

文章编号: 1000-0550(2003)02-0328-06

# 沉积岩包裹体烃源条件时间温度指数判别法的探讨<sup>①</sup>

## ——以鄂尔多斯下古生界为例

谈 迎 刘德良 杨晓勇 张交东 李振生

(中国科学技术大学地球与空间科学系 合肥 230026)

**摘 要** 包裹体在油气地质领域的应用,是近年来包裹体研究的热点和难点。本文探索性地运用沉积岩中包裹体测试数据计算烃源岩主要生烃时期的时间温度指数( $TTI$ ),对沉积盆地的烃源条件进行判别。首先利用鄂尔多斯下古生界包裹体显微测温数据求取捕获温度,计算古地温梯度,得出动态古地温曲线;然后计算出下古生界烃源岩的门限。奥陶系烃源岩生烃门限时间为 280~131 Ma,相当于二叠纪至侏罗纪,其对应的生烃门限温度为 70~115°C,门限深度 2 100~3 400 m,生烃高峰期为 181.4~149.6 Ma,相当于侏罗纪中晚期。在生烃高峰期该层位的温度为 110~115°C,埋深 3 300~3 400 m 和实际主要产气层分布相一致,说明了应用沉积岩包裹体计算时间温度指数,对烃源条件进行判别这种方法的有效性。

**关键词** 包裹体 时间温度指数( $TTI$ ) 烃源条件

**第一作者简介** 谈迎 男 1968 年出生 博士研究生 地球化学 石油地质 构造地质

**中图分类号** TE122.1 **文献标识码** A

流体包裹体是宿主矿物生长时捕获流体介质而形成的,沉积岩中的包裹体记录了沉积盆地地质历史中古流体的众多信息,如何将其解译出来应用于油气勘探研究,是近年来包裹体研究的热点和难点<sup>[1-7]</sup>。Newell 和 Burruss 1992 年报道了美国堪萨斯北部元古代碎屑岩作为烃源岩的流体包裹体证据<sup>[8]</sup>等, Gigashvili 和 Kalish 1997 年报道了利用矿物中的烃类包裹体作为含烃流体运移的物理化学指标<sup>[9]</sup>。本文则探索性地运用沉积岩中的包裹体计算烃源岩主要生烃时期的时间温度指数( $TTI$ ),对沉积盆地的烃源条件进行判别。

国内外研究有机质成熟度的指标主要有镜质体反射率( $R_o$ )、岩石热解最高峰温度( $T_{max}$ )、干酪根的颜色及 H/C-O/C 原子比关系、时间-温度指数( $TTI$ )等<sup>[10]</sup>。前三种指标都需对烃源岩中的干酪根做镜下鉴定或实验室分析才能获得。对于流体包裹体而言,其中有机质含量很少,目前还无法通过实验来求得前三种指标,而烃类包裹体自身就相当于已经形成的微型油气藏,其对烃源岩研究有着极其重要的价值,因此用流体包裹体显微测试数据求取时间-温度指数( $TTI$ )来对烃源岩生烃条件进行评价是一种有意义的尝试。

运用流体包裹体地球化学数据可以从许多方面对油气成藏进行研究。但此前沉积岩流体包裹体的研究,往往仅停留在对实测数据表象的分析或简单的统计分

析。本文在此基础上进行了更深入的研究,利用包裹体显微测温资料和激光拉曼测试资料,计算出古地温梯度、古地压梯度、动态古地温,进行生烃条件时间温度指数( $TTI$ )值计算,用  $TTI$  对烃源条件进行判别。从实际的检验结果可以看出这一探索是有效的。利用包裹体显微测试数据进行烃源条件判别最大的优点在于这种方法具有数据的直接性和动态性。

## 1 概述

### 1.1 研究区地质背景

鄂尔多斯盆地位于中国北方的中部地区,从构造属性上说是一个内克拉通盆地。古生代时,鄂尔多斯地区是大华北盆地的西翼,地层层序和岩性与华北其他地区相近,下古生界以碳酸盐岩沉积为主,上古生界为海陆过渡相含煤系地层。除鄂尔多斯盆地西缘及南缘有中上奥陶统沉积外,盆地大部分地区缺失中奥陶统至早石炭统地沉积。中石炭统以假整合接触关系直接覆盖在下奥陶统风化面之上。

### 1.2 包裹体显微测试结果

为了进行下古生界烃源岩的研究,必须采集区域性生烃层段的样品,希望通过测定其中包裹体的成分及生化指标来判别烃源、有机质演化程度。因此,采集的样品覆盖了石炭-二叠纪的煤系层段及奥陶纪的碳酸盐岩层段。平面上采样点尽可能覆盖研究区的范围,

① 国家自然科学基金项目(批准号:40172072)和“九五”国家攻关重点项目(99-110-01-03)资助

实际采样点取了东西、南北两个剖面共 24 口井。对所采集样品中的包裹体,首先进行细致的镜下观察和拍照,然后进行显微测温和激光拉曼成份测试。

所测的 19 块薄片 175 个数据点中,均一温度主要集中在 100~160°C 之间(表 1),只有极少的测点均一温度小于 80°C 或大于 180°C。共测了 36 个样品点的冰点,换算出的盐度波动范围为 0.7%~17.09wt%

NaCl,主要值集中在 2%~14wt% NaCl,在低盐度范围内。

包裹体的成分分析,采用法国 J-Y 公司 RAMANOR-U1000 型激光拉曼探针测定,实验在国土资源部西安地质矿产研究所进行。实验条件:温度 23°C,湿度 65%。

表 1 鄂尔多斯古生界流体包裹体显微测试数据

Table 1 Microanalysis data of Paleozoic fluid inclusions in Ordos Basin

期次	均一温度 / °C	相对盐度 / wt%	分布井位	层位	时限 / Ma	频数
1	59		陕 156	O <sub>1m</sub>	550~440(550~480)	2
2	78~87	1.74	陕 156 陕 47	C <sub>2b</sub>	350~285(320~300)	4
3	97~118	13.94~15.27	陕 56 47 53 99 156 城川 1	P <sub>1-2sh</sub>	285~230(285~260)	58
4	122~128	3.39~6.74	陕 47 53 陕参 1 城川 1	P <sub>1-2sh</sub>	285~230(285~260)	29
5	130~138	10.61~14.25	陕 9 47 53 56 99 陕参 1 城川 1	C <sub>2b</sub>	350~285(320~300)	34
6	140~158	17.17~17.52	陕 53 56 99	O <sub>1m</sub>	550~440(550~480)	21
7	162~170	17.34~17.43	陕 21 47 53	O <sub>1m</sub>	550~440(550~480)	9
8	184~197	13.72~14.36	陕 21 156	P <sub>1-2sh</sub>	285~230(285~260)	10
9	> 200	14.36	陕 21 156	P <sub>1-2sh</sub>	285~230(285~260)	5

包裹体气相成分以 CO<sub>2</sub> 为主,反映了碳酸盐岩宿主矿物对包裹体的影响。有机质相对含量高,总烃含量高达 11.3%~36.2%。液相成分以 H<sub>2</sub>O 为主,其次是 CO<sub>2</sub> 甲烷含量在 3.8%~11.7%,总烃含量 11.4%~24.9%,和气相成分是对应的。

包裹体镜下观察和实验所测的结果,是对包裹体进行分类、期次归并和古地温恢复等各项研究的最基础资料。

### 1.3 TTI 原理简述及包裹体 TTI 法的研究框架

时间-温度指数 (TTI) 的概念是由前苏联学者洛帕京 (N. V. Lopatin) 于 1971 年首次提出<sup>[10]</sup>,用来表示时间与温度两种因素同时对沉积有机质热成熟度的控制作用,美国学者魏泊斯 (Douglas. W. Waples, 1980) 对 TTI 方法进行了完善<sup>[10]</sup>,并且运用镜质体反射率 (R<sub>o</sub>) 等参数对 TTI 值进行经验性校正,确定油气演化各阶段的 TTI 值,使 Lopatin/Waples TTI 方法广泛应用于预测烃源岩的热成熟度。

从化学动力学角度看, Lopatin/Waples TTI 法依然很粗略,运用阿仑尼乌斯方程计算 TTI 值,预测结果更接近实际。从阿仑尼乌斯方程出发可以推导出温度恒定 (T<sub>n</sub> = T<sub>n-1</sub>) 的时间间隔内 (即地层在此段时间埋深基本保持不变) ΔTTI 值表达式为:

$$\Delta TTI = (t_n - t_{n-1}) A e^{-E/RT_n} \quad (1)$$

式中 t<sub>n</sub>、t<sub>n-1</sub> 为同一间隔内起始点和终止点的时间

(Ma); A 为指前因子 (1/Ma); E 为活化能 (KJ/mol); R 为气体常数 (0.008314KJ/mol·K); T 为绝对温度 (K)。

有机质在整个埋藏过程中的 TTI 值为:

$$TTI = \sum_i TTI_i = \sum_{t=t_{n-1}}^{t=t_n} \frac{A(t_{n-1} - t_n)}{T_{n-1} - T_n} \left( \frac{RT_n^2}{E + 2RT_{n-1}} e^{-E/RT_{n-1}} - \frac{RT_n^2}{E + 2RT_n} e^{-E/RT_n} \right) + \sum_{t=t_{n-1}}^{t=t_n} (t_{n-1} - t_n) A e^{-E/RT_n} \quad (2)$$

因此,只要确定源岩干酪根的化学动力学参数 E 和 A,并恢复源岩所经历的埋藏史和地温史,根据公式 (1) (2) 即可方便地计算 TTI 值,预测源岩的成熟度。据此,我们提出根据流体包裹体求取时间温度指数 (TTI) 的技术路线。研究框架如图 1。

## 2 鄂尔多斯奥陶系烃源岩 TTI 值的求取

### 2.1 生烃动力参数 E 和 A 的确定

烃源岩中干酪根生烃的活化能 E 和指前因子 A 可以由热解实验实测获得,不同类型干酪根,其活化能 E 和指前因子 A 有较大差异,本文采用 Lewan 于

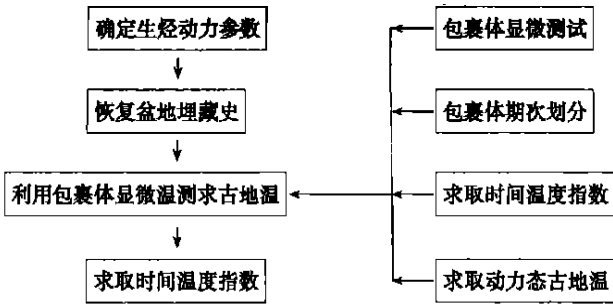


图 1 包裹体时间温度指数法研究框图

Fig. 1 Research frame of time and temperature index by inclusion

图 1 包裹体时间温度指数法研究框图

Fig. 1 Research frame of time and temperature index by inclusion

表 2 干酪根生烃化学动力学参数

(据 Lewan, 1985)

Table 2 Chemical dynamic parameters of hydrocarbon production of Kerogen( after Lewan, 1985)

干酪根类型	活化能 $E(\text{KJ/mol})$	指前因子 $A(\text{Ma}^{-1})$
I	100	$2.65 \times 10^{17}$
	125	$2.5 \times 10^{19}$
	150	$2.65 \times 10^{21}$
II	179	$4.3 \times 10^{23}$
	200	$2.07 \times 10^{25}$
	218	$5.45 \times 10^{26}$
III	250	$1.76 \times 10^{29}$
	275	$1.72 \times 10^{31}$
	300	$1.6 \times 10^{33}$

1985年提出的生烃化学动力学参数(表 2)求取。研究区内奥陶系碳酸盐岩中的有机质干酪根类型主要为腐泥型—混合型(II A),选取  $E=179\text{KJ/mol}$ ,  $A=4.3 \times 10^{23}\text{Ma}^{-1}$  较符合情况

### 2.2 埋藏史的恢复

TTI 法估计烃源层成熟度的可靠性,很大部分取决于埋藏史被恢复的准确程度。埋藏史恢复主要解决地层压实校正和剥蚀量计算。

鄂尔多斯奥陶系底界面沉积时限约为  $490\text{Ma}$ ,顶界面沉积时限约为  $440\text{Ma}$ (图 2)。综合前人资料,可恢复奥陶系生油层顶底面埋藏史(图 2)。埋藏史可分段表示为深度和时间的一阶线性式:  $D = b_0 + b_1 t$ ,其中  $b_0, b_1$  为回归系数,  $t$  为时间(单位  $\text{Ma}$ ),  $D$  为埋深(m)。

### 2.3 利用包裹体均一温度求取古地温、古地温梯度及动态古地温

地温网如何建立直接影响到生油窗、生油门限的确定。以往采用的方法主要有两种:(1)认为古今地温梯度变化很小,用现今地温梯度近似代表古地温计算;(2)用镜质体反射率  $R_0$  恢复古地温。包裹体均一温度

是包裹体捕获时古流体温度的下限值,经过压力校正后可以求得该时刻古流体温度。对于沉积岩中的原生流体包裹体,其形成的过程是和成岩、成矿作用同步的,是一个相对漫长的过程,因此用古流体的温度代表成岩、成矿期的古地温是合理的。

在同一口钻井中,取出不同深度的样品,分别在其中寻找出同一成岩、成矿期形成的流体包裹体,测定其均一温度,计算出同一成岩、成矿期不同深度的流体包裹体的捕获温度和捕获压力,进一步计算出单井在某一个成岩、成矿期的古地温、古地温梯度值。用不同成岩、成矿期的古地温、古地温梯度值就可以回归出其随时间变化的关系式。

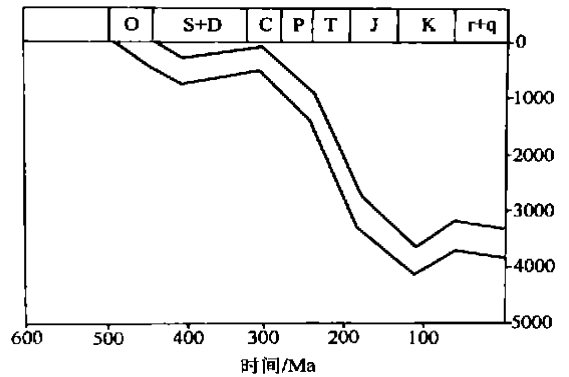


图 2 鄂尔多斯中部气田奥陶系生油层埋藏史图

Fig. 2 Sketch of burial history of Ordovician hydrocarbon generating layer of the central gas field in Ordos Basin

利用包裹体显微测试数据求取古地温最大的优势在于,可以利用相对直接的盆地古流体数据,反映出盆地古地温、古地温梯度在地质历史中的变化情况,为了区别于某一时间点的古地温值和地温平均值,我们称其为动态古地温。从包裹体基本数据出发,求取动态古地温表达式是一项系统而细致的工作,由于篇幅限制,有关内容将另文介绍<sup>①</sup>。在此仅列举简单步骤和最终结果。总体分三步进行:

首先,要对沉积盆地的包裹体的形成期次进行研究,只有同一期次包裹体的温度值才能用来求取该时间段的地温梯度。包裹期次划分是包裹体应用过程中极其重要的一个环节,一般要结合包裹体宿主体的结构关系、成分(包括主元素、微量元素)及镜下特征等诸多指标综合确定。通过对鄂尔多斯古生界 10 口井 19 块薄片 180 个包裹体镜下特征、显微测温数据及 21 个激光拉曼成分测试数据分析,将其包裹体划分为 9 期(表 1)其中,二叠纪的 4 期,石炭纪的 2 期,奥陶纪的 3 期。在研究区广泛发育的有五期(表 1 中的 3 4 5 6

<sup>①</sup> 国家“九五”攻关报告(99-110-01-03).鄂尔多斯盆地流体包裹体特征及天然气生成运移的研究. 2000

7期)。各期包裹体的特征及划分依据见表 4 包裹体的形成时限取宿主体出现的最晚层位。

第二步,利用同一口井、同一期次、不同深度的包裹体测温数据,用一阶线性回归的方法求取各期次的地温梯度。陕 47 井,求得第 3 期地温梯度为  $3.302^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$  陕 53 井,求得第 4 期地温梯度为  $3.604^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$

第三步,回归出地温梯度随时间变化的关系式。古地温随时间的变化关系有线性演化和非线性演化两种模式。鄂尔多斯在构造上比较稳定,无明显岩浆活动,具有典型稳定区热流特点<sup>①</sup>,可将该区地热模型用一阶线性式表示为:  $Q = Q_0(1 - bt)$ ,其中  $Q_0$ 、 $Q$  为热流值,  $b$  为回归系数,  $t$  为时间。据此,我们用线性演化模式,来建立地温梯度时间关系式。求得鄂尔多斯盆地地温演化一阶线性关系式为:  $G = 2.719 + 0.00262t$ ,其中  $G$  为地温梯度,  $t$  为时间。

第四步,利用地温梯度与时间的一阶线性关系式和某一层位的埋藏史曲线可以推导出该层位的动态古地温表达式:

地温梯度与时间一阶线性表示为:

$$G = \frac{dT}{dD} = a_0 + a_1t \quad (3)$$

某层位埋藏史曲线可以分段表示为:

$$D = b_0 + b_1t \quad (4)$$

其中,  $G$  为地温梯度 ( $^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ ),  $T$  为温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $D$  为深度 (100 m),  $t$  为时间 (Ma)。  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $b_0$ 、 $b_1$  为回归系数。

据此,可得该层位的动态古地温表达式:

$$T = (a_0 + a_1t)(b_0 + b_1t) = c_0 + c_1t + c_2t^2 \quad (5)$$

其中,  $c_0 = G_0D_0 = (a_0 + a_1t_0)(b_0 + b_1t_0)$ ,  $c_2 = b_1a_1$ ,  $c_1 = b_1a_0 + a_1b_0$ ,  $c_0$  为初始值是该层位现今温度,可根据现今恒温带温度及地温梯度求得,  $G_0$  为现今地温梯度,  $D_0$  为现今埋深。

鄂尔多斯恒温带平均深度为 30 m,温度为  $10^{\circ}\text{C}$ ,现今地温梯度取  $2.72^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ ,顶面埋深 3 200 m 底面埋深 3 809 m,根据表达式 (5)可画出鄂尔多斯奥陶纪顶底面动态古地温曲线如图 3。

### 2.4 鄂尔多斯奥陶系烃源岩 TTI 值的求取

利用动态古地温表达式计算 TTI 时公式 (1)、(2) 就转换成微分和积分形式:

$$dTTI = dt A e^{-E/RT} = A e^{-E/R(C_0 + C_1t + C_2t^2)} dt \quad (6)$$

$$TTI = \int_0^1 A e^{-E/R(C_0 + C_1t + C_2t^2)} dt \quad (7)$$

用 Mathematic 软件可求得此定积分值 (表 3)。

我们用现今地温梯度和动态古地温网分别求 TTI 值作一个比较。

现今平均地温梯度取  $2.72^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$  可求得该层生烃门限温度  $80 \sim 120^{\circ}\text{C}$ ,门限深度 2 400~ 3 400 m,门限时间为 206~ 136.8 Ma,相当于侏罗纪。现今顶面 TTI 值为 34.02,底面 TTI 值为 317.12,早就超出了生油门限的范围,奥陶系烃源岩的生烃高峰期在 187.6~ 150.4 Ma,相当于侏罗纪中晚期,生烃高峰期该层温度  $100 \sim 115^{\circ}\text{C}$ ,埋深 3 100 m 左右。

用动态地温网求得生烃门限温度  $70 \sim 115^{\circ}\text{C}$ ,门限深度 2 100~ 3 400 m,门限时间 280~ 131 Ma,相当于二叠纪至侏罗纪。现今顶面 TTI 值为 38.7,底面 TTI 值为 477.56,也超出了生油门限的范围,奥陶系烃源岩的生烃高峰期在 181.4~ 149.6 Ma,相当于侏

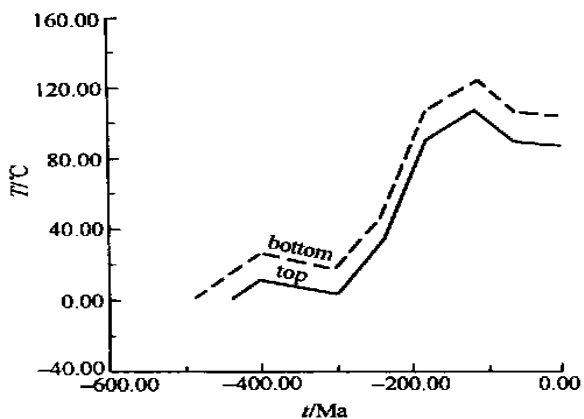


图 3 鄂尔多斯奥陶系烃源岩动态古地温曲线

Fig. 3 Changeable Paleogeotherm curve of Ordovician hydrocarbon generating layer in Ordos Basin

表 3 鄂尔多斯奥陶纪生烃层 TTI 值

Table 3 TTI of hydrocarbon-generating layer of in Ordos Basin vician

地温梯度	$2.72^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$	动态古地温网
生烃门限温度 / $^{\circ}\text{C}$	80~ 120	70~ 115
生烃门限深度 /m	2 400~ 3 400	2 100~ 3 400
生烃门限时间 /Ma	206~ 136.8	280~ 131
生烃门限地质年代	侏罗纪	二叠纪—侏罗纪
生烃高峰时间 /Ma	187.6~ 150.4	181.4~ 149.6
生烃高峰地质年代	侏罗纪中晚期	侏罗纪中晚期
生烃高峰温度 / $^{\circ}\text{C}$	100~ 115	110~ 115
生烃高峰深度 /m	3 100	3 300~ 3 400
生烃层顶面 TTI 值	34.02	38.7
生烃层底面 TTI 值	317.12	477.56

① “七五”国家重点攻关项目报告,鄂尔多斯地区天然气富集条件,长庆石油勘探局勘探开发研究院,1992

罗纪早期,生烃高峰期该层温度 110~ 115°C,埋深 3 300~ 3 400 m 左右。

从计算结果(表 3)中可以看出,用动态古地温网求得的生烃门限深度 2 100~ 3 400 m,和实际气层分布埋深范围 2 800~ 3 700 m 是相符的。尤其是计算的生烃高峰深度 3 300~ 3 400 m,和实际气层主要分布的埋深 3 000~ 3 500 m 很好的相一致。说明动态地温网求得的值是有效的,由于考虑了古地温梯度的变化,其计算的  $TTI$  值略高于普通的计算法。并且,由于使用了包裹体捕获温度求得的古地温梯度建立动态古地温网,其计算值能更接近地反映生烃层的真实演化情况。

### 3 结语

运用流体包裹体地球化学数据可以从许多方面对油气藏成藏进行研究。但此前沉积岩流体包裹体的研究,往往仅停留在对实测数据表象的分析或简单的统计分析。本文在此基础上进行了更深入的研究,利用包裹体显微测温资料和激光拉曼测试资料,进行包裹体期次归并,计算出古地温梯度、古地压梯度、动态古地温,进行生烃条件时间温度指数( $TTI$ )值计算,用  $TTI$  对烃源条件进行判别。从实际的检验结果可以看出这一探索是有效的。

需要说明的是,对于鄂尔多斯盆地三叠系—侏罗系天然气藏烃源岩的问题,目前尚存在很大争议。有效烃源岩的判别标准除了成熟度指标外,还要考虑生储配置、运移条件等诸多因素。本文通过包裹体时间温度指数法,仅对奥陶纪碳酸盐岩作了分析,说明其具有良好的生烃能力。这一探索显示了,利用包裹体显微测试数据进行烃源条件判别的最大的优点在于这种方法具有数据的直接性和动态性。

#### 参考文献 (References)

1 施继锡,傅家谟等.矿物包裹体在碳酸岩区油气评价中的意义[J].

- 沉积学报,1987,5(1): 86~ 93 [Chi Jixi, Fu Jiemo. Significant of mineral inclusions in carbonate rock area used to evaluate oil and gas [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1987, 5(1): 86~ 93 ]
- 2 刘德汉,杨秀珍,孙永革等.鄂尔多斯东部下奥陶纪统碳酸盐—蒸发盐地球化学特征和生气规律[J].沉积学报,1995,13(2): 93~ 104 [ Liu Dehan, Yang Xiuzheng, Sun Yongge, et al. Geochemical characteristics and gas-producing rules from carbonate-evaporite formation of low Ordovician series in east Ordos basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13(2): 93~ 104 ]
- 3 杨晓勇,刘德良,陶士振,戴金星.中国东部典型地幔岩中包裹体成分研究及意义[J].石油学报,1999,20(1): 19~ 23 [Yang Xiaoyong, Shizhen Tao, Deliang Liu. Compositions and implications of inclusions in the typical mantle rocks form east China [J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(1): 19~ 23 ]
- 4 钱凯.柴达木第三纪沉积岩自生矿物气液包体及红层油气藏勘探方向[J].石油与天然气地质,1986,7(1): 1~ 12 [ Qian Kai. Fluid inclusions in authigenic minerals in Tertiary sedimentary rocks and oil and gas prospecting in red beds in Qaidan basin [J]. Oil & Gas Geology, 1986, 7(1): 1~ 12 ]
- 5 Qin Jianxiog, et al. Fluid inclusions in the Xichang Basin and their applications to oil-gas exploration [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 1995, 14(3): 264~ 276
- 6 Rose-Hansen J, Konnerup-Madsen J. Advances and trend in fluid inclusion research in Denmark [J]. APIFIS Newsletter, 1995, 68~ 77
- 7 Bodnar R J. Petroleum migration in the Miocene Monterey Formation, California, USA: constraints from fluid inclusion studies [J]. Mineralogical Magazine, 1990, 54 295~ 304
- 8 Newell K D, Burruss R C. Fluid inclusion evidence for oil generation from Proterozoic rocks in the North American mid-continent rift, northeast Kansas [A]. PACROFI IV Abstract. USA Lake Arrowhead, 1992 62
- 9 Gigashvili G M, Kalish V P. Inclusion of hydrocarbons in minerals as indices of conditions of migration of oil bearing fluids [J]. Akad Nauk Ukrainskoi RSR Dopovidi (Ser B), 1977, 6 493~ 497
- 10 郝石生,戚厚发,戴金星.天然气地质学概论[M].北京:石油工业出版社,1984. 192~ 201 [ Hao Shisheng, Qi Houfa, Dia Jinxing. Nature gas geology introduction [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1984. 192~ 201 ]

## ***TTI* Method of Judging Hydrocarbon Source Condition by Fluid Inclusion in Sedimentary Rock**

TAN Ying LIU De-liang YANG Xiao-yong ZHANG Jiao-dong

(Department of Earth and Space Science, USTC, Hefei 230026)

**Abstract** It is prevalent and difficult to study oil-gas by inclusion in recent years. This paper presents time temperature index ( $TTI$ ) method of judging hydrocarbon source condition by fluid inclusion in sedimentary rock. On the basis of fluid inclusion data of core in Ordos basin,  $TTI$  can be calculated out. We first calculate the capture temperatures and the capture pressure by the data of fluid inclusion microanalysis, then

calculate the paleo-temperature gradient, the paleo-pressure gradient and the changable palaeo-temperature trajectory. Finally the time domain, the depth domain and the temperature domain of hydrocarbon-production can be worked out. We compare these calculated data with the data calculated in classic way, it shows that the inclusion *TTI* method is available and valid.

**Key words** fluid inclusion, time temperature index (*TTI*), hydrocarbon source condition

---

(Continued from page 312)

## The High-Resolution Sequence Stratigraphy Feature of Yanan Formation in Yanan Area, Ordos Basin

ZHAO Jun-xing CHEN Hong-de XIANG Fang  
(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

**Abstract** On the basis of high-resolution sequence stratigraphy, the detailed study on the subdivision of different orders of the base-level cycles in middle Jurassic Yanan Formation has been performed in Yanshui river cross section, and a corresponding high-resolution sequence framework has been established in the middle part of Ordos Basin. There can be recognized 34 short, 8 middle and 3 long base-level cycles. Simultaneously, the paper has also discussed the relationship between the stacking patterns of different cycles and sedimentary facies, deposition and tectonics, and furthermore, investigated the basinal filling history by the base-level cycle sequences.

**Key words** high-resolution sequence stratigraphy, Ordos Basin, Yanan Formation, base-level cycle, deposition