

川西致密砂岩气藏 开发技术 论文集

王 旭 江 健 罗昌元 主编

中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

川西致密砂岩气藏开发技术 论文集

王 旭 江 健 罗昌元 主编

中國石化出版社

内 容 提 要

本论文集共收编论文 61 篇,分气藏地质、气藏工程、采气工程、地面工程四大部分,内容主要包括致密砂岩气藏地质、排水采气、增压采气、采输工艺、天然气净化、气井解防堵、高氯根地层水处理等系列技术成果,涵盖天然气开发的主要关键技术环节,剖析了气藏的地质及开发动态特征,形成了一系列与之配套的气藏稳产工艺技术。

本论文集可供从事致密砂岩气勘探开发的地质技术人员、工程技术人员参考,也可作为石油院校师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

川西致密砂岩气藏开发技术论文集 / 王旭, 江健,
罗昌元主编. —北京: 中国石化出版社, 2016. 2
ISBN 978-7-5114-3837-9

I. ①川… II. ①王…②江…③罗 III. ①致密砂
岩-砂岩油气藏-油气开采-川西地区-文集
IV. ①TE343-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 030662 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或
任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 28.25 印张 710 千字

2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷

定价: 88.00 元

《川西致密砂岩气藏开发技术论文集》

编 委 会

主 编 王 旭 江 健 罗昌元

副 主 编 杨 汾 罗国仕 袁 勇 王晟轶

编写人员 王雨生 杨锦林 周兴付 李祖友

杨功田 杨炳祥 牛德法

前 言

20年前的今天，川西采气厂承载着西南天然气开发的梦想，开始了天然气勘探向开发的历史性转变尝试，经过坚持不懈的实践、探索与总结，川西天然气开发事业得以迅速发展，一度成为中国石化最大的天然气产销基地，打造了一支集天然气开采、产能建设、天然气净化、地层水综合利用等多功能的专业队伍。开发的气田从初期1个增至现在的14个，从单一的蓬莱镇组陆相致密砂岩气藏发展到现在的遂宁组、沙溪庙组、千佛崖组、须家河组气藏及海相雷口坡组含硫化氢气藏；年天然气产量从 $3.60 \times 10^8 \text{ m}^3$ 攀升到2014年的 $24.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，气井从几十口增加到1000余口，采气管道从数千米变成近1300km。这些巨变凝聚着川西采输人的泪水与汗水，凝聚着川西采输人的智慧与胆识，凝聚着川西采输人的艰辛与坚韧。川西天然气开发的技术人员作为川西采气厂的三支人才队伍之一，在实现天然气开发事业蓬勃发展的历程中起到中流砥柱的作用。在川西采气厂成立20周年之际，本论文集编委会基于“百花齐放，百家争鸣”的原则，试图把多年来广大技术人员在天然气开发中取得的突出成果、独到见解、先进技术汇编成集，将其客观、完整、简要地展示出来。这既是对川西致密砂岩天然气开发技术工作的阶段性总结，也是对此成功尝试所取得经验、成果的系统提升。并奢望能起到抛砖引玉的作用，为同类气田的开发与国内外同行分享，以便携手共同探讨、提升类似气田的开发技术水平。

本书共收集论文61篇，研究内容主要包括气藏地质、气藏工程、采气工程和地面工程四部分，涵盖天然气开发的主要关键技术环节，内容丰富、论述简明扼要、结论可靠实用。纵观全书，特色突出、亮点纷呈，主要体现在以下九个方面：

一是提出新场气田三叠系须家河组二段气藏高产气井的主控因素是必须发育高孔渗储集体，现今天然气储集形式主要有三种，即单一高孔渗储集体、与裂缝连通的高孔渗储集体、致密砂岩背景下裂缝带，前两种能获工业气流，后者难获工业气流；气藏开采特征表现为气井普遍产水，仅有41.00%的气井具有

无水采气期，但时间较短，只有7~23个月，采出程度低，平均13.84%，见水后稳产难、单位压降采气量不足见水前的10.00%。

二是认为侏罗系储层属多河道叠置砂岩，砂体分布及含气性横向变化快，气井产能受构造、岩性、物性等多因素影响，单一主控因素不突出，属典型低渗致密砂岩气藏；气藏开采特征表现为早期压力、产量递减快，压力传播范围有限，波及半径一般小于300.00m，单井控制储量低，平均 $3000.00 \times 10^4 \text{m}^3$ ；低压低产期长，56.13%~75.62%的可采储量是在井口压力低于3.50MPa阶段采出的。

三是针对川西低渗致密气藏的地质、动态特征，建立了低渗致密气藏动态分析方法体系，该方法体系达到国际先进水平，提升了气藏动态认识；建立了选井评层的定量的综合评价系数和电性标准，量化挖潜潜力，践行地质工程一体化滚动挖潜管理模式。

四是建立了一套致密气藏产水气井多元化的井下工况诊断技术；形成了以差异化泡沫排水采气工艺为主导，以互补型气举排水采气工艺为辅助，以连续油管排水采气工艺为补充的致密气藏经济有效的排水采气技术体系；完善了高温、高矿化度、高含凝析油、自生能量型、缓释泡排一体化等泡沫排水技术体系，并形成了投棒、间歇泵注、连续泵注、毛细管加注多元化加注技术；形成了车载橇装压缩机为主、CNG槽车气举与井间连续气举为辅的气举排水采气技术体系。

五是在解决低压井采输矛盾方面，形成了中、低、增压三套独立管网系统，并形成了主体区域集中增压、边部区域单点橇装增压为补充的增压优化工艺技术。

六是在国内首次开展规模工业化推广应用络合铁脱硫工艺技术，针对脱硫系统运行中出现的问题，对络合铁脱硫主要工艺参数 Fe^{2+} 浓度、溶液运行温度、pH值、再生塔吸氧量、喷射器压力等进行优化，提出络合铁脱硫工艺生产经验公式、优化改造项目70余项，完善了装置功能，确保了脱硫系统平稳运行。

七是引进高氯地层水低温蒸馏工艺技术，并在运行中对母液浓缩、湿盐干燥、结晶盐自动包装、变频节能、运行参数量化控制等7项技术进行改进，解决了地层水氯离子含量高、COD高等难题，实现了高氯地层水的无害化处理，

得到地方环保部门认可,促进了绿色气田建设。

八是通过深入分析新型 K344 封隔器坐封、解封原理,推荐开展水平井先导试验,试验表明,该封隔器坐封方便、分段隔离针对性强、压裂后自动解封,能满足川西水平井的压裂和采气生产需要;针对地面生产流程刺漏较多、内部管道系统复杂等特点,从管网运行压力设计、集气站整体布局、井口节流降压工艺、设备设施改进、标准化建设等进行了 12 项优化,提高了气井建产速度、采气作业安全、数据采集时效及天然气质量,减少了建站数量,节省了土地资源。

九是针对气井对残留压裂液、泥浆、泡排剂沉淀乳化等污染,形成了化学法、物理法、物理化学结合法的治理技术;针对传统工艺条件下,如何提高气质问题,通过研究气源、液量、运行工况、设备处理能力及管输凝析等特点,采取系统性改造与局部改造结合的方式,提出并实施了整体脱水技术、两级分离技术、消泡分离技术,取得显著效果;针对柴油发电费用高,从井站耗电量、用电特点,研究了太阳能光伏发电系统技术及经济可行性、系统配置、需求程度,在井站开展试验,解决了边缘井站的部分用电问题,达到了节能降耗的目的。

本文集是川西采气厂广大技术人员在长期生产实践中形成的集体智慧结晶,对我国致密砂岩气藏有效开发有很好的借鉴和指导作用,适合用作油气勘探、开发的技术人员参考用书和石油高等院校本科和研究生教学参考用书。

本文集编写过程中得到了中国石化油气开发高级专家王世泽教授级高级工程师、西南油气分公司油气开发专家郭新江教授级高级工程师的悉心指导;西南分公司勘探开发研究院、西南分公司工程技术研究院、井下作业公司、西南录井公司、四川钻井公司、西南测井公司等兄弟单位提供了大量的重要资料或成果。在此一并表示诚挚的谢意!由于编者水平有限,尽管经屡次修改,仍难免存在不足,请各位专家、同行、读者包容、批评、指正!

论文集编委会

2015 年 11 月

目 录

气藏地质篇

新场气田须家河组二段气藏高产气井储集模式浅析	王 旭(3)
新场蓬莱镇组气藏扩边潜力评价	刘雪乐 李祖友 严小勇 田 刚 成 晟(15)
新场气田老井挖潜选井评层标准研究	赵志川 李祖友 成 晟 赵姗姗(24)
川西中浅层水平井地质跟踪方法应用研究	范世龙 李兴文 邓 强 张潇名(31)
合兴场蓬莱镇组气藏小层划分与对比	袁 霞 田 刚(39)
高庙 JS ₃ ³⁻² 气藏产能主控因素分析	邓 强 李兴文 范世龙 何仕碧 黄刚强 谢泽秀(47)
新马-什邡地区蓬二气藏地质特征及产能主控因素分析	李兴文 李祖友 成 晟 赵姗姗(55)
马井气田南部 MP62-MP46 井区 JP ₂ 层地质潜力分析	欧阳佳穗 李祖友 成 晟 赵姗姗(64)
新场气田 XQ47 井区 JP ₁ ⁴ 、JP ₂ ¹ 气层地质潜力评价	周 桦 田 刚(71)
新都气田 JP ₂ ⁵ 气层挖潜潜力评价	成 晟 李祖友(83)

气藏工程篇

川西地区气藏动态特征及开采对策	严小勇 王 旭 李祖友 冯 松 刘雪乐(93)
新场须二气藏 X2 裂缝系统隔气式气驱水模式 ...	乔 林 李祖友 严小勇 冯 松(104)
低渗透致密气藏压裂水平井不稳定产能评价方法	李祖友 杨筱壁 严小勇 王 旭(112)
高庙子地区下沙溪庙组气藏动态特征及开采对策	李祖友 严小勇 冯松 袁珏 杨筱壁(117)
中江-高庙含凝析油气井压恢试井分析	冯 松 吕 红 李祖友 严小勇 乔 林(125)
基于 BP 神经网络的气井产能预测与应用	牛 娜 詹泽东 李祖友 严小勇(131)
新场须五气藏试采评价研究	蒋书虹 冯 松 严小勇 詹泽东(138)
中江 JS ₃ ³⁻² 气层试采动态特征分析	王梓岩 冯 松 袁 珏 王宝莹(145)

采气工程篇

川西侏罗系气藏排水采气实践与认识	周兴付	张云善	刘丝雨	(153)			
川西深井腐蚀规律与缓蚀泡排技术研究			王雨生	(164)			
水平井 K344 封隔器分段压裂工艺应用	邹一锋	苏黎晖	郑 平	周志林	杨炳祥	(176)	
中江构造水平井防气窜固井技术	杨炳祥	周志林	邹一锋	刘向阳	张 露	(182)	
聚合物水基钻井废弃泥浆无害化处理研究			周志林	胥 锋		(189)	
川西深层 DY1 井电潜泵排水采气工艺试验	邓一平	刘丝雨	付春梅	周兴付		(196)	
川西气田低压低产井泡排低效原因及对策研究				徐广鹏		(204)	
川西气田水平井排水采气工艺实践与认识	刘 菁	鲁光亮	胡 腾			(211)	
低渗致密气藏多层合采井下层水淹复产技术研究	刘 沙	王子夜				(217)	
川西致密气藏产水气井井筒流态分析与预测技术研究	郭莉霞	鲁光亮	蒋淮宇	焦瑞琴	张茉丽	(224)	
川西致密气藏气井污染机理与治理技术研究	胡 腾	王子夜	于 川	刘 菁	张兴丽	(231)	
水平井毛细管泡沫排水采气工艺应用研究	刘大永	于 凯	柏明宏	纪梅玲		(238)	
川西气田车载气举排水采气技术应用研究	熊胜尧	刘大永	周兴付	于 凯		(244)	
川西气田水平井速度管柱排水采气工艺应用	姚 远	周兴付	鲁光亮	蒋淮宇		(250)	
川西气田负压开采技术应用研究				何志君		(257)	
高产水气井流型判别与预测技术研究	傅春梅	王雨生	刘永辉	傅春燕		(264)	
川西深井地面流程结垢机理及防垢技术研究	刘丝雨	张云善	周永淳	宋菁妍		(270)	
气液同产水平井积液规律研究	鲁光亮	周兴付	王雨生	王 旭	张云善	刘永辉	(277)
低压低产气井自生泡排水工艺研究及应用			王子夜	高 雨			(284)
一种撬装 CNG 气举排水采气新方法	张云善	周兴付	鲁光亮	唐 南	李抒瑶		(290)
川西须家河组气藏深井排水采气方式介入时机判断方法的研究	荆 华	傅春梅	周兴付				(296)
抽汲-泡排组合排水采气工艺在 CY609 井的应用	邓 超	袁 剑	吕桂琴	李景建			(302)
川西气田速度管柱排水采气工艺效果分析	袁 剑	刘 通	张云善	邓 超			(306)
新场气田低压低产气井泡沫排水采气工艺优化及应用评价	于 川	胡 腾					(311)
DP9 单点增压效果跟踪	丰 剑	邓先伟	王永臻				(316)
HL6H 井重质原油冬季热融解技术及应用	廖继敏	董耀文					(320)
水平井压裂支撑剂回流对气井生产的影响及防治措施	唐 勇						(324)

CNG 槽车气举工艺在川西中浅层气井中的应用

.....	唐 南	罗如云	王永臻	罗 华	张云善(330)
中江-高庙气田解防堵技术应用研究	董跃文	汤 成(337)			
中江-高庙气田 JS 气藏排水采气技术应用研究	王 倩	董耀文(342)			
川西地区钢丝作业配重精细计算及应用	陈 剑	王 宇(350)			
井温测井在气井生产开发中的应用	张洪凯	魏朝勇	陈 剑(356)		

地面工程篇

川西地区气田集输工艺优化与应用	杨锦林(367)				
川西气田集输管道积液原因与对策初探	罗昌元	杨锦林(377)			
CK1 井络合铁脱硫工艺应用优化	江 健	赵 凯	王雨生	杨功田	赵禹鑫(384)
湿式氧化还原法脱硫药剂试验研究	赵 凯	杨锦林	罗国仕(390)		
川西气田气质影响的主要因素及对策	杨筱壁	杨锦林	岳建伟(395)		
光伏发电技术在 XC 气田井站应用试验研究	颜凌宇(403)				
变频技术在高氯地层水综合利用站试验研究及应用 ...	江 健	秦祖奎	颜凌宇	牛德法(410)	
川西气田高氯根采气地层水综合利用技术 ...	牛德法	杜建明	李婷婷	兰继军	罗广祥(417)
油气田源头数据采集系统在川西气田的推广应用浅析	刘 磊(424)				
阀门传动机构拆装工具设计及应用	郭昌利	周贤文	邓远平(429)		
采气地层水处理母液量膜处理技术研究	张鹏飞	江楚天	秦祖奎	颜凌宇(434)	

气藏地质篇

新场气田须家河组二段气藏 高产气井储集模式浅析

王 旭

(中国石化西南油气分公司川西采气厂, 四川 德阳 618000)

摘 要: 新场气田须家河组二段气藏高产气井的主控因素是必须发育高孔渗储集体。烃源岩演化、砂岩成岩孔隙演化及历次构造运动三者有利因素的叠合共同作用下, 完全具有形成并保存高孔渗储集体的可能; 气井试井特征, 气井高产、稳产及累计产出大量流体等动态特点表明气藏确实存在高孔渗储集体。认为现天然气储集形式主要有三种, 即单一高孔渗储集体、与裂缝连通的高孔渗储集体、致密砂岩背景下发育的裂缝带, 前两种模式能获工业气流, 后者模式虽然发育普遍, 但难以获工业气流。据此, 建议以 X2 井为中心开展高产井区须家河组二段的精细三维地震施工, 研究高孔渗储集体采出大量流体前、后的地震变化特征, 建立识别高孔渗储集体的地震模型; 以此为基础, 重新对已有三维地震资料进行解释, 优选出天然气富集区。

关键词: 烃源岩 成岩作用 构造运动 高产工业气流 高孔渗储集体

1 引言

新场气田位于四川省德阳市行政区内, 纵向上发育多套气藏, 其中上三叠统须家河组二段气藏(后简称须二气藏)是唯一探明储量动用程度最低的气藏, 具有巨大的开发潜力, 值得继续思考与探索。须二气藏自 2000 年底 X851 井在局部构造五郎泉高点, 于井深 4823.20~4846.00m 获无阻流量 $151.40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以后, 掀起了一阵须二气藏的勘探开发热潮, 迄今为止, 已累计钻井 28 口。然而, 钻获具有真正工业价值的井仅有 X851、X856 和 X2 井, 绝大多数为低产气或产水井。随着所部署勘探开发井的“失利”, 对须二气藏的开发热潮逐步降至“冰点”——基本停止了勘探开发井位的部署工作。面对勘探开发井成功率较低这一严酷现实, 相关技术人员、专家及技术决策者, 由热情的期望转变为冷静的思考。

迄今为止, 新场气田勘探开发井的部署主要是基于“裂缝控制论”的思路进行论证、确定的。多数技术工作者或专家均认为须二气藏天然气富集区主要受裂缝控制, 找到裂缝发育带, 就找到天然气高产区^[1]; 须二气藏储层致密、物性差、天然裂缝发育, 属于典型的裂缝-孔隙型气藏^[2]; 须二气藏压力系数为 1.64, 属受构造控制的裂缝-孔隙型异常高压层状干气藏^[3]等等。基于裂缝的重要性, 广大学者围绕裂缝开展深入细致的研究工作: 建立

作者简介: 王旭, 高级工程师, 1984 年毕业于成都地质学院石油地质专业, 目前主要从事石油天然气地质开发研究工作。E-mail: 397393139@qq.com。

了裂缝地震预测模型,探索裂缝储层预测与描述方法^[4];用不同的测井方法分析裂缝发育状况^{[5][6]};对须二段露头剖面或取芯裂缝、测井所获裂缝的形成期次、成因及裂缝的几何形态、充填状况、方位、倾向、倾角等参数进行详细研究^{[7][8]};并试图用裂缝密度、裂缝条数、单位面积的裂缝长度、裂缝孔隙度作为产能预测的重要参数和指标,在裂缝各项参数与气井的产量大小之间建立相关关系^{[9][10]}。在这种“裂缝控制论”、“裂缝狂潮”的氛围影响下,无论是部署的开发井还是评价井均以“找裂缝”为目标,“找裂缝”成了找“天然气富集区”的代名词。甚至有的专家认为天然气是储集在须二段的下伏地层,是靠深部大断层将天然气输送到须二砂体产出的。但是,所部署的勘探开发井实钻证明,多数在裂缝发育带钻的井都未获工业气流,仅有少量井获高产工业气流。这一勘探开发结果可能揭示出这样一种逻辑关系:即裂缝只是控制天然气富集的因素之一,还有其他未知的与裂缝同样重要或更为重要的因素制约天然气的富集。本文基于这一可能,通过对须二气藏的静、动态资料的深入分析,探索高产气井的储集模式,试图为拓展须二气藏天然气富集控因研究及勘探开发工作部署思路,起到抛砖引玉的作用。

2 气藏基本特点

2.1 构造特征

新场须二构造奠基于印支中期,燕山期及喜山期受到明显改造,变形最强烈,在喜山期最终定型^[10]。在隆起带上发育一系列 NEE 向、SN 向局部构造,即新场、合兴场-高庙子、丰谷等构造。新场构造整体上为 NEE 向,具有南陡北缓、西高东低特征。须二构造是由 5 个 NE、SN、NEE 向高点组成的 NEE 向复式背斜。断层发育,普遍有挤压、走滑特征。横向上东部较西部断层发育,南翼较北翼发育,西部孝泉地区断层较少,基本未发育规模性断层。发育断层 60 余条,均为逆断层,走向多样,主要为近 SN、NE、EW 向,规模较大的断层主要为 SN 及 EW 向;断层倾角 20°~50°,一般 20°~30°;横向延伸 1.9~15.1km,一般 < 5.0km;纵向断距 20.0~70.0m,一般 < 50.0m。发育弧形断层是须二断层的特征之一,最西部的构造高点主控断层即为 SN 向转 NE 向的弧形断层,该断层延伸较长,达 15.1km,倾角较陡为 35°~45°,但纵向断距较小,一般 20.0~30.0m。X851、X856 和 X2 三口高产工业气流井均位于新场构造中西部,被近 SN 向的 F1、F2 主要断层所夹,并伴生发育多条小断层(图 1),有利于构造裂缝发育,对致密砂岩渗透性的改善及与周围储集体的沟通具有“先天优势”。

2.2 储层特征

2.2.1 岩相、岩性及成岩作用与孔隙演化特征

须二厚 584.00~738.00m,砂岩占地层厚度 50.00%~79.20%,具典型的“砂包泥”特征。自上而下依次分为 $T_{3X2}^1 \sim T_{3X2}^{14}$ 十四套砂组,砂体分布稳定。须二为三角洲前缘沉积,有利储层主要为河口坝、远砂坝及水下分流河道微相的中~细粒岩屑石英砂岩和岩屑砂岩。碎屑物成分以石英为主,平均 73.90%,岩屑含量平均 21.10%,长石含量平均 5.16%。填隙物含量平均 6.00%,总体上杂基含量不高,各砂组中砂岩填隙物最多的是 T_{3X2}^3 ,最少的是 T_{3X2}^4 。胶结物类型复杂,有方解石、石英、绿泥石等,砂岩呈孔隙-压结式胶结或压结式胶结。

须二砂岩经历的主要成岩作用有压实及压溶、胶结、溶蚀等作用,压实及压溶作用是破坏砂岩孔渗性的最重要因素。砂岩填隙物含量平均 6.00%,假定岩石初始孔隙度为

40.00%，以现今平均孔隙度普遍小于 4.00% 计算，则压实作用损失的孔隙度至少 30.00%，占损失储集空间的 75.00% 以上。砂岩之所以压实作用如此强烈，其主要原因是砂岩碎屑物成分岩屑含量较高，平均 21.10%，其中千枚岩、泥质岩屑抗压强度低，较易塑性变形，加之覆地层沉积较快、沉积厚度巨大，致使沉积物的易塑性变形碎屑发生严重变形占据原生孔隙，使岩石致密化。大部分地区由于压实作用太强致使沉积物孔隙内的水体迅速流动迁移；同时原生孔隙被变形的岩屑快速占据，两者同时作用使孔隙内残余水体变少、水体在孔隙内停留时间短、活动空间变小，难以发生大量的化学反应形成矿物沉淀。但是不排除局部区域早期水体长期占据原生孔隙，形成绿泥石等环边胶结，有效阻止压实作用的加剧，使大量原生孔隙得以保存，为后期溶蚀作用的发生创造了有利条件。

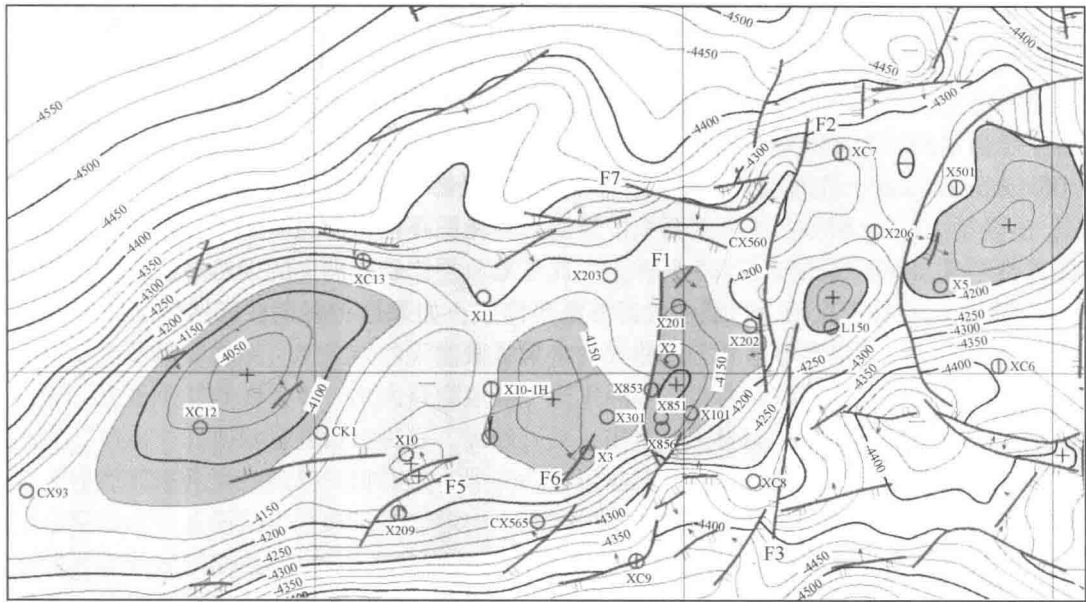


图 1 川西新场构造须家河组二段顶面构造图

溶蚀作用的发生必须同时具备三个最基本条件：其一有足够的空间供水体活动；其二水体活动的空间有适合水体的可溶物；其三有足够活跃的水体不断渗流带走溶解物。可见溶蚀作用较发育层段，必须是原生孔或构造裂隙较发育的部位。对于粒间溶孔而言，从形态上看貌似次生孔，而实际上它是由原生孔溶蚀发展而来的，目前没用任何技术方法能准确区别其中原生孔占多少，次生孔占多少。在做薄片、电子扫描显微镜分析时，常把溶蚀孔人为地夸大。因此好的储层段应是原生孔隙或裂隙发育、富含酸性水体易溶矿物、有大量水体运移通过的区域。后期的断层对砂岩孔渗性的进一步改造，使岩石孔渗性的非均质性变得更加多样化、复杂化。断层、裂缝对于改善须家河组砂岩孔渗性及与高孔渗带的沟通具有十分重要作用。

2.2.2 砂岩孔渗特征

须二砂岩孔隙类型主要包括原生孔、次生孔、微裂隙三种。前已述及次生孔隙是由原生孔溶蚀发展而来的，两者很难严格区别，从薄片分析面孔率看，现存孔隙多数具有被后期溶蚀改造的特征，占储集空间类型的 70.00% 以上，但这不等于次生孔有这么，只能说明多数原生孔均被溶蚀改造过，溶蚀作用具有一定普遍性；纯的原生孔占储集空间的 21.00%，微裂隙仅占储集空间的 1.00%~4.00%。砂岩孔径均值 2.00~80.00 μm 之间，其中孔径 2.00~

50.00 μm 的微孔~小孔占50.00%以上,以微孔为主,小孔次之。孔隙喉道普遍狭窄,以片状、弯片状为主。孔喉半径主要集中在0.01~0.42 μm 之间,均属微喉。从孔喉组合关系上看,砂岩主要以微孔~微喉、小孔~微喉为主。砂岩孔隙度分布范围为0.34%~12.28%,主要分布在1.50%~4.50%之间,平均3.17%,属特低孔隙储层。砂岩渗透率主要分布在0.02~0.08mD之间,普遍渗透性差,属典型的致密储层。由此可见,如果没有原生孔渗性的保存和裂缝对储层的改造,须二致密砂岩很难形成有效的储集体,天然气难以运移、聚集、成藏。

2.3 烃源岩演化

天然气烷烃碳同位素、天然气碳-氢同位素等最新研究成果表明,须二气藏的天然气主要表现为混源气特征;用烃源岩 R_0 与天然气 R_0 对比分析表明也具有下伏马鞍塘组、小塘子组须二及上覆须三烃源岩的特征。由此分析须二气层的天然气主要来自马鞍塘组、小塘子组、须二及须三烃源岩。以上烃源岩均达到过成熟—高成熟演化阶段,马鞍塘组和小塘子组烃源岩生烃强度 $(5.00\sim110.00)\times10^8\text{m}^3/\text{km}^2$,生烃量 $38.37\times10^{12}\text{m}^3$;须二生烃强度为 $(5.00\sim45.00)\times10^8\text{m}^3/\text{km}^2$,生烃量 $12.88\times10^{12}\text{m}^3$;须三烃源岩生烃强度 $(5.00\sim20.00)\times10^8\text{m}^3/\text{km}^2$,生烃量 $29.27\times10^{12}\text{m}^3$ ^[11]。主要生排烃期均为晚三叠世中~晚期和中~晚侏罗世两个时期,具备形成大中型气田气源丰度条件。由此可见,须二砂岩储集的天然气主要是晚三叠世中~晚期和中~晚侏罗世两个时期生成运移聚集而成,如果这一时期在天然气运移指向区域发育高孔渗性的砂体,则将有利于天然气的富集成藏。

3 高产气井储集体分析

3.1 发育富集天然气的高孔渗储集体

3.1.1 天然气成藏条件分析存在富集天然气高孔渗储集体的可能

在保存条件具备的情况下,烃源岩排烃期、储层孔渗保存期、构造运动改造期三者的匹配是决定成藏的关键。就新场气田须二成藏而言,须二砂岩既有优质的区域盖层,也有直接盖层;另外,随着成岩作用的加剧,多数区域的砂岩逐渐演变为极致密砂岩,对其相邻充满流体的高孔渗性砂岩具有有效的保护作用。因此,须二砂岩能否成藏主要是看在天然气排烃期是否发育高孔渗砂岩,高孔渗砂岩经构造改造后能否进一步使天然气相对聚集。

(1) 储层孔隙演化及烃源岩排烃期的有效匹配,有利于形成高孔渗储集体

对于新场须二砂岩而言,烃源岩具有两个排烃高峰期。马鞍塘组、小塘子组烃源岩第一个生排烃高峰期是晚三叠世中期,第二个高峰期为中~晚侏罗世;须二段及须三段烃源岩第一个生排烃高峰是晚三叠世中~晚期,第二个高峰期为中~晚侏罗世。生排烃高峰期只是相对而言,在两个高峰期之间肯定仍有不同数量的烃排出,因为生排烃是一个连续的过程。在生排烃过程中伴生的大量水体也相应排出,水体化学性质的变化及数量的变化对相邻砂岩的孔渗性的改造或破坏起到关键作用。

根据包裹体均一温度特征和通过同位素地质温度计得到的形成温度表明川西坳陷须家河组二砂岩碳酸盐胶结物的主要形成时期是自中侏罗世早期到晚侏罗世末期。存在较厚孔隙衬里自生绿泥石的须二砂岩能有效阻止后期压实作用的加剧,有利于原生孔隙的保存,在碳酸盐胶结物发生之前仍有大量的孔隙得以保存,可以及时地储集所生成的天然气。越来越多的地质实践证实,国内外很多沉积盆地埋藏过程中,在某些特定条件下,深埋藏(>3500m)砂

岩储层仍存在异常高孔渗性(孔隙度>20%、渗透率为 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)。形成深层高孔渗储集体主要有四种机理:早期烃类充注、颗粒包层(环边胶结)、异常流体高压的存在、发生溶蚀作用^[12]。从须二砂岩成岩作用、油气演化等分析,具备深层发育高孔渗性的地质条件。

综合以上分析,晚三叠世中~晚期到中~晚侏罗世烃岩源均有大量天然气生成、排出,而砂岩侏罗世早期~晚侏罗世末期仍有大量孔隙存在,以此分析,在之前的地质历史时期,砂岩孔渗性肯定更发育,砂岩完全具备储集天然气和相伴水体的地质条件。因此通过生、储时间匹配分析,不难得出这样的结论:哪些与烃源岩较近、原生孔隙发育、构造位置较有利的砂岩将优先聚集大量天然气或伴生的水体,对后期的压实作用起到抑制作用,有利于砂岩孔渗性的保存。这为后期须二段砂岩仍保留高孔渗区聚集天然气成藏奠定了坚实基础。

(2) 构造运动的多期性决定了须二砂岩具有多期聚集成藏特点

就须二砂岩天然气成藏而言,构造运动主要起到四方面的作用:其一,加速烃源岩所生天然气的运移、聚集至高孔渗区砂岩成藏;其二,改善已形成的原生气藏砂岩的孔渗性、扩大储气空间,进一步聚集天然气,形成天然气高富集区;其三,分割原生气藏成若干个各自独立的小气藏;其四破坏原生气藏,使天然气运移、聚集至新的储集层,形成次生气藏。不同时期的构造运动,因其运动特点不同而表现出对气藏改造结果的差异。

须二构造奠基于印支中晚期运动,该期新场-合兴场-丰谷大型隆起带初具雏形,形成SN、EW、NE等不同方向的断裂。这一时期马鞍塘组、小塘子组、须二及须三的烃源岩正是第一个生排烃高峰期,所生成的天然气及伴生水体沿断层纵向或侧向运移、聚集至高孔渗砂岩区,这是须二砂岩的第一次大规模运移、聚集成藏,该次天然气运移、聚集虽然规模可能不大,但这一时期砂岩孔渗性极好,天然气及伴生水体的早期充注,对抑制砂岩后期的致密化,保存其高孔渗性起到关键作用。印支晚幕运动使须二构造受到进一步改造,早期形成的部分断层进一步活动,并断达须四段中上部,但该期运动变形强度较早期弱,没有形成大的褶皱和新的规模断层。这一时期马鞍塘组、小塘子组、须二及须三的烃源岩仍处于第一个生排烃高峰期,由于没有形成新的规模断层,烃源岩所排天然气主要沿着继承性断层进一步运移、聚集至高孔渗砂岩区,除使须二砂岩天然气进一步聚集,扩大聚集天然气范围之外,部分天然气可能运移至须四段高孔渗砂岩中形成新的天然气聚集区。早中侏罗纪-白垩纪的燕山运动导致须二构造发生较明显褶皱,须二构造多个局部高点基本成形,同时在新场地区东部的罗江形成走向近NNE、NE向的断层。这一时期的燕山运动早幕,马鞍塘组、小塘子组、须家河组二段及三段的烃源岩正是第二个生排烃高峰期。该期所生成的天然气及伴生的水体运移主要有以下三个特点:其一天然气沿继承性断层或新断层运移、集聚至早期保存的高孔渗砂岩区,使天然气进一步富集成藏;其二这一时期,如果早期没有天然气或水体充填的须家河组二段砂岩已高度致密化,即使断层发育、位于构造高部位也不能形成天然气藏;其三早期天然气聚集区的天然气或二次排出的天然气沿新断层或继承性的断层运移至侏罗系高孔渗砂岩区形成次生气藏。喜山期构造运动致使须二构造变形更为剧烈,形成现今构造形态,但构造主要以塑性变形为主,亦形成部分规模较小的NE向断层。该构造运动由于未形成新的规模断层,对前期形成的气藏总体改变不大,很难形成新的次生气藏,主要表现为对前期所形成气藏的内部调整,随着构造形变的加剧,使天然气在原来的基础上进一步在有利构造部位聚集。

综上所述,须二成藏的最关键影响因素是印支中晚期须二砂岩中必须有天然气或伴生水体的聚集,它的作用是抑制后期压实作用的加剧,“维持”砂岩的高孔渗性,为后期天然气