

文章编号: 1000-0550(2008) 03-0417-09

断陷盆地油气汇聚体系研究

纪友亮^{1,2} 黄建军² 张善文³ 王永诗³

(1. 中国石油大学 北京 102249 2. 同济大学 上海 200092 3. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司 山东东营 57000)

摘要 油气汇聚体系是一个不同于含油气系统和油气成藏系统的概念,它提出的目的旨在讨论层序格架中油气成藏单元与层序级次之间的关系。通过建立不同级别的层序地层格架,结合储层的分布和构造断裂等因素,预测油气的汇聚特征。油气汇聚体系由储集系统和油气输导系统构成,储集系统可以分为(1)高连通、大型毯状;(2)中连通、中型毯状;(3)低连通、小容量 3 种类型;油气输导系统分为单一型和综合型两种类型。油气汇聚体系分为大型、中型、小型 3 种类型,每种类型所对应的储集系统和油气输导系统各不相同。该概念的提出,为研究层序格架中各种规模的油气汇聚体系与层序格架之间的关系提供了理论基础。

关键词 油气汇聚体系 储集系统 油气输导系统

第一作者简介 纪友亮 男 1962 年出生 教授 博士生导师 石油地质学、沉积学和层序地层学 E-mail: jiyouliang@cup.edu.cn jiyouliang@mail.tongji.edu.cn

中图分类号 TE122.2 文献标识码 A

0 油气汇聚体系概念的提出

石油地质学的发展有两大里程碑,一是圈闭理论,一个是含油气系统的理论和由此引申出来的油气成藏系统,这些理论的提出促进了石油工业的发展。在油气勘探中发展起来的层序地层学坡折带理论也促进了石油工业的发展。含油气盆地勘探的实践证明,地层的层序结构及级别与油气的汇聚和成藏有一定的联系,在此基础上,提出了油气汇聚体系概念。

这里将油气汇聚体系定义为:地质历史时期能够使油气汇聚起来并得以保存的油气汇聚单元,该油气汇聚单元是由在地质历史时期担当过油气运移、汇聚时的输导系统和能够汇聚油气的储集系统组成,一系列有成因联系的油气汇聚单元构成了“油气汇聚体系”。

这个概念具有一定的相对性,油气汇聚体系之间可能是包含关系也可能是并列关系。从规模上来讲,油气汇聚体系可以划分为巨型、大型、中型和小型四个规模。

为了更加形象的理解油气汇聚体系的概念和级别,可以用图 1 所示的湖泊水系来进行类比说明。

我们在考虑油气汇聚体系时,同样关心的是从生油层中运移出来的油气是怎样逐渐汇聚在一起,怎样从不同的空间方位,经过怎样的路径,汇向储集层中

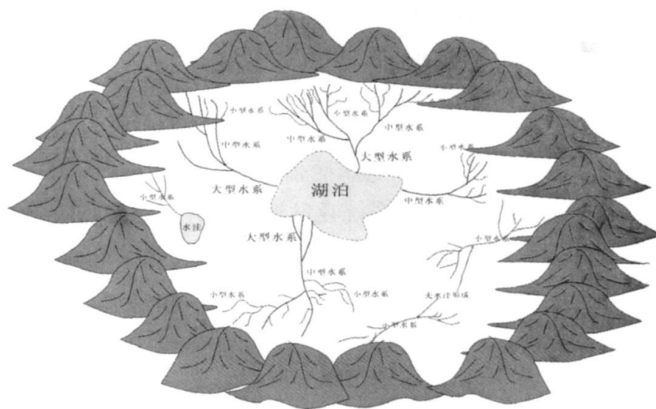


图 1 湖泊汇聚水体模式图

Fig 1 The model of water collective system around a lake

有利的圈闭,积聚成大规模的油气藏。

1 油气汇聚体系的构成

油气汇聚体系是由储集系统和油气输导系统两部分构成,下面分别介绍他们的特点。

1.1 储集系统

储集系统是油气汇聚体系的重要组成部分。下面从储集系统的空间上的连通性和所具备的储集油气的能力两个方面来对储集系统进行讨论。

1.1.1 高连通大型毯状的储集系统

这种类型的储集系统中的砂体不仅在纵向上具

有较高的连通性,在平面展布上也具有很强的连通性(图 2),使众多的砂体储层在空间内连为一体,成为一个纵向上厚度大,横向展布面积广的统一的储集系统,在盆地内的分布面积一般是满盆或接近满盆分布。形成这种类型储集系统的砂体通常为大型辫状河和三角洲席状砂体,往往形成于一级和二级层序的低位期。

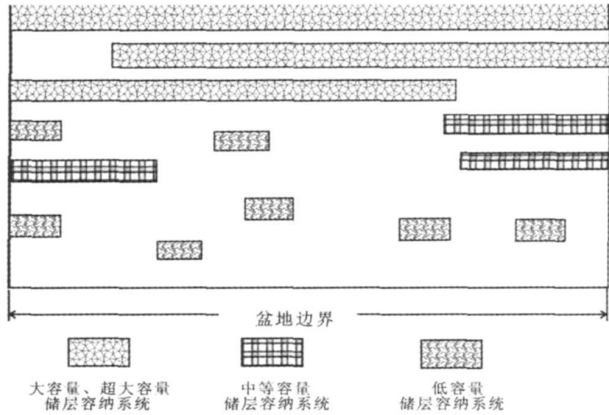


图 2 不同储集能力的储集系统在盆地内分布比例示意图
Fig 2 The sketch map of distribution proportion of reservoir system of different capacity in a basin

1.1.2 中连通、中等毯状的储集系统

这种类型的储集系统在盆地内的分布面积较广,分布面积占盆地面积的一半或一半以上,储层的厚度

也较大,空间连通性可能是中连通型也可能是高连通型。三级层序的高位期的三角洲砂体多形成该种类型的储集系统(图 2)。

1.1.3 低连通、小容量的储集系统

该类型的储集系统的砂体在盆地内分布面积较小,厚度也较小,砂体之间的连通性也较低,每个砂体形成的储集系统的储集能力较小。如单个扇体形成的储集系统、滩坝砂体储集系统。当湖平面变化较为频繁,物源较为贫乏的情况下,发育的砂体储层相互之间是孤立的,连通性比较差(图 2)。

1.2 油气输导系统

油气输导系统也是形成油气汇聚体系的要素之一。赵忠新(2002)认为油气运移从逻辑上分为直接型和间接型。直接型是指油气从烃源岩直接排到圈闭中,主要是在透镜型和岩性油气藏中表现出来。间接型是指油气从烃源岩中初次运移后,进入圈闭之前的过程中,在输导系统中经过二次运移进入圈闭。二次运移的通道通常有骨架砂体、断裂、不整合面三种类型。在多数情况下,油气输导系统大多是骨架砂体、断层、不整合面三者相互组合形成的复合型油气输导系统(图 3)。正是这些类型的复合型油气输导系统的存在,才形成了层序格架中的纵横交错的油气输导网络系统,进一步在层序格架内形成了各种规模和类型的油气汇聚体系。

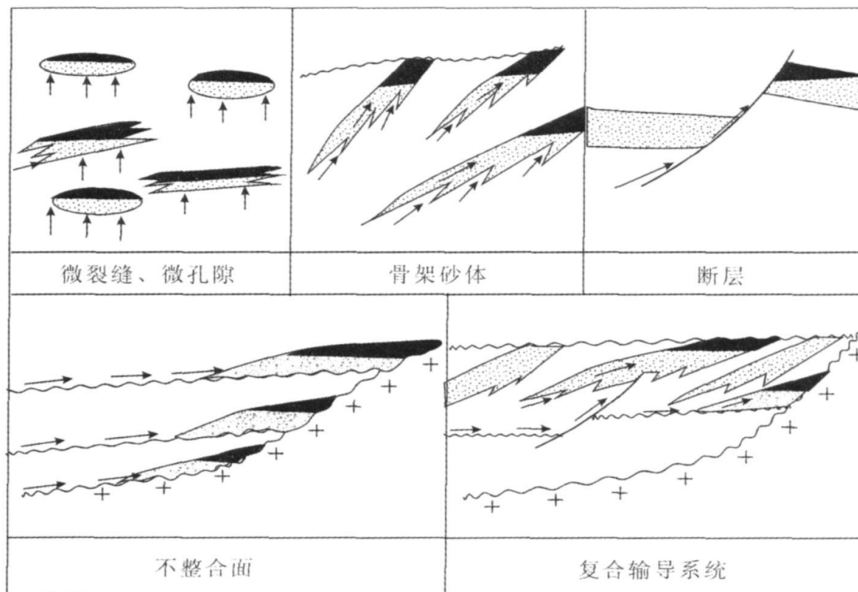


图 3 单一型、复合型油气输导系统及汇聚系统综合图

Fig 3 A colligate sketch of petroleum transport and collective system of single type and complex type

2 油气汇聚体系的分类

在对油气汇聚体系分类时, 主要依据油气汇聚体系的规模和所汇聚的油气的规模, 将油气汇聚体系分为: 巨型、大型、中型、小型等 4 个规模。

2.1 小型油气汇聚体系

小型油气汇聚体系是由单个砂体组成, 直接从生油岩中接受油气的运移, 并在其中聚集。小型油气汇聚体系通常对应单个油气藏, 它可以是中型油气汇聚体系的一部分, 也可以是单独存在。

在东营凹陷下第三系沙三段上部有很多种已探明的小型油气汇聚体系, 如营 11 透镜状砂体小型油气汇聚体系 (图 4), 发育于东营凹陷二级层序 (E_{s3}^3 — E_{s2}^2 下) 中的三级层序 (E_{s3}^3) 之中, 在构造上属于东营凹陷中央断裂背斜带中段北侧的小向斜内。

营 11 透镜状砂岩基本上是一个单砂体, 砂体的最大厚度为 23.6 m, 主要发育于小向斜的东半部, 向斜中心以西很快尖灭, 向西北方向散开, 平面上呈扇形, 似椭圆状, 西、北、东三面边缘浅, 向西南向斜中

央变深, 剖面呈透镜状, 为湖底扇相砂岩体, 岩性以粉细砂岩为主。

该小型油气汇聚体系处在烃源岩的包围之中, 其油气输导系统为微裂缝、微孔隙。油气充注程度较高, 该砂体除向斜最底部外大面积含油, 达到 90% 以上。

2.2 中型油气汇聚体系

中型油气汇聚体系由中连通、中型毯状储集系统通过 3~4 级断层把其下覆的多个小型油气汇聚体系连接起来组成, 小型油气汇聚体系之间靠断层、不整合面或砂体的叠置互相连接。小型油气汇聚体系中汇聚起来的油气, 通过各种运移通道, 汇聚到中型油气汇聚体系的较高部位。中型油气汇聚体系通常和油气田对应。中型油气汇聚体系可以作为大型油气汇聚体系的子体系。若干中型油气汇聚体系构成一个大型油气汇聚体系。一个中型的油气汇聚体系也可以在层序格架内单独存在 (图 5)。

如东营凹陷永安—广利地区 E_{s4}^4 上广利砂体互相之间构成中型油气汇集体系 (图 6)。

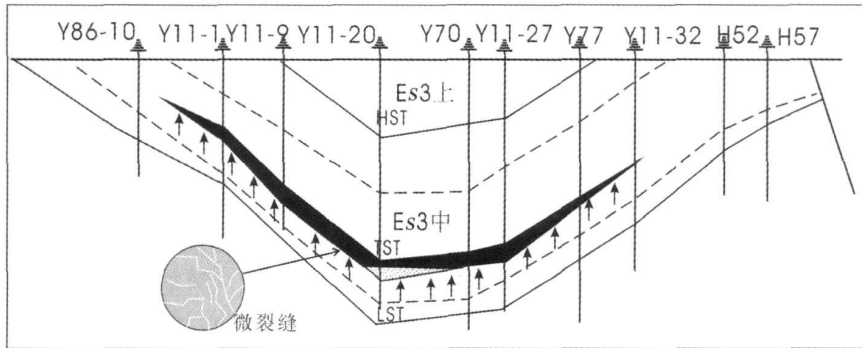


图 4 营 11 透镜状砂体小型油气汇聚体系

Fig. 4 A small scale petroleum collective system of lenticular sandbody of Ying 11

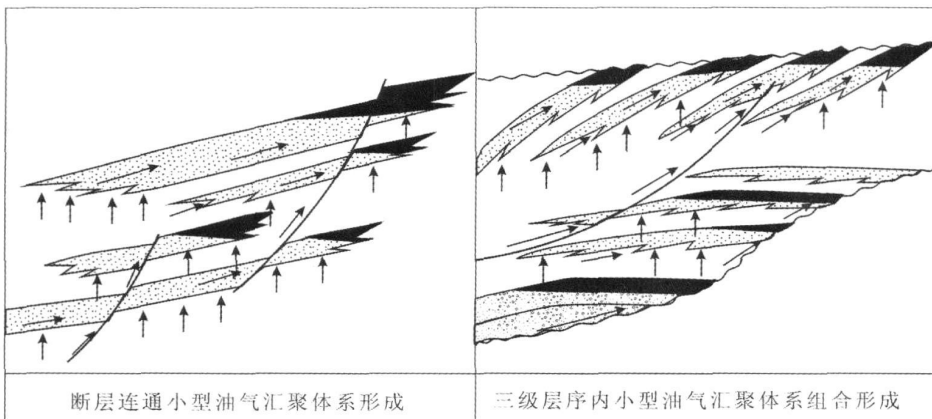


图 5 中型油气汇聚体系模式图

Fig. 5 A sketch profile of middle scale petroleum collective system

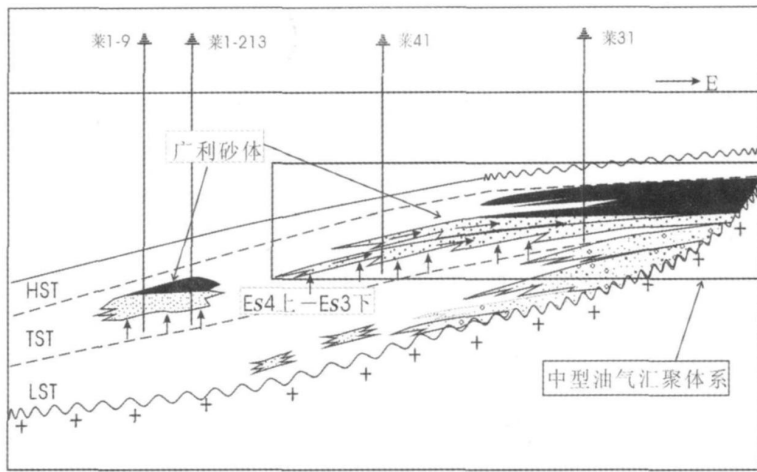


图 6 广利砂体中型油气汇聚体系(剖面图)

Fig 6 A sketch profile of middle scale petroleum collective system composed of Guangli sandbody

广利砂体属于湖相—扇三角洲—滑塌浊积扇(风暴流沉积)沉积体系,以扇三角洲前缘水下分流河道和河口坝砂体最为发育。向湖心方向广利砂体尖灭于湖侵期湖相泥岩中,另一侧超覆于基底不整合面。广利砂体为两个扇三角洲沉积,扇体分布面积较大,延伸较远,向西渐变为深湖—半深湖暗色泥岩及油页岩沉积,并且由扇三角洲前缘砂体滑塌,在其前端形成湖底扇沉积或者风暴流沉积,形成良好的储层。砂体之间靠互相叠置达到联通,把多个小型油气汇聚体系联系起来形成中型油气汇聚体系。

东营凹陷沙三段上部三级层序高位域相对于湖侵体系域储层系统较为发育,在三级层序界面或者上覆其他封闭条件的作用下,可以形成中型油气汇聚体系的主要储集系统(图 7)。

2.3 大型油气汇聚体系

大型油气汇聚体系由高连通大型毯状储集系统

通过 1~2 级断层把其下覆的多个中型油气汇聚体系连接起来组成,中型油气汇聚体系之间靠较大型断层、不整合面或砂体的叠置互相连接。中型油气汇聚体系中汇聚起来的油气,通过各种运移通道,汇聚到大型油气汇聚体系的较高部位。大型的油气汇聚体系通常对应一个含油气聚集带,平面上表现为若干个油气田呈相对集中分布。在一个含油气盆地中,通常含有几个油气聚集带,比如东营凹陷的中央隆起带、北部陡坡带等油气聚集带。

东营凹陷的沙二上亚段是二级层序的低水位体系域,其储层的发育特点具备上述特点(图 8)。在该时期,东营凹陷长轴方向自东向西仍然发育了大规模的河流三角洲,其平面展布面积超过了整个凹陷面积的一半,在剖面上(图 9),沙二段所发育的河流三角洲储层的前积幅度也超过了凹陷的一半,到达了盆地凹陷中央。

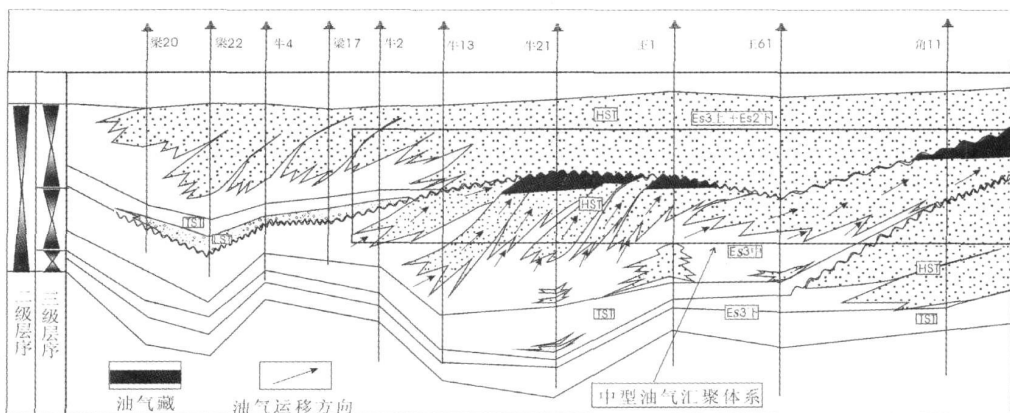


图 7 东营凹陷沙三段上部三级层序高位域中的中型油气汇聚体系剖面图

Fig 7 A profile of middle scale petroleum collective system developed in HST of a 2nd order sequence

(upper part of 3rd member of Shahejie Formation) in Dongying Depression

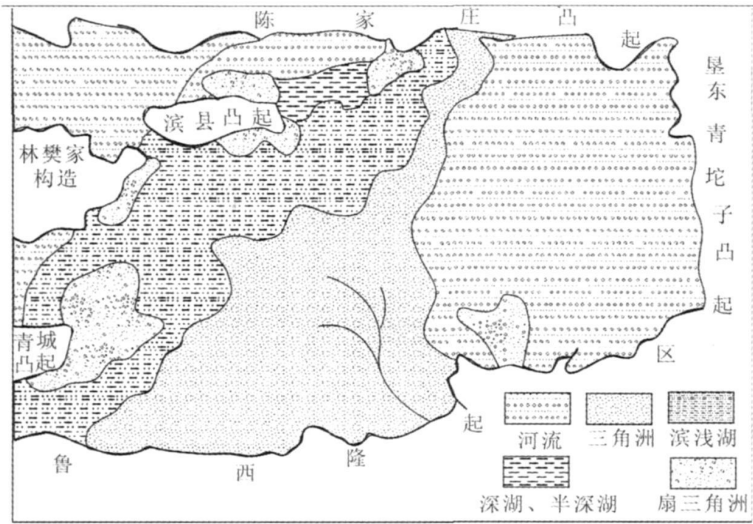


图 8 东营凹陷沙二上亚段沉积相图,反映储层分布面积大,占到盆地面积的一半以上

Fig. 8 The sedimentary facies map of upper part of 2nd member of Shahejie Formation of Dongying Depression, which reflect that the area of reservoir is large (nearly half the area of the basin)

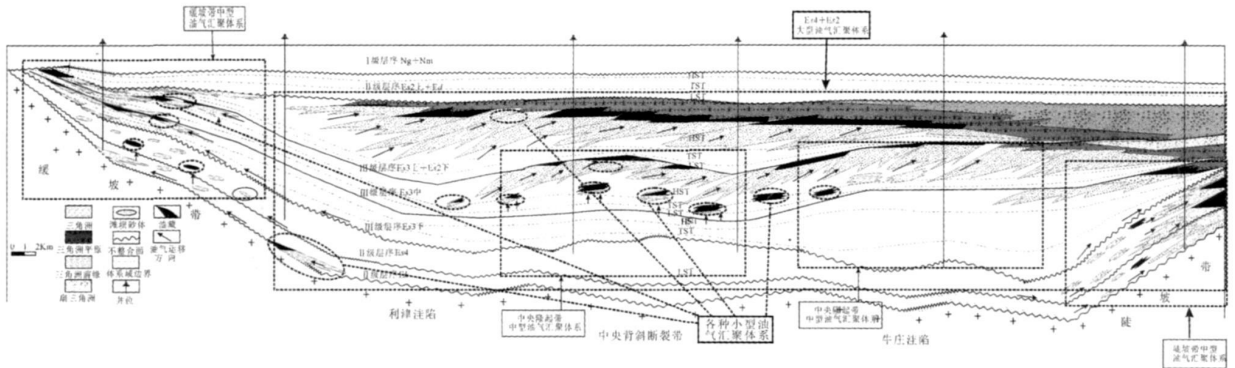


图 9 东营凹陷东西向剖面,反映不同级别的油气汇聚体系

Fig. 9 A profile of E-W direction in Dongying depression, which display the distribution of different scale petroleum collective system

沙二下亚段储层中的油气主要来自下伏层序中的烃源岩,因此作为该大型油气汇聚体系的油气输导系统,除了二级层序界面(不整合面)外,主要是切穿二级层序的断层,三角洲骨架砂体等。

2.4 巨型油气汇聚体系

巨型油气汇聚体系由全盆地分布的高连通大型毯状储集系统通过 1~2 级断层把其下覆的多个大型油气汇聚体系连接起来组成,大型油气汇聚体系之间靠较大型断层、不整合面或砂体的叠置互相连接(图 10,图 11)。大型油气汇聚体系中汇聚起来的油气,通过各种运移通道,汇聚到巨型油气汇聚体系的较高部位。巨型的油气汇聚体系通常对应一油气聚集带,如沾化凹陷馆陶组(Ng)中的大型油田组合。

下面将对沾化凹陷内以上覆一级层序低位域

(Ng)毯状砂为储集系统主体的超大型油气汇聚体系进行分析。

(1) 储集系统异常发育

在馆下段沉积早期,沾化凹陷地层一般厚为 140 m,形成面积广泛的辫状河沉积,其中心滩发育率占 40%,砂坝最大沉积厚度为 174 m,河道边缘和河间滩微相发育率较低(图 12)。馆下段沉积晚期,沾化凹陷内辫状河道发育,河道砂坝累计厚度可达 277 m,河道充填砂体一般厚为 100 m,河道亚相发育率为 80%,河道边缘亚相仅占 5%,河间滩为 15%。总的来说,馆下段储层以辫状河河道最为发育,在剖面上表现为巨厚层毯状,空间连通性好,在构造高部位可以形成巨大储量的油气汇聚体系的“汇聚区”。同时也是具有良好输导能力的高孔高渗砂体输导要素。

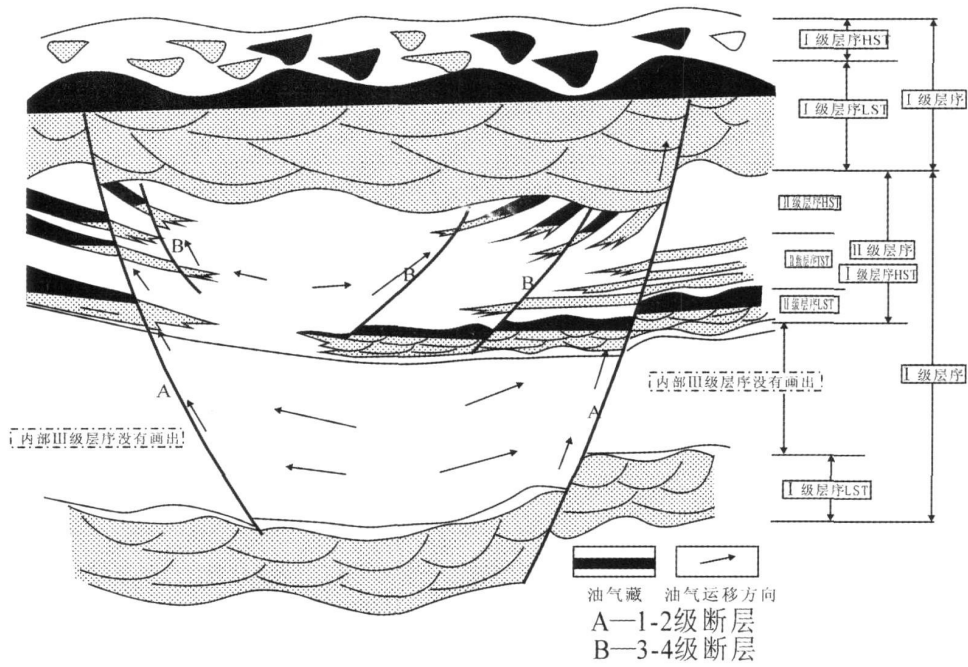


图 10 大型油气汇聚体系模式图

Fig. 10 A sketch profile of large scale petroleum collective system

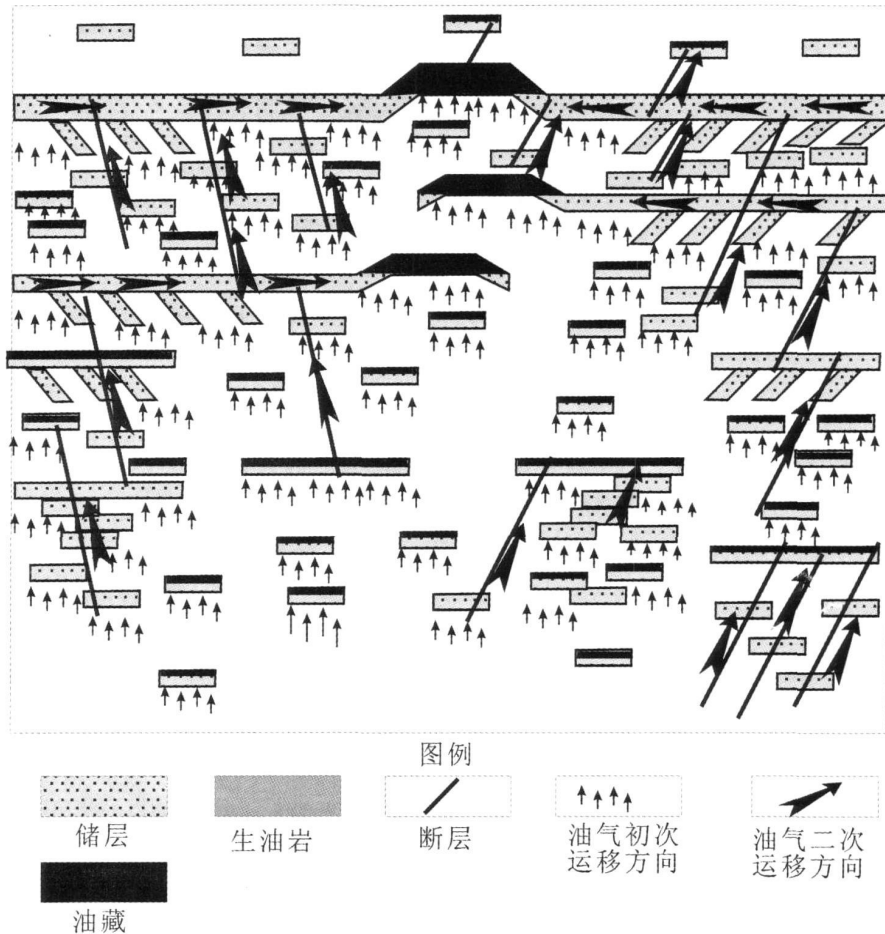


图 11 含油气盆地内大、中、小型油气汇聚体系集合关系图

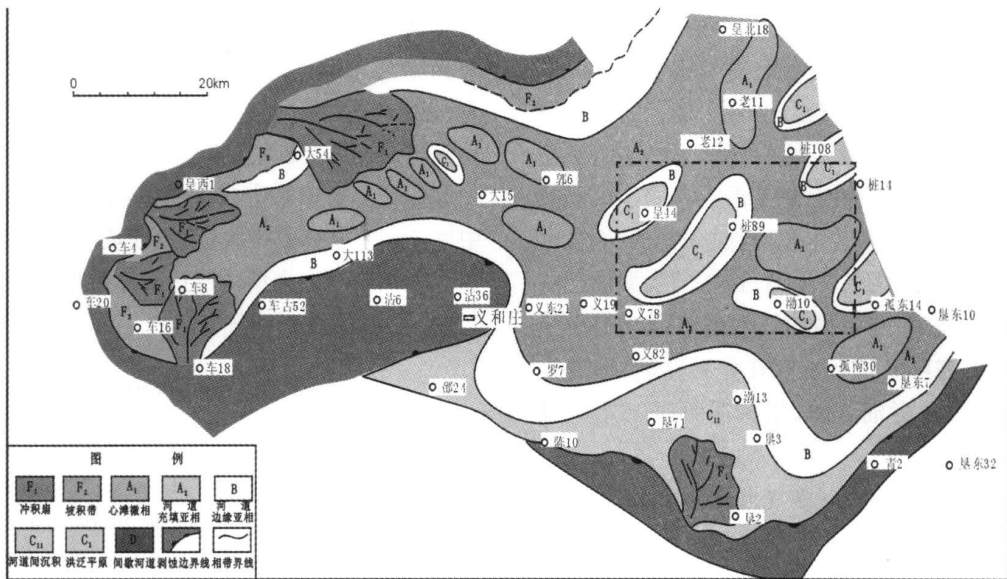


图 12 济阳拗陷馆陶组下段沉积早期沉积相图, 显示毯状储层满盆分布

Fig. 12 The sedimentary facies map of lower member of Guantao Formation of Jiyang depression, which reflect that the area of reservoir is large (distributed nearly in the hole basin)

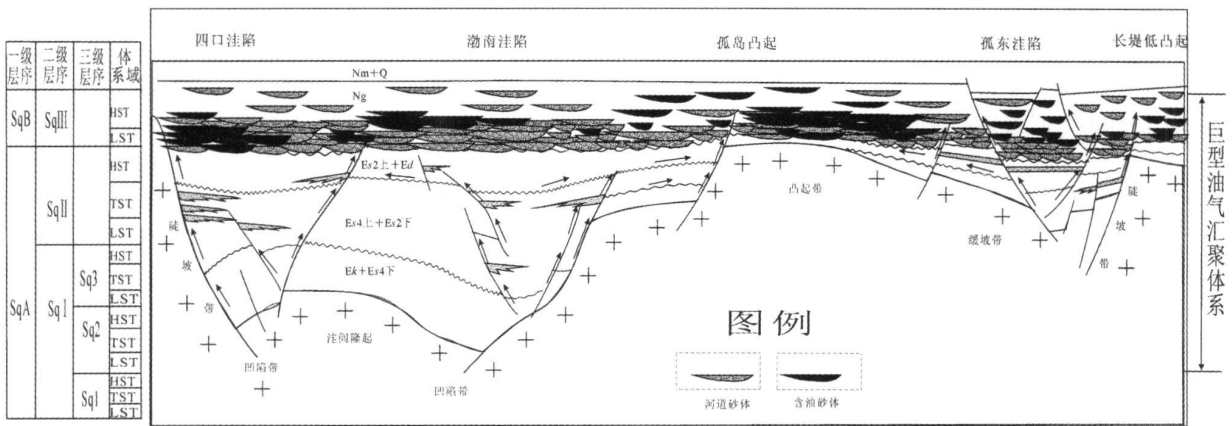


图 13 沾化凹陷上覆一级层序低位域 (Ng 下段) 储层发育特征及以此为储集系统主体构成的超大型油气汇聚体系

Fig. 13 The distribution characteristics of reservoir developed in LST of 1st sequence (lower member of Guantao Formation) which is the main body of super petroleum collective system

(2) 复合型的油气输导系统

沾化凹陷内以上覆一级层序低位域 (Ng 下段) 毯状砂体为主体储集系统的大型油气汇聚体系, 其油气输导系统由断层、不整合面、骨架砂体构成, 其中以断层和基底不整合最为重要, 因为在沾化凹陷古近系中不发育大型的三角洲砂体, 骨架砂体的油气输导能力相对于东营凹陷要弱。

切穿下伏完整一级层序 (即古近系) 的继承性活动大断层对于 Ng 中油气的运移和分布起着主要的作用。沾化凹陷发育于陡坡带和缓坡带继承性大断层有 25 条 (图 13), 这些断层大都活动至明化镇组沉

积期。它们沟通了下伏完整一级层序中发育的烃源岩和浅层的储集层 (如 Ng 组储层) (图 13), 构成油气垂向运移的输导系统, 控制形成了浅层 Ng 中大规模的油气汇聚。其特点是, 油气沿油源断层两侧呈多层楼式分布, 油气主要汇聚于 Ng 下段发育的储层; 一般断层活动到达的层位即油气运移所能到达的层位, 如埕北断层上升盘的埕岛油田, 孤北、孤南断层控制形成的孤岛油田等。

2.5 油气汇聚体系之间的相互关系

一个含油气盆地, 通常含有若干大型油气汇聚体系, 形成对应的若干个油气聚集带。一个大型油气汇

聚体系通常包含若干中型油气汇聚体系, 中型油气汇聚体系对应着不同规模的油气田; 每个中型油气汇聚体系又包含有若干小型油气汇聚体系, 小型油气汇聚体系对应着不同类型的油气藏。但在一个盆地中油气汇聚体系的发育是复杂的, 除了若干大型油气汇聚体系之外, 还随机分布着若干相对独立的中型油气汇聚体系和若干小型油气汇聚体系, 这些与大型油气汇聚体系没有直接联系的中型油气汇聚体系或者小型油气汇聚体系, 在层序格架内存在是独立的, 形成比较隐蔽的油气田或者油气藏, 给勘探带来一定的难度。

勘探初、中级阶段, 大型油气汇聚体系, 中型油气汇聚体系比较容易发现。小型油气汇聚体系, 特别是小型油气汇聚体系形成的隐蔽性油气藏较难发现。

3 勘探方式

大型油气汇聚体系中, 储层分布广, 因此在大型油气运聚体系中找油, 无需找储层, 只要找到有利构造, 就能找到油气(田)藏, 含油气盆地中早期发现的很多大型构造油气藏往往属于大型油气汇聚体系, 与这些大型油气汇聚体系相关联的高部位的岩性或构造圈闭, 是有利勘探部位, 目前在滚动勘探中仍有发现。

在中型油气运聚体系中找油, 不仅要寻找储层, 既利用各种坡折带模式预测低位湖底扇的存在, 也要寻找有利构造。

在小型油气运聚体系中找油, 只要寻找到储层, 就能找到油气, 如四级层序低位域湖底扇砂体体积小, 凹陷中生成的油气足以充满整个体系域的储层, 可利用各种坡折带模式预测低位湖底扇的存在, 四级层序坡折带之下的低位湖底扇是寻找油气的方向。

4 结论

(1) 济阳拗陷第三系可以划分出 5 个大型油气汇聚体系, 8 个中型油气汇聚体系, 若干小型油气汇聚体系。

(2) 大型油气汇聚体系往往形成大型油气聚集带或油气田, 中型油气汇聚体系往往形成大型油气田或油气藏, 小型油气汇聚体系往往形成油气藏。

(3) 一、二级层序往往控制着大型油气汇聚体系的形成, 二、三级层序往往控制着中型油气汇聚体系的形成, 三、四级层序往往控制着小型油气汇聚体系

的形成。

(4) 大型油气汇聚体系的形成, 由于储层体积大, 在油气不足已充满整个体系域的储层时, 由于其横向连通性好, 油气可以在其中到处运移。因此, 在大型油气汇聚体系中找油气, 应找构造, 找圈闭。在中型油气运聚体系中找油, 不仅要寻找储层, 也要寻找有利构造。在小型油气运聚体系中找油, 只要寻找到储层, 就能找到油气。

参考文献 (References)

- 1 纪友亮, 张世奇, 等. 层序地层学原理及层序成因机制模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1998 190-193 [Ji Youliang Zhang Shiqi et al. The Principle of Sequence Stratigraphy the Models of Origin of Sequence [M]. Beijing Geological Publishing House 1998: 190-193]
- 2 纪友亮, 张世奇, 李红南, 陆相断陷湖盆层序地层学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996 12 [Ji Youliang Zhang Shiqi Li Hongnan. The Sequence Stratigraphy of Terrestrial Rift Lacustrine Basin [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1996: 12]
- 3 纪友亮, 张世奇, 李红南. 东营凹陷下第三系陆相盆地层序地层学研究 [J]. 地质论评, 1994 40(增刊): 46-48 [Ji Youliang Zhang Shiqi Li Hongnan. The study of sequence stratigraphy of terrestrial basin of lower Tertiary in Dongying Depression [J]. Geological Review, 1994, 40(Suppl): 97-105]
- 4 熊继辉, 贾承造, 王毅, 等. 层序地层学及其在塔里木盆地石炭系研究中的应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996 [Xiong Jihui Jia Chengzao Wang Yi et al. The Sequence Stratigraphy and Its Application in the Study of Carboniferous in Tarim Basin [M]. Beijing Petroleum Industry Press 1996]
- 5 宋国奇. 济阳拗陷下第三系湖相沉积的层序地层学分析 [J]. 现代地质, 1993, 7(1): 7-13 [Song Guoqi. The analysis of sequence stratigraphy of lacustrine sedimentation of Lower Tertiary in Jiyang Depression [J]. Modern Geology, 1993 7(1): 16-21]
- 6 张善文. 沾化凹陷浅层勘探的思考 [J]. 复式油气田, 1999, 3 6-7 [Zhang Shanwen. Some idea in the exploration of shallow strata in Zhanhua depression [J]. Complex Oil and Gas Field 1999 3 6-7]
- 7 张善文, 王永诗, 石砾石, 等. 网毯式油气成藏体系——以济阳拗陷上第三系为例 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 1: 1-5 [Zhang Shanwen Wang Yongshi Shi Lishi et al. Net-blanket style oil reservoir system: take Upper Tertiary of Jiyang depression as an example [J]. Petroleum Exploration and Development 2003, 1: 1-5]
- 8 Shanlley K W, McCabe P J. Respectives on the sequence stratigraphy of continental strata [J]. AAPG Bulletin 1994 78(4): 544-568
- 9 方石, 刘招君, 董清水, 等. 河流相层序地层学研究 [J]. 世界地质, 2000, 19(2): 132-137 [Fang Shi Liu Zhaojun Dong Qingshui et al. The study of sequence stratigraphy in fluvial environment [J]. World Geology, 2000, 19(2): 132-137]

The Study of Petroleum Collective System in Rift Lacustrine Basin

JI You-liang^{1, 2} HUANG Jian-jun² ZHANG Shan-wen³ WANG Yong-shi³

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249;

2 Institute of Marine and Earth Science, Tongji University Shanghai 200092;

3 Shengli Oil Field SINOPEC, Dongying Shandong 257000)

Abstract According to the division of the scales of fluvial systems, the petroleum collective system in the Tertiary of Jiyang depression are divided into large, middle and small scale. The petroleum collective system of different scale effected the formation of oil and gas field or oil and gas reservoir of different scales at the same time, the petroleum collective system of different scale are determined by the sequence of different scales. The ways and the results of exploration in different scaled petroleum collective system of different scale are also different. So according to the scales of the sequence and systems, the scales and types of oil and gas field or oil and gas reservoir can be predicted and explored.

Key words Jiyang Depression, scale of sequence, oil and gas collective system