

层序地层体制中的陆相储层发育规律

樊太亮¹, 吕延仓², 丁明华³

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中原油田勘探开发科学研究院, 河南濮阳 457001;
3. 中国新星石油公司 计算中心, 北京 100083)

摘 要: 沉积基准面旋回变化控制着陆相层序地层的形成与演化, 并为预测陆相储层的发育与展布提供了一个参照格架。在纵向上, 基准面旋回通过控制物源区的扩大与收缩、河流地貌的改造与变迁、沉积物的供给型式等, 控制着储层形成条件与发育规律。基准面低位期是形成各类储集砂体和岩性圈闭的有利时期; 在平面展布上, 储层沉积作用受到古构造和古地理格局的制约, 盆地内局部高地影响着水系的具体分布格局, 古山口、侵蚀沟谷、古河道等决定着物源的搬运通道, 古断层、古斜坡和坡折带等决定着沉积物卸载场所。因此, 沟谷、河道等负向地貌单元与古断层、坡折带等地势梯度变化带相匹配的地理空间, 是储集岩分布的有利场所。

关键词: 基准面旋回; 陆相层序; 古地貌; 储层展布

中图分类号: P618.130.2⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-2321(2000)04-0315-07

0 引言

储层发育规律及其分布预测一直是油气勘探的中心任务。层序地层学的发展为认识不同类型储集层的形成条件、展布规律以及生储盖组合型式提供了一个理论预测模型^[1,2], 并在油气勘探, 特别是隐蔽油气藏预测的应用中取得了成功^[3]。虽然 PR Vail 等提出的层序地层模型, 明确地指出了在各个体系域中储层形成条件、储层性质和储层分布的地理空间, 并特别强调低水位体系域对于储层预测的重要性, 但由于盆地类型、结构复杂多变, 控制储层发育和分布的地质因素众多且相互作用和相互影响, 储层预测、特别是岩性油气藏的预测, 仍是油气勘探中的一个难点。因此, 以层序地层学理论作指导, 研究陆相盆地中储层发育条件和展布规律, 是我们面临的一项重要课题。

尽管 PR Vail 等人强调层序的发育受构造沉降、海平面变化、沉积物供给速率和气候 4 个主要因素控制, 并且不同的因素对于层序结构、岩性与岩相组成等会产生不同的影响; 但由于具体区分每一个因素所起的作用常常是比较困难的, 因而在更多的时候, 我们不是逐一地分析每一个控制因素所起的作用, 而是考察 4 个因素的综合作用效应, 即可容纳空间或沉积基准面的变化对层序和储层发育的影响^[4,5]。这也是本文探讨陆相盆地储层发育规律与

收稿日期: 2000-05-29; 修订日期: 2000-08-16

作者简介: 樊太亮(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事层序地层与油藏描述等研究。

基金项目: 国家“九五”重点科技攻关资助项目(96-110-08)

分布型式的一个出发点。

1 储层纵向分布的受控因素与规律

层序的发育及其特征主要受到沉积基准面变化的控制^[6]。沉积基准面的升降运动,决定了盆地的沉积作用状态和作用特点。在纵向上,主要体现在物源作用形式、强弱、沉积物构成、岩性的纵向变化等方面。

1.1 基准面旋回变化决定储层的发育条件

1.1.1 基准面变化与物源区的扩大和收缩

在基准面的旋回变化过程中,随着沉积区与物源区扩大与收缩的消涨性变化,沉积物的供给能力随之发生强弱交替变化。在低水位期,湖平面降低,沉积范围退缩,物源区扩大,除了持续提供沉积物的区域性主物源外,一些近盆地的局部高地或低凸起演变为局部物源区,形成近源沉积作用。低位期河道下切作用强烈,沉积物在陡倾河壁的限制下可直接输送到盆地斜坡带至盆地中心。相对于区域物源而言,局部物源作用更容易形成岩性圈闭。在高水位期,由于沉积范围扩大,局部小物源的作用减弱或消失,该阶段主要是源远流长的区域性物源继续起作用。

1.1.2 基准面变化影响着沉积地貌的改造与变迁

古地理格局及其局部变化特点是控制沉积作用过程及作用结果的重要因素,它控制了

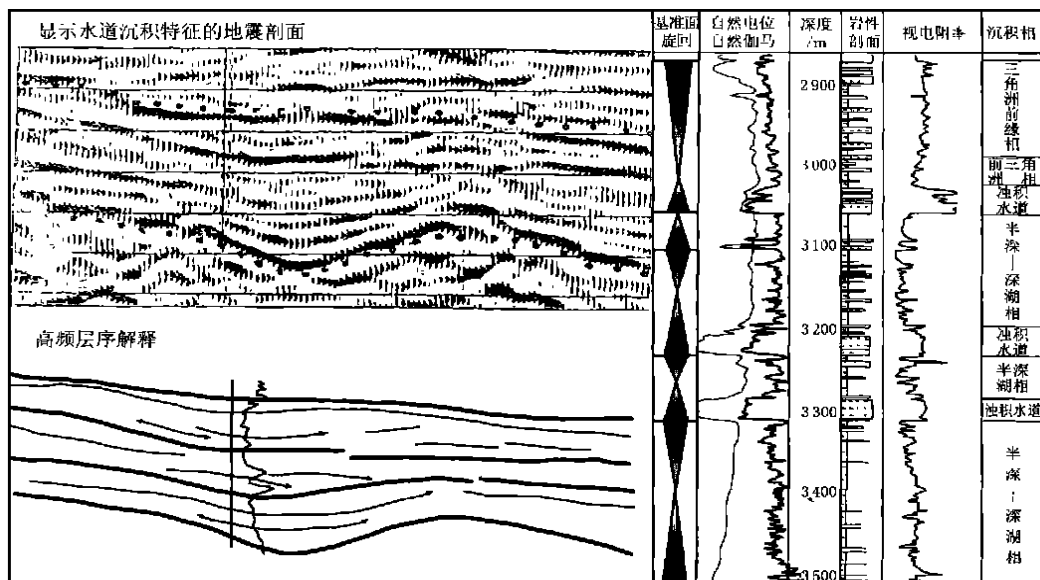


图1 基准面旋回变化过程中河流地貌的改造作用
Fig.1 Changes of fluvial topography with base-level cycles

水系发育、物源输给通道、粗碎屑沉积场所,以及沉积体性质、沉积中心区分布等,进而影响着沉积物的岩性构成和储集层的发育条件。

古地貌形态在地史演化过程中,随着沉积基准面的升降变化而不断发生改造和变迁。同一地貌单元在沉积过程中可发挥不同的作用,如:邻近盆地的局部凸起或高地,在低水位

期,常常是作为一个局部物源发挥作用的;而在高水位期,又接受沉积,新的沉积物覆盖其上。同样,随着基准面旋回变化,河流的切割作用与加积作用交替出现,在低水位期,河道以下切和搬运沉积物为其主要作用过程;而在高水位期,除了作为沉积物的搬运通道之外,河道内部还将发生沉积充填作用,使得河床不断地变浅和变宽。同时,河流也更容易发生溢岸和决口作用。

图1是济阳拗陷埕岛地区揭示东营组的一口钻井资料及过井地震剖面,在区域不整合面上继承性地发育侵蚀沟谷。随着基准面旋回变化,河谷呈间歇性的、时断时续的发展。当可容纳空间较低时,作为地貌形态对基准面升降变化的调节与响应,河谷的下切作用增强,河道形态明显,内部以上超型式充填,对应于浊流沉积,由相互切割的水道砂叠置而成;当可容纳空间较高时,河谷的下切作用减弱直至停止,河道淤平,河道形态变宽变缓,沉积物以湖泛期厚层泥岩、高可容纳空间期的进积三角洲前缘沉积物为主。

1.1.3 基准面变化与物源供给型式

河流的性质随着沉积基准面升降变化而不断转换,相应地影响到沉积物源供给型式的改变。沉积物源的补给方式可以分为3种,即点源、线源和面源^[7]。在基准面处于低位期时,河流的强烈下切作用使得河道不易发生决口和改道,沉积物以点源补给型式发挥作用,这种点物源常常通过较大的河谷、地堑和盆底水道,将沉积物输送到盆地斜坡中下部,甚至盆底。在河谷出口处形成孤立的、但厚度较大的椭圆状或长条状扇体。在基准面处于高位期时,河道因加积充填作用而变浅,河流溢岸、决口和改道作用频繁,沉积水系变得细小而分散,物源补给方式演变为线源或面源型式,沉积物主要分布在盆地斜坡中上部或顶部,对应的沉积体呈面积较大的扇形,而厚度规模相对较小。

1.2 基准面旋回变化控制储层纵向发育规律

沉积基准面通过控制物源供给形式、供给强度及沉积物的展布范围等地质过程,控制着储集层的纵向发育规律。对于河流相沉积而言,由低水位期至高水位期,沉积物将由下部的相互切割、叠置的厚层粗粒砂体,向上演变为相对孤立的薄层砂岩。这些薄层砂岩可能被较厚的洪泛泥岩所包围,并且由于泥质含量高,物性条件变差。对于湖相沉积而言,在低水位期,河道将沉积物输送到盆地斜坡带至深盆区,常发育洪水浊流沉积,易于形成岩性圈闭;而高水位期,以发育分布面积较广的三角洲沉积为其典型特征,此时,虽然砂岩发

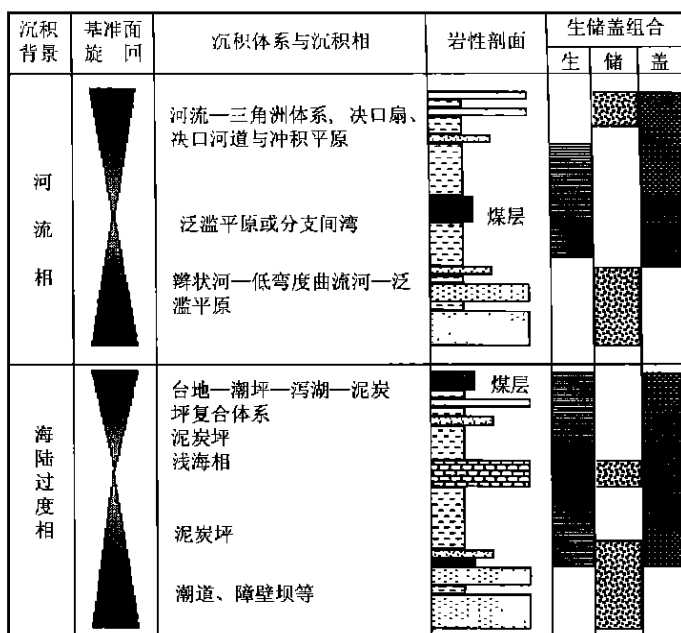


图2 鄂尔多斯盆地上古生界基准面旋回格架中的沉积体系与储盖层发育规律

Fig. 2 Distribution of depositional systems, reservoir and caprock within the framework of base-level cycles in Upper Paleozoic of the Ordos Basin

育,但由于其面积广、连片性强而往往要求有一定的构造背景,才可形成圈闭。

图2为鄂尔多斯盆地上古生界沉积体系及岩性纵向分布与基准面变化的对应关系。在基准面低位期,石炭系太原组发育障壁岛、潮道等储集砂体,二叠系山西组和石盒子组发育辫状河-低弯度曲流河-泛滥平原复合体系,其特点是以河道砂为主,夹薄层泥岩。在高位期,石炭系发育台地-湖坪-泻湖-泥炭坪复合体系,二叠系以河流三角洲体系、决口扇、决口河道和冲积平原沉积为主,其特点是以泥质岩为主,夹薄层砂岩。

2 储层平面展布的受控因素与规律

储层的纵向发育规律受沉积基准面及其影响下的可容纳空间的控制,而平面展布规律则受到盆地古构造格局、边界条件、古地理格局、古水流体系等因素制约。

2.1 控制物源体系分布的盆地构造背景及边界条件

地层发育时即已存在的古构造及其展布格局对水系与沉积体系的分布起到严格的控制作用。此类古构造主要包括:控制沉积作用的边界断层、不同构造体系的转换带、处于构造结合部的凹陷长轴入口带、凹陷的斜坡带等。

对于我国东部断陷盆地,主要有3个控制沉积作用的区带,即斜坡带、陡岸带和凹陷长轴入口区^[8]。陡岸带以古断层为边界,虽然物源发育,但规模小,水系分散,形成小型水下扇或扇三角洲体系;缓坡带相对于陡岸,物源作用增强,可形成不同类型的沉积体系,如三角洲、扇三角洲、浊积扇和沿岸沉积体系等;凹陷长轴入口区是不同构造体系的结合部,往往是最大的物源作用区,形成大型三角洲体系,成为主要的储集岩发育区。

对于形态结构和断裂体系较为复杂的盆地,古构造格局的控制作用表现得更为复杂。图3是苏丹 MUGLAD 盆地六区下白垩统中一个层序的沉积体系分布图。该区的物源体系大小、沉积体类型及规模等均与古构造、古地形密切相关。其规律表现为:(1)在西南和北部,不同构造格局的转换带成为主物源发育区,形成大型三角洲体系;(2)环绕凹陷的隆起区是次一级物源,主要形成扇三角洲体系;(3)被凹陷环绕的低凸起是小型物源区,主要形成水下扇体系。

2.2 控制沉积格局的重要古地貌单元及其作用

虽然陆相盆地中古地貌形态千变万化,但按其作用过程大致可分为3类:即古高地、古沟谷和斜坡坡折带。

2.2.1 古高地、古凸起提供沉积物源并对水系分布起到分隔、阻挡作用

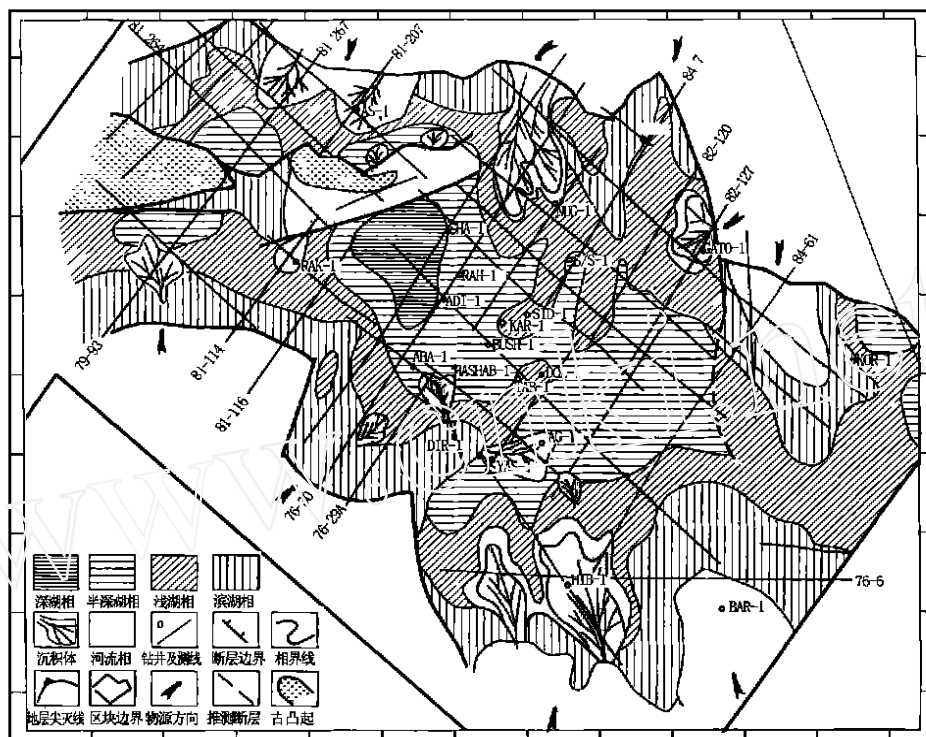
分布于盆地内部或周缘的小型古高地、古凸起既可以在基准面下降期,暴露地表接受剥蚀,成为小型物源区;又可以对注入盆地的水流起到分隔、限制、阻挡作用,影响着水系的延伸与分布,进而制约着沉积体系的分布。

2.2.2 古山口、侵蚀沟谷、古河道等决定着物源的搬运通道与沉积区域

各种形式的带状延伸的低凹地貌是对沉积体系分布起重要控制作用的另一类地貌单元,这类单元包括:作为物源输送通道的下切谷、河道、水下滑塌水道、水下冲蚀水道等;构成沉积物卸载区的大山口、河道或沟谷的出口等;沿着盆地边缘,特别是断陷盆地的陡岸边缘,局部凹进的缺口等。沟谷状地貌可以出现在物源区、洪泛平原、盆地斜坡带,甚至盆地底部。远离盆地的沟谷主要起到沉积物搬运通道的作用,而近盆地或盆地内发育的沟谷,除了作为

物源通道外,其本身也是重要的储层发育区。

在我国东部断陷盆地中,沟谷地貌单元的发育表现出一定的规律性:在不同构造体系的转换部或凹陷的长轴入口方向,往往形成大型沟谷地貌单元。在凹陷的缓坡带顶部和中下



(1) 古构造格局、古地理格局控制着盆地的水系分布与沉积面貌。不同构造体系的转换

古地理背景	沉积体系类型	地震几何构型
陡倾斜凹边界	陆岸水下扇	楔状-前积
缓倾斜凹边界	扇三角洲	楔状-前积
坡折带	浊积扇(盆底扇)	楔(丘)状-双向超覆
坡折之上平台	浅水三角洲	滩状-低角度前积
坡折之上平台	滨岸砂坝	逐层上超

图4 琼东南盆地陵四区砂体成因类型与古地貌的对应关系

Fig. 4 Correlation between sand body types with topography in Block Ling-4, Qiongdongnan Basin

带、断陷盆地长轴入口区往往是主物源作用区,可形成大型三角洲体系或扇三角洲体系;凹陷斜坡带、凹陷陡岸带是次一级的物源作用区,可以形成三角洲体系、扇三角洲体系和水下扇体系等;在近盆地或盆地内部的局部低凸起的周缘,发育小型物源作用区,可发育小型三角洲、水下扇、水道充填沉积等。

(2) 由侵蚀沟谷、下切河道、冲蚀水道等构成的带状负向地貌单元,与由古断层、古陡坡、坡折带等构成地形梯度变化带相匹配的地理空间,是储集岩和岩性圈闭分布的有利场所。

(3) 在陆相盆地中,具备上述特征的地理空间有:作为盆地边界的陡岸带、局部古高地的周缘带、缓坡中坡度突变带

与坡折带、带状负向地貌的冲填带等。

3 结束语

古构造格局、古地理格局是控制沉积作用与储层平面分布的重要因素。但过去以露头或钻井资料分析为基础的传统研究方法,因资料分布的零散和不连续性,无法对地下三维空间中复杂多变的古地理形态作出真实的细致的刻画和描述,因而对沉积古地理的复杂性及其作用的重要性认识不足,特别是利用古地理格局研究储集层与岩性油气藏的分布规律,重视不够。相对于露头和钻井,地震(特别是三维地震)资料具有系统性和连续性的特点,可以大大提高辨别地下地质信息的能力,特别是描述各类储集砂体、岩性圈闭在地下三维空间中的确切形态、位置及相互关系等。因此,钻井、地震和各种地质资料的综合研究,特别是充分发掘三维地震所蕴藏着的丰富信息,是提高储层和岩性油气藏预测能力的重要途径。

参考文献:

- [1] Posamentier H W, Vail P R. Eustatic controls on clastic deposition 2—sequence and systems tract models[A]. Wilgus C K, eds. *Sea-level Changes: an Integrated Approach*[C]. *SEPM Special Publication*, 1988 (42): 125 ~

154.

- [2] Armentrout J M. *Sequence Stratigraphy as an Exploration Tool: Concepts and Practices in the Gulf Coast*[R]. Adam's Mark Hotel, Houston, Texas June 2-5, 1991. 379 ~ 388.
- [3] 樊太亮, 李卫东. 层序地层应用于陆相油藏预测的成功实例[J]. 石油学报, 1999, 20(2): 12 ~ 17.
- [4] Quirk D G. "Base level": a unifying concept in alluvial sequence stratigraphy[A]. Howell J A, Aitken J F, eds. *High Resolution Sequence Stratigraphy: Innovations and Applications*[C]. Geological Society Special Publication, 1996 (104): 37 ~ 50.
- [5] 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.
- [6] Wheeler H E. Base level, lithosphere surface and time-stratigraphy[J]. *Bull Geol Soc*, 1964, 75: 599 ~ 610.
- [7] Galloway W E. Siliciclastic slope and base-of-slope depositional systems: component facies, stratigraphic architecture, and classification[J]. *AAPG Bulletin*, 1998, 82(4): 569 ~ 595.
- [8] 张万选. 陆相断陷盆地地震地层学研究[M]. 北京: 石油大学出版社, 1988. 68 ~ 78.

THE REGULARITIES OF FORMATION AND DISTRIBUTION OF RESERVOIRS IN SYSTEMS OF CONTINENTAL SEQUENCE STRATIGRAPHY

FAN Tai-liang¹, LÜ Yan-cang², DING Ming-hua³

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 2. *Exploration and Development Science Institute of ZPEB, Puyang 457001, China*; 3. *Beijing Computer Center, CNSPC, Beijing 100083, China*)

Abstract: The sedimentary base-level cycle changes could control the formation and evolution of continental sequence stratigraphy, and act as reference framework for the prediction of reservoirs. Base-level changes restricted formation condition and vertical distribution of reservoir through affecting expansion or contraction of source area, transformation of river morphology, and changes of pattern of sediment supply. Reservoir and lithologic traps could be easily formed in lower base-level or lower parts of sequence units. In laterally, sedimentation of reservoir could be affected by the systems of paleostructure and paleotopography. Local ancient highland located in basin restricted the distribution of ancient streams. Erosional valleys and channels were mainly passageways of sediment transportation. Paleogeomorphic units such as faults, slopes and breaks on the clinaform restricted the positions of sediment deposited. Geomorphic space where negative geomorphic units produced by valley and channel matched with gradient changes of topomorphic surface, such as faults, slope breaks, are favorable positions for reservoir distribution.

Key words: base-level cycle; continental sequence; paleotopography; reservoir distribution