

宁波道路集装箱运力规模预测 ——供需平衡法和 GM(1,1)模型的对比研究

何凤云, 郑彭军*, 黄正锋

(宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 集装箱运输运力的正确估计对集装箱运输有重要意义. 以 2009~2015 年宁波集卡数、集装箱吞吐量数据为基础, 分别应用供需平衡法和 GM(1,1)模型对宁波集卡数进行预测, 比较两种模型的预测精度及拟合度. 结果表明: GM(1,1)模型可以较好地降低预测风险, 提高预测准确度和拟合度. 最终选用 GM(1,1)对宁波道路集装箱运力规模进行预测.

关键词: 公路运输; 集装箱运力; 供需平衡法; GM(1,1); 预测

中图分类号: U489

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2017) 00-0116-05

集装箱运输运力的正确估计对于集装箱运输有着极其重要的意义. 目前大多数学者对于集装箱运输的研究, 多集中于集装箱运输的整体优化. 刘聪^[1]从集装箱的整体利益出发, 通过探索承运人与协作方的写作机制设计和提出集装箱能力规划方法, 加强运输服务链上承运人与租箱公司、承运人与货代之间的协作. 郭保春^[2]和王清斌^[3]着眼于集装箱多式联运中内陆运输环节的优化, 通过对内陆环节的优化, 降低系统的广义运输成本.

集装箱运输若没有合理的集装箱运输运力与之匹配, 则会存在很多问题. 运力过少, 导致集装箱码头拥堵, 集装箱堆滞码头, 产生客户的堆存费以及货物的延期交付, 影响港口竞争力的提升; 运力过剩, 导致资源浪费, 集卡行业低价竞争. 合理地投入与市场需求相近的集装箱运输运力, 有助于解决这一问题.

学者对集装箱的运输运力预测研究较少, 相对而言对集装箱运量的预测研究较多, 有灰色预测法、指数平滑法、神经网络分析法以及组合预测法等, 如吴慧军^[4]通过提出嵌入型灰色 RBF 神经网络组合模型以提高预测精度来预测宁波港集装箱海铁联运量. 运量预测和运输的运力预测有一

定的共通性. 本文选用了在集装箱运量预测中较为普遍使用的灰色预测法以及在出租车运力预测中较为普遍使用的供需平衡法, 通过精度指标的对比, 得出更为适合预测道路集装箱运力规模的方法.

灰色系统理论 GM(1,1)模型是针对“少数数据不确定性”问题提出的^[5], 是灰色系统理论中应用最广泛的一种灰色动态预测模型, 主要用于复杂系统某一主导因素特征值的拟合和预测, 以揭示主导因素变化规律和未来发展变化态势. Rajesh^[6]和 Bezuglov 等^[7]均通过灰色 GM(1,1)模型得到了合理的预测值. 供需平衡法在城市出租车运力预测方面应用广泛, 张爽^[8]、胡晓光^[9]、刘兆君^[10]、胡军红等^[11]和张德林等^[12]将此方法应用于所在城市的出租车运力配置和预测上, 均得出了合理的数值. 通过对以上两种方法的对比研究, 得出较合理的方法预测宁波道路集装箱运力规模.

1 供需平衡法和 GM(1,1)模型的应用构建

1.1 供需平衡法模型构建

供需平衡法是将供给方或者需求方的数据作为原始数据, 求出需求方或者供给方的数据, 具有

收稿日期: 2016-11-15.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(51408321); 浙江省自然科学基金(LY15E080013).

第一作者: 何凤云(1990-), 女, 浙江淳安人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 港航管理. E-mail: 1032567689@qq.com

*通信作者: 郑彭军(1965-), 男, 浙江慈溪人, 研究员, 主要研究方向: 交通运输与港航管理. E-mail: zhengpengjun@nbu.edu.cn

一定的预测功能. 本文根据实际的集装箱货物吞吐量来确定集卡的总供给量, 以集装箱的运输需求和集卡的运力影响因素为基本出发点, 最大限度地满足集装箱吞吐量对集卡的需要, 得出合理可行的运力规模.

根据影响因素分析, 建立集卡承担的总集装箱运输量(W)的表达式, 它是集卡承担的集装箱运输周转量. 公式如下:

$$W = T \times F \times D \times P, \quad (1)$$

式中 T 为集装箱吞吐量, F 为集卡日均运输次数, D 为集卡平均运输距离, P 为集装箱运输中道路集卡运输所占比重.

根据需要再引入一个参数, 集卡的总运输里程 K , 其公式如下:

$$K = W / H, \quad (2)$$

式中: H 为集卡日均装运量, 指集卡在 1 d(24 h) 内装运的集装箱量.

集卡运输过程中, 会存在空驶的现象, 即使现在推广双重和甩挂运输模式来减少空驶率, 降低运输成本, 但空驶现象还是存在, 空驶率 E 表达如下:

$$E = 1 - \frac{K}{t \times V \times N}, \quad (3)$$

式中 N 为集卡总量, t 为集卡日均运输时间, V 为集卡平均运输速度.

对式(3)进行变换得出求解集卡总量 N 的公式

$$N = \frac{K}{(1-E) \times t \times V}. \quad (4)$$

1.2 GM(1,1)模型构建^[13]

GM(1,1)模型由一个单变量的一阶微分方程构成, 本文的单变量为宁波集卡数, 将宁波 2009~2015 年的实际集卡数作为原始数据即 $X^{(0)}$ 输入, 根据公式, 求出预测值 $\hat{X}^{(0)}$.

假设 $X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$, 其中 $x^{(0)}(k) \geq 0, (k=1, 2, \dots, n)$.

$X^{(1)}$ 为 $X^{(0)}$ 的 1 次累加生成序列, 其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), (k=1, 2, \dots, n)$.

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)). \quad (5)$$

$Z^{(1)}$ 为 $X^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列, 其中

$$z^{(1)}(k) = 0.5 \times (x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)), (k=1, 2, \dots, n),$$

$$Z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)). \quad (6)$$

GM(1,1)模型直接将时间序列转化为微分方程, 建立抽象系统的发展变化动态模型, 它是含有一个变量的一阶微分方程, 其白化微分方程为:

$$a^{\wedge} = [a \ b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y, \quad (7)$$

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

对 $x^{(1)}$ 采用最小二乘法确定加权模型 GM(1,1) 参数,

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)}(t) = b. \quad (8)$$

建立预测模型:

$$x^{\wedge(0)}(k+1) = x^{\wedge(1)}(k+1) - x^{\wedge(1)}(k). \quad (9)$$

累减还原初始值:

$$x^{\wedge(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - b/a)e^{-ak} + b/a. \quad (10)$$

1.3 模型检验

根据陈昌源^[14]的研究可知, GM(1,1)模型的预测精度可通过模型的相对误差、绝对关联度、均方差和小概率误差 4 项指标决定. 这 4 项指标也同样适用于供需平衡法, 故将这 4 项指标作为两种方法的对比检验标准. 其精度检验标准见表 1.

表 1 预测模型精度检验标准

精度等级	相对误差	关联度	均方差	小概率误差
I 级	0.01	0.90	0.35	0.95
II 级	0.05	0.80	0.50	0.80
III 级	0.10	0.70	0.65	0.70
IV 级	0.20	0.60	0.80	0.60

2 宁波道路集装箱运力规模预测

为了能够准确预测宁波集卡数量, 以宁波市统计局^[15]发布的 2009~2015 年的集装箱吞吐量、道路集装箱运输占比和集卡数量为基础, 进行供需平衡法和 GM(1,1)模型的计算, 相应数据见表 2. 表 3 为供需平衡法的影响因素, 为实地调研获得.

2.1 供需平衡法计算

将表 2 和表 3 的数据带入公式(1)至(3), 同时经过调研得知宁波集卡的空驶率为 40%, 宁波处于运营状态的集卡约为 85%, 故公式(4)修正为:

$$N = \frac{K}{(1-E) \times t \times V \times 0.85}. \quad (11)$$

表 2 2009~2015 年宁波道路集卡数量

年份	集卡数量/辆	集装箱吞吐量/万 TEU	道路集装箱运输占比/%
2009	7 500	1 042.30	83.33
2010	9 694	1 300.35	83.98
2011	11 036	1 451.24	83.18
2012	11 791	1 567.14	79.52
2013	11 557	1 677.40	71.72
2014	14 710	1 870.00	69.98
2015	15 850	1 982.70	66.43

表 3 2009~2015 年宁波道路集卡数量影响因素及数值

影响因素	集卡日均运输次数	集卡平均运输距离/km	集卡日均装运量/TEU	集卡日均运输时间/h	集卡平均运输速度/(km·h ⁻¹)
数值	8	48.344	16	14	67.50

得到相对应预测值, 根据和实际数据相比较两者差距较大, 故通过拟合计算因子和年份之间的数据寻求表达式进行修正, 相关数据见表 4.

计算因子 = $N / \text{原有数据}$. (12)

表 4 2009~2015 年预测值 N 及计算因子

年份	N/万辆	原有数据	计算因子
2009	43.48	7 500	172.49
2010	54.24	9 694	178.72
2011	60.54	11 036	182.30
2012	62.50	11 791	188.66
2013	60.33	11 557	191.56
2014	65.63	14 710	224.14
2015	66.05	15 850	239.97

通过线性拟合寻求年份和计算因子之间的表达式, 得到年份 n 和计算因子 J 的关系式如下:

$J = 2.184 \ln n - 16.59, 2009 \leq n \leq 2015$. (13)

表 5 宁波 2009~2015 年道路集卡数量预测结果及精度检验

年份	实际值/辆	供需平衡模型			GM(1,1)模型		
		预测值/辆	残差/辆	相对误差	预测值/辆	残差/辆	相对误差
2009	7 550	8 038.136 4	-488.146 4	-0.065 0	7 550.000 0	0.000 0	0.000 0
2010	9 694	9 301.490 6	392.509 4	0.040 5	9 596.817 1	97.182 9	0.010 0
2011	11 036	10 569.029 8	466.970 2	0.042 3	10 580.448 9	455.551 1	0.041 3
2012	11 791	11 825.680 8	-34.680 8	-0.002 9	11 664.898 6	126.101 4	0.010 7
2013	11 557	13 056.369 2	-1 499.369 2	-0.129 7	12 860.499 7	-1 303.499 7	-0.112 8
2014	14 710	14 246.038 9	463.961 1	0.031 5	14 178.644 6	531.355 4	0.036 1
2015	15 850	15 379.615 7	470.384 3	0.029 7	15 631.893 7	218.106 3	0.013 8

根据公式(5)可知, 需求出相应年份的集装箱吞吐量和集装箱道路运输所占比重才能预测集卡数.

集装箱吞吐量(t)和年份(n)的拟合关系式如下:

$t = 143.94n - 288\,049, 2009 \leq n \leq 2015$. (14)

集装箱道路运输所占比重(p)和年份(n)的拟合关系式如下:

$p = 65.555\,17 - 0.032\,2n, 2009 \leq n \leq 2015$. (15)

2.2 GM(1,1)模型计算

以宁波 2009 至 2015 年集卡数量为原始数据序列, 得到 $X^{(0)}$ 值如下:

$X^{(0)} = (7\,550, 9\,694, 11\,036, 11\,791, 11\,557, 14\,710, 15\,850)$.

将 $X^{(0)}$ 带入公式计算可得预测值的计算公式如下:

$x^{(1)}(k+1) = 93\,631.485\,0e^{0.097\,6k} - 86\,081.480\,5$.

3 预测结果分析

3.1 预测结果

根据两种预测模型得到的预测值、残差、相对误差, 见表 5.

(1)供需平衡法预测结果. 相对误差=0.048 8, 绝对关联度=0.906 1, 均方差比=0.004 2, 小误差概率=1, 精度等级为 II 级.

(2)GM(1,1)模型预测结果. 相对误差=0.032 1, 绝对关联度=0.917 6, 均方差比=0.047 1, 小误差概率=1, 精度等级为 II 级.

3.2 预测结果的比较和分析

(1)残差比较. 供需平衡模型和 GM(1,1)模型的残差比较见图 1.

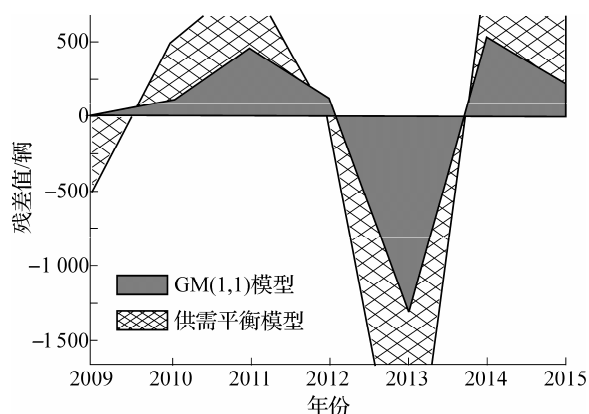


图1 供需平衡模型和GM(1,1)模型残差比较

(2)精度4项指标比较. 供需平衡模型和GM(1,1)模型精度4项指标比较见图2.

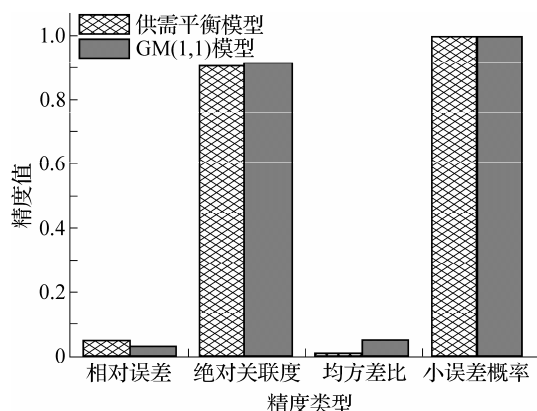


图2 供需平衡模型和GM(1,1)模型精度4项指标比较

由表5和图1可知, GM(1,1)模型的残差总体上小于供需平衡模型的残差, GM(1,1)模型的精度更高.

由表5和图2可以直观的看出, GM(1,1)模型的相对误差和绝对关联度都比供需平衡模型好, 供需平衡模型的均方差比GM(1,1)模型好, 小概率误差两者一致. 总体来说, GM(1,1)模型的

(3)拟合度比较. 供需平衡模型和GM(1,1)模型与实际值的拟合曲线见图3.

从图3可以看出, 供需平衡法、GM(1,1)模型和实际值均有比较不错的拟合. 从总体上来看, GM(1,1)模型的拟合度更高, 并且2014、2015年的预测值和实际值误差较小, 几乎接近实际值.

经过上述三个方面的比较得出, GM(1,1)模型预测精准度更高, 故采用此方法预测宁波2016年和2017年的集卡数量.

根据公式(9)和(10), 求得宁波集卡2016年和

2017年预测值分别为17 234.094 4和19 000.513 6辆.

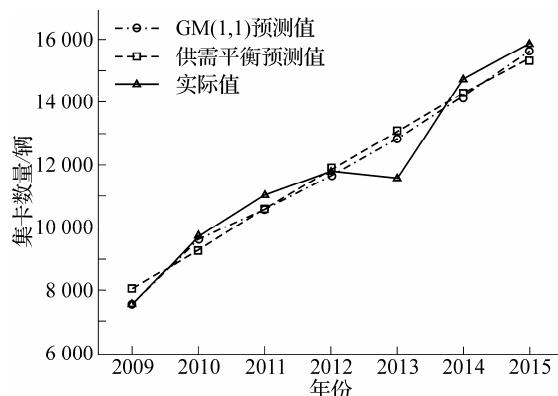


图3 模型预测值和实际值的拟合

4 结论

本文以2009~2015年宁波集卡数、集装箱吞吐量数据为基础, 应用供需平衡法和GM(1,1)模型对宁波集卡数进行预测, 通过比较两种模型的预测精度4项指标及拟合度, 得出以下结论:

(1)通过残差、精度4项指标和拟合度比较, 确定GM(1,1)模型为更适合预测道路集装箱运力规模的模型.

(2)预测出宁波2016年集卡数为17 234辆, 2017年为19 000辆, 可为相关政府部门对于集卡数量管理提供参考建议.

(3)GM(1,1)模型虽然相对精度较高, 但没有达到一级精度水平, 同时和实际也存在一定误差. 主要原因在于其他影响因素的存在, 如政府大力发展海铁联运和江海联运, 减少集卡的中间需求量; 集卡市场运价波动影响集卡数量; 政府对集卡设备的环保要求(国III换国IV)及严格治超规定都会影响实际集卡的数量. 在预测中考虑更多影响因素, 可增加预测准确度.

参考文献:

- [1] 刘聪. 面向承运人的集装箱运输系统协作管理[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [2] 郭保春. 集装箱多式联运内陆环节优化研究[D]. 上海: 上海海事大学, 2007.
- [3] 王清斌. 内陆集装箱运输网络优化研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.
- [4] 吴慧军, 刘桂云. 基于灰色RBF组合模型的宁波港集

- 装箱海铁联运量预测[J]. 宁波大学学报(理工版), 2016, 29(4):123-127.
- [5] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002:2.
- [6] RAJESH R. Forecasting supply chain resilience performance using grey prediction[J]. Electronic Commerce Research and Applications, 2016, 20:42-58.
- [7] BEZUGLOV A, COMERT G. Short-term freeway traffic parameter prediction: Application of grey system theory models[J]. Expert Systems with Applications, 2016, 62(15):284-292.
- [8] 张爽. 城市出租车拥有量的确定方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [9] 胡晓光. 大连市出租车运力合理规模研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2013.
- [10] 刘兆君. 济南市出租车合理发展规模研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [11] 胡军红, 严亚丹, 过秀成. 城市出租车发展规模预测方法研究[J]. 现代交通技术, 2011, 8(6):73-77.
- [12] 张德林, 康宇航, 刘旺, 等. 对出租车资源配置的研究[J]. 科技创新与应用, 2016, 5(4):3.
- [13] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010:146-162.
- [14] 陈昌源, 戴冉, 杨婷婷, 等. 基于改进 GM(1,1)模型的上海港集装箱吞吐量预测[J]. 船海工程, 2016, 4:153-156; 161.
- [15] 宁波市统计局. 宁波统计年鉴(2009~2015)[M]. 北京: 中国统计出版社.

Prediction of Ningbo road container transportation capacity based on comparing supply-demand balance and GM(1,1) model

HE Feng-yun, ZHENG Peng-jun*, HUANG Zheng-feng

(Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The reasonable estimation of transportation capacity is of great importance for the container transportation. Based on the throughput of both container trucks and containers from year 2009 to 2015 in Ningbo, the need of container trucks is first predicted by both supply-demand balance method and GM(1,1) model method, then compared against prediction accuracy and curve fitting of them. Results show that the prediction accuracy and curve fitting are improved better using GM(1,1) method than the other approach, which will remarkably cut down the prediction risk. At last, GM(1,1) method is chosen for predicting the container transportation capacity.

Key words: road transportation; container transportation capacity; supply-demand balance method; GM(1,1) model; prediction

(责任编辑 韩 超)