

# 辽河油田欧15井深层煤层甲烷气开发试验

许卫<sup>1,2</sup> 黄勇<sup>1</sup>

(1.西南石油学院 2.中国石油辽河油田分公司钻采工艺研究院)

许卫等.辽河油田欧15井深层煤层甲烷气开发试验.天然气工业,2005;25(7):75~77

**摘要** 辽河油田欧15井煤层甲烷气开发试验主要进行了入井液体的配伍性实验、施工前期准备、压前压后作业、压前压后井温测试、微型测试压裂、大型加砂压裂施工、泵抽排液测气等工序施工,压裂增产见到了一定效果。该井压前基本不产气,压后数月可稳定在日产气量 $100\text{ m}^3$ 左右。实践表明,欧15井大型加砂压裂,从施工设计、压裂液选择、支撑剂选择、现场施工是非常成功的,为深层煤层压裂提供了很好的技术实例。文章还介绍了欧15井在煤层甲烷气开采试验方面取得的成功经验和认识。

**关键词** 辽河油田 煤层气 开采 水力压裂 实验

## 一、概述

辽河油田煤层甲烷气开发试验井—欧15井,位于辽河盆地东部凹陷中段欧利坨子构造。该井煤层埋深在2100 m左右,对这类煤层进行加砂压裂,在国内外尚没有相关文献报道。因而,为了搞好压裂设计,曾查阅了大量资料,并向有关专家进行咨询。同时为了取得有关压裂参数,还专门进行了微型测试压裂,取得的成果为正式加砂压裂设计提供了可靠的依据。辽河油田欧利坨子欧15井煤层甲烷气开发试验,主要进行了入井液体的配伍性实验,施工前期准备,压前压后作业,压前压后井温测试,微型测试压裂,大型加砂压裂施工,泵抽排液测气等工序施工。

欧15井压裂增产见到了一定效果。该井压前基本不产气,压后数月可稳定在日产气量 $100\text{ m}^3$ 左右。

实践表明,欧15井大型加砂压裂,从施工设计,压裂液选择,支撑剂,现场施工是非常成功的,为深层煤层压裂提供了很好的技术实例。

## 二、煤层地质特征及研究

根据该区18口已钻探井资料的研究,煤层主要发育在 $E_{s1}$ 底部100~150 m地层中,沿北东向展布,不受欧利坨子局部构造控制。煤层分布在东西宽1~2 km(欧10~欧24井),南北长约10 km(欧

19~欧5井)的范围内。

煤层累计厚度大于30 m,单层厚度最大为10 km,最小为1 m。15口井统计煤层平均厚度为22.8 m,煤层平均埋深2000~2800 m,控制煤层面积约 $10\text{ km}^2$ ,计算其控制储量为 $3.35\times 10^8\text{ t}$ ,煤层甲烷气储量约 $26.3\times 10^8\text{ m}^3$ 。

据欧24井煤样分析结果表明,平均孔隙度4.25%(最大6.4%,最小2.0%),吨煤甲烷气含量为 $7.855\text{ m}^3$ ,煤品属于中—低灰份,中发势量,低硫,低磷,长焰煤。

## 三、试验项目的主要内容及成果

### 1. 煤层压裂液研究和性能评价

针对欧15井煤层特点,研制的一种新型压裂液MC—3型压裂液。

用FAN—35型粘度计所测结果如下:①粘度为 $5.4\sim 7.9\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ;②流态指数为0.8301;③稠油系数为 $0.01298\text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ ;④滤失量为 $19\text{ mL}/30\text{ min}$ (油压滤失仪测定);⑤表面张力为 $23.3\text{ mN}/\text{m}$ ;⑥水不溶物含量为0.48%。

MC—3型压裂液经总公司压裂酸化中心多功能流动回路实验装置测试,主要参数如下:①流态指数为0.955;②稠油系数为 $0.0111595\text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ 。

MC—3型压裂液在室内评价的基础上,通过在测试压裂和大型压裂施工的实际测算,以及返排过程中的检测分析,表明MC—3型压裂液具有摩阻

**作者简介:**许卫,1966年生,高级工程师,在读博士研究生;1986年毕业于西南石油学院;现从事油层压裂改造,煤层气开采及新工艺,特殊工艺研究。地址:(124010)辽宁省盘锦市兴隆台区。电话:(0427)7801036。E-mail:frac2003@163.com

低,易返排,对煤层伤害小等特点。

### 2.单相注入压降试井施工

求取地下煤层渗透率的主要方法是采取单相注入压降试井测试。为了保证施工资料的录取质量,压力记录系统采用地面直读电子压力计和井下存储式电子压力计两者同时测试相互配合进行。测试资料运用 WTI、SSI 及 SUPER-WTIS 软件进行分析计算。

测试资料的分析与评价方法如下。

(1)从双对数导数图、叠加图及霍纳图的特征分析,压降曲线未进入径向流段,但在较长的井筒储集阶段井筒储集有变化。井筒储集系数  $1.19 \sim 1.36 \text{ m}^3/\text{MPa}$ ,早期数据计算结果  $6.35 \text{ m}^3/\text{MPa}$ ,因而表明该煤层微裂缝发育。

(2)用叠加法、霍纳及双对数分析方法计算的表皮系数为负值,从  $-2.77 \sim -3.96$ 。这与国内外煤层注水压降测试所得结论一致。表皮系数为负值,可能与下列因素有关:①高压注水导致部分微裂缝连通;②多层效应;③双重介质(孔隙+微裂缝)。

(3)通过计算,煤层渗透率为  $(1.12 \sim 1.88) \times 10^{-4} \mu\text{m}^2$ ,表明该煤层属低渗透层,所求得渗透率为煤层注活性水时的有效渗透率。

### 3.微型测试压裂施工

通过微型测试压裂资料的分析计算,获得了许多重要的压裂参数,计算结果见表 1 所示。

表 1 微型测试压裂压裂参数计算结果表

参 数	数 值
压裂液综合滤失系统 (m/ $\sqrt{\text{min}}$ )	$2.28 \times 10^{-3}$
压裂液效率 (%)	41
平均动态缝宽 (mm)	15.2
动态裂缝半长 (m)	27
裂缝闭合时间 (min)	20.4
煤层闭合压力 (MPa)	46.4
煤层破裂压力 (MPa)	52.0
最大水平主应力 (MPa)	96.28
最小水平主应力 (MPa)	52.41
垂向应力 (MPa)	30.1
最大剪切应力 (MPa)	21.9
煤层破裂延伸系数 (MPa/m)	0.0248

根据表 1 计算结果,得出如下结论。

(1)由于煤层的杨氏模量比砂岩小一个数量级,因而导致计算出的平均动态缝宽较大,本次计算的  $W=15.2 \text{ mm}$  与美国 Amcco com-pang 在煤层中

进行多次 Nolte-Sminth 计算  $W$  值均在  $15 \sim 17 \text{ mm}$  之间的规律相符。

(2)压裂滤失系数较大,表明煤层中割理较为发育。

(3)由于滤失较大,裂缝闭合时间较短,在  $20 \text{ min}$  左右。

(4)煤层破裂压力较高,达  $52.0 \text{ MPa}$ 。

(5)煤层闭合压力大。

(6)煤层中形成的裂缝形态裂缝形态较为复杂,可能是 T 型裂缝或垂直斜交裂缝。

### 4.大型加砂压裂

欧 15 井煤层井段:2113.3~2069.9 m,对煤层埋深在  $2100 \text{ m}$  左右的井,该井施工最高压力达  $65 \text{ MPa}$ ,加支撑剂  $17.5 \text{ m}^3$ 。实践表明,欧 15 井大型加砂压裂,从施工设计、压裂液和支撑剂选择、现场施工是非常成功的,为深层煤层压裂提供了很好的技术实例。

### 5.裂缝高度测试

根据测得压前压后井温曲线,裂缝基本在煤层射孔井段内延伸。

### 6.压后排液测气

压后排液测气产能对比见表 2。

从上表产能对比资料看,欧 15 井压裂增产见到了一定效果,压前基本不产气,压后数月可稳定在日产气量  $100 \text{ m}^3$  左右。

## 四、结论和建设

(1)这次欧 15 井煤层深层大型压裂工艺是成功的。

(2)压后排液测气工艺合理,井筒液面已降到煤层井段,大部分煤层已经裸露。排液期间,回声仪检测最深动液面已达  $2093 \text{ m}$ ,全部煤层厚度  $24.1 \text{ m}$  中已有  $17.6 \text{ m}$  裸露,无水柱回压。由此认为,排液工作虽未能裸露全部煤层,采用油管抽油机排液,套管求产的工艺基本取得了没有负压条件下的产层最大产能。

(3)欧 15 井煤层的渗透性差。有效渗透率计算小于  $0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,在影响煤层气开发试验效果的诸多因素中,初步认为渗透率低,是欧 15 井煤层甲烷气低产的主要原因之一。

(4)欧 15 井煤层压裂井段经试油证实为干层。而根据国外有关资料,在影响煤层甲烷采出的诸多因素中,地层水是重要因素之一。大多数煤层甲烷气分布在被含水层包围的煤层中,含水层的静水压

头控制甲烷气的解吸作用,地层水从井中排出时,会引起压力下降和天然气释放,然后气体穿过煤向外扩散,直至进入煤层内壁理(裂缝)再进入井筒。由此可以看出欧15井煤层井段产能低,很可能与干煤层有很大关系。

(5)分析表明,高闭合压力、低压、低渗的干性煤层,不可能彻底排液,产气量也将因之受影响。

(6)欧15井作为一口深层的煤层甲烷气试验井,为今后此项工作的开展提供了一定的成功经验和可供借鉴的认识,具有重要的指导意义。

(7)单相注入压降试井和微型测试压裂,是求取

煤层渗透率和有关压裂参数的有效方法之一。

(8)欧15井是当前国内外对埋深超过2000 m煤层进行大型加砂压裂试验的井,压裂后煤层气产量有明显提高,取得了一定的效果,说明压裂是成功的。

(9)外围中生代盆地,绝大多数为煤油共生的小型裂谷盆地,且煤层埋藏较浅(一般在1000 m以内),具有丰富的煤层气资源。建议加速外围中生代盆地的煤层气开始试验,选1~2口井开展开发试验工作以期能有所突破,为煤层气的开发做出新的贡献。

表2 压后排液测气产能对比表

阶段	求产方式	液面深度及产液量	日产气量及变化情况	累计排液及产气量(m <sup>3</sup> )
压裂前	地层测试	液面 1977 m,日产液 1.07 m <sup>3</sup>	基本不产气	少量
压裂后	一级泵降液面套管测气生产	动液面降到最深为 2093 m,一般在 2000 m 左右	1.一级泵抽排 1 个月,产气量 125~100 m <sup>3</sup> /d; 2.关套管 30 d 后,套压升到 7.9 MPa,初产达 14194 m <sup>3</sup> /d,用 3 mm 油嘴生产 2 个月,稳定在 150 m <sup>3</sup> /d	液:258.36 m <sup>3</sup> 气:15295 m <sup>3</sup>

### 参 考 文 献

- 张新民,张遂安等.中国的煤层甲烷.陕西西安:陕西科学技术出版社,1991
- 王鸿勋编著.水力压裂原理.北京:石油工业出版社,1987
- 宋岩,张新民,柳少波.中国煤层气基础研究和勘探开发技术新进展.天然气工业,2005;25(1):1~7
- Dugan T A,Williams B L.History of gas produced from coal seams in the san juan basin.In:Fassett J E eds.Geology and Coal-bed Methane Resources of the Northern San Juan Basin,Colorado and New Mexico,Rocky Mountain Association of Geologists,1988:1-10
- Rogers R E.Coalbed Methane:Principles and practice.Prentice Hall,1994:345
- Zuber M D,Boyer C M.Comparative analysis of coalbed methane production trends and variability—impact on exploration and production.Proceedings of the 2001 International Coalbed Methane Symposium,Tuscaloosa,Alabama,2001;(5):245-256
- 苏现波,宁超,华四良.煤层气储层中的流体压裂裂隙.天然气工业,2005;25(1):127~129

(收稿日期 2005-05-16 编辑 韩晓渝)