

文章编号: 1004-4353(2019)04-0322-07

基于灰色系统的福建省货运综合 运输体系分析与预测

黄 虹

(福建船政交通职业学院, 福建 福州 350000)

摘要: 以福建省 2011—2018 年的货运数据为基础, 利用灰色预测法分别对公路、铁路、水路、航空 4 种运输方式建立了货运量及货物周转量的预测模型, 并采用相对误差、均方差比值及小误差频率对模型进行了精度检验. 检验结果表明, 该模型的精度较高, 可应用于货运指标的预测. 利用该模型对福建省未来 11 年 4 种运输方式的货运量及货物周转量进行预测显示: 公路、水路和航空运输的货运量及货物周转量均维持良好的增长态势, 而铁路运输处于降低趋势; 未来 11 年, 福建省的运输方式仍以公路运输和水路运输为主, 航空运输和铁路运输为辅.

关键词: 货物运输; 综合运输体系; 灰色预测

中图分类号: U116.1

文献标志码: A

Analysis and prediction of freightage comprehensive transportation system in Fujian province based on gray system

HUANG Hong

(Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350000, China)

Abstract: Based on the freight data from 2011 to 2018, the prediction model of freight and turnover volumes of the four transportation modes was established by gray prediction method. The average relative error, the posterior error ratio and the frequency of small error were used to test the accuracy of the model, and the results showed that the precision of the prediction model reached a high level to predict freight indexes. Finally, the freight and turnover volumes of the four transportation modes within the next 11 years in Fujian province were obtained by this model, and the results show that freight and turnover volumes of the highway, water and air transportation is a growing trend while the railway transportation is on the decline. And the transportation modes of Fujian province will be mainly based on highway and water transportation, while partially based on air and railway transportation in the next 11 years.

Keywords: freightage; comprehensive transportation system; gray prediction

0 引言

福建省地处我国东南沿海, 其西北地区多山地, 东南地区临海, 与其他沿海省相比交通运输业相对滞后. 近年来, 随着福建省经济的快速发展以及海峡两岸经济合作的推进, 交通运输业已成为制约福建省经济发展的瓶颈, 因此亟需加快各类交通基础设施的建设. 目前, 已有诸多学者对综合运输体系进行了研究. 例如: 傅成红等^[1]运用 DEA 评价方法对福建省 2001—2010 年的各运输方式中“两两运输方式”

之间的协调现状及成因进行了研究,并为福建省综合运输业的发展提出了相应的建议.刘娜翠等^[2]通过分析2005—2014年福建省各运输方式的平均里程系数,分析了各运输方式的优势运距.吕子文等^[3]通过建立综合运输评价指标体系,采用熵值法与灰色关联分析法对影响陕西省综合运输的因素进行了关联度排序.栾鑫等^[4]通过建立多层次协调性评定指标框架,运用综合发展水平模型与耦合协调度判断方法,对国内2006—2015年公路、铁路、水运、航空4类运输模式的发展进行了耦合协调性论证.然而,这些研究大多数仅是对某一地区多种运输方式之间的协调度和关联度进行了分析,而对多种运输方式的货运数据进行预测研究得较少.

近年来,灰色系统理论因其在预测研究中所需的样本数据少,且预测精度较高,被广泛应用于未来数据的预测中^[5].基于此,本文应用灰色系统理论建立福建省货运相关指标的预测模型,通过分析福建省2011—2018年各种运输方式的数据,对未来11年的货运量及货物周转量进行预测,以期对福建省未来的货运综合运输体系的构建提供理论参考.

1 福建省货运综合运输体系的现状分析

货物运输通常包括公路运输、水路运输、铁路运输、航空运输和管道运输5种运输方式.一个科学的综合运输体系要依据当地的经济、地理情况来合理选择运输方式,并要使各种运输方式在整个运输过程中能够充分发挥各自的技术优势,从而达到最大的经济效能.由于管道运输的运输对象较为特殊(只能运输气体、液体等),难以与其他4种运输方式进行对比,故本文在研究中未考虑管道运输.

根据《福建统计年鉴》,本文统计了2011—2018年福建省公路、水路、铁路、航空4种运输方式的货运量及其货物周转量数据(表1),各种运输方式货运量的完成比例如表2所示.

表1 2011—2018年福建省4种运输方式的货运量及其货物周转量

年份	货运量/万 t				货物周转量/(亿 t·km)			
	公路 Q_1	铁路 Q_2	水路 Q_3	航空 Q_4	公路 Q_5	铁路 Q_6	水路 Q_7	航空 Q_8
2011	52 558	3 826	18 872	17	659.52	771.09	2 554.34	2.33
2012	59 431	3 868	21 100	18	771.09	181.10	2 922.99	2.55
2013	69 876	3 661	23 162	19	821.44	164.81	2 954.71	2.81
2014	82 573	3 403	25 782	21	974.80	149.80	3 655.72	3.16
2015	79 802	2 820	28 419	22	1 020.25	128.71	4 298.52	3.48
2016	85 570	2 918	31 668	23	1 094.70	129.45	4 846.44	4.24
2017	95 599	3 175	33 453	25	1 214.05	135.90	5 429.82	5.39
2018	96 576	3 518	36 854	27	1 289.52	147.35	6 209.37	6.64

表2 2011—2018年福建省各种运输方式货运量的完成比例

年份	各运输方式货运量的完成比例			
	公路运输	铁路运输	水路运输	航空运输
2011	69.83	5.08	25.07	0.02
2012	70.40	4.58	25.00	0.02
2013	72.24	3.79	23.95	0.02
2014	73.87	3.04	23.07	0.02
2015	71.85	2.54	25.59	0.02
2016	71.20	2.43	26.35	0.02
2017	72.29	2.40	25.29	0.02
2018	70.51	2.57	26.90	0.02

从表1和表2可以看出,2011—2018年福建省在各种货运方式中,公路运输的货运量占比最大(超过70%),该结果与福建省日益完善的公路网密不可分.例如:截至2018年底,福建省高速公路通车总

里程达 5 344 km, 路网密度已达到发达国家水平^[6]. 从水路运输上看, 因福建省水路运输较为便捷, 其货运量的占比始终居于第二位(保持在 25% 左右). 从铁路运输上看, 货运量所占比例呈逐渐减小趋势, 其主要原因为目前福建省的铁路货运体系还不够完善, 导致铁路货运能力有限^[7]. 从航空运输方面看, 福建省目前的空运能力可基本满足人们对货运时效性的需求, 货运量占比稳定在 0.02%.

2 福建省货运综合运输体系的发展预测

根据表 1 中的货运数据, 利用灰色预测法建立以 4 种运输方式的货运量和货物周转量($Q_1 \sim Q_8$) 为研究对象的预测模型, 以此预测福建省未来 11 年的货运量、货物周转量和货运运距.

2.1 原始数据及其检验

2.1.1 确定原始数列及新数列 设所要预测的某项指标的原始数列为

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n-1), x^{(0)}(n)).$$

为了弱化原始数据的随机性, 对 $X^{(0)}$ 进行一次累加(AGO), 得到新数列

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

2.1.2 级比的检验 以表 1 中的 $Q_1 \sim Q_8$ 指标为原始数据, 利用公式 $\lambda(t) = \frac{X^{(0)}(t-1)}{X^{(0)}(t)}$ ($t = 2, 3, \dots, n$)^[8]

分别计算各数列的级比($\lambda(t)$ 值), 结果见表 3. 由表 3 可以看出, 所有的 $\lambda(t)$ 都落在可容覆盖区间 $X = (e^{\frac{-2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}}) = (0.80, 1.25)$ 范围内, 这表明指标 $Q_1 \sim Q_8$ 对应的原始数据符合建立 GM(1, 1) 模型的条件.

表 3 指标 $Q_1 \sim Q_8$ 的级比

$\lambda(t)$		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
货 运 量	公路 Q_1	0.88	0.85	0.85	1.03	0.93	0.90	0.99
	铁路 Q_2	0.99	1.06	1.08	1.21	0.97	0.92	0.90
	水路 Q_3	0.89	0.91	0.90	0.91	0.90	0.95	0.91
	航空 Q_4	0.94	0.95	0.90	0.95	0.96	0.92	0.93
货 物 周 转 量	公路 Q_5	0.86	0.94	0.84	0.96	0.93	0.90	0.94
	铁路 Q_6	1.04	1.10	1.10	1.16	0.99	0.95	0.92
	水路 Q_7	0.87	0.99	0.81	0.85	0.89	0.89	0.87
	航空 Q_8	0.91	0.91	0.89	0.91	0.82	0.81	0.81

2.2 建立 GM(1, 1) 模型

对新数列 $X^{(1)}$ 进行建模, 得到灰色预测的微分方程为

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

其中 a 为发展系数, b 为灰色作用量. 通过最小二乘法求得

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

$$\text{其中 } B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}. \text{ 由式(1)可求出 } a \text{ 和 } b \text{ 的值. 指标 } Q_1 \sim Q_8$$

所对应的 a, b 值见表 4.

表 4 指标 Q_1-Q_8 所对应的 a 值和 b 值

参数	货运量				货物周转量			
	公路 Q_1	铁路 Q_2	水路 Q_3	航空 Q_4	公路 Q_5	铁路 Q_6	水路 Q_7	航空 Q_8
a	-0.0712	0.0288	-0.0918	-0.0665	-0.0852	0.0463	-0.1333	-0.1751
b	59 018.0847	3 794.5302	18 668.5861	16.25172	694.2916	182.0709	2 274.3398	1.6182

将 a 和 b 代入预测模型 $\hat{x}^{(1)}(t+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-at} + \frac{b}{a}$, $t=0,1,2,\dots,n$, 可得指标 Q_1-Q_8

的预测方程:

$$\begin{aligned}
 Q_1: \hat{x}^{(1)}(t+1) &= 881\,385.167 e^{0.0712t} - 828\,827.167, \\
 Q_2: \hat{x}^{(1)}(t+1) &= -127\,920.375 e^{-0.0288t} + 131\,746.375, \\
 Q_3: \hat{x}^{(1)}(t+1) &= 222\,238.067 e^{0.0918t} - 203\,366.067, \\
 Q_4: \hat{x}^{(1)}(t+1) &= 261.537 e^{0.0665t} - 244.537, \\
 Q_5: \hat{x}^{(1)}(t+1) &= 8811.014 e^{0.0852t} - 8\,151.494, \\
 Q_6: \hat{x}^{(1)}(t+1) &= -3\,742.904 e^{-0.0463t} + 3\,930.834, \\
 Q_7: \hat{x}^{(1)}(t+1) &= 19\,613.921 e^{0.1333t} - 17\,059.581, \\
 Q_8: \hat{x}^{(1)}(t+1) &= 11.57 e^{0.1751t} - 9.24.
 \end{aligned}$$

2.3 精度检验及预测

2.3.1 参数检验 依据上述模型,再由 $\hat{x}^{(0)}(t+1) = \hat{x}^{(1)}(t+1) - \hat{x}^{(1)}(t)$, $t=0,1,2,\dots,7$, 可以得到每个指标在 2011—2018 年所对应的预测模拟值. 将该预测值与实际的原始数据进行对比, 即可考核该预测模型的精度. 根据 Q_1-Q_8 所对应的预测模型, 计算出的 Q_1-Q_8 的预测模拟值及其残差、相对误差见表 5—12. 由于当 $t=0$ 时, $\hat{x}^{(0)}(1)$ 计算的预测模拟值与历史实际值一致, 所以本文从表格中的第 2 个值 $\hat{x}^{(0)}(2)$ (2012 年的数据) 开始进行精度检测.

表 5 2011—2018 年福建省公路货运量 Q_1 模型的残差和相对误差

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
原始数据	59 431	69 876	82 573	79 802	85 570	95 599	96 576
预测模拟值	65 049.05	69 849.88	75 005.02	80 540.64	86 484.79	92 867.65	99 721.58
残差	5 618.05	-26.12	-7 567.98	738.64	914.79	-2 731.35	3 145.58
相对误差 / %	9.45	-0.04	-9.17	0.93	1.07	-2.86	3.26

表 6 2011—2018 年福建省铁路货运量 Q_2 模型的残差和相对误差

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
原始数据	3 868	3 661	3 403	2 820	2 918	3 175	3 518
预测模拟值	3 631.78	3 528.67	3 428.49	3 331.15	3 236.58	3 144.69	3 055.41
残差	-236.22	-132.33	25.49	511.15	318.58	-30.31	-462.59
相对误差 / %	-6.11	-3.61	0.75	18.13	10.92	-0.95	-13.15

表 7 2011—2018 年福建省水路货运量 Q_3 模型的残差和相对误差

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
原始数据	21 100	23 162	25 782	28 419	31 668	33 453	36 854
预测模拟值	21 366.70	23 420.97	25 672.74	28 141.00	30 846.57	33 812.26	37 063.09
残差	266.70	258.97	-109.26	-278.00	-821.43	359.26	209.09
相对误差 / %	1.26	1.12	-0.42	-0.98	-2.59	1.07	0.57

表 8 2011—2018 年福建省航空货运量 Q_4 模型的残差和相对误差

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
原始数据	18	19	21	22	23	25	27
预测模拟值	17.97	19.21	20.53	21.94	23.45	25.06	26.78
残差	-0.03	0.21	-0.47	-0.06	0.45	0.06	-0.22
相对误差 / %	-0.15	1.09	-2.25	-0.28	1.93	0.22	-0.82

表 9 2011—2018 年福建省公路货物周转量 Q_5 模型的残差和相对误差

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
原始数据	771.09	821.44	974.80	1 020.25	1 094.70	1 214.05	1 289.52
预测模拟值	783.35	853.00	928.83	1 011.41	1 101.33	1 199.25	1 305.87
残差	12.26	31.56	-45.97	-8.84	6.63	-14.80	16.35
相对误差 / %	1.59	3.84	-4.72	-0.87	0.61	-1.22	1.27

表 10 2011—2018 年福建省铁路货物周转量 Q_6 模型的残差和相对误差

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
原始数据	181.10	164.81	149.80	128.71	129.45	135.90	147.35
预测模拟值	169.41	161.74	154.42	147.43	140.76	134.39	128.31
残差	-11.69	-3.07	4.62	18.72	11.31	-1.51	-19.04
相对误差 / %	-6.45	-1.86	3.09	14.55	8.74	-1.11	-12.92

表 11 2011—2018 年福建省水路货物周转量 Q_7 模型的残差和相对误差

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
原始数据	2 922.99	2 954.71	3 655.72	4 298.52	4 846.44	5 429.82	6 209.37
预测模拟值	2 797.19	3 196.11	3 651.91	4 172.72	4 767.81	5 447.76	6 224.68
残差	-125.80	241.40	-3.81	-125.80	-78.63	17.94	15.31
相对误差 / %	-4.30	8.17	-0.10	-2.93	-1.62	0.33	0.25

表 12 2011—2018 年福建省航空货物周转量 Q_8 模型的残差和相对误差

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
原始数据	2.55	2.81	3.16	3.48	4.24	5.39	6.64
预测模拟值	2.21	2.64	3.14	3.74	4.46	5.32	6.33
残差	-0.34	-0.17	-0.02	0.26	0.22	-0.07	-0.31
相对误差 / %	-13.16	-6.11	-0.53	7.61	5.23	-1.38	-4.62

利用表 5—12 中的历年原始数据与预测模拟值的相对误差,计算每个指标($Q_1—Q_8$)的相对误差平均值,分别为:3.82%、7.66%、1.15%、0.97%、2.02%、6.96%、2.53%、5.52%。从计算结果可以看出,除指标 Q_2 和 Q_6 的相对误差平均值较高外(因灰色预测方法难以对波动性较大的数据进行精确预测),其他指标的相对误差平均值都较低。由此表明本文所建立的预测模型检测精度较高,可应用于后续货运指标的预测。

验证预测模型的精度除了考虑残差 ε 的平均值 $\bar{\varepsilon}$ 外,还要考虑原始数列 $X^{(0)}$ 和残差数列 ε 的均方差比值 C 及小误差频率 p 。设原始数列 $X^{(0)}$ 和残差数列 ε 的均方差分别为 S_1 和 S_2 ,其计算公式为:

$$S_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=0}^n (x^{(0)}(t) - \bar{x})^2}, \quad (2)$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=0}^n (\varepsilon(t) - \bar{\varepsilon})^2}. \quad (3)$$

均方差比值 C 及小误差频率 p 的计算公式分别为:

$$C = S_2 / S_1, \tag{4}$$

$$p = p\{|\epsilon(t) - \bar{\epsilon}| < 0.6745S_1\}. \tag{5}$$

根据公式(2)–(5) 计算出每个指标的预测模型所对应的 S_1 、 S_2 、 C 、 p , 结果见表 13.

表 13 Q_1 — Q_8 的预测模型对各参数的精度检验结果

参数	货运量				货物周转量			
	公路 Q_1	铁路 Q_2	水路 Q_3	航空 Q_4	公路 Q_5	铁路 Q_6	水路 Q_7	航空 Q_8
S_1	16 008.27	396.75	6 304.93	3.46	219.37	22.77	1 314.60	1.51
S_2	2 772.14	201.16	242.65	0.19	14.84	7.55	84.82	0.13
C	0.17	0.51	0.04	0.05	0.07	0.33	0.06	0.09
p	1.00	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

将表 13 中 Q_1 — Q_8 的 C 、 p 值与表 14 进行对比可以看出, 在 2 组精度检验(即 16 个数据)中, 表示“好”的有 14 个数据, 表示“合格”—“好”之间的数据有 2 个, 且这 2 个数据都出现在 Q_2 指标上, 这说明灰色预测法在波动性较强的数列中虽然预测精度相对较低, 但预测精度仍在合格范围内. 因此从整体来看, 该模型的预测精度较好, 可以对指标 Q_1 — Q_8 进行预测.

表 14 灰色预测精度检验等级参照表^[9]

参数	各精度等级的参数值			
	好	合格	勉强	不合格
C	0.35	0.55	0.65	0.80
p	0.95	0.80	0.70	0.60

2.3.2 数据预测 根据上述建立的福建省货运数据预测模型, 本文以 2020、2025、2030 年为例, 预测福建省未来 11 年 Q_1 — Q_8 指标的值和各年的平均增长率, 结果见表 15. 由表 15 可以看出, 除了铁路货运量 Q_2 和铁路货物周转量 Q_6 外, 其他指标均呈上升趋势; 在货运量指标中水路货运量 Q_3 增长得最快, 其次是公路货运量 Q_1 . 由此可知, 今后福建省货运市场的主要运力依旧是水路和公路运输; 在货物周转量指标中, 增长最快的是航空货物周转量 Q_8 , 其次是水路货物周转量 Q_7 .

表 15 2020、2025、2030 年福建省各运输方式货物运输量的预测值

预测指标	2020 年	2025 年	2030 年	年平均增长率 / %
公路货运量 Q_1 / 万 t	114 984.30	164 157.99	234 361.09	7.38
铁路货运量 Q_2 / 万 t	2 884.38	2 497.53	2 162.56	-2.84
水路货运量 Q_3 / 万 t	44 532.41	70 471.41	111 519.20	9.61
航空货运量 Q_4 / 万 t	30.58	42.64	59.45	6.87
总货运量 / 万 t	162 431.70	237 169.60	348 102.30	7.92
公路货物周转量 Q_5 / (亿 t · km)	1 548.39	2 370.46	3 628.98	8.89
铁路货物周转量 Q_6 / (亿 t · km)	116.95	92.78	73.60	-4.53
水路货物周转量 Q_7 / (亿 t · km)	8 126.71	15 827.41	30 825.15	14.26
航空货物周转量 Q_8 / (亿 t · km)	8.99	21.58	51.80	19.14
总货物周转量 / (亿 t · km)	9 801.04	18 312.23	34 579.53	13.44

在选择和比较运输方式时, 除了要考虑货物的运量外, 还需考虑货物运输的平均运距. 根据表 15 中货运量与货物周转量的预测值, 可计算出 4 种运输方式的货运平均运距, 如表 16 所示. 由表 16 可以看出, 全省总货运平均运距呈逐年增加趋势, 至 2030 年预计可达 993 km, 其中航空、水路、公路货运的平均运距和增长率均为增加趋势, 但铁路货运的平均运距呈下降趋势.

表 16 2020、2025、2030 年福建省各运输方式货物运输平均运距的预测值

运距指标	2020 年	2025 年	2030 年	年平均增长率/%
公路货运平均运距/km	135	144	155	1.39
铁路货运平均运距/km	405	371	340	-1.73
水路货运平均运距/km	1825	2246	2764	4.24
航空货运平均运距/km	2939	5061	8713	11.48
总货运平均运距/km	603	772	993	5.11

3 结论

本文以 2011—2018 年福建省公路、水路、铁路、航空 4 种运输方式的货运量及货物周转量数据为基础,运用灰色系统理论对福建省未来 11 年的 4 种运输方式的货运量及货物周转量进行了预测. 预测结果表明,在未来 11 年内,福建省公路、水路、航空运输的货运量及货物周转量均维持良好的增长态势,而铁路运输的货运量及货物周转量将继续呈下降趋势. 本文在研究过程中仅采用了单一的灰色系统预测法,虽然取得了较高的预测精度,但该方法对波动性较大的时间序列数据的预测精度相对较低(例如本研究中的 Q_2 和 Q_6 数列),因此在今后的研究中将结合其他方法对波动性较大的时间序列进行有效处理,以期为福建省综合货运体系的构建提供更好的预测模型.

参考文献:

- [1] 傅成红,刘国买,段爱华. 综合运输协调发展的 DEA 评价[J]. 系统工程,2012,30(7):99-104.
- [2] 刘娜翠,侯秀英. 福建省各种运输方式构成及合理发展[J]. 福建农林大学学报(哲学社会科学版),2016,19(2):37-42.
- [3] 吕子文,曾俊伟,钱勇生,等. 基于熵值法和灰色关联的综合运输发展评价[J]. 公路工程,2018,43(6):73-77.
- [4] 栾鑫,程琳,俞薇薇,等. 综合运输层次下多交通模式的耦合协调性分析[J]. 交通运输系统工程与信息,2019,19(3):27-33.
- [5] 赵广元,尚秋燕. 基于灰色理论的 ofo 需求量短时预测[J]. 计算机与数字工程,2019,47(7):1586-1590.
- [6] 福建省交通运输厅. 交通概况[EB/OL]. (2019-03-25)[2019-07-30]. http://jtyst.fujian.gov.cn/jtgk/201011/t20101118_512844.htm.
- [7] 刘亦楠. 刍议铁路货运市场化不足与解决方案:以福建省为例[J]. 中国市场,2018(31):171-173.
- [8] 陈小健,唐秋生. 基于多模式灰色模型的地铁全网客流预测研究[J]. 交通科技与经济,2019,21(4):16-20.
- [9] 郑日博. 福建省货运综合运输体系的分析与评价[D]. 福州:福建农林大学,2007.