

文章编号: 1000-0550(2000)04-0567-06

# 辽河盆地西部凹陷欢—双地区下第三系 油田水体系及地球化学场<sup>①</sup>

朱岳年

(石油大学油气资源与环境地质研究所 山东东营 257062)

**摘要** 油田水体系的地球化学场中蕴含着丰富的石油地质学含意, 其研究对指导油气勘探和开发有重要的意义。辽河盆地西部凹陷欢—双地区下第三系油田水可划分为六个体系, 即: (1) 沙四段油田水体系, (2) 沙三段下部油田水体系, (3) 沙三段中—上部油田水体系, (4) 沙二段油田水体系, (5) 沙一段油田水体系和(6) 东营组油田水体系。虽然这六个体系的油田水均为低矿化度的重碳酸钠型水, 但其矿化度和还原系数场不尽相同; 这些不同不仅表现在油田水体系之间的地球化学场异常区面积有差异, 而且地球化学场异常区位置也有变化。一般认为油田水体系中矿化度场的正异常区和还原系数场的负异常区为有利的油气聚集区和保存区。

**关键词** 油田水 矿化度 还原系数 辽河盆地

**作者简介** 朱岳年 男 1963 年出生 副教授 地球化学

**中图分类号** P593 TE133 **文献标识码** A

油田水即含油气区域内的地下水(包括油层水和非油层水)<sup>[1]</sup>, 它们作为油气形成、运移、聚集及离散的直接参与者, 其研究的重要性是不言而喻的。辽河盆地为我国重要的含油气盆地, 其下第三系是主要的生油和储油岩。研究区——西部凹陷欢喜岭—双台子地区(简称欢—双地区)是辽河盆地下第三系油气钻探及试油时采集和分析油田水样最密集的地区(图1)。本文在收集和研 究欢—双地区近 200 口探井的约 500 个油田水样的 4 000 多个化学分析数据的基础上, 结合地质资料探讨了辽河盆地欢—双地区下第三系油田水体系及地球化学场。

## 1 地质背景

辽河盆地是一个中—新生代形成的三面环山、一面临海的含油气盆地。早第三纪是该盆地的断陷阶段。由于断裂活动强烈且具区域差异性, 辽河盆地自早第三纪早期就不仅形成了多个构造单元——西部凸起、西部凹陷、中央凸起、东部凹陷、东部凸起和大民屯凹陷, 而且在同一构造单元内部也形成了凸凹相间的地形和地貌特征。西部凹陷正是由于受这种差异性的地形和地貌影响, 在其中部的曙光—兴隆台一带形成古隆起(古潜山), 将其分割成南、北两个低洼

区, 南部低洼区即研究区——欢—双地区(图1)。这种格局几乎持续了整个早第三纪。

晚第三纪, 辽河盆地结束了强烈断陷历史而进入了一个整体稳定升降运动的新时期; 沉积愈新, 其分布面积愈大, 表现出层层超覆的同生沉积构造特征。下第三系断裂可一直延续至上第三系馆陶组, 但没有破坏其连续性。

辽河盆地欢—双地区下第三系之下有太古界

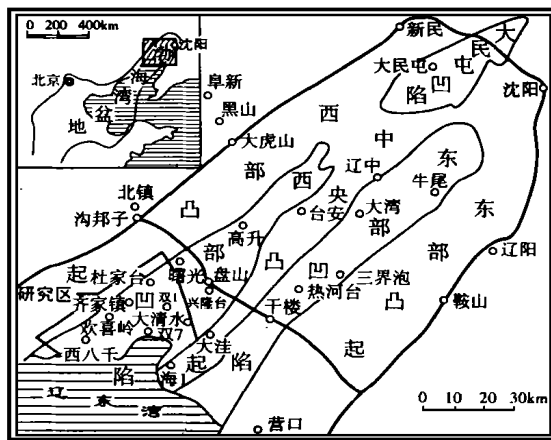


图1 辽河盆地欢—双地区位置

Fig. 1 Location of Huanxingling-Shuangtaizi area, Liaohe basin

<sup>①</sup> 国家自然科学基金(批准号: 49973007)和中国石油科技创新基金项目资助

的变质岩系和侏罗系—白垩系的火山岩系及砂—泥岩系；下第三系自下而上有：沙河街组沙四段( $E_{s4}$ )砾岩—砂岩—泥岩—页岩系(分布于西八千—杜家台一带)、沙河街组沙三段下部( $E_{s3}$ 下)大套深色泥岩夹厚度变化较大的浅色砾岩—砂岩—泥岩系(分布于西八千—杜家台一带及双台子西部的局部地区)、沙河街组沙三段中—上部( $E_{s3}$ 中—上)砂砾岩—砂岩—泥岩系(分布于整个研究区)、沙河街组沙二段( $E_{s2}$ )砾岩—砂砾岩夹薄层泥岩系(分布于整个研究区)、沙河街组沙一段( $E_{s1}$ )深色泥岩—页岩夹透镜状砂岩系(分布于整个研究区)、东营组( $E_d$ )泥岩—砂岩系(分布于整个研究区)；上第三系及第四系为一套遍布整个西部凹陷的砂岩—泥岩系。

## 2 油田水体系

油田水的形成和演化是按一定的含水体系进行的。体系内的油田水是不可分割的统一整体，而相邻体系的油田水则是相互隔绝的，或者只有极弱的水力联系<sup>[2]</sup>。因此，正确划分含油气区油田水体系将是深入探讨油田水地球化学的前提。

含油田水体系的划分就是要确定隶属于各含油田水体系的一套岩性地层组合；从含油田水岩石组合而言，亦即是划分含油田水岩系。其划分原则应考虑含水岩系的岩性、岩相、储集空隙、构造断裂等特征。通常，将油田水的物理化学性质和水动力状态等诸因素具有同一性或相似性的含水层(一个或多个)及其相邻不导水的夹层组成的一套岩层称为一个含油田水体系。总之，含油田水体系是指含油气区具有基本上相同的水文地质特征和占有—定地层层位的、并在多数情况下是由两个或两个以上岩性和岩相一致的含水岩系组成的含水综合体。

辽河盆地西部凹陷欢—双地区下第三系厚达数千千米，其岩性以砂岩和泥岩为主，具有明显的多旋回沉积特征。如果考虑断裂活动而造成层间的水力联系，将厚达数千米的下第三系沉积岩系归为一个油田水体系，则显然过于简单化了。事实上，辽河盆地欢—双地区下第三系各沉积层在空间上是成层分布的，虽然局部地段由于构造运动而发生了层位错动或沉积缺失，但是从全局来看依然是个整体。

根据研究区下第三系各层段的沉积作用、沉积环境、沉积相的展布、多旋回的沉积过程和构造运动、以及断裂形成和消亡的时代，油气成藏的生、储、盖组合特征等，沉积层在地史过程中裸露的规模和地段及其经历的水文地质作用，以及现代油田水化学成分分带

性等，笔者认为将辽河盆地西部凹陷欢—双地区下第三系油田水分成下列六个体系比较合适。它们分别是：(1)沙四段油田水体系，(2)沙三段下部油田水体系，(3)沙三段中—上部油田水体系，(4)沙二段油田水体系，(5)沙一段油田水体系和(6)东营组油田水体系。

## 3 油田水地球化学场

辽河盆地西部凹陷欢—双地区下第三系油田水均为低矿化度(892 ~ 14 481 mg/l，一般在5 000 mg/l)的重碳酸钠型油田水；其化学成分以钾、钠离子( $K^+ Na^+$ ；259 ~ 6 560 mg/l，一般在2 000 mg/l)和重碳酸根离子( $HCO_3^-$ ；127 ~ 9 641 mg/l，一般在1 800 mg/l)为主，氯离子( $Cl^-$ ；70 ~ 3 759 mg/l，一般在1 000 mg/l)次之，镁离子( $Mg^{2+}$ ；1 ~ 220 mg/l，一般在10 mg/l)、钙离子( $Ca^{2+}$ ；1 ~ 365 mg/l，一般在15 mg/l)和硫酸根离子( $SO_4^{2-}$ ；1.9 ~ 393 mg/l，一般在100 mg/l)较少。

矿化度是表征油田水地球化学特征的一个重要指标，研究其在含油田水体系中的变化规律可以确定油气运移的方向、构造圈闭的开启情况、以及有利的油气聚集场所等。另外，油田水中离子之间的毫克当量浓度比值，例如还原系数 $rSO_4^{2-} / (rSO_4^{2-} + rCl^-) \times 100$ ，也可以很好反映油田水的地球化学特征；探讨其在含油田水体系中的展布规律，有助于了解油田水的成因、演化及其与油气聚集的关系。一般认为油田水体系中矿化度场的正异常区和还原系数场的负异常区有利于油气聚集和保存<sup>[3~8]</sup>。

### 3.1 沙四段油田水体系

油田水体系实质上是含油气区的一套含水岩系，其规模是由各层段的含水地层所决定的。沙四段油田水体系主要分布于研究区西斜坡的欢喜岭—杜家台一带。

矿化度场在研究区沙四段油田水体系中的变化特征是：从北西西方向的欢16井—欢15井—齐112井—齐5井—杜117井一带的小于2 000 mg/l，向南东东方向逐渐增大，大约在锦2井—欢30井—杜4井—杜131井—杜146井一带达到峰值(7 000 mg/l)；再继续向东则沙四段油田水的矿化度迅速递减，大致在欢56井—齐61井—齐133井一带矿化度降至3 000 mg/l(图2-A)。油田水中 $rSO_4^{2-} / (rSO_4^{2-} + rCl^-) \times 100$ 被称为还原系数。还原系数是表征油田水地球化学特征的一项重要指标，研究其在油田水体系内的区域性变化有很重要的现实意义。

如果还原系数在油田水体体系内出现负异常区, 则说明该区是构造封闭性好、水交替作用缓慢、缺氧的还原环境, 有利于油气聚集及保存。图 2-B 为沙四段油田水体体系的还原系数等值线图。由此图可以看出, 欢喜岭地区的欢 1 井—欢 3 井—欢 4 井—齐 22 井一带和齐 5 井—齐 1 井—齐 2 井—齐 19 井—欢 10 井一带分别出现两个还原系数负异常区, 负异常区内还原系数小于 5, 而其外部均大于 10(最高达 50)。

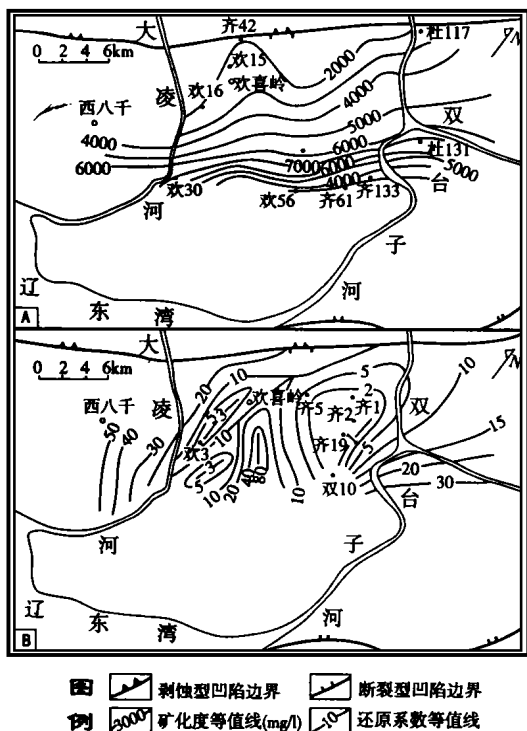


图 2 辽河盆地欢—双地区沙四段油田水体体系地球化学场(A: 矿化度; B: 还原系数)  
Fig. 2 The geochemical fields (A: mineralization intensity; B: reduction factor) of the oil-field water system in No. 4 Section of Shahejie Formation in Huanxingling-Shuangtaizi area, Liaohe basin

### 3.2 沙三段下部油田水体体系

沙三段下部油田水体体系主要分布于西斜坡及双台子的西部; 其矿化度一般变化在 2 000 mg/l ~ 8 000 mg/l 之间; 矿化度的变化趋势是自北西西部的盆地边缘的锦 25 井—欢 128 井一带的 2 000 mg/l 左右, 向南东东方向的盆地中央逐渐呈南部和北部窄、中部宽的不等带推进增高, 大约在锦 130 井—锦 24 井—欢 96 井一带及欢 6 井—双 33 井一带达的 8 000 mg/l, 形成研究区沙三段下部油田水体体系内的两个正异常带(图 3-A)。沙三段下部油田水体体系矿

化度的这种分布特征与沙四段油田水体体系矿化度的分布特征不同。

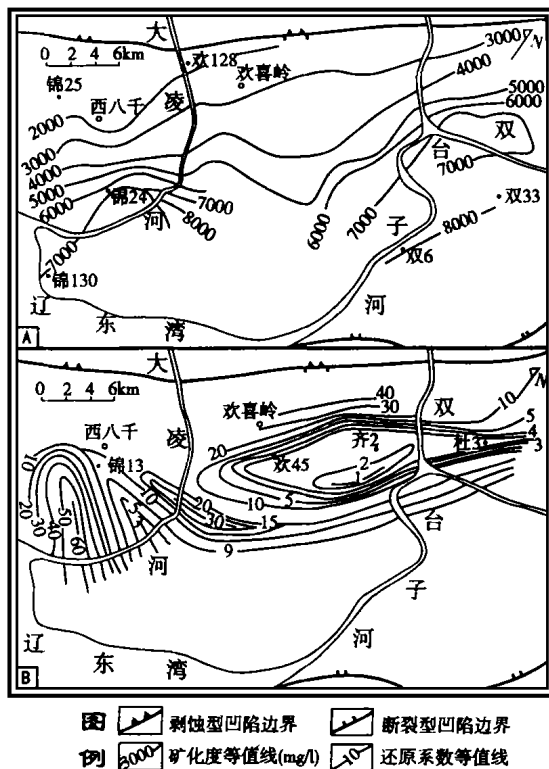


图 3 辽河盆地欢—双地区沙三段下部油田水体体系地球化学场(A: 矿化度; B: 还原系数)

Fig. 3 The geochemical fields of the oil-water system in the lower No. 3 Section of Shahejie Formation in Huanxingling-Shuangtaizi area, Liaohe Basin

还原系数在沙三段下部油田水体体系中的变化也不同与沙四段油田水体体系中还原系数的变化特征。沙三段下部油田水体体系中出现了两个  $rSO_4^{2-} / (rSO_4^{2-} + rCl^-) \times 100$  负异常区(图 3-B)。欢喜岭—齐家铺子之间的负异常区面积较大, 异常区内还原系数明显比其周围小, 一般小于 5, 形成了一个很好的闭合区, 该区有利于大规模的油气聚集。另一个负异常区在西八千东侧, 即锦 19 井—锦 104 井—欢 96 井一带, 该负异常区面积不大, 闭合性也较差。

### 3.3 沙三段中—上部油田水体体系

沙三段中—上部油田水体体系中矿化度的分布特征如图 4-A。在研究区南部, 沙三段中—上部油田水体体系的矿化度分布特征基本上与沙三段下部油田水体体系的相同。而在研究区北部、双台子、清水沟一带, 沙三段中—上部油田水体体系的矿化度分布特征为: 自西侧边缘的小于 2 000 mg/l 向东递增, 大约在

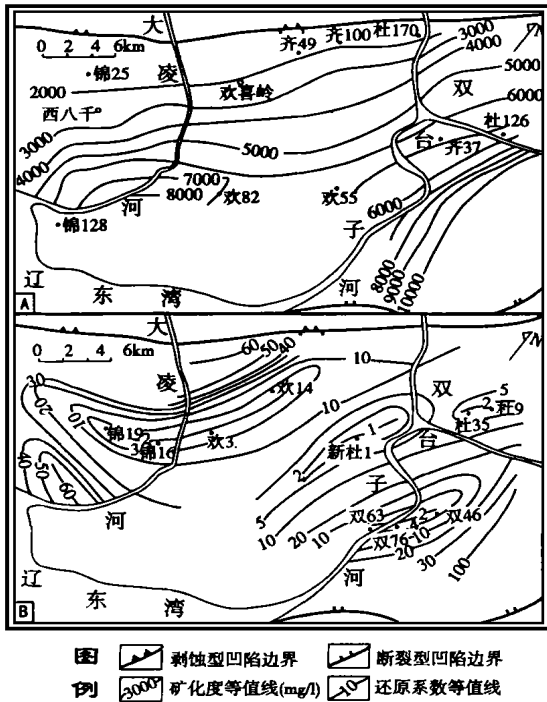


图4 辽河盆地欢—双地区沙三段中—上部油田水体系地球化学场(A. 矿化度 B. 还原系数)

Fig. 4 The geochemical fields of the oil-water system in the middle-upper No. 3 Section of Shahejie Formation in Huanxiling-Shuangtaizi area, Liaohe Basin

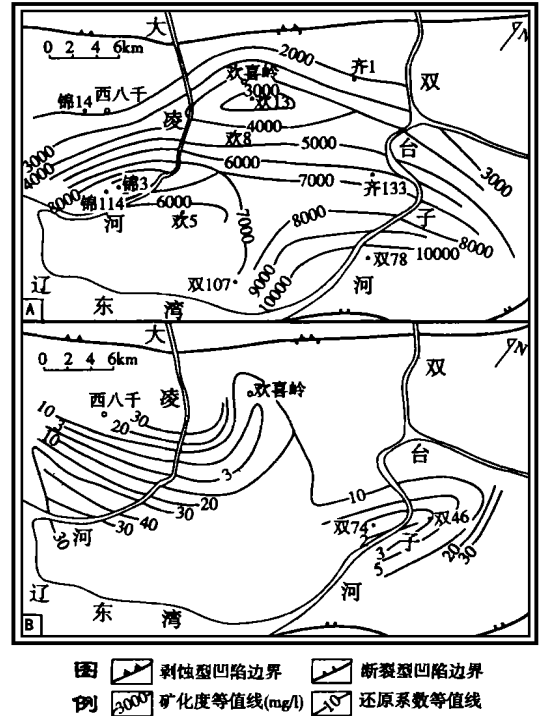


图5 辽河盆地欢—双地区沙二段油田水体系地球化学场(A. 矿化度; B. 还原系数)

Fig. 5 The geochemical fields of the oil-water system in No. 2 Section of Shahejie Formation in Huanxiling-Shuangtaizi area, Liaohe Basin

欢55井—杜126井一带达7 000 mg/l;接着出现一个微弱的递减,而后向东继续递增(图4-A)。

还原系数在沙三段中—上部油田水体系中出现了四个负异常区(图4-B)。西八千—欢喜岭负异常区面积最大;新社1井周围及双台子地区的负异常区面积中等;杜家台负异常区面积较小。

### 3.4 沙二段油田水体系

沙二段油田水体系在西斜坡缺失较多,杜家台地区尤为特征。矿化度在研究区沙二段油田水体系中分布较均匀,基本上为西侧低,向中、东部增高的特征。其中在欢13井附近出现一负异常区,在锦114井—锦3井附近出现正异常区,最高达9 000 mg/l。全区矿化度最高处在东部双台子地区的双104井—双54井一带,达10 000 mg/l(图5-A)。

还原系数在沙二段油田水体系中出现两处负异常区,一处在西八千—欢喜岭之间,另一处在双台子的双74井—双46井之间(图5-B)。

### 3.5 沙一段油田水体系

研究区沙一段油田水体系的矿化度变化在1 000~9 000 mg/l范围内(图6-A),西侧边缘矿化度在1 000 mg/l左右,大约在洼陷中央矿化度最高达9 000 mg/l左右。

还原系数在研究区沙一段油田水体系中变化特殊。锦34井—欢19井—新齐14井—齐133井一带和双82井—双47井一带,及这两带所夹的地区均为负异常区(图6-B)。然而,这些地区在沙四段、沙三段下部、沙三段中—上部和沙二段的油田水体系中还原系数均为正异常区。这是因为这些地区在沙四段、沙三段下部、沙三段中—上部和沙二段内断裂发育,为氧化环境,所以油田水的还原系数较大;而沙一期研究区进入了演化晚期,断裂活动减弱,加之第三系和第四系沉积的层层叠加使沙一段油田水体系处于还原环境,有利于油气聚集和保存。

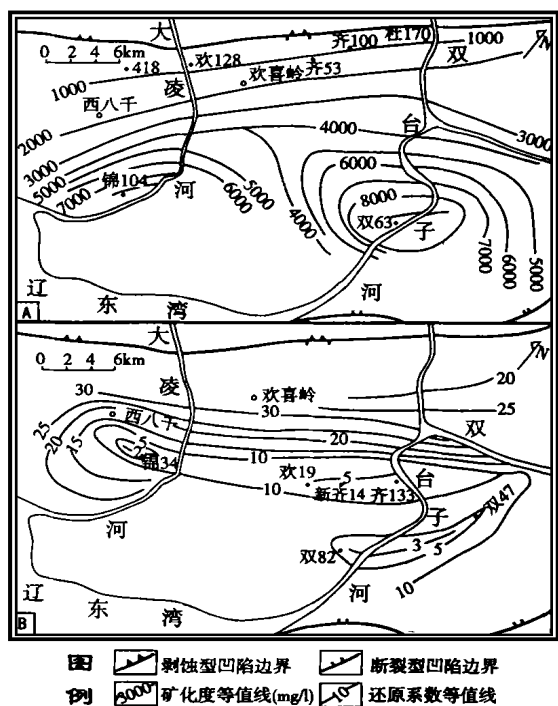


图6 辽河盆地欢—双地区沙一段油田水体地球化学场(A. 矿化度; B. 还原系数)

Fig. 6 The geochemical fields of the oil-water system in No. 1 Section of Shahejie

Formation in Huanxiling-Shuangtaizi area, Liaohe Basin

### 3.6 东营组油田水体

研究区东营组油田水体中矿化度较小, 在锦25井—欢8井—齐133井一带以西小于1 000 mg/l, 中部最大也不过6 000 mg/l左右(图7-A)。

还原系数在东营组油田水体中出现两个负异常区, 它们分别在欢5井—欢9井一带和双104井—双56井一带(图7-B)。

## 4 结语

油田水体中矿化度场的正异常区和还原系数场的负异常区是油气聚集和保存的有利区。辽河盆地西部凹陷欢—双地区下第三系油田水可划分为六个体系, 它们分别是: (1)沙四段油田水体, (2)沙三段下部油田水体, (3)沙三段中—上部油田水体, (4)沙二段油田水体, (5)沙一段油田水体和(6)东营组油田水体。这六个体系的油田水均为低矿化度的重碳酸钠型水, 但是矿化度和还原系数场在这六个油田水体中不同; 这不仅表现在油田水体之间这两种油田水地球化学场的异常区范围不同, 而且反映在各油田水体之间的地球化学场异常区位置

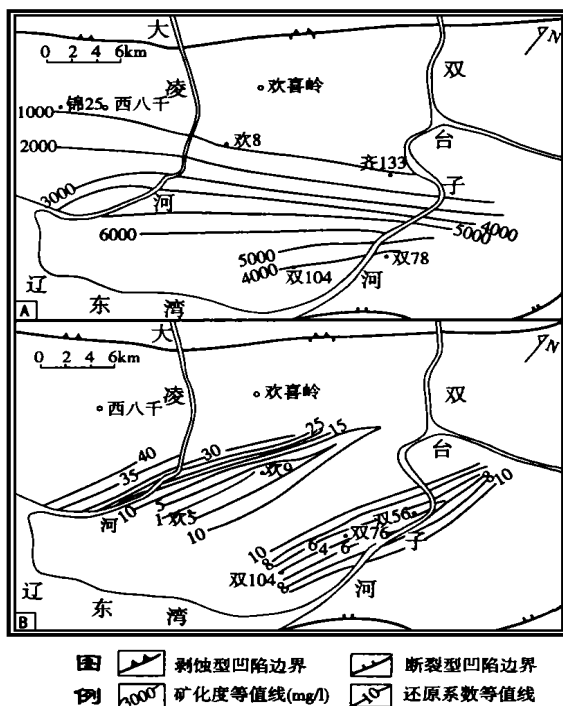


图7 辽河盆地欢—双地区东营组油田水体地球化学场(A. 矿化度; B. 还原系数)

Fig. 7 The geochemical fields of the oil-water system in Dongying Formation in Huanxiling-Shuangtaizi area, Liaohe Basin

也有差异。它们分别代表着各自的石油地质学含意。辽河盆地西部凹陷欢—双地区下第三系油田水体的这些地球化学场特征表明研究区下第三系各层段的油气聚集与保存条件不完全一致。

### 参考文献

- 1 Dickey P A. Oil-field waters [A]. In: Petroleum geology development [C]. Third edition. Tulsa Oklahoma USA; Pennwell Publishing Company, 1986. 253 ~ 286
- 2 地质矿产部水文地质与工程地质研究所, 石油部华北石油勘探开发研究院, 地质矿产部石油地质综合大队101队. 油田古水文地质与水文地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987. 1 ~ 218
- 3 李学礼. 水文地球化学 [M]. 北京: 原子能出版社, 1982. 1 ~ 126
- 4 杨忠辉. 油田水的水文地球化学标志及其应用 [J]. 石油与天然气地质, 1981, 3(4): 327 ~ 333
- 5 刘崇禧. 油气矿床的水文地球化学普查 [J]. 物探与化探, 1983, 7(2): 105 ~ 111
- 6 Dickey A A. Patterns of chemical composition in deep subsurface waters [J]. AAPG Bulletin, 1966, 55(11): 2427 ~ 2478
- 7 Hitchon B and Hom M K. Petroleum indicators in formation waters from Alberta, Canada [J]. AAPG Bulletin 1974, 58: 464 ~ 473
- 8 Parker J W. Water history of Cretaceous aquifers, East Texas Basin [J]. Chemical Geology, 1969, 68(12): 1659 ~ 1682

# Oil-field Water Systems and their Geochemical Fields of Eocene System in Huanxiling-Shuangtaizi Area, Western Depression, Liaohe Basin

ZHU Yue-nian

(Institute of Petroleum Resources and Environmental Geology, University of Petroleum, Dongying Shandong 257062)

## Abstract

There are plenty of petroleum geology implications in geochemical fields of oil-field water systems. It is very important for studying the geochemical fields to guide exploration and development of petroleum. Oil-field waters of Eocene System in Huanxiling-Shuangtaizi area, the Western Depression, Liaohe basin, can be divided into six oil-field water systems. The oil-field water systems are: (1) the oil-field water system of No.4 Section of Shahejie Formation, (2) the oil-field water system of lower No.3 Section of Shahejie Formation, (3) the oil-field water system of middle-upper No.3 Section of Shahejie Formation, (4) the oil-field water system of No.2 Section of Shahejie Formation, (5) the oil-field water system of No.1 Section of Shahejie Formation, (6) the oil-field water system of Dongying Formation. Though the types of all oil-field water of the six systems in Huanxiling-Shuangtaizi area, Western Depression, Liaohe basin are the low mineralized bicarbonate sodium, it is very different among mineralization intensity fields and reduction factor fields in the six oil-field water systems. The differences are not only the different abnormal areas of the geochemical fields in the six oil-field water systems, but the different locations of abnormal areas of the geochemical fields among the six oil-field water systems also. The abnormal areas are represented their petroleum geology implications in the six oil-field water systems respectively. Generally, the positive abnormal areas of mineralization intensity and the negative abnormal areas of reduction factor in oil-field water system have the advantage of petroleum to be accumulated and reserved. The geochemical fields of oil-field water systems of Eocene System in Huanxiling-Shuangtaizi area, Western Depression, Liaohe basin don't show the consistent of the conditions of petroleum accumulation and reservation in the sections and formation of Eocene System in the study area.

**Key words** oil-field waters mineralization intensity reduction factor Liaohe basin