

文章编号: 1006-544X (2005) 02-0173-03

基于灰色系统理论预测路面使用性能

刘有山¹, 李春雷², 李 波¹, 凌桂芳¹, 蒋曙萍¹

(1. 桂林市公路局, 广西 桂林 541002; 2. 东南大学 交通学院, 南京 210096)

摘 要: 根据灰色系统理论的数列预测理论, 针对某高速公路沥青路面使用性能中的基本指标建立灰色预测模型, 模型精度采用后验方差验证, 对于精度较差的模型, 采用二次拟合参数法提高模型的精度, 并根据预测值与实际检测数据的对比, 分析模型预测结果的合理性以及指标的发展情况. 利用灰色系统理论预测路面使用性能具有一定的科学应用性.

关键词: 沥青路面; 灰色系统理论; 使用性能; 精度

中图分类号: U416.217 文献标识码: A^①

利用灰色预测理论对路面使用性能的未来状态进行定量的预测,以便及时准确的了解路面的使用状况,作出科学的判断,采取适当的养护、修复措施以保证路面良好的使用性能. 由于路面是一个多指标体系,采用单一指标很难全面评价路面使用性能. 根据沥青路面养护规范里的评价指标,联系江苏省某高速公路的实体工程,本文将对路面平整度 (*IRI*)、路面回弹弯沉 (*L*) 和横向力系数 (*SFC*) 3 项指标^[1], 分别采用灰色理论中的数列预测建立 GM(1,1) 模型^[2] 进行预测,并对该方法进行探讨.

1 预测模型的建立

表 1 为江苏省某高速公路某路段 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 年的观测数据, 以前 4 年的数据为原始数据建立预测模型, 用 2003 年的数据验证预测结果的准确性, 建立 3 年的预测数据, 比较分析灰色预测的实用性和特点.

3 项指标的原始观测序列为:
 $I^{(0)} = (I^{(0)}(1), I^{(0)}(2), I^{(0)}(3), I^{(0)}(4)) = (1.558, 1.781, 1.903, 2.001)$
 $L^{(0)} = (L^{(0)}(1), L^{(0)}(2), L^{(0)}(3), L^{(0)}(4)) = (13.276, 15.993, 19.877, 20.572)$
 $S^{(0)} = (S^{(0)}(1), S^{(0)}(2), S^{(0)}(3), S^{(0)}(4)) = (58.64, 52.47, 50.78, 45.83)$

表 1 路面性能数据检测结果					
Table 1	Data of pavement performance				
年份	1999	2000	2001	2002	2003
平整度 (<i>IRI</i>)	1.558	1.781	1.903	2.001	2.130
<i>SFC</i>	58.64	52.47	50.78	45.83	41.89
路面回弹弯沉 <i>L</i> (0.01mm)	13.276	15.993	19.877	20.572	23.922

以下为平整度的求解过程, 其它指标类似.

1.1 GM (1, 1) 模型

① 对 $I^{(0)}$ 作一次累加生成 1-AGO, 得
 $I^{(1)} = (I^{(1)}(1), I^{(1)}(2), I^{(1)}(3), I^{(1)}(4)) = (1.558, 3.339, 5.242, 7.243)$

② 验证光滑性. 当 $k \geq 3$ 时, $\varepsilon(k) = 0.382 < 0.5$, 并且, 当 k 足够大时, 该数列递减, 收敛于零, 所以满足光滑条件.

③ 计算 GM(1,1) 模型. 得出参数
 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N = (-0.057\ 91, 1.644\ 42)^T$;
模型方程 $dI^{(1)}/dt - 0.057\ 91I^{(1)} = 1.644\ 42$;
时间响应方程 $\hat{I}^{(1)}(t+1) = (I^{(0)}(1) - u/a)e^{-at} + u/a = 29.954\ 13\ e^{0.057\ 91t} - 28.396\ 13$;
得平整度指数的原始生成序列: (1.558, 1.786, 1.892, 2.005)

1.2 精度分析

① 收稿日期: 2004-07-09
作者简介: 刘有山 (1956-), 男, 高级工程师, 公路与桥梁工程施工与管理工作.

残差向量 $e = (0, -0.005, 0.011, -0.004)$;
方差 $S_1^2 = 0.027\ 368\ 2$, $S_2^2 = 0.000\ 161$;
得 $P = 0.98$, $C = S_2/S_1 = 0.243 < 0.35$,
因此,精度为 1 级.

同理,按上述步骤可以算出回弹弯沉和横向力系数的 GM(1,1)模型及其预测模型.

$$\begin{aligned}dL^{(1)}/dt - 0.117\ 088L^{(1)} &= 14.153\ 431, \\ \hat{L}^{(1)}(t+1) &= (L^{(0)}(1) - u/a)e^{-at} + u/a \\ &= 134.154\ 62\ e^{0.117\ 088t} - 120.878\ 6; \\ \text{得路面弯沉的原始生成序列} \\ (13.276, 16.664, 18.735, 21.062, 23.697). \\ dS^{(1)}/dt + 0.066\ 061S^{(1)} &= 58.637\ 54, \\ \hat{S}^{(1)}(t+1) &= (S^{(0)}(1) - u/a)e^{-at} + u/a \\ &= -828.988\ 2\ e^{-0.066061t} + 887.628\ 2; \\ \text{得横向力系数的原始生成序列} \\ (58.64, 52.99, 49.61, 46.44).\end{aligned}$$

1.3 模型精度改进

以路面回弹弯沉 L 的精度改进为例:

$$\begin{aligned}L^{(0)} &= (L^{(0)}(1), L^{(0)}(2), L^{(0)}(3), L^{(0)}(4)) \\ &= (13.276, 15.993, 19.877, 20.572), \\ G &= \begin{bmatrix} e^0 & 1 \\ e^{-a} & 1 \\ \dots & \dots \\ e^{-a(n-1)} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1.12422 & 1 \\ 1.26387 & 1 \\ 1.42086 & 1 \end{bmatrix}, \\ \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} &= (G^T G)^{-1} G^T X^{(1)} = \begin{bmatrix} 134.941\ 34 \\ -121.879\ 30 \end{bmatrix}. \\ \text{得到新的时间预测函数} \\ \hat{L}^{(1)}(t+1) &= Ae^{-at} + B \\ &= 134.941\ 34\ e^{0.1170\ 88t} - 121.879\ 30. \\ \text{生成新的预测数列 } &(13.276, 16.548, \\ &18.845, 21.185, 23.816)\end{aligned}$$

进行精度比较:同一指数的精度比较主要采用相对误差法,结果见表 2. 对该模型采用参数二次拟合,在一定程度上提高了模型的整体预测精度. 当数据采集量较大时,该方法的预测精度还是比较高的,预测的结果是可以接受的.

2 预测结果与原始数据的分析比较

根据时间响应模型预测后 3 年(2004~2006)的各项指标并绘制成图,从平整度预测图(图 1)

表 2 改进模型的精度比较					
Table 2 Model precision comparison					
年份	1999	2000	2001	2002	2003
原始数据	13.276	15.993	19.877	20.572	23.922
一次拟合	13.276	16.664	18.735	21.062	23.697
相对误差/%	0.0	4.2	5.7	2.4	0.9
二次拟合	13.276	16.548	18.845	21.185	23.816
相对误差/%	0.0	3.5	5.2	2.9	0.4

中可以看到:平整度的发展趋势是逐年增大,但是其增长较缓慢,平整度的变化在通车第一年比较明显,逐渐趋于缓和,并且预测的平整度值在规范的允许范围内;预测曲线与原始曲线非常接近,说明上述预测模型还是较能够反映短期内平整度的发展趋势.

从图 2 可以看出,弯沉增加比较快,前 4 年相对来说呈线性增长,这主要是由于施工压实度控制的不够,开放交通后,交通量持续增加,重载车辆增多而引起的路面使用性能的下降. 当然,由于所采集的原始数据的量不足,以该曲线的发展趋势可以得知,预测长期性能是不够的,还应该继续观测,增加原始数据量以使该模型能更好的反映路面弯沉的实际情况.

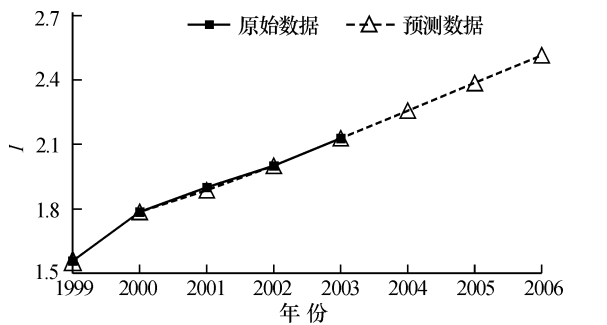


图 1 平整度指数 IRI 预测
Fig.1 Prediction of IRI

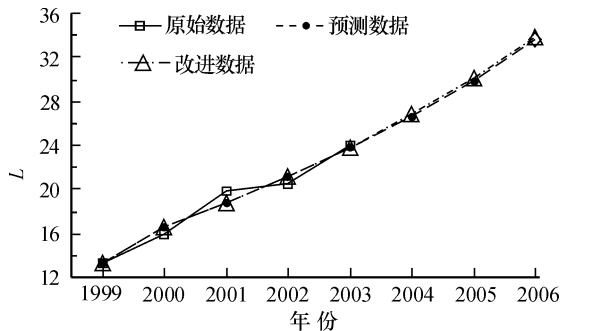


图 2 弯沉 L 预测
Fig.2 Prediction of deflection

由横向力系数的变化曲线（图 3）可知，在通车前几年，由于路面结构的整体强度发展，行车速度的增加，以及轴重的增长使得该沥青路面的抗滑能力下降，在后期，由于整体强度的进一步提高，路面的使用性能逐渐稳定，抗滑能力下降趋于平缓。

从以上 3 个数据发展趋势图可以看出，路面的使用性能在刚通车的前两年里下降较快，变化明显，但在随后的几年里逐渐趋于平缓，这是符合路面的实际使用状况的。由于在通车的前两年，在荷载的作用下，路面被进一步压密，其整体强度增长，使得路面性能的后期变化趋于平缓。但是，当路面在温度和荷载综合作用下出现破坏后，破坏迅速发展，路面性能曲线将会出现变化较大的趋势，由于所采集的数据跨越时间较短，无法模拟道路从新建到使用寿命末期的变化趋势图。

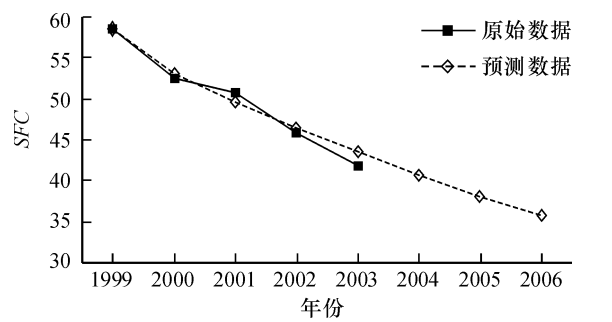


图 3 横向力系数预测

Fig. 3 Prediction of factors of breadth-way force

3 结束语

(1) 灰色理论建立的模型精度可以通过建立多指数的灰色模型 $GM(n, 1)$ 来提高，这对原始数据量较大的数据集预测时可以得到较好的相关性。本文主要采用后验方差检验模型精度，在提高模型的精度上本文采用对参数二次拟合的方法，在一定程度上提高了模型的预测精度。

(2) 由于模型的预测依赖于原始数据的采集，所以应对所采集的数据进行筛选，根据经验对比，将明显不合适的指标值剔除。当然这也要求养护技术人员在进行养护数据采集时，尽量能够规范操作。

(3) 改建、大修之后的路面使用性能的预测不能依据之前原有路面的数据指标，必须建立新的改建后的原始数据采集序列，对参数进行调整，重新建立预测模型。

总之，利用灰色系统理论建立性能指标的量化特征，对路用性能进行短期或长期的预测，可以有利于养护部门的决策，灰色系统理论在路面使用性能的预测上具有一定的科学应用性。

参考文献

[1] 邓聚龙. 灰色系统理论教程 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.
[2] 潘玉利. 路面管理系统 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.

Pavement Performance Forecast Based on Gray System Theory

LIU You-shan¹, LI Chun-lei², LI Bo¹, LING Gui-fang¹, JIANG Shu-ping²

(1. Department of Highway Administration of Guilin, Guilin 540012, China;

2. College of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The paper describes how to establish a gray model based on three fundamental indexes of asphalt pavement performance to forecast the performance of asphalt pavement. Gray system theory is applied to establish a model to forecast the performance of one express way in Jiangsu Province. Through the forecast data comparison and the original data and improving the precision of the model, the rationality of the model is analysed. Some problems in application of the forecast model and some advanced methods to improve the precision and rationality of the forecast model are put forward. The application of gray system theory to forecast pavement performance proves to be a scientific one.

Key words: gray system theory; pavement performance; gray model; precision