

# 矿物包裹体特征对古岩溶作用的指示性

夏日元 唐健生

中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004

**摘 要** 碳酸盐岩溶蚀孔缝中充填矿物包裹体特征对古岩溶作用环境和期次具有较好的指示性。黄骅拗陷奥陶系充填矿物包裹体物理特征反映古岩溶作用环境为埋藏型,包裹体化学特征显示了古岩溶作用与有机质熟化程度有关。包裹体各项特征指标的明显差异性,与古岩溶作用的多期性相对应。3种盐度类型反映了浅埋藏、中等埋藏和深埋藏3种环境,4个均一温度段与古岩溶发育的4个期次相吻合。

**关键词** 包裹体 古岩溶 指示性 黄骅拗陷

## Indication of Mineral Inclusion Characteristics to Palaeokarst Actions

XIA Riyuan TANG Jiansheng

*Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi, 541004*

**Abstract** The characteristics of mineral inclusions that are filled in the corroded holes and fissures in carbonate rocks can effectively indicate the environments and periods of palaeokarst actions. The physical features of mineral inclusions reflect the burial condition of Ordovician palaeokarst in Huanghua Basin. The chemical characteristics of mineral inclusions show the relationship between palaeokarst actions and maturity of organic matters. The obvious diversities in inclusion indices are consistent with multi-phase characteristics of palaeokarst actions. The three types of concentration reflect respectively three kinds of environments: shallow burial, medium-depth burial and deep burial. The four phases of homogenization temperature are accord with the four periods of palaeokarst development.

**Key words** inclusion palaeokarst indication Huanghua Basin

古岩溶是指地质历史时期而非现代营力环境下形成的岩溶。近年来,鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地及塔里木盆地等深埋藏碳酸盐岩中的油气勘探相继取得了重大突破,在埋藏深度大于2 000~3 000 m的碳酸盐岩中发现了高产古岩溶储集层。由于碳酸盐岩储层经历了漫长的岩溶作用过程,既有地质历史时期近地表环境下的古岩溶作用,又经历了长期逐渐被埋藏过程中岩溶作用的叠加与改造,造成储层的油气储集规律十分复杂,研究古岩溶作用对指导油气勘探和开发具有重要的实践意义。

沉积充填作用是岩溶作用过程的重要部分,沉积充填物既是岩溶综合作用的产物,又是岩溶作用与环境信息的载体。本文以渤海湾盆地黄骅拗陷为例,通过对奥陶系碳酸盐岩古岩溶孔洞和溶缝中充

填矿物的包裹体测试分析,研究包裹体特征对古岩溶形成环境和期次的指示性,为揭示碳酸盐岩储层古岩溶发育演化机理及其对油气储集特性的控制规律提供了依据。

## 1 地质环境演化特征

黄骅拗陷埋藏型古岩溶作用可划分为浅埋藏、中等埋藏、深埋藏和深大断裂带4个阶段(于志海等,1997):①海西晚期,黄骅拗陷下降为向斜断陷盆地,石炭和二叠系沉积厚度800~1 200 m,中下三叠统沉积厚度为500~900 m;②燕山晚期,盆地内构造剧烈活动,褶皱、凸凹造成沉积中心不稳定,经剥蚀厚度恢复和压实校正,石炭-二叠系底界埋深达2 000 m以上(陆克政等,1997),埋深增大了400~

700 m; ③喜马拉雅期,晚第三纪和第四纪,黄骀坳陷与华北盆地整体下降接受沉积,奥陶系的埋藏深度普遍加大,盖层厚度一般大于3 000 m,深凹陷区达7 000~8 000 m。奥陶系碳酸盐岩在以上三阶段分别发育了压释水型古岩溶(章贵松等,2000); ④第三纪起,受深大断裂持续活动的影响,深循环热水沿深大断裂上升进入奥陶系碳酸盐岩,以次级断层裂隙带为主要运移通道向先期岩溶化块段扩散、运移,发育了热水型古岩溶(韩宝平,1993)。埋藏型压释水岩溶和热水岩溶主要以有机酸和CO<sub>2</sub>为溶蚀动力因子,与烃类形成和运移关系密切。岩溶形态以小规模溶蚀孔缝为主,受构造和碳酸盐岩层组结构的影响,呈带状和层状分布。

## 2 包裹体物理特征

区内奥陶系碳酸盐岩古岩溶充填矿物主要有方解石、白云石、硬石膏、石英、黄铁矿和水云母等,分布于溶蚀孔洞和裂缝中,呈半充填或全充填状态。本次研究对板深701井、板深7井、孔古3井、孔古7井和山东汶南地表露头16件样品进行了充填方解石包裹体测试分析,测定包裹体436个。

方解石中所含包裹体以原生包裹体为主(卢焕章等,1990),其相态主要有单液相和气液2相两种类型(表1)。板深701井和板深7井单液相包裹体占包裹体总数的30%~45%,气液二相者占总数的55%~70%;其他井单液相者占包裹体总数的55%~65%,气液二相者占总数的35%~45%。单液相包裹体个体形态以米粒状、椭圆状为主,大小2~10 μm;气液两相包裹体以长方形为主,5~12 μm。包裹体以自由分散分布为主,部分呈小群分布(图1)。板深7井除发育单液相和气液相盐水电包裹体外,还含有液相烃、气相烃和气液二相有机烃包裹体,分别占包裹体总数的3%、2%和10%左右,大小分别为3~8 μm、1~10 μm和3~8 μm。

## 3 包裹体化学特征

包裹体盐度、冰点温度和密度测定结果如表2所示,具有下列特征:

(1)同一口井,存在几种盐度的包裹体。如板深7井,一类包裹体NaCl的质量分数为3.0%;另一类其质量分数为6.3%左右。又如孔古3井,一类包裹体NaCl的质量分数为18.0%左右;另一类其质量分数高达28.0%。

表1 黄骀坳陷奥陶系古岩溶充填矿物方解石包裹体物理特征

Table 1 The physical features of calcite inclusion of filling minerals in Ordovician palaeokarst in Huanghua basin

井号	相态	比例 /%	大小 /μm	形状	分布特征	包体数 /个
汶南	单液相	60~65	2~12	米粒状、多边形	自由分布	50
	气液相	35~40	5~10	长方形、椭圆形	自由或小群	
板深70101	单液相	40~45	3~10	米粒、多边形	自由分布	40
	气液相	55~60	5~14	长方形	自由、小群	
701-2	单液相	30~35	2~12	米粒、长方形	自由分布	64
	气液相	65~70	5~12	长方形、多边形	自由、小群	
	单液相	30~35	2~10	米粒、椭圆	成群、成串	
板深7	气液相	50~55	5~12	长方形、多边形	自由、小群	92
	液相烃	3±	3~8	椭圆、长方形	自由分布	
	气相烃	2±	1~10	圆形、长方形	分散状	
孔古3	气液相	10±	3~8	椭圆、长方形	自由、小群	46
	单液相	60~65	2~15	米粒、长方形	自由分布	
孔古7-1	气液相	35~40	5~15	长方形、方形	自由、小群	90
	单液相	50~55	2~10	米粒、椭圆	自由、沿裂缝	
孔古7-2	气液相	45~50	5~10	长方、椭圆	自由、小群	54
	单液相	60~65	2~15	米粒、椭圆	小群分布	
孔古7-2	气液相	35~40	5~12	椭圆、长方	小群分布	54
	单液相	60~65	2~15	米粒、椭圆	小群分布	

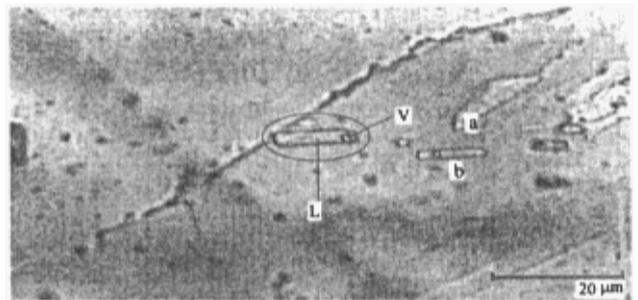


图1 黄骀坳陷奥陶系古岩溶矿物方解石包裹体形态与分布特征

Fig. 1 The shape and distribution of mineral calcite inclusion features in Ordovician palaeokarst in Huanghua basin

a-单液相包裹体;b-气液两相包裹体;l-液相;V-气相  
a-individual fluid inclusion;b-two phases inclusion of gas and fluid;l-fluid phase;V-gas phase

(2)相邻钻井,包裹体盐度存在差异。如板深7井包裹体盐度明显低于板深701井,板深7井其质量分数为3.0%~6.0%,而板深701井其质量分数为14.0%~18.0%。孔古7井部分包裹体NaCl的质量分数为6.0%~10.0%,明显低于孔古3井,为17.0%~26.0%。反映古岩溶沉积充填作用形成于不同的岩溶动力系统。

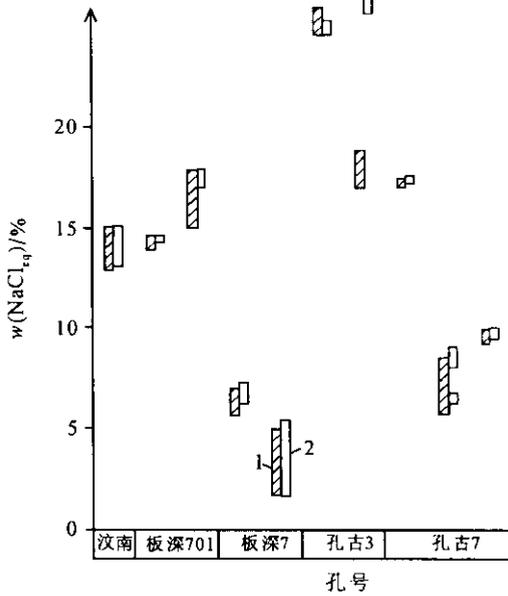


图 2 黄骀拗陷奥陶系古岩溶充填矿物方解石包裹体盐度特征

Fig. 2 The calcite inclusion concentration of filling minerals in Ordovician palaeokarst in Huanghua basin  
1-单液相盐水包体 2-气液两相盐水包体  
1-individual fluid inclusion 2-two phases inclusion of gas and fluid

(3)可划分出低盐度、中等盐度和高盐度 3 种包体盐度类型(图 2)。① NaCl 质量分数盐度为 3.0%~8.0%,以板深 7 井、孔古 7 井部分包裹体为

代表,冰点温度 -1.0~-5.0℃,密度为 0.90~0.99 g/cm<sup>3</sup>,属于 NaCl-H<sub>2</sub>O 化学体系;② NaCl 质量分数为 14.0%~18.0%,以板深 701 井、孔古 3 井和孔古 7 井的部分包裹体为代表,冰点温度为 -10.0~-14.0℃,密度 1.01~1.10 g/cm<sup>3</sup>,属于 NaCl-MgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 化学体系;③ NaCl 质量分数高达 25.0%~26.0%,以孔古 3 井包裹体为代表,冰点温度为 -24.0~-26.0℃,密度为 1.06~1.12 g/cm<sup>3</sup>,属于 NaCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 化学体系。

(4)包裹体中盐水包裹体常与全烃包裹体伴生,而且通过采用激光拉曼光谱分析法对单个包裹体成分分析得出,两相盐水包体中的气相和液相中均含有一定的 CH<sub>4</sub>(表 2,表 3)。

表 2 黄骀拗陷奥陶系古岩溶充填矿物方解石包裹体化学特征

Table 2 The chemical features filled mineral calcite inclusion of filling minerals in Ordovician palaeokarst in Huanghua basin

样品号	液相				气相			
	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
板深 7	15.4	3.9	3.9	76.8	51.6	—	5.9	26.4
孔古 3	17.4	—	3.8	78.8	39.7	20.5	11.5	28.3
孔古 7-1	79.1	4.8	16.1	—	—	—	—	—
孔古 7-2	59.1	—	13.2	—	—	—	—	—
汶南	—	1.5	4.1	94.4	51.1	25.9	—	23

注: \* 指摩尔数的相对百分含量;由西安地质矿产研究所测试。

表 3 黄骀拗陷奥陶系古岩溶充填矿物方解石包裹体化学特征

Table 3 The filled mineral calcite inclusion chemical features of Ordovician palaeokarst in Huanghua basin

井号	相态	冰点温度/℃	w(NaCl)/%	ρ/g·(cm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	t <sub>初溶</sub> /℃	化学体系
汶南	单液相	-9.0~-11.0	12.9~15.0	—	—	—
	气液相	-9.1~-11.0	13.0~15.0	1.106~1.062	-35	NaCl-MgCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O
板深 701-1	单液相	-9.8~-10.5	13.8~14.5	—	—	—
	气液相	-10.2~-10.5	14.2~14.5	1.008~1.048	-35	NaCl-MgCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O
板深 701-2	单液相	-11.0~-14.0	15.0~17.9	—	—	—
	气液相	-12.5~-14.5	17.0~17.9	1.035~1.100	-35	NaCl-MgCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O
板深 7	单液相 <sup>①</sup>	-3.3~-4.3	5.7~6.9	—	—	—
	单液相 <sup>②</sup>	-1.0~-3.0	1.7~4.9	—	—	—
	气液相 <sup>①</sup>	-1.0~-3.3	1.7~5.4	0.969~0.984	-20.8	NaCl-H <sub>2</sub> O
	气液相 <sup>②</sup>	-3.8~-4.5	6.2~7.2	0.974~0.993	-20.8	NaCl-H <sub>2</sub> O
孔古 3	单液相 <sup>①</sup>	-23.0~-25.0	24.7~26.0	—	—	—
	单液相 <sup>②</sup>	-13.0~-15.0	17.0~18.8	—	—	—
	气液相 <sup>①</sup>	-24.5~-26.0	25.7~26.6	0.632~1.000	-52	NaCl-CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O
	气液相 <sup>②</sup>	-24.0~-23.0	24.7~25.4	1.064~1.123	-52	NaCl-CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O
孔古 7-1	单液相 <sup>①</sup>	-13.0~-13.5	17.0~17.4	—	—	—
	单液相 <sup>②</sup>	-3.5~-5.5	5.7~8.5	—	—	—
	气液相 <sup>①</sup>	-13.2~-13.6	17.2~17.5	1.079~1.096	-35	NaCl-CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O
	气液相 <sup>②</sup>	-5.2~-5.8	8.2~9.0	1.005~1.025	-21	NaCl-H <sub>2</sub> O
孔古 7-2	气液相 <sup>③</sup>	-3.8~-4.2	6.2~6.7	0.975~1.002	-21	NaCl-H <sub>2</sub> O
	单液相	-6.0~-6.5	9.2~9.9	—	—	—
	气液相	-6.2~-6.6	9.5~10.0	0.994~1.022	-20.8	NaCl-H <sub>2</sub> O

注: ①、②、③为同一样品中不同特征的包体群体(以下图、表类同)。

### 4 均一温度特征

包裹体均一温度变化范围为 65~165 °C(表 4),具有下列特征:

(1)同一口井中矿物包裹体均一温度存在差异,如孔古 3 井,一类包裹体均一温度仅为 65 °C,而另一类则为 115 °C。又如板深 7 井,不规则分布的气液两相包裹体、相对规则分布的包裹体以及气液烃类包裹体均一温度分别为 100 °C、125 °C 和 130 °C(图 3 表 4)。

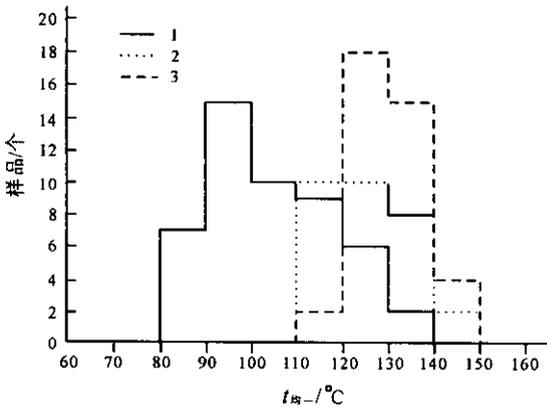


图 3 黄骅拗陷板深 7 井充填矿物方解石包裹体均一温度

Fig. 3 Calcite inclusion homogenization

temperature of palaeokarst in Banshen 7 Well, Huanghua basin

1-气液包裹体(1) 2-气液包裹体(2) 3-液态烃包裹体

1-gas-liquid inclusion(1) 2-gas-liquid inclusion(2);

3-liquid hydrocarbon inclusion

表 4 黄骅拗陷奥陶系古岩溶充填矿物方解石包裹体均一温度

Table 4 Calcite inclusion homogenization temperature of Ordovician palaeokarst in Huanghua Basin

井号 (地点)	类型	均一温度/°C		形成压力 / × 10 <sup>5</sup> Pa	形成深度 /m
		范围	峰值		
汶南	①	105~145	125	305~400	2816~4054
板深 701-1	①	125~165	140	360~450	3435~4673
板深 701-2	①	80~160	115	240~420	2074~4519
	①	80~135	100	200~350	2074~3745
板深 7	②	112~145	125	300~385	3033~4054
	③	115~145	130	—	—
孔古 3	①	65~80	65	170~225	1244~1749
	②	95~125	115	270~350	2507~3435
孔古 7-1	①	85~105	95	255~280	2231~2816
	②	95~115	105	280~320	2507~3126
	③	105~135	120	300~355	2816~3745
孔古 7-2	①	105~145	125	290~390	2816~4054

注:板深 7 井中③为气液烃包裹体。

(2)包裹体均一温度大体上可划分为 4 个温度段(图 4):①65~70 °C,以孔古 3 井为代表;②95~105 °C,以板深 7 井、孔古 7 井为代表;③115~125 °C,以板深 701 井、板深 7 井、孔古 7 井为代表;④140 °C,主要分布于板深 701 井。据王钧等研究(1990),黄骅拗陷不同深度地温分布特征为:深度 100~1 000 m 平均增温级 24.4~28.6 m/°C;1 000~2 000 m 为 28.33~34.5 m/°C,2 000~3 000 m 为 28.6~33.3 m/°C。据此,算得包裹体形成的 4 个深度段分别为:1 200~1 700 m,2 200~2 800 m,3 100~3 400 m 和 3 800~4 500 m。

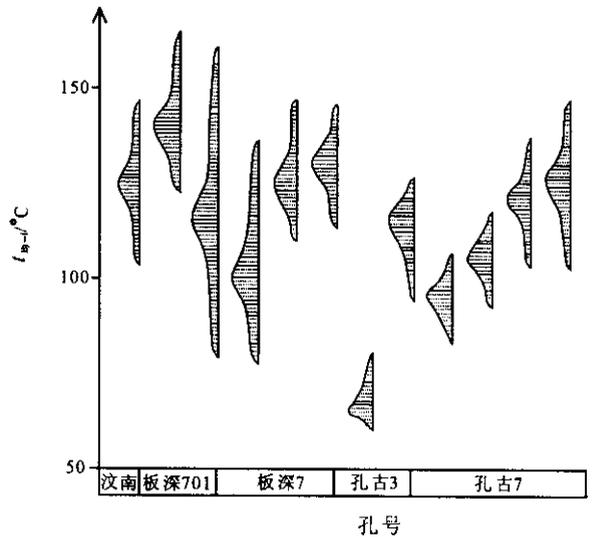


图 4 黄骅拗陷充填矿物方解石包裹体均一温度分布特征

Fig. 4 Calcite inclusion homogenization temperature distributed feature in Huanghua basin

### 5 对古岩溶作用的指示性

上述包裹体特征对区内古岩溶作用环境和期次具有较好的指示性:

(1)包裹体的大小、形态和分布特征显示充填矿物形成于水流交替缓慢,温度、压力及溶液浓度变化较为稳定的条件,反映了埋藏型古岩溶作用的环境特征:介质机构以孔隙、裂隙为主,水流运移方式以渗流弥散和缓慢对流循环为主。包裹体中含有一定量的 CH<sub>4</sub> 和较高浓度的 H<sub>2</sub>S 和 CO<sub>2</sub>,表明古岩溶作用与油气运移有密切关系,形成于埋藏条件下较封闭的还原环境。

(2)包裹体类型具有多样性,显示了古岩溶作用与有机质熟化程度关系:盐水包裹体与有机质低成

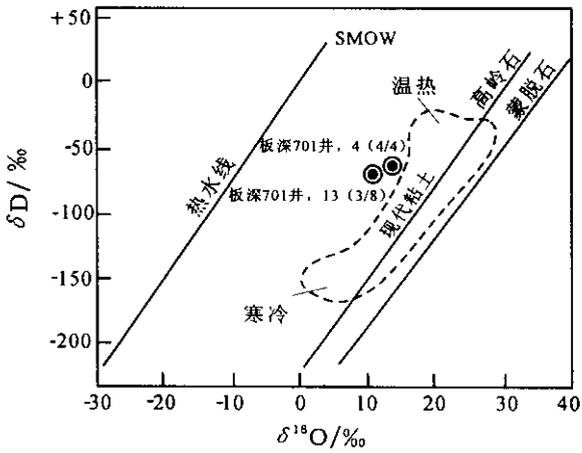


图 5 黄骅坳陷矿物包裹体氢氧同位素关系  
 Fig. 5 The relationship between hydrogen isotope and oxygen isotope of palaeokarst mineral inclusion in Huanghua basin

熟-成熟早期对应,含气液烃包裹体与有机质成熟期对应,而含烃盐水包裹体则与有机质成熟晚期-过成熟期相对应。

(3)包裹体同位素分析得出:δD 值( - 60‰ ~ - 66‰)低于沙河街组地下水的 δD 值( - 68.1‰ ~ - 74.2‰),说明其形成于 D 富集的热蒸发环境。

据 C. Faurc( 1997 )图解分析( 图 5 ),溶蚀孔缝充填矿物包体水的 δD、δ<sup>18</sup>O 值分布在粘土矿物水范围内,与现代粘土水有明显差异。表明古岩溶作用的地下水来源于泥质烃源岩压释水,处于温热水环境。

(4)包裹体各特征指标的明显差异性与区内古岩溶作用的多期性相对应,3 种盐度类型反映了浅

埋藏、中等埋藏和深埋藏 3 种环境,4 个均一温度段与古岩溶发育的 4 个期次相吻合。

致谢 包裹体测定由宜昌地质矿产研究所黄惠兰同志完成,在此表示感谢。

参 考 文 献

韩宝平. 1993. 冀中坳陷油田热水喀斯特的研究. 中国北方岩溶与岩溶水研究. 桂林: 广西师范大学出版社, 26~35.  
 卢焕章. 1990. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 6~53.  
 陆克政. 1997. 渤海湾新生代含油气盆地构造模式. 北京: 地质出版社, 165~180.  
 于志海. 1997. 黄骅坳陷天然气地质. 北京: 石油工业出版社, 14~17.  
 章贵松, 郑聪斌. 2000. 压释水岩溶与天然气的运聚成藏. 中国岩溶, 19(3):199~205.

References

Han Baoping. 1993. Study on oilfield thermal karst in central Hebei depression. In Karst and karst water in North China. Guilin: Guangxi Teachers University Press, 26~35 (in Chinese).  
 Lu Huanzhang. 1990. Fluid inclusion geochemistry. Beijing: Geological Publishing House, 6~53 (in Chinese).  
 Lu Kezheng. 1997. Tectonic model of Cenozoic petroliferous basin Bohai Bay. Beijing: Geological Publishing House, 165~180 (in Chinese with English abstract).  
 Yu Zhihai. 1997. Natural gas geology in Huanghua depression. Beijing: Petroleum Industry Press, 14~17 (in Chinese with English abstract).  
 Zhang Guisong, Zhong Congbin. 2000. Compaction released water karst and natural gas migration, accumulation and reservoir formation. Carsologica Sinica, 19(3):199~205 (in Chinese with English abstract).