

中国交通运输线路里程预测分析研究

魏 宇

西南交通大学交通运输与物流学院, 四川 成都

收稿日期: 2025年2月26日; 录用日期: 2025年5月7日; 发布日期: 2025年5月16日

摘 要

交通运输行业是我国的支柱性行业, 在国民经济中发挥着举足轻重的作用, 其中交通运输线路里程是反映交通运输行业规模、发展水平和运输能力的重要指标。文章以中国铁路营业里程和中国内河航道里程的实际数据为基础建立了不同的预测模型, 并计算出2024年至2026年的里程数据, 其中中国铁路营业里程数分别为16.4207万公里、16.8561万公里、17.2765万公里; 中国内河航道里程数分别为12.7576万公里、12.7586万公里、12.7593万公里。这些计算结果一方面可用于衡量和评价交通运输行业的运输网络规模、运输能力和发展水平, 同时也可管理者合理分配资源、制定决策等提供数据支撑。

关键词

铁路营业里程, 内河航道里程, 预测模型, 模型精度

Prediction and Analysis of China's Transportation Route Mileage

Yu Wei

School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan

Received: Feb. 26th, 2025; accepted: May 7th, 2025; published: May 16th, 2025

Abstract

The transportation industry is a pillar industry in China, playing a crucial role in the national economy. The mileage of transportation routes is an important indicator reflecting the scale, development level, and transportation capacity of the transportation industry. This paper establishes different prediction models based on actual data of China's railway operating mileage and China's inland waterway mileage, and calculates the mileage data from 2024 to 2026. The operating mileage of China's railways is 16.4207 kilometers, 16.8561 kilometers, and 17.2765 kilometers, respectively, while the mileage of inland waterways in China is 12.7576 kilometers, 12.7586 kilometers,

and 12.7593 kilometers, respectively. These calculation results can be used to measure and evaluate the transportation network scale, transportation capacity, and development level of the transportation industry, as well as provide data support for managers to allocate resources reasonably and make decisions.

Keywords

Railway Operating Mileage, Inland Waterway Mileage, Prediction Model, Model Accuracy

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

交通运输行业是经济社会发展的先行官，近年来取得了显著的发展成就。根据交通运输部发布的《2023 年交通运输行业发展统计公报》[1]可知：截止 2023 年末，全国铁路营业里程 15.9 万公里，其中高铁营业里程 4.5 万公里。投产新线 3637 公里，其中高铁 2776 公里。铁路复线率为 60.3%，电化率为 75.2%。全国铁路路网密度 165.2 公里/万平方公里，比上年末增加 4.1 公里/万平方公里。全国内河航道通航里程 12.8 万公里，比上年末增加 184 公里。等级航道通航里程 6.78 万公里，占内河航道通航里程比重为 52.9%，其中三级及以上航道通航里程 1.54 万公里、占内河航道通航里程比重为 12.0%。近年来，中国实施了一系列重大交通工程项目，如深中通道、黄茅海跨海通道、池州至黄山高铁、沪苏湖高铁等。这些项目的建成通车不仅提升了交通运输能力，还促进了区域经济的协同发展。随着经济的发展和人民生活水平的提高，交通运输需求不断增长，对交通运输行业的服务能力和质量提出了更高的要求。同时，环境保护、能源安全等问题也对交通运输行业的发展带来了挑战。

刘袁森、潘江如[2]从“双碳”视角出发阐述了我国交通运输行业发展特点，并从加强宣教、完善绿色基础设施体系、交通运输结构调整等方面出发，探究我国交通运输行业发展策略。李名良[3]从交通运输业实际出发，提出应按立足自身发展、侧重设施保障、突出科技创新和绿色化智能化变革、强化链条安全与组织的总体思路，着力推动发展现代运输服务业、构建现代化交通物流基础设施体系，实现交通运输关联产业高质量发展。刘琳[4]探讨了如何借助新技术和新方法如大数据分析、人工智能应用、区块链技术 etc 对交通运输行业的新经济进行统计分析，以更好地理解其发展趋势和影响因素并为政府决策和企业战略提供有力的数据支持。李艳红等人[5]基于对数平均迪氏指数法，选取交通运输碳排放系数、运输方式结构、客货运结构和换算周转量 4 个因素定量分析了 2010 年至 2020 年间我国交通运输行业碳排放变化的主要机理，并结合与美国、日本、德国等已达峰国家相应驱动因素的类比分析，提出我国交通运输行业面向“双碳”目标的路径建议与实现措施。周爱国，李夏苗[6]通过对中国交通运输基础结构的现状、各种运输方式的竞争力和所占有市场份额情况的分析，结合国外铁路改革的经验提出了改革和发展中国铁路货物运输的一些对策与建议。刘桂峰[7]根据河南省 1990~2001 年国民经济与公路交通发展情况，建立了河南省国内生产总值指数、公路通车里程、客货运周转量的回归预测模型，并对它们之间的相关关系进行了分析，进而阐述了国民经济与公路交通之间的内在联系。对交通运输行业里程的精确分析、预测一方面可用于衡量和评价交通运输行业的运输网络规模、运输能力和发展水平，同时也可可为管理者合理分配资源、制定决策等提供数据支撑。

本文以中国铁路营业里程和中国内河航道里程为研究对象,探讨中国交通运输线路里程发展现状及趋势。从中国统计年鉴 2024 看到,不同年份相应里程统计数据可能由于统计口径的不同而有所变化。基于此,本文选取 2011 年至 2023 年的统计数据为原始数据进行建模分析。针对收集到的历史数据,拟采用灰色预测模型来进行研究分析。灰色预测模型能够很有效地处理少数据、贫信息的不确定性问题,并能够得到满意的计算结果[8]。灰色预测模型是邓聚龙教授首先提出的,其中 GM (1, 1)单变量灰色预测模型[9]是灰色预测模型的基础,主要由一阶白化微分方程和对应的离散差分方程组成。该模型提出以来,其广泛地应用在养老保险人口分布[10],中国交通污染排放量预测[11],洪涝灾害应急物资动态需求预测[12],环境可持续性评价[13],出口贸易趋势预测[14],等等。近年来,研究者将灰色预测模型的建模对象从齐次指数序列拓展至非齐次指数序列,并取得了一系列研究成果。崔杰等人[15]在经典 GM (1, 1)模型的基础上,构建了适合近似非齐次指数增长序列特性的 NGM (1, 1, k)模型,弥补 GM (1, 1)模型对非齐次指数序列模拟精度的不足。战立青、施化吉[16]在实际应用中进一步对 NGM (1, 1, k)模型的白化方程进行优化,提出了 NGM (1, 1, k, c)灰色预测模型。随后,童明余等人[17]通过积分变换,得到与 NGM (1, 1, k)模型白化方程匹配的灰色微分方程,推导出背景值优化公式,从而构建背景值优化的新 NGM (1, 1, k)模型,并从理论上解释新模型能同时模拟严格齐次和非齐次指数增长序列的原因。本文基于收集到的历史数据,构建离散 NGM (1, 1, k, c)灰色预测模型来预测中国铁路营业里程和中国内河航道里程的变化趋势。

本文的结构具体安排如下:第 2 节给出离散灰色预测模型及其建模机理。第 3 节以收集到的历史数据为基础建立相应的预测模型,并给出相应的数值计算结果。第 4 节给出了本文的结论。

2. 离散非齐次灰色预测模型

设原始数据为 $X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$, 其中数据 $x^{(0)}(k) \geq 0, k \geq 1$, 则称 $X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$ 为序列 $X^{(0)}$ 的一次累加生成序列, 其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n$, 称

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = bt + c \quad (1)$$

为非齐次灰色预测模型 NGM (1, 1, k, c)的白化方程。

在方程(1)的两端进行定积分,并采用两点梯形公式近似得到

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \frac{2k-1}{2} + c \quad (2)$$

称该方程为非齐次灰色预测模型 NGM (1, 1, k, c)的离散差分形式。

由表达式(2)可推导模型参数的矩阵表达式为

$$(a, b, c)^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (3)$$

$$\text{其中 } B = \begin{pmatrix} -z^{(1)}(2) & \frac{3}{2} & 1 \\ -z^{(1)}(3) & \frac{5}{2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & \frac{2n-1}{2} & 1 \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{pmatrix}.$$

由非齐次灰色预测模型 NGM (1, 1, k, c) 的离散差分形式, 经过变形得到

$$x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1) + a \frac{x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)}{2} = b \frac{2k-1}{2} + c \quad (4)$$

整理得到

$$x^{(1)}(k) - \frac{2-a}{2+a} x^{(1)}(k-1) = \frac{2b}{2+a} k + \frac{2c-b}{2+a} \quad (5)$$

事实上, 方程(5)可以看成是关于 $x^{(1)}(k)$ 的一个递推表达式, 经过反复迭代有

$$\begin{aligned} x^{(1)}(k) &= \frac{2-a}{2+a} x^{(1)}(k-1) + \frac{2b}{2+a} k + \frac{2c-b}{2+a} \\ &= \frac{2-a}{2+a} \left[\frac{2-a}{2+a} x^{(1)}(k-2) + \frac{2b}{2+a} (k-1) + \frac{2c-b}{2+a} \right] + \frac{2b}{2+a} k + \frac{2c-b}{2+a} \\ &= \left(\frac{2-a}{2+a} \right)^2 x^{(1)}(k-2) + \frac{2b}{2+a} \frac{2-a}{2+a} (k-1) + \frac{2c-b}{2+a} \frac{2-a}{2+a} + \frac{2b}{2+a} k + \frac{2c-b}{2+a} \\ &= \left(\frac{2-a}{2+a} \right)^{k-1} x^{(1)}(1) + \frac{(2k-1)b + 2c}{2+a} \left[1 - \sum_{i=0}^{k-2} \left(\frac{2-a}{2+a} \right)^{k-1-i} \right] \\ &\quad - \frac{b(2+a)^{k-1}(2-a) - (2-a)^k - 2a(k-1)(2-a)^{k-1}}{a(2+a)^{k-1}} \end{aligned} \quad (6)$$

进一步, 得到此模型的还原值 $\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1)$, $k \geq 2$ 。

为了评价模型的精度, 本文选择五个常用指标来进行衡量, 其表达式为

- 百分比误差(APE)

$$APE(k) = \left| 1 - \frac{\hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right| \times 100\%, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

- 平均绝对误差(MAE)

$$MAE = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n \left| x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \right| \quad (8)$$

- 平均均方误差(MSE)

$$MSE = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n \left[x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \right]^2 \quad (9)$$

- 平均绝对百分比误差(MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n \left| 1 - \frac{\hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right| \times 100\% \quad (10)$$

- 均方根误差(RMSPE)

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n \left(1 - \frac{\hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right)^2} \times 100\% \quad (11)$$

3. 中国交通运输线路里程预测分析

交通运输行业是经济社会发展的先行官，近年来取得了显著的发展成就，其中交通运输线路里程是反映交通运输行业规模、发展水平和运输能力的重要指标。在本节中，主要分析研究中国铁路营业里程和中国内河航道里程的发展现状和趋势，其中 2011 年至 2021 年的历史数据用来建立模型，2022 年、2023 年的数据用来检验，并进一步预测 2024 年至 2026 年的数据(数据来源网址：

<https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2024/indexch.htm>，左侧索引为：十六、运输、邮电和软件业，16-3)。采用的预测模型主要有连续灰色预测模型 GM(1, 1)和 NGM(1, 1, k, c)、离散灰色预测模型 DGM(1, 1)和 NDGM(1, 1, k, c)。下面的表 1 和图 1 分别描述了中国铁路营业里程和中国内河航道里程的历史数据。

Table 1. Historical data of China’s railway operating mileage and China’s inland waterway mileage (unit: 10,000 kilometers)
表 1. 中国铁路营业里程和中国内河航道里程历史数据(单位：万公里)

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
铁路营业里程	9.32	9.76	10.31	11.18	12.10	12.40	12.70
内河航道里程	12.46	12.50	12.59	12.63	12.70	12.71	12.70
年份	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
铁路营业里程	13.17	13.99	14.63	15.07	15.49	15.87	
内河航道里程	12.71	12.73	12.77	12.76	12.80	12.82	

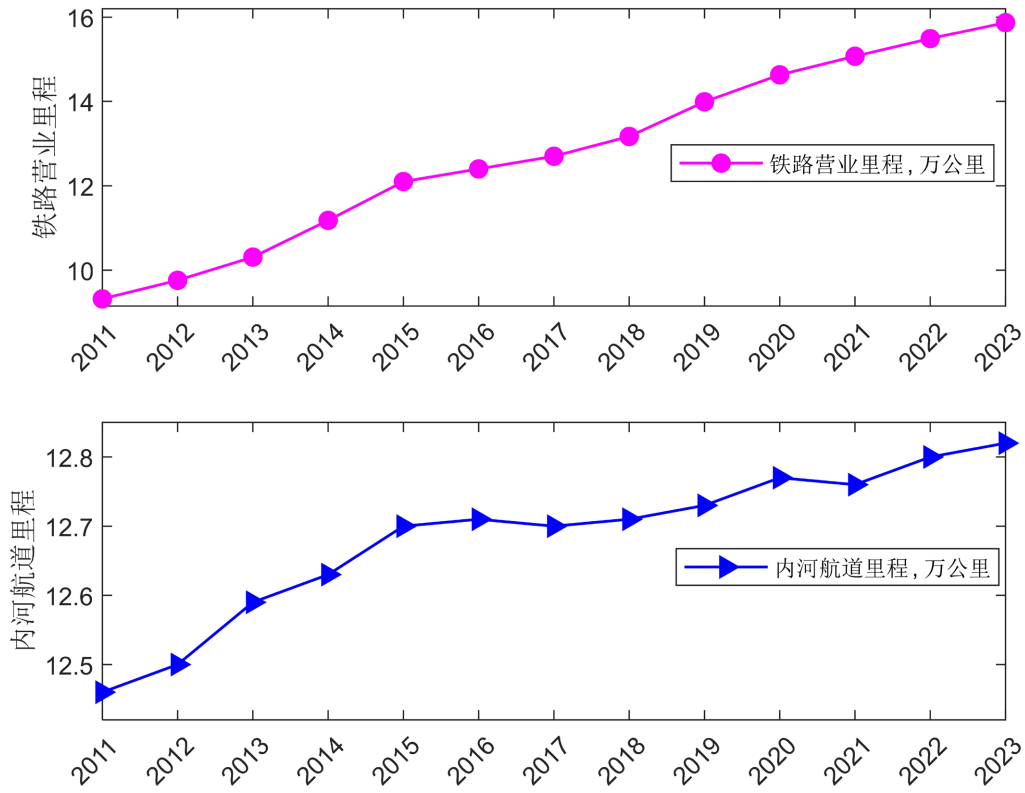


Figure 1. Historical data of China’s railway operating mileage and China’s inland waterway mileage
图 1. 中国铁路营业里程和中国内河航道里程历史数据

从图 1 可以看出，铁路营业里程从 2011 年的 9.32 万公里增长到 2023 年的 15.81 万公里，年平均增长率为 4.54%，且在此期间均保持增长的趋势。内河航道里程从 2011 年的 12.46 万公里增长到 2023 年的 12.86 万公里，年平均增长率为 0.26%。从图形看出，2011 年至 2015 年逐年增加，2016 年至 2020 年几乎停滞，其里程数几乎没有变化，2021 年至 2023 年又开始增长。

• 中国铁路营业里程

利用表 1 中 2011 年至 2021 年的历史数据，建立四种灰色预测模型 GM (1, 1)、DGM (1, 1)、NGM (1, 1, k, c)、NDGM (1, 1, k, c)，以及时间序列模型 ARIMA (p, d, q)，多项式模型 PR (n)，和修正的指数模型 EXP (a, b, c)，并进一步计算相应的还原值和误差，具体见表 2 和表 3。

Table 2. The operating mileage of Chinese railways calculated by four grey prediction models (unit: 10,000 kilometers)
表 2. 四种灰色预测模型计算得到的中国铁路营业里程(单位：万公里)

年份	铁路营业 里程	GM (1, 1)	APE	DGM (1, 1)	APE	NGM (1, 1, k, c)	APE	NDGM (1, 1, k, c)	APE
2011	9.32	9.32	0.00	9.32	0.00	9.32	0.00	9.32	0.00
2012	9.76	10.11	3.55	10.11	3.57	9.80	0.42	9.80	0.40
2013	10.31	10.58	2.63	10.58	2.65	10.47	1.51	10.46	1.49
2014	11.18	11.08	0.92	11.08	0.90	11.11	0.65	11.11	0.66
2015	12.10	11.60	4.15	11.60	4.13	11.73	3.08	11.73	3.09
2016	12.40	12.14	2.08	12.14	2.06	12.33	0.60	12.32	0.61
2017	12.70	12.71	0.09	12.71	0.11	12.90	1.60	12.90	1.59
2018	13.17	13.31	1.05	13.31	1.07	13.46	2.20	13.46	2.19
2019	13.99	13.93	0.41	13.94	0.39	14.00	0.06	14.00	0.05
2020	14.63	14.59	0.30	14.59	0.27	14.52	0.77	14.52	0.78
2021	15.07	15.27	1.33	15.27	1.36	15.02	0.34	15.02	0.34
		MAE	0.1933		0.1932		0.1381		0.1380
		MSE	0.0588		0.0588		0.0316		0.0316
		MAPE (%)	1.6514		1.6515		1.1222		1.1210
		RMSPE (%)	2.1237		2.1246		1.4436		1.4430
2022	15.49	15.99	3.21	15.99	3.24	15.50	0.08	15.50	0.08
2023	15.87	16.74	5.47	16.74	5.50	15.97	0.63	15.97	0.63
		MAE	0.6828		0.6871		0.0567		0.0559
		MSE	0.5005		0.5065		0.0051		0.0050
		MAPE (%)	4.3409		4.3685		0.3584		0.3530
		RMSPE (%)	4.4852		4.5120		0.4510		0.4470

从表 2 和表 3 看出，四种灰色预测模型和其他三种预测模型都能很好地描述中国铁路营业里程的变化趋势。在建模阶段，GM (1, 1)、DGM (1, 1)、NGM (1, 1, k, c)、NDGM (1, 1, k, c)、PR (n)、EXP (a, b,

c)、ARIMA (0, 1, 1)模型的平均绝对误差(MAE)分别为 0.1933、0.1932、0.1381、0.1380、0.1437、0.1321、0.3030；平均均方误差(MSE)分别为 0.0588、0.0588、0.0316、0.0316、0.0328、0.0297、0.1295；平均绝对百分比误差(MAPE)分别为 1.6514%、1.6515%、1.1222%、1.1210%、1.1976%、1.0772%、2.4920%，均方根误差(RMSPE)分别为 2.1237%、2.1246%、1.4436%、1.4430%、1.5071%、1.4072%、3.0116%。在拟合阶段，GM (1, 1)、DGM (1, 1)、NGM (1, 1, k, c)、NDGM (1, 1, k, c)、PR (n)、EXP (a, b, c)、ARIMA (0, 1, 1)模型的平均绝对误差(MAE)分别为 0.6828、0.6871、0.0567、0.0559、0.1271、0.1952、0.2470；平均均方误差(MSE)分别为 0.5005、0.5065、0.0051、0.0050、0.0197、0.0381、0.0971；模型的平均绝对百分比误差(MAPE)分别为 4.3409%、4.3685%、0.3584%、0.3530%、0.8063%、1.2301%、1.5608%；均方根误差(RMSPE)分别为 4.4852%、4.5120%、0.4510%、0.4470%、0.8863%、1.2301%、1.9644%。离散非齐次灰色预测模型 NDGM (1, 1, k, c)在建模和拟合方面的表现要优于其他模型。

Table 3. The operating mileage of Chinese railways calculated by other models (unit: 10,000 kilometers)

表 3. 其他预测模型计算得到的中国铁路营业里程(单位：万公里)

年份	铁路营业里程	PR (n)	APE	EXP (a, b, c)	APE	ARIMA (0, 1, 1)	APE	NDGM (1, 1, k, c)	APE
2011	9.32	9.24	0.83	9.17	1.66	9.32	0.00	9.32	0.00
2012	9.76	9.88	1.22	9.83	0.70	9.37	3.97	9.80	0.40
2013	10.31	10.50	1.88	10.47	1.59	10.15	1.58	10.46	1.49
2014	11.18	11.12	0.57	11.10	0.70	10.47	6.32	11.11	0.66
2015	12.10	11.72	3.18	11.71	3.19	11.89	1.76	11.73	3.09
2016	12.40	12.30	0.79	12.31	0.72	12.31	0.70	12.32	0.61
2017	12.70	12.88	1.39	12.89	1.50	12.49	1.68	12.90	1.59
2018	13.17	13.44	2.03	13.46	2.17	12.91	1.95	13.46	2.19
2019	13.99	13.99	0.02	14.01	0.11	13.43	4.02	14.00	0.05
2020	14.63	14.52	0.73	14.54	0.61	14.55	0.53	14.52	0.78
2021	15.07	15.05	0.15	15.06	0.05	14.71	2.41	15.02	0.34
		MAE	0.1437		0.1321		0.3030		0.1380
		MSE	0.0328		0.0297		0.1295		0.0316
		MAPE	1.1976		1.0772		2.4920		1.1210
		RMSPE	1.5071		1.4072		3.0116		1.4430
2022	15.49	15.56	0.44	15.57	0.52	15.43	0.37	15.50	0.08
2023	15.87	16.06	1.17	16.07	1.23	15.43	2.75	15.97	0.63
		MAE	0.1271		0.1952		0.2470		0.0559
		MSE	0.0197		0.0381		0.0971		0.0050
		MAPE	0.8063		1.2301		1.5608		0.3530
		RMSPE	0.8863		1.2301		1.9644		0.4470

• 中国内河航道里程

利用表 1 中 2011 年至 2021 年的历史数据, 建立四种灰色预测模型 GM(1, 1)、DGM(1, 1)、NGM(1, 1, k, c)、NDGM(1, 1, k, c), 以及时序模型 ARIMA(p, d, q), 多项式模型 PR(n), 和修正的指数模型 EXP(a, b, c), 并进一步计算相应的还原值和误差, 具体见表 4 和表 5。

Table 4. The mileage of Chinese inland waterway calculated by four grey prediction models (unit: 10,000 kilometers)
表 4. 四种灰色预测模型计算得到的中国内河航道里程(单位: 万公里)

年份	内河航道 里程	GM(1, 1)	APE	DGM(1, 1)	APE	NGM(1, 1, k, c)	APE	NDGM(1, 1, k, c)	APE
2011	12.46	12.46	0.00	12.46	0.00	12.46	0.00	12.46	0.00
2012	12.50	12.57	0.55	12.57	0.55	12.51	0.07	12.51	0.05
2013	12.59	12.59	0.02	12.59	0.02	12.58	0.04	12.58	0.05
2014	12.63	12.62	0.10	12.62	0.10	12.64	0.06	12.64	0.06
2015	12.70	12.64	0.45	12.64	0.45	12.68	0.20	12.68	0.19
2016	12.71	12.67	0.34	12.67	0.34	12.70	0.07	12.70	0.07
2017	12.70	12.69	0.06	12.69	0.06	12.72	0.15	12.72	0.15
2018	12.71	12.72	0.06	12.72	0.06	12.73	0.17	12.73	0.17
2019	12.73	12.74	0.10	12.74	0.10	12.74	0.08	12.74	0.09
2020	12.77	12.77	0.02	12.77	0.02	12.75	0.18	12.75	0.18
2021	12.76	12.79	0.25	12.79	0.25	12.75	0.07	12.75	0.07
		MAE	0.0246		0.0246		0.0139		0.0138
		MSE	0.0011		0.0011		0.0550		0.0002
		MAPE(%)	0.1944		0.1944		0.1096		0.1084
		RMSPE(%)	0.2658		0.2658		0.1228		0.1222
2022	12.80	12.82	0.14	12.82	0.14	12.75	0.36	12.75	0.36
2023	12.82	12.84	0.18	12.84	0.18	12.76	0.50	12.76	0.50
		MAE	0.0202		0.0202		0.0550		0.0548
		MSE	0.0004		0.0004		0.0031		0.0031
		MAPE(%)	0.1579		0.1579		0.4294		0.4279
		RMSPE(%)	0.1592		0.1592		0.4350		0.4336

从表 4 和表 5 看出, 四种灰色预测模型和其他三种预测模型都能很好地描述中国铁路营业里程的变化趋势。在建模阶段, GM(1, 1)、DGM(1, 1)、NGM(1, 1, k, c)、NDGM(1, 1, k, c)、PR(n)、EXP(a, b, c)、ARIMA(1, 1, 1)模型的平均绝对误差(MAE)分别为 0.0246、0.0246、0.0139、0.0138、0.0190、0.0168、0.0190; 平均均方误差(MSE)分别为 0.0011、0.0011、0.0002、0.0002、0.0004、0.0004、0.0004; 平均绝对百分比误差(MAPE)分别为 0.1944%、0.1944%、0.1096%、0.1084%、0.1495%、0.1320%、0.1495%, 均方根误差(RMSPE)分别为 0.2658%、0.2658%、0.1228%、0.1222%、0.1641%、0.1507%、0.1641%。在拟合

阶段，GM (1, 1)、DGM (1, 1)、NGM (1, 1, k, c)、NDGM (1, 1, k, c)、PR (n)、EXP (a, b, c)、ARIMA (1, 1, 1)模型的平均绝对误差(MAE)分别为 0.0202、0.0202、0.0550、0.0548、0.0822、0.0378、0.0822；平均均方误差(MSE)分别为 0.0004、0.0004、0.0031、0.0031、0.0071、0.0014、0.0071；模型的平均绝对百分比误差(MAPE)分别为 0.1579%、0.1579%、0.4294%、0.4279%、0.6417%、0.2948%、0.6417%；均方根误差(RMSPE)分别为 0.1592%、0.1592%、0.4350%、0.4336%、0.6592%、0.2948%、0.6592%。离散非齐次灰色预测模型 NDGM (1, 1, k, c)在建模和拟合方面的表现要优于其他模型。

Table 5. The mileage of Chinese inland waterway calculated by other prediction models (unit: 10,000 kilometers)
表 5. 其他预测模型计算得到的中国内河航道里程(单位：万公里)

年份	铁路营业 里程	PR (n)	APE	EXP (a, b, c)	APE	ARIMA (1, 1, 1)	APE	NGM (1, 1, k, c)	APE
2011	12.46	12.46	0.01	12.44	0.12	12.46	0.00	12.46	0.00
2012	12.50	12.52	0.19	12.52	0.18	12.54	0.31	12.51	0.05
2013	12.59	12.58	0.10	12.58	0.06	12.56	0.27	12.58	0.05
2014	12.63	12.62	0.04	12.63	0.00	12.63	0.02	12.64	0.06
2015	12.70	12.66	0.28	12.67	0.26	12.66	0.34	12.68	0.19
2016	12.71	12.70	0.11	12.70	0.11	12.72	0.06	12.70	0.07
2017	12.70	12.72	0.17	12.72	0.15	12.72	0.18	12.72	0.15
2018	12.71	12.74	0.23	12.74	0.21	12.71	0.01	12.73	0.17
2019	12.73	12.75	0.16	12.75	0.16	12.72	0.11	12.74	0.09
2020	12.77	12.75	0.13	12.76	0.06	12.73	0.28	12.75	0.18
2021	12.76	12.75	0.09	12.77	0.08	12.77	0.09	12.75	0.07
		MAE	0.01		0.02		0.02		0.01
		MSE	0.00		0.00		0.00		0.00
		MAPE	0.11		0.15		0.13		0.11
		RMSPE	0.12		0.16		0.15		0.12
2022	12.80	12.74	0.49	12.78	0.18	12.76	0.30	12.75	0.36
2023	12.82	12.72	0.79	12.78	0.29	12.76	0.45	12.76	0.50
		MAE	0.05		0.08		0.04		0.06
		MSE	0.00		0.01		0.00		0.00
		MAPE	0.43		0.64		0.29		0.43
		RMSPE	0.43		0.66		0.29		0.43

• 中国交通运输线路里程

从上面的计算结果可以看出，离散非齐次灰色预测模型能够得到非常满意的计算结果。基于此，我们用 NDGM (1, 1, k, c)模型计算中国铁路营业里程和中国内河航道里程 2024 年、2025 年、2026 年的预测值，具体见表 6。

Table 6. The China's transportation route mileage from 2024 to 2026 (unit: 10,000 kilometers)
表 6. 2024 年至 2026 年中国交通运输线路里程(单位: 万公里)

年份	2024	2025	2026
铁路营业里程	16.4207	16.8561	17.2765
内河航道里程	12.7576	12.7586	12.7593

结果表明 2024 年、2025 年、2026 年中国铁路营业里程分别为 16.4207 万公里、16.8561 万公里、17.2765 万公里, 中国内河航道里程分别为 12.7576 万公里、12.7586 万公里、12.7593 万公里。

4. 结束语

本文采用灰色预测模型研究了中国铁路营业里程和中国内河航道里程的变化情况和发展趋势。从计算结果上看, 离散灰色预测模型比连续灰色预测模型有更高的精度, 具有一次项的灰色预测模型比具有常数项的灰色预测模型有更高的建模精度。这也提供了一种扩展灰色预测模型的思路, 在今后的研究中可考虑白化方程右端为其他函数的情形。

本文采用灰色预测模型来预测中国交通运输线路里程是一个不错的尝试。但是本文提出的模型是单变量模型, 没有考虑到影响交通运输线路里程变化的其他因素, 如国家交通政策、区域经济发展、人口流动、技术进步等。在今后的交通运输行业中, 可进一步将多变量灰色预测模型引入交通运输行业, 并解决遇到的实际问题。

参考文献

[1] 交通运输部. 2023 年交通运输行业发展统计公报[J]. 中国水运, 2024(8): 31-35.

[2] 刘袁森, 潘江如. “双碳”视域下我国交通运输行业发展策略研究[J]. 时代汽车, 2024(20): 4-6.

[3] 李名良. 加快交通运输业率先现代化, 支撑现代化产业体系建设[J]. 宏观经济管理, 2024(9): 10-18.

[4] 刘琳. 交通运输行业新经济的统计分析方法研究[J]. 中国航务周刊, 2023(50): 81-83.

[5] 李艳红, 王安宇, 杨东. 基于 LMDI 与国际类比组合法的我国交通运输行业碳排放驱动因素及减排潜力[J]. 交通运输研究, 2022, 8(4): 36-45.

[6] 周爱国, 李夏苗. 中国货物运输现状与铁路货物运输发展趋势分析[J]. 长沙铁道学院学报(社会科学版), 2002, 3(3): 72-74.

[7] 刘桂峰. 河南省国民经济与公路交通发展趋势预测及相关性分析[J]. 濮阳职业技术学院学报, 2006, 19(1): 43-44.

[8] 刘思峰, 谢乃明. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2016.

[9] Deng, J.-L. (1982) Control Problems of Grey Systems. *Systems & Control Letters*, 1, 288-294. [https://doi.org/10.1016/s0167-6911\(82\)80025-x](https://doi.org/10.1016/s0167-6911(82)80025-x)

[10] 王宇熹, 汪泓, 肖峻. 基于灰色 GM(1, 1)模型的上海城镇养老保险人口分布预测[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(12): 2244-2253.

[11] 徐宁, 党耀国. 特征自适应型 GM(1, 1)模型及对中国交通污染排放量的预测建模[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(1): 187-196.

[12] 胡忠君, 刘艳秋, 李佳. 基于改进 GM(1, 1)的洪涝灾害应急物资动态需求预测[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(4): 702-709.

[13] 李文龙, 魏巍, 宋瑜, 刘陈立, 苏文亮, 许静, 朱高峰. 基于能值生态足迹与灰色预测模型的西藏可持续性评价[J]. 草地学报, 2019, 27(3): 702-710.

[14] 童百利, 吴龙飞. 中国对“一带一路”国家出口贸易趋势预测研究——基于 GM(1, 1)灰色模型[J]. 贵州商学院学报, 2019, 32(2): 45-51.

-
- [15] 崔杰, 党耀国, 刘思峰. 一种新的灰色预测模型及其建模机理[J]. 控制与决策, 2009, 24(11): 1702-1706.
- [16] 战立青, 施化吉. 近似非齐次指数数据的灰色建模方法与模型[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(3): 659-694.
- [17] 童明余, 周孝华, 曾波. 灰色 NGM(1, 1, k)模型背景值优化方法[J]. 控制与决策, 2017, 32(3): 507-514.