

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.05.014

公路基础设施建设发展特征及灰色趋势预测研究

郑玉国, 夏鸿翔, 贺浩

(湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 针对公路基础设施建设发展预测基本空白的现状, 在对我国公路基础设施建设的历史发展进行梳理的基础上, 分析了我国公路基础设施建设的历史发展特征并初步探索其原因。采用灰色预测方法, 建立灰色预测模型并编制灰色预测程序, 在通过关联度检验、后验差检验、残差检验的基础上, 对我国公路基础设施建设未来的发展趋势进行预测。研究和预测的结果表明, 所建立的灰色预测模型精度较高, 所编制的灰色预测程序效果良好, 我国的公路基础设施建设发展潜力巨大, 结构调整仍有较大空间, 预测结果可作为公路交通管理部门制定发展规划和做出决策的重要依据和参考。

关键词: 公路基础设施建设; 发展特征; 发展趋势预测; 灰色预测模型; 模型检验

中图分类号: U49

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)05-0070-07

Study on the Development Features and Grey Relation Trend Forecast of Highway Infrastructure Construction

ZHENG Yuguo, XIA Hongxiang, HE Hao

(School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411201, China)

Abstract : In view of the fact that the current highway infrastructure development forecast is basically a virgin ground, based on the gathered information of the historical development of the highway infrastructure construction in China, a detailed analysis has been made of its developmental features and a tentative analysis of its causes as well. A grey prediction model has been established and a grey prediction program has been worked out, followed by a future development trend prediction of the highway infrastructure construction in China, based on the correlation test, the posterior variance test and the residual test. The research and forecast results show that the proposed grey forecasting model is of high precision, and the formulated grey prediction program has achieved a good effect, with a great potential for the future development of the highway infrastructure construction and the structural readjustment. The prediction results can be referred to by the highway traffic management department for the development planning and decision making.

Keywords : construction of highway infrastructure ; development feature ; grey trend forecast ; grey forecast model ; model test

公路基础设施是国民经济和社会发展的“大动脉”, 公路基础设施的建设与整个经济社会的发展既相辅相成又相互影响和制约, 其重要性不言而喻。

公路基础设施建设发展预测与宏观经济和微观

经济的预测类似, 例如 GDP 的预测和人口发展的预测等, 是管理部门了解其历史发展和当前运行状况的重要手段, 是制定未来发展战略、规划、政策和计划等的重要依据^[1]。

收稿日期: 2016-07-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51348010), 湖南省自然科学基金资助项目(14JJ3109)

作者简介: 郑玉国(1978-), 男, 湖北宜城人, 湖南科技大学副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事桥梁工程及结构优化方面的研究, E-mail: 666zyg@tongji.edu.cn

公路交通行业的统计及预测由来已久, 然而较多的文献^[2-4]要么偏重于区域交通运输或者区域运输需求的发展预测, 要么偏重于区域交通宏观发展战略的研究^[5-7], 而具体有针对性基于公路基础设施角度的发展预测仍然非常少。

相对于其它预测方法而言, 灰色预测方法在小样本、贫信息系统和缺乏数据的情况下效果良好^[8]。因此, 基于公路基础设施建设的视角, 从公路基础设施历史发展特征梳理和未来发展趋势预测 2 个角度出发, 采用灰色预测方法, 对我国公路基础设施的建设开展研究, 可以弥补当前研究的不足, 从而完善公路交通行业发展预测的理论体系。

1 公路基础设施建设发展特征

我国的公路基础设施建设起步较晚, 公路基础设施建设的历史数据非常缺乏。根据交通运输部的统计公报^[9], 可采用的公路基础设施统计数据仅从 2001 年开始。因此, 基于统计公报的现有数据, 按照其分类方法, 分别从行政等级公路、技术等级公路和重大控制性桥隧工程的角度, 对我国公路基础设施建设历史发展的情况进行阐述和分析。

1.1 行政等级公路角度

按照我国行政等级公路的划分, 其包括国道、省道、县道、乡道、专用公路和村道等 6 种, 我国公路总里程及 6 种行政等级公路里程的历史变化情况如图 1a 所示, 各等级公路占公路总里程的比例如图 1b 所示。需要强调的是, 由于 2005 年及以前的村道建设及里程并未纳入统计公报中, 因此对村道发展变化情况的分析从 2006 年开始。

从总里程来看, 6 种行政等级公路的里程和公路总里程总体上呈增长态势发展, 在前期缓慢增长的基础上专用公路总里程在 2006, 2007 年有较大减小, 随后又缓慢增长。而公路总里程从 2005—2006 年的大幅增加是由于统计数据中增加了较大数量的村道里程而引起的。在 6 种行政等级公路中, 村道和乡道的增长率最大。

从占比的情况来看, 2005 年以前乡道在整个公路基础设施中的占比最大并逐年增大, 随后是县道、省道、国道和专用公路且占比逐年减小。2006 年以后由于统计指标的变化, 村道在整个公路基础设施中的占比最大并逐年增大, 随后是乡道、县道、省道、国道和专用公路, 且占比总体上小幅波动缓慢减小。

从上述分析可以看出, 村道和乡道建设在整个公路基础设施建设中的重要性越来越大, 这与我国新世纪以来更加重视农村工作和农村建设是分不开的。

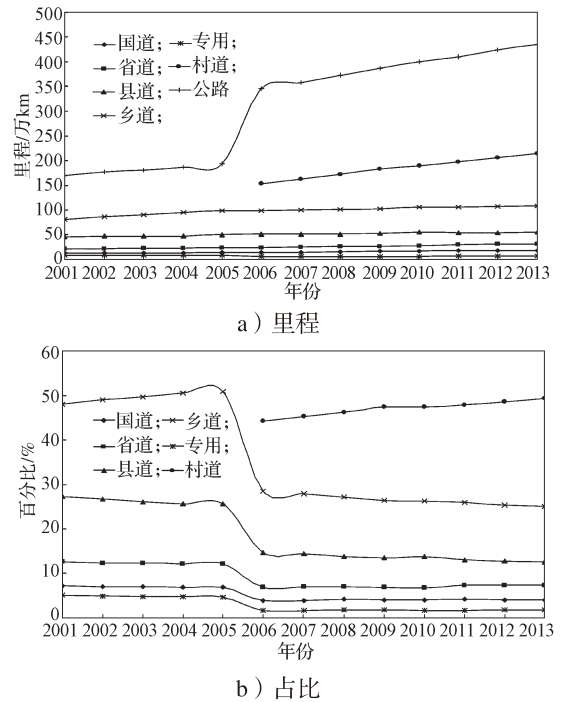


图 1 行政等级公路历史发展变化情况

Fig. 1 Historical development and change of highways of administrative level

1.2 技术等级公路角度

我国的技术等级公路包括高速、一级、二级、三级、四级和等外公路等 6 种, 各种技术等级公路里程的变化情况如图 2a 所示, 相应的各种技术等级公路里程占公路总里程百分比的变化如图 2b 所示。

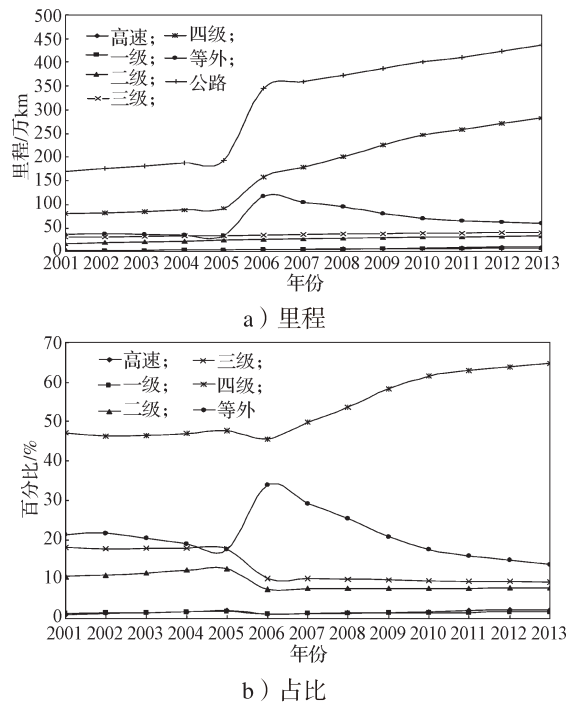


图 2 技术等级公路历史发展变化情况

Fig. 2 Historical development and change of highways of technical level

从图 2a 可以看出, 高速、一级、二级、三级公路总里程平稳增长, 四级公路的总里程以较快增幅持续增长, 等外公路里程总体上大幅减小, 四级和等外公路在 2005 与 2006 年间的大幅波动应是将较大数量低等级的村道纳入统计数据中引起的。

从图 2b 可以看出, 高速和一级公路总里程的占比总体上稳步增长, 二级公路占比波动减小, 三级和等外公路总里程占比总体上持续减小, 而四级公路占比基本上持续大幅增加。其中, 等外公路占比的减小率最大, 而四级公路占比的增长率最大。与行政等级公路同样的原因, 各技术等级公路的占比在 2005 与 2006 年之间出现了大幅波动。

上述分析表明, 随着我国经济社会的快速发展和国力的大幅增强, 我国高等级公路的建设成就是非常显著的。然而也应当看到, 由于各种历史原因和城乡差距的长久存在, 低技术等级公路建设会长久持续存在, 改善和优化我国公路基础设施系统的结构, 仍然任重道远。

1.3 桥梁与隧道工程角度

在整个公路基础设施系统中, 桥梁与隧道工程通常处于“咽喉性”的控制地位, 尤其是大型的桥梁与隧道工程更是如此。

基于公路桥梁与隧道的历史统计数据, 在公路桥梁方面分别从桥梁总量、特大桥梁和大桥等 3 方面来进行统计, 在公路隧道方面分别从隧道总量、特长隧道、长隧道等 3 个方面来进行统计。其发展变化情况分别如图 3 和图 4 所示。

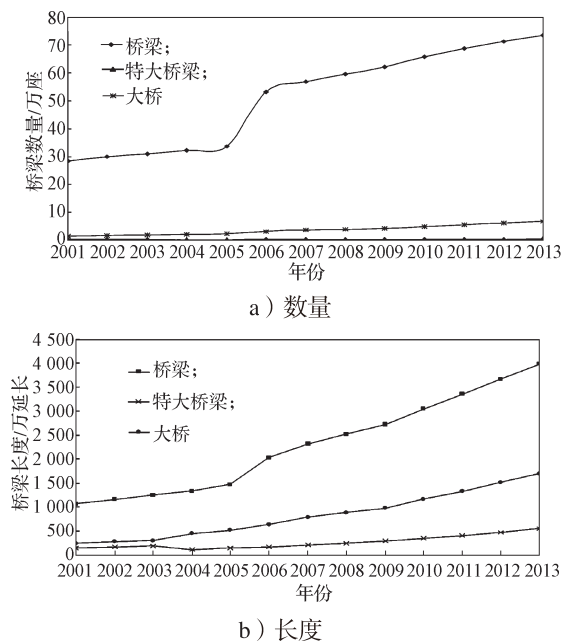


图 3 公路桥梁发展变化情况

Fig. 3 Development and change of highway bridges

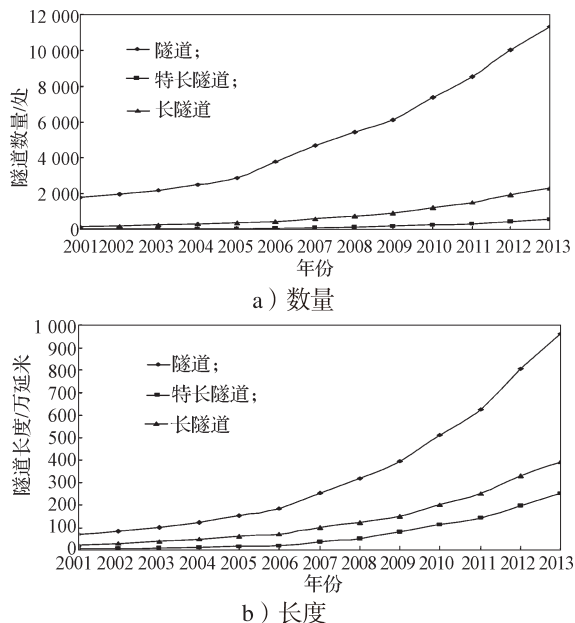


图 4 公路隧道发展变化情况

Fig. 4 Development and change of highway tunnels

从图 3 可以看出, 随着我国公路基础设施的快速发展, 不仅桥梁的总量和长度总体上持续大幅增长, 特大桥梁和大桥的数量和长度也保持较快幅度增长。公路隧道的发展变化具有类似的规律和特征。

公路桥梁、隧道的这些发展特性, 可能与我国公路基础设施建设逐渐向更复杂、更困难的地理、地质区域偏移有关, 也说明我国包括大型桥隧在内的各类桥隧的建设水平正在逐渐提高。

2 灰色预测建模及检验

2.1 灰色预测建模

所谓灰色系统是指既包含已知信息又含有不确定信息的系统, 灰色预测通过鉴别系统因素之间发展趋势的相异程度, 通过对原始数据进行生成处理来寻找系统变动的规律。其生成有较强规律性的新数据序列, 然后建立相应的微分方程模型, 从而表征和预测系统未来发展变化趋势的状况^[10]。

在最常用的灰色预测模型 GM(1, 1) 中, 已知变量 X 的原始数据序列,

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(t)\}, t = 1, 2, \dots, n_0 \quad (1)$$

为预测其未来发展趋势, 先进行数据累加处理, 增强其数据的规律性。常采用一次累加生成处理得到 X 的一次累加序列, 即

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(t)\}, t = 1, 2, \dots, n_0 \quad (2)$$

式中 $x^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^t x^{(0)}(i)$ 。

根据灰色系统的基本原理^[10], 建立微分方程, 即

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = u, \quad (3)$$

式中 a, u 为常数。

该方程的解即为灰色预测模型

$$\hat{x}^{(1)}(t) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-at} + \frac{u}{a}, \quad (4)$$

式中 $x^{(0)}(1)$ 为初始值。

再通过最小二乘法计算系数 $\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y$, Y, B 由下式给出,

$$Y = (x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n))^T, \quad (5)$$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)) & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

将 $\hat{x}^{(1)}(t)$ 进行还原得到原始数据序列的预测值, 即

$$\hat{x}^{(0)}(t) = \hat{x}^{(1)}(t) - \hat{x}^{(1)}(t-1). \quad (7)$$

通常, 若预测模型的参数 $-a$ 小于 0.3, 则可用于长期预测^[11]。

2.2 模型检验分析

式(4)所建立的灰色预测模型是否可行, 必须经过精度检验之后才能确定, 检验的方式通常包括关联度检验、后验差检验和残差检验等。

在关联度检验中, 采用式(8)来计算关联系数, 关联系数的平均值即为关联度, 如式(9)所示, 其中 ρ 为分辨系数, 通常取 0.5。

$$\xi(t) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta^{(0)}(t) + \rho \Delta_{\max}}, \quad (8)$$

式中: $\Delta^{(0)}(t) = |\hat{x}^{(0)}(t) - x^{(0)}(t)|$;

Δ_{\min} 表示 $\Delta^{(0)}(t)$ 序列的最小值;

Δ_{\max} 表示 $\Delta^{(0)}(t)$ 序列的最大值。

关联度为

$$r = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \xi(t). \quad (9)$$

关联度 r 越大, 表明模型的精度越高。通常当 $\rho=0.50$ 时, 若 $r>0.57$ 则认为关联度检验满足要求。

为了进行后验差检验, 分别计算原始数据序列和残差序列的均方差, 如式(10)~(11)所示。

$$S_0 = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n \left(x^{(0)}(t) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^{(0)}(t) \right)^2}{n-1}}, \quad (10)$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n \left(\varepsilon^{(0)}(t) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon^{(0)}(t) \right)^2}{n-1}}. \quad (11)$$

则定义方差比为

$$C = \frac{S_1}{S_0}. \quad (12)$$

小误差概率为

$$P = \left\{ \left| \varepsilon^{(0)}(t) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon^{(0)}(t) \right| < 0.674 5 S_0 \right\}. \quad (13)$$

若 $C<0.50, P>0.80$ 则认为后验差检验满足要求, 若 $C<0.35, P>0.95$ 则认为灰色预测模型的精度良好。

残差及相对误差 $q^{(0)}(t)$ 的计算分别如式(14)和式(15)所示。很显然, 相对误差的绝对值越小, 模型的精度越高。

$$\varepsilon^{(0)}(t) = x^{(0)}(t) - \hat{x}^{(0)}(t), \quad (14)$$

$$q^{(0)}(t) = \frac{\varepsilon^{(0)}(t)}{x^{(0)}(t)}. \quad (15)$$

若相对误差在 $\pm 5\%$ 左右, 则认为灰色预测模型的精度良好。

另一方面, 若灰色预测模型的精度较低, 则需要用残差辨识和修正来对灰色预测模型进行调整^[12], 直至精度满足要求为止。

3 公路基础设施发展趋势预测

3.1 灰色预测编程

为了对公路基础设施建设的发展趋势进行预测, 采用灰色预测方法进行建模, 编制灰色预测程序, 其程序框图如图5所示。

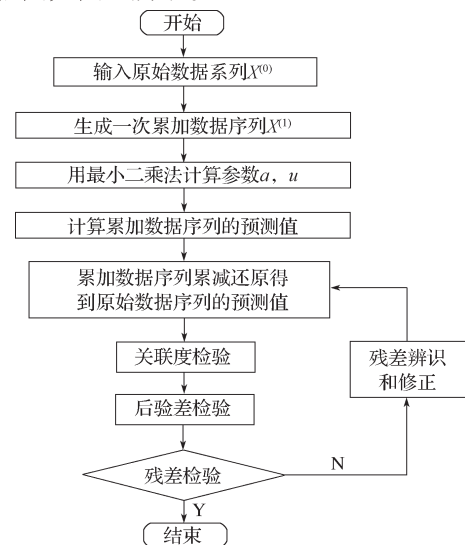


图5 灰色预测程序框图

Fig. 5 Flow chart of grey prediction program

3.2 预测结果及分析

根据上述灰色预测的基本原理，在考虑残差辨识和修正的基础上，建立我国公路基础设施建设的灰色预测模型，以公路里程、国道里程、高速公路里程、公路桥梁数量、公路隧道数量为例，其灰色预测模型如表1所示。可以看出各预测模型的参数 λ 均小于0.3，因此可用于长期预测。

表1 灰色预测模型

Table 1 Grey prediction models

项目	模型
公路里程 / 万 km	$\hat{x}^{(1)}(t) = 250.68145e^{0.0783t} - 2337.0145$
国道里程 / 万 km	$\hat{x}^{(1)}(t) = 333.0807e^{0.0357t} - 320.8807$
高速公路里程 / 万 km	$\hat{x}^{(1)}(t) = 21.4484e^{0.1225t} - 19.5047$
公路桥梁数量 / 万座	$\hat{x}^{(1)}(t) = 396.0758e^{0.0804t} - 367.6758$
公路隧道数量 / 处	$\hat{x}^{(1)}(t) = 11487.3166e^{0.1608t} - 9705.3166$

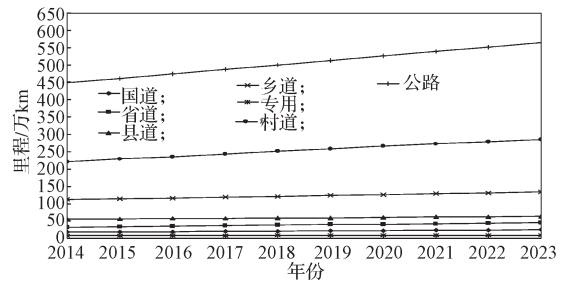
对相应灰色预测模型的检验如表2所示。可以看出，所建立的公路基础设施建设发展趋势灰色预测模型的精度良好。

表2 灰色预测模型检验

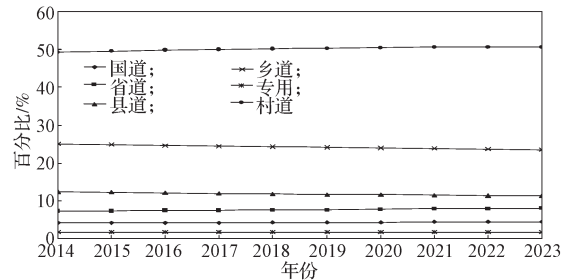
Table 2 Test of grey prediction models

项目	关联度	后验差	残差		
	检验	检验	检验		
	r	C	P	$q/\%$	
行政等级公路	公路里程 / 万 km	0.58	0.33	1.00	-4.31
	国道里程 / 万 km	0.59	0.19	1.00	-0.03
	省道里程 / 万 km	0.63	0.17	1.00	0.02
	县道里程 / 万 km	0.72	0.28	0.96	-0.02
	乡道里程 / 万 km	0.63	0.20	1.00	-0.03
	专用公路里程 / 万 km	0.62	0.13	0.97	-1.64
	村道里程 / 万 km	0.61	0.23	0.98	-4.22
技术等级公路	高速公路里程 / 万 km	0.60	0.06	1.00	-1.19
	一级公路里程 / 万 km	0.75	0.12	1.00	-1.20
	二级公路里程 / 万 km	0.62	0.15	1.00	-0.22
	三级公路里程 / 万 km	0.58	0.11	1.00	-0.01
	四级公路里程 / 万 km	0.58	0.27	1.00	-6.14
	等外路里程 / 万 km	0.62	0.31	0.99	-5.18
桥梁	公路桥梁数量 / 万座	0.59	0.32	1.00	-2.92
	公路桥梁长度 / 万延米	0.57	0.13	1.00	-2.05
	特大桥数量 / 万座	0.66	0.30	0.99	-6.26
	特大桥长度 / 万延米	0.68	0.22	1.00	3.25
	大桥数量 / 万座	0.57	0.10	1.00	-2.63
	大桥长度 / 万延米	0.65	0.09	1.00	-5.21
隧道	公路隧道数量 / 处	0.67	0.06	1.00	-2.15
	公路隧道长度 / 万延米	0.70	0.04	1.00	-1.55
	特长隧道数量 / 处	0.72	0.21	1.00	-5.74
	特长隧道长度 / 万延米	0.72	0.31	0.97	-3.38
	长隧道数量 / 处	0.74	0.04	1.00	0.06
长隧道长度 / 万延米	0.76	0.05	1.00	0.65	

根据所建立的灰色预测模型和编制的灰色预测程序，对我国公路基础设施建设预测的结果分别如图6~9所示。



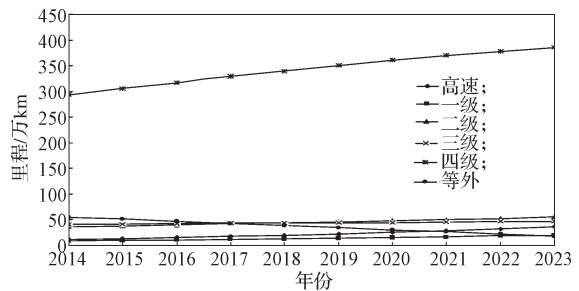
a) 里程



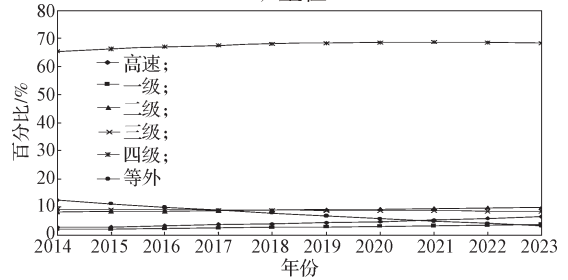
b) 占比

图6 行政等级公路预测结果

Fig. 6 Prediction results of highways of administrative level



a) 里程



b) 占比

图7 技术等级公路预测结果

Fig. 7 Prediction results of highways of technical level

从各行政等级公路的预测结果可以看出，今后10 a我国公路总里程仍会稳定持续较快增长，各行政等级公路也会持续平稳增长，其中村道和乡道的增长率较大。从占比的情况来看，村道和乡道的占比一直较大，除了乡道和县道的占比持续缓慢减小之外，其它各行政等级公路的占比均缓慢增长。

从各技术等级公路的预测结果来看，除了等外公路里程持续较大幅度减小之外，其它各技术等级公路的里程持续稳定增长，其中四级公路增长最快。从占比的情况来看，四级公路的占比最大且其占比

先缓慢增大, 后期呈现缓慢减小趋势。等外公路和三级公路的占比逐渐减小, 其中等外公路的占比减小幅度较大。二级、一级和高速公路的占比持续缓慢增长。

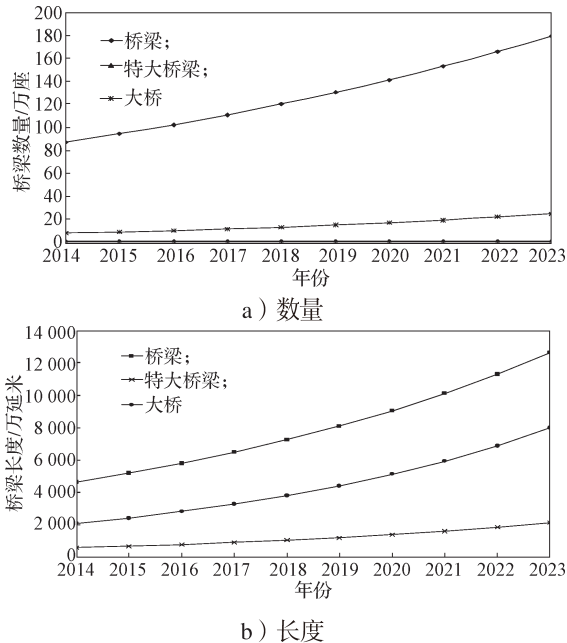


图8 公路桥梁预测结果

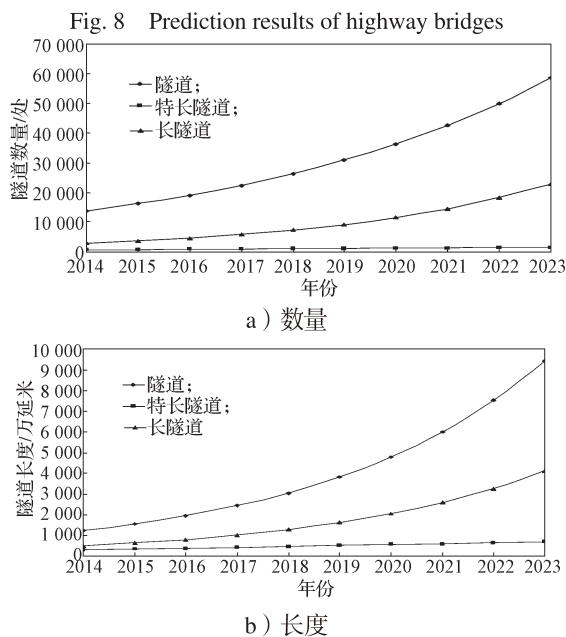


图9 公路隧道预测结果

Fig. 9 Prediction results of highway tunnels

从公路桥梁和隧道的预测结果可以看出, 我国公路桥梁和公路隧道发展空间巨大, 未来 10 a 在数量上和长度上均会大幅增长。

4 结论

通过对我国公路基础设施建设的历史发展进行梳理, 建立灰色预测模型并编制灰色预测程序对其

未来发展趋势进行预测, 可得如下结论。

1) 我国公路建设的历史成就明显, 尤其高等级公路的历史建设成就非常显著。

2) 所建立的灰色预测模型精度较高, 所编制的灰色预测程序效果良好。

3) 我国的公路基础设施建设发展潜力巨大, 未来 10 a 仍有非常大的发展空间, 公路总里程、公路桥梁和公路隧道的长度均会保持较快增长, 代表公路基础设施建造技术水平的大桥、特大桥、长隧道、特长隧道的建设仍会持续快速增长。

4) 由于各种历史原因和城乡差距的存在, 低行政等级和低技术等级公路的建设会长久持续存在, 而且占比仍然会持续较大, 结构调整仍有较大空间, 改善和优化我国公路基础设施系统的结构, 仍任重而道远。

参考文献:

- [1] 李小月. 基于最优组合模型的中国 GDP 预测[J]. 喀什师范学院学报, 2012, 33(2): 23-26.
LI Xiaoyue. GDP Prediction in China Based on Optimal Combination Model[J]. Journal of Kashgar Teachers College, 2012, 33(2): 23-26.
- [2] 胡大伟. 西安市公路运输量发展预测[J]. 西安公路交通大学学报, 1998, 18(2): 51-55.
HU Dawei. The Prediction of Highway Transportation Volume Development in Xi'an City[J]. Journal of Xi'an Highway University, 1998, 18(2): 51-55.
- [3] 赵现伟. 陕西省公路客运需求分析及预测研究[D]. 西安, 长安大学, 2010.
ZHAO Xianwei. Research on Demand Analysis and Prediction of Highway Passenger in Shanxi Province[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [4] 罗伟. 重庆市农村客运预测分析研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2011.
LUO Wei. Research on Prediction of Rural Passenger of Chongqing[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2011.
- [5] 王繁己. 2000—2020年甘肃省公路交通发展战略研究[D]. 西安: 西安公路交通大学, 2000.
WANG Fanji. Study on Highway Communication Development Strategy of Gansu Province in 2000—2020 [D]. Xi'an: Xi'an Highway University, 2000.
- [6] 付春梅, 刘春荣, 刘玖壮. 徐州市公路十一五发展预测研究[J]. 徐州建筑职业技术学院学报, 2006, 6(1): 27-30.
FU Chunmei, LIU Chunrong, LIU Jiuzhuang. Prediction on the Development of Xuzhou Highway Network During the 11th Five Year Plan Period[J]. Journal of Xuzhou

- Institute of Technology, 2006, 6(1) : 27-30.
- [7] 李占甫. 云南省公路交通长远发展战略研究[D]. 西安: 长安大学, 2007.
LI Zhanfu. Yunnan Highway Traffic Long Term Developmental Strategy Research[D]. Xi'an: Chang'an University, 2007.
- [8] 王忠桃. 灰色预测模型相关技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
WANG Zhongtao. Research on Technique of Grey Prediction Model[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.
- [9] 曾波. 灰色预测建模技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.
ZENG Bo. Research on Modeling Technologies of Grey Prediction[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011.
- [10] 许伦辉, 傅惠. 交通信息智能预测理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 135-142.
XU Lunhui, FU Hui. Intelligent Prediction Theory and Methods of Traffic Information[M]. Beijing: Science Press, 2009: 135-142.
- [11] 龚日朝, 刘礼仁, 张钰玲, 等. 湖南洪涝灾害波动特征及趋势预测研究[J]. 热带地理, 2010, 30(3) : 284-288.
GONG Rizhao, LIU Liren, ZHANG Yuling, et al. Fluctuation Characteristics of the Flood Disaster in Hunan and Its Trend Prediction[J]. Tropical Geography, 2010, 30(3) : 284-288.

(责任编辑: 申剑)

.....

(上接第40页)

- BAI Lei, XIAO Shenping, ZENG Hongbing, et al. Analysis on Robust Stability of Neutral Systems with Time-Varying Delay[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(1) : 50-54.
- [4] HAN Qinglong. Robust Stability of Uncertain Delay-Differential Systems of Neutral Type[J]. Automatica, 2002, 38(4) : 719-723.
- [5] WU Min, HE Yong, SHE Jinhua. New Delay-Dependent Stability Criteria and Stabilizing Method for Neutral Systems [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2005, 49(12) : 2266-2271.
- [6] HE Yong, WU Min, SHE Jinhua, et al. Delay-Dependent Robust Stability Criteria for Uncertain Neutral Systems with Mixed Delays[J]. Systems & Control Letters, 2004, 51(1) : 57-65.
- [7] YUE Dong, HAN Qinglong. A Delays-Dependent Stability Criterion of Neutral Systems and Its Application to a Partial Element Equivalent Circuit Model[C]// IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs. [S. l.] : IEEE, 2004, 6(12) : 5438-5442.
- [8] ZHANG Xianming, HAN Qinglong. A New Stability Criterion for a Partial Element Equivalent Circuit Model of Neutral Type[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 2009, 56(10) : 798-802.
- [9] ZENG Hongbing, HE Yong, WU Min, et al. Free-Matrix-Based Integral Inequality for Stability Analysis of Systems with Time-Varying Delay[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2015, 60(10) : 2768-2772.
- [10] ZENG Hongbing, HE Yong, WU Min, et al. New Results on Stability Analysis for Systems with Discrete Distributed Delay[J]. Automatica, 2015, 60(C) : 189-192.
- [11] SEURET A, GOUAISBAUT F. Wirtinger-Based Integral Inequality: Application to Time-Delay Systems[J]. Automatica, 2013, 49(9) : 2860-2866.

(责任编辑: 邓彬)