

四川盆地川西凹陷 侏罗系天然气气源的追索

关效如

(地质矿产部石油地质中心实验室, 无锡)

作者以有机地球化学常规分析、岩屑气及天然气组份、轻烃指纹、碳同位素等对川西凹陷侏罗系天然气的气源问题进行了对比和分析研究。研究结果认为该天然气主要来自上三叠统上盆组合。

位于四川盆地西部的川西凹陷为中生代沉积凹陷。现已于上三叠统须家河组二至五段和侏罗系上沙溪庙组、遂宁组、白田坝组、下沙溪庙组及蓬莱镇组发现气(油)藏。

对于须家河组所产天然气, 普遍认为是自生自储。侏罗系所产天然气, 在凹陷东部斜坡带到川中地区, 主要为下侏罗统自流井群湖相暗色泥岩所生, 深凹部份为“次生”。

我们作了有机地化常规分析、岩屑气及天然气组份、轻烃指纹、碳同位素等分析成果, 对凹陷内侏罗系所产天然气的气源进行追索, 认为上三叠统上盆组合是侏罗系天然气的主要源岩, 即川西凹陷侏罗系的天然气主要来自上盆组合。

一、侏罗系和上三叠统须家河组有机质丰度

川西凹陷侏罗系由河流、湖泊相红色碎屑岩组成, 为不利于有机质赋存的氧化环境。有机碳含量一般低于生油(气)岩的最低限值, 川合100井侏罗系红色泥岩的有机碳含量是0.0249—0.0727%, 氯仿抽提物仅0.003—0.0042%。因而, 侏罗系不能成为足以成藏的天然气源。

上三叠统上、下含油(气)组合中, 暗色泥岩发育, 除马鞍塘组和小塘子组部分为浅海陆棚及海陆过渡相沉积外, 须二至须五段皆属河流、湖沼相含煤的暗色砂、泥岩沉积, 有机质丰富, 是生成气(油)的良好物质基础, 川合100井各组、段的有机碳平均含量都高于生油(气)岩界线, 最高可达5%以上。

二、岩屑气特征反映出侏罗系与须家河组天然气的关系

1. 上三叠统须家河组岩屑气总烃含量高于侏罗系

须家河组泥(页)岩的总烃含量平均为6.1—13.5m³/t(川合100井)(表1)。而

侏罗系平均含量仅为 $0.034-0.076\text{m}^3/\text{t}$ （川108井）（表2）。即须家河组总烃含量是侏罗系的百余倍。而且岩屑气的总烃含量与有机碳含量成正相关，反映了须家河组具有较高的生气能力，而侏罗系生气能力甚微，不具备成为气源岩的条件。

表1 川合100井岩屑气总烃含量（ $\text{m}^3/\text{t}\cdot\text{岩石}$ ）

地层 岩性 含量	T_3x^5	T_3x^4	T_3x^3	T_3x^2
泥（页）岩	6.3	6.1	11.7	13.5
砂岩	2.2	1.8	2.5	1.4
泥（页）岩/砂岩	2.8	3.38	4.76	9.46

表2 川108井岩屑气总烃含量（ $\text{m}^3/\text{t}\cdot\text{岩石}$ ）

地层 岩性 含量	J_3P	J_3h	J_3s	J_2x
泥（页）岩	0.076	0.034	0.056	0.034
砂岩	0.303	0.298	0.330	0.163
泥（页）岩/砂岩	0.25	0.114	0.169	0.206

2. 泥（页）岩与砂岩的岩屑气总烃含量相差悬殊

须家河组泥（页）岩的总烃含量远远高于砂岩，而侏罗系砂岩的总烃含量却高于泥岩。

须家河组砂岩中天然气主要来自临近的暗色泥（页）岩，其砂岩的物性与具有封盖性能的泥（页）岩相匹配，以及泥（页）岩本身的储气性能（如微裂隙、次生微孔隙发育）决定了砂岩与泥（页）岩总烃含量的相对高低。泥（页）岩中丰富的有机质对烃类具有的吸附作用亦可大大提高其总烃的含量。加之须家河组砂岩孔、渗性普遍较差，因而使总烃含量普遍低于泥（页）岩。

由于侏罗系所产天然气并非自生，而砂岩较泥质岩具有更好的储气物性条件，因此，砂岩中的总烃含量高于泥质岩。

3. 干燥系数（ C_1/C_1-C_5 ）特征

气源岩岩屑气的干燥系数反映了其所生成天然气的演化程度。上三叠统须家河组、马鞍塘组和小塘子组岩屑气的干燥系数自上而下逐渐增加（表3）。在须五段至须三段上亚段中小于0.95，由须三段下亚段往下都大于0.95。反映了须家河组的天然气，在须三段上亚段以上为湿气，向下为干气的特点，是气源岩中有机质演化程度自上而下升高的结果。

表3 川合100井岩屑气干燥系数（ C_1/C_1-C_5 ）

地层	J_1b	T_3x^5	T_3x^4	T_3x^3	T_3x^2	T_3t-m
C_1/C_1-C_5	0.933	0.458	0.58	0.869	0.966	0.973

天然气在运移过程中所发生的分异作用,也可使干燥系数增大。较轻、较小的甲烷分子超前运移至上覆地层。上三叠统上盆组合的天然气(干燥系数较小)向上覆侏罗系运移时,就有此种分异作用的发生,使得侏罗系岩屑气较上盆组合更富甲烷,干燥系数远高于上盆组合。如川合100井 J_1b 干燥系数为0.933,川孝108井的 J_1b-J_3p 的干燥系数平均值皆大于0.9,都大大高于下伏的 T_3X^5 (0.56)。从干燥系数值来看,虽然侏罗系与须三段下亚段近似,但侏罗系的演化程度远低于下盆组合。另从天然气的碳同位素值来看,侏罗系的天然气决非生物成因(表7)。因而侏罗系干燥系数如此之高,应解释为下部天然气向上运移过程中发生的分异作用结果。

4. 从烃类气体组成看侏罗系天然气与须家河组天然气的关系

地层中的天然气因演化程度不同,其烃类组成自上而下发生有规律的变化。上三叠统岩屑气中烃类组成自上而下重烃组份逐渐减少,须五段含有 C_1-C_6 组份的全部,至小塘子组和马鞍塘组仅存有 C_1-C_2 两个组份(表4)。

表4 岩屑气中烃组份碳数

地 层	J	T_3x^5	T_3x^4	T_3x^3	T_3x^2	T_3t-m
烃组份(碳数)	C_1-C_6 (C_6)	C_1-C_5	C_1-C_4	C_1-C_3 (C_4)	C_1-C_3	C_1-C_2

(括号内为个别样中存在)

侏罗系岩屑气的干燥系数虽与下盆组合相似,但其烃类组份却与上盆组合相似,具有 C_1 至 C_4 的全部组份,个别样品中还含有仅在须五段存在的 C_6 组份。这一现象也说明侏罗系天然气与上盆组合有密切关系。

5. C_4-C_6 烷烃的 iC_n/nC_n 值在纵向上的变化规律

据岩屑气轻烃指纹分析,须家河组岩屑气的 iC_4/nC_4 值均大于1,而侏罗系却小于1,以及须家河组具有砂岩的 iC_4/nC_4 值低于邻近泥岩,甚至小于1的现象(表5),这是由于天然气运移过程中发生分异所造成的。泥质岩对异构烷烃具有的吸附能力大于直链烷烃,致使泥岩的 iC_4/nC_4 比值高于砂岩。

三、从天然气特征看侏罗系源岩

1. 须家河组有机质类型

根据李文峰对上三叠统暗色泥岩干酪根显微组份的分析(表6),其壳质组加类脂组的含量自上而下增加,而镜质组和丝质组都是自上而下减少。

在热演化过程中,类脂组和壳质组因烃类的生成,使氢元素大量消耗,碳元素富集,从而发生向丝碳方向转化。现测得的须三、须二段 R^o 值大于2%,达到了热演化的干气阶段,而其壳质组与类脂组之和高于处在凝析油-湿气阶段的须五、须四段。由此可知,须三、须二的有机质在原始时的壳质组加类脂组的含量应高于现在所测的值,与

表5 泥(页)岩及砂岩的 iC_4/nC_4 和 C_1/C_1-C_5 比值

岩 性	深 度 (m)	iC_4/nC_4	C_1/C_1-C_5
含砾砂岩	3250—3254	2.14	0.58
黑色页岩	3376—3378	2.46	0.40
灰白色砂岩	3424—3426	2.19	0.19
黑色页岩	3522—3524	2.79	0.42
灰色细砂岩	3590—3594	0.81	0.72
黑色含粉砂泥岩	3672—3674	2.22	0.48
灰色粉砂质泥岩	3702—3704	1.84	0.62
浅灰色细砂岩	3748—3752	0.85	0.83
深灰色泥岩	3782—3786	3.2	0.63
黑灰色泥岩	3814—3818	3.44	0.48
灰白色砂岩	3874—3878	0.96	0.70
黑色页岩	3898—3902	2.44	0.35
含砾砂岩	3934—3938	1.29	0.81
灰色砂岩	3988—3992	1.21	0.87
灰色泥岩	4105.5	2.75	0.71
灰黑色泥岩	4124—4126	3.5	0.59
灰白色砂岩	4152—4156	1.4	0.76

表6 上三叠统干酪根显微组份

地 层 时 代	烃 含 量 (ppm)	干酪根显微组份含量(%)			R^o (%)
		壳质组+类脂组	质镜组	丝质组	
T_3x^5	376	18.44	35.24	46.32	1.1—1.28
T_3x^4	181	27.82	27.03	45.14	1.28—1.5
T_3x^3	92	36.14	20.96	42.90	1.5—2.0
T_3x^2	49	34.22	14.23	51.57	2.0—2.07
T_3t	18	48.57	13.86	37.54	2.07—2.1
T_3m	15	57.7	10.30	32	2.1—2.11

须五、须四段的差别应比现在还要大。对于生气率而言，须三及须二段有机质的品质优于须五、须四段。但总观须家河组有机质的显微组份，应属于腐殖型，而有别于属于腐泥—混合型的川中地区侏罗系百田坝组。

2. 天然气类型

天然气中环戊烷的前身是甾萜烷与激素，它们与类脂化合物关系密切，在腐泥型天然气中环戊烷有较高的含量，而环己烷与木质素和纤维素有关，在腐殖型天然气中环己烷含量相对较高。

庚烷值是正庚烷与环己烷系列总和之比。此值亦可反映气源岩母质类型。腐泥型和混合型母质生成的天然气有较高的庚烷值，腐殖型母质生成的天然气庚烷值相对较低。

川西凹陷侏罗系和须家河组的天然气和岩屑气都具有环己烷含量较高，庚烷值较低的特点(图1和图2)，在图1和图2中位于腐殖气的范围内。而川中地区侏罗系和川西地

区的雷口坡组和嘉陵江组的天然气的环己烷相地较低，庚烷值相对较高，位于腐泥型天然气的范围内。

3. 根据天然气轻烃指纹分析，相同碳数的异构烷烃中，偕二甲基烷烃含量，侏罗系与上盆组合较之下盆组合高。如2-甲基丁烷/2,2-二甲基丙烷和(2-甲基戊烷+3-甲基戊烷)/2,2-二甲基丁烷关系图(图3)、2-甲基丁烷/2,2-二甲基丙烷和 $\delta^{13}C_1$ 关系图中(图4)，侏罗系和上盆组合的天然气都位于图的右上方，而下盆组合则位于图的左下方，明显地分为二部分。

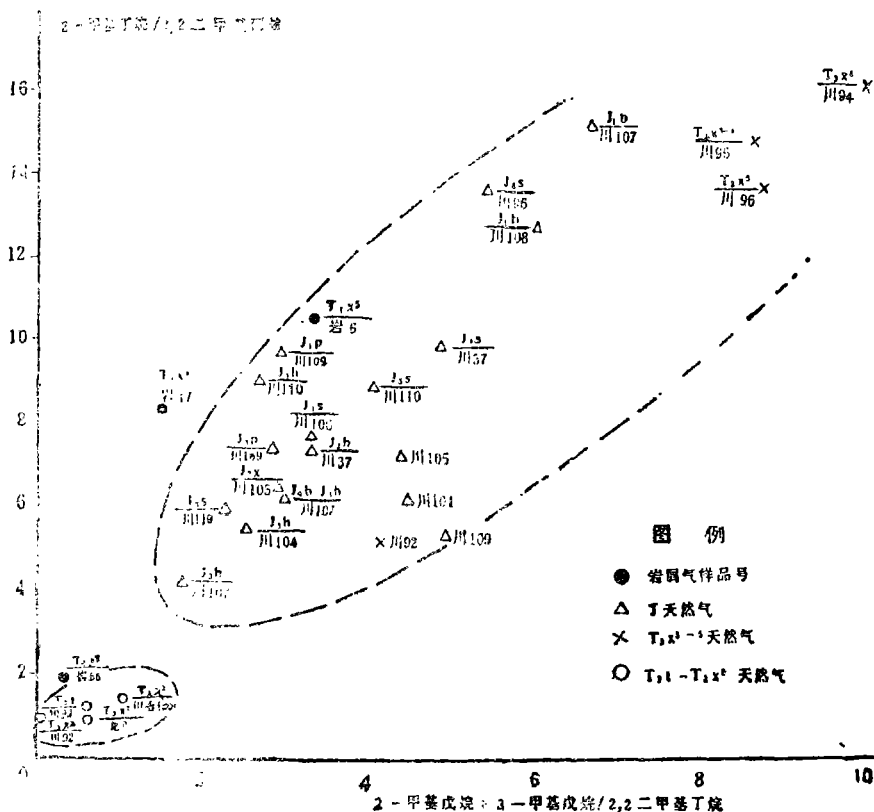


图3 天然气、岩屑气轻烃指纹关系图

对于2,2-二甲基丙烷等偕二甲基烷烃，它们是很好的母质属性参数，由于它们在天然气中的含量较低，运用的广泛性受到限制。Whelan等(1988)，把它们从链烷烃和环烷烃中划分出来单独成为一类，称之为偕二甲基烷烃，其地质意义有待于深入探讨①。

4. 张义纲等(1985)按 $\delta^{13}C_1$ 与 $\delta^{13}C_{2-1}$ 关系图，将四川盆地分出6套气源层系。川西凹陷上三叠统须家河组的天然气在图中与上三叠统气源岩重合，而侏罗系天然气多落入上三叠统上盆组合的范围之中，可把它与上盆组合的天然气同归于一类(图5)。

① 张义纲，1990，气滤岩和天然气地球化学特征及生气机制的研究。

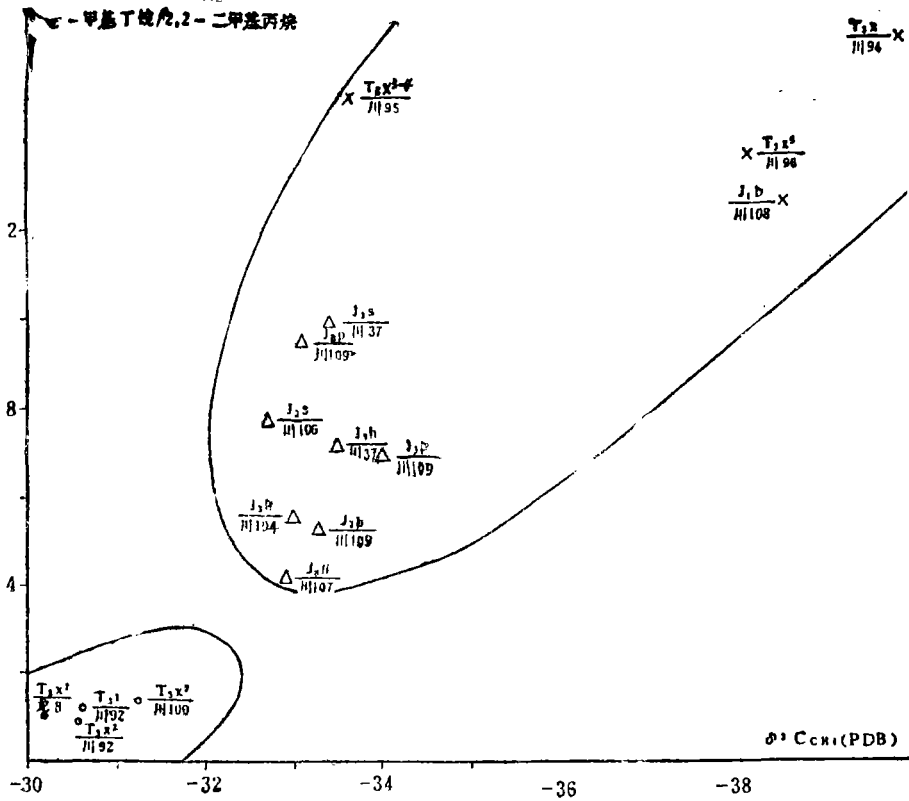


图4 天然气指纹2-甲基丁烷/2,2-二甲基丙烷与 $\delta^{13}C_2$ 关系图

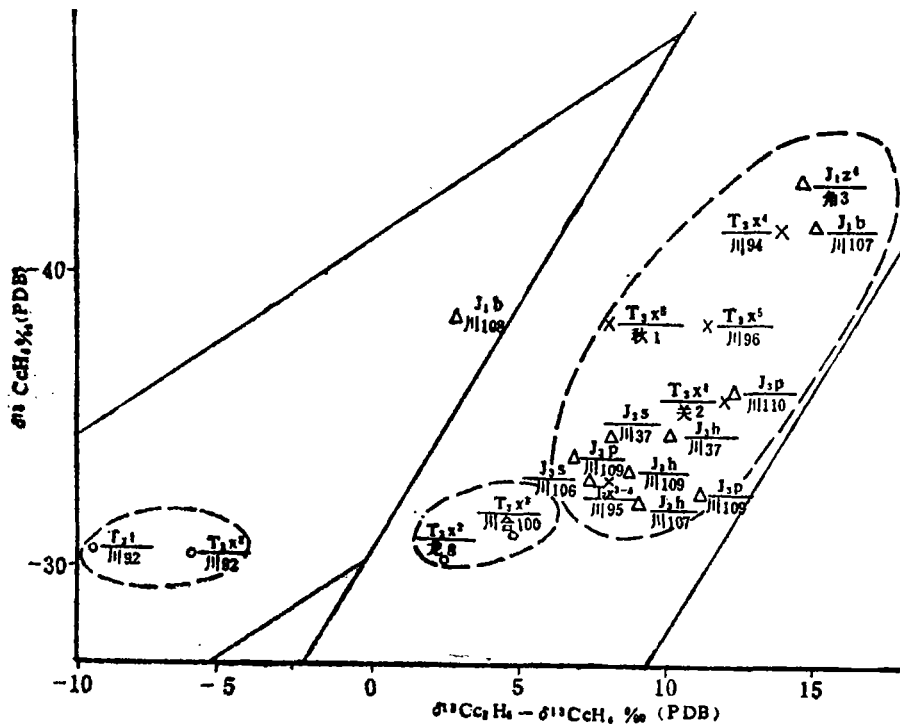


图5 川西地区天然气碳同位素类型图

四、天然气 $\delta^{13}C_1-R^\circ$ 关系回归方程法判别气源岩

根据甲烷碳同位素随成熟度的增加而变重，源岩 R° 值亦随之而变大的规律，经统计回归而得出的方程式。我国腐殖型天然气的回归方程式常采用：

$$\delta^{13}C_1 = 14.1254118R^\circ - 34.3922 \quad (\text{戴金量、郝石生, 1989})$$

我们采用上述公式，对川西凹陷7口钻井作了计算（表7），推算出侏罗系天然气的源岩 R° 值，约在1.07—1.313%之间，落在川合100井 $T_3x^5-T_3x^4$ 的 R° 值1.1—1.5%间，川92井的0.8—1.3%间的范围之内，可以推断侏罗系天然气源岩应该是 $T_3x^5-T_3x^4$ 的上盆组合。

表7 气源岩 R° 计算值

井 号	川109井	川109井	川104井	川107井	川37井	川37井	川106井
层 位	J ₃ P	J ₃ h	J ₃ h	J ₃ h	J ₃ h	J ₃ s	J ₃ s
$\delta^{13}C_1\%$	-33.97	-33.30	-32.02	-33.90	-33.51	-33.35	-32.72
$R^\circ\%$	1.07	1.195	1.275	1.251	1.155	1.185	1.313

五、结论

川西凹陷侏罗系有机质贫乏，不具有生成工业性天然气的能力，而须家河组有机质丰富已具备生成工业性天然气的能力。

侏罗系和须家河组天然气具有环己烷含量和异庚烷值含量相对较高的特点，同属于腐殖型气，按张义纲等（1985）的天然气碳同位素类型图及天然气中相同碳数异构烷烃中偕二甲基烷烃相对含量较高的特点，侏罗系天然气与上三叠统上盆组合同归于一类。

侏罗系岩屑气的 C_1/C_1-C_5 比值高于下伏须五段—须四段，而与须三段近似， iC_4/nC_4 比值低于须家河组，上述现象是下伏须家河组天然气向上运移的结果。

天然气的 $\delta^{13}C_1-R^\circ$ 回归法推算出侏罗系天然气的源岩的 R° 值与上盆组合（ $T_3x^4-T_3x^5$ ）的 R° 值极为近似。

综上所述，可以推断，川西凹陷侏罗系天然气的源岩是上三叠统上盆组合。

（收稿日期：1989年12月29日）

ON THE SOURCE OF NATURAL GAS IN THE
JURASSIC SYSTEM OF THE WEST SICHUAN
DEPRESSION, THE SICHUAN BASIN

Guan Xiaoru

(Central Laboratory of Petroleum Geology, MGMR, Wuxi)

Abstract

Based on the conventional analysis of organic geochemistry, and debris gas, components of natural gas, fingerprints of light hydrocarbon, and carbon isotopes etc., the gas source of the Jurassic natural gas in the west Sichuan Depression, the Sichuan Basin is studied and correlated in this paper. It is suggested that the gas in the depression was mainly derived from the T_3x_4 — T_3x_6 assemblages.