

油气输导体系研究技术思路与展望

林玉祥, 郭凤霞, 孙宁富, 孟彩, 李晓凤, 闫晓霞, 刘虎

(山东科技大学地球科学与工程学院, 山东青岛266590)

摘要:在前人研究基础上,根据多年油气输导体系研究经验,提出了油气输导体系研究的技术方法和步骤,认为古孔隙恢复、古压力恢复、古构造恢复以及成藏期分析是油气输导体系研究中的关键技术。系统总结了关键技术的研究方法与最新进展,确定有效输导体系,正确预测未知油气藏。对目前油气输导体系研究中存在的问题进行了归纳,并对今后的发展趋势进行了预测。

关键词:古孔隙恢复;古压力恢复;古构造恢复;输导体系;油气

中图分类号:P618.13

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)02-0011-09

Technical Ideas and Prospect of Petroleum Transportation System

Lin Yuxiang, Guo Fengxia, Sun Ningfu, Meng Cai, Li Xiaofeng, Yan Xiaoxia, Liu Hu

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

Abstract: This paper proposed the technical ideas and research prospect of petroleum transportation system based on the knowledge of previous findings and the authors' years of research work in this filed. The key technology in this study was believed to contain the following: the paleopore reconstruction, the paleopressure reconstruction, the paleostructure reconstruction and the analysis of petroleum accumulation period. The research methods and the recent progress of the key technology were summarized. These research methods are proved to be important to restore the petroleum transportation system of accumulation period, determine the effective transportation system, and predict unknown oil-gas reservoir.

Key words: paleopore reconstruction; paleopressure reconstruction; paleostructure reconstruction; petroleum transportation system; petroleum

油气输导体系是油气成藏的重要因素,前人对于输导体系的研究方法做出了不同的总结^[1-4],主要包括沉积成岩法、层序地层学方法、地球化学和地球物理方法、成藏动力学以及盆地模拟法等。近年来,油气输导体系的研究开始侧重于对古输导格架的建立,恢复大规模油气运聚时期的输导格架,以判断优势输导体系,指导油气勘探。例如陈占坤等^[5]以沉积微相分析为基础,结合成岩作用分析,对油气运移前的古孔隙分布进行研究,并结合现今孔渗关系,对油气运移前的渗透率进行了恢复,恢复油气大规模运聚成藏时期砂岩输导特征,最终得出油气运聚的优势通道。陈瑞银等^[6]利用成岩序列分析成岩作用对储层孔隙的影响,恢复油气充注期的储层孔隙度,建立研究区油气输导格架,并对油气运移路径进行了模拟。吴东胜等^[7]根据中期旋回层序划分油气运聚单元,建立初始地质概念模型,采用砂地比作为渗透性砂体输导性能的评价参数,以启闭性作为断层输导性能综合评价的基本参数,基于栅格数据模型构建了综合表征砂岩输导体、构造形态和断层

收稿日期:2013-07-04

基金项目:国家自然科学基金项目(41172108);国家油气专项“十二五”课题(2011ZX05033-04,2011ZX05004-01);中国石油“十二五”科技攻关课题(2011A-0203)

作者简介:林玉祥(1963—),男,山东临清人,教授,博士生导师,主要从事油气地质方面的研究。E-mail:sdkdlyx@126.com

分布的三维输导格架数字模型。罗晓容等^[8]运用盆地模拟的方法恢复了埕北断阶带的油气运移路径。本文在前人工作基础上,根据多年的油气输导体系研究经验,提出了油气输导体系研究的技术方法和步骤。

1 输导体系研究流程

在对油气输导体系进行研究时,应根据研究区的实际基础地质资料,综合分析各种方法,相互印证,评价出优势输导体系,准确预测有利区,指导油气勘探。本文提出的输导体系研究方法流程基于前期油气输导机制的研究成果(图 1)。其中,古孔隙、古压力、古构造以及成藏期分析是建立古输导格架的关键。

输导体系的研究以基础地质资料为依据,结合测井、地震等资料,首先确定现今的输导格架;然后,对成藏时期的古孔隙、古压力、古构造进行恢复,恢复大规模油气运聚时期的输导体系,继而评价成藏期输导体系的输导空间、动力和方向等,判断输导能力,评价有效输导体系,结合已知油气藏分布规律,正确预测未知油气藏,为油气勘探提供更加准确、有效的技术支持和信息。

2 输导体系研究中的关键技术

2.1 古孔隙恢复

2.1.1 古孔隙恢复方法

古孔隙度是研究油气成藏的重要条件,它是研究地层古压力的前提,可以帮助研究者恢复古输导格架,分析其演化过程,对油气成藏机制研究具有重要意义。在沉积盆地中,地层孔隙度一般随埋藏深度的增加而逐渐减小。Athy^[9]认为,泥岩孔隙度与埋深在正常压实条件下为一种指数关系。但事实证明,不能简单地用埋深来表达地层孔隙度^[10]。刘震等^[11]在研究二连盆地后得出,泥岩孔隙度与镜质体反射率 R_o 之间的关系可能是一种幂函数关系。邵新军等^[12-13]指出,古孔隙度与埋藏深度及相应的埋藏时间有关,地下岩石孔隙度可能是岩石埋藏历史对经历时间的积分,是一个二元函数。建立科学合理的孔隙度演化模型是恢复欠压实泥岩地层古压力的关键。

上述古孔隙恢复方法只是对正常压实过程的孔隙度演化进行的研究,而在实际研究中,由于井点取心等因素的影响,无法准确获取欠压实发育地层孔隙度的实测数据。因此,一般都是根据测井资料和孔隙度之间的关系^[14-15],运用时间平均方程或根据一些经验公式来定量表述地层欠压实最大幅度的孔隙度。但是以上方法仅对现今欠压实孔隙度增量进行定量计算,仍然无法精确地恢复成藏时期的古孔隙。

2.1.2 古孔隙恢复新进展

近年来,古孔隙恢复的研究有了新的进展。潘高峰等^[16]以效应模拟为原则,包括增孔作用和减孔作用模型,通过模型叠加得到总孔隙度演化模型。考虑了建设性和破坏性成岩的综合作用,以现今孔隙度作为约束条件,时间为变量,提出了利用数值模拟恢复砂岩古孔隙度的方法。王菁等^[10]认为自成藏期到最大埋深期,欠压实幅度随流体排出和地层超压释放而减小,并以成藏期古埋深恢复为基础,根据最大埋深期孔隙度增量与埋深的关系,反推泥岩古孔隙度增量,然后加上相应的正常压实孔隙度即可求出成藏期欠压实泥岩古孔隙度。梁东芳等^[17]提出了利用孔隙度综合影响因子 F (F 是粒度中值、分选系数、胶结物含量的综合响应,是随着成岩阶段和深度变化的分段函数)来建立孔隙度演化曲线图版,根据建立的图版可以恢复关键成藏期储层的古孔隙度。

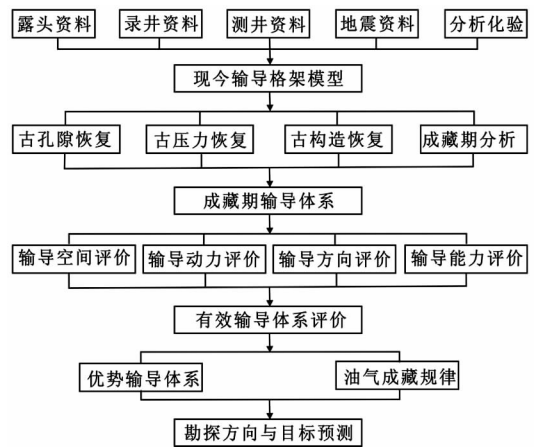


图 1 油气输导机制研究方法流程图

Fig. 1 The research method flow chart of petroleum transportation mechanism

古孔隙度的恢复方法概括起来可以分为 3 类^[16]:①根据“将今论古”原理,首先分析现今孔隙度特征,然后通过回归分析建立孔隙度随深度、温度或者时间的演化模型^[13];②通过岩石薄片观察,研究成岩序列以及成岩作用对孔隙度影响大小,然后经过补偿校正恢复地层的古孔隙度^[18-20];③综合各种分析方法,优势互补,恢复古孔隙度。

2.2 古压力恢复

2.2.1 古压力恢复方法

恢复古地层压力的方法有很多,主要包括 Fillippone 法^[21-22]、流体包裹体法^[23-24]、粘土矿物法^[25]、声波时差法^[26]及盆地模拟法^[27-28]等。

流体包裹体法是人们较早用来恢复古压力的有效手段,根据流体包裹体均一温度和流体成分之间的平衡关系来确定古压力的方法越来越受到人们的重视^[29-31]。应用流体包裹体恢复古压力的方法有很多,各有不同的适用条件及范围,主要包括 CO₂ 容度法、均一温度-盐度法、流体包裹体模拟法、利用 NaCl-H₂O 溶液包裹体的密度式和等容式法、不混溶流体包裹体法和 CO₂ 拉曼光谱法^[31]。

2.2.2 古压力恢复新进展

刘震等^[32]提出“回归反推”欠压实泥岩古孔隙度的恢复方法,以泥岩排烃释压机制为基础,首先恢复泥岩地层的古埋深,然后根据成藏期孔隙度增量与深度间的关系,计算成藏期孔隙度增量,再根据孔隙度与深度、时间的二元函数计算成藏期的正常压实孔隙度,最后加上成藏期欠压实作用形成的孔隙度增量,便可得到成藏期泥岩欠压实总孔隙度,换算出泥岩地层古压力。

目前,大多数人认为泥岩的孔隙度可以直接反映泥岩的压力特征,因此,古孔隙度的合理恢复即是研究泥岩古压力的核心,如上所述,古孔隙度恢复的方法有很多种,科学合理地恢复古孔隙度便可更加准确地恢复古压力的变化。

2.3 古构造恢复

2.3.1 古构造恢复方法

古构造是指某一地质时期的构造,它控制了含油气盆地中的油气输导格架,进而影响油气的运移和聚集,准确恢复成藏期的古构造是建立含油气盆地中输导格架的前提。

前人对含油气盆地古构造恢复进行过许多研究,主要有“宝塔图”法^[33-34]、平衡剖面法^[35-38]、地层厚度图法^[39-40]、地震属性恢复古构造法^[41]、三维空间古构造恢复方法^[42]、同一变形体古构造恢复法^[43]等。然而,构造演化极其复杂,并受多种地质因素影响,但目前的古构造恢复方法和技术都存在一定局限性,很难对古构造进行精确的定量研究(表 1)。

表 1 古构造恢复方法综合分析表^[39]

Tab. 1 The summary analysis of palaeostructure recovery methods

方法	方法原理	适用范围	存在问题
“宝塔图”法	地层回剥原理	具有多个作图界面的研究区	工作量大,对断层和不整合欠考虑
厚度图法	沉积-沉降补偿原理	构造变形相对平缓、简单的地区	不适用于复杂的构造变形区
平衡剖面法	面积守恒、层长一致、位移一致和缩短量一致的几何学原则	主要为挤压伸展构造区	受地震剖面精度的影响,对构造与反转构造的恢复有局限性
地震属性恢复古构造法	通过波场重建,利用三维可视化技术研究古构造	易获得高精度地震数据体的地区	波场重建精度不高
三维空间古构造恢复法	构造恢复原理	复杂构造变形区	使用的地质模型多简化,与实际情况存在误差,造成恢复的不准确
同一变形体古构造恢复法	三维空间体积不变原则	—	使用的地质模型多简化,与实际情况存在误差,造成恢复的不准确

2.3.2 古构造恢复新进展

上述古构造恢复的方法和思路都是以平衡剖面和沉降补偿原理等为基础,均需解决剥蚀量恢复、去断层、去褶皱、去压实校正以及古水深校正等关键技术。因此,对古构造恢复中的关键技术进行改进成为今后研究古构造恢复的重中之重^[40]。古构造及其演化是三维空间上的变化,以各种基础地质资料为基础,结合地球物理模型、地球化学模型和地质模型,利用计算机三维模拟技术进行古构造恢复,将成为古构造恢复发展的主导方向^[40]。

古构造恢复首先要进行剥蚀量恢复,地层剥蚀量恢复方法很多(图 2),剥蚀量恢复的精度直接影响古构造恢复的精度,需要根据具体资料的掌握情况与技术支持选择更为科学合理的方法。

其次,要消除断层的影响,即去断层恢复,目前比较常用的方法是斜剪切法(图 3)。在去断层恢复后,还要进行地层褶皱恢复,以消除构造变形对地层的影响。对于挤压褶皱,通常使用“弯滑曲褶皱”方法进行去褶皱恢复(图 4)^[40]。

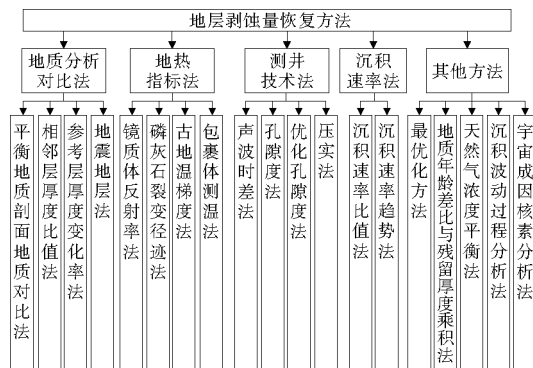


图 2 恢复地层剥蚀量的方法^[40]

Fig. 2 The method of calculation strata denudation

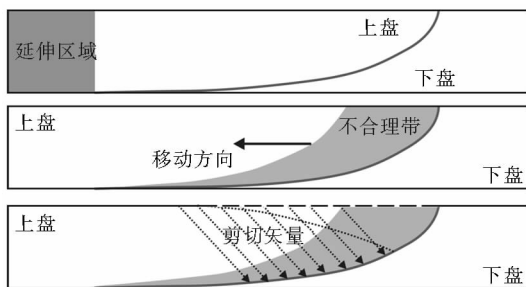


图 3 斜剪切算法恢复断层示意图^[39]

Fig. 3 Sketch map showing fault recovery by oblique shear calculation

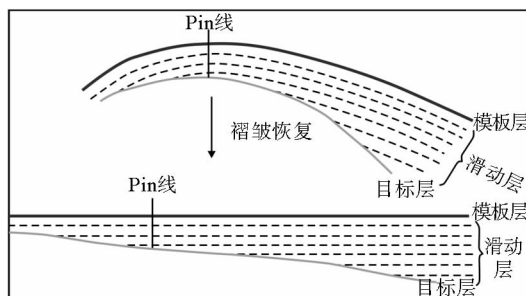


图 4 弯滑曲褶皱方法恢复褶皱示意图^[39]

Fig. 4 Sketch map showing fold recovery by bend gliding fold method

地层拉平后,其下部地层的埋藏深度不一,在回剥过程中需要考虑差异压实对地层厚度的影响。因此,还需要去压实恢复。去压实恢复通常只考虑埋藏深度的变化,主要表现为孔隙度变化,因此,去压实恢复实际上是地层孔隙度的恢复^[40]。

由于岩石的压实过程受很多因素影响,如岩性、上覆静岩压力、沉降速率、构造应力、地层含水特性、地层结构,甚至埋藏时间等。因此,在去断层和去褶皱恢复后,还要进行去压实校正和古水深校正^[40]。

2.4 成藏期分析

2.4.1 成藏期分析方法

传统的成藏期分析方法是一种间接确定油气成藏期的方法,通过研究盆地的沉积埋藏史、生排烃史和运聚史等分析油气成藏期^[44-45]。主要包括圈闭形成时间法与生排烃史法、饱和和压力-露点压力法和油水界面追溯法。传统的成藏期分析方法的分析对象往往不是油气藏本身,而是通过盆地构造演化及烃源岩的生排烃史来间接推断油气藏的成藏期,为盆地尺度的成藏期次^[45]。

2.4.2 成藏期分析新进展

近年来,基于地球化学和有机岩石学的发展,人们开始应用地球化学和岩石学方法进行油气成藏期研

究^[45-46],主要包括:①生烃期和成藏期分析方法;②流体历史分析法,即储层固体沥青分析、储层成岩作用分析、流体包裹体测年法、成岩矿物定年法;③油储磁性矿物古地磁学法;④油藏地球化学法;⑤油田卤水碘同位素测年法。

3 应用效果分析

以鄂尔多斯盆地陇东地区为例,说明油气输导格架建立的方法。陇东地区延长组地层构造简单,油气运移的主要路径是沉积砂体。因此,对于其古输导格架的恢复研究,可以简化为对其砂岩体空间展布及其输导性能进行研究^[5]。

通过孔隙度和渗透率恢复,结合古剩余压力和砂体展布情况,建立用渗透率数值表示的研究区油气主要充注期(早白垩世末)输导格架^[6](图5)。

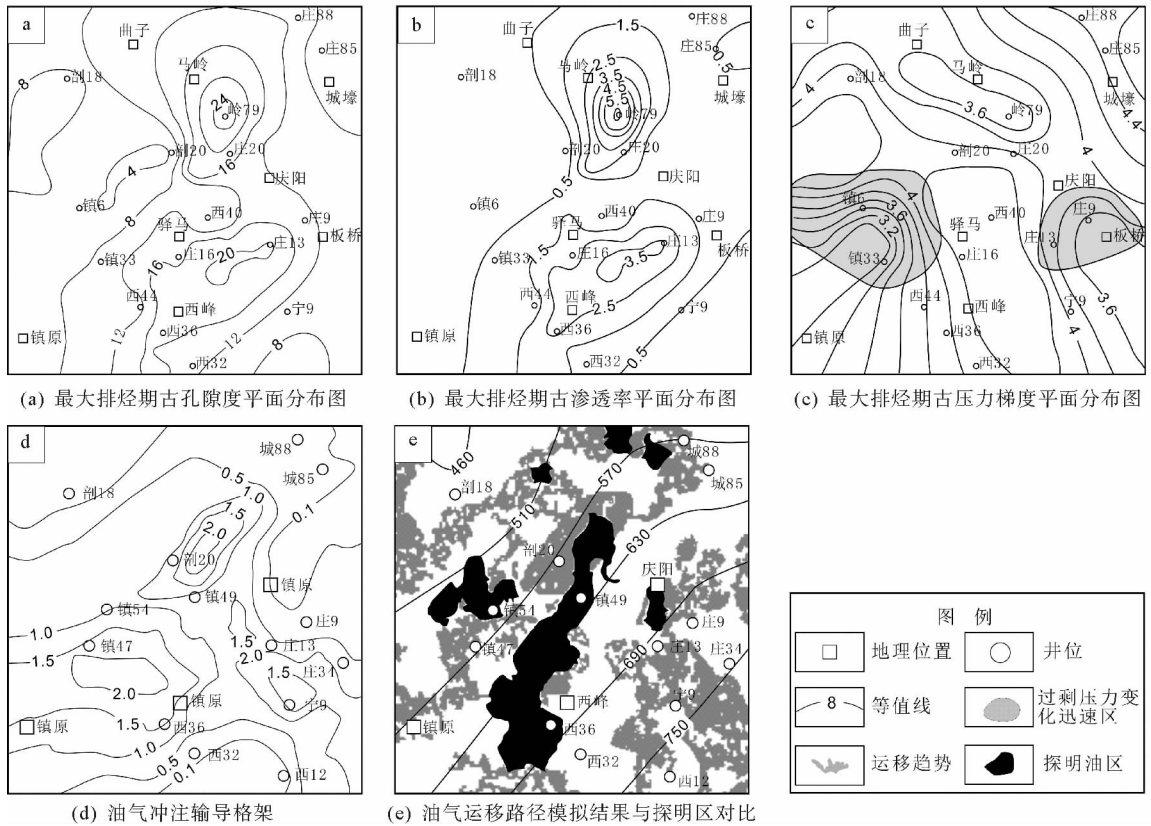


图5 陇东地区长8段最大排烃期油气运转移导格架图

Fig. 5 Petroleum transportation framework research of Chang 8 Sub-Formation during hydrocarbon being infused in Longdong area

根据已建立的输导层格架、顶面构造起伏、生烃门限所确定的生烃范围,应用基于逾渗理论的石油运移路径数值模型,模拟了最大排烃期油气的运聚过程^[6]。并与目前探明油区对比(图5)表明,油气输导的路径主要沿高渗透性砂体分布。由图5可知,探明油区位置与油气输导路径较吻合。说明油气主要充注期的输导层格架决定了现今油气的分布,建立的输导格架可较好地反映成藏期输导层的输导性能^[6]。

但是,由于对油气充注期各成岩作用对孔隙大小的改变量判定存在一定的误差,同时用现今孔隙度-渗透率关系反演古渗透率的方法可靠性不够,因此得到的古输导层格架精度不高,还存在很多问题。

对于古输导体系组成要素及其演化复杂的地区,古输导格架的建立则更加困难。由于上述各种技术方法均有其适应条件和使用范围,存在一定的缺陷。因此,只有不断完善各种技术方法的基础理论,宏观与微

观、定性与定量相结合,并综合各种技术方法的优势进行综合研究,才能精确地恢复我国各类复杂叠合盆地的古输导格架。

4 输导体系研究中的问题与发展趋势

4.1 输导体系研究中存在的问题

输导体系研究的精度受到各种方法和技术的限制,还存在以下问题:①对于输导体系的研究多侧重静态描述,对输导体系动态演化的研究较少;②对现今的输导体系研究较多,对地质历史时期各主要成藏期的输导格架及其对油气成藏的作用研究较少,需要恢复古输导格架,判断优势输导体系;③对古孔隙、古构造、古压力及成藏期分析方法较多,但缺少统一的研究方法,计算的准确性和预测精度还有待提高。

4.2 输导体系研究的发展趋势

1)静态与动态相结合。从地质历史演化的动态角度研究各主要成藏期的古输导格架及其时空演化过程。

2)定性与定量相结合。重点分析有效输导体系输导性能的优劣及其对油气成藏的作用,定量描述各有效输导体系的输导能力,并判断优势输导体系。

3)理论与勘探实践相结合。采用多学科联合攻关进行理论与总结,同时密切结合勘探实践,特别是当前的勘探热点进行预测,既对勘探起指导作用,又可利用勘探结果验证、反馈与完善输导体系研究成果,从而得到符合地质实际的输导体系理论与研究方法。

4)多种研究方法相结合。输导体系的研究应向综合运用多学科知识,地质分析、地质建模与物理模拟、计算机模拟相结合的方向发展。

参考文献:

- [1]姜建群,胡建武.含油气系统中流体输导体系的研究[J].新疆石油地质,2000,21(3):193-196.
Jiang Jianqun, Hu Jianwu. On fluid conducting system in petroleum system[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(3): 193-196.
- [2]张照录,王华,杨红.含油气盆地的输导体系研究[J].石油与天然气地质,2000,21(2):133-135.
Zhang Zhaolu, Wang Hua, Yang Hong. Study on passage system of petroliferous basins[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 133-135.
- [3]沈朴,张善文,林会喜,等.油气输导体系研究综述[J].油气地质与采收率,2010,17(4):4-8.
Shen Pu, Zhang Shanwen, Lin Huixi, et al. Overview on hydrocarbon migration pathway[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(4): 4-8.
- [4]陈欢庆,朱筱敏,张琴,等.输导体系研究进展[J].地质论评,2009,55(2):269-276.
Chen Huanqing, Zhu Xiaomin, Zhang Qin, et al. Advances in pathway system research[J]. Geological Review, 2009, 55(2): 269-276.
- [5]陈占坤,吴亚生,罗晓容,等.鄂尔多斯盆地陇东地区长8段古输导格架恢复[J].地质学报,2006,80(5):718-723.
Chen Zhankun, Wu Yasheng, Luo Xiaorong, et al. Reconstruction of paleo-passage system of Chang 8 Formation in Longdong Area, Ordos Basin[J]. Acta Geological Sinica, 2006, 80(5): 718-723.
- [6]陈瑞银,罗晓容,吴亚生.利用成岩序列建立油气输导格架[J].石油学报,2007,28(6):43-51.
Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Wu Yasheng. Construction of hydrocarbon passage framework using diagenetic sequence information[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(6): 43-51.
- [7]吴东胜,郭惠平,李先平,等.霸县凹陷文安斜坡油气输导格架的三维表征[J].长江大学学报:自然科学版(理工),2012,9(12):23-27.
Wu Dongsheng, Guo Huiping, Li Xianping, et al. 3D representation of petroleum conduit framework in Wen'an slope of Baxian Depression[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2012, 9(12): 23-27.
- [8]罗晓容,张立宽,廖前进,等.埕北断阶带沙河街组油气运移动力学过程模拟分析[J].石油与天然气地质,2007,28(2):191-197,215.
Luo Xiaorong, Zhang Likuan, Liao Qianjin, et al. Simulation of hydrocarbon migration dynamics in Shahejie Formation of

- Chengbei fault step zone[J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(2): 191-197, 215.
- [9] Athy L F. Density porosity and compaction of sedimentary rock[J]. *AAPG Bulletin*, 1930, 14: 1-24.
- [10] 王菁, 刘震, 朱文奇, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长7段泥岩古孔隙度恢复方法研究[J]. *现代地质*, 2012, 26(2): 384-392.
Wang Jing, Liu Zhen, Zhu Wenqi, et al. Restoration of paleo-porosity of shale within Chang 7 Member of Yanchang Formation, Jiuyuan, Ordos Basin[J]. *Geoscience*, 2012, 26(2): 384-392.
- [11] 刘震, 武耀辉. 泥岩压实程度与热成熟度关系分析[J]. *地质论评*, 1997, 43(3): 290-296.
Liu Zhen, Wu Yaohui. Analysis on relation between compaction of mudstone and thermal maturity[J]. *Geological Review*, 1997, 43(3): 290-296.
- [12] 邵新军, 刘震, 崔文富. 沉积盆地地层古埋深的恢复[J]. *石油勘探与开发*, 1999, 26(3): 33-35.
Shao Xinjun, Liu Zhen, Cui Wenfu. Restoration of the paleo-burial depth of strata in deposition basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1999, 26(3): 33-35.
- [13] 刘震, 邵新军, 金博, 等. 压实过程中埋深和时间对碎屑岩孔隙度演化的共同影响[J]. *现代地质*, 2007, 21(1): 125-132.
Liu Zhen, Shao Xinjun, Jin Bo, et al. Co-effect of depth and burial time on the evolution of porosity for clastic rocks during the stage of compaction[J]. *Geoscience*, 2007, 21(1): 125-132.
- [14] 付广, 庞雄奇, 姜振学, 等. 欠压实地层古地层压力恢复的统计模拟法及其在松辽盆地中的应用[J]. *沉积学报*, 1996, 14(1): 69-77.
Fu Guang, Pang Xiongqi, Jiang Zhenxue, et al. The statistics modelling method of recovering the ancient pressures of abnormal compaction strata and its application to Songliao Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(1): 69-77.
- [15] 付广, 张发强. 利用声波时差资料研究欠压实泥岩盖层古压力封闭能力的方法[J]. *石油地球物理勘探*, 1998, 33(6): 812-818.
Fu Guang, Zhang Faqiang. A method for analysing the palaeo-pressure sealing ability of poorly compacted shale barrier with the use of acoustic logging data[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 1998, 33(6): 812-818.
- [16] 潘高峰, 刘震, 胡晓丹. 镇泾长8砂岩古孔隙度恢复方法与应用[J]. *科技导报*, 2011, 29(3): 34-38.
Pan Gaofeng, Liu Zhen, Hu Xiaodan. Restoration methodology of sandstone paleoporosity and its application to Chang Formation in Zhenjing area[J]. *Science & Technology Review*, 2011, 29(3): 34-38.
- [17] 渠冬芳, 姜振学, 刘惠民, 等. 关键成藏期碎屑岩储层古孔隙度恢复方法[J]. *石油学报*, 2012, 33(3): 404-413.
Qu Dongfang, Jiang Zhenxue, Liu Huimin, et al. A reconstruction method of porosity for clastic reservoirs during the crucial period of hydrocarbon accumulation[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(3): 404-413.
- [18] 禚喜准, 王琪, 陈国俊, 等. 珠江口盆地恩平凹陷碎屑岩储层孔隙度纵向演化特征[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(5): 643-647, 666.
Gao Xizhun, Wang Qi, Chen Guojun, et al. Vertical porosity variation of clastic reservoir rock in Enping Sag, Zhujiangkou Basin[J]. *Natural Gas Geosciences*, 2007, 18(5): 643-647, 666.
- [19] 李明刚, 禚喜准, 陈刚, 等. 恩平凹陷珠海组储层的孔隙度演化模型[J]. *石油学报*, 2009, 30(6): 862-868.
Li Minggang, Gao Xizhun, Chen Gang, et al. Application of porosity evolution model to reservoir assessment of Zhuhai Formation in Enping Sag[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(6): 862-868.
- [20] 邓秀芹, 刘新社, 李士祥. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组超低渗透储层致密史与油藏成藏史[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(2): 156-161.
Deng Xiuqin, Liu Xinshe, Li Shixiang. The relationship between compacting history and hydrocarbon accumulating history of the super-low permeability reservoirs in the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(2): 156-161.
- [21] Fillippone W R. Estimation of formation parameters and the prediction of overpressures from seismic data[J]. *Geophysics*, 1983, 48(4): 482-483.
- [22] 刘震, 张万选, 张厚福, 等. 辽西凹陷北洼下第三系异常地层压力分析[J]. *石油学报*, 1993, 14(1): 14-23.
Liu Zhen, Zhang Wanxuan, Zhang Houfu, et al. An analysis of abnormal formation pressures of paleogene in the north sag of Liaoxi Depression[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1993, 14(1): 14-23.
- [23] 刘斌, 沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 15-19.
- [24] 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.

- [25] 邹海峰. 大港探区前第三系古流体和古温压特征及演化[D]. 长春: 吉林大学, 2000: 32-39.
- [26] 刘福宁. 异常高压区的古沉积厚度和古地层压力恢复方法探讨[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(2): 180-185.
Liu Funing. An approach to reconstruction of paleo-sedimentary thickness and paleo-formation pressure[J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(2): 180-185.
- [27] 李善鹏, 邱楠生. 利用盆地模拟方法分析昌潍坳陷古压力[J]. 新疆石油学院学报, 2003, 15(4): 5-8.
Li Shanpeng, Qiu Nansheng. Analyzing the paleopressure of Changwei Depression by the use of basin modeling method[J]. Journal of Xinjiang Petroleum Institute, 2003, 15(4): 5-8.
- [28] 曹强, 叶加仁, 郭飞飞, 等. 伊通盆地莫里青断陷地层压力演化与油气运聚[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39(4): 642-649.
Cao Qiang, Ye Jiaren, Guo Feifei, et al. Application of fluid inclusion in palaeopressure modelling research[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2009, 39(4): 642-649.
- [29] 刘斌. 利用不混溶流体包裹体作为地质温度计和地质压力计[J]. 科学通报, 1986, 31(18): 1432-1436.
Liu Bin. Using immiscible fluid inclusions as a geological thermometer and pressure gauge[J]. Chinese Science Bulletin, 1986, 31(18): 1432-1436.
- [30] Aplin A C, Larter S R, Bigge M A, et al. PVTX history of the North Sea's Judy oilfield[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2000, 69/70: 641-644.
- [31] 李静, 查明. 基于流体包裹体的任丘油田雾迷山组成藏期确定与古压力恢复[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2010, 34(4): 38-43.
Li Jing, Zha Ming. Determination of oil accumulation period and building up of paleopressure of Wumishan Formation in Renqiu Oilfield by using fluid inclusion[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2010, 34(4): 38-43.
- [32] 刘震, 陈凯, 朱文奇, 等. 鄂尔多斯盆地西峰地区长 7 段泥岩古压力恢复[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2012, 36(2): 1-7.
Li Jing, Chen Kai, Zhu Wenqi, et al. Paleo-pressure restoration of Chang 7 shale in Xifeng area, Ordos Basin[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2012, 36(2): 1-7.
- [33] 奈曼 B B, 王阡劳, 刘池洋, 译. 古构造分析的理论和方法[M]// 何明喜, 刘池洋. 盆地走滑变形研究与古构造分析. 西安: 西北大学出版社, 1992: 177-225.
- [34] 漆家福, 杨桥, 王子煜, 等. 关于编制盆地构造演化剖面的几个问题的讨论[J]. 地质论评, 2001, 47(4): 388-392.
Qi Jiafu, Yang Qiao, Wang Ziyu, et al. Some problems about compiling tectonic evolution sections of basin[J]. Geological Review, 2001, 47(4): 388-392.
- [35] Dahlstrom C D A. Balanced cross sections[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1969, 6(4): 743-757.
- [36] Suppe J. Geometry and kinematics of fault-bend folding[J]. American Journal of Science, 1983, 283: 684-721.
- [37] Shaw J H, Suppe J. Structural trend analysis by axial surface mapping[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(5): 700-721.
- [38] Rowan M G, Linares R. Fold-evolution matrices and axial-surface analysis of fault-bend folds: Application to the Medina anticline eastern Cordillera, Columbia[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(6): 741-764.
- [39] 马如辉, 王安志. 利用构造恢复原理制作古构造演化图[J]. 天然气工业, 2006, 26(1): 34-36.
Ma Ruhui, Wang Anzhi. Creation of structural evolution diagrams with structural recovery principal[J]. West China Petroleum Geosciences, 2006, 2(2): 185-188.
- [40] 久凯, 丁文龙, 李春燕, 等. 含油气盆地古构造恢复方法研究及进展[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(1): 13-19.
Jiu Kai, Ding Wenlong, Li Chunyan, et al. Advance of paleostructure restoration methods for petroliferous[J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24(1): 13-19.
- [41] 张卫华, 陈胜红. 利用地震属性恢复古构造[C]// 中国地球物理学会年刊 2002: 中国地球物理学会第十八届年会论文集. 北京: 地震出版社, 2002: 7.
- [42] 许浚远, 李惠芳, 王艳萍, 等. 汤原断陷早第三纪中期基底顶界的三维古构造重建[J]. 吉林地质, 1997, 16(1): 63-70.
Xu Junyuan, Li Huifang, Wang Yanping, et al. Reconstruction of 3-D paleostructures of the basement top in the Tangyuan fault depression during Middle Eocene[J]. Jilin Geology, 1997, 16(1): 63-70.

- [43]Griffiths P, Jone S. A new technology for 3-D flexural-slip restoration[J]. Journal of Structural Geology, 2002, 24: 773-782.
- [44]王飞宇, 金之钧, 吕修祥. 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.
- [45]邢卫新, 费永涛, 杨勇毅. 含油气盆地成藏期分析方法及进展[J]. 石油地质与工程, 2006, 20(6): 12-15.
Xing Weixin, Fei Yongtao, Yan Yongyi. Analyzed methods and progress of petroleum accumulaiton timing[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2006, 20(6): 12-15.
- [46]李建华, 范柏江, 耿辉. 油气成藏期研究方法和进展[J]. 科技导报, 2010, 28(22): 106-111.
Li Jianhua, Fan Bojiang, Geng Hui. Analysis methods and progress of dating of hydrocarbon accumulation[J]. Science & Technology Review, 2010, 28(22): 106-111.
- [47]英亚歌. 陇东地区低渗储层古流体动力及石油成藏特征[D]. 西安: 西北大学, 2010: 51-57.

(责任编辑: 高丽华)

“沉积·资源·环境”研究专栏征稿

征稿范围:

- ◇地质基本科学问题、应用及发展
- ◇全球环境变化与沉积作用
- ◇盆地分析与板块运动
- ◇盆地运动学的新理论
- ◇能源的勘探与开发
- ◇大地构造沉积学
- ◇层控矿床
- ◇岩相古地理
- ◇生物成矿作用
- ◇流域开发与环境保护
- ◇层序地层与事件地质
- ◇油气储集层的成岩作用

欢迎相关领域专家、学者和工程技术人员踊跃投稿, 来稿请注明“沉积·资源·环境”专栏。稿件经专家评审通过后优先发表, 优稿优酬。

投稿平台: http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp

电子邮箱: zkglhxx@163.com; zkzxcg@sdust.edu.cn

联系电话: 0532-86057859

山东科技大学学报(自然科学版)编辑部