

文章编号: 0451-0712(2004)07-0056-03

中图分类号: TU433

文献标识码: B

# 灰色预测在乍嘉苏高速公路动态监测中的应用

钱林安

(浙江省交通规划设计研究院 杭州市 310006)

**摘 要:** 灰色预测是常用的工程预测方法之一。基于 GM(1,1) 模型, 提出考虑时间不等距影响的累计沉降—时间相应方程, 用以估算缺失的沉降资料; 又基于 R. Usher 模型, 利用曲线拟合法来估算公路路基的最终沉降量。

**关键词:** 灰色预测; 高速公路; 软土路基

在软土地基上修建高速公路, 对地基沉降控制的恰当与否, 直接关系到公路的建设质量。由于软土地基沉降随时间变化的复杂性, 人们还没有找到一种比较满意的理论计算方法来预测软基的沉降变化, 因此, 施工中通常边施工边跟踪观测, 根据观测的资料来不断修正施工的进展过程。在施工结束后需要根据已测资料预测公路的最终沉降, 因此, 根据已测数据预测未来的沉降就显得特别重要。邓聚龙先生在 20 世纪 80 年代初提出了灰色理论, 在乍嘉苏高速公路的监测过程中, 采用基于灰色理论的灰色预测进行沉降的预测。

部分信息已知、部分信息未知的系统称为灰色系统。基于灰色系统理论的以 GM(Grey Model) 模型为基础的预测, 称为灰色预测。灰色系统认为, 任何随机过程都可看成一定时空区域变化的灰色过程, 随机量可看作是灰色量; 表面上没有规律的数列是潜在有序数列的一种表现, 因而可以通过生成变换将无序数列变为有序数列。和其他模型比较起来, 灰色系统的 GM 模型有自己特殊的特点: (1) 建模所需信息较少, 通常只需要 4 个以上数据即可建模; (2) 不必知道原始数据分布的先验特征; (3) 建模的精度较高, 可保持原系统的特征, 能较好地反映系统的实际情况。灰色预测基于关联度收敛原理、生成数、灰导数、灰微分方程等方法建立了微分方程型的模型。

## 1 GM(1,1)模型的应用

在观测过程中, 由于施工原因, 测桩损坏是经常的事。测点损坏后, 我们要求施工单位立即补上。然

而, 即使补上, 也会影响 2 次的观测数据, 如果这些点补上后又马上被破坏了(实际上这种情况并不少见), 那么影响到的时间就会更长。在绘制  $p-t-s$  曲线时, 这些测点数据的缺失是一件令人头痛的事。由于灰色理论的优点, 在实际工作中, 我们采用灰色预测模型——GM(1,1) 模型来预测缺失的数据。

在实际观测中, 由于某些因素的影响, 测得的数据在时间上不可能完全等距, 因此要求模型能考虑时间不等距的影响。

对累计沉降观测序列:

$$s = \{s(t_1), s(t_2), \Delta s(t_n)\}$$

GM(1,1) 模型的拟合曲线可以用以下微分方程表示:

$$\frac{ds}{dt} + as = u \quad (1)$$

式中:  $a$ 、 $u$  均为待定参数。

将  $\frac{ds}{dt}$  记为离散形式:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{s(t_{k+1}) - s(t_k)}{t_{k+1} - t_k} \quad (2)$$

与之对应的  $s$  取  $\frac{1}{2}[s(t_{k+1}) + s(t_k)]$ 。这样, 式

(1) 变成:

$$\frac{s(t_{k+1}) - s(t_k)}{t_{k+1} - t_k} + a \cdot \frac{1}{2}[s(t_{k+1}) + s(t_k)] = u \quad (3)$$

利用观测数据, 可以用二元线性回归方法求出参数  $a$ 、 $u$ :

$$\begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T y_N$$



式中:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[s(t_2) + s(t_1)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[s(t_3) + s(t_2)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[s(t_n) + s(t_{n-1})] & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$y_N = \begin{bmatrix} \frac{s(t_2) - s(t_1)}{t_2 - t_1} \\ \frac{s(t_3) - s(t_2)}{t_3 - t_2} \\ \vdots \\ \frac{s(t_n) - s(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

求出  $a, u$  后,由式(1)得到 GM(1,1)模型的时间响应为:

$$\hat{s}(t) = \left[ s(t_1) - \frac{u}{a} \right] e^{-a(t-t_1)} + \frac{u}{a} \quad (7)$$

利用式(7),就可以根据前面已测的累计沉降估算出缺失的沉降资料。

## 2 R. Usher 模型的应用

灰色预测的另一重要应用是估算地基的最终沉降量,以估算出工后沉降,作为预抛高的依据之一。我们常用的估算地基最终沉降量的方法是双曲线法和指数曲线法,但是实践证明双曲线法估算的结果常常偏大,而指数曲线法估算的结果又偏小。GM(1,1)模型也可以用来预测最终沉降量,但是 GM(1,1)模型的核心思想其实是将累计沉降量拟合成指数曲线,因此得到的结果也是偏小的。在对乍嘉苏高速公路地基的最终沉降量进行计算时,我们采用了 R. Usher 模型曲线拟合法,它推算的结果一般界于双曲线法和指数曲线法之间。

R. Usher 模型的拟合曲线可以用以下微分方程表示:

$$\frac{ds}{dt} = as = us^\beta \quad (8)$$

先假定  $\beta$  为常量,利用观测数据,参数  $a$  和  $u$  同样可以用式(4)表示,式中:

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}[s(t_2) + s(t_1)] & \left\{ \frac{1}{2}[s(t_2) + s(t_1)] \right\}^\beta \\ \frac{1}{2}[s(t_3) + s(t_2)] & \left\{ \frac{1}{2}[s(t_3) + s(t_2)] \right\}^\beta \\ \vdots & \vdots \\ \frac{1}{2}[s(t_n) + s(t_{n-1})] & \left\{ \frac{1}{2}[s(t_n) + s(t_{n-1})] \right\}^\beta \end{bmatrix} \quad (9)$$

$y_N$  的表达式同式(6)。求出  $a$  和  $u$  后,由式(8)可以解出  $t$  时刻累计沉降量估计值:

$$\hat{s}(t) = \left\{ \left[ s^{1-\beta}(t_1) + \frac{u}{a} \right] e^{a(1-\beta)(t-t_1)} - \frac{u}{a} \right\}^{\frac{1}{1-\beta}} \quad (10)$$

如果拟合曲线收敛,则最终沉降量为:

$$s_\infty = \left( -\frac{u}{a} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} \quad (11)$$

至于  $\beta$  的取值,可以考虑取使式(12)中  $Q$  值为最小时的值。

$$Q = \sum_{i=1}^n [s(t_i) - \hat{s}(t_i)]^2 \quad (12)$$

经过对许多断面的推算、比较,发现  $\beta$  取值大多位于  $-5 \sim 0$  之间,因此,计算  $\beta$  时采用试算法:以 0.1 的步长将  $\beta$  从  $-5$  取至 0,利用式(4)求出  $a$  和  $u$ ,进而求出该  $\beta$  所对应的  $Q$  值,找出其中最小的  $Q$  值所对应  $a, u, \beta$  值即可确定。以上计算过程稍复杂,需要利用计算机编程计算。计算时一个需要注意的问题是  $a$  和  $u$  的数量级常常相差很大,计算时宜采用双精度型实数。R. Usher 模型估算的效果,可以通过下面的实例证明。

某箱型基础建筑物于 1961 年 4 月开工,当年 8 月完工,至 1971 年 12 月共观测 39 次,历时 10 年后沉降速率减至 0.015 mm/d。现利用 1962 年 4 月 19 日至 1964 年 10 月 14 日的观测资料分别采用指数曲线法、双曲线法及 R. Usher 模型法推算建筑物的沉降。推算数据见表 1,推算效果见图 1。

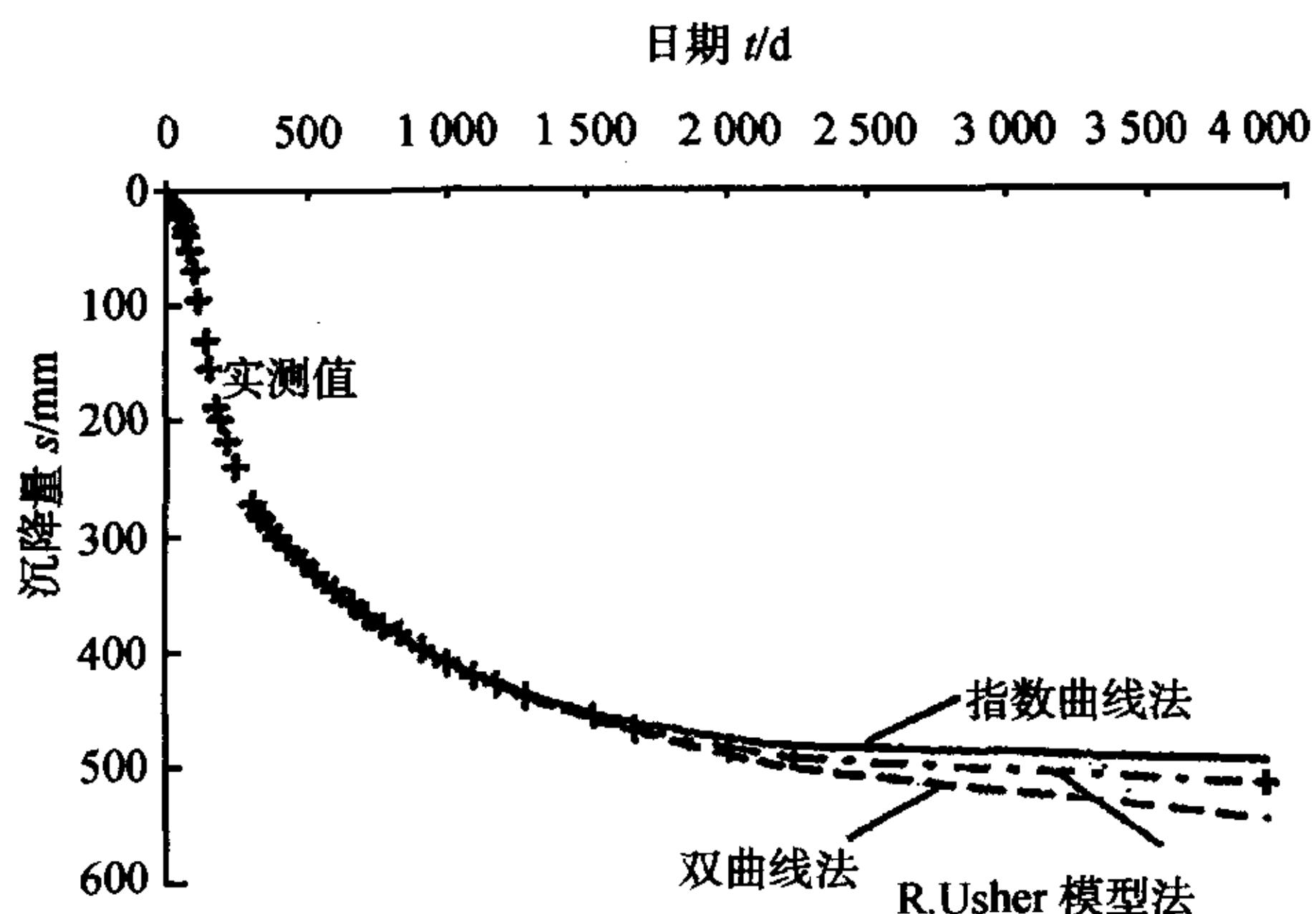


图 1 三种推算方法比较

现在利用该方法估算部分试验断面的沉降。表 2 是利用乍嘉苏高速公路的 3 号、4 号、7 号、8 号试验断面恒载期的观测资料进行推算的结果。推算结果表明,利用 R. Usher 模型法推算建筑物沉降的结果一般处于双曲线法推算的结果和指数曲线法推算的结果之间,推算的结果无疑更符合工程实际。



表 1 某箱型基础实测沉降和推测沉降

预测次序	观测日期	时间 $t$ d	沉 降 $s/\text{mm}$			
			实测资料	指数曲线推测	双曲线推测	R. Usher 模型推测
1	1961-04-26	0	0.0			
2~19	...	...	...			
20	1962-04-19	358	292.5	292.5	292.5	292.5
21	1962-05-16	385	300.9	299.9	300.0	300.0
22	1962-06-26	426	310.0	310.5	310.9	311.7
23	1962-08-18	479	323.0	323.5	323.9	324.7
24	1962-10-03	525	334.0	334.1	334.4	335.2
25	1962-12-04	587	348.0	347.4	347.6	348.4
26	1963-02-06	651	359.8	360.1	360.1	360.9
27	1963-03-29	702	370.0	369.4	369.4	370.2
28	1963-05-22	756	379.3	378.7	378.5	379.3
29	1963-07-24	819	386.4	388.7	388.5	389.6
30	1963-10-15	902	400.1	400.7	400.5	401.3
31	1964-01-10	989	413.4	411.9	412.1	412.7
32	1964-04-11	1 081	424.6	422.5	423.1	423.6
33	1964-07-02	1 163	432.1	431.0	432.2	432.4
34	1964-10-14	1 267	441.7	440.4	442.6	442.4
35	1965-06-14	1 510	460.1	458.2	463.6	461.9
36	1965-11-04	1 653	471.9	466.3	474.0	471.1
37	1966-10-10	1 993	488.7	480.5	494.7	488.4
38	1967-05-31	2 226	497.9	487.2	506.3	497.2
39	1971-12-30	3 900	523.4	504.0	556.6	524.3
最终沉降量 $S_{\infty}/\text{mm}$				506.0	650.3	531.0

注:本算例资料来源于文献[1]。

表 2 部分试验断面沉降量推算

试验断面号		3 号		4 号		7 号		8 号	
		$t/\text{d}$	$s/\text{mm}$	$t/\text{d}$	$s/\text{mm}$	$t/\text{d}$	$s/\text{mm}$	$t/\text{d}$	$s/\text{mm}$
实测恒载期沉降资料		295	846	295	1 112	272	1 190	314	792
		314	874	314	1 154	303	1 259	342	812
		342	907	342	1 199	333	1 298	372	837
		372	935	372	1 238	362	1 331	404	858
		404	958	404	1 273	391	1 353	432	874
		432	976	432	1 299	412	1 368	466	892
		466	993			441	1 391		
						473	1 406		
$\frac{S_{\infty}}{\text{mm}}$	指数曲线法	1 053		1 410		1 456		988	
	双曲线法	1 160		1 534		1 552		1 211	
	R. Usher 模型法	1 093		1 537		1 484		1 064	
R. Usher 模型参数	$A$	$-7.91 \times 10^{-4}$		$-3.61 \times 10^{-4}$		$-7.93 \times 10^{-4}$		$-2.71 \times 10^{-3}$	
	$U$	$3.05 \times 10^{11}$		$4.77 \times 10^{15}$		$8.48 \times 10^{15}$		5.78	
	$\beta$	-3.8		-5.0		-5.0		-0.1	



文章编号: 0451-0712(2004)07-0059-06

中图分类号: U418.8

文献标识码: B

# 高速公路拓宽设计方法初探

桂炎德

(浙江省交通规划设计研究院 杭州市 310006)

**摘 要:** 近年来随着社会经济的快速发展,高速公路的交通流量随之增长迅猛,我国先期建成的四车道高速公路已陆续进入拓宽改造阶段。结合浙江省沪杭甬、杭金衢高速公路的拓宽建设经验,重点对地基处理、桥梁、互通式立交的拓宽改造设计做了介绍,并对拓宽过程中如何保持高速公路正常运营等关键性问题进行了探讨。

**关键词:** 高速公路; 拓宽工程; 设计; 探讨

高速公路建设标准的主要依据之一是预测交通量。由于受到认识局限性的制约,对我国社会经济增长速度的预计值偏低,使上世纪末建成的高速公路的交通量适应年限明显缩短。以浙江省 1998 年底建成的沪杭高速公路为例:1999 年全年路段交通量为 11 399~25 000 辆/d(绝对车辆数),而 2002 年路段日平均交通量达 21 769~40 477 辆/d(绝对车辆数),折算成小汽车的交通量为 39 619~73 667 辆/d,建成 4 年就达到了四车道高速公路适应交通量(按上限 55 000 pcu/d 计)的 72%~134%。为此,必须通过高速公路拓宽改造或修建复线来解决这一矛盾。近年来国内相继在广佛、沪杭甬、沪宁、沈大等多条高速公路开展了拓宽改造建设,部分拓宽工程已完成并投入使用。

自 2000 年 10 月起,浙江省对沪杭甬高速公路全线分三期实施拓宽改造。一期为红垦枢纽(与杭金衢高速公路相连)至沽渚枢纽(与上三高速公路相

接)段,全长 43.8 km,拓宽成设置港湾式停车带的双向八车道高速公路,已于 2003 年年底建成通车;二期起自沪杭高速公路浙沪交界处的枫泾,终于沪杭高速与杭州绕城北线相交的杭州北互通,全长 95.6 km,其中枫泾至沈士枢纽(与杭州市绕城公路相接)79.1 km 长路段拓宽成路基宽为 41.5 m 的双向八车道高速公路,其余路段拓宽成六车道标准高速公路,计划于 2005 年底主体建成通车;三期起自沽渚枢纽,终于宁波段塘互通,全长 79.6 km,将拓宽成双向标准八车道高速公路,计划于今年 6 月份开工建设、2007 年底建成通车。此外杭金衢、杭宁高速公路的 6~8 车道拓宽改造已列入规划,将于近年内实施。

## 1 设计原则

高速公路拓宽不同于一般的新建高速公路设计,应紧紧围绕既有道路的实际情况,并应遵循下述原则开展各阶段的设计工作。

收稿日期:2004-05-17

## 3 结语

灰色预测法是一种广泛应用于实际工程的预测方法,它不仅可以用来预测沉降,还可以用来预测侧向位移、孔隙水压力以及沉降速率。在乍嘉苏高速公路的施工过程中,对于未来情况的预测,我们大量地采用了灰色预测的方法,顺利指导了工程的施工。

经过 1 年多时间的通车运营,路基沉降无异常情况发生,预测结果令人满意。这也证实了灰色预测法在乍嘉苏高速公路应用中是成功的。

## 参考文献:

- [1] 孙更生,郑大同. 软土地基与地下工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1984.
- [2] Akira, Asaoka. Observational procedure of settlement prediction [J]. Soils and foundations, 1978,18(4).
- [3] 盛骤,谢式千,潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京:高等教育出版社,1989.
- [4] 傅立. 灰色系统理论及应用[M]. 北京:中国科学技术文献出版社,1992.