

榆林北部气田山 2 段地层水化学特征与天然气聚集关系

孟旺才¹, 李云¹, 付国民², 李晶¹

(1. 陕西延长石油(集团)有限责任公司, 陕西 延安 716001; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要:通过对榆林北部气田山 2 段地层水样品测试结果的统计与分析, 可知目的层段地层水以偏酸性为主, 矿化度较高, 以 CaCl_2 水型为主, 总体反映了地层水封闭条件较好, 处于还原的阻滞-停滞水文地质状态, 有利于天然气的聚集与保存。地层水化学特征与天然气藏关系研究表明: 地层水总矿化度高值区、 CaCl_2 型水分布区、 $r\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ 低值区 (<0.5)、 $r\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 低值区 (<0.1)、 $r(\text{Cl}^- - \text{Na}^+)/2\text{Mg}^{2+}$ 高值区 (>10) 等均与天然气富集区有较好的对应关系。

关键词:榆林北部气田; 地层水; 水化学特征; 天然气成藏; 山 2 段

中图分类号: P618.130

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2018)02-0203-06

Relationship between Chemical Characteristics of Formation Water and Natural Gas Accumulation within Shan 2 Member of Shanxi Formation in North Yulin Gas Field

MENG Wangcai¹, LI Yun¹, FU Guomin², LI Jin¹

(1. Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co. Ltd., Yan'an 716001, Shaanxi, China;

2. Earth Science & Resources College of Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the statistics and analysis of the testing results of formation water samples from the Shan 2 Member of Shanxi Formation in North Yulin, it's known that the formation water of destination layer is mainly acidic and the high mineralized, CaCl_2 water type, showing well closed condition of formation water. This formation water is located in the reductive block-stagnation hydrogeology condition, which is conducive to the accumulation and preservation of natural gas. The study of relationship between hydro chemical characteristics and natural gas reservoirs shows that it has a better correspondence with natural gas enrichment area among the total high mineralization degree of the formation water, the distribution range of CaCl_2 type water, the low value area of $r\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ (<0.5) and $r\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ (<0.1), as well as the high value area of $r(\text{Cl}^- - \text{Na}^+)/2\text{Mg}^{2+}$ (>10).

Keywords: North Yulin gas field; formation water; hydro chemical characteristics; natural gas accumulation; Shan 2 Formation of Shanxi Formation

地层水是含油气盆地中流体的重要组成部分之一, 将其定义为与油气相伴生的存储于储层中的地

下水。地层水与围岩及油气等周围介质发生能量与物质交换的同时, 也参与了整个油气成藏的过程, 是

收稿日期: 2017-09-11; 修回日期: 2018-03-06

基金项目: 国家示范工程项目“鄂尔多斯盆地大型低渗透岩性地层油气藏开发示范工程”(2011ZX05044) 和中国博士后基金“鄂尔多斯盆地南部特低渗储层精细评价及地质模型研究”(20070420489) 联合资助

作者简介: 孟旺才(1968-), 男, 高级工程师, 研究生学历, 主要从事石油天然气勘探开发工作。E-mail: 642622216@qq.com

油气生成、运移以及聚集的重要动力与载体(裘亦楠,2001)。

在盆地演化过程中,地层水的性质以及其活动综合反映了水-岩作用、流体的流动及其混合作用与水文地质特征等,而上述作用过程恰与油气藏在整个地史进程中的聚集保存密切相关(孙向阳等,2001)。因此,针对地层水的化学性质与分布特征所开展的专项研究对于油气分布规律与油气成藏过程的分析具有重要的理论意义,与此同时,研究成果对于进一步寻找油气也具有一定的实践指导价值。榆林北部主力含气层段为二叠系山西组山2段。近年来,随着勘探开发进程向西南推进,一部分井产能较高,而部分井严重出水,且不同井之间的产能差别显著。同时,在已开发区域也出现了越来越多的水井,严重地影响了开发效果和开发进程。鉴于此,近年来研究人员在勘探部署中,通过水文地球化学分析了解气田水的起源,推断地层水化学成分形成的地质、地球化学作用,分析油(气)水的生成环境、分布关系以及气藏的封闭情况,预测油气富集的有利地区(徐国盛,2006年),指导勘探部署。在气田开发中,通过对地层水成因机理、分布规律及水体规模进行研究,分析生产动态特征及影响产能的因素,提出富水区产水井生产管理与控水采气措施(杨宇,2011),取得较好的勘探开发效果。但目前研究区山西组气、水分布关系复杂,气、水分布主控因素不明确。笔者通过研究区山西组山2段地层水性质及地球化学特征,分析目的层段地层水特征与天然气运聚保存之间的关系,力求加深成藏规律的认识理解,以期对研究区的天然气勘探有一定的借鉴参考价值。

1 地质背景

榆林北气田区域构造隶属鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东部,区内地层十分平缓,仅在西倾单斜背景下发育部分低幅鼻状隆起,不具备形成构造圈闭的条件,主要发育岩性圈闭气藏(赵靖舟等,2003)。上古生

界储层作为该区天然气勘探开发的重要层位之一,其中山西组砂体主要为三角洲前缘水下分流河道沉积成因,其储层砂岩类型主要为石英砂岩及部分岩屑石英砂岩,储层非均质性较强。因该区构造平缓,加之缺乏构造圈闭,导致在成藏过程当中出现气水分异不彻底,故在气田范围内存在复杂的气水分布关系。

2 地层水地球化学特征

2.1 地层水离子组成及矿化度特征

榆林北部气田山2段地层水颜色多为无色、透明,水质较清。地层水pH值范围为4.3~9.53,酸性及碱性并存,但总体以弱酸性为主。在深盆地当中,长期处于封闭承压环境的高矿化度的变质水通常以碱性水或弱酸性水为主,不存在酸性水。而地面溶蚀平衡水的pH值范围为7.0~8.68,为碱性水,究其原因可能是地层水中溶蚀作用未达到平衡,残余有机酸含量高,pH值低,也可能与低pH值的煤层水有关。

对榆林北部气田地层水样的分析测试结果表明,地层水总矿化度为0.2653~409.4927g/L,平均矿化度为29.2183g/L,远高于海水的盐度3.5g/L,达卤水级,明显反映出该区具有总矿化度高、正变质程度深的特点(表1)。

目的层段地层水阳离子中, $K^{+} + Na^{+}$ 以及 Ca^{2+} 离子含量较高,而 Mg^{2+} 离子含量低;阴离子中, Cl^{-} 离子含量占绝对优势,部分地层水 HCO_3^{-} 离子含量较低, SO_4^{2-} 离子含量更低(图1)。

2.2 地层水类型

地层水类型作为重要的水化学因素,能够很好地反映油气运聚与保存条件。根据苏林的分类(张厚福等,2008),研究区山西组地层水水型为氯化钙($CaCl_2$)型地层水。博雅尔斯基又对氯化钙($CaCl_2$)型地层水进行了详细的分类,按照博尔雅的分类方案(楼章华等,2006),研究区目的层段地层水以氯化钙V型水为主,少数为氯化钙IV型,该类水型有利于天然气的聚集与保存。

表1 榆林北部气田山2地层水与其他油气藏地层水矿化度特征对比表(g/L)
Tab.1 Compared the stratified water mineralization degree characteristics in Second member of Shaanxi formation in Yulin north gas field with other oil and gas reservoir(g/L)

	榆林北部气田	川东石炭	广东珠江口	四川三叠系	四川三叠系	伊春	长江源河水	柳州地
	山 ₂ 地层水	系气藏	第三系油藏	T ₁ j ³ 卤水	T ₁ h ⁴ 卤水	地面水		面水
矿化度	29.2183	20.12~298.59	27.48~83.24	30.0~100.0	100.0~160.0	0.24	0.197~0.312	0.35

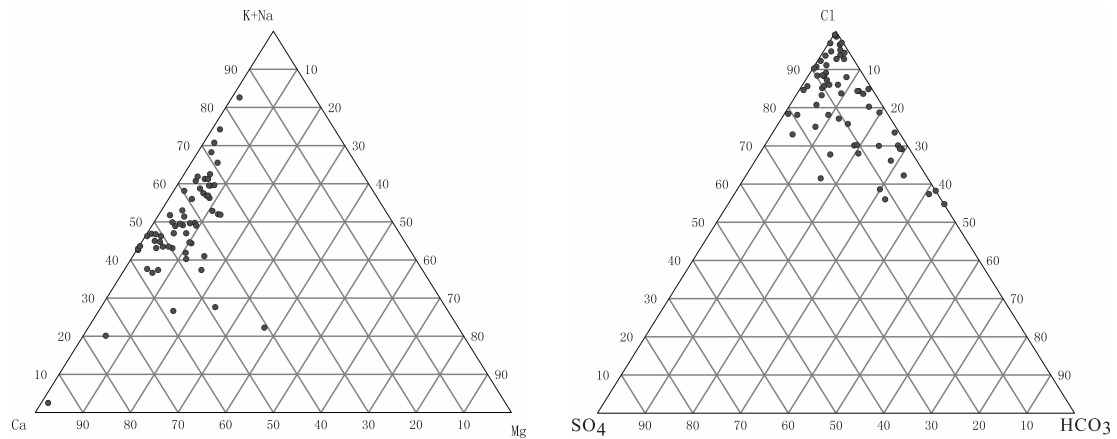


图 1 子洲气田阴、阳离子浓度投点图

Fig.1 The concentration of Anion and Cation in Zi Zhou gas field

2.3 水化学离子组成

地层水的阳离子组成中以碱土金属离子 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 离子为主,其中 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 以及 Ca^{2+} 的平均含量分别为 29.83 g/L、35.05 g/L,二者占阳离子总量的平均分别为 41.35%、55.82%。 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 离子的平均总含量占阳离子的 97.17%。 Mg^{2+} 离子含量为 1.75 g/L,平均占阳离子总量的 2.83%。

地层水的阴离子组成以 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 为主,其中 Cl^- 含量为 85.367~132.188 g/L,平均占阴离子总量的 94.23%; HCO_3^- 含量为 0.051~0.759 g/L,占阴离子总量不到 1%; SO_4^{2-} 含量小于 1 g/L,少量大于 1 g/L。整体反映研究区目的层段地层水的水岩环境差异较小。

阴阳离子与矿化度的相关关系分析表明(图 2),阴离子 Cl^- 、阳离子 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 均与矿化度具有

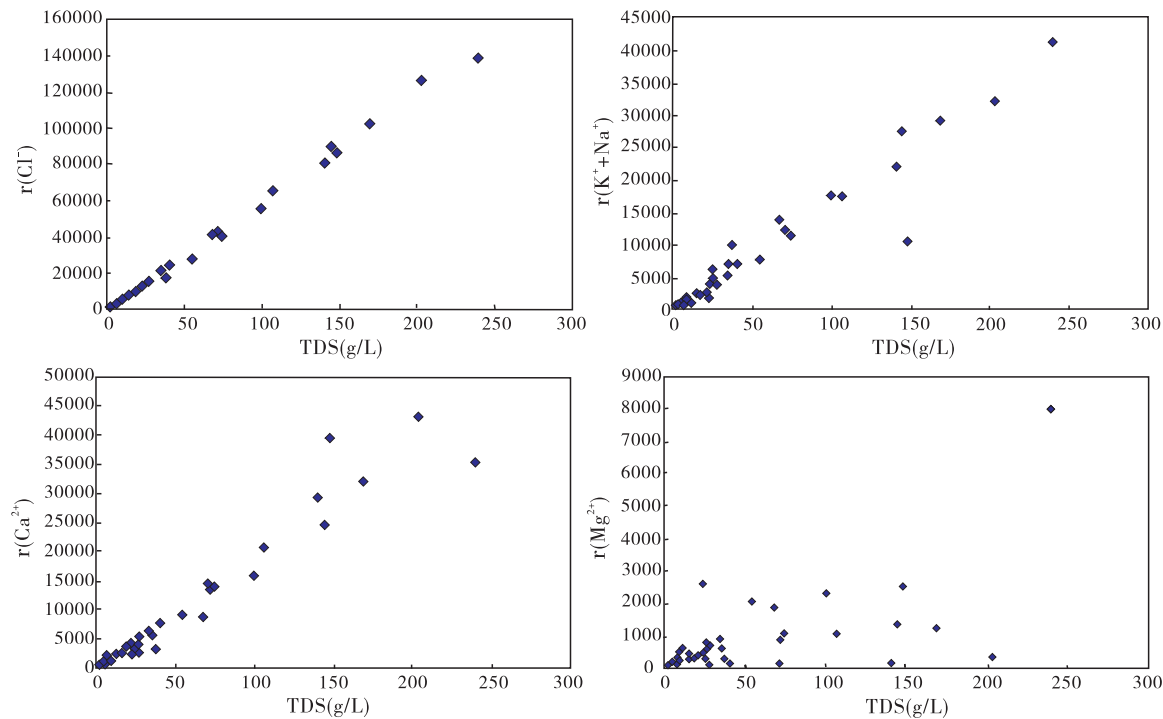


图 2 矿化度与主要阴阳离子浓度的关系图

Fig.2 Relationship between mineralization degree and main anion and cation concentration

较强的线性正相关关系。上述现象反映了封闭地层水的特征,说明研究区目的层段的储层水为原始地层成岩滞留水。阳离子 Ca^{2+} 也与矿化度成线性正相关关系,但其相关性弱于 Cl^- 和 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 矿化度。与此同时,活动性的 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 浓度与总矿化度之间无明显相关关系,也表明研究区目的层段的储层水中没有其他来源水的混入。

3 地层水化学与天然气成藏的关系

3.1 地层水矿化度与天然气成藏

榆林北部气田山西组地层水样地层水总矿化度高,平均为 29.2 g/L,地层水的高矿化度即为地层内水-岩相互作用长期循环和浓缩贬值的结果。研究区目的层段地质构造平缓稳定,储层主要发育于三角洲前缘亚相砂体之中,砂岩岩石类型由石英砂岩及岩屑石英砂岩组成,广泛分布裂缝,且受到上覆厚层盖层的封盖作用。因此,地层水在深层中不断地循环,溶解较多的矿物质且发生浓缩变化,从而具有较高矿化度的特征(李明瑞,2006)。

3.2 地层水水型与天然气成藏

根据苏林的分类,在油气田中以 CaCl_2 型水和 NaHCO_3 型水较为常见,而 Na_2SO_4 型水和 MgCl_2 型水较为少见。其中,裸露和严重破坏的地质构造中的地层水以 Na_2SO_4 型水为主,而 CaCl_2 型水多出现在与封闭构造中,该类构造与地表隔绝良好。过渡性的构造条件中多出现 NaHCO_3 型水和 MgCl_2 型。其中 CaCl_2 型水为深盆滞留水,该类水型的分布区内区域水动力相对弱,地下水浓缩强烈并发生脱硫作用,造成 Cl^- 和 Ca^{2+} 含量的相对富集与 SO_4^{2-} 含量的急剧减少,整体反映了良好的储层封闭条件,十分有利于气藏的形成和保存。经统计,天然气藏分布于 CaCl_2 型水分布区的比例约占 90% 以上(张文忠,2009)。

3.3 地层水化学特征参数与天然气成藏

地层水化学指数在一定程度上可以反映水-岩相互作用强度以及地层水所处的水文地球化学环境。常用的地层水水化学特性参数有钠氯系数、镁钙系数、脱硫系数、变质系数等(杨冬等,2013)。上

述特性参数常可用于判断地层流体移动的方向、地层水封闭性以及地层水活动的强弱等,与油气运聚和保存之间具有一定的成因关系。

3.3.1 钠氯系数($r\text{Na}^+/\text{Cl}^-$)

钠氯系数越小表明地层水的封闭越好,变质越深。研究区目的层段地层水的 Na^+/Cl^- 值分布范围为 0.015~0.598,平均值为 0.336,且绝大多数井 Na^+/Cl^- 值小于 0.5,表明地层水处于封闭还原的环境之中,对于气藏的聚集与保存有利。因此, Na^+/Cl^- 值呈低值(<0.5)的 CaCl_2 型水分布区可作为榆林北部山西组油气藏勘探的良好地带。

3.3.2 镁钙系数($r\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$)

含气区镁钙系数一般小于 0.3。研究区目的层段地层水 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 值平均为 0.165,分布范围 0.004~0.910,表明封闭良好的储层占绝大多数,有利于气藏的聚集与保存。因此, $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 值呈低值(<0.1)为榆林北部山西组天然气的有利富集区。

3.3.3 脱硫系数

脱硫系数越小表明地层水的封闭性越好(徐德英等,2010)。研究区目的层段地层水的脱硫系数平均为 9.60,分布范围为 0.280~36.560,表明该区地层水处于封闭还原环境之中,有利于天然气的聚集与保存。

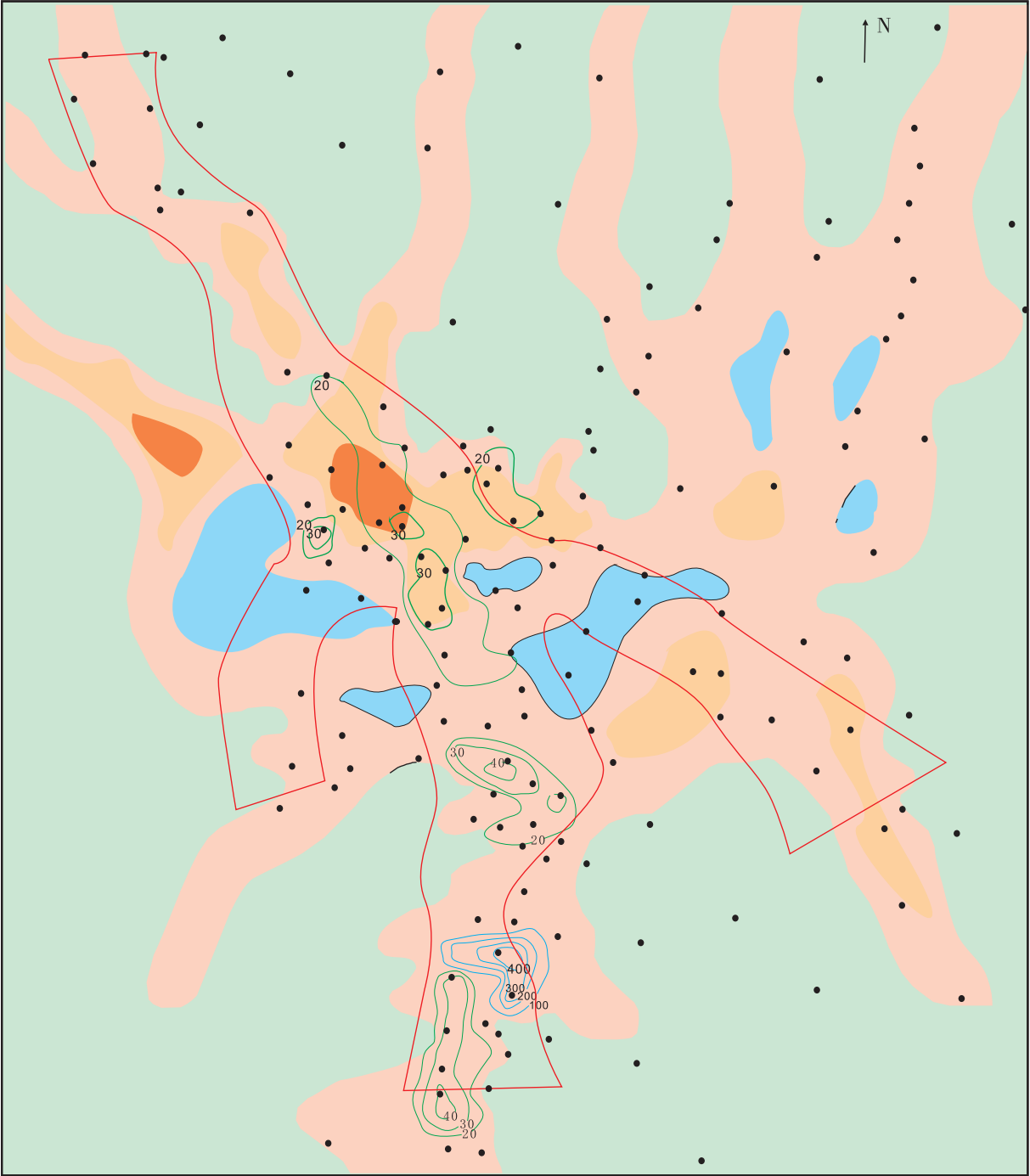
3.3.4 变质系数 $r(\text{Cl}^- - \text{Na}^+)/2\text{Mg}^{2+}$

变质系数越大反映了离子交换的程度与水岩作用的强度越大,油气藏的封闭性越好,更有利于油气的保存(杨娅敏等,2010)。研究区目的层段地层水变质系数与砂体展布一致,呈带状分布,变质系数 $r(\text{Cl}^- - \text{Na}^+)/2\text{Mg}^{2+} > 10$ 的高值区即为天然气的有利富集区(图 3),变质系数分布图与天然气富集程度、产能大小相吻合。

4 结论

(1)榆林北部气田山 2 段地层水 pH 值为 4.3~9.53,以偏酸性为主,矿化度较高,以 CaCl_2 水型为主,总体反映了目的层段地层水封闭条件较好,处于还原的阻滞-停滞水文地质状态,有利于天然气的聚集与保存。

0 2 4 km



1. 井位; 2. 生产区界线; 3. < 4 cm; 4. 4~8 m; 5. 8~12 m; 6. > 12 m; 7. 低变质系数等值线; 8. 高变质系数等值线

图 3 地层水变质系数分布图

Fig. 3 Distribution map of metamorphic coefficient of formation water

(2)地层水特征与天然气藏关系研究表明,榆林北部气田山₂段地层水总矿化度高值区、CaCl₂型水分布区、rNa⁺/Cl⁻低值区(<0.5)、rMg²⁺/Ca²⁺低值区(<0.1)、r(Cl⁻-Na⁺)/2Mg²⁺高值区(>10)等均与天然气富集区有较好的对应关系。

参考文献(References):

裘亦楠,薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京:石油工业出版社,2001.

QIU Yinan, XUE Shuhao. Oil and gas reservoir evaluation technology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.

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,2001,24(4):47-53.

SUN Xiongyang, LIU Fanghuai. Water chemistry characteristics and geologic significance of stratigraphic strata in sedimentary basins[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2001,24(4):47-53.

徐国盛,宋焕荣,周文. 鄂尔多斯盆地中部气田水化学条件与天然气聚集[J]. 石油实验地质,2000,22(04):330-335.

XU Guosheng, SONG Huanrong, ZHOU Wen. Hydrochemical conditions and Natural Gas accumulation in the Central Gas Field of Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2000,22(04):330-335.

杨宇,周文. 子洲气田山₂气藏地层水分布模式[J]. 大庆石油学院学报,2010,34(4):14-18.

YANG Yu, ZHOU Wen. Distribution model of gas reservoir formation water in Shan₂ of Zizhou Gas Field[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2010,34(4):14-18.

赵靖舟,王立. 鄂尔多斯盆地东部构造演化对上古生界大气田的控制作用[J]. 天然气地球科学,2010,21(6):875-880.

ZHAO Jingzhou. WANG Li. Control Effect of Tectonic Evolution in Ordos Basin on Upper Paleozoic Field [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(6): 875-880.

张厚福,方朝亮,高志先,等. 石油地质学[M]. 北京:石油工业出版社,2008:27-31.

ZHANG Houfu, FANG Chaoliang, GAO Zhixian, et al. Petroleum geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press. 2008:27-31.

楼章华,朱蓉. 中国南方海相地层水文地质地球化学特征与油气保存条件[J]. 石油与天然气地质,2006,27(5):584-593.

LOU Zhanghua, ZHU Rong. Hydrogeological and hydrogeochemical characteristics and hydrocarbon preservation conditions in marine strata in southern China[J]. Oil and Gas Geology, 2006,27(5):584-593.

李明瑞. 鄂尔多斯盆地北部上古生界主要含气砂体沉积特征及储层控制因素研究[D]. 四川:成都理工大学,2011.

LI Mingrui. Depositional character and control factors of reservoir sandbody in major gas-bearing interval of upper Paleozoic in North Ordos basin [D]. Sichuan: Chengdu University of Technology, 2011.

张文忠. 苏里格地区上古生界气田异常低压成因研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2009.

ZHANG Wenzhong. Study on the Genesis of Subnormal Formation Pressure in the Upper Paleozoic Strata of Sulige Gasfield[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009.

杨冬,虞兵,唐浩. 大宛齐油田地层水化学特征与油气保存条件分析[J]. 石油地质与工程,2013,27(4):27-30.

YANG Dong, YU Bin, TANG Hao. Stratified Water chemistry characteristics and oil and gas preservation conditions in the Dawanqi Oilfield [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2013, 27(4):27-30.

徐德英,周江羽,王华,等. 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,2010,32(3):285-288.

XU Deying, ZHOU Jiangyu, WANG Hua, et al. chemical characteristics of formation water significant to oil reservoir in Dong Ying formation, nan pu sag, bo hai bay basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010,32(3):285-288.

杨娅敏,赵桂萍,李良. 杭锦旗地区地层水特征研究及其油气地质意义[J]. 中国科学院大学学报,2016,33(4):519-527.

YANG Yamin, ZHAO Guiping, LI Liang. Chemical characteristics of the formation water in Hang jin qi area and their petroleum and gas geological significance [J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2016, 33(4): 519-527.