塌堆积(图 2)。

### 2.1 浊流沉积

浊流沉积发育于水体较深的部位, 其特征可由鲍马层序来描述, 最常见的是 *ae*、*abe*、*abce* 组合等, 其岩性主要为粉砂至中、细砂岩, 底部可见槽模、沟模及重荷模等。另见密度相对较高的浊流沉积, 岩性组成一般为中、粗砂级, 常含有细砾组分。粗尾粒序层理、平行层理、中至大型交错层理垂向规律出现, 构成似鲍马序列, 如 *abc*、*abe*、*abce* 等。此类沉积常发育在湖底水道内, 并常与水下泥石流沉积共生。

### 2.2 水下泥石流沉积

水下泥石流沉积通常呈块状, 无分选、无粒序, 但其顶部可见正粒序。它一般为水道的充填体, 也可呈席状产出。按其基质的含量可将其分为富基质的和贫基质的两类, 研究区以富基质者为主。

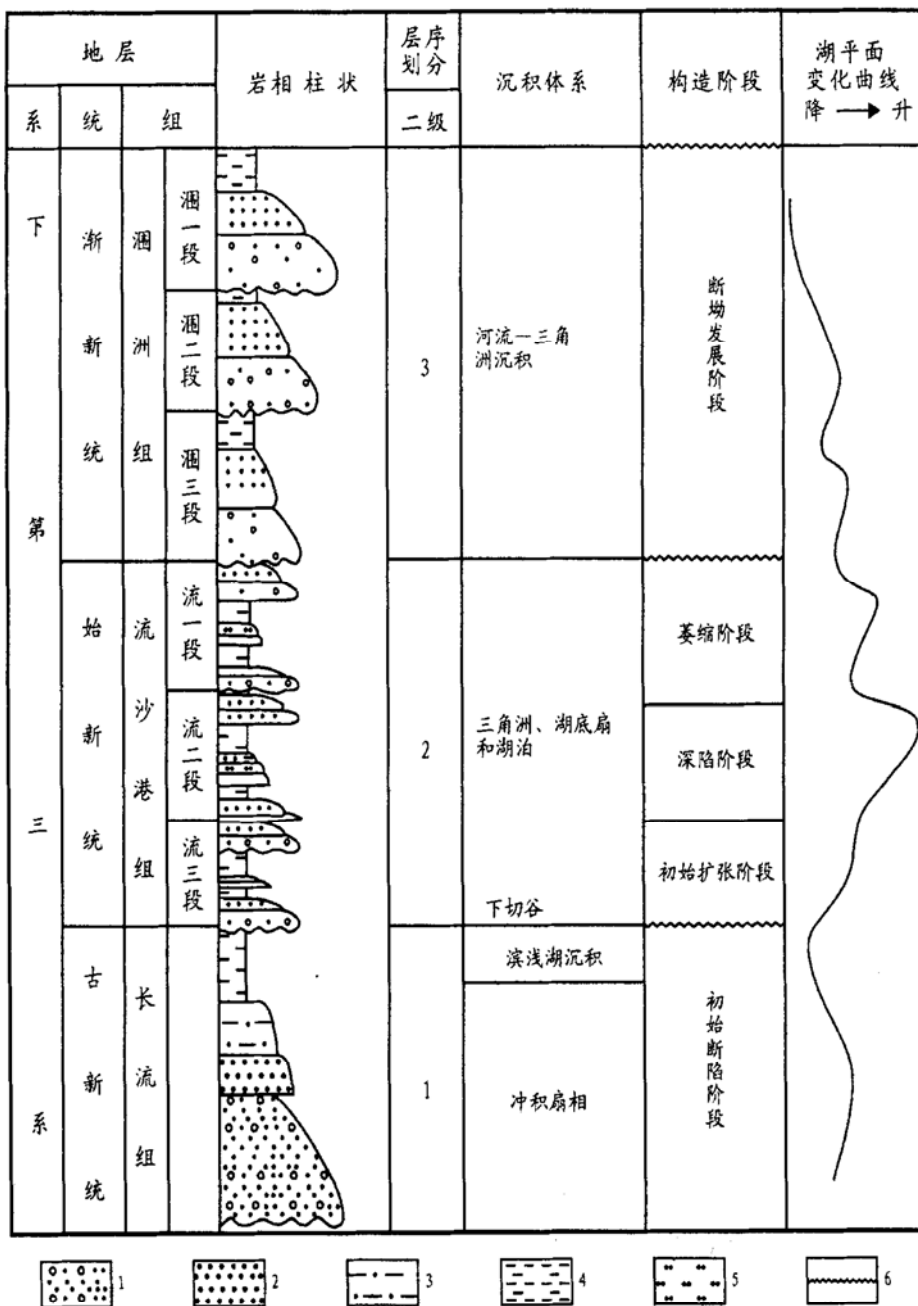


图 1 福山凹陷下第三系充填序列图

1. 扇砾岩; 2. 河流-三角洲沉积; 3. 滨浅湖-三角洲前缘; 4. 半深湖-深湖沉积; 5. 湖底扇沉积; 6. 不整合面  
 Fig. 1 Lithostratigraphic filling succession of the Lower Tertiary in the Fushan Depression

表 1 福山凹陷流沙港组湖底扇主要的沉积相单元  
 Table 1 Several main sedimentary facies types of the sublacustrine fan in the Liushagang Formation of the Fushan Depression

沉积单元	岩相组成	识别特征和成因解释
滑塌沉积	泥岩、角砾岩体或滑塌变形层	具“乱岗状”杂乱反射结构, 可变振幅, 连续性差一中等, 可观察到滑塌断裂面, 是沿斜坡中下部发育的重力滑塌块体, 测井曲线形态为箱状
泥石流沉积	块状含砾泥岩、泥质砾岩或泥岩块体	块状, 杂乱、弱振幅、乱岗状、短波状或丘状的反射结构, 是滑塌产生的, 发育于盆地深处较陡处, 测井曲线形态为箱状
浊积岩沉积	块状含泥砾砂岩、细砂岩、粉砂岩及砂-泥互层, 底部可见槽模、沟模及重荷模等	中-强振幅, 连续-中等连续亚平行反射, 侧向迁移叠置, 箱形、倒圣诞树形测井曲线形态, 块状、递变、平行或交错层理, 发育于水体较深的部位

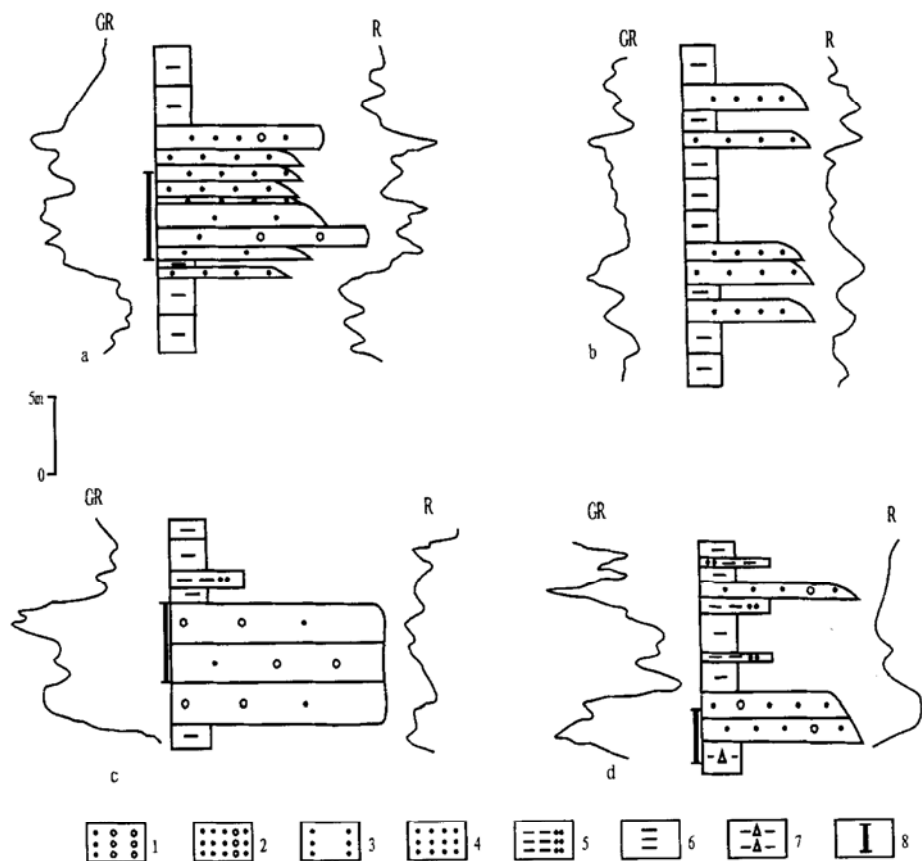


图 2 湖底扇的沉积相单元  
 a. 密度较高的浊流沉积; b. 具鲍玛序列的浊流沉积; c. 水下泥石流沉积; d. 滑塌角砾岩沉积  
 1. 含砾砂岩; 2. 含砾砂岩; 3. 粗砂岩; 4. 细砂岩;  
 5. 粉砂质泥岩; 6. 泥岩; 7. 滑塌角砾岩; 8. 取心位置

Fig. 2 Several sedimentary facies types of the sublacustrine fan

### 2.3 滑塌堆积

滑塌堆积既有以塑性变形为主的滑塌褶皱,也有滑塌作用较强烈的滑塌角砾岩。上述这些沉积相单元与半深湖泥岩及重力流沉积充填的下切水道共生,发育在盆地水体较深的部位。

湖底扇的测井曲线特征为箱形和钟形。在地震剖面上,湖底扇的反射特征为丘形地震相,典型剖面为测线 96-423。CDP 481-241 之间为中振中连丘形地震相,内部反射结构呈丘形充填,终止于丘状体内,左右两侧地层与丘状体界面呈上超接触,丘状体上部地层形成披盖(图 3)。

在钻井剖面的垂向层序上,湖底扇下部常见厚度较大的重力流沉积充填的下切水道,中上部发育多个叠置的浊积扇体组成(图 4)。

从大量的钻井资料和岩心观察可看出,底部的泥石流沉积向上过渡为密度较高的浊流沉积或具鲍玛序列的浊积岩,最后为半深湖或深湖的泥质沉积。这是流沙港组较为常见的层序结构,与一些海相重力流沉积特征和充填样式相似<sup>[4]</sup>。

湖底扇的平面分布从内到外沉积单元类型的变化非常明显,从扇根处粗粒度、分选差的泥石流沉积

—高密度浊流沉积—扇中部位的粒度较细、分选较好的上叠扇砂体—粒度最细、连续沉积的扇端泥岩。

## 3 发育背景和控制因素探讨

### 3.1 构造因素对湖底扇发育的影响

在裂谷或断陷盆地中,构造演化的阶段性和幕式的裂陷作用常常控制着高级别层序和沉积体系域的总体演化,盆地的古构造格架控制着沉积体系和沉积相带的空间分布。长期活动的同沉积构造,特别是同沉积断裂可形成控制着湖盆沉积层序和沉积体系域发育的“构造坡折带”,它是洼陷内控制低水位扇发育的重要因素<sup>[5]</sup>。

福山凹陷下第三系自古新世以来经历了喜山运动第一幕的裂陷作用,盆地内断裂活动不均衡、不同步。北部较南部剧烈,为南高北低的箕状形态,加之这一时期区域性湖平面上升,导致了深水环境的出现;而南部的海南斜坡隆起的发育,更有利于来自南部的大量碎屑物快速向深水盆地堆积。

控制福山凹陷湖盆的两个大的构造坡折带为北

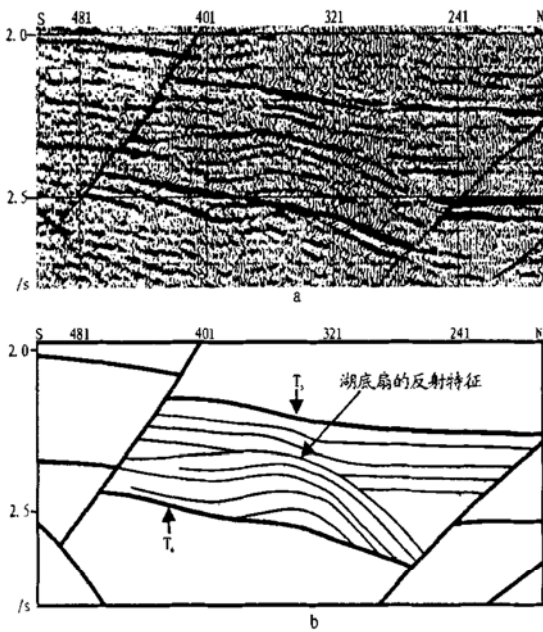


图 3 湖底扇地震反射特征  
a. 地震剖面; b. 解释剖面

Fig. 3 Seismic reflection characteristics of the sublacustrine fan

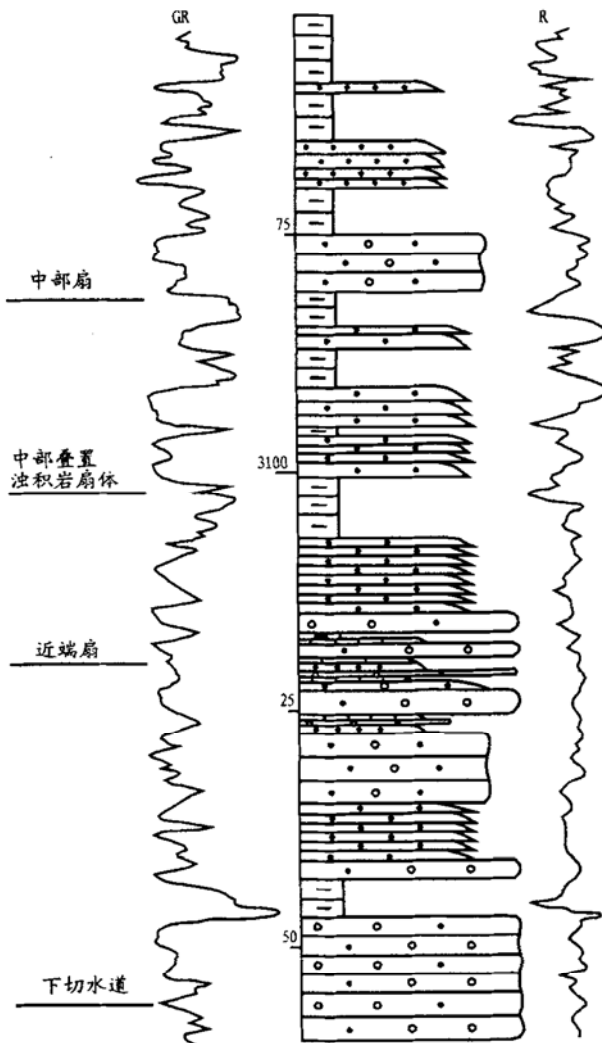


图 4 湖底扇的垂向沉积序列

Fig. 4 Vertical sedimentary succession of the sublacustrine fan

西方向的博厚断裂带和北东方向的长流断裂带。由于两个断裂带活动时间不一致, 福山凹陷基本为一个半地堇的构造古地形, 西部的沉降中心稍低于东部, 沉积厚度稍大于东部。在流三期, 北西向的博厚断裂带和北东向的长流断裂构造活动较弱, 凹陷缓慢稳定沉降, 在永安、马衮处形成小型湖底扇沉积, 低位域发育, 湖侵体系域不甚发育。流一段沉积时期, 为凹陷的萎缩阶段, 西侧的博厚断层急剧抬升, 造成一些地层被剥蚀, 南部的海南隆起急剧隆升造成全凹陷的整体抬升, 断裂活动的影响随之减小, 此时沉积的是一套低位域的沉积体。由于西部的部分地层被剥蚀, 西部物源不如流二期的充足, 因此朝 2、福参 1 井附近的湖底扇规模减小, 而永安、马衮附近的湖底扇因为南部的辫状河三角洲裙的再次推进而变大, 白莲次凹处的湖底扇消失。流二段沉积时期, 东西两侧的断裂活动更为强烈, 凹陷呈大幅度沉降, 可容纳空间大于沉积物供给速率, 凹陷与周边高差加大, 蓄水湖盆面积扩大, 为凹陷最大的湖盆扩张时期。此时湖侵体系域极为发育, 湖平面迅速上升至最大湖泛面, 低位域不发育, 南部的辫状河三角洲裙向岸方向退缩, 而西部、东北部的小型辫状河三角洲由于水体上升消失, 湖域面积最广。由于西部博厚断裂带的剧烈活动, 西部形成一陡坡带, 西部的物源快速滑塌, 在朝 2、福参 1 井附近形成小型湖底扇, 永安、马衮处的湖底扇规模较流三期的稍小。根据地震资料分析, 在白莲次凹发现小型湖底扇(图 5)。

### 3.2 湖平面变化对湖底扇发育的影响

湖底扇主要发育在层序的低水位期及水进早期。低位域即湖平面下降期间, 南部的三角洲前缘带离盆地中心近, 向前推进的范围大、距离远, 易在湖盆深处形成湖底扇沉积。而在高位域时, 湖平面处于上升期, 三角洲前缘带离湖盆中心距离较远, 向湖岸方向退积, 不易形成湖底扇沉积。

### 3.3 物源供给对湖底扇发育的影响

该区沉积物主要物源来自南部斜坡的辫状河三角洲裙, 次要物源来自于西部和东部的小型辫状河三角洲。南部充足的物源使得北部永安附近的湖底扇沉积存活时间最长; 而西部 FC1 井附近和东部白莲次凹附近的湖底扇沉积因西部及北部不太充足的物源, 其沉积规模和存活时间都较永安的小、短。

## 4 结论

a) 福山凹陷的流沙港组发育一定规模的湖底

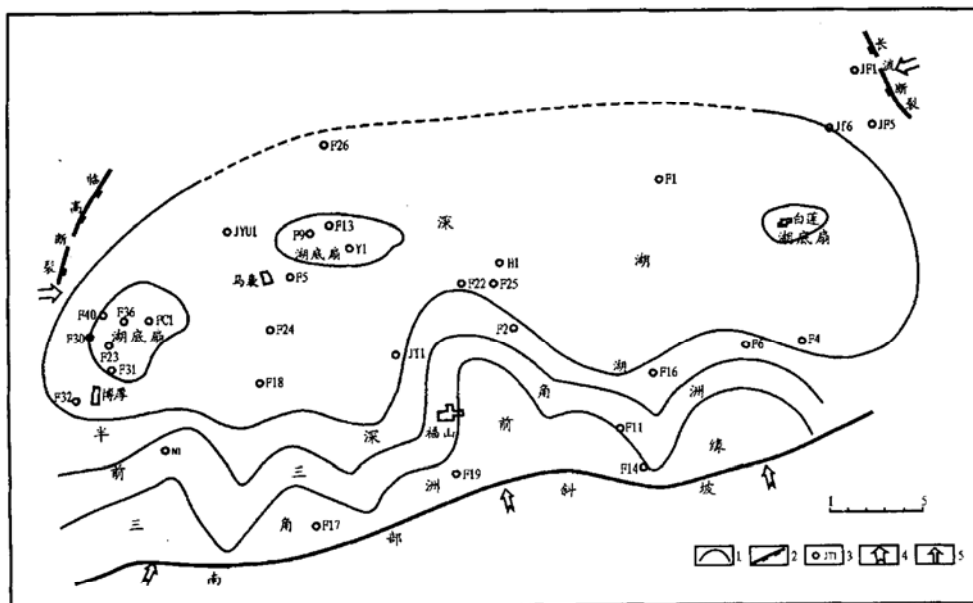


图 5 福山凹陷下第三系流沙港组流二段沉积相分布图

1. 相界线; 2. 断层; 3. 井位及井号; 4. 主要物源; 5. 次要物源  
Fig. 5 Distribution of sedimentary facies for the second member of the Liushagang Formation in the Lower Tertiary of the Fushan Depression

扇沉积, 其位置主要在层序的低位域及湖侵体系域的早期。

b) 湖底扇沉积主要包括 3 个重力流沉积相单元: 浊流沉积、水下泥石流沉积和滑塌堆积。其中, 浊流沉积包括密度较低的浊积岩和密度相对较高的浊流沉积。前者的垂向层序具经典的不完整的鲍玛序列; 后者的垂向上构成似鲍玛序列。3 种沉积相单元与半深湖—深湖暗色泥岩和由重力流沉积充填的下切水道相伴生, 发育在盆地水体较深的部位。

c) 湖底扇的发育受控于构造活动、湖平面变化和物源供给。福山凹陷西侧的博厚断层和东侧的长流断层的活动控制着盆地内湖底扇的发育, 湖平面下降期间是湖底扇相对发育的时期, 南部斜坡主要物源的充分供给以及西部、东部次要物源的补充为盆地深处湖底扇的形成发育提供了必要条件。

d) 构造因素在流二段沉积时期对湖底扇发育的控制最为强烈。

参考文献:

- [1] 杜振川, 魏魁生. 南海北部湾盆地北部凹陷涠洲组层序地层格架及特征[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 563- 568.
- [2] Rosendahl B R, Reynolds D J, Lorber P M, et al. Structural expressions of rifting — lessons from Lake Tanganyika, Africa[A]. Sedimentation in African Rift[C]. Geological Society Special Publication, 1986, 25: 29- 43.
- [3] Cohen A S. Tectonostratigraphic model for sedimentation in Lake Tanganyika, Africa[J]. AAPG Memoir 50, 1991: 137- 149.
- [4] 林畅松, 杨起, 李思田. 贺兰坳拉槽重力流沉积特征和充填样式[J]. 现代地质, 1991, 5(3): 252- 262.
- [5] 林畅松, 潘元林, 肖建新. “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, 2000, 5(3): 260-265.

### SEDIMENTARY CHARACTERISTICS AND DEVELOPING BACKGROUND OF THE SUBLACUSTRINE FAN IN THE LIUSHAGANG FORMATION OF THE FUSHAN DEPRESSION , THE BEIBUWAN BASIN

LIU Li-jun<sup>1</sup>, TONG Yan-ming<sup>2</sup>, JI Yur-long<sup>1</sup>, KUANG Hong-wei<sup>1</sup>, LU Ming-guo<sup>1</sup>

(1. Department of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;  
2. Department of Geology, Jiangnan Petroleum College, Jingzhou, Hubei 434102, China)

**Abstract:** Some scale of sublacustrine fan deposit was developed in the Liushagang Formation of the Fushan De-

pression, the Beibuwan Basin. Three main sedimentary facies units can be recognized: turbidity current deposit, underwater debris flow deposit and olistostrome. The sublacustrine fan was developed in the lowstand and transgressive system of the Liushagang Formation. Some bidirectional down-lapped reflection structures showed on seismic profiles. The characters of well logging curves are box, bell or funnel type. The sublacustrine fan was composed by three parts on the surface: the proximal, the middle and the distal part. The lower part of the sublacustrine fan vertically developed relatively thick incised valley infilled by gravity flow deposit. Many small turbidite fans accumulated on the vertical sequence. The development of the sublacustrine fan was controlled by the activity of the east and west bilateral faults of the basin, the supply of sediment sources and the change of lake surfaces. The bigger-scale sublacustrine fan in the second episode of the Liushagang Formation was related to rapid structural subsidence and sufficient sediment supply.

**Key words:** sublacustrine fan deposit; controlling factor; the Fushan Depression; the Beibuwan Basin

---

(continued from page 109)

Two methods should be emphasized: the mechanical and historical synthetic analysis of geological structures and the analysis of basin geodynamics. Because of the complexity and multiplicity of relations between “basin” and “orogen”, the prerequisite of basin-orogen analysis was to give a time restriction, namely, a unified kinematic process and geodynamic mechanics between orogenesis and basin development would be discussed within a relatively short interval.

The kinematics of “basin”-“orogen” coupling could be explored from four aspects. 1) Compression and tension should be interdependent spatially, and the attention be paid to some large or super-large basins related to collision and post-orogenic basins. 2) There were two kinds of strike-slip faults: one was a part of the global shearing net, whose importance in tectonics of China Continent was once neglected; another was what was in the same kinematic system with tensile or compressional faults. 3) The constraints of deep-seated courses resulted in tectonic overfly, the “basin” (or “orogen”) of shallow structural layers being co-existed with the “orogen” (or “basin”) of deeper structural layers. 4) Tectonic escape might be regarded as a combination of the transformation of strike-slip faulting and the affection of deep-seated courses, but the extension and strike-slipping in escaping areas should have some distinct characters.

The key to understanding the inheritance or decoupling of the Indosinian “basin”-“orogen” relation was a tectonic differentiation between the west and east parts of the China-SE Asia Subcontinent occurred from the Jurassic. The east part became a wide Yanshanides, where the Indosinian “basin”-“orogen” relation was decoupled. A subduction-type orogeny occurred in the west part in the Early Cretaceous, which did not decouple the Indosinian “basin”-“orogen” relation. Sandwiched in between the both Yanshanides, there existed a relatively stable zone not involved in the Yanshanian orogeny, where the reformation of the Himalayan movement was the crux if basins were reserved and oil-gas accumulation was formed.

**Key words:** time constraint; composite continent; tectonic outlook of mobilism; orogenesis-coupled/decoupled basin development; kinematics