

(19)中华人民共和国国家知识产权局



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105488307 B

(45)授权公告日 2018.08.31

(21)申请号 201610023372.5

G06Q 10/04(2012.01)

(22)申请日 2016.01.13

审查员 李海明

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105488307 A

(43)申请公布日 2016.04.13

(73)专利权人 武汉福天通科技有限公司

地址 430040 湖北省武汉市东湖新技术开发区武大园路7号武大科技园3S地球空间信息产业基地三区A7栋5层03号

(72)发明人 安庆 柳涛 陈西江 吴浩

(74)专利代理机构 北京华仲龙腾专利代理事务所(普通合伙) 11548

代理人 李静

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

权利要求书3页 说明书8页

(54)发明名称

基于北斗的边坡监测预警系统评价方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于北斗的边坡监测预警系统评价方法,它涉及工程监测技术领域;它的评价方法为:步骤一:通过北斗测量模块获取边坡连续时间段内的位移等监测数据,并对其进行预处理,使其符合系统构建需求;步骤二:通过数据管理模块进行图形显示、参数设置、文本输出、数据更新、保存、修改;步骤三、根据连续测量所得到的北斗位移监测数据,建立灰色微分预测模型;步骤四、边坡稳定性评价预警;本发明能对边坡监测进行估计和预测,为判断边坡未来的走势提供依据和参考,在一定程度上克服了传统预测模型的局限性,有助于减少时间序列的随机性和提高预测精度,并且灰色预测模型在监测预测方面具有所需样本少,对样本要求不严格。

1. 基于北斗的边坡监测预警系统评价方法,其特征在于:它的评价方法为:

步骤一:通过北斗测量模块获取边坡连续时间段内的位移监测数据,并对其进行预处理,使其符合系统构建需求;

步骤二:通过数据管理模块进行图形显示、参数设置、文本输出、数据更新、保存、修改;

步骤三、根据连续测量所得到的北斗位移监测数据,建立灰色微分预测模型:

(3.1)、GM(1.1)模型的建立:

(3.1.1)、累加生成新序列:原始序列 $X^{(0)} = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)\}$ 有n个观察值,将原始序列的第一个数据,将原始序列的第二个数据加到原始序列的第一个数据上,其和作为生成列的第二个数据,将原始序列的第三个数据加到生成列的第二个数据上,其和作为生成列的第三个数据,按此规则通过累加生成新序列 $X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)\}$,则GM(1.1)模型相应的微分方程为:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = \mu$$

其中:a称为发展灰数;μ称为内生控制灰数;

(3.1.2)、构造矩阵B与向量Y:

$$\text{矩阵 } B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(X^{(1)}(2) + X^{(1)}(1)), 1 \\ -\frac{1}{2}(X^{(1)}(3) + X^{(1)}(2)), 1 \\ \vdots \vdots \vdots \vdots \\ -\frac{1}{2}(X^{(1)}(n) + X^{(1)}(n-1)), 1 \end{bmatrix}$$

向量 $Y = (X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \dots, X^{(0)}(n))$;

(3.1.3)、解微分方程,得预测模型:设 \hat{a} 为待估参数向量, $\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ \mu \end{pmatrix}$,则微分方程可表示为

$Y = B\hat{a}$,利用最小二乘法可得:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

求解微分方程,即可得预测模型:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = \left[X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a} \right] e^{-ak} + \frac{\mu}{a} \quad k = 0, 1, 2, \dots, n;$$

(3.1.4)、对预测序列累减还原:对其做累减还原,即可得到原始数列的灰色预测模型为:

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

式中:a主要控制系统发展态势的大小,即反映预测的发展态势,其中:

①、当 $-a < 0.3$ 时,GM(1.1)模型可用于中长期预测;

②、当 $0.3 < -a < 0.5$ 时,GM(1.1)模型可用于短期预测,中长期预测慎用;

③、当 $0.5 < -a < 1$ 时,应采用GM(1.1)改进模型,包括GM(1.1)残差修正模型;

④、当 $-a > 1$ 时,不宜采用GM(1.1)模型;

(3.2)、模型检验:模型检验有残差检验、关联度检验和后验差检验;

(3.2.1)、残差检验:

按预测模型计算 $\hat{X}^{(0)}(i)$, 并将 $\hat{X}^{(0)}(i)$ 累减生成 $\hat{X}^{(0)}(i)$, 然后计算原始序列 $X^{(0)}(i)$ 与 $\hat{X}^{(0)}(i)$ 的绝对误差序列及相对误差序列; 在建立模型后, 对模型进行精度检验;

(3.2.2)、关联度检验:

关联度分析是分析系统中各因素关联程度的方法, 在计算关联度之前需先计算关联系数;

关联系数定义为:

$$\eta(k) = \frac{\min|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)| + \rho \times \max|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|}{|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)| + \rho \times \max|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|};$$

式中: $|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|$ 为第 k 个点 $X^{(0)}$ 和 $\hat{X}^{(0)}$ 的绝对误差;

$\min|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|$ 为两级最小差;

$\max|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|$ 为两级最大差;

ρ 称为分辨率, $0 < \rho < 1$, 若 ρ 越小, 关联系数间差异越大, 区分能力越强; 取 $\rho = 0.5$; 对单位不一, 初值不同的序列, 在计算相关系数前应首先进行初始化, 即将该序列所有数据分别除以第一个数据;

$$\text{关联度 } r = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \eta(k);$$

(3.2.3)、后验差检验:

$$(a) . \text{ 计算原始序列标准差: } S_1 = \sqrt{\frac{\sum [X^{(0)}(i) - \bar{X}^{(0)}]^2}{n-1}};$$

$$(b) . \text{ 计算绝对误差序列的标准差: } S_2 = \sqrt{\frac{\sum [\Delta^{(0)}(i) - \bar{\Delta}^{(0)}]^2}{n-1}};$$

$$(c) . \text{ 计算后验差比值: } C = \frac{S_2}{S_1};$$

步骤四、边坡稳定性评价预警:

(4.1)、当灰色预测模型适用时, 利用灰色预测模型对监测数据的结果进行分析, 对测量点位移的变化规律做出模糊的长期描述, 判断边坡的位移变化趋势, 并设定位移变化的安全阈值, 超过安全阈值则启动报警程序;

(4.2)、当灰色预测模型不宜采用时, 可通过模糊综合评判法对边坡当前的稳定性做定性评价; 选择评价等级为: 稳定、较稳定、较不稳定和不稳定; 评价因子为: 粘聚力、内摩擦角、坡角、坡高、最大位移速度;

所述的步骤四的(4.2)中的具体评价方法:

(4.2.1)、隶属度的计算:

采用梯形函数计算各评价因子x对边坡稳定性影响的隶属度,计算公式如下:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= \begin{cases} 1 & x \leq S_1 \\ \frac{S_2 - x}{S_2 - S_1} & S_1 \leq x \leq S_2 \\ 0 & S_2 \leq x \end{cases} \\
 Y_2 &= \begin{cases} \frac{x - S_1}{S_2 - S_1} & S_1 \leq x \leq S_2 \\ \frac{S_3 - x}{S_3 - S_2} & S_2 < x \leq S_3 \\ 0 & x \leq S_1, x \geq S_3 \end{cases} \\
 Y_3 &= \begin{cases} \frac{x - S_2}{S_3 - S_2} & S_2 < x \leq S_3 \\ \frac{S_4 - x}{S_4 - S_3} & S_3 < x \leq S_4 \\ 0 & x \leq S_2, x \geq S_4 \end{cases} \\
 Y_4 &= \begin{cases} 0 & x \leq S_3 \\ \frac{x - S_3}{S_4 - S_3} & S_3 < x \leq S_4 \\ 1 & x \geq S_4 \end{cases}
 \end{aligned}$$

式中, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 分别为评价因子对于4个危险等级的隶属度, S_1, S_2, S_3, S_4 为相应于评价因子的分级阈值;根据评价因子的输入值和隶属度函数,可求出其相应于各等级的隶属度,进而得出模糊关系矩阵R;

(4.2.2)、权重的计算:权法计算各因子的权重,按下式:

$$W_i = C_i / S_i$$

其中: W_i 为各评价因子的权重; C_i 为第*i*种因子的输入值; S_i 为第*i*种因子各级标准的平均值, $S_i = 1/4 (S_{i1} + S_{i2} + S_{i3} + S_{i4})$;计算出的权重值 W_i 要做归一化处理,即:

$$\overline{W}_i = (C_i / S_i) / \left(\sum_{i=1}^n C_i / S_i \right)$$

最终可得出权重矩阵A=($W_{i1}, W_{i2}, W_{i3}, W_{i4}$);评判结果按最大隶属度规则确定,即哪一等级的隶属度最大,则危险程度属于该等级,根据等级启动相应级别的报警系统。

基于北斗的边坡监测预警系统评价方法

技术领域：

[0001] 本发明涉及一种基于北斗的边坡监测预警系统评价方法，属于工程监测技术领域。

背景技术：

[0002] 目前，边坡工程监测方法有宏观地质观测法、人工观测法、设站观测法、仪表观测法。目前的监测方法多种多样，但监测数据格式大不相同，不能实现数据的共享；监测计算模型很多，但是计算结果的精度大多都不高，无法对边坡灾害进行精确的预测。

发明内容：

[0003] 针对上述问题，本发明要解决的技术问题是提供一种基于北斗的边坡监测预警系统评价方法。

[0004] 本发明的一种基于北斗的边坡监测预警系统评价方法，它的评价方法为：

[0005] 步骤一：通过北斗测量模块获取边坡连续时间段内的位移等监测数据，并对其进行预处理，使其符合系统构建需求；

[0006] 步骤二：通过数据管理模块进行图形显示、参数设置、文本输出、数据更新、保存、修改；

[0007] 步骤三、根据连续测量所得到的北斗位移监测数据，建立灰色微分预测模型：

[0008] (3.1)、GM(1.1)模型的建立：

[0009] (3.1.1)、累加生成新序列：原始序列 $X^{(0)} = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)\}$ 有n个观察值，将原始序列的第一个数据，将原始序列的第二个数据加到原始序列的第一个数据上，其和作为生成列的第二个数据，将原始序列的第三个数据加到生成列的第二个数据上，其和作为生成列的第三个数据，按此规则通过累加生成新序列 $X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)\}$ ，则GM(1.1)模型相应的微分方程为：

$$[0010] \frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = \mu$$

[0011] 其中：a称为发展灰数；μ称为内生控制灰数；

[0012] (3.1.2)、构造矩阵B与向量Y：

$$[0013] \text{矩阵 } B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(X^{(1)}(2) + X^{(1)}(1)), 1 \\ -\frac{1}{2}(X^{(1)}(3) + X^{(1)}(2)), 1 \\ \dots \\ -\frac{1}{2}(X^{(1)}(n) + X^{(1)}(n-1)), 1 \end{bmatrix}$$

[0014] 向量Y = $(X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \dots, X^{(0)}(n))$ ；

[0015] (3.1.3)、解微分方程,得预测模型:设 \hat{a} 为待估参数向量, $\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ \mu \end{pmatrix}$,则微分方程可

表示为 $Y = B\hat{a}$,利用最小二乘法可得:

[0016] $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$

[0017] 求解微分方程,即可得预测模型:

[0018] $\hat{X}^{(0)}(k+1) = \left[X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a} \right] e^{-ak} + \frac{\mu}{a} \quad k = 0, 1, 2, \dots, n;$

[0019] (3.1.4)、对预测序列累减还原:对其做累减还原,即可得到原始数列的灰色预测模型为:

[0020] $\dot{X}^{(0)}(k) = \hat{X}^{(0)}(k+1) - \hat{X}^{(0)}(k)$

[0021] 式中:a主要控制系统发展态势的大小,即反映预测的发展态势,其中:

[0022] ①、当 $-a < 0.3$ 时,GM(1.1)模型可用于中长期预测;

[0023] ②、当 $0.3 < -a < 0.5$ 时,GM(1.1)模型可用于短期预测,中长期预测慎用;

[0024] ③、当 $0.5 < -a < 1$ 时,应采用GM(1.1)改进模型,包括GM(1.1)残差修正模型;

[0025] ④、当 $-a > 1$ 时,不宜采用GM(1,1)模型;

[0026] (3.2)、模型检验:模型检验有残差检验、关联度检验和后验差检验;

[0027] (3.2.1)、残差检验:

[0028] 按预测模型计算 $\hat{X}^{(0)}(i)$,并将 $\hat{X}^{(0)}(i)$ 累减生成 $\dot{X}^{(0)}(i)$,然后计算原始序列 $X^{(0)}(i)$ 与 $\dot{X}^{(0)}(i)$ 的绝对误差序列及相对误差序列;在建立模型后,对模型进行精度检验;

[0029] (3.2.2)、关联度检验:

[0030] 关联度分析是分析系统中各因素关联程度的方法,在计算关联度之前需先计算关联系数;

[0031] 关联系数定义为:

[0032] $\eta(k) = \frac{\min |\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)| + \rho \times \max |\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|}{|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)| + \rho \times \max |\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|};$

[0033] 式中: $|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|$ 为第k个点 $X^{(0)}$ 和 $\hat{X}^{(0)}$ 的绝对误差;

[0034] $\min |\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|$ 为两级最小差;

[0035] $\max |\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|$ 为两级最大差;

[0036] ρ 称为分辨率, $0 < \rho < 1$,若 ρ 越小,关联系数间差异越大,区分能力越强;一般取 $\rho = 0.5$;对单位不一,初值不同的序列,在计算相关系数前应首先进行初始化,即将该序列所有数据分别除以第一个数据;

[0037] 关联度 $r = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \eta(k);$

[0038] (3.2.3)、后验差检验:

[0039] (a). 计算原始序列标准差: $S_1 = \sqrt{\frac{\sum [X^{(0)}(i) - \bar{X}^{(0)}]^2}{n-1}}$;

[0040] (b). 计算绝对误差序列的标准差: $S_2 = \sqrt{\frac{\sum [\Delta^{(0)}(i) - \bar{\Delta}^{(0)}]^2}{n-1}}$;

[0041] (c). 计算后验差比值: $C = \frac{S_2}{S_1}$;

[0042] 步骤四、边坡稳定性评价预警:

[0043] (4.1)、当灰色预测模型适用时,利用灰色预测模型对监测数据的结果进行分析,对测量点位移的变化规律做出模糊的长期描述,判断边坡的位移变化趋势,并设定位移变化的安全阈值,超过安全阈值则启动报警程序;

[0044] (4.2)、当灰色预测模型不宜采用时,可通过模糊综合评判法对边坡当前的稳定性做定性评价;选择评价等级为:稳定、较稳定、较不稳定和不稳定;评价因子为:粘聚力、内摩擦角、坡角、坡高、最大位移速度。

[0045] 作为优选,所述的步骤四的(4.2)中的具体评价方法:

[0046] (4.2.1)、隶属度的计算:

[0047] 采用梯形函数计算各评价因子 x 对边坡稳定性影响的隶属度,计算公式如下:

[0048]
$$Y_1 = \begin{cases} 1 & x \leq S_1 \\ \frac{S_2 - x}{S_2 - S_1} & S_1 \leq x \leq S_2 \\ 0 & S_2 \leq x \end{cases}$$

[0049]
$$Y_2 = \begin{cases} \frac{x - S_1}{S_2 - S_1} & S_1 \leq x \leq S_2 \\ \frac{S_3 - x}{S_3 - S_2} & S_2 < x \leq S_3 \\ 0 & x \leq S_1, x \geq S_3 \end{cases}$$

[0050]
$$Y_3 = \begin{cases} \frac{x - S_2}{S_3 - S_2} & S_2 < x \leq S_3 \\ \frac{S_4 - x}{S_4 - S_3} & S_3 < x \leq S_4 \\ 0 & x \leq S_2, x \geq S_4 \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
 [0051] \quad Y_4 = & \begin{cases} 0 & x \leq S_3 \\ \frac{x - S_3}{S_4 - S_3} & S_3 < x < S_4 \\ 1 & x \geq S_4 \end{cases}
 \end{aligned}$$

[0052] 式中, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 分别为评价因子对于 4 个危险等级的隶属度, S_1, S_2, S_3, S_4 为相应于评价因子的分级阈值。根据评价因子的输入值和隶属度函数, 可求出其相应于各等级的隶属度, 进而得出模糊关系矩阵 R :

[0053] (4.2.2)、权重的计算: 权法计算各因子的权重, 按下式:

$$[0054] \quad W_i = C_i / S_i$$

[0055] 其中: W_i 为各评价因子的权重; C_i 为第 i 种因子的输入值; S_i 为第 i 种因子各级标准的平均值, $S_i = 1/4 (S_{i1} + S_{i2} + S_{i3} + S_{i4})$ 。计算出的权重值 W_i 要做归一化处理, 即:

$$[0056] \quad \bar{W}_i = (C_i / S_i) / \left(\sum_{i=1}^n C_i / S_i \right)$$

[0057] 最终可得出权重矩阵 $A = (\bar{W}_{i1}, \bar{W}_{i2}, \bar{W}_{i3}, \bar{W}_{i4})$; 评判结果按最大隶属度规则确定, 即哪一等级的隶属度最大, 则危险程度属于该等级, 根据等级启动相应级别的报警系统。

[0058] 本发明的有益效果为: 通过快速建立 GM(1,1) 预测模型, 对边坡监测进行估计和预测, 为判断边坡未来的走势提供依据和参考, 在一定程度上克服了传统预测模型的局限性, 有助于减少时间序列的随机性和提高预测精度, 并且灰色预测模型在监测预测方面具有所需样本少, 对样本要求不严格的特点。

具体实施方式:

[0059] 本具体实施方式采用以下技术方案: 它的评价方法为:

[0060] 步骤一: 通过北斗测量模块获取边坡连续时间段内的位移等监测数据, 并对其进行预处理, 使其符合系统构建需求;

[0061] 步骤二: 通过数据管理模块进行图形显示、参数设置、文本输出、数据更新、保存、修改;

[0062] 步骤三、根据连续测量所得到的北斗位移监测数据, 建立灰色微分预测模型:

[0063] (3.1)、GM(1,1) 模型的建立:

[0064] (3.1.1)、累加生成新序列: 原始序列 $X^{(0)} = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)\}$ 有 n 个观察值, 将原始序列的第一个数据, 将原始序列的第二个数据加到原始序列的第一个数据上, 其和作为生成列的第二个数据, 将原始序列的第三个数据加到生成列的第二个数据上, 其和作为生成列的第三个数据, 按此规则通过累加生成新序列 $X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)\}$, 则 GM(1,1) 模型相应的微分方程为:

$$[0065] \quad \frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = \mu$$

[0066] 其中: a 称为发展灰数; μ 称为内生控制灰数;

[0067] (3.1.2)、构造矩阵 B 与向量 Y :

$$[0068] \text{ 矩阵 } B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(X^{(0)}(2) + X^{(0)}(1)), 1 \\ -\frac{1}{2}(X^{(0)}(3) + X^{(0)}(2)), 1 \\ \dots \\ -\frac{1}{2}(X^{(0)}(n) + X^{(0)}(n-1)), 1 \end{bmatrix}$$

[0069] 向量 $Y = (X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \dots, X^{(0)}(n))$;

[0070] (3.1.3)、解微分方程,得预测模型:设 \hat{a} 为待估参数向量, $\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ \mu \end{pmatrix}$, 则微分方程可

表示为 $Y = B\hat{a}$, 利用最小二乘法可得:

$$[0071] \hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

[0072] 求解微分方程,即可得预测模型:

$$[0073] \hat{X}^{(0)}(k+1) = \left[X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a} \right] e^{-ak} + \frac{\mu}{a} \quad k = 0, 1, 2, \dots, n$$

[0074] (3.1.4)、对预测序列累减还原:对其做累减还原,即可得到原始数列的灰色预测模型为:

$$[0075] \hat{X}^{(0)}(k) = \hat{X}^{(0)}(k+1) - \hat{X}^{(0)}(k)$$

[0076] 式中:a主要控制系统发展态势的大小,即反映预测的发展态势,其中:

[0077] ①、当 $-a < 0.3$ 时,GM(1,1)模型可用于中长期预测;

[0078] ②、当 $0.3 < -a < 0.5$ 时,GM(1,1)模型可用于短期预测,中长期预测慎用;

[0079] ③、当 $0.5 < -a < 1$ 时,应采用GM(1,1)改进模型,包括GM(1,1)残差修正模型;

[0080] ④、当 $-a > 1$ 时,不宜采用GM(1,1)模型,可考虑其他预测方法;

[0081] (3.2)、模型检验:模型检验有残差检验、关联度检验和后验差检验;

[0082] (3.2.1)、残差检验:

[0083] 按预测模型计算 $\hat{X}^{(0)}(i)$,并将 $\hat{X}^{(0)}(i)$ 累减生成 $\hat{X}^{(0)}(i)$,然后计算原始序列 $X^{(0)}(i)$ 与 $\hat{X}^{(0)}(i)$ 的绝对误差序列及相对误差序列;

$$[0084] \Delta^{(0)}(i) = |X^{(0)}(i) - \hat{X}^{(0)}(i)| \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$[0085] \phi(i) = \frac{\Delta^{(0)}(i)}{X^{(0)}(i)} \times 100\% \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

[0086] 其中 $\Delta^{(0)}(i)$ 为绝对误差, $\phi(i)$ 为相对误差;

[0087] 在建立模型后,还必须对模型进行精度检验,其检验标准见表1。

[0088] 表1精度检验等级参照表

精度等级	相对误差
一级 (优)	0.01
[0089] 二级 (良)	0.05
三级 (合格)	0.1
四级 (不适用)	0.2

[0090] (3.2.2)、关联度检验:

[0091] 关联度分析是分析系统中各因素关联程度的方法,在计算关联度之前需先计算关联系数;

[0092] 关联系数定义为:

$$[0093] \eta(k) = \frac{\min|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)| + \rho \times \max|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|}{|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)| + \rho \times \max|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|}$$

[0094] 式中: $|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|$ 为第 k 个点 $X^{(0)}$ 和 $\hat{X}^{(0)}$ 的绝对误差;

[0095] $\min|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|$ 为两级最小差;

[0096] $\max|\hat{X}^{(0)}(k) - X^{(0)}(k)|$ 为两级最大差;

[0097] ρ 称为分辨率, $0 < \rho < 1$, 若 ρ 越小, 关联系数间差异越大, 区分能力越强; 一般取 $\rho = 0.5$; 对单位不一, 初值不同的序列, 在计算相关系数前应首先进行初始化, 即将该序列所有数据分别除以第一个数据。

[0098] 关联度 $r = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \eta(k)$; 根据经验 $\rho = 0.5$ 时, 关联度大于 0.6 便满意了。

[0099] (3.2.3)、后验差检验:

$$[0100] (a) . \text{计算原始序列标准差: } S_1 = \sqrt{\frac{\sum [X^{(0)}(i) - \bar{X}^{(0)}]^2}{n-1}}$$

$$[0101] (b) . \text{计算绝对误差序列的标准差: } S_2 = \sqrt{\frac{\sum [\Delta^{(0)}(i) - \bar{\Delta}^{(0)}]^2}{n-1}}$$

$$[0102] (c) . \text{计算后验差比值: } C = \frac{S_2}{S_1}$$

[0103] 表2预测检验等级参照表

后验差比值 C	检验情况
<0.35	好
[0104] <0.50	合格
<0.65	勉强合格
≥0.65	不合格

[0105] 步骤四、边坡稳定性评价预警：

[0106] (4.1)、当灰色预测模型适用时,利用灰色预测模型对监测数据的结果进行分析,对测量点位移的变化规律做出模糊的长期描述,判断边坡的位移变化趋势,并设定位移变化的安全阈值,超过安全阈值则启动报警程序;

[0107] (4.2)、当灰色预测模型不宜采用时,可通过模糊综合评判法对边坡当前的稳定性做定性评价;选择评价等级为:稳定、较稳定、较不稳定和不稳定;评价因子为:粘聚力、内摩擦角、坡角、坡高、最大位移速度。

[0108] 具体评价方法:

[0109] (4.2.1)、隶属度的计算:

[0110] 采用梯形函数计算各评价因子x对边坡稳定性影响的隶属度,计算公式如下:

$$[0111] Y_1 = \begin{cases} 1 & x \leq S_1 \\ \frac{S_2 - x}{S_2 - S_1} & S_1 \leq x \leq S_2 \\ 0 & S_2 \leq x \end{cases}$$

$$[0112] Y_2 = \begin{cases} \frac{x - S_1}{S_2 - S_1} & S_1 \leq x \leq S_2 \\ \frac{S_3 - x}{S_3 - S_2} & S_2 < x \leq S_3 \\ 0 & x \leq S_3, x \geq S_3 \end{cases}$$

$$[0113] Y_3 = \begin{cases} \frac{x - S_2}{S_3 - S_2} & S_2 < x \leq S_3 \\ \frac{S_4 - x}{S_4 - S_3} & S_3 < x \leq S_4 \\ 0 & x \leq S_3, x \geq S_4 \end{cases}$$

$$[0114] \quad Y_i = \begin{cases} 0 & x \leq S_3 \\ \frac{x - S_3}{S_4 - S_3} & S_3 < x < S_4 \\ 1 & x \geq S_4 \end{cases}$$

[0115] 式中, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 分别为评价因子对于 4 个危险等级的隶属度, S_1, S_2, S_3, S_4 为相应于评价因子的分级阈值。根据评价因子的输入值和隶属度函数, 可求出其相应于各等级的隶属度, 进而得出模糊关系矩阵 R。

[0116] (4.2.2)、权重的计算: 权法计算各因子的权重, 按下式:

$$[0117] \quad W_i = C_i / S_i$$

[0118] 其中: W_i 为各评价因子的权重; C_i 为第 i 种因子的输入值; S_i 为第 i 种因子各级标准的平均值, $S_i = 1/4 (S_{i1} + S_{i2} + S_{i3} + S_{i4})$ 。计算出的权重值 W_i 要做归一化处理, 即:

$$[0119] \quad \overline{W}_i = (C_i / S_i) / \left(\sum_{i=1}^n C_i / S_i \right)$$

[0120] 最终可得出权重矩阵 $A = (W_{i1}, W_{i2}, W_{i3}, W_{i4})$; 评判结果按最大隶属度规则确定, 即哪一等级的隶属度最大, 则危险程度属于该等级, 根据等级启动相应级别的报警系统。

[0121] 以上显示和描述了本发明的基本原理和主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解, 本发明不受上述实施例的限制, 上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理, 在不脱离本发明精神和范围的前提下, 本发明还会有各种变化和改进, 这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。