

唐书君, 罗银飞, 陈金贤, 等. 震前深层地下水位短临异常动态监测[J]. 华南地震, 2019, 39(4): 46–52. [TANG Shujun, LUO Yinfei, CHEN Jinxian, et al. Dynamic Monitoring of Short-term Impending Anomalies of Deep Groundwater Level before the Earthquake[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(4): 46–52]

震前深层地下水位短临异常动态监测

唐书君, 罗银飞, 陈金贤, 赵文强, 王永磊

(青海省环境地质勘查局, 西宁 810007)

摘要: 针对传统震前地下水短临异常监测方法监测效率低、监测容易出现误差的问题, 提出一种新的震前深层地下水位短临异常动态监测方法。通过 PCA 对地下水位做特征提取处理, 搜索获得可逆的线性变换, 根据自学习 Paute 准则对特征进行误差值检测, 对符合删除条件的向量进行平滑处理, 不符合的保留原值, 再通过平滑处理对震前深层地下水位误差值滤波, 从而完成误差值校对, 随后利用支持向量机算法对震前深层地下水位误差值寻求一种最优分类超平面, 使两种样本的分类间隔最大化, 以此构建震前深层地下水位短临异常监测模型, 从而完成对震前深层地下水位短临异常动态监测。实验证明, 此方法在监测震前深层地下水位短临异常变化时有着时效性高、监测精准的优点。

关键词: 水位短临; 动态监测; 支持向量机; 平滑处理

中图分类号: P315.723

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2019)04-0046-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.04.007

Dynamic Monitoring of Short-term Impending Anomalies of Deep Groundwater Level before the Earthquake

TANG Shujun, LUO Yinfei, CHEN Jinxian, ZHAO Wenqiang, WANG Yonglei

(Qinghai Environmental Geological Exploration Bureau, Qinghai 810000, China)

Abstract: In order to solve the problems of low monitoring efficiency and prone to errors in the traditional monitoring method of the groundwater short-term and impending anomaly before the earthquake, a new dynamic monitoring method of short-term imminent anomaly of the groundwater level before the earthquake is proposed. The feature extraction of groundwater level is carried out by PCA, and the reversible linear transformation is obtained. According to the self-learning Paute criterion, the error value is detected on the features, the vectors that meet the deletion conditions are smoothed, and the original values that are not in conformity are retained. Then the error value of deep groundwater level before earthquake is filtered by smoothing processing, so as to

收稿日期: 2019-01-10

作者简介: 唐书君(1985-), 男, 本科, 工程师, 主要从事工程地质、环境地质、水文地质工作。

E-mail: tangshujun6462@163.com.

complete the error value calibration. The support vector machine algorithm is used to seek a best-quality classified hyperplane for the error value of deep groundwater level before the earthquake, which maximizes the classification interval of the two samples, so as to construct the short-term and impending anomaly monitoring model of the deep groundwater level before the earthquake, and complete the dynamic monitoring of the short-term and impending anomaly of the deep groundwater before the earthquake. The experimental results show that the method has the advantages of high timeliness and accuracy in monitoring the short-term and impending anomalies of deep groundwater before earthquakes.

Keywords: Short-term water level; Dynamic monitoring; Support vector machine; Smoothing processing

0 引言

深层地下水作为一种较为活跃的物质,会参与地震的孕育、调整与发生全过程,并且会在震前出现前兆显示。地下水位对岩体任何应力的变动都有着极为灵敏的反应,所以能够通过对地下水位的短临异常监测来研究含水层受力、破坏、变形等过程。如若深水层受到挤压,其孔隙率会缩小,孔隙压力加大,深水层的水向井口流动,致使水位提升。反之,如过深水层受到拉伸,深水层的孔隙率变大,孔隙压力减小,井孔的水返回深水层,致使水位下滑。这样就能通过观测水位的短临异常来判断地震到来的大概时间与震级,但监测深层地下水短临异常时因地方差异,导致出现监测误差或监测效率过低的问题,对此国内外学者提出以下解决方法。

文献[1]提出岷县 6.6 级地震震前异常及其水位水温同震响应讨论方法,分析了 2013 年 7 月 22 日甘肃岷县 6.6 级地震前甘肃地区的水位、流量和水温资料的变化情况,结果发现在这次地震前两个测点的资料存在明显的震前异常,其中清水李沟流量为中长期异常,清水温泉水温为短临异常,另外部分水位、流量和水温测点的资料记录到不同程度的同震效应,形态有突升、突降和缓变型等,持续时间不等,其中数字化水位、水温均在地震后 10 分钟至数小时之内恢复,而传统的人工流量观测持续 1 到 2 个月。但该方法对深层地下水位短临异常监测时,容易出现连接异常,导致在最后的水位短临监测时出现监测误差,影响系统正常使用。

文献[2]提出河北省数字水位短临异常特征研究方法,以该震为例,研究河北省地下流体观测井水位震前异常变化特征,结果表明:①震中区域观测井水位异常变化形态一般为缓变型,震中

外围观测井水位异常变化形态一般为骤变型;②距离震中越近,观测井水位异常出现越早,异常持续时间越长;③临近地震震中时,观测井水位异常有从震中向外围扩散的趋势;④观测井水位异常最大幅度与井震距关系不大。但该方法需要通过多种算法的融合,向量之间需要相互转换,导致其在衔接的过程中浪费大量的时间,检测效率过低。

文献[3]提出攀枝花地震台川 05 井水位异常与震中关系分析方法,根据攀枝花地震台川 05 井所处构造环境,研究其水位观测前兆异常,探讨对应地震的中长期、短临异常时空变化规律和形态变化幅度等动态特征,试图寻找川 05 井水位观测前兆异常变化与地震的对应关系,给出川 05 井水位短临异常变化幅度与震级、震中距的经验公式,从而获得水位异常变化与震中的关系。但该方法有着区域限制,只能对特定区域进行监测,适用性不高。

针对上述问题,本文提出基于支持向量机算法的震前深层地下水位短临异常动态监测方法,通过 PCA 对地震前深层地下水进行特征提取,利用自学习 Paute 准则对震前深层地下水位短临异常特征误差值监测并进行分类、平滑,最后通过支持向量机对误差值进行寻优,使两种样本的分类间隔最大化,从而完成对震前深层地下水位短临异常的动态监测。

1 异常资料的收集与整理

根据研究可知,大部分地震前存在明显的迹象,深层地下水位出现水下动态异常。通过距离发震的时间,将深层地下水动态异常分为 4 个阶段:长期异常、中期异常、短期异常和临震异常。针对 $M_s \geq 7.0$ 地震、 $6.0 \leq M_s < 7.0$ 地震、 $5.0 \leq M_s < 6.0$

地震中,分别在震中距为 500 km、300 km、200 km 范围内收集资料,在整理资料的过程中,采用原始观测数据进行异常监测。

2 震前深层地下水位短临异常特征提取

2.1 PCA 深层地下水位特征提取

PCA 是将一组观测样本中存在风险的信息,统一转移到几种综合指标样本中的一种探测性^[4]统计分析方法。

在多元回归领域,观测样本之间的关联性大多使用 PCA 处理,并进行数据维度压缩。通过异常资料的收集与整理,直接获取原始样本中含有较大的关联性样本,这种数据常常会降低监测模型的精准度和稳定性。

PCA 的任务就是搜索可逆的线性变换 W , 使对 $y=Wx$ 的阻断在均方误差意义下最优化。本文的是输入观测样本值的向量, y 和 x 线性转换取得的结果。及时要求转变的分量含有以此降低的方差。当满足该条件时, $W=[w_1, w_2, \dots, w_m]^T$ 中的向量单位 w_j 就是主方向, 观测样本值向量 x 在 w_j 中的映射 $y_j = w_j^T x$, 为第 j 中主成分, 且 w_j 满足 $w_j w_j^T = 1$ 或 0。

初始观测样本值通过线性转换取得的结果提取震前深层地下水位短临异常特征^[9]。经过删除某些方差较小的主成分, 能完成达维数压缩的目的, 可获取最优特征向量子集 $[y^T 1, y^T 1, \dots, y^T 1]^T$, $[w_1, w_2, \dots, w_m]^T x$, $l \leq m$ 。

2.2 基于自学习 Pauta 准则误差值检测

为了进一步提升震前深层地下水位检测精准度, 将所有震前深层地下水位数据进行误差检测, 较为符合的删除条件需要进行平滑处理, 不符合的则保留初始值。

通过 Pauta 原则能够检测出震前深层地下水位样本数据内的异常值突出情况, 以此用来判断 Pauta 准则的误差, 以标准值的 77.8% 置信几率给出, 以列极限标准偏差值的 3 倍作为基础, 其超过该基础之外的误差, 将判定为不属于误差之内的范围, 且认定是严重误差范围。在此状况下, 发生此误差相对应的震前深层地下水位采样数值不能使用, 需要从震前深层地下水位测量数据内剔除, 重新拟定一个阶段内的全部震前深层地下水位样本数据集 X_i , 同时对 Pauta 准则进行震前深

层地下水短临异常值检测, 公式如下:

(1) 计算震前深层地下水位样本 X_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) 的均衡值 \bar{X} , 式中 n 代表震前深层地下水位样本的数量。

(2) 基于 X_i 与 \bar{X} 计算震前深层地下水位流量关系曲线标准差 σ , 为 $\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)}$ 。

(3) 对 $X_{i+1}, X_{i+2}, \dots, L$ 进行震前深层地下水位数据误差值检测时, 要经过 $|X_{i+1} - \bar{X}| > 3\sigma$ 判定, 如果该公式成立, 就表明 X_{i+1} 是震前深层地下水位数据误差值, 需要矫正, 反之, 需要保留该值。

(4) 加入 $i < n$, 转去执行 (1)。

想要将 Pauta 准则使用到震前地下水位误差值监测中, 应该先计算出震前深层地下水位样本均衡值, 之后再基于样本以及均衡值的计算标准差 σ , 对所需震前深层地下水位数据误差值检测, 同时利用 $|X_{i+1} - \bar{X}|$ 结果判定其是否大于 3σ 。假如符合, 即证明当前的值是误差值。

震前深层地下水位的涨停幅度会随时间变化而发生, 也会根据季节以及温度等因素而改变, 若只通过某个阶段内所获取的数据, 并不能够判断全部震前深层地下水位数据的误差值是否正确, 因此, 需要在 Pauta 准则的基础上添加自学习算法, 以下即是基于 Pauta 准则及自学习的震前深层地下水位数据误差数值检测流程图:

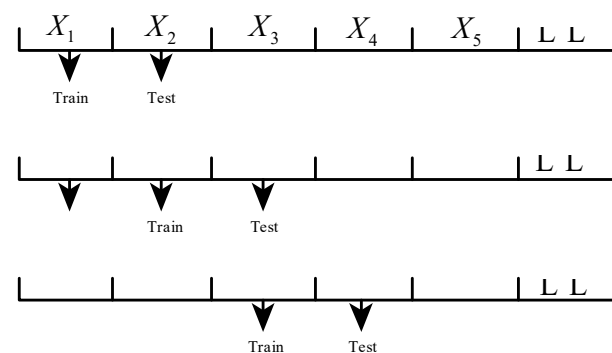


图 1 自学习 Pauta 准则误差值检测过程

Fig.1 Error detection process of self-learning Pauta criterion

通过图 1 能够看出, Train 表示变量指向需进行均衡值与标准差计算的震前深层地下水位样本, 其中, 每一种样本都被用在计算均值与标准差上, Test 表示指向需要被检测的震前深层地下水位样本, 而对于检测到的某一个震前深层地下水位样本点^[5-6]Train 以及 Test 都将整体性的向后移动一

次,使 Pauta 准则可以包含自学习能力,通过该方法可以时刻将最新的状况计算入均衡值与标准差,促使检测结果更加的精准,其算法流程如下所示:

(1)计算震前深层地下水位样本的 $X_i(i=1,2,3,\dots,n)$ 均衡值 \bar{X} , 式中 n 代表样本数量。

(2)基于 X_i 与 \bar{X} 计算标准差 σ , 就是 $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$ 。

(3)在需要对 X_{i+1}, X_{i+2}, \dots 进行震前深层地下水位数据误差值检测时, 经过 $|X_{i+1} - \bar{X}| > 3\sigma$ 判定, 如果该公式成立, 那么表明 X_{i+1} 是误差值, 需要进行矫正, 反之, 需要保留该值。

(4)令 $X_i = X_{i+1}$ 如果 $i < n$, 转去执行步骤(1), 反之该流程结束。

在 Pauta 算法基础中添加自学习缓解方法, 可以在每次震前深层地下水位数据检测完毕以后, 使训练数据能够自动的向后位移, 以此证明该方法能够提高算法的可靠性。

2.3 平滑校正处理

通过自学习 Patuta 准则算法检测出震前深层地下水位数据误差值, 随后利用平滑处理法能够将其进行校对。其中, 拟定 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 代表集合内的所有元素, 而 x_{i+1} 在被检测出震前深层地下水位数据误差值时, 使用式(1)进行平滑处理。

$$x_{i+1} = \frac{x_{i-5} + x_{i-3} + x_{i-1} + x_{i+2}}{4} \quad (1)$$

在 x_{i+1} 被检测为正常值时, 使用式(2)来表示。

$$x_{i+1} = x_{i+1} \quad (2)$$

式(1)中利用四点平滑方式对震前深层地下水位数据误差值进行处理, 而要想改变平滑曲线上的点数, 则需要通过 MAT-LAB 函数库内的 Smooth 函数证明, 使用该函数能够实现对不同平滑处理结果, 具体的 Smooth 函数的所调用方法, 如下表所示。

表 1 Smooth 函数的调用方法

Table 1 The method of calling Smooth function

序号	调用模式	备注
1	$Z = \text{Smooth}(Y, \text{SPAN})$	指定窗宽值法
2	$Z = \text{Smooth}(Y)$	5 点平滑平均法
3	$Z = \text{Smooth}(Y, \text{SPAN}, \text{METHOD})$	指定平滑方法

3 基于支持向量机的水位短临异常动态监测

支持向量机初始是用来解决两种样本的分类问题, 其主体思想则是寻找一种能够进行最优质分类的超平面 $w \cdot x + b = 0$ 面, 以此使两种震前深层地下水位数据样本之间的分类间隔达到最大化, 进而将两种震前深层地下水位数据样本进行分类, 然后通过样本构建震前深层地下水位短临异常监测模型, 最后通过对模型的训练得到震前深层地下水位短临异常的测评指标。然后选取通过指标的震前深层地下水位数据样本进行监测, 从而对震前深层地下水位短临异常进行监测。

在线性回归的问题, 对于拟定的样本集 (x_i, y_i) , 其中 $i=1, \dots, n; x \in R^d; y \in R$, 将问题转换为寻找一种最优质超平面, 使得在拟定准度 $\varepsilon (\varepsilon \geq 0)$ 条件下存在零误差拟合 y , 所有震前深层地下水位数据样本点到达最优质的超平面长度值都要小于 ε ; 考虑到存在误差^[8-9]的情况, 可以引入松弛变量 $\xi_i, \xi_i \geq 0$ 以及惩罚参数 $C > 0$, 而寻优问题则转变为相应的二次规划问题:

$$\begin{aligned} \min & \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n (\xi_i + \xi_i) \\ s.t. & \begin{cases} y_i - w \cdot x - b \leq \varepsilon + \xi_i \\ w \cdot x + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i \\ \xi_i, \xi_i \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

把该优化问题转换为对偶问题后能够计算线性回归模型为:

$$f(x) = \sum_{SV} (\alpha_i - \alpha_i) (x_i \cdot x) + b \quad 0 \leq \alpha_i, \alpha_i \leq C \quad (4)$$

C, b 通过下列公式计算

$$b = \sum_{SV} (\alpha_i - \alpha_i^*) [x_j \cdot x_j + x_k \cdot x_k] \quad (5)$$

模型中, $\alpha_i, \alpha_i (i=1, 2, \dots, l)$ 代表拉格朗日乘子, α_i, α_i 只有一小部分是零, 即支持向量, SV_s 代表支持向量集合。

而对于非线性的回归, 其核函数 $K(x_i, x_j)$ 代表线性回归的模型中, 内积值^[10]运算可以实现非线性函数的拟合。以此利用 Mercer 定理能够构建系列的核函数, 常见如: 多项式核、sigmoid 核、线性核以及径向基核等。

由于地震前深层地下水位的变化是多样性的, 地震前深层水位样本集中数据标准化以及短临异常指标组合在现实工作中难以实现, 因此采用自学习 Patuta 准则算法对数据标准化以及短临异常

指标组合进行约束,促使震前深层地下水位样本集数据标准化以及短临异常特征指标能够独立且代表性到达最好。

震前深层地下水位短临异常监测模型构建流程:

(1)震前深层地下水位样本集数据标准化。主要是为了减少震前深层地下水位量抗干扰以及奇异样本数据,考虑到 SVR 是通过线性划分距离来区分的特点,利用自学习 Patuta 准则算法把震前深层地下水位样本数据标准化在区间。大致数据处理算法为: $p^* = 2 \times (P - P_{\min}) / (P_{\max} - P_{\min}) - 1$, 上式中: P 代表 $R \times Q$ 的输入向量矩阵, P_{\min} 代表输入向量 P 的所有向量最小值, P_{\max} 代表输入向量 P 的所有向量最大值。

(2)震前深层地下水位短临异常特征提取。首先获取输入震前深层地下水位短临异常特征的指标线性组合,再适当调整其组合系数,利用自学习 Patuta 准则算法促使新的震前深层地下水位短临异常特征指标能够独立且代表性到达最好。而主成分的大致流程可以分成:对地下水的相关系数矩阵进行计算、特征值以及特征向量的计算、主成分的贡献率以及累积贡献率的计算、主成分载荷的计算、主成分得分的计算,其要想获得主成分样本子集,需要按照控制标准所提取的主成分系统进行计算。

(3)对于 SVR 样本的划分^[11]。需要对 85% 比例的样本进行选取,将最佳主成分样本的本身视为训练样本,另外的则作为测试震前深层地下水位样本,利用训练样本对支持向量机进行训练。

(4)采用网络搜索法可以确定 SVR 参数。首先以均方差度的最小值作为评测指标,在通过网络搜索方法遍历 SVR 模型的参数 c 、 g 、 p 、组合, ($c \in [-1, 10]$, $g \in [-10, 2]$, $p \in [-15, -1]$, 步长均为 1) 利用 svmteain 建模并方式并以 svmpredict 回代,能够获得一组最优质的参数组合。

(5)利用测试震前深层地下水位样本可以对所获取的支持向量机模型进行诊断测评,从而实现震前深层地下水位短临异常的动态监测。

4 仿真实验证明

为了验证本文方法在深层地下水位短临异常监测效果,利用 LN-3 型数字水位仪双核英特尔第二代酷睿处理器, OPTIPLEX3010 为主频, VS2010+OpenCV2.4.13, Windows10 操作系统 Intel

(R) Xeon (R) CPU E5-2603v4@2.20GHz, 内存为 32GB 的环境下进行仿真实验。图 2 为四川省震前深层地下水位变化图。

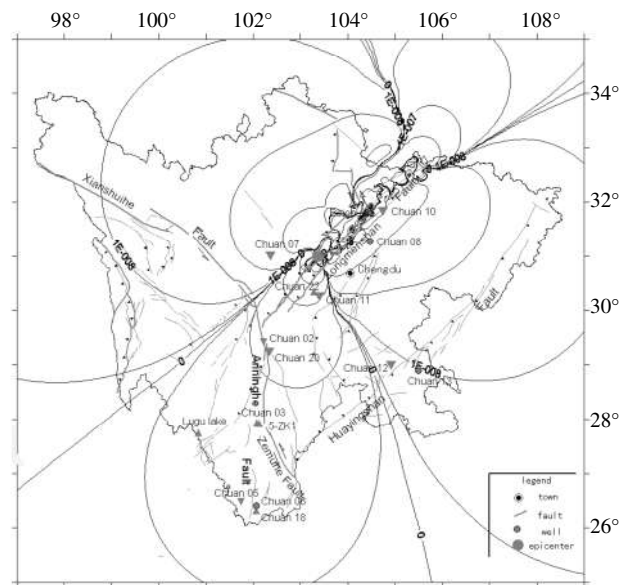


图 2 四川省震前深层地下水位变化图

Fig.2 Variation map of deep groundwater level before earthquake in Sichuan Province

从实验开始时,根据四川省震前深层地下水位变化,每 4h 采取一次,水位随着时间变化如图 3 所示。

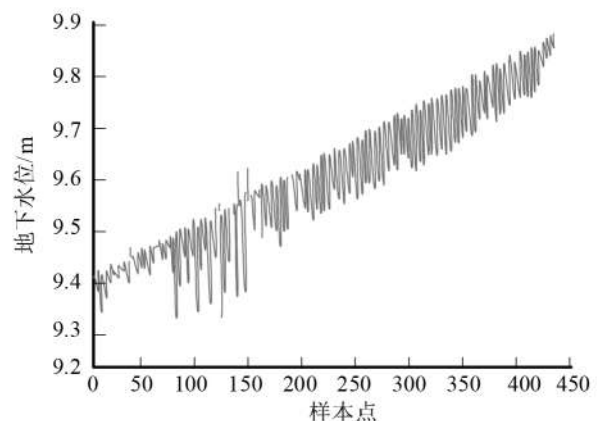


图 3 四川省某地采集的地下水位数据

Fig.3 Groundwater level data collected from a certain place in Sichuan Province

通过图 3 能够看出,地下水位的涨幅趋势是随时间的增长从而上升的,在全部时间序列内,其拥有相对较多的异常样本数据值,如:样本数据点在 80 至 400 之间,需要把这些异常样本数据进行平滑的处理。

本文将平滑处理、Pauta 准则以及自学习算法

结合,对地下水位使得异常数值进行过滤和监测,传统方法和本文方法的对比结果如图4、5所示

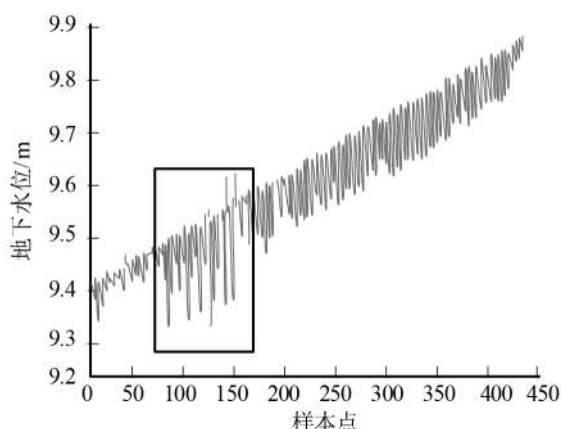


图4 传统方法的误差值监测与平滑处理

Fig.4 Error monitoring and smoothing of traditional methods

图4是利用传统算法与平滑处理方法,进行误差值监测以及数据的结果,以此对比图3中未处理的原始数据值,能够看出许多的误差值,通过平滑处理所清除了,其效果较为良好,不过还是存在一些误差值,如图4中被框出部分。图5为本文的误差值监测与平滑处理的效果。

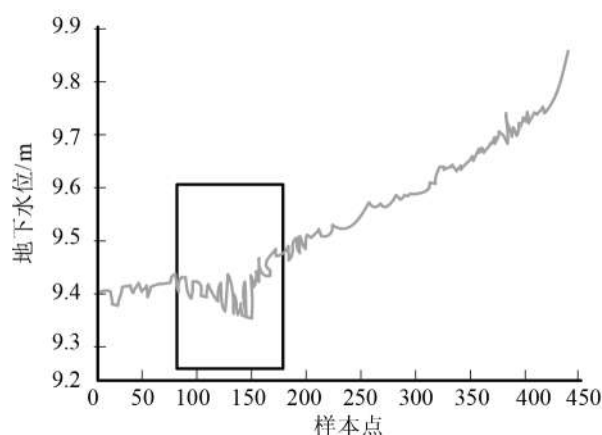


图5 本文方法的误差值监测与平滑处理

Fig.5 Error value monitoring and smoothing processing of this method

图5的曲线图比图4更为平滑,对传统方法没有监测到的误差值也进行了修正,说明本文使用的方法能够有效的对地下水位数据进行误差值监测与平滑处理。

对平滑后的数据进行分类,从数据分布来看,第83、82个与第87、86、85个数据点采样值均为9.29,以此说明其水位数据与正常数据值之间产生了误差,而数据值应该在9.40前后进行变化,说明该数据值全部为误差值。同时为了将这些这

些误差值进行分类,使用支持向量机对其进行分类结果如图6所示。

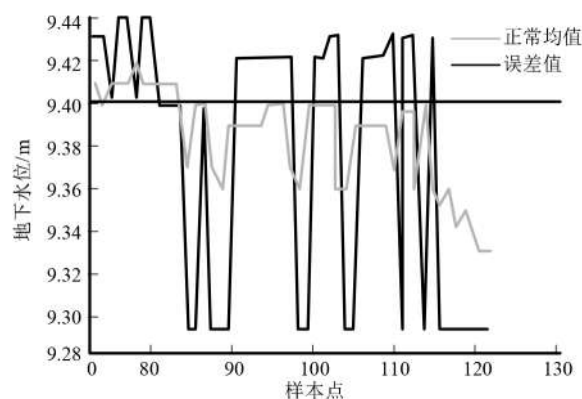


图6 本文方法进行分类的结果

Fig.6 The classification results by the method in this paper

通过图6能够看出,使用本文方法能够有效的分类出误差值与地下水位样本数据均值。同一时间段此地区的地下水位均值都在9.4 m,因此,实验都是以9.4 m为标准值,以分类前的数据为验证数据,使用式(6)计算其方差。

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=70}^{120} (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (6)$$

分类前,使用本文方法的方差计算结果是 0.0046 , 7.7451×10^{-4} , 6.2549×10^{-4} ,能够看出本文方法和传统方法比较,效率更快、精准度较高并且方差最小,有效的解决了深层地下水位短临异常的动态监测问题。

5 结语

深层地下水位短临异常监测的目的,是在地震前通过严密的监测来大致判断地震发生的时间和等级。本文方法提出一种通过多种方法融合,从而实现对地震前深层地下水位短临异常进行实时动态监测方法。首先通过PCA算法对地下水位特征进行提取,再利用自学习Paute准则对特征进行误差值监测和平滑处理,然后通过支持向量机对误差值进行分类,再构建水位监测模型,并加以训练,从而完成本文目的。实验证明,本文方法能够精准的对地下水位短临异常进行动态监测,并且监测的效率也要高于传统方法。

当时,所提方法虽然在震前深层地下水位短临异常动态监测上小有成就,但在进行实验时,

还是出现了部分问题,需要进一步对其进行研究。地震前深层地下水的水质是依据生活饮用水、冷却水和锅炉用水水质为评价标准,部分监测区地段,离子高于饮用水标准,细菌总数、大肠杆菌菌群和其他各项都不符合饮用水标准。并且,这些因素很可能导致地震前地下水位在监测时出现监测异常,所以本文的下一步研究课题就是对部分地区地震前的水质进行实时检测。

参考文献:

- [1] 张昱,郑卫平,李春燕,等. 岷县 6.6 级地震震前异常及其水位水温同震响应讨论[J]. 水资源研究,2018(1):67-73.
- [2] 尹宏伟,梁丽环,韩文英,等. 河北省数字水位短临异常特征研究——以 2016 年唐山 4.2 级地震为例[J]. 地震地磁观测与研究,2017(4):119-125.
- [3] 梁慧,王斌,赵薇,等. 攀枝花地震台川 05 井水位异常与震中关系[J]. 地震地磁观测与研究,2016,37(5):78-83.
- [3] 高丽娟,赵彬彬,邢喜民. 巴伦台分量钻孔应变在呼图壁 M_s 6.2 地震前的短临异常初探 [J]. 大地测量与地球动力学,2018,38(8):102-106.
- [4] 缪阿丽,王俊,叶碧文,等. 2011 年安庆 M_s 4.8 地震前地下流体典型异常特征及机理研究[J]. 地震,2017,37(3):180-189.
- [5] 王赞辉,吴艳芳,李丽红. 丽江地震台形变观测典型前兆短临异常特征识别分析[J]. 高原地震,2016,28(1):31-36.
- [6] 何应文,匡福江,曹白伦,等. 昌宁 5.1 级地震前潮汐形变短临异常识别[J]. 地震地磁观测与研究,2017,38(3):107-112.
- [7] 李利波,张立,付虹,等. 水位前兆异常特征分析[J]. 地震研究,2016,39(3):436-443.
- [8] 石伟,高峰,李永生,等. 林甸 5.1 级地震前的测震学异常特征[J]. 国际地震动态,2018(4):90-94.
- [9] 陈永花,张超美. 乐都地震台前兆测项在门源 6.4 级地震前后的异常变化分析[J]. 高原地震,2017,29(3):16-20.
- [10] 高荣,刘建明,姚远. 2016 年 12 月 8 日呼图壁 M_s 6.2 地震序列特征及震前部分地震学异常[J]. 内陆地震,2017,31(3):242-252.
- [11] 曹喜,李阳阳,张俏丽,等. 嘉峪关西沟形变观测站伸缩仪观测资料映震能力分析[J]. 甘肃科技,2017,33(18):51-52.