

煤层压裂裂缝动态法监测技术研究

张金成 王小剑

(大港油田集团钻采工艺研究院)

张金成等. 煤层压裂裂缝动态法监测技术研究. 天然气工业, 2004; 24(5): 107~109

摘 要 介绍动态(电位)法测定煤层压裂裂缝方位、长度等参数的测试技术, 它是针对煤层的固有特点, 在室内进行大量物理模型试验, 结合现场试验后取得的科研成果。文中简要阐述动态(电位)法测试技术的基本原理、测量方法及测量仪器的基础上, 着重对山西吉试1井、大港油田西36—10—3井的现场应用效果进行分析, 证明动态(电位)法测试技术的可行性及在煤层(油)气田勘探与开发领域中所发挥的重要作用。

主题词 煤层压裂 动态电位法 测量仪器 裂缝监测

开采煤层气遇到的首要问题就是煤层中必须发育广泛分布的裂缝系统(劈理面必须与井筒相联), 这样才能加速煤层气的排水降压, 促使煤层气解析并流向井底。众所周知, 煤层劈理发育、弹性模量低, 因此水力压裂在煤层中形成和支撑长裂缝是极其困难的。鉴于此, 人们常把水力压裂看作是一种将井筒与劈理系统连通的作业过程。

2002年我们开展了煤层压裂裂缝动态法监测技术的

研究工作, 成功地研制出 DCT—50 型动态测量系统。

DCT—50 型动态测量仪器系统简介

DCT—50 型动态测量系统是根据煤层测试要求而专门研制的, 其性能指标达到了国际先进水平。主要由以下三部分组成, 即: EF6000 型(雅马哈)发电机、DFS—1 型发送机和 DCT—50 型动态测量系统, 其性能指标如下表。

表1 DCT—50 型动态测量仪器系统性能指标

设备名称	EF6000 型发电机	DFS—1 型发送机		DCT—50 型动态测量系统	
作 用	输出电压	将动力部分输入的交流电压转换成伪随机码控制的电压信号输出		接收相对应的伪随机码控制的电压信号响应值	
性能指标	220V/50Hz	最大输出电流	20A	输入阻抗	80 MΩ
		最大输出电压	500V	分辨率	1 μV
		稳流精度	1%内	电位测量精度	优于 0.5%
		频率稳定度	0.01%	动态监测范围	±2V

野外工作的方法技术及质量评价

1. 测点及测线布置

测点的布置是以 A 井为圆心环形布内、中、外呈放射状对应的多环(或更多)测点, 测点间夹角为 15°, 测环半径可用经纬仪或红外测距仪测定, 同时测点位置要有明显的标志, 以保证两次测量没有几何误差; 在测点布置完后敷设测网, 在有条件的地

区, 测量电极、测量线及供电线预先埋设或布置, 这是保证测量精度的重要方面, 尤其是 AB 供电线, 为了避免线间的感应耦合, AB 线在测区内必须为呈放射状的直线, 绝不允许与 MN 测量线随意相交, 否则供电线在其周围空间产生的电磁场会对测量产生严重的影响, 因此, 实际工作中, 最好使供电线旁两至三个测点的测量线保持不动。

2. B 井的选择

作者简介: 张金成, 1961 年生, 高级工程师; 1990 年毕业于成都地质学院物探系, 2002 年毕业于吉林大学地探学院, 获工程硕士学位; 先后在有关刊物发表学术论文十余篇, 电位法井间监测技术研究获大港油田集团一等奖; 多年来一直从事井间监测技术的研究工作。地址: (300280) 天津市大港油田钻采院。电话: (022) 25925803、13802162056。E-mail: zjc_2056@sohu.com

在压裂井 A 周围形成人工电场,还应在 A 周围在选一口井 B 使之与压裂井 A 形成闭合回路,AB 两井之间距离一般应大于 A 井的压裂层段深度,而不应太小,这样做改善了 AB 间表层电流密度大的情况,有利于提高充电异常的分辨力,通常遵循以下原则进行选择:①AB 之间距离 $D >$ 压裂层位的深度 $H(m)$;② $Z_B \geq A$ 井压裂层位的深度 $H(m)$ 。

3. 降低压裂液电阻率

压裂液电阻率与压裂层段围岩介质电阻率的差异越大,电流就越沿裂缝集中,这有利于异常显示。为了达到这个目的,压裂施工中必须在压裂液中压裂液有利于导电的金属盐类,如价格低廉的工业用盐 NaCl 或 KCl,通常可按 3% 比例在压裂液中加入食盐即能达到导电性差异的要求。

4. 施工工序

1)按施工设计布置测点(夹角一般为 15° ,测环数随地质任务而定)、测线及供电线;

2)选择发送与接收系统参数(如码宽度和码长),进行调试使之满足设计要求的测量精度;

3)注液施工,同时测试工作也开始进行,直至注液施工结束。

5. 数据处理

现场测试数据采用了视纯异常方法进行了处理,即:

$$U_s = U_h/I_h - U_q/I_q$$

式中: U_s —视纯异常(mV/A);

U_q 、 U_h —压裂前、后测得的电位差数据(mV);

I_q 、 I_h —压裂前、后的供电电流(A)。

应用实例

DCT—50 型动态测量系统研制完成后,分别在大港油田、胜利油田、山西等地进行了多井次的现场试验,在进一步检验测量系统性能指标的同时,也验证了该方法技术的可行性和有效性。下面仅就山西吉试 1 井压裂裂缝方位测试及大港油田西 36—10—3 井注水推进方位测试实例进行分析和介绍。

1. 吉试 1 井(5#、8# 煤)压裂裂缝方位测试

(1)地质概况

大宁—吉县地区位于鄂尔多斯盆地的东南部,即黄河以东。包括大宁、蒲县、吉县三个县区。该区煤层气区域地质特征与吴堡基本一致,地表出露的是第四系黄土层,在其下为中生界三叠系下统刘家

沟组、古生界二叠系上统石千峰组、上石盒子组、下统下石盒子组、山西组、石炭系上统太原组、中统本溪组和奥陶系中统马家沟组等老地层。

煤层主要分布于二叠系下统山西组和石炭系上统太原组,煤层总厚度 8~17 m,主力煤层为山西组 5# 煤和太原组 8# 煤。其中 5# 煤厚 5~10 m,8# 煤厚 3~9 m,均由东向西厚度变大。5# 煤、8# 煤全区分布稳定,厚度大,保存条件好,含气量高,尤其煤层割理发育,是煤层气勘探的有利地区。

大宁—吉县地区东界煤层埋深 300 m,西界至黄河埋深 1600 m,北起石楼以南的资源登线,南至吉县—松山一带,区块面积 2800 km²。8#、5# 两层主力煤平均含气量 13.5 m³/t,煤层气资源量 8000×10⁸ m³。可以看出,大宁—吉县目标区煤层气资源丰富,资源量丰度高,具有较大的勘探潜力。

(2)压裂施工简况

a. 压裂层位/井段:奥陶系马家沟组/8# :1057.4~1058.9 m、5# :981.7~983.5 m;

b. 注入方式/压裂砂:油套注入/天然石英砂;

c. 压裂液:0.3% 稠化剂+0.15% 助排剂+1.5% 防膨剂+0.002% 破胶剂+0.025% 交联剂+0.02% pH 值调节剂;

d. 加砂量/排量:5# 煤:0.5~0.8 mm 20 m³,尾追 0.8~1.2 mm 20 m³(5 m³/min);8# 煤:0.5~0.8 mm 25 m³,尾追 0.8~1.2 mm 15 m³(4 m³/min)。

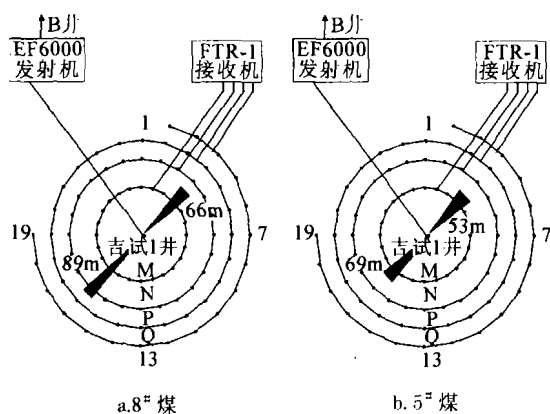
(3)测试简况

①测点布置。以吉试 1 井井口为圆心布置呈放射状对应的四圈测点,测点间夹角为 15° ,测点距井口距离依次为 50 m、80 m、100 m 和 120 m,第四圈测点由于井场原因缺少 6 个测点(No. 20—No. 1),四圈共布 90 个测点。②数据录取。a. 正常场测试:对四圈测点进行了径向电位差测试,四圈共录取了 66 个数据;b. 异常场测试:压裂施工后,同正常场测试方法相同进行异常场测试;c. 录取数据精度:正(异)常场测试结束后,对部分测点都要进行重复测量,经计算该井两次测量的相对误差均在 0.15% 以内(重复测量误差要求在 0.5% 以内),故认为现场录取的数据是有效的,测试工作工作是成功的。③资料解释。从 8# 和 5# 两个煤层的测试结果看:该地区主应力场的方向应为北东向,方位角大约为 45° 左右,该地区制定开发方案时应沿主应力场方向(N 45° E)加大试气井距。

吉试1井测试结果统计表

样品	裂缝方位及长度		裂缝形态
	裂缝方位	对应方位裂缝长度	
8 [#]	N45°E	89 m	对称不等长裂缝
	S45°W	66 m	
5 [#]	N45°E	69 m	对称不等长裂缝
	S45°W	53 m	

吉试1井8[#]、5[#]煤数据处理后的视纯异常环形图分别见图1-a和图1-b。

图1 吉试1井8[#]、5[#]煤测试成果图

2. 大港油田作业二区西36—10—3井注水推进方位监测

(1) 西36—10—3井组地质概况

港西开发区位于黄骅凹陷中部北大港潜山构造带上,是被断层复杂化的北东向背斜构造。二区一断块位于港西北斜坡,西与港西二区二断块相接,东与西一区一断块相接,向北方向自然倾没。主要含油层系为上第三系明化镇组,河流相沉积,具有储层结构疏松、易出砂等特点。

西二区一断块油层埋深697~1440 m,含油面积1.3 km² 平均一类油层厚度5.5 m;地质储量199×10⁴ t,可采储量73×10⁴ t;孔隙度31%,空气渗透率937×10⁻³ μm²,有效渗透率305×10⁻³ μm²,含油饱和度60%,原始地层压力10.36 MPa,饱和压力7.97 MPa,地饱压差0.57 MPa,地层温度51.9℃,地面原油密度0.9326 g/cm³,地面原油粘度191.1 mPa·s,凝固点-15~-21℃,含蜡量9.0%,含硫量0.1513%,沥青+胶质含量20.51%,地层水矿化度8489 mg/L,水型为NaHCO₃。

生产层位:Nm II₅;

生产井段:971.5~927.0 m 射开:974~921 m。

(2) 测试简况

①测点布置及B极选择以被测井为圆心,布置

内、中、外呈放射状对应的三圈测点,测点间夹角为15°,测环半径依次为50 m、70 m、100 m;电流返回井B井为港35—6—2井。②数据录取。2002年11月20日23:30开始至次日下午17:55结束,动态监测18个小时。测试工作中,采用9位的伪随机编码长度、1000 ms码宽,监测内外对应测点间的电位变化(每隔20 min,对72个测点的48组数据扫描一次)。③资料解释。

从彩插图版7西36—10—3井数据处理后的视纯异常环形图可以看出;该井注水是沿N30°E和S15°E两个方向向外扩散。该测试结果与生产动态分析相吻合,即西36—10—3井调水西38—9—2井含水、井口压力和动液面立即有所反应,表明两井有很好的连通关系,目前西38—9—2井含水已达97%;同时结合该井的构造图可知该注水井虽然处于断层附近,但是注入水并没有流向断层,可以判断出断层是封闭的。

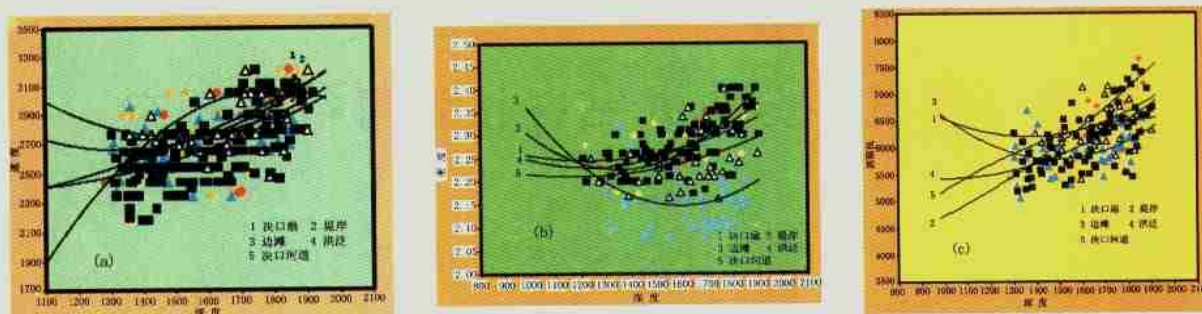
结 论

应用地球物理方法来研究和确定煤层水力压裂裂缝方位,在生产与科研中具有实际应用的意义,同时该研究成果也为电位法开辟了新的领域。它是以充电法的基本理论为依据,通过对结合实际所给数学模型的合理分析和比较系统的物理模拟试验取得的,如按所提供的一套野外工作方法与技术并采用研制的动态观测系统在所论的条件下,可较成功的用来确定埋藏深度在3000 m以内压裂裂缝的主导方位和该基础上所进行的裂缝长度的预测研究,这不仅对研究压裂工艺效果,合理的经济的制定开发方案有一定的指导意义,而且对解决其它类似工程问题也有一定的参考价值,故具有广阔的应用前景。

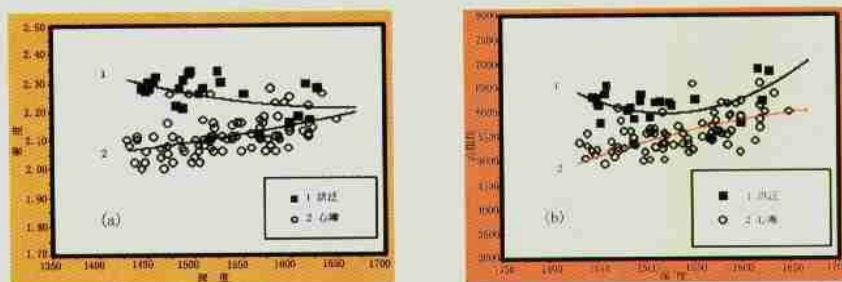
参 考 文 献

- McCann R P, Kec L J. SAND 76-0379. Sandia Laboratories, Aug, 1976
- Bartel L C, McCann R P, Kec L J. SPE 6090. Presented at the SPE 51st Annual Fall Meeting in New Orleans, Louisiana, Oct, 1976; 4~6
- 傅良魁主编. 电法勘探教程. 北京:地质出版社, 1983; 5(1), 16~17
- 江汉石油学院测井教研室编. 测井资料解释. 北京:石油工业出版社, 1981
- 张金成. 电位法井间监测技术. 地震地质, 2001; 23(2): 292~300

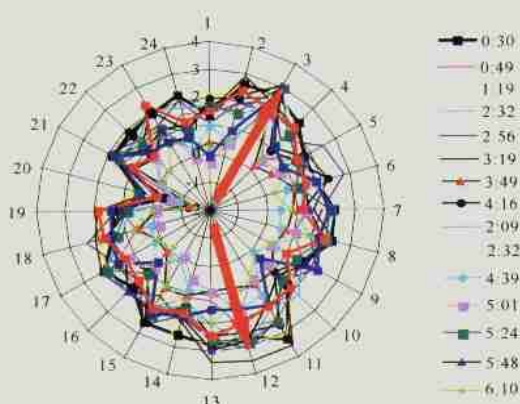
(收稿日期 2004-01-17 编辑 黄君权)



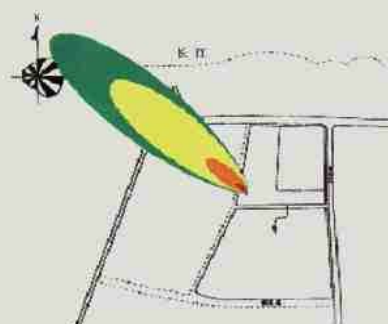
图版 5 BZ25-1 油田明化镇组下段速度、密度和波阻抗与沉积微相的关系(夏庆龙, p. 53)



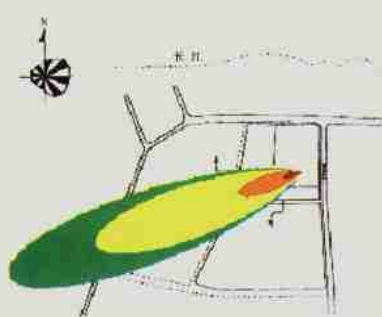
图版 6 QHD32-6 油田馆陶组密度和波阻抗与沉积相的关系(夏庆龙, p. 53)



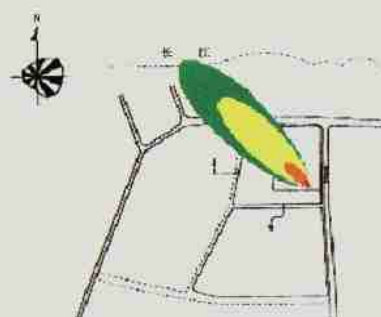
图版 7 西 36-10-3 井测试成果图(张金成, p. 109)



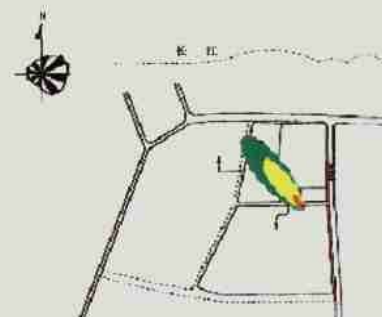
图版 8 大量丙烯腈泄漏后在地面附近的浓度分布图(东北风)
(王志荣, p. 125)



图版 9 大量丙烯腈泄漏后在地面附近的浓度分布图(东南风)
(王志荣, p. 125)



图版 10 0.2 m³ 丙烯腈泄漏后在地面附近的浓度分布图(东南风)
(王志荣, p. 125)



图版 11 0.5 m³ 丙烯腈泄漏后在地面附近的浓度分布图(东南风)
(王志荣, p. 125)