

文章编号: 0253-9985(2009)03-0268-07

# 大港油田埕北断阶区地层水化学特征与油气成藏

张宗峰, 查明, 高长海

(中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

**摘要:** 大港油田埕北断阶区古近-新近系地层水具有微咸水的特征。阳离子含量  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ , 阴离子含量  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  在一定程度上控制着总离子量。地层水矿化度具有明显的垂向分带性, 水型以高矿化度的  $\text{NaHCO}_3$  型为主, 在研究区广泛分布。根据地层水矿化度与化学成分的纵向变化, 可以划分为正向型、反向型及多向型水化学剖面; 反向型和多向型剖面反映地层纵向连通性好, 利于油气运移。根据矿化度、离子含量、钠氯系数、脱硫系数等参数的纵向分布, 将水化学动力带分为地层水交替流畅带、交替阻滞带和交替迟缓带 3 类。交替迟缓带一般位于流体封存箱之下, 地层水矿化度相对较高, 是油气富集的区域。据此, 预测张东、张东东地区的古近系沙河街组是油气勘探的有利目标区。

**关键词:** 油气运移; 油气聚集; 油气分布; 地层水化学; 大港油田

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

## Hydrochemical characteristics and hydrocarbon accumulation in the Chengbei fault terrace zone of Dagang oilfield

Zhang Zongfeng, Zha Ming, Gao Changhai

(College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China)

**Abstract** The groundwater in the Tertiary Chengbei fault terrace zone in the Dagang oilfield is considered to be mildly saline water. The contents of positive ions are characterized by  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ , and the contents of negative ions feature in  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ . The  $\text{Cl}^-$  controls the total ion content. The salinity of groundwater shows obvious vertical zonations. The high salinity  $\text{NaHCO}_3$  water is the main type and distributes widely in the study area. According to the vertical change of salinity and chemical compositions of the groundwater, three types of hydrochemical profiles could be recognized, including positive type, reversed type and multidirectional type. The reversed and multidirectional type profiles reflect that the vertical connectivity is fine, making it good for hydrocarbon migration. Based on the vertical distribution of parameters such as salinity, ion content,  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  ratio and coefficient of desulfurization, we have divided the hydrochemical dynamical zones into three types: the formation water exchange smooth zone, the exchange retardation zone and the exchange dilatoriness zone. Usually under the fluid compartment and with relatively high salinity, the exchange dilatoriness zone is considered rich in oil and gas. Therefore, we have predicted that the Shahejie Formations in the Zhangdong and eastern Zhangdong areas are favorable exploration targets.

**Key words** hydrocarbon migration; hydrocarbon accumulation; hydrocarbon distribution; hydrochemistry; Dagang oilfield

地层水存在于任何一个油气藏的流体系统中, 它是油气运移、聚集的载体, 和油气之间存在着经常性的物质成分交换, 其特征及运动规律与油气的生成、运聚及油气藏的形成、保存和破坏有

着十分密切的联系<sup>[1]</sup>。地层水化学成分反映了沉积、成岩或成藏过程中流体与围岩相互作用的结果, 研究地层水的性质、化学特征和分布规律对揭示沉积成岩作用、油气运移、聚集成藏规律等具有

收稿日期: 2008-11-26。

第一作者简介: 张宗峰 (1982-), 男, 硕士研究生, 油气藏形成与分布。

基金项目: 中国石油大港油田分公司科技项目 (DGYT-2006-JS-4681)。



## 2 地层水地球化学特征

### 2.1 地层水成分

该区地层水在化学组成上以  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  等离子为主, 其次为  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 。对地层水的统计分析发现,  $\text{Cl}^-$  含量为 390~12 638 mg/L, 占阴离子总量的 13.76%~88.13%;  $\text{HCO}_3^-$  含量为 259~5 358 mg/L, 占阴离子总量的 5.56%~89.81%;  $\text{Na}^+$  (包括  $\text{K}^+$ ) 含量为 638~8 249 mg/L, 占阳离子总量的 68.62%~99.49%;  $\text{Ca}^{2+}$  含量为 5~767 mg/L, 占阳离子总量的 0.31%~22.27%。阳离子含量  $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  含量平均为 3 640 mg/L; 阴离子含量  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  含量平均为 4 530 mg/L。

研究区地层水中各盐类离子含量高低相差悬殊。阳离子中以碱金属离子  $\text{Na}^+$  占绝对优势, 占阳离子总量的 95% 以上, 具有明显的向某一元素端元集中的特点。其成因除与元素的地球化学性质有关外, 可能与研究区地层富集油, 改变了地层的水文地球化学环境, 从而有利于  $\text{Na}^+$  离子或钠盐富集有关。阴离子以  $\text{Cl}^-$  和  $\text{HCO}_3^-$  为主, 且  $\text{Cl}^-$  含量又相对高于  $\text{HCO}_3^-$  的含量, 这与研究区处于渤海湾盆地滩海地区的环境有关。不同层位的地层水在化学组成上也存在差异。在沙二段和东营组上段多数地层水阴离子以  $\text{HCO}_3^-$  为主,  $\text{Cl}^-$  次之。

### 2.2 地层水矿化度

本区地层水的总矿化度偏低, 具有微咸水的特点。矿化度与盐类离子之间有着一定的相关关系。

研究区地层水矿化度与  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Na}^+$  之间的线性关系最明显 (图 2),  $\text{SO}_4^{2-}$  离子次之,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  最小, 表明地层水中的  $\text{Cl}^-$  在一定程度上控制着总离子量。

根据地层水矿化度与化学成分的纵向变化, 可以划分为正向型、反向型及多向型水化学剖面<sup>[15]</sup>。正向型剖面以地层水矿化度、氯离子含量等由浅至深逐渐增大及钠离子含量、硫酸根离子含量、钠氯比值及脱硫系数由浅至深逐渐减小为特征, 反向型剖面则正好与之相反, 而多向型剖面则表现为地层水环境指标随深度可增可减。其中, 正向型反映了地层正常的埋藏变质史及地层纵向上的连通性较差; 反向型和多向型则说明了由于断裂的连通作用, 使深、浅层水得以多层位沟通。研究区地层水化学剖面变化复杂 (图 3), 在 1 500~4 000 m 范围内地层水矿化度呈现增大—减小—增大—减小的总体趋势, 部分井表现为正向型、多向型的水化学剖面。据研究区 20 余口井的地层水资料统计, 多向型水化学剖面占 90%, 而同一层位内多为正向型剖面。

### 2.3 地层水水型

苏林 (1946) 将地层水水型划分为  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{MgCl}_2$  及  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  型, 认为地表水或浅层地下水主要是  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  型、矿化度比较低, 深层主要是  $\text{CaCl}_2$  型水、矿化度最高, 两者之间一般是  $\text{MgCl}_2$  型水; 而在浅层和深层均可存在  $\text{NaHCO}_3$  型水, 一般浅层矿化度低, 深层则较高。按其分类, 研究区存在 4 种水型 (图 4)。其中,  $\text{NaHCO}_3$  型是本区最主要的水型, 在研究区广泛分布; 仅在局部地区存在  $\text{CaCl}_2$  型水, 如张东地区张海 2-1 张海 2-2 井, 它们位于断裂带附近, 显示可能与深部地下水热流体沿断裂活动有关; 以及 QK17-9-2 井区的侏罗系和沙河街组的  $\text{MgCl}_2$  型水和张 14-1

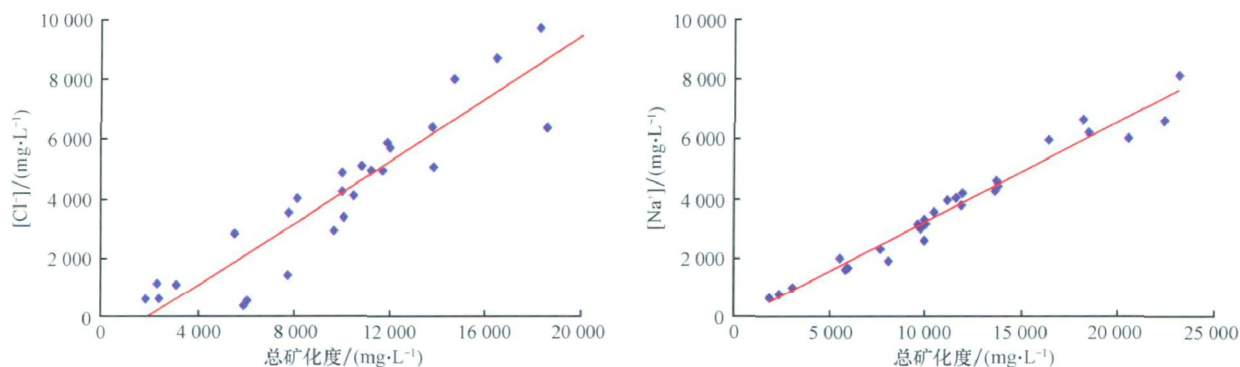


图 2 埕北断阶区地层水矿化度与离子含量关系

Fig. 2 The relationship between salinity and ion contents of the groundwater in the Chengbei fault terrace zone



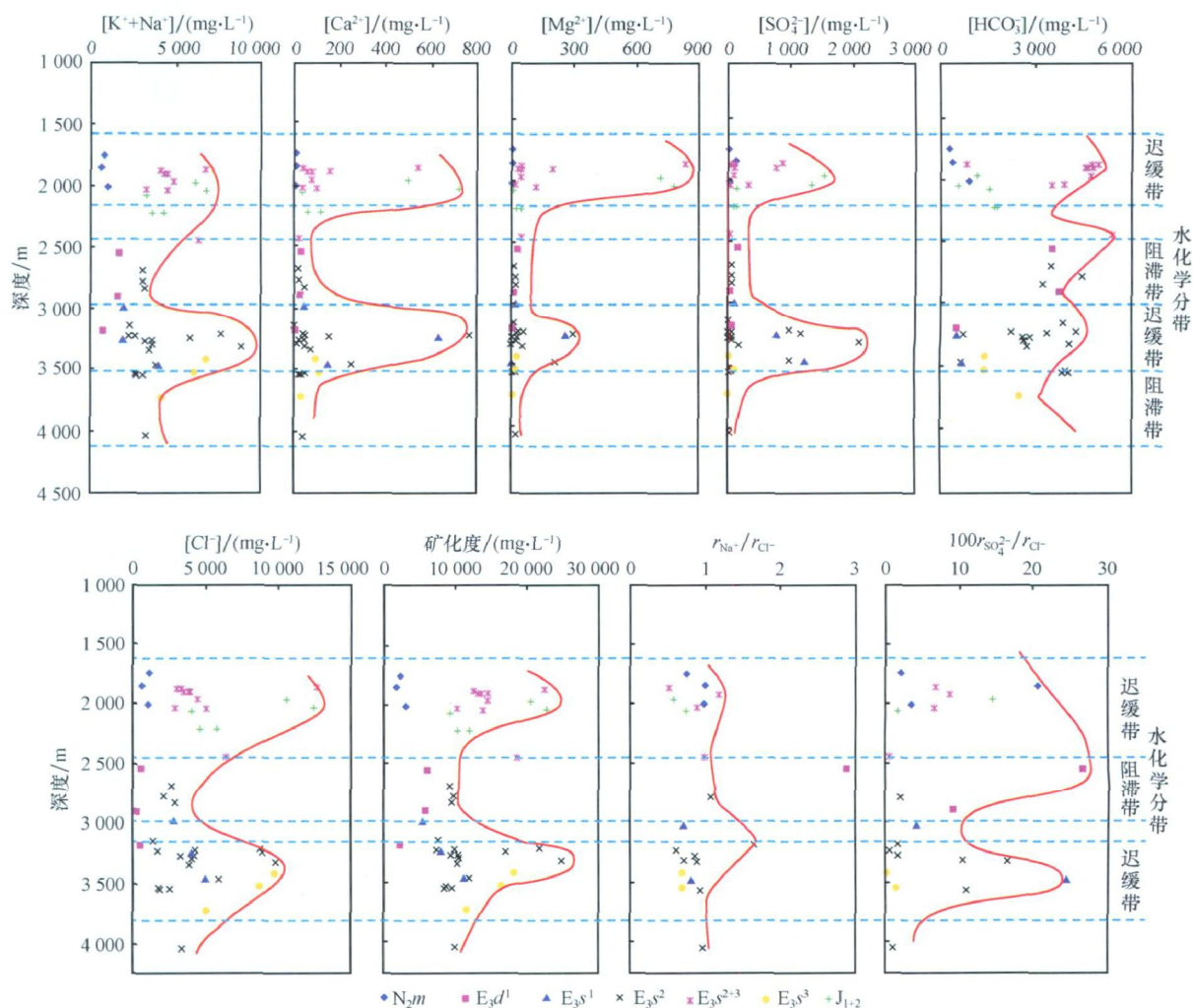


图 3 埕北断阶区地层水化学剖面

Fig. 3 The hydrochemistry profile of the Chengbei fault terrace zone

井沙二中亚段的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  型水, 说明当时处于开放氧化性的环境中, 不利于油气的保存。

### 3 地层水化学与油气成藏

地层水化学特征反映了一种构造背景下成藏环境的优劣, 其变化反映了油气成藏环境的变化<sup>[16]</sup> (表 1)。

#### 3.1 矿化度、水型与油气成藏

总矿化度对地层水的化学性质起着主导作用, 而不同的水化学性质反映不同的地质环境和油气保存条件<sup>[17]</sup>。高矿化度本身与油气藏的形成、分布有着密切关系, 矿化度升高的方向一般是油气的聚集方向<sup>[18]</sup>,  $\text{CaCl}_2$  型和高矿化度的  $\text{NaHCO}_3$  型地层水有利于油气的聚集。

研究区平面地层水矿化度分布存在差异, 张东

地区地层水总矿化度平均为 8 931 mg/L, 关家堡地区地层水总矿化度平均为 10 781 mg/L, 地层水总矿化度分布具有自北向南、自西向东增高的趋势 (图 4), 反映该地区原油来自歧口、歧南两个生油凹陷。歧南凹陷和歧口凹陷向张东构造区矿化度陡然升高, 由于流体在这些部位流动不畅, 油气保存条件相对较好, 张东地区沙二段已发现的油气藏正好在这些部位上。关家堡地区沙一段为地层水矿化度高值区, 庄海 5、庄海 8 井地层水总矿化度高达 10 000 mg/L, 反映该区为还原环境, 油气保存好, 该部位也是油藏发育的有利部位。研究区水型基本上为高矿化度的  $\text{NaHCO}_3$  型, 尤其是广泛分布在各构造带的断裂附近, 该水型更多反映的是水交替强烈的动荡环境。仅在局部地区出现较高矿化度的  $\text{CaCl}_2$  型水。这一方面与地层中的长石矿物有关<sup>[19]</sup>, 另一方面可能是由于凹陷区烃源岩进入成熟—过成熟阶段, 生成的轻质油气沿不整合面或断





$r_{Cl-}$  值仅 0.53 其变质程度较小, 利于油气的保存。研究区钠氯系数的平面变化规律不明显, 这在一定程度上反映了水动力较强到过渡的特点。根据研究区油气勘探结果统计, 油气藏一般都分布在变质系数小于 1.5 的地区, 因此将变质系数 1.5 作为本区有无油气的临界指标。

3.3 脱硫系数 ( $100r_{SO_4^{2-}}/r_{Cl-}$ ) 与油气成藏

脱硫系数 ( $100r_{SO_4^{2-}}/r_{Cl-}$ ) 是反映地下水氧化还原环境的重要指标。脱硫系数越小, 地层越封闭, 还原环境越强, 对油气的保存越有利。一般情况下, 在封闭的油气藏中, 脱硫系数一般都很低。

埕北断阶区脱硫系数变化范围较大, 介于 0.25~26.67 之间, 一般都大于 1。如张 14-1 井沙河街组地层水脱硫系数为 9.23~24.44 反映水体活动能力较强, 受地表水影响较大; 张 10 井沙三段地层水脱硫系数较小, 仅为 0.25。据统计, 该区含油地层水的脱硫系数一般均小于 20 因此将 20 作为本区有无油气的临界指标。

3.4 地层水化学环境与油气成藏

地层水的成因大致可分为溶滤-渗入水、混合水和沉积-埋藏水 3 种类型, 其对应的水文地质垂直分带为自由交替带、交替阻滞带和交替停止带。

相应地, 水文地质环境由开启转为封闭, 油气的保存条件由差变好<sup>[21]</sup>。

研究区地层水化学垂向分带性特征明显, 并且与油气分布有密切关系。深部高矿化度地层水可以沿断裂向上部运移, 同时受浅层地层水以及大气淡水影响矿化度会降低, 形成正向型水化学剖面。部分井沙二中至沙二上亚段地层水矿化度陡然升高, 向上又降低, 形成下部反向、上部正向的水化学剖面。因此, 在封闭较好的沙二中亚段局部地段出现较高矿化度  $NaHCO_3$  型水区, 是原生油气藏有利发育区。

根据矿化度、离子含量、钠氯系数、脱硫系数等参数的纵向分布, 将水化学动力带分为地层水交替流畅带、交替阻滞带和交替迟缓带 3 类(图 3 图 5)。地层水交替流畅带, 各离子含量低, 矿化度低, 钠氯系数、脱硫系数较大, 反映较强水文交替条件, 封闭条件相对较弱, 一般油气分布较少; 地层水交替阻滞带是离子含量逐渐增加的地段, 矿化度基本不变, 地层水交替程度较弱, 可以有油气分布; 地层水交替迟缓带各离子含量高, 矿化度高值, 一般对应钠氯系数、脱硫系数低值, 反映地层封闭性增强, 油气保存条件好, 利于油气富集。从图 3 中可以看出, 该区存在两个交替迟缓带, 分别对应 2 000 m 和 3 300 m 深度范围。但从与油气

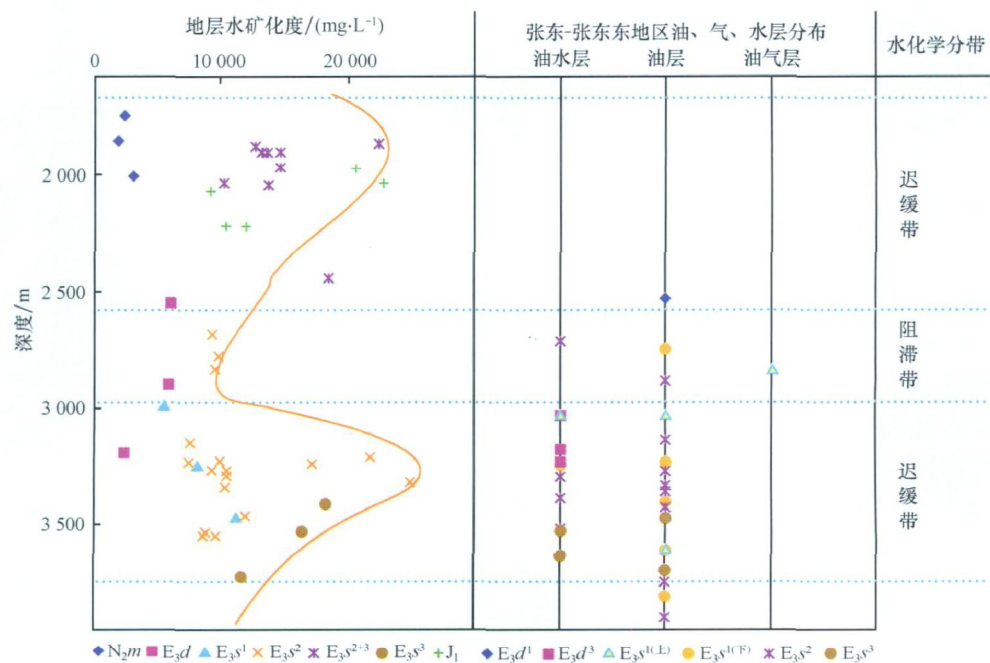


图 5 埕北断阶区地层水矿化度与油气分布关系

Fig. 5 The relationship between groundwater salinity and hydrocarbon distribution in the Chengbei fault terrace zone

分布关系(图 5)看,上部迟缓带几乎没有油气分布,分析认为是与其与地表连通、地表水渗入影响了它的保存有关。研究区在 2 000 m 深度上、下的原油物性、Pr/Ph 值和  $(Pr+Ph)/(nC_{17}+nC_{18})$  值存在明显的差异。2 000 m 以上的原油密度、粘度以及胶质+沥青质含量较之 2 000 m 以下明显增大,含蜡量,特别是凝固点则显著降低; Pr/Ph 值和  $(Pr+Ph)/(nC_{17}+nC_{18})$  值由上部的稳定分布变为杂乱无章。这些特征也反映了 2 000 m 上、下地层的油气保存条件具有差异。2 000 m 以上原油物性的突变,特别是凝固点的大幅度降低,在本区主要是由于生物降解作用造成的。这也解释了上部交替迟缓带油气分布较少的原因,即与油气保存条件差有关。研究区在 2 200 m 以下地层中开始发育超压<sup>①</sup>,下部交替迟缓带处于超压封存箱内,有利于油气成藏。

## 4 结论

1) 根据地层水矿化度与化学成分的纵向变化,可以划分为正向型、反向型及多向型水化学剖面。反向型和多向型剖面反映地层纵向连通性好,利于油气运移。研究区地层水化学剖面变化复杂,多向性剖面占 90% 以上。

2) 地层水总矿化度的分布具有垂向和侧向不均一的特征。水型以  $NaHCO_3$  型为主,  $CaCl_2$  型和高矿化度的  $NaHCO_3$  型地层水有利于油气的聚集。变质系数  $(r_{Na^+}/r_{Cl^-})$  为 0.53~4.19, 脱硫系数  $(100r_{SO_4^{2-}}/r_{Cl^-})$  为 0.25~26.67, 有利于油气保存的下限值分别为 1.5 和 20。

3) 平面上油气主要分布在高矿化度的  $NaHCO_3$  型水区。纵向上将水化学动力带分为地层水交替流畅带、交替阻滞带和交替迟缓带 3 类。其中,交替迟缓带各离子含量高,矿化度高值,一般对应钠氯系数、脱硫系数低值,反映地层封闭性增强,油气保存条件好,利于油气富集。

## 参 考 文 献

- 1 贾霍甫,徐思煌.川东北地区二叠-侏罗系地层水化学特征及其与油气聚集的关系[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2005,7(2):12~15
- 2 吴世祥,汪泽成,张林,等.川西地区上三叠统水化学场、水动力

- 场与油气富集关系研究[J].石油实验地质,2002,24(1):61~68
- 3 Collins A G. 油田水地球化学[M].林文庄,王秉忱,译.北京:石油工业出版社,1984.177~178
- 4 孙向阳,解习农.东营凹陷地层水化学特征与油气聚集关系[J].石油实验地质,2001,23(3):291~296
- 5 张小莉,查明,赫拴柱,等.渤海湾盆地廊固凹陷地层水化学纵向分带性与油气富集[J].石油实验地质,2006,28(2):187~190
- 6 Jessop A M, Majrowicz J A. Fluid flow and heat transfer in sedimentary basins[A]. In: Pamell J ed. Geofluids: origin, migration and evolution of fluids in sedimentary basins[C]. Geological Society Special Publication, 1994. 78. 43~54
- 7 雷利安,谢利华,王金志,等.黄河南地区地层水矿化度变化规律与油气成藏[J].新疆石油地质,2005,26(2):152~154
- 8 曾溅辉,吴琼,杨海军,等.塔里木盆地塔中地区地层水化学特征及其石油地质意义[J].石油与天然气地质,2008,29(2):223~229
- 9 曹海防,夏斌,张娣,等.松辽盆地地层水化学特征及其流体-岩石相互作用探讨[J].天然气地球科学,2006,17(4):566~572
- 10 胡晓凤,王韶华,盛贤才,等.中扬子区海相地层水化学特征与油气保存[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2007,29(2):32~37
- 11 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
- 12 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
- 13 姜林,宋岩,查明,等.准噶尔盆地莫索湾地区地层水研究[J].石油与天然气地质,2008,29(1):72~77
- 14 袁淑琴,丁新林,苏俊青,等.大港油田滩海区埕北断阶带油气成藏条件研究[J].江汉石油学院学报,2004,26(增刊):8~9
- 15 董万百,林艳萍,高红.准噶尔盆地腹部及南缘水化学纵向变化规律[J].石油实验地质,2001,23(2):195~199
- 16 查明,陈中红,张年富,等.准噶尔盆地陆梁地区水化学特征与油气运聚[J].地质科学,2003,38(3):315~322
- 17 严金泉,胡晓凤.江汉盆地下三叠统一石炭系水文地质条件及对油气保存条件的影响[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2006,28(2):42~44
- 18 史建南,姜建群,张福功,等.大民屯凹陷地层水水文地质特征与油气聚集关系[J].海洋地质动态,2003,19(11):24~30
- 19 Allaby A, Allaby M. The concise Oxford dictionary of earth sciences[M]. Oxford UK: Oxford University Press, 1990. 410~412
- 20 蔡立国,钱一雄,刘光祥,等.塔河油田及邻区地层水成因探讨[J].石油实验地质,2002,24(1):57~60
- 21 陈建平,查明,周瑶琪.准噶尔盆地西北缘地层水化学特征与油气关系研究[J].地质地球化学,2000,28(3):54~58

(编辑 李 军)

① 罗晓容.埕北断阶带油气运聚规律与勘探方向.中科院地质与地球物理研究所,2005