

文章编号: 0253-9985(2005)06-0770-08

库车前陆盆地中生界烃源岩有机质成熟度演化及影响因素

杨树春¹, 卢庆治², 宋传真³, 袁玉松², 王红军⁴, 胡圣标²

(1. 中国海洋石油研究中心, 河北高碑店 074000 2 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

3 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083 4 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 库车前陆盆地侏罗系烃源岩 R_o 值为 0.55% ~ 1.88%, 均值为 0.93%, 主体处于生油高峰期; 三叠系烃源岩 R_o 值的分布范围为 0.60% ~ 2.59%, 均值为 1.1%, 主体处于生油晚期。现有钻井测温资料表明, 库车前陆盆地 2 000 m 深度实测温度变化范围为 40~60℃, 4 000 m 深度实测温度变化范围为 60~90℃, 6 000 m 深度实测温度变化范围为 100~150℃。经热史恢复, 库车前陆盆地自三叠纪以来, 始终处于较低热流状态, 表现为中生代相对较热 (50~55 mW/m²), 新生代以来, 地表热流处于持续缓慢降低过程, 最终降至现今的 40~50 mW/m²。三叠系、侏罗系烃源岩分别于 160~170 Ma 及 100 Ma 进入低成熟阶段, 进入生气阶段的时间是 145 Ma 及 75 Ma。最早进入低成熟阶段的区域在克拉苏地区, 其次为秋里塔格构造带, 最晚进入低成熟阶段的地区在拜城凹陷。自 23 Ma 后有机质成熟度开始显著增高, 三叠系、侏罗系现今均处于生气阶段。烃源岩成熟度状态主要由盆地沉积埋藏史及热史所决定。逆冲推覆和含膏岩层对烃源岩的成熟度也有一定的影响, 其影响幅度取决于逆冲的断距、含膏岩层的厚度及其侧向变化幅度。

关键词: 热历史; 逆冲推覆; 膏盐岩层; 有机质成熟度; 库车前陆盆地

中图分类号: TE112.1 **文献标识码:** A

Evolution of Mesozoic source rock's organic maturation in Kuqa foreland basin and its influence factors

Yang Shuchun¹, Lu Qingzhi², Song Chuanzhen³, Yuan Yusong², Wang Hongjun⁴, Hu Shengbiao²

(1. Research Center of CNOOC, Gaobeidian, Hebei; 2. Institute of Geology and Geophysics

Chinese Academy of Sciences, Beijing; 3. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing;

4. Petroleum Exploration & Development Research Institute, PetroChina, Beijing)

Abstract The main body of Jurassic source rock in Kuqa foreland basin is in its peak of oil generation, with R_o value in the range of 0.55%–1.88% and average value of 0.93%. While that of Triassic source rock is in its late period of oil generation, with R_o value in the range of 0.60%–2.59% and average value of 1.1%. The available borehole temperature measurements indicate that the temperatures at 2 000, 4 000 and 6 000 m in Kuqa foreland basin vary in the range of 40–60℃, 60–90℃, and 100–150℃, respectively. Thermal history restoration shows that Kuqa foreland basin has always been in relatively low heat flow conditions since Triassic. The surface heat flow was relatively high in Mesozoic (50–55 mW/m²) and has been continuously and slowly lowering since Cenozoic and finally to the contemporary 40–50 mW/m². The Triassic and Jurassic source rocks entered into low maturity stage in 160–170 Ma and 100 Ma respectively, and entered into gas generation stage in 145 Ma and 75 Ma respectively. The earliest area that entered into low maturity stage is Kelasu, followed by Qiulitage structural zone, and Baicheng sag was the last one. The maturity of organic matter began to increase remarkably since 23 Ma, and both the Triassic and Jurassic source rocks are in their gas generation stage now.

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2001CB209103)

第一作者简介: 杨树春, 男, 36 岁, 博士, 构造地质及盆地模拟

收稿日期: 2005-09-27

The maturity of source rock is mainly controlled by sedimentary and burial history and thermal history of the basin. Overthrusting and gypsiferous rock have also certain influences on maturity of source rock, the intensity of which depends on the displacement of overthrust fault and the thickness and lateral variation of gypsiferous rock.

Key words thermal history; overthrusting; gypsiferous rock; organic maturity; Kuqa foreland basin

库车前陆盆地发育侏罗—三叠系、石炭系和寒武系 3 套主要烃源岩层。其中, 侏罗—三叠系的煤系烃源岩层是该盆地的主要产气源岩。目前该区的烃源岩有机质成熟度的研究多限于地表露头剖面 and 钻井取心样品及数量有限的单井模拟^[1-2], 缺乏对其区域时空变化的控制。

表征盆地烃源岩热成熟度的参数很多, 应用最广泛的是镜质体反射率 (R_o), 它反映了有机质各组分在热降解作用过程中其化学性质和物理性质发生的变化, 具有不可逆性, 因此, 可以根据钻井中不同构造层 R_o 剖面反演盆地热史。反之, 在确定盆地热史和埋藏史的前提下, 也可以通过正演得到烃源岩有机质的成熟状态随时间变化及其空间分布。

本文在盆地钻井热史反演恢复的基础上, 通过钻井和地震剖面人工井正演计算库车前陆盆地中生界烃源岩有机质的成熟度状态, 并针对库车前陆盆地构造和沉积特点, 重点讨论了逆冲推覆和膏盐岩层对有机质成熟度的影响。

1 地质背景

库车前陆是塔里木盆地北缘的一个次级构

造^[3], 南靠塔北隆起, 北接天山造山带。库车前陆盆地划分为北部单斜带、依奇克里克构造带、克拉苏构造带、拜城凹陷、阳霞凹陷和秋里塔格构造带。由南部平缓背斜带与塔北隆起过渡相接 (图 1)。

自 20 世纪以来, 前人对库车盆地的构造特征及演化做了大量的研究工作^[4-8], 认为库车盆地是印度—青藏陆—陆碰撞形成的再生前陆盆地^[9]。库车前陆盆地的形成与塔里木板块的构造演化密切相关。晚二叠世, 塔里木板块与伊犁地体碰撞造成板块向地体发生俯冲形成前陆盆地。在早期演化的基础上, 随着天山造山作用的持续发展, 三叠纪为盆地发育的中、晚期阶段, 至侏罗纪早期完成了前陆盆地的演化^[10]。自侏罗纪至老第三纪, 整个塔里木盆地处于应力松弛的断陷盆地演化阶段。始新世末期, 印度板块与欧亚板块碰撞^[11], 到渐新世晚期, 应力传递到塔里木盆地的北缘, 库车盆地进入再生前陆盆地演化阶段^[12]。

钻井揭示库车前陆盆地中生代以来地层齐全。侏罗系下统主要为煤系、中统为砂岩、上统以泥岩为主; 白垩系以砂泥岩为主。下第三系库姆格列木组 and 上第三系吉迪克组为膏岩层, 第三系其他各组均为砂泥岩层。康村组和第四系为砂泥互层。

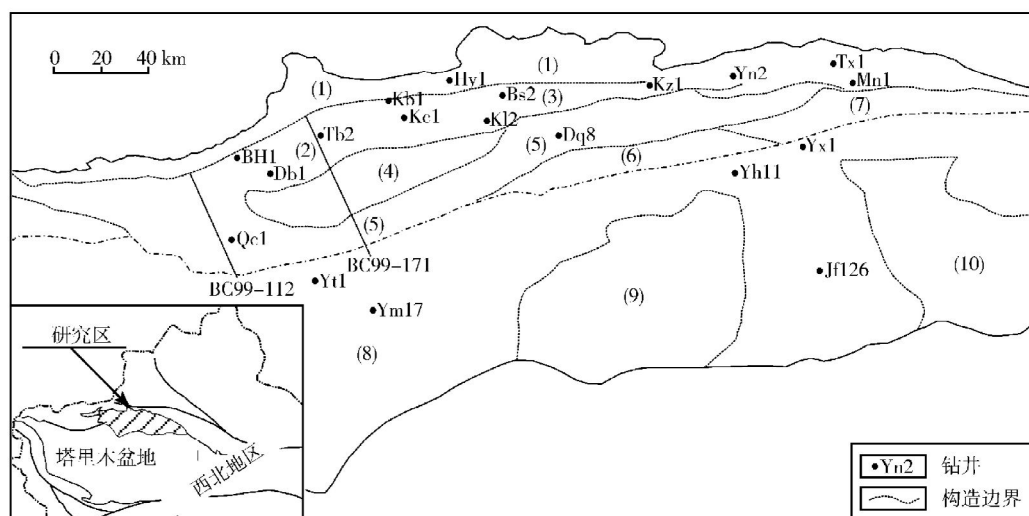


图 1 库车前陆盆地构造区划

Fig. 1 Geotectonic map of Kuqa foreland basin

- (1) 一北部单斜带; (2) 一克拉苏构造带; (3) 一依奇克里克构造带; (4) 一拜城凹陷; (5) 一阳霞凹陷;
(6) 一秋里塔格构造带; (7) 一南部平缓带; (8) 一塔北隆起; (9) 一哈拉哈塘凹陷; (10) 一草湖凹陷

由于库车前陆盆地发育有 3 套塑性地层, 即侏罗系的煤系、下第三系库姆格列木组 and 上第三系吉迪克组的膏岩层, 库车再生前陆盆地演化阶段变形强烈, 逆冲断层发育。

2 烃源岩成熟度状态

库车前陆盆地中生界烃源岩以煤和陆源有机质为主体, 含有丰富的镜质体成分, 因此镜质体反射率 (R_o) 测量值可以准确标定烃源岩的有机质成熟度 (表 1)。从实测 R_o 值 (图 2A) 与地层层位的关系看, 侏罗系烃源岩的 R_o 值为 0.55% ~ 1.88%, 均值为 0.93%, 烃源岩主体处于生油高峰

期, 部分处于生气状态; 三叠系烃源岩 R_o 值的分布范围为 0.6% ~ 2.59%, 均值为 1.1%, 烃源岩主体处于生油晚期状态, 部分处于生气乃至过成熟状态。

从 R_o 值与深度的关系来看, 整体上 R_o 值与深度存在一定相关关系; 但逆冲断层对其分布构成显著影响 (图 2B), 在相同深度上, 源于逆冲断层层位的 R_o 值明显偏高。

3 成熟度的时空演化

对于一个重要的油气勘探区而言, 仅仅只知道钻井及地表露头样品现今成熟度是远远不够

表 1 库车前陆盆地及邻区中生界烃源岩样品镜质体反射率测量值

Table 1 R_o values of samples from Mesozoic source rocks in Kuqa foreland basin and adjacent areas

钻井	层位	深度范围 /m	R_o 范围 /%	样品数	R_o 均值 /%
草 2	J	4 768.00~ 4 866.00	0.55~ 0.58	3	0.57
克孜 1	J	3 158.00~ 4 285.00	1.19~ 1.88	14	1.48
库北 1	J	4 246.40~ 4 629.39	1.28~ 1.54	9	1.37
阳霞 1	J	6 425.00~ 6 502.00	0.81~ 0.91	8	0.87
依南 2	J	3 945.60~ 4 702.95	0.57~ 1.41	45	0.87
依南 2	T	5 008.50~ 5 350.50	0.92~ 1.45	14	1.07
依南 4	J	3 172.00~ 4 318.00	0.62~ 1.03	18	0.81
依深 4	J	945.70~ 3 369.00	0.60~ 0.80	37	0.73
依西 1	J	2 240.00~ 3 962.00	0.70~ 1.30	33	1.00
英买 1	T	4 716.00~ 4 959.00	0.80~ 0.89	4	0.85
英买 1	J	4 717.00~ 4 957.00	0.77~ 1.14	4	1.02
明南 1	J	957.35~ 1 148.07	0.61~ 0.64	2	0.63
黑英 1	T	335.50~ 4 169.50	1.42~ 2.59	29	2.16
库南 1	T	4 033.00~ 4 074.50	0.66~ 0.81	7	0.74
塔河 1	T	3 986.65~ 4 152.00	0.67~ 0.86	3	0.74

注: 资料来源于中国石油塔里木油田分公司。

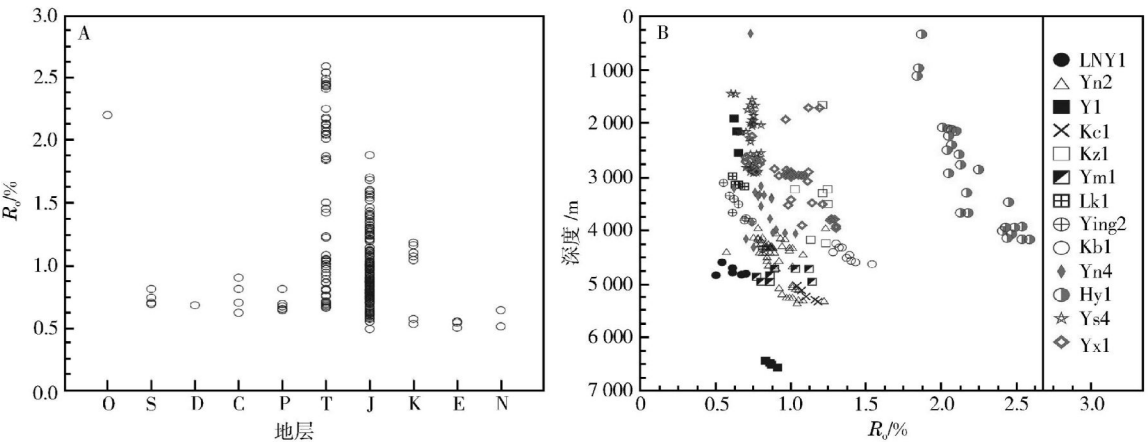


图 2 库车前陆盆地镜质体反射率 (R_o) 值与深度、层位关系

Fig. 2 R_o vs depth and horizon in Kuqa foreland basin

A—库车前陆盆地 R_o —地层层位关系; B—库车前陆盆地 R_o —深度—逆冲断层关系

的。为进一步减小勘探风险,对全区烃源岩有机质成熟度演化的时空分布的评估是一项重要的基础工作。

3.1 成熟度计算

烃源岩有机质成熟度取决于源岩所经历的温度和时间,因此可以通过其动力学模型进行计算,自 20 世纪 50—60 年代开始,国内外众多的学者对 R_o 的演化机制做过大量的研究,提出了多种 R_o 正演模型,从过去的单一温度函数模型^[13]到现在应用较多的平行 Arrhenius 一级化学反应高斯活化能分布模型^[14-15],其间还有以温度为主的时间-温度模型^[16-17]、单一活化能 Arrhenius 一级化学反应模型^[18-20]。模型的发展经历了一个从简单到复杂、从经验模拟到实验模型计算的过程。在所有模型中,烃源岩经历的温度和时间是两个重要参数。由此可见,要认识烃源岩成熟度演化,首先必须了解盆地的热史和埋藏史。

盆地热史可以在现今地温场的基础上,通过各种古温标数据(如镜质反射率、磷灰石裂变径迹、包裹体测温、粘土矿物等)来反演恢复。盆地热史恢复的方法很多^[21],具体可分为随机反演法^[22-23]、古地温梯度法^[24-25]和古热流法^[26]3 类。本文根据研究区的特定地质条件和拥有的钻井 R_o 值状况,选用古热流法来进行盆地热史恢复。

古热流法恢复盆地热史的前提是影响盆地地层温度史的因素是已知且能定量描述的。影响地层温度史的主要因素是地层的埋藏史和盆地的热流史。只要确定盆地不同时期地层的剥蚀厚度和热流史,即可恢复地层的埋藏史和与之相伴随的地层温度史。地层的埋藏史可以在地层剥蚀厚度已知的情况下通过现今残留地层厚度进行回剥而获得,同时还可得到地层埋藏过程中的孔隙度及相应的热物性数据^[27-28];古温标数据记录了地层

埋藏和盆地热演化过程中地层所经历的最高古地温,因此也间接记录了剥蚀量和古热流信息。在古热流法反演盆地热史的过程中,将钻井剖面按不整合面分成若干同时达到最高古地温的构造层,每个构造层具有两个未知量,即剥蚀厚度(H_e)和达到最高古地温时的古热流值(Q_i),通过对 H_e 和 Q_i 反复迭代,达到拟合实测温标值进而求取 H_e 和 Q_i 。图 3 展示了库车前陆盆地 HY1 井和 KC1 井现今成熟度(R_o)理论计算值与实测值温标的拟合关系。

现有钻井测温资料(包括系统测温和井底温度资料)表明,库车前陆盆地现今温度与深度呈较好的线性关系(图 4A),在部分钻井的温度曲线上也存在有局部的异常,如 Lunx2 井(系统测温)4 000~4 800 m 井段地温梯度明显偏低。整体上看,2 000 m 深度实测温度变化范围为 40~60℃,4 000 m 深度实测温度变化范围为 60~90℃,6 000 m 深度实测温度变化范围为 100~150℃。盆地地温梯度值受压实作用的影响随深度增加而逐渐减低并趋于稳定(18~20℃/km)。盆地现今大地热流值为 40~50 mW/m²^[29-31]。

采用与 YN2 井及 KC1 井相同的热史反演技术,利用热史恢复软件 Themodel^[32],采用古热流法对库车前陆盆地及邻区其他钻井进行了热史恢复。恢复结果显示,自三叠纪以来,库车前陆盆地热状态略有波动,可能反映了局部与膏盐层、流体等相关的热异常特征,但整体上处于较低热流状态(45~55 mW/m²)。新生代以来,印度板块向北强烈的挤压,使盆地北缘的天山隆升并向盆地内冲断,导致前陆盆地的快速挠曲沉降,接受了巨厚的新生代沉积物。岩石圈的增厚和温度的逐步冷却,使得新生代地表热流持续缓慢的降低,大地热流值最终降至现今的 40~50 mW/m²(图 4B)。

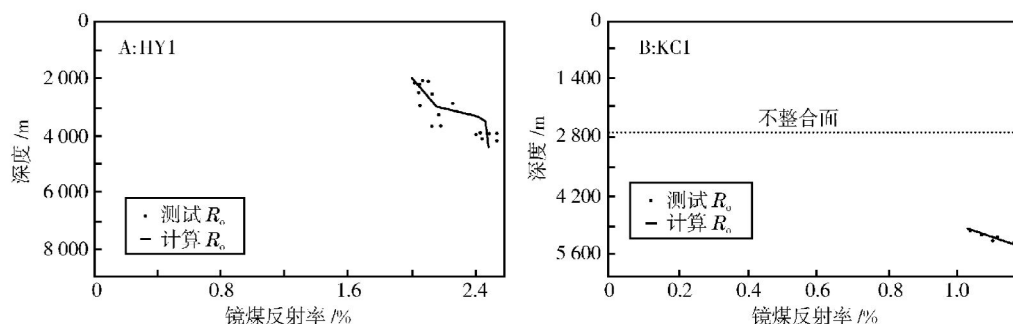


图 3 库车前陆盆地钻井古热流法反演 R_o 值与实际测量 R_o 值对比

Fig. 3 Comparison of the measured R_o and calculated R_o through borehole paleo-heat flow inversion in Kuqa foreland basin

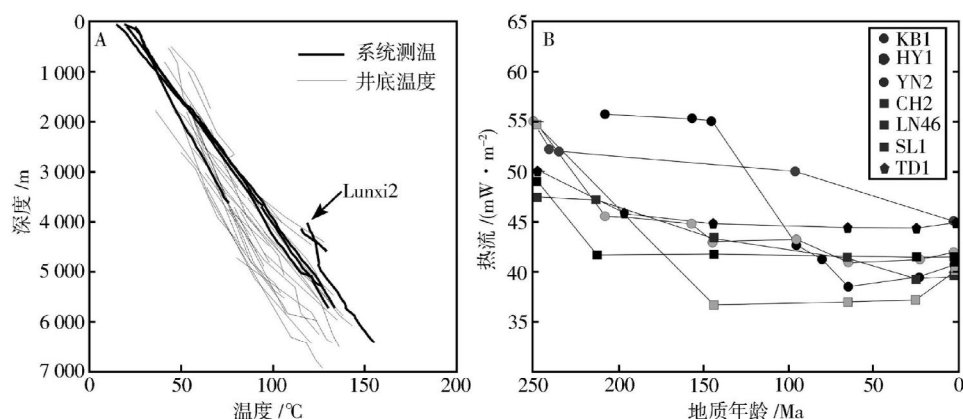


图 4 库车前陆盆地及邻区钻井温度-深度和钻井热流史

Fig. 4 Temperature vs. depth and heat flow history of wells drilled in Kuqa foreland basin and adjacent area

鉴于三叠纪以来研究区热流变化不大,塔北和库车坳陷烃源岩有机质的成熟度演化主要受控于源岩的埋藏史以及由于断层冲断叠置、基底埋深及膏盐层塑性流变产生的盆地浅部热导率结构变化而引起的侧向热传递和温度变化。

3.2 烃源岩热演化

在盆地热史恢复的基础上,结合盆地各地层的剥蚀厚度估算结果*,根据 Buhan 和 Sweeney^[33]的有机质成熟模型正演计算了中生界烃源岩在不同地质时期有机质的成熟度。

图 5 展示了沿地震剖面 BC99-112 和 BC99-171(剖面位置见图 1)侏罗系烃源岩有机质成熟状态的演化。从时间序列来看:在 BC99-171 线上,局部地区有机质在 100 Ma 时进入低成熟阶段 (R_o 值大于或等于 0.5%),有机质最早进入生气阶

段约在 75 Ma 在 BC99-112 线上,有机质最早进入低成熟阶段的时间约在 47 Ma 有机质最早进入生气阶段约为 41 Ma 两条地震剖面上有机质成熟度共同的特征是:在 23 Ma 以后有机质成熟度变化剧烈,现今有机质成熟度均处于生气阶段 (R_o 值大于 1.3%)。从空间上看:在 BC99-171 和 BC99-112 线上,侏罗系烃源岩有机质最先进入低成熟阶段的区域在克拉苏地区,其次为秋里塔格构造带,最晚进入低成熟阶段的为拜城凹陷。

三叠系烃源岩有机质于 160~170 Ma 在克拉苏局部地区进入低成熟阶段,有机质最早进入生气阶段的时间是 145 Ma 但仅局限于克拉苏局部地区。在整个时间序列上,有机质成熟度变化和侏罗系有机质变化有相同之处:在 23 Ma 后有机质成熟度变化剧烈且现今均处于生气阶段。

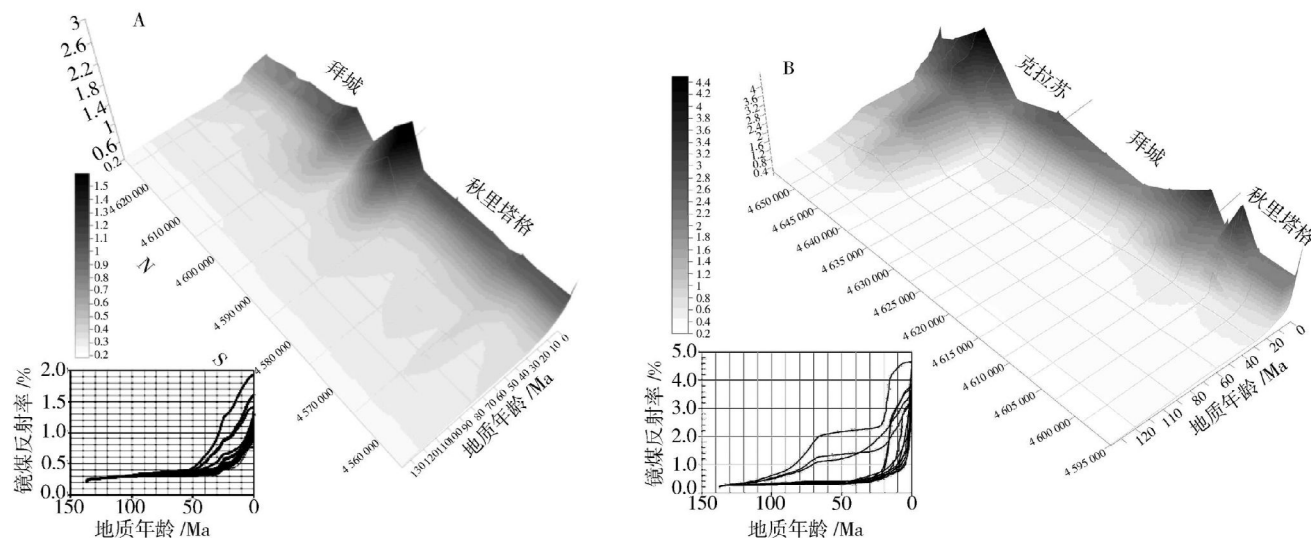


图 5 地震剖面 BC99-112 线 (A) 和 BC99-171 线 (B) 侏罗系烃源岩有机质成熟状态演化

Fig. 5 Evolution of organic maturation of Jurassic source rock on seismic profiles BC99-112 and BC99-171

* 中国石油勘探开发研究院地质所提供原始基础资料

4 成熟度的影响因素

烃源岩有机质成熟度主要取决于烃源岩所经历的地质时间和温度, 对于一套已经确定的烃源岩, 其经历的地质时间是确定的, 而所经历的温度则可能受到多种因素的影响。地层所经历的古地温主要受地层埋藏深度和盆地基底热流的控制, 但也受到如热导率、沉积物中的放射性生热等“内部”因素的影响。就库车前陆盆地而言, 除了烃源岩正常的有机质成熟演化史外, 烃源岩有机质成熟度还明显受到了地层推覆和膏盐层热效应的影响。

4.1 逆冲推覆

逆冲推覆对烃源岩成熟度的影响存在于两个方面: 1) 逆冲构造发育区与没有逆冲构造发育区相比, 在相同深度上逆冲构造发育区烃源岩成熟度增大 (见图 2 中 HY1 井); 2) 逆冲推覆增加了下盘的埋深, 当叠置厚度较大时, 下盘有机质成熟度增加, 并且在后期再沉积埋藏过程中, 下盘烃源岩有机质的成熟状态将会因地层的叠置和后期的持续沉积埋藏的双重影响而剧烈增大。

库车前陆盆地发育一套下第三系的膏盐岩层, 该岩层导致在克拉苏构造带、秋里塔格构造带上逆冲推覆构造发育^[34]。为了定量研究逆冲构造对有机质成熟度演化的影响, 选择克拉苏地区的人工井 (井号 492000) 对有、无逆冲断层条件下的有机质成熟度进行了对比 (图 6)。

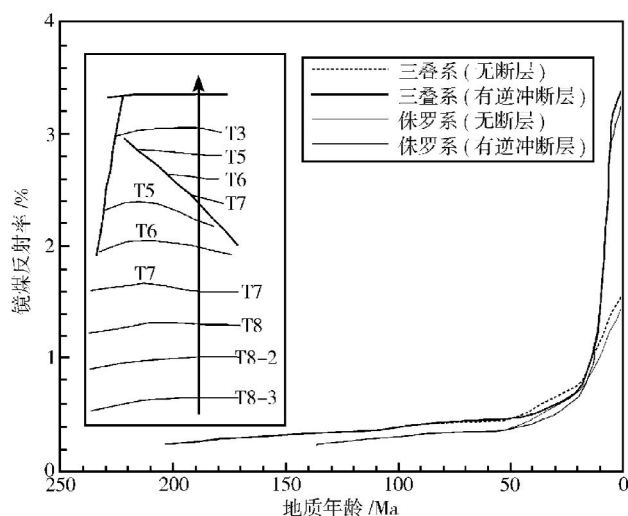


图 6 人工井 (492000) 中逆冲断层对有机质成熟度的影响

Fig. 6 Influence of overthrust fault on organic maturity in artificial well (492000)

人工井 (492000) 取自地震剖 BC99-171 线, 构造位置处于秋里塔格构造带上, 经地震剖面解释逆冲厚度为 2 878.1 m (图 6 左侧)。逆冲断层产生的时间在库车组沉积 (5.4 Ma) 之前而在康村组沉积 (15 Ma) 之后。逆冲运动发生之前, 三叠、侏罗系两套烃源岩有机质 R_o 值都低于 0.8%。如果假定没有逆冲运动发生, 有机质现今 R_o 值低于 1.6%; 考虑逆冲推覆厚度影响后, 两套烃源岩有机质现今 R_o 高于 3.4%。逆冲推覆引起的 R_o 差值高达 1.8%。两套烃源岩有机质 R_o 值在短时间内的剧烈变化说明, 库车前陆盆地逆冲断层对烃源岩有机质成熟度有着重要的影响。

4.2 膏盐岩层

在库车前陆盆地挤压应力环境下, 由于古新统库姆格列木组膏盐岩层自身的塑性流动, 导致发生大规模的盐岩聚集, 在局部增厚处形成了盐背斜或盐穹隆 (盐枕构造)。这种盐枕构造构成了克拉苏构造带和秋里塔格构造带的核部^[34]。

局部增厚的膏盐岩层因其岩石热物性参数 (主要是热导率) 与相邻其他岩性的显著不同而引起热汇聚, 从而影响其下伏烃源岩有机质的成熟状况。为评估膏盐层对其下伏烃源岩成熟度的影响, 选用地震剖面 BC99-147 线上两口人工井 (488 和 498), 先用实际地质参数计算下伏烃源岩 (侏罗系和三叠系) 有机质成熟度, 然后假定古新统库姆格列木组不含膏盐, 计算下伏有机质成熟度。计算结果表明, 含膏盐时其下伏烃源层有机质的成熟度将降低, 降低的幅度取决于含膏盐层的厚度及膏盐的含量, 488 井处古新统厚度为 527 m, 不考虑膏盐层厚度时现今 R_o 值为 1.86%, 考虑膏盐层厚度时现今 R_o 值为 1.80%, 膏岩层对现今有机质成熟度影响幅度为 3.3%。498 井处古新统厚度为 3 187 m, 不考虑膏盐层厚度时现今 R_o 值为 2.07%, 考虑膏盐层厚度时现今 R_o 值为 1.69%, 膏岩层对现今有机质成熟度影响幅度为 18.3%。其原因是膏盐层热导率相对较高, 构成了上覆层的“烟囱效应”, 导致下伏岩层的温度及有机质成熟度的降低。膏盐岩层越厚, 侧向变化幅度越大, 其热效应越明显。

图 7 展示了地震剖面 BC99-147 线现今的温度场模拟结果。在模拟过程中底部热流沿剖面方向保持为常数。从模拟的温度分布可以明显看出在膏盐层厚的地方 (秋里塔格构造带和克拉苏构

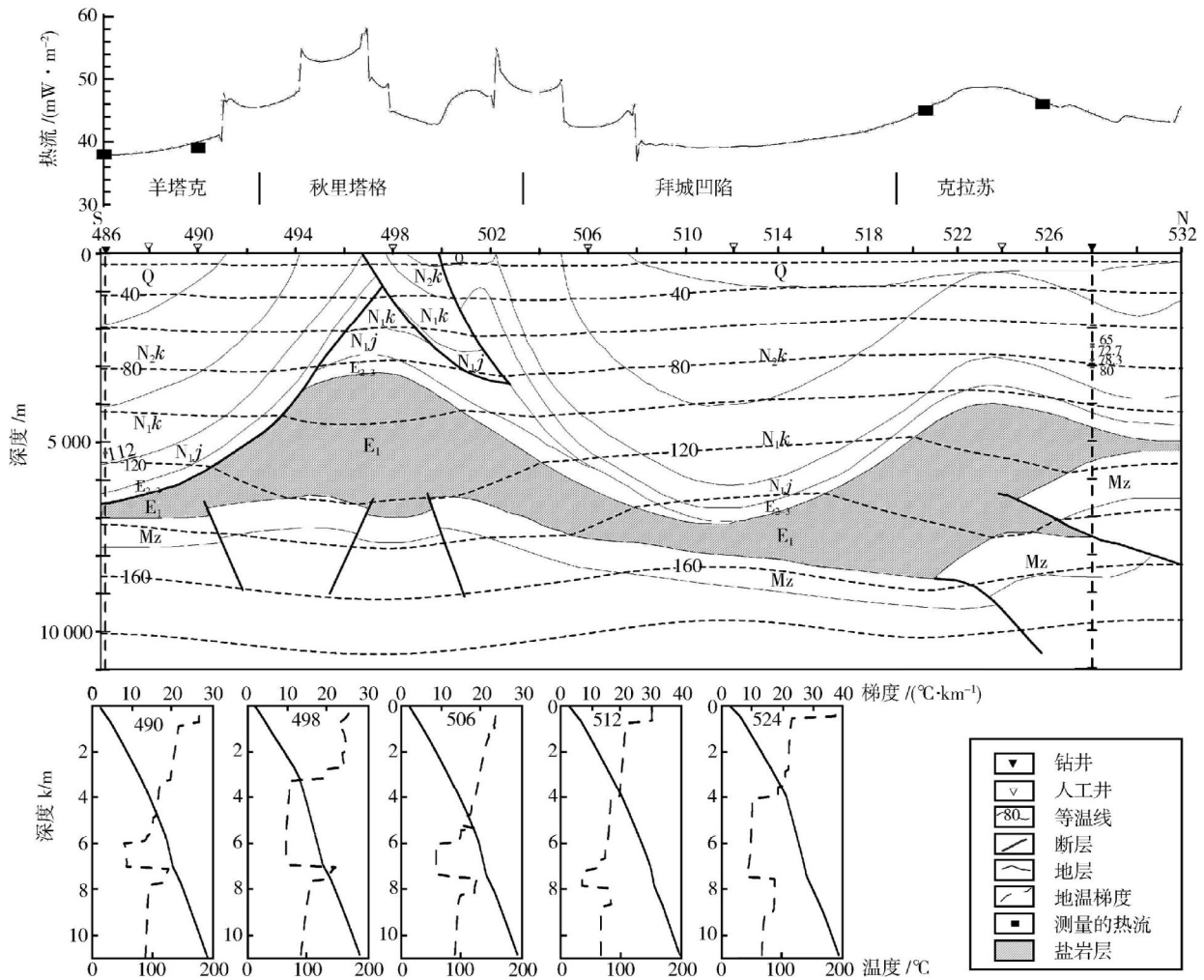


图 7 地震剖面 BC99-147 线现今温度场及含膏岩层对温度分布影响

Fig. 7 Contemporary temperature field in seismic profile BC99-147 and the influence of gypsiferous rock on temperature distribution

N_2k —上新统库车组; N_1k —中新统康村组; N_1j —中新统吉迪克组; E_{2-3} —渐新统; E_1 —始新统; Mz —中生界

造带), 其下伏的地层温度较低, 对应的地表热流值大, 在拜城凹陷的下部, 地层温度较高而对应的地表热流值则较低。

致谢: 本文研究过程中, 中国石油勘探开发研究院和中国石油塔里木油田分公司提供了所需数据资料和岩心样品。感谢中国石油勘探开发研究院的高阳、王社教等在本文研究过程中提供的热情帮助。

参 考 文 献

- 赵林, 秦胜飞. 库车凹陷侏罗系烃源岩热演化研究 [J]. 地质地球化学, 1999, 27(3): 1~4
Zhao Lin, Qin Shengfei. Thermal evolution of Jurassic source rocks in the Kuqa depression, Tarim basin [J]. Geology Geochemistry, 1999, 27(3), 1-4
- 王东良, 刘宝泉, 国建英, 等. 塔里木盆地煤系烃源岩生排烃模

- 拟实验 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 38~41
Wang Dongliang, Liu Baoquan, Guo Jianying et al. Simulation test of hydrocarbon generation and expulsion for source rocks of coal measures in Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 38-41
- 刘志宏, 卢华复, 贾承造, 等. 库车再生前陆盆地的构造与油气 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 297~303
Liu Zhong, Lu Hufu, Jia Chengzao et al. Structures and hydrocarbon accumulation in Kuqa rejuvenated foreland Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 297-303
- 贾承造. 塔里木板块构造演化 [A]. 见: 李清波, 戴金星, 刘如琦, 等. 现代地质学研究文集 (上) [C]. 南京: 南京大学出版社, 1992, 22~31
Jia Chengzao. Tectonic evolution of the Tarim plate [A]. In: Li Qingbo, Dai Jinxing, Liu Ruqi eds. Symposium of the researches on modern geology (1) [C]. Nanjing: Nanjing University Press, 1992, 22-31
- 刘和甫. 前陆盆地类型及褶皱-冲断层样式 [J]. 地学前缘,

- 1995, 2(3): 59~68
- Liu Hefu. Classification of foreland basins and folding-thrusting style[J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3): 59~68
- 6 康竹林, 翟光明. 中国的前陆盆地与油气聚集[J]. *石油学报*, 1995, 16(4): 1~8
- Kang Zhulin, Zhai Guangming. Foreland basins and their hydrocarbon potential in China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1995, 16(4): 1~8
- 7 贾承造, 何登发, 雷振宇, 等. 前陆冲断带油气勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000. 1~351
- Jia Chengzao, He Dengfa, Lei Zhenyu, et al. Petroleum exploration in foreland thrust belts[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000. 1~351
- 8 张光亚, 陈发景, 汪新文. 塔北地区变形样式及其分布规律[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1994, 19(6): 755~768
- Zhang Guangya, Chen Fajing, Wang Xinwen. Deformation style and its distribution in north Tarim basin, northwest China[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1994, 19(6): 755~768
- 9 卢华复, 贾东, 蔡东升, 等. 塔里木和西天山古生代板块构造演化[A]. 见: 童晓光, 梁狄刚, 贾承造编. 塔里木盆地地质研究新进展[C]. 北京: 科学出版社, 1996. 235~245
- Lu Huaifu, Jia Dong, Cai Dongsheng, et al. Tectonic evolution of the Paleozoic plate in Tarim basin and western Tianshan[A]. In: Tong Xiaoguang, Liang Digang, Jia Chengzao, eds. The progress of geologic research in Tarim basin[C]. Beijing: Science Press, 1996. 235~245
- 10 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 中国新疆中生代地壳演化及成矿[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 香港: 香港文化教育出版社, 1994. 1~245
- He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, et al. Tectonic evolution of the Mesozoic crust and mineralization in Xinjiang, China[M]. Urumqi: Xinjiang People's Press, Hongkong: Hongkong Culture and Education Press, 1994. 1~245
- 11 郭令智, 施央申, 卢华复, 等. 印藏碰撞的两种远距离效应[A]. 见: 李清波, 戴金星, 刘如琦, 等. 现代地质学研究文集(上)[C]. 南京: 南京大学出版社, 1992. 1~7
- Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Lu Huaifu, et al. Two kinds of remote structural effects from the India and Qinghai-Xizang collision[A]. In: Li Qingbo, Dai Jinxing, Liu Ruqi, eds. Symposium of the researches on modern geology (1)[C]. Nanjing: Nanjing University Press, 1992. 1~7
- 12 刘志宏, 卢华复, 李西建, 等. 库车再生前陆盆地的构造演化[J]. *地质科学*, 2000, 35(4): 482~492
- Liu Zhihong, Lu Huaifu, Li Xijian, et al. Tectonic evolution of Kuqa rejuvenated foreland basin[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2000, 35(4): 482~492
- 13 Price L C. Geological time as a parameter in organic metamorphism and vitrinite reflectance as an absolute paleogeothermometer[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1983, 6: 5~38
- Larter S R. Some pragmatic perspectives in source rock geochemistry[J]. *Mar. Petrol. Geol.*, 1988, 5: 194~204
- 15 Sweeney J J, Burnham A K. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics[J]. *AAPG Bull.*, 1990, 74(10): 1559~1570
- 16 Hood D, Gutzmer C M. Organic metamorphism and the generation of petroleum[J]. *AAPG Bull.*, 1975, 59: 986~996
- 17 Bostick N H, Cashman S M, McCulloch T H, et al. Gradients of vitrinite reflectance and present temperature in the Los Angeles and Ventura basins, California[A]. In: Oltz D F, ed. Low temperature metamorphism of kerogen and clay minerals[C]. SEPM: Symposium in Geochemistry, 1978. 65~69
- 18 Middleton M F, Falver D A. Maturation modeling Oway basin, Australia[J]. *AAPG Bull.*, 1983, 67: 271~279
- 19 Wood D A. Relationships between thermal maturity indices calculated using Arrhenius equation and Lopatin method: implications for petroleum exploration[J]. *AAPG Bull.*, 1988, 72(2): 115~134
- 20 Waples D W. Time and temperature in petroleum formation: application of Lopatin's method to petroleum exploration[J]. *AAPG Bull.*, 1980, 64(6): 916~926
- 21 胡圣标, 张容燕. 油气盆地地热史恢复方法[J]. *勘探家*, 1998, 3(4): 56~61
- Hu Shengbiao, Zhang Rongyan. Methods of thermal history reconstruction in hydrocarbon-bearing basin[J]. *Explorer*, 1998, 3(4): 56~61
- 22 Lutz T M, Omar G. Inverse methods of modeling thermal histories from apatite fission track data[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1991, 104: 181~195
- 23 Gallagher K. Evolving temperature histories from apatite fission track data[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1995, 136: 421~435
- 24 Duddy I R, Green P F, Hegarty K A, et al. Reconstruction of thermal history in basin modeling using apatite fission track analysis: what is really possible[J]. *Offshore Australia Conference Proceedings*, 1990, 1: 49~61
- 25 Bray R J, Green P F, Duddy I R. Thermal history reconstruction using apatite fission track analysis and vitrinite reflectance: a case study from the East Midlands of England and the southern North Sea[A]. In: Hardman R S P, ed. Exploration Britain: geological insights for the next decade[C]. Geological Society of London Special Publication, 1992, 67: 3~25
- 26 Lerche I, Yarzab R F, Kendall C G. Determination of paleoheat flux from vitrinite reflectance data[J]. *AAPG Bull.*, 1984, 68: 1704~1717
- 27 Royden L, Keen C E. Rifting process and thermal evolution of the continental margin of eastern Canada determined from subsidence curves[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1980, 51: 343~361
- 28 Allen P A, Allen J R. Basin analysis: principles and application[M]. London: Blackwell Scientific Publication, 1990

- gion[J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 332-335
- 16 李明宅, 张洪年, 刘华. 生物气模拟试验的进展[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(2): 117-122
- Li Mingzhai, Zhang Hongnian, Liu Hua. Advances in simulated test of biogas[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(2): 117-122
- 17 Machel H G. Products and distinguishing criteria of bacterial and thermochemical sulfate reduction[J]. Applied Geochemistry, 1995, 10: 373-389
- 18 彭作林, 惠荣耀. 柴达木盆地天然气赋存条件及资源预测[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1991. 162-232
- Peng Zuolin, Hui Rongyao. Occurrence of natural gas in Qaidam basin and resources assessment[M]. Lanzhou: Gansu Science & Technology Press, 1991. 162-232
- 19 关平, 王大锐, 黄第藩. 柴达木盆地东部生物气与有机酸地球化学研究[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(3): 41-45
- Guan Ping, Wang Dairui, Huang Diefan. The study on the characteristics and evolution regularity of product of gas under pyrolysis simulation experiments[J]. Petroleum Exploration & Development, 1995, 22(3): 36-40
- 20 段毅, 崔明中, 罗斌杰, 等. 我国海洋沉降颗粒物质的有机地球化学研究——(iv)有机质通量及烃类化合物和脂肪酸分布特征[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(5): 44-446
- Duan Yi, Cui Mingzhong, Luo Binjie, et al. Organic geochemical studies of sinking particulate material in China sea area——(I) organic matter fluxes and distributional features of hydrocarbon compounds and fatty acids[J]. Science in China (Series D), 1997, 27(5): 442-446
- 21 De L J W, Frewin N L. Organic carbon as a paleoenvironmental indicator in the marine realm[A]. In: Marine paleoenvironmental analysis from fossils[C]. Geological Society Special Publication, 1995, 83: 43-71
- (编辑 李 军)

(上接第 777 页)

- 29 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
- 30 王钧, 汪缉安, 沈继英, 等. 塔里木盆地的大地热流[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(4): 399-404
- Wang Jun, Wang Jifan, Shen Jiying, et al. Heat flow in Tarim basin[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(4): 399-404
- 31 王良书, 李成, 刘绍文, 等. 塔里木盆地北缘库车前陆盆地地温梯度分布特征[J]. 地球物理学报, 2003, 46(3): 403-407
- Wang Liangshu, Li Cheng, Liu Shaowen, et al. Geotemperature gradient distribution of Kuqa foreland basin, northern Tarim, China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2003, 46(3): 403-407
- 32 Hu S B, O'Sullivan P B, Raza A, et al. Thermal history and tectonic subsidence of the Bohai basin, northern China: a Cenozoic rifted and local pull-apart basin[J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2001, 126: 221-235
- 33 Bumhan A K, Sweeney J J. A chemical kinetic model of vitrinite maturation and reflectance[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, (53): 2649-2657
- 34 汤良杰, 贾承造, 皮学军, 等. 库车前陆褶皱带盐相关构造样式[J]. 中国科学, 2003, 33(1): 38-46
- Tang Liangjie, Jia Chengzao, Pi Xuejun, et al. Style of salt-related structure in Kuqa foreland folding and thrusting belts, Tarim basin, northwest China[J]. Science in China (Series D), 2003, 33(1): 38-46
- (编辑 李树森)

“中国石油学会天然气专业委员会 2005 年学术年会”在三亚召开

2005 年 11 月 23 日至 27 日, 由中国石油学会天然气专业委员会主办、中海油湛江分公司承办的“中国石油学会天然气专业委员会 2005 年学术年会”在三亚召开。来自中石化、中海油、中石油、陕西省天然气股份有限公司及部分石油院校的 100 余名代表参加会议, 中国工程院邱中建院士、胡见义院士、西南石油学院李士伦教授等应邀出席会议并作主题报告。会议共收到论文 100 余篇, 大会主题报告 8 篇, 分会交流 45 篇。会议就鄂尔多斯、准噶尔、塔里木、四川、南海西部等大、中型含油气盆地中各类型气田勘探开发、地面工程中一些新的技术和研究成果进行交流和研讨。本次年会的主题是“以科技进步推动天然气工业协调、快速、持续发展, 充分发挥天然气清洁能源在国民经济发展中的重要作用”。

(游瑜春 郑荣臣)