

# 基于 MA-GM(1,1) 的高速公路沥青路面使用性能预测

张鹏<sup>1</sup>, 张坤<sup>2</sup>, 张春海<sup>3</sup>

(1. 苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 211112; 2. 日照交通发展集团有限公司, 山东 日照 276800;

3. 日照市公路管理局, 山东 日照 276800)

**摘要:** 以  $PCI$ 、 $RQI$ 、 $RDI$ 、 $SRI$  及  $PQI$  为评价指标, 利用灰色理论, 结合滑动平均方法, 建立 MA-GM(1,1) 模型对高速公路沥青路面使用性能进行预测。山东省日东(日照—东明)高速公路 K20—K22 预测结果表明, 该模型具有较高的精度和稳定性, 能准确反映沥青路面使用时间与使用性能之间的关系, 为高速公路的养护和管理提供参考。

**关键词:** 公路; 沥青路面; 使用性能; 灰色理论; 滑动平均法

**中图分类号:** U415.12

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2017)04-0204-03

随着高速公路运营时间的增加, 沥青路面的使用性能日益衰减, 从而影响车辆的行驶速度和运输的安全性、经济性和舒适性。路面使用性能是对路面结构性能状况的总体描述, 对路面使用性能进行评价分析是进行路况预测、优化对策和养护计划决策制定的基础, 建立沥青路面结构使用性能预测模型非常必要。

灰色理论是研究解决灰色系统分析、建模、预测、决策和控制的理论。灰色预测模型所需建模信息少、运算方便、精度高, 是处理小样本预测问题的有效工具。滑动平均法是一种常用的数据处理方法, 它通过在小区间上的局部平均, 有效过滤数据中的随机起伏, 凸显数据序列的规律性。该文以山东省日东(日照—东明)高速公路为例, 基于灰色理论, 结合滑动平均方法, 建立高速公路路面性能时间响应 MA-GM(1,1) 模型对路面使用性能进行预测。

## 1 路面使用性能评价指标体系

中国将路面评价指标分为单项指标和综合指标。其中: 单项评价指标依据路面使用性能划分为四类, 即功能性能指标、结构性能指标、安全性能指标和结构承载能力指标; 综合评价指标是上述单项指标评价值的加权和。

(1) 路面功能性能指标。路面的基本功能是为车辆提供快速、安全、舒适和经济的行驶表面。路面的功能性能是指路面满足这一基本功能的能力, 反映路面的行驶质量和服务水平。采用行驶质量指数

$RQI$  衡量路面的功能性能, 其计算公式为:

$$RQI = \frac{100}{1 + a_0 \exp(a_1 IRI)} \quad (1)$$

式中:  $a_0$ 、 $a_1$  为标定系数;  $IRI$  为路面平整度。

(2) 路面结构性能指标。路面结构性能是指路面结构保持完好的程度, 是路面破损状况物理性能最直接的表现和反映。针对路面中多种不同破损类型及其严重程度, 采用路面状况指数  $PCI$  及路面车辙深度指数  $RDI$  来表示, 其计算公式为:

$$PCI = 100 - 15DR^{0.412} \quad (2)$$

$$RDI = \begin{cases} 100 - a_0 RD & (RD \leq RD_a) \\ 60 - a_1 (RD - RD_a) & (RD_a < RD \leq RD_b) \\ 0 & (RD > RD_b) \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $DR$  为路面综合破损率;  $a_0$ 、 $a_1$  为模型参数, 分别取 2、4;  $RD$  为车辙深度(mm);  $RD_a$  为车辙深度参数, 取 20 mm;  $RD_b$  为车辙深度限值, 取 35 mm。

(3) 路面安全性能指标。用路面抗滑性能表征路面的安全性能。路面抗滑性能是指车辆轮胎受到制动时沿路面表面滑移所产生的抗滑力。通常抗滑性能被看作是路面的表面特性, 用  $SRI$  表示, 其计算公式为:

$$SRI = \frac{100 - SRI_{\min}}{1 + a_0 \exp(a_1 SFC)} + SRI_{\min} \quad (4)$$

式中:  $SRI_{\min}$  为标定参数, 取 35;  $a_0$ 、 $a_1$  为模型参数, 分别取 28.6、-0.105;  $SFC$  为横向力系数。

(4) 使用性能综合指标。路面使用性能综合评

价是为了使各路段的路面状况具有可比性而建立的一种路面使用性能总体评价指标。利用综合评价指数  $PQI$  对路面进行总体评价,其计算公式为:

$$PQI = \omega_1 PCI + \omega_2 RQI + \omega_3 RDI + \omega_4 SRI \quad (5)$$

式中:  $\omega_i$  ( $i=1,2,3,4$ ) 为相应指标权重,规范建议值分别为 0.35、0.4、0.15、0.1。

## 2 高速公路沥青路面使用性能预测模型

### 2.1 MA-GM(1,1)模型回归计算过程

(1) 给定时间响应序列  $x^{(0)}$ ,  $x^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)]$ , 对其进行滑动平均处理。对于端点数据,用式(6)进行处理;对中间各点数据,用式(7)进行处理。

$$\begin{cases} x'^{(0)}(1) = \frac{3x^{(0)}(1) + x^{(0)}(2)}{4} \\ x'^{(0)}(n) = \frac{x^{(0)}(n-1) + 3x^{(0)}(n)}{4} \end{cases} \quad (6)$$

$$x'^{(0)}(t) = \frac{x^{(0)}(t-1) + 2x^{(0)}(t) + x^{(0)}(t+1)}{4} \quad (7)$$

(2) 对新数据序列作一次累加,生成如下 1-AGO 序列:

$$x^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)] \quad (8)$$

(3) 设  $z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1)$ , 则  $x^{(1)}$  的近邻生成序列为:

$$z^{(1)} = [z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)] \quad (9)$$

(4) 根据灰色理论 GM(1,1)模型,灰色微分方程为:

$$x^{(0)}(k) + ax^{(1)}(k) = b \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (10)$$

式中:  $a$  为发展灰数;  $b$  为内生控制灰数。

(5) 若  $\hat{a} = (a, b)^T$  为参数列,令式(11)成立,则灰色微分方程的最小二乘估计参数列满足式(12)。

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -z^{(0)}(2) & 1 \\ -z^{(0)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(0)}(n) & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (12)$$

(6) 取  $x^{(0)}(1) = x^{(1)}(0)$ , 则白化方程  $dx^{(1)}/dt + ax^{(1)} = b$  的解见式(13),还原值见式(14)。

$$x^{(1)}(k+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}]e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (13)$$

$$x^{(0)}(k+1) = x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k) \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (14)$$

### 2.2 高速公路沥青路面使用性能预测模型

日东高速公路全长 413.3 km,双向四车道,设计行车速度 100 km/h。下面以其中 K20—K22 共 2 km 为试验路段,以 2003—2013 年养护数据为样本(见表 1)建立 MA-GM(1,1)模型。

表 1 路面使用性能数据样本

年份	RQI	PCI	RDI	SRI	PQI
2003	92.1	94.4	95.2	93.2	99.70
2004	90.4	93.7	94.9	92.0	97.35
2005	89.2	92.7	94.2	91.7	94.25
2006	89.0	88.5	93.8	91.2	91.67
2007	88.6	88.1	92.8	90.6	90.51
2008	86.3	87.6	92.1	89.8	89.28
2009	85.8	85.4	90.3	88.8	88.10
2010	85.4	83.6	89.2	88.3	86.56
2011	84.9	81.3	87.9	86.3	84.59
2012	82.3	80.8	86.6	85.2	83.06
2013	82.1	80.0	82.4	84.1	81.14

以  $RQI$  为例,MA-GM(1,1)模型白化方程的解为:

$$x'^{(1)}(k+1) = -747.547e^{-0.012 \cdot 2k} + 756.697 \quad (k=1,2,\dots,n)$$

解得  $RQI'_{2014} = 80.2$ 。

GM(1,1)模型白化方程的解为:

$$x^{(1)}(k+1) = -755.456e^{-0.012 \cdot 2k} + 764.656 \quad (k=1,2,\dots,n)$$

解得  $RQI'_{2014} = 81.1$ 。

## 3 预测结果与分析

分别利用 MA-GM(1,1)模型与 GM(1,1)模型对该路段各项性能指标进行回归分析,并对 2014 年指标值进行预测。预测结果见表 2,预测相对误差见图 1。

由表 2 和图 1 可以看出:MA-GM(1,1)模型的各项性能指标预测值的均方误差均小于 GM(1,1)模型,说明 MA-GM(1,1)模型具有较理想的拟合精度,能兼顾全部数据,跳跃性较小,稳定性较好,避免了过拟合与欠拟合现象的发生,能很好地反映沥青路面各项性能的变化规律。MA-GM(1,1)模型的相对误差最大值、最小值分别为 2.70% 和 0.24%,而

表2 两种模型的回归预测结果

性能指标	2014年实际值	MA-GM(1,1)模型预测结果			GM(1,1)模型预测结果		
		2014年预测值	相对误差/%	均方误差	2014年预测值	相对误差/%	均方误差
RQI	80.30	80.500	0.25	0.038	81.400	1.380	0.062
PCI	79.50	78.070	1.80	0.405	81.100	2.068	0.713
RDI	80.60	81.200	2.70	0.014	82.800	2.828	0.018
SRI	83.20	83.900	0.80	0.302	82.500	0.890	0.417
PQI	79.79	79.983	0.24	0.416	80.212	0.530	0.535

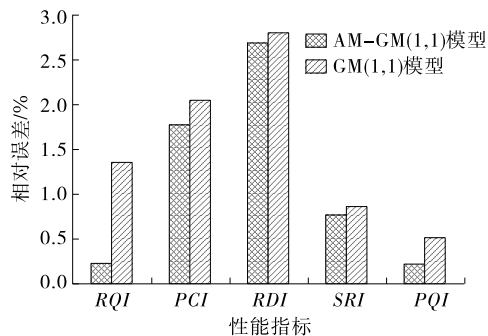


图1 两种模型预测结果相对误差比较

GM(1,1)模型的相对误差最大值和最小值分别为2.83%、0.53%, MA-GM(1,1)模型的预测精度大于GM(1,1)模型, MA-GM(1,1)模型具有较高的预测精度, 可有效解决小样本的时间响应问题, 并具有较强的推广能力。

#### 4 结语

该文基于灰色理论, 结合滑动平均方法, 建立了高速公路沥青路面使用性能预测 MA-GM(1,1)模型, 对高速公路沥青路面使用性能进行快速、有效预测。回归预测结果显示, MA-GM(1,1)模型具有较高的精度和较好的稳定性, 能准确反映路面各项性能指标的发展变化规律, 可用于高速公路沥青路面使用性能预测, 为高速公路的养护和管理提供参考。

#### 参考文献:

[1] 邹宏杰, 王佳. 高速公路沥青路面使用性能评价研究

[J]. 湖南城市学院学报: 自然科学版, 2007, 16(3).

[2] 朱建民. 高速公路沥青路面使用性能评价方法探讨[J]. 交通标准化, 2004(31).

[3] 曾胜, 曾庆霞. 水泥路面使用性能评价指标体系的优化[J]. 公路工程, 2008, 33(4).

[4] L H Jiang, A G Wang, N Y Tian, et al. BP neural network of continuous casting technological parameters and secondary dendrite arm spacing of spring steel[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2011, 18(8).

[5] Mu-Shang Yi. Fifteen years of grey system theory research: a historical review and bibliometric analysis[J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(7).

[6] J Wei, Y Zhang. The application of grey system theory to correlate chemical composition and surface free energy of asphalt binders [J]. Petroleum Science and Technology, 2010, 28(17).

[7] 战德军, 秦石乔, 王省书, 等. 基于滑动平均的速率偏频激光陀螺静态角速率测量算法[J]. 光学学报, 2009, 29(11).

[8] 魏建国, 龚文剑, 南秋彩, 等. G6 高速公路巴新麻段沥青路面使用性能预测研究[J]. 公路与汽运, 2015(3).

[9] 宋蓝, 陈吉明, 湛文涛. 沥青路面使用性能的灰色预测研究[J]. 公路与汽运, 2014(3).

[10] 王婷宇, 吕西, 韦慧. 沥青路面病害微观损坏数量预测方法研究[J]. 公路与汽运, 2013(4).

[11] 王海龙. 宁夏高等级公路沥青路面使用性能评价与预测研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.

收稿日期: 2016-10-20

(上接第 203 页)

2008, 26(11).

[8] Shen L Y, Bao H J, Wu Y Z, et al. Using bargaining-gametheory for negotiating concession period for BOT-type contract[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2007, 133(5).

[9] 於永和. BOT 项目投标决策模型及其应用研究[D]. 长

沙: 湖南大学, 2006.

[10] 黄有亮. 工程经济学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2004.

[11] Shen L Y, Wu Y Z. Risk concession model for build operate transfer contract projects[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2005, 131(2).

收稿日期: 2017-04-17