

文章编号:1001-1986(2006)06-0063-02

# 井地电位成像技术在煤层气水力压裂缝探测中的应用

武子玉

(吉林大学地球信息探测仪器教育部重点实验室,吉林 长春 130061)

**摘要:**利用井地电位测量技术取得了北票煤矿煤层气探测区 M1 井水力压裂缝前后储层的电位数据。通过反演成像方法对实测电位数据进行了处理,得到了水力压裂缝分布的几何参数。显示了井地电位测量技术探测水力压裂缝的良好应用前景。

**关键词:**井地电位测量;成像技术;煤层气;水力压裂

**中图分类号:**P631 **文献标识码:**A

## Application of the borehole-to surface electric potential image technique to monitoring hydraulic fractures of coalbed methane

WU Zi-yu

(Key Lab. of Geo-Exploration and Instrumentation (Jilin University), Ministry of Education, Changchun 130061, China)

**Abstract:** The borehole-to surface electric measurement image technique is applied in the monitoring hydraulic fractures of coalbed methane in Beipiao Coal Mine. The distribution of the electric potential is measured before and after the injection of the high mineral conduct electricity liquid, the distribution of specific resistance in the injective layer is calculated after the dealing with the data and inversion calculation, thus the pattern of hydraulic fracture is pointed out. The applicability of this technique to formation is discussed.

**Key words:** borehole-to surface electric measurement; image technique; coalbed methane; hydraulic fracture

### 1 引言

水力压裂是改造煤层气藏的重要手段之一。利用水力压裂技术,在煤储层中建立一条有效支撑裂缝,可有效地扩大泄气面积,增加两相渗流区,提高煤层气单井产量。目前在水力压裂技术中,缺少直接测量水力压裂缝几何参数及导流能力等重要参数的手段,影响了分析压裂成败的原因及进一步提高水力压裂缝效果的途径。本文尝试利用井-地电位方法和技术,在北票煤矿进行了探测煤层气水力压裂缝几何参数的试验。

### 2 试验井概况

北票试验井(M1)为煤层气参数井兼开发试验井,井深 1 380 m,完钻于侏罗系下统北票组下含煤段。射孔井段在 1 269 ~ 1 282 m,射孔厚度为 13 m,射孔数为 208 孔。

### 3 探测原理及工作方法

#### 3.1 探测原理

井-地电位方法是利用水力压裂前后储层电阻

率的变化,探测水力压裂缝的几何参数。在一般压裂液配方中,粘土稳定剂是氯化钾,前置液配方(1.0%滤饼溶解剂+1.0%降粘剂+1.0%氯化钾)、基液配方(0.35%羟丙基胍胶+0.2%DL-6(D-50)助排剂+1.0%氯化钾+0.1%Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+0.1%甲醛)都含有一定比例的氯化钾。氯化钾溶液是高导电的电解质物质。压裂施工中,压裂液相对地层为良导体,压裂液沿裂缝进入储层,从而改变了储层的电阻率分布。压裂后通过套管向地层供电,电流在良导体压裂液的引导下进入裂缝区域,在地层中形成一个场源。由于压裂液的存在使原电场的分布形态发生了变化,即大部分电流集中到充满压裂液的低阻带,引起地表观测电场的变化。不同形态的水力压裂缝形成不同的场源,表现不同形态的大地电场分布。采用高精度电位观测系统,观测压裂前后地面电场的变化,经过数据处理,可得到裂缝的几何参数。

#### 3.2 工作方法

利用M1井的套管作为发射电流源,距发射井 1 100 m 以外的地表电极作为回流电极,采用放射状观测系统,测线间距 20°。观测点距 50 m,每条测线上布置 9 个测点,以供电电流井为圆心,在地表采集

收稿日期:2005-12-05

作者简介:武子玉(1957—),男,黑龙江望奎人,吉林大学副教授,工学博士,从事地球探测技术教学及研究。

了 M1 井周围 0.63 km<sup>2</sup> 范围内,水力压裂前后的野外实测电位数据。

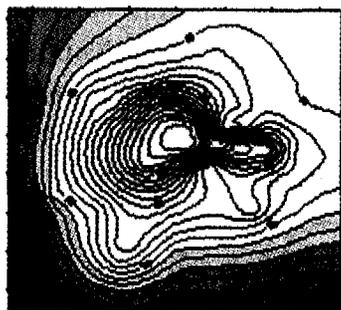
野外采用正反向供电,频率为 1 Hz 方波,供电电流为 10 A。

#### 4 电位测量结果及数据反演成像<sup>[1-2]</sup>

M1 井压裂前后电位分布见图 1。利用位场分离技术,反演计算了供电电流在套管上的分布,在实测电位中剥离出了套管漏电电流产生的电位。供电电位数据经过套管漏电流校正和干扰波消除后,以观测中心为坐标原点,对压裂层位进行剖分,水力压裂层位电阻率反演成像结果见图 2(剖分范围  $X_{min} = -300$  m,  $X_{max} = 300$  m,  $Y_{min} = -300$  m,  $Y_{max} = 300$  m; X 方向点距  $DX = 2$  m, Y 方向点距  $DY = 2$  m; 剖分点数  $301 \times 301 = 90\ 601$  个)。



(a)



(b)

图 1 M1 井压裂前后电位分布图

Fig. 1 Distribution of electric potential measured before and after fracturing in Well No. 1

a——压裂前电位分布图; b——压裂后电位分布图

#### 5 结果与讨论

图 2 中 M1 井周围灰白色线内部分是压裂后储层电阻率变化的区域。通过对反演成像结果分析,推断 M1 井水力压裂结果如下:

a. M1 井水力压裂缝复杂,形状类似于 T 型复合裂缝。

b. 水平裂缝部分边缘不规则,在形状上近似



图 2 M1 井水力压裂缝反演成像图(+ M1 井位)

Fig. 2 Image by inversion of fractures in Well No. 1

于椭圆形,长约 210 m,宽 95 m,长轴方向大约是 NE43°,沿煤层构造方向延伸分布。裂缝的空间形状不对称,相对于 M1 井口坐标,SW 部分长,NE 部分短,比例大约是 2.5:1。

c. 垂直缝方位大约是 SE93°,近似于沿煤层上倾方向延伸分布,相对于 M1 井口坐标长度大约 115 m。

上述水力压裂缝特征反映出煤层中的最大水平主应力和最小水平主应力差别不大,其原因有:

a. 煤层是有机岩,是含煤地层中的相对软弱层,在构造应力作用下有显著的应变,易发生塑性变形。

b. 煤层中往往发育有大致相互垂直的两组割理,即面割理和端割理。面割理为主要裂隙组,可以延伸很远,而端割理发育于面割理之间。除割理外,煤层还常发育有节理、次级节理等裂隙,这些裂隙相互交叉切割,形成了复杂的裂隙系统。由于割理和节理裂隙的作用,煤体被切割为一个个不连续的近似斜方体的小块,破坏了煤层的完整性,使得煤层具有易碎的特点。

c. 我国富含煤层气的煤田大多经历了成煤后的强烈构造运动,使煤层的内生裂缝系统破坏严重,塑变性大大增强,水平应力大,成为渗透性的高延结构。

以上 3 点都可能导导致煤层的最大水平主应力和最小水平主应力趋于相等。垂直水力压裂缝的方位由其他地质因素控制,例如沿煤层上倾方向延伸分布。

#### 参考文献

- [1] 谭河清,沈金松,周超,等.井地电位成像技术及其在孤东八区剩余油分布研究中的应用[J].石油大学学报(自然科学版),2004,28(2):31-37.
- [2] 郝新武,程同军,曾凯,等.井一地电位成像技术研究剩余油分布[J].断块油气田,2003,10(4):55-58.