

文章编号: 1001-6112(2001)03-0291-06

# 东营凹陷地层水化学特征 与油气聚集关系

孙向阳, 解习农

(中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 对东营凹陷沙河街组地层水化学场的研究发现, 地层水的总矿化度具有明显的垂向分带性。沙四段矿化度最高, 向上逐渐降低。根据地层水中  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$  含量随  $\text{Cl}^-$  浓度增大而升高的特征, 提出该区地层水化学成分来自于地下岩盐的溶解。水型有  $\text{CaCl}_2$  型、 $\text{NaHCO}_3$  型、 $\text{MgCl}_2$  型和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  型 4 种, 其中,  $\text{NaHCO}_3$  型水的比重大小与地层水矿化度呈反相关关系。垂向与侧向矿化度分布特征表明, 东营凹陷内地层水的流动受断裂与沉积砂体的控制。地层水作为盆地流体的一个重要组成部分, 其演化反映了盆地内油气运移、聚集的规律。地层水流动样式为盆地内自生自储式和下生上储式油气藏的形成提供了一个有力的证据。

**关键词:** 地层水矿化度; 流动样式; 油气成藏; 东营凹陷

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

在含油气盆地中, 地层水作为盆地流体的一个主要组成部分, 其活动与循环样式直接涉及油气与成矿物质运移的方向<sup>[1]</sup>。盆地中的水文地质条件与油气的生、运、聚、散过程有着十分密切的关系。地层水的活动及其性质直接或间接指示盆地流体系统的开放性和封闭性。本文通过对东营凹陷沙河街组地层水化学特征及古水文地质特征的研究, 揭示含油气盆地内地层水的演化与油气运移、聚集的关系。

## 1 地质背景

东营凹陷位于渤海湾盆地的东南部, 是其主要的生烃凹陷之一。东营凹陷内, 主要充填了新生界第三系地层, 自下而上发育有下第三系的孔店组 ( $E_2k^1$ 、 $E_2k^2$ )、沙河街组 ( $E_2s^4$ 、 $E_3s^3$ 、 $E_3s^2$ 、 $E_3s^1$ ) 和东营组 ( $E_3d$ ) 以及上第三系的馆陶组 ( $N_1g$ ) 和明化镇组 ( $N_2m$ )。其中, 主要的生油层段是沙四上亚段和沙三段, 为暗色油页岩和深灰色泥岩。地质历史时期, 东营凹陷经历了多次剧烈的大规模构造运动, 形成两洼陷一隆起和北坡陡、南坡缓的构造格局, 盆

地内断裂发育。

## 2 地层水化学场特征

地层水化学场的特征可以从一个侧面揭示水流系统演化的性质和水文地质条件<sup>[2]</sup>。结合古沉积环境, 本区地层水化学场具有明显的垂向分带性和侧向不均一性。

### 2.1 总矿化度 ( $TDS$ ) 及其分布特征

地层水的矿化度特征是地理地质环境变迁所导致的地下水动力场和水化学场经历漫长而复杂演化的反映<sup>[2-5]</sup>。本区共收集了 1 000 多口井的水化学分析资料, 绘制出了东营凹陷地层水矿化度在不同层段上的分布情况(图 1、2)。东营凹陷沙河街组地层水总矿化度值总体较高,  $TDS > 20\text{g/L}$ , 最高达  $338\text{g/L}$ , 属于盐水范畴<sup>[6]</sup>。

#### 2.1.1 垂向特征

地层水总矿化度值随埋深增大而增加, 具体表现为: 沙四段地层水总矿化度最高,  $TDS > 100\text{g/L}$ , 部分  $TDS$  值超过  $200\text{g/L}$ ; 沙三段自下而上矿化度呈降低趋势,  $TDS < 150\text{g/L}$ ; 沙二段地层水总矿化度

收稿日期: 2001-04-11.

基金项目: 国家自然科学基金项目(49872045).

作者简介: 孙向阳(1977-), 女(汉族), 安徽亳州人, 硕士生, 主要从事石油勘探综合研究工作.

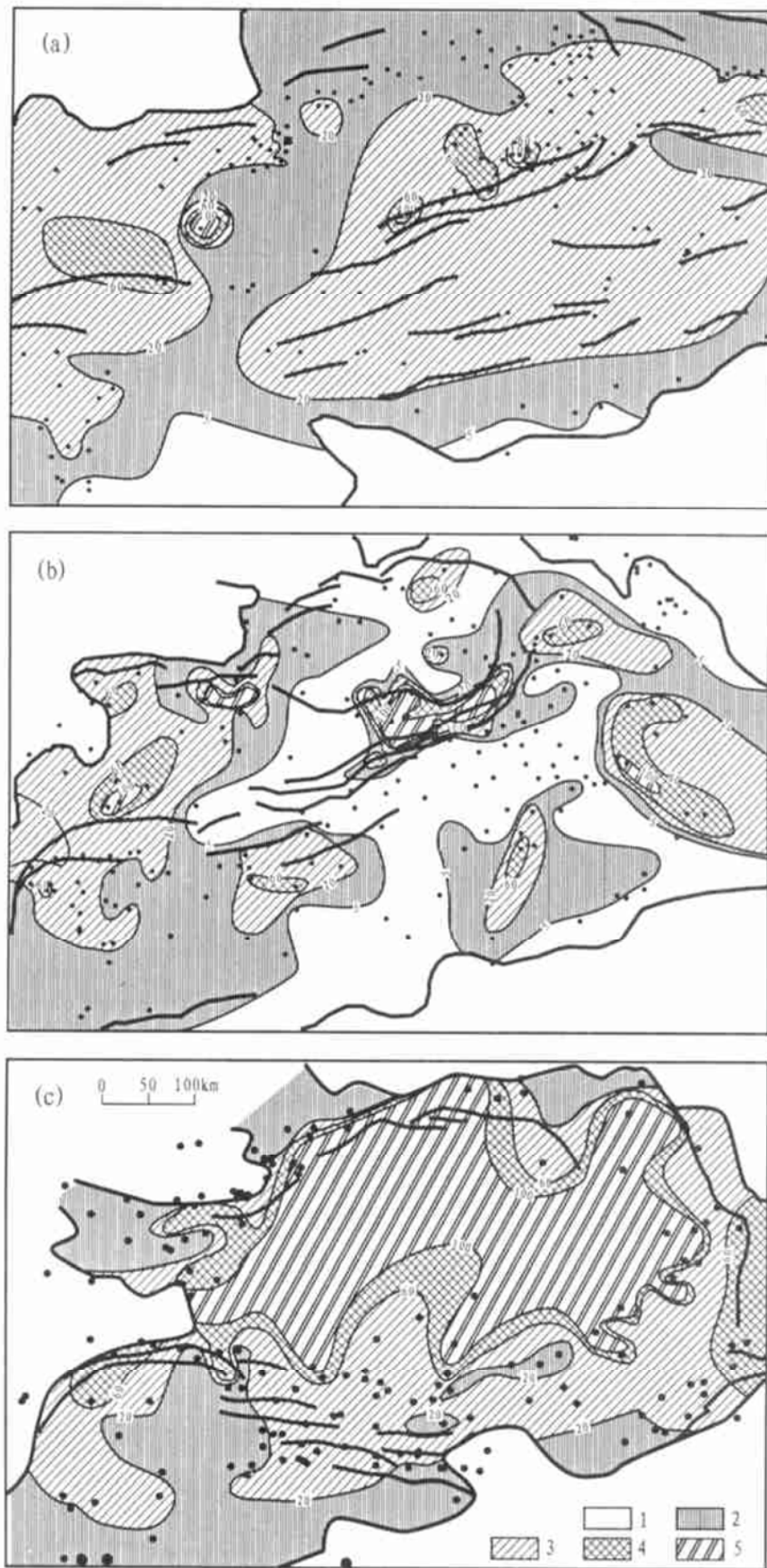


图 1 东营凹陷沙河街组地层水总矿化度等值线图

a. 沙三段; b. 沙三段; c. 沙四段

1. 淡水(< 5g/L); 2. 淡盐水(5~ 20g/L); 3. 盐水(20~ 60g/L); 4. 浓盐水(60~ 100g/L); 5. 卤水(> 100g/L)

Fig. 1 Contour map showing the total dissolved solid (TDS) of the Shahejie formation water in the Dongying Sag

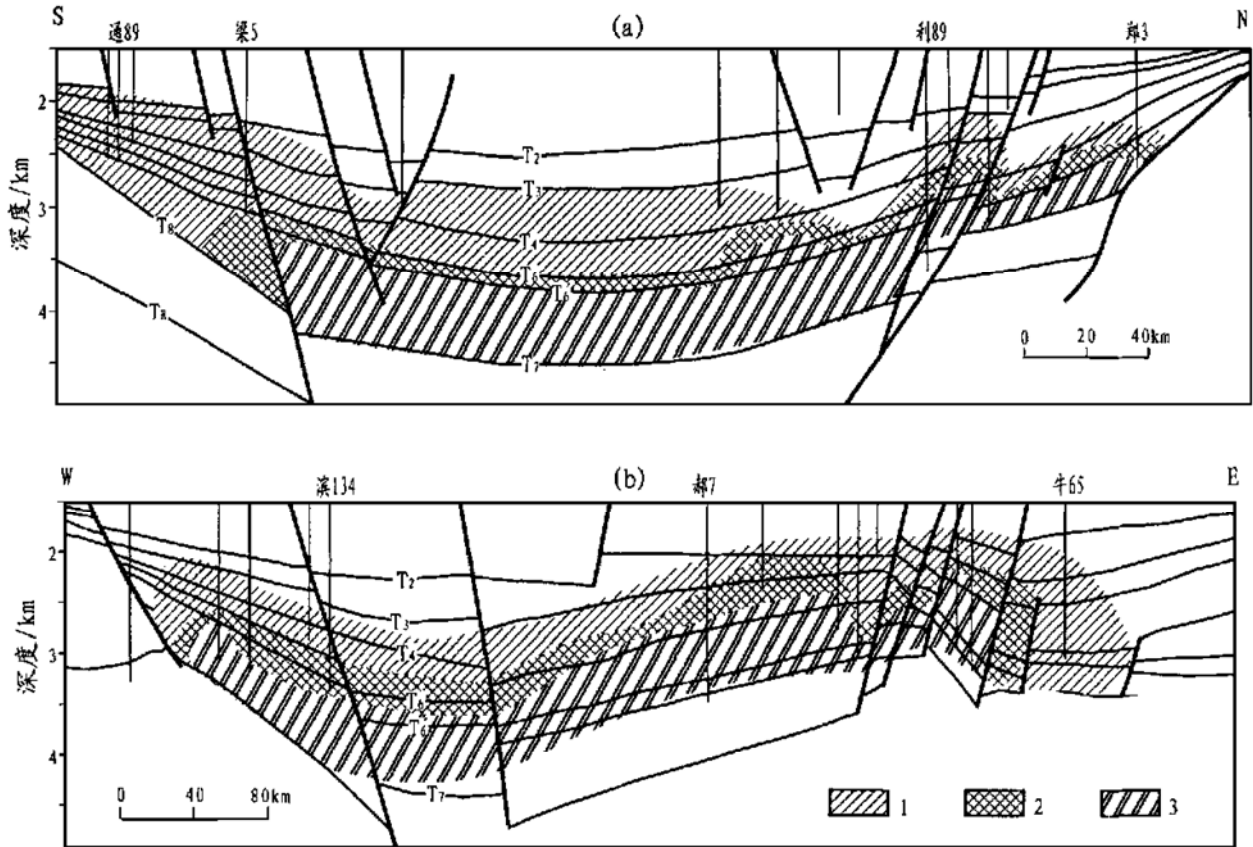


图 2 东营凹陷地层水矿化度剖面图  
a. 东西向剖面; b. 南北向剖面

1.  $TDS$  为 20~ 60g/L; 2.  $TDS$  为 60~ 100g/L; 3.  $TDS > 100g/L$ ;

Fig. 2 Profiles showing the  $TDS$  distribution of formation water in the Dongying Sag

的值较沙三段有所升高,  $TDS > 20g/L$  的地区几乎覆盖了全区, 其中  $TDS$  最高值达 241.40g/L(见图 1、2)。

### 2.1.2 侧向特征

图 2 显示了东营凹陷地层水总矿化度的侧向分布特征。在同生断裂附近,  $TDS$  值明显升高, 表现为自盆地中央向两边  $TDS$  值呈降低趋势。

### 2.2 水型特征

东营凹陷沙河街组地层水有 4 种类型: 氯化钙型、碳酸氢钠型、氯化镁型和硫酸钠型。其中, 前两种类型占总体的 90% 以上(图 3)。从图 3 可以看出, 沙二段、沙三段地层水中  $Na^+$  组分含量明显比沙四段中的大, 这是由于阳离子交换吸附作用特点不同造成的。吸附作用是一种可逆反应。在低矿化度条件下, 岩石中的  $Na^+$  被水中的  $Ca^{2+}$  交换; 而在高矿化度下, 水中的  $Na^+$  可与岩石中的  $Ca^{2+}$  发生替换, 使  $Ca^{2+}$  转入水中。这一特征正好与该区地层水矿化度在 3 个不同层段的分布特点相吻合。

## 3 地层水矿化度控制因素

### 3.1 地层水的来源

沉积盆地地下盐水矿化度的变化, 一般受大气水、海水(湖水——对于陆相盆地)和地表蒸发盐水与来自地下蒸发岩脱水和溶解的流体相混合的物理作用控制<sup>[7-9]</sup>。东营凹陷沙四段古沉积环境为半封闭的盐湖, 在凹陷的中部沉积了很厚的蒸发岩盐。在一价阳离子( $K^+$ 、 $Na^+$ )、二价阳离子( $Ca^{2+}$ )与氯离子( $Cl^-$ )的相关关系图(图 4)上,  $Ca^{2+}$  和  $K^+$ 、 $Na^+$  的含量随  $Cl^-$  浓度的增加而增大, 且前者是后者的两倍, 说明这一地区地层水化学成分的主要控制因素是地下岩盐的溶解<sup>[7]</sup>。岩性与矿化度的对比图(图 5)再次证实了这种解释。同时, 它还反映出该时期系统自封闭条件较好的特点。沙三段古水深加大, 自身岩盐的溶解可能性较小, 而其本身矿化度较低也说明该段的地层水矿化度可能主要来自于下部

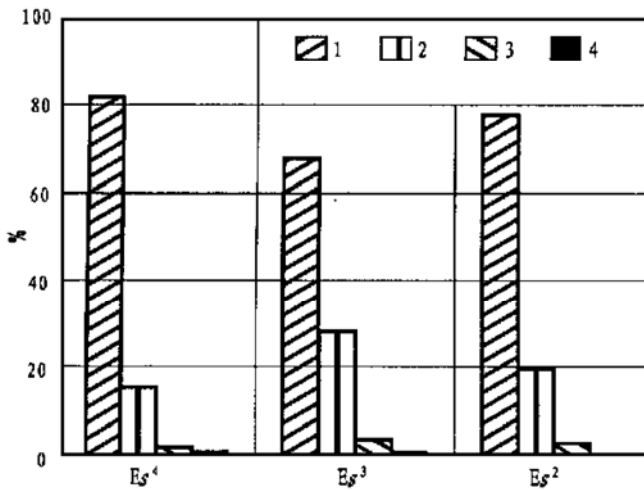


图 3 沙河街组地层水水型分布对比图

1. CaCl<sub>2</sub> 型; 2. MgCl<sub>2</sub> 型; 3. NaHCO<sub>3</sub> 型; 4. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 型

Fig. 3 Comparison of water-type distribution for the Shahejie formation water

地层水的向上运移。沙二段古水深变浅, 蒸发浓缩作用与下部地层水的向上运移两种因素并存<sup>[10-12]</sup>, 因此, TDS 较沙三段略有升高。

### 3.2 地层水流动的驱动机制

沉积盆地中的流体运移有多种驱动机制。东营凹陷内下部地层的普遍超压可能是该区地层水运移的主要驱动力<sup>[13,14]</sup>。超压的存在有利于断层的开启, 为流体运移提供了有利通道。除此之外, 浓度差异驱动导致地层水从高矿化度区向低矿化度区运移, 也是造成地层水垂向特征的一个重要因素。

### 3.3 地层水流动的通道

东营凹陷内断裂十分发育, 概括起来自盆地中央向边部依次为梁家楼- 现河断裂带、陈官庄- 王家沟断裂带和八面河断裂带。从 TDS 垂向分布图 (图 2) 上高矿化度区围绕断层展布可以得出, 梁家楼- 现河断裂带对该区地层水自下而上的运移贡献最大。同时, 它也是流体运移的主要通道之一。沙三段时, 东营三角洲十分发育, 大面积的三角洲砂体与低位扇砂体又为流体的运移提供了良好的运移通道。

## 4 古水文地质与油气聚集

从图 4 中可看出 Ca<sup>2+</sup> 对地层水化学成分的热力学缓冲作用<sup>[7,8]</sup>。氯化钙型水分布区是区域水动力相对阻滞区, 是纵向水文地质剖面上的交替停滞带, 由于地下水处于还原环境, 发生浓缩和强烈的脱

硫作用, 因而 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量很少或不存在, Ca<sup>2+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 相对富集, 形成氯化钙型水。这种水化学环境反映了油气圈闭的良好性质, 对油气藏保存是一种有利条件<sup>[15-19]</sup>。沙四上亚段是东营凹陷重要的生油岩系(生烃量占整个凹陷总生烃量的 41.3%)<sup>[4]</sup>, 良好的自封闭条件与地热值有利于有机质的成熟演化。地层水作为盆地流体的重要组成部分, 其演化反映了盆地中有机烃类的演化规律, 同时, 它也是油气运移的重要驱动力。水的流动样式是油气运移的反映。断层与沉积砂体对地层水的输导同样也影响油气运聚。沙河街组沙三段是东营凹陷的主要储油层段, 下部烃源岩生成的油通过断层垂向输导或沙三段的烃源岩所生成的油通过砂体的侧向输导运至有利地段形成油藏。地层水演化规律的研究为该区自生自储式和下生上储式油气藏的形成提供了又一证据。

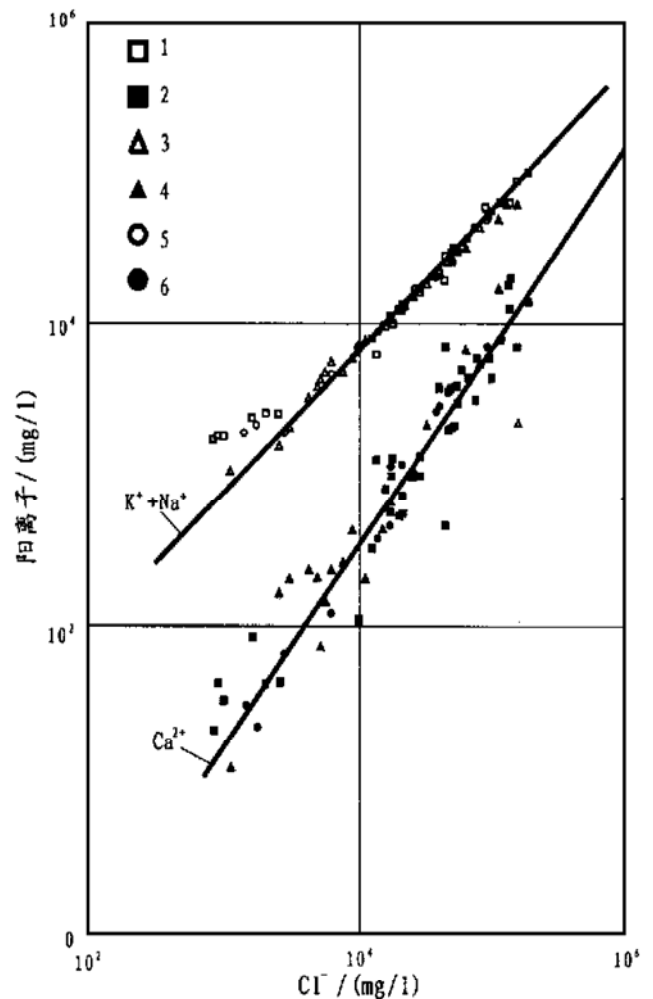


图 4 东营凹陷主要阳离子与氯离子的关系散点图

1. Es<sup>4</sup>- Ca<sup>2+</sup>; 2. Es<sup>4</sup>- K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>; 3. Es<sup>3</sup>- Ca<sup>2+</sup>; 4. Es<sup>3</sup>- K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>; 5. Es<sup>2</sup>- Ca<sup>2+</sup>; 6. Es<sup>2</sup>- K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>

Fig. 4 Scatter plot showing the relationship between major cations and Cl<sup>-</sup> in the Dongying Sag

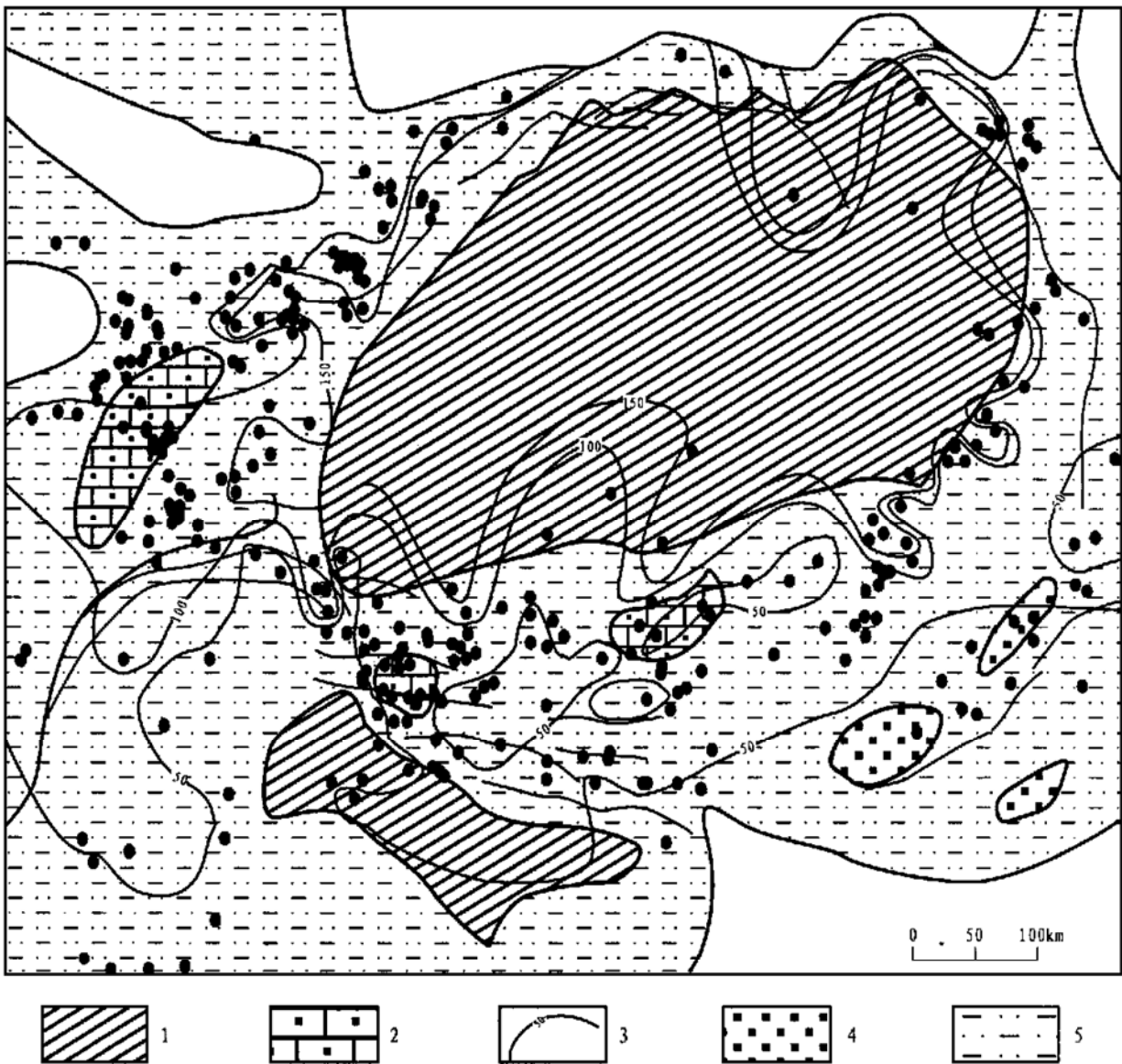


图 5 沙四段岩性与 TDS 对比图

1. 半深湖-深湖; 2. 碳酸盐滩坝; 3. TDS 等值线; 4. 砂坝; 5. 滨浅湖

Fig. 5 Correlation map showing the lithology of the Sha4 Member and its TDS

### 5 结论

(1) 东营凹陷地层水总矿化度(TDS)的分布具垂向分带和侧向不均一的特征。垂向上下高上低,侧向上 TDS 高值区沿断层发育的部位向上攀升。

(2) 根据地层水中  $Ca^{2+}$  和  $K^+ + Na^+$  含量随  $Cl^-$  浓度增大而升高的特征,提出该区地层水化学成分来自于地下岩盐的溶解。

(3) 水型特征与地层水矿化度值相关。该区发育 4 种类型的地层水,以  $CaCl_2$  型为主导,  $NaHCO_3$  型水的比例与矿化度值呈反相关关系,  $MgCl_2$  型和  $Na_2SO_4$  型水所占比例 < 5%。

(4) TDS 的垂向与侧向分布特征说明盆地中央的弧形断裂带和沉积形成的三角洲砂体充当了地层水运移的主通道。

(5) 氯化钙型水区有利于油气藏的聚集与保存。同时,地层水化学场的演化反映了该区的油气运移、聚集规律;水的流动是油气运移的重要驱动力,它还指示了油气运移的路径。因此,地层水化学场的研究具有重要的理论与实践意义。

#### 参考文献:

[1] 李思田,路凤香,林畅松,等.中国东部及邻区中生代盆地演化及地球动力学背景[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,1994. 1-10.

[2] 何生,唐仲华,陶一川,等.松南十屋断陷低压系统的油气水文

- 地质特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(1): 79- 84.
- [3] 徐国盛, 刘树根, 张英俊, 等. 川东石炭系天然气富集的水化学条件[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 15- 19.
- [4] 查明. 断陷盆地油气二次运移与聚集[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 27- 35.
- [5] 渠永宏, 孙镇城, 冯晓杰, 等. 冀中坳陷北部潜山地层水水文地质特征及对油气勘探的意义[J]. 大庆石油学院学报, 1999, 23(3): 8- 11.
- [6] 刘群, 陈郁华, 等. 中国中、新生代陆源碎屑-化学岩型盐类沉积[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1994. 105- 200.
- [7] Hanor J S. 盆地卤水化学成分的一级控制因素[J]. 地质科技情报, 1994, 13(1): 60- 64.
- [8] Hanor J S. Origin of saline fluids in sedimentary basins[J]. Parnell J. Geofluids: Origin, Migration and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins[C]. Geological Society Special Publication, 1994, (78): 151- 174.
- [9] 付晓泰, 王振平, 祝孝华. 不同温度、矿化度条件下地层水的密度[J]. 大庆石油学院学报, 1998, 22(2): 6- 9.
- [10] Bjorlykke K. Fluid-flow processes and diagenesis in sedimentary basins[A]. Parnell J. Geofluids: Origin, Migration and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins[C]. Geological Society Special Publication, 1994, (78): 127- 140.
- [11] Jessop A M & Majorowicz J A. Fluid flow and heat transfer in sedimentary basins[A]. Parnell, J. Geofluids: Origin, Migration and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins[C]. Geological Society Special Publication, 1994, (78): 43- 54.
- [12] Knipe R J & McCaig A M. Microstructural and microchemical consequences of fluid flow in deforming rocks[A]. Parnell J. Geofluids: Origin, Migration and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins[C]. Geological Society Special Publication. 1994, (78): 99 - 112.
- [13] 郝芳, 邹华耀, 姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 11- 22.
- [14] 查明. 压实流盆地油气运移动力学模型与数值模拟——以东营凹陷为例[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 86- 90.
- [15] 徐国盛, 刘树根, 张英俊, 等. 川东石炭系天然气富集的水化学条件[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 15- 19.
- [16] 黄福堂, 谭伟, 冯子辉. 松辽盆地北部地层水的物理化学性质和特征[J]. 大庆石油地质与开发, 1997, 16(3): 22- 25.
- [17] 张敏, 张俊. 塔里木盆地轮台断隆油田水组成特征及其意义[J]. 新疆石油地质, 1990, 19(3): 210- 212.
- [18] 冯乔. 吐哈盆地温吉桑现代水文地质条件与油气聚集[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(3): 224- 227.
- [19] 张建林, 陶一川, 等. 塔里木盆地北部油气田水文地质及水文地球化学特征[J]. 地球科学, 1995, 20(3): 349- 354.

## RELATIONSHIP BETWEEN THE CHEMICAL CHARACTERISTICS OF FORMATION WATER AND HYDROCARBON ACCUMULATION IN THE DONGYING SAG

SUN Xiang-yang, XIE Xin-nong

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

**Abstract:** It was discovered by study on the chemical field of the Shahejie formation water in the Dongying Sag that the total dissolved solid (*TDS*) of formation water has explicit vertical zonality. The value of *TDS* is the highest in the Sha<sub>4</sub> Member, and reduces gradually upward. According to the feature that the Ca<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup> contents in formation water get higher with the increasing of Cl<sup>-</sup> concentration, it is suggested that the chemical components of formation water in this area come from the dissolution of subsoil rock salt. Among CaCl<sub>2</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, MgCl<sub>2</sub> and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> four water types, the specific gravity of NaHCO<sub>3</sub>-typed water has inverse correlation relationship with the *TDS* of formation water. The characteristics of vertical and lateral *TDS* distribution show that the flow of formation water within the Dongying Sag is controlled by faults and sedimentary sand bodies. Formation water is a major component of basin fluid, and its revolution reflects the rules of hydrocarbon migration and accumulation in the basin. The flow styles of formation water provide a powerful evidence for the formation of “self-generation, self-accumulation” and “lower-generation, upper-accumulation” two patterns of hydrocarbon pools in the basin.

**Key words:** total dissolved solid (*TDS*) of formation water; flow styles; hydrocarbon pool formation; the Dongying Sag