doi:10.3799/dqkx.2013.055

查干凹陷中、新生代热史及烃源岩热演化

左银辉^{1,2},马维民¹,邓已寻^{1,3},郝情情⁴,李新军¹,郭俊梅¹,冉 庆⁵,汪立蓉¹

1. 中国石化中原油田分公司勘探开发科学研究院,河南濮阳 457001

2. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249

3. 中国地质大学能源学院,北京 100083

4. 中国冶金地质总局矿产资源研究院,北京 100025

5. 中国石化中原油田分公司地球物理测井公司,河南濮阳 457001

摘要:查干凹陷是内蒙古银一额盆地最具勘探潜力的凹陷,为了揭示查干凹陷中、新生代热史及烃源岩热演化历史,首先利用 9 口井的镜质体反射率数据恢复了查干凹陷中、新生代热史,结果显示查干凹陷在早白垩世巴音戈壁组沉积开始至银根组沉 积末期,地温梯度逐渐增加,且到银根组沉积末期达到最大,为 50~58 ℃/km;自晚白垩世乌兰苏海组沉积开始至今,地温梯 度逐渐下降,现今地温梯度仅为 31~34 ℃/km. 再以热史为基础,结合沉积和构造发育史及烃源岩地球化学资料,模拟了查干 凹陷 9 口井 3 套烃源岩的成熟度演化历史,模拟结果显示查干凹陷烃源岩成熟度演化受古地温控制,3 套烃源岩成熟度都在 早白垩世晚期达到最大.

关键词:银-额盆地;查干凹陷;热史;成熟度史;沉积;能源地质. 中图分类号:P314 文章编号:1000-2383(2013)03-0553-08

收稿日期: 2012-02-02

Mesozoic and Cenozoic Thermal History and Source Rock Thermal Evolution History in the Chagan Sag, Inner Mongolia

ZUO Yin-hui^{1,2}, MA Wei-min¹, DENG Yi-xun^{1,3}, HAO Qing-qing⁴, LI Xin-jun¹, GUO Jun-mei¹, RAN Qing⁵, WANG Li-rong¹

1. Research Institute of Exploration and Development, Zhongyuan Oilfield, SINOPEC, Puyang 457001, China

2. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

3. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

4. Institute of Mineral Resources Research, China Metallurgical Geology Bureau, Beijing 100025, China

5. Geophysical Logging Company, Zhongyuan Oil field, SINOPEC, Puyang 457001, China

Abstract: The Chagan sag has the greatest potential for oil and gas exploration among other sags in the Yin'gen-Ejinaqi basin. To reveal the Mesozoic and Cenozoic thermal history and source rock thermal evolution history in the Chagan sag, the thermal history was modeled on basis of vitrinite reflectance data of 9 wells. The modeled results show the thermal gradients increased gradually from the Early Cretaceous Bayin'gebi Formation to the end of the Yin'gen Formation, and the thermal gradients reached maximum values (50-58 °C/km) at the end of the Yingen Formation. Then the thermal gradients decreased gradually from the Late Cretaceous Wulansuhai Formation to the present day, and the thermal gradients is only 31-34 °C/km in the present day. Meanwhile, based on the above thermal gradient data, with combination of the depositional and tectonic development history and geochemical parameters of source rocks, maturation histories of 3 sets of source rocks of 9 wells were modeled. The modeled results show the maturation histories were controlled by the palaeogeothermal, and the maturation of 3 sets of source rocks reached maximum values in the late period of the Early Cretaceous.

Key words: Yin'gen-Ejinaqi basin; Chagan sag; thermal history; maturation history; sedimendation; petroleum geology.

作者简介: 左银辉(1980-), 男, 博士, 主要从事沉积盆地热体制和地球动力学的研究. E-mail: zuoyinhui@tom. com

研究油田区古地温的意义在于更全面地评定生 油岩系的生油气能力.油气的生成与富集是在一定 的温度和深度条件下,经历漫长地质时期的结果.在 漫长地质历史中,区域地热可能有所变化,生油岩系 可能会随着空间位置以及其他条件的变化,经历复 杂的热历史,这将导致生油岩系经历复杂的生烃过 程,从而影响油气的排出与运移、油气成藏关键时期 和油气藏在空间的分布等.因此,盆地热史的研究与 油气有着密切的联系.

自 1997 年首口井——查参 1 井的钻探,揭示查 干凹陷存在一定的油气资源,到现今已经钻探 50 余 口井,其中多口井获得工业油气流.目前,已上报三 级石油储量达 4 000 多万吨,发现一个新的油 田——吉祥油田,证实查干凹陷具有较好的勘探开 发前景.但是热史研究相当薄弱,仅处于定性研究阶段(叶加仁和杨香华,2003;卫平生等,2006),严重制约了对查干凹陷生、排烃史、成藏期次及资源潜力等方面的正确认识.近年来,随着查干凹陷油气勘探的发展、钻井数量的增加,研究人员获得了大量的镜质体反射率数据.本文将利用镜质体反射率数据对查干凹陷中、新生代热史进行恢复,并以热史为基础模拟查干凹陷典型井的烃源岩热演化历史.

1 地质背景

查干凹陷地处内蒙古自治区巴彦淖尔盟乌拉特 后旗.区域构造上位于银根一额济纳旗盆地(简称 银一额盆地)东部的查干德勒苏坳陷的中部,凹陷西



图 1 查干凹陷构造划分及井位 Fig. 1 Structural division and well locations in the Chagan sag

临西尼凸起,东以楚干凸起与白云凹陷相隔,西南为 木巴图隆起,东南紧靠狼山.大地构造位于塔里木、 哈萨克斯坦、西伯利亚和华北4大板块的结合部位 (卫平生等,2006),构造活动相当复杂,呈不规则的 "菱形"展布,北东长 60 km,北西宽 40 km,勘探面积 约2000 km²,是一个呈西北断、东南超的单断箕状 结构的中、新生代断陷盆地,是银一额盆地中最富勘 探潜力的凹陷.根据基底起伏、断裂系统解释成果及 构造演化特征,查干凹陷划分为"两凹一凸"的构造 格局,即额很一虎勒次凹(西部次凹)、罕塔庙次凹 (东部次凹)和毛敦次凸,各个构造单位又包括多个 次一级构造单元(图1). 地层包括早白垩世巴音戈 壁组(分两段)、苏红图组(分两段)、银根组、晚白垩 世乌兰海组及新生界,其中巴音戈壁组一段、二段和 苏红图组一段为该区的3套烃源岩层系.由于燕山 和喜山等造山运动,研究区经历了4期构造阶段: (1) 早白垩世巴音戈壁组一苏红图组沉积时期为走 滑一拉分断陷期,该时期断裂活动强烈,伴随多期火 山活动,沉积一套中基性火山岩与碎屑岩的组合; (2)银根组沉积时期为断坳转换期,发育一套河流一 滨浅湖相为主的地层;(3)乌兰苏海组沉积时期为坳 陷期,发育一套河流相为主的地层;(4)新生代为挤 压抬升期,凹陷发生局部的挤压冲断现象,发育一组 逆冲断层和反转构造,局部地区接受新生界沉积.

2 研究方法及参数

2.1 研究方法

关于盆地古地温恢复的方法总体上可以分为 2 类:一类是利用古温标恢复盆地尺度的热历史(Tissot *et al.*, 1987;Wood,1988;Qiu and Wang,1998; 邱楠生等,2004,2006;Zuo *et al.*,2011);另一类是 利用地球动力学模型恢复岩石圈尺度的热历史 (Sleep and Snell,1976;Mckenzie,1978;Royden and Keen,1980).目前,比较成熟的古温标主要包括矿 物裂变径迹和有机质镜质体反射率等.在利用古温 标进行古地温模拟计算时,古地温结果的可信度由 地质温度计(*R*。、*AFT*等)来检验,因而被认为是研 究精度较高的方法.具体研究方法前人已经做了详 细的介绍(邱楠生等,2004,2006),在这就不再赘述. 本文利用镜质体反射率数据对查干凹陷白垩世至今 的热史进行恢复.

2.2 基本参数

在热历史模拟计算中需要的参数包括古温标数



图 2 查干凹陷镜质体反射率数据与深度的关系(井位见图 1) Fig. 2 Vitrinite reflectance data versus depth in the Chagan sag 虚线范围内的数据受苏红图组火山活动的影响,且影响程度不一 致,导致同一深度镜质体反射率相差较大,不能用于热史模拟

据和基础地质数据.

2.2.1 古温标数据 共测试了 9 口井的镜质体反 射率数据(图 2),其中中央构造带上的查参 1 井受 苏红图组火山活动的影响较大,测试的镜质体反射 率普遍偏高,在热史恢复过程中剔除这些受火山活 动影响的数据.其他数据受火山活动的影响不明显, 可以直接用于热史恢复.利用镜质体反射率模拟热 历史采用 Easy%*R*。模型(Sweeney and Burnham, 1990).

2.2.2 基础地质参数 模拟计算中的参数包括岩 性参数、现今地表温度数据、现今地温梯度、大地热 流、岩石热物理参数、地层分层和年龄等数据.查干 凹陷地表温度数据、地温梯度及大地热流分布情况 见文献资料(邓已寻等,2012;左银辉等,2013).岩性 参数主要包括岩石的孔隙度、渗透率、各岩层的砂泥 岩含量、砂泥岩的压实曲线等,这些参数采用查干凹 陷实测值.此外,还包括压实系数和初始孔隙度等数 据,这些数据依据各凹陷的实际数据利用 Sclater and Christie(1980)的方法进行回归得到.古地表温 度取查干凹陷年平均温度(9℃),并假设其在地质 历史时期不变.

岩石热物理参数主要包括岩石热导率、岩石生 热率、比热和热容等,由于海拉尔盆地和查干凹陷都 是中国北方中生代断陷盆地,岩石热物理参数具有 一定的相似性,因此查干凹陷岩石热物性参数采用 海拉尔盆地的研究成果(崔军平和任战利,2011).地 层分层采用钻孔实际测量值,各地层底界年龄数据 具体为:新生界(Cz)65 Ma,上白垩统乌兰苏海组 (K₂w)95 Ma,下白垩统银根组(K₁y)100 Ma,下白 垩统苏红图组二段(K₁s²)105 Ma,下白垩统苏红图 组一段(K₁s¹)110 Ma,下白垩统巴音戈壁组二段 (K₁b²)128 Ma,下白垩统巴音戈壁组一段(K₁b¹) 135 Ma.

3 中、新生代热史结果

利用镜质体反射率数据恢复了力1井、查参1 井、毛3井等9口井的埋藏史、热史及生烃史.图3 是力1井热史的模拟结果,实测镜质体反射率值和 模拟计算值吻合很好,相应的热史即为模拟结果.模 拟结果显示力1井先后在苏红图组沉积末期、银根 组沉积末期及乌兰苏海组沉积末期经历了3次较明 显的抬升剥蚀,其中银根组沉积末期的抬升幅度最 大.在银根组沉积之前为裂陷发育阶段,表现为快速 沉降,银根组沉积时期表现为断坳过渡阶段,乌兰苏 海组沉积时期为坳陷发育阶段,沉积速率则由早到







晚逐渐减小,并且在银根组沉积末期古地温达到最大,超过160℃.从热史模拟结果看,力1井在巴音 戈壁组沉积时期地温梯度在38~42℃/km之间,表 现为中温型地温场;苏红图组沉积时期开始,地温梯 度逐渐增高;到银根组沉积末期,地温梯度达到最 大,为50℃/km;自乌兰苏海组沉积时期至今,查干 凹陷表现为热沉降阶段,地温梯度呈逐渐下降的趋 势,现今仅为31℃/km.

查干凹陷9口井的热史演化趋势具有一致性,





Fig. 3 The modeled results of burial, thermal and hydrocarbon generation history of well Li 1

但不同井在各地质时期的地温梯度有一定的差异 (图 4).具体表现为巴音戈壁组沉积时期地温梯度 在 38~42 ℃/km 之间,表现为中温型地温场特征; 随后地温梯度逐渐增高,到银根组沉积末期,地温梯 度达到最大,在 50~58 ℃/km 之间,具有裂陷构造 区的热流状态;自晚白垩世乌兰苏海组沉积开始,地 温梯度下降至今,现今地温梯度仅在 31~34 ℃/km 之间,为中温型地温场.

4 查干凹陷西部次凹烃源岩演化特征

对烃源岩成熟演化模拟的研究是下一步进行资源量计算的基础. 烃源岩演化模拟计算包括的基本参数为:地层分层数据、烃源岩地球化学参数、地表温度、热史和岩性参数等. 岩石热参数采用海拉尔盆地的研究成果(崔军平和任战利,2011). 现今地温梯度数据和地层底界年龄数据采用前述数据. 利用美国 PRA 公司 BasinMod 1D 软件对查干凹陷西部次凹中央构造带和乌力吉断鼻构造带典型井进行模拟.

4.1 西部次凹中央构造带

对意2井、查参1井和意4井进行了模拟,模拟 结果显示3口井成熟度均在早白垩世银根组沉积末 期达到最大,此时,意2井和查参1井巴二段烃源岩 均达到过成熟阶段,巴一段达到生干气阶段(图5a, 5b);意2井苏一段烃源岩底部达到过成熟阶段,顶 部达到高成熟阶段,查参1井苏一段烃源岩达到 中一高成熟阶段.相比之下,位于中央构造带北部的 意4井巴一段和巴二段烃源岩大体处于中成熟阶 段;苏一段烃源岩仅达到低成熟阶段(图 5c).

4.2 西部次凹乌力吉断鼻构造带

对毛 11 井、毛 10 井和力 1 井进行了模拟,模拟 结果显示 3 口井成熟度均在早白垩世银根组沉积末 期达到最大(图 6),此时,位于构造带南部的毛 11 井烃源岩成熟演化程度最高,巴一段烃源岩达到生 干气阶段,巴二段烃源岩处于中一过成熟演化阶段, 苏一段烃源岩演化程度较低,仅有底部烃源岩进入 中成熟阶段(图 6a);其次是位于构造带北部的毛 10 井,其巴二段烃源岩处于中一过成熟演化阶段,苏一 段烃源岩全都进入中成熟阶段;相比之下其余井烃 源岩成熟演化较低,但是 3 套烃源岩均进入生油门 限(图 6b);力 1 井的演化程度最低(图 6c).

5 讨论

查干凹陷白垩纪高地热状态与中国北方中生代 断陷盆地白垩纪的热状态具有一致性,如二连盆地 白垩纪地温梯度为 50~60 ℃/km(赵林等,1998), 海拉尔盆地白垩纪地温梯度为 35~58 ℃/km(刘银 河,1992;陈守田等,2004;崔军平等,2007),白音查







图 6 乌力吉断鼻构造带典型井烃源系成熟度演化历史 Fig. 6 Maturation history of typical wells in the Wuliji fault-nose tectonic zone

干凹陷白垩纪最大地温梯度为 52 °C/km(刘春晓和 张晓花,2011),酒泉盆地群白垩纪地温梯度为38~ 45 ℃/km(任战利等,1995,2000a;王世成等,1999), 酒东盆地白垩纪地温梯度为 35~42 ℃/km(任战利 等,2000b;王志林和李百祥,2007). 是什么原因造 成查干凹陷早白垩世高地热状态的呢? 可能有 3 种 原因:其一,在早白垩世,随着阿尔金断裂及其分支 断裂的走滑构造运动, 查干凹陷经历了复杂的构造 活动,并在苏红图组沉积时期发育多期强烈的火山 喷发(卫平生等,2006),使地壳深部的能量大量释放 到地表,造成早白垩世具有高地温梯度;其二,在早 白垩世晚期,受燕山Ⅳ幕构造运动的影响,地壳减 薄,地球深部的能量更易向地表释放,也可能造成查 干凹陷早白垩世高地热状态;其三,可能受阿尔金断 裂带南北两侧白垩纪发育的地幔柱活动影响(卫平 生等,2006),导致查干凹陷早白垩世表现为高地热 的特征.

根据埋藏史及热史研究成果,对该区西部次凹 中央构造带和乌力吉断鼻构造带典型单井的烃源岩 成熟演化进行了模拟.各井烃源岩成熟度都在早白 垩世银根组沉积末期达到最大,乌兰苏海组沉积至 今不再增加.由此可见,查干凹陷烃源岩成熟演化程 度受古地温控制,古地温将进一步控制查干凹陷的 主生烃时期、主排烃时期及成藏关键时期等,再结合 储、盖、圈闭形成时间等的研究成果,可以指出有利 油气聚集区带.因此,查干凹陷的热史研究成果对油 气勘探具有重要指导意义.

另外,在恢复查干凹陷热史时,镜质体反射率数 据主要分布在下白垩统,上白垩统至新生界基本上 没有数据,导致晚白垩世至今的热史缺少古温标,因 此晚白垩世至今的热史研究结果存在歧义,课题组 将进一步采集早白垩世苏红图组、银根组和晚白垩 世乌兰苏海组的砂岩样,进行磷灰石裂变径迹测试, 再利用磷灰石裂变径迹对查干凹陷晚白垩世至今的 热史进行系统恢复.

6 结论

(1)查干凹陷热演化历史总的趋势表现为自早 白垩世巴音戈壁组沉积至银根组沉积末期,地温梯 度逐渐增加,到银根组沉积末期达到最大,为50~ 58℃/km;自晚白垩世乌兰苏海组沉积开始至今, 地温梯度逐渐下降,现今地温梯度仅为31~ 34℃/km.

(2)查干凹陷的烃源岩热演化受古地温梯度控制,3 套烃源岩都在银根组沉积末期烃源岩成熟度 达到最大;同时3 套烃源岩的演化程度存在差异,其 中巴一段和巴二段烃源岩达到中一过成熟阶段,几 乎都经历了生烃高峰期,生烃潜力大;而苏一段烃源 岩仅达到低一中成熟阶段,几乎没有经历生烃高峰 期,生烃潜力较小.

References

- Chen, S. T., Liu, Z. J., Yu, H. J., 2004. Researches of Thermal Evolution History in Hailaer Basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 34(1):85-88 (in Chinese with English abstract).
- Cui, J. P., Ren, Z. L., 2011. Characteristics of Present Geothermal Field of the Wuerxun Depression in Hailaer Basin, Inner Mongolia. *Geosciences*, 25(3): 589-593 (in Chinese with English abstract).
- Cui, J. P., Ren, Z. L., Xiao, H., et al., 2007. Study on Temperature Distribution and Controlling Factors in the Hailaer Basin. *Chinese Journal of Geology*, 42 (4): 656-665(in Chinese with English abstract).
- Deng, Y. X., Zuo, Y. H., Hao, Q. Q., et al., 2012. Present Geothermal Fields of Chagan Sag and Its Oil and Gas Geological Significance. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 19(3):248-288(in Chinese with abstract).
- Liu, C. X., Zhang, X. H., 2011. Relationship between Paleogeotherm and Hydrocarbon Generation in the Baiyinchagan Depression, Erlian Basin. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 23 (3): 12 - 20 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. H., 1992. Thermal Evolution and the Character of Oil and Gas Generation in Hailaer Basin. *Petroleum Geology & Oil field Development in Daqing*, 11(4):7-14 (in Chinese with English abstract).
- Mckenzie, D., 1978. Some Remarks on the Development of Sedimentary Basins. Earth and Planetary Science Letters, 40 (1): 25 - 32. doi: 10. 1016/0012 - 821x (78) 90071-7
- Qiu, N. S., Hu, S. B., He, L. J., 2004. The Theory and Application of Thermal Regime Study of Sedimentary Basin. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Qiu, N. S., Su, X. G., Li, Z. Y., et al., 2006. The Cenozoic Tectono-Thermal Evolution of Jiyang Depression, Bohai Bay Basin, East China. *Chinese Journal of Geophysics*, 49(4):1127-1135(in Chinese with English abstract).
- Qiu, N. S., Wang, J. Y., 1998. The Use of Free Radicals of Organic Matter to Determine Paleogeo-thermal Gradient. Organic Geochemistry, 28(1-2):77-86. doi: 10. 1016/S0146-6380(97)00111-3
- Ren, Z. L., Liu, C. Y., Zhang, X. H., et al., 2000a. Recovery and Comparative Research of Thermal History on Jiuquan Basin Group. *Chinese Journal of Geophysics*, 43 (5):635-645(in Chinese with English abstract).
- Ren,Z. L., Liu, C. Y., Zhang, X. H., et al., 2000b. Research on the Relations between Geothermal History and Oil-

Gas Generation in Jiudong Basin. *Acta Sedimentologi*cal Sinica, 18(4): 619-623(in Chinese with English abstract).

- Ren, Z. L., Zhang, X. H., Liu, C. Y., et al., 1995. Determination of Oil Source Rock Palaeotemperature Ascertains the Direction of Oil-Gas Exploration in Huahai-Jinta Basin. *Chinese Science Bulletin*, 40(10): 921-923(in Chinese).
- Royden, L., Keen, C. E., 1980. Rifting Process and Thermal Evolution of the Continental Margin of Eastern Canada Determined from Subsidence Curves. *Earth Planet. Science Letters*, 51 (2): 343 – 361. doi: 10. 1016/0012 – 821X(80)90216-2
- Sclater, J. G., Christie, P. A. F., 1980. Continental Stretching: An Explanation of the Post-Mid-Cretaceous Subsidence of the Central North Sea Basin. *Journal of Geophysical Research*, 85(B7): 3711-3739. doi: 10.1029/ JB085iB07p03711
- Sleep, N. H., Snell, N. S., 1976. Thermal Contraction and Flexure of Mid-Continent and Atlantic Marginal Basins. *Geophysical Journal International*, 45(1):125-154. doi:10.1111/j.1365-246X.1976.tb00317.x
- Sweeney, J. J., Burnham, A. K., 1990. Evaluation of a Simple Model of Vitrinite Reflectance Based on Chemical Kinetics. AAPG Bulletin, 74(10):1559-1570.
- Tissot, B. P., Pelet, R., Ungerer, P. H., 1987. Thermal History of Sedimentary Basins: Maturation Indices and Kinetics of Oil and Gas Generation. AAPG Bulletin, 71 (12):1445-1466.
- Wang, S. C., Yuan, W. M., Wang, L. F., et al., 1999. Thermal Evolution and Timing of Hydrogen Generation in the Huahai Basin: Evidence from Apatite Fission Track Data. Acta Geoscientia Sinica, 20(4):428-432(in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. L., Li, B. X., 2007. Geothermal Field Characteristics of East Jiuquan Basin and Feasibility Study of Geothermal Development in Suzhou. Acta Geologica Gansu, 16(1):61-66(in Chinese with English abstract).
- Wei, P. S., Zhang, H. Q., Chen, Q. L., 2006. Petroleum Geological Characteristics and Exploration Prospects in the Yin'gen-Ejinaqi Basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 50-51(in Chinese).
- Wood, D. A., 1988. Relationship between Thermal Maturity Indices Calculated Using Arrehenius Equation and Lopatin Method: Implications for Petroleum Exploration, AAPG Bulletin, 72(2):115-134.
- Ye, J. R., Yang, X. H., 2003. Characteristics of the Temperature and Pressure Fields in Chagan Sag of Yingen-

Ejina Banner Basin and Their Petroleum Geological Significance. *Natural Gas Industry*,23(2):15-19(in Chinese with English abstract).

- Zhao, L., Jia, R. F., Qin, J. Z., et al., 1998. A Study on Thermal Evolution of Jurassic System, Erlian Basin. *Geochimica*, 27(6): 592-598 (in Chinese with English abstract).
- Zuo, Y. H., Qiu, N. S., Deng, Y. X., et al., 2013. Terrestrial Heat Flow in the Chagan, Inner Mongolia. *Chinese Journal of Geophysics* (in press) (in Chinese with English abstract).
- Zuo, Y. H., Qiu, N. S., Zhang, Y., et al., 2011. Geothermal Regime and Hydrocarbon Kitchen Evolution of the Offshore Bohai Bay Basin, North China. AAPG Bulletin, 95 (5):749-769. doi: 10.1306/09271010079

附中文参考文献

- 陈守田,刘招君,于洪金,2004.海拉尔盆地热演化史研究.吉 林大学学报(地球科学版),34(1):85-88.
- 崔军平,任战利,2011.内蒙古海拉尔盆地乌尔逊凹陷现今地 温场特征.现代地质,25(3):589-593.
- 崔军平,任战利,肖晖,等,2007.海拉尔盆地地温分布及控制 因素研究.地质科学,42(4):656-665.
- 邓已寻,左银辉,郝情情,等,2012.查干凹陷现今地温场研究 及其油气地质意义.断块油气田,19(3):248-288.
- 刘春晓,张晓花,2011.二连盆地白音查干凹陷古地温与油气 生成的关系.山东科技大学学报(自然科学版),23(3):

12-20.

- 刘银河,1992.海拉尔盆地地热演化史及油气生成特征.大庆 石油地质与开发,11(4):7-14.
- 邱楠生,胡圣标,何丽娟,2004. 沉积盆地热体制研究的理论 和应用.北京:石油工业出版社.
- 邱楠生,苏向光,李兆影,等,2006.济阳坳陷新生代构造一热 演化历史研究.地球物理学报,49(4):1127-1135.
- 任战利,刘池阳,张小会,等,2000a. 酒泉盆地群热演化史恢 复及其对比研究. 地球物理学报,43(5):635-645.
- 任战利,刘池阳,张小会,等,2000b. 酒东盆地热演化史与油 气关系研究. 沉积学报,18(4):619-623.
- 任战利,张小会,刘池洋,等,1995.花海一金塔盆地生油岩古 温度的确定指明了油气勘探方向.科学通报,40(10): 921-923.
- 王世成,袁万明,王兰芬,等,1999.花海拗陷的热演化和生烃 期的磷灰石裂变径迹证据.地球学报,20(4): 428-432.
- 王志林,李百祥,2007. 酒东盆地地温场特征及肃州城区地热 开发可行性分析. 甘肃地质,16(1-2):61-66.
- 卫平生,张虎权,陈启林. 2006. 银根 一额济纳旗盆地油气地 质特征及勘探前景. 北京:石油工业出版社.
- 叶加仁,杨香华,2003.银-额盆地查干凹陷温压场特征及其 油气地质意义.天然气工业,23(2):15-19.
- 赵林,贾蓉芬,秦建中,等,1998.二连盆地侏罗系地层热演化 史研究.地球化学,27(6):592-598.
- 左银辉,邱楠生,邓已寻,等,2013. 查干凹陷大地热流. 地球 物理学报(待刊).