

doi: [10.12097/gbc.2024.10.011](https://doi.org/10.12097/gbc.2024.10.011)

# 鄂尔多斯盆地中部二叠系油气充注期次分析 ——以陕西吴起地区山西组-石盒子组为例

赵凡凡<sup>1</sup>, 崔军平<sup>1,2\*</sup>, 任战利<sup>1,2</sup>, 陶华<sup>1</sup>, 蒋安东<sup>3</sup>, 苏世豪<sup>1</sup>, 宋昊昱<sup>1</sup>, 郭伟<sup>1</sup>, 刘小艺<sup>1</sup>  
ZHAO Fanfan<sup>1</sup>, CUI Junping<sup>1,2\*</sup>, REN Zhanli<sup>1,2</sup>, TAO Hua<sup>1</sup>, JIANG Andong<sup>3</sup>, SU Shihao<sup>1</sup>,  
SONG Haoyu<sup>1</sup>, GUO Wei<sup>1</sup>, LIU Xiaoyi<sup>1</sup>

1. 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069;  
2. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069;  
3. 中国石油东方地球物理公司研究院长庆分院, 陕西 西安 710021

1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;  
2. State Key Laboratory of Continental Dynamic, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;  
3. Changqing Branch of Geophysical Research Institute, BGP Inc., CNPC, Xi'an 710021, Shaanxi, China

**摘要:**【研究目的】伊陕斜坡是鄂尔多斯盆地重要的含油气区, 油气成藏时期划分对于揭示油气的赋存规律和指导勘探开发具有重要意义。【研究方法】通过对鄂尔多斯盆地吴起地区山西组-石盒子组的流体包裹体均一温度测定, 结合岩石学特征和热演化史研究, 确定油气充注时序。【研究结果】镜下观察结果表明, 研究区山西组-石盒子组储层早期流体包裹体主要分布在石英颗粒微裂隙中及石英加大边, 晚期流体包裹体主要分布在方解石胶结物。通过测试得出包裹体均一温度分布连续, 早期均一温度峰值主要分布在110~120°C, 晚期均一温度峰值主要分布在140~150°C。【结论】结合成岩作用与热演化史分析, 可得出存在2个主要油气充注期: 第一期油气充注为晚三叠世—早侏罗世(212~195 Ma), 储层在早成岩B期, 该时期煤系地层热演化达到成熟阶段, 此时以溶蚀和交代作用为主; 第二期油气充注在晚侏罗世—早白垩世(155~130 Ma), 储层在中成岩A期, 成岩作用以钙质胶结物溶蚀作用为主, 增加了次生孔隙, 达到最高热演化阶段, 为主油气充注期。

**关键词:**油气成藏; 均一温度; 流体包裹体; 二叠系; 鄂尔多斯盆地

**创新点:**对吴起地区山西组-石盒子组储层进行岩相学、流体包裹体成分及特征分析, 利用流体包裹体均一温度法并结合热演化史确定吴起地区油气充注期次。

中图分类号: P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2025)05-0778-14

Zhao F F, Cui J P, Ren Z L, Tao H, Jiang A D, Su S H, Song H Y, Guo W, Liu X Y. Analysis of oil and gas accumulation periods in the Permian system in the central Ordos Basin: A case study of Shanxi-Shihezi Formation in Wuqi area. *Geological Bulletin of China*, 2025, 44(5): 778–791

**Abstract:** [Objective] The Yishan slope is an area of significant oil and gas-bearing potential within the Ordos Basin, the delineation of the oil and gas formation periods is of paramount importance in the revelation of the laws governing oil and gas storage, and in the provision of guidelines for exploration and development. [Methods] The timing of oil and gas charging can be determined by measuring the homogeneous temperature of fluid inclusions in the Shanxi–Shihezi Formation in the Wuqi area of the Ordos Basin. This is combined with petrological characteristics and thermal evolution history research methods. [Results] The microscopic observation results show that there are mainly two stages of fluid inclusions in the Shanxi–Shihezi Formation in the study area. The early inclusions

收稿日期: 2024-10-10; 修订日期: 2024-12-11

资助项目: 国家自然科学基金项目《热年代学约束下的松辽盆地石炭一二叠系构造热演化史恢复》(批准号: 41772121)和长庆油田科技重大专项《鄂尔多斯深层中元古界—奥陶系构造沉积演化、成源机制与勘探新领域研究》(编号: ZDZX2021)

作者简介: 赵凡凡(1996-), 女, 硕士, 从事盆地热演化史与油气成藏相关研究。E-mail: [1154993910@qq.com](mailto:1154993910@qq.com)

\* 通信作者: 崔军平(1978-), 男, 副教授, 从事盆地热演化史与油气成藏相关教学与科研工作。E-mail: [cuijp@nwu.edu.cn](mailto:cuijp@nwu.edu.cn)

are mainly distributed in the microcracks quartz particles and the enlarged edges of quartz, and the late inclusions are mainly distributed in the late cement. Through the implementation homogenization temperature test, the peak temperature distribution of early inclusions is 110~120°C, while the peak temperature distribution of late inclusions is 140~150°C. [Conclusions] Combined with the analysis of the thermal evolution history and diagenesis, it can be concluded that there are two periods of oil and gas filling: the first period of oil and gas charging time is the Late Triassic—Early Jurassic (212~195 Ma), the reservoir is in the early diagenetic stage B. During this period, the thermal evolution of the coal-bearing stratum reaches the mature stage with dissolution and replacement being the predominant processes. The second period of oil and gas charging time, spanning the Late Jurassic to Early Cretaceous (155~130 Ma), coincides with the middle diagenetic stage A. In this stage, the diagenetic process is primarily dominated by the dissolution of calcareous cement, leading to an increase in secondary pores and the attainment of the highest thermal evolution, which marks the primary charging time.

**Key words:** accumulation period; homogenization temperature; fluid inclusions; Permian; the Ordos Basin

**Highlights:** Conduct petrographic and fluid inclusion composition and characteristic analysis on the Shanxi-Shihezi Formation reservoir in Wuqi area, and determine the oil and gas filling period in Wuqi area using the fluid inclusion homogenization temperature method combined with thermal evolution history.

油气充注过程是重现油气成藏历史的关键环节,对认识油气运移及油气藏形成时间发挥着重要作用(陈红汉, 2007; 梁正中等, 2023)。流体包裹体的均一温度和冰点温度可动态反映油气形成和运聚活动的信息,赋予了地层“生命特征”,因此被视为地质历史时期的“活化石”。此外,在紫外线荧光下油包裹体由于成熟度不同会呈现出不同的颜色,这一特征也可为镜下准确捕捉油气信息提供有利帮助,因此流体包裹体均一温度法是目前被广泛用于确定含油气盆地成藏期次的方法之一(梁宇等, 2011a; 宋嘉琦和肖晖, 2024)。鄂尔多斯盆地位于华北克拉通西南缘,是中国第二大沉积盆地,蕴含丰富的油气资源,是中国重要的产能基地(贾承造等, 2012; 任战利等, 2021; 何登发, 2022; 刘国庆等, 2024)。上古生界凭借油气资源丰富、勘探程度较低成为吴起油气田近年来的勘探重心,并开展了广泛的研究,目前在三叠系延长组发现大量油气(袁耀利等, 2019; 罗丽荣等, 2022),随着勘探不断深入,在上古生界储层中也发现了天然气,能源开发潜力巨大。

油气成藏期次分析对追溯油气运移历史、深化成藏机理有重要意义。前人对鄂尔多斯盆地吴起地区上古生界、沉积相、储层、烃源岩等进行了详细研究(付金华, 2013; 钱强, 2014; 李浩, 2015; 赵帮胜, 2019; 曹杨春, 2020; 崔改霞, 2021; 孙建博, 2022, 2023; 李艳霞, 2023),对盆地上古生界油气成藏期次也进行了一些研究,其中廖明光等(2017)分析了吴起地区南边的陇东地区上古生界油气成藏期次,利用包裹体均一温度方法确定了上古生界油气成藏期

为晚侏罗世—早白垩世; Cao et al.(2022)对鄂尔多斯盆地北部苏里格地区进行了成藏期次研究,认为天然气充注时期主要为晚三叠世—早白垩世,其中早白垩世是主要充注期; Zhang et al.(2023)通过包裹体均一温度方法,结合热演化史恢复,确定鄂尔多斯盆地西缘上古生界天然气有一期成藏,为早侏罗世—早白垩世;李杪等(2016)通过致密砂岩孔隙演化定量研究,结合储层埋藏史分析,确定鄂尔多斯盆地东部有3期成藏期次,分别为晚三叠世—早侏罗世、中侏罗世—晚白垩世及早白垩世。以上研究表明,鄂尔多斯盆地不同地区上古生界成藏期次有很大的差异性,但目前对吴起地区上古生界成藏时间及期次的研究较薄弱,因此本次利用 PetroMod 软件恢复了鄂尔多斯盆地伊陕斜坡吴起地区上古生界二叠系的热演化历史,划分了热演化阶段,利用包裹体均一温度方法及激光拉曼光谱分析,确定了吴起地区上古生界二叠系的天然气成藏期次,这对认识该区天然气成藏规律和下一步天然气勘探开发具有重要意义。

## 1 区域地质背景

鄂尔多斯盆地是一个稳定的多旋回叠合型盆地,具有复杂的地质构造,主要由伊盟隆起、西缘逆冲带、天环坳陷、伊陕斜坡、晋西挠褶带、渭北隆起6个一级构造单元组成(图 1-a),由于各时期的挤压推覆等活动,最终形成了东西地形较复杂、左右地层不对称、中部地形较平缓简单的大向斜地质构造。在元古宙早期华北地台初步形成,末期由于地壳变厚、固结作用、克拉通化过程及伴随的岩浆活动,华

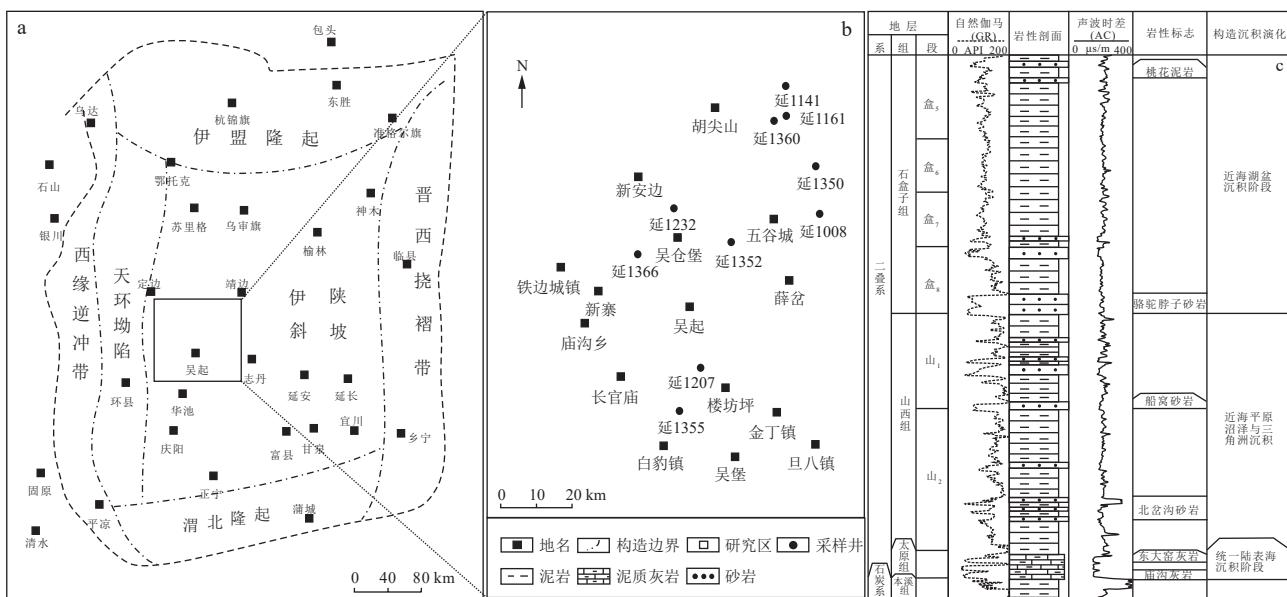


图1 研究区构造位置图(a)、井位图(b)及二叠系地层柱状图(c)

Fig. 1 Structural location map(a), well location map(b) and Permian stratigraphic column chart(c) of the study area

北地台逐步实现了进一步的固结与稳定,于中—新元古代,在稳定的华北克拉通之上发育了沉积盖层,在此期间火山活动尚不发育,古生代发生陆表海沉积,中生代经历印支构造运动,坳陷盆地开始发育,华北地台解体,再加上西缘冲断带走滑作用的影响,在挤压和剪切作用下发生弯曲和凹陷,并沿西缘冲断带下滑,经历了构造演化的不同阶段(何登发等,2022;翟咏荷等,2023)。

吴起地区位于鄂尔多斯盆地的中西部(图1-a, b),地层平缓,整体上为倾角小于1°的向西倾斜构造,受差异压实作用的影响,发育一系列鼻状隆起构造(席建丽和刘祥,2023)。上古生界因抬升剥蚀缺失志留系—泥盆系,顶部与中生界整合接触,底部与下古生界呈平行不整合接触,二叠系主要储层及烃源岩沉积有太原组、山西组、石盒子组(图1-c)。下二叠统太原组与本溪组整合接触,主要发育灰色—深灰色灰岩及少量泥岩,标志层为东大窑灰岩;山西组与太原组整合接触,沉积厚度为90~130 m,烃源岩岩性主要为泥页岩及煤层,源储配置主要为山1段的厚泥岩夹薄砂岩层,山2段上部的泥页岩及粉砂岩互层、下部的泥页岩与煤层混层,为自生自储型,是研究区的主力优质烃源岩(段逸飞等,2024);石盒子组底部以骆驼脖子砂岩与山西组为界,主要发育泥岩与砂岩,下石盒子组砂岩厚度主要介于20~40 m之间,是研究区的主要储层

(吴浩等,2017)。

## 2 样品及实验过程

本次选取研究区10口井(图1-b)的11个岩心样品进行实验,样品为二叠系山西组和石盒子组的砂岩(表1;图2、图3),取样深度为3670~4030 m,实验均在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。

首先将岩心样品制成研究流体包裹体专用薄片,在显微镜的正交偏光下分析矿物成分,观察成岩作用类型并记录压实、胶结等现象(图4);在透射光下观察流体包裹体,分析包裹体的大小、形态、分布、相态、荧光等特征,区分不同种类包裹体;用LabRAM Odyssey 共聚焦激光拉曼光谱仪对烃类包裹体进行激光拉曼光谱分析,确定不同类型烃类包裹体的成分;利用Linkam THMS 600 冷热台对油包裹体伴生的盐水包裹体进行包裹体均一温度实验,记录均一温度、冰点温度等数据,得到温度区间峰值,根据盐度计算公式利用冰点温度计算出盐度;最后用PetroMod软件模拟出研究区单井热演化史图,将均一温度区间峰值投影到热演化史图中,确定油气成藏期次。

## 3 岩石学特征

吴起地区二叠系储层以岩屑石英砂岩为主(图3),其中山西组以细粒岩屑石英砂岩为主,岩屑

主要由石英岩、千枚岩-片岩等变质岩组成,填隙物包括方解石、粘土质杂基、水云母等,菱铁矿、铁

白云石,铁方解石较少见,主要粒径范围为0.06~0.3 mm,具有细—极细粒砂质结构,分选性中等—

表1 吴起地区山西组-石盒子组储层包裹体样品统计

Table 1 Statistics of inclusion samples in the Shanxi-Shihezi Formation reservoir in Wuqi area

井号	层位	深度/m	岩性	赋存矿物产状
延1232	山西组	4028.6	灰白色中细砂岩	石英颗粒裂隙、石英加大边
延1207	山西组	3820.1	灰褐色中细砂岩	石英颗粒裂隙
延1141	山西组	3710.8	灰白色中细砂岩	石英颗粒裂隙
延1141	石盒子组	3670.2	灰白色细砂岩	石英颗粒裂隙、石英加大边
延1360	石盒子组	4180.3	浅灰色中细砂岩	石英颗粒裂隙、方解石胶结物
延1008	山西组	3931.0	深灰色细砂岩	石英颗粒裂隙、石英加大边
延1355	山西组	3983.6	灰褐色细砂岩	石英颗粒裂隙、石英加大边、方解石胶结物
延1161	石盒子组	3875.7	浅灰色中细砂岩	石英颗粒裂隙、石英加大边
延1352	山西组	3944.3	灰色砂岩	石英颗粒裂隙、石英加大边
延1350	山西组	4003.6	浅灰色中细砂岩	石英颗粒裂隙
延1366	山西组	3865.0	灰黑色细砂岩	石英颗粒裂隙、石英加大边



图2 吴起地区山西组-石盒子组砂岩样品图

Fig. 2 Sample of Shanxi-Shihezi Formation sandstone in Wuqi area

a—Y1355,灰褐色细砂岩;b—Y1141,灰白色细砂岩;c—Y1350,浅灰色中细砂岩;d—Y1008,深灰色细砂岩;e—Y1366,灰黑色细砂岩

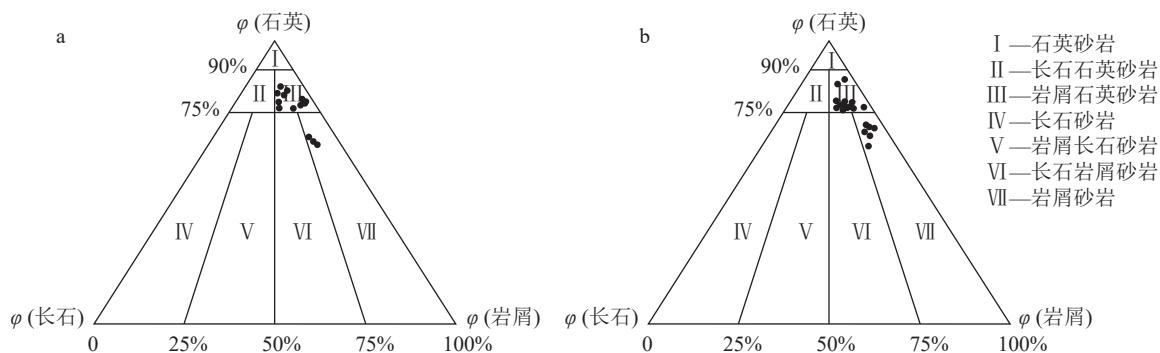


图3 山西组(a)和石盒子组(b)砂岩分类三角图

Fig. 3 Sandstone classification triangle of Shanxi Formation (a) and Shihezi Formation (b)

好,磨圆度次棱角状—次圆状,少数为棱角状,以颗粒支撑、孔隙式胶结为主,粒间多为线接触,少数呈点接触。石盒子组的岩性以粗中粒岩屑石英砂岩为主,岩屑主要成分为石英岩、变砂岩,火成岩次之,填隙物主要为粘土质杂基、火山尘,主要粒径为0.2~1.8 mm,具有不等粒、细粒、粗粒等砂质结构,颗粒分选性中等—好,磨圆度次棱角状—次圆状,以颗粒支撑、孔隙式胶结为主,粒间多以线接触为主,少数呈点接触或点一线接触。

在漫长的地质历史时期,成岩作用受地质构造产生的温度、压力等因素控制,对岩层的孔隙度和渗透率产生重大影响,因此与油气藏的形成和开发

关系密切,是研究包裹体的基础(Mclimans, 1987;祁凯等, 2017)。二叠系发育多种成岩作用类型,镜下可见碎屑颗粒之间紧密接触,压实作用较明显,塑性颗粒矿物发生变形现象(图4-a~c)。硅质胶结在研究区普遍发育,主要表现为石英次生加大现象(图4-d),钙质胶结主要有泥晶方解石、含铁方解石、菱铁矿(图4-e~h)等,粘土矿物胶结主要有高岭石(图4-i)、伊利石等。根据颗粒间的接触关系、颗粒内的形态特征、包裹体特征等现象,成岩作用主要分为早成岩A期、早成岩B期、中成岩A期、中成岩B期4个阶段,成岩序列可总结为:早期以压实、压溶作用为主,原生粒间孔隙减少,

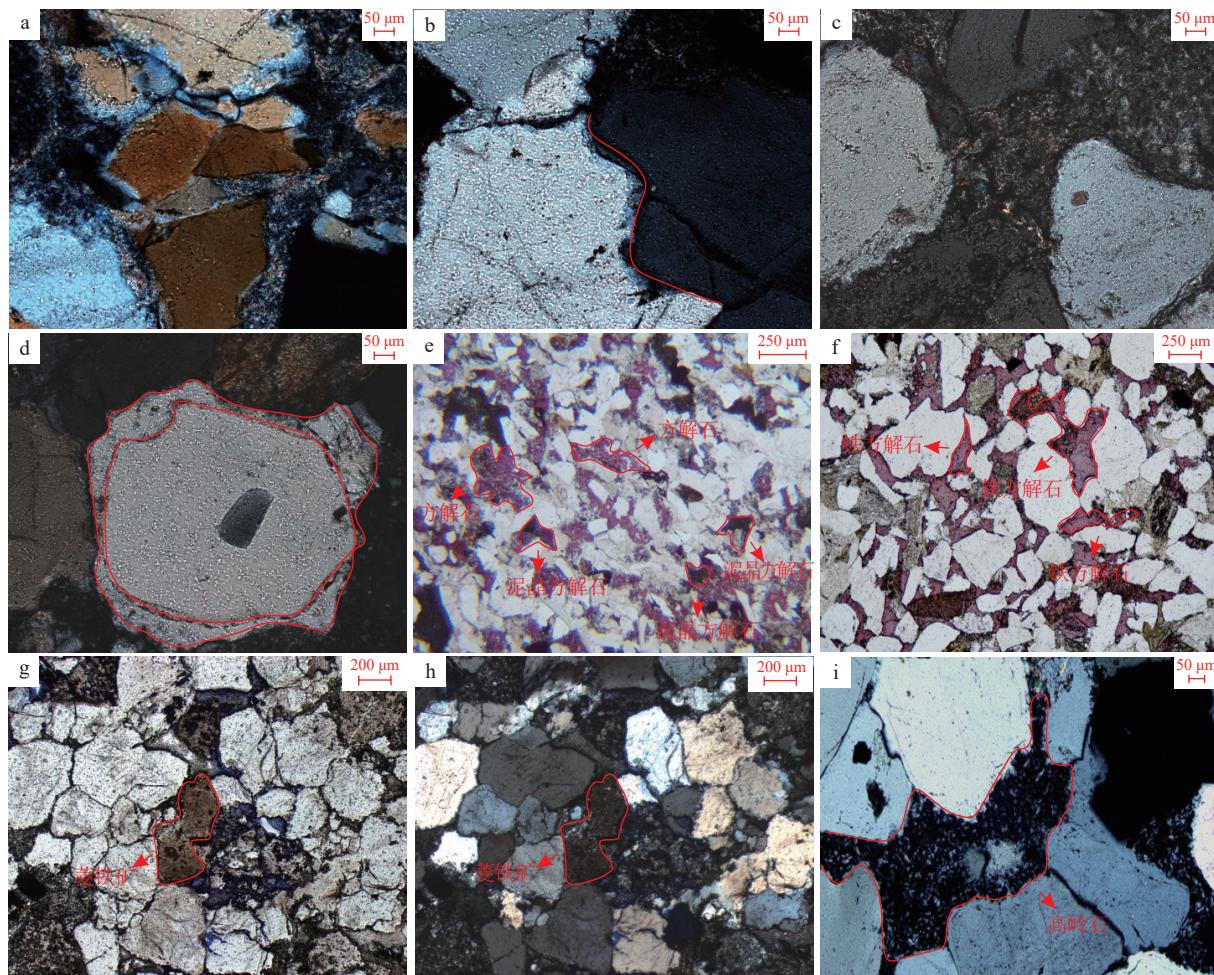


图4 吴起地区山西组-石盒子组成岩作用显微镜下特征

Fig. 4 Micrograph of reservoir diagenesis characteristics of Shanxi-Shihezi Formation in Wuqi area

a—压实作用使石英颗粒紧密排列,Y1350,正交偏光,4003.6 m,山西组;b—石英颗粒呈缝合线接触,Y1350,正交偏光,4003.6 m,山西组;c—粘土矿物杂基充填孔隙,Y1207,正交偏光,3820.1 m,山西组;d—石英次生加大,Y1207,正交偏光,3820.1 m,山西组;e—石英粒间见泥晶方解石及方解石胶结(染色部分),Y1350,单偏光,4003.6 m,山西组;f—石英粒间见铁方解石胶结(染色部分),Y1355,单偏光,3983.6 m,山西组;g—菱铁矿胶结,Y1207,单偏光,3820.1 m,山西组;h—同一视域下菱铁矿胶结,Y1207,正交偏光,3820.1 m,山西组;i—粒间高岭石,Y1350,正交偏光,4003.6 m,山西组

形成钙质胶结及硅质胶结,导致石英次生加大,微裂隙形成,长石、石英颗粒溶蚀,石英次生加大明显,随后地层不断埋深;晚期以压溶作用为主,也有微裂隙形成,此时长石、钙质胶结物溶蚀,形成方解石胶结(李松等,2021;朱瑞静等,2021)。

#### 4 流体包裹体特征

通过上述成岩作用分析及镜下观察流体包裹体分布特征及物理相态特征,可识别出研究区二叠系储层流体包裹体大致分为早、晚2期。

早期包裹体主要分布于石英颗粒裂隙或石英加

大边,其中在石英颗粒裂隙相互交叉,盐水包裹体无色透明(图5-a,b),形态各异,大小主要为5~10 μm,多为串珠状定向排列,单个包裹体多为椭圆形,气液比均小于5%。

晚期包裹体主要分布于晚期胶结物中,较显著分布的是方解石胶结物。盐水包裹体整体呈零星分布,形态多样,大小以4~8 μm为主,气液比小于5%(图5-c),烃包裹体主要为气液两相烃包裹体、含沥青液态烃包裹体和气态烃包裹体,气液两相烃包裹体在单偏光镜下呈灰黑色,中央有一小气泡,串珠状分布,在荧光显微镜下呈弱黄褐色或黄褐色

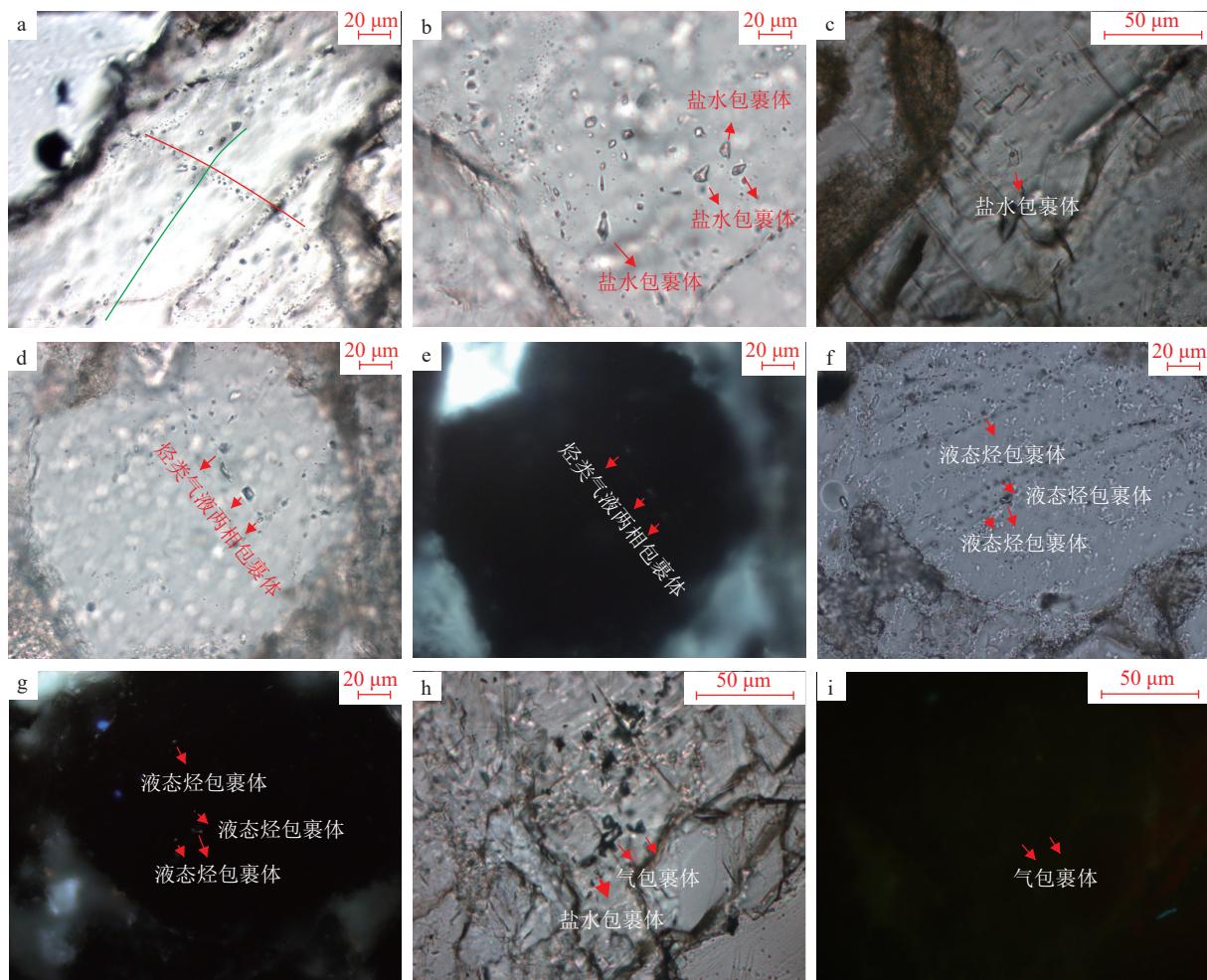


图5 吴起地区山西组-石盒子组主要成岩矿物及流体包裹体特征

Fig. 5 Main diagenetic minerals and fluid inclusion characteristics of Shanxi-Shihezi Formation in Wuqi area

a—石英颗粒裂隙盐水包裹体,呈带状交叉分布(如红色和绿色线所示),Y1352,500×,单偏光,山西组;b—石英颗粒内的盐水包裹体,串珠状分布,Y1360,1000×,石盒子组;c—方解石胶结物内盐水包裹体,Y1355,630×,单偏光,山西组;d—石英颗粒裂隙中的气液两相烃包裹体,灰黑色,单个分布,Y1350,500×,山西组;e—与d在同一视域下气液两相烃包裹体,在紫外线荧光下呈弱黄褐色光;f—石英裂隙中液态烃包裹体,灰褐色,Y1350,500×,山西组;g—与f在同一视域下液态烃包裹体,在紫外线荧光下呈亮黄绿色;h—方解石胶结物内气包裹体及盐水包裹体,灰黑色,Y1355,630×,单偏光,山西组;i—与h在同一视域下气态烃包裹体,在紫外线荧光下不发光

(图 5-d, e), 表明充注强度弱。含沥青液态烃包裹体在单偏光下呈灰黑色, 在荧光下呈亮黄绿色(图 5-f, g), 表明充注强度较强。气态烃包裹体在单偏光镜下呈灰黑色或黑色, 无荧光显示(图 5-h, i)。由此可见, 形成的油气主要沿溶蚀孔隙和微裂隙分布运移, 被矿物捕获形成包裹体。

#### 4.1 包裹体均一温度测试

本次研究选取与烃类包裹体伴生的盐水包裹体进行显微测温。测试结果显示(表 2), 山西组-石盒子组包裹体均一温度分布范围较广且无间隔, 说明成藏是一个连续的过程, 均一温度介于 80~180°C 之间, 且有明显的双峰特征。第一期与烃伴生的盐水包裹体均一温度主要集中在 80~130°C, 其峰值温度介于 110~120°C 之间; 第二期与烃伴生的盐水包裹体均一温度主要集中在 130~180°C, 其峰值温度介于 140~150°C 之间。实验测

得包裹体的冰点温度主要分布在 2 个区间内: -3.4~-10.8°C 及 -8.3~-13.9°C, 根据盐度与冰点之间的关系式(Hall et al., 1988), 对应的盐度分别为 5.06%~14.58% 和 12.19%~17.5%(图 6), 都属于低盐度体系。

#### 4.2 包裹体成分特征

在油气运移过程中, 不同阶段捕获包裹体的化学成分及含量呈现出差异性, 可以通过这一特性判别油气运移的期次(曹青等, 2015; Liu et al., 2020)。本次研究采用共聚焦激光拉曼光谱分析技术, 对不同包裹体的组分进行光谱分析, 根据室温条件下包裹体的相态和化学成分差异, 将烃类包裹体主要分为气液两相烃、气态烃及液态烃 3 种。气液两相烃主要成分为芳香烃类, 以  $1618 \pm 2331 \pm \text{cm}^{-1}$  一系列尖峰、 $3014\text{--}3021 \text{ cm}^{-1}$  和  $3045\text{--}3071 \text{ cm}^{-1}$  组合峰为特征, 强度较弱(张鼐等, 2010)。气态烃包裹体主要成分以  $\text{CH}_4$  为主, 以  $2913 \pm \text{cm}^{-1}$  值为尖峰特征, 部分

表 2 吴起地区山西组-石盒子组包裹体均一温度测试数据

Table 2 Homogeneous temperature test data of Shanxi-Shihezi Formation inclusions in Wuqi area

井号	深度/m	层位	类型	测温类型	期次	均一相态	均一温度		平均冰点/°C	平均盐度/%NaCl
							平均温度/°C	测点数目/个		
Y1232	4028.6	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第1期	液相	105.2	9	-8.6	12.4
Y1232	4028.6	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第2期	液相	137.1	6	-12.3	16.2
Y1207	3820.1	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第1期	液相	114.8	7	-6.4	9.7
Y1207	3820.1	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第2期	液相	146.2	9	-13.5	17.3
Y1141	3710.8	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第1期	液相	112.5	14	-3.8	6.2
Y1141	3710.8	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第2期	液相	135.6	3	-9.4	13.3
Y1141	3670.1	石盒子组	次生	含烃盐水包裹体	第1期	液相	108	12		
Y1141	3670.1	石盒子组	次生	含烃盐水包裹体	第2期	液相	136	5		
Y1360	4180.3	石盒子组	次生	含烃盐水包裹体	第1期	液相	116.0	5	-8.3	12.0
Y1360	4180.3	石盒子组	次生	含烃盐水包裹体	第2期	液相	138.3	3	-10.5	14.4
Y1008	3913.0	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第1期	液相	110	11		
Y1008	3913.0	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第2期	液相	130	3		
Y1355	3983.6	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第1期	液相	100	15		
Y1355	3983.6	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第2期	液相	155	3		
Y1161	3875.7	石盒子组	次生	含烃盐水包裹体	第1期	液相	97	5	-6.7	10.1
Y1161	3875.7	石盒子组	次生	含烃盐水包裹体	第2期	液相	140	3	-8.6	12.4
Y1352	3944.3	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第1期	液相	106	4	-6.8	10.2
Y1352	3944.3	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第2期	液相	138	3	-8.7	12.5
Y1350	4003.6	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第1期	液相	105	5		
Y1350	4003.6	山西组	次生	含烃盐水包裹体	第2期	液相	135	2	-12.7	16.6

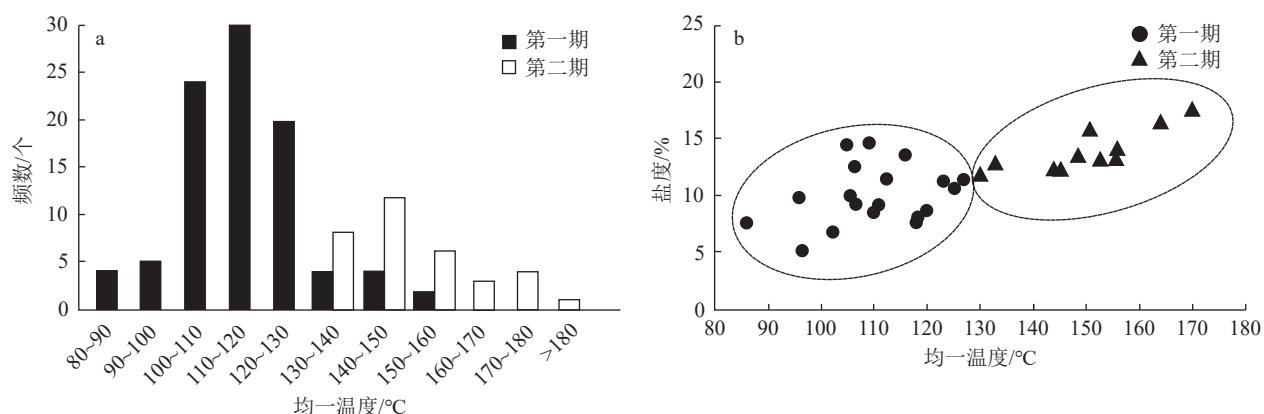


图6 山西组-石盒子组包裹体均一温度及盐度分布特征

Fig. 6 Distribution characteristics of homogeneous temperature and salinity of inclusions in Shanxi-Shihezi Formation

气态烃包裹体含有少量附着在包裹体壁上的沥青组分,成熟度较高(图7-a)。液态烃包裹体主要为沥青烃类包裹体,主要成分为高饱和烃及沥青(张鼐等,2007),以 $1379.75\pm\text{cm}^{-1}$ 值和 $1605.76\pm\text{cm}^{-1}$ 值为双峰的沥青拉曼特征强度较强(图7-b)。低成熟度气态烃包裹体气相成分中主要含CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>,随着油气成熟度的提高,气态烃包裹体成分中的CH<sub>4</sub>逐渐增多(梁宇等,2011b)。

原生气态CO<sub>2</sub>包裹体组分以CO<sub>2</sub>为主,以 $1285\pm\text{cm}^{-1}$ 值或 $1387\pm\text{cm}^{-1}$ 值为尖峰特征,可呈三相或两相态,三相由气态CO<sub>2</sub>、液态CO<sub>2</sub>及盐水溶液组成,体积较大,主要呈孤立状分布在石英颗粒的边缘位置;两相由气态CO<sub>2</sub>及液态CO<sub>2</sub>组成(图7-c)。含烃盐水包裹体数量众多,拉曼特征值在 $3300\pm3600\pm\text{cm}^{-1}$ 为尖峰特征值(张鼐等,2005)。

## 5 油气成藏期次分析

地层中的温度、压力等因素影响油气成熟度,故盆地热演化史与油气成藏时期也有密切关系。埋藏史及热演化史与均一温度方法结合可以提高恢复成藏期次的精度,并且对油气成熟度进一步分析,对古地层的形成演化有更深层次的理解(陈瑞银等,2006;任战利等,2008)。

本次选取研究区Y1352井进行埋藏史及热演化史模拟。自石炭纪以来研究区共经历4次剥蚀事件,分别为印支运动期,延长组部分地层剥蚀;燕山运动早期,对延安组部分地层进行了剥蚀;燕山运动中期,上侏罗统遭受剥蚀;燕山旋回晚期,整个白垩系遭到剥蚀。根据前人研究,前3次剥蚀厚度为

100~200 m,白垩纪剥蚀厚度为1600 m(高胜利和任战利,2006;翁望飞等,2011),使用PetroMod盆地模拟软件,基于EASY%*R<sub>o</sub>*法对研究区进行热史模拟分析,通过不断调整参数并以实测*R<sub>o</sub>*约束模拟曲线,确保模拟结果的准确性。从热演化图(图8)可以看出,晚石炭世—晚二叠世(327~252 Ma),处于缓慢沉降升温阶段,*R<sub>o</sub>*<0.5%,烃源岩处于未成熟阶段;早三叠世—早白垩世(252~100 Ma),处于快速沉降升温阶段,此时由于燕山运动岩浆侵入引起了构造热事件,使得地层温度迅速升高,埋藏深度最大,*R<sub>o</sub>*处于0.5%~2.0%之间,在白垩纪末期烃源岩成熟度达到最大,达到生烃高峰;晚白垩世以来(100 Ma至今),地层整体快速抬升,温度也急剧下降,导致烃源岩的生烃能力降低甚至停止。

利用与油气伴生的盐水包裹体均一温度并结合投影法可以确定地质历史时期达到相应温度的时间,进而判断油气充注时间(梁宇等,2011b;刘建良等,2019;刘润川等,2019;陶华和王建民,2022;李勇霖等,2024),此方法可有效推断油气成藏的历史过程。在前期热演化史恢复的基础上,将测得的与油气伴生的盐水包裹体均一温度峰值投影到热演化史图中,进行天然气充注期次判断,得出第一期盐水包裹体均一温度峰值为110~120°C,代表了晚三叠世—早侏罗世油气形成与充注过程,充注时间为212~195 Ma;第二期盐水包裹体均一温度峰值为140~150°C,代表了晚侏罗世—早白垩世油气聚集成藏过程,充注时间为155~130 Ma,是主要成藏期次(图9)。

综上所述,石炭纪—中三叠世末,经历了海西运

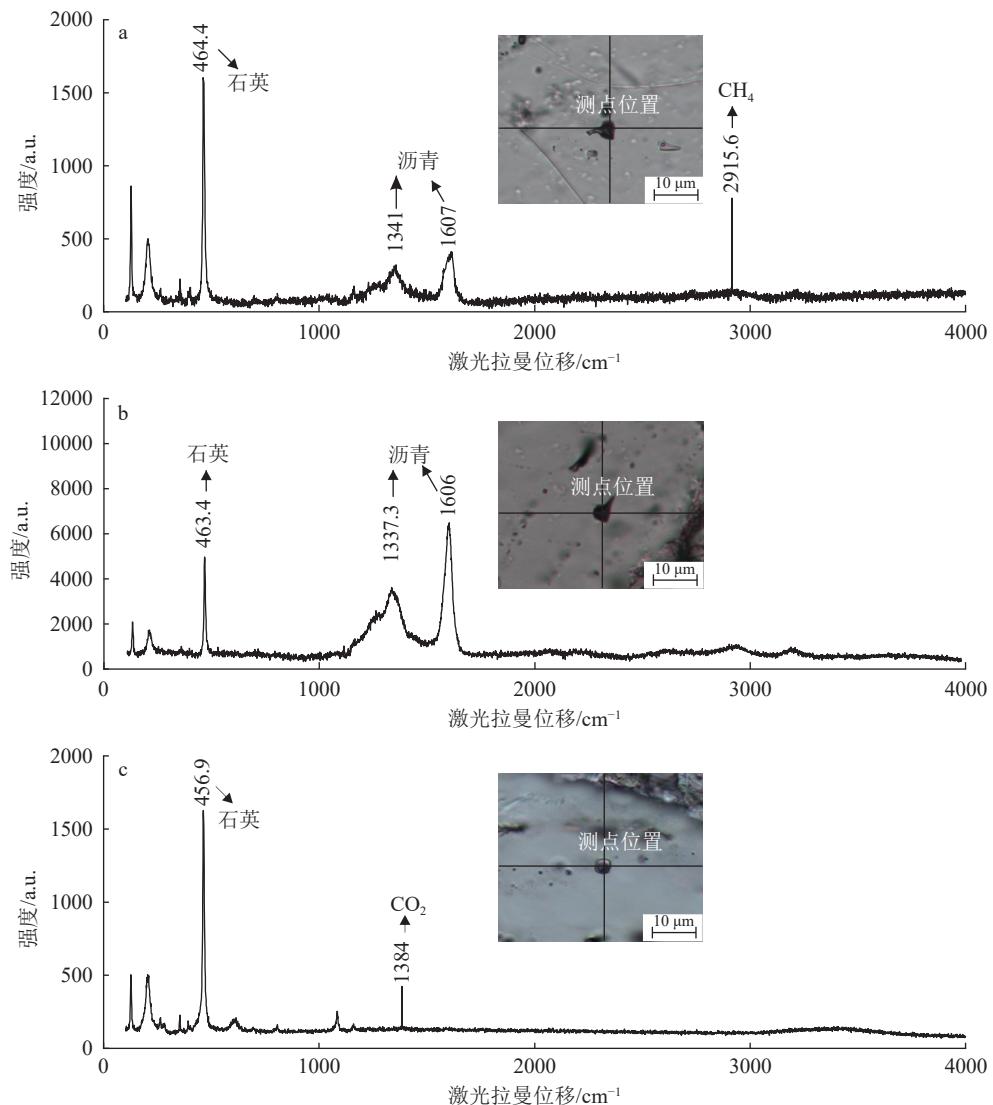


图 7 吴起地区不同包裹体激光拉曼特征图

Fig. 7 Laser Raman characteristics of different inclusions in Wuqi area

a—烷烃 + 沥青气态烃包裹体, Y1366, 山西组; b—沥青液态烃包裹体, Y1141, 石盒子组; c—原生  $\text{CO}_2$  包裹体, Y1207, 山西组

动及印支运动, 砂岩处于早成岩 A 期阶段, 此时  $R_o < 0.5\%$ , 烃源岩处于未成熟阶段, 主要经历了压实作用, 颗粒呈点一线状接触, 部分早期硅质和钙质胶结物开始形成, 导致孔隙空间大幅减小, 该时期埋藏深度小于 2000 m, 云母水化和火山凝灰质水解蚀变反应得到的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  等碱金属阳离子(钟大康等, 2012), 使孔隙流体 pH 值升高, 成岩环境为碱性; 之后地层继续沉降, 温度和压力不断上升, 中三叠世末—中侏罗世末, 经历印支运动及燕山运动, 砂岩处于早成岩 B 期阶段, 该时期盆地强烈下沉, 埋深至 4000 m, 压实作用不断增强,  $R_o$  值变化在 0.5%~1.3% 之间, 有机质处于低成熟—成熟阶段, 该时期煤

系地层热演化达到成熟阶段, 开始生油, 由于环境温度升高及压力增大, 地层产生的有机酸和甲烷使孔隙流体 pH 值减小, 呈酸性环境, 此时成岩作用以溶蚀和交代作用为主, 长石、岩屑、火山物质及早期形成的碳酸盐胶结物发生溶蚀, 形成粒间溶孔及铸模孔, 提高了储层的物性, 油气开始第一次小规模充注运移; 中侏罗世末—早白垩世末, 为燕山运动期, 地层持续下降, 地层达到最大埋深 5400 m, 地层古地温为 130~170°C,  $R_o$  值在 1.3%~2.0% 之间, 有机质为成熟—过成熟阶段, 砂岩处于中成岩 A 期阶段, 成岩作用以钙质胶结物溶蚀作用为主, 次生孔隙增加, 达到最高热演化程度, 同时裂缝发育, 为油气第二次大规

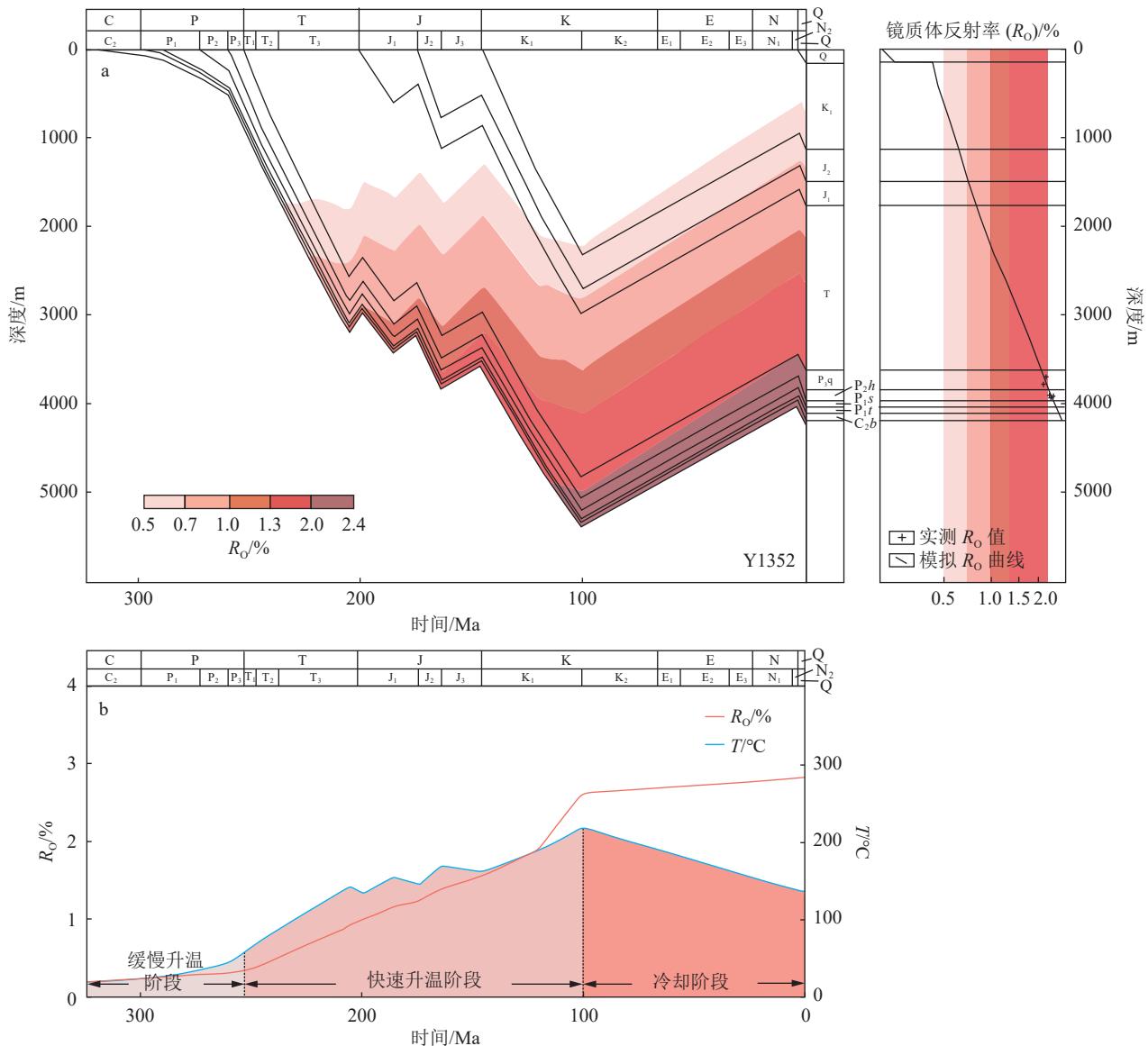


图 8 Y1352 井热演化史图 (a) 及有机质成熟度、温度与时间关系图 (b)

Fig. 8 Thermal evolution history (a) and maturity and temperature time relationship (b) of Y1352

C—石炭纪; C<sub>2</sub>—早石炭世; P—二叠纪; P<sub>1</sub>—早二叠世; P<sub>2</sub>—中二叠世; P<sub>3</sub>—晚二叠世; T—三叠纪; T<sub>1</sub>—早三叠世; T<sub>2</sub>—中三叠世; T<sub>3</sub>—晚三叠世; J—侏罗纪; J<sub>1</sub>—早侏罗世; J<sub>2</sub>—中侏罗世; J<sub>3</sub>—晚侏罗世; K—白垩纪; K<sub>1</sub>—早白垩世; K<sub>2</sub>—晚白垩世; E—古近纪; E<sub>1</sub>—古新世; E<sub>2</sub>—始新世; E<sub>3</sub>—渐新世; N—新近纪; N<sub>1</sub>—上新世; N<sub>2</sub>—中新世; Q—第四纪; C<sub>2</sub>b—上石炭统本溪组; P<sub>1</sub>t—下二叠统太原组; P<sub>1</sub>s—下二叠统山西组; P<sub>2</sub>h—中二叠统石盒子组; P<sub>3</sub>g—上二叠统石千峰组; T—三叠系; J<sub>1</sub>—下侏罗统; J<sub>2</sub>—中侏罗统; K<sub>1</sub>—下白垩统; Q—第四系

模充注创造了条件;早白垩世末至今,受喜马拉雅运动影响,地层开始抬升,生烃逐渐减弱至结束,晚期形成的方解石继续交代石英、长石颗粒,储层孔隙及渗流通道减少,物性进一步劣化,最终形成致密储层。

## 6 结 论

(1) 鄂尔多斯盆地中部吴起地区二叠系山西组-石盒子组储层岩屑石英砂岩发育显著,主要存在

早晚 2 期流体包裹体。早期盐水包裹体主要赋存于石英颗粒微裂隙中或石英加大边,呈串珠状分布,晚期盐水包裹体主要赋存于方解石胶结物中,呈零星分布。烃类包裹体主要为呈灰黑色的气液两相、含沥青的液态烃包裹体及气态烃包裹体。

(2) 鄂尔多斯盆地中部吴起地区二叠系包裹体均一温度结果表明,早期与烃类伴生的盐水包裹体均一温度为 110~120℃,盐度为 5.06%~14.58%,晚期

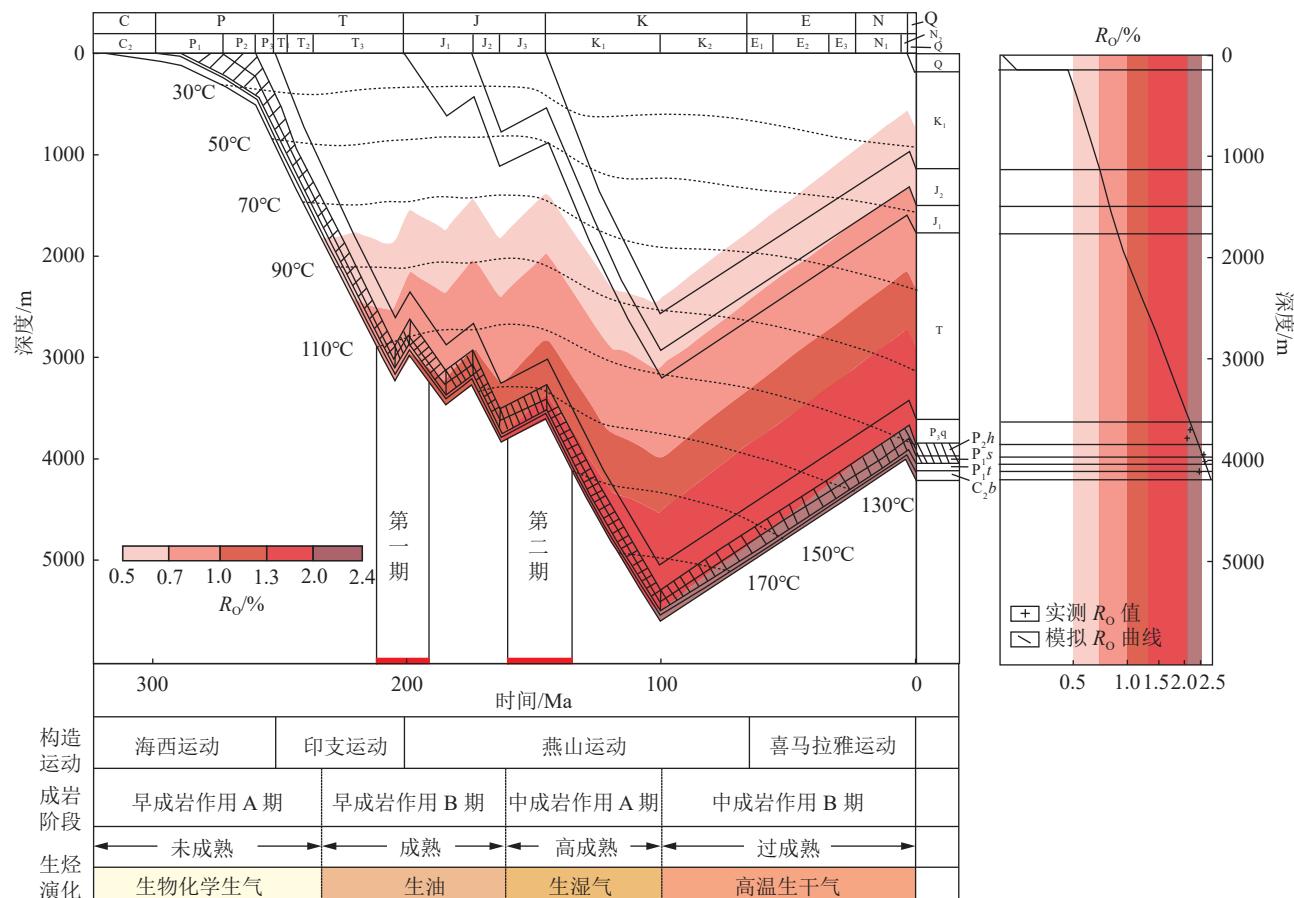


图9 吴起地区山西组-石盒子组天然气充注期次(地层代号注释同图8)

Fig. 9 Natural gas filling periods of Shanxi-Shihezi Formation in Wuqi area

与烃伴生的盐水包裹体均一温度为140~150℃,盐度为12.19%~17.5%。

(3)鄂尔多斯盆地中部吴起地区二叠系经历了2期油气充注事件:第一期为晚三叠世—早侏罗世,距今212~195 Ma,古地温110~120℃,为燕山运动初期,处于早成岩B期,有机质达到低成熟阶段,油气第一次小规模充注;第二期为晚侏罗世—早白垩世,距今155~130 Ma,古地温140~150℃,为燕山运动中期,处于中成岩A期,有机质达到成熟—高成熟阶段,次生孔隙发育,油气第二次大规模充注,为主充注期。

**致谢:**课题组同仁在论文撰写过程中给予了指导和帮助,西安阿伯塔资环分析测试技术有限公司对样品分析提供了帮助,审稿专家为本文提出了宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心感谢。

## References

Cao Q, Gao J M, Fan L Y, et al. 2015. Characteristic and significance of

fluid inclusions in Upper Paleozoic of Southwest Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 26(12): 2245~2253 (in Chinese with English abstract).

Cao Q, Wei X S, Chen Z X, et al. 2022. Hydrocarbon charge history of the Upper Paleozoic, Ordos Basin as revealed by fluid inclusions[J]. Frontiers in Physics, 10: 836977~836980.

Cao Y C. 2020. Study on sedimentary facies and sand body distribution rules of He 8 Member of the Upper Paleozoic Hedong Formation in Longdong area of Ordos Basin [D]. Master Dissertation of Chengdu University of Technology: 15~60 (in Chinese with English abstract).

Chen H H. 2007. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 28(2): 143~150 (in Chinese with English abstract).

Chen R Y, Luo X R, Chen Z K, et al. 2006. Restoration of burial history of four periods in Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 27(2): 43~47 (in Chinese with English abstract).

Cui G X. 2021. Research on reservoir characteristics of Shan 1 Member in southwest of Ordos Basin[D]. Master Dissertation of Xi'an Shiyou University: 11~54 (in Chinese with English abstract).

Duan Y F, Zhao W W, Yang T X, et al. 2024. Source-reservoir characteristics and accumulation rules of shale gas of Permian Shanxi Formation in Yan'an area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs,

- 36(3): 72–83 (in Chinese with English abstract).
- Fu J H, Guo S B, Liu X S, et al. 2013. Shale gas accumulation condition and exploration potential of the Upper Paleozoic Shanxi Formation in Ordos Basin[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 43(2): 382–389 (in Chinese with English abstract).
- Gao S L, Ren Z L. 2006. Restoration of eroded thickness and its influence on thermal evolution of Upper Paleozoic source rocks in Ordos basin[J]. Oil & Gas Geology, 27(2): 180–186 (in Chinese with English abstract).
- Hall D L, Sternier S M, Bodnar R J. 1988. Freezing point depression of NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O solutions[J]. *Economic Geology*, 83(1): 197–202.
- He D F. 2022. Multi-cycle superimposed sedimentary basins in China: Formation, evolution, geologic framework and hydrocarbon occurrence[J]. Earth Science Frontiers, 29(6): 24–59 (in Chinese with English abstract).
- He D F, Bao H P, Kai B Z, et al. 2022. Has the Ordos Block, a cratonic block been reactivated?[J]. Oil & Gas Geology, 43(6): 1271–1291 (in Chinese with English abstract).
- Jia C Z, Zheng M, Zhang Y F. 2012. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development[J]. Petroleum Exploration and Development, 39(2): 129–136 (in Chinese with English abstract).
- Li H. 2015. Research of source rocks in Upper Paleozoic, central Ordos Basin[D]. Doctoral Dissertation of Northwest University: 19–96 (in Chinese with English abstract).
- Li Y X, Wu Y W, Wang Q L, et al. 2023. Main controlling factors of continental shale gas enrichment: A case study of Shanxi Formation in Yan'an exploration area, Ordos Basin[J]. Geological Bulletin of China, 42(9): 1423–1431.
- Li M, Hou Y D, Luo J L, et al. 2016. Burial, diagenesis, hydrocarbon charging evolution process and quantitative analysis of porosity evolution: A case study from He 8 tight sand gas reservoir of the Upper Paleozoic in eastern Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 37(6): 882–892 (in Chinese with English abstract).
- Li S, Liu L, Wu J, et al. 2021. Diagenetic evolution of tight sandstone of Shanxi-Lower Shihezi Formations in the southern Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 32(1): 47–56 (in Chinese with English abstract).
- Li Y L, Ni Z Y, Li X G, et al. 2024. Difference of fault-controlled gas reservoir in Hangjinqi area, Ordos Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 54(3): 773–783 (in Chinese with English abstract).
- Liang Y, Ren Z L, Wang Y L, et al. 2011a. Characteristics of fluid inclusions and reservoir phases in the Yanchang Formation of Zichang area, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 32(2): 182–191 (in Chinese with English abstract).
- Liang Y, Ren Z L, Shi Z, et al. 2011b. Classification of hydrocarbon accumulation phases of the Yanchang Formation in the Fuxian-Zhengning area, Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 32(5): 741–748 (in Chinese with English abstract).
- Liang Z Z, Xu H T, Gao C L, et al. 2023. Characteristics of fluid inclusion and its indication to hydrocarbon charge and adjustment of the Triassic Yanchang Formation in southwestern margin of Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 28(2): 81–91 (in Chinese with English abstract).
- Liao M G, Xiao X W, Yao J L, et al. 2017. Features of fluid inclusion and their implications for hydrocarbon charging periods in the Eighth Member of the Shihezi formation, Longdong Area, Ordos Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 23(2): 315–323 (in Chinese with English abstract).
- Liu G Q, Su Z T, Hao Z L, et al. 2024. Microfacies and depositional model of a carbonate-evaporite symbiotic system of the Majiagou Formation in Ordos Basin[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 26(2): 279–295 (in Chinese with English abstract).
- Liu J L, Liu K Y, Gui L L. 2019. Fluid inclusion characteristics and hydrocarbon charge history in the Upper Paleozoic, central Ordos Basin[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 43(2): 13–24 (in Chinese with English abstract).
- Liu K, Wang R, Shi W, et al. 2020. Tectonic controls on Permian tight gas accumulation: Constraints from fluid inclusion and paleo-structure reconstruction in the Hangjinqi area, northern Ordos Basin, China[J]. *Journal of Natural Gas Science Engineering*, 83: 103616–103620.
- Liu R C, Ren Z L, Ma K, et al. 2019. Classification of hydrocarbon accumulation phases of Yanchang Formation in southern Ordos Basin[J]. Geoscience, 33(6): 1263–1274 (in Chinese with English abstract).
- Luo L R, Li J F, Yang W W, et al. 2022. Characteristics and hydrocarbon generation potential of Chang 9 source rocks on Yishaan Slope, Ordos Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 43(3): 278–284 (in Chinese with English abstract).
- Melimans R K. 1987. The application of fluid inclusions to migration of oil and diagenesis in petroleum reservoirs[J]. Applied Geochemistry, 2(5/6): 585–603.
- Qi K, Ren Z L, Cao Z P, et al. 2017. The classification of hydrocarbon charging phases of the Nantun Formation in the Modamudi Sag, Hailar Basin[J]. Journal of Petrochemical Universities, 30(1): 60–66 (in Chinese with English abstract).
- Qian Q. 2014. The study of the subsidence, uplift, erosion hydrocarbon-generating, and hydrocarbon-bearing of the source rocks in the Upper Paleozoic of Ordos Basin[D]. Master Dissertation of Northwest University: 16–95 (in Chinese with English abstract).
- Ren Z L, Liu L, Cui J P, et al. 2008. Application of tectonic-thermal evolution history to hydrocarbon accumulation timing in sedimentary basins[J]. Oil & Gas Geology, 29(4): 502–506 (in Chinese with English abstract).
- Ren Z L, Qi K, Li J B, et al. 2021. Thermodynamic evolution and hydrocarbon accumulation in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 42(5): 1030–1042 (in Chinese with English abstract).
- Song J Q, Xiao H. 2024. Characteristics of fluid inclusions and accumulation process in the second member of Dengying Formation of the Sinian in central Sichuan paleo-uplift[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 31(5): 762–770 (in Chinese with English abstract).

- Sun J B, Hao S Y, Zhao Q P, et al. 2022. Reservoir characteristics and key technologies for shale gas exploration and development of the first member of the Permian Shanxi Formation in Yan'an area[J]. China Petroleum Exploration, 27(3): 110–120 (in Chinese with English abstract).
- Sun J B, Liu G, Shi P, et al. 2023. Reservoir characteristics and analysis of shale gas resource potential in Shanxi Formation in Yan'an area[J]. Unconventional Oil & Gas, 10(1): 44–51 (in Chinese with English abstract).
- Tao H, Wang J M. 2022. Characteristics of Late Triassic inclusions and hydrocarbon source charging stages in Fuxian area, northern Shaanxi[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 42(3): 537–545 (in Chinese with English abstract).
- Weng W F, Wang J Q, Zhang R R, et al. 2011. Denudation thickness estimation of sedimentary formation in Ordos Basin by acoustic logging information[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 32(2): 143–146 (in Chinese with English abstract).
- Wu H, Liu R E, Ji Y L, et al. 2017. Fractal characteristics of pore–throat of tight gas reservoirs and its relation with percolation: A case from He 8 Member of the Permian Xiashihezi Formation in Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 35(1): 151–162 (in Chinese with English abstract).
- Xi J L, Liu X. 2023. Study on the structural characteristics of Chang 7 Formation in Wucangbao block of Yanchang Oilfield[J]. Petrochemical Industry Technology, 30(12): 169–171 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Y L, Li W, Shen P, et al. 2019. Hydrocarbon accumulation law and development prospects of Chang 10 oil layer in Wucangbao oil area[J]. Liaoning Chemical Industry, 48(7): 703–705 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y H, He D F, Kai B Z. 2023. Tectono–depositional environment and prototype basin evolution in the Ordos Basin during the Early Permian[J]. Earth Science Frontiers, 30(2): 139–153 (in Chinese with English abstract).
- Zhang F Q, Chen Z Q, Zhao Z Y, et al. 2023. Hydrocarbon accumulation periods in the Upper Paleozoic strata of the western Ordos Basin, China, based on fluid inclusions and basin modeling[J]. ACS Omega, 8(23): 20536–20549.
- Zhang N, Zhang D J, Zhang S C, et al. 2005. Determination of trace iron in cobalt sulfate by AAS after separation and preconcentration by coprecipitation with Cerium Phosphate[J]. Rock and Mineral Analysis, 24(1): 40–42, 46 (in Chinese with English abstract).
- Zhang N, Tian Z J, Ling Y Y, et al. 2007. Raman characteristics of hydrocarbons and hydrocarbon inclusions[J]. Scientia Sinica(Terrae), 37(7): 900–907 (in Chinese with English abstract).
- Zhang N, Mao G J, Wang H T, et al. 2010. Raman spectroscopic characteristics of macromolecular hydrocarbons and its significance in the study of hydrocarbon inclusions[J]. Geochimica, 39(4): 345–353 (in Chinese with English abstract).
- Zhao B S, Li R X, Qin X L, et al. 2019. Characteristics of shale reservoirs in the Upper Paleozoic Shanxi Formation, central Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 37(6): 1140–1151 (in Chinese with English abstract).
- Zhong D K, Zhou L J, Sun H T, et al. 2012. Influences of petrologic features on diagenesis and pore development: An example from the Triassic Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 33(6): 890–899 (in Chinese with English abstract).
- Zhu R J, Li R X, Liu X S, et al. 2021. Characteristics of the diagenetic evolution of tight sandstone gas reservoir and its property in the Upper Paleozoic erathem in southwestern Ordos Basin[J]. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 57(5): 637–649, 658 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 曹青,高俊梅,范立勇,等.2015.鄂尔多斯盆地西南部上古生界流体包裹体特征及其意义[J].*天然气地球科学*,26(12): 2245–2253.
- 曹杨春.2020.鄂尔多斯盆地陇东地区上古生界盒8段沉积相及砂体展布规律研究[D].成都理工大学硕士学位论文: 15–60.
- 崔改霞.2021.鄂尔多斯盆地西南部山1段储层特征研究[D].西安石油大学硕士学位论文: 11–54.
- 陈红汉.2007.油气成藏年代学研究进展[J].*石油与天然气地质*, 28(2): 143–150.
- 陈瑞银,罗晓容,陈占坤,等.2006.鄂尔多斯盆地埋藏演化史恢复[J].*石油学报*, 27(2): 43–47.
- 段逸飞,赵卫卫,杨天祥,等.2024.鄂尔多斯盆地延安地区二叠系山西组页岩气源储特征及聚集规律[J].*岩性油气藏*, 36(3): 72–83.
- 付金华,郭少斌,刘新社,等.2013.鄂尔多斯盆地上古生界山西组页岩气成藏条件及勘探潜力[J].吉林大学学报(地球科学版), 43(2): 382–389.
- 高胜利,任战利.2006.鄂尔多斯盆地剥蚀厚度恢复及其对上古生界烃源岩热演化程度的影响[J].*石油与天然气地质*, 27(2): 180–186.
- 何登发.2022.中国多旋回叠合沉积盆地的形成演化、地质结构与油气分布规律[J].地学前缘, 29(6): 24–59.
- 何登发,包洪平,开百泽,等.2022.鄂尔多斯克拉通地块活化了吗?[J].*石油与天然气地质*, 43(6): 1271–1291.
- 贾承造,郑民,张永峰.2012.中国非常规油气资源与勘探开发前景[J].石油勘探与开发, 39(2): 129–136.
- 李浩.2015.鄂尔多斯盆地中部上古生界烃源岩研究[D].西北大学博士学位论文: 19–96.
- 李艳霞,吴雨威,王巧玲,等.2023.陆相页岩气富集主控因素——以鄂尔多斯盆地延安探区山西组为例[J].*地质通报*, 42(9): 1423–1431.
- 李杪,侯云东,罗静兰,等.2016.致密砂岩储层埋藏—成岩—油气充注演化过程与孔隙演化定量分析——以鄂尔多斯盆地东部上古生界盒8段天然气储层为例[J].*石油与天然气地质*, 37(6): 882–892.
- 李松,刘玲,吴疆,等.2021.鄂尔多斯盆地南部山西组–下石盒子组致密砂岩成岩演化[J].*天然气地球科学*, 32(1): 47–56.
- 李勇霖,倪智勇,李晓光,等.2024.鄂尔多斯盆地杭锦旗地区断控气藏差异[J].吉林大学学报(地球科学版), 54(3): 773–783.
- 梁宇,任战利,王彦龙,等.2011a.鄂尔多斯盆地子长地区延长组流体包裹体特征与油气成藏期次[J].*石油与天然气地质*, 32(2): 182–191.

- 梁宇, 任战利, 史政, 等. 2011b. 鄂尔多斯盆地富县—正宁地区延长组油气成藏期次 [J]. 石油学报, 32(5): 741–748.
- 梁正中, 许红涛, 高超利, 等. 2023. 鄂尔多斯盆地西南缘三叠系延长组流体包裹体特征及对油气充注调整的指示 [J]. 中国石油勘探, 28(2): 81–91.
- 廖明光, 肖雪薇, 姚泾利, 等. 2017. 陇东地区盒 8 段流体包裹体特征及成藏期次研究 [J]. 高校地质学报, 23(2): 315–323.
- 刘国庆, 苏中堂, 郝志磊, 等. 2024. 鄂尔多斯盆地马家沟组碳酸盐岩-膏盐岩共生体系沉积微相与沉积模式 [J]. 古地理学报, 26(2): 279–295.
- 刘建良, 刘可禹, 桂丽黎. 2019. 鄂尔多斯盆地中部上古生界流体包裹体特征及油气充注史 [J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 43(2): 13–24.
- 刘润川, 任战利, 马侃, 等. 2019. 鄂尔多斯盆地南部延长组油气成藏期次研究 [J]. 现代地质, 33(6): 1263–1274.
- 罗丽荣, 李剑锋, 杨伟伟, 等. 2022. 鄂尔多斯盆地伊陕斜坡长 9 烃源岩特征与生烃潜力 [J]. 新疆石油地质, 43(3): 278–284.
- 祁凯, 任战利, 曹展鹏, 等. 2017. 海拉尔盆地莫达木吉凹陷南屯组油气充注期次研究 [J]. 石油化工高等学校学报, 30(1): 60–66.
- 钱强. 2014. 鄂尔多斯盆地上古生界烃源岩沉积、沉降、抬升剥蚀及生烃性、含烃性研究 [D]. 西北大学硕士学位论文: 16–95.
- 任战利, 刘丽, 崔军平, 等. 2008. 盆地构造热演化史在油气成藏期次研究中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 29(4): 502–506.
- 任战利, 祁凯, 李进步, 等. 2021. 鄂尔多斯盆地热动力演化史及其对油气成藏与富集的控制作用 [J]. 石油与天然气地质, 42(5): 1030–1042.
- 宋嘉琦, 肖晖. 2024. 川中古隆起震旦系灯二段流体包裹体特征与成藏过程 [J]. 断块油气田, 31(5): 762–770.
- 孙建博, 郝世彦, 赵谦平, 等. 2022. 延安地区二叠系山西组 1 段页岩气储层特征及勘探开发关键技术 [J]. 中国石油勘探, 27(3): 110–120.
- 孙建博, 刘刚, 史鹏, 等. 2023. 延安地区山西组页岩气储层特征及资源潜力分析 [J]. 非常规油气, 10(1): 44–51.
- 陶华, 王建民. 2022. 陕北富县地区晚三叠世包裹体特征及烃类充注期次 [J]. 西安科技大学学报, 42(3): 537–545.
- 翁望飞, 王建强, 张蓉蓉, 等. 2011. 利用声波测井技术计算地层剥蚀厚度——以鄂尔多斯盆地为例 [J]. 新疆石油地质, 32(2): 143–146.
- 吴浩, 刘锐娥, 纪友亮, 等. 2017. 致密气储层孔喉分形特征及其与渗流的关系——以鄂尔多斯盆地下石盒子组盒 8 段为例 [J]. 沉积学报, 35(1): 151–162.
- 席建丽, 刘祥. 2023. 吴起油田吴仓堡区块长 7 地层构造特征研究 [J]. 石化技术, 30(12): 169–171.
- 袁耀利, 李炜, 申鹏, 等. 2019. 吴仓堡油区长 10 油气成藏规律与勘探开发前景 [J]. 辽宁化工, 48(7): 703–705.
- 张鼐, 张大江, 张文昌, 等. 氯盐溶液的拉曼光谱特征及测试探讨 [J]. 岩矿测试, 2005, (1): 40–42, 46.
- 张鼐, 田作基, 冷莹莹, 等. 2007. 烃和烃类包裹体的拉曼特征 [J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 37(7): 900–907.
- 张鼐, 毛光剑, 王汇彤, 等. 2010. 大分子烃类拉曼光谱特征及在烃包裹体研究中的意义 [J]. 地球化学, 39(4): 345–353.
- 翟咏荷, 何登发, 开百泽. 2023. 鄂尔多斯盆地及邻区早二叠世构造-沉积环境与原型盆地演化 [J]. 地学前缘, 30(2): 139–153.
- 赵帮胜, 李荣西, 覃小丽, 等. 2019. 鄂尔多斯盆地中部上古生界山西组页岩储层特征 [J]. 沉积学报, 37(6): 1140–1151.
- 钟大康, 周立建, 孙海涛, 等. 2012. 储层岩石学特征对成岩作用及孔隙发育的影响——以鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组为例 [J]. 石油与天然气地质, 33(6): 890–899.
- 朱瑞静, 李荣西, 刘新社, 等. 2021. 鄂尔多斯盆地西南部上古生界致密砂岩气储层成岩演化特征及物性演化 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 57(5): 637–649, 658.