

Gray Prediction of Long-Short Piles Cushion Cap

Xianqi He¹, Qing Zhang², Lingxing Peng¹, Yan Wang¹

¹Hunan Provincial Communications Planning Survey, Changsha Hunan

²Yilou Expressway Construction Development Co. Ltd., Yiyang Hunan

Email: hexqi666@hotmail.com

Received: Jun. 18th, 2018; accepted: Jul. 4th, 2018; published: Jul. 11th, 2018

Abstract

A cable-stayed bridge in Hunan province is seated on Carboniferous limestone and Carbon limestone in which karst is strongly developed. To ensure the construction safety, the measurement of settlement and settlement prediction is necessary. Based on the data measured earlier stage, settlement of piles is predicted using general GM(1,1), residual model, metastasis model. The result proved that metastasis model is more precious than others. It can be used as a reliable reference for design and construction [1] [2] [3].

Keywords

Long-Short Pile, Cable-Stayed Bridge, Gray Prediction, GM(1,1), Residual Model, Metastasis Model

长短桩群桩承台沉降灰色预测

何现启¹, 张清², 彭凌星¹, 王焱¹

¹湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙

²湖南省益娄高速公路建设开发有限公司, 湖南 益阳

Email: hexqi666@hotmail.com

收稿日期: 2018年6月18日; 录用日期: 2018年7月4日; 发布日期: 2018年7月11日

摘要

湖南某斜拉桥索塔基础采用长短桩群基础, 区内岩溶发育, 工程地质条件极其复杂, 为确保施工安全需对其进行沉降观测及沉降预测以指导施工。本文基于前期测量数据采用一般GM(1,1)、残差模型、新陈代谢模型对群桩沉降进行预测, 结果证明新陈代谢模型具有较好的预测精度, 可作为设计和施工较可靠

文章引用: 何现启, 张清, 彭凌星, 王焱. 长短桩群桩承台沉降灰色预测[J]. 土木工程, 2018, 7(4): 580-588.

DOI: 10.12677/hjce.2018.74067

的参考依据[1] [2] [3]。

关键词

长短桩, 斜拉桥, 灰色预测, GM(1,1), 残差模型, 新陈代谢模型

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

为确保施工安全及施工质量, 施工期沉降观变得越来越重要。其一方面可验证设计成果, 确保施工沉降在允许范围内, 另一方面又可指导施工, 为优化设计提供参考。特大桥梁桩基沉降是影响工程安全的关键因素, 国内外学者已进行了大量研究。林智勇等(2009)建立了与实际工程中相近的低承台群桩模型, 用数值模拟手段揭示了在上部荷载作用下群桩的荷载-沉降特性, 并对群桩基础荷载-沉降曲线的影响因素分别进行了分析与探讨。陈茜等(2010)提出了在非线性土体中群桩中桩和桩之间的相互影响因子, 及预测群桩整体沉降、桩顶刚度的计算方法。邹力等(2010)分析了注浆与未注浆群桩基础的长期沉降监测数据, 探讨了后注浆对群桩沉降及其发展规律的影响机制。占川等(2013)提出有效桩长计算方法并对超长桩的受力机理及群桩效应问题进行了探讨, 对当前群桩沉降计算方法进行了评价, 为超长桩群桩的沉降计算提供一些参考。张乾青等(2013)采用双折线硬化模型模拟桩端位移与单位端阻间的关系, 提出单桩受力性状的迭代算法, 结合等代墩法建立群桩沉降的简化算法。茅燕兵等(2013)建立了单桩桩顶位移与等效弹性模量的函数关系, 并引入一个修正弹性理论误差的经验公式来计算群桩的沉降。陈洪运等(2014)以某一软土地基高速铁路桥梁墩台为监测对象, 采用液位-单点联合自动监测法对天津某特大桥沉降进行了长期观测。秋仁东(2015)对长群桩基础的沉降性状进行了较为系统的研究, 结果表明: 工作荷载条件下, 群桩基础中基桩的桩身压缩比例要小于单桩基础。杨军等(2017)针对群桩解析算法用于大型群桩非线性分析时计算量过大的问题, 建立一种分层地基中的群桩沉降简化计算模型, 避免对大规模群桩满秩矩阵进行求逆运算, 有效提高了算法的计算效率[4]-[14]。

本文在前人研究的基础上, 以灰岩区特大桥梁桩基沉降为例, 分析了由于岩溶发育, 极有可能产生不均匀沉降或沉降过大等问题, 主要探讨了灰岩地区长短桩群众的沉降计算及基于实测数据的沉降预测方法。

2. GM(1,1)模型

灰色简单模型 GM(1,1)表示一阶的, 一个变量的微分预测模型, 用于时间序列预测的是其离散形式的模型[15]。

设原始系列为

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$$

其 1-AGO 系列 X(1)为:

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$$

对一阶生成数列 $x^{(1)}$, 建立 GM(1,1)模型

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

由导数的定义有 $\frac{dx}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t}$, 因为一般预测的系列都在时间上是离散的, 所以我们以离散的形式表示, 则有:

$$\frac{\nabla x}{\nabla t} = \frac{x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k)}{k+1-k} = x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k) = x^{(0)}(k+1)$$

又由于离散的关系, 我们取 $x^{(1)}(k)$ 为 $x^{(1)}(k)$ 和 $x^{(1)}(k-1)$ 的均值。于是我们可以把公式(1)的微分方程表示为如下的离散方程:

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = u \quad (2)$$

其中: $z^{(1)}(k) = \frac{x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)}{2}; (k=2, 3, \dots, n)$ 。称(2)式为 GM(1,1)模型, 而把公式(1)的方程称为(2)的白化方程。这样可以得到如下的方程组:

$$\begin{cases} x^{(0)}(2) + az^{(1)}(2) = u \\ x^{(0)}(3) + az^{(1)}(3) = u \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) + az^{(1)}(n) = u \end{cases} \quad (3)$$

3. 模型参数求解

式(3)中, a 、 u 为待估参数, $-a$ 为发展灰数, 反映了 $\hat{x}^{(1)}$ 及 $\hat{x}^{(0)}$ 的发展态势; u 为灰色作用量是从背景值挖掘出来的数据, 它反映数据变化的关系, 其确切内涵是灰的。灰色作用量是内涵外延化的具体体现, 它的存在世区别灰色建模与一般输入输出建模的分水岭[16]。将两个待估参数表示为向量形式:

$$\hat{a} = [a, u]^T。$$

对于(1)的方程组, 用最小二乘法求解, 和一元线性回归的参数估计方法相同, 可得:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (4)$$

$$\text{式中: } Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$

4. GM(1,1)预测

式(1)即 GM(1,1)的白化方程的解为:

$$x^{(1)}(t) = \left[x^{(1)}(0) - \frac{u}{a} \right] e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (5)$$

它的离散形式

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(1)}(0) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a}; (k=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

即为 GM(1,1)方程的时间响应系列。一般有 $x^{(1)}(0) = x^{(0)}(1)$ ，则：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a}; (k=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

还原得：

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = (1 - e^a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak}; (k=1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

这就是灰色简单模型的预测公式。

5. 残差 GM(1,1)模型

GM(1,1)模型只能精心粗略的模拟，精度不高，平均相对误差可达 30%，相对精度不足 70%可靠度相对较低。当 GM(1,1)模型精度不符合要求时，可使用残差序列建立 GM(1,1)模型，对原来模型进行修正，以提高精度[17]。

按 GM(1,1)模型求解得到 $\hat{X}^{(1)}$ ，即 $X^{(1)}$ 的预测值，计算 $X^{(1)}$ 的残差序列： $\varepsilon^{(0)}(k) = x^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k)$ 判断可建模残差尾段：

若存在 k_0 ， $\forall k \geq k_0$ ， $\varepsilon^{(0)}(k)$ 的符号一致， $n - k_0 \geq 4$ ，则称：

$(|\varepsilon^{(0)}(k_0)|, |\varepsilon^{(0)}(k_0+1)|, \dots, |\varepsilon^{(0)}(n)|)$ 为可建模残差尾段。

通过计算可建模残差尾段的一次累加序列，按 GM(1,1)模型计算可建模残差尾段的时间响应式。计算残差尾段 $\varepsilon^{(0)}$ 的模拟序列：

$\hat{\varepsilon}^{(0)} = (\hat{\varepsilon}^{(0)}(k_0), \hat{\varepsilon}^{(0)}(k_0+1), \dots, \hat{\varepsilon}^{(0)}(n))$ ，这里， $\varepsilon^{(0)}(k+1)$ 为导数还原值

即：

$$\hat{\varepsilon}^{(0)}(k+1) = (-a_\varepsilon) \left[\varepsilon^{(0)}(k_0) - \frac{b_\varepsilon}{a_\varepsilon} \right] \exp[-a_\varepsilon(k - k_0)], k \geq k_0$$

用 $\hat{\varepsilon}^{(0)}$ 修正 $\hat{X}^{(1)}$ (用一次累加序列的残差修正一次累加序列预测值)，称修正后的时间响应式：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \begin{cases} \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ab} + \frac{b}{a} & k < k_0 \\ \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ab} + \frac{b}{a} \pm a_\varepsilon \left[\varepsilon^{(0)}(k_0) - \frac{b_\varepsilon}{a_\varepsilon} \right] e^{-a_\varepsilon(k - k_0)} & k \geq k_0 \end{cases} \quad (9)$$

其中残差修正值 $\hat{\varepsilon}^{(0)}(k+1)$ 的符号应与残差尾段 $\varepsilon^{(0)}$ 的符号保持一致。

用 $\hat{\varepsilon}^{(0)}$ 修正 $\hat{x}^{(1)}$ (用原始序列的残差修正原始序列预测值)，根据由 $\hat{x}^{(1)}$ 到 $\hat{x}^{(0)}$ 的不同还原方式，得到不同的残差修正时间响应式。

$$\text{若 } \hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1) = (1 - e^a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-a(k-1)}$$

则相应的残差修正时间响应式为：

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \begin{cases} (1 - e^a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} & k < k_0 \\ (1 - e^a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} \pm a_\varepsilon \left[\varepsilon^{(0)}(k_0) - \frac{b_\varepsilon}{a_\varepsilon} \right] e^{-a_\varepsilon(k - k_0)} & k \geq k_0 \end{cases} \quad (10)$$

若 $\hat{x}^{(0)}(k+1) = (-a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak}$, 则相应的残差修正时间响应式为:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \begin{cases} (-a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} & k < k_0 \\ (-a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} \pm a_\varepsilon \left[\varepsilon^{(0)}(k_0) - \frac{b_\varepsilon}{a_\varepsilon} \right] e^{-a_\varepsilon(k-k_0)} & k \geq k_0 \end{cases} \quad (11)$$

对从式(9)到式(11)中的 $\varepsilon^{(0)}(k_0)$ 还原, 也可以采用累减还原式, 即:

$$\hat{\varepsilon}^{(0)}(k+1) = (1 - e^{a_\varepsilon}) \left[\varepsilon^{(0)}(k_0) - \frac{b_\varepsilon}{a_\varepsilon} \right] e^{-a_\varepsilon(k-k_0)}, \quad k \geq k_0 \quad (12)$$

6. 新陈代谢 GM(1,1)模型

在用等时距 GM(1,1)模型对桥梁群桩基础沉降情况进行预测时, 随着施工的进行, 预测时间逐步推移, 原有的预测模型会老化, 预测的精度会越来越差, 这主要是因为 GM(1,1)模型是以灰色模块为基础, 其灰平面呈喇叭型展开, 未来时刻越远, 预测的灰区间越大, 因此需要在此基础上做出了改进[18][19][20][21]。

由原始序列 $X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$ 建立 GM(1,1)模型求得预测值, 将最新信息 $X^{(1)}(n+1)$ 加入序列, 并去掉老信息 $X^{(1)}(1)$, 用 $X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$, $X^{(1)}(n+1)$ 建立的模型称为新陈代谢 GM(1,1)模型。新陈代谢模型在不断补充新信息的同时, 及时去掉老化信息, 建模序列更能反映系统目前的特征, 能更好的揭示系统的发展趋势。

由于施工沉降量测是定期进行的, 会不断有新的实测资料可以充实时间序列数据, 这种补充了新数据后建立的模型称为新陈代谢模型。新陈代谢 GM(1,1)模型是根据已有序列建立 GM(1,1)模型预测下一个值, 然后把这个预测值补充到已知序列之后, 同时去掉第一个数据, 保持数列等维, 接着再建立 GM(1,1)模型预测下一个值, 如此逐步预测。考虑到现场条件的不断变化, 虽然前期量测的数据对研究后面的沉降特性有一定的作用, 但与新得到的量测数据相比, 显然后者对预测模型更能反映沉降的最新趋势和变化规律。因此, 为了不增加数据序列的长度, 可以在增加新数据的同时去掉其第一个已知数据, 从而保持数据序列等维。通过大量的建模预测证明, 等维新陈代谢模型的预测精度比全数列模型的预测精度高。

7. 某斜拉桥计算实例

该斜拉桥位于湖南宜章县赤石乡境内, 桥位跨青头江河道。桥位区内基岩为下石炭统灰岩、炭质灰岩, 两者呈互层关系接触。区内岩溶发育, 工程地质条件极其复杂。主桥为 165 + 3 × 380 + 165 m。四塔预应力混凝土斜拉桥, 主塔塔高 286 m。主塔 7#墩为钻孔灌注桩群桩承台基础, 每墩 30 根大直径钻孔灌注嵌岩桩(30 根 $\Phi 2.8$ m)。最长桩长达到 96 m, 成孔深度达到 102 m。桩基相关参数如表 1 所示, 各承台桩基平面布置如图 1 所示。

相应的测量(图 2)及数据见表 2。

预测结果见表 3 和图 3, 表 3 中加粗的数据为依据前期的测量数据的预测值。对比结果发现新陈代谢模型误差较小, 预测效果较好。

8. 结论

将灰色预测理论及一般 GM(1,1)模型、残差模型和改进的新陈代谢模型对沉降进行预测, 通过与湖南某斜拉桥 7#墩的沉降观测资料的对比分析, 分析了各种预测方法的预测精度。

Table 1. Design parameters for pile of cable-stayed bridge
表 1. 斜拉桥桩基设计参数表

桩号	桩底高程(m)	桩长(m)	持力层岩性
1	195.5	70.0	弱风化炭质灰岩
2	194.0	71.5	弱风化炭质灰岩
3	190.0	75.5	弱风化炭质灰岩
4	192.5	73.0	弱风化炭质灰岩
5	194.0	71.5	弱风化炭质灰岩
6	190.0	75.5	弱风化炭质灰岩
7	189.5	76.0	弱风化炭质灰岩
8	189.5	76.0	弱风化炭质灰岩
9	181.5	84.0	弱风化炭质灰岩
10	183.5	82.0	弱风化炭质灰岩
11	194.5	71.0	弱风化炭质灰岩
12	196.0	69.5	弱风化炭质灰岩
13	193.0	72.5	弱风化炭质灰岩
14	200.0	65.5	弱风化炭质灰岩
15	204.0	61.5	弱风化炭质灰岩
16	216.0	49.5	弱风化灰岩
17	207.0	58.5	弱风化灰岩
18	218.0	47.5	弱风化灰岩
19	215.0	50.5	弱风化灰岩
20	221.0	44.5	弱风化灰岩
21	216.0	49.5	弱风化灰岩
22	237.0	28.5	弱风化灰岩
23	230.0	35.5	弱风化灰岩
24	232.0	33.5	弱风化灰岩
25	230.0	35.5	弱风化灰岩
26	230.0	35.5	弱风化灰岩
27	238.0	27.5	弱风化灰岩
28	238.0	27.5	弱风化灰岩
29	240.0	25.5	弱风化灰岩
30	226.0	39.5	弱风化灰岩

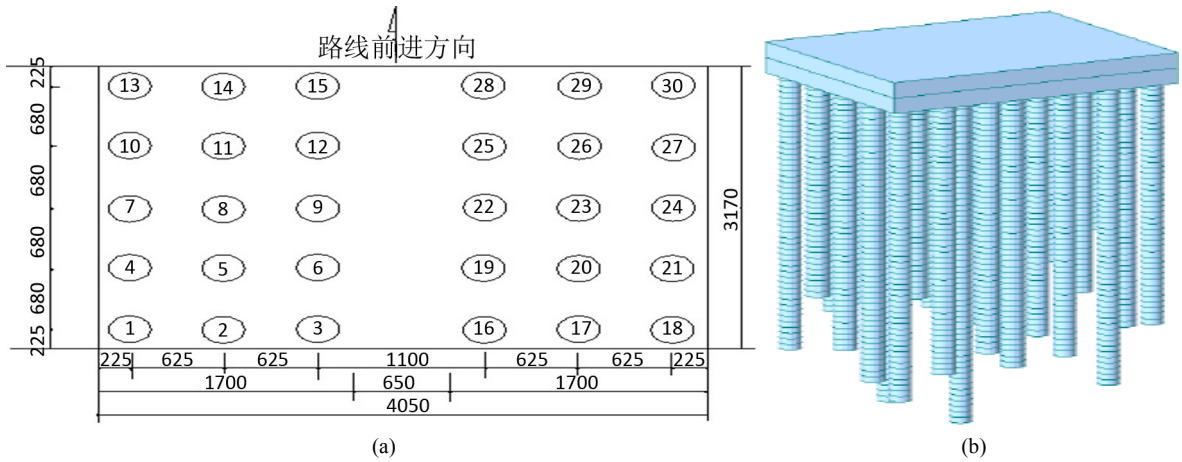


Figure 1. Pile schematic of 7# cable support tower; (a) Plan; (b) Section
 图 1. 7 号索塔桩基布置示意; (a) 平面图; (b) 剖面图

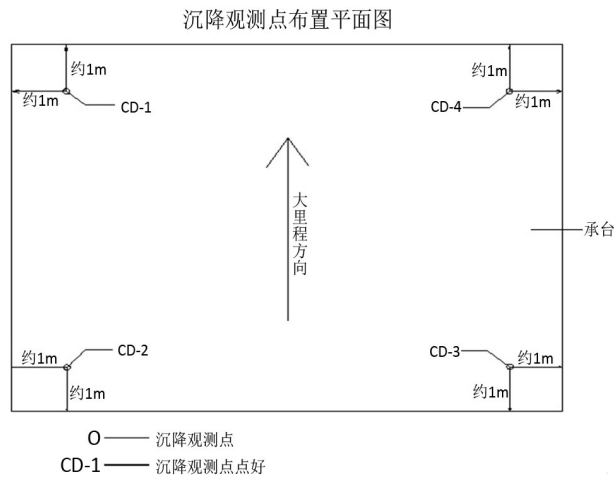


Figure 2. Schematic of measure point
 图 2. 测点布置示意图

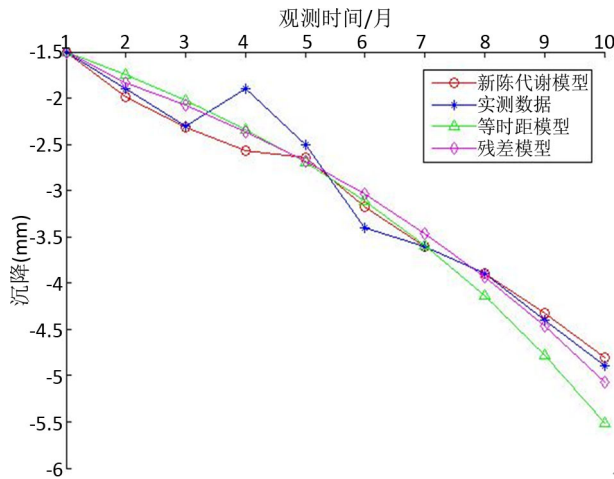


Figure 3. Comparison of measured curve and predicted curve of 7# pier
 图 3. 7#墩沉降实测曲线及预测曲线比较

Table 2. Measure data
表 2. 测量数据

观测时间/月	7#墩承台			
	累计沉降值			
	点号			
	CJ7-1	CJ7-2	CJ7-3	CJ7-4
1	1.5	0.8	1.2	0.8
2	1.9	1.2	1.6	1.2
3	2.3	1.6	1.9	1.5
4	1.9	1.4	1.6	1.2
5	2.5	2.1	2.2	1.9
6	3.4	2.8	2.6	2.4
7	3.6	3.5	3.2	3.1
8	3.9	4.1	3.8	3.7
9	4.4	4.7	4.5	4.2
10	4.9	5.0	4.8	4.9

Table 3. Comparison of measured settlement and predicted settlement of 7# pier
表 3. 7#墩群桩基础沉降预测与实测值比较表

观测时间/月	实测总沉降量/mm	等时距 GM(1,1)		残差 GM(1,1)		新陈代谢 GM(1,1)	
		预测值/mm	预测误差%	预测值/mm	预测误差%	预测值/mm	预测误差%
1	1.5	1.5	0.00	1.5	0.00	1.5	0.00
2	1.9	1.75	-7.89	1.83	-3.68	1.985	4.47
3	2.3	2.02	-12.17	2.08	-9.57	2.31	0.43
4	1.9	2.34	23.16	2.36	24.21	2.57	35.26
5	2.5	2.69	7.60	2.68	7.20	2.65	6.00
6	3.4	3.11	-8.53	3.04	-10.59	3.17	-6.76
7	3.6	3.59	-0.28	3.46	-3.89	3.6	0.00
8	3.9	4.14	6.15	3.93	0.77	3.9	0.00
9	4.4	4.78	8.64	4.46	1.36	4.33	-1.59
10	4.9	5.51	12.45	5.07	3.47	4.8	-2.04

在采用灰色理论对斜拉桥群桩基础沉降预测过程中，基于前期实测沉降值按一般 GM(1,1)模型、残差模型、改进的新陈代谢模型拟合的结果来看，等时距曲线预测误差较大，随着时间的推移偏离加大，在后期已不再适用。残差模型在前期与实测结果偏离较大，但随着时间的推移预测值与实测值吻合较好；新陈代谢预测的沉降量与实测值拟合较理想，通过补充新的观测据构建动态预测模型，预测精度更高，反映了沉降的变化，更接近实际情况。由此可知新陈代谢 GM(1,1)模型在群桩沉降预测上具有较好的实用性。新陈代谢 GM(1,1)模型能够很好预测群桩的施工沉降，从而验证高速公路设计并为施工提供参考，指导施工以达到缩短工期、降低造价的目的。

基金项目

国家自然科学基金资助(41174061)。

参考文献

- [1] 蔡君君, 王星华. 基于灰色理论的桥梁群桩基础工后沉降预测[J]. 西部交通科技, 2009(4): 28-31.
- [2] 赵升峰, 韦巡洲, 杨新祥. 灰色理论在基坑开挖引起周边地面沉降预测中的应用[J]. 福建建筑, 2010(2): 88-91.
- [3] 曾波. 灰色预测建模技术研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
- [4] 杨军, 张青青. 分层地基群桩沉降简化计算模型[J]. 中外公路, 2017(1): 58-62.
- [5] 秋仁东, 刘金砾, 高文生, 邱明兵. 长群桩基础沉降性状的大比例尺模型试验研究[J]. 土木工程学报, 2015(3): 85-95.
- [6] 陈洪运, 马建林, 苏春晖, 杨彦鑫. 深厚软土地区大桥群桩沉降现场监测分析[J]. 安全与环境学报, 2014(5): 115-119.
- [7] 茅燕兵, 戴国亮, 龚维明. 基于单桩静荷载试验的群桩沉降预测研究[J]. 岩土工程学报, 2013(S2): 627-631.
- [8] 张乾青, 李术才, 李利平, 陈云娟. 考虑侧阻软化和端阻硬化的群桩沉降简化算法[J]. 岩石力学与工程学报, 2013(3): 615-624.
- [9] 占川, 田敬贤, 王成华. 超长桩群桩沉降实用计算方法述评[J]. 低温建筑技术, 2013(2): 94-96.
- [10] 郑刚, 张立明, 王琦. 长桩桩侧摩阻力分布与地基附加应力问题及对群桩沉降计算的影响[J]. 岩土工程学报, 2011(11): 1649-1658.
- [11] 邹力, 吴兴序, 马建林, 彭声应. 后注浆群桩基础施工期沉降-时间规律试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010(S2): 4033-4037.
- [12] 陈茜, 胡育佳. 非线性土体中预测群桩沉降的一种实用方法[J]. 安徽建筑工业学院学报(自然科学版), 2010(1): 5-10.
- [13] 林智勇, 戴自航, 苏美选. 群桩竖向荷载 - 沉降特性影响因素的数值分析[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2009(5): 737-741.
- [14] 董光辉, 杨敏, 卢俊义. 基于实测沉降比的群桩沉降分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2009(10): 1286-1290.
- [15] 宋秀英. 基于 MATLAB 的灰色预测 GM(1,1)模型在经济分析中的应用[J]. 数学学习与研究, 2011(11): 93-95.
- [16] 翁升. 软基路堤最终沉降量的灰色预测及反演分析[D]: [硕士学位论文]. 泉州市: 华侨大学, 2001.
- [17] Weng, S. (2001) Gray Forecast and Back Analysis of Final Settlement of Soft Foundation. Huaqiao University, Quanzhou.
- [18] 徐卫东, 伍锡锈, 欧海平. 基于时间序列分析和灰色理论的建筑物沉降预测模型研究[J]. 测绘地理信息, 2012(6): 23-25.
- [19] 周志广, 姚文生, 谢轶, 李忠水. 基于灰色理论的时间序列分析在地面沉降预测中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2012(4): 52-57.
- [20] Niu, J., Zhou, B., Peng, Y. and Wei, B. (2012) Application of Improved Metabolic GM Model in Analyzing Settlement of Earth-Rock Dam in the Period of Construction Procedia Earth and Planetary. *Science*, **5**, 213-217.
- [21] Truong, D.Q. and Ahn, K.K. (2012) Wave Prediction Based on a Modified Grey Model MGM(1,1) for Real-Time Control of Wave Energy Converters in Irregular Waves. *Renewable Energy*, **43**, 242-255.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org