

塔东南民丰凹陷热演化史与油气关系

田 涛^{1,2}, 杨 甫^{1,2}, 刘 飞^{1,2}

(1. 国土资源部煤炭资源勘查与综合利用重点实验室, 陕西 西安 710021;

2. 陕西省煤田地质有限公司, 陕西 西安 710021)

摘 要:民丰凹陷位于塔里木盆地东南部, 低程度的烃源岩热史研究制约着该区的油气资源评价和勘探。通过对研究区仅有的两口探井(民参 1 井、民参 2 井)进行热演化史模拟, 探讨石炭系、侏罗系烃源岩热演化程度、过程及其与油气的关系。模拟结果表明: ①受构造活动、火山活动等局部热事件影响, 民丰凹陷 C-P 期古地温梯度为 3.5 °C/100 m, 中生代古地温梯度为 2.7~3.2 °C/100 m, 高于盆地周缘其他地区; ②民丰凹陷烃源岩在古近纪晚期—新近纪早期(41.3~21.7 Ma)至中新世末期(7.0 Ma)达到大量生烃条件, 与新生代以来的快速沉降共同表明, 民丰凹陷具有晚期成藏特征, 钻井油气显示较差, 可能与优质烃源岩规模小、生聚烃时间较短等因素有一定联系。

关键词:塔东南; 民丰凹陷; 热演化史; 烃源岩; 油气成藏

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2016)01-0012-07

Relations Between Geothermal History and Hydrocarbon in Minfeng Depression, Southeast Tarim Basin

TIAN Tao^{1,2}, YANG Fu^{1,2}, LIU Fei^{1,2}

(1. Key Lab of Coal Resources Exploration and Comprehensive Utilization, Ministry of Land and Resources, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 2. Shaanxi Coal Geology Group Co. Ltd, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: The low exploration degree of geothermal history of source rocks in Minfeng depression, located in the southeast of Tarim basin, restricted the assessment of petroleum resources and exploration in this area. Taking the only two exploration wells (Mincan Well 1 and Mincan Well 2) in Minfeng depression as examples to simulate the geothermal history, this paper discussed the maturity level and process of Carboniferous and Jurassic source rocks evolution and probed their relationship with hydrocarbon accumulation. The results of simulation show that: ① Influenced by partial thermal events such as tectonic and volcanic activities, the paleogeothermal gradients during the C-P and Meso-cenozoic period are 3.5 °C/100 m and 2.7-3.2 °C/100 m respectively in Minfeng depression, higher than that in the other areas of the basin margin. ② The hydrocarbon generation conditions of source rocks in Minfeng depression, which appeared in Late Paleogene to Early Neogene (41.3-21.7 Ma) and the end of Miocene (7.0 Ma), and the rapid subsidence during the Cenozoic show that Minfeng depression has the feature of late hydrocarbon accumulation and that the poor oil and gas shows are likely to have certain relations with the small scale and short hydrocarbon accumulating time of high quality source rocks.

Key words: southeast Tarim basin; minfeng depression; geothermal history; source rocks; hydrocarbon accumulation

含油气盆地蕴藏着丰富的石油、天然气、地热等资源, 盆地热演化史与油气生成、运移、聚集等方面密切

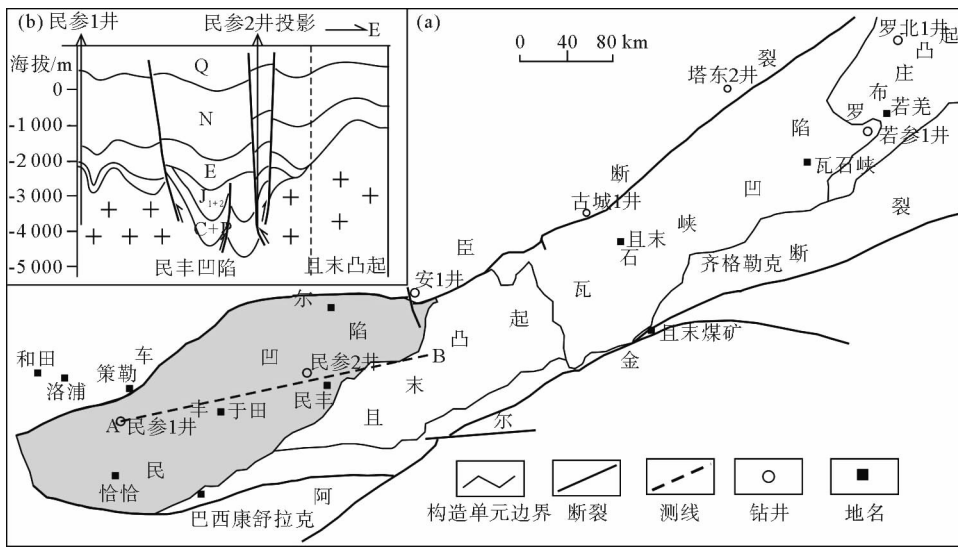
收稿日期: 2015-09-28

基金项目: 国土资源部煤炭资源勘查与综合利用重点实验室自主研究项目(ZZ2015-2)

作者简介: 田 涛(1987—), 男, 山东枣庄人, 工程师, 博士, 主要从事沉积盆地、非常规油气地质方面的研究工作。

E-mail: tiantao870211@163.com

相关,不仅制约和影响着油气的生成、运移和聚集,而且对盆地油气资源评价及有利生油区预测具有重要的指导意义^[1-4]。塔里木盆地是经长时间发育形成的大型叠合复合盆地,是中国最重要的油气资源富集地之一^[5-6]。塔东南地区研究程度薄弱,为塔里木盆地油气勘探新领域^[5]。许怀智等^[6-7]将塔东南地区整体划分为一个一级构造单元,即塔东南隆起。民丰凹陷位于该隆起西部,北以车尔臣断裂为界,南以阿尔金山断裂为界,呈 NEE 条带状展布(图 1)。民丰凹陷作为塔东南地区主要的凹陷之一,发育石炭系、侏罗系两套烃源岩。区内民参 1 井、民参 2 井两口探井,均未见油气显示,仅在民参 1 井石炭系烃源岩获取气测异常。塔东南地区民丰凹陷源岩热演化程度、过程及其与油气的关系尚不明确,制约着该区油气资源评价和勘探。因此,加强塔东南地区民丰凹陷烃源岩热演化史研究,探讨热演化史与油气生成的关系,对指导该地区油气勘探及分析油气成藏条件具有重要意义。本研究基于镜质体反射率(R_o)的模拟方法,建立热演化模型,讨论塔东南民丰凹陷烃源岩成熟演化、局部热异常以及未见良好油气显示的可能原因。



(a) 构造单元划分; (b) 地质剖面(A-B)

图 1 研究区地质构造图

Fig. 1 Geologic sketch of study area

1 沉积-构造演化背景

石炭纪前,塔东南地区受加里东运动的改造及影响,形成塔里木盆地一级构造单元,即塔东南隆起。此时,塔东南地区全面隆升为陆,不利于沉积。早石炭纪由于塔里木盆地南缘古特提斯洋的生成与扩张,盆地南缘由挤压构造环境转为伸展拉张构造环境^[8-9],受此影响塔东南大部分地区发生裂陷,开始了裂谷盆地发展阶段。因此,作为中生代断陷盆地,可将石炭纪作为民丰凹陷演化的开端。

晚石炭世塔东南隆起受到南天山洋由东至西剪刀式闭合陆陆碰撞造山的影响,致使民丰地区处于挤压状态,从西向东发生海侵,发育开阔台地沉积相。在晚海西-印支期运动影响下,塔东南地区持续隆起,石炭系、二叠系普遍遭受剥蚀,仅在民丰地区残留上石炭统和下二叠统。三叠纪因持续隆升,不利于沉积,民丰凹陷普遍缺失三叠系^[8-9]。至此,民丰凹陷沉积-构造格局初步形成。

侏罗纪早期,塔东南地区开始进入断陷发育期,沉积物快速沉降,具有填平补齐并向四周超覆的特征。晚侏罗世,塔东南地区再次大规模隆升,但凹陷东西部隆升相对幅度不同,西部抬升幅度大于东部地区,造成西高东低的构造格局。民丰地区处于塔东南隆起西部,抬升幅度强烈,侏罗系剥蚀厚度更大^[8]。白垩纪民丰

地区处于中部隆起带上未接受沉积,因而缺失白垩系。

新生代以来,民丰凹陷发生快速强烈沉降,新生界沉积厚度最厚可达 4 200 m,形成民丰凹陷现今的沉积-构造格局。钻井地层揭示:民参 1 井从上到下钻遇第四系(200 m)、新近系(3 184.5 m)、古近系(312.5 m)、下二叠统(50.5 m)、上石炭统(102.5 m);民参 2 井从上到下钻遇新生界(4 171.0 m)、中侏罗统杨叶组(191.0 m)、下二叠统(386.0 m)、上石炭统卡拉乌依组、阿孜干组、塔哈奇组,总厚 316.0 m(图 2)。其中,上石炭统和中侏罗统杨叶组为该区烃源岩主要发育层位。

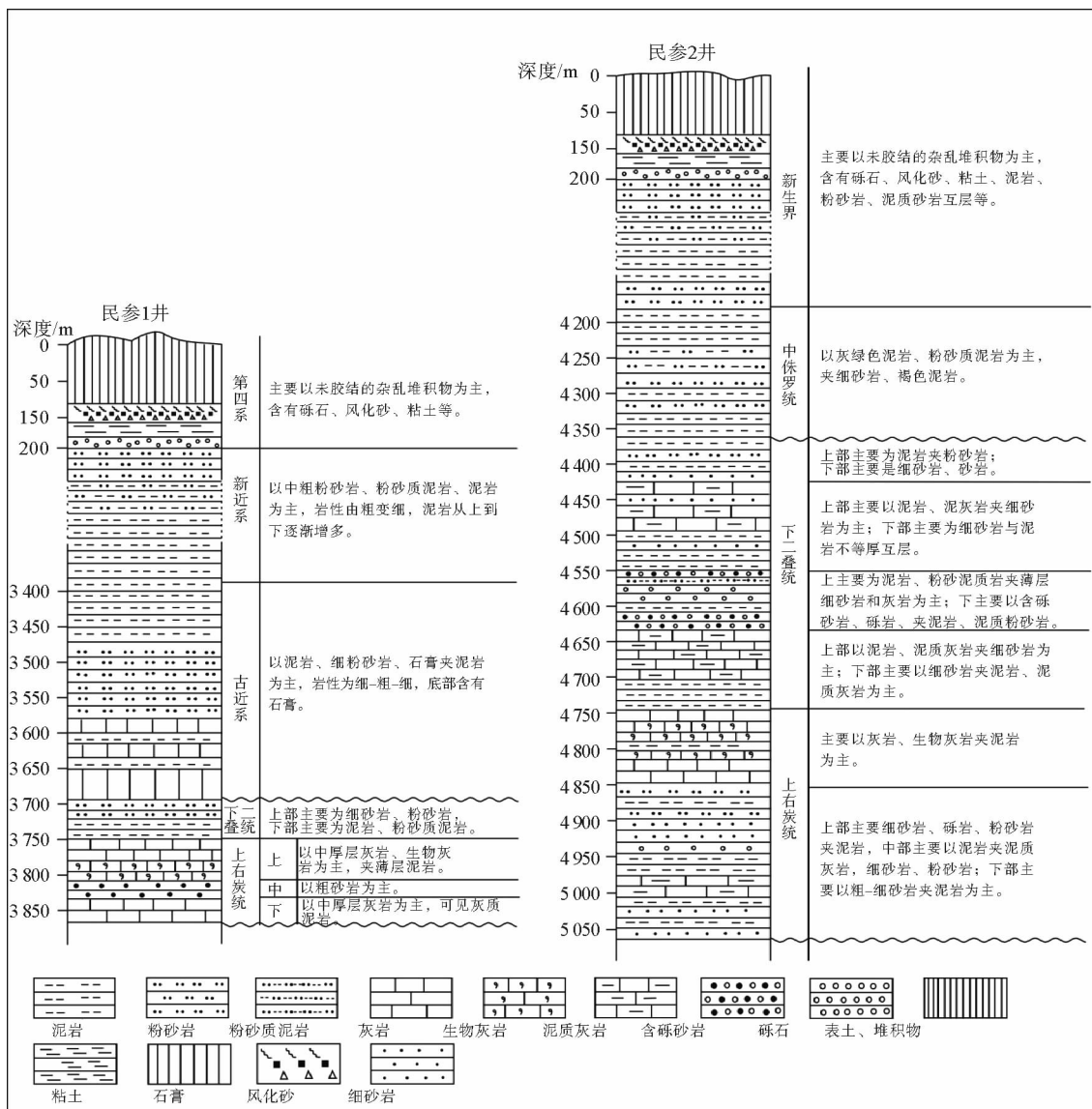


图 2 民参 1 井、民参 2 井地层柱状图

Fig. 2 The stratum histograms of Mincan Well 1 and Mincan Well 2

2 热演化史分析

民参 1 井位于民丰凹陷西部,主要发育石炭系烃源岩,民参 2 井位于凹陷东部,是侏罗系烃源岩主要发育区。选取民参 1 井、民参 2 井分别代表民丰凹陷西部和东部地区,进行单井热演化史模拟,探讨民丰凹陷

烃源岩成熟度演化。

2.1 热演化程度

大地热流值、地温梯度是影响烃源岩热演化程度的重要参数,对油气资源评价具有重要意义。如图3所示,塔里木盆地热史研究主要集中在塔中、塔北、塔西北地区,对塔东南和田-于田-民丰一带的研究程度明显不足^[10-11]。塔中地区是盆地中高热流密度区,大地热流可达到 72.3 mW/m^2 ,向盆地周缘呈辐射状减小。王良书等^[10]根据盆内热平衡理论分析认为,塔里木盆地边缘凹陷新生代的快速沉降速率远超过 100 m/Ma 这一界限,打破了盆内热平衡系统,地温梯度受到沉积作用的影响,致使边缘凹陷区大地热流值低,推测塔东南民丰凹陷地区大地热流仅为 $35 \sim 40 \text{ mW/m}^2$ 左右。贾承造等^[12]认为塔里木盆地 C-P 期古地温梯度为 $3.2 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,中新世古地温梯度为 $2.0 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,具有“冷盆”特征。

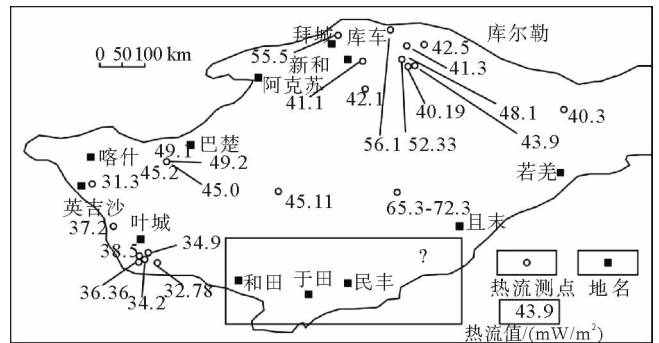
民参1井北部的洛浦阿奇克剖面上石炭统烃源岩有机化学特征表明,石炭系塔哈奇组烃源岩有机质 R_o 约 $0.7\% \sim 1.0\%$ ^[7],已进入成熟阶段。中侏罗统杨叶组烃源岩整体热演化程度较低,有机质 R_o 为 $0.49\% \sim 0.71\%$ ^[13],热演化基本处于未熟-低熟阶段。民丰凹陷南部普鲁剖面杨叶组 R_o 为 0.62% ,处于低熟-成熟阶段。姜正龙等^[14]推测凹陷内部民参2井杨叶组埋深较大,应处于成熟-高成熟阶段。

2.2 热演化史模拟

本次模拟建立在埋藏史模型基础上,以现今地温、民参1井和民参2井有机质 R_o 测试结果为校验与约束条件,利用 BasinMod 热史模拟软件赋值一定的古地温信息,基于 EASY% R_o 模型^[15-16] 计算某一地层的理论 R_o 值。通过对比实测 R_o 值与理论 R_o 值的拟合程度,判断模型是否合理。若拟合较好,则可以认为给定的古地温信息可以反映地层实际经历的温度史;若拟合效果较差,则要不断修改古地温信息,重复以上步骤,直至两者拟合较好,建立合理的热史模型。由于盆地的类型、沉降史、构造运动等都会对地温场演化有较大影响,在热史模拟时不能盲目设定古地温信息,而要对研究区的沉积-构造演化、前人对地温场的研究成果等进行分析判断。模拟结果表明(图4),研究区侏罗系烃源岩热演化程度为低熟-成熟阶段,石炭系已达到中-高成熟阶段,现今达到最高地温(约 $140 \sim 160 \text{ }^\circ\text{C}$)。拟合的 C-P 期古地温梯度为 $3.5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,中新世古地温梯度为 $2.7 \sim 3.2 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,高于盆地周缘其他地区。以民参1井为例,倘若以 C-P 期古地温梯度 $3.2 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,中新世 $2.0 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ^[12] 进行热史模拟,尚不足以使民参1井石炭系烃源岩热演化达到有机质 R_o 为 $0.7\% \sim 1.0\%$ 的程度(图4(b))。因此,以本次古地温梯度拟合结果为参考,应会更适合民丰凹陷烃源岩评价。

2.3 热演化与油气关系

古地温是控制油气生成和演化的主要因素,利用热演化史模拟民丰凹陷古地温演化,可以进一步探讨热演化与烃源岩成熟度的关系。民参1井区域侏罗系烃源岩在侏罗世达到最高古地温 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,尚未进入生烃阶段便被剥蚀殆尽,对后期油气成藏贡献较小。石炭系烃源岩在中新世中期(约 10 Ma)古地温 $93 \text{ }^\circ\text{C}$,有机质 R_o 为 0.5% ,进入生烃门限,门限深度约 2520 m 。随着新生代快速的沉降埋深,地温快速升高,致使该套烃源岩在中新世末期(约 7.0 Ma)古地温达 $116 \text{ }^\circ\text{C}$,有机质 R_o 达 0.7% ,热演化程度为中等成熟阶段,开始大量生烃(图4(a))。民参2井区域中侏罗统杨叶组泥岩为主力烃源岩,该套烃源岩在古近纪晚期(约



注:“?”表示该区地热相关研究程度弱

图3 塔里木盆地大地热流值分布

Fig. 3 Distribution of terrestrial heat flow density in Tarim Basin

41.3 Ma)古地温为 86.0 °C,进入生烃门限,门限深度约 1 934.4 m;新近纪早期(约 21.7 Ma)热演化程度达到中等成熟,对应古地温为 114.5 °C。民参 2 井上石炭统沉积的一套海相生物灰岩,在晚二叠世末期(约 256.6 Ma)古地温 80 °C,进入生烃门限,古近纪晚期(约 38.1 Ma)古地温 114 °C,进入中等成熟阶段(图 5 (a))。民丰凹陷烃源岩在古近纪晚期-新近纪早期(41.3~21.7 Ma)甚至中新世末期(7.0 Ma)才达到大量生烃条件,与新生代以来的快速沉降共同表明民丰凹陷具有晚期成藏的特征。

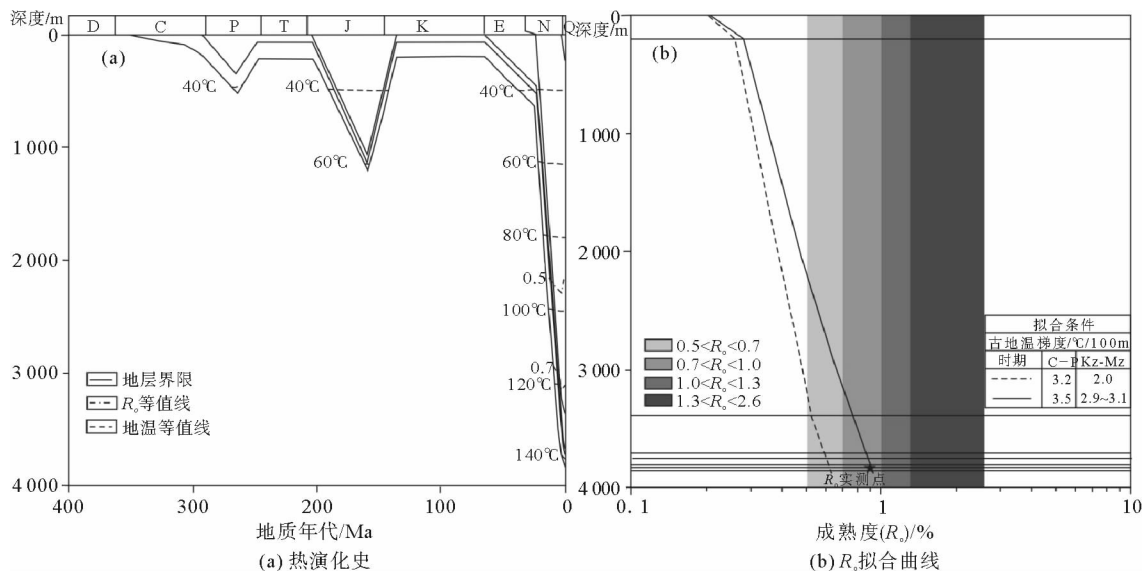


图 4 民参 1 井热史模拟结果

Fig. 4 The geothermal simulation result of Mincan Well 1

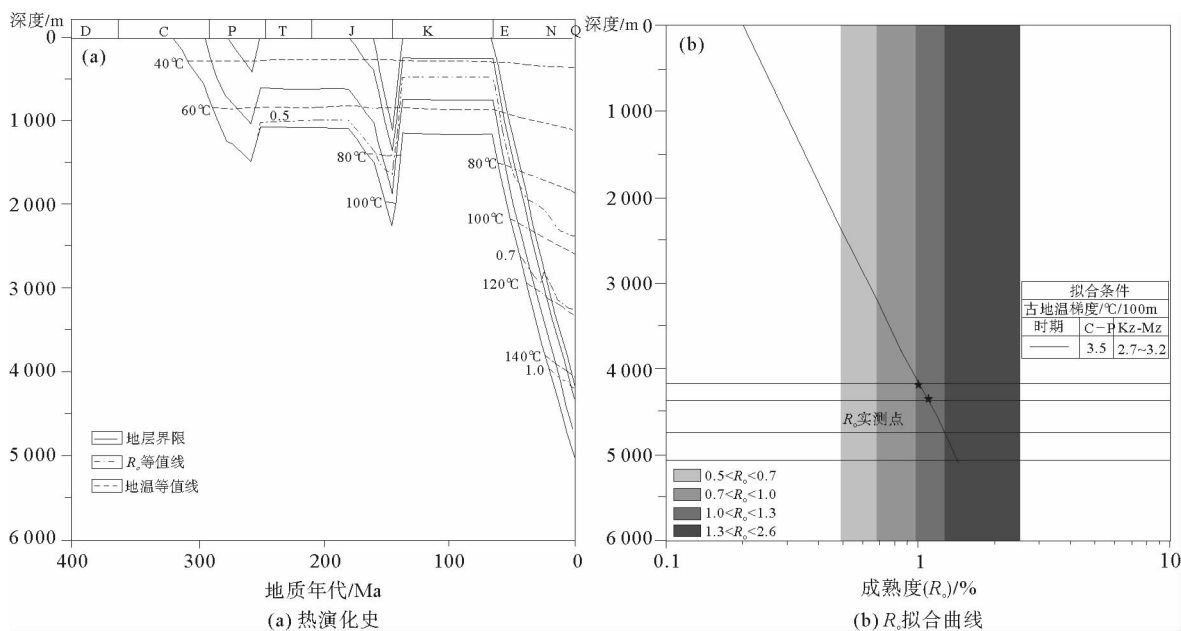


图 5 民参 2 井热史模拟结果

Fig. 5 The geothermal simulation result of Mincan Well 2

3 讨论

3.1 民丰凹陷局部地热情况

民参1井、民参2井的热演化史模拟表明, R_0 拟合的 C-P 期古地温梯度为 $3.5\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$, 中生代古地温梯度为 $2.7\sim 3.2\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$, 高于前人宏观推测。造成这一现象的原因, 可能与民丰凹陷普遍存在局部热事件有关。民参1井处在车尔臣断裂附近且其南部巴西康苏拉克附近有第四纪火山活动^[17], 构造运动产生的剪切热以及火山活动产生的热量渗透促进了该区域烃源岩的热演化; 民参2井临近的普鲁煤矿、巴西康苏拉克剖面石炭系烃源岩有机质 R_0 演化程度均超过 1.0% , 甚至达到 3.0% , 受到异常热作用。

3.2 探井未见良好油气显示的可能原因

民参1井、民参2井均未见到较好的油气显示, 导致对民丰凹陷勘探信心不足。分析原因可能包括以下几个方面: ①塔东南地区烃源岩热演化程度整体较低; ②民参1井临近车尔臣断裂, 油气沿优势通道运移逸散; ③有机质丰度、规模以及合适的热演化程度共同控制了烃源岩生烃, 民丰凹陷侏罗系烃源岩分布薄且局部缺失, 热演化程度较低, 石炭系生物灰岩虽达到中-高成熟, 但有机质丰度和生烃潜力相对较低; ④民丰凹陷烃源岩在古近纪晚期甚至中新世末期才开始达到中等成熟阶段, 生烃聚烃时间较短, 油气尚未大量聚集。

4 结论

1) 民丰凹陷单井热史模拟表明, 受构造活动、火山活动等局部热事件影响, 民参1井、民参2井拟合结果显示 C-P 期古地温梯度为 $3.5\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$, 中生代古地温梯度为 $2.7\sim 3.2\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$, 高于盆地周缘其他地区, 现今石炭系最高地层温度可达 $140\sim 160\text{ }^\circ\text{C}$ 。

2) 民丰凹陷烃源岩在古近纪晚期—新近纪早期 ($41.3\sim 21.7\text{ Ma}$) 甚至中新世末期 (7.0 Ma) 才满足大量生烃条件, 与新生代以来的快速沉降共同表明, 民丰凹陷具有晚期成藏的特征。钻井油气显示较差, 可能与优质烃源岩规模小、生聚烃时间较短等因素有一定联系。下一步应对民丰凹陷重点开展摸清高丰度、大规模优质烃源岩分布勘探工作。

参考文献:

- [1] 任战利, 田涛, 李进步, 等. 沉积盆地热演化史研究方法 with 叠合盆地热演化史恢复研究进展[J]. 地球科学与环境学报, 2014, 36(3): 1-20.
REN Zhanli, TIAN Tao, LI Jinbu, et al. Review on methods of thermal evolution history in sedimentary basins and thermal evolution history reconstruction of superimposed basins[J]. Journal of Earth Science and Environment, 2014, 36(3): 1-20.
- [2] 邱楠生. 中国西部地区沉积盆地热演化和成烃史分析[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 6-8.
QIU Nansheng. Thermal evolution and hydrocarbon generation history of the sedimentary basins in western China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 6-8.
- [3] 陈丽. 济阳拗陷煤系构造-热演化史对煤成气的影响[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2005, 24(1): 59-61.
CHEN Li. Influence of tectonic-thermal evolution history of coal measures in Jiyang depression on coal-derived gas[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2005, 24(1): 59-61.
- [4] 刘春晓, 张晓花. 二连盆地白音查干凹陷古地温与油气生成的关系[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2011, 30(3): 12-20.
LIU Chunxiao, ZHANG Xiaohua. Relationship between paleogeotherm and hydrocarbon generation in the Baiyinchagan depression, Erlian basin[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2011, 30(3): 12-20.
- [5] 孙龙德, 周新源, 王国林. 塔里木盆地石油地质研究新进展和油气勘探主攻方向[J]. 地质科学, 2005, 40(2): 167-178.
SUN Longde, ZHOU Xinyuan, WANG Guolin. Contributions of petroleum geology and main directions of oil-gas exploration in the Tarim basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(2): 167-178.

- [6]许怀智,张岳桥,刘兴晓,等.塔东南隆起沉积-构造特征及其演化历史[J].中国地质,2009,36(5):1030-1042.
XU Huaizhi,ZHANG Yueqiao,LIU Xingxiao, et al. Sedimentary-structural characteristics and tectonic evolution history of the Tadongnan uplift[J]. Geology in China, 2009, 36(5): 1030-1042.
- [7]丁长辉.塔里木盆地塔东南地区构造特征与石油地质条件评价[D].长春:吉林大学,2008:14-53.
- [8]李强,赵丽.塔里木盆地东南隆起演化及构造特征分析[J].大地构造与成矿学,2009,33(1):154-159.
LI Qiang,ZHAO Li. Tectonic evolution of uplift in southeast Tarim basin and analysis of their structural features[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(1): 154-159.
- [9]刘宏.塔东南坳陷石油地质研究及远景目标评价[D].成都:成都理工大学,2005:8-25.
- [10]王良书,李成,施央申.塔里木盆地大地热流密度分布特征[J].地球物理学报,1995,38(6):855-856.
WANG Liangshu,LI Cheng,SHI Yangshen. Distribution of terrestrial heat flow density in Tarim basin, western China[J]. Acta Geophysica Sinica, 1995, 38(6): 855-856.
- [11]李慧莉,邱楠生,金之钧.利用磷灰石裂变径迹研究塔里木盆地中部地区的热历史[J].地质科学,2005,40(1):129-132.
LI Huili, QIU Nansheng, JIN Zhijun. Thermal history of central area of the Tarim basin by apatite fission track analysis [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(1): 129-132.
- [12]贾承造.中国塔里木盆地构造特征与油气[M].北京:石油工业出版社,1997:23-93
- [13]周琦,王建国,杜鸿烈.塔东南坳陷侏罗系层序地层分析与油气前景[J].沉积学报,2000,18(4):580-584.
ZHOU Qi,WANG Jianguo,DU Honglie. Study of sequence stratigraphy in Mesozoic southeast Tarim foreland basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 580-584.
- [14]姜正龙,邱海峻,黄玉平,等.塔里木盆地东南坳陷中侏罗统杨叶组湖相烃源岩[J].新疆石油地质,2013,34(6):619-622.
JIANG Zhenglong, QIU Haijun, HUANG Yuping, et al. Lacustrine source rocks of middle Jurassic in southeast depression in Tarim basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(6): 619-622.
- [15]魏志彬,张大江,许怀先,等. EASY% R_0 模型在我国西部中生代盆地热史研究中的应用[J].石油勘探与开发,2001,28(2):43-46.
WEI Zhibin,ZHANG Dajiang,XU Huaixian, et al. Application of EASY% R_0 model to the studies of thermal history for Mesozoic basins, western China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(2): 43-46.
- [16]SWEENEY J J, BURNHAM A K. Evaluation of a sample method of vitrinite reflectance based on chemical kinetics[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(4): 1559-1570.
- [17]张斌,肖中尧,吴英,等.塔里木盆地东南地区若参1井天然气成因初探[J].天然气地球科学,2006,17(4):586-589.
ZHANG Bin,XIAO Zhongyao,WU Ying, et al. Elementary research of natural gas origin in Ruocan 1 well, southeast of Tarim basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(4): 586-589.

(责任编辑:高丽华)