

赵各庄矿地下水位时间序列数字滤波分析

殷传印,朱斌,司雯雯

(桂林理工大学地球科学学院,广西 桂林 541004)

摘要:为了更好地了解煤矿地下水位的变化趋势,结合工程实例,运用递归和非递归2种滤波技术进行分析,通过对比2种滤波技术的滤波效果,可以得到地下水位的变化规律和成因机理。结果表明:滤波系数的调校对滤波效果的影响至关重要。根据平滑度指标、均方根误差和信噪比对现有观测数据进行计算的结果可知,当 $b=0.5$ 时递归滤波效果相对较好,当 $q=5$ 时非递归滤波效果相对较好。滤波结果可以作为预测未来该地区地下水位变化趋势的依据,也可以为安全生产提供参考。

关键词:递归滤波;非递归滤波;地下水;赵各庄矿

中图分类号:P641

文献标识码:

引文格式:殷传印,朱斌,司雯雯.赵各庄矿地下水位时间序列数字滤波分析[J].山东国土资源,2016,32(2):60-64.YIN Chuanyin, ZHU Bin, SI Wenwen. Digital Filter Analysis of Time Series of Groundwater Level in Zhaogezhuang Coalmine[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(2): 60-64.

0 引言

在地质工程问题研究中,受外界复杂地质环境、人为干扰、天气变化等的作用下,地下水位随时间不断变化,影响着工程的正常进行。针对地下水位的变化,众多专家学者在地下水位分析方面做了大量的分析。贺敬^[1]等依据往年地下水位监测数据,通过灰色系统理论的预测模型,对枣庄十里泉电厂地下水位年变幅做出预测,为由水动力因素引起的岩溶塌陷地质灾害提供防治依据。王智磊^[2]等通过对滑坡作用下的地下水位进行分析,为滑坡的发生提供了有用的预测预报信息。

该文运用2种滤波技术对赵各庄矿地下水位观测孔数据进行分析,找到合适的滤波系数,并对滤波后的图形进行比较,总结出水位变化趋势从而对生产生活提供有力的技术支持和安全保障。

1 数字滤波理论

数字滤波技术是通过原始数据进行数学分析,来达到滤波效果的,主要是由数字加法技术、乘

法技术和延时单元组成的一种装置或算法。

在信号处理的过程中,滤波技术的作用就是移除掉信号中不需要的部分,留下对于科学研究有用的部分。滤波技术按照物理组成和工作方式的不同主要可以分为2种类型:数字滤波技术和模拟滤波技术,该文主要运用的是数字滤波技术。而数字滤波技术又可分为递归滤波技术和非递归滤波技术^[3-8]。

1.1 递归滤波理论

递归滤波(Recursive Filtering)也被称为反馈滤波。其输出既依赖于输入端,又取决于之前的输出端。在滤波过程中,延迟后的输出端被加到输入端(图1),递归滤波技术因结构上带有反馈回路所以

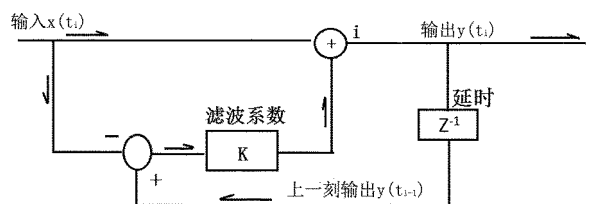


图1 递归低通滤波原理图

收稿日期:2015-10-14;修订日期:2015-12-25;编辑:陶卫卫

项目资助:广西自然科学基金(2015GXNSFAA139245)

作者简介:殷传印(1990—),男,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向地质灾害评价与防治;E-mail: 253884776@qq.com

是递归型结构^[9-10]。一阶递归滤波技术可表示为式 1:

$$y(t_i) = (1 - b_1)x(t_i) + b_1y(t_{i-1}) \quad (1)$$

其中: $0 < b_1 < 1$; $x(t_i)$ 为这一时刻的输入; $y(t_{i-1})$ 为上一时刻的输出; $y(t_i)$ 为这一时刻的输出。

1.2 非递归滤波理论

非递归滤波 (Non-recursive Filtering), 即 FIR 滤波, 没有引入反馈。FIR 滤波技术是由乘法技术和加法技术所构成的 (图 2)。非递归型滤波技术因为具有有限长的单位脉冲响应, 所以滤波体系是稳定的, 它不仅具备严谨的线性相频特性同时又可以保障任意的幅频特性^[11-12]。

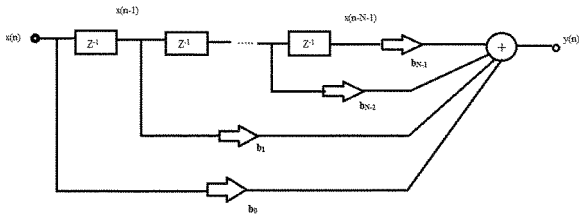


图 2 非递归低通滤波原理图

通过观察时间序列 $x(t_i)$ 经过运算得到的趋势图, 可以得到滤波后的信号, 即线性非递归滤波, 基本的线性非递归滤波运算式, 如式 2:

$$y(t_j) = \frac{1}{(2q+1)} \sum_{k=-q}^q X(t_{i+k}) \quad (2)$$

式(2)表示围绕着时刻 t_i 的时域里 $2q+1$ 个元素的平均值。

2 研究区概况

赵各庄矿处于河北省唐山市古冶区赵各庄, 具有百年工业历史。北临燕山余脉低山, 南靠平原, 地形呈现北高南低、西高东低的趋势。属大陆性气候, 夏天酷热多雨, 冬天严寒多风。赵各庄矿井田范围除了在井口西翼有一个西大坑还有北寺大坑之外, 整个矿区范围内没有较大的水系。有一条季节性河流位于井口东翼 1 000 m 处, 叫东沙河, 又名石榴河。

2.1 地质条件

赵各庄矿位于开平向斜转折段的北翼。开平向斜是燕山运动后形成的岩层走向呈 NE 方向的构造单元, 它具有新华夏结构特性。开平向斜的转折端由一系列近 EW 向的断裂与褶皱所组成: 赵各庄矿

北缘为 NW—SE 向分布的磨石板断层、青龙山背斜和白云山断层; 其南侧由近 EW 向的范各庄向斜、吕家坨背斜、黑鸭子向斜、杜军庄背斜和轴向 NE 的毕各庄向斜所构成。

赵各庄矿的构造形式主要由向斜和断裂构成, 将其显示在地貌上为: 北侧相接于裸露的寒武—奥陶系所构成的山脉, 西侧与巍山井田相邻, 南、东侧为广阔的第四纪冲积平原; 构造上发育了西、北侧的地层急倾甚至倒转的逆冲推覆构造; 东、南侧地层产状变缓, 以发育正断层, 乃至裂隙带为特征。

2.2 水文地质条件

赵各庄矿地处开平主向斜东北边缘, 有 2 个主要的供水系统, 分别是石炭二叠纪含煤地层岩系碎屑岩孔隙水和裂隙水系统, 还有奥陶纪碳酸盐岩喀斯特供水系统。在这 2 大含水系统中, 后者占主导地位, 因为强径流带具有较高的富水性高、很强的导水性, 所以构造岩溶裂隙和古岩溶发育层成为主要的储水空间。由于受到褶曲构造及隔水顶、底封闭的影响, 使得奥陶纪碳酸盐岩岩溶含水系统拥有较高承压水头^[13]。影响矿井充水的主要因素有:

(1) 气候因素。在气候因素中, 大气降雨对矿井充水的影响最大。因奥陶纪灰岩岩溶含水层是矿区的主要含水层, 所以暴雨对矿井涌水量及含水层水位变化有很大的影响。

(2) 地质构造。赵各庄矿区内断层与节理总体呈随开采深度的增加, 其数量减少的趋势, 如东翼的 5 条落差 3~35 m 的断层在十水平以上尖灭。故有一种观点认为越向深部, 矿区遭遇底板突水的突发性灾害的危险性越小。

(3) 地形因素。在矿区内因为奥陶纪石灰岩含水层直接出露于地表的面积很大, 且在露头区的第四纪堆积物较薄或无植被覆盖, 再加上含水层出露于山前, 便于大气降雨下渗补给含水层和地表岩溶裂隙发育。

(4) 采矿活动。当采矿工作面上部有含水老空、含水层和含水断裂时, 在采矿的过程中, 会对上覆地层及塌陷带来破坏, 从而形成人工裂隙或强度的降低, 致使大气降雨通过含水层和含水断裂涌入矿井, 最终导致突水事故的发生。

3 地下水监测信息的数字滤波分析

该研究区的地下水位观测数据是通过观察井孔

的水位随时间的变化而得到的,观测时间长度为 15 年。

3.1 滤波效果评价指标

由递归滤波技术和非递归滤波技术的理论可以知道,滤波系数对整个滤波过程的影响非常大,所以确定好滤波系数的值,是进行滤波分析的基础。具体方法为:在观测孔数据 A 上加一个方差为 0.01,均值为 0 的高斯噪声,得到加噪后的数据 B ,对加噪后的数据 B 进行递归滤波和非递归滤波分析,得到的滤波后的图形 C 与观测孔数据 A 进行比较^[14]。

因为影响去噪效果的原因有很多,而且滤波系数的变化会使滤波具有不一样的效果。所以,必须通过一些指标综合分析判断,该文要用得到的指标是:均方根误差 (RMSE)、信噪比 (SNR) 和平滑度指标 (r)^[15]。

3.2 递归滤波结果

3.2.1 处理结果分析

通过对研究区的观测孔 (融园孔、赵 07 孔) 的水位观测数据进行递归滤波处理,得图 3,图 4 所示:

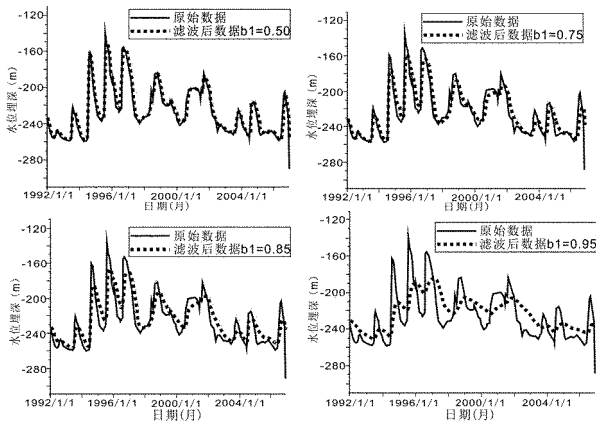


图 3 赵各庄矿融园孔水位观测数据在 $b_1 = 0.50, 0.75, 0.85, 0.95$ 时的递归低通滤波后的图形

图 3 和图 4 表示了赵各庄矿不同的地下水位观测孔数据分别在 $b_1 = 0.50, 0.75, 0.85, 0.95$ 时的递归滤波后的图形。不难看出,滤波效果随着滤波系数 b_1 的增大而越来越明显。递归滤波技术的滤波系数越高,原始数据和滤波后的数据之间的离散度越大。

3.2.2 滤波效果评估

首先,选取研究区水位观测孔其中一个孔进行分析,该论文选取融圆孔。对观测数据进行加噪处

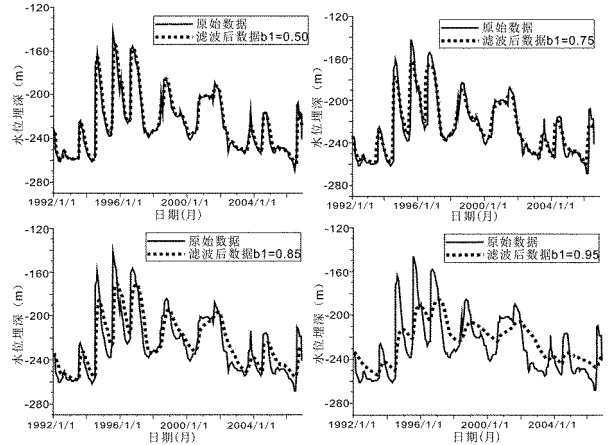


图 4 赵各庄矿赵 07 孔水位观测数据在 $b_1 = 0.50, 0.75, 0.85, 0.95$ 时的递归低通滤波后的图形

理:得到加噪后的数据 C ,当滤波系数 b_1 在 0~1 之间变化时,对 C 进行递归滤波处理得到数据 D ,然后再计算平滑度指标 (r)、均方根误差 ($RMSE$) 和信噪比 (SNR)。得到图形如图 5 所示:

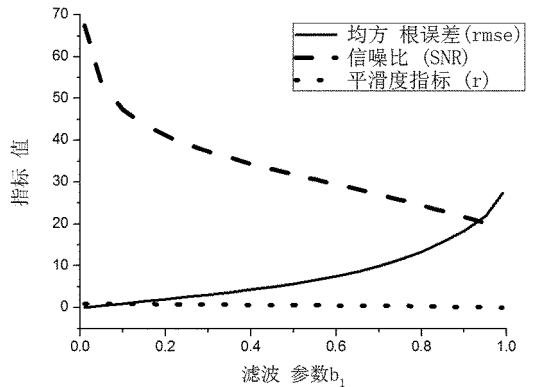


图 5 均方根误差 ($RMSE$)、信噪比 (SNR)、平滑度指标 (r) 随着滤波参数 b_1 的变化

由图 5 可知,当 $b_1 = 0.01$ 时,均方根误差最小,信噪比最大,但是平滑度指标最大,说明去噪效果不是最理想的。当 $b_1 < 0.2$ 时,信噪比的变化幅度相对较大。当 $b_1 > 0.6$ 时,均方根误差增加幅度变大。因为平滑度指标曲线是平滑下降的,所以 $b_1 = 0.5$ 时,滤波效果相对较好。对比观察上一节中对研究区的地下水位观测数据的滤波后的图形,也符合这一规律。

同样的方法也可应用于赵各庄矿其他的水位观测孔,从而找出适合的滤波参数。

3.3 非递归滤波结果

3.3.1 处理结果分析

分别对赵各庄矿的融园孔和赵 07 孔的水位观

测数据进行非递归低通滤波处理,得到图 6,图 7:

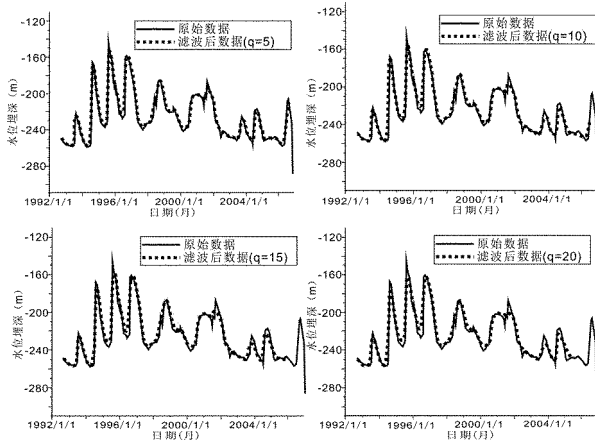


图 6 赵各庄矿赵 O7 孔观测数据分别在 $q=5, 10, 15, 20$ 条件下得到的非递归低通滤波图形

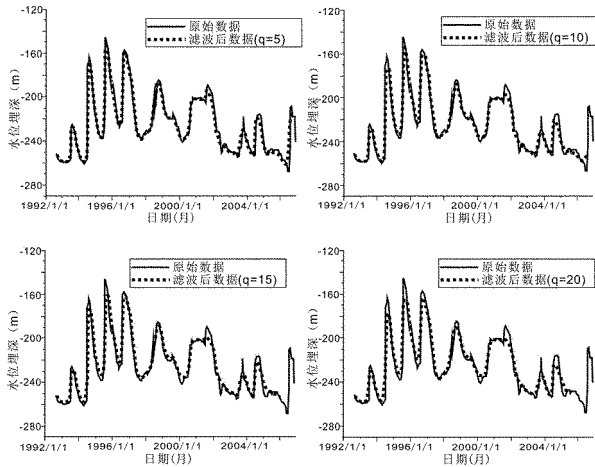


图 7 赵各庄矿融园孔观测数据分别在 $q=5, 10, 15, 20$ 条件下得到的非递归低通滤波图形

图 6 和图 7 分别表示赵各庄矿不同的地下水位观测孔在 $q=5, 10, 15$ 和 20 的条件下的非递归低通滤波图像,其中,黑线表示原始数据,红线表示滤波后数据。从图 6 中可以看出,随着阶数的增高,滤波效果越来越好,但是需要大量的计算数据。根据非递归滤波技术的对称性可以知道所有滤波后的数据序列都是相守恒的,非递归滤波技术的数据损失量随着阶数的增大而越来越多。

3.3.2 滤波效果评估

同样选取融园孔数据作为计算所用的数据。对观测数据进行加噪处理:得到加噪后的数据 C ,当阶数 q 在 $0 \sim 20$ 之间变化时,对 C 进行非递归滤波处理得到数据 D ,然后再计算平滑度指标(r)、均方根误差($RMSE$)和信噪比(SNR)。得到图 8 所示:

由图 8 可以看出,当 q 逐渐增大时,均方根误差

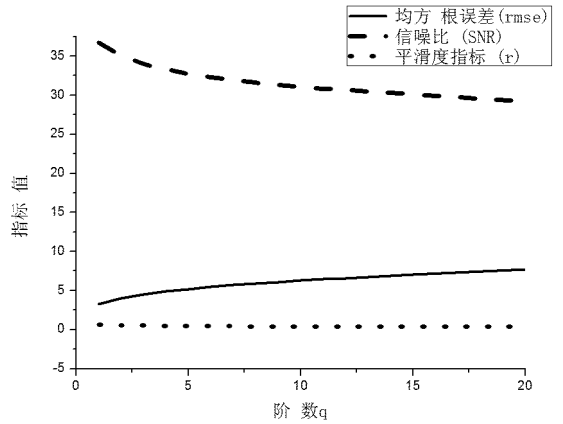


图 8 平滑度指标(r)、均方根误差($RMSE$)、信噪比(SNR)随着阶数 q 的变化

也随之增大而信噪比却在逐渐减小。且当 $q > 5$ 时相对于 $q < 5$ 时的均方根误差和信噪比变化幅度变小,且信噪比平滑下降,均方根误差平滑上升。考虑到平滑度指标在整个 q 值范围内平滑下降,所以当 $q=5$ 时,相对于其他条件下的滤波效果要好。同样的方法也可应用于赵各庄矿其他的水位观测孔,从而找出适合的滤波系数。

4 结论

递归滤波和非递归滤波在水文地质方面的应用有很多,该文在总结前人研究的基础之上,分别通过对研究区赵各庄矿井孔地下水位测量数据进行递归滤波和非递归滤波,取得的主要成果与结论如下:

(1)非递归滤波技术既可以实现线性相位,又具有有限长的单位脉冲响应特征,相对于递归滤波技术,非递归滤波技术易于实现且系统较稳定。滤波后的图形可以作为预测该地区在未来地下水位变化的依据,为实际生产生活提供安全保障。

(2)在分析赵各庄矿地下水位的测量数据时,分别对融园孔和赵 O7 孔在一定的滤波系数范围内进行滤波处理,观察得到的图像可以看出:随着滤波系数的增大,原始图形和滤波后的图形的离散度也越来越大,滤波系数的调校对滤波结果至关重要。

(3)将均方根误差($RMSE$)、信噪比(SNR)和平滑度指标(r)3 个指标综合对比可以较好的完善去噪效果。在该次滤波处理中确定了当 $b=0.5$ 时递归滤波效果相对较好,当 $q=5$ 时非递归滤波效果相对较好。非递归滤波条件下的各项差值均小于递归条件下的各项差值,根据各个指标的物理意义可以

得出非递归滤波效果相对于递归滤波效果要好。

参考文献:

- [1] 贺敬, 靳丰山, 陈素玲. 枣庄市十里泉电厂第三水源地地下水位年变幅灰色预测[J]. 山东国土资源, 2014, 30(1): 45-47.
- [2] 王智磊, 孙红月, 尚岳全. 基于地下水位变化的滑坡预测时序分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(11): 2276-2284.
- [3] 刘海文, 郑伟. LTCC 无源滤波器的研究现状及进展[J]. 微纳电子技术, 2009, 46(8): 502-508.
- [4] 邓重一. 信号的滤波技术发展历程[J]. 传感器世界, 2010, (3): 11-13, 25.
- [5] 尹慧, 许彦. 有源滤波器的研究现状及前景展望[J]. 电力电容器与无功补偿, 2010, 31(3): 27-32.
- [6] 王军华, 李建贵, 汪友华. 混合型有源电力滤波器研究现状与发展趋势[J]. 电气传动, 2007, 37(12): 3-6.
- [7] 官雪辉, 陈鹏, 刘海文, 等. 超宽带滤波器的研究现状与进展[J]. 华东交通大学学报, 2011, 28(1): 7-14.
- [8] 王易炜, 张金鹏, 王龙. 基于 MATLAB 的数字滤波器设计及其在数据处理中的应用[J]. 航空兵器, 2011, 8(4): 43-47.
- [9] 何光鑫, 李刚, 张华. 高阶递归滤波在一次暴雨预报中的数值试验[J]. 大气科学学报, 2011, 34(4): 439-446.
- [10] 孙东联, 王宗皓. 介绍一种新的客观分析法——递归滤波法[J]. 气象, 1993, 19(2): 49-53.
- [11] 姜碧琼, 卢博友, 雷永锋, 等. 基于 LabVIEW7.0 的 FIR 数字滤波器的设计[J]. 微计算机信息, 2008, 24(10): 167-168.
- [12] 李建华, 林品荣, 何畏, 等. MT 时间序列的 FIR 数字滤波分析[J]. 物探与化探, 2007, 31(S1): 24-28.
- [13] 郭金刚, 郭玉芳. 关于赵各庄矿奥灰水防治的探讨[J]. 科技资讯, 2010, (20): 104.
- [14] 申艳, 陈后金, 薛健, 等. 基于 Matlab 加噪语音的 FIR 滤波器设计[J]. 电气电子教学学报, 2011, 33(2): 41-44.
- [15] 陈强, 黄声享, 王伟. 小波去噪效果评价的另一指标[J]. 测绘信息与工程, 2008, 33(5): 13-14.

Digital Filter Analysis of Time Series of Groundwater Level in Zhaogezhuang Coalmine

YIN Chuanyin, ZHU Bin, SI Wenwen

(College of Earth Sciences of Guilin University of Technology, Guangxi Guilin 541004, China)

Abstract: In order to understand the changing trend of groundwater level in a coal mine, combining with factual examples, and contrasting the results gained by using recursive filtering method and non-recursive filtering method respectively, the changing rule and the mechanism of groundwater level have been studied. It is showed that the adjustment of filtering coefficients will effect filtering results. According to the smoothness index, the root mean square error and the signal-noise ratio, and comparing with the existing observation time series of groundwater level, it is concluded that the recursive filtering effect is better when $b=0.5$, while the non-recursive filtering effect is proper when $q=5$. The filtering results can be used as the basis for predicting the changing trend of groundwater level in the future. It also can provide some references for the safe production in the coal mine.

Key words: Recursive filtering; nonrecursive filtering; underground water; Zhaogezhuang area