

# ZHIMI YANSHI YOUQICANG 致密岩石油气藏

中国石化股份公司西南分公司  
中国石化集团公司西南石油局

编

四川出版集团  
四川科学技术出版社

2

井气田开发实践活动中灵活运用和体现。

参考文献

- [1] 杜本敏, 赵林. 现代油气地质管理[J]. 西南石油大学学报, 2002, 24(1): 2-5.  
[2] 张恩田. 一个非标准地质管理模式的诞生[J]. 石油知识, 2003, (3): 43-44.  
[3] 谢天恩, 王全. 现代油气地质管理及应用[J]. 油气地质(综述)[J]. 石油知识, 2003, (3): 45-46.  
[4] 李义清. 油气地质管理[J]. 石油知识, 2003, (3): 47-48.

# 致密岩石油气藏

2 ②... 中①... 致... 1

IV. P018.130.8

中国版本图书馆CIP数据(2003)第09203号

中国石化股份公司西南分公司  
中国石化集团公司西南石油局

编

致密岩石油气藏

中国石化股份公司西南分公司  
中国石化集团公司西南石油局

编 著  
副 编  
参 考  
审 校  
校 对  
校 对  
校 对

四川出版集团·四川科学技术出版社

地址: 成都二环路三段10001号

207mm x 210mm

印张 12.25 字 380 千

四川出版集团·四川科学技术出版社

2003年7月第1版

2003年7月第1次印刷

20.00元

ISBN 956-7-2384-4587-8

四川出版集团·四川科学技术出版社

四川出版集团  
四川科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

致密岩石油气藏 2/中国石化股份公司西南分公司,中国石化集团公司西南石油局编. - 成都:四川科学技术出版社,2007.7  
ISBN 978 - 7 - 5364 - 6287 - 8

I. 致... II. ①中... ②中... III. 油气勘探 - 研究  
IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 099207 号

致密岩石油气藏 2

编 者 中国石化股份公司西南分公司  
中国石化集团公司西南石油局  
责任编辑 张 憬  
封面设计 霍运熙  
版面设计 康永光  
责任出版 邓一羽  
出版发行 四川出版集团·四川科学技术出版社  
成都市三洞桥路 12 号 邮政编码 610031  
成品尺寸 297mm × 210mm  
印 张 12.25 字数 380 千  
印 刷 成都蜀通印务有限责任公司  
版 次 2007 年 7 月成都第一版  
印 次 2007 年 7 月成都第一次印刷  
定 价 50.00 元  
ISBN 978 - 7 - 5364 - 6287 - 8

■ 版权所有·翻印必究 ■

■ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

■ 如需购本书,请与本社邮购组联系。

地址/成都市三洞桥路 12 号 电话/(028)87734081  
邮政编码/610031



## 《致密岩石油气藏》编辑委员会

顾 问: 刘光鼎 刘宝珺 罗平亚

主 任: 徐向荣

副主任: 杨克明 李建良 徐 进

委 员: 黄 跃 李 勇 张晓鹏 朱澄清 唐 宇

陈昭国 唐建明 李书兵 张 箭 王世泽

谭明文 罗德明 张 筠 张 虹

主 编: 骆传才

## 编者的话

四川盆地蕴藏着丰富的天然气资源,是我国重要的能源工业基地。四川盆地天然气藏具有时间跨度大、分布广泛、致密-超致密、超压、浅-超埋深、气藏类型多样等鲜明的特色,致使其隐蔽性强,勘探开发难度大。经过半个世纪的不懈努力,取得了丰硕的油气成果,获得了数十个大中型气田,油气探明储量超万亿方,油气年产量超 100 亿方。随着近年勘探方法技术的不断提高,油气储产量已呈现了良好的增长势头,并显示出极好的上升空间。与此同时,伴随着长期的勘探开发实践,形成了一套适合四川盆地实际的地质理论和认识;形成了一系列行之有效的、针对性极强的勘探开发技术和方法。本次编辑的《致密岩石油气藏》,以系列丛书的形式记录和展现在这一过程中取得的部分成果。出版此书的目的有三:一是记录和展示成果;二是构建交流平台;三是促进科研和生产实践水平的提升。由于时间紧,加之编者水平有限,书内一定存在不少的问题和错误,欢迎批评指正。

## 目 录

## 油气地质

- 川西坳陷须家河组天然气成藏主控因素 ..... 杨克明(2)
- 鄂尔多斯盆地西缘前陆盆地构造——沉积响应 ..... 李 斌 孟自芳 夏斌等(10)
- 龙门山前印支期构造变形特点与油气富集关系 ..... 邓康龄(17)
- 川西坳陷中段须家河组构造演化史研究 ..... 曹 烈 黎邦荣 王安治(28)
- 鄂尔多斯盆地西缘盆山耦合与油气成藏分析 ..... 李 斌 孟自芳 夏 斌等(40)
- 川西断裂分布特征及与油气的关系 ..... 罗啸泉 安凤山(47)

## 勘探与开发

- 裂缝模型的含气响应特征 ..... 徐天吉 甘其刚 李显贵(55)
- 川西坳陷上侏罗统高分辨层序地层特征及有利的储集相带 ..... 李剑波 余 波 唐 进 张学军(67)
- 川西坳陷中段须家河组油气运移通道初探 ..... 曹 烈(78)
- 川西前陆盆地须家河组异常高压分布特征 ..... 罗啸泉 宋 进(86)
- 叠前时间偏移技术在三维转换波处理中的应用 ..... 马昭军 唐建明(93)
- 川西丰谷地区须四段钙屑砂岩含气储层预测 ..... 刘莉萍 魏力民(99)
- 马井气田蓬莱镇组气藏开发综合配套技术 ..... 尹朝云 谢雄光 刘 林 李 涛(104)
- 影响洛带气田遂宁组致密储层产能的因素 ..... 史 明(110)
- 川西深层天然气勘探目标评价与优选 ..... 王亮国(118)

## 工程技术

- 川西气田井下节流工艺设计与应用 ..... 周兴付 刘大永 杨功田 李 春(124)
- 高密度酸加重酸化技术在川西异常高压深层气藏增产中的应用 ..... 李 刚 郭新江 陈海龙等(130)
- 川北油田微生物采油室内实验 ..... 胡常忠(136)
- 新型自生热升压类泡沫压裂液研制 ..... 任 山 王世泽 张绍彬 叶仲彬(141)
- 马深1井液体欠平衡钻井段钻速分析 ..... 兰 林 李尚贵 周建平等(147)
- 川西致密砂岩气藏柱塞气举工艺试验及应用前景 ..... 王雨生(151)
- 致密气藏大型加砂压裂气井产能预测 ..... 岳建伟(158)
- 新场气田上沙溪庙组气藏泡沫排水采气工艺技术 ..... 王雨生 青绍学 周 静(163)
- 川西地区气井堵塞防治措施 ..... 陈单平 杨功田(168)
- 川西易漏地层固井的对策及措施 ..... 严焱诚(173)
- 高含硫气田开发配套工艺技术简述 ..... 詹国卫 张 箭(176)
- DH-2020地化录井仪的应用及常见故障处理 ..... 孟新连(179)
- 现代油藏经营管理模式在联益勘探开发公司中的应用 ..... 柏 毅 余福林 周兴付(183)

# CONTENTS

## OIL AND GAS GEOLOGY

|                                                                                                                                                 |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Dominating Factors of Gas Reservoir Formation for Xujiahe Formation in Western Sichuan Depression .....                                         | Yang Keming(2)                       |
| Tectonic – sedimentary Response of Foreland Basin in Western Margin of Ordos Basin .....                                                        | Li Bin Meng Zifang Xia Bin et al(10) |
| Relationship between the Characters of Indosinian Structural Deformation and the Enrichment of Oil & Gas in the Front of Longmen Mountain ..... | Deng Kangling(17)                    |
| Research on Structural Evolution for Xujiahe Formation in the Central Part of Western Sichuan Depression .....                                  | Cao Lie Li Bangrong Wang Anzhi(28)   |
| The Basin – Range Coupling and Oil & Gas Accumulation in Western Margin of Ordos Basin .....                                                    | Li Bin Meng Zifang Xia Bin et al(40) |
| Relationship of Faulting Distribution Properties and Hydrocarbon in Western Sichuan Depression .....                                            | Luo Xiaoquan An Fengshan(47)         |

## EXPLORATION AND DEVELOPMENT

|                                                                                                                                              |                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Characters of Gas – bearing Response to Fracture Models .....                                                                                | Xu Tianji Gan Qigang Li Xiangui(55)          |
| Characteristics of High – resolution Stratigraphic Sequence and Favorable Facies Belt for Upper Jurassic in Western Sichuan Depression ..... | Li Jianbo Yu Bo Tang Jin et al(67)           |
| Primary Discussion on Hydrocarbon Migration Pathway for Xujiahe Formation in the Middle of Western Sichuan Production .....                  | Cao Lie(78)                                  |
| Distribution Characteristics of Abnormally – high Pressures for Xujiahe Formation in Foreland Basin of Western Sichuan .....                 | Luo Xiaoquan Song Jin(86)                    |
| Application of Pre – stack Time Migration Technology in 3D Converted – wave Process .....                                                    | Ma Zhaojun Tang Jianming(93)                 |
| Gas – bearing Reservoir Prediction for $T_3X^4$ Calcareneous Sandstone in Fenggu Area, West Sichuan .....                                    | Liu Liping Wei Limin(99)                     |
| Composite Matching Techniques for Gas Pool Development of Penglaizhen Formation in Majing Gas Field .....                                    | Yin Chaoyun Xie Xionggang Liu Lin et al(104) |
| Factors to Influence the Productivity of the Compact Reservoirs for Suining Formation in Luodai Gas Field .....                              | Shi Ming(110)                                |
| Evaluation and Optimization of Natural Gas Exploration Prospect in Western Sichuan Depression .....                                          | Wang Liangguo(118)                           |

## ENGINEERING TECHNOLOGY

|                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|
| The Downhole Choke Technological Design for Gas Fields in Western Sichuan and its Ap- |
|---------------------------------------------------------------------------------------|

---

|                                                                                                                                                      |                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| plication .....                                                                                                                                      | Zhou Xingfu Liu Dayong Yang Gongtian et al(124) |
| Application of Aggravating Acidizing Technique with High Density Acid in Stimulation of Deep Gas Reservoir with Surpressure in Western Sichuan ..... | Li Gang Guo Xinjiang Chen Hailong et al(130)    |
| Laboratory Experiment of Microbe Enhanced Oil Recovery for Oil Fields in Northern Sichuan .....                                                      | ..... Hu Changzhong(136)                        |
| Novel Foam Fracturing Fluids with Heat Generated and Pressures Increased Automatically .....                                                         | Ren Shan Wang Shize Zhang Shaobin et al(141)    |
| The Analysis of Drilling Rate on Fluid Underbalanced Drilling Section in Well Mashen 1 .....                                                         | Lan Lin Li Shanggui Zhou Jianping et al(147)    |
| Experiment of Plunger Gas Lift and its Application Potential for Tight Sandstone Gas Reservoir in Western Sichuan .....                              | Wang Yusheng(151)                               |
| Productivity Prediction of Massive Sand Fracturing for Tight Gas Reservoirs .....                                                                    | Yue Jianwei(158)                                |
| Gas Recovery Technology with Foam Drainage for Upper Shaximiao Gas Pool in Xinchang Gas Field ... ..                                                 | Wang Yusheng Qing Shaoxue Zhou Jing(163)        |
| Prevention and Cure Measures to Gas Well Plug in West Sichuan .....                                                                                  | Chen Danping Yang Gongtian(168)                 |
| Countermeasures and Measures of Well Cementing in Thief Zone in West Sichuan .....                                                                   | Yan Yancheng(173)                               |
| A Brief Introduction of the Matching Technologies for the Sour Gas Reservoir Development .....                                                       | Zhan Guowei Zhang Jian(176)                     |
| Application of DH - 2020 Geochemical Logger and its Common Fault Handling .....                                                                      | Meng Xinlian(179)                               |
| The Application of Management Model for Modern Oil Reservoirs in Exploration and Production Company of Lian Yi .....                                 | Bo Yi Yu Fulin Zhou Xingfu(183)                 |



# 四川西部天然气藏主控因素

杨 毅

(中国石化西南分公司, 成都 610081)

## 油 气 地 质

### Dominating Factors of Gas Reservoir Formation for Xujiahe Formation in Western Sichuan Depression

Yang Yi

(Southwest Petroleum Branch (Company), SINOPEC, Chengdu, Sichuan)

**Abstract:** Xujiahe formation in Western Sichuan Depression has the formation conditions of large - medium gas field. Xujiahe formation can be divided into lower reservoir and upper reservoir assemblage. Gas reservoir mode for the former is high pressure gas drive and low pressure suction and pull, and water soluble gas migration release, buoyancy transmitting gas through dominant pathway for the latter. The dominating factor of early gas accumulation caused by high pressure drive is the early palaeostructure superimposed by tectonic system of late "half but not broken"; the key factors of gas reservoir mode by low pressure suction and pull are abundant gas source, open fault, saddle of compressional structure and decompression by stratum denudation. The determinants of gas reservoir mode by water soluble gas migration release are constant migration change of thermal stable - late uplift, and low relief structure with good physical properties + composition. Key factor of reservoir mode by buoyancy transmitting gas through dominant pathway is the hydrologic trap.

## 川西坳陷须家河组天然气成藏主控因素

杨克明

(中国石化西南分公司, 成都 610081)

**摘要:**川西坳陷须家河组具备大中型气田的形成条件。须家河组可分为下部成藏组合和上部成藏组合:下部成藏组合主要有高压驱赶、低压吸拉天然气成藏模式;上部成藏组合主要有水溶气运移释放、浮力顺优势通道输导天然气成藏模式。早期古构造之上叠加晚期“断而未破”的裂缝系统是高压驱赶天然气成藏模式富集高产的主控因素;充足的天然气源、开启的断裂、挤压构造的虚脱及地层剥蚀减压是低压吸拉天然气成藏模式成藏的关键;构造高点曾不断迁移变化、晚期抬升、储层物性较好的低幅度构造+岩性复合圈闭是水溶气运移释放天然气成藏模式的决定因素;优势运移通道上存在的有效圈闭是浮力顺优势通道输导天然气成藏模式成藏的关键。

**关键词:**川西;须家河组;成藏组合;成藏模式;主控因素

## Dominating Factors of Gas Reservoir Formation for Xujiahe Formation in Western Sichuan Depression

Yang Keming

(Southwest Petroleum Branch Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan)

**Abstract:** Xujiahe formation in Western Sichuan Depression has the formation conditions of large - medium gas field. Xujiahe formation can be divided into lower reservoiring assemblage and upper reservoiring assemblage; gas reservoiring mode for the former is high pressure gas drive and low pressure suction and pull, and water soluble gas migration release, buoyancy transmitting gas through dominant pathway for the latter. The dominating factor of enrichment caused by high pressure drive is the early palaeostructure superimposed by fracture system of late "fault but unbroken"; the key factors of gas reservoiring mode by low pressure suction and pull are abundant gas source, open fault, saddle of compressional structure and decompression by stratum denudation; the determinants of gas reservoiring mode by water soluble gas migration release are constant migration change of structural high, late uplift, and low relief structure with good physical properties + composite lithologic trap; key factor of reservoiring mode by buoyancy transmitting gas through dominant pathway is

基金项目:国家“十五”重点科技攻关项目“川西上三叠统气田勘探开发关键技术研究”(编号:2004BA616A-05)

作者简介:杨克明(1955-),男,教授级高级工程师,油气地质勘探

that effective trap exists on dominant pathway.

**Key words:** West Sichuan; Xujiahe formation; Reservoiring assemblage; Reservoiring mode; Dominating factors

川西坳陷位于四川盆地西部,为晚三叠世以来陆相盆地的深坳陷部分,走向北东,总面积约  $3.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。大地构造位置上处于龙门山造山带以东、扬子地块西北缘。该坳陷的西界为龙门山推覆构造带,东界位于龙泉山一带,北界为米仓山推覆构造带,南界位于雅安-乐山一带。

晚三叠世以来,川西坳陷经历了印支-燕山-喜马拉雅多期构造运动作用,始终处于受盆缘山系隆升与挤压控制的被动沉降环境<sup>[1~3]</sup>。川西坳陷晚三叠世地层具有前陆盆地层序沉积特征,沉积物源充足,沉积速率高,压实作用强,储层岩石矿物成熟度和结构成熟度低、高度致密、非均质性极强<sup>[1,4~7]</sup>。在以(油)气生成热动力和构造挤压应力为主的成藏动力作用下,坳陷主体部位的上三叠统须家河组呈现出区域性的流体异常超高压分布<sup>[8,9]</sup>。这些均给须家河组天然气勘探带来诸多困难。从地质角度来看,须家河组天然气成藏主控因素是目前亟待解决的主要问题。

## 1 具备大中型气田的形成条件

川西坳陷须家河组天然气成藏条件有利,具备大中型气田的形成条件,是四川盆地内重要的天然气勘探层系之一。

### 1.1 煤系烃源岩发育,资源潜力大

川西坳陷处于四川盆地上三叠统的沉积中心和生烃中心。上三叠统发育多套具有厚度大(1 000~2 100 m)、分布广、有机质丰度高(残余有机碳含量为 1.1%~2.7%)、品质好的煤系烃源岩<sup>[10]</sup>。

经计算,川西坳陷上三叠统生气量达  $345.08 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,占四川盆地该层系总生气量的 61.71%。

据国内学者统计和研究,大中型气田(探明储量  $\geq 100 \times 10^8 \text{ m}^3$ )主要分布在生气强度大于  $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$  的生气中心及周缘<sup>[11~14]</sup>。川西坳

陷上三叠统生气强度高,最大可达  $200 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$  以上,大部分地区生气强度  $\geq 30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。较高的生气强度决定了该区具备大中型气田形成的烃源条件。根据三次资评\*,川西坳陷中段须家河组资源量为  $7 795.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,资源探明率仅为 0.45%,勘探潜力巨大。

### 1.2 储层厚度大,分布广泛

须家河组砂岩储层普遍发育,主要集中发育于须家河组二段和四段。储层分布较稳定,厚度较大(400~500 m)<sup>[10]</sup>;须家河组三段和五段内所夹颗粒较粗的砂岩在局部地区也可作为储层。

须家河组二段储层属河流-三角洲沉积体系,一般为多个砂体的叠置,形成巨大的似毯状砂岩体。这套厚大砂体自西向东减薄。须家河组二段储层的孔隙度平均仅 3.43%,渗透率平均仅  $0.094 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,为致密甚至超致密储层。但非均质性极强,最大孔隙度可达 16.76%,最大渗透率接近  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,揭示了致密化背景上存在部分相对高孔渗储层。这类高孔渗储层具有长石含量高、岩屑含量低的岩石学特征,纵向上主要分布在须二段中部,平面上主要分布于印支期古隆起的高部位<sup>[15]</sup>。

须家河组四段储层主要为冲积扇-辫状河三角洲沉积体系,砂体厚度仍具西厚东薄特征。储层物性整体好于须家河组二段(平均孔隙度 4.87%,平均渗透率  $0.315 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ),仍属致密储层。须家河组四段中亚段钙屑砂岩物性较好,是目前川西坳陷中段物性条件最佳的储层,基质孔隙度达 6%~8%,基质渗透率普遍大于  $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,具有较好的渗流条件。

须家河组砂岩基质物性虽然较差,但喜马拉雅期形成的裂缝对早期致密储层的渗透性起到了明显的改善作用。

### 1.3 封盖条件好

具有直接盖层、压力封盖和致密砂岩储层的

\* 唐立章,王亮国,曹烈等. 四川探区油气资源评价. 中国石化新星石油公司西南分公司地质综合研究院,2002

局部封盖等多种封盖机理。

除须家河组发育须家河组三段和五段两套区域性直接盖层外,其上尚有侏罗系—白垩系的砂泥岩作为区域封盖层,具多种封盖机制、多封盖层联合封盖的特点。

须家河组三段和二段均属于超压层,但是须家河组三段的压力系数普遍大于其下的须二段,致使天然气缺乏向上运移的动力。根据压力系数的分布状况<sup>[10]</sup>,拗陷内龙门山前缘地带及拗陷南段,因断裂较发育,致使原始地层压力难以保持,不能形成压力封盖,其余大部分地区压力系数一般都在 1.5 以上,存在很好的压力封盖条件。

因须家河组成岩作用的不均一性,导致在普遍致密的砂岩中出现了更加致密的、可作为盖层的砂岩,从而形成了一些须家河组成岩圈闭类型的气藏。

#### 1.4 圈闭众多,类型多样

川西拗陷中段上三叠统须家河组已查明 18 个圈闭。这些圈闭具如下特征<sup>①</sup>: 主要分布在大邑—鸭子河—丰谷—洛带环形构造带; 多具有早期形成,晚期继承性发展或被改造的特点; 圈闭类型多样,具构造圈闭、岩性(地层)圈闭和复合圈闭等多种类型,并以复合圈闭为主; 圈闭资源量集中分布在孝泉—新场、丰谷—高庙子、大邑和鸭子河—白鹿场等少数大型圈闭中。

#### 1.5 输导条件良好

川西拗陷上三叠统须家河组油气大规模运移主要发生在岩石致密化之前<sup>[15~17]</sup>,须家河组二段和四段砂体叠置似毯状,且此时孔喉条件尚好,具良好输导条件。致密化以后,储层受构造或流体压力作用形成断裂或裂缝网络运移通道,对早期气藏进行调整和改造,其成藏规模有限。

#### 1.6 成藏配套条件较好

根据川西拗陷上三叠统烃源岩分布特征、封盖条件、压力状况、输导条件等因素,将上三叠统划分为下部和上部两个成藏组合。下部成藏组合为马鞍塘组、小塘子组(生)—须家河组二段

(储)—须家河组三段(盖); 上部成藏组合是须家河组三段(生)—须家河组四段(储)—须家河组五段(盖)。

##### 1.6.1 下部成藏组合

通过烃源岩热演化研究<sup>②</sup>,确定下部组合的生排烃高峰在晚三叠世中晚期,即印支中晚期。须家河组二段储层在须家河组五段沉积末期孔隙度一般大于 10%<sup>[15,16]</sup>,储集条件较好。由于须家河组三段沉积末的安县运动,须家河组二段圈闭开始形成,利于油气聚集成藏。由于烃类对储层孔隙的保护作用,印支期古隆起高部位须家河组二段储层现今的物性相对较好。

##### 1.6.2 上部成藏组合

上部组合有两个排气高峰期<sup>②</sup>,一个是晚三叠世中晚期(生化气阶段),另一个是晚侏罗世。虽然晚三叠世中期排气速率最高,但该阶段属生化气阶段,须家河组五段不具封盖能力,盖层还未形成,此阶段的天然气难以保存。因此,对上部成藏组合来说,有效的排烃高峰期为燕山中晚期(中侏罗世—白垩纪,晚侏罗世是高峰)。在较长地史时期内,须家河组四段储层具备较好储集性,从储层沉积埋藏后到中侏罗世末期,储层孔隙度普遍大于 20%,属对天然气运移聚集十分有利的常规储层; 进入晚侏罗世后直到晚侏罗世末期,储集性逐渐变差,但孔隙度一般大于 10%,仍具较好储集能力。印支期形成的构造在燕山期继承性发展,圈闭面积与闭合幅度都进一步扩大,到燕山中期,形成了中坝、新场—丰谷、蒲江—彭山 3 个燕山期大型古隆起带<sup>[17]</sup>,为油气运移聚集提供了构造条件。可见,上部组合最佳成藏配置时期是燕山中晚期。

## 2 成藏模式及主控因素

通过对川西拗陷上三叠统的成藏动力、成藏机理、压力分布状况、输导体系、封盖条件、构造背景及开发现状等因素的研究<sup>①</sup>,认为下部成藏组合主要有高压驱赶运聚成藏模式和低压吸拉运聚成藏模式,上部成藏组合主要有水溶气运移释放天然气成藏模式和浮力顺优势通道输导天然气成

① 杨克明,刘正中,叶军等. 川西上三叠统气田勘探开发关键技术研究. “十五”国家重点科技攻关课题成果报告,2005

② 杨克明,唐宇,李书兵等. 川西上三叠统气田勘探开发关键技术研究. “十五”国家重点科技攻关课题成果报告,2003



藏模式。

## 2.1 高压驱赶模式(新 851 井)(见图 1)

### 2.1.1 气藏概况

新 851 井位于新场-丰谷古隆起西部的新场构造(须家河组二段顶部反射界面)的五郎泉高点。该构造为由两条逆冲断层所夹持的背冲背斜,须家河组二段圈闭面积达  $76.4 \text{ km}^2$ , 闭合度 100 m。完井测试结果天然气无阻流量达  $160 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 无水, 产量  $54 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 主产气层为

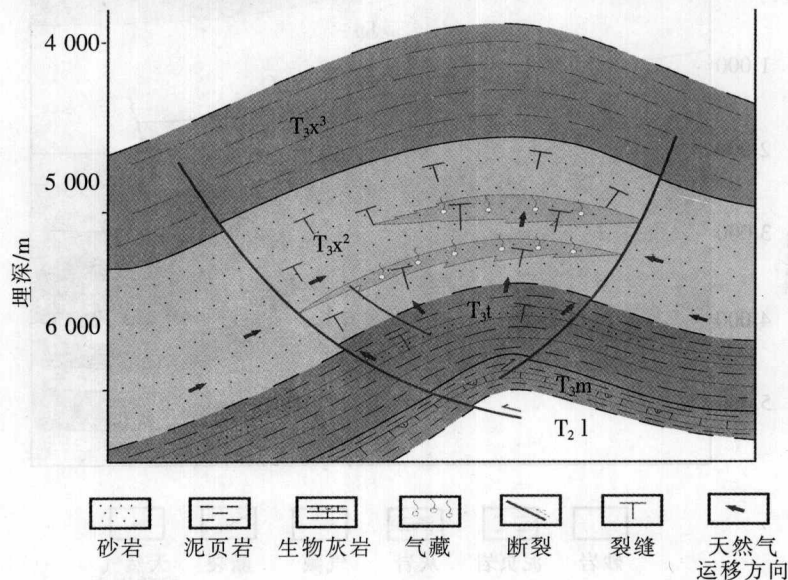


图 1 下部成藏组合高压驱赶运聚成藏模式

上三叠统须家河组二段中部。

### 2.1.2 成藏要素

以须家河组二段本身和下伏马鞍塘、小塘子组黑色页岩与煤为主要气源,经自西向东和自下向上两个方向的运移。

须家河组二段的基质物性较差,孔隙度一般小于 7%,只有少数孔隙度大于 10%;基质渗透率也很低,多数小于  $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。但由于断裂及裂缝的改造,渗透性得到极大的提升。新 851 井的稳定试井资料解释和生产数据分析结果都表明,新 851 井 4 823.2 ~ 4 846.0 m 井段地层渗透率较高,达到  $2.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,表现出均质气藏的特征。

须家河组二段的封盖层主要为须家河组三段泥岩。另外,此类气藏还存在气体浓度封盖及流体异常压力封盖。

### 2.1.3 成藏过程

早期原油聚集与裂解阶段:须家河组四段沉积末期,系统内的海陆过渡相烃源岩已开始生油,直至早侏罗世,均以生油为主。早期生成的石油在印支期的古构造中聚集成藏,随埋藏加深发生热裂解作用。裂解后的残余物即热降解沥青以固相成分参与了储层的致密化作用<sup>[18]</sup>。

中期生气增压聚集阶段:从中侏罗世到晚侏罗世,出现了两次以湿气为主的生排烃高峰,导致了系统内压力急剧增高。刘树根、高胜利等<sup>[8,19]</sup>

对川西上三叠统进行了古压力模拟,结果说明在白垩纪末期,压力梯度上升至 1.51 ~ 1.87,呈现天然气聚集增压的特征。

晚期高压驱赶运聚成藏阶段:白垩纪以来,系统内烃源岩逐渐达到干气阶段,压力继续增高,压力梯度达到 1.7 ~ 2.2。喜马拉雅期的构造运动,产生的大量断裂及裂缝,造成了构造部位的压力有所降低。在势能场的作用下,高压驱使天然气在构造高部位富集成藏。在新 851 井须家河组二段裂缝石英中的有机包裹体研究表明,包裹体分布定向性较好,较为富集、均一温度  $145^\circ \sim 150^\circ$ ,为喜马拉雅期成藏的产物。

### 2.1.4 主控因素

发育良好封盖能力的顶底板双面封盖层、且后期的构造运动适中未使系统遭受破坏,是此类天然气藏成藏的必要条件;在多期生烃运聚过程中形成的异常高压,构成了天然气成藏的主要驱

动力;晚期构造运动形成的断裂及裂缝所产生的势能差是导致天然气驱赶汇聚的关键,同时“断而未破”是天然气富集的源泉。

### 2.1.5 分布特征

在平面上主要分布于川西坳陷中部的高压力分布区及川中过渡的斜坡带上;纵向上主要分布在下部成藏体系内断背斜的上部。

$10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$  范围内,气源十分充足。

储层主要为河流相沉积的细-中粒岩屑长石英砂岩,孔隙度平均 3.55%,渗透率平均  $0.161 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。虽然孔渗低,但储层砂体厚度大,大于 200 m,并且裂缝发育,裂缝平均密度为 280 ~ 246 条/m,且多数为张开缝和半充填缝。根据 5 口气井的试井解释结果,渗透率是岩心渗透率的

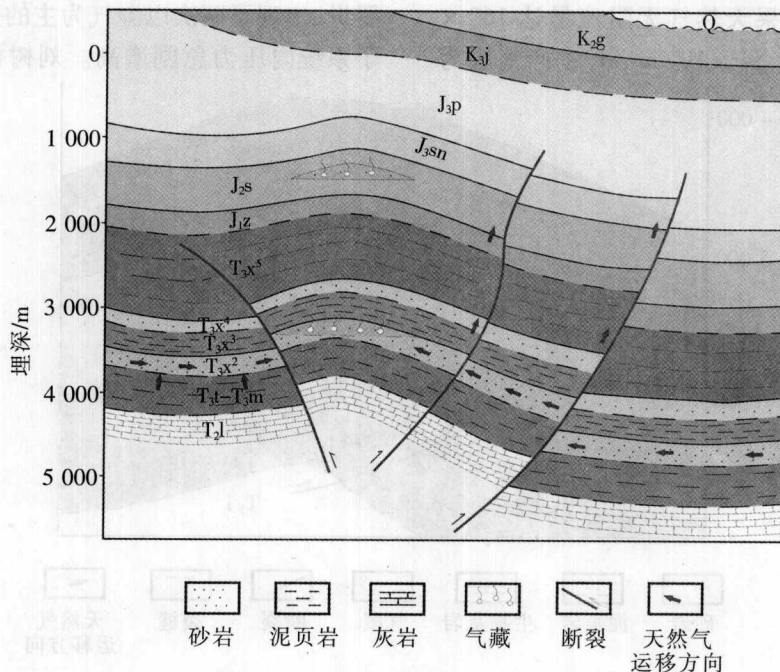


图2 下部成藏组合低压吸拉运聚成藏模式

## 2.2 低压吸拉模式(平乐坝)(见图2)

### 2.2.1 气藏概况

平乐坝气田位于龙门山推覆体前缘断褶构造带南段,主产层为须家河组二段。须家河组二段顶面构造闭合面积为  $55.9 \text{ km}^2$ ,褶皱系数为 0.11,两翼倾角为  $12^\circ \sim 15^\circ$ ,长短轴之比为 2.68。构造上有 8 条北东走向逆断层,大都与构造轴线近于平行。其中,3 条南东倾的断层与 4 条北西倾的断层将平乐坝潜伏构造切割抬升成背冲式构造。

须家河组二段气藏高度远大于构造闭合度,充满度达 100%。平乐坝须家河组二段气藏自发现以来,共钻井 19 口,获工业气井 12 口,探明储量  $145 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,累计采气  $12 \times 10^8 \text{ m}^3$  [20]。

### 2.2.2 成藏要素

处于生气强度为  $100 \times 10^8 \sim 125 \times$

$54.56 \sim 2072.77$  倍,是典型的裂缝型储层。

具多套泥岩盖层封盖,保存条件良好。

### 2.2.3 成藏过程

早期增压成藏阶段:燕山早幕( $J_1$ 末期)区域性隆升不仅使平乐坝地区处于峨嵋-蒲江古鼻状隆起西北端斜坡地带,而且平乐坝构造已具雏形,形成两个低幅度构造高点,发育早期“X”剪切破裂。平乐坝下组合烃源岩在  $J_1$  末已成熟,  $J_2$  末进入生烃高峰期,其生烃强度达  $76.1 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。须家河组二段构造形成期与  $J_1$  末须家河组一段烃源岩成熟期同步,早于其生烃高峰期。须家河组二段成岩早期产生的次生孔隙不仅为酸性水的活动、溶蚀扩展提供了通道,更为油气运聚提供了空间。油气在增压作用下,沿微层理面、微裂隙以及早期“X”剪切破裂缝进入须家河组二段储集层,并向古隆起及斜坡带运聚。这种大型古构造背景上早期形成的古圈闭与生、储、运、聚条件在时空

上的有机配置,为平乐坝构造早期油气富集奠定了重要基础。

中期泄压调整阶段:平乐坝构造在燕山中、晚幕及喜马拉雅期,经历了多期的地层抬升与卸载作用,形成多期次区域破裂系统,一方面有效地改善了储集空间,另一方面导致了系统内的压力急剧降低,并使早期进入古构造的油气得以调整、重组。

晚期低压吸拉阶段:喜马拉雅运动晚幕,平乐坝构造带基本定型,构造带内的低压气藏(压力梯度1.11左右)便源源不断地开始吸拉邻区斜坡部位的丰富油气资源,形成了现今的平乐坝气藏。从平乐坝气田的开发情况可以看出,多数气井在生产几年后,气井的天然气产能没有出现明显的下降,相反还有明显的增加;随着开发井的增多,单井日均气产量明显增加;不同年份投产的气井,其原始地层压力几乎相等,一般为39.22~42.16 MPa。这些证据表明该气田至今依然处于低压吸拉的动态过程之中。

2.2.4 主控因素

充足的天然气源,动态的补给平衡是天然气富集成藏的基础;被断裂和裂缝系统改造过的致密储层,为天然气的富集提供了良好的条件;开启的断裂、挤压构造的虚脱及地层剥蚀减压是天然

气动态聚集成藏的关键。

2.2.5 分布特征

在平面上主要分布于盆地有效源区内的山前构造带上,如平乐坝、邛西、中坝等气田;纵向上主要分布在须二段。

2.3 水溶气释放模式(新882井)(见图3)

2.3.1 气藏概况

新882井位于孝泉-新场构造东部。孝泉-新场须家河组四段顶面构造整体表现为一北东向展布的鼻状背斜,背斜两翼表现为南陡北缓。须家河组四段上亚段为低幅度构造+岩性复合圈闭。新882井须家河组四段上亚段获天然气产量 $2.3229 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,天然气无阻流量约 $11.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,水 $50 \text{ m}^3/\text{d}$ ,为一口气水同产井。从其近400天的采气特征看,地层压力系统较为稳定,气、水产量相对平稳,表明该气藏处于一种气水供给平衡、脱气速率较为稳定的动态环境之中。从882井到560井,再到565井,构造位置降低,含水特征表现得越来越明显,储层由含水气层演变为含水气层,直至水层。

2.3.2 成藏要素

孝泉-新场地区上部组合生气强度为 $90 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ,烃源充足。储层主要为辫状河三角

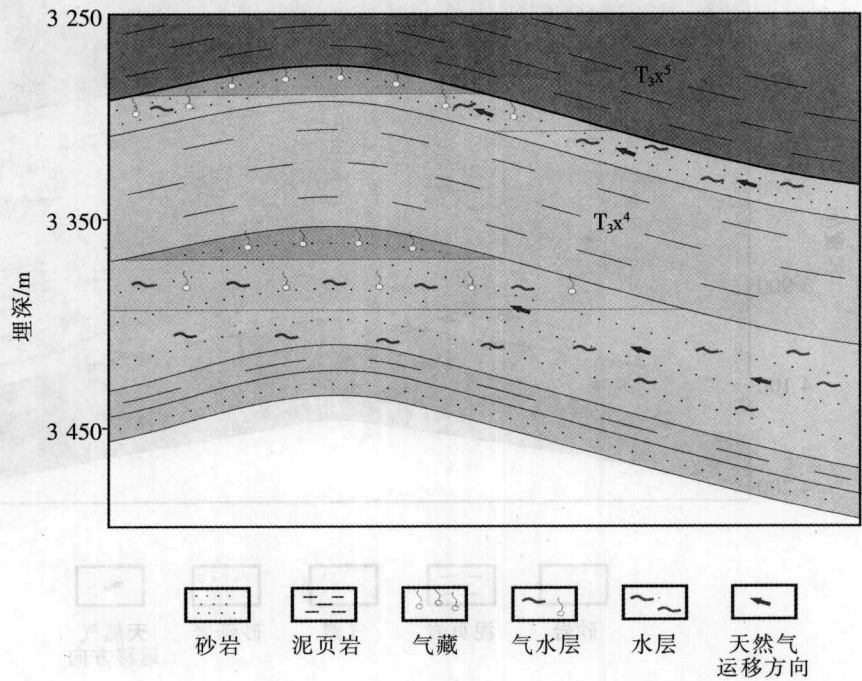


图3 上部成藏组合水溶气运移释放天然气成藏模式



洲分流河道相砂体,平均孔隙度 7.09% ~ 13.68%,平均渗透率  $0.056 \times 10^{-3} \sim 0.104 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,具备天然气重新调整的孔渗条件。该区作为须家河组四段区域盖层的须家河组五段泥页岩厚度大,具备良好的封盖能力。

### 2.3.3 动态成藏过程

印支晚期—燕山晚期地层压力逐渐变大,构造高点不断迁移,且构造幅度低,天然气脱溶程度低,主要以水溶气形式存在。喜马拉雅期受构造整体隆升作用的影响,早期圈闭中富集的水溶气由于温度压力的降低,溶解度下降,必然大量脱溶,使游离气饱和度逼近、达到临界值,局部地区出现游离相天然气。现今这种脱溶作用持续进行。

### 2.3.4 主控因素

储层中富含气的地层水是成藏的基础;系列发育的低幅度构造+岩性复合圈闭是成藏的保证;构造的抬升转换、流体的自由流动及温压系统的变化是天然气成藏的决定因素。

### 2.3.5 分布特征

平面上主要分布在生烃中心附近低缓构造带,纵向上主要分布在须四段上部。

## 2.4 顺优势通道输导模式

(川孝 560 井,见图 4)

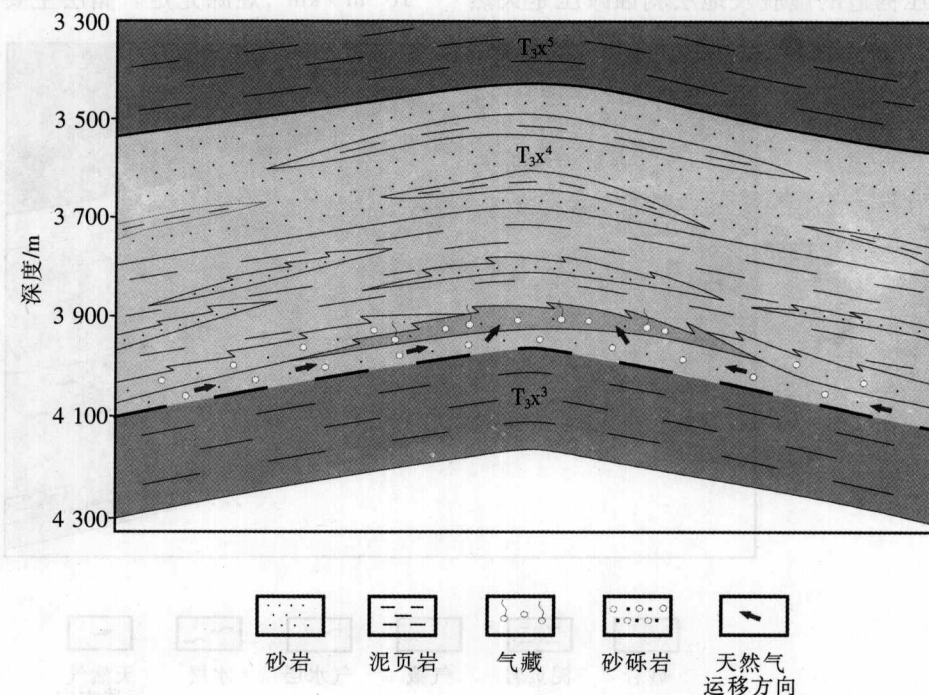


图 4 上部成藏组合浮力顺优势通道输导天然气成藏模式

### 2.4.1 气藏概况

川孝 560 井位于孝泉—新场须家河组四段顶面鼻状背斜的东倾端。该井须家河组四段底部砾岩层段获天然气产量  $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。须家河组四段下亚段为低幅度构造+岩性复合圈闭,圈闭面积大于  $86.7 \text{ km}^2$ ,圈闭幅度大于 106 m,储层厚度约 40 m。

### 2.4.2 成藏要素

紧邻须家河组三段源岩,须家河组三段生气强度为  $90 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ,烃源充足。储层主要为扇三角洲分流河道相砂砾岩,普遍超致密,但在须家河组四段下亚段整体超致密背景下,在须家河组四段下亚段下部和近底部普遍发育较多的相对优质储层透镜体。优质储层透镜体上的超致密砂砾岩和须家河组四段中亚段泥页岩层均可作为好的封盖层。

### 2.4.3 成藏过程

须家河组三段沉积末期,受安县运动的影响,孝泉—丰谷地区须家河组三段遭受剥蚀,为后来的油气运移提供了优势通道—不整合面。燕山早期,560 井区处于构造的相对高部位,利于溶蚀作用的发生,使储层遭受了一定程度的溶蚀,形成了部分优质储层。燕山中晚期为须家河组三段烃源岩的第 2 个排气高峰期,烃气沿须家河组三段顶



不整合面运移至优质储层成藏。

#### 2.4.4 主控因素

优势通道(断层或裂缝、不整合面、高渗透层)类型与品质控制着不同类型的天然气成藏;位于优势通道之上存在有效圈闭是成藏的关键。

#### 2.4.5 分布特征

主要分布在优势通道的上倾方向,纵向上主要分布在须四段底部和中部(川丰563井)。

### 3 结论

(1)川西坳陷须家河组具备大中型气田的形成条件。

(2)须家河组可分为下部成藏组合和上部成藏组合,下部组合最佳成藏配置时期为印支中晚期,上部组合最佳成藏配置时期是燕山中晚期。

(3)不同的成藏组合和不同的地区发育不同的成藏模式,主要有高压驱赶、低压吸拉、水溶气运移释放、浮力顺优势通道输导4种天然气成藏模式。

(4)早期古构造之上叠加晚期“断而未破”的裂缝系统是高压驱赶天然气成藏模式富集高产的主控因素;充足的天然气源、开启的断裂、挤压构造的虚脱及地层剥蚀减压是低压吸拉天然气成藏模式成藏的关键,系列发育的低幅度构造圈闭+地层(岩性)圈闭则是成藏的保证;构造高点曾不断迁移变化、晚期抬升、储层物性较好的低幅度构造+岩性复合圈闭发育是水溶气运移释放天然气成藏模式的决定因素;优势运移通道上存在有效圈闭是浮力顺优势通道输导天然气成藏模式成藏的关键。

### 参考文献

- [1] 郭正吾,邓康龄,韩永辉等.四川盆地形成与演化[M].北京:地质出版社,1996.113~138
- [2] 李勇,曾允孚,伊海生.龙门山前陆盆地沉积及构造演化[M].成都:四川科学技术出版社,1995.25~37
- [3] 李书兵,何鲤,柳梅青.四川盆地晚三叠世以来陆相盆地演化史[J].天然气工业,1999,19(增刊):18~23
- [4] 范小林,朱彤,潘文蕾等.川西坳陷中段晚三叠世前陆盆地构造变形与油气勘探[J].石油实验地质,2002,24(1):25~28
- [5] 李宗银,李耀华.川西前陆盆地上三叠统天然气有利区带评价[J].天然气勘探与开发,2004,27(2):1~4
- [6] 郭东晓.川西上三叠统一侏罗系致密砂岩储集体特征[J].天然气工业,1999,19(增刊):50~52
- [7] 杨克明,叶军,吕正祥.川西坳陷上三叠统须家河组天然气分布及成藏特征[J].石油与天然气地质,2004,25(5):501~505
- [8] 刘树根,徐国盛,徐国强等.四川盆地天然气成藏动力学初探[J].天然气地球科学,2004,15(4):323~330
- [9] 徐国盛,刘树根,李仲东等.四川盆地天然气成藏动力学[M].北京:地质出版社,2005.101~115
- [10] 唐立章,张贵生,张晓鹏等.川西须家河组致密砂岩成藏主控因素[J].天然气工业,2004,24(9):5~7
- [11] 卢双舫,李宏涛,付广等.天然气富集的主控因素剖析[J].天然气工业,2003,23(6):7~11
- [12] 戴金星,王庭斌,宋岩.中国大中型天然气田形成条件与分布规律[M].北京:地质出版社,1997.10~80
- [13] 戴金星,宋岩,张厚福.中国大中型气田形成的主要控制因素[J].中国科学(D辑),1996,26(6):481~486
- [14] 王庭斌.中国大中型气田成藏的主控因素及勘探领域[J].石油与天然气地质,2005,26(5):572~582
- [15] 吕正祥.川西孝泉构造上二叠统超致密储层演化特征[J].成都理工大学学报,2005,32(1):22~26
- [16] 杨克明,叶军,吕正祥.川西坳陷上三叠统成藏年代学特征[J].石油与天然气地质,2005,26(2):208~213
- [17] 曹烈,安凤山,王信.川西坳陷须家河组气藏与古构造关系[J].石油与天然气地质,2005,26(2):224~229
- [18] 叶军.川西新场851井深部气藏形成机理研究—X851井高产工业气流的发现及意义[J].天然气工业,2001,21(4):16~20
- [19] 高胜利,姚文宏,朱广社.四川盆地中西部地区上三叠统压力特征与油气运聚[J].西北地质,2004,37(1):75~79
- [20] 李宗银,李耀华,王翎入.川中-川西地区上三叠统天然气成藏主控因素[J].天然气勘探与开发,2005,28(1):5~7