



川西深层致密砂岩气藏联150井

CHUANXI SHENCENG ZHIMI SHAYAN QIZANG LIAN 150 JING

储层保护技术的理论与实践

CHUCENG BAOHU JISHU DE LILUN YU SHIJIAN

柏毅 李伟 余福林 编著



四川出版集团 · 四川科学技术出版社

川西深层致密砂岩气藏联 150 井
储层保护技术的理论与实践

柏毅 李伟 余福林 编著

四川出版集团·四川科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

川西深层致密砂岩气藏联 150 井储层保护技术的理论与实践/柏毅 李伟编著. -成都:四川科学技术出版社,2009.2
ISBN 978 - 7 - 5364 - 6722 - 4

I. 川… II. ①柏… ②李… III. 砂岩油气田 - 储集层 - 保护 - 研究 - 川西地区 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 205290 号

川西深层致密砂岩气藏联 150 井 储层保护技术的理论与实践

编 著 柏 毅 李 伟 余福林
责任编辑 冯建平 王 丁
封面设计 漆 珂
责任出版 周红君
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 × 146mm
印张 9.5 字数 230 千
印 刷 成都市辰生印务有限责任公司
版 次 2009 年 2 月成都第一版
印 次 2009 年 2 月成都第一次印刷
定 价 22.00 元

ISBN 978 - 7 - 5364 - 6722 - 4

■ 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

前 言

新场构造位于四川盆地西部坳陷中段,前人对川西坳陷构造发育史分析表明,在该构造带上分布的、与构造带呈斜交的一系列北东向局部构造(孝泉、新场、罗江、丰谷构造)为燕山、印支期形成,其形成时间早于油气运移的高峰期,非常有利于油气的聚集,加之该构造带紧临彭州-德阳大向斜厚大的烃源岩,油气资源丰富,再加上保存条件较好,成藏条件优越,使之成为油气有利构造。

新场气田地表出露地层为新生界第四系,钻遇的地层层序自上而下为第四系、白垩系、侏罗系与三叠系,最深层位钻至三叠系须家河组须二段。三叠系须家河组是最重要的勘探目标。其中,须四段、须二段均可划分为三个亚段。

针对须家河组须二气藏的勘探评价工作陷入徘徊,中石化西南分公司运用多种方法系统分析总结了须家河组致密、超致密领域发育相对优质储层的成因机理,发现了须二段在整体超致密背景下仍发育多套分布非均质性强的裂缝-孔隙型与部分孔隙发育较好的储层。在此基础上,根据相对优质储层与沉积微相、砂体厚度、构造等的关系,预测了含气性较好的须二段2套砂体中相对优质储层的分布特征;进一步表明新场须家河组不仅普遍具有优越烃源岩、盖层条件,也同样具备形成大中型气田的良好储层条件。须家河组勘探不能只局限于裂缝型气藏,而应该重视分布范围更广、储量规模更大的孔隙型、裂缝-孔隙型储层气藏的勘探。

在深化成藏规律认识的同时,加强储层保护系统工程的攻关力度,对于加快新场地区深层须家河组勘探步伐,部署了联150井,并进行了成功的钻探与开发,联150井的重大突破,开辟了新场气田新格局,对努力实现储量领域接替,力争将新场气田建设成

特大型气田具有战略意义。

遵循中石化西南分公司领导要求,应对联 150 井工作进行全面总结,为今后的工作积累经验。作为这个总结的众多专题之一,首先讨论储层保护技术的理论与实践,期望在储层保护技术方面有规律可循。

科学研究和生产实践表明油气储集层在钻井、完井、采油等各个工艺环节中都可能受到不同程度的污染和损害。为了保护储层不受损害,必须全面认识储集层的性质和特征,联系各工艺环节,研究储集层受到损害的因素和可能受到的损害程度,寻找减少或避免油气层损害的技术措施和工艺。保护油气层技术就是围绕油气层的损害机理与保护措施这一主线,在科学研究和工艺实验的基础上逐渐形成和发展起来的油气田勘探开发的关键技术,这也是及时发现油气田的重要保证。

在工程上要科学地实施储层保护技术的系统工程,我们应首先知道地层孔隙压力、破裂压力,为钻完井设计与实施、射孔和投产设计与实施提供支撑。

目 录

1 探井储层保护系统工程方法	1
1.1 国内外油气层保护技术发展情况	1
1.1.1 国内发展情况	1
1.1.2 国外发展情况	2
1.2 川西须家河深层气藏勘探目标分析	4
1.2.1 油气成藏条件	4
1.2.2 勘探目标	5
1.2.3 三叠系须家河组地层特征	5
1.3 储层岩性、物性、敏感性预测技术	14
1.3.1 岩性预测技术	14
1.3.2 物性、敏感性预测技术	19
1.3.3 裂缝及裂缝宽度预测技术	29
1.3.4 联 150 井岩性预测	35
1.4 (裂缝性)致密砂岩储层潜在损害分析及保护措施	37
1.4.1 (裂缝性)致密砂岩储层损害机理	37
1.4.2 (裂缝性)致密砂岩气藏保护技术分析	45
1.5 储层保护系统工程	50
1.5.1 储层损害源系统	51
1.5.2 储层保护系统	52
2 川西须家河组深层砂岩气藏储层损害评价实验研究	55
2.1 川西须家河深层砂岩气藏储层损害机理	55
2.1.1 裂缝性气藏物理化学损害机理	56

2.1.2	钻井液对裂缝性气藏储层损害机理	57
2.2	川西须家河深层砂岩气藏储层损害评价方法	66
2.2.1	室内评价方法	66
2.2.2	矿场评价方法	68
2.3	须家河深层砂岩气藏敏感性分析评价	74
2.3.1	储层敏感性实验分析原理	74
2.3.2	须家河深层砂岩气藏敏感性评价结果	84
3	探井保护储层的工作液技术	96
3.1	探井保护储层的钻井液配方及评价	96
3.1.1	适于保护裂缝性气藏的高效暂堵剂的筛选及评价	96
3.1.2	保护气藏的钻井完井液配方筛选及评价	104
3.1.3	保护气藏钻井完井液体系	105
3.1.4	钻井液添加剂及体系室内定量荧光评价新方法	106
3.2	探井保护储层的压井液配方及评价	108
3.2.1	川西地区压井液伤害机理分析	108
3.2.2	川西须家河组储层压井液体系配方研究	114
3.2.3	保护储集层射孔液的评价	121
3.3	探井保护储层的压裂液配方及评价	122
3.3.1	保护储集层的压裂液配方	122
3.3.2	保护储集层压裂液的室内评价	126
3.4	联 150 井工作液应用	130
3.4.1	钻井完井液现场试验情况	130
3.4.2	压井液现场试验情况	133
4	探井地层孔隙压力及破裂压力钻前预测技术	135
4.1	利用地震资料预测地层孔隙压力和破裂压力	135
4.1.1	地震资料预测地层孔隙压力的原理	135
4.1.2	求解地层层速度	135
4.1.3	异常压力成因分析	140

目 录

4.1.4	地层孔隙压力预测	143
4.1.5	地层破裂压力预测	144
4.2	利用地质统计学方法预测地层孔隙压力	145
4.2.1	利用声波测井资料建立地层孔隙压力剖面	145
4.2.2	地层压力综合数据库的建立	147
4.2.3	压力系统划分	148
4.2.4	压力预测的地质统计建模	148
4.3	联 150 井地层压力梯度破裂压力钻前预测	154
5	保护储层的钻完井技术	155
5.1	低渗透致密砂岩气藏潜在损害问题及对策	155
5.2	川西须家河深层砂岩气藏完井方法选择	159
5.2.1	完井方法分类	160
5.2.2	两类完井方法的特点	160
5.2.3	完井方法的选择	164
5.2.4	联 150 井完井方式的选择	165
5.3	联 150 井钻完井工程地质设计	166
5.3.1	川西新场构造须家河组二段气藏特征	166
5.3.2	联 150 井钻井目的	168
5.3.3	基础数据	168
5.3.4	钻遇地层、油气层、地压梯度预测及故障提示	169
5.3.5	综合录井	173
5.3.6	低渗透致密砂岩钻井中的油气层保护措施	175
5.4	联 150 井井身结构设计	176
5.4.1	深井的井身结构设计原则	176
5.4.2	川西致密砂岩气藏井身结构对钻速的影响	176
5.4.3	井身结构设计因素	177
5.4.4	联 150 井井身结构设计	182
5.5	联 150 井井控与固井工程设计	185

5.5.1	井控与溢流	185
5.5.2	联 150 井井控设计	189
5.5.3	固井过程的储集层保护	190
5.5.4	联 150 井固井工程设计要求	192
5.5.5	表层套管固井设计	196
5.5.6	技术套管固井设计	199
5.5.7	生产套管固井设计	202
5.6	联 150 井钻井泥浆设计	205
5.6.1	钻井液对储层的伤害机理	205
5.6.2	储层伤害室内评价方法	207
5.6.3	联 150 井钻井液选择	211
6	探井保护储层的射孔与投产技术	214
6.1	气藏射孔优化设计技术	214
6.1.1	射孔对产层的损害机理	214
6.1.2	射孔参数对气藏产能的影响	217
6.1.3	射孔条件对产能的影响	220
6.1.4	射孔参数优化设计	222
6.1.5	联 150 井射孔工艺技术	227
6.2	须家河深层砂岩气藏储层改造方案	229
6.2.1	压裂	229
6.2.2	川西深层须家河组气藏压裂改造难点及对策	239
6.2.3	酸化	242
6.2.4	联 150 井改造	248
6.3	气井生产管柱优化设计	250
6.3.1	油管	250
6.3.2	生产套管	254
6.3.3	封隔器及配套工具	262
6.3.4	联 150 井管柱结构	265

目 录

6.4 气井生产工作制度	267
6.4.1 限制气井产量因素	267
6.4.2 低渗透气藏气井产能评价	270
6.4.3 低渗透砂岩气藏气井配产方法	272
6.4.4 联 150 井产能及配产	275
7 联 150 井实施效果评价	276
7.1 钻井井身质量评价	276
7.2 钻井工程评价	279
7.3 固井质量及固井对地层伤害程度评价	280
7.4 储层伤害的矿场评价	285
7.4.1 表皮系数法评价油气层伤害程度	286
7.4.2 产率比法	288
7.4.3 联 150 井实测表皮系数与产率比	290
参考文献	291

1 探井储层保护系统工程方法

1.1 国内外油气层保护技术发展情况

1.1.1 国内发展情况

我国保护储层技术发展大概分为三个阶段。

1. 发展起步阶段

我国石油工作者早在 20 世纪 50 年代就注意到了储集层的损害问题,川中会战时,就提出过钻井液密度不宜过高,以免压死油气层。60 年代的大庆会战中,为减少对近井地带的油气层损害,对钻开油气层钻井液密度和虑失量也提出了严格的要求。70 年代初长庆油田进行了岩芯分析,但受仪器和技术条件的限制,进一步深入研究遇到了困难。

2. 奠定基础阶段(1986 ~1995 年)

20 世纪 80 年代,在引进国外保护油气层技术的基础上,我国才全面开展了保护油气层的研究工作,并在“七五”期间将“保护油气层防止污染的钻井、完井技术”列为国家重点攻关项目,原石油工业部组织 5 个油田和 5 个院所共同攻关,涉及地质、钻井、完井、采油、开发、井下作业等多部门。攻关取得的成果整体达到了 20 世纪 80 年代末国际先进水平。

“八五”期间,是对攻关成果进行总结和推广应用阶段。在此期间,编著了具有影响的多本专著和教材,创建了储层保护工程、现代完井工程学科;建立了多个油气层保护实验室,培养了一批专业技术人才;发展了钻井完井储层保护技术,形成了有特色的屏蔽暂堵配套技术系列;形成了储层敏感性及其评价方法和标准,研究了敏感性损害因素,发展了矿场损害评价技术;启动了注水和超正压射孔 EOR 过程储层损害防止技术的研究,标志着储层保护从钻井完井为主逐步过渡、扩展到开发生产技术中的注水和 EOR 领域。这些成果为以后储层保护技术的发展奠定了坚实的基础。

3. 跨越式发展阶段(1996 年至今)

“九五”以来,我国开创了储层保护的新局面,已形成自己的特色和优势,具体有:(1)探井保护油气层技术。此技术是中石油“九五”科技工程项目,主要有探井岩性、物性、敏感性、地层孔隙压力、破裂压力钻前预测技术;随钻监测技术;裂缝性油气藏损害机理及屏蔽暂堵保护技术和探井油气层保护射孔与矿场评价技术。(2)欠平衡钻井储层保护技术。包括流体体系及性能;设备及工艺设计;随钻油气层识别及试井油气藏工程参数评价。为低渗透、致密油气藏的开发注入了新的活力。(3)裂缝性致密砂岩气层保护技术。通过项目攻关,形成了原地裂缝宽度预测与评价技术;裂缝性储层敏感性及其评价方法;裂缝屏蔽暂堵数学和物理模型;裂缝性储层优化射孔技术等。(4)增产改造储层保护技术。(5)开发生产及 EOR 储层保护技术。包括开发生产及注水储层保护技术;稠油热采开发储层保护技术;化学驱过程储层保护技术。

1.1.2 国外发展情况

国外储层保护技术起步发展比较早,主要有三个阶段。

1.20 世纪 70 年代前的起步阶段

早在 20 世纪 30 年代,油气层损害问题就引起美国等一些产油大国石油公司的注意。从 50 年代开始进行了油层损害机理的研究,但 50 年代到 70 年代的 20 年时间里,研究工作进展很慢,主要是关于黏土水化膨胀和钻井液中固相及液相侵入引起的油气层损害。此阶段提出了储层保护的一些概念。到了 70 年代保护油气层防止污染的钻井、完井技术有较快的发展,这段时间发表了很多保护油气层及油气层损害机理方面的研究文章,对在静态条件下钻井液侵入岩芯引起的孔隙堵塞进行了研究,通过对黏土膨胀和孔隙堵塞的研究,提出了新型的黏土稳定剂和含盐完井液及油基完井液。从此油气层损害机理的研究开始向深度和广度发展。

2.20 世纪 80 年代为发展阶段

以油气层损害机理,特别是孔隙性油气层的损害机理研究为主要特征。开始运用物理模型和数学模型来研究地层损害,提出了流体临界流速准则、临界盐浓度准则;“桥堵”概念得以确定;动态模拟装置不断完善;不同类型的增粘剂,降滤失剂和黏土稳定剂得以开发;提出了气体型钻井液、完井液。射孔参数对产能影响的电模拟和数值模拟方法日趋成熟、强调了储层孔喉结构和敏感性矿物空间分布等潜在因素的重要性,提出了损害储层的 10 项指标。微粒运移,乳状液/水锁堵塞、润湿反转及结垢等问题引起足够重视。

3.20 世纪 90 年代为钻完井中的储层保护深入发展和开发过程中的储层保护技术得以建立的新阶段

随着岩芯分析和计算机技术的发展,X 衍射荧光分析技术、CT 扫描技术、核磁共振和岩相图像分析技术为油气层保护技术的

发展提供了许多新的机遇,孔隙性储层的损害机理得以强化,多数指标实现了从定性到定量的突破。综合各种模拟特征参数,系统地、科学地预测、评价孔隙性储层损害的人工智能专家系统技术日趋成熟。在此期间,水平井的油层保护、增产措施中的储层保护、注采过程中的储层保护、稠油热采中的储层保护得以重视,储层保护技术的外延不断扩大。

1.2 川西须家河深层气藏勘探目标分析

1.2.1 油气成藏条件

“孝泉-新场-合兴场”地区上三叠统(T_3x)成藏条件优越,该区邻近上三叠统生烃坳陷中心,生烃条件良好,烃源丰富,天然气资源量巨大。须家河组碎屑岩储集砂体发育,储集条件较好,印支期、燕山期该区均处于隆起带较高部位,是长期油气运移聚集的指向带。新场地区新 851 井在上三叠统钻遇多套油气显示,并在须二段(T_3x^2)获重大油气突破,天然气无阻流量 $151.4077 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。展示了该区上三叠统近源气藏的勘探远景。同期形成的上三叠统正向构造与印支、燕山期时的生烃高峰期适时配套,有利于油气成藏。该区上三叠统气藏(孝泉、新场、合兴场)的勘探实践表明,印支-燕山期形成的古构造圈闭是形成该区上三叠统气藏的基础,经后期构造的改造调整以及裂缝系统的有效改善,最终成为构造-裂缝型气藏。利用三维地震资料进行剥层和层位拉平方法进行的古构造分析表明, X851 井区和川孝 162 井区均可能存在印支晚期时的潜覆构造高点,燕山中晚期该构造高点进一步加强,喜山期并没有改变其总体形态,与须家河组生烃高峰期配套,有利于油气的早期聚集,该区是一个受印支晚期古隆起控制,并经燕山、喜山多期构造叠加

复合的继承性隆起部位,分析认为这类古今构造叠合圈闭是形成须二气藏有效圈闭的最有利区域。联 150 井正处于有效圈闭区域内。

1.2.2 勘探目标

“孝泉-新场-合兴场”为 NEE 向构造隆起带,是一良好油气富集带,具有较好的勘探开发前景,其潜在的经济价值非常巨大,新 851 井在须家河组地层中获得巨大突破。树立了加快深部领域勘探步伐的信心。为保证气田立体勘探开发的需要,实施“深备产”油气开发战略,在现有气藏开发基础上加大深部领域的勘探评价力度,寻找并发现新的气藏,增加天然气资源储备,把“孝泉-新场-合兴场地区”培育、建成为特大型气田为目标,主要包括须二段(T_3x^2)含油气性勘探评价和勘探评价 T_3x^3 、 T_3x^4 、 T_3x^5 ,进一步开拓深层天然气资源储备。

1.2.3 三叠系须家河组地层特征

川西上三叠统沉积是前陆盆地发展过程中,浅海、海陆交互并向陆相过渡中沉积形成的。纵向上,三、五段为湖相沉积,为黑色页岩、碳质页岩、薄煤层与灰色、深灰色砂岩、粉砂岩互层,须二、须四段为大套三角洲体系的块状砂岩。勘探实践表明,须二段、须四段为区内上三叠统主要储集层。须三、五段内较厚的中粒岩屑砂岩亦具有一定储集性能。

下面主要介绍储集层须二段和须四段的储层特征。

1. 须二段地层特征

(1) 局部构造

孝泉-新场-合兴场三维连片构造图(图 1-1)表明,该构造整体上表现为 NEE 向构造,向西、向东以低鞍的形式分别与鸭子河、罗江构造相隔。纵向上孝泉-新场地区深、浅层构造具有一定

的相似性,同时也存在明显差异。相似性表现在都为 *NE* 或 *NEE* 向构造,差异性则表现在从深至浅,构造轴向由深层的 *NE* 向构造逐渐转变为浅层的 *NEE* 向构造。孝泉 - 新场连片构造形态上 T_5^1 反射层(须二段顶)发育有多个不同走向、不同大小的高点,这些高点组合构造一个大型复式背斜。

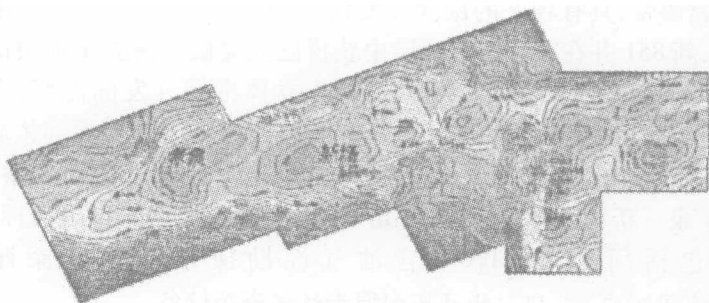


图 1-1 孝泉 - 新场 - 合兴场 T_5^1 反射层(须二段顶)构造

(2) 断裂展布特征

区内断裂发育程度及规模在浅中层、深层存在较大差异。在深层,尤其 T_5^1 反射层,断裂较为发育,主要分别于中、东部,其走向主要呈近 *NNE* 和 *NW* 两组方向,延伸长度多在 2 ~ 4 km,断距多为 20 ~ 45 km,深部多断至 T_6 ,向上多未断到 T_5^2 反射层。

表 1-1 新场 T_5^1 反射层(须二段顶)局部构造要素表

构造及高点名称	高点埋 深海拔 (m)	闭合 幅度 (m)	闭合 面积 (km^2)	长轴 (km)	短轴 (km)	轴向	闭合 类型	评价
新场 七郎庙高点	-4113	62	21.47	6.36	4.2	近 <i>EW</i>	背斜	可靠
五郎泉高点	-4121	72	7.1	3.98	1.14	近 <i>SN</i>	断背斜	可靠
联 150 井高点	-4189	11	0.79	1.08	0.86	近 <i>EW</i>	背斜	可靠
川孝 560 高点	-4169	31	2.73	2.92	1.14	近 <i>SN</i>	背斜	可靠

(3) 裂缝发育特征

钻探成果表明,须二段气层是否高产,裂缝发挥着至关重要的作用,裂缝不仅改善了储层的储集条件,而且提供了天然气流动通道。高产井储层裂缝发育主要表现为:钻屑中自形、半自形晶次生矿物较多、钻井过程中憋跳钻、岩芯裂缝发育、声波跳波等。

统计资料表明,储层裂缝以低角度裂缝为主,其发育密度大致是高角度裂缝的10倍,这两类缝出现的频率超过90%。主要包括:构造裂缝和非构造裂缝。裂缝产出形式多种多样,如垂直、斜交、网状、水平等,其中垂直、斜交、网状裂缝的发育程度与单井天然气产能有非常密切的关系。

(4) 储层特征

已有的勘探成果表明,川西须家河二段为致密砂岩气藏。储层段的岩石类型、天然气聚集的成岩作用,是控制须二段气藏发育的主控因素;裂缝的发育情况决定气井是否高产。

① 储层岩性特征

须二储层岩性类型主要为灰色厚层至块状物——细粒岩屑砂岩、岩屑石英砂岩、长石岩屑石英砂岩(图1-2、图1-3),胶结物以碳酸盐、二氧化硅胶结物为主,分选性一般较好,颗粒以次圆状—次菱角状为主,在川西坳陷的不同地区,砂岩岩石学特征具有一定的差异,且储层非均质性明显。

储集性能较好的储层具有以下特征:

- a. 碎屑粒度粗,碎屑分选好;
- b. 与差储层相比,长石含量高、岩屑低。岩屑一般由大于20%减少到6%~12%,且岩屑成分明显表现为碳酸盐岩岩屑较少或无,刚性岩屑明显增加;
- c. 胶结物中,自生石英含量增加,出现了绿泥石薄膜;
- d. 胶结类型以压溶压实作用的压嵌式胶结为主。

储集性能差的储层具有以下特征:

岩石类型主要为钙屑砂岩、富岩屑砂岩;胶结物类型很多,有