

北部湾盆地涠洲组复合扇体特征及油气勘探意义*

杜振川¹, 魏魁生²

(1. 河北建筑科技学院资源系, 河北邯郸 056038; 2. 中国地质大学能源系, 北京 100083)

摘要: 北部湾盆地第三系涠洲组的层序地层可分为3个超层序和9个三级层序, 复合扇主要发育于涠洲组下部超层序1的层序2和层序3低水位体系域。岩性较粗, 主要有块状混杂砂砾岩, 具递变层理的含砾砂岩及中粗砂岩、块状层理砂岩、具交错层理的砂岩、具波状或变形层理的粉砂岩及水平纹理的泥质岩、典型浊积岩等岩相。在分布上和形态上主要由低水位沉积期重力流水道、辫状河道成因形成的扇朵叶体互相叠置而成, 具有牵引流及重力流成因的双重特点。扇体由碎屑沉积物自湖边缘斜坡向湖盆逐步进积, 自下而上形成远端扇、中部扇和近端扇的沉积序列。测井曲线为高、中幅指形或齿形及齿化箱形和钟形, 地震反射呈丘状凸起。复合扇处于湖相生烃泥质岩的包围之中, 具有非常有利的生、储、盖组合, 且物性较好, 常形成地层圈闭或构造-地层复合圈闭油气藏。

关键词: 北部湾盆地; 复合扇体; 层序地层; 岩相; 意义

第一作者简介: 杜振川, 男, 43岁, 副教授, 沉积学与煤、石油地质学

中图分类号: P618.130.2⁺2 **文献标识码:** A

北部湾盆地是南海北部的一个断陷沉积盆地, 盆地从形成到消亡经历了初始裂陷(长流组)、深陷(流沙港组二、三段)、萎缩(流沙港组一段)、再裂陷(涠洲组二、三段)、收缩消亡(涠洲组一段)和上第三系拗陷等6个阶段, 在盆地内充填了以碎屑岩为主、厚度近万米的新生界。涠洲组发育于断陷作用阶段的湖盆再裂陷-收缩消亡期, 随基底的沉降, 水域范围逐渐扩大, 由浅到深, 沉降速率大于沉积速率, 地层呈明显上超, 发育了一套以碎屑岩为主的河、湖相沉积。

1 层序划分

北部湾盆地涠洲组可划分出3个超层序9个三级层序。复合扇体主要发育于涠洲组下部超层序1的层序2和层序3低水位体系域。

从盆地沉积演化序列来看, 超层序1处于长周期基准面旋回^[1]下降至上升早期, 此期沉积盆地主要受边界断层控制, 盆地周缘高部位暴露在基准面之上而遭受强烈的剥蚀作用, 断裂活动造成的巨大地形高差和快速的沉积物供应, 导致洪水携带大量沉积物入湖而形成各种扇体。在缓坡发育有下

切河道, 呈S型和斜交S复合型辫状河三角洲、斜坡扇、复合扇等沉积体系; 在生长断层的内侧形成冲积扇、近岸扇及扇三角洲沉积(图1)。

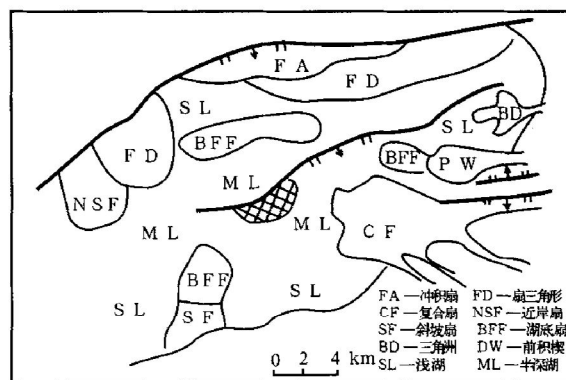


图1 北部湾盆地北部凹陷层序2沉积体系分布

Fig. 1 Distribution of sedimentary systems in northern depression of Beibuwan basin

层序2发育期, 由于盆地北部1号边界断裂的活动, 形成“北断南超”的箕状断陷, 盆地内中央低隆起又把盆地分成南北两个深水区, 沉积地层在东部及南部缓坡逐渐变薄尖灭, 水体变浅, 边缘相发育, 岩性以粗粒沉积占主导地位。低水位时期, 凹陷东部和南部缓坡大部分暴露, 凹陷东部河道下切作用尤为活跃, 河道一直延伸至凹陷内部。基准面的快速下降, 在盆地内形成具典型双向下超地震反射特征的湖底扇, 随沉积物的不断充填, 坡折带以

* 地质行业基金项目(92010)

收稿日期: 2001-11-20

下的可容空间减小, 基准面由下降到缓慢上升, 形成由碎屑流、浊流和辫状河道组成的斜坡扇和低水位前积楔状体, 并下超在湖底扇之上。在盆地的东部由于盆内2号断裂及分支断裂的活动, 形成一断裂峡谷, 沉积物在重力的作用下沿峡谷水道拖曳入湖, 与东南部缓坡辫状河道所携带的沉积物在湖盆边缘汇合。沉积物的不断供给使复合扇体从盆地东部斜坡向盆地方向不断进积, 正是这种沉积物的不断地叠覆、推进和迁移, 一系列特征相似的小扇体组合形成了复合扇体。

层序3发育期, 沉积背景与层序2相似, 盆地内2号断裂及分支断裂的活动, 在凹陷东部形成“V”型断槽; 基底连续沉降, 使湖区扩张变深, 多水系式河流下切作用强烈, 深入腹地半深湖区; 在东南部缓坡多个辫状河道与凹陷东部“V”型断槽水道拖曳入湖沉积物在湖盆汇合形成重力流、辫状河三角洲复合体(图2)。从涠12-1-1等井分析看, 复合扇体分流水道及河口坝砂体较层序2沉积期厚, 粒度相对较粗, 泥岩厚度、层数减少, 反应了沉积物供应的增加, 沉积速率的增高。在涠12-1-3井的4套油层中有3套隶属于低水位体系域复合扇体。

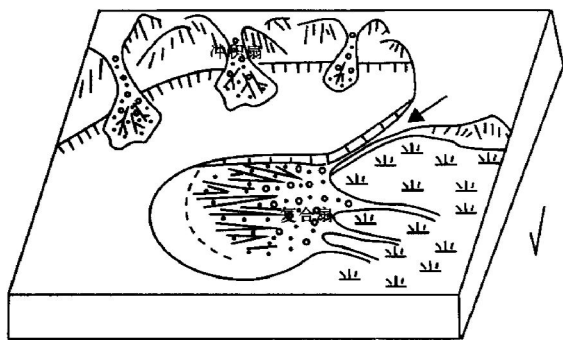


图2 北部湾盆地涠洲组复合扇体的成因模式

Fig. 2 Origin model of the composite fan in Weizhou Formation of Beibuwan basin

超层序2发育于长周期基准面旋回快速上升期, 基底的连续沉降, 可容纳空间不断增大, 侵蚀作用减弱, 沉积物供应逐渐减少, 湖盆深陷扩张, 半-深湖沉积普遍发育, 在盆地内形成以细粒为主的沉积。

超层序3发育于长周期基准面旋回下降期, 由于断陷作用大为减弱, 影响沉积层序的主要因素为气候和沉积物供应。沉积物向凹陷进积, 湖域由大变, 水体变浅, 除凹陷边部有河流-冲积体系外, 各体系域沉积相分带性不甚明显。此后, 断裂活动

基本停止, 湖盆逐渐淤满, 盆地消亡, 取而代之的是河流-泛滥平原沉积(图3)。

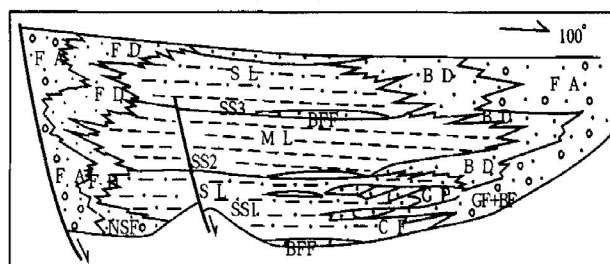


图3 北部湾盆地北部凹陷涠洲组
近东西向层序地层剖面

Fig. 3 Nearly east to west sequence stratigraphy section from

Weizhou Formation in northern depression of Beibuwan basin

FA—冲积扇与河流沉积; FD—扇三角洲; NSF—近岸扇; BD—三角洲; CF—复合扇; GF+FL—重力水道与辫状河道沉积; SL—浅湖;

ML—半深湖; SS(1~3)—超层序

2 沉积特征

复合扇体是指在低水位或高水位沉积期, 主要由重力流水道、辫状河道等多种成因形成的扇朵叶体相互叠置而形成的扇形堆积体^[2], 因此复合扇体具有牵引流及重力流成因的双重特征。

2.1 岩石学

岩性上主要为粗粒或较粗粒碎屑沉积物, 它夹在浅水-较深水泥岩之间, 构成了砂岩、粉砂岩和泥岩频繁的韵律层系。单个韵律层系从数厘米至几米不等, 韵律层主要表现为向上变细的层序, 在剖面中由以向上变细的正旋回为主和某些向上变粗的反旋回构成了总体向上变粗和砂体单层厚度向上增加为特征的沉积旋回。据涠12-1-1, 2, 3钻井岩芯观察, 复合扇体主要有以下沉积岩相。

块状混杂砂砾岩相。主要由分选差、大小混杂的砂、砾组成, 混杂结构, 砾石为次圆状, 砾石表面多见大小和形状不一的碰撞坑, 表明在搬运时经过碰撞之后再沉积, 与下伏岩层为侵蚀突变接触。

具递变层理的含砾砂岩、中粗砂岩相。砾石多为岩屑, 部分为盆内成因的内碎屑, 分选差, 具递变层理, 常分布于向上变细的韵律层底部, 与下伏岩层呈冲刷接触。

块状层理砂岩相。主要由中细粒砂岩组成, 碎屑大小较均一, 偶含细砾, 颗粒支撑结构, 碎屑成分的成熟度较高, 岩屑含量少于40%。常分布于具递变层理的含砾砂岩之上或向上变细的韵律层底部, 与下伏岩层呈冲刷或平直接触。

具交错层理的砂岩相。底部有明显的冲刷面,具槽状、板状交错层理,下部含砾砂岩层理不十分清楚,向上随粒级变细层理明显,且规模变小,属分流水道沉积。

具波状层理或变形层理的粉砂岩及水平纹理的泥质岩相。通常出现于具递变层理的含砾砂岩或块状层理砂岩之上,粉砂岩和泥岩相继产出于每个正韵律层的上部,或直接为湖盆沉积。

典型浊积岩相。主要由一套中细粒砂岩、粉砂岩和砂质泥岩互层并频繁交替组成,具典型的复理石结构特点。浊积岩的岩性总体面貌较细,但沉积特征十分典型^[3]。每个层序都有明显的突变底界面与下伏层序分开,在砂岩底界面上可见清楚的底痕构造,如冲刷痕、锯齿痕等。在钻井中可识别出组成每个层序底部的粒级最粗的中粗粒或细粒砂岩中,大都可见到粒度自下而上由粗变细的正递变层理,这反映了浊流沉积在形成过程中的悬浮搬运和强度逐渐减弱的特点。

2.2 沉积构造

由于复合扇体具双重成因,扇体中碎屑物的搬运方式既有重力流也有牵引流,在岩芯剖面上既可见重力流又可观察到牵引流的沉积构造特征,如板状、槽状交错层理,块状、递变和韵律层理及滑动变形层理等。在粗碎屑部分的砂砾岩、含砾砂岩中,常见混杂无组构的块状层理和由下向上砾石由大到小、由多到少的粒级递变层理;含砾砂岩中偶见板状、槽状交错层理;在中细砂岩和粉砂岩、泥质砂岩中,层理类型比较多,有块状层理、递变层理、平行层理、波状层理、小型槽状层理和变形层理等。在砂岩的底面具明显的冲刷面,在冲刷面上含泥砾,这些泥砾呈扁平状平行层面不规则排列,向上变小直至消失,呈现出与粒级序列相似的沉积特征。

2.3 沉积相

复合扇体依据沉积特征可进一步划分出近端扇、中部扇及远端扇亚相,扇体由重力流水道和辫状河道所携带的碎屑沉积物自湖盆边缘斜坡向湖盆逐步进积,自下而上形成远端扇、中部扇和近端扇的沉积序列(图4)。

近端扇属于主水道大量粗碎屑沉积的地区,由混杂无组构的砂砾岩、块状砂岩和细粒沉积物组成正递变沉积,岩性横向变化大,沉积序列表现为以向上变细的层序为主,一般下部为基质支撑或颗粒

支撑的砂砾岩,上部为具递变层理的中细砂岩,顶部出现薄层泥岩与粉砂岩互层沉积,底部与下伏岩层呈侵蚀冲刷接触。

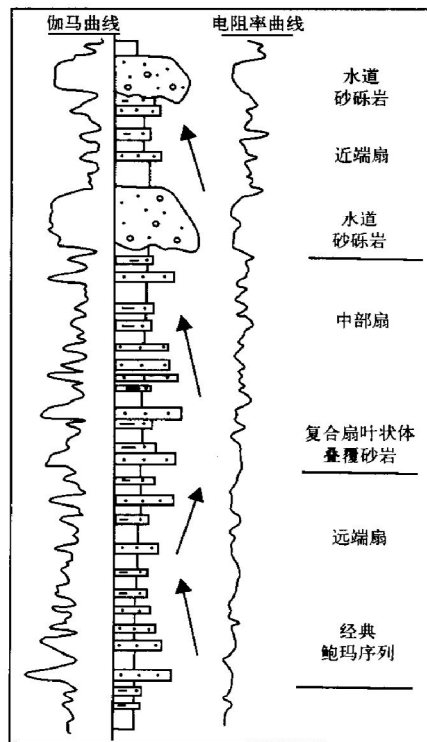


图4 北部湾盆地涠州组扇体的垂向沉积序列

Fig. 4 Vertical sedimentary succession of the fan body in Weizhou Formation of Beibuwan basin

中部扇为扇体的主体部分,由较浅的水道、水下天然堤及堤之外的细粒沉积物组成;在样品中可见重力流和牵引流沉积,反映了重力流和牵引流交替沉积作用的结果。由于主水道入湖后,水动力和地形等条件的突变,导致水道分叉并形成一系列分支水道,水道连续地沉积物供给形成分流水道-天然堤复合扇朵叶体。当朵叶体发展到一定阶段,水道冲破天然堤,该处水流被迫迁移,同时原砂质朵叶体被废弃,形成新的水道-天然堤复合体并产生新的朵叶体。扇体的推进,水道的迁移与废弃,较新的扇体依次叠覆在较老的扇体之上,产生若干个叠在一起的叠覆扇舌,在垂向上以正韵律为主,也可出现由于能量相近或减弱而造成加积甚至退积的情况,涠12-1-1和涠12-1-2钻井岩芯揭露,中部扇主要为中细砂岩、粉砂岩和泥岩,以向上变细的序列为主,单层砂体为正粒序,单砂层间的叠加多为反粒序。概率曲线多呈现低斜率的近直线或微上凸的弧形;底部通常为突变的砂质沉积,在砂质沉积中发育有递变层理,向上则逐步过渡为粉

砂质泥岩或泥岩。

远端扇通常位于湖盆的深水区, 主要为砂、泥薄互层及夹有脉动性的细粒浊积岩, 含向上变细或变粗的准层序, 所形成的递变层较薄, 但侧向连续性好并均匀叠覆, 向上近源特征增加。

3 测井与地震

3.1 测井响应

远端扇位于湖盆的深水区, 由于水道向深湖方向不断分叉、规模变小、能量减弱, 水流所携带的粗碎屑大量卸载, 线状水道消失, 形成围绕扇中缘呈朵状或环状分布、前积于深水泥岩之上的砂质沉积。测井曲线为低幅之上的中幅指形、齿形组合; 在扇体的大部分面积上, 岩性组合以向上变细为主, 也有向上变粗或混合方式, 总的曲线形态为中到高幅的指形或齿形, 当齿形叠覆时可表现为钟形、漏斗形组合形态。

中部扇主要由主水道的分支水道形成的扇朵叶体叠覆在一起, 以向上变细的序列为主, 在分支水道的中心部分, 水道沉积的多期叠加形成厚砂层, 在剖面上砂多泥少, 测井曲线表现为齿化的钟形或箱形, 在水道区, 砂层相对减少, 泥岩增多, 测井曲线呈中幅指形或齿形组合特征。

近端扇是峡谷水道和缓坡辫状水道的粗碎屑沉积部位, 其岩性以砂砾岩、含砾砂岩或中粗砂岩为主, 测井曲线呈齿化的箱形和钟形组合(图4)。

3.2 地震反射

在地震剖面的横截面上地震反射呈丘状凸起的外形, 一端下超于老扇体, 另一端上超于层序边界, 内部为多个先沉积的扇朵叶体呈双向下超于层序界面上, 后沉积的扇朵叶体依此叠覆在较老的扇体之上; 在扇体延伸方向的纵向剖面上, 丘状凸起的外形一般不明显, 常呈变振幅、较连续至断续 S 复合型前积反射结构(图5)。

4 油气勘探意义

低水位复合扇体中的砂体通常处于非常有利的油气生储盖组合之中, 它们是由重力流、辫状河三角洲的分流水道和河口坝砂体混合、叠覆在盆地浅-深水区沉积下来的; 中部扇及远端扇砂体以中、细粒沉积为主; 中部扇分流水道, 砂体厚度大, 粒度较粗, 具有较好的分选性, 物性一般较好(图6)。另外, 复合扇体通常被包裹在暗色泥岩之中, 这些

暗色泥岩是高水位及水进(湖侵)期湖盆中的正常沉积物, 下伏水进(湖侵)及高水位体系域中的泥质沉积物也具有较好的生烃能力, 复合扇体的上部和侧向上同样被水进体系域暗色泥岩所包围, 它们直接与烃源岩接触, 圈闭是同期形成的, 且提供了良好的封闭条件, 油气能很容易进入这些圈闭之中, 因此往往能构成非常有利的地层圈闭或构造-地层复合圈闭。

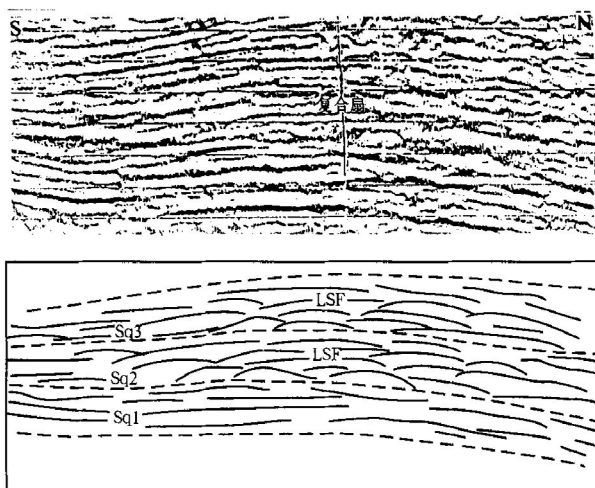


图5 北部湾盆地涠洲组复合扇体(LSF)的地震反射特征

Fig. 5 Seismic reflection characteristics of the fan body in Weizhou Formation of Beibuwan basin

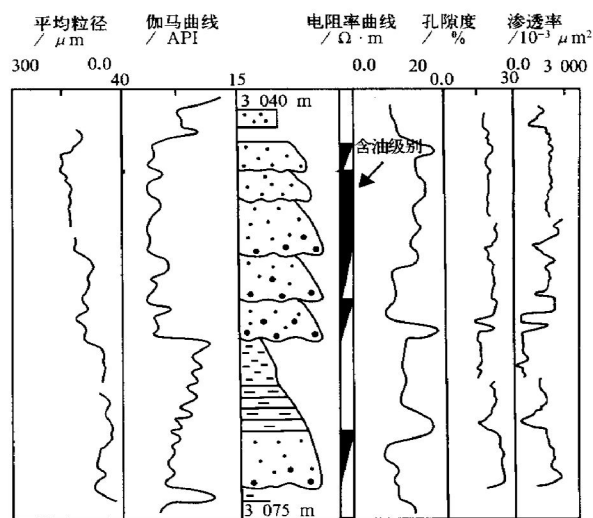


图6 涠12-1-3井涠洲组复合扇体的储层物性及含油性

Fig. 6 Oil-bearing and physical properties of reservoir for the fan body in Weizhou Formation in Well 12-1-3

正因为如此, 发育于北部湾盆地涠洲组下部具双重成因的复合扇体, 其下伏岩层为流沙港组深湖相, 具微细水平层理的粉砂质泥岩和含沥青质的黑

色泥岩、油页岩,上覆为水进体系域的粉砂岩、粉砂质泥岩和暗色泥岩;复合扇体紧靠润 1 号断层上盘,油源来自下部流沙港组生油层,断层为通道,形成断层-地层复合圈闭,在北部湾盆地涠洲岛油田形成了具有重要工业价值的油气产量。

参 考 文 献

1 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层

学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89~ 97

2 魏魁生. 非海相层序地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 27~ 104

3 Lowe D R. 沉积物重力流: 特别是与高密度浊流沉积有关的沉积模式[A]. 见: 中国石油学会地质委员会. 国外浊积岩和扇三角洲沉积[C]. 北京: 石油工业出版社, 1986. 48~ 63

CHARACTERISTICS OF COMPOSITE FAN BODIES IN WEIZHOU FORMATION OF BEIBUWAN BASIN AND OIL & GAS PROSPECTING SIGNIFICANCE

Du Zhenchuan¹ Wei Kuisheng²

(1. Resource Department, Hebei Institute of Architectural Science & Technology, Handan, Hebei;

2. Energy Resource Department, China University of Geoscience, Beijing)

Abstract: Sequence stratigraphy of Paleocene system in Weizhou Formation of Beibuwan basin can be divided into 3 extra sequences and 9 III-order sequences, a composite fan is largely developed in lowstand system tracts of extra sequence I, II and III in the low part of Weizhou Formation. Rocks with coarse lithology are found namely, massive miscellaneous sandstone, conglomerate bearing sandstone with graded bedding, moderate coarse sandstone, massive bedding sandstone, sandstone with cross bedding, siltstone with wave bedding or deformed bedding, mudstone with horizontal lamination bedding and typical turbidite etc. The composite fan, as for its distribution and form, was formed due to cross-superimposition of leafy body which chiefly originated from braided channel and gravity flow waterway during lowstand sedimentation and has double original features of traction current and gravity flow. The fan body was formed by gradually prograding of clastic sediments from the slope of lake edge to the lacustrine basin, produced from downwards to upwards a succession of sediment namely, distal fan, medium-part fan and near-end fan. Curves of well-logging show as fingerlike or tooth-like, toothed box-like and bell-like with high and medium amplitude and seismic reflection is a hill-like protruding. The composite fan surrounded by hydrocarbon-producing lacustrine mudstones is a favorable assembly for hydrocarbon origin, reserving and capping, with quite good physical properties, where stratigraphic traps or structure-stratigraphic composite trap hydrocarbon reservoirs are commonly formed.

Key words: Beibuwan basin; composite fan body; sequence stratigraphy; facies; significance