

文章编号: 1672- 7479( 2010) 05- 0001- 03

# 高速铁路沉降观测评估预测系统设计与实现

张献州 莫 春 马下平

(西南交通大学土木工程学院测量工程系, 四川成都 610031)

## Design and Realization of Prediction and Evaluation System for Foundation Settlements of High Speed Railway

Zhang Xianzhou Mo Chun Ma Xiaping

**摘 要** 介绍研制的高速铁路沉降观测评估预测系统。该系统适应我国目前的沉降观测特点, 以确保外业数据采集质量, 减少工作人员劳动强度, 提高工作效率为中心进行设计, 其主要功能模块包括沉降数据预测计算、最优预测模型选择、沉降曲线图可视化、预测成果输出、单点分析和其他信息输出等。

**关键词** 高速铁路 变形监测与控制 沉降评估

**中图分类号:** TB22; U238 **文献标识码:** A

### 1 概述

高速铁路线路长, 路基、桥梁、涵洞、隧道工程量大, 沿线复杂地质条件对工程建设影响大。线下构筑物变形是无砟轨道铁路的重要参数, 一直贯穿于设计、施工、运营维护、维修各阶段。高速铁路构筑物的变形监测与控制是高速铁路建设成败和安全运营的关键, 为使变形监测所获取的数据科学、可靠并连续, 高速铁路无砟轨道铺设前必须进行沉降评估<sup>[6, 8]</sup>。沉降评估主要依据施工阶段大量的沉降观测数据, 该项工作涉及的测点类型多, 数据量大, 评估分析控制指标多。为此, 依据《客运专线铁路无砟轨道铺设条件评估技术指南》<sup>[1]</sup>、《高速铁路工程测量规范》<sup>[2]</sup>和《国家一、二等水准测量规范》<sup>[3]</sup>、《建筑沉降变形测量规程》<sup>[4]</sup>等国家有关规范, 设计了一个“高速铁路沉降观测评估预测系统”。该系统面向高速铁路建设沉降评估单位人员和施工单位测量人员, 实现了《客运专线铁路无砟轨道铺设条件评估技术指南》提供的预测模型, 可使用这些数学模型对监测点在不同时期的沉降数据进行预测分析。从数据导入、沉降预测计算、成果筛选及成果输出, 实现计算全自动、一体化操作, 最大限度地

减少手工作业内容与工作量。

### 2 沉降观测评估预测模型

高速铁路沉降观测评估预测系统提供了 8 种预测模型。这 8 种预测模型对不同的沉降点, 在不同工程地质条件下各个时期观测的沉降数据都可进行预测, 下面就将这 8 种预测模型的方程、适用范围介绍如下。

#### 2.1 规范双曲线

规范双曲线的方程为

$$S_t = S_0 + \frac{t}{a + bt} \quad (1)$$

$$S_\infty = S_0 + \frac{1}{b} \quad (2)$$

式中  $S_t$ ——时间  $t$  时的沉降量;

$S_\infty$ ——最终沉降量 ( $t = \infty$ );

$S_0$ ——初期沉降量 ( $t = 0$ );

$a, b$ ——将荷载不再变以后的实测数据经过回归求得的系数。

规范双曲线是假定下沉平均速率以双曲线形式减少的经验推导法, 要求荷载开始后的沉降实测时间至少 6 个月以上。因此规范双曲线预测模型只适合于荷载稳定后的数据, 在实际模型预测时, 软件也是自动获取荷载稳定后的数据进行计算。但需要在原始的沉降

收稿日期: 2010- 09- 07

第一作者简介: 张献州 (1963—), 男, 工学博士, 教授。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

数据中对荷载稳定后的沉降数据加以标注。

## 2.2 修正双曲线

修正双曲线的方程为

$$S_t = \frac{t}{a + bt} \xi \quad (3)$$

其中:  $\xi = \frac{\sigma}{\sigma_{max}}$

式中  $t$ ——自土方工程开工以来时间 /d

$S_t$ —— $t$ 时刻的沉降 /mm;

$\sigma$ —— $t$ 时刻的荷载 /kPa

$\sigma_{max}$ ——设计最大荷载 /kPa

修正双曲线法在规范双曲线法的基础上引入了荷载系数的概念,在假定荷载增量加载速率变化不大的情况下,沉降变形的增量与荷载增量成正比。该方法与传统方法的最大差别在于其将填筑期观测数据纳入分析时间段内,而传统方法一般要求利用恒载期以后的观测数据进行预测。

## 2.3 固结度对数配合法 (三点法)

固结度对数配合法的方程为

$$S_t = S_d a e^{-\beta t} + S_{\infty} (1 - a e^{-\beta t}) \quad (4)$$

式中  $S_t$ —— $t$ 时刻的沉降量;

$S_d$ ——瞬时沉降量;

$S_{\infty}$ ——最终沉降量;

$\alpha, \beta$ ——未知参数。

三点法预测模型可适用于工程施工的任何阶段的预测。

## 2.4 指数曲线法

指数曲线法的方程为

$$S_t = [1 - a e^{-bt}] S_{\infty} \quad (5)$$

式中  $S_{\infty}$ ——最终沉降;

$a, b$ ——系数求法同双曲线法中的  $a, b$

指数曲线法适用于假定荷载一次施加或者突然施加的情况。

## 2.5 Verhulst算法

Verhulst模型的基本思想是将离散的随机数列  $x_{(i)}^0$  进行一次累加 (1-AGO), 生成序列  $x_{(i)}^1$ , 然后再对序列  $x_{(i)}^1$  建模计算, 得到预测值。进行 1-AGO 的目的是削弱原始数据中随机项的影响。

Verhulst算法的方程为

$$\hat{x}_{(i)}^{(1)}(t+1) = \frac{a/b}{1 + \left[ \frac{a}{bx_1^{(0)}} \right] e^{-at_i}} \quad (6)$$

当  $t = 1, 2, \dots, n$  时,  $\hat{x}_{(i)}^{(1)}$  计算值为相应时间的沉降值; 当  $t = \infty$  时,  $\hat{x}_{(i)}^{(1)}$  计算值等于极限值  $a/b$  该值可以

认为是路堤的最终沉降量。

Verhulst模型只有在线性加载或近似线性加载的情况下, 沉降-时间曲线呈 S 形。因此若加荷过程中存在间歇施工或加荷快慢不一致的情况, 则沉降-时间曲线并不呈 S 形, 用灰色 Verhulst 模型预测可能会产生较大的偏差。所以应用灰色 Verhulst 模型时, 要考虑施工中的实际加载情况。

## 2.6 Asoka算法

Asoka算法的方程为

$$S(t_i) = S_{\infty} - (S_{\infty} - S_0) e^{-at_i} \quad (7)$$

式中  $S(t_i)$ —— $t_i$  时刻的沉降量;

$S_{\infty}$ ——最终沉降量;

$S_0$ ——初始沉降量。

可适用于工程施工的任何阶段的预测。

## 2.7 变形过程指数法

变形过程指数法的方程为

$$S_{ti} = S_{\infty} \frac{N_t}{N_{\infty}} (1 - e^{-at_i}) \quad (8)$$

式中  $t$ ——时间变量 /d

$S_t$ —— $t$ 时刻发生的沉降 /mm;

$S_{\infty}$ ——最终沉降量 /mm;

$N_t$ —— $t$ 时刻作用在桩基上的累计荷载 /kN;

$N_{\infty}$ ——作用在桩基上的最终荷载 /kN;

$a$ ——拟合参数, 与土层性质, 桩基布置, 施工方法和工艺等有关。

可适用于工程施工任何阶段的预测。

## 2.8 灰色系统 GM (1, 1) 模型

灰色系统 GM (1, 1) 模型的方程为

$$\hat{x}_1^{(1)}(t_i) = \left[ x_1^{(1)}(t_i) - \frac{b}{a} \right] e^{-a(t_i - t_1) \Delta t_0} + \frac{b}{a} \quad (9)$$

式中  $\hat{x}_1^{(1)}(t_i)$ —— $t_i$  时刻的预测值;

$a, b$ ——不等时距灰色系统 GM (1, 1) 模型的参数值;

$\Delta t_0$ ——平均时间间隔。

灰色系统是指信息不完全与不确知的系统, 它是一种综合运用数学方法对信息不完全的系统进行预测、预报的理论和方法。其基本思路是将与时间有关的已知数据按某种规则加以组合, 构成白色模块, 然后按某种规则提高灰色模块的白化度, 特点是应用为数不多的数据就能建模。

灰色预测的思路是随时间变化的随机正数据列, 通过适当的方式累加, 使之变成非负递增的数据列, 用适当的方式逼近, 以此曲线作为预测模型, 对系统进行预测。这里使用单一变量的 GM (1, 1) 模型, 该模型要

求时序数据是平稳变化的。

由于灰色 GM (1, 1) 是以等时间间隔序列建模, 它要求采用的数据间隔为等时距, 而实际工作中的沉降观测数据通常是不等时距的, 为解决这一矛盾, 在累加生成前和累减生成后应将不等时距沉降序列转变为等时距序列。

### 3 系统的设计与实现

#### 3.1 体系结构

高速铁路沉降观测评估预测系统的体系结构如图 1 所示。

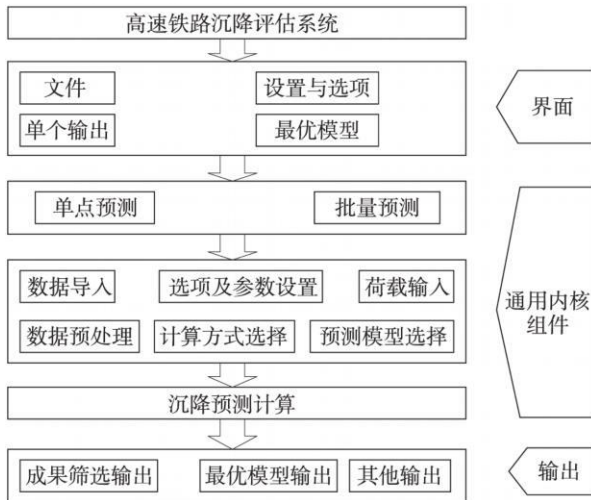


图 1 高速铁路沉降预测系统架构

#### 3.2 系统实现

##### (1) 预测模型计算和预测图可视化

系统实现了 8 种预测模型, 用户可选择一种或几种来计算测点在不同时期预测沉降值, 然后显示测点的各种曲线图。

##### (2) 最优模型的筛选

程序可根据 8 种预测模型计算的相关系数、最终沉降、工后沉降和当前沉降进行筛选输出; 同时也可根据后验方差比进行最优模型的选择。后验方差比是残差的方差与原始数据的方差比值。比值越小, 预测模型越好。

##### (3) 预测成果输出

系统可将用户预测成果分两种形式输出: Excel 预测成果表和 Jpeg 图片。Excel 预测成果表中, 显示所有预测模型的计算成果; Jpeg 图片中, 显示测点的实测、预测曲线图, 同时显示测点的观测日期、观测期次、当前沉降量、最终沉降量、相关系数、工后沉降、沉降百分比和沉降速率等相关信息。

##### (4) 单点分析

对于批量输出的预测模型后, 可根据需要, 再单独对某些测点, 进行预测分析。

##### (5) 其他信息的输出

系统可输出测点的一些统计信息。如: 某一测段的断高状态 (正常次数、破坏重埋次数、接管次数、基准点修正次数)、测点的观测时间、观测期次、观测天数、同一断面的差值、相邻断面的差值等相关信息。

图 2 为沉降单点预测分析、批量预测分析及其信息输出, 图 3 为沉降观测值与预测值对比, 图 4 给出的是单点沉降预测分析的综合图形输出。

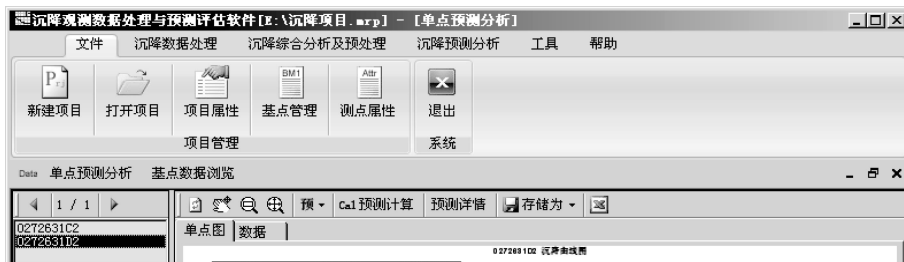


图 2 单点预测分析与批量预测分析

观测点号	累计天数	本次沉降 (mm)	累计沉降 (mm)	规范双曲线预测沉降 (mm)	修正双曲线预测沉降 (mm)	固结度对数配合法预测沉降 (mm)	指数曲线法预测沉降 (mm)	Verhulst 算法预测沉降 (mm)	Asaoka 算法预测沉降 (mm)	变形过程指数法预测沉降 (mm)	灰色系统 GM (1, 1) 模型预测沉降 (mm)
0272631D2	0	0	0		0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
0272631D2	8	0.06	0.06		0.11	0.04	0.12	0.05			0.18
0272631D2	15	0.19	0.25	0.25	0.21	0.12	0.23	0.06			0.29
0272631D2	23	0.1	0.35	0.36	0.32	0.21	0.35	0.08			0.42
0272631D2	31	0.16	0.51	0.48	0.44	0.30	0.48	0.09			0.56
0272631D2	39	0.12	0.63	0.60	0.56	0.40	0.60	0.11			0.70
0272631D2	47	0.13	0.76	0.72	0.67	0.50	0.73	0.13			0.84
0272631D2	55	-0.18	0.58	0.84	0.79	0.60	0.85	0.16			0.98

图 3 为沉降观测值与预测值对比

文章编号: 1672- 7479( 2010) 05- 0004- 04

# 铁路工程测量的认识与实践

张玉世

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 陕西西安 710043)

## Cognition and Practice of Technology for Railway Engineering Survey

Zhang Y u s h i

**摘 要** 精密工程测量是高速铁路设计、施工、运营等各项工作的基础, 是铁路工程中关键环节之一。2009年 12月, 铁路工程测量开始执行新的技术规范。对现行技术规范下铁路工程测量一些概念和方法进行了介绍与认识, 并结合铁路精密工程测量控制网的设计与实施, 以及铁路精密工程测量控制网的复测与问题处理, 归纳总结了一些铁路工程测量中保证工作质量, 提高工作效率方法。

**关键词** 铁路 工程测量 实践 经验

**中图分类号:** TB22 **文献标识码:** B

收稿日期: 2010- 08- 01

作者简介: 张玉世 (1966- ), 男, 1989年毕业于西南交通大学摄影测量与遥感专业, 高级工程师。

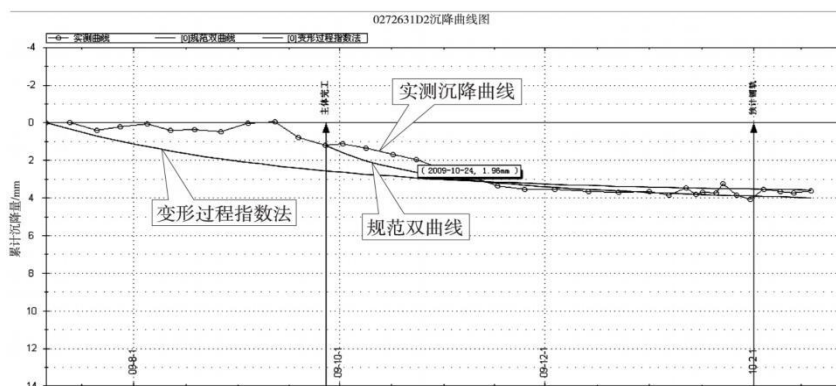


图 4 单点沉降预测分析的综合图形输出

## 4 结论

该系统实现了不同类型测点沉降数据资料的分类管理与数据处理, 对施工单位提交的实测数据进行全面分析, 对高铁沿线各沉降测点的各期沉降数据进行单点沉降分析和区段沉降分析, 绘制沉降曲线图, 提供沉降统计分析数据与 excel 的交互; 软件自动化生成各类沉降观测报表 (包括路基、桥梁、涵洞、隧道), 预测路、桥、隧断面的最终沉降量和工后沉降量, 分析路桥、路涵、线桥隧等不同结构物之间过渡段的差异沉降是否满足相关要求, 为无砟轨道铺设提供了相应的技术保障。系统已在京沪高速铁路、哈大客运专线、沪宁城

际铁路、兰新铁路等多条铁路线路中得到了应用。

## 参 考 文 献

- [1] 铁建设 [2006] 158号 客运专线铁路无砟轨道铺设条件评估技术指南 [S]
- [2] TB10601-2009 高速铁路工程测量规范 [S]
- [3] GB12897-2006 国家一、二等水准测量规范 [S]
- [4] JGJ/T8-2007 建筑沉降变形测量规程 [S]
- [5] 铁建设 [2007] 183号 铁路客运专线竣工验收暂行办法 [S]
- [6] 铁建设 [2007] 216号 客运专线无砟轨道铁路施工技术指南 [S]
- [7] 铁建设函 [2007] 183号 客运专线无砟轨道铁路设计指南 [S]
- [8] 李明领. 客运专线无砟轨道铁路线下结构沉降变形观测与评估技术 [J]. 中国工程科学, 2009 11(1): 48
- [9] 汤晓光, 陈善雄. 论铁路客运专线沉降变形评估标准与合理控制 [J]. 铁道标准设计, 2010(2): 1- 3