

钻头下部未钻开地层的孔隙压力随钻预测^{*}

张辉 高德利

(石油大学石油天然气工程学院)

张辉等. 钻头下部未钻开地层的孔隙压力随钻预测. 天然气工业, 2005; 25(3): 79~80

摘要 在石油钻探过程中, 地层压力预测对钻井液密度的选择和合理井身结构设计起着非常重要的作用, 也是钻井安全技术中的一个重要问题。传统的孔隙压力预测是通过处理对钻前的地震资料而获得预测结果, 而在钻井过程中, 则是利用随钻录井数据来监视正钻地层的孔隙压力变化。由于钻前地震预测的孔隙压力精度一般较低, 因此, 预测钻头下部未钻开地层的孔隙压力, 只靠钻前的地震预测, 其精度不能满足钻井施工的需要。文章基于灰色理论, 提出了钻头下部未钻开地层的孔隙压力预测新方法, 建立了地层孔隙压力随钻预测灰色模型。该模型根据上部已钻井段的随钻监测结果, 对钻头下部未钻开地层的孔隙压力进行随钻预测。应用大量的随钻录井数据对上述模型进行了验证, 并成功应用于某油田几口探井。应用结果表明: 该模型是合理的, 其预测精度较高, 能够满足现场施工的安全和技术要求, 是一种值得推广的地层孔隙压力随钻预测方法。

关键词 孔隙压力 随钻预测 灰色模型 安全钻井 监测

在石油钻探过程中, 地层孔隙压力预测对钻井液密度的选择和合理井身结构设计起着非常重要的作用, 也是钻井安全技术中的一个重要问题。建立准确的孔隙压力剖面是实施安全钻井的重要基础之一。在油气勘探开发过程中, 因未能准确预测地层孔隙压力而造成的恶性事故时有发生, 尤其是因地层高压引起的损失相当巨大, 严重影响了勘探开发的效益和进程。传统的孔隙压力预测通常是利用钻前的地震资料进行预测, 其精度不能满足钻井施工的实际需要^[1]。因此, 开展更为可靠准确的孔隙压力随钻预测方法研究具有重要意义。

本文基于灰色理论, 根据上部已钻井段的随钻监测结果, 建立了地层孔隙压力随钻预测灰色模型, 利用该模型对钻头下部未钻开地层的孔隙压力进行随钻预测。应用大量的随钻录井数据对上述模型进行了验证, 并成功应用于某油田几口探井。

一、灰色预测模型建模原理

灰色预测模型建立的基本原理是: 用灰微分方程来描述系统内部动态过程。通过对原始数据作生成处理而减弱其随机性, 进而将原序列转化成易建

模的新序列, 再用典型曲线拟合建立系统的微分动态模型, 最后对依照新序列所建模型作还原生成处理, 即得到原数列的灰色预测模型。按照已知数列所建的模型, 从时间发展来看, 具有某种规律性和时间外推性, 因此这种模型能用来预测。用数学语言来讲, 就是在给定 x_1, x_2, \dots, x_k 的条件下, 求出 x_{k+1} 的条件期望值(即预测值)^[2]。

二、地层孔隙压力随钻预测灰色模型

在油气勘探开发过程中, 有关地层的信息是灰色的, 不确定的。因此, 本文拟采用灰色模型对钻头下部未钻开地层的孔隙压力进行随钻预测。地层孔隙压力随钻预测灰色模型及计算步骤如下^[2~5]。

(1) 确定原始数列

地层孔隙压力随钻监测技术经过几十年的发展, 已成为一门比较成熟的技术, 在现场中得到了广泛的应用^[1]。本文根据地层孔隙压力的随钻监测结果, 对钻头下部未钻开地层的孔隙压力进行随钻预测。因此, 以钻头处的地层孔隙压力作为原点, 往上等时距取 n 个点的地层孔隙压力值作为原始数据, 其原始数列为: $x^{(0)} = \{x^{(0)}(t)\} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2),$

* 本文系国家自然科学基金重点项目(编号: 50234030)。

作者简介: 张辉, 女, 1971年生, 工程师; 1994年毕业于石油大学(华东)钻井工程专业, 现在石油大学工作, 主要从事油气井信息开发与应用、油气钻井经济评价等方面的研究。地址: (102200)北京市昌平区府学路。电话: (010)89733702。E-mail: guanzh@bjpeu.edu.cn

$\dots, x^{(0)}(n), t=1, 2, \dots, n_0$ 。 $x^{(0)}(n)$ 为钻头处的地层孔隙压力值, 称为原点。

(2) 改造原始数列

应用滑动平均法改造原始数列, 得到数列 $x^{(1)} = \{x^{(1)}(t) = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)), t=1, 2, \dots, n_0$ 。 计算公式为:

$$\begin{cases} x^{(1)}(1) = \frac{3x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2)}{4} \\ x^{(1)}(n) = \frac{x^{(0)}(n-1) + 3x^{(0)}(n)}{4} \\ x^{(1)}(t) = \frac{x^{(0)}(t-1) + 2x^{(0)}(t) + x^{(0)}(t+1)}{4} \end{cases} \quad (1)$$

(3) 构造生成数列, 建立灰色模型

对于给定的 $x^{(0)}$, 作 $1-AGO$ (一阶累加) 得生成数列 $x^{(1)} = \{x^{(1)}(t)\}, t=1, 2, \dots, n_0$ 。 式中: $x^{(1)}(t) = \sum_{k=1}^t x^{(0)}(k)$ 。 由生成数列建立地层孔隙压力随钻预测灰微分方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (2)$$

由最小二乘法求解该方程, 其解为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right)e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (3)$$

式中: a 为发展系数。 b 为灰作用量。

(4) 求还原模型

对 $\hat{x}^{(1)}$ 求导或作 $1-IAGO$ (一阶累减) 得还原模型为:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = -a \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right)e^{-ak} \quad (4)$$

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k)$$

(5) 进行残差检验

绝对误差为: $q^{(1)}(k) = x^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k)$, $q^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$; 相对误差为: $e(k) = q^{(0)}(k)/x^{(0)}(k)$ 。

(6) 随钻预测

利用还原模型对钻头下部未钻开地层的孔隙压力进行随钻预测得:

$$\hat{x}^{(0)} = (\hat{x}^{(0)}(1), \hat{x}^{(0)}(2), \dots, \hat{x}^{(0)}(n), \hat{x}^{(0)}(n+1)) \quad (5)$$

(7) 修正预测值

利用下列公式对预测值进行修正:

$$\hat{x}^{(0)}(n+1) = \hat{x}^{(0)}(n+1) \times (1 + F(n+1)) \quad (6)$$

式中: $F(n+1)$ 为干涉因子。把修正后的 $\hat{x}^{(0)}(n+1)$ 作为准确值加入到原始数列中, 同时去掉第一点的原始数据, 此时原始数列成为:

$$\hat{x}^{(0)} = (x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n+1)) \quad (7)$$

利用新的原始数列 $x^{(0)}$ 重新开始邻近一点的预测, 其步骤同(1)~(6)。

三、应用实例

应用上述模型对某油田探井进行了地层孔隙压力随钻预测试验, 取得了令人满意的结果。试验结果如图1所示。分析试验结果可知: 该模型预测结

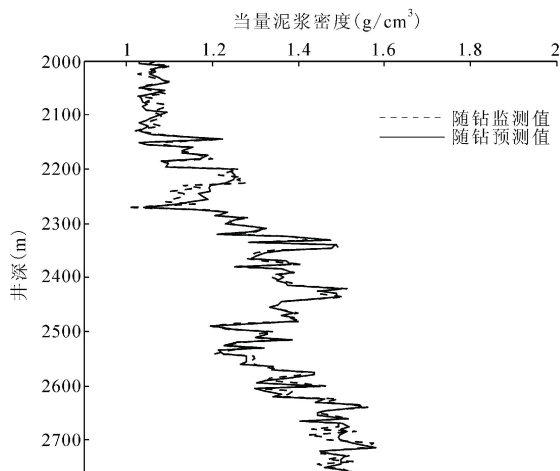


图1 地层孔隙压力随钻预测实例

果与随钻监测结果相比, 吻合程度较高, 相对误差在10%以内, 其预测精度能够满足现场施工需要。

四、结束语

本文根据灰色理论建立了地层孔隙压力随钻预测灰色模型, 该模型根据上部已钻井段的随钻监测结果, 对钻头下部未钻开地层的孔隙压力进行随钻预测。试验结果表明: 该模型是合理的, 其预测精度较高, 能够满足现场施工的安全和技术要求, 是一种值得推广的地层孔隙压力随钻预测方法。

参考文献

- 1 钻井手册(甲方). 北京: 石油工业出版社, 1990
- 2 易德生, 郭萍编. 灰色理论与方法. 北京: 石油工业出版社, 1992
- 3 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 湖北武汉: 华中理工大学出版社, 1990
- 4 刘思峰, 郭天榜等. 灰色系统理论及其应用. 北京: 科学出版社, 2000
- 5 童孝华, 汪徐焱等. 油气田(井)生产动态预测的灰色预测模型. 矿物岩石, 1999; 19(2)

(收稿日期 2004-11-21 编辑 钟水清)