



The Stimulation Techniques of
Tight Sandstone Gas Reservoirs
in West Sichuan Basin

川西致密砂岩气藏 增产技术

杨克明 王世泽 郭新江 任 山 刘 林 著



科学出版社

川西致密砂岩气藏增产技术

杨克明 王世泽 郭新江 任 山 刘 林 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了川西致密砂岩气藏储层工程地质特征、渗流特征和压裂伤害机理,低伤害压裂液体系,压裂优化设计技术,大型压裂、多层分层压裂、水平井分级分段压裂、超高压压裂等特色工艺,把“压得开、进得去、撑得起、出得来、排得尽、稳得住”的川西致密砂岩气藏储层改造技术精髓体现得淋漓尽致,理论与实践结合,可操作性强。

本书可供从事常规和非常规天然气勘探开发的科研人员、工程技术人员参考,也可作为石油院校师生的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

川西致密砂岩气藏增产技术 / 杨克明等著. —北京: 科学出版社, 2012
ISBN 978-7-03-034409-0

I. ①川… II. ①杨… III. ①致密砂岩-砂岩油气藏-增产-研究-川西地区
IV. ①TE343

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 116167 号

责任编辑: 朱海燕 韩 鹏 王 运 / 责任校对: 李 影

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012 年 6 月第一次印刷 印张: 15 1/2

字数: 360 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

序

致密砂岩气和煤层气、页岩气、泥火山气、水溶性天然气、天然气水合物一样，都属于开发技术难度大、开采成本高的非常规天然气。估计全球致密砂岩气资源为 $210 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，是常规天然气资源的 64%。随着世界能源需求的不断增加和常规石油天然气资源的日益减少，非常规油气资源的有效开发成为国内外共同关注的重大技术问题。自 20 世纪 70 年代以来，美国成功建立和发展了大型水力压裂技术，致密砂岩气藏的勘探开发得到快速的发展，并成为当前国内外油气开发的热点。

我国致密砂岩气资源丰富，主要集中在四川、鄂尔多斯、柴达木、松辽、渤海湾、塔里木及准噶尔等 10 余个盆地。对于如何有效地开发它们，我国已做了很多工作，并取得重大进展，虽然进步迅速，但整体勘探开发技术水平特别是增产技术水平和国外尚有较大差距。

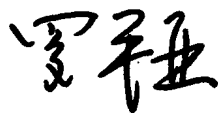
川西致密砂岩气藏是我国发现和开发最早的典型致密砂岩气藏，具有多物源、近物源、矿物结构成熟度低等沉积特征；具有非均质、泥质含量高、低孔渗、高毛管压力、高含水饱和度等储层特征；具有渗流规律不遵循达西定律、存在启动压力梯度、异常高压弹性能量小、产量和压力下降快、稳产期末产出程度低、气井自然产能低等特征，必须采取压裂增产措施投产才具备工业开采价值。

为高效开发川西致密砂岩气藏，该书作者研究建立了有效、适用的压裂系列配套技术：研制开发了低伤害压裂液、线性自生热泡沫压裂液、超低稠化剂压裂液和高温压裂液等低伤害压裂液体系，形成和完善了大型压裂工艺、多层分层压裂工艺、水平井分级分段压裂工艺、超高压压裂工艺等特色工艺和定向射孔、酸化、燃爆诱导压裂等高应力储层降低破裂压力预处理技术以及裂缝网络酸化解堵技术，应用效果显著，创造了多个全国压裂纪录和世界致密砂岩气藏压裂纪录。该研究具有很强的创新性和实用性，使川西致密砂岩气藏的有效开发成为我国压裂增产技术成功应用的范例：1995 年浅层

蓬莱镇组储层压裂增产首获突破，1998年中深层沙溪庙组储层压裂增产又获突破，2009年深层超深层须家河组储层压裂增产再获突破，成功建成包括新场气田在内的年产 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气的川西气田。

该书是作者对具有自主知识产权的成功开发川西致密砂岩气藏的压裂系列配套技术的系统总结，内容新颖，特色鲜明，具有较强的理论性和很高的实用价值。该书的出版不仅能丰富我国天然气开发技术，而且将对提高我国油气藏增产技术水平、缩短与国外致密砂岩气藏勘探开发先进技术的差距、推动我国非常规天然气的勘探开发事业起到良好的促进作用。

中国工程院院士



2012年2月6日

前 言

在四川盆地西部拗陷 5~6km 厚的上三叠统和侏罗系陆相碎屑岩沉积中,有两万亿 m^3 的天然气资源储存在浅层蓬莱镇组透镜状砂体、中深层沙溪庙组似层状砂岩、深层超深层须家河组层状或块状砂岩之中,构成了连片展布和纵向叠置的致密砂岩气藏群。川西致密砂岩气藏储集层有效渗透率低于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、孔隙度小于 15%,绝大部分储集层有效渗透率低于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、孔隙度小于 10%,是典型致密砂岩气藏。

川西致密砂岩气藏尽管天然气资源丰富,但是储量品位低,要实现有效益的勘探开发,难度很大。自从 1984 年川西致密砂岩气藏发现并投入开发以来,中国石化西南油气田的前身——地质矿产部西南石油地质局、即后来的中国新星石油公司西南石油局就致力于川西致密砂岩气藏勘探开发模式的创新和关键技术的突破,创立了立体勘探开发与滚动勘探开发相结合的川西致密砂岩气藏勘探开发模式;以优选建产区块为方向,形成了以转换波三维三分量地震勘探技术、致密砂岩气藏储层预测技术、精细气藏描述技术为主体的天然气高产富集带预测与评价技术;以降低成本、保护储层和加快建产为方向,形成了气体欠平衡、液体平衡钻水平井、丛式井组的安全优快钻井和储层保护技术;以提高单井产量和效益为方向,形成了多层压裂、水平井分段压裂为主体的水力压裂增产技术;以降低投资、节能增效为方向,形成了井下节流为主体的地面流程优化简化技术。建成了以新场气田为中心、年产 $30 \times 10^8 \text{m}^3$ 的川西天然气生产基地。

川西气田地质背景复杂,赋存的致密砂岩气藏工程地质特征、天然气渗流特征、水力压裂伤害机理特殊,对储层增产技术有“压得开、进得去、撑得起、出得来、排得尽、稳得住”的高要求。

近 30 年来,我们引进了大功率、大流量的压裂机组,研制了低伤害压裂液体系,优选了中、高密度支撑剂,从浅层、中深层的压裂到深层、超深层的压裂,从直井的压裂到斜井、水平井的压裂,从单层的压裂到多层的压裂,从笼统的压裂到分段的压裂,从单井的压裂到气藏区块整体开发压裂,从水力压裂方案优化设计到实时监测都取得了一系列的重大突破:1995 年浅层蓬莱镇组储层压裂增产技术首获突破,1998 年中深层沙溪庙组储层压裂增产技术又获突破,2009 年深层超深层须家河组储层压裂增产技术再获突破,形成和完善了大型透镜状、块状砂岩气藏大型压裂工艺和水平井分段压裂工艺,似层状、层

状砂岩气藏分层压裂工艺、深层超深层高应力块状砂岩气藏超高压压裂工艺等特色工艺技术，创造了多个致密砂岩气藏压裂纪录。

川西致密砂岩气藏的发现和成功开发，带动了苏里格、靖边、大牛地、合川、广安等一批大型致密砂岩气田的勘探开发，在全国掀起了致密砂岩气藏勘探开发的高潮，全国天然气探明储量和产量跨越式上升。截至 2008 年，我国致密砂岩气累计天然气探明储量占整个天然气探明储量的 63.6%，致密砂岩气产量占天然气总产量的 42.1%，致密砂岩气已成为我国天然气勘探开发的主要领域。

川西致密砂岩气藏的储层水力压裂增产技术的形成和发展推动了全国致密砂岩气藏水力压裂增产技术的进步，反过来后者又促进了川西致密砂岩气藏的储层水力压裂增产技术的不断完善。为感谢长期关注川西致密砂岩气藏勘探开发的业界人士，特别是让从事致密砂岩气、页岩气、煤层气等非常规天然气勘探开发的科技工作者分享川西致密砂岩气藏增产技术创新成果、共同推动我国致密砂岩勘探开发事业的不断发展，我们编写了《川西致密砂岩气藏增产技术》。

本书前言由杨克明、郭新江执笔；第一章由杨克明、郭新江执笔；第二章由王世泽、任山执笔；第三章由任山、王世泽执笔；第四章由郭新江、刘林执笔；第五章由刘林、郭新江执笔；全书由郭新江、任山、刘林统稿，杨克明、王世泽审定。此外，对本书作出贡献的还有蒋小红、胡永章、王兴文、张国东、黄禹忠、何红梅、黄小军、慈建发、马飞、李永明。

本书在编写过程中，得到了中国石化西南油气分公司和西南石油局、中国石油西南油气田分公司、西南石油大学等单位的领导、专家和工程技术人员的大力支持和帮助，在此一并感谢。同时由于川西致密砂岩气藏赋存的地质条件的复杂性以及压裂增产技术应用的局限性，川西致密砂岩气藏增产技术应用中还有不少难题有待进一步探索，希望能通过本书与相关同行专家进行交流，以进一步发展、完善川西致密砂岩气藏增产理论、方法和技术。由于作者水平有限，书中难免有不足之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

序

前言

第一章 川西致密砂岩气藏特征与增产关键技术	1
第一节 工程地质背景和特征	1
一、工程地质背景	1
二、工程地质特征	6
第二节 渗流特征	13
一、产气率、产水率与含气饱和度、含水饱和度关系	13
二、岩心应力敏感特性	15
三、近井地层水锁效应	19
四、启动压力梯度及可流动含水饱和度测试	25
第三节 压裂伤害机理及其实验分析	27
一、伤害机理定量模拟	27
二、压裂液固体物伤害	28
三、压裂液水锁伤害	30
四、压裂液返排伤害实验分析	34
五、压裂优化设计伤害机理实验分析	35
第四节 储层改造难点与增产关键技术	36
一、致密砂岩气藏储层改造难点	36
二、致密砂岩储层增产关键技术	39
第二章 压裂优化设计	42
第一节 低伤害压裂优化设计	42
一、低伤害压裂基本理论	42
二、压裂材料的选择原则	43
三、压裂方案的优化	43
第二节 测试压裂与压裂设计	45
一、测试压裂技术	45
二、压裂施工设计	48
第三章 低伤害压裂材料	53
第一节 压裂液	53
一、压裂液概述	53

二、压裂液添加剂	57
三、压裂液优化技术	62
四、低伤害压裂液体系	66
第二节 支撑剂	82
一、支撑剂类型	82
二、支撑剂物理性能	83
三、支撑剂导流能力	86
四、支撑剂优选	89
第四章 浅层、中深层侏罗系储层压裂工艺	92
第一节 大型压裂技术	92
一、大型压裂的必要性与可行性	92
二、大型压裂工艺	93
三、应用效果	96
第二节 多层压裂技术	100
一、多层分层压裂必要性和可行性	100
二、多层分层压裂工艺	101
三、应用效果	120
第三节 斜井压裂技术	124
一、斜井压裂的特点	124
二、斜井压裂工艺	130
三、应用效果	134
第四节 水平井压裂技术	135
一、水平井压裂的必要性	135
二、水平井压裂裂缝优化	137
三、水平井分段压裂工艺	140
四、水平井压裂工艺配套技术	146
五、应用效果	148
第五节 高效返排配套工艺	151
一、高效返排措施	151
二、应用效果	163
第五章 深层、超深层须家河组储层改造工艺	167
第一节 高破裂压力储层改造工艺	167
一、地应力剖面分析及破裂压力预测	167
二、异常高破裂压力成因及对策	174
三、高应力储层复合改造工艺	188
第二节 超高压大型加砂压裂工艺	208
一、超高压压裂井口装置与压裂设备	208
二、超高压压裂关键技术	211

三、超高压压裂技术关键	215
四、超高压压裂应用实例	217
第三节 网络裂缝酸化工艺	221
一、大型网络裂缝酸压工艺适用条件	221
二、大型网络裂缝酸压酸液体系研究	222
三、大型网络裂缝酸压应用实例	229
参考文献	234

第一章 川西致密砂岩气藏特征与增产关键技术

川西气田地质背景复杂，赋存的浅层蓬莱镇组透镜状近致密砂岩气藏、中深层沙溪庙组似层状致密砂岩气藏、深层超深层须家河组层状块状超致密砂岩气藏的工程地质特征、天然气渗流特征、水力压裂伤害机理特殊，对储层增产技术有“压得开、进得去、撑得起、出得来、排得尽、稳得住”的高要求，需要采用低伤害压裂液体系和大型压裂工艺、多层分层压裂工艺、水平井分段压裂工艺、超高压压裂工艺等增产关键技术，才能实现川西致密砂岩气藏的规模勘探开发。

第一节 工程地质背景和特征

一、工程地质背景

川西拗陷是四川盆地西部晚三叠世以来形成的前陆盆地，北接西秦岭褶皱带，西以龙门山断裂带为界，南接峨眉、瓦山断块，东与川中隆起平缓相接。主要经历了印支、燕山、喜马拉雅三大构造运动的作用，在构造应力的作用下，特别受西侧龙门山推覆带的影响，形成了众多的压性、压剪性断裂。川西拗陷划分为三个构造带，即龙门山前陆冲断带、川西前陆拗陷带、龙泉山前陆隆起带。由于这三大构造运动对该区的作用强烈程度、方向不同，形成了一系列不同方向和规模的逆断层，特别是延伸较长、规模较大、对区域构造具有控制作用的大断裂。整个中、新生代，在区域上升的背景下，川西拗陷一直是四川盆地中相对明显的沉降部分：上三叠统在地台上为退覆沉积；侏罗系为河、湖相；白垩系与古近系既见巨厚的风成砂体，也有含盐沉积；第四系主要为冲积-洪积砂砾层；现今地表为白垩系、古近系、新近系和第四系覆盖。

川西拗陷陆相地层经历早印支运动、安县运动、晚印支运动、燕山运动、喜马拉雅运动、新构造运动等多次构造运动，发生了早期圈闭规模成藏、盆地定型圈闭规模成藏、构造复合破裂运移次生成藏、SN向断裂破坏油藏四次成藏变化，具有上三叠统须家河组(T_3x)五段与下侏罗统(J_1)角度不整合界面、千佛崖组(J_2q)与沙溪庙组(J_2x+J_2s)角度不整合界面、遂宁组(J_3sn)与蓬莱镇组(J_3p)平行不整合界面、蓬莱镇组与剑门关组(K_1j)平行不整合界面等九个运动界面，以及中上三叠统、中下侏罗统-上侏罗统遂宁组、上侏罗统蓬莱镇组-白垩系、新近系-第四系四个构造层，地质背景复杂(郭正吾, 1996; 郭新江等, 2012)(图 1.1、表 1.1)。

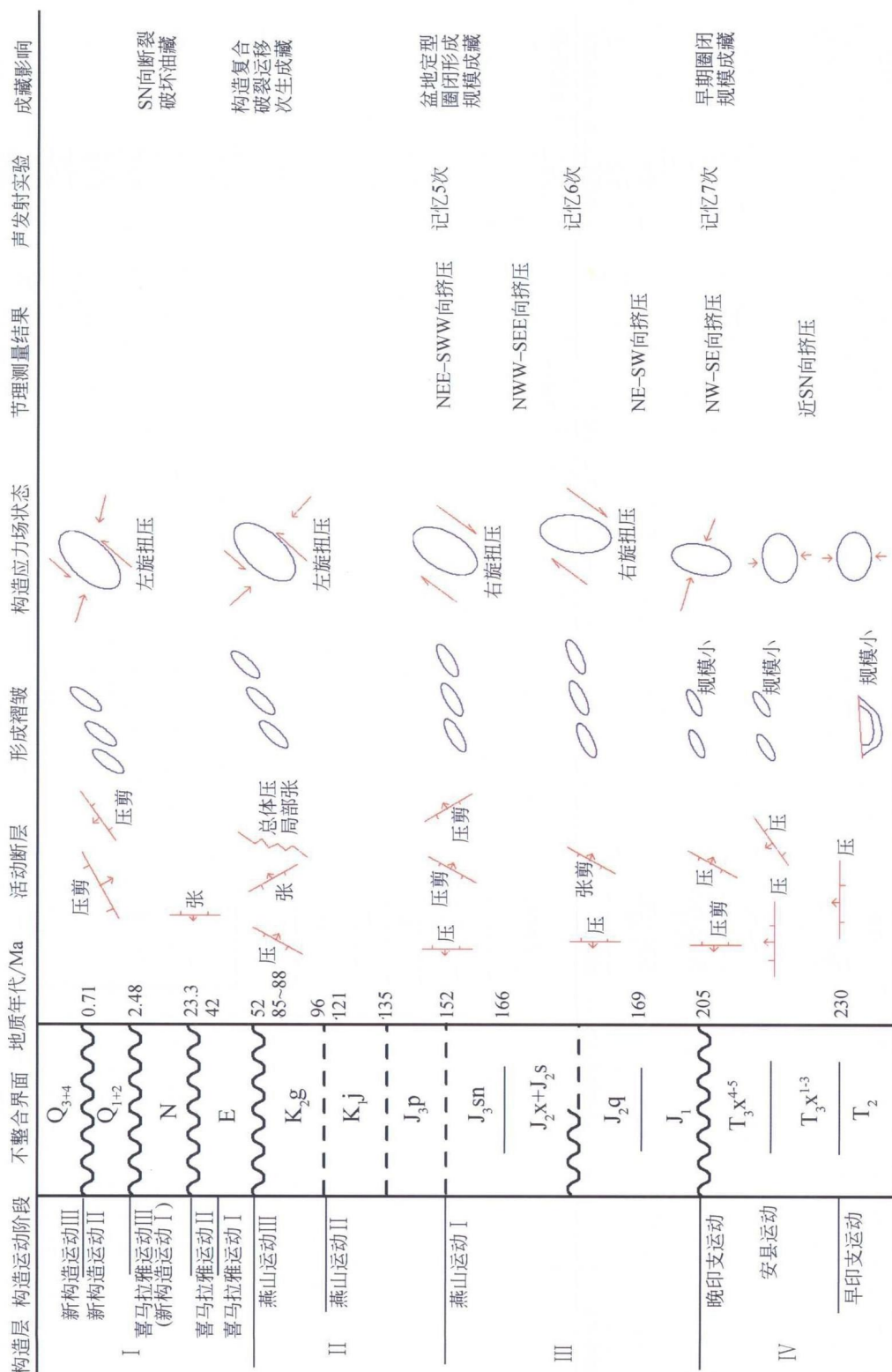


图1.1 川西拗陷陆相碎屑岩地层工程地质背景

表 1.1 川西工程地质特征参数统计表

气藏		蓬萊鎮組			遂寧組		沙溪廟組	千佛崖組	須家河組		
气田/含气构造	合兴场	新场	洛带	马井	新都	洛带	新都	新场	新场	新场	大邑
埋深/m	500~1000	300~1500	400~1450	1000~2050	900~1700	1500~1800	1700~2000	2000~2700	2600~2900	3200~4000	4500~5800
发育砂层数	9	25	19	29	19	6	7	10	/	10	12
储层岩性	细砂岩	中-细砂岩、粉砂岩	细砂岩	细砂岩	细砂岩	细砂岩、粗粉砂岩	细砂岩、粉砂岩为主	中-细砂岩	中-细砂岩或砾岩	中砂岩、钙屑砂岩、砂砾岩	中-细砂岩
	孔隙度/%	$\frac{8 \sim 13}{10}$	$\frac{6 \sim 16}{11.2}$	$\frac{1.13 \sim 19.4}{10.51}$	$\frac{5 \sim 14}{10.45}$	$\frac{2.18 \sim 7.87}{4.74}$	$\frac{1.64 \sim 9.28}{4.56}$	$\frac{0.77 \sim 17.07}{9.03}$	$\frac{3.13}{0.046}$	$\frac{0.47 \sim 12.71}{<6.2}$	$\frac{2 \sim 4}{3.36}$
	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	$\frac{0.1 \sim 45}{11.3}$	$\frac{0.08 \sim 20}{2.0}$	$\frac{0.02 \sim 19.2}{1.08}$	$\frac{0.1 \sim 7}{0.95}$	$\frac{0.001 \sim 0.08}{0.001 \sim 0.08}$	$\frac{0.002 \sim 1.22}{0.11}$	$\frac{0.011 \sim 0.844}{0.16}$	(有裂缝可达 50~200)	$\frac{0.001 \sim 0.1}{<0.1}$	$\frac{0.002 \sim 4.3}{<0.064}$
储层分类	中-低孔、常规-近常规储层										
储集类型	孔裂隙型为主,少量裂缝-孔裂隙										
含量/% 高岭石/% 绿泥石/% 伊利石/% 蒙脱石/% 伊利石-蒙脱石/%	含量/%	7.12	少~2	1~4	少~4	1.9~7.3	少~3	3~5	/	少量	少量
	高岭石/%	无	无	0~16.8	无	无	无	0~26.49	/	少量	少量
	绿泥石/%	53.13	15.6	10.68	20.4	36~38	31.5~40.0	29.02~90.3	/	13~72	12~40
	伊利石/%	46.88	29.6	35.36	37.8	62~64	54.5~71.5	9.7~47.69	/	28~53	60~88
	蒙脱石/%	无	无	41.3	41.8	无	无	无	/	无	无
	伊利石-蒙脱石/%	无	53	无	无	无	个别含少量	0~10.17	/	无	无
敏感性 速敏性 酸敏性 盐敏性 应力敏感性	敏感性	中	弱-中	中	/	无-弱	中	中	强	弱-中	中-中偏强
	速敏性	中	中-强	弱-中偏弱	强	无-弱	中	强	中-强	中-强	强
	酸敏性	弱	弱-中	无-弱	/	弱	弱-中	无-弱	中	中偏强(盐水)	中偏强-强
	盐敏性	较强	Jp1:强 Jp2:弱-中	弱-中偏强	/	无	无	强	中-强	无-弱	极强
	盐敏性	弱	/	无	强	无-中	/	中	/	弱-中偏弱	/
	应力敏感性	/	弱-中	/	/	/	弱-中	/	强	中	强

续表

气藏		蓬莱镇组				遂宁组		沙溪庙组	千佛崖组	须家河组		
气田/含气构造	合兴场	新场	洛带	马井	新都	洛带	新都	新场	新场	新场 (须二段)	新场 (须四段)	大邑 (须三、须二段)
地层 水特 征												
水型	/	Na_2SO_4 型为主, NaHSO_4 、 CaCl_2 次之	CaCl_2 为主, MgCl_2 、 Na_2SO_4	CaCl_2 型	CaCl_2 型	Na_2SO_4 型 为主, NaHSO_4 、 CaCl_2 次之	/	CaCl_2 型为主, NaHCO_3 少量	CaCl_2 型为 主, NaHCO_3 少量	CaCl_2 型	CaCl_2 型	CaCl_2 型
矿化度/(g/L)	/	0.1~28.7	24.9~44.7	10.7~64.0	49.2~53.9	19.8	/	25.2	41.9	52.3~85.8	0.2~115.5	30.9~96.2
储层温度/℃	/	28~50	35~45	41~57	33~43	47~52	57~60	60~75	60~85	85~110	120~140	110~123
温度梯度 /(℃/100m)	/	1.9~2.23	2.13	1.96~2.11	2.11	2.06~2.31	2.18	2.03~2.37	2.03~2.80	2.16~2.30	2.22~2.44	2.07~2.24
气藏类型	无水气藏											
抗张强度 /MPa	/	砂岩: 2.14~8.36	砂岩:2~6	砂岩:3~9	/	/	/	砂岩:1.7~7.34	/	砂岩:2~10	砂岩:8~10	砂岩:1.02~ 7.53
抗压强度 /MPa	/	砂岩:55~ 156(模拟地 层条件测定)	砂岩:17~58 泥岩:90~110 粉砂:30~92 (单轴抗压 测定)	砂岩:75~153 (模拟地层 条件测定)	/	/	砂岩:256 (模拟地层 条件测定)	砂岩:114~329 泥岩:61~219 (模拟地层条件 测定)	/	砂岩:108~392 泥岩:100~300 (模拟地层条件测定)	砂岩:176~575 泥岩:64~248 (饱和水模拟 条件测定)	
岩石 力学 参数 特征	/	砂岩:10~29 (10~30MPa 围压下定)	砂岩:2.6~ 5.5(单轴 抗压测定)	砂岩:12.69 (模拟地层 条件测定)	/	/	砂岩:10~25 (单轴) 砂岩:32(10~ 30MPa围压 下定)	砂岩:26~53 泥岩:18~49 (10~30MPa 围压下定)	/	砂岩:14~70(10~120MPa围 压下定)	粉砂岩:20~50(10~30MPa围 压下定)	砂岩:20~50 泥岩:23~40 (饱和水模拟 地层条件测 定)
泊松比	/	砂岩:0.14~ 0.38(10~ 30MPa围压 下定)	/	0.23~0.31	/	/	砂岩:0.12~ 0.25(10~ 30MPa围压 下定)	砂岩:0.12~ 0.44(10~ 30MPa围压 下定)	/	砂岩:0.20~0.33 (地层条件下测定)	砂岩:0.17~ 0.40 泥岩:0.20~ 0.33(饱和水 模拟地层条件 测定)	

续表

气藏		蓬莱镇组				遂宁组		沙溪庙组		千佛崖组		须家河组		
气田/含气构造		合兴场	新场	洛带	马井	新都	洛带	新都	新场	新场	新场	新场	新场	大邑
岩石力学参数特征	内聚力/MPa	/	砂岩:10~22	/	13~33(计算)	/	/	/	砂岩:7~32	/	砂岩:20~49	砂岩:10~26 砂岩:41~45		
	内摩擦角/(°)	/	砂岩:35~44	/	26~33(计算)	/	/	/	砂岩:16~24	/	砂岩:17~43	砂岩:41~45		
	地应力状态	$\sigma_{\text{最大}} > \sigma_{\text{垂}} > \sigma_{\text{最小}}$												
地应力特征	地应力梯度/(MPa/100m)	/	$\sigma_{\text{最大}}: 1.80 \sim 4.20$ $\sigma_{\text{垂}}: 2.45 \pm$ $\sigma_{\text{最小}}: 1.60 \sim 2.60$	/	$\sigma_{\text{最大}}: 2.55 \sim 4.61$ $\sigma_{\text{垂}}: 2.45 \pm$ $\sigma_{\text{最小}}: 2.03 \sim 2.89$	/	/	/	$\sigma_{\text{最大}}: 2.2 \sim 4.0$ $\sigma_{\text{垂}}: 2.45 \pm$ $\sigma_{\text{最小}}: 1.75 \sim 2.5$	/	$\sigma_{\text{最大}}: 2.50 \sim 3.7$ $\sigma_{\text{垂}}: 2.45 \pm$ $\sigma_{\text{最小}}: 1.70 \sim 2.3$	$\sigma_{\text{最小}}: 1.7 \sim 1.9$ $\sigma_{\text{最大}}: 2.4 \sim 2.8$ $\sigma_{\text{垂}}: 2.4 \sim 2.5$ $\sigma_{\text{最大}}$ 与 $\sigma_{\text{垂}}$ 接近		
	现今最大水平主应力方向	/	SE130°	SE95°~105°	SE100°~120°	SE110°	/	/	SE120°~150°	/	EW	须三段:NE78° 须二段:ES144°		
地层孔隙、坍塌、破裂压力特征		$P_{\text{坍塌}} < P_{\text{孔隙}} \leq P_{\text{破裂}}$												
岩石硬度及可钻性	压入硬度均值/MPa	368.03		496.93		486.39		727.31		1054.08		2001.35		
	塑性系数均值	2.10		1.87		1.90		1.66		1.51		1.07		
	可钻性级值均值	4.06		4.49		4.47		5.21		6.11		8.62		

二、工程地质特征

(一) 含气地质特征复杂多样

1. 满盆富砂、满拗含气、气田连片分布

四川盆地满盆富砂、川西拗陷满拗含气、川西拗陷中段气田连片分布,目前已发现了新场、马井、洛带、新都、东泰、合兴场、孝泉等大、中、小型气田以及大邑、丰谷等含气构造(图 1.2)。

2. 纵向含气层位多、深度跨度大

川西气田纵向含气层位多、深度跨度大(图 1.3)。以新场气田为例,自上而下在下白垩统剑门关组,侏罗系蓬莱镇组、遂宁组、沙溪庙组、千佛崖组、白田坝组,上三叠统须家河组等 7 个层位 50 余套砂组均有天然气分布;主力气藏为浅层蓬莱镇组气藏、中深层沙溪庙组气藏、深层须家河组气藏,埋深从 200m 到 5300m,跨度可达 5100m。各砂层纵向呈串珠状叠置,平面上呈块状或带状展布,具备优越的立体开发条件。

3. 纵向储层物性差异大、横向非均质性强

储层岩性以中-细砂岩为主,粗粉砂岩、砾岩次之。纵向储层物性存在由浅往深呈常规—近致密—致密—极致密的变化趋势。白垩系、蓬莱镇组属中-低孔、常规—近常规储层,孔隙度平均大于 10%、渗透率平均大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;遂宁组、沙溪庙组、千佛崖组、须四段上部储层属中-特低孔、近致密—致密储层,孔隙度一般为 5%~10%、渗透率一般为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;须四下亚段储层、须二段储层属特低孔、致密—超致密储层,孔隙度一般为 2%~4%、渗透率为 $0.001 \times 10^{-3} \sim 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。由于成岩作用及沉积微相的差异,储层物性横向非均性强,平面上存在相对高渗带不均匀分布的特征。

4. 储集类型多样

储集类型既有孔隙型储层,也有裂缝型储层;同时还有裂缝-孔隙型储层和孔隙-裂缝型储层。以新场气田为例,中浅层以孔隙型储层为主,裂缝-孔隙型储层次之,少数为裂缝型储层;深层须四段气藏以孔隙型为主,裂缝型和裂缝-孔隙型次之;超深层须二段气藏以裂缝-孔隙型为主,裂缝型和孔隙型次之。

5. 纵横向储层敏感性特征存在差异

碱敏性:洛带气田蓬莱镇组、遂宁组及新场气田须四、须二段表现为无一弱一中,合兴场气田、马井气田蓬莱镇组、新都气田遂宁组、新场气田沙溪庙组表现为中等,新场气田蓬莱镇组、千佛崖组和大邑构造须三、须二段表现为中—强。

水敏性:马井气田蓬莱镇组、洛带气田遂宁组、新场气田须二段表现为无一弱一中偏弱,其余气田(含气构造)层位表现为中—强。

速敏性:蓬莱镇组、遂宁组、沙溪庙组及新场气田须二段均表现为无一弱一中,新场气田千佛崖组、须四段及大邑构造须三、须二段表现为中—强。

酸敏性:洛带、新都气田遂宁组和新场气田须四、须二段表现为无一弱,马井、洛带气田蓬莱镇组表现为弱—中偏强,合兴场、新场气田蓬莱镇组、新场气田沙溪庙组、千佛崖组及大邑构造须三、须二段表现为中—极强。

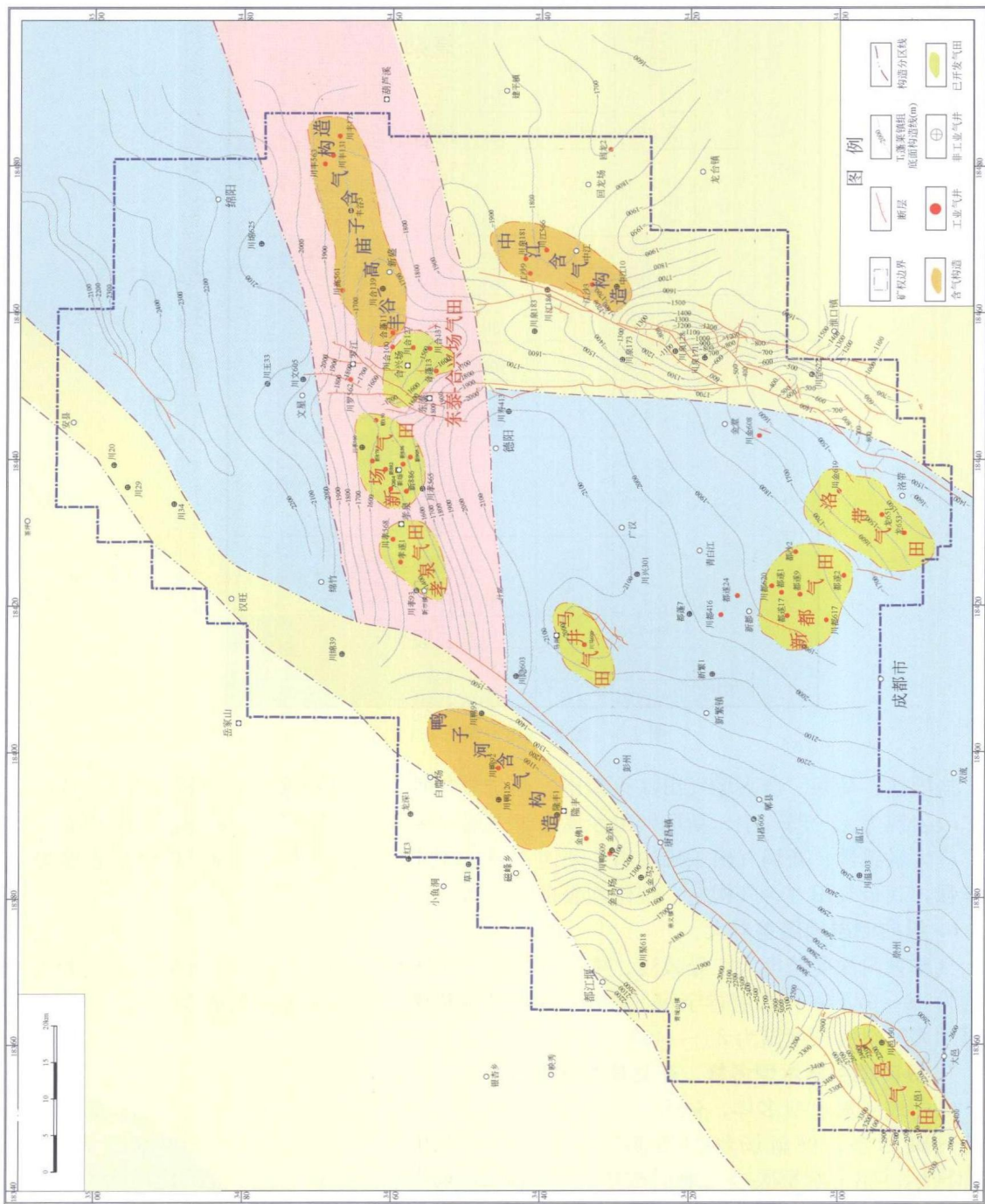


图1.2 川西气田分布情况