

# 四川盆地西部油气资源潜力\*

唐立章<sup>1</sup> 张晓鹏<sup>2</sup>

(1. 中国石化西南分公司勘探开发研究院 2. 成都理工大学)

唐立章. 四川盆地西部油气资源潜力. 天然气工业, 2004; 24(7): 5~8

**摘要** 随着油气勘探开发工作向纵深推进, 四川盆地西部致密碎屑岩领域积累了大量新资料, 需要根据新的资料滚动式的评价其油气资源潜力。通过运用盆地模拟技术, 在对烃源岩有机质丰度、类型、成熟度、生烃潜力等进行系统研究的基础上, 采用有机碳法、有机显微组分法等计算了该区生烃量, 并根据排聚系数计算出该区天然气资源量为  $(1.8 \sim 2.5) \times 10^{12} \text{ m}^3$ , 资源量同过去相比增加了 2~3 倍, 现有探明天然气储量  $2200 \times 10^8 \text{ m}^3$  仅占其资源量的 10% 左右, 探明程度明显偏低。因此, 该区油气探明储量仍将有一个持续增长期, 勘探潜力十分巨大。

**关键词** 四川盆地西 西部 有机质丰度 成熟度 生烃量 资源潜力

针对川西坳陷上三叠统与侏罗系陆相烃源岩虽为Ⅲ型干酪根, 但具品质好、生烃早、成熟度较高的特点, 采用了有机碳法和有机显微组分法研究资源潜力。由于文章篇幅有限, 各种方法的计算公式及其意义, 不再赘述。

在油气资源评价研究中, 优选实用的方法是保证油气资源评价工作得以顺利进行的前提, 而有效烃源岩、产烃率、排聚系数(排烃系数, 聚集系数)等参数的研究和合理、客观的取值甚为关键。

## 关键参数研究

### 1. 有效烃源岩的界定

所谓有效烃源岩是指能够生成并排出具有工业价值油气的源岩。一般通过烃源岩各项有机地化参数来判定其有效性, 这些参数包括有机质的丰度、类型、成熟度、烃源岩埋藏史及储盖组合方式等。但由于不同的勘探程度, 各种地化参数的获得受到限制。在此, 使用两项主要指标用于界定有效烃源岩, 即烃源岩有机碳含量和成熟度。

经研究分析, 有机碳含量下限拟取 0.4%, 成熟度  $R_o$  下限取 0.5%, 这两项指标均在下限之上的碎屑岩系烃源岩则被认为是有效烃源岩。

需要说明一点, 侏罗系中的暗色泥质岩也具有一定的生烃能力。近些年来, 在侏罗系天然气的勘探开发中, 由于不断钻遇暗色泥岩和在储层中发现

沥青, 马井构造还发现富含有机质纹层的粉砂岩, 从而推断侏罗系本身所夹含的暗色富有机质成分肯定为侏罗系气藏的形成做出了贡献。由于近距离富集, 侏罗系生成的烃类在运移中受到的损失很小, 除满足岩石自身的吸附外, 其余均可进入储层与主力气源(下伏须家河组  $T_3x$ ) 提供的天然气混合成藏。根据岩石对甲烷吸附能力研究, 甲烷生成量每吨岩石小于  $0.1 \text{ mm}^3$  时, 只能提供吸附而不能向外运移; 当岩石剩余有机碳小于 0.21%, 其甲烷生成量每吨岩石约为  $0.1 \text{ m}^3$ 。因此, 将岩石中剩余有机碳 0.2% 定为侏罗系暗色泥岩烃源岩的下限, 这一取值低于国内外碎屑岩烃源岩常用的有机碳下限值(0.3%~0.5%)。但对于川西地区由下伏  $T_3x$  主力气源充注的侏罗系储层天然气藏, 其本身所含富有机质暗色泥岩生成的天然气, 只是作为一种自生自储气源的补充, 取 0.2% 作为下限应当是可行的。

根据有效烃源岩下限取值原则, 对区内有效烃源岩有机碳值与成熟度  $R_o$  值进行了统计, 结果表明有机碳值分布范围一般为 0.4%~4.0%, 表现成熟度的反射率值  $R_o$  分布范围一般为 0.9%~2.1%, 一般随埋深而增大。

### 2. 烃源岩产烃率图版的确定

#### (1) 有机质类型

对研究区大量干酪根类型鉴定样品分析统计, 结果表明川西坳陷侏罗系、上三叠统须家河组五段、

\* 本文属中国石化第三次资源评价“四川探区油气资源评价”(课题编号: XZP2001-1-03)研究成果。

作者简介: 唐立章, 1960年生, 高级工程师; 主要从事石油地质综合研究工作。地址: (610081) 四川省成都市青龙场西南石油勘探开发研究院。电话: (028)83504573。E-mail: tlzshang@vip.sina.com

四段、三段、二段、小塘子组+马鞍塘组有机质类型主要为生气型的Ⅲ型干酪根,极少量Ⅱ、Ⅰ型干酪根,生源物主要与高等植物有关。

### (2) 有机碳恢复系数

研究认为,李汶国(1981)根据油气生成物质平衡机理和油气的有机成因学说原理,研究干酪根不同类型在不同演化阶段的有机碳恢复系数取值是较为全面详实的。据川西特点,各评价单元有机碳恢复系数取值见表1。

### (3) 有机碳法生烃率的确定

研究生烃量所选取的生烃率,即烃源岩演化到某一生油气阶段时生油气量与残余有机碳的比值 $CH/C_{残}$ ,是根据物质平衡法理论值确定的。各类生烃母质或干酪根演变到不同阶段的生油气潜量或生油气量以及干酪根中残留的碳等,皆可根据它们在演变过程中的H/C原子比和O/C原子比的变化计算出来。也可以将它换算成不同成熟阶段的总有机碳的生油气率和残余有机碳的生油气率。研究区评价单元实际生烃率取值见表1。

表1 川西坳陷评价单元生烃率实际取值表<sup>1)</sup>

评价单元	成熟度 $R_o$ (%)	有机碳恢复系数	残余有机碳 生烃率(%)
J	0.83	1.26	12.77
$T_3x^5$	1.133	1.32	6.55
$T_3x^4$	1.242	1.35	7.99
$T_3x^3$	1.592	1.41	14.40
$T_3x^2$	1.76	1.44	17.15
$T_3t+m$	1.804	1.49	26.02
$T_3$ 煤	1.485	1.39	16.29

注:1)有机碳法—残余有机碳。

根据上述最大有效累积生烃率理论计算和模拟实验,结合川西坳陷计算单元干酪根类型与反射率值统计表明,侏罗系与上三叠统主要以生成天然气为主。烃—天然气体积重量折算系数根据实际资料计算取值为每吨烃 $1310\text{ m}^3$ 。

### (4) 有机显微组分及其生烃率的确定

有机显微组分法的主要特点是针对高演化盆地油已裂解为气,优质Ⅲ型干酪根的有机显微组分中,惰质组含量低和天然气甲烷存在消亡线的特点,通过以实验室热模拟确定的有机显微组分最大生气潜量( $q$ )和含烃指数( $RL$ )建立的公式进行评价,较好地区分了有机质显微组分的腐泥组、壳质组、镜质组、惰质组的生烃潜量。

从川西坳陷烃源岩有机质的显微组成上看,除煤外,具有较好生烃能力的腐泥组(无定形组)+壳质组组分占总有机显微组成的25.4%~65.6%,其中等生气能力的镜质组分小于42.2%,集中分布于22.3%~12.2%,而基本不具生烃能力的惰质组一般占16.3%~35.6%(表2)。

表2 有机显微组分百分含量统计表

层位	腐泥组	壳质组	腐泥组+ 壳质组	镜质组	惰质组
J	40.3	1.4	41.7	28.8	29.5
$T_3x^5$	26.5	1.3	27.8	42.2	30.0
$T_3x^4$	28.3	1.4	29.7	41.2	29.1
$T_3x^3$	32.3	1.2	33.5	37.3	29.2
$T_3x^2$	34.0	0.7	34.7	29.7	35.6
$T_3t+m$	44.2	3.4	47.6	22.3	30.1
$T_3$ 煤	1.0	2.2	3.2	78.6	18.2

研究表明:在干酪根的显微组分中,氢含量最高的壳质组,具有最高的生烃潜力,惰质组则由于结构上的原因(富含固定碳)而不能生油,至多只能生成少量的天然气。因此,干酪根的生烃潜量实质上取决于其不同显微组分所占的百分比。中国科学院贵阳地球化学研究所张惠之、刘德汉、付家谟等对不同的煤岩组分进行了热模拟试验,其生烃潜量可根据下式计算。

$$q = [59.68E + 36.5L + 22.9V + 8.64I] \% \quad (1)$$

式中: E、L、V、I 分别代表4种显微组分的含量。

有机显微组分计算生烃潜量时采用最大生气潜量( $q$ )和含烃指数( $RL$ )是其特点,该方法用贵阳地化研究所实验数据作依据。研究区评价单元实际有机显微组分法生烃率取值见表3。

油气的生成依赖于干酪根的降解作用,然而对降解作用同样也能造成油气消亡的研究至今仍是不足。含烃指数( $RL$ )旨在表征这一完整过程,数值上它相当生存烃量与其潜量之比。杨天宇、王涵云利用原油和干酪根在程序升温至 $1200^\circ\text{C}$ 条件下进行了系统的模拟实验,它不仅可以使上述统计资料系统、精确化,也基本回答了“在变生阶段里烃类赋存状态及其数量变化”这一问题。川西坳陷研究区评价单元 $RL$ (含烃指数)实际取值见表3。

### 3. 排聚系数

世界上主要含油气盆地,其碎屑岩沉积盆地的天然气排聚系数多为0.008~0.01,国内勘探程度较

表 3 生烃率取值表<sup>1)</sup>

评价单元	J	$T_3x^5$	$T_3x^4$	$T_3x^3$	$T_3x^2$	$T_3x+m$	$T_3$ 煤
最大生气潜量 $q(\%)$	24.67	23.23	22.94	23.37	23.12	26.01	5.77
含烃指数 $RL$	0.406	0.538	0.569	0.665	0.719	0.740	0.660
有机碳恢复系数	1.26	1.32	1.35	1.41	1.44	1.49	1.39
残余有机碳生烃率 $(\%)$	12.62	16.50	17.62	21.91	23.94	28.68	5.29

注:1)有机显微组分法—残余有机碳。

高的松辽盆地北部  $K_1$  排聚系数为 0.0125(表 4)。本次研究采用研究标准区与地质类比的方法来确定排聚系数,按地质(构造)单元计算聚气面积,各评价单元排聚系数均有较大差异。各地质(构造)单元排聚系数取值范围为 0.002~0.012(50% 概率),平均排聚系数约 0.006(50% 概率)。

表 4 排聚系数取值统计表

地 区	排聚系数	备 注
世界范围	0.008~0.01	平均
阿尔伯达	0.1928	T+J+K
松辽盆地	0.0125	勘探程度较高
孝泉—新场	0.0093	仍有储量待发现
洛带地区	0.0120	但仍有储量待发现
马井地区	0.0025	$J_2s$ 未勘探
川西拗陷	0.006	50% 概率

#### 4. 烃源岩密度与面积的确定

根据研究区 27 个烃源岩密度实测值统计表明,烃源岩密度平均值为  $2.64 \text{ t/m}^3$ ,即  $26.4 \times 10^8 \text{ t/km}^3$ 。根据研究区 15 个煤烃源岩密度实测值统计表明,煤烃源岩密度平均值为  $1.29 \text{ t/m}^3$ ,即  $12.9 \times 10^8 \text{ t/km}^3$ 。

通过钻井与露头烃源岩取样数据,得出各取样点所代表的烃源岩厚度,再根据烃源岩厚度等值线图,则可计算出烃源岩厚度区域值与面积。

### 计算结果与可靠性分析

#### 1. 计算结果

根据上述各项参数,川西拗陷有机碳法与有机显微组分法生烃量与资源量计算结果见表 5,从表中可见马鞍塘组和小塘子组( $T_3t+m$ )、须家河组三段( $T_3x^3$ )、须家河五段( $T_3x^5$ )是主要生烃层位,分别约占生烃量的 29%、31%和 14%。川西拗陷侏罗系与上三叠统现已获探明储量约  $2200 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,仅占其资源量的 10% 左右,因此仍有大量的油气资源量待发现。

表 5 生烃量与资源量计算结果表  $10^{12} \text{ m}^3$ 

评价区块	评价单元	有机碳法		有机显微组分法	
		生烃量	资源量	生烃量	资源量
川西拗陷 50557 $\text{km}^2$	J	15.61	0.09	18.26	0.11
	$T_3x^5$	52.42	0.31	57.1	0.34
	$T_3x^4$	30.88	0.19	34.1	0.20
	$T_3x^3$	111.44	0.66	115.95	0.70
	$T_3x^2$	49.69	0.29	45.69	0.27
	$T_3t+m$	104.61	0.63	116.23	0.70
合 计		364.65	2.17	387.33	2.32

#### 2. 可靠性分析

本次资源评价在继承了传统方法的基础上,具有方法更新、评价单元细划、资源量增长明显等三个特点,并通过详细的论证,保证了评价结果的可靠性。

##### (1) 资源评价方法更新

本次以地质、钻井、地震、实验分析等大量的各类资料为基础,运用了盆地模拟技术,并结合高演化含气盆地特点论证了资源评价中一些关键问题:①气源岩与油源岩区别对待,气源岩的指标应低于油源岩的指标,摒弃了“油气一体”的传统影响;②主力烃源岩上三叠统氯仿沥青“A”含量和  $S_1+S_2$  异常,反映了高成熟含气盆地的特点。分析认为,在高演化含气盆地里,成因法以有机碳法与有机显微组分法计算可靠性较高。

##### (2) 评价单元划分

和过去对四川全盆地或川西拗陷整体评价不同,此次评价是在以往总体评价的基础上,对评价单元进行细划。首先依地质条件差异,将川西拗陷分为北段、中段和南段,再进一步划分油气运聚单元。例如在川西拗陷中段地区,依照资源情况其中特别是成藏关键时期的构造条件,划分为六个构造带(绵竹绵阳低褶带,孝泉丰谷构造带,知新场龙宝梁断褶带,成都凹陷带,安县鸭子河大邑断褶带,龙门山前缘推覆构造带)。

其次,根据川西拗陷烃源岩发育地质情况,划分了蓬莱镇组( $J_3p$ )、沙溪庙组( $J_2s+x$ )、千佛崖组和自

流井组( $J_2q-J_1z$ )、须家河组五段( $T_3x^5$ )、须家河组四段( $T_3x^4$ )、须家河组三段( $T_3x^3$ )、须家河组二段( $T_3x^2$ )、马鞍塘组和小塘子组( $T_3t+m$ )等8个层位作为评价单元。随着评价层位的细划,突出了资源主力层系,资源的空间分布更加清楚。

### (3) 资源量增长明显

川西坳陷“八五”期间测算天然气资源量为 $(6000\sim 1400)\times 10^8\text{m}^3$ 。此次评价结果,天然气资源量达到 $(8000\sim 2500)\times 10^8\text{m}^3$ ,资源密度(单位面积的资源量, $10^8\text{m}^3/\text{km}^2$ )由过去的 $0.104\sim 0.243$ 上升至现在的 $0.356\sim 0.494$ ,增加了2~3倍。资源量增长原因有以下几点:

1)“须下盆”范围有所扩大。须下盆系指上三叠下部马鞍塘组( $T_3m$ )、小塘子组( $T_3t$ )和须家河组二、三段这一套由浅海相逐渐过渡为陆相的沉积,这套卡尼期至诺利期的沉积与西部松潘甘孜海域相通,故其沉积范围不会止于目前的边界。过去以关口断裂为界,只计算了断裂带以东的地区,此次因新场气田新851井的高产工业气流被确认是 $T_3m$ 和 $T_3t$ 源岩提供的油源并经热演化裂解而成。由此推测龙门山推覆带的下盘到映秀断裂带间约 $400\text{km}^2$ 的范围,由于在整个晚三叠世为西倾东抬产状,应为油源供给区,故计算区向西推延到映秀断裂带。

2)侏罗系加入了计算。过去认为,川西坳陷的烃源岩是上三叠统,除大安寨段灰岩外,对侏罗系“红层”的生烃能力长期持否定态度,随着勘探与研究的深入,发现红层中所夹的暗色泥岩不容忽视。有机碳含量 $0.23\%\sim 1.61\%$ ,暗色泥岩厚 $47.5\sim 114\text{m}$ 不等。有机质类型以Ⅲ型为主,少量Ⅰ型和Ⅱ型,显微组分的主体是无定型的腐植体和镜质组,生气潜力中等以上,有机质热演化程度适中, $R_o$ 值 $0.51\%\sim 1.04\%$ ,说明侏罗系暗色泥质岩确定具有一定生烃规模。计算表明,其生气量为 $(5.61\sim 18.26)\times 10^{12}\text{m}^3$ 作为辅助源岩,在成藏中发挥了一定作用。

3)排聚系数升高。排聚系数在过去被称为生聚系数,在数值上相当排烃系数和聚集系数的乘积。前人主要考虑天然气活动性强、聚集不易保存,所以排聚系数取值较低,通常取值在0.001左右。此次资源潜力评价排聚系数,主要研究了川西坳陷的烃

源岩成熟度高,排烃系数普遍较高;储层封盖保存条件好,天然气散失减少的特点,采用评价区勘探程度相对较高的孝泉—新场—合兴场地区进行实例研究与盆地类比的方法相结合综合取值。

## 结 语

自“六五”国家重点科技攻关开展以来,油气资源评价及其相应研究广泛展开,至今已有三个轮次,就川西坳陷致密砂岩领域而言,前后使用十余种评价方法。和历次评价相比,本次具有方法更新、评价单元划分细、资源量增长明显等3个特点,并通过对参数详细的论证,保证了计算结果的客观性、可靠性。

评价结果显示,川西坳陷天然气资源量达 $(1.8\sim 2.5)\times 10^{12}\text{m}^3$ ,马鞍塘组和小塘子组( $T_3t+m$ )、须家河组三段( $T_3x^3$ )、须家河五段( $T_3x^5$ )是主要生烃层位,分别约占生烃量的29%、31%和14%。而目前川西坳陷获探明储量约为 $2200\times 10^8\text{m}^3$ ,仅占其资源量的10%左右,与世界主要含油气盆地(27%~62%)相比,明显偏低。因此仍有大量的油气资源量待发现,探明储量仍将有一个持续增长期,勘探潜力十分巨大。

成文过程中,参考了以下内部科研报告:

①唐立章等.四川探区油气资源评价.中国石化西南分公司勘探开发研究院,2002

②王亮国等.资源与经济评价软件(GeoX)开发应用及川西坳陷侏罗系油气资源量评价研究.西南石油局研究院,2000

③安凤山等.四川盆地西部碎屑岩领域天然气富集规律及大中型气田预测与评价.西南石油局地质综合研究大队,1995

④王庭斌等.四川盆地石油天然气资源量预测评价报告.西南石油局地质综合研究大队,1985

## 参 考 文 献

- 1 李汶国.各类干酪根不同成熟阶段生油气量的探讨.石油与天然气地质,1981;9(3)
- 2 李汶国.物质平衡法计算生油气率及其地质应用.石油实验地质,1988;3(1)

(收稿日期 2004-05-18 编辑 黄君权)