

李晓光,倪智勇,宋到福,等. 杭锦旗地区二叠系储层油气成藏期次及流体势特征. 吉林大学学报(地球科学版), 2024, 54(4): 1110-1123. doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20220236.

Li Xiaoguang, Ni Zhiyong, Song Daofu, et al. Hydrocarbon Accumulation Stages and Fluid Potential Characteristics of Permian Reservoirs in Hangjinqi Area. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2024, 54(4): 1110-1123. doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20220236.

杭锦旗地区二叠系储层油气成藏期次及流体势特征

李晓光^{1,2}, 倪智勇^{1,2}, 宋到福^{1,2}, 张旋^{1,2}, 韩子敬^{1,2}, 张威³, 安川³

1. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249

2. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

3. 中国石化华北油气分公司勘探开发研究院, 郑州 450006

摘要:杭锦旗地区是鄂尔多斯盆地北部重要的含油气区,油气成藏期次及流体势研究有利于探究油气充注的世代以及流体势的分布特征,并进一步判定成藏期油气的运移方向。本文以什股壕区块和十里加汗区块5口井的二叠系下石盒子组盒一段储层砂岩为研究对象,基于流体包裹体分析厘定油气成藏期次,并结合流体势理论计算研究区关键成藏期的流体势并揭示油气的运移方向。研究结果显示:什股壕区块盒一段储层油气的成藏时间为132~102 Ma;十里加汗区块盒一段储层油气的成藏时间为132~101 Ma。杭锦旗北部的什股壕盒一段储层油气的流体势为18 128~22 872 J/kg;杭锦旗南部的十里加汗区块盒一段储层油气的流体势为22 975~27 153 J/kg。本文认为研究区二叠系盒一段储层油气成藏时间在早白垩世,十里加汗区块整体的流体势要高于什股壕区块,油气具备由南部向北部运移的趋势。

关键词:流体包裹体;成藏期;流体势;油气运移;储层;杭锦旗地区;鄂尔多斯盆地

doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20220236

中图分类号:P597;P618.13

文献标志码:A

Hydrocarbon Accumulation Stages and Fluid Potential Characteristics of Permian Reservoirs in Hangjinqi Area

Li Xiaoguang^{1,2}, Ni Zhiyong^{1,2}, Song Daofu^{1,2}, Zhang Xuan^{1,2}, Han Zijing^{1,2}, Zhang Wei³, An Chuan³

1. State Key Laboratory of Oil and Gas Resources and Exploration, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. School of Earth Sciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

3. Exploration and Development Research Institute of Sinopec North China Oil and Gas Company, Zhengzhou 450006, China

Abstract: Hangjinqi area is an important hydrocarbon bearing area in the north of Ordos basin. The

收稿日期:2023-08-22

作者简介:李晓光(1992-),男,硕士研究生,主要从事油气成藏期次及流体势特征方面的研究, E-mail: lixiaoguang0823@163.com

通信作者:倪智勇(1982-),男,副教授,主要从事油气地球化学方面的研究, E-mail: nizhy@cup.edu.cn

基金项目:中国石油化工集团项目(HX20191200)

Supported by the China Petroleum & Chemical Corporation Project (HX20191200)

study of petroleum accumulation periods and fluid potential is conducive to exploring the generation of petroleum filling, the distribution characteristics of fluid potential, and further determining the migration direction of oil and gas during the accumulation period. In this paper, the reservoir sandstones of the First Member of Xiashihezi Formation (He 1) of the Permian system in five wells of Shigu hao block and Shilijiahan block are taken as the research objects. Based on the fluid inclusion analysis, the petroleum accumulation periods are determined, the fluid potential of the key reservoir formation periods in the study area is calculated, and the migration direction of petroleum is revealed by combining the fluid potential theory. The research results showed that the petroleum accumulation time of He 1 Member reservoir was 132 - 102 Ma in Shigu hao area, and 132 - 101 Ma in Shilijiahan area. The fluid potential of petroleum in He 1 Member of Shigu hao area in the north of Hangjinqi is 18 128 - 22 872 J/kg, and of Shilijiahan area in the south of Hangjinqi is 22 975 - 27 153 J / kg. It is considered that hydrocarbon accumulation time of the Permian He 1 Member reservoir was in the Early Cretaceous. The overall fluid potential in Shilijiahan area is higher than in Shigu hao area, and the petroleum has a migration trend from south to north.

Key words: fluid inclusion; petroleum accumulation time; fluid potential; hydrocarbon migration; reservoir; Hangjinqi area; Ordos basin

0 引言

古地貌恢复、地震解析技术、岩溶对储层物性的影响以及源储接触类型等研究在油气成藏规律和油气有利区带的预测方面发挥着积极的作用^[1-4],油气运移方向的研究同样对勘探工作具指导意义^[5]。前人基于镜质体反射率(R_o)、天然气密度、天然气干燥系数等方法对鄂尔多斯盆地杭锦旗地区的油气运移方向进行了诸多的研究^[6-8],总体来看,油气运移方向自南向北^[9],但在局部区域的运移方向仍需要进一步探究^[10-11]。

杭锦旗地区作为鄂尔多斯盆地北部重要的油气探区,勘探及预测的难度随着开发程度的深入而增大,有必要对该地区的油气运移方向进一步精细刻画。根据流体动力学理论,流体势是影响地层中油、气、水等流体运移方向的主要因素,即地层中流体的汇聚方向总是与流体势减小的方向相一致^[12]。流体包裹体记录着流体形成时的温度、压力、盐度和密度等一系列性质^[13],且流体包裹体测温结合沉积盆地的热演化史/埋藏史是目前确定油气藏时代的有效方法之一^[14-18]。本文以杭锦旗地区锦67井、锦81井、锦7、锦53和锦91井下石盒子组一段储层流体包裹体为研究对象,应用流体包裹体测温以及盆地模拟等方法,获得其油气充注时代,厘定油气成藏期次,并在成藏期流体的古高程、古压力和流体密度的基础上计算出研究区5口井在关键成藏期的流体势,为进一步精细探究研究区关键成藏期流体势在

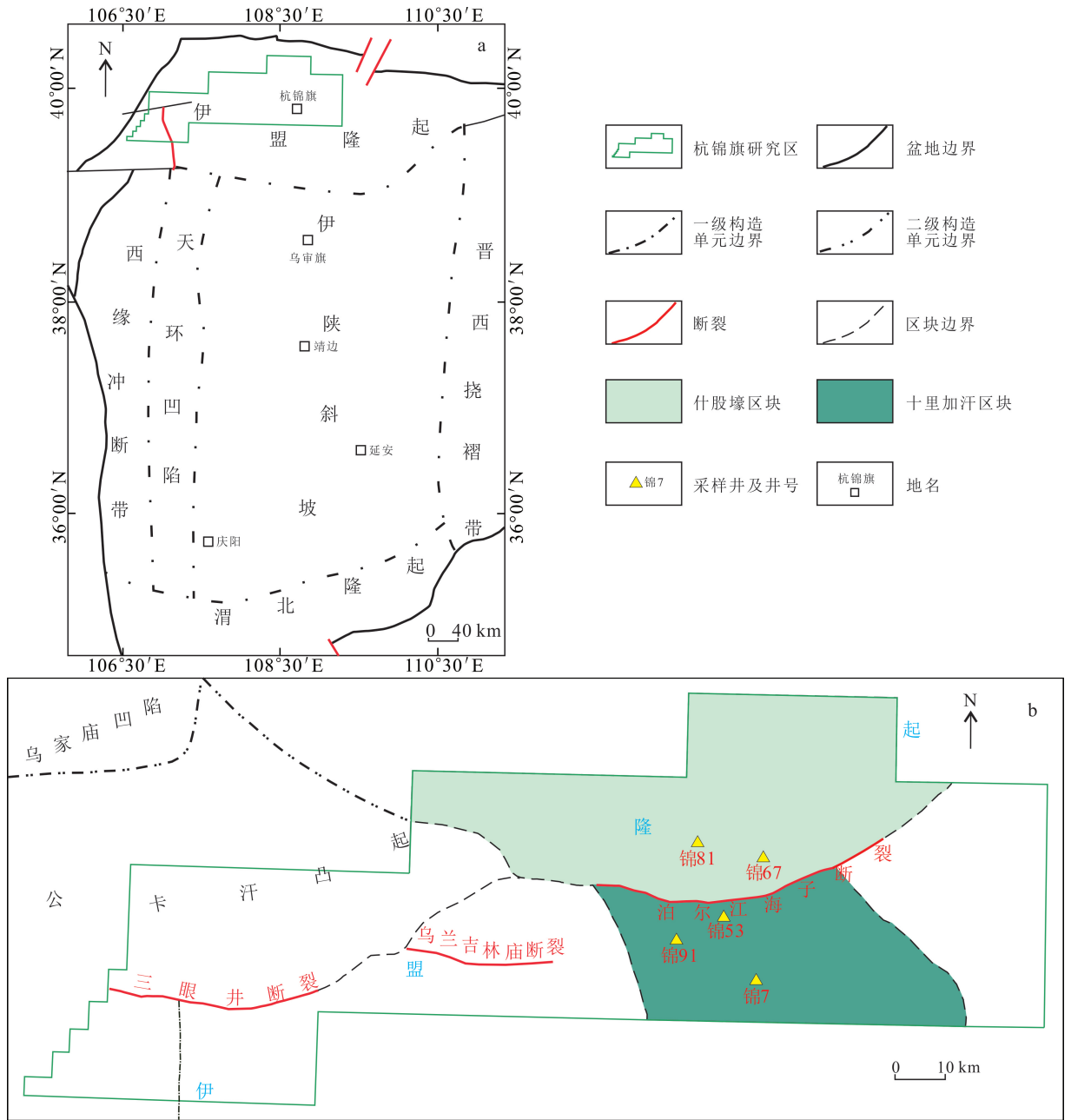
平面及剖面上的分布规律提供参考。

1 区域地质背景

杭锦旗研究区总面积为9 805.1 km²,地处伊盟隆起之上,为北东向南西倾的单斜构造(图1a)。太古宙—古元古代时期的构造事件使得鄂尔多斯盆地形成了稳定的基底;中元古代—新元古代,古陆裂陷作用显著,盆地处于裂谷发育阶段;早古生代,杭锦旗地区不断经历剥蚀和抬升降起,造成现今只有在部分地区偶见奥陶纪地层出露^[19];中石炭世—晚三叠世,盆地稳定沉积,为太原组和山西组的形成提供了丰富的物源基础;中生代—新生代,鄂尔多斯盆地北部尤其在侏罗纪时期的燕山运动使得鄂尔多斯盆地北部构造演化发生变化,导致三叠纪、侏罗纪和白垩纪地层发育不均衡,最终导致构造格局演变为现今的北东高南西低^[20-24]。研究区内自西向东发育三眼井断裂、乌兰吉林庙断裂和泊尔江海子断裂,区内断裂的发育也为油气运移提供了有利条件(图1b)。山西组及太原组的煤系地层为该地区主力烃源岩层^[25-26]。二叠系下石盒子组为重要储层之一,上石盒子组及石千峰组为盖层。泊尔江海子断裂以北由于构造抬升造成的剥蚀作用使得太原组主要分布在断裂以南^[27]。

2 研究对象及实验方法

本文采集的样品共计33块,其中11块取自什股壕区块,22块取自十里加汗区块,其均为二叠系



据脚注①修编。

图 1 鄂尔多斯盆地构造单元划分图(a)和杭锦旗研究区区块划分图(b)

Fig.1 Structural unit division map of Ordos basin (a) and block division map of Hangjinqi research area (b)

下石盒子组盒一段储层的石英砂岩,制作成流体包裹体薄片以备后续实验。本文运用流体包裹体与流体势相结合的研究方法,分析什股壕区块和十里加汗区块盒一段储层在关键成藏期的流体势。依托于中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室完成了显微观察(包括荧光观察)、共聚焦激光扫

描以及显微测温实验;在北京大学激光拉曼实验室完成激光拉曼光谱实验。运用到的分析仪器包括:Leica 4500P 型号光学显微镜;Linkam THMS G600 显微测温冷热台,其能够达到的温度范围为-196~600 ℃,精度为 0.1 ℃;OYLMPUS FV1000 型的共聚焦激光扫描显微镜,水平与垂直分辨率分

①张威,李巍,王东辉,等.鄂尔多斯盆地大中型天然气勘探目标评价.郑州:中国石化华北油气分公司勘探开发研究院,2018.

别为 $0.2 \mu\text{m}$ 和 $0.1 \mu\text{m}$; LabRAM HR Evolution 拉曼光谱仪, 光谱分辨率为 0.7 cm^{-1} , 重复性为 0.03 cm^{-1} 。实验步骤如下:

1) 流体包裹体显微镜观察。确定研究区包裹体的类型。

2) 激光拉曼光谱实验。确定气相包裹体的成分。

3) 流体包裹体显微测温。首先将实验室温度维持在 $25 \text{ }^\circ\text{C}$, 设置升温程序, 将温度变化速率设置为 $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$; 其次在测量包裹体均一温度时, 升温速率应随着包裹体中气相体积的减小而降低, 包裹体气液两相均一为单一液相时即为均一温度; 再次利用冰冻法测量包裹体时, 降低温度直至包裹体由气液两相均一到固相; 最后将包裹体进行升温操作, 直至包裹体内的冰完全融化, 气相出现时的温度即冰点温度^[28]。

4) 烃类包裹体的气液比。通过激光共聚焦扫描显微镜对发荧光的烃类包裹体多个切面进行扫描成像。利用 Image J 进行图像处理分别求每个切面包裹体的总面积和不发荧光处气体的面积, 并通过迭代计算出烃类包裹体的气液比。

5) 烃类包裹体捕获温度及捕获压力的获取。将其均一温度输入 PVT-sim 软件进行成分模拟, 不断调节烃类包裹体成分, 模拟出与该烃类包裹体气液

比相吻合的石油成分并画出所对应的包络线, 进而得到所测烃类包裹体的等容线。对于与烃类包裹体伴生的盐水包裹体, 通过其测得的均一温度和冰点温度作为限定条件, 在 Folinor 软件中选定 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系, 模拟出等容条件下均一温度所对应的压力, 并绘制出盐水包裹体的等容线^[29]。将烃类包裹体等容线与其伴生的盐水包裹体等容线绘制在压强-温度图中, 两线交点即为包裹体的捕获压力即古压力。

6) 单井埋藏史的恢复。依据前人对于杭锦旗地区热史、生烃演化史的研究成果, 并结合研究区 5 口井的地层分层数据, 利用 Basinmod 盆地模拟软件进行单井埋藏史的模拟^[30-31]。

7) 根据 Hubbert^[32] 提出的流体势计算公式, 流体密度、古压力及古高程是流体势计算三个重要参数。由于烃类包裹体成分复杂, 各种成分所含比例并不固定, 为了准确的求取其成藏期的流体包裹体流体势, 通常用其伴生的盐水包裹体的流体势来替代。

3 研究内容

3.1 成藏期次

3.1.1 显微测温

本文对研究区盒一段储层样品中的次生流体包裹体进行显微测温(图2), 其中什股壕区块的锦67

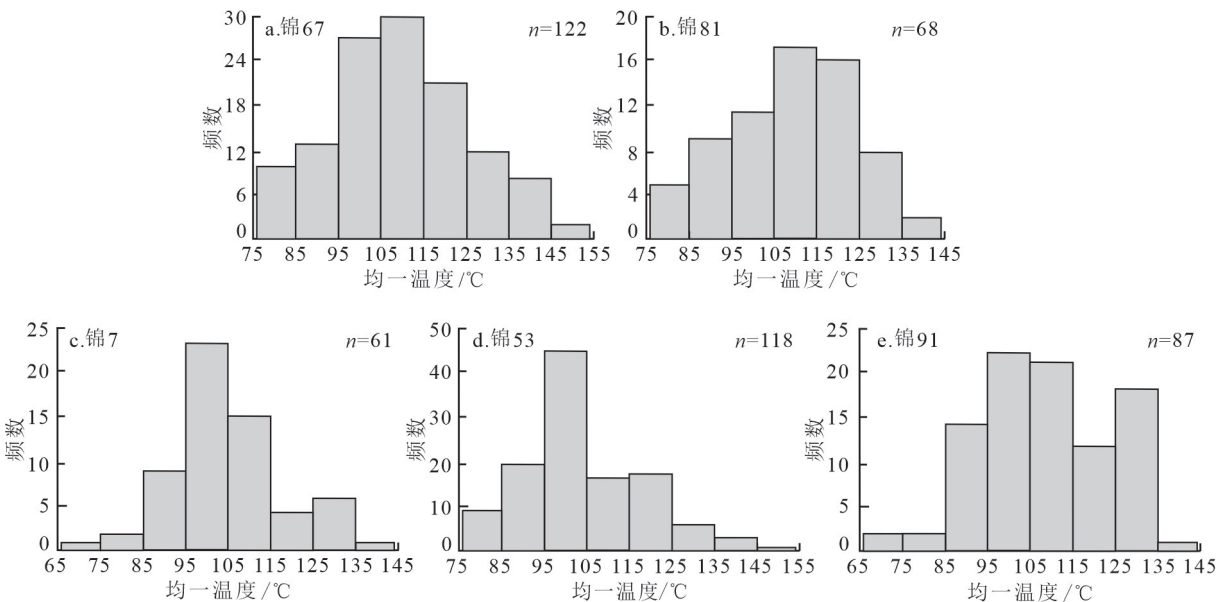


图 2 什股壕区块(a,b)和十里加汗区块(c—e)二叠系盒一段储层流体包裹体均一温度直方图

Fig.2 Homogenization temperature histogram of fluid inclusions in reservoir of He 1 Member of Permian in Shiguohao block (a, b) and Shilijiahan block (c—e)

井和锦 81 井均一温度主要集中在 95~125 °C, 呈现单峰型特征; 十里加汗区块锦 7、锦 53 井均一温度主要集中在 95~105 °C, 呈现单峰型特征, 锦 91 井均一温度分布在 95~115 °C 和 125~135 °C, 呈现双峰型特征。根据流体包裹体均一温度特征分析, 认为研究区盒一段储层存在多期流体充注。

3.1.2 均一温度压力校正

本文实验利用共聚焦激光扫描显微镜对研究区 5 口井盒一段储层砂岩颗粒裂缝中的石油包裹体进行扫描, 并用激光拉曼光谱实验对甲烷包裹体进行定性识别。通过迭代计算出石油包裹体气液比, 根据烃类包裹体和其伴生的盐水包裹体的显微测温结果, 利用 PVT-sim 和 Folincor 软件模拟对包裹体均一温度进行压力校正, 结果显示研究区北部的什股

壕区块盒一段储层石油包裹体的捕获温度为 100~123 °C, 捕获压力为 $1.79 \times 10^7 \sim 2.39 \times 10^7$ Pa, 甲烷包裹体的捕获温度为 122~128 °C, 捕获压力为 $1.81 \times 10^7 \sim 1.85 \times 10^7$ Pa; 研究区南部十里加汗区块盒一段储层中油包裹体捕获温度为 105~140 °C, 捕获压力区间为 $2.02 \times 10^7 \sim 3.23 \times 10^7$ Pa, 甲烷包裹体的捕获温度为 106~111 °C, 捕获压力为 $2.10 \times 10^7 \sim 2.14 \times 10^7$ Pa(图 3)。

3.1.3 单井埋藏史

杭锦旗地区经历了共 4 期的抬升剥蚀作用: 晚三叠世末剥蚀厚度为 150~200 m; 早侏罗世末剥蚀厚度为 120~160 m; 晚侏罗世末剥蚀厚度为 120~200 m 和晚白垩世剥蚀厚度为 400~700 m^[33-34]。基于研究区 5 口井的地层分层数据和该地区的大地

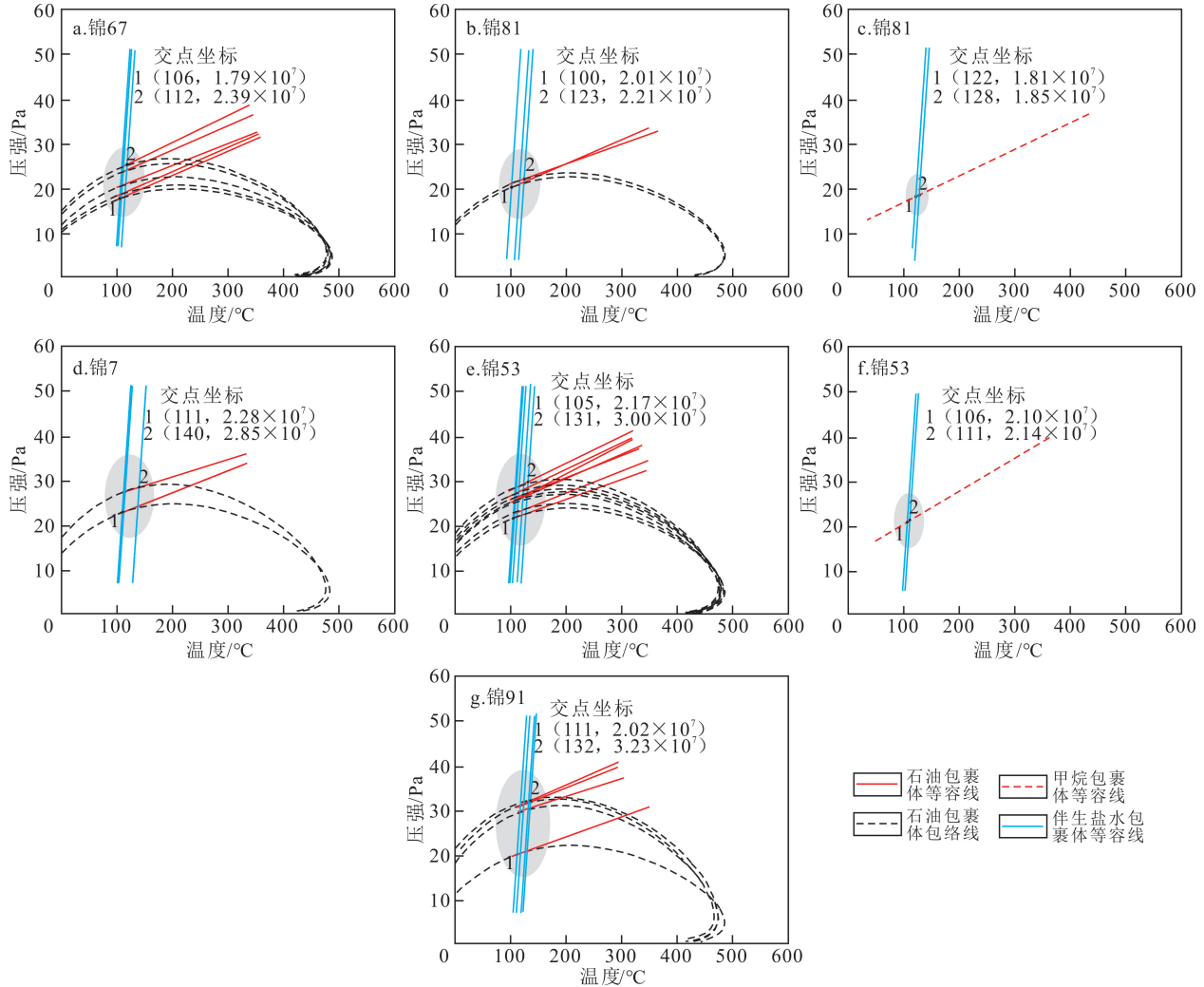


图 3 什股壕区块(a—c)和十里加汗区块(d—g)盒一段储层烃类包裹体等容线相交图

Fig.3 Intersection diagram of hydrocarbon inclusion capacity lines of reservoir in He 1 Member of Shiguhao block (a—c) and Shilijiahan block (d—g)

热流值(表 1)模拟出单井埋藏史(图 4),认为什股壕区块存在两期成藏,油成藏时间为 132~103 Ma,天然气成藏时间为 108~102 Ma;十里加汗区块存在两期油气成藏,油成藏时间为 132~101 Ma,天然气成藏时间为 130~120 Ma。研究区油气成藏时间与燕山运动时间相符合,推测在燕山运动时期,随着烃源岩成熟进入生烃排烃的高峰期,构造运动的不断加强,研究区开始大量生成天然气,并运移成藏。

3.2 成藏期的流体势计算

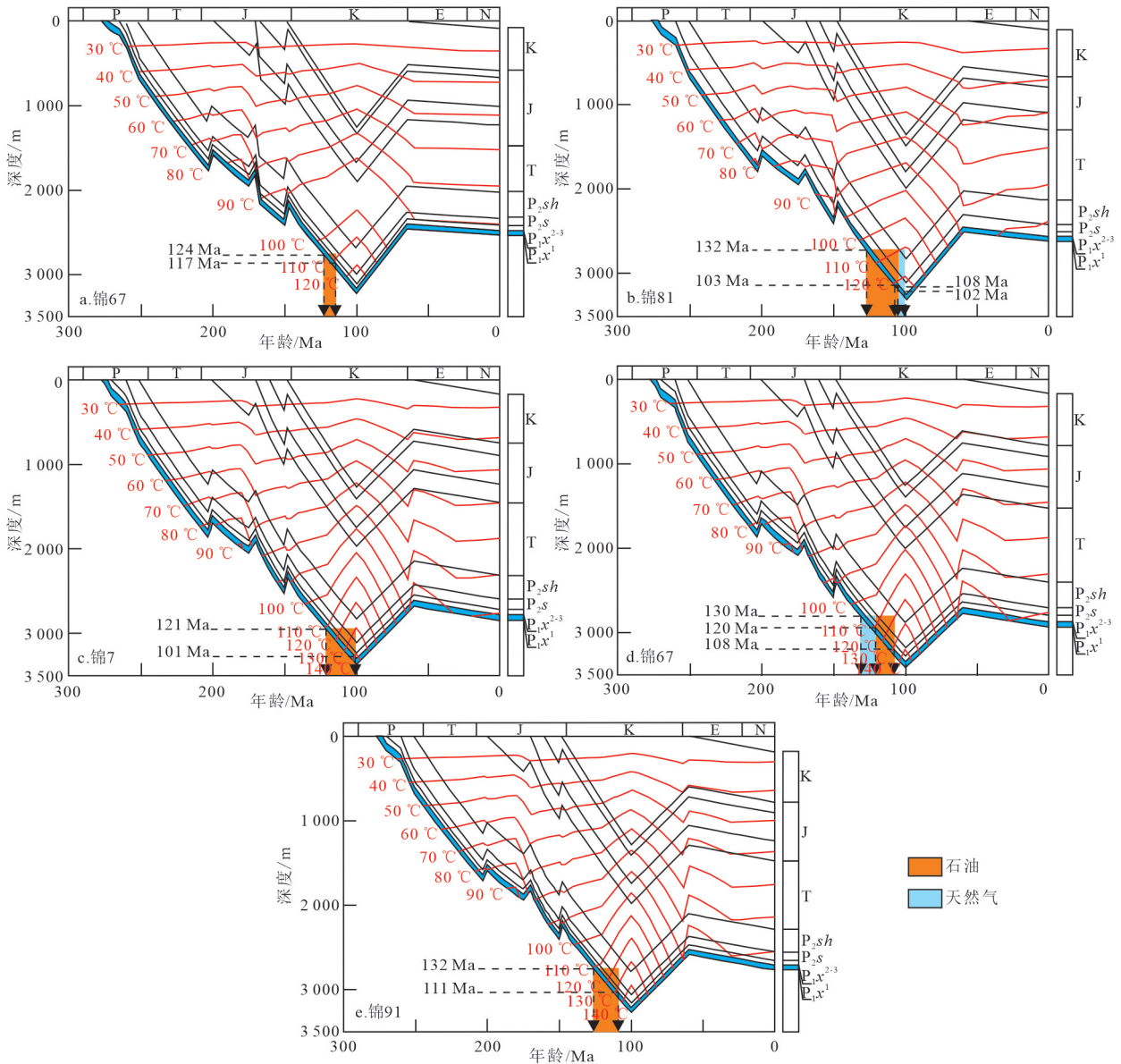
流体势的概念最早由 Hubbert^[32] 提出,定义为

单位质量流体从初始状态到某一位置所做的所有功^[38]。流体势是影响地下流体运移的主要因素,对

表 1 杭锦旗地区大地热流值

Table 1 Earth heat flow value in Hangjinqi area

地质年代	大地热流值/(mW/m ²)	参考文献
现今	60	
侏罗纪—早白垩世	75~85	[35-37]
三叠纪	65~68	
石炭纪—二叠纪	60~64	



P₃.sh. 石千峰组; P₂.s. 上石盒子组; P₂.x²⁻³. 下石盒子组盒 2 段—3 段; P₂.x¹. 下石盒子组盒 1 段。

图 4 什股壕区块(a,b)和十里加汗区块(c—e)单井埋藏史图

Fig.4 Burial history of single well in Shiguohao block (a, b) and Shilijihan block (c - e)

储层中赋存的石油和天然气同样如此,因此,流体势研究对于揭示油气成藏期油气运移规律具有重要的意义^[38]。而当地层中流体的流速非常缓慢时,流体流速可以忽略不计,即采用 Hubbert 简化之后的公式:

$$\Phi = gz + p/\rho \quad (1)$$

式中: Φ 为流体势, J/kg; g 为重力加速度, m/s², 本文 g 取 9.8 m/s²; z 为相对古高程, m; p 为古压力, Pa; ρ 为流体密度, kg/m³。

根据流体势的公式, gz 代表着流体包裹体相对于基准面克服重力做的功, p/ρ 代表包裹体从压力为零到压力为 p 所做的功(图 5)。

盐水包裹体的冰点温度和均一温度是密度计算的重要前提, 利用 Bodnar^[40] 提出的冰点温度盐度运算公式(式(2)), 刘斌等^[41] 提出的包裹体密度运算公式(式(3)一式(6))即可得到盐水包裹体的密度。

$$\omega = -1.78 T_m - 0.0442 T_m^2 - 0.000557 T_m^3 \quad (2)$$

式中: ω 为盐度, %; T_m 为冰点下降温度, °C。

$$\rho = A + B T_h + C T_h^2 \quad (3)$$

式中: T_h 为均一温度, °C; A, B, C 为盐度 ω 的函数。

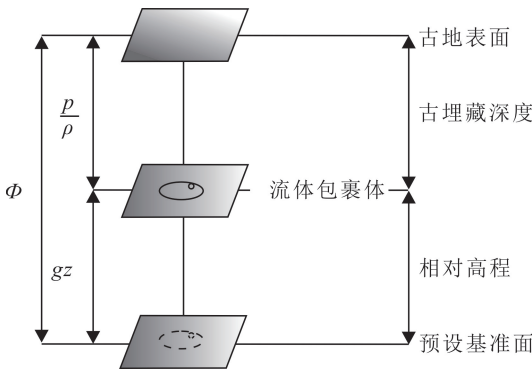
$$A = A_0 + A_1\omega + A_2 \quad (4)$$

$$B = B_0 + B_1\omega + B_2 \omega^2 \quad (5)$$

$$C = C_0 + C_1\omega + C_2 \omega^2 \quad (6)$$

式中: $A_0 = 0.993531$; $A_1 = 8.72147 \times 10^{-3}$; $A_2 = -2.43975 \times 10^{-5}$; $B_0 = 7.11652 \times 10^{-5}$; $B_1 = -5.22080 \times 10^{-5}$; $B_2 = 1.26656 \times 10^{-6}$; $C_0 = -3.49970 \times 10^{-6}$; $C_1 = 2.12124 \times 10^{-7}$; $C_2 = -4.52318 \times 10^{-9}$ 。该参数适用范围为 $T_h \leq 500$ °C, $\omega \leq 30$ %。

本文以泊尔江海子断裂为界, 将位于北部和南部井储层流体包裹体的密度进行综合对比, 发现在断裂北部的什股壕区块盒一段储层流体包裹体密度范围为 962.5~1 089.4 kg/m³, 而断裂以南的十里加汗区块盒一段储层流体包裹体密度范围为 961.2~1 118.1 kg/m³, 断裂南北流体包裹体密度的差异很小(图 6)。



据文献[39]修改。

图 5 流体势示意图

Fig.5 Schematic diagram of fluid potential

3.2.1 成藏期的流体密度

成藏期捕获的包裹体密度即可代表流体密度。

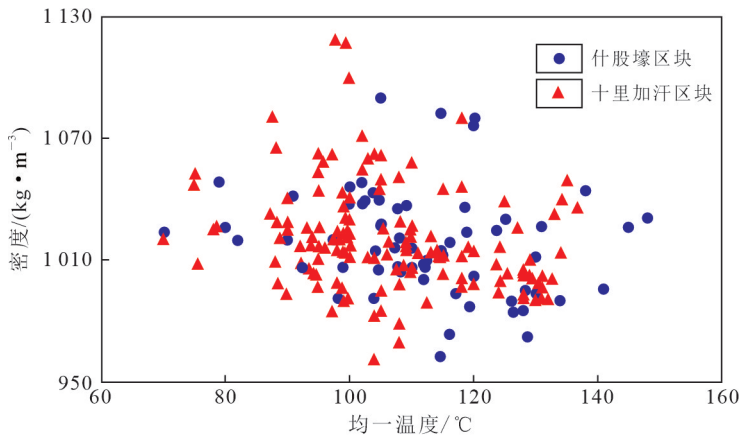


图 6 什股壕区块和十里加汗区块盒一段储层包裹体均一温度密度相关图

Fig.6 Correlation diagram of homogenization temperature density of reservoir inclusions in He 1 Member of Shiguhao block and Shilijiahan block

3.2.2 成藏期的古压力

油气在储层运移过程中,烃类流体与其他流体被宿主矿物同时捕获,就形成了烃类包裹体以及其伴生的包裹体,这一类次生烃类包裹体与油气成藏密切相关。一般认为,在同一个矿物颗粒中同一期次的包裹体,它们的捕获压力和捕获温度都是相同的^[42],因此烃类包裹体的捕获压力即为古压力。根据前文中压力校正计算结果显示,泊尔江海子断裂以北的锦67井和锦81井储层中石油包裹体最小捕获压力为 1.79×10^7 Pa,最大捕获压力为 2.39×10^7 Pa(图3a、b);泊尔江海子断裂以南的锦7井、锦53井和锦91井储层中石油包裹体的最小捕获压力为 2.02×10^7 Pa,最大捕获压力为 3.23×10^7 Pa(图3d、e、g)。对于甲烷包裹体,只在锦81井和锦53井测得甲烷包裹体(图7),最大捕获压力分别为 1.85×10^7 Pa和 2.14×10^7 Pa(图3c、f)。综合分析断裂以南储层包裹体的捕获压力较断裂以北要更大。

3.2.3 成藏期的古高程

流体势中的古高程是流体相对于某一基准面的垂直距离^[43]。本文根据单井埋藏史中的古埋藏深度与基准面深度的差值计算得到样品的古高程。杭锦旗地区经历了燕山运动等多次构造事件,地层在抬升、沉降等影响下已然与当初油气被捕获时的位

置不同,说明了现今地层的高程不能代替古高程。而古埋藏深度表示某一样品在某一地质时期所处位置到古地表的深度,意义与古高程的定义相悖。

古高程重点在于基准面的选取。有两种定义方法:一种方法为已知古海平面后,样品位置相对于古海平面的垂直距离即为古高程;另一种方法为选取研究地区已知的最低地层地面作为基准面,研究区内样品到最低地层地面深度的垂直距离为古高程。由于实验条件的限制,并不满足第一种方法的条件,所以选择研究地区已知的最低地层地面作为基准面。古高程是一个相对的概念,根据基准面选取的不同,同一个样品的古高程会有不同的数值,但并不影响流体势的相对大小。

本文根据Hubbert^[32]提出的流体势计算公式,选取钻穿奥陶系且地层深度最大的锦91井,并将其奥陶系底面3 117.3 m作为基准面,则样品至基准面的距离即为古高程。

根据上述对烃类包裹体的密度、流体压力和古高程的参数计算,得到研究区5口井盒一段储层的烃类包裹体的古流体势(表2、3),并计算出每口井烃类包裹体的平均流体势:对于油的流体势在什股壕区块锦67井平均值为22 872 J/kg,锦81井平均值为21 172 J/kg;杭锦旗南部十里加汗区块锦7井平

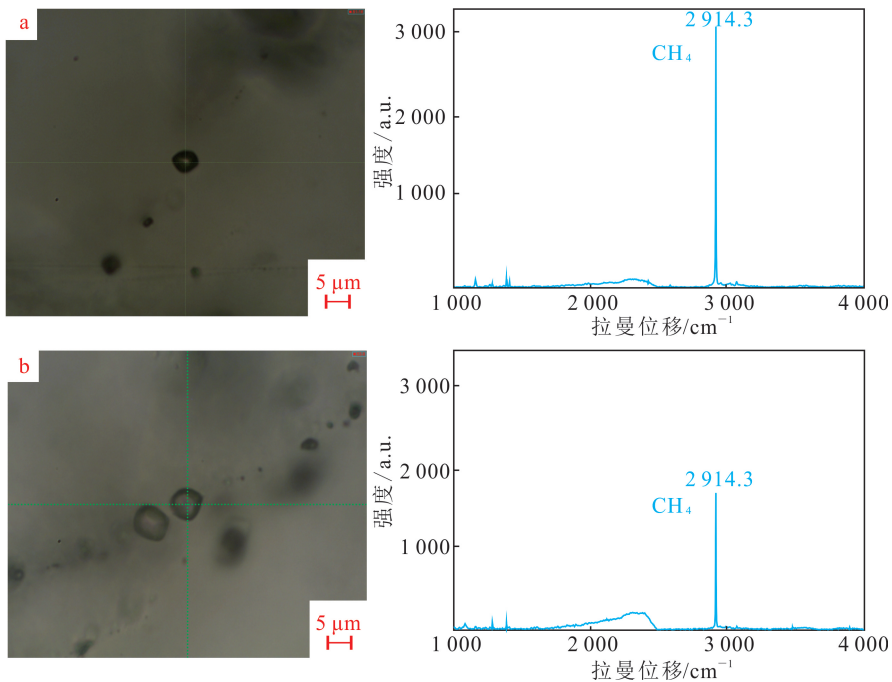


图7 锦81井(a)和锦53井(b)甲烷包裹体激光拉曼光谱图

Fig.7 Laser Raman spectra of methane inclusions in Jin 81 Well (a) and Jin 53 Well (b)

表 2 杭锦旗地区盒一段与石油包裹体相伴生的盐水包裹体流体势相关参数及部分计算结果

Table 2 Relevant parameters and partial calculation results of fluid potential of brine inclusions associated with oil inclusions in He 1 Member in Hangjinqi area

井号	捕获温度/°C	捕获压力/(10 ⁷ Pa)	流体密度/(kg·m ⁻³)	古高程/m	古流体势/(J·kg ⁻¹)
锦 67	108	1.80	1 006.0	287.9	20 714
锦 67	109	2.38	1 015.6	243.1	25 817
锦 81	123	2.21	1 118.1	69.3	19 087
锦 81	100	2.01	1 054.1	506.5	24 032
锦 7	138	2.42	1 054.2	169.9	21 291
锦 7	113	2.75	1 040.6	144.6	27 844
锦 53	120	2.24	1 016.3	5.8	22 098
锦 53	109	2.87	1 012.1	236.5	30 674
锦 91	129	2.10	1 045.8	164.9	18 464
锦 91	123	3.17	1 002.6	85.8	30 776

注:数据分别为每口井与石油包裹体相伴生的盐水包裹体最小和最大古流体势下对应的各项参数。

表 3 杭锦旗地区盒一段与甲烷包裹体相伴生的盐水包裹体流体势相关参数及计算结果

Table 3 Relevant parameters and calculation results of fluid potential of brine inclusions associated with methane inclusions in He 1 Member in Hangjinqi area

井号	捕获温度/°C	捕获压力/(10 ⁷ Pa)	流体密度/(kg·m ⁻³)	古高程/m	古流体势/(J·kg ⁻¹)
锦 81	122	1.81	1 015.1	31.2	17 524
锦 81	128	1.85	938.8	99.5	18 731
锦 53	106	2.10	1 018.9	293.9	23 491
锦 53	111	2.14	1 025.4	162.1	22 458

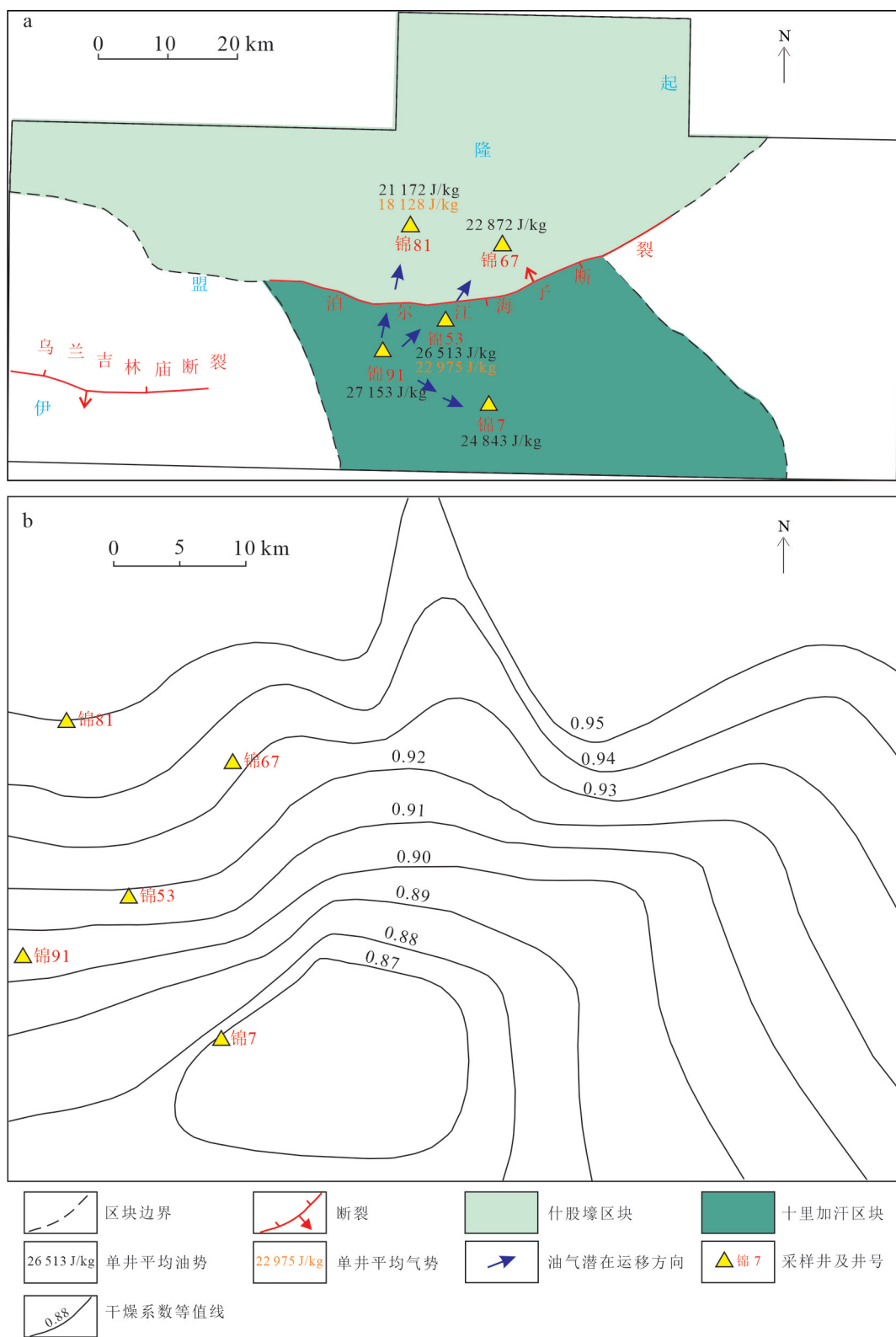
注:数据分别为每口井与甲烷包裹体相伴生的盐水包裹体最小和最大古流体势下对应的各项参数。

均值为 24 843 J/kg, 锦 53 井平均值为 26 513 J/kg, 锦 91 井平均值为 27 153 J/kg(图 8)。对于天然气的流体势: 锦 81 井平均值为 18 128 J/kg, 锦 53 井平均值为 22 975 J/kg。根据上述对成藏期下石盒子组盒一段储层烃类包裹体流体势的计算结果表明, 十里加汗区块单井的平均流体势都要高于什股壕区块, 与前人的认识相一致, 即油气具备由南部向北部运移的总趋势(图 8)。但在局部地区存在流体势差异化分布的特征, 比如锦 91 井的位置为高势区, 流体势高于位于研究区南部的锦 7 井, 证明油气在十里加汗区块存在由西北向东南的运移路径。由此可见, 基于相同成藏期的流体势研究有助于精细刻画研究区内油气运移的方向, 油气具南部向北部运移的趋势。

4 讨论

前人依据烃源岩的生烃时间、圈闭的形成时期、

储层致密化时间等研究方法, 认为杭锦旗地区上古生界油气成藏时间主要集中在燕山运动期间^[44]。本文利用流体包裹体与埋藏史相结合精确厘定杭锦旗北部什股壕区块盒一段油充注时间为 132~103 Ma, 天然气充注时间为 108~102 Ma, 研究区南部十里加汗区块盒一段油充注时间为 132~101 Ma, 天然气充注时间为 130~120 Ma。石油与天然气充注时代在误差范围内一致, 推测被捕获在储层矿物中的少量石油包裹体可能来自于与天然气不同类型的烃源岩。可见研究区内油气在侏罗纪早期至早白垩世末期成藏。在此基础上, 对成藏期的流体势特征研究表明, 研究区南部十里加汗区块关键成藏期油气的流体势($\Phi_{油}$: 24 843~27 153 J/kg; $\Phi_{气}$: 22 975 J/kg) 高于北部什股壕地区的流体势($\Phi_{油}$: 21 172~22 872 J/kg; $\Phi_{气}$: 18 128 J/kg), 油气由高势区向低势区运移, 与前人认为天然气整体运移方向为由南向北的整体运移方向基本一致^[6, 45-48]



据文献[8]修改。

图 8 什股壕区块—十里加汗区块流体势分布图(a)和天然气干燥系数等值线分布图(b)

Fig.8 Distribution diagram of fluid potential (a) and contour distribution diagram of natural gas drying coefficient (b) of Shigu hao block -Shilijiahan block

(图8)。本文通过流体包裹体系统研究,用以揭示古流体在关键成藏期的流体势这一方法是可行的,为进一步精细刻画研究区平面上流体势的分布提供了研究样板和方法基础。

5 结论

1)研究区盒一段储层油气成藏主要在白垩纪,其中什股壕区块为两期成藏:一期油成藏时间为132~103 Ma,一期天然气成藏时间为108~102 Ma;研究区十里加汗区块同样有两期成藏:一期油成藏时间为132~101 Ma,一期天然气成藏时间为130~120 Ma。

2)十里加汗地区整体相对于什股壕区块为高势区,总体来看,油气具备南部向北部运移的趋势,但在十里加汗区块局部地区也存在由西北向东南的运移路径。

参考文献(References):

- [1] 周宇成,姚光明,魏荷花,等.鄂尔多斯盆地延安气田南部岩溶古地貌分级识别及有利区预测[J].特种油气藏,2020,27(6):102-107.
Zhou Yucheng, Yao Guangming, Wei Hehua, et al. Classification and Identification of Karst Palaeogeomorphology and Prediction of Favorable Areas in Southern Yan'an Gas Field, Ordos Basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2020, 27(6): 102-107.
- [2] 张威,丁晓琪,李春堂,等.鄂尔多斯盆地北部杭锦旗马家沟组四段碳酸盐岩储层分布规律[J].石油与天然气地质,2021,42(3):615-626.
Zhang Wei, Ding Xiaoqi, Li Chuntang, et al. Distribution of Paleo-Karst Reservoirs in Ma 4 Member, Hangjinqi Area, Northern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(3): 615-626.
- [3] 余威,弓俐,王峰,等.环县地区富县组古地貌特征及其对油藏的控制[J].断块油气田,2021,28(5):636-640.
Yu Wei, Gong Li, Wang Feng, et al. Characteristics of Palaeogeomorphology and Its Control on Oil Reservoirs of Fuxian Formation in Huanxian Area[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2021, 28(5): 636-640.
- [4] 肖正录,李勇,朱志勇,等.源储接触关系及其对近源致密油富集的影响:以鄂尔多斯盆地陇东地区长₈₁油藏为例[J].石油实验地质,2022,44(5):825-834.
Xiao Zhenglu, Li Yong, Zhu Zhiyong, et al. Influence of Source-Reservoir Contact Conditions on the Enrichment of Near-Source Tight Oil: A Case from the Chang₈₁ Reservoir in the Longdong Area of Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2022, 44(5): 825-834.
- [5] 张厚福,金之钧.我国油气运移的研究现状与展望[J].石油大学学报(自然科学版),2000,24(4):1-5.
Zhang Houfu, Jin Zhijun. Present Situation and the Future of Petroleum Migration Research in Our Country[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science) 2000, 24(4): 1-5.
- [6] 米敬奎.鄂尔多斯盆地上古生界天然气藏的运聚特征[D].广州:中国科学院广州地球化学研究所,2003.
Mi Jingkui. The Characteristics of the Migration and Accumulation of Natural Gas Trap in the Upper Paleozoic of Ordos Basin[D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2003.
- [7] 刘俞佐,石万忠,刘凯,等.鄂尔多斯盆地杭锦旗东部地区上古生界天然气成藏模式[J].岩性油气藏,2020,32(3):56-67.
Liu Yuzuo, Shi Wanzhong, Liu Kai, et al. Natural Gas Accumulation Patterns of Upper Paleozoic in Eastern Hangjinqi Area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2020, 32(3): 56-67.
- [8] 倪春华,包建平,刘光祥,等.煤成气干燥系数影响因素探讨:以鄂尔多斯盆地北部上古生界为例[J].石油与天然气地质,2017,38(6):1098-1104.
Ni Chunhua, Bao Jianping, Liu Guangxiang, et al. A Discussion on the Influence Factors of Dryness Coefficient of Coal-Derived Gas: A Case from the Upper Paleozoic Reservoir in Northern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(6): 1098-1104.
- [9] 刘栋.杭锦旗地区上古生界天然气富集规律与成藏机理研究[D].成都:成都理工大学,2016.
Liu Dong. Research on Gas Enrichment Regularity and Accumulation Mechanism of the Upper Paleozoic Gas Reservoir in Hangjinqi Area[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2016.
- [10] 彭清泉.鄂尔多斯盆地北部杭锦旗地区天然气成藏特征研究[D].成都:成都理工大学,2012.
Peng Qingquan. Research on the Characteristics of Natural Gas Accumulation in Hangjinqi Area in the North of Ordos Basin [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2012.
- [11] 孙长青,荣发准,赵克斌.鄂尔多斯盆地杭锦旗地区油气地球化学特征研究[J].天然气地球科学,2010,

- 21(5):715-720.
Sun Changqing, Rong Fazhun, Zhao Kebin. Geochemical Characteristics of Oil and Gas in Hangjinqi Area, Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(5): 715-720.
- [12] 刘斌,沈昆. 包裹体流体势图在油气运聚研究方面的应用[J].地质科技情报,1998,17(增刊1):81-86.
Liu Bin, Shen Kun. Application of Fluid Potential Map Obtained from Fluid Inclusion Data to the Research of Oil-Gas Migration [J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 1998, 17(Sup. 1): 81-86.
- [13] 卢焕章. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社,2004.
Lu Huanzhang. Fluid Inclusions[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [14] 陈红汉,董伟良,张树林,等. 流体包裹体在古压力模拟研究中的应用[J].石油与天然气地质,2002,23(3):207-211.
Chen Honghan, Dong Weiliang, Zhang Shulin, et al. Application of Fluid Inclusion in Palaeopressure Modelling Research[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 207-211.
- [15] 赵彦德,齐亚林,罗安湘,等. 应用流体包裹体和自生伊利石测年重构鄂尔多斯盆地侏罗系油藏烃类充注史[J].吉林大学学报(地球科学版),2016,46(6):1637-1648.
Zhao Yande, Qi Yalin, Luo Anxiang, et al. Application of Fluid Inclusions and Dating of Authigenic Illite in Reconstruction Jurassic Reservoirs Hydrocarbon Filling History, Ordos Basin[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2016, 46(6): 1637-1648.
- [16] 王飞宇,金之钧,吕修祥,等. 含油气盆地成藏期分析理论和新方法[J].地球科学进展,2002,17(5):754-762.
Wang Feiyu, Jin Zhijun, Lü Xiuxiang, et al. Timing of Petroleum Accumulation: Theory and New Methods[J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(5): 754-762.
- [17] Robert H G. Fluid Inclusions in Sedimentary and Diagenetic Systems[J].Lithos, 2001, 55(1): 159-193.
- [18] 刘德汉. 包裹体研究:盆地流体追踪的有力工具[J].地质学前沿,1995,2(4):149-154.
Liu Dehan. Fluid Inclusion Studies: An Effective Means for Basin Fluid Investigation[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(4): 149-154.
- [19] 李蒙. 鄂尔多斯西缘奥陶纪沉积与构造演化研究[D].西安:西北大学,2019.
Li Meng. Analysis of Sedimentary and Tectonic Evolution of the Western Margin of Ordos Area in Ordovician[D]. Xi'an: Northwest University, 2019.
- [20] 王明健,何登发,包洪平,等. 鄂尔多斯盆地伊盟隆起上古生界天然气成藏条件[J].石油勘探与开发,2011,38(1):30-39.
Wang Mingjian, He Dengfa, Bao Hongping, et al. Upper Palaeozoic Gas Accumulations of the Yimeng Uplift, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(1): 30-39.
- [21] 杨华,席胜利,魏新善,等. 鄂尔多斯多旋回叠合盆地演化与天然气富集[J].中国石油勘探,2006,11(1):17-24.
Yang Hua, Xi Shengli, Wei Xinshan, et al. Evolution and Natural Gas Enrichment of Multicycle Superimposed Basin in Ordos Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(1): 17-24.
- [22] 张福礼,黄舜兴,杨昌贵,等. 鄂尔多斯盆地天然气地质[M]. 北京:地质出版社,1994.
Zhang Fuli, Huang Shunxing, Yang Changgui, et al. Natural Gas Geology in Ordos Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994.
- [23] 薛会,张金川,王毅,等. 鄂北杭锦旗探区构造演化与油气关系[J].大地构造与成矿学,2009,33(2):206-214.
Xue Hui, Zhang Jinchuan, Wang Yi, et al. Relationship Between Tectonic Evolution and Hydrocarbon in Hangjinqi Block of North Ordos Basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(2): 206-214.
- [24] 侯洪斌. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏条件与勘探方向[M]. 北京:石油工业出版社,2004.
Hou Hongbin. Reservoir Forming Conditions and Exploration Direction of Upper Paleozoic Natural Gas in Northern Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [25] 纪文明,李淮莲,刘震,等. 鄂尔多斯盆地北部杭锦旗地区上古生界气源岩分析[J].天然气地球科学,2013,24(5):905-914.
Ji Wenming, Li Weilian, Liu Zhen, et al. Research on the Upper Paleozoic Gas Source of the Hangjinqi Block in the Northern Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(5): 905-914.
- [26] 倪春华,刘光祥,朱建辉,等. 鄂尔多斯盆地杭锦旗地区上古生界天然气成因及来源[J].石油实验地质,

- 2018,40(2):193-199.
- Ni Chunhua, Liu Guangxiang, Zhu Jianhui, et al. Origin and Source of Natural Gas in the Upper Paleozoic in Hangjinqi Area, Ordos Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2018, 40(2): 193-199.
- [27] 徐立涛,石万忠,吴睿,等. 泊尔江海子断层分段演化特征及其对太原—山西组的控制作用[J]. *石油地球物理勘探*, 2020, 55(4): 884-891.
- Xu Litao, Shi Wanzhong, Wu Rui, et al. Segmented Evolution of Borjianghaizi Faults and Theirs Control on Taiyuan-Shanxi Formations [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2020, 55(4): 884-891.
- [28] 尤兵,倪智勇,王学军,等. 东营凹陷沙河街组三段储层流体包裹体特征与油气成藏期次[J]. *地球化学*, 2020, 49(4): 450-463.
- You Bing, Ni Zhiyong, Wang Xuejun, et al. Characteristics of Fluid Inclusions and the Hydrocarbon Accumulation Period in the Reservoir of the Third Member of the Shahejie Formation in the Dongying Depression [J]. *Geochimica*, 2020, 49(4): 450-463.
- [29] 刘德汉,宫色,刘东鹰,等. 江苏句容—黄桥地区有机包裹体形成期次和捕获温度、压力的PVTsim模拟计算[J]. *岩石学报*, 2005, 21(5): 1435-1448.
- Liu Dehan, Gong Se, Liu Dongying, et al. Investigation on the Phases of Organic Inclusion from Gourong-Huangqiao Region, Jiangsu Province, and Its Trapped Temperature & Pressure Calculated by PVTsim Modeling [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(5): 1435-1448.
- [30] 罗晓容. 数值盆地模拟方法在地质研究中的应用[J]. *石油勘探与开发*, 2000, 27(2): 6-10.
- Luo Xiaorong. The Application of Numerical Basin Modeling in Geological Studies [J]. *Petroleum Exploration & Development*, 2000, 27(2): 6-10.
- [31] Pang X Q, Chen D X, Liu K Y, et al. The Concept of Fluid Potential and Its Practical Application to Petroleum Exploration [J]. *Energy Exploration & Exploitation*, 2012, 30(6): 889-914.
- [32] Hubbert M K. Entrapment of Petroleum Under Hydrodynamic Conditions [J]. *AAPG Bulletin*, 1953, 37(8): 1954-2026.
- [33] 陈瑞银,罗晓容,陈占坤,等. 鄂尔多斯盆地中生代地层剥蚀量估算及其地质意义[J]. *地质学报*, 2006, 80(5): 685-693.
- Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Chen Zhankun, et al. Estimation of Denudation Thickness of Mesozoic Strata in the Ordos Basin and Its Geological Significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(5): 685-693.
- [34] 任战利. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究[J]. *石油学报*, 1996, 17(1): 17-24.
- Ren Zhanli. Research on the Relations Between Geothermal History and Oil-Gas Accumulation in the Ordos Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1996, 17(1): 17-24.
- [35] 田刚,宋立军. 鄂尔多斯盆地中元古界烃源岩热演化史模拟[J]. *石油实验地质*, 2017, 39(4): 520-526.
- Tian Gang, Song Lijun. Thermal Evolution Modeling of Mesoproterozoic Source Rocks in the Ordos Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2017, 39(4): 520-526.
- [36] 赵桂萍. 鄂尔多斯杭锦旗地区上古生界储层流体包裹体特征与天然气成藏时期[J]. *石油与天然气地质*, 2017, 38(5): 905-912.
- Zhao Guiping. Characterization of Fluid Inclusions and Timing of Gas Accumulation in Upper Paleozoic Reservoirs of Hangjinqi Area, Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2017, 38(5): 905-912.
- [37] 任战利,张盛,高胜利,等. 鄂尔多斯盆地构造热演化史及其成藏成矿意义[J]. *中国科学: D辑: 地球科学*, 2007, 37(增刊1): 23-32.
- Ren Zhanli, Zhang Sheng, Gao Shengli, et al. Tectonic Thermal History and Its Significance on the Formation of Oil and Gas Accumulation and Mineral Deposit in Ordos Basin [J]. *Science in China: Series D: Earth Sciences*, 2007, 37(Sup.1), 23-32.
- [38] 薛明旺,张坦,丁文龙,等. 巴彦浩特盆地东部拗陷石炭系流体势特征及油气运聚单元划分[J]. *地质力学学报*, 2020, 26(1): 65-73.
- Xue Mingwang, Zhang Tan, Ding Wenlong, et al. Fluid Potential Characteristics of Carboniferous and the Division of Hydrocarbon Migration and Accumulation Units in the Eastern Depression of the Bayanhaote Basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 2020, 26(1): 65-73.
- [39] 顾雪祥,李葆华,徐仕海,等. 右江盆地含油气成矿流体性质及其成藏: 成矿作用[J]. *地质前缘*, 2007, 24(5): 133-146.
- Gu Xuexiang, Li Baohua, Xu Shihai, et al. Characteristics of Hydrocarbon-Bearing Ore Forming Fluids in the Youjiang Basin, South China: Implications for Hydrocarbon Accumulation and Ore

- Mineralization[J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 24(5): 133-146.
- [40] Bodnar R J. Revised Equation and Table for Determining the Freezing Point Depression of H₂O - NaCl Solutions [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1993, 57(3): 683-684.
- [41] 刘斌,段光贤. NaCl-H₂O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. *矿物学报*, 1987, 7(4): 345-352.
Liu Bin, Duan Guangxian. The Density and Isochoric Formulae for NaCl-H₂O Fluid Inclusions and Their Applications[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1987, 7(4): 345-352.
- [42] 马立祥,刘伟. 流体包裹体在油气勘探中的应用研究现状[J]. *天然气地球科学*, 1991, 2(5): 228-232.
Ma Lixiang, Liu Wei. Application of Fluid Inclusions in Oil and Gas Exploration [J]. *Natural Gas Geoscience*, 1991, 2(5): 228-232.
- [43] England W A, Mackenzie A S, Mann D M, et al. The Movement and Entrapment of Petroleum Fluids in the Subsurface [J]. *Journal of the Geological Society*, 1987, 144(2): 327-347.
- [44] 薛会,王毅,毛小平,等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏期次:以杭锦旗探区为例[J]. *天然气工业*, 2009, 29(12): 9-12.
Xue Hui, Wang Yi, Mao Xiaoping, et al. The Timing of Gas Pooling in the Upper Paleozoic in the Northern Ordos Basin: A Case Study of the Hangjinqi Block[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(12): 9-12.
- [45] 刘建章,陈红汉,李剑,等. 伊-陕斜坡山2段包裹体古流体势恢复及天然气聚集条件[J]. *地球科学:中国地质大学学报*, 2007, 32(1): 93-98.
Liu Jianzhang, Chen Honghan, Li Jian, et al. Using Fluid Inclusion Thermodynamic Modeling to Study Paleo-Fluid Potential and Natural Gas Migration and Accumulation of the No. 2 Member of Shanxi Formation of the Upper Paleozoic in Yi-Shaan Slope, Ordos Basin [J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2007, 32(1): 93-98.
- [46] 单秀琴,陈红汉,罗霞,等. 利用包裹体分析鄂尔多斯盆地上古生界油气充注史与古流体势[J]. *岩石学报*, 2007, 23(9): 2303-2308.
Shan Xiuqin, Chen Honghan, Luo Xia, et al. Studying Hydrocarbon Accumulation History of Ordos Upper Paleozoic by Fluid Inclusion Analysis [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(9): 2303-2308.
- [47] 罗安湘,刘广林,刘正鹏,等. 鄂尔多斯盆地中生界断裂及对油藏的控制研究[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2023, 45(4): 43-54.
Luo Anxiang, Liu Guanglin, Liu Zhengpeng, et al. Mesozoic Faults and Their Control on Oil Reservoirs in Ordos Basin [J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2023, 45(4): 43-54.
- [48] 李晓路,马芳侠,贺永红,等. 鄂尔多斯盆地东南部长6段重力流沉积类型及成因[J]. *断块油气田*, 2022(1): 40-46.
Li Xiaolu, Ma Fangxia, He Yonghong, et al. Sedimentary Types and Genesis of Gravity Flow in Chang 6 Member of Southeastern Ordos Basin [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2022(1): 40-46.