

准噶尔盆地温压系统演化与油气远源成藏

马小伟, 朱传真, 林玉祥, 舒永

(山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要: 准噶尔盆地温压系统的形成与演化对油气远源成藏具有明显的控制作用。以系统热力学理论为指导, 在盆地温度场和压力场分析基础上, 系统研究了盆地温压系统的特征、演化及其对油气远源成藏的控制作用。研究表明盆地隆起区具有高地温、高地温梯度和高大地热流的特征, 拗陷区则相反; 拗陷区普遍发育超压, 并向盆地边缘呈不规则环状降低, 盆地南部及腹部拗陷区发育强超压, 盆地东部次之, 西北缘以弱超压为主。垂向上盆地发育 P-T₃、J₁-J_{1s} 和 K₁tg-E₂₋₃a 三套相对封闭的温压系统。海西期盆地沉降速率较快, P-T₃ 期温压系统超压积聚; 至燕山期构造运动强烈, 凸起边缘切穿盖层的断裂活动频繁, 地层温压场调整, 油气突破盖层运移与聚集, 是该区远源油气藏形成的主要时期; 喜马拉雅期盆地主要为南降北升的掀斜运动, 断裂活动微弱, 相对封闭性温压系统的发育使油气保存条件优越。平面上远源岩性油气藏主要分布在盆地西北缘、莫北—莫索湾地区、陆梁隆起及东部隆起等低温压场区, 是准噶尔盆地远源油气藏勘探的有利区。

关键词: 温压系统; 温度场; 压力场; 油气远源成藏; 准噶尔盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

Evolution of the temperature–pressure system and far-source hydrocarbon accumulation in Junggar Basin

Ma Xiaowei, Zhu Chuazhen, Lin Yuxiang, Shu Yong

(College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: The controls of the formation and evolution of the temperature–pressure system on a far-source hydrocarbon accumulation in the Junggar Basin were studied systematically based on the analyses of temperature and pressure fields and guided by the theory of system thermodynamics. The uplifted area of the basin is featured by high temperature, high temperature gradient and high heat flow, while the depressed area is opposite. Overpressure developed in the depressed area and decreases in irregular rings to the edge of the basin. Strong overpressure developed in the south of the basin and the central depressed area, medium overpressure developed in the east of the basin, and weak overpressure developed on the northwestern margin of the basin. Vertically there are three sets of relatively closed temperature–pressure systems in the basin: the Permian–Upper Triassic system, the Lower Jurassic system and the Cretaceous–Paleogene system. The sedimentation rate of the basin was relatively fast during the Hercynian period, and the energy accumulation of temperature and pressure took place from the Permian to the Late Triassic. Tectonic movements were intense in the Yanshanian period, and fracture activities cut through cap rocks frequently at the edge of the uplifts. The temperature–pressure field adjusted, leading to oil and gas migration and accumulation through cap rocks. It was the main period for the formation of far-source reservoirs. The basin was tilting, descending in the south and uplifting in the north, in the Himalayan period, and fault activity was weak. The temperature–pressure system was relatively stable and helped oil and gas preservation. The far source lithologic oil and gas reservoirs are mainly distributed in the low-energy field of temperature–pressure in the horizontal, such as the northwest of the basin, Mobei–Mosuowan area, Luliang uplift and the eastern uplift. These areas are favorable for exploration of far-source oil and gas reservoirs in the Junggar Basin.

Key words: temperature–pressure system; temperature field; pressure field; far-source hydrocarbon accumulation; Junggar Basin

收稿日期: 2017-01-15; 修订日期: 2017-06-03。

作者简介: 马小伟 (1990—), 男, 在读硕士, 从事油气成藏机理与模式方面的研究。E-mail: 876340297@qq.com。

通信作者: 林玉祥 (1963—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事油气地质勘探研究。E-mail: sdkdlyx@126.com。

基金项目: 国家自然科学基金 (41172108) 和国家油气重大专项 (2016ZX05041005, 2016ZX05001003) 资助。

准噶尔盆地位于新疆北部,是在准噶尔地块基础上发育起来的晚古生代—中、新生代大型挤压复合叠加盆地^[1]。目前在该区已累计发现 400 余个油气藏,油气资源丰富。准噶尔盆地周缘及内部凸起构造带上的油气藏多具有远离生烃中心的特点,油气运移距离多大于生烃范围半径的 30%^[2-4],明显受到温压系统及其演化的影响。

盆地中油气生成、运移乃至油气藏形成演化均是在温度和压力共同作用下完成的^[5-13],盆地地温场和地压场的形成与演化在一定程度上影响油气分布位置和富集状况。因此,正确认识盆地温压场条件对成藏过程的影响,是揭示该区油气成藏机制、准确预测油气分布的基础。然而,在复杂的油气藏形成、演化过程研究中,将地温场与地压场结合起来进行整体分析,存在一定难度。本文在系统分析准噶尔盆地温、压场的基础上,进一步将温、压场有机结合形成温压系统,并研究其发育及演化特征,纵向上划分了不同的温压系统,横向上分析温压场能量变化趋势,明确了温压场能量变化与油气成藏的关系。

1 现今温压场特征

1.1 地温场

准噶尔盆地现今地温梯度分布在 1.16~2.76 °C/hm 之间,平均为 2.26 °C/hm(图 1),大地热流介于 23.4~53.7 mW/m²之间,平均热流值为(42.3±7.7) mW/m²^[14-17]。准噶尔盆地地温梯度和大地热流值在中国属于较低的盆地,也低于全球大陆平

均热流值,属于典型的冷盆地^[14]。

平面分布上,盆地东部卡拉麦里山前和陆梁隆起地温最高,地温梯度也表现为东部隆起区最高,达 2.8 °C/hm,北部陆梁隆起次之,在 2.0~2.4 °C/hm 之间,热流较高地区主要分布在陆梁隆起部位和彩南地区,达到 50~52 mW/m²;西北缘与中央坳陷区地温较低,西北缘平均地温梯度在 2.0 °C/hm 左右,平均热流(百口泉、红山嘴)为(43.9 ± 5.7) mW/m²;中央坳陷地区平均地温梯度在 1.9 °C/hm 左右,平均热流为(45.2 ± 5.7) mW/m²。盆地南部北天山山前坳陷温度最低,地温梯度分布在 1.4~2.0 °C/hm 之间,平均为 1.7 °C/hm;平均热流值为(34.4 ± 8.3) mW/m²。总体上隆起区表现为高地温、高地温梯度和高大地热流的特征,而坳陷区具有低地温、低地温梯度和低大地热流的特点^[16]。

1.2 地压场

准噶尔盆地超压非常发育,垂向上超压主要发育在二叠系、三叠系和侏罗系地层;石炭系和古近系也有部分超压分布^[10,18-20],平面上以南缘和腹部为主(图 2)。

准噶尔盆地南缘普遍发育强超压(压力系数高达 2.4)。垂向上主要发育于安集海河组、沙湾组、紫泥泉子组和东沟组中,其中安集海河组是异常高压分布的主要层位,压力系数达 1.75~2.07^[21]。平面上,东西方向上压力系数西部高于东部,中部又高于西部;南北方向上北部压力高于南部。

腹部地区普遍发育超压(压力系数高达 2.1)。垂向上可分为深、浅两层,浅层超压以侏罗系及上

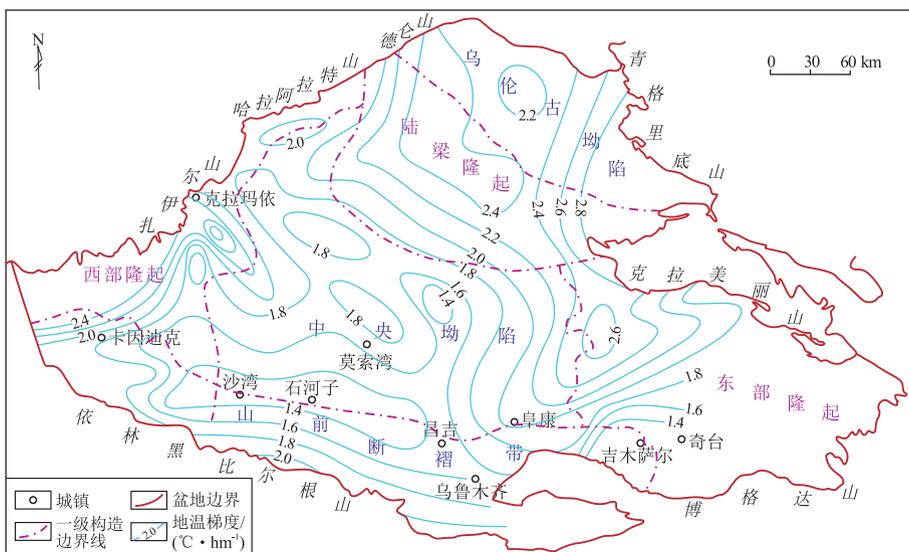


图 1 准噶尔盆地现今地温梯度分布特征

据参考文献[14,16]修编。

Fig.1 Current distribution of geothermal gradient in Junggar Basin

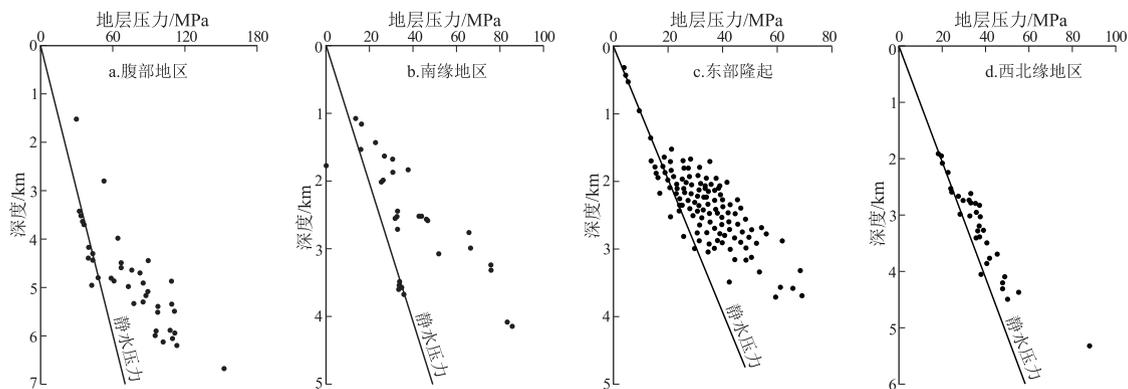


图2 准噶尔盆地各构造单元地层压力与深度的关系

Fig.2 Relationship between pressure and depth of four tectonic units in Junggar Basin

三叠统白碱滩组为主,深层超压主要分布在二叠系。平面上,超压集中分布在昌吉凹陷和玛湖凹陷,此外莫北凸起、马桥凸起和东道海子北凹陷西侧也发育3个小的超压中心,一定程度上表现出盆1井西凹陷和东道海子北凹陷低压环绕莫北凸起高压分布的特点^[22],西缘地区超压不甚发育,剩余压力等值线与构造线近于平行。

准东地区以发育弱超压为主。垂向上超压分布在二叠系、三叠系及侏罗系。平面上表现为南区高、中区平、北区低的格局,南部断褶带超压较发育,压力系数在1.4左右;中部地区超压幅度不大,压力系数在1.0~1.15之间;北部地区出现低压,压力系数为1.05~0.90。

西北缘总体上处于常压—弱超压环境。垂向上从地表至3 500 m深处的地层压力系数小于1.25,属于正常压力系统;3 500 m以下,少部分地层表现为低幅超压,且压力系数不超过1.5^[23]。平面上西段以正常压力为主,中段以弱超压为主,东段则以正常压力和低压为主^[24]。

2 盆地温压系统研究方法

同一沉积盆地中地温—地压关系在垂向上表现为“折线”模式,不同地温—地压系统中,地温与地压关系斜率不同^[10]。根据沉积地层与外界物质、能量的交换情况,可将沉积盆地地层划分为若干开放体系和封闭体系,因而在研究盆地地温与地压关系的地质概念模型时,可从开放体系和封闭体系两方面进行研究。

2.1 开放地层体系

沉积盆地浅部地层,缺乏致密盖层的封闭作用,虽然地层孔隙流体受到上覆岩层的重力作用及相应的热化作用,但仍与外界沟通,整个沉积岩系处于开放体系,地层流体压力保持静水压力,地层温度

随深度的变化满足一维稳态热传导方程^[12],即:

$$P = \rho g H \quad (1)$$

$$T_z = T_0 + \frac{q_0 \cdot H}{K} - \frac{A \cdot H^2}{2K} \quad (2)$$

式中: P 为孔隙流体压力; ρ 为地层水密度; g 为重力加速度; H 为计算层段的深度; T_z 为计算层段的底面温度; T_0 为地表温度; q_0 为计算点的地表热流值; K 为计算层段的岩石热导率; A 为计算层段的岩石生热率。

本文将地压与地温关系斜率(ω)定义为盆地温压指数。

$$\omega = \frac{dP}{dT} \quad (3)$$

由式(1)和式(2)得,在盆地开放地层体系内,温压指数满足下式:

$$\omega = \frac{dP}{dT} = \frac{dP}{dH} / \frac{dT}{dH} = \rho g \cdot \frac{K}{q_0 - AH} \quad (4)$$

2.2 封闭地层体系

沉积盆地深部地层,由于上覆致密层的封盖作用,地层孔隙内流体排出受阻或不畅,形成高压异常,而地温变化与地层压力存在一定的相互关系^[6],本文采用范德瓦尔斯简单热力学方程进行讨论^[5]。

$$P = \left(\frac{R}{V-b} \right) T - \frac{a}{V^2} \quad (5)$$

式中: T 为地层温度; V 为封闭地层单元的孔隙体积; R 为气体常数; a 和 b 为孔隙流体比例常数。

由式(5)可知,在封闭地层体系中,地层温度与压力呈直线关系,比例系数为 $R/(V-b)$ 。而在实际应用过程中,地层温度与地层压力均可与深度

建立一个拟合公式,即:

$$P = f_1(H) \quad (6)$$

$$T = f_2(H) \quad (7)$$

由式(3)~(7)得:

$$\omega = \frac{dP}{dT} = \frac{R}{V-b} = \frac{dP}{dH} / \frac{dT}{dH} = \frac{f_1'(H)}{f_2'(H)} \quad (8)$$

因此,在封闭地层体系中,可用地压梯度与地温梯度比值的变化划分地层温压系统。

3 各层系温压场演化特征

根据前人公开发表的岩石物性参数,准噶尔盆地泥岩热导率平均为(1.827±0.374) W/(m·K),生热率平均为 1.41 μW/m³;砂岩热导率平均为(2.219±0.661) W/(m·K),生热率平均为 1.002 μW/m³;火山岩热导率平均为(2.087±0.497) W/(m·K),生热率平均为 0.925 μW/m³,大地热流平均值为(42.3±7.7) mW/m²[14-17]。

根据式(4)求得准噶尔盆地开放地层体系温压指数在 0.3~0.7 MPa/°C 之间,且随地层埋深具有逐渐增大的趋势(图 3~5)。根据准噶尔盆地各

层系实测压力与温度数据^[25],二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系和古近系均发育 2 个不同的温压系统,各层系温度与深度存在较好的相关关系,相关系数均在 0.84 以上;压力随深度变化逐渐偏离静水压力曲线,上下地层具有明显不同的温度与压力耦合斜率,计算温压指数明显偏离其开放体系内的温压指数。二叠—三叠系实测压力、温度数据点埋深范围在 1 226~5 030 m,地层温度在 38.01~137 °C 之间,地层压力在 11.89~70.72 MPa 之间,压力系数在 1.2~1.71 的测点占 43%,剩余压力多分布在 0~10 MPa,最高达 26.16 MPa。该层在 2 000 m 处温压指数开始偏离开放体系温压指数,说明从此深度开始发育封闭体系温压系统,在 5 030 m 处温压指数达到 1.10 MPa/°C,明显超过该处开放体系温压指数 0.7 MPa/°C,且平均温压指数达 0.83 MPa/°C(图 3)。侏罗系实测压力、温度数据点埋深范围在 734~5 289 m,地层温度在 29.62~132.21 °C 之间,压力系数大于 1.2 的测点占 44%,剩余压力多分布在 0~20 MPa,最大为 47.69 MPa。该层在 1 000 m 处便开始发育封闭体系温压系统,温压指数随深度的增加而增大,并且温压指数增大的速率有随深度增加而略微增大的趋势,在 5 289 m 处温压指数达 1.01 MPa/°C。该层平均温压指数为 0.73 MPa/°C

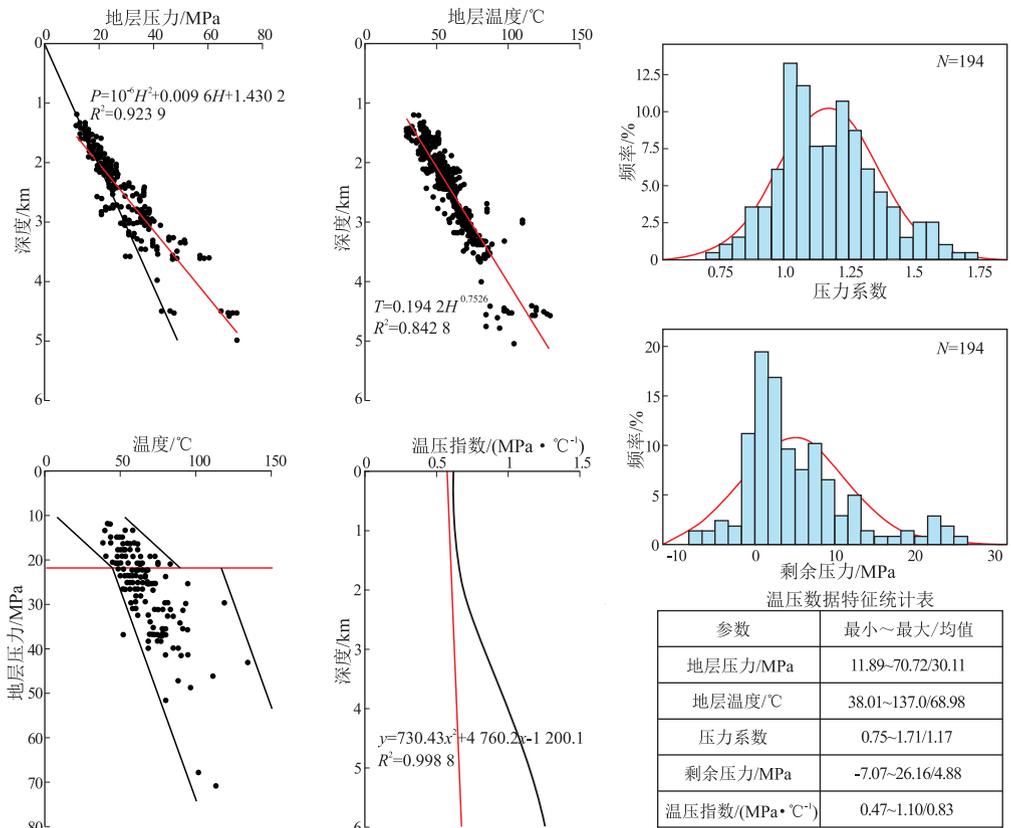


图 3 准噶尔盆地二叠—三叠系温压场特征

Fig.3 Temperature and pressure fields from Permian to Triassic in Junggar Basin

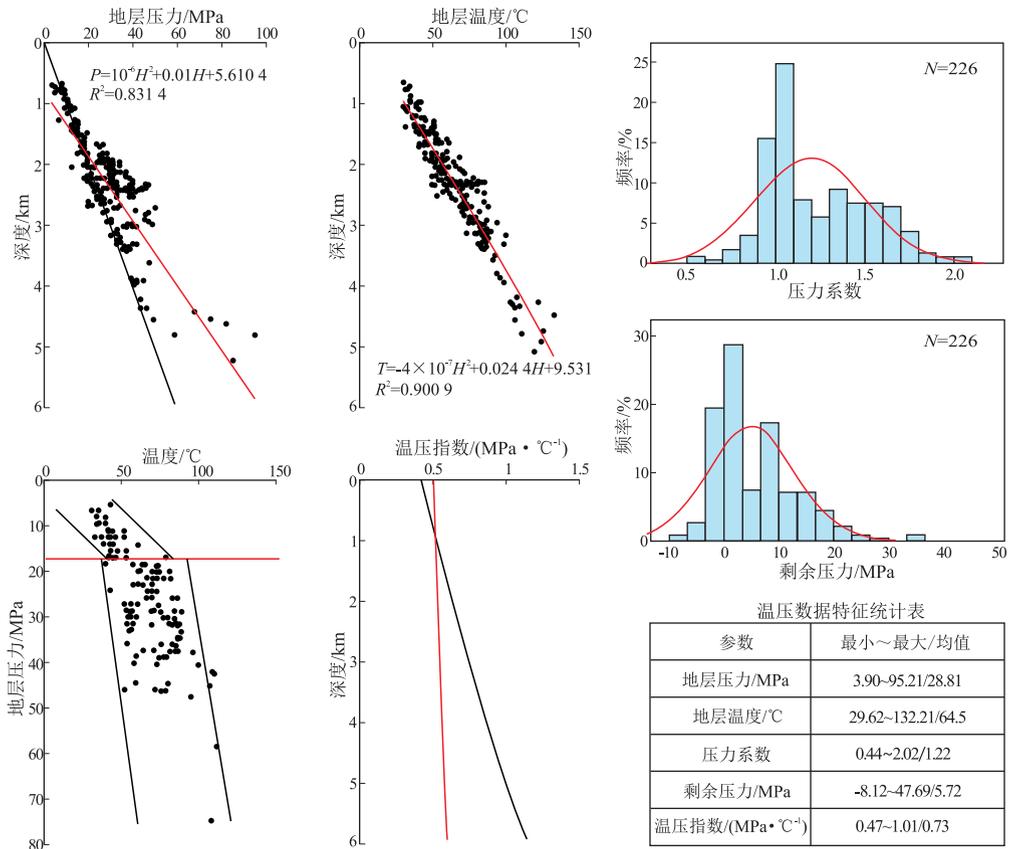


图4 准噶尔盆地侏罗系温压场特征

Fig.4 Temperature and pressure fields in Jurassic in Junggar Basin

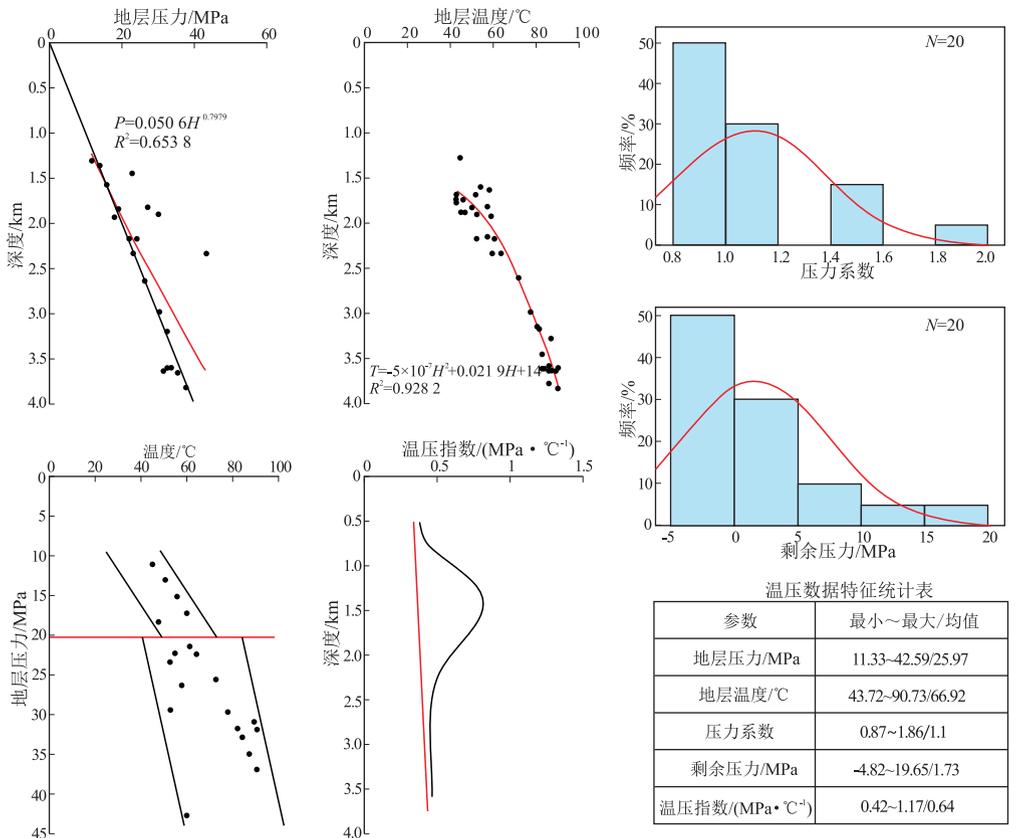


图5 准噶尔盆地白垩系和古近系温压场特征

Fig.5 Temperature and pressure fields in Cretaceous and Paleogene in Junggar Basin

(图 4)。白垩系与古近系实测压力与温度数据点深度较浅,在 1 000~4 000 m 之间,地层温度在 43.72~90.73 °C 之间,压力系数在 0.87~1.86 之间,多为常压,大于 1.2 的测点占 20%,剩余压力多在 -5~5 MPa 之间。该层在 600 m 处开始发育封闭体系温压系统,在 2 700 m 处封闭体系温压系统停止发育,温压指数高达 1.17 MPa/°C,平均为 0.64 MPa/°C (图 5)。

4 温压系统划分及特征

准噶尔盆地封闭地层体系温压系统多以发育超压为特征,油气运移动力强。准噶尔盆地平均地温梯度为 2.45 °C/hm,当压力系数大于 1.2 时,地层压力梯度则与净水压力梯度的差值达 1.96×10^{-3} MPa/m,则温压指数相差 0.08 左右。因此,以 0.08 为界,当温压指数差值 ≥ 0.08 时,表示 2 个温压系统的相对独立性。准噶尔盆地二叠—三叠系与侏罗系、侏罗系与白垩—古近系温压指数分别相差 0.1 MPa/°C 和 0.09 MPa/°C。结合地层水矿化度研究表明(表 1) [26~27],盆地腹部及西北缘地区二叠系地层水均以 CaCl₂ 型为主,矿化度高,分别为 16.11 g/L 和 28.99 g/L,表明其地下水循环缓慢的封闭环境;三叠系地层均以 CaCl₂ 型和 NaHCO₃ 型为主,矿化度较高,分别为 14.53 g/L 和 14.29 g/L,钠氯比值和脱硫系数均较小,也表明地层水交替较弱的封闭性环境,推测 CaCl₂ 型水为下伏二叠系地层水渗流形成;侏罗系地层水均以 NaHCO₃ 型为主,矿化度较高,均在 10 g/L 以上,表明其开放—封闭过渡性环境。腹部地区脱硫系数较小,在 1.55 左右,表明其地层交替阻滞环境,西北缘地区脱硫系数在 3 以上,表明其较差的封闭性。腹部地区白垩系地层水以 CaCl₂ 型为主,地层水矿化度在 8 g/L 左右,表明其相对封闭性。因此,该地区在垂向上存在 3 个独立的封闭地层体系温压系统:上部 K₁tg—

E₂₋₃a 温压系统、中部 J₁-J_{1s} 温压系统和下部 P-T₃ 温压系统(图 6)。

上部温压系统主要发育在白垩系吐鲁群中下部稳定分布的泥岩封闭层至古近系安集海河组大套泥岩盖层之间,平面上主要分布在盆地南缘山前拗陷,向北至莫索湾地区。中部温压系统受侏罗系三工河组底部泥岩盖层的封闭作用,主要发育于侏罗系八道湾组中,平面上主要分布在盆地腹部及南缘地区。下部温压系统发育在三叠系及以下地层中,垂向上受上三叠统白碱滩组泥岩盖层封闭,平面分布最为广泛,除乌伦古凹陷、西北缘及东部隆起区外均有分布。

平面上,根据该地区地温梯度与剩余压力的大小,将准噶尔盆地分为 7 个温压能量场区(表 2,图 7):乌伦古拗陷常压—低温区,陆梁西部地区中高

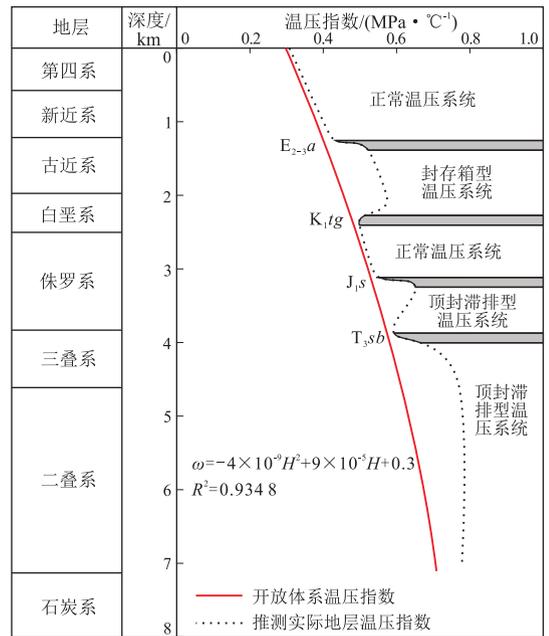


图 6 准噶尔盆地垂向温压系统

Fig.6 Vertical temperature and pressure system in Junggar Basin

表 1 准噶尔盆地腹部不同层系地层水化学参数统计

Table 1 Hydrochemical parameters of different strata in the central Junggar Basin

地区	层系	水型		矿化度/(g·L ⁻¹)	钠氯比值	脱硫系数
		主要类型	百分比/%			
	白垩系	CaCl ₂		8		
	侏罗系	NaHCO ₃	75.6	11.42~43.77/15.25	0.760~3.145/1.308	0~5.745/1.55
腹部	三叠系	CaCl ₂ /NaHCO ₃	45.5/45.5	3.68~32.09/14.29	0.683~3.003/1.210	0~4.881/1.324
	二叠系	CaCl ₂	78.6	6.57~34.34/16.11	0.264~9.34/1.292	0.058~19.83/1.773
	石炭系	CaCl ₂	66.7	2.39~28.56/14.68	0.36~3.003/0.807	0.016~5.312/0.785
	侏罗系	NaHCO ₃		3.17~16.42/13.42	0.5476~0.9561/0.764	0.19~33.46/6.183
西北缘	三叠系	NaHCO ₃ /CaCl ₂		2.76~30/14.53	0.615~0.8892/0.716	0.32~4.73/1.858
	二叠系	CaCl ₂	68.3	0.5~130/28.989	0.921~1.331/1.188	0.04~24.95/13.973

注:表中数字意义为最小值~最大值/均值。

表2 准噶尔盆地各构造单元温压场特征

Table 2 Temperature and pressure field characteristics of twelve tectonic units in Junggar Basin

构造单元	地层温度/℃	二叠系剩余压力/MPa	特征	
乌伦古坳陷	1.4~1.8	0~5	常压—低温	
陆梁隆起	2.0~2.4	20~30	中高压—高温	
西北缘断阶带	1.8~2.0	0~10	常压—中高温	
玛湖凹陷	1.8~2.0	40~60	高压—中高温	
中央坳陷	盆1井西凹陷	1.6~1.9	50~70	高压—中高温
东道海子北凹陷	1.7~2.0	50~70	高压—中高温	
沙湾凹陷	1.4~1.8	70~120	高压—低温	
阜康凹陷	1.4~1.8	80~130	高压—低温	
莫北—莫索湾凸起	1.8~2.1	30~50	中高压—中高温	
南缘山前断褶带	1.4~2.0	100~140	高压—中高温	
白家海凸起	2.0~2.4	0~10	常压—高温	

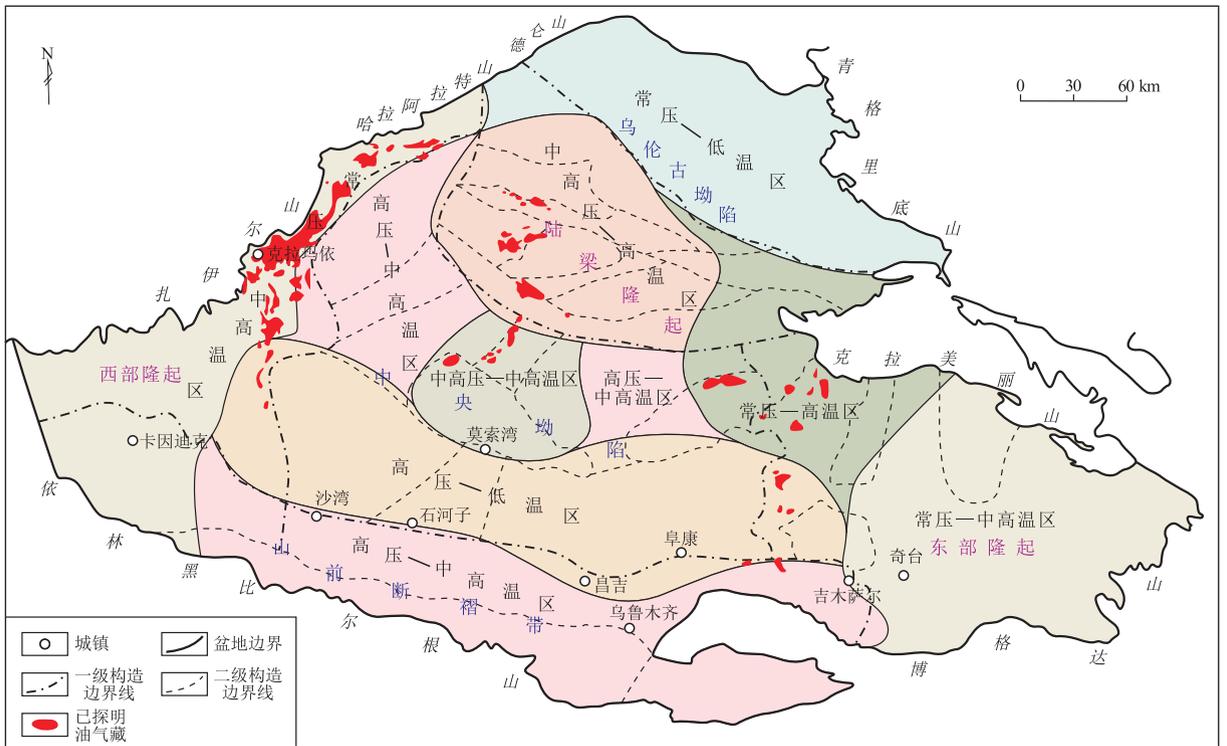


图7 准噶尔盆地各构造单元温压系统特征

Fig.7 Temperature and pressure system characteristics of each tectonic unit in Junggar Basin

压—高温区,西北缘与东部隆起常压—中高温区,玛湖—盆1井西凹陷、东道海子北凹陷及南缘地区高压—中高温区,陆梁东部—克拉美丽山前常压—高温区,沙湾—阜康凹陷高压—低温区,莫北—莫索湾凸起中高压—中高温区。总体上盆地腹部生烃凹陷多为高压—中高温及高压—低温能量场区,而边缘隆起及断褶带多为中高压—高温区、高压—低温区、常压—中高温区、常压—高温低能量场区。准噶尔盆地远源油气藏主要分布在西北缘、莫北—莫索湾、陆梁隆起及东部隆起区等低温压能量场区。

5 温压系统对油气成藏的控制作用

准噶尔盆地在垂向上发育 P-T₃、J₁-J_{1s} 和 K₁tg-E₂₋₃a 3套封闭温压系统,将盆地分为 C-T₃、J₁-J_{1s}、J₂-K₁、K₂-E₃及 E₃-N 等5个成藏系统。盆地温压场的形成与演化为油气远源成藏提供物质基础与输导动力,且对油气平面分布具有一定的控制作用。

二叠纪晚期盆1井西凹陷、东道海子凹陷、沙湾凹陷和阜康凹陷二叠系底部地层温度达80℃以上,各凹陷烃源岩均达到成熟演化阶段,在上覆快

速沉积与欠压实作用下,下二叠统地层开始发育超压。晚海西运动时期莫索湾凸起边界断裂活动成为油气运移的通道,中央坳陷成熟油气沿莫索湾凸起断裂和不整合横向运移进入西北缘斜坡区,并沿活动断裂垂向调整进入二叠系佳木河组和夏子街组储层近源成藏。

三叠纪时期玛湖凹陷二叠系地层温度升至 90℃,中二叠统风城组烃源岩开始成熟,并排出大量液态烃,盆 1 井西凹陷、沙湾凹陷及阜康凹陷风城组烃源岩也均已进入生油演化阶段。盆 1 井西凹陷、沙湾凹陷及阜康凹陷在上三叠统白碱滩组泥岩盖层的封闭作用下,下部 P-T₃ 封闭性地层温压系统开始发育,地层压力急剧增大,形成高压场区,中央坳陷成熟油气在高压的驱动下主要沿不整合横向运移及印支期活动断裂垂向调整,在二叠系和三叠系各套储层中近源成藏。

侏罗纪时期玛湖凹陷、盆 1 井西凹陷、沙湾凹陷和阜康凹陷地层温度大幅度增大,佳木河组烃源岩以生气为主,下乌尔禾组以生油为主。莫索湾地区、西北缘隆起地区早期燕山 I 幕运动强烈,边界断裂重新活动,向上突破上三叠统区域盖层,切入侏罗系地层,油气在下部温压系统异常高压的驱动下,通过不整合及断裂输导体系向莫索湾凸起部位运移,在侏罗系八道湾组地层圈闭成藏,形成该区最早的远源油气藏(图 8)。西北缘隆起地区二叠

系烃源岩生成的油气则在下部温压系统异常高压的驱动下沿不整合面向斜坡区运移,被斜坡区侏罗系圈闭捕获,形成远源油气藏。陆梁隆起地区在上三叠统白碱滩组及下侏罗统三工河组地层的封盖及生烃增压作用下,垂向上发育 P-T₃、J₁b-J₁s 2 套封闭地层温压系统,燕山 II 幕至 III 幕运动时期,在盆地边缘挤压、腹部拉张应力作用下,基底断裂活动,温压系统异常压力大幅度衰减,在超压驱动下,二叠系油气沿不整合向陆梁隆起南斜坡运移,并在断裂的垂向输导作用下向隆起区运移形成远源油气藏。侏罗纪后期,莫索湾地区车—莫古隆起发育,断裂活动,温压场能量泄露,下部八道湾组和三工河组层位的油气部分散失(图 8)。

白垩纪时期盆 1 井西凹陷、沙湾凹陷和阜康凹陷风城组烃源岩进入生气阶段,东道海子凹陷二叠系平地泉组烃源岩达生烃高峰期。此时莫索湾地区垂向上发育 P-T₃ 和 J₁-J₁s 2 套温压系统,燕山 II 幕运动强烈,断裂重新活动,中央坳陷成熟油气在超压的驱动下沿不整合及断裂输导体系向莫索湾凸起上部运移,在三工河组上部的侏罗系和白垩系圈闭内成藏,是远源油气藏形成的第 2 期(图 8)。白家海凸起燕山 II 幕运动导致其大范围抬升剥蚀,边界断裂活动,切入侏罗系地层,成为下部 P-T₃ 及中部 J₁b-J₁s 封闭地层温压系统的泄压通道,东道海子二叠系烃源岩生成的油气在超压驱动下沿不整

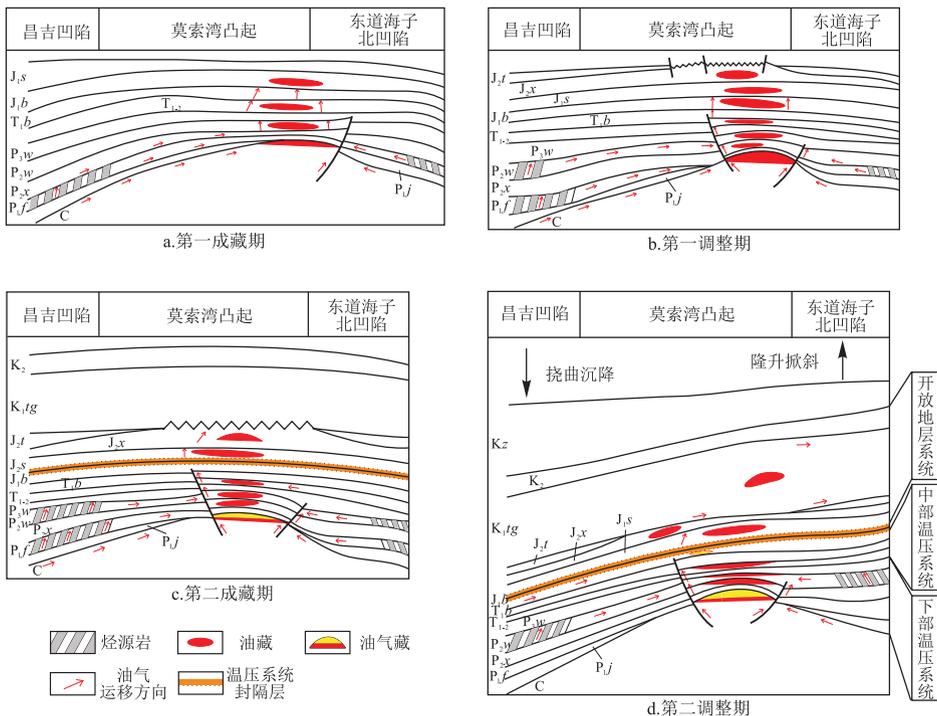


图 8 准噶尔盆地温压系统演化对油气成藏的控制作用

Fig.8 Effects of temperature and pressure system on hydrocarbon accumulation in Junggar Basin

合向白家海压力泄露区域长距离运移,并在断裂的垂向输导下,在侏罗系圈闭内成藏,是该区远源油气藏形成的重要时期;白垩纪晚期下部 P-T₃ 与中部 J_{1b}-J_{1s} 封闭地层温压系统重新发育,超压集聚,至白垩纪末燕山 III 幕运动时期,腹部莫索湾地区断裂活动,油气沿断裂泄压通道发生垂向调整(图 8);东部白家海凸起构造高点东移,东道海子凹陷与白家海凸起之间发育大量断裂,地层温压场调整,东道海子凹陷二叠系油气向白家海凸起远距离运移,形成远源油气藏。

古近纪—第四纪东道海子凹陷与阜康凹陷侏罗系烃源岩进入生烃高峰期。盆地西北缘及腹部陆梁地区构造活动性较弱,基本无断裂活动,在构造稳定的背景下,盆地内部 P-T₃ 与 J_{1b}-J_{1s} 温压系统稳定发育,油气保存条件较好,各生烃凹陷的高成熟油气以侧向运移、近源成藏为主。而盆地东部地区断裂活动强烈,且东道海子北凹陷及昌吉凹陷侏罗系烃源岩演化至生油阶段,一方面早期形成的油气藏发生资源调整,另一方面侏罗系烃源岩新生成的油气沿不整合面向凸起边缘运移,并在活动断裂的垂向输导作用下向上覆储层充注呈远源成藏。

盆地断裂活动造成地层温压场调整、超压流体释放,使油气大规模向温压系统超压散失区域(即断裂活动区)横向运移以及沿活动断层跨成藏系统垂向调整。平面分布上,油气具有从高压区向低压区运移聚集的趋势,研究发现准噶尔盆地远源油气藏主要分布在常压—中高温区(西北缘、东部隆起)、中高压—高温区(陆梁隆起)、中高压—中高温区(莫北—莫索湾)、常压—高温区(白家海凸起)等能量低区域。

6 结论

(1)通过对准噶尔盆地温度场和压力场分析表明,隆起区具有高地温、高地温梯度和高大地热流的特征,而坳陷区具有低地温、低地温梯度和低大地热流的特点;地层压力系数由凹陷内部往盆地边缘呈不规则环状降低,盆地南缘及腹部坳陷地区发育强超压,盆地东部次之,西北缘地区则以弱超压为主。

(2)准噶尔盆地发育 P-T₃、J₁-J_{1s} 和 K₁tg-E₂₋₃a 等 3 套封闭地层温压系统,并在垂向上将盆地分为 C-T₃、J₁-J_{1s}、J₂-K₁、K₂-E₃ 及 E₃-N 等 5 个成藏系统。平面上根据各构造单元地温梯度与剩余压力的大小将盆地分为 7 个温压能量场区,盆地腹部生烃凹陷多为高压—中高温及高压—低温能量场区,而边缘隆起及断褶带多为中高压—高温区、常压—中高温区、常压—低温等低能量场区。

(3)盆地温压系统演化与油气成藏过程研究表明,海西运动时期,盆地沉降速率较快,温压场能量积聚,二叠系烃源岩演化达到成熟—高成熟演化阶段;燕山运动时期,构造运动强烈,凸起边缘切穿盖层的断裂活动频繁,地层温压场调整,油气沿不整合向凸起构造远距离运移,并沿边缘断裂突破盖层向上部温压场能量较低的区域调整,形成远源油气藏;喜马拉雅运动时期,盆地主要为南降北升的掀斜运动,断裂活动微弱,封闭性温压系统的发育使油气保存条件优越。

参考文献:

- [1] 何登发,陈新发,张义杰,等.准噶尔盆地油气富集规律[J].石油学报,2004,25(3):1-10.
He Dengfa, Chen Xinfa, Zhang Yijie, et al. Enrichment characteristics of oil and gas in Junggar Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(3): 1-10.
- [2] 匡立春,吕焕通,齐雪峰,等.准噶尔盆地岩性油气藏勘探成果和方向[J].石油勘探与开发,2005,32(6):32-37.
Kuang Lichun, Lv Huantong, Qi Xuefeng, et al. Exploration and targets for lithologic reservoirs in Junggar Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(6): 32-37.
- [3] 史建南,邹华耀.准噶尔盆地油气输导体系类型与成藏规律研究[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2009,31(3):7-12.
Shi Jiannan, Zou Huayao. Study on the conduit system types and hydrocarbon accumulation rules in Junggar Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jianghan Petroleum Institute), 2009, 31(3): 7-12.
- [4] 郑超,刘宜文,魏凌云,等.准噶尔盆地南缘霍尔果斯背斜构造解析及有利区带预测[J].断块油气田,2015,22(6):692-695.
Zheng Chao, Liu Yiwen, Wei Lingyun, et al. Analysis of Horgos anticline in southern margin of Junggar Basin and prediction of favorable zone [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2015, 22(6): 692-695.
- [5] 刘震,曾宪斌,张万选.沉积盆地地温与地层压力关系研究[J].地质学报,1997,71(2):180-185.
Liu Zhen, Zeng Xianbin, Zhang Wanxuan. Relation between subsurface temperatures and formation pressures in sedimentary basins [J]. Acta Geologica Sinica, 1997, 71(2): 180-185.
- [6] 曾宪斌,刘震,张万选.地下温—压体系相关性理论研究[J].天然气地球科学,1997,8(1):23-27.
Zeng Xianbin, Liu Zhen, Zhang Wanxuan. Study on relativity theory of underground temperature pressure system [J]. Natural Gas Geosciences, 1997, 8(1): 23-27.
- [7] 肖焕钦,刘震,赵阳,等.济阳坳陷地温—地压场特征及其石油地质意义[J].石油勘探与开发,2003,30(3):68-70.
Xiao Huanqin, Liu Zhen, Zhao Yang, et al. Characteristics of geotemperature and geopressure fields in the Jiyang Depression and their significance of petroleum geology [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 68-70.
- [8] 史朋,叶加仁,张晓宝,等.伊通盆地莫里青断陷温—压系统特征及对油气分布的影响[J].天然气勘探与开发,2008,31(4):1-4.

- Shi Peng, Ye Jiaren, Zhang Xiaobao, et al. *T-P* system characters of Moliqing Faulted Sag in Yitong Basin and its impacts on hydrocarbon distribution [J]. *Natural Gas Exploration & Development*, 2008, 31(4): 1-4.
- [9] 曹强, 叶加仁. 伊通盆地莫里青断陷地温地压系统与油气成藏关系 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(3): 99-104.
Cao Qiang, Ye Jiaren. Relation between geothermal-geopressure system and petroleum accumulation in Moliqing rift in Yitong Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2007, 27(3): 99-104.
- [10] 刘震, 朱文奇, 孙强, 等. 中国含油气盆地地温—地压系统 [J]. *石油学报*, 2012, 33(1): 1-17.
Liu Zhen, Zhu Wenqi, Sun Qiang, et al. Characteristics of geotemperature-geopressure systems in petroliferous basins of China [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(1): 1-17.
- [11] 王圣柱, 林会喜, 张奎华, 等. 准噶尔盆地北缘哈山构造带油气输导系统研究 [J]. *特种油气藏*, 2015, 22(6): 30-34.
Wang Shengzhu, Lin Huixi, Zhang Kuihua, et al. Study on hydrocarbon transport system in Kazan tectonic zone at north margin of Junggar Basin [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2015, 22(6): 30-34.
- [12] 程付启, 王永诗, 宋国奇, 等. 断陷盆地压力系统及其成藏特征: 以沾化凹陷孤南洼陷古近系为例 [J]. *油气地质与采收率*, 2015, 22(1): 20-25.
Cheng Fuqi, Wang Yongshi, Song Guoqi, et al. Pressure systems and their hydrocarbon accumulation characteristics in faulted basins: a case study of the Palaeogene in Gunan subsag of Zhanhua sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(1): 20-25.
- [13] 谈玉明, 蒋有录, 赵利杰, 等. 东濮凹陷北部地区油气相态演化主控因素及充注模式 [J]. *石油实验地质*, 2015, 37(1): 28-34.
Tan Yuming, Jiang Youlu, Zhao Lijie, et al. Main controlling factors of phase evolution and charging pattern of hydrocarbons in northern Dongpu Sag [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2015, 37(1): 28-34.
- [14] 刘国璧, 张惠蓉. 准噶尔盆地地热场特征与油气 [J]. *新疆石油地质*, 1992, 13(2): 100-107.
Liu Guobi, Zhang Huirong. The hydrocarbon occurrence and characteristics of geothermal field in Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1992, 13(2): 100-107.
- [15] 邱楠生, 王绪龙, 杨海波, 等. 准噶尔盆地地温分布特征 [J]. *地质科学*, 2001, 36(3): 350-358.
Qiu Nansheng, Wang Xulong, Yang Haibo, et al. The characteristics of temperature distribution in the Junggar Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2001, 36(3): 350-358.
- [16] 王社教, 胡圣标, 汪集盼. 准噶尔盆地热流及地温场特征 [J]. *地球物理学报*, 2000, 43(6): 771-779.
Wang Shejiao, Hu Shengbiao, Wang Jiyang. The characteristics of heat flow and geothermal fields in Junggar Basin [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2000, 43(6): 771-779.
- [17] 吴孔友, 查明. 多期叠合盆地成藏动力学系统及其控藏作用: 以准噶尔盆地为例 [M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2010: 56-63.
Wu Kongyou, Zha Ming. Reservoir forming dynamics system and its reservoir controlling in multi stage superimposed basins: A case study of Junggar Basin [M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2010: 56-63.
- [18] 张勇刚. 准噶尔盆地腹部超压研究和预测 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2005.
Zhang Yonggang. Overpressure study and prediction in hinterland area of Junggar Basin [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2005.
- [19] 冯冲, 姚爱国, 汪建富, 等. 准噶尔盆地玛湖凹陷异常高压分布和形成机理 [J]. *新疆石油地质*, 2014, 35(6): 640-645.
Feng Chong, Yao Aiguo, Wang Jianfu, et al. Abnormal pressure distribution and formation mechanism in Mahu Sag, Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2014, 35(6): 640-645.
- [20] 白桦, 庞雄奇, 匡立春, 等. 准噶尔盆地深层油气藏形成条件分析 [J]. *石油实验地质*, 2016, 38(6): 803-810.
Bai Hua, Pang Xiongqi, Kuang Lichun, et al. Formation conditions of deep hydrocarbon in Junggar Basin, NW China [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2016, 38(6): 803-810.
- [21] 张立强, 罗晓容. 准噶尔盆地高压带碳酸盐胶结层的分布及特征 [J]. *石油实验地质*, 2011, 33(4): 388-401.
Zhang Liqiang, Luo Xiaorong. Distribution and characteristics of carbonate cements in overpressure zone of Junggar Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2011, 33(4): 388-401.
- [22] 陈景阳. 准噶尔盆地异常压力演化及成藏机制研究 [D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2007.
Chen Jingyang. Study on abnormal formation pressure evolution and petroleum accumulation mechanism in Junggar Basin [D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan), 2007.
- [23] 邹华耀, 郝芳, 张柏桥, 等. 准噶尔盆地流体输导格架及其对油气成藏与分布的控制 [J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2005, 30(5): 609-616.
Zou Huayao, Hao Fang, Zhang Baiqiao, et al. Fluid-conduit framework and its control on petroleum accumulation in the Junggar Basin [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2005, 30(5): 609-616.
- [24] 李梅, 金爱民, 楼章华, 等. 准噶尔盆地地层流体特征与油气运聚成藏 [J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(4): 607-615.
Li Mei, Jin Aimin, Lou Zhanghua, et al. Formation fluid characteristics and hydrocarbon migration and accumulation in Junggar Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 607-615.
- [25] 李丕龙, 冯建辉, 陆永潮, 等. 准噶尔盆地构造沉积与成藏 [M]. 北京: 地质出版社, 2010: 244-294.
Li Peilong, Feng Jianhui, Lu Yongchao, et al. Tectonic deposition and accumulation in Junggar Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 244-294.
- [26] 董万百, 林艳萍, 高红. 准噶尔盆地腹部及南缘水化学纵向变化规律 [J]. *石油实验地质*, 2001, 23(2): 195-199.
Dong Wanbai, Lin Yanping, Gao Hong. Longitudinal changing regularity of hydrochemistry for the southern edge and hinterland of the Junggar Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2001, 23(2): 195-199.
- [27] 谭开俊, 张帆, 尹路, 等. 准噶尔盆地乌夏地区地层水与油气保存条件 [J]. *石油实验地质*, 2012, 34(1): 36-39.
Tan Kaijun, Zhang Fan, Yin Lu, et al. Preservation conditions for formation water and hydrocarbon in Wuxia area, Junggar Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2012, 34(1): 36-39.