

# 砂岩中自生石英包裹体 均一温度和盐度测定及地质应用

王成 邢顺全

(大庆石油管理局勘探开发研究院)

**摘要** 本文介绍了松辽盆地东部砂岩中自生石英内气液包裹体均一温度和盐度测定结果以及包裹体形态和温度分布特征,讨论了包裹体均一温度与盐度的关系,利用盐度数据确定盆地东部早白垩世沉积属于淡水—半咸水大型湖泊沉积,利用均一温度确定生油门限深度、排烃深度及勘探下限等,并推算出盆地东部的大致古地温梯度和朝阳沟地区的抬升高度。

**关键词** 气液包裹体 温度和盐度 松辽盆地 淡水—半咸水沉积 古地温 抬升高度

**第一作者简介** 王成 男 26岁 助理工程师 沉积岩石矿物

目前国内对沉积岩自生矿物包裹体研究还较少,在石油系统,这项工作也开展不久。1986年以来,笔者通过对松辽盆地东部深层大量砂岩样品内自生石英矿物中包裹体均一温度和盐度测定,对沉积条件及成岩过程中的水介质性质和地层古埋藏深度的变化情况有了更深入的了解;并用古温度指标确定了生油门限深度、排烃深度、石油勘探下限和古地温梯度;对自生石英开始大量出现的深度、形成温度范围有了进一步认识,为石油地质理论研究和油气勘探提供了新资料。

## 一、样品的岩性特征

在松辽盆地东部大庆长垣、三肇等地区取了8口井计127块砂岩样品,井深从1584.65m到3302.00m,层位包括侏罗系(J)、下白垩统登娄库组(K<sub>1</sub>d)和中白垩统泉头组(K<sub>1</sub>q)。岩性主要为细粒混合砂岩和岩屑质长石砂岩,粒度范围为0.10—0.40mm,石英含量28—40%,长石27—45%,岩屑18—40%。胶结作用以石英次生加大硅质胶结为主。自生石英常呈次生加大边或在孔隙内呈自形晶体产出,一般发育在原生粒间孔内泥质杂基填充少的砂岩内或含泥少的部分,加大程度4—6级(邢顺全,1983)。在一定深度范围内,随着埋藏深度的增加,自生石英增多,同时,石英次生加大程度与颗粒大小也有一定的正相关关系。利用阴极发光显微照片对自生石英部分进行定量统计后表明,加大程度4—6级的石英次生加大部分面积率为4—15%。所以自生石英在整个成岩过程中是主要的成岩自生矿物。

表 1 松辽盆地砂岩中自生石英包裹体均一温度数据表

Table 1 Data of homogenization temperature of inclusions in authigenic quartz of sandstone in Songlao Basin

井号	井深(m)	层位	所测包裹体数	最低温度值(℃)	最高温度值(℃)	主要温度范围(℃)
东 14 井	1980.28—1995.13	K <sub>2</sub> q <sub>3</sub>	5	86	110	分散
肇 深 5 井	2650.00	K <sub>2</sub> q <sub>1</sub>	3	95	113	分散
	2780.00	K <sub>1</sub> d <sub>4</sub>	1			103
	2865.00—2866.06	K <sub>1</sub> d <sub>4</sub>	10	85	114	98—101
	2904.24	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	9	99	112	99—102
	3038.87—3039.00	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	9	109	148	分散
	3147.49—3148.87	K <sub>1</sub> d <sub>2</sub>	14	97	154	分散
	3229.10	K <sub>1</sub> d <sub>1</sub>	13	100	148	120—130
肇 12 井	3229.00—3302.00	K <sub>1</sub> d <sub>1</sub>	11	97	149	97—103 127—130
	2412.51	K <sub>2</sub> q <sub>2</sub>	1			96
	2615.24	K <sub>2</sub> q <sub>1</sub>	1			99
	2931.00—2933.32	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	15	92	144	92—103
树 131 井	3112.60	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	21	93	141	93—103 132—137
	1758.60—1776.25	K <sub>2</sub> q <sub>4</sub>	2	78	85	78—85
	1832.51—1850.10	K <sub>2</sub> q <sub>3</sub>	7	76	102	82—92
三 深 1 井	尊 1982.00—2018.74	K <sub>2</sub> q <sub>3</sub>	3	84	96	84—96
	1709.12	K <sub>2</sub> q <sub>1</sub>	5	92	125	分散
	1932.40	K <sub>1</sub> d <sub>4</sub>	9	90	128	112—120
	2100.34	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	4	132	137	132—137
	2260.60	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	4	130	149	140—149
	2597.00	K <sub>1</sub> d <sub>2</sub>	3	129	143	分散
朝 深 2 井	3067.50	J	3	126	160	分散
	2335.80—2339.50	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	17	90	12	分散
	2450.79—2458.20	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	4	120	154	120—131
	2567.02—2570.16	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	9	90	151	120—128
	2614.82—2616.11	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	41	110	167	131—143
萨 5 井	2820.23	K <sub>1</sub> d <sub>2</sub>	23	127	173	分散
	1584.65	K <sub>2</sub> q <sub>3</sub>	1			109
	2227.40	K <sub>2</sub> q <sub>2</sub>	1			118
	2710.00—2713.05	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	22	95	147	118—131
卫深 3 井	3057.40	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	5	113	135	分散
	2765.50—2770.00	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	26	113	146	123—135

## 二、包裹体均一温度和盐度测定

### (一) 包裹体均一温度测定

采用西德莱兹厂的 ORTHOPLAN 型带热台 (350 型) 偏光显微镜进行包裹体均一温度测定, 对热台用联苯 (熔点  $68^{\circ}\text{C}$ — $71^{\circ}\text{C}$ )、蔗糖 (熔点  $185^{\circ}\text{C}$ — $186^{\circ}\text{C}$ ) 和锡 ( $231.9^{\circ}\text{C}$ ) 进行温度校正, 测温误差  $<1^{\circ}\text{C}$ 。

对松辽盆地东部 8 口井砂岩样品中自生石英包裹体进行了均一温度测定, 结果见表 1。

### (二) 包裹体盐度测定

以液氮为冷冻剂, 光窗采用甘油去雾, 获得了较好的效果。

**1. 工作曲线绘制** 将配好的 NaCl (0—10%) 分析纯溶液封存在玻璃毛细管中, 测其冷冻温度, 绘制工作曲线 (图 1), 此曲线与中国科学院地球化学研究所作的曲线比较接近 (施继锡等, 1981)。

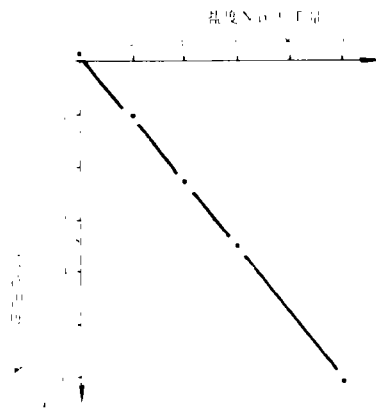


图 1 盐度-冷冻温度工作曲线

Fig. 1 Working diagram of salinity vs. frozen temperature

**2. 盐度测定结果** 对较大 (约  $4\mu\text{m}$ ) 并且在镜下清晰的包裹体进行了冷冻温度测定, 由图 1 查出包裹体的盐度, 结果见表 2。

**3. 盐度测定误差** 对盐度平均为 1.43% 的包裹体进行了 14 次测定, 其盐度标准偏差和相对平均偏差分别如下式所示:

$$\text{标准偏差 } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - M)^2}{n - 1}} = 0.16\% \quad (1)$$

$$\text{相对平均偏差} = \frac{\delta}{M} \times 100\% = 13.40\% \quad (2)$$

式中  $m$  为单次测定盐度值;  $M$  为盐度平均值;  $n$  为测定次数;  $\delta$  为平均偏差等于 0.19%。

在绘制工作曲线时, 由于所用的盐溶液是纯 NaCl 水溶液, 这与包裹体液相实际组分有

较大差异, 使结果偏高, 但盐度数据还是可做为半定量数据应用的。

表 2 包裹体冷冻温度与盐度数据表

Table 2 Datas of frozen temperature and salinity of inclusions

井号	井深(m)	层位	冷冻温度(℃) / 盐度 (%)					测定数	盐度范围 (%)	盐度平均值 (%)
朝 深 2 井	2336.85	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	-1.4 / 2.6					1		2.60
	2616.11	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	-0.2 / 0.65	-0.2 / 0.65	-0.3 / 0.85	-0.3 / 0.85	-0.5 / 1.15	14	0.65	2.14
			-0.6 / 1.30	-1.2 / 2.25	-1.2 / 2.25	-1.5 / 2.75	-1.5 / 2.75			
			-1.9 / 3.40	-2.0 / 3.55	-2.0 / 3.55	-2.3 / 4.00				
2820.23	K <sub>1</sub> d <sub>2</sub>	-2.1 / 3.70					1		3.70	
三深 1 井	1932.40	K <sub>1</sub> d <sub>4</sub>	-0.8 / 1.60					1		1.60
卫深 3 井	2767.00	K <sub>1</sub> d <sub>1</sub>	-0.3 / 0.85	-0.6 / 1.30	-1.4 / 2.60			3	0.85-2.60	1.59
肇 12 井	3112.60	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	-1.5 / 2.75	-1.8 / 3.20	-1.8 / 3.20	-2.0 / 3.55	-2.1 / 3.70	5	2.75-3.70	3.28
萨 5 井	2713.00	K <sub>1</sub> d <sub>3</sub>	+0.1 / 0.20					1		0.20

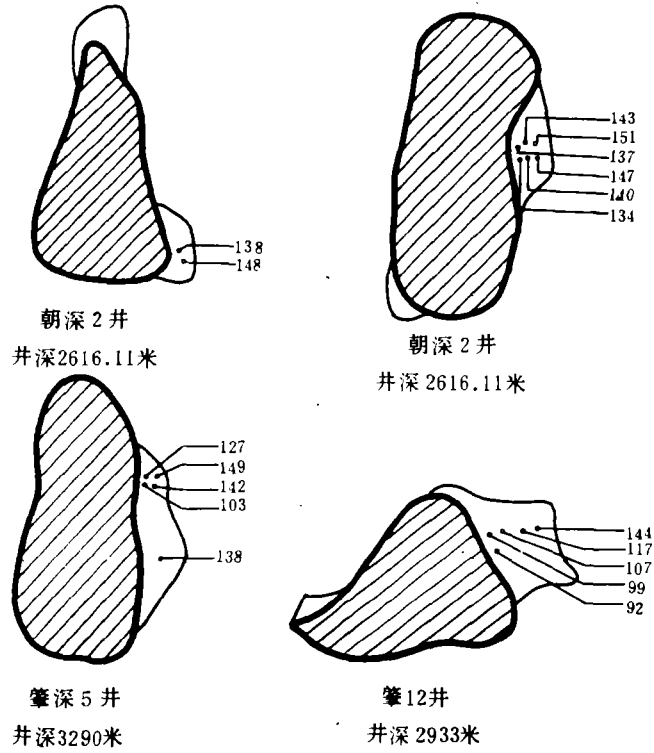
### 三、自生石英中包裹体形态和温度分布特征

自生石英作为一种主要的成岩矿物, 它所捕获的包裹体均一温度可以近似地代表成岩时的古温度。

石英次生加大边一般为几微米至几十微米, 其中的包裹体一般为零点几至几微米 (多小于  $4\mu\text{m}$ ), 呈不规则球形和椭球形。在同一石英次生加大边上有时具有多个包裹体, 这些包裹体的均一温度沿晶体生长方向逐渐升高, 记载了石英次生加大边在生长过程中温度逐渐升高和加大边的生长顺序, 说明石英次生加大边不是一次沉淀物, 可能经历了较长时间的分期生长过程; 包裹体均一温度从近石英核心向外逐渐升高的规律 (见图 2), 反映了随着埋藏深度不断增加, 温度也随之增高的过程。

利用电子探针对石英次生加大边内  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量逐点分析后发现: 石英核心处  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量最低一般为 0.2%, 每  $10\mu\text{m}$  测一点, 则发现加大边内  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量呈脉动式变化 ( $>0.2-0.8\%$ ), 与包裹体均一温度变化规律一致, 这种变化也反映了自生石英分期生长的特点。

另外, 在同一口井一定深度范围内, 随着井深的增加, 包裹体均一温度最大值具有增高的趋势 (但测温数据少时可能无此趋势), 见图 3。所以, 包裹体均一温度的最大值可以近似地反映埋藏时经历的最大深度时的古地温。



说明: ①阴影部分是石英碎屑核心 ②空白部分是石英次生加入边  
③小圈是气液包裹体 ④数字是均一温度值(°C)

图2 自生石英中包裹体温度分布素描示意图

Fig. 2 Sketches of distribution of homogenization temperature of inclusions in authigenic quartz

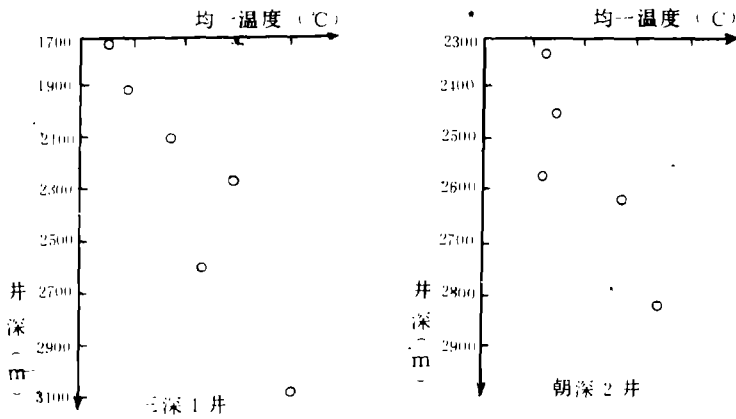


图3 井深与最高均一温度关系图

Fig. 3 Diagram of relation between well depth and the highest homogenization temperature

#### 四、包裹体均一温度与盐度的关系

对朝深 2 井砂岩内自生石英中的同一包裹体进行盐度测定后, 也进行了均一温度测定 (见表 3), 得出以下结论: 成岩孔隙溶液离子浓度大、温度高有利于自生石英生长, 并且成岩溶液的温度与盐度之间具有一定的正相关关系。

温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) =  $128.85 + 5.04 \times \text{盐度}$ , 回归方程相关系数  $\gamma = 0.5962$ , 在置信度为 95%, 自由度为 12 时,  $\gamma$  临界值  $\gamma_{(95\%, n-2)} = 0.5324$ , 前者大于后者, 说明温度与盐度之间存在着较好的线性关系, 回归方程有意义。(2616.11m 样品中的绝大多数包裹体对此方程的吻合性较好, 见图 4)

表 3 包裹体均一温度与盐度关系表

Table 3 Data of Correlation between homogenization temperature and salinity

井号	井深(m)	盐度(%) / 均一温度( $^{\circ}\text{C}$ )					
朝 深 2 井	2336.85	2.60 / 131					
	2616.11	1.15 / 120	0.85 / 131	2.75 / 131	0.65 / 134	0.65 / 137	1.30 / 1.38
		0.65 / 140	3.40 / 142	3.55 / 143	2.25 / 146	2.25 / 147	4.00 / 151
	2820.23	3.70 / 163					

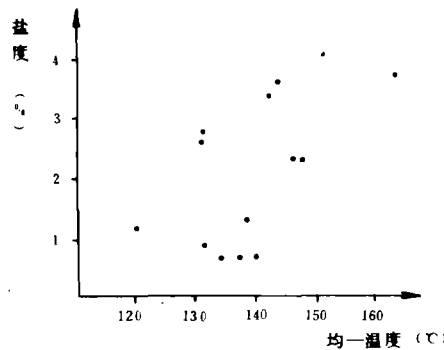


图 4 包裹体均一温度与盐度关系图

Fig. 4 Diagram of correlation between homogenization temperature and salinity

从表 3 中得知流体包裹体的温度和盐度, 随着埋藏深度的增加而升高, 这表明成岩溶液的温度和离子深度也应随深度不断增大。

#### 五、自生石英包裹体研究在石油地质上的应用

根据前述自生石英包裹体均一温度与盐度资料, 初步探讨了它们在石油地质上的应用。

### (一) 推算盆地东部的古地温梯度

为了减小由于某一个数据不准和人为取用某些数据用于计算古地温梯度所造成的混乱, 首先, 对单井的古地温梯度计算, 取随深度(登二段以上)依次增加的包裹体最高均一温度值, 将不同深度下的每两个温度数据组合求出古地温梯度, 然后求出这些古地温梯度值的平均值即为单井的古地温梯度; 将各单井的古地温梯度值再平均即为盆地东部的大致古地温梯度。计算表明, 朝深2井(2339.50m—2820.23m)古地温梯度为 $4.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 三深1井(1709.23m—2260.60m)古地温梯度为 $4.67^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 盆地东部的平均古地温梯度为 $4.66^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 略高于盆地现平均地温梯度 $4.2^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

### (二) 推断某地区后期抬升高度

据表4可知, 在同一口井或同一地区, 同深度下的古地温一般要高于实测井温, 不同地区及同一地区不同深度温差也不相同。古地温与实测井温的差值变化反映了不同地区成岩期以后古埋藏深度的变化。

例如三肇地区的肇深5井和肇12井古今温差较小, 且同一石英次生加大边上包裹体由近碎屑核心向外均一温度升高, 这说明在整个成岩过程中和成岩结束后, 三肇地区地层埋藏深度逐渐加深无明显的抬升, 但朝阳沟地区的朝深2井样品内自生石英包裹体最高均一温度值与同深度下实测井温之差远比同层位的肇深5井古今温差大, 说明朝阳沟地区可能发生过较明显的抬升。如果不考虑其它因素的影响, 可以认为, 同层位朝阳沟地区古今温差较三肇地区古今温差大的部分是由抬升造成的。在此基础上, 根据松辽盆地东部平均古地温梯度为 $4.66^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 按公式(3)计算, 其结果可近似地反映某井某层相对抬升高度。如表4内所示, 朝阳沟地区(以朝深2井为代表)与三肇地区(以肇深5井为代表)相比大约抬升了400—500m左右。

$$\Delta H = \frac{\Delta T}{\text{Grad}T} \quad (3)$$

式中 $\Delta H$ 为抬升高度;  $\Delta T$ 为两井古今温差差值,  $\text{Grad}T$ 为平均地温梯度

表4 抬升高度及古今温差对比表

Table 4 Comparison of risen height and temperature of the ancient and the present

层位	井号	井深(m)	最大古地温值 ( $^{\circ}\text{C}$ )	实测井温* ( $^{\circ}\text{C}$ )	古今温差 ( $^{\circ}\text{C}$ )	两井古今温差 差值( $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ )	抬升高度 $\Delta H(\text{m})$
K <sub>2</sub> d <sub>1</sub>	朝深2井	2616.11	167	118	49	23	494
	肇深5井	3039.00	148	122	26		
K <sub>2</sub> d <sub>2</sub>	朝深2井	2820.23	173	126	47	18	386
	肇深5井	3148.87	154	125	29		

\* 数据由试油测温曲线上查出

### (三) 推算成岩矿物与石油生成及演化有关深度

本文试图应用推算的古地温与深度的函数关系估算自生石英大量出现时的深度, 生油门

限、排烃深度和石油勘探的下限深度等。

松辽盆地是具有高地温、高热流场特征的盆地, 因此其生油门限深度、排烃深度和石油勘探下限深度也相应的较浅。据有关文献报道 (刘耀光, 1982), 松辽盆地主要生油母质类型为腐泥型干酪根, 临界生油温度为  $60^{\circ}\text{C}$ , 初始排烃温度为  $70\text{—}90^{\circ}\text{C}$ , 石油破坏的温度为  $118\text{—}121^{\circ}\text{C}$ 。根据肇深 5 井有关资料和如下温度与深度的函数关系式:

$$H_b = H_d - \frac{T_d - T_b}{\text{Grad}T} \quad (4)$$

式中  $H_d$  是最深测温点深度, 等于  $3039.00\text{m}$ ;

$T_d$  是最深测温点温度, 等于  $148^{\circ}\text{C}$ ;

$H_b$  是某已知温度下的待求深度;

$T_b$  是某已知温度;

$\text{Grad}T$  是占地温梯度, 等于  $4.66^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$

把 (4) 式化简后得出:

$$H_b = 21.46T_b - 137 \quad (5)$$

公式 (5) 是三肇地区深度与温度的函数关系式, 依据此式笔者可以求出三肇地区下列深度:

1. 自生石英大量出现时 ( $T_b = 76^{\circ}\text{C}$ , 见表 1) 深度为  $1494.0\text{m}$

2. 生油门限深度为  $1165.2\text{—}1794.4\text{m}$  ( $T_b = 60^{\circ}\text{C}$ )。

3. 初始排烃深度为  $1365.2\text{—}1794.4\text{m}$  ( $T_b = 70^{\circ}\text{C}\text{—}90^{\circ}\text{C}$ )。

4. 石油勘探下限为  $2459.7\text{m}$  ( $T_b = 118^{\circ}\text{C}\text{—}121^{\circ}\text{C}$ )。此推算值与该地区砂岩中已发现的最深含油段深度为  $2368.2\text{m}$  (树 12 井) 比较接近。

#### (四) 利用包裹体盐度推断松辽盆地早白垩世沉积水体盐度

包裹体的盐度可近似地反映成岩期孔隙溶液的盐度。埋藏时原始孔隙溶液随埋深的增加成岩作用增强 (温度和压力升高) 必然逐渐变化。由于一些矿物变得不稳定, 溶解度增加, 或与孔隙溶液发生化学反应, 均可使孔隙溶液成分改变且盐度增加。如为海相地层水其盐度可变为超盐水, 即为海水盐度 (3.5%) 的几倍。测得的包裹体的盐度变化范围为 0.65—4.00% (多低于海水盐度), 均一温度为  $120^{\circ}\text{C}\text{—}163^{\circ}\text{C}$ 。均一温度为  $120\text{—}140^{\circ}\text{C}$  的包裹体其盐度范围为 0.65—2.75%, 其中盐度为 0.65—0.85% 的包裹体占 50%, 以低盐度包裹体为主 (见表 3), 尚未达到海水盐度范围; 均一温度  $> 140^{\circ}\text{C}$  的包裹体中盐度范围为 2.25—4.00%, 盐度为 3—4% 占 2/3, 即高温包裹体的盐度接近正常海水盐度。经研究后认为, 所有的包裹体盐度均代表成岩的孔隙溶液的盐度, 且温度较低的包裹体, 其盐度相应低的占多数。可知埋藏初期和成岩早期孔隙溶液的盐度一定低于此值, 为淡水或半咸水的盐度值。又据砂岩胶结物方解石 (形成时间晚于自生石英, 由于自生石英中包裹体太微小, 尚未测得同位素数据) 中碳氧同位素分析资料:  $\delta^{18}\text{O}$  (PDB) 范围值为  $-0.14\text{—}14.68\text{‰}$  (据克雷格 (1961) 雨水线方程,  $\delta\text{D} = -11.12\text{—}127.44\text{‰}$ ) 平均值为  $-8.25\text{‰}$  ( $\delta_{\text{D}} = -76.00\text{‰}$ ), 也说明孔隙溶液具有淡水的性质 (西北大学地质系, 1986)。因此, 松辽盆地早白垩世沉积属于淡水—半咸水大型湖泊沉积, 是海水沉积的可能性则很小。



## 六、结 论

通过对成岩自生石英包裹体均一温度和盐度数据分析, 可以得出以下几点结论:

1. 本文石英包裹体中均一温度的测定结果是较准确的, 是估计古地温的一种有效方法; 盐度测定数据误差较大, 可作为半定量数据应用, 是一种直接研究包裹体盐度的好办法。

2. 石英次生加大边一般不是连续生长一次沉淀的, 而是分期生长多次沉淀的产物。在松辽盆地明显地受埋藏成岩作用的控制, 在成岩的中晚期, 埋藏深度较大时宽的和多次沉淀的石英次生加大边十分普遍, 相当于有关报道(邢顺全, 1983)划分的次生加大的5—6级。

3. 在同一口井(或同一地区)相同深度下实测井温与古地温相比, 古地温均高于实测井温, 不同地区及相同地区不同深度温差不同。推算的古地温与实测井温差值可能反映了不同地区古埋藏深度的变化, 差值大埋藏深度变化大, 差值小埋藏深度变化小。

4. 下白垩统登娄库组砂岩中石英次生加大边内包裹体低盐度值的数据, 为松辽古湖盆的水体是淡水或半咸水性质提供了直接证据。目前至少已了解了断陷期水体的性质, 其它各时期的水体性质, 今后还可以用测定包裹体的盐度来推断。

5. 自生石英包裹体均一温度和盐度之间具有正相关关系。随着埋藏深度的增加, 样品中包裹体的最大均一温度和盐度也增加的统计规律, 进一步验证了以往根据岩矿学研究所得出的认识: 随着埋藏深度的增加, 成岩温度增高, 石英次生加大的程度(级别)也增强。

6. 用包裹体均一温度推算地层埋藏深度、生油门限、排烃深度等还是尝试, 与别的方法所得结果比较接近, 是研究上述问题的一种新方法。

收稿日期: 1989年8月28日

## 参 考 文 献

- (1) 邢顺全, 1983, 大庆石油地质与开发, 2卷, 2期, 172—173页。
- (2) 施继锡、许生蛟等, 1981, 气液包裹体冷冻法的初步研究, 矿物中包裹体研究, 科学出版社。
- (3) 刘耀光, 1982, 石油勘探与开发, 3期, 30—31页。
- (4) 西北大学地质系编译, 1986, 碎屑岩的成岩作用, 西北大学出版社。

# Measurement and Geologic Application of Homogenization Temperature and Salinity of Inclusions in Authigenic Quartz of Sandstone

Wang Cheng Xing Shunquan

(Research Institute of Exploration and Development, Daqing Petroleum Administrative Bureau)

## Abstract

The measurement results of homogenization temperature and salinity of gas-liquid inclusions in authigenic quartz of deep sectional sandstone in eastern Songliao Basin are presented, and the mechanism of the authigenic quartz forming, the application of the mentioned results are discussed in this paper.

Authigenic quartz is one of the main diagenetic minerals in sandstone, the homogenization temperature and salinity of gas-liquid inclusions in which may approximately stand for the diagenetic temperature and salinity of pore fluid. The index of secondary growth, which is one of the main forms of authigenic quartz forming, reaches to 4-6 in Songliao Basin. It is shown by electronic probe that the enlarged quartz were formed in different stages and controlled by buried diagenese. The inclusions in the secondary enlarged quartz may represent partially the changing of temperature (76°C-173°C) and salinity (0-4 g / 100ml) of pore fluid during the forming of the secondary enlarged quartz. The normal relation between homogenization temperature (135-150°C) and salinity has been set up according to Well Chao N0.2.

Temperature (°C) = 128.85 + 5.04 × Salinity, with the coefficient of 0.5932.

Based on the comparison of homogenization temperature in different depth of several wells, the palaeothermal gradient of eastern Songliao Basin can be estimated as 4.66°C / 100m which is a little higher than the average thermal gradient 4.2°C / 100m of present, this kind of differences may be caused by the difference between palaeo-burial depth and the modern depth. The relative risen height of Chaoyanggou area is calculated as about 400-500m when compared with Sanzhao area.

The functional relation between depth and palaeotemperature in Sanzhao area can be deduced according to the data of palaeothermal gradient and the present thermal gradient:

$$H_b = 21.46T_b - 137$$

it can be calculated based on this formula that: The large amount of authigenic quartz formed in 1494.0m ( $T_b = 76^\circ\text{C}$ ); the threshold of oil generation is at 1150.0m ( $T_b = 60^\circ\text{C}$ ); the initial hydrocarbon expelling at depth of 1365.2-1794.4m ( $T_b = 70-90^\circ\text{C}$ ) and the limit depth of petroleum exploration is 2459.7m ( $T_b = 121^\circ\text{C}$ ).

Salinity of inclusions, carbon and oxygen isotopic compositions of calcite cement in sandstone indicate that the sedimentary environment was most likely be large fresh-brackish lacustrine rather than marine during the Early Cretaceous Epoch.

The authors are sure that the data of homogenization temperature is quantitatively believable and that of salinity is semi-quantitative.