



Analysis on Vertical Variation Characteristics of Eogene Formation Water in Jizhong Depression

Zhou Qingyuan^{*}, Yang Chunhua, Yu Zhicheng, Zhang Yi

Bohai Drilling Downhole Operation Branch, Renqiu, China

Email address:

844730114@qq.com (Zhou Qingyuan), yangchunhua01@cnpcc.com.cn (Yang Chunhua)

^{*}Corresponding author

To cite this article:

Zhou Qingyuan, Yang Chunhua, Yu Zhicheng, Zhang Yi. (2024). Analysis on Vertical Variation Characteristics of Eogene Formation Water in Jizhong Depression. *Science Discovery*, 12(1), 8-13. <https://doi.org/10.11648/j.sd.20241201.12>

Received: January 30, 2024; **Accepted:** March 6, 2024; **Published:** March 13, 2024

Abstract: Jizhong Depression is located in the middle and west of Bohai Basin. During the Tertiary period, the depression was in a relatively stable state, and the shape of the depression did not change much, but the internal ups and downs of the depression were still continuous. In the Tertiary period, it experienced three development stages: early division, middle communication and late contraction, and three different sedimentary facies appeared accordingly. At the same time, it also caused three shifts of sedimentary centers. In the medium-term communication stage, two large water invasion periods occurred, and in some areas, the sedimentary water medium changed from salty to light twice. Oil and gas in the depression are associated with formation water, and the formation history of formation water is closely related to the formation history of oil and gas reservoirs. They are both in a hydrodynamic system and exchange material components for a long time. The lower tertiary is the main oil-bearing interval in central Hebei, but it is affected by the late tectonic movement and its structural characteristics are complex. Therefore, the hydrochemistry and vertical distribution characteristics of tertiary strata are studied. By effectively studying the distribution characteristics of formation water, it is concluded that the salinity of formation water in the basin tends to increase from edge to center and from shallow to deep, mainly in alternate blocking zones and alternate stagnation zones. The water deposition environment is relatively stable and the general regularity is obvious, which is an effective means to study the migration and distribution of oil and gas.

Keywords: Formation Water, Salinity, Hydrochemical Type, Alternating Blocking Zone, Alternating Stagnation Zone, Jizhong Depression

冀中坳陷下第三系地层水纵向变化特征浅析

周庆元^{*}, 杨春华, 余志成, 张毅

渤海钻探井下作业分公司, 任丘, 中国

邮箱

844730114@qq.com (周庆元), yangchunhua01@cnpcc.com.cn (杨春华)

摘要: 冀中坳陷位于渤海盆地的中西部, 第三系时期, 坳陷处于相对稳定状态, 坳陷形态变化不大, 但坳陷内部的升降仍是连续不断, 在下第三系经历了早期分割、中期联通、晚期收缩的三个发展阶段, 相应的出现了三种不同的沉积相。同时也引起了三次沉积中心的转移, 在中期的连通阶段, 发生了两次大的水侵时期, 在部分地区也引起了沉积水介质两次从咸变淡的变化。坳陷中的油气与地层水伴生, 且地层水的生成史与油气藏的形成史密切相关, 它们同处于一个水动力系统中, 长期进行着物质成分的交换。其下第三系是冀中地区主要的含油气层段, 但其受到后期构造运动影响, 构造特征复杂, 为此开展第三系地层水化学及纵向分布特征研究。通过有效研究地层水分布特征, 分析得出盆

地地层水分布由边缘向中心、由浅至深矿化度有增加趋势，主要置于交替阻滞带、交替停滞带，水沉积环境相对稳定，一般规律性较为明显，是研究油气运移及分布的有效手段。

关键词：地层水，矿化度，水化学类型，交替阻滞带，交替停滞带，冀中拗陷

1. 引言

在含油气盆地中，地层水与油气以不同形式共存于地下岩石孔隙空间中，是油气移、聚集的载体，地层水的活动及性质直接或间接指示盆地流体系统的开放性，它的形成及运动规律与油气的生、运、聚及油气藏的形成、保存和破坏有着十分密切的联系。同时，沉积盆地地层水受沉积环境、流体流动及水-岩相互作用等因素的控制，其化学特征是相应控制因素的综合反映。拗陷中的油气与地层水伴生，且地层水的生成史与油气藏的形成史密切相关，它们同处于一个水动力系统中，长期进行着物质成分的交换。地层水特征及其分布规律，对于分析油气的生成、运移、聚集和保存，以及含油气远景评价、作勘探开发决策都具有重要意义。

2. 地质概况

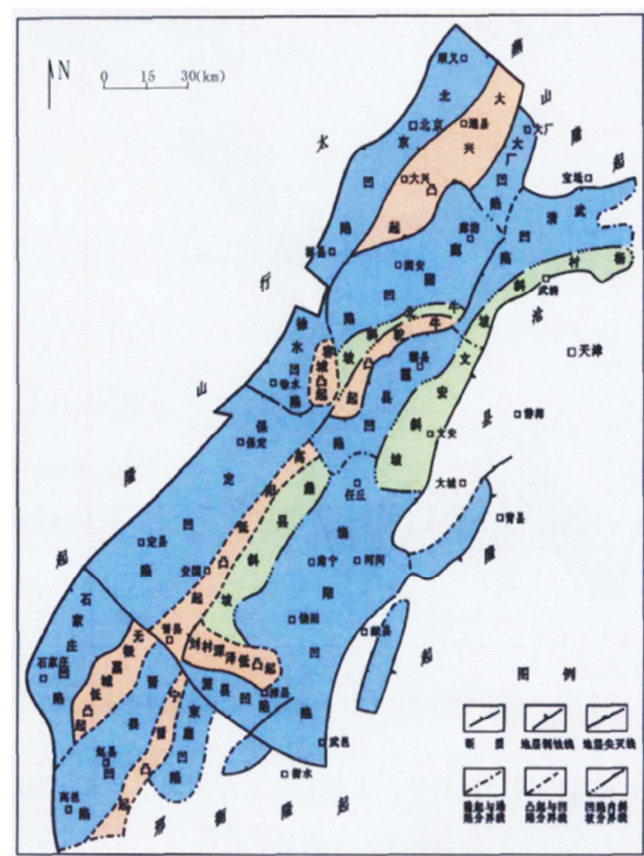


图 1. 冀中拗陷构造单元划分图。

冀中拗陷位于渤海盆地的中西部，西起太行山，东至沧县隆起，北抵燕山褶皱带，南达宁晋-新河一线。新生代开始，地壳运动主要以区域性陷落为特征，拗陷边界断裂活动的结果，使拗陷周围地层继续上升，内部下陷，拗陷定型，构成一个独立的内部沉积拗陷，拗陷与隆起，凹陷与凸起通常有大断层分隔，主要断裂系统为北北东向和近东西向，每一个凹陷的发育主要受一条主断裂控制。因而凹陷呈箕状或不对称地堑型。这就构成了古水地质环境的差异，水化学组分不同[1]。

第三系时期，拗陷处于相对稳定状态，拗陷形态变化不大，但拗陷内部的升降仍是连续不断，在下第三系经历了早期分割、中期联通、晚期收缩的三个发展阶段，相应的出现了三种不同的沉积相。同时也引起了三次沉积中心的转移，在中期的连通阶段，发生了两次大的水侵时期，在部分地区也引起了沉积水介质两次从咸变淡的变化。至东营组末期，构造运动使拗陷整体抬升，最后结束了内陆湖相沉积，河流广布，水文地质条件发生了根本的改变[2]。

3. 地层水化学特征

冀中拗陷第三系含水系统分为上、下两套含水系统，下第三系为内陆湖泊相地层水类型含水系统。

下第三系凹陷中心为CaCl₂型水，浓度分类为CL-Na型，在凹陷边缘地区有地表水渗入带为NaHCO₃型水，凹陷中心矿化度达60-100mg/L，在盐湖中心可达140mg/L，在凹陷边缘可降至2mg/L。浓度分类以CL·HCO₃-Na型为主，HCO₃-CL-Na型次之。组分浓度在凹陷中心，K⁺+Na⁺当量约43%，Mg²⁺当量<1%，Ca²⁺当量约为6%，CL⁻当量在49%以上，SO₄²⁻，HCO₃⁻当量不足1%，在凹陷边缘K⁺+Na⁺当量升至48%，Mg²⁺，Ca²⁺当量分别为0.5%及1.5%，CL⁻当量<40%，SO₄²⁻当量有时可达6%，HCO₃⁻+CO₃²⁻当量在10%左右。在凹陷中心微量元素I⁻含量15~20mg/L，B含量>30mg/L，而凹陷边缘I⁻含量仅6mg/L左右，B含量<10mg/L。在凹陷中心离子比值rNa/rCL为0.8~0.94，rCa/rMg4~6，在凹陷边缘rNa/rCL>1.3，rCa/rMg仅0.7~1.5 [3, 4]。

以饶阳凹陷Es₂段资料为例：从矿化度与离子含量关系看，K⁺+Na⁺及CL⁻正相关关系，Ca²⁺，Mg²⁺为弱的正相关趋势，HCO₃⁻在30000mg/L以内为负相关关系，在30000mg/L以上相对稳定，SO₄²⁻含量低，有波动；从矿化度与当量关系看，K⁺+Na⁺为递减关系，与Ca²⁺为互补关系，Mg²⁺当量百分比比较稳定，且百分比低，阴离子CL⁻与HCO₃⁻为互补关系SO₄²⁻百分比低、稳定[5, 6]。

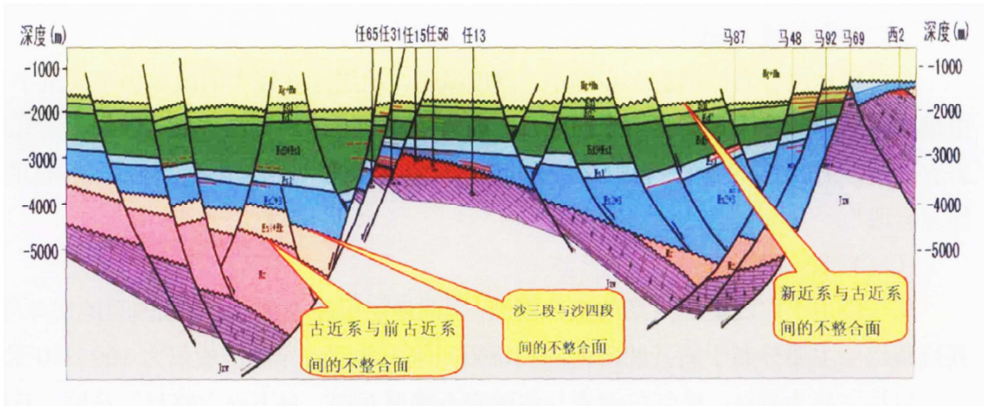


图 2. 冀中坳陷多期构造运动和沉积间断形成的多期不整合。

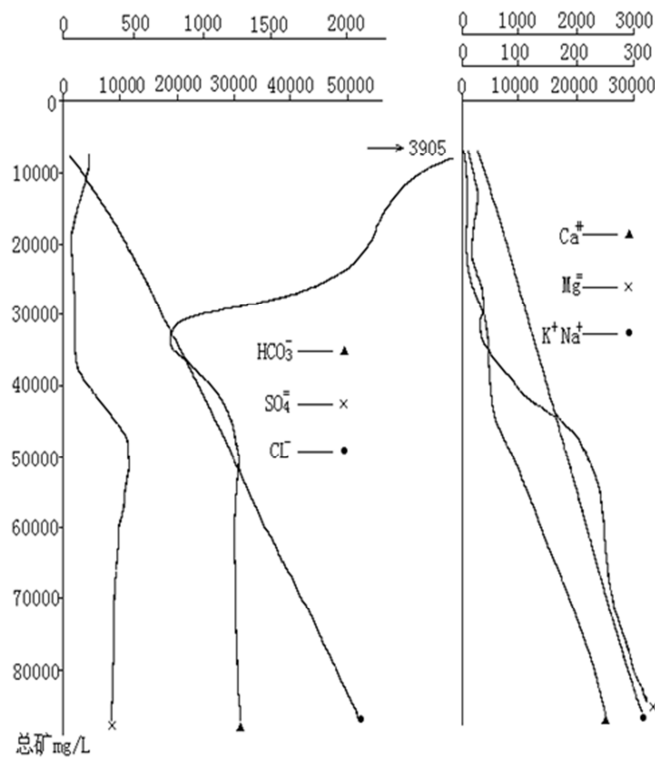


图 3. 饶阳凹陷Es2浓度相关曲线。

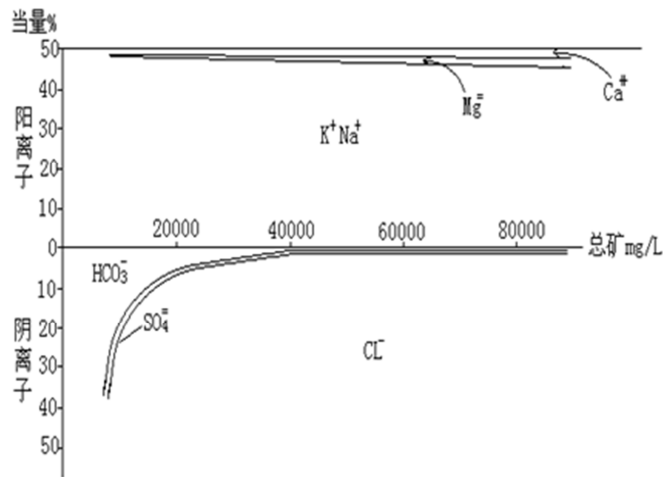


图 4. 饶阳凹陷Es2含量相关曲线。

4. 地层水纵向变化特征

地层水与地表水联系紧密。一般情况下，越靠近地表与地表水联系越密切，但在长期地层时期中，古淋滤作用也会发挥较大的影响，根据两者互相联系的程度，可以划

分出若干个水文地质带。冀中拗陷各含油气凹陷由于地质演变历史的差异，由浅至深分为自由交替带、交替缓慢带、交替阻滞带、交替停滞带及古淋滤水淡化带五个水文地质带。下第三系主要处在交替阻滞带、交替停滞带[7-9]。

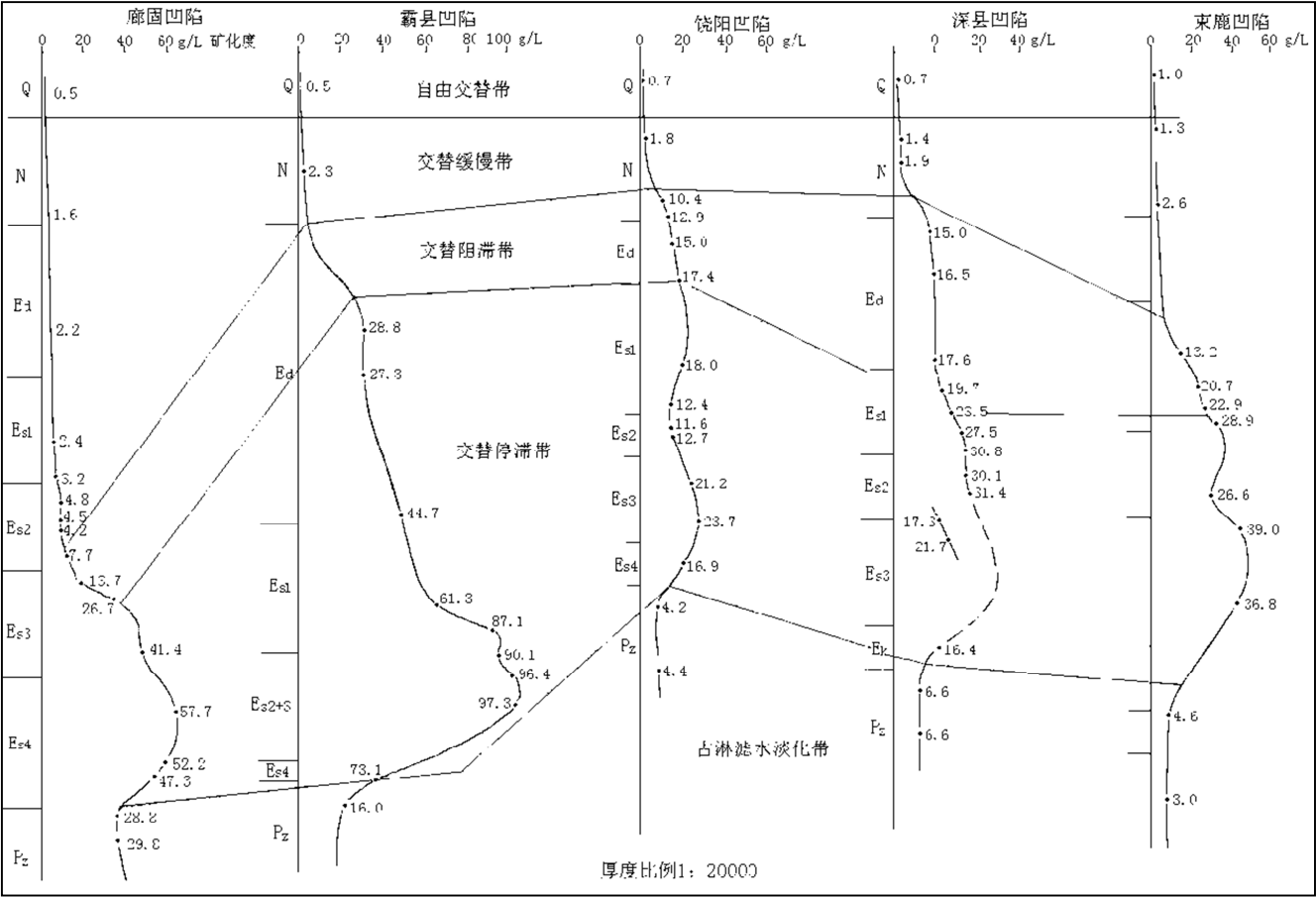
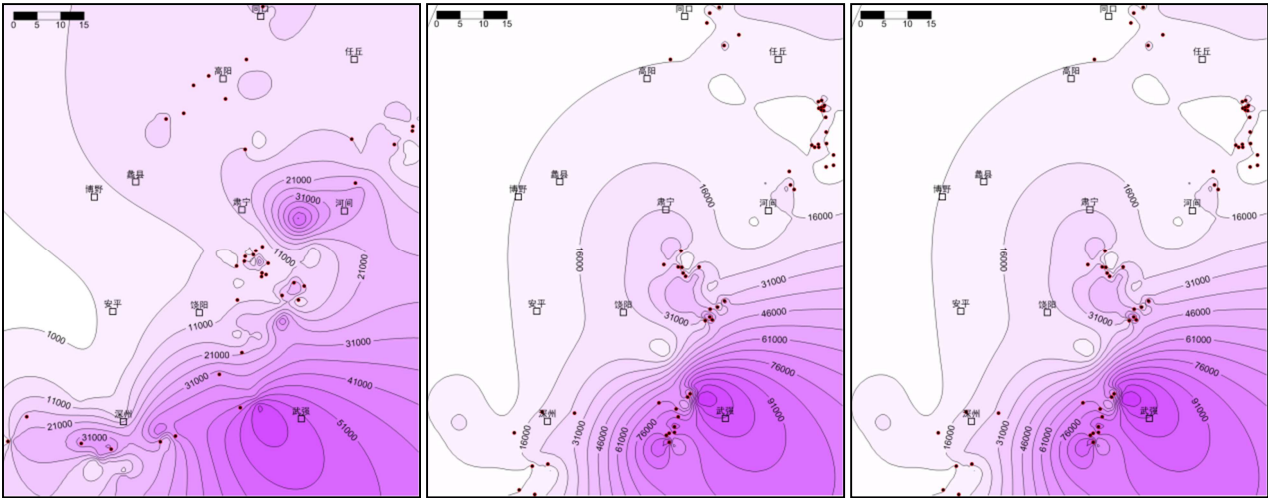


图 5. 冀中拗陷地层水纵向分布图。



Es₁段 Es₂段 Es₃段
图 6. 饶阳凹陷沙河街组地层水总矿变化趋势。

冀中拗陷交替阻滞带主要为Ed、Es₁、Es₂段，为湖相与河流相的过渡型，常见为滨湖相，沼泽相，因水流条件的改变，沉积物不均质，水化学性质改变大，主要发育层段，在廊固凹陷为沙三上段，矿化度由10000mg/L升至30000mg/L；坝县凹陷为东营组上部矿化度由7000mg/L升至25000mg/L；饶阳凹陷为东营组，矿化度由8升至20000mg/L；深县凹陷为东营组及沙一上段，矿化度由

5000mg/L升至25000mg/L；束鹿凹陷为沙一段，矿化度由6000mg/L升至25000mg/L。它们的水化学特征是，水为NaHCO₃型，浓度分类为CL-Na型，组份中阳离子以K⁺+Na⁺为主，当量在48%左右，阴离子中以CL⁻为主，当量由40%升至47%，微量元素I含10~15mg/L，B含15~20mg/L，变质系数rNa，rCL1.2~1.0。这个带的深度约为2000~2300m左右[10-12]。

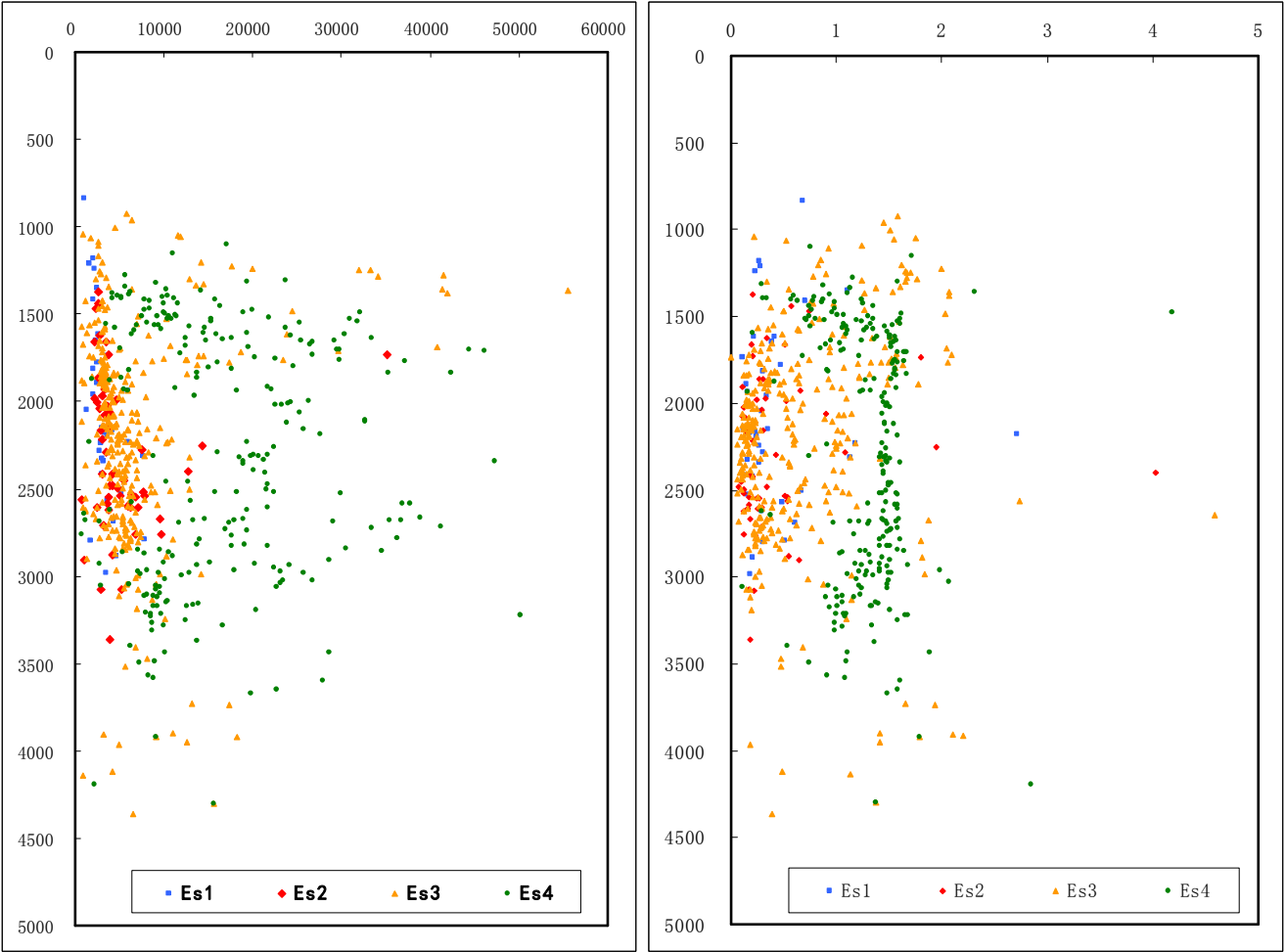


图 7. 廊固陷地层水总矿随深度变化。

冀中拗陷交替停滞带主要为Es₃、Es₄段，为本拗陷的主要产油气带，是一套湖相、盐湖相及泻湖相沉积水，水流相对静止，水中化学物质逐步富集。在廊固凹陷主要时间段为沙四段及沙三下段，最高矿化度可达60000mg/L；坝县凹陷时间段为东三段至沙四段，最高矿化度可达100000mg/L；饶阳凹陷时间段，延续时间长，由上第三系底部至沙四段，最高矿化度仅30000mg/L，武强盐湖区可高达100000mg/L以上；深县凹陷主要时间段为沙一下段至沙三段，最高矿化度高约30000mg/L；束鹿凹陷时间段为沙一段底部至沙三段为深水湖及盐湖沉积水，矿化度高，最高可达100000mg/L以上。这个带的水为CaCl₂型，浓度分类为CL-Na型，阳离子中K⁺+Na⁺当量为45%左右，Ca²⁺当量高者可达5%，阴离子CL⁻当量保持在49%左右。微量

元素含量高，一般在20000mg/L以上，变质系数rNa/rCL为1~0.8，水带埋深一般在2500m以下[13-15]。

5. 结论与认识

- (1) 冀中拗陷第三系为内陆湖泊相地层水类型含水系统。下第三系凹陷中心为CaCl₂型水，浓度分类为CL-Na型，属于深层圈闭类型，含水系统封闭导致蒸发量高，矿化度大，是明显的地层水特征标志。在凹陷边缘地区有地表水渗入带为NaHCO₃型水，水动力作用较强，矿化度较低，从另一个方面反映出冀中拗陷受到后期构造运动较强，开启程度较大。
- (2) 通过冀中拗陷的水性纵向分布总体趋势表明，在冀中拗陷下第三系中，地层水矿化度随深度增加而增

大, 尤其是在沙三、沙四段趋势上升明显, 主要影响因素笔者认为其处于交替停滞带, 为湖相、盐湖相及泻湖相沉积水, 埋藏较深, 沉积时间长, 沉积相对稳定导致。

- (3) 在纵向分布特征上分析看出, 沙四段地层水处于较为封闭的流体动力环境, 沙三段、沙二段和沙一段封闭程度相对较差。在凹陷边缘附近, 地层水的矿化度比较低, 封闭性相对差一些, 而位于各个凹陷中心的地层水矿化度相对较高, 封闭程度相对较好。

参考文献

- [1] 徐德英, 周江羽, 王华, 庄新国. 渤海湾盆地南堡凹陷东营组地层水化学特征的成藏指示意义 [J]. 石油实验地质, 2010, 03: 285-289.
- [2] 钱诗友, 曾溅辉. 东营凹陷沙河街组地层水化学特征及其石油地质意义 [J]. 天然气地球科学, 2009, 04: 603-609.
- [3] 张小莉, 查明, 赫拴柱, 王鹏. 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, 02: 187-190+195.
- [4] 银燕. 东营凹陷地层水水化学纵向分带性与成岩耗水系统划分 [J]. 油气地质与采收率, 2011, 03: 32-35+113.
- [5] 孙向阳, 刘方槐. 沉积盆地中地层水化学特征及其地质意义 [J]. 天然气勘探与开发, 2001, 04: 47-53.
- [6] 赵艳军, 刘成林, 靳彩霞, 杨永斌. 渤海湾盆地济阳凹陷沙河街组四段地层水特征及成盐指示 [J]. 地学前缘, 2014, 04: 323-330.
- [7] 张文朝, 杨德相, 陈彦均, 等. 冀中拗陷古近系沉积构造特征与油气分布规律 [J]. 地质学报, 2008, 82 (8): 10. DOI: 10.3321/j.issn:0001-5717.2008.08.011.
- [8] 黄雄伟. 渤中拗陷新生代断裂构造特征与油气聚集 [J]. 海洋地质动态, 1999 (12): 2-5. DOI: CNKI:SUN:HYDT.0.1999-12-000.
- [9] 张文朝, 崔周旗, 韩春元, 郭永军, 王洪生, 李莉, 王海潮, 李新坡. 冀中拗陷老第三纪湖盆演化与油气 [J]. 古地理学报, 2001-01-004.
- [10] 孙冬胜, 刘池阳, 杨明慧, 杜金虎, 张以明, 张锐锋. 渤海湾盆地冀中拗陷中区中新生代复合伸展构造 [J]. 地质论评, 2004-05-006.
- [11] 梁苏娟. 冀中拗陷晚新生代地质构造特征及其油气赋存 [D]. 西北大学, 2001.
- [12] 查全衡. 冀中拗陷的地质结构, 演化历史和油气分布 [J]. 江汉石油学院学报, 1988.
- [13] 庞玉茂. 冀中拗陷地质结构特征及对油气成藏的影响 [D]. 中国石油大学 (华东) [2024-02-20].
- [14] 渠永宏, 孙镇城, 冯晓杰, 等. 冀中拗陷北部潜山地层水文地质特征及对油气勘探的意义 [J]. 东北石油大学学报, 1999, 23 (3): 8-11. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4107.1999.03.003.
- [15] 蒋有录, 路允乾, 赵贤正, 等. 渤海湾盆地冀中拗陷潜山油气成藏模式及充注能力定量评价 [J]. 地球科学, 2020 (1): 12. DOI: CNKI: SUN: DQKX. 0. 2020-01-018.

作者简介

杨春华, 高级工程师, 主要从事石油勘探, 试油地质研究与酸化压裂、油田化学等增产技术研究。

周庆元, 工程师, 主要从事石油开采理论分析和石油工程建设。