

# 胜利油气区奥陶系顶部风化壳 有机包裹体初步研究及其意义\*

李荣西<sup>1</sup> 胡瑞忠<sup>2</sup> 方维萱<sup>2</sup>

(1. 长安大学地球科学与国土资源学院 西安 710054; 2. 中国科学院地球化学研究所 贵阳 550002)

**摘要** 胜利油气区奥陶系顶部风化壳中的气态烃有机包裹体主要分布在方解石脉中,属晚期次生成因。均一温度测量结果表明其形成温度为140~160℃,明显低于奥陶系灰泥岩的成岩温度(170~208℃)。有机包裹体气态烃成份以CH<sub>4</sub>为主(占总量的44%~49%),同时含CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O等无机气体成份。有机包裹体气态烃 $\delta^{13}C_1$ 为-29.2‰(PDB), $\delta D$ 为-128‰(SMOW),与本区已发现的来自石炭-二叠系煤成天然气的 $\delta^{13}C_1$ 和 $\delta D$ 相近或相同,说明胜利油气区奥陶系顶部风化壳曾经有来自石炭-二叠系煤成天然气的运移与聚集作用。该区有与陕北大气田相似的成藏地质条件,奥陶系顶部风化壳具潜在的天然气勘探价值。

**关键词** 有机包裹体 风化壳 奥陶系 胜利油气区

**中图分类号**: P579, TE135 **文献标识码**: A **文章编号**: 0563-5020(2005)01-0120-05

碳酸盐岩风化壳是地层不整合的一种表现,因其与油气圈闭关系密切,长期以来倍受关注。与风化壳有关的岩溶型油气藏在碳酸盐岩油气田中占相当重要的位置,这已被世界上许多大型油气田实例所证实(Shaller et al., 1994)。我们在胜利油气区奥陶系顶部风化壳灰岩中发现了大量气态烃有机包裹体,本文对其特征进行初步研究,并对本区深部天然气成藏机理和勘探方向做一初步探讨。

研究样品主要采自于中奥陶世上马家沟组。该组早期以局限台地相沉积为主,岩性为厚层状泥晶灰岩、豹皮灰岩和灰泥岩夹多层粉晶白云岩及生物碎屑灰岩;晚期以开阔海为主,岩性为灰色结核灰岩、泥晶灰岩和豹皮灰岩,几乎不含白云岩,常见海绵骨针等深水动物化石。通过对十多口井的40多块包裹体样品观察,分别在滨古11井、曲古1井和花5井的奥陶系顶部风化壳灰岩中发现了大量有机包裹体。

本区奥陶系顶部风化壳灰岩特征是溶蚀孔隙、裂隙和溶洞非常发育,其中有较多的方解石细脉,有机包裹体主要分布在方解石脉中,部分分布在溶蚀孔隙中和裂隙中,属于晚期次生有机包裹体,主要为纯气态烃有机包裹体,次为含盐水的气态烃有机包裹体。在偏光显微镜下有机包裹体呈灰黑色,主要沿方解石解理分布,呈棒状、长柱状和菱角状等形态,包裹体边缘清晰可见,大小不等,小的<10 μm,大的长近100 μm,含量一般为30%~60%。荧光显微镜下,大部分有机包裹体不发荧光,部分发微弱的浅蓝色荧光。

分别测定了有机包裹体的均一温度、包裹体中气态烃成份和CH<sub>4</sub>的碳、氢同位素,以

\* 国家重点基础研究发展规划项目(编号:2003CB214605)和国家自然科学基金(批准号:40173005)资助。

李荣西,男,1966年6月生,博士后,石油地质学专业。

2001-11-12收稿,2003-07-03改回。

此为依据,并结合生烃热演化,对油气成藏过程进行追索研究。

均一温度测量 由于有机包裹体含有机质,属于多相不混溶流体包裹体,只有均一相流体包裹体的均一温度才能够反映其形成温度。由于沉积盆地与油气有关的流体包裹体形成温度相对较低,一般不进行压力校正(施继锡等,1996)。所以本文选用与有机包裹体同期(同一方解石脉)的盐水包裹体进行均一温度测量,其结果即可代表方解石脉中有机包裹体形成温度。为了与方解石脉对比,同时也测量了泥灰岩微晶方解石颗粒中流体包裹体的均一温度。测量用的冷热台为 Linkam THMS600 型,LEITZ 显微镜,镜头组合为目镜×物镜为 10×32,实验室温度 25℃,湿度 65%。每个样品每种类型包裹体测量的个数不少于 25 个,结果见表 1。

表 1 矿物流体包裹体特征及均一温度测量结果

Table 1 Characteristics and homogenization temperatures of the mineral fluid inclusions

样号	井号及深度/m	层位	寄主矿物	包裹体特征				均一温度/℃
				包裹体类型	形态	大小/ $\mu\text{m}$	气/液比/%	
H5-2	花 5, 1367	八陡组 ( $O_2b$ )	方解石脉	含盐水气态烃或纯气态烃有机包裹体	菱形或长条状	5~15	5~10	138~154
			方解石微晶	盐水包裹体	椭圆型或菱形	2~6	10~15	173~189
Q1-3	曲古 1, 3807	上马家沟组 ( $O_1sh$ )	方解石脉	含盐水气态烃或纯气态烃有机包裹体	菱形、长条状或面状	3~35	5~15	142~162
			方解石微晶	盐水包裹体	椭圆型或不规则状	3~8	15~20	182~208
BG11-2	滨古 11, 2421	上马家沟组 ( $O_1sh$ )	方解石脉	含盐水气态烃或纯气态烃有机包裹体	菱形或长条状	5~20	5~10	140~149
			方解石微晶	盐水包裹体	椭圆型或近圆形	3~8	10~15	186~194

均一温度由原中国科学院地质研究所包裹体实验室谢奕汉分析。

有机包裹体气态烃成份与  $\text{CH}_4$  碳、氢同位素分析 应用法国 Jobin-Yvon 仪器公司生产的 Ramnor-1000 型激光拉曼分子微探针分析有机包裹体气态烃成份。应用官能团基团伸缩振动鉴定  $\text{CO}_2$  ( $1\ 388\ \text{cm}^{-1}$ )、 $\text{H}_2\text{O}$  ( $3\ 410 \sim 3\ 705\ \text{cm}^{-1}$ )、 $\text{H}_2\text{S}$  ( $2\ 609\ \text{cm}^{-1}$ )、 $\text{CH}_4$  ( $2\ 915\ \text{cm}^{-1}$ )、 $\text{C}_2\text{H}_4$  ( $3\ 018\ \text{cm}^{-1}$ ) 和  $\text{C}_4\text{H}_6$  ( $1\ 645\ \text{cm}^{-1}$ ) 等。选择有机包裹体含量较多的典型样品(样号 Q1-3, 样品地质特征见表 1) 进行成份分析, 该样品中含有较多方解石细脉(宽 0.5~1.5 mm), 其中有机包裹体占有所有流体包裹体总量的 45%。有两种类型有机包裹体, 以纯气态烃有机包裹体(分析号 Q1-3-2) 为主, 少部分为含盐水气态烃有机包裹体(分析号 Q1-3-1)。在偏光显微镜下, 纯气态烃有机包裹体呈黑色或深灰黑色, 菱形或椭圆形, 约 5~10  $\mu\text{m}$ ; 含盐水有机包裹体中的气态烃为灰黑色, 居中, 盐水呈无色透明状, 分布在边缘, 呈菱形、长条状等形态, 约 8~20  $\mu\text{m}$ , 两类有机包裹体分布在同一方解脉中。其气相成份激光拉曼分析结果见表 2。

表2 有机包裹体气相成份 LRM 分析结果

Table 2 Gaseous composition of the organic inclusions analyzed by LRM

分析号	有机包裹体类型	直径/ $\mu\text{m}$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{CH}_4$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_4\text{H}_6$
Q1-3-1	含盐水有机包裹体	16, 其中气泡 2.5	18.1	22.9	34.4	18.2	6.4	
Q1-3-2	纯气态烃有机包裹体	6	66.6	6.6	11.9		8.6	6.3

国土资源部西安地质矿产研究所拉曼实验室王志海分析;表中的成份含量均为摩尔百分数。

不同成因的  $\text{CH}_4$  碳、氢同位素不同,为了确定有机包裹体中气态烃成因和来源,本文同时分析了  $\text{CH}_4$  碳、氢同位素,结果见表3。

表3 有机包裹体  $\text{CH}_4$  碳、氢同位素分析结果与本区石炭-二叠系煤成天然气  $\delta^{13}\text{C}_1$  对比Table 3 Correlation of  $\delta^{13}\text{C}_1$  and  $\delta\text{D}$  between the organic inclusions and the Carbono-Permian coal formed gas

分析号	样品名称	测定项目		本区已发现的源于石炭-二叠系天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值/ $\text{‰}$ , PDB					
		$\delta^{13}\text{C}_1$ / $\text{‰}$ , PDB	$\delta\text{D}/\text{‰}$ , SMOW	井号	曲古1	义155	孔4井	文22	文23
7088	方解石	-29.2	-128	$\delta^{13}\text{C}_1$	-32.64	-32.5	-29.22	-27.9	-27.98

国土资源部西安地质矿产研究所同位素地球化学开放研究实验室刘裕庆分析。

从表1中可看出奥陶系顶部风化壳灰泥岩方解石微晶颗粒中的盐水包裹体均一温度均  $>170\text{ }^\circ\text{C}$ , 最高为  $208\text{ }^\circ\text{C}$ , 该温度代表了灰泥岩所经历的成岩温度。而方解石脉中有机包裹体的形成温度为  $140\sim 160\text{ }^\circ\text{C}$ , 明显低于灰泥岩的成岩温度, 说明气态烃有机质不可能来自于奥陶系或其下部地层。胜利油气区存在两套烃源岩, 即石炭-二叠系海陆交互相含煤岩系和古近系湖相泥岩。古近系湖相泥质烃源岩是渤海湾盆地目前主力油气田最主要的烃源岩, 该套烃源岩的热演化程度  $\text{VRo}$  一般  $<1.5\%$ , 有机包裹体均一温度  $<110\text{ }^\circ\text{C}$  (李荣西等, 1998), 明显低于奥陶系方解石脉中有机包裹体的均一温度 ( $140\sim 160\text{ }^\circ\text{C}$ , 表1)。本区晚古生代煤系烃源岩具有较强的生烃潜力, 曾经历过3次生烃作用, 其中第3次生烃作用产物主要为天然气, 热演化程度  $\text{VRo} > 1.8\%$  (李荣西等, 2001)。根据以上分析, 初步认为本区奥陶系方解石脉中有机包裹体气态烃有可能来自于上覆的石炭-二叠系中煤系烃源岩。从表2可看出其含较多的有机质, 烃类气体总量分别占  $26.8\%$  (纯气态有机包裹体) 和  $47.5\%$  (含盐水有机包裹体), 其中甲烷 ( $\text{CH}_4$ ) 占总烃气体量较高, 分别达  $49\%$  (含盐水有机包裹体) 和  $44\%$  (纯气态烃有机包裹体), 而其它烃类气体 ( $\text{C}_2\sim\text{C}_4$ ) 含量均较低。纯气态烃有机包裹体 (Q1-3-2) 富含  $\text{CO}_2$  ( $66.6\%$ ) 和  $\text{C}_4\text{H}_6$  ( $6.3\%$ ), 含盐水有机包裹体 (Q1-3-1) 气相成份中富含  $\text{H}_2\text{S}$  ( $22.9\%$ ) 和  $\text{H}_2\text{O}$  ( $18.2\%$ ), 表明两者在化学成份上有明显差异。

不同来源的天然气其同位素组成不同, 煤系腐殖型有机质形成气态烃的  $\delta^{13}\text{C}_1$  比海相和湖相腐泥型有机质形成的气态烃的  $\delta^{13}\text{C}_1$  重约  $14\text{‰}$  (Schhoell, 1980)。许多研究者建立了多种 C、H 同位素组成标准来确定天然气成因 (James, 1983; 戴金星等, 1987)。表3为本文分析的气态烃有机包裹体中甲烷碳、氢同位素组成特征, 气态烃有机包裹体的  $\delta^{13}\text{C}_1$  为  $-29.2\text{‰}$  (PDB),  $\delta\text{D}$  为  $-128\text{‰}$  (SMOW), 从分析的数据看, 有机包裹体中的气

态烃属煤成天然气,在天然气成因类型判别的  $\delta^{13}\text{C}_1$  与  $\delta\text{D}$  关系图(徐永昌等,1985)上,其投点落在典型的高(过)成熟煤成气区域内。

从某种意义上讲,高含量气态烃有机包裹体密集分布是天然气的一种成藏显示,研究表明,碳酸盐岩工业油气层中的有机包裹体相对丰度 > 60% (施继锡等,1996)。本区奥陶系顶部风化壳灰岩中大量气态烃有机包裹体的存在,表明其中曾经有过天然气运移或聚集作用过程,这对本区深部天然气成藏和勘探具有重要的意义。胜利油气区有古近系湖相泥岩和石炭-二叠系含煤岩系两套烃源岩,本区主产油气田是来源于古近系湖相泥岩的“油型”油气,已发现的来自于石炭-二叠系煤系地层的工业油气流(田)属于“煤型”油气。据胜利油田研究,胜利油气区的天然气成因类型中,“油型”气的  $\delta^{13}\text{C}_1$  值一般为  $-55\% \sim -40\%$ ,而“煤型”气  $\delta^{13}\text{C}_1$  值为  $-32\%$  左右。本文分析的有机包裹体气态烃  $\delta^{13}\text{C}_1$  数值与本区已经发现的石炭-二叠系煤成天然气  $\delta^{13}\text{C}_1$  数值非常接近(表3),其  $\delta\text{D}$  也与本区典型煤成气如文31井的煤成气  $\delta\text{D}$  值( $-123\%$ , SMOW)接近,与文9井高(过)成熟的煤成气  $\delta\text{D}$  值( $-128\%$ , SMOW,  $V\text{R}_o \approx 1.8\%$ )完全一致(戴金星等,1987)<sup>①</sup>。以上分析结果表明,本区奥陶系顶部风化壳灰岩中有机包裹体中的有机气态烃属煤成天然气,综合前面分析认为其来源于本区石炭-二叠系煤系烃源岩。

华北地区在中奥陶世晚期,由于受加里东构造运动影响而抬升隆起,遭受了长达 130 Ma 年的风化、剥蚀、夷平和准平原化作用,受溶蚀作用和构造裂隙作用联合影响,在上马家沟组(有些地方为八陡组)灰岩中发育有大量的孔、洞和缝,形成了一套良好的储集层,位于鄂尔多斯盆地的陕北大气田的发现已经证明了奥陶系顶部风化壳巨大的经济价值(彭军,1998;冯增昭等,1999)。渤海湾盆地和鄂尔多斯盆地是同属于华北地台的两个大型含油气盆地,古生代时期具有相似的沉积和构造演化特征,本文气态烃包裹体的发现与研究表明了胜利油气区奥陶系顶部风化壳具有潜在的天然气勘探价值。

胜利油气区石炭-二叠系煤系地层有机质类型以Ⅲ型和Ⅱ型为主,有机质丰度高,具有较大的生烃潜力,热演化程度普遍达高-过成熟,具有所谓的二次生烃潜力(李荣西等,2001)。本研究在胜利油气区奥陶系顶部风化壳灰岩中发现的有机包裹体均一温度测量、成份和碳、氢同位素分析结果表明,有机包裹体气态烃来源于石炭-二叠系煤系地层,说明在胜利油气区奥陶系顶部风化壳中曾经有过来自于石炭-二叠系煤成天然气的运移或聚集作用过程,这为在本区深部天然气勘探提供了重要的线索。

## 参 考 文 献

- 戴金星,宋岩,关德师. 1987. 鉴别煤成气的指标,煤成气地质研究. 北京:石油工业出版社. 156—170.
- Dai Jinxing, Song Yan and Guan Deshi. 1987. Indicators for Identifying the Gas from the Coal, Research to the Geology of the Gas from the Coal. Beijing: Petroleum Industry Press. 156—170.
- 冯增昭,鲍志东. 1999. 鄂尔多斯奥陶纪马家沟期岩相古地理. 沉积学报, 17(1):1—8.
- Feng Zengzhao and Bao Zhidong. 1999. Lithofacies paleogeography of Majiagou formation, Ordovician in Ordos Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(1):1—8.

<sup>①</sup>胜利石油地质科学研究院. 1995. 济阳地区古生界区块早期评价.

- 李荣西, 金奎励, 廖永胜. 1998. 用 Micro-FT. IR 和荧光光谱对有机包裹体测定及其意义. *地球化学*, 27(3):244—250.
- Li Rongxi, Jin Kuili and Liao Yongsheng. 1998. Analysis to organic inclusion using Micro-FT. IR and fluorescent spectrum and its prosperity. *Geochimica*, 27(3):244—250.
- 李荣西, 廖永胜, 周义. 2001. 济阳拗陷石炭-二叠系热演化与生烃阶段. *地球学报*, 22(1):85—90.
- Li Rongxi, Liao Yongsheng and Zhou Yi. 2001. Thermal history of the Permo-Carboniferous and their hydrocarbon generations in Jiyang Depression, Shengli Oil Province. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(1):85—90.
- 彭军. 1998. 陕甘宁盆地马家沟组白云岩成因及储集性. *成都理工学院学报*, 25(1):87—93.
- Peng Jun. 1998. The origin and reservioering performance of dolostones in Majiagou formation in Ordos Basin. *Journal of Chengdu University of Technology*, 25(1):87—93.
- 施继锡, 余孝颖. 1996. 碳酸岩盐中包裹体有机质特征与非常规油气评价. *矿物学报*, 16(2):104—108.
- Shi Jixi and Yu Xiaoying. 1996. Characteristics of organic matter in carbonate rocks and unconventional evaluations of oil and gas. *Acta Mineralogica Sinica*, 16(2):104—108.
- 徐永昌, 沈平. 1985. 中原、华北油气区“煤型气”地化特征初探. *沉积学报*, 3(2):1—6.
- Xu Yongchang and Shen Ping. 1985. Discussion about the geochemistry property of the gas from the coal in the Middle and Northern China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 3(2):1—6.
- James A T. 1983. Correlation of natural gas by use of carbon isotopic distribution between hydrocarbon components. *AAPG Bull.*, 67(7):77—97.
- Schhoell M. 1980. The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gas of various origins. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44:649—661.
- Shaller H A, Budd A D and Harris M P. 1994. Unconformities and porosity development in carbonate strata: ideas from a Hedberg conference. *AAPG Bull.*, 78(6):857—872.

## A PRELIMINARY STUDY ON ORGANIC INCLUSIONS OF ORDOVICIAN WEATHERING CRUST IN SHENGLI OILFIELD AND ITS SIGNIFICANCE

Li Rongxi<sup>1</sup> Hu Ruizhong<sup>2</sup> Fang Weixuan<sup>2</sup>

(1. School of Earth Science and Land Resource, Chang'an University, Xi'an 710054; 2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

### Abstract

The gaseous organic fluid inclusion in the weathering crust at the top of Ordovician in Shengli Oilfield, was a kind of secondary inclusion. The formation temperature of the organic inclusion, got by the measurements of homogenization temperature with the brine fluid inclusions lived in the same calcite vein as the organic inclusion, was 140 ~ 160 °C, much lower than the diagenetic temperature of the host rock. The main gaseous composition of the organic inclusion was CH<sub>4</sub> (account of 44% ~ 49% of the total organic gas) in addition to the inorganic gas of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O. The δ<sup>13</sup>C<sub>1</sub> and δD were -29.2‰ (PDB) and -128‰ (SMOW) respectively, almost equal to the value of the δ<sup>13</sup>C<sub>1</sub> and δD of the nature gas from the Carbono-Permian coal. It was proposed that the Carbono-Permian coal-formed gas migrated and accumulated in the weathering crust at top of Ordovician, which could provide essential insights and help develop new exploration strategies for gas prospecting in the region, even in North China.

**Key Words** Organic inclusions, Weathering crust, Ordovician, The Shengli Oilfield