

# 川西坳陷深盆地研究进展与问题讨论

蒲 军<sup>1</sup>, 张金川<sup>2</sup>, 王志欣<sup>1</sup>, 张 杰<sup>1</sup>

(1. 石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 2. 中国地质大学,  
北京 100083; 3. 中国石化集团 勘探开发研究院, 北京 100083)

[摘要] 川西坳陷总体上看具有与加拿大阿尔伯达盆地类似的地质条件, 极可能发育深盆地气藏。详细研究表明, 两盆地在构造回返程度、地层压力特征、气源岩生气时代等方面存在较大差异, 不宜将川西坳陷的天然气聚集简单地归结为阿尔伯达型深盆地气藏。研究其成因和分布规律, 应从该盆地的实际资料入手, 进行成藏机理研究, 而不能简单地借用已有的模式进行对比。研究认为, 川西坳陷的天然气藏具有“气水倒置”的特征; 川西坳陷的断裂体系深刻地影响着深盆地气聚集成藏, 导致盆地天然气的独特分布形式。对深盆地气成藏诸控制因素, 包括源岩厚度、有机质成熟度、生气强度、储集层厚度与物性、断裂构造特征等的综合研究, 对川西坳陷深盆地气藏的分布进行了预测。

[关键词] 深盆地(根缘气); 川西坳陷; 须家河组; 气藏预测

[中图分类号] P531 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)02-0034-04

[作者简介] 蒲军(1976—), 男, 重庆万州人, 硕士研究生, 现从事深盆地气成藏研究。

20世纪80年代, 我国专家就意识到四川盆地具有类似于加拿大阿尔伯达盆地的地质条件, 可能存在深盆地(根缘气)藏<sup>[1]</sup>。随后, 荣春龙<sup>①</sup>(1993)、罗启后<sup>[2]</sup>(1997)、王金琪<sup>[3]</sup>(2001)、宋岩等<sup>[4]</sup>(2001)以及张金亮<sup>[5]</sup>(2002)等对川西坳陷深盆地气成藏作了深入研究, 认为川西坳陷具备深盆地气成藏条件。伴随着深盆地气理论不断发展, 川西坳陷深盆地气成藏研究中出现的一些问题还有待于作更进一步的探讨。

## 1 川西坳陷深盆地研究进展

### 1.1 烃源岩与储集层研究

川西坳陷须家河组自下而上表现为一个完整的由海相—海陆过渡相—陆相的正常退覆层序, 对应为须一段—须二段的三角洲沉积, 席状砂坝沉积与河流相砂岩沉积, 须三段浅湖、湖沼、河流相含煤砂泥岩互层, 须四、五段内陆湖沼含煤砂泥岩。各段几乎都有气源岩分布, 但是气源岩主要发育于须

一段( $T_3x^1$ )、须三段( $T_3x^3$ )和须五段( $T_3x^5$ ), 处于弱—较强的还原环境, 岩性为暗色泥页岩、炭质页岩和煤岩。烃源岩厚度大, 暗色泥岩一般厚300~1000 m, 最厚1400 m, 煤层一般厚2~10 m, 最厚28 m, 有机质丰度高, 平均有机碳含量为1.95%, 煤岩有机碳一般高于35%, 有机质类型为Ⅲ型<sup>[4]</sup>。由于烃源沉积环境的不同, 其有机质丰度在地区分布上又有明显的差异。

须家河组储集层主要分布在须二段和须四段, 须二段储集体以大套三角洲前缘砂体为主, 岩性以浅灰—灰白色长石石英砂岩为主。须四段储集层与须二段储集层相似, 沉积了一套粗粒的辫状河三角洲沉积, 岩性主要为以碳酸盐岩屑为主的砾岩及岩屑砂岩, 局部裂缝较发育。须一、三、五段主要为气源岩, 但其中存在粉砂岩与岩屑砂岩等, 也是比较重要的储集层, 不过储集层厚度小、数量相对较少。储集层孔隙类型以粒内孔和杂基内孔为主, 孔隙喉道半径小。研究表明<sup>[2]</sup>, 上三叠统孔隙度较低, 砂岩储层段孔隙度平均值多在8%以下, 渗透率平均值一般 $<2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。由此可见, 川西上三叠

[收稿日期] 2003-07-08

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40272062, 40172052); 十五  
国家重点科技攻关项目(2001BA605A05-01-04)

① 荣春龙. 国外深盆地气藏形成机制及勘探开发技术研究. 大庆  
石油勘探局勘探开发研究院, 1993.

统储层属于低孔低渗储层范围, 满足深盆地成藏的储层条件, 储层的孔渗性在纵向上变化较大。

### 1.2 成藏条件研究

典型深盆气的成藏服从活塞式气水运移原理, 要求气源岩与致密储层的密切接触<sup>[6]</sup>。除了“气源丰富、储层致密”以外, 还要求“源储相通、储盖一体”的成藏条件<sup>[7]</sup>。

川西坳陷含有大量泥页岩生气层, 煤系地层也比较发育, 深盆地气来源广, 气源岩分布层位多, 且性质组含量低、生烃潜力高的腐殖型生烃母质富集, 保证了深盆地成藏有丰富地气源供气。须家河组地层致密化时间为侏罗纪中晚期, 早于深盆地气生高峰期, 在生烃高峰, 深盆地以活塞式运移, 充注入致密储层中。在剖面上, 须一、三、五段构成主要气源岩, 须二、四段构成主要储集层, 同时, 须三、五段又起到了很好地封隔作用。这样, 川西坳陷在剖面上就形成了“源储相通、储盖一体”的有利结构, 为深盆气的生成、富集成藏提供了很好地条件。

### 1.3 深盆地气分布预测研究

国内学者对川西坳陷深盆地气分布进行了预测。罗启后等(1996, 1997)认为, 异常压力系数 $>1.8$ 的储集区域为深盆地气藏发育的大致范围。宋岩等(2001)将该地区中生气强度 $>20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 、地层压力系数 $>1.6$ 的地区和汽水分布预测区域中的气区进行叠合, 重叠区作为深盆地气分布的有利区。张金亮(2002)将坳陷中煤层厚度 $>10 \text{ m}$ 、压力系数 $>1.6$ 的区域作为深盆地气藏分布区。李本亮<sup>[8]</sup>等(2002)认为, 川西有利于深盆地气藏形成的面积约 $1.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 按资源丰度 $3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 计算, 深盆地气资源量达 $3.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

## 2 川西坳陷深盆地气研究存在问题讨论

前人已对川西坳陷的深盆地气预测研究及油气成藏基本地质特征进行了大量和较深入的研究工作, 取得了很多有意义的成果, 但在深盆地气的预测应用、研究方法等方面尚存一些值得进一步探讨的问题, 主要体现为以下几个方面:

### 2.1 选择国外深盆地气实例与川西坳陷进行对比的合理性

目前对川西坳陷深盆气的研究通常采用地质类比分析法, 很多研究者通常将阿尔伯达盆地作为川西坳陷深盆地气研究的地质类比对象, 将国外深盆

气勘探研究的成果应用到川西坳陷深盆地气研究中, 推动了该区深盆地气研究进程, 但是过分强调地质类比的作用, 就极易削弱对川西坳陷自身特点的认识, 出现以下两种基本观点: 一是否认川西坳陷存在深盆地气藏, 认为阿尔伯达盆地的深盆地气成藏条件是独一无二的, 因此川西坳陷没有深盆地气藏发育; 二是以国外(阿尔伯达)深盆地气藏为模板来对川西坳陷深盆地气藏的研究进行模式化处理, 因此所得结论不免让人产生疑问。

总体上看, 川西坳陷与阿尔伯达盆地地质特征和深盆地气成藏条件比较相似, 详细研究资料表明, 这两个盆地之间仍然存在构造回返程度、异常地层压力的属性、煤系地层的发育程度、气源岩主要生气时代以及砂岩的致密程度等方面的差异(表1), 不宜简单对比, 仅仅依靠与国外深盆地气藏的对比来研究川西坳陷会削弱对其自身独特的深盆地气成藏特征的认识。从川西坳陷的实际资料入手, 借助与国外深盆地气成藏的比较, 从成藏机理上对川西坳陷进行深盆地气研究是正确认识该盆地深盆地气成藏分布的最佳途径。

### 2.2 川西坳陷“汽水倒置”关系的确证

川西坳陷上三叠统的汽水分布在平面上具有一定规律性, 大体来说, 北部的梓潼凹陷以产气为主(如白龙场、老关庙等), 龙门山北段一些构造(如海棠铺、青林口构造)仅见水无气, 在龙门山前缘(中坝、隆丰场等构造)、川西南部和川中构造则汽水并明显增多。宋岩等(2001)根据区域上的汽水分布统计, 认为汽水过渡带出现在海拔 $1\,500 \sim 3\,000 \text{ m}$ 范围内。张金亮等(2002)认为, 川西坳陷深盆地气藏的气水过渡带处于往川中、中坝和川西南区南部这些孔渗性较好的隆起区。在剖面上, 汽水过渡带在海拔 $1\,000 \text{ m}$ 以内。张金川、蒲军等(2003)通过对川西坳陷地层压力的研究认为, 在压力剖面上, 深盆地气顶界面可能出现于 $2\,700 \sim 3\,200 \text{ m}$ 。从以上可以看出, 不同研究者在深盆地气过渡带分布范围的预测上存在较大差异。

汽水关系是判断深盆地气藏是否发育的一个重要信息, 如果没有经过系统的地质对比和汽水追踪, 则天然气藏难以确定, 汽水过渡带无法研究。由于深部资料获取困难, 前人在研究川西坳陷区域性汽水分布特点时, 在选井方面往往有所取舍, 造成了深盆地气分布有利区预测的人为误差。四川盆地上三叠统汽水关系研究一直是个弱点, 深凹陷部位的钻

井气水资料有限,区域上的气水分布关系目前为止还不十分清楚,不同专家之间得出的气水过渡带分布范围有较大偏差,还有待于勘探验证。可以看出,川西坳陷“气水倒置”关系的研究还有待于加强。

表 1 川西坳陷与阿尔伯达盆地构造沉积环境与深盆气成藏条件差异性比较

Table 1 Comparison of the differences in the structural and sedimentary environment and the deep gas formdntion corditions between western Sichuan province depression and alberta basin

构造环境成藏条件		川西坳陷	阿尔伯达盆地
构造沉积环境	构造运动背景	早印支构造运动将沉积盖层分为海相碳酸盐岩沉积和陆相碎屑岩沉积,地层厚度从西往东减薄,形成楔形单斜构造	内华达运动将古生界碳酸盐岩与中生界碎屑岩地层分开,深盆气藏所在地区地层厚度由西向东呈楔形急剧减薄
	构造回返程度	强	弱
	地层压力属性	主要表现为高压异常	出现低压异常和正常压力两种压力系统
成藏条件	气		
	沉积相	浅海—海湾三角洲、湖泊沼泽相	海陆交互相煤系地层
	源岩时代及其岩性	主要是 T <sub>3</sub> 煤层和暗色泥岩	主要为 K 煤层与暗色泥岩,其次为 J—T、K <sub>2</sub> 暗色泥质岩
	有机碳含量	暗色泥页岩有机碳含量一般>1.5%,平均值 1.95%,碳质页岩和煤岩有机质丰度一般>35%,最高达 65%	一般为 1.0%~80%,含煤层段平均为 10%
	主要生气时代	J <sub>3</sub> —K <sub>1</sub>	古新世
储层	煤层厚度	单层煤层薄,往往为煤线,累计最大厚度 31 m	一般 9 m,最大 15 m
	孔隙度	砂岩储层段孔隙度平均值多在 8% 以下	各气藏中储层的孔隙度一般介于 7%~15%
	渗透率	渗透率平均值一般<2×10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>	渗透率通常为(0.13~1.5)×10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> ,一般<0.1×10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>

2.3 区域构造对深盆气成藏的影响

深盆气主要在构造下倾方向或下部层位成藏,一般说来,受构造影响相对较小,烃源岩生烃条件与储集层岩性特征为主要控制因素。很多学者在研究深盆气中忽视了构造的作用。从深盆气成藏机理出发,构造运动产生的区域大断裂对深盆气藏会产生很大地破坏作用。拉张断裂在深盆气成藏

过程中形成油气优势运移通道,深盆气通过这些通道运移到浅层形成常规气藏或散失掉,在区域性断裂带难以形成深盆气藏。

川西前陆盆地结构构造类似于加拿大阿尔伯达盆地(艾尔姆华士气田)和美国怀俄明州的绿河盆地,在龙门山前坳陷与川中隆起之间发育着宽缓的斜坡带,龙门山前坳陷沉积厚度大,沉积部位深。与后者不同的是川西坳陷须家河组在晚侏罗—早白垩世强烈生气,深盆气以活塞式运移,充注入致密储层中成藏。到早第三纪至第四纪,川西遭受了强烈地构造和断裂活动,以水平挤压作用为主,老第三纪以前地层又发生较为普遍的强烈变形,并形成众多的断裂和局部构造,川西坳陷在平面上相应地被分成不同区块。一些大断裂切割深盆气藏,使得深盆气沿断裂面向浅部运移,并在局部有利区形成常规圈闭天然气藏(图 1),深盆气面积相应减小,大型断裂的存在导致了川西坳陷深盆气在平面上呈局限性团块状分布,不能表现为整个区域连续的大面积分布,这与阿尔伯达盆地深盆气分布是不同的。

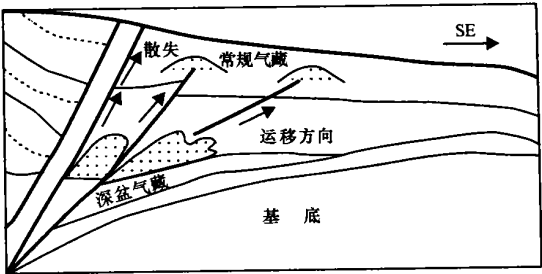


图 1 川西坳陷断裂破坏深盆气藏示意图

Fig. 1 Deep basin gas damaged by faults in western Sichuan province depression

2.4 多地质因素综合研究预测深盆气藏

影响深盆气成藏的地质因素很多,主要为气源岩厚度、有机质成熟度、生气强度、储集层厚度与物性(孔隙度、渗透率)、区域构造等,在不同程度上综合影响深盆气成藏。这些地质因素是在不同角度和采用不同的方法上进行研究的,将各因素有机结合起来预测深盆气成藏比较困难,同时由于选取的地质指标不一样,预测出的深盆气分布范围差别较大,这给深盆气勘探开发带来很大地困难。若有机地将各个因素按照不同影响程度结合起来,综合研究预测深盆气分布,所得出的结果准确性会更大。

在预测深盆气藏分布时,首先考虑川西坳陷构

造背景。深盆气藏受到区域构造的影响, 一般在构造分区内部形成。

川西坳陷气源岩分布层位多, 与储集层互层, 气源岩生成的深盆气直接或者经过短途运移进入储集层, 这样, 气源岩与储集层的分布叠合区域就可以近似作为深盆气成藏的大致区域。

川西坳陷气源岩主要为煤系地层与暗色泥页岩, 煤系地层厚度较大, 有机质丰度高, 并且已达到高过成熟, 因而在这里主要将煤系气源岩有机质成熟度作为依据。根据油气生成理论, 在  $R_o$  为 0.6%~1.35% 的热演化阶段, 气源岩以生成液态烃为主;  $R_o$  为 1.35%~2% 阶段, 原来生成的液态烃开始裂解成气态烃, 为陆源有机质进入生气高峰阶段;  $R_o > 2\%$ , 则基本上无液态烃生成, 而以产干气为主。这里以  $R_o$  为 1.35% 作为深盆气藏形成的气源岩分布界限,  $R_o > 1.35\%$  的区域为深盆气藏形成的有利分布区。

气源岩生气强度也是反映深盆气藏规模的重要地质指标, 生气强度很小的地区难以形成深盆气藏, 川西坳陷生气强度  $> 5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$  的区域可以划分为深盆气藏有利分布区。川西坳陷储集层致密程度很高, 基本在整个区域中储层孔隙度都能达到深盆气成藏要求(孔隙度一般  $< 10\% \sim 12\%$ ), 这里不能依据储集层的致密程度来对深盆气分布进行有利区带划分。研究证实, 川西坳陷深盆气成藏与异常压力有极为密切的关系, 前人<sup>[2,4,9]</sup>曾将地层压力系数  $> 1.6$  或  $1.8$  的区域作为川西坳陷上三叠统气水分布的有利区边界。根据川西坳陷异常地层压力的剖面变化规律, 笔者将压力系数  $> 1.4$  的区域作为深盆气成藏有利区。

将以上各个因素按照不同影响程度进行多因素叠合分析, 预测川西坳陷深盆气藏主要分布于须二段和须四段, 在平面上呈局限性团块状分布(图 2)。

3 结论

(1)川西坳陷与加拿大阿尔伯达盆地在构造回返程度、地层压力特征、煤系地层的发育程度、气源岩主要生气时代等方面存在较大差异, 不宜将川西坳陷的天然气聚集简单地归结为阿尔伯达型深盆气藏。

(2)川西坳陷天然气藏“气水倒置”特征有待于

进一步研究证实。

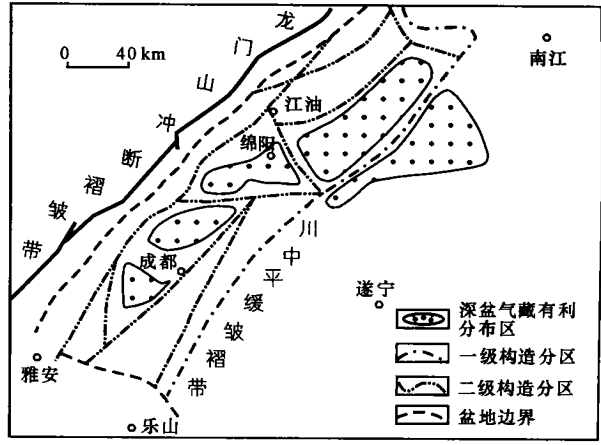


图 2 川西坳陷须家河二段深盆气藏发育有利区预测  
Fig 2 Prediction of deep basin gas pools in the second section of Xujiahe Formation of western Sichuan province depression

(3)区域构造影响深盆气聚集成藏, 一些大断裂切割破坏深盆气藏, 导致深盆气藏面积减小, 易呈团块状分散分布于构造分区内部。

(4)深盆气成藏受源岩厚度、有机质成熟度、生气强度、储集层厚度与物性、断裂构造等综合影响, 将这些因素按照不同影响程度进行多因素叠合分析, 预测川西坳陷深盆气藏主要分布于须二段和须四段, 在平面上呈局限性团块状分布。

成文中, 宫秀梅博士给了大力帮助, 谨致谢忱。

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 张金川. 深盆气(根缘气)研究进展[ J ]. 现代地质, 2003, 17 (2): 210.  
[ 2 ] 罗启后, 王世谦. 川中川西地区上三叠统天然气富集条件与分布规律研究[ A ]. 见: 戴金星. 天然气地质研究新进展[ C ]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 66~77.  
[ 3 ] 王金琪. 早晚晚藏—川西坳陷天然气基本特征[ J ]. 天然气工业, 2001, 21(1): 5~12.  
[ 4 ] 宋岩, 洪峰. 四川盆地川西坳陷深盆气地质条件分析[ J ]. 石油勘探与开发, 2001, 28(2): 11~14.  
[ 5 ] 张金亮, 常象春, 王世谦. 四川盆地上三叠统深盆气藏研究[ J ]. 石油学报, 2002, 23(3): 27~33.  
[ 6 ] 张金川, 金之钧. 美国落基山地区深盆气及其基本特征[ J ]. 国外油气勘探, 2000, 12(6): 651~658.  
[ 7 ] 张金川. 深盆气成藏及分布预测[ D ]. 北京: 中国地质大学, 2001.  
[ 8 ] 李本亮, 冉启贵, 高哲荣, 等. 中国深盆气勘探展望[ J ]. 天然气工业, 2002, 22(4): 27~30.

(下转第 46 页)

Model and method for oil and gas  
productivity prediction of reservoir

TAN Cheng-qian<sup>1</sup>, MA Na-rui<sup>2</sup>, SU Chao<sup>3</sup>

(1. Dept. of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China; 2. School of Sciences, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 3. Research Center of Reservoir, Zhongyuan Oilfield, Puyang Henan 457001, China)

**Abstract** In this paper, the theoretical equation of the reservoir productivity is studied from the Darcy's two-dimensional production formula. The complicated relation between the productivity and the effective porosity, permeability, resistivity are deduced according to the functional relationship between relative permeability and water saturation. On the basis of the achievements above, the fundamental strategies of predicting the reservoir productivity are discussed. Finally the prediction system of reservoir productivity is established by neural network technique. This system has been successfully applied for the oil-gas productivity prediction of the Keshang Formation in the District 8 of Kelamayi Oil-field and proved to be effective.

**Key words** log data; oil-gas productivity prediction; neural network; Kelamayi Oil-field

(英文审定:苏生瑞)

(上接第 37 页)

Advances and discussion about the study on deep  
basin gas in western Sichuan province depression

PU Jun<sup>1</sup>, ZHANG Jin-chuan<sup>2</sup>, WANG Zhi-xin<sup>1</sup>, ZHANG Jie<sup>3</sup>

(1. Basin and Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Petroleum Exploration and Development Research Institute, Sinopec, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Western Sichuan province depression has geological conditions similar to Alberta basin of Canada in which deep basin gas most probably was formed. However, detailed study showed that the intensity of structural reversion, pressure attributes of gas-bearing strata, and the time of gas generation of source rocks of these two basins are quite different. So it is not reasonable to compare it with an available model. It is thought that the gas pools in western Sichuan province depression have the feature of reversed gas-water contact. As only a few data of formation pressure are available, this point of view needs further study. It is considered that the fault system in western Sichuan province depression has a strong influence on the accumulation of deep basin gas pools, and has led to a peculiar distribution pattern of deep basin gas in that basin. In terms of comprehensive study of the controlling factors including burial depth of source rocks, organic matter maturity, gas generation intensity, reservoir property, structural pattern, etc., a rough prospecting of deep basin gas distribution of western Sichuan province depression was made.

**Key words** deep basin gas (source-contacting gas accumulation); western Sichuan province depression; Xujiache Formation; assessment of gas reservoir

(英文审定:苏生瑞)