

ZHIMI YANSHI YOUQICANG

4

致密岩石油气藏

中国石化股份公司西南分公司 编
中国石化集团公司西南石油局

四川出版集团·四川科学技术出版社

致密岩石油气藏

4

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

致密岩石油气藏

4

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

图书在版编目(CIP)数据

致密岩石油气藏. 4/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,2009. 12

ISBN 978 - 7 - 5364 - 6963 - 1

I. ①致… II. ①中…②中… III. ①油气勘探 - 文集 IV. ①P618.130.8 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 241903 号

致密岩石油气藏

4

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 杨晓黎
封面设计 张维颖
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 210mm × 297mm
印张 14 字数 400 千
印 刷 成都蜀通印务有限责任公司
版 次 2009 年 12 月第一版
印 次 2009 年 12 月第一次印刷
定 价 50.00 元
ISBN 978 - 7 - 5364 - 6963 - 1

■ 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)87734035
邮政编码/610031 网址:www.sckjs.com

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。油气勘探工作者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。随着近年勘探技术的不断提高,方法的不断改进,已探明的油气储量呈现良好的增长势头,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,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 4》,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,本书难免存在不足和疏漏,欢迎读者批评指正。

《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

目 录

油气地质

- 川西须家河组泥页岩气成藏条件与勘探潜力 叶 军 曾华盛(2)
- 川西地区古中生界构造沉积演化与天然气成藏地质条件 许国明 刘诗荣 石国山等(12)
- 川西坳陷南北向构造带勘探潜力分析 曹 波 贾霍甫 张克银等(27)
- 川西坳陷南北向构造带须家河组断层封闭性分析 贾霍甫 曹 波 欧 奎等(33)
- 川西龙门山前缘雷口坡组油气勘探潜力 唐桂宾 罗啸泉(39)
- 川西坳陷新的油气领域——扇三角洲重力流沉积 卿 萍 何 鲤(44)

勘探与开发

- 大邑构造成藏地质条件 何 鲤 熊亮 史洪亮等(55)
- 川西龙门山油气的保存条件 罗啸泉 李书兵 何秀彬(65)
- 古地貌分析在碳酸盐岩储层预测中的应用 吴亚军 陈汉军 郭 伟等(71)
- 川西坳陷中段须家河组二段石英次生溶蚀孔隙成因 曾小英(80)
- 川西坳陷深层须家河组储层气水性质识别方法探索 徐天吉(90)
- 川西地区地层水化学特征与油气保存关系 邓太平(96)
- 古岩溶对川东石炭系复合圈闭的控制 康保平(110)
- 川东北河坝区块上沙溪庙组储层特征及预测 全永旺 何 莹 黎平等(118)
- 高邮凹陷马家嘴—联盟庄地区戴南组高分辨率层序地层学特征 柯光明 郑荣才(126)
- 龙门山中段前缘须家河组裂缝特征及与油气的关系 罗啸泉 张 涛(133)
- 储量起算标准与经济极限研究 王亮国(139)
- 河坝飞三气藏储层应力敏感性及其对产能的影响 张 旭 胡常忠 张 箭等(146)
- 新都气田遂宁组薄层致密气藏开发前期评价 尹朝云 罗长川 邹陈蓉等(153)
- 马井蓬二气藏动态描述 江蓉蓉(162)

工程技术

- 多波联合反演相对优质储层预测——以川西深层致密碎屑岩为例 叶泰然 吕其彪 赖未蓉(178)
- 国外粘弹性表面活性剂压裂液新技术研究进展及应用展望 何兴贵 张绍彬 李 晖(184)
- 高压高产气井表皮系数分解方法及应用 罗金丽 邓美洲 胡秀玲(190)
- 模型正演技术在兴城地区叠前深度偏移中的应用 李素华(194)
- 清洁变粘酸液研究进展展望 何兴贵 张绍彬 李 晖(201)
- 低压气井泡沫排水的时机选择 杨 逸 赵哲军 雷 炜等(207)
- 压裂井高效返排新技术在川西地区的先导性试验 刁 素 黄禹忠 兰 芳等(211)

CONTENTS

OIL AND GAS GEOLOGY

- Reservoir Forming Conditions of Shale Gas for Xujiahe Formation in Western Sichuan and its Exploration Potential Ye Jun Zeng Huasheng(2)
- Sedimentary Evolution of Paleozoic – Mesozoic Structure in Western Sichuan and its Geological Conditions of Gas Reservoir Formation Xu Guoming Liu Shirong Shi Guoshan et al(12)
- Exploration Potential Analysis of NS – trending Structural Belt in Western Sichuan Depression Cao Bo Jia Huofu Zhang Keyin et al(27)
- Fault Sealing Analysis of Xujiahe Formation at SN – trending Structural Belt in Western Sichuan Depression Jia Huofu Cao Bo Ou Kui et al(33)
- Oil – gas Exploration Potential for Leikoupo Formation in the Front of Longmenshan in Western Sichuan Tang Guibin Luo Xiaoquan(39)
- New Prospect in Western Sichuan Depression – Gravity Flow Deposit of Fan Delta ... Qing Ping He Li(44)

EXPLORATION AND DEVELOPMENT

- Reservoir Forming Geologic Conditions for Dayi Structure He Li Xiong Liang Shi Hongliang et al(55)
- Hydrocarbon Preservation Conditions for Longmen Mountains in Western Sichuan Luo Xiaoquan Li Shubing He Xiubin (65)
- Application of Paleogeomorphic Analysis in the Prediction of Carbonate Reservoir Wu Yajun Chen Hanjun Guo Wei et al(71)
- Genesis of Quartz Dissolution Secondary Pore for the Second Member of Xujiahe Formation in the Middle Part of Western Sichuan Depression Zeng Xiaoying(80)
- Research on Distinguishing Method of Gas and Water Properties from Xujiahe Formation Reservoir in Western Sichuan Depression Xu Tianji(90)
- The Relationship between Chemical Characteristics of Formation Water and Oil – gas Preservation in Western Sichuan Deng Daping(96)
- Controls of Ancient Karst to Carboniferous Composite Trap in Eastern Sichuan Kang Baoping(110)
- Reservoir Characteristics of Upper Shaximiao Formation of Heba Block in Northeastern Sichuan and its Prediction Quan Yongwang He Ying Li Ping et al(118)
- High – resolution Sequence Stratigraphy Characteristics of Dainan Formation in Majiazui – Lianmengzhuang Area, Gaoyou Depression Ke Guangming Zheng Rongcai(126)
- Relationship between Fracture Characteristics and Oil & Gas for Xujiahe Formation in the Front of Middle Longmenshan Luo Xiaoquan Zhang Tao(133)
- Research on Initial data Standard of Reserves and its Economic Limit Wang Liangguo(139)

Stress Sensitivity of T_{lf}^3 Gas Pool in Heba Area and its Influence on Productivity	 Zhang Xu Hu Changzhong Zhang Jian et al(146)
Earlier Stage Evaluation of Thin - layer Tight Gas Reservoir for Suining Formation in Xindu Gas Field	 Yin Chaoyun Luo Changchuan Zhou Chenrong et al(153)
Dynamic Description for J_3p^2 Gas Pool in Majing	 Jiang Rongrong(162)

ENGINEERING TECHNOLOGY

Prediction of Relative High Quality Reservoir by Multiwave Joint Inversion	
——Taking Deep Tight Clastic Rocks in Western Sichuan as an Example	 Ye Tairan Lv Qibiao Lai Weirong(178)
Research Progress on New Technology of Viscoelastic Surfactant Fracturing Fluid Abroad and its Application Prospect	 He Xinggui Zhao Shaobin Li Hui (184)
Decomposition Method of Skin factor for High Pressure and High Yield Gas Well and its Application	 Luo Jinli Deng Meizhou Hu Xiuling (190)
Application of Forward Modeling Technique in Pre - stack Depth Migration in Xingcheng Area	 Li Suhua(194)
Research Progress on No - polymer Variable Viscosity Acid Fluid	 He Xinggui Zhang Shaobin Li Hui (201)
Timing Choice of Foam Drainage for Low Pressure Gas Well	 Yang Yi Zhao Zhejun Lei Wei et al(207)
Pilot Test of the New Technology of High Efficiency Flowback of Fracturing Wells in Western Sichuan	 Diao Su Huang Yuzhong Lan Fang et al(211)

油 气 地 质

川西须家河组泥页岩气成藏条件与勘探潜力

叶 军¹ 曾华盛²

(1. 中国石化西南油气分公司, 四川 成都 610081;

2. 中国石化石油勘探开发研究院无锡地质研究所, 江苏 无锡 214000)

摘 要:泥页岩气属非常规气的重要类型。川西坳陷上三叠统须家河组具备泥页岩气藏形成的地质条件,泥页岩厚度大,分布广;有机质丰度高、母质类型好、成熟到过成熟,概略计算资源量达 $8.4 \times 10^{12} \sim 33.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$,为四次资源评价常规聚集资源量的 3.8~15.3 倍。川西坳陷泥页岩气具有广阔的勘探前景,有望成为该区天然气资源接替的新类型。目前在上三叠统钻井勘探中,须家河组泥页岩普遍超高压和气显示活跃,在砂泥岩频繁互层段已经获得工业气流。川西致密砂岩勘探技术可直接为泥页岩气勘探服务,同时需要发展钻探深层泥页岩气藏的水平井钻井、完井技术和泥页岩储层改造技术。

关键词:川西坳陷;须家河组;泥页岩气;勘探

Reservoir Forming Conditions of Shale Gas for Xujiahe Formation in Western Sichuan and its Exploration Potential

Ye Jun¹ Zeng Huasheng²

(1. Southwest Petroleum Branch Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610081;

2. Wuxi Geologic Institute of Exploration & Development Institute, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214000)

Abstract: Shale gas belongs to unconventional gas. Upper Triassic Xujiahe Formation in Western Sichuan Depression has reservoir forming conditions to form shale gas reservoir due to its great thickness and extensive distribution. It is characterized by high abundance of organic matter, good parent materials and mature to overmature. Resources volume was estimated to $8.4 \times 10^{12} \sim 33.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 3.8~15.3 times of conventional resources volume of the fourth evaluation. Shale gas in Western Sichuan Depression has extensive exploration prospect, expecting to be a superseding type of natural gas resources in this area. In the present exploration drilling in Upper Triassic, shale gas in Xujiahe Formation showed superhigh pressure and active gas. Commercial gas flow had been obtained in sand-shale interbed. Exploration techniques for tight sand in Western Sichuan can be used directly for shale gas exploration, and at the same time some techniques should be developed for deep shale gas reservoir, such as drilling & completion techniques of horizontal well and reservoir

第一作者简介:叶军(1955—),女,教授级高级工程师,石油地质

modification techniques of shale.

Key words: Western Sichuan Depression; Xujiahe Formation; Shale gas; Exploration

随着全球常规油气藏勘探目标的日益减少,天然气能源的需求量日益增大,国内外对非常规油气藏研究和勘探越来越重视,非常规油气藏将是未来石油天然气能源的重要接替者。

非常规油气是指“所有不符合常规油气成藏原理,或在成因、成分、产状、性质、储集介质、封聚机理等方面具有特殊性的天然气聚集^[1]”。泥页岩气是非常规天然气资源的重要类型之一,它同时以吸附和游离状态赋存于以泥岩和页岩为主的地层中,通常在其中发育数量较多的粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩、粗砂岩甚至薄层细砾岩夹层,它们同样是产气页岩的主要构成^[2]。全球泥页岩气资源丰富,资源量达 $456.24 \times 10^{12} \text{ m}^3$,主要分布在北美、中亚、中国、拉美、中东、北非和前苏联。美国泥页岩气资源量达 $14.2 \times 10^{12} \sim 19.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$,页岩气产量已经超过 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全美天然气总产量的3%。加拿大紧随美国之后也积极开展了泥页岩气勘探及开发试验。近年来,我国的油气勘探专家、学者也积极开展了泥页岩气的探索,初步研究表明,我国泥页岩气资源十分丰富,估算资源量达 $23.5 \times 10^{12} \sim 100 \times 10^{12} \text{ m}^3$,中国的泥页岩气资源主要分布在松辽盆地白垩系、渤海湾盆地及江汉盆地的第三系、四川盆地中生界、扬子准地台、华南褶皱带和南秦岭褶皱带等^[2-4],其勘探潜力巨大。泥页岩气的勘探开发将成为未来我国天然气能源新的增长点。

川西坳陷中石化探区截止2007年底,天然气三级地质储量达到 $4300 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气年产量达到 $27 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。目前,中浅层天然气开发已经开始进入递减阶段,深层天然气勘探正在稳步向纵深发展,急需寻找新的勘探开发后备领域。位于川西坳陷西部边缘的龙门山逆冲推覆带曾经被列为川西坳陷的勘探后备领域,然而,闻名全球的汶川“5·12”大地震其震源深度位于地下逾20km,包括在遍布逆冲推覆带全范围发生的2万多余次余震,其震源深度10km至几千米不等,表明这是一个强烈活动的构造地带,有利于油气成藏富集的三维立体空间大都受到地震活动影响,寻找大、中型油气田勘探目标被画上了一个大问号!川西坳陷天然气勘探的后备基地在哪里?成为油气地质

工作者急切思索的问题。泥页岩天然气成藏理论和勘探、开发技术的发展与进步^[5-10],启发了我们的思路,为川西坳陷的天然气勘探带来了新的契机。

1 成藏条件

能够成藏的泥页岩既是烃源岩又是储集岩和封盖岩,由于吸附于干酪根和黏土矿物表面及游离于微孔隙和裂缝中的赋存状态,决定了泥页岩的成藏范围和成藏机理较之常规气藏宽泛和容易得多,可能的气藏分布区域与烃源岩的展布范围一致,资源量也比常规气藏更加巨大。国内学者张金川对泥页岩气的主要成藏条件进行了总结和归纳^[11]:沉积地层以泥/页岩为主,单层厚度大($\geq 10 \text{ m}$);泥质含量高(泥/页岩地层中的纯泥岩厚度 $> 10\%$),有机质丰度($\text{TOC} \geq 0.3\%$)及成熟度下限($R_o \geq 0.4\%$),孔隙度低($< 12\%$)都具备泥页岩气形成的条件。对比之下,川西坳陷上三叠统不仅是目前致密砂岩的主力气源岩,而且具有优越的泥页岩成藏条件。

1.1 泥页岩分布

川西坳陷是晚三叠世以来受龙门山逆冲推覆作用影响,在四川盆地西部形成的前陆盆地,其沉积充填由上三叠统—白垩系碎屑岩系构成,为一套由海相—海陆过渡相—陆相的退覆沉积,以三角洲、河流、湖泊相沉积为主(图1)。上三叠统须家河组(T_3x)沉积中心位于龙门山前的都江堰—彭州地区,自下而上分为五段。其中须三段(T_3x^3)和须五段(T_3x^5)分别以滨海湖沼相及内陆湖泊沼泽相暗色泥页岩沉积为主,夹薄煤层和煤线,是川西坳陷最主要的烃源岩发育层段。须家河组其他亚段以砂岩沉积为主,但也不同程度发育泥页岩层。侏罗系—白垩系以发育红色砂泥岩为主要特征,基本不具生烃能力。因此,纵向上川西坳陷可能形成泥页岩气藏的领域为上三叠统须家河组。

根据川西坳陷烃源岩沉积中心附近的彭州鸭子河地区川鸭 92 井揭示,上三叠统须家河组厚度及岩性具有如下特征:

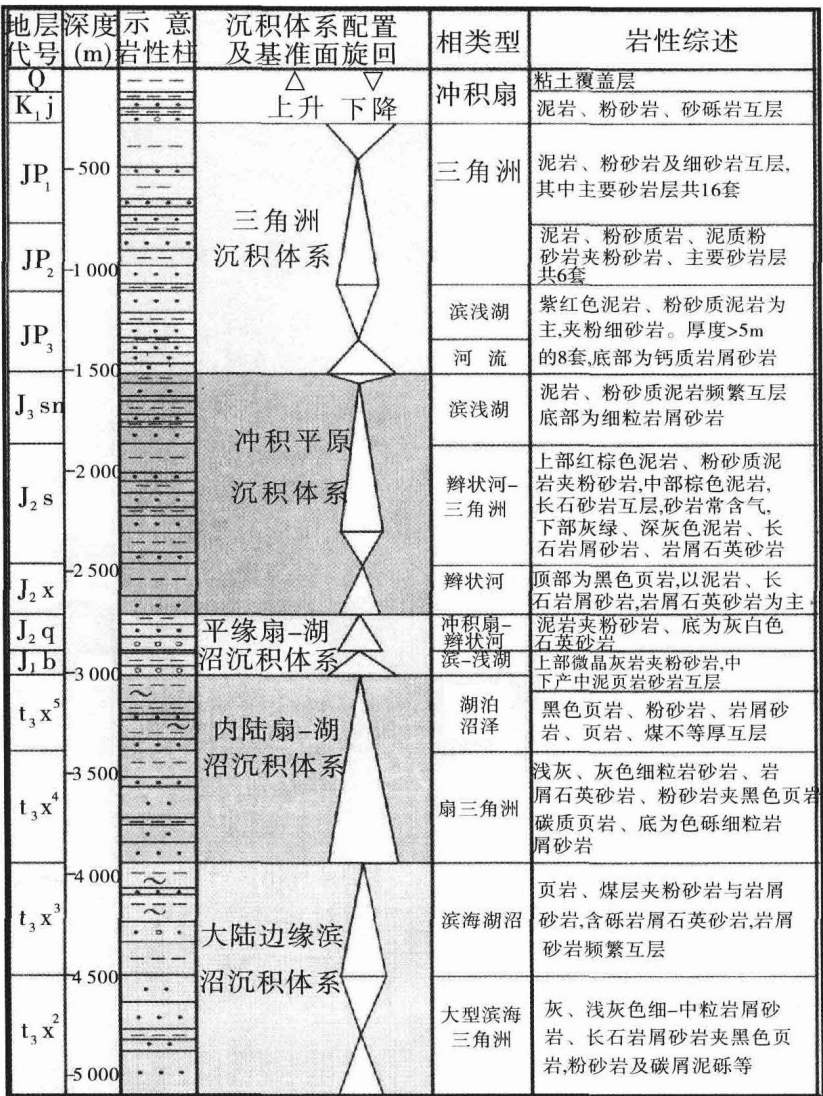


图 1 川西坳陷中段地层与沉积体系图

上三叠统埋深 1 875.5 ~ 5 089.77 m(未见底), 钻厚:3 214.27 m。其中:

须五段(T_3x^5):1 875.5 ~ 2 064.00 m, 残厚 1 88.5m。为一套以暗色泥页岩为主, 与砂岩、粉砂岩频繁不等厚互层沉积。

须四段(T_3x^4):2 064.00 ~ 2 275.00 m, 厚 620 m。为一套砂岩为主与暗色泥岩不等厚互层沉积。

须三段:2 684 ~ 4 392 m, 厚 1 708 m。为一套以含煤湖沼相灰黑色泥页岩为主夹砂岩的巨厚沉积。

须二段(T_3x^2):4 392 ~ 4 871 m, 厚 479 m。

按岩性电性可分三段:①砂岩为主夹泥岩段(171 m);②砂岩为主夹泥岩略等厚互层(165.5 m);③砂岩夹泥岩段(142.5 m)。

须一段(T_3x^1):4 871 ~ 5 089.77 m(未见底), 厚 218.77 m。黑色粉砂质泥岩、炭质页岩、泥岩与浅灰、灰白、深灰色细、中粒长石砂岩、岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩频繁互层。

川鸭 92 井钻探显示,在岩性组合上最具形成泥页岩气藏条件的是须三段、须五段和须一段,其累计厚度超过 2 000 m,泥质岩单层厚度最大可达 20 ~ 50 余米。须二段和须四段虽然以砂岩为主,但也不乏泥质岩分布。如须二段上部的“腰带

子”泥岩在孝泉地区的川孝 93 井厚达 41 m。

从川西坳陷中段鸭子河地区往东,位于大型北北东向构造带的新场地区新 851 井揭示了与川鸭 92 井相似的岩性组合特征,只是厚度减薄,但累计泥页岩(含薄煤层)厚度也达 1 236 m(注:须二段未打穿,须一段未揭露)。新 851 井须家河组各段岩性组合如下:

须五段:2 774.5 ~ 3 330.5 m, 钻厚 556 m。泥页岩,砂岩互层夹煤线、煤层。泥岩累计厚度 405.5 m,单层最厚达 27.50 m。

须四段:3 330.5 ~ 3 885 m, 钻厚 554.5 m,以砂岩、泥页岩互层为主。

须三段:3 885 ~ 4 635 m, 钻厚 750 m。泥页岩与砂岩不等厚互层夹煤线、煤层。泥岩累积厚度 536.4 m,单层最厚达 22.50 m。

须二段:4 635 ~ 4 870 m(未见底), 钻厚 235 m。主要为砂岩夹泥页岩组合,“腰带子”泥岩厚度达 30 m。

各段砂泥岩统计结果如表 1 所示。

表 1 X851 井须家河组砂泥岩厚度统计^[12]

特征参数	须五段	须四段	须三段	小计
段厚/m	556	554	750	1 860
泥页岩、煤层厚/m	405.5	294.5	536.4	1 236.4
砂岩厚度/m	150.5	259.5	213.6	623.6
泥页煤/段厚/%	72.9	53.2	71.5	66.5

由表 1 可见,新场地区须家河组各段泥页岩十分发育,累计厚度大(1 236.4 m),泥页煤占段厚度比例高(53.2 % ~ 72.9 %,平均 66.5 %)。

川西坳陷上三叠统除了泥页岩厚度大外,还具有分布广的特点。据川西坳陷中段 20 余口钻井资料统计,须一段暗色泥页岩平均厚度约 50 ~ 350 m,在安县和都江堰地区最厚(大于 350 m),往东南方向逐渐减薄,在绵阳、什邡、广汉、成都一带厚度仅约 125 m,再往东南方向厚度逐渐小于 100 m,分布面积为 16 589.8 km²(图 2)。须三段暗色泥页岩平均厚度 125 ~ 700 m,在都江堰及其北部一带最厚,达 500 ~ 700 m,往东逐渐减薄,在玉泉、德阳、郫县一线厚度约 400 m,至金堂附近降为 150 m,分布面积与下伏须一段一致,也为 16 589.8 km²(图 3)。须五段泥页岩在什邡和彭州一带暗平均厚度达 350 m,往西北和东南方向逐渐减薄,汉旺、都江堰以西缺失,成都、中江一带厚约 250 ~ 300 m,分布面积略为减小,为 14 459.5 km²(图 4)。

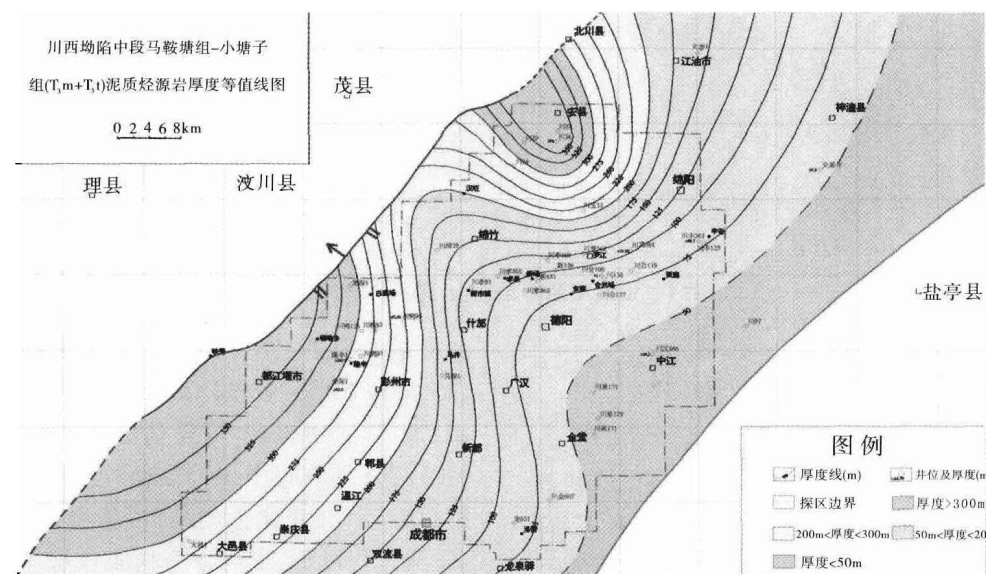
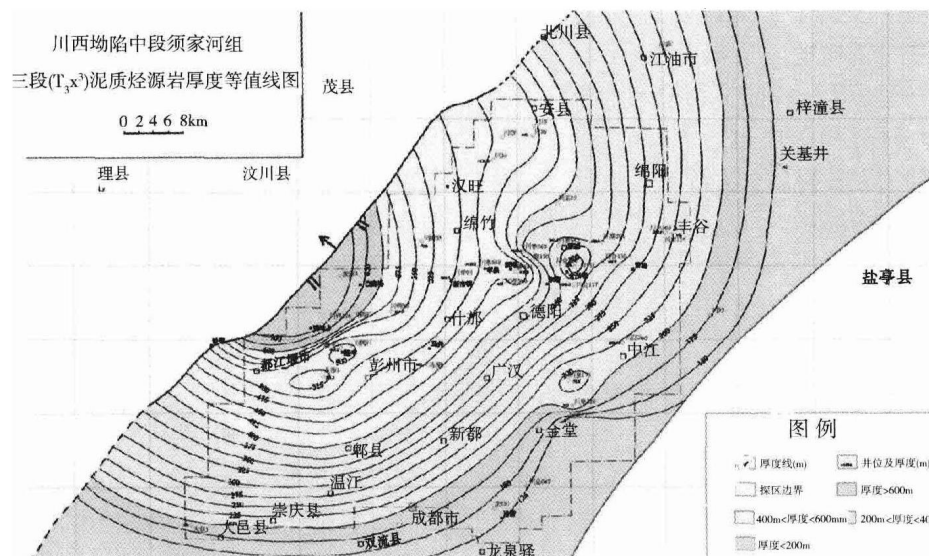
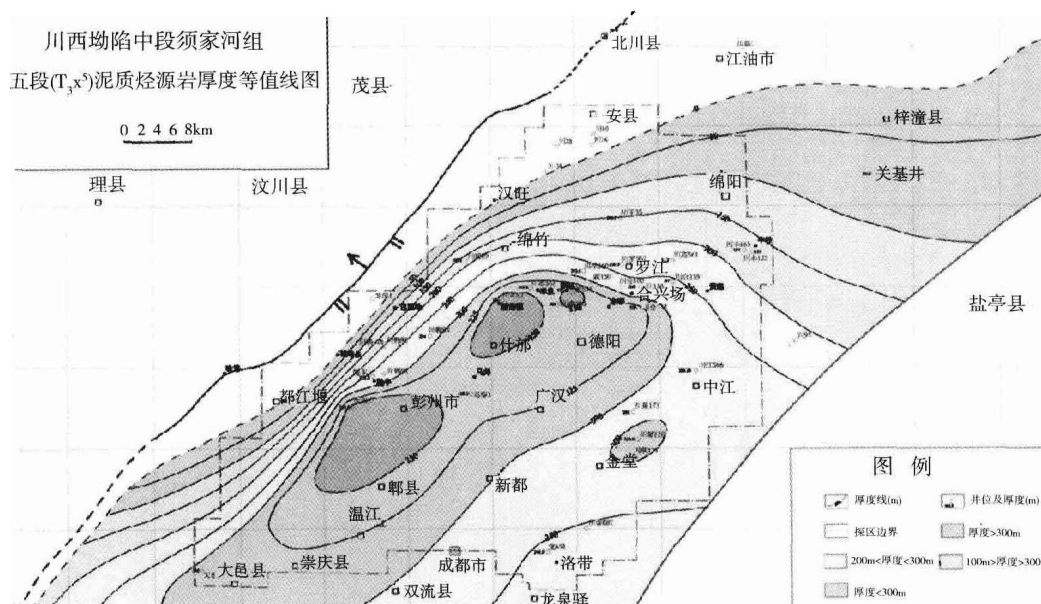


图 2 川西坳陷中段 T_3x^1 泥页岩等厚图

图3 川西坳陷中段 T_3x^3 泥页岩等厚图图4 川西坳陷中段 T_3x^5 泥页岩等厚图

1.2 有机地球化学特征

1.2.1 有机质丰度

上三叠统须家河组泥页岩具有较高的有机碳含量,其平均值 $>1.13\%$,以好的烃源岩为主,部分为中等烃源岩。煤样有机碳含量为 $23.3\% \sim 83.75\%$,平均为 61.49% (表 2、3),有机碳 $<0.5\%$ 的样品极少,仅占总样品量的 0.66% 。另据 178 个样品测试,氯仿沥青“A”含量变化较大,

各段最小值 $29.78 \times 10^{-6} \sim 190.84 \times 10^{-6}$,最大值 $125.62 \times 10^{-6} \sim 1124.23 \times 10^{-6}$,平均值 $60.02 \times 10^{-6} \sim 371.18 \times 10^{-6}$;氯仿沥青“A”含量主要反映可溶有机质的多少,其含量受泥页岩演化程度的影响较大,演化程度高,可溶有机质残留少;反之,演化程度低,则可溶有机质含量高。

表2 川西坳陷泥质岩有机碳含量统计表

层位	有机碳含量/%			
	最小	最大	平均	样品数
T_3x^5	0.39(仅2个样<0.5)	16.33	2.35	186
T_3x^4	0.46(仅1个样<0.5)	5.79	1.83	96
T_3x^3	0.59	7.68	1.77	197
T_3x^2	0.62	17.62	3.47	53
T_3x^1	0.47(仅1个样<0.5)	3.10	1.13	69

表3 煤有机碳含量统计表

层位	有机碳含量/%			
	最小	最大	平均	样品数
T_3x^5	27.14	74.57	60.72	16
T_3x^4	48.43	75.20	60.19	9
T_3x^3	23.30	83.75	62.72	17
T_3x^2	37.13	81.32	59.23	2
T_3mt	/	/	69.18	1

1.2.2 有机质类型

川西坳陷上三叠统泥页岩干酪根碳同位素和显微组分分析结果显示,须二、三、四、五段烃源岩有机质类型主要为腐殖型(Ⅲ),须一段泥页岩有机质类型主要为腐泥-腐殖型(Ⅱb)。虽然,须家河组有机质类型主要为Ⅲ型,但从龙门山前煤矿采集的 R_o 为0.6%~0.7%的低演化程度的样品中,可见到富氢组分如角质体、藻类体、木栓质体、树脂体和孢子体,表明须家河组泥页岩Ⅲ型有机质具备较好的生烃能力(图5)。

1.2.3 有机质演化程度

根据系统的镜质体反射率测定,川西坳陷上三叠统须家河组泥页岩总体演化程度较高,纵向上随埋深增加演化程度增高, R_o 从最低1.02%(须五段)增加到最高3.78%(须一段),泥页岩有机质演化程度从成熟-高成熟-过成熟(表4)。

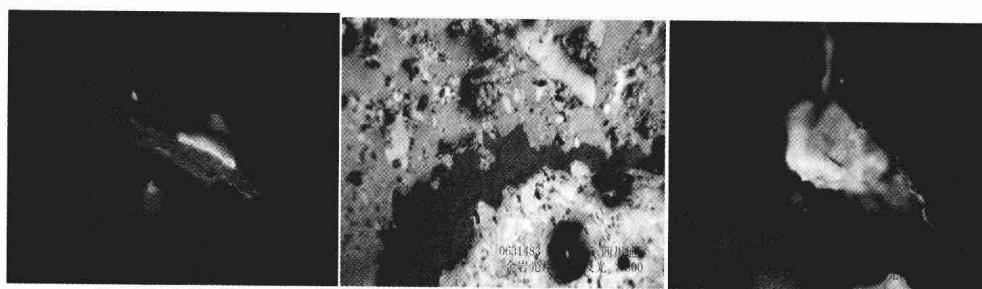


图5 龙门山煤矿泥页岩样品显微组分照片(从左到右:A.孢子体 B.裂隙沥青 C.藻类体)

由盆地模拟结果*反映的上三叠统须家河组各段泥页岩有机质演化程度平面变化规律如下:

须一段:除安县地区外,川西坳陷中段 R_o 均大于2.0%,在大邑1井以北至马深1井一带, R_o 达到3.0%以上,显示该层段泥页岩有机质基本都已经达到过成熟演化阶段。

须二段:除安县、丰谷和龙泉山南部外, R_o 基本都大于2.0%,在大邑以北至马深1井一带, R_o 达到3.0%以上。显示须二段泥页岩有机质也大多达到过成熟演化阶段。

须三段:安县地区 R_o 小于1.3%,绵阳、新场、中江、成都、都江堰等地区 R_o 在1.3%~2.0%之间,其他地区 R_o 基本都大于2.0%,在大邑以北至马深1井一带, R_o 达到2.5%以上。显示须三段泥

页岩有机质演化程度由北到南增加,成熟度由高熟到过熟。

须四段:在川西坳陷中段,须四段 R_o 大部分在1.3%~2.0%,显示该段泥页岩处于高成熟演化阶段。

须五段:安县、绵竹、隆丰、大邑和洛带地区 R_o 小于1.3%,泥页岩有机质处于成熟演化阶段,其它地区 R_o 为1.3%~1.8%,达到高成熟演化阶段。

1.3 资源量概算

根据2007年中国石化西南油气分公司对川西坳陷上三叠统进行的第四次资源量评价结果,川西

*曾华盛,郑冰,管宏林,等. 川西坳陷二叠系-上三叠统油气资源量计算,中石化西南油气分公司重点科研项目成果报告. 2008.2

坳陷上三叠统总生气量为 $1\,678\,125 \times 10^8 \text{ m}^3$, 天然气总地质资源量为 $21\,928.71 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。中国石化川西探区上三叠统总生气量为 $1\,191\,026 \times 10^8 \text{ m}^3$, 天然气总地质资源量为 $16\,191.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表 4 泥页岩镜质体反射率(R_o)统计表

井名	层位	$R_o/\%$			样品数
		最小	最大	平均	
马深 1	T_3x^5	1.21	1.59	1.39	12
	T_3x^4	1.68	2.00	1.85	8
	T_3x^3	2.11	2.91	2.42	14
	T_3x^2	2.63	3.11	2.96	6
川高 561	T_3x^5	1.42	1.68	1.60	8
	T_3x^4	1.68	1.82	1.74	9
	T_3x^3	1.86	2.35	2.05	10
	T_3x^2	2.36	2.50	2.43	7
	T_3t	2.37	2.51	2.49	3
大邑 1	T_3x^5	1.02	1.10	1.06	2
	T_3x^4	1.61	/	1.61	1
	T_3x^3	1.80	2.35	2.08	4
	T_3x^2	2.21	2.52	2.37	2
川江 566	T_3x^5	1.30	1.41	1.36	2
	T_3x^4	1.66	/	1.66	1
	T_3x^3	1.74	1.92	1.83	2
	T_3x^2	2.05	2.14	2.10	2
	T_3t	2.06	2.37	2.22	2
川泉 171	T_3x^5	1.16	/	1.16	1
	T_3x^4	1.54	1.68	1.61	3
	T_3x^3	1.83	1.97	1.90	2
龙深 1	T_3t (小塘子组)	2.91	3.49	3.31	4
	T_3m (马鞍塘组)	3.48	3.78	3.61	4

利用公式: 聚集系数 = 总资源量/总生气量 $\times 100\%$ 得到:

川西坳陷中段聚集系数 = $21\,928.71/1\,678\,125 \times 100\% = 1.31\%$

中国石化探区聚集系数 = $16\,191.98/1\,191\,026$

表 5 煤岩成熟度与排烃系数关系计算表^[14]

特征参数	煤岩成熟度 $R_o/\%$								
	0.85	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.75	3.00
生气量/ $\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$	87	119	169	213	244	268	319	319	345
吸附量/ $\text{m}^3 \text{ t}^{-1}$	19.65	20.07	22.15	26.49	26.83	33.47	33.71	33.96	34.13
排烃系数/ $\%$	77.41	83.13	86.89	87.56	89.00	87.51	89.43	89.35	90.11

$\times 100\% = 1.36\%$

可见, 川西坳陷上三叠统泥页岩(包括少量的薄煤层)生成的总烃量最终聚集为资源量的部分不足 1.4% 。换言之, 总生气量的 98% 以上在初次运移和二次运移及成藏后的逸散中损失或残留在烃源岩中。由于页岩以小粒径物质为主, 一般以黏土(粒径 $< 5 \mu\text{m}$)和泥质(粒径为 $5 \sim 63 \mu\text{m}$)为其最主要成分, 砂($> 63 \mu\text{m}$)所占的组分相对较少, 因此, 泥页岩巨大的比表面积对烃类具有极强的吸附作用。若以烃源岩排烃后的残留吸附烃量和游离气量作为泥页岩的原始资源量, 则:

泥页岩资源量 = 生气总量 - 排烃总量 (1)

排烃系数表征的是烃源岩的排烃效率, 它是指排烃总量与总生气量之比。因此有:

排烃总量 = 生气总量 $\times$ 排烃系数 (2)

泥页岩资源量 = 生气总量 - 生气总量 $\times$ 排烃系数 (3)

关于泥页岩的排烃系数国内外有很多学者开展过深入的研究^[13], 宋国奇等人^[14]根据 Kim (1987)建立的煤层甲烷与埋深和成熟度关系曲线对胜利油区上古生界煤岩的排烃系数进行了研究, 经计算得出了胜利油区上古生界煤岩成熟度与排烃系数关系(表 5), 反映出不同演化阶段煤岩的排烃率不同, 演化程度越高, 排烃系数越大。可见, 泥页岩的排烃系数不同研究者在不同地区得出的结果差异较大, 为了概算川西坳陷上三叠统须家河组泥页岩资源量, 综合国内外排烃系数研究成果, 分别取川西坳陷上三叠统须家河组泥页岩排烃系数为 80% 、 90% 、 95% 进行计算, 得到须家河组泥页岩总天然气资源量为 $8.4 \times 10^{12} \text{ m}^3 \sim 33.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (表 6), 是须家河组致密砂岩地质资源量的 $3.8 \sim 15.3$ 倍。因此, 川西坳陷上三叠统须家河组泥岩中蕴藏着丰富的天然气资源, 勘探潜力巨大。