

排除油田深水井动态干扰因素的一种方法

刘庆国¹, 刘 涛², 胡久波³, 张昭栋⁴

(1. 山东建筑工业学院, 山东 济南 250014; 2. 山东省建设银行, 山东 济南 250001;
3. 临沂城建开发公司, 山东 临沂 276000; 4. 山东省地震局, 山东 济南 250014)

摘要: 为了适应油田地下水动态观测资料的处理, 有效地排除干扰, 对 Weiner 滤波方法进行了改进. 利用改进后的方法, 处理了胜利油田东水-3 井的观测资料. 结果表明, 利用该方法可以较好地消除各种干扰对地下水动态观测的影响.

关键词: 地下水位; 干扰因素; Weiner 滤波; 东水-3 井

中图分类号: P315.72 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2001)02-0194-05

0 引言

在胜利油田油(水)井动态观测网中, 有多口水动态观测井. 在工作中发现, 气象因素, 如气压、气温、地温和降雨量等对地下水动态观测有较大的影响. 地下水动态变化对干扰因素的响应明显滞后^[1,2]. 要较好地排除这此年变干扰的影响, 用一般的线性处理方法是无能为力的. 作者引入了能处理滞后效应的多道 Weiner 滤波方法^[3~7].

Weiner 滤波是对已知的一段时间的数据资料进行滤波处理后, 用输出数据序列来估计未来信息数据的一种方法. 这种方法考虑了多种相互影响的因素, 可以定量地、综合地预计未来数值的变化. 多道 Weiner 滤波除了考虑自变量与因变量的相互关系外, 还考虑了因变量自身的规律性. 滤波算子不仅反映了各变量间某时值与对应时值的关系, 而且还反映了该时值对以前各自变量时值的滞后影响, 所以它较一般多元回归方法优越, 可以较好地排除各种自变量对因变量产生的影响.

1 对 Weiner 滤波方法的改进

多道 Weiner 滤波的主要思路是: 设各种观测资料为 n 道输入, 即 $x_i t (i = 1, 2, \dots, n)$, 写成矩阵形式为:

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix}$$

多道希望输出 $z_j(t) (j = 1, 2, \dots, m)$ 的矩阵形式为:

$$\mathbf{Z}(t) = \begin{bmatrix} z_1(t) \\ z_2(t) \\ \vdots \\ z_m(t) \end{bmatrix}$$

多道滤波因子 $h_{ji}(t)$ ($j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, n$) 的矩阵形式为:

$$\mathbf{H}(t) = \begin{bmatrix} h_{11}(t) & h_{12}(t) & \cdots & h_{1n}(t) \\ h_{21}(t) & h_{22}(t) & \cdots & h_{2n}(t) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ h_{m1}(t) & h_{m2}(t) & \cdots & h_{mn}(t) \end{bmatrix}$$

根据线性滤波理论, 滤波输出 $y_j(t)$ 的矩阵形式为:

$$\mathbf{Y}(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_m(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n h_{1i}(t) & x_i(t) \\ \sum_{i=1}^n h_{2i}(t) & x_i(t) \\ \vdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n h_{mi}(t) & x_i(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

各道输出误差 $e_j(t) = y_j(t) - z_j(t)$. 若每道输入 $x_i(t)$ 步长为 $k+1$, 所有的滤波因子 $h_{ji}(t)$ 步长为 $s+1$, 则每道的滤波输出 $y_j(t)$ 的长度将为 $k+s+1$, 因此每道均方差 Q_j 为:

$$Q_j = \sum_{t=0}^{k+s} [e_j(t)]^2 = \sum_{t=0}^{k+s} [y_j(t) - z_j(t)]^2$$

各道均方差的总和 Q 为:

$$Q = \sum_{j=1}^m Q_j = \sum_{j=1}^m \sum_{t=0}^{k+s} [y_j(t) - z_j(t)]^2$$

显然, 每个多道滤波因子矩阵 $\mathbf{H}(t)$ 都对应有一个多道总均方差 Q , 在一般情况下, 存在一个使总均方差 Q 为最小的值. 设多道滤波因子的每一个 $h_{ji}(t)$ 的步长都为 $s+1$, 根据上述讨论, 令

$$\frac{\partial Q}{\partial h_{ji}(t)} = 0 \quad \begin{cases} 1 \leq j \leq m \\ 1 \leq i \leq n \\ 0 \leq t \leq s \end{cases}$$

因 $Q = \sum_{j=1}^m Q_j$, 则有:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial h_{1i}(t)} &= \frac{\partial Q_1}{\partial h_{1i}(t)} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial h_{2i}(t)} &= \frac{\partial Q_2}{\partial h_{2i}(t)} = 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial Q}{\partial h_{mi}(t)} &= \frac{\partial Q_m}{\partial h_{mi}(t)} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

利用最小二乘法原则,可以得到 n 道输入和 m 道输出,每个滤波因子步长为 $s+1$ 的多道 Weiner 滤波基本方程系:

$$[H(0) H(1) \cdots H(s)] \begin{bmatrix} R_{xx}(0) & R_{xx}(1) & \cdots & R_{xx}(s) \\ R_{xx}(-1) & R_{xx}(0) & \cdots & R_{xx}(s-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_{xx}(-s) & R_{xx}(-s+1) & \cdots & R_{xx}(0) \end{bmatrix} = [R_{xx}(0) R_{xx}(1) \cdots R_{xx}(0)] \tag{3}$$

多道最小平方滤波因子

$$H(\tau) = \begin{bmatrix} h_{11}(\tau) & h_{12}(\tau) & \cdots & h_{1n}(\tau) \\ h_{21}(\tau) & h_{22}(\tau) & \cdots & h_{2n}(\tau) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ h_{m1}(\tau) & h_{m2}(\tau) & \cdots & h_{mn}(\tau) \end{bmatrix} \quad (\tau = 0, 1, 2, \dots, s)$$

多道自相关矩阵

$$R_{xx}(\tau) = \begin{bmatrix} r_{x1x1}(\tau) & r_{x1x2}(\tau) & \cdots & r_{x1xn}(\tau) \\ r_{x2x1}(\tau) & r_{x2x2}(\tau) & \cdots & r_{x2xn}(\tau) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{xnx1}(\tau) & r_{xnx2}(\tau) & \cdots & r_{xnxn}(\tau) \end{bmatrix} \quad (\tau = -s, -s+1, \dots, 0, 1, \dots, s) \tag{4}$$

希望输出 $z_j(t)$ 和输入 $x_i(t)$ 的互相关矩阵

$$R_{yx}(\tau) = \begin{bmatrix} r_{y1x1}(\tau) & r_{y1x2}(\tau) & \cdots & r_{y1xn}(\tau) \\ r_{y2x1}(\tau) & r_{y2x2}(\tau) & \cdots & r_{y2xn}(\tau) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{ymx1}(\tau) & r_{ymx2}(\tau) & \cdots & r_{ymxn}(\tau) \end{bmatrix} \quad (\tau = 0, 1, 2, \dots, s)$$

式(3)可写成:

$$[H(0) H(1) \cdots H(s)] \begin{bmatrix} R_{xx}(0) & R_{xx}(1) & \cdots & R_{xx}(s) \\ R_{xx}^T(1) & R_{xx}(0) & \cdots & R_{xx}(s-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_{xx}^T(s) & R_{xx}^T(s-1) & \cdots & R_{xx}(0) \end{bmatrix} = [R_{zx}(0) R_{zx}(1) \cdots R_{zx}(s)] \tag{5}$$

其中自相关矩阵 $R_{xx}(\tau)$ 只需对 $\tau \geq 0$ 进行计算, R_{xx}^T 表示 R_{xx} 的转置. 式(5)即是以滤波因子 $h_{ji}(t)$ 为未知数的 $m, n, (s+1)$ 个线性联立标量方程, 它的解即为所求多道 Weiner 滤波因子.

利用上述的多道 Weiner 滤波方法处理井水位动态观测资料时, 由于自身的滤波器系数占的比重太大, 抑制了降雨量、井水流量等干扰因素的影响, 不能达到排除干扰的目的, 因此, 作者对 Weiner 滤波的特性和功能进行了改进.

改进的多道 Weiner 滤波程序是在原程序的基础上, 以井底压力为期望输出道而不做输入道, 将各种干扰因素作为输入道, 只考虑输出道与其它输入道之间的关系, 而不考虑输出道的自身相关问题. 经过这样改进以后, 该方法不仅适用于地下水位观测资料的处理, 而且也适用于油井动态观测资料的处理.

2 计算实例

胜利油田东水-3 井有多年的水位、压力和流量观测资料, 并有齐全的辅助观测项目的资料, 如气压、气温和降雨等, 见图 1. 对该井的资料以其井水位为输出道, 以上述多项资料为输入道, 用改进后的多道 Weiner 滤波方法进行处理. 处理后的曲线较为光滑, 波动幅度也显著减小(图 2). 因此利用该方法排除干扰的效果是比较理想的.

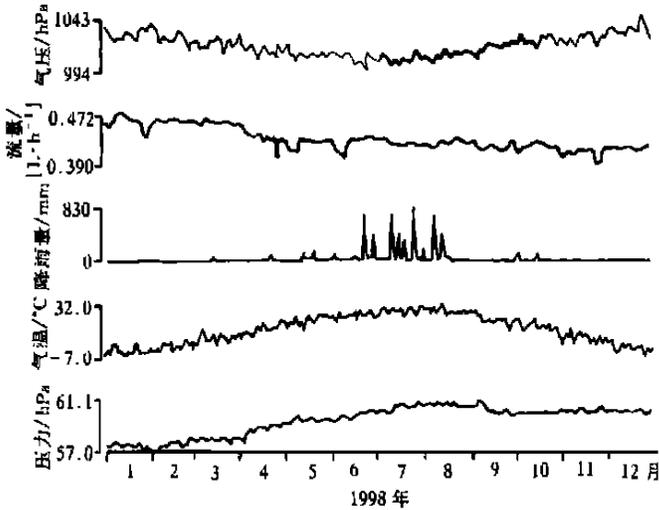
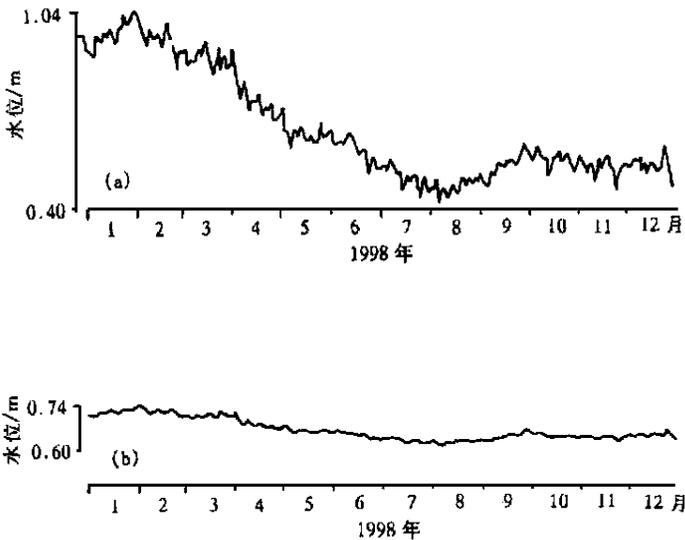


图 1 与东水-3 井有关的气压、流量、降雨量、气温及压力变化曲线

Fig. 1 Changes of atmospheric pressure flow, rainfall, atmospheric temperature and pressure for Dongshui-3 well in Shengli oil field.



(a) 原始曲线; (b) 经多道 Weiner 滤波处理后的曲线

图 2 东水-3 井水位变化曲线

Fig. 2 Change of water level of Dongshui 3 well in Shengli oil field.

感谢胜利油田地震台为本项研究提供了东水-3 井的有关资料.

[参考文献]

- [1] 张昭栋, 靖继才, 高玉斌, 张铸钢. 用褶积积分和低通滤波方法处理沂水泉氡观测资料[J]. 高原地震, 1992, 4(3): 12—29.
- [2] 张昭栋, 靖继才, 王树鼎, 高玉斌, 张铸钢. 用褶积积分及多元回归方法处理聊古-1 井氮氡比观测资料[J]. 地震研究, 1993, 16(3): 260—266.
- [3] 张昭栋, 马红斌, 黄华明, 等. 用 Weiner 滤波方法处理聊古-1 井氮氡比观测资料[J]. 内陆地震, 1995, 9(1): 35—42.
- [4] 张昭栋, 段会川, 王昌文, 等. 一种计算井水位气压系数、固体潮系数和海潮系数的新方法[J]. 地震, 1991, (6): 48—53.
- [5] 张昭栋, 段会川, 王昌文, 张铸钢. 对 Nakai 拟合法的改进及实际应用[J]. 西北地震学报, 1991, 13(3): 56—60.
- [6] 张昭栋, 王立忠, 王昌文, 张铸钢. 鲁 03 井水位滞后于气压的处理[J]. 西北地震学报, 1992, 14(2): 59—63.
- [7] 张昭栋, 耿杰, 王昌文, 张铸钢. 鲁 07 井水位对固体潮滞后的处理[J]. 华南地震, 1991, 11(1): 23—27.

A METHOD REMOVING INTERFERENCE FACTORS OF WATER LEVEL DYNAMIC OF DEEP WELL IN OIL FIELD

LIU Qing-guo¹, LIU Tao², HU Jiu-bo³, ZHANG Zhao-dong⁴

(1. *Architectural Engineering College of Shandong Province, Jinan 250014, China;*

2. Construction Bank of Shandong Province, Jinan 250001, China;

3. Development Company for Town Construction of Linyi, Linyi 276000, China;

4. Seismological Bureau of Shandong Province, Jinan 250014, China)

Abstract: The Weiner filtering method is improved for removing interference factors in observation data of groundwater dynamic of deep well in oil field. Observation data of Dongshui-3 well in Shengli oil field are dealt with by using the improved method. The result shows that influence of the interferences on the data of groundwater dynamic of the well can be better removed.

Key words: Groundwater level; Interference factor; Weiner filtering; Dongshui-3 well