

文章编号: 1001-6112(2007)06-0593-05

塔里木盆地塔中低凸起地层水与油气关系

薛 会¹, 张金川², 王 毅¹, 卞昌荣¹, 王 敏²

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要:通过对塔中地区地层水矿化度、水型及水化学指数分析认为,塔中地区封闭保存条件良好。除志留系外,石炭系和奥陶系高矿化度中心和正、负向地层水化学指数中心与油气分布匹配良好。石炭系,塔中东南部保存条件较好;奥陶系,塔中北坡 I 号断裂带保存条件较好。石炭系和奥陶系油气运移与水动力有关,分别受重力流和压实流影响。前者由北西向南东运移,后者由北东向南西运移。地层水总矿化度和水化学指数变化与含油气性关系密切,就塔中地区而言,有利于油气保存的地层水化学指标分别为:地层水矿化度大于 35 g/L,变质系数大于 0,钙镁系数大于 1,钠氯系数小于 0.9,脱硫酸系数小于 3,碳酸盐平衡系数小于 0.2。

关键词:矿化度;水化学指数;地层水;油气关系;塔中低凸起;塔里木盆地

中图分类号:TE133

文献标识码:A

RELATIONSHIP OF FORMATION FLUID AND HYDROCARBON IN TAZHONG LOW UPLIFT OF THE TARIM BASIN

Xue Hui¹, Zhang Jinchuan², Wang Yi¹, Bian Changrong¹, Wang Min²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The Tazhong low uplift is considered to be in good preservation condition through analyses of salinity, water types and geochemistry exponents of formation water. The centers of high salinity, positive and negative geochemistry exponents match with hydrocarbon distribution very well in Carboniferous and Ordovician layers except Silurian. Carboniferous layer in the southeastern Tazhong and Ordovician layer in structural belt I in the northern slope of Tazhong are both favorable for preservation. Hydrocarbon migratory directions in both formations are related to hydrodynamic force. The former is from northwest to southeast affected by gravity flow while the latter is from northeast to southwest due to compaction flow. The relationship between salinity, geochemistry exponents and hydrocarbon accumulation is tight for the Tazhong low uplift. Beneficial geochemistry exponents of formation water include: 1) salinity (>35 g/L); 2) $r_{Cl^-}/r_{Mg^{2+}} - r_{Na^+}/r_{Mg^{2+}} (>0)$; 3) $r_{Ca^{2+}}/r_{Mg^{2+}} (>1)$; 4) $r_{Na^+}/r_{Cl^-} (<0.9)$; 5) $r_{SO_4^{2-}} \times 100 / (r_{Cl^-} + r_{SO_4^{2-}}) (<3)$; 6) $(r_{HCO_3^-} + r_{CO_3^{2-}}) / r_{Ca^{2+}} (<0.2)$.

Key words: salinity; geochemistry exponents of formation water; formation water; hydrocarbon relationship; the Tazhong low uplift; the Tarim Basin

含油气盆地中的地层流体主要包括地层水、石油和天然气,它们或是烃类流体,或是烃类流体运移的载体,地层流体的变化特征能够反映油气的聚散规律^[1,2]。可能是对地层水研究重视程度不够,目前仅有为数不多的学者致力于该领域的研究^[3~14]。前人曾经通过油田水化学研究探讨塔中

地区流体运移与演化^[3],但对塔中地区油气水特征、地层水封闭保存条件及地层水化学指数与含油气性关系涉及较少。本文试图通过对塔中地区地层流体(油气水)、流体势及地层水化学指数研究,认识塔中地区流体特征、地层水封闭保存条件、油气运移方向及水化学指数与含油气性关系。

收稿日期:2006-10-26;修订日期:2007-09-30。

作者简介:薛 会(1980—),男(汉族),江苏淮安人,博士后,主要从事油气成藏机理、盆地流体、非常规天然气研究。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2005CB422104)。

1 塔中油气地质概况

塔中低凸起位于塔里木盆地腹部,面积约 $2.75 \times 10^4 \text{ km}^2$,是在加里东中幕—海西早幕南北向挤压作用下形成的大型东西向隆起(背斜)^[15],属于中央隆起带的一部分,北接满加尔凹陷,西北为阿瓦提凹陷,南临唐古孜巴斯凹陷(图 1)。钻井揭示塔中地区主要发育寒武—奥陶系、石炭—二叠系 2 套烃源岩,其中后者对本区贡献不大。继“八五”以来,相继发现了塔中 4 号油田、塔中 1 号凝析气藏、塔中 101 号油藏、塔中 6 号凝析油气藏、塔中 10 号油藏、塔中 11 号油藏、塔中 16 号油藏及塔中 47 号油藏等,油气主要集中分布在石炭系、志留系和奥陶系 3 个层位^[16~18]。目前,在塔中 I 号坡折带又有新的发现。作为继承性发育的古隆起^[19,20],长期以来,塔中低凸起一直是油气运移的主要指向区,是塔里木盆地油气勘探的主战场之一。

2 地层水与油气保存

2.1 矿化度与水型

地层水测试数据主要来自于塔中地区 40 余口探井的石炭系、志留系及奥陶系 3 个层位,地层水矿化度平均值为 94.89 g/L,达到卤水级别,水型以 CaCl_2 型为主,含有少量 MgCl_2 和 Na_2SO_4 水型。高矿化度和 CaCl_2 水型特征表明塔中地区封闭保存条件较好。

一般说来,地层水矿化度随深度增加而增加,具体而言与古沉积环境、蒸发浓缩程度、地层水来源等有关。塔中地区地层水矿化度随深度变化规律不明显。从各层系平均值来看,志留系矿化度平

均值最大(105 g/L),奥陶系次之(94.6 g/L),石炭系最小(90 g/L)(表 1)。主要是由于志留系地层遭受强烈蒸发浓缩作用,导致其地层水矿化度高于上覆、下伏地层,这可从塔中地区当时的古气候变化中找到答案。中晚志留世—早石炭世,塔中地区处于热带、亚热带气候环境,天气干燥炎热,为志留系发生强烈蒸发浓缩作用创造了条件。此外,奥陶系还存在粘土矿物压实脱水淡化作用,对奥陶系矿化度有一定影响。

在平面上,石炭系矿化度具有从西北向东南逐渐增加的趋势,以塔中 1 井最高,超过 200 g/L,东南地区保存条件较好,矿化度高值中心与油气富集中心相匹配。塔中 54 和塔中 404 井为 Na_2SO_4 水型,可能是受断裂影响,不利于油气保存。志留系矿化度与石炭系具有相同的变化趋势。但是从油气显示来看,志留系 2 口工业油流井却更接近矿化度低值中心。根据上面的分析,志留系高矿化度主要是由蒸发浓缩导致,矿化度高值区地层遭到破坏更为严重,而矿化度低值区地层破坏程度相对较弱。奥陶系矿化度在平面上存在多个高值中心,主要分布在塔中北坡 I 号构造带上,其中塔中 16 号构造带矿化度值最高,宏观上具有北东高、南西低的特征。从水型分布来看, I 号断裂带上主要以 CaCl_2 型为主,向南相继出现 Na_2SO_4 (塔中 10 井)和 MgCl_2 (塔中 52 井)水型。因此, I 号断裂带保存条件最好,与目前奥陶系发现的油气相匹配。

2.2 地层水化学指数

从石炭系、志留系、奥陶系 3 个层系 40 多口井的地层水化学指数统计平均值来看(表 1),塔中地区地层水整体保存条件较好,其中变质系数 ($r_{\text{Cl}^-}/r_{\text{Mg}^{2+}} - r_{\text{Na}^+}/r_{\text{Mg}^{2+}}$)、钠氯系数 ($r_{\text{Na}^+}/r_{\text{Cl}^-}$) 和钙镁系数 ($r_{\text{Ca}^{2+}}/r_{\text{Mg}^{2+}}$) 平均值取值较好,而脱硫系数 [$r_{\text{SO}_4^{2-}} \times 100 / (r_{\text{Cl}^-} + r_{\text{SO}_4^{2-}})$] 和碳酸盐平衡系数 ($r_{\text{HCO}_3^-}/r_{\text{Ca}^{2+}} + r_{\text{CO}_3^{2-}}/r_{\text{Ca}^{2+}}$) 平均值略有偏高,可能是由于部分井位地层水保存条件较差,脱硫系数和

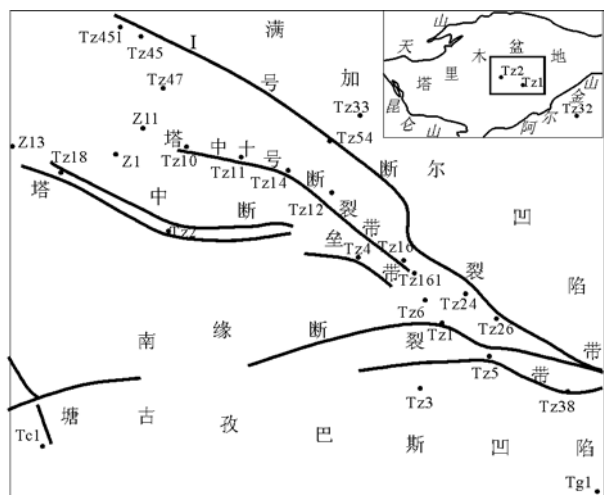


图 1 塔里木盆地塔中低凸起位置

Fig. 1 Location of the Tazhong low uplift of the Tarim Basin

表 1 塔里木盆地塔中地区地层水矿化度与相关指数对比
Table 1 Contrast of salinity and correlation coefficient of formation water in Tazhong area of the Tarim Basin

层位	总矿化度/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	变质 系数	钠氯 系数	脱硫 系数	钙镁 系数	碳酸盐 平衡系数
石炭系	90.0	10	0.836	3.08	5.53	0.214 6
志留系	105.0	17	0.749	1.00	8.68	0.041 5
奥陶系	94.6	18	0.689	4.42	10.22	0.228 5
平均值	96.5	15	0.758	2.83	8.14	0.161 5

碳酸盐平衡系数较高,导致整个地区的脱硫系数和碳酸盐平衡系数数值偏高。从 3 个层位来看,奥陶系保存条件最好;志留系地层水尽管受到剥蚀淋滤,但是由于受蒸发浓缩作用影响,地层水化学特征总体取值较好;石炭系保存条件略逊于奥陶系。

在平面上,不同层系地层水化学指数变化各异。石炭系正向指数(变质系数和钙镁系数)变化一致,具有从北西向南东逐渐增加的趋势,高值中心出现在塔中 1 井附近;而负向指数(钠氯系数和碳酸盐平衡系数)正好相反,在塔中 1 井附近为低值中心,表明该地区保存条件最好,与石炭系油气分布匹配较好。志留系正向指数在塔中 14 和塔中 16 井附近存在 2 个高值中心,塔中 47,12,33 等井数值相对较低,与志留系油气显示相比,地层水化学指数与油气分布不匹配,可能是由于志留系地层遭受差异破坏,高值地区蒸发浓缩作用更强,地层遭到破坏更为严重,而低值区地层破坏程度相对较弱。奥陶系正向指数和负向指数变化相一致,存在多个高值中心(正向指数)和低值中心(负向指数)(图 2),主要落在塔中北坡 I 号断裂带上,油气分布与正向指数和负向指数中心吻合较好。

总之,从塔中地区不同层系地层水化学指数平

面变化及其与油气分布关系可以进一步看出,石炭系东南部地区保存条件良好;奥陶系塔中北坡 I 号构造带保存条件最佳;志留系可能由于差异破坏的缘故,导致地层水化学指数指示有利保存区与油气分布不相吻合。

3 地层水与油气运移

石炭系,天然气干燥系数宏观上具有北西低、南东高的特征,西北地区塔中 47 井、塔中 10 井干燥系数分别为 0.45,2.5;南东地区塔中 38 井、塔中 6 井干燥系数分别为 28.3,54.2。原油密度变化正好相反,表现为北西高、南东低的变化趋势,北西地区塔中 2 井、塔中 10 井、塔中 35 井原油密度分别为 0.956 8,0.877 9,0.930 7 g/cm³;南东地区塔中 6 井、塔中 52 井分别为 0.790 2,0.760 8 g/cm³。可能是由于塔中西部受来自巴楚地区的地表水侵入的影响,导致原油密度变大。从干燥系数变化趋势可以看出,石炭系油气由北西向南东运移。塔中西部塔中 18 井流体势最高,达 19 424 m²/s²,塔中 10 井次之,为 18 341 m²/s²,东部塔中 422 井最低,仅为 10 567 m²/s²。流体势变化也佐证了油气由北西向南东运移的观点。这一结论与前人运用原

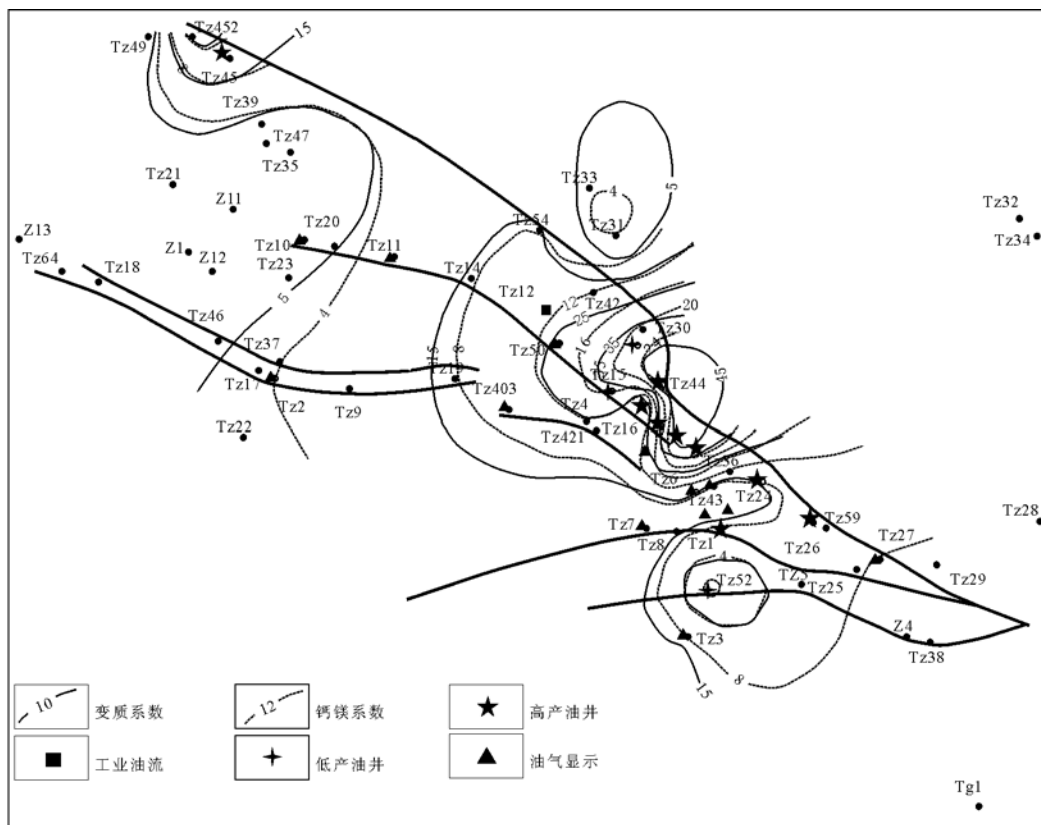


图 2 塔里木盆地塔中地区奥陶系地层水化学指数平面变化

Fig. 2 Plane variation of geochemistry exponents of formation water in Ordovician of Tazhong area of the Tarim Basin

油吡咯类含氮化合物研究塔中地区石炭系油气运移的结论相符^[21]。总之,石炭系油气运移可能受水动力(重力流)影响较大,矿化度及原油密度变化证明了这一点。

奥陶系,塔中北坡 I 号断裂带上塔中 451,54,161,24,26 等井天然气干燥系数分别为 6.78,8.53,10.74,23.47,26.56。原油密度整体偏小,具有从北东向南西逐渐增加的趋势。流体势与原油密度变化正好相反,由北东向南西逐渐降低。干燥系数、原油密度及流体势变化表明,奥陶系油气由北东向南西运移,受压实流影响。在水型上表现为从 I 号断裂带向南,由 CaCl₂ 水型过渡为 Na₂SO₄ 和 MgCl₂ 水型。

因此,石炭系和奥陶系油气运移方向受地层水活动影响,前者受重力流影响,表现为由北西向南东运移特征;后者受压实流影响,表现为由北东向南西运移特征。

4 地层水与油气响应关系

通过对塔中地区下石炭统、志留系、中奥陶统及下奥陶统的地层水总矿化度、变质系数、钠氯系数、脱硫系数、钙镁系数及碳酸盐平衡系数与其相对应层位的油气显示级别(高产油流、工业油流、低产油流、油气显示、沥青、无显示)对比研究可以发现(图 3),塔中地区地层水相关指数与油气显示有规律可寻。总体上,地层水矿化度、变质系数及钙镁系数随含油气级别降低呈下降趋势,而钠氯系数、脱硫系数及碳酸盐平衡系数随含油气级别降低呈上升趋势,尤其是沥青(包括以上油气显示级别)与无油气显示之间界限明显。

就矿化度而言,石炭系和奥陶系无油气显示的地层水矿化度较小,一般都小于正常海水盐度(35 g/L)。塔中地区古生界及以下地层主要为海相沉积,如果没有遭受破坏,经过长期的埋深浓缩,地层

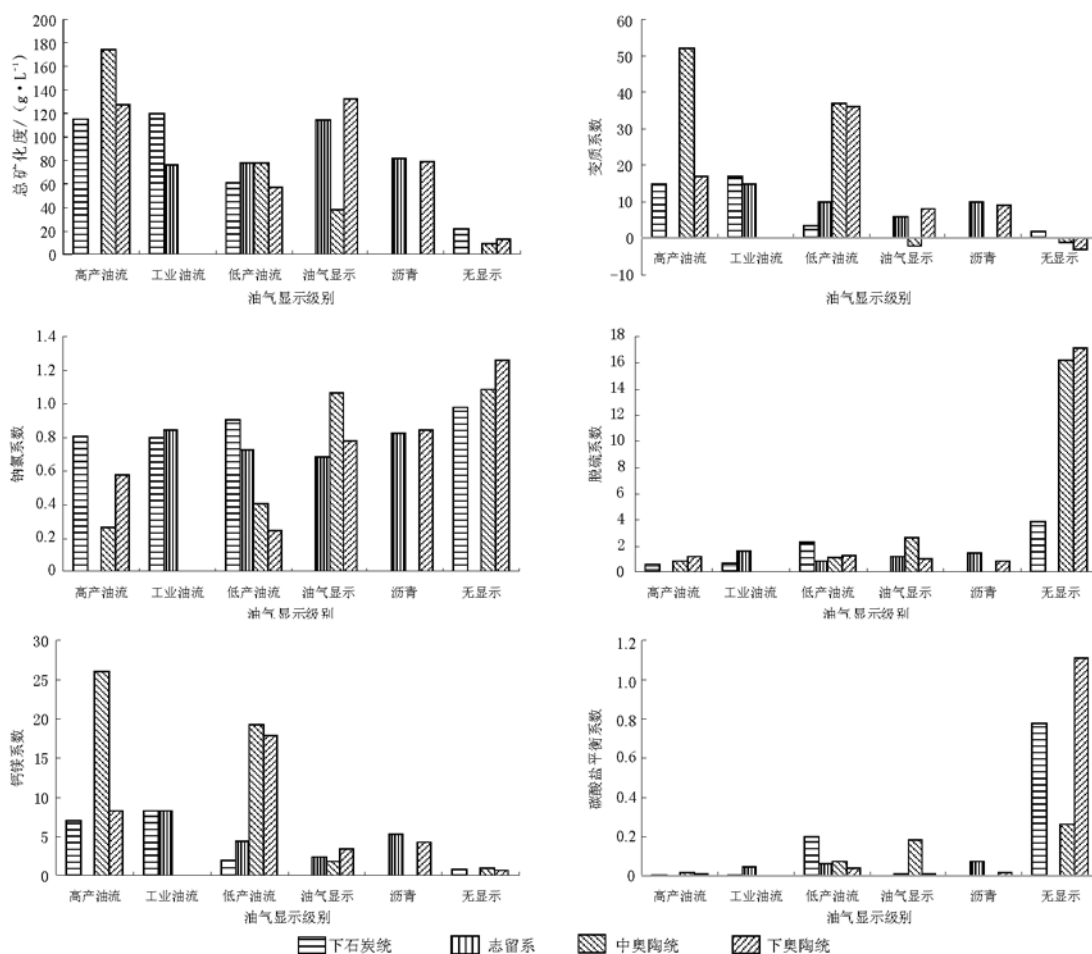


图 3 塔里木盆地塔中地区不同层系地层水总矿化度和水化学指数与油气显示级别关系

Fig. 3 Relationship between grade of hydrocarbon show and salinity and geochemistry exponents of formation water in different strata of Tazhong area of the Tarim Basin

水矿化度应当大于正常海水盐度。变质系数反映地层水的浓缩变质程度,如果该数值较低(一般小于0),则反映地层水封闭保存条件遭到破坏,不利于油气保存。标准海水的钠氯系数为0.85,海相地层水在演化过程中,如果封闭保存条件好,未遭受破坏,经过长时间演化,钠氯系数一般小于0.85,否则一般大于0.85,通常都超过0.9,从塔中地区钠氯系数统计来看,大于0.9一般都无油气显示。钙镁系数与变质系数变化相一致,通常钙镁系数越小,反映油气保存条件越差,从塔中地区来看,钙镁系数小于1,一般无油气显示。脱硫系数受外界影响因素较多,从塔中地区脱硫系数统计来看,与油气显示级别关系较为混乱,一般来说,脱硫系数数值大于3,反映地层水保存条件较差。从统计结果来看,碳酸盐平衡系数大于0.2,一般表明不利于油气保存,且该指数在一定程度上能够反映油气的运移方向。总体来讲,无油气显示与有油气显示及其以上级别之间的差异明显,而从高产油流至沥青之间,总体上具有正向指数逐渐降低、负向指数逐渐增加的特征,但也存在指数异常现象,表明地层水总矿化度和水化学指数变化的复杂性。此外,由于地层水总矿化度和水化学指数仅反映地下油气的保存封闭条件,并不能直接决定油气藏(田)的有无,在使用地层水总矿化度和水化学指数时不能过于教条,要结合实际地质条件进行研究,以免错过油气藏(田)的发现。

5 结论

塔中地区地层水与油气关系密切,从地层水总矿化度、水型及水化学指数等角度分析了塔中地区油气的封闭保存有利区、油气运移方向以及与含油气性的关系。指出塔中地区有利于油气保存的地层水总矿化度和水化学指标分别为:地层水总矿化度大于35 g/L,变质系数大于0,钙镁系数大于1,钠氯系数小于0.85,脱硫系数小于3,碳酸盐平衡系数小于0.2。同时指出由于地层水总矿化度和水化学指数变化的复杂性,不能直接决定油气藏(田)的有无,在使用地层水总矿化度和水化学指数时不能过于教条,以免错过油气藏(田)的发现。

参考文献:

- 1 杨绪充. 油气田水文地质学[M]. 东营:石油大学出版社,1992
- 2 高锡兴. 中国含油气盆地油田水[M]. 北京:石油工业出版社,1994
- 3 蔡春芳,梅博文,李伟. 塔中古生界油田水化学与流体运移和演化[J]. 石油勘探与开发,1997,24(1):18~21
- 4 钱一雄,蔡立国,顾忆. 塔里木盆地塔河油田水离子组合及参数的平面分布与油气运移[J]. 石油实验地质,2005,27(5):502~507
- 5 钱一雄,马安来,陈强路等. 塔中西北部中1井区志留系油砂的地球化学特征[J]. 石油实验地质,2007,29(3):286~291
- 6 贾存善,马旭杰,饶丹等. 塔河油田奥陶系油田水同位素特征及地质意义[J]. 石油实验地质,2007,29(3):292~297
- 7 王屿涛. 石西油田石炭系油水分布规律及含油性评价[J]. 石油实验地质,1998,20(1):44~48
- 8 王震亮,朱玉双,陈荷立等. 准噶尔盆地腹部侏罗系流体物理化学特征及其水动力意义[J]. 地球化学,2000,29(6):542~547
- 9 陈建平,查明,周瑶琪. 准噶尔盆地西缘地层水化学特征与油气关系[J]. 地质地球化学,2000,28(3):54~57
- 10 周建国. 陆相断陷盆地中地层水的运移及分布规律对测井解释的影响[J]. 油气地质与采收率,2005,12(5):5~7
- 11 曾灏辉,左胜杰. 吐哈盆地鲁克沁构造带流体地球化学、动力与油气运移和聚集[J]. 石油勘探与开发,2002,29(1):72~75
- 12 李贤庆,侯读杰,柳常青等. 鄂尔多斯中部气田下古生界水化学特征及天然气藏富集区判别[J]. 天然气工业,2002,22(4):10~14
- 13 蔡立国,钱一雄,刘光祥. 阿克库勒及其邻区地层水同位素特征和油气地质意义[J]. 天然气地球科学,2005,16(4):503~506
- 14 楼章华,程军蕊,金爱民. 沉积盆地地下水动力场特征研究:以松辽盆地为例[J]. 沉积学报,2006,24(2):193~200
- 15 牟泽辉,肖朝晖,杨克明等. 塔中隆起含油气系统事件[J]. 石油勘探与开发,1997,24(4):16~18
- 16 吕修祥,胡轩. 塔里木盆地塔中低凸起油气聚集与分布[J]. 石油与天然气地质,1997,18(4):288~293
- 17 吴茂炳,王新民,陈启林等. 塔中地区油气勘探成果及勘探方向[J]. 新疆石油地质,2002,23(2):95~97
- 18 李红南,魏垂高,张世奇等. 塔里木盆地塔中地区志留系成藏控制因素[J]. 油气地质与采收率,2006,13(3):47~49,53
- 19 翟光明,王建军. 对塔中地区石油地质条件的认识[J]. 石油学报,1999,20(4):1~6
- 20 贾承造. 塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京:石油工业出版社,1997
- 21 刘洛夫,康永尚. 运用原油吡咯类含氮化合物研究塔里木盆地塔中地区石油的二次运移[J]. 地球化学,1998,27(5):475~482