

文章编号: 1001-6112(2008)03-0286-06

## 四川盆地震旦系一下古生界高过成熟度烃源岩评价

张林<sup>1,2</sup>, 魏国齐<sup>2</sup>, 韩龙<sup>3</sup>, 王立龙<sup>4</sup>, 王东良<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院 廊坊分院, 河北 廊坊 065007; 3. 中油测井有限公司青海事业部 花土沟录井项目部, 甘肃 敦煌 736202; 4. 中国石油山西煤层气勘探开发公司, 山西 晋城 048400)

**摘要:**四川盆地震旦系一下古生界为高成熟烃源岩,应用激光荧光诱导显微镜对高成熟度烃源岩进行观察、分析,识别出海相镜质组、海相惰质组、微粒体及沥青等几种母质类型,微粒体和沥青为 2 类主要母质类型。应用有机岩石学方法对烃源岩母质类型恢复,主要为 I 型和 II 型。在对有机碳系统测定基础上,根据不同类型有机质的恢复系数恢复原始有机碳含量,泥页岩有机碳含量一般为 0.21%~17.2%,灰岩及云岩有机碳含量一般在 0.1%~9.38%。应用海相镜质组及沥青成熟度来确定高成熟度烃源岩成熟度,一般等效镜质体反射率为 2.36%~3.39%,达到高过成熟阶段。资源量为  $21.4 \times 10^8$  t,其中乐山—龙女寺隆起区所占资源量大,是天然气富集地区。

**关键词:**有机碳含量;母质类型;高成熟度;震旦系一下古生界;四川盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

## EVALUATION OF THE HIGH AND OVER MATURED SINIAN—LOWER PALAEOZOIC SOURCE ROCKS IN THE SICHUAN BASIN

Zhang Lin<sup>1,2</sup>, Wei Guoqi<sup>2</sup>, Han Long<sup>3</sup>, Wang Lilong<sup>3</sup>, Wang Dongliang<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Langfang Branch of PetroChina Exploration & Development Research Institute, Langfang, Hebei 065007, China; 3. Qinghai Divisional Department of CNPC Logging, Dunhuang, Gansu 736202, China; 4. PetroChina Shanxi Coal-bed Gas Exploration & Development Co, Jingcheng, Shanxi 048400, China)

**Abstract:** The highly or over matured source rocks were developed in the Sinian—Lower Palaeozoic sequence in the Sichuan Basin. By using laser fluorescence induced microscope, many matrix types, such as marine vitrinite, marine inertinite, microme, bitumen and so on, can be identified. Using organic petrologic approach, the original matrix types can be resumed, which mainly are type I and type II. Based on the systematic determination of organic carbon in the source rocks, the original organic carbon can be restored with recovery coefficient of different organic types. The ordinary TOC of mudstone and shale was 0.21%~17.2%, The ordinary TOC of limestone or dolomite is 0.21%~17.2%. According to the maturity of marine vitrinite and bitumen, the  $R_o$  of the source rocks in highly/over matured stage is 2.36%~3.39%. The total hydrocarbon resources of the Sinian—Lower Palaeozoic is  $2.14 \times 10^9$  t, and the Leshan—Longnushi uplifted area is a favorable area for nature gas accumulation.

**Key words:** TOC; matrix types; high maturity; Sinian—Lower Palaeozoic; the Sichuan Basin

中国下古生界海相地层以碳酸盐岩沉积为主,成熟度较高、陆源有机质缺乏,对其生烃潜力评价一直是油气地质领域的难点。目前有关下古生界高成熟烃源岩的有机质丰度、母质类型及有机质成熟度 3 大要素的评价指标、评价标准尚未完善<sup>[1~4]</sup>。四川盆地震旦纪—早古生代发育上震旦

统碳酸盐岩、寒武系黑色泥页岩及志留系黑色泥页岩 3 套主要烃源岩,奥陶系的泥页岩在川西、川东等地区也是烃源岩,是否具有生烃潜力也值得研究。新“三轮”资评四川盆地震旦系一下古生界的资源量仅  $4.500 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,仅为“二轮”资评的 20% 多。但随着威远气田上部层系的突破,其资源量和

收稿日期:2007-05-28;修订日期:2008-04-29。

作者简介:张林(1969—),男,博士,高级工程师,主要从事构造和天然气勘探等综合研究。E-mail:zhangl01@163.com。

基金项目:国家“十五”科技攻关项目(2004BA616A-03)。

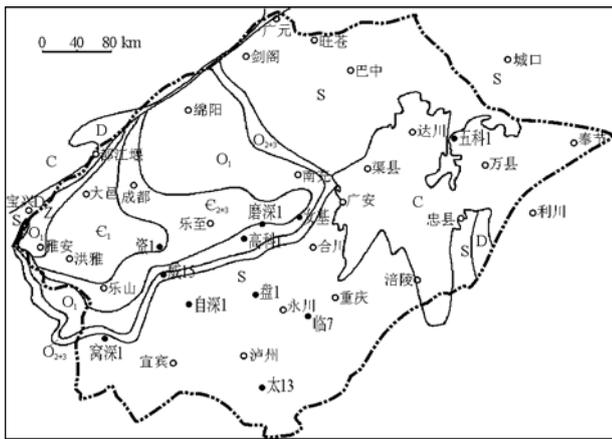


图1 四川盆地二叠纪前古地质图

Fig. 1 The palaeogeologic map before Permian in the Sichuan Basin

生烃潜力有待重新认识、评价。本文在已钻达的高科1井、盘1井、五科1等少量井系统采样分析基础上(图1),从有机质丰度、生烃母质特征、母质类型、成熟度等几个方面分析了烃源岩特征,初步评价了烃源岩的生烃潜力。

## 1 高成熟度烃源岩母质类型

高过成熟烃源岩母质类型的评价是烃源岩生烃评价的难点之一。干酪根元素分析、岩石 Rock-eval, 氯仿沥青“A”、干酪根传统镜检等传统的地化指标均失去有效性。由于烃源岩在热演化过程中,不同类型的显微组分演化结果渐趋一致,但不同类型显微组分的光性仍然存在显著差别,因此可应用有机岩石学方法恢复过成熟干酪根原始母质类型<sup>[5,6]</sup>。

### 1.1 母质类型

应用激光诱导荧光显微光度计对四川盆地高成熟度烃源岩150多块全岩光片及30块典型干酪根光片的观察与鉴定,确定四川盆地下古生界主要存在海相镜质组、海相惰质组、微粒体及沥青等有机质类型。

**海相镜质组:**见于黑色泥岩及粉砂泥岩中,一般呈团块状,碎屑状,有些呈透镜状,沿层理方向分布。不显光性结构,表面较均一,各向异性弱,属于原生组分,是藻类等相近生物物质经腐殖化作用形成,主要形成于弱氧化—弱还原环境。一般在Ⅱ型烃源岩中较丰富。

**海相惰质组:**仅见于黑色泥岩及黑色粉砂质泥岩中,呈碎屑状,反射率高,常与海相镜质组共生,一般数量很少。海相惰质组主要属于再循环有机

质,此外,有些结构不明显的动物壳屑也归为此类。

**微粒体:**在寒武系及志留系泥岩及粉砂质泥岩中还普遍存在微粒体。微粒体是无定形体热演化作用的产物。这套地层中出现微粒体,证明其含有一定数量的原始生烃母质,以及原始生烃母质具有较强生烃潜力。微粒体可划分为A、B 2种类型。在干酪根分离不纯样品中,较难区分这2种类型,从特征推断,这2套生油岩中,微粒体A与微粒体B均存在。

**沥青:**沥青是四川盆地震旦系一下古生界存在的主要有机质类型之一,按形态及光性特征识别出5类:类型Ⅰ呈条带状或透镜状,沿层理方面分布,表面均一,不显光学结构,具强烈各向异性,仅见于黑色泥岩或粉砂质泥岩中,属原生沥青,形成于烃源岩成熟作用阶段。类型Ⅱ呈他形,粒状或不规则状,颗粒直径小,一般1~5 μm,散布在矿物颗粒之间,不具光学结构,观察不到各向异性。主要见于黑色粉砂质泥岩中,为自生自储的沥青。类型Ⅲ呈他形,充填于晶洞、晶间隙或显微孔隙中,具中—粗粒镶嵌结构或片状结构,强烈各向异性。主要见于碳酸盐岩储层中,为储层沥青。类型Ⅳ是一种典型晶间沥青,沥青非常细小,分散在晶间;在高倍镜下观察可见沥青沿晶体颗粒分布,呈他形,不具明显的光学各向异性;整体构成块状或层状分布,形成黑色纹层。类型Ⅴ是一种细分散沥青,分布于颗粒较粗的碳酸盐岩矿物的晶间,光学各向异性明显,其产出特点是仅出现在某些显微分层。

此外,在志留系黑色泥岩中,常见笔石体,具粒状结构,呈不同形状;在寒武系黑色泥岩中,也可见一些动物壳屑体,但结构保存不清,成困难分辨。

### 1.2 显微组分含量

四川盆地震旦系一下古生界地层中存在2类烃源岩(表1),一是原生有机质主要是微粒体;二是次生有机质为沥青。其中碳酸盐岩与泥岩中有机组分类型存在较大差别,在震旦系TOC较高的碳酸盐岩中未发现微粒体、海相镜质组等原生有机质,只发现有沥青,沥青类型是Ⅲ、Ⅳ及Ⅴ;在寒武系、震旦系及志留系黑色泥岩及泥灰岩中发现有大量微粒体等其它原生显微组分,这表明震旦系仅含很少原生有机质,其有机碳主要由后期的沥青构成。而寒武系、志留系烃源岩既有原生有机质,又有沥青有机质作为补充。

### 1.3 原始母质类型恢复

不同类型显微组分具有不同生烃潜力,在成熟过程中体积的变化有所不同。根据5类组分

表 1 四川盆地震旦系—下古生界干酪根显微组分统计

Table 1 Statistical list of kerogen maceral of Sinian—Lower Paleozoic in the Sichuan Basin

地层	岩性	样品数/个	海相镜质组, %	海相惰性组+动物壳屑组, %	微粒体, %		沥青, %
					A	B	
S <sub>1</sub>	泥灰岩	2	4~10(7)	2~20(1)	93	70	0~1(0.5)
	灰黑泥岩	5	1~18(7)	2~8(3.8)	76~90(82.7)	82~92(87)	0~18(5.2)
O <sub>3w</sub>	黑色泥岩(岩屑)	1	0	0	55		45
O <sub>1</sub>	黑灰色泥岩	3	2~20(8.3)	1~5(3)	92	75~77(76)	2~20(7.3)
	灰色白云岩	1	0	10		90	0
Є <sub>2+3</sub>	黑色泥灰岩	3	0~5(3.3)	0~2(2.3)		40~90(64)	0~53(30.3)
	灰黑泥灰岩	3	0~70(30.6)	0~9(3.7)	82	30	16~43(20.6)
Є <sub>1</sub>	黑色粉砂质泥岩	2	1~5(3)	1~3(2)	74	72	20~24(22)
	黑色泥岩	1	2	6	82		0
Z <sub>2d</sub>	灰色云岩、灰岩	7	0~2(0.28)	0~2(0.28)	0~71(10.4)		25~100(89)
	黑色泥岩, 粉砂岩	3	0	1~5(2.7)	50	64~68(66)	30~45(36.7)

注:表中数值的意义为最小值~最大值(平均值)。

热失重变化规律, 可用来确定其体积的变化, 推导公式如下:

$$P_x = X/P; P = B/(1-VB) + I/(1-VI) + MA/(1-VMA) + MB/(1-VMB) + PV/(1-VPV)$$

式中: X 代表 B/(1-VB), I/(1-VI), MA/(1-VMA), MB/(1-VMB), PV/(1-VPV) 这 5 者之一; 其中, B, I, MA, MB, PV 分别代表下古生界海相过成熟干酪根中沥青、类惰性组、微粒体 A、微粒体 B 及海相镜质体的百分含量; VB, VI, VMA, VMB 及 VPV 分别代表该过成熟干酪根在其所处成熟阶段沥青、类惰性组、微粒体 A、微粒体 B 及海相镜质体体积减量, 该值可根据热模拟实验条件下, 显微组分热散失量与成熟度关系直接求取<sup>[7]</sup>; P<sub>x</sub> 为 X 显微组分恢复后的原始百分含量。

根据上述方法, 应用干酪根显微组分分析结果, 对震旦系—志留系暗色泥岩原始显微组分组成

进行了恢复(表 2), 由于沥青不是原生显微组分, 在恢复中没有考虑。从恢复结果看志留系暗色泥岩中腐泥组含量高达 80% 以上, 其原始母质类型有 I 型, 也有 II 型; 寒武系与奥陶系泥岩及粉砂质泥岩中主要是腐泥组 B, 含量一般在 80%~90%, 母质类型以 II<sub>A</sub> 型为主体, 也有少量 I 型。

## 2 有机质丰度

由于志留纪末的加里东运动使四川盆地的中西部抬升剥蚀, 从天全核部已剥蚀至震旦系, 向东剥蚀程度逐渐降低, 至龙女寺地区志留系地层已剥蚀殆尽, 在古隆起周围残留下志留统地层(图 1)。因此, 核部烃源岩主要为震旦系和寒武系, 在东南部还存在志留系烃源岩。震旦系灯影组碳酸盐岩 TOC 较高的地区集中分布在古隆起部位及其南部及东部斜坡部位。在这套地层中原生有机质少, 有机质主要存在形式是沥青。寒武系暗色泥岩在古

表 2 四川盆地震旦系—志留系干酪根原始显微组分恢复

Table 2 The original kerogen maceral of Sinian—Silurian in the Sichuan Basin

地层	岩性	样品数/个	海相镜质组, %	海相惰性组+动物壳屑组, %	腐泥组, %		母质类型
					A	B	
S <sub>1</sub>	泥灰岩	2	2~9(5)	2~10(5.3)	93	81	I, II
	灰黑泥岩	5	1~14(6)	1~5(2.8)	86~97(92.3)	85~94(89.5)	I, II
O <sub>3w</sub>	黑色泥岩(岩屑)	1	0	0	100		I
O <sub>1</sub>	黑灰色泥岩	3	2~18(7.7)	1~4(2)	96	78~97(87.5)	I, II
	灰色白云岩	1	0	5		95	II
Є <sub>2+3</sub>	黑色泥灰岩	3	0~8(4)	0~3(1.6)		90~100(95)	II
	灰黑泥灰岩	3	0~87(43.7)	0~23(8.3)	98	56	I, II, III
Є <sub>1</sub>	黑色粉砂质泥岩	2	1~5(3)	1~3(2)	94	97	I, II
	黑色泥岩	1	2	4	94		I
Z <sub>2d</sub>	黑色泥灰岩	1	0	2	95		II
	黑色泥岩, 粉砂岩	3	0	1~6(3)	94	97~99(98)	I, II

注:表中数值的意义为最小值~最大值(平均值)。

隆起部位及其南部拗陷 TOC 较高,在东部斜坡部位也较高,再向东至五科 1 井、利 1 井一带较低。寒武—奥陶系较纯的碳酸盐岩 TOC 一般较低,也较少含沥青;有机质丰度难达到有效烃源岩范畴。志留系暗色泥岩在古隆起东部及南部拗陷 TOC 都较高,奥陶系暗色泥岩在西南拗陷具有较高 TOC,而东部较低(表 3)。

在古隆起地区仅有震旦系、寒武系和下奥陶统的烃源岩,下寒武统黑色泥岩、黑色粉砂质泥岩 TOC 为 0.13%~3.81%;上震旦统灯影组仅在高科 1 井发育灰黑色泥岩、粉砂质泥岩,5 个样品 TOC 平均为 1.74%,最高可达 3.91%;震旦系碳酸盐岩有机碳含量存在较大差别,TOC 介于 0.08%~1.93%。在有机碳含量较高的碳酸盐岩中,一般都含有沥青,且有机质主要为沥青。东南拗陷区志留系  $S_1l$  灰黑色泥岩 TOC 较高,一般可高达 1%~3%,是优质烃源岩。奥陶系  $O_1d$  在该区暗色岩系主要是一套泥灰岩,TOC 不高,一般在 0.20%左右,难达到有效烃源岩范畴;寒武系烃源岩发育暗色泥岩和暗色灰岩 2 套烃源岩,暗色泥岩 TOC 在 1.5%~2.0%,座 3 井寒武系灰黑泥灰岩 TOC 在 0.18%~0.70%。西南拗陷寒武—志留系中黑色泥岩 TOC 均较高,一般可在 1.0%以上;震旦系灯四碳酸盐岩 TOC 可高达 2%~3%,有机质主要是沥青(类型 III 与 IV)。

根据烃源岩母质类型及其所处成熟度,便可恢复过成熟烃源岩当处于低成熟阶段时有机碳含量,根据金奎励等<sup>[8]</sup>建立的不同类型烃源岩有机碳恢复系数(Kc)的方程恢复有机碳含量。恢复后的寒武系与志留系暗色泥岩样品 TOC 很高,最高可达 17.28%,一般可达 1%~4%,属非常好的生油岩。较富有机质的震旦系碳酸盐岩样品中基本上都是沥青,从成熟度上看,已属碳沥青的范畴;从成因上看,它可能由低变质沥青转变而来,或是原油热解形成。根据热模拟实验结果,沥青或原油有机碳转化系数高达 4。计算结果表明这些碳酸盐岩在较低成熟阶段时,沥青或原油 TOC 一般可高达 5%~15%。

下古生界烃源岩主要包括泥质烃源岩及碳酸盐岩 2 类烃源岩。对 TOC 下限标准的确定应综合考虑烃源岩地化特征及形成地质背景等几方面,即:将油源岩与气源岩分开考虑;将泥岩生油岩与碳酸盐岩生油岩分开考虑;综合考虑下古生界烃源岩的区域地质背景;考虑成熟度及原始母质类型的影响。本文提出了四川盆地地下古生界有效气源岩 TOC 下限标准 R。大于 2.50%时,泥质岩 TOC 下限标准定在 0.30%,碳酸盐岩 TOC 下限标准定在 0.20%。

### 3 成熟度

下古生界海相地层由于缺乏陆源有机质,加之

表 3 四川盆地震旦系—下古生界的有机碳、原始有机碳恢复分析

Table 3 The organic carbon and original organic carbon of Sinian—Lower Paleozoic in the Sichuan Basin

地区	层位	样品数/个	岩性	$S_1, \%$	$S_2, \%$	TOC, %	恢复 TOC, %	原始 TOC, %
古隆起	$O_1n$	2	云岩,灰岩	0.05	0.01~0.1(0.05)	0.18~0.41(0.3)	2.7	0.49~1.1(0.8)
		1	含沥青粉砂岩	0.05	0.12	1.41	2.7	3.8
		1	深灰色泥岩	0.04	0.12	0.2	2.7	0.54
	$\epsilon_{2+3}$	1	黑色泥岩	0.11	0.02	5.93	2.9	17.2
		2	泥灰岩	0.03~0.06(0.05)	0.01~0.06(0.03)	0.1~0.26(0.18)	2.9	0.29~0.75(0.52)
	$\epsilon_1$	3	灰黑泥灰岩	0.013	0.013	0.15	3.3	0.47
		11	泥岩,粉砂岩	0.01~0.12(0.05)	0.01~0.2(0.06)	0.13~3.81(1.58)	3.3	0.4~12.57(5.21)
		4	白云岩,灰岩	0.01~0.04(0.03)		0.08~0.38(0.25)	3.6	0.15~1.37(0.74)
	$Z_2d$	5	黑色泥岩,粉砂质泥岩	0.03~0.15(0.08)	0.02~0.23(0.12)	0.31~3.91(1.74)	3.6	1.12~11.34(5.6)
		8	含沥青白云岩	0.02~0.09(0.06)	0.02~0.07(0.04)	0.16~1.93(0.82)	4.0	0.64~7.72(3.17)
东南拗陷	S	2	灰色灰岩	0.04~0.08(0.06)	0.01~0.04(0.02)	0.07~3.23(1.65)	3.4	0.32~0.65(0.49)
		6	深灰色泥岩	0~1.1(0.04)	0.01~0.08(0.03)	0.07~2.76(1.14)	3.4	0.21~10.34(3.85)
	O	3	泥灰岩,云岩	0~0.72(0.25)	0.01~0.72(0.19)	0.03~0.2(0.17)	3.4	0.1~9.38(3.34)
		2	深灰色泥岩	0.01~0.06(0.035)	0.03~0.07(0.05)	0.12~0.26(0.19)	3.15	0.31~0.41(0.36)
	$\epsilon$	6	白云岩,灰岩	0.01~5.35(0.93)	0.01~1.98(0.43)	0.09~0.7(0.33)	3.3	0.31~2.1(1)
西南拗陷	S	1	黑色页岩	0.37	0.59	2.22	2.7	2.89
	O	2	泥岩	0.03~0.1(0.06)	0.04~0.13(0.08)	0.14~2.42(2.28)	2.8	0.45~7.2(3.8)
	$\epsilon$	2	页岩	0.04~0.11(0.07)	0.1~0.17(0.13)	0.16~0.2(0.18)	3.0	0.39~5.77(3.08)
	$Z_2d$	3	白云岩	0.01~0.24(0.09)	0.02~0.06(0.04)	0.03~3.14(1.63)	3.2	0.1~5.5(2.1)

注:表中数值意义为最小值~最大值(平均值)。

成熟度高,常规成熟度指标,如镜质组反射率,壳质组荧光参数等较难应用。下古生界海相地层成熟度评价一直未得以完善解决,国内外学者加强了这方面的研究,建立起了一些较有效的方法,提出了沥青、动物壳屑体、海相镜质体及其他成熟度指标<sup>[9,10]</sup>。

四川盆地地下古生界地层中主要存在沥青、海相镜质组及动物壳屑体 3 类形态有机质。由于动物壳屑体成因难辨,其应用受到限制;沥青虽然发育,但应结合其形成地质背景评价其地质意义。因此,针对四川盆地地下古生界地层的特点,重点采用了沥青反射率( $R_b$ )与海相镜质组反射率( $R_M$ )2 类参数。沥青按公式<sup>[9]</sup>  $\bar{R}_v = 0.668 R_b + 0.346 (r = 0.957)$ 、海相镜质组按公式<sup>[10]</sup>  $\bar{R}_v = 0.81 R_M + 0.18 (R_M > 1.50\%)$  分别计算等效镜质体反射率  $\bar{R}_v$ ,  $\bar{R}_v$  一般为 2.36%~3.39%,达到高过成熟阶段<sup>[11]</sup>。

#### 4 生烃量及资源量估算

采用有机质质量平衡法,分二步计算生烃量及资源量。有机质质量平衡法计算生烃量方法的理论依据是原始有机质丰度和残余有机质丰度的差值就是生烃量的一种直接量度。如生油岩原始有机碳含量为  $C_0$ ,当达到某成熟阶段的残余有机质含量为  $C_R$ ,生油岩有机碳降解率为  $K$ ,则:  $C_0 - C_R = K/(1-K)C_R$ 。生烃量及资源量计算公式如下:

$$Q_{生} = S H D \{ K/[100(1-K)] \} C_R K_H;$$

$$Q_{生1} = P Q_{生};$$

$$Q_{生2} = Q_{生} - Q_{生1};$$

$$Q_{资} = K_a Q_{生}。$$

式中:  $Q_{生}$  为生烃量;  $Q_{资}$  为资源量;  $Q_{生1}$  为第一次沉降生烃量;  $Q_{生2}$  为第二次沉降生烃量;  $S$  为有效生油岩面积;  $H$  为有效生油岩厚度;  $D$  为生油岩密度,泥岩 2.5 t/m<sup>3</sup>,碳酸盐岩 2.7 t/m<sup>3</sup>;  $K$  为有机碳降解率,  $K_H$  为有机碳含量换算成油气生成量的换算系数;  $K_a$  为排聚系数;  $C_R$  为实测有机碳含量;  $P$  为第一次沉降过程中生烃量占总生烃量的比例。

烃源岩评价参数泥岩 TOC 大于 0.30%,碳酸盐岩 TOC 大于 0.20%。由于奥陶系烃源岩所取样品 TOC 都较低,震旦系  $Z_2 d^3$  灰黑色泥岩见于高科 1 井,2 套烃源岩分布不详,在此未对其进行深入讨论。仅对寒武系暗色泥岩、志留系暗色泥岩、震旦系碳酸盐岩 3 套烃源岩的资源情况进行分析。志留系与寒武系暗色泥岩厚度与分布沿用“二轮资评”研究成果,成熟度、母质类型及 TOC 主要采用上述数据。震旦系烃源岩仅考虑了富含沥青的碳

表 4 四川盆地震旦系一下古生界主要层系生烃量及资源量

Table 4 The hydrocarbons and resource of main sets of Sinian—Lower Palaeozoic in the Sichuan Basin 10<sup>8</sup> t

地层	第一次 沉降生 烃量	第二次 沉降生 烃量	第一次 沉降资 源量	第二次 沉降资 源量	总资 源量
S	344	6 523	0.03	6.94	6.97
Є	2 228	8 912	0.22	8.31	8.53
Z(沥青)	0	3 188	0	5.90	5.90

酸盐岩,从地质背景分析,主要分布在古隆起南部、东部及其斜坡部位,估计分布面积在  $4 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,其它参数以高科 1 井资料为依据。

从总生烃量看(表 4),仅略低于第二次资评计算结果。从资源量预测结果看,比二次资评结果明显要少。震旦系碳酸盐岩沥青二次生烃量是很可观的,如考虑这些沥青可能来源于震旦系黑色泥岩及下寒武统暗色泥岩,50%来源于震旦系本身,则 3 套地层总资源量为  $21.4 \times 10^8$  t。古隆起及周边是有利于油气运聚的生气区,寒武系暗色泥岩及震旦系碳酸盐岩中的沥青生烃量分别为  $4 804 \times 10^8$  t 及  $3 188 \times 10^8$  t,占全盆生烃量相当大的比例。

从生烃量看无论哪种方法计算都相差不大,关键是进一步提高所选参数的可靠性。震旦系及寒武系地层存在 2 次生烃,因地质条件相差大,采用两步计算较合理;应加强聚烃系数的研究,四川盆地生烃规模量很大,但勘探成效不佳,很可能与聚集条件不好有关;古隆起是油气有利聚集部位,应进一步加强其生烃条件,运聚系数研究。

#### 5 结论

1)针对四川盆地震旦系一下古生界高成熟烃源岩,应用激光诱导荧光显微光度计检测烃源岩组分,识别出海相镜质组、海相惰质组、微粒体及沥青等几种母质类型,微粒体、沥青为 2 类主要母质类型。应用有机岩石学方法恢复了烃源岩母质类型,主要为 I 和 II 型。

2)四川盆地震旦系一下古生界为高成熟烃源岩,随成熟度增高,有机碳有逐渐降低的趋势,有效气源岩应考虑成熟度、区域地质背景、原始母质类型等多种因素。根据不同类型有机碳恢复系数计算,原始有机碳含量高,泥页岩 TOC 一般在 0.21%~17.2%,灰岩及云岩 TOC 一般在 0.1%~9.38%。等效镜质体反射率一般为 2.36%~3.39%,达到高过成熟阶段。

3)应用两分法计算生烃量和资源量,寒武系暗

色泥岩、志留系暗色泥岩、震旦系碳酸盐岩3套烃源岩的总资源量为 $21.4 \times 10^8$  t,其中隆起区资源量大,是天然气富集地区。奥陶系与震旦系灰黑色泥岩有生烃潜力,分布及资源量有待进一步落实。

#### 参考文献:

- 1 曾凡刚,程克明. 下古生界海相碳酸盐烃源岩地球化学的研究现状[J]. 地质地球化学,1998,26(3):1~8
- 2 秦建中,刘宝泉,郑伦举等. 海相碳酸盐岩排烃下限值研究[J]. 石油实验地质,2007,29(4):391~396
- 3 赵孟军,赵陵,张水昌等. 南盘江盆地主要烃源岩地球化学特征研究[J]. 石油实验地质,2006,28(2):162~167
- 4 刘旋. 济阳坳陷奥陶系烃源岩生物标志物地球化学特征[J]. 油气地质与采收率,2006,13(3):12~15
- 5 肖贤明,刘德汉,傅家谟. 沥青反射率作为烃源岩成熟度指标的意义[J]. 沉积学报,1991,9(增刊):49~59
- 6 朱俊章,施和生,舒誉等. 珠江口盆地烃源岩有机显微组分特征与生烃潜力分析[J]. 石油实验地质,2007,28(3):301~306
- 7 肖贤明,吴治君,刘德汉等. 早古生代海相烃源岩成熟度的有机岩石学评价方法[J]. 沉积学报,1995,13(2):112~119
- 8 金奎励,刘大锰,肖贤明等. 中国油、气源岩有机成分划分、超微与地化特征及其成烃规律[J]. 中国煤田地质,1995,7(1):47~51
- 9 刘德汉,史继扬. 碳酸盐岩高演化有机质的地球化学特征及油气非常规评价方法[J]. 石油勘探与开发,1994,21(3):113~115
- 10 刘祖发,肖贤明,傅家谟等. 海相镜质体反射率用作早古生代烃源岩成熟度指标研究[J]. 地球化学,1999,28(6):580~588
- 11 张林,魏国齐,李熙喆. 四川盆地震旦系一下古生界高过成熟烃源岩演化史分析[J]. 天然气地球科学,2007,18(5):726~731

(编辑 徐文明)

~~~~~

(上接第285页)

- 4 宋一涛,李树晴. 颗石藻生烃的热模拟实验研究 I. 烃的产率、性质及烯烃、烷烃的特征[J]. 高校地质学报,1995,1(2):95~106
- 5 Pierant P. Changes in sporopollenin during thermal treatment [A]. In: Brooks J, ed. Organic maturation studies and fossil fuel exploration [C]. London: Biology Biochemistry Management, 1981. 53~74
- 6 王开发,张玉兰,吴国暄等. 盘星藻热模拟生油研究[J]. 同济大学学报,1994,22(2):184~190
- 7 宋一涛,王铁冠. 原生动物门梨形四膜虫的无水热解实验产物及伽马蜡-2-烯的检出[J]. 地球化学,2004,33(2):147~151
- 8 孟任祥,吉利明,张文正等. 现代松粉热模拟产气态烃、气态非烃及水分特征[J]. 沉积学报,2000,18(4):624~628
- 9 秦建中,李志明,刘宝泉等. 海相优质烃源岩形成重质油与固体沥青潜力分析[J]. 石油实验地质,2007,29(3):280~285
- 10 秦建中. 青藏高原羌塘盆地油气资源潜力分析[J]. 石油实验地质,2006,28(6):566~573
- 11 腾格尔,高长林,胡凯等. 上扬子东南缘下组合优质烃源岩发育及生烃潜力[J]. 石油实验地质,2006,28(4):359~365
- 12 吴庆余,章冰,盛国英等. 藻类生物化学成分差异对其热解生烃产率和特征的影响[J]. 矿物岩石地球化学通报,1996,15(2):76~79
- 13 郭汝泰,杨凤丽. 藻类有机质的成烃机制探讨[J]. 同济大学学报,2002,30(1):41~45
- 14 李超,徐茂泉,王开发等. 单细胞海藻热模拟生烃研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版),2001,40(3):764~769
- 15 刘文斌,陆现彩,秦建中等. 海带热模拟实验的固体残余物研究及其石油地质意义[J]. 南京大学学报(自然科学),2005,41(3):234~244
- 16 Yuan Xunlai, Li Jun, Cao Ruiji. A diverse metaphyte assemblage from Neoproterozoic black shales of South China [J]. Lethaia, 1999, 32(2):143~155
- 17 Zhu Shixing, Chen Huineng. Megascopic multicellular organisms from the 1700-million-years old Tuanshanzi Formation in the Jixian area, North China [J]. Science, 1995, 270:620~622
- 18 Lewan M D, Winters J C, McDonald J H. Generation of oil-like pyrolysates from organic-rich shales [J]. Science, 1979, 203:896~899
- 19 Lewan M D. Evaluation of petroleum generation by hydrous pyrolysis experiments [J]. Phil Trans Royal Sci, 1985, A315:123~134
- 20 秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京:科学出版社,2005. 39~45
- 21 秦建中,钱志浩,曹寅等. 油气地球化学新技术新方法[J]. 石油实验地质,2005,27(5):519~528

(编辑 徐文明)