

文章编号: 1005-0523(2008)02-0022-03

隧道变形预测的灰色模型研究

黄明华, 刁心宏, 杨 华

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 隧道变形预测对隧道施工监测具有重要的意义. 考虑到隧道变形的非线性, 采用灰色系统理论来模拟和预测隧道的变形. 用灰色等时距 GM(1,1) 模型、新陈代谢 GM(1,1) 模型及 Verhulst 模型这三种常见的模型来预测隧道拱顶下沉量, 从而提出了新陈代谢 GM(1,1) 模型的适用性, 能反映隧道施工动态的过程.

关键词: 隧道; 灰色理论; 变形预测

中图分类号: U456.3

文献标识码: A

在隧道工程施工过程中, 由于工程条件不可预见性和复杂性, 常常造成隧道设计与实际情况不符, 施工中安全事故频现. 为了保证施工安全及隧道投入运营后的安全, 在施工过程中对围岩进行监测是十分必要的. 但目前很少能结合施工情况, 对监测信息进行合理分析, 进而对工程设计和施工起指导作用. 因此建立合理的数学模型, 才能有效指导施工, 达到信息化施工的要求, 建立预测模型是一项有价值的研究工作^[2-3].

灰色模型是利用系统部分已知信息, 建立起反映系统发展规律的数学模型, 并通过建立的灰色模型来预测系统的发展. 它通过对“部分”已知信息的生成、开发去了解和认识现实世界, 实现对系统运行行为和演化规律的正确把握和描述. 灰色理论自提出以来, 以其强大的生命力在岩土工程领域得到了应用.

1 灰色模型理论^[4]

灰色预测模型具有准确性较高、要求原始数据较少、处理数据灵活和方便计算机处理的特点. 按照灰色系统建模的灰微分方程不同, 灰色系统预测模型可以分为不同的格式. 比较常见的等时距 GM(1,1) 模型, 新陈代谢 GM(1,1) 模型及 Verhulst 模型.

1.1 等时距 GM(1,1) 模型

等时距 GM(1,1) 模型是对施工监测周期相等的观测结果对行预测. 对隧道变形监测数据分析, 设有等时间间隔的数据序列

$$X^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]$$

对 $X^{(0)}$ 进行一次累加生成, 得到

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

对此生成序列建立一阶微分方程

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

即得到 GM(1,1) 模型, 其中 a, b 是灰参数, 其值可以用最小二乘法求得:

$$A = \begin{bmatrix} b & b \end{bmatrix}^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$$

其中

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(4) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)) & 1 \end{pmatrix}$$

收稿日期: 2008-02-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(50504004).

作者简介: 黄明华(1984-), 男, 江西乐安人, 硕士研究生, 研究方向地下工程.

$$Y_n = \begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ x^{(0)}(4) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{pmatrix}$$

把 $\frac{1}{2}(x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1))$ 为定义对 $x^{(1)}$ 作紧邻均值求出 A 后,把 $\hat{\alpha}\hat{b}$ 的值代入式(1),解出微分方程得: $\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a}$

对 $x^{(1)}(k+1)$ 作累减可得到还原模拟数据,即: $\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k)$

1.2 新陈代谢 GM(1,1) 模型

在施工监测过程中,随着时间的增加,不断补充新的监测信息,在加入新的信息的同时,可以剔除老的信息,采用新的信息进行预测. 对实际监测的结果分析,设有原始数据为 $X = [X(1), X(2), X(3), \dots, X(n)]$,用 $X = [X(1), X(2), X(3), \dots, X(n)]$ 建立的模型为全数据 GM(1,1) 模型;对于,用建立的模型为部分数据 GM(1,1) 模型;设为最新信息,将置入中,称建立的模型为新信息 GM(1,1) 模型;置入新信息,去掉老信息 $X(1)$,用建立的模型为新陈代谢 GM(1,1) 模型. 对于 $[X(2), X(3) \dots X(n), X(n+1)]$ 进行一次累加生成,得到: $x^{(1)}(k) = \sum_{i=2}^k X(i), k=2, 3 \dots n, n+1$.

对此生成序列建立一阶微分方程

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = b \quad (2)$$

即得到新陈代谢模型,其中 a, b 是灰参数,其值可以用最小二乘法求得

$$A = [b \quad b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$$

其中

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(4) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)) & 1 \end{pmatrix}$$

$$Y_n = \begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ x^{(0)}(4) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{pmatrix}$$

把 $\frac{1}{2}(x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1))$ 为定义对 $x^{(1)}$ 作紧邻均值求出 A 后,把 $\hat{\alpha}\hat{b}$ 的值代入式(2),解出微分

方程得: $\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a}$ 对作累减可得到还原模拟数据,即: $\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k)$

1.3 灰色 Verhulst 模型

对隧道沉降观测数据进行分析,应用灰色理论关于连续非线性数据列的建模方法,经过二次拟合,建立的灰色 Verhulst GM(1,1) 模型. 设有原始数据为 $X = [X(1), X(2), X(3), \dots, X(n)]$,进行一次累加生成,得到: $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k X(i), k=1, 2 \dots n$.

对此生成序列建立一阶微分方程

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = b(X^{(1)})^2 \quad (3)$$

即为灰色 Verhulst 模型的白化方程.

其中 a, b 是灰参数,其值可以用最小二乘法求得: $A = [b \quad b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$

其中

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}[X^{(1)}(1) + X^{(1)}(2)] & \frac{1}{4}[X^{(1)}(1) + X^{(1)}(2)]^2 \\ -\frac{1}{2}[X^{(1)}(2) + X^{(1)}(3)] & \frac{1}{4}[X^{(1)}(2) + X^{(1)}(3)]^2 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[X^{(1)}(n-1) + X^{(1)}(n)] & \frac{1}{4}[X^{(1)}(n-1) + X^{(1)}(n)]^2 \end{pmatrix}$$

$$Y_n = \begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ x^{(0)}(4) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{pmatrix}$$

把 a, b 代入白化方程式(3)解微分方程,得

$$x^{(1)}(t) = \frac{ax_0^1}{bx_0^{(1)} + (a - bx_0^{(1)})e^{at}}$$

即为白化方程的解

$$\hat{x}_{k+1}^{(1)} = \frac{ax_0^{(1)}}{bx_0^{(1)} + (a - bx_0^{(1)})e^{at}}$$

为灰色模型的时间响应系列, $x_0^{(1)}$ 取为 $x_1^{(0)}$ 则

$$\hat{x}_{k+1}^{(1)} = \frac{ax_1^{(0)}}{bx_1^{(0)} + (a - bx_1^{(0)})e^{at}}$$

累减还原式为

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

2 工程实例

2.1 工程概况

某隧道采用上下行分离的整体式超浅埋大跨双连拱单洞单向行驶三车道隧道. 全长 87 m(其中明洞 8 m,暗洞 79 m),最大埋深 13 m. 地貌单元属于长江中下游小丘地貌. F3 断层和隧道近于正交,围岩为页岩和砂岩互成,裂隙发育,稳定性差. 断层破碎带内岩体呈碎石状压碎结构,甚至呈泥砂角砾状松散结

构.在隧道南端地下水的活动与断层关系密切,可能对隧道围岩的稳定及隧道防排水产生较大影响.

根据业主单位招标邀请函、设计单位施工图及我国现行隧道规范,确定监测项目.监测项目分为必测项目和选测项目.必测项目包括地质及支护状况观察描述、净空收敛、拱顶下沉、隧道地表下沉、锚杆拉拔力.其中拱顶下沉的监测频率见表 1

表 1 拱顶下沉监测频率

开挖时间	1~15 天	16 天~ 1 个月	1~3 个月	大于 3 个月
监测频度	1~2 次/天	1 次/2 天	1~2 次/周	1~3 次/月

2.2 模型预测

取某断面拱顶下沉量测 8 个周期(时间间隔为 4 天)的数据建立预测模型,数据如表 2.

表 2 拱顶下沉实测数据

周期	1	2	3	4	5	6	7	8
下沉量 (mm)	1.31	6.85	11.98	13.82	15.828	17.08	17.67	17.85

分别利用等时距的 GM(1,1) 模型、新陈代谢 GM(1,1) 模型、灰色 Verhulst 模型进行预测,预测值见表 3

表 3 三种模型预测值

周期	1	2	3	4	5	6	7	8
等时距 模型	1.31	10.26	11.43	12.74	14.19	15.80	17.60	19.61
新陈代 谢模型	1.31	6.85	13.09	14.08	15.14	16.28	17.51	18.82
Verhulst 模型	1.31	1.04	1.84	3.20	5.40	8.67	12.84	16.95

2.3 模型精度比较

通过比较发现,等时距 GM(1,1) 模型和新陈代谢 GM(1,1) 模型预测结果与原始观测值比较接近,而 Verhulst 模型预测值与原始观测值存在较大的差异.

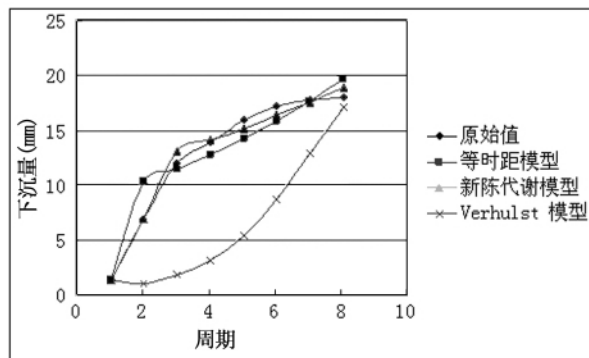


图 1 三种模型预测值与原始值比较

3 结论

工程实例分析说明灰色预测理论可用于隧道施工监测对隧道拱顶下沉值进行预测,分析计算结果与实测结果对比说明,三种预测模型中新陈代谢稳定性和可靠性均比等时距模型和 Verhulst 模型高. Verhulst 模型预测效果不理想.

隧道的施工过程是一个动态过程,隧道的沉降不断受到系统内外多方面因素的综合作用,原有观测数据所反映的沉降变化真实程度逐步降低,应及时补充新的观测数据,提高预测精度,真实地反映沉降的趋势.利用新陈代谢模型能比较合理地反映隧道施工动态过程.

参考文献:

- [1] 刘思峰,等.灰色系统理论及其应用[M].北京:科技出版社,2004.
- [2] 霍玉华.隧道围岩变形量预测的灰色模型应用比较研究[J].北京交通大学学报,2006,30(4):42-45.
- [3] 靳晓光,李晓红,高 尧,等.隧道围岩位移的灰色优化模型预测[J].重庆大学学报(自然科学版),2002,25(1):1-5.

Study on Grey Model of Deformation of Tunnel

HUANG Ming - hua, DIAO Xin - hong, YANG Hua

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Deformation predication of tunnel is very important in control of construction monitoring. Considering the nonlinear character of deformation of the tunnel, the prediction model grey system is proposed. The equal - time - span GM(1,1) model, the gray renewal GM(1,1) model and the gray Verhulst model of the gray system theory are applied in the tunnel for prediction of surrounding rocks displacement. The results show that the generalization of the gray renewal GM(1,1) model is good which can be satisfied with the excavating of tunnel.

Key words: tunnel; grey theory; deformation prediction

(责任编辑: 王全金)