

文章编号:0253-9985(2005)03-0290-07

塔里木盆地古生界流体的垂向分隔性

薛会,刘丽芳,卞昌蓉,张金川

(中国地质大学,北京 100083)

摘要:塔里木盆地古生代寒武—奥陶纪泥岩、晚寒武世和石炭纪的膏岩层及较为致密的岩性阻碍了地层流体的垂向运移。塔里木盆地古生代经历了加里东(早、晚、末)和海西期(早、晚、末)6期构造运动,除海西末期外,其他期次的构造运动主要以升降运动和弱挤压运动为主,破坏范围局限,所产生的断层规模小,导致地层流体具有较强的垂向分隔性。塔里木盆地古生界地层水矿化度达到卤水级别,奥陶系最高,石炭系次之,志留系最低。志留系低矿化度特征得以保持,表明了古生界地层流体的分隔性强,决定了油气主要以古生界区域性不整合面为通道进行侧向运移。在剖面上,油气主要是沿生烃层系分布,在平面上,沿油气运移路径,从坳陷至隆起皆有油气分布。

关键词:地层流体;油气成藏;古生界;塔里木

中图分类号:TE144

文献标识码:A

Vertical compartmentalization of fluids in Paleozoic strata, Tarim Basin

Xue Hui, Liu Lifang, Bian Changrong, Zhang Jinchuan

(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract: Cambro-Ordovician mudstones, upper Cambrian and Carboniferous gypsum rocks and the relatively tight lithologies have blocked the vertical migration of formation fluids in Tarim basin. In Paleozoic, Tarim basin experienced 6 tectonic movements, including Caledonian (early, late and last) and Hercynian (early, late and last). Except the last stage of Hercynian, all the other tectonic movements were mainly of elevation and subsidence movements and weak compressional movements, thus they are characterized by limited destruction scopes and faults of small magnitude, resulting in strong vertical compartmentalization of formation fluids. The salinity of Paleozoic formation water in Tarim basin is of brine water level, which is the highest in the Ordovician, the next is in the Carboniferous, while that in the Silurian is the lowest. Preservation of the low salinity features in Silurian indicates that the Paleozoic formation fluids have been strongly compartmentalized; as a result, most hydrocarbons would mainly migrate laterally along the Paleozoic regional unconformities. Vertically, hydrocarbons are mainly distributed along the source beds, while laterally they are distributed both in depressions and uplifts along the migration pathways.

Key words: formation fluid; hydrocarbon accumulation; Paleozoic; Tarim basin

古生界不仅是塔里木盆地重要的生烃层系,也是塔里木盆地最重要的油气产层。当前,盆地流体研究得到越来越多的重视^[1~4],但是,塔里木盆地流体研究还相对薄弱。笔者从塔里木盆地古生界地层流体分隔性角度出发,探讨其与油气成藏的关系。

1 地质基础

1.1 地层岩性

塔里木盆地古生代主要接受了寒武—志留系的海相沉积和泥盆—二叠系的海陆交互相沉积^[5,6]。其中,寒武—奥陶系为塔里木盆地第一套烃源岩,岩性变化特征相似,西部台地相主要发育

基金项目:国家“973”重点基础研究发展规划项目(G1999043300);国家自然科学基金项目(40272062)

第一作者简介:薛会,男,25岁,博士生,矿产普查与勘探

收稿日期:2005-05-25

了灰岩、白云岩和碎屑岩,东部槽盆区主要发育了黑色细碎屑岩、页岩、泥岩及粉砂岩等韵律互层。此外,中上寒武统还发育有一套 400~600 m 的膏盐层。志留—泥盆系受构造运动影响,全区大面积缺失,从获取的岩心资料来看,志留系沥青砂普遍发育。石炭系为塔里木盆地第二套烃源岩,沉积了一套海陆交互相碳酸盐岩和碎屑岩,顶部为灰岩、中部为膏泥岩,底部为灰岩与砂岩互层。下二叠统延续了石炭系的岩性变化特征,局部夹有火山碎屑岩。自晚二叠世起,塔里木盆地转为陆内沉积,上二叠统堆积了一套河流—洪泛平原相碎屑岩。塔里木盆地古生界普遍埋藏较深,岩性总体较为致密。岩性随之变化,寒武—奥陶系和石炭系发育的泥岩既是优质的烃源岩,同时也对地层流体的垂向运移起着分隔作用,上寒武统和石炭系发育的膏岩层及较为致密的岩性特征进一步增强了古生界地层流体的分隔性。

1.2 构造运动

塔里木盆地古生代经历了 3 个构造演化阶段,分别为寒武—奥陶纪克拉通边缘坳拉槽阶段、志留—泥盆纪周缘前陆盆地阶段及石炭—二叠纪克拉通边缘坳陷和克拉通内裂谷阶段^[7]。在上述 3 个构造演化过程中,经历了 6 期构造运动,即加里东(早、晚、末)和海西期(早、晚、末)运动,造成盆地的沉降回返和地层剥蚀,形成 3 个区域上的不整合面。其中,加里东期地层剥蚀量最大,平均达 2 000 m 以上,海西期地层剥蚀量较小,平均约 800 m(表 1)。由此可以看出,加里东期构造运动强度明显大于海西期。通常情况下,以升降为主的构造运动对地层及其封闭性破坏程度往往小于水平运动,且破坏范

围相对局限。

1.3 断裂封闭

在盆地形成演化过程中,塔里木盆地经历了多期构造运动改造,发育了数百条不同期次、不同性质、不同规模和级次的断裂。断裂活动及演化可以划分为 4 个阶段:即加里东期的正断层世代,海西期的逆冲断层世代,印支—燕山期的逆冲—走滑断层世代和喜马拉雅期的逆冲—滑脱—走滑断层世代^[8]。其中,加里东期的正断层世代和海西期的逆冲断层世代是本次考虑的重点,而且以升降为主的构造运动特征决定了塔里木盆地古生界断裂分布的局限性。加里东期断裂活动不太活跃,主要分布在库鲁克塔格—满加尔坳陷槽的南北两侧;海西期断裂活动逐渐增强,逆冲断层较为发育,主要分布在塔北隆起和中央隆起带上。断层封闭性除了与断层性质和要素有关外,还与断层两侧岩性的对接、涂抹系数及断层活动等有关。尤其断层活动对断层的封闭性影响最大,如断层处于非活动期,断层几乎无垂向输导能力^[9,10]。此外,逆冲断层的封闭性往往好于正断层。加里东期断层性质以正断层为主,但其活动性差,海西期以逆冲断层为主,但仅在海西晚期断层活动性达到了最强。因此,加里东期和海西期断层世代的垂向输导能力较差。

2 基本证据

2.1 矿化度

地层水分析测试结果表明,塔里木盆地古生界地层水总矿化度(TDS)普遍偏高(二叠系和泥盆系无数据),平均值为 116.35 g/L,远远超过了正常海水的盐度标准(35 g/L)。根据地层水矿化度分类标准,达到了卤水级别,反映了古生界地层水埋

表 1 塔里木盆地古生代构造演化过程表

Table 1 Palaeozoic tectonic evolution processes in Tarim basin

地质时代		地层代号	构造旋回及阶段		构造运动
纪	世		构造旋回	盆地演化阶段	
三叠纪		T	石炭—二叠纪 开合旋转	前陆盆地	海西末期运动
二叠纪	晚二叠世	P ₂		克拉通边缘 坳拉槽和克拉 通内裂谷阶段	海西晚期运动
	早二叠世	P ₁			
石炭纪		C	震旦—泥盆纪 开合旋回	周缘前陆盆地 阶段	海西早期运动
泥盆纪		D			加里东末期运动
志留纪		S			加里东晚期运动
奥陶纪	晚奥陶世	O ₃		克拉通边缘坳 拉槽阶段	加里东早期运动
	中奥陶世	O ₂			
	早奥陶世	O ₁			
寒武纪		Є			

藏深,浓缩程度高的特点。从各个层系来看,奥陶系地层水矿化度平均值最高,达137.8 g/L,寒武系133 g/L次之,石炭系为114.8 g/L,志留系最低,仅为79.8 g/L。志留系较低的矿比度一是与大气降水的淋滤作用使其矿化度大幅度降低有关;二是与地层流体的层间分隔性较强,低矿化度特征得以长期保存有关。

从矿化度平面分布来看,各层位的矿化度分布趋势相差较大,主要与古地理-古地形有关。最大矿化度中心主要受控于沉降-沉积中心,而最小矿化度中心则主要与剥蚀淋滤区域有关。就石炭系而言,地层水总矿化度受沉积中心控制,在满加尔东部地区形成高值中心,此外,在巴楚断隆和塔北隆起还零星分布有高值中心(图1)。因此,各层系的最大矿化度中心随着沉积中心的转移而变迁,差异较大,从另一个侧面也反映了不同层系之

间地层流体运动的局限性。

2.2 组分及变化系数

塔里木盆地地层流体中的主要离子成分为 K^+-Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} 等。根据统计结果, K^+-Na^+ 和 Cl^- 为古生界地层水的主要离子成分,其含量分别占总离子总量的26.55%和53.80%。与中、新生界相比,古生界地层水中 Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} 以及 HCO_3^- 含量相对较高,表明地层流体对其碳酸盐岩的溶解作用较为强烈。在这些地层流体中,主要表现为 SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} 以及 Mg^{2+} 相对含量的增加。从离子剖面上看,古生界地层水中阴、阳两类离子随层位变化的总体趋势基本相似(图2)。

根据常量离子含量相对变化而计算出来的地层水变化系数能够进一步说明塔里木盆地不同层系地层水之间的相互分隔性,如钠氯系数、变质系

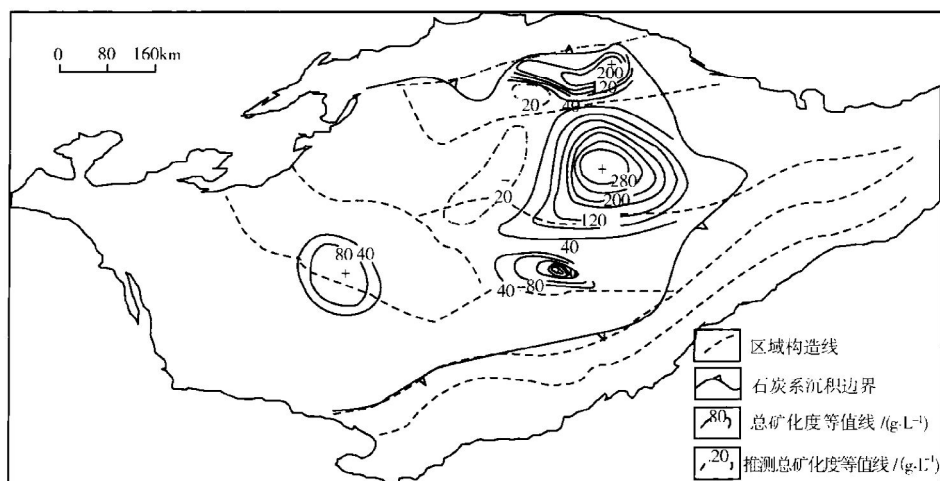


图1 塔里木盆地石炭系地层水矿化度平面图

Fig.1 Contour map of total salinities of Carboniferous formation water in Tarim basin

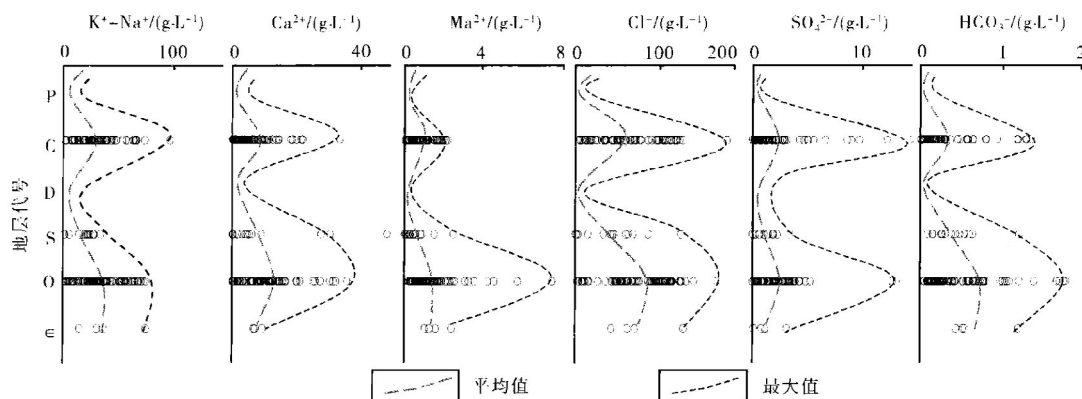


图2 塔里木盆地古生界地层水主要离子变化剖面图

Fig.2 Profiles showing the variation of major ions in Paleozoic formation water in Tarim basin

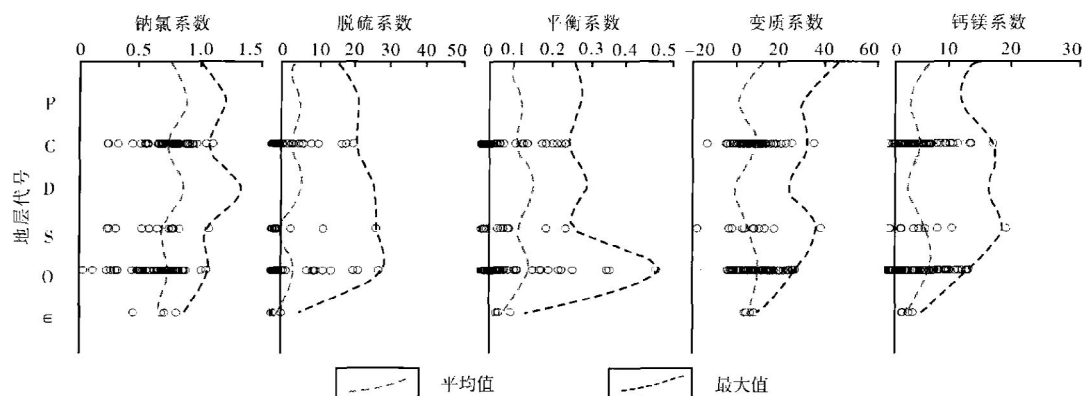


图3 塔里木盆地古生界地层水变化系数剖面图

Fig.3 Profiles showing variation coefficients of Paleozoic formation water in Tarim basin

数、脱硫系数、钠钙系数、钙镁系数、碳酸盐平衡系数等。虽然塔里木盆地地质条件特殊,但各项系数仍然能够从不同侧面反映地层水的封闭性、变质程度以及活动性(图3)。各层位地层水地球化学系数指标的一致性变化与矿化度变化存在着本质上的相互联系,即从反映地层封闭保存条件来说,均体现出了志留系(包括泥盆系)和二叠系所遭受的淋滤作用以及奥陶系、石炭系等层位的相对封闭性。在反映各套地层层系自身地质特点的同时,在宏观构架上也说明了不同层位地层水之间的相互分隔性。

这些系数变化本身与油气分布无直接关系,但它们反映了地层的封闭保存性,暗示了地层流体顺层运动的基本规律,反映了基本的油气地质条件。就钠氯系数来说,数值越小,表明其封闭性条件就越好。其主要原因是地层水在封闭条件下的浓缩作用导致了钠离子当量百分比的减少和氯离子当量百分比的增加。在塔里木盆地古生界地层水中,二叠系和志留系(包括泥盆系)数值较高,与该地质时期中的强烈剥蚀淋滤形成对应;再从变质系数角度来说,它的分析原理与钠氯系数基本相似,主要反映地层水的变质程度及封闭程度,数值越大,封闭条件越好。根据数据统计,塔里木盆地古生界中,石炭系和奥陶系数值较高,说明了后期的保存条件较好。其他相关参数所反映的宏观变化规律基本一致,充分表明了各层系之间的相互分隔性和封闭性。这一条件的存在为地层流体的顺层流动提供了基本的证据支持。

2.3 流体运动

2.3.1 上古生界

上古生界主要发育在盆地的中央部位,沉积

中心出现在塔西南坳陷和北部坳陷,地层发育较全。剥蚀中心主要出现在隆起的顶部,地层剥蚀较为严重。地层流体主要包括了石炭系和二叠系两套层位,由于石炭系地层流体资料相对较多,故主要以石炭系地层流体为代表进行分析。

从流体等势面分布规律看,塔里木盆地石炭系流体的流动趋向比较复杂,在总体特征上表现为由北西向南东方向的流动。在巴楚隆起北侧,流体势值达到最高,向塔北隆起、满加尔凹陷和塔中低凸起方向逐渐降低(图4)。在地层流体由北西向南东方向流动的宏观框架下,不同地区的流体流动趋势可分别表现为不同特征。在塔北隆起,由于断裂作用较强,地层水上下交换作用明显,导致地层水流向表现为由东西两侧向中心方向流动;在塔中低凸起,地层水流动方向更明显地表现为由东向西流动。由于多种原因同时存在,局部地区可能出现不规则的流动方向。

2.3.2 下古生界

与上古生界相比,下古生界埋藏更深,压实作用程度更强,地层流体的流动性更差,基本上处于稳定的滞流状态。在下古生界,地层水中氧同位素一般偏高,演化程度较深,封闭条件较好,表明主要以沉积水和稳定的变质水为特征。因此,下古生界地层流体以较为稳定的滞流为主,间或出现压实流或重力流。

根据奥陶系地层流体等势图分析(图5),地层流体流动的方向主要表现为由东向西。这一主体流向与地层沉降-沉积中心的分布具有较好的一致性,即地层厚度最大的沉积中心出现在盆地东部,它可能导致了压实流的产生和维持。但是,一

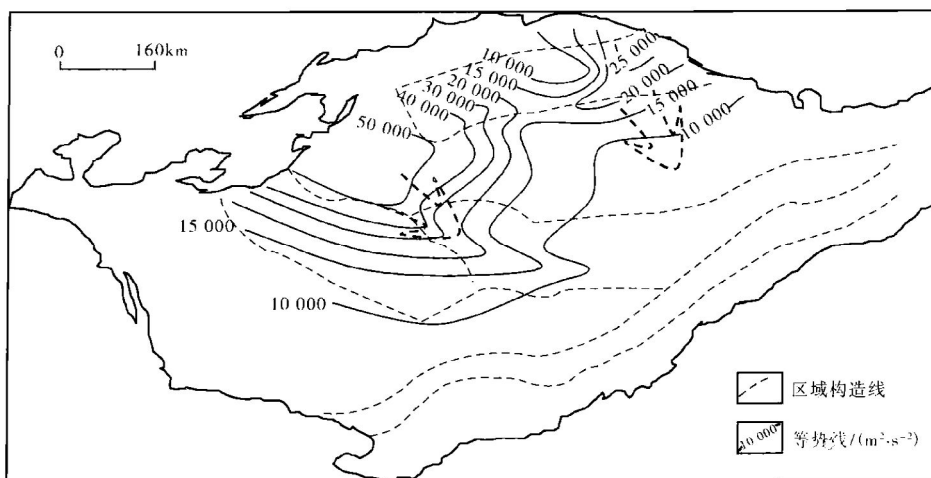


图4 塔里木盆地石炭系地层水等势图

Fig.4 Isopotential map of Carboniferous formation water in Tarim basin

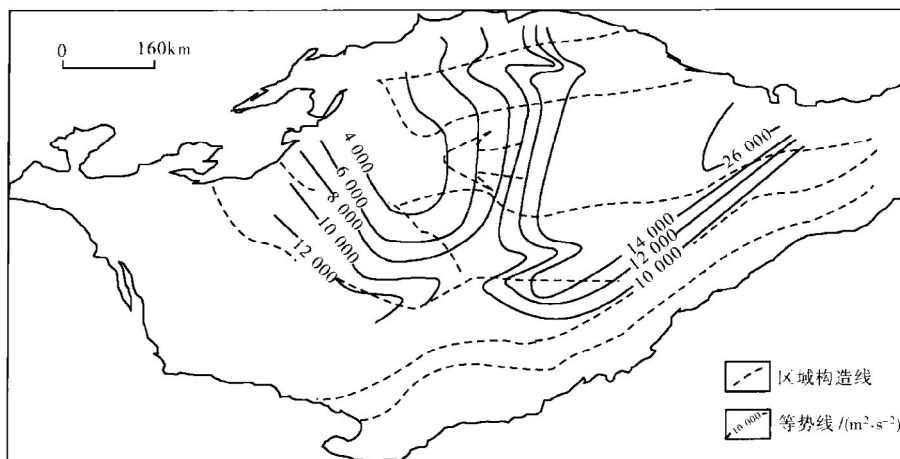


图5 塔里木盆地奥陶系地层水等势图

Fig.5 Isopotential map of Ordovician formation water in Tarim basin

系列证据表明,下古生界中的流体运动是非常微弱的,由压实作用所产生的流体流动作用也是非常微弱的。下古生界地层流体的弱流动作用主要表现在两个方面,一是流体势能绝对值和相对差值较小(与上古生界相比),压实作用所产生的流体动力条件较弱;二是地层埋藏较深,重力流作用也明显受阻,仅在局部地区(如塔北隆起、塔中低凸起等)有流体等势线的扰动。

3 成藏意义

3.1 运移

古生界各套地层流体之间的强分隔性和顺层流动模式,决定了塔里木盆地古生界油气以侧向运移方式为主。塔里木盆地古生界已发现的油气田(藏)大多处在远离生油中心的隆起或斜坡上,

沉积坳陷中心生成的油气在完成初次运移后,大规模二次运移的主要通道通常是区域性发育的不整合面,仅靠断层来进行长距离运移是不现实的。古生界发育的3个区域性的不整合面恰好为油气长距离运移提供了条件,确立了古生界油气的侧向运移方式。

3.2 分布

塔里木盆地古生界各套地层之间较强的分隔性,导致了各套地层流体之间较强的分隔性,彼此之间的交互流动作用微弱,保持了较强的独立性。作为地层流体的一部分,其间的油气运移和分布同样具有明显的相互分隔性。寒武—奥陶系和石炭—二叠系构成了古生界的主力烃源岩系,根据康志宏等^[11]计算,石炭—二叠系和奥陶系两套生烃层系间

表2 塔里木盆地已发现油气的层位分布

Table 2 Distribution of discovered hydrocarbon-bearing horizons in Tarim basin

构造区	塔 北							满加尔		塔 中			巴楚-麦盖提		
层位	英买力	东河塘	雅克拉	轮南	桑塔木	克拉克	草湖	吉南-满北	哈德	北斜坡	中央阜带	I号断裂带	玛扎塔格断裂带	色力布亚断裂带	曲苦恰克断裂带
E			○	○											
K			●	●											
J		●	●	●	●	●		●							
T			●	●	●	●									
P															
C		●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	●
D															
S															
O ₂ +O ₃															
O ₁	●		●	●	●			○		○	●	●	●		
ε			●												

注:实心示工业油气流,空心示油气显示,阴影部分表示遭受剥蚀

所分布的油气资源总量占盆地油气资源总量的72.67%。地层流体侧向顺层运移的结果限制了油气在剖面上的分布,拓宽了油气的平面分布范围。从目前勘探所揭示的古生界油气层位分布来看,不同地区或构造单元的油气分布主要集中出现在奥陶系和石炭系两套生烃层系中(表2),包括了绝大部分的工业性油气产层和大量的油气显示;在平面上,从坳陷至隆起皆有油气分布,如塔北隆起、满加尔坳陷、塔中低凸起及巴楚-麦盖提等地区都有石炭系油气田(藏)分布(表2)。

3.3 勘探有利区

盆地地层水的流动状态在很大程度上影响着油气的运移和分布。在上古生界,流体运动主要表现为自北西向南东方向的重力驱动流。流体地球化学指标表明,有利的油气分布区域分为3个基本单元:塔北隆起、巴楚隆起、塔中低凸起及其斜坡。其中,源自满加尔凹陷的油气更易于沿着地层水的运动方向运移,因此,塔中低凸起的北坡较之塔北隆起更有利于油气聚集,历年勘探所发现的油气田分布也说明了这一基本规律。在下古生界,流体运动较为滞缓,动力条件较弱的压实流

和重力流对油气的运移和分布影响程度较轻,油气主要沿生烃凹陷周缘分布。根据流体地球化学指标分析,有利于油气聚集的流体分布有利区主要集中出现在塔北隆起、塔中低凸起、北部坳陷以及巴楚隆起等地区。

参 考 文 献

- Hubbert M K. The theory of ground-water motion[J]. Journal of Geology, 1940, 48: 783-944
- Hubbert M K. Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions[J]. AAPG Bull, 1953, 37(8): 1954-2026
- 王震亮. 改造型盆地流体动力学的发育特点[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 24-27
Wang Zhenliang. Development characteristics of fluid dynamics in reformed basins[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 24-27
- 叶加仁, 王连进, 邵荣. 油气成藏动力学中的流体动力场[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 182-185
Ye Jiaren, Wang Lianjin, Shao Rong. Fluid dynamic fields in pool-forming dynamics of oil and gas[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 182-185
- 汤良杰, 金之钧, 贾承造, 等. 叠合盆地构造解析几点思考[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 251-255
Tang Liangjie, Jin Zhijun, Jia Chengzhao, et al. Tectonics analysis of superimposed basins[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23

- (3): 251-255
- 6 康玉柱. 塔里木盆地大气田形成的地质条件[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 21-25
Kang Yuzhu. Geological condition for forming big gasfields in Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 21-25
 - 7 贾承造. 塔里木盆地构造特征与油气聚集规律[J]. 新疆石油地质, 1999, 20(3): 177-183
Jia Chengzhao. Structural characteristics and oil & gas accumulative regularity in Tarim basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1999, 20(3): 177-183
 - 8 龚铭, 邵鸿良, 王泽厚, 等. 塔里木盆地断裂世代初探[J]. 石油实验地质, 1995, 17(2): 105-113
Gong Ming, Shao Hongliang, Wu Zehou, et al. Preliminary approach to the faulting generations of the Tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1995, 17(2): 105-113
 - 9 王来斌, 徐怀民. 断层封闭性的研究进展[J]. 新疆石油学院学报, 2003, 15(1): 11-15
Wang Laibin, Xu Huaimin. Advances of research on fault sealing [J]. Journal of Xinjiang Petroleum Institute, 2003, 15(1): 11-15
 - 10 杨克明, 龚铭, 段铁军, 等. 塔里木盆地断裂的输导和封闭性[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(2): 123-127
Yang Keming, Gong Ming, Duan Tiejun, et al. Carrying and sealing properties of faults in Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(2): 123-127
 - 11 康志宏, 虎北辰, 王英民, 等. 塔里木盆地动态数值模拟[J]. 新疆地质, 2001, 19(2): 97-101
Kang Zhihong, Hu Beichen, Wang Yingmin, et al. The dynamic basin modeling in Tarim basin[J]. Xinjiang Geology, 2001, 19(2): 97-101

(编辑: 高岩)

(上接第289页)

- 31 王嗣敏, 吕修祥. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层特征及油气意义[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, 19(4): 72-76
Wang Simin, Lu Xiuxiang. Features and petroleum significance of Ordovician carbonate reservoir in Tazhong area, Tarim Basin[J]. Journal of Xi'an University of Petroleum(Natural Science Edition), 2004, 19(4): 72-76
- 32 张景康, 朱炳泉, 张平中, 等. 塔里木盆地北部沥青、干酪根 Nd-Sr-Pb 同位素体系及成因演化[J]. 地质科学, 1998, 33(3): 310-317
Zhang Jinglian, Zhu Bingquan, Zhang Pingzhong, et al. Pb-Sr-Nd isotopic systematics of kerogen and bitumen in the Tarim Basin and their implications for its origin and evolution[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33(3): 310-317
- 33 刘宝明, 何家雄, 夏斌, 等. 国内外 CO₂ 研究现状及发展趋势[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(4): 412-417
Liu Baoming, He Jiaxiong, Xia Bin, et al. Recent studying situation and progress tendency of carbon dioxide[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(4): 412-417
- 34 王国安, 申建中, 季美英. 塔北、塔中天然气中 CO₂ 的碳同位素组成及成因探讨[J]. 地质地球化学, 2001, 29(1): 36-39
Wang Guoan, Shen Jianzhong, Ji Meiyang. Carbon isotopic composition and origin of carbon dioxide in natural gases in northern and central Tarim Basin[J]. Geology-geochemistry, 2001, 29(1): 36-39
- 35 陶洪兴, 徐元秀. 热液与油气储层[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(6): 92-97
Tao Hongxing, Xu Yuanxiu. Hydrothermal fluids & the oil-gas reservoir [J]. Petroleum Exploration & Development, 1994, 21(6): 92-97
- 36 高玉巧, 刘立. 岩浆侵入活动对砂岩的改造作用研究简介[J]. 地质科技情报, 2003, 22(2): 13-16
Gao Yuqiao, Liu Li. Brief introduction of effect of magma intrusion activity on sandstone[J]. Geological Science and Technology Information, 2003, 22(2): 13-16
- 37 夏日元, 唐健生, 罗伟权, 等. 油气田古岩溶与深岩溶研究新进展[J]. 中国岩溶, 2001, 20(1): 76
Xia Riyuan, Tang Jiansheng, Luo Wei-quan, et al. New knowledge of the palaeokarst in oil-gas pools and the deep karst[J]. Carsologica Sinica, 2001, 20(1): 76
- 38 秦启荣, 刘胜, 苏培东. 塔中 I 号断裂带 O₂₊₃ 灰岩储层裂缝特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 183-186
Qin Qirong, Liu Sheng, Su Peidong. Characteristics of O₂₊₃ limestone reservoir rift in Tazhong 1# fracture zone[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(2): 183-186
- 39 张荣华, 胡书敏. 萤石在流动体系内溶解反应动力学和表面化学[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(1): 41-51
Zhang Ronghua, Hu Shumin. Dissolution reaction dynamics and surface chemistry of fluorite in the flowing system[J]. Science in China (Series D), 1996, 26(1): 41-51
- 40 Zhang Ronghua, Hu Shumin. Experimental observation of deep crust fluid NaCl aqueous solution at high temperatures and pressures and its significance[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(7): 654-660
- 41 张荣华, 胡书敏. 地球深部流体演化与矿石成因[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 297-310
Zhang Ronghua, Hu Shumin. The evolution of deep earth fluids and ore genesis[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(4): 297-310

(编辑: 李军)