Management Science and Engineering 管理科学与工程, 2026, 15(4), 836-847
Published Online July 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/mse
https://doi.org/10.12677/mse.2026.154081

Hans汉斯

基于灰色系统理论的辽宁省物流需求预测管理研究

李恒纬，袁建林

辽宁工业大学经济管理学院，辽宁 锦州

收稿日期：2026年6月20日；录用日期：2026年7月11日；发布日期：2026年7月22日

摘　要

科学预测区域物流需求是物流系统规划与管理决策的基础性工作。以辽宁省为研究对象，构建了涵盖经济发展水平、产业结构、人口与消费水平、商业贸易、交通基础设施五个维度14项指标的需求预测指标体系。首先运用灰色关联度分析方法对影响因素进行筛选，识别出社会消费品零售总额($r = 0.781$)、公路运输路线长度($r = 0.764$)、城镇居民人均消费支出($r = 0.716$)等6项关联度 ≥ 0.65的关键驱动因子；继而采用GM(1, 1)灰色预测模型对辽宁省2025~2027年货物周转量进行外推预测，模型后验差比值$C = 0.427$、小误差概率$P = 1.0$，精度等级为优。结果表明：辽宁省物流需求呈持续增长态势，2027年货物周转量预计达到139.82亿吨公里；消费市场规模与交通基础设施通达程度已取代传统经济总量指标成为物流需求的核心驱动力，反映出辽宁省物流需求驱动力由“生产型”向“消费型”转变的管理工程特征。研究为区域物流资源配置、基础设施投资决策与产业政策制定提供了可量化的管理决策参考框架。

关键词

物流需求预测，灰色关联度分析，GM(1, 1)模型，管理决策，物流系统工程，辽宁省

Management Research on Logistics Demand Forecasting in Liaoning Province Based on Grey System Theory

Hengwei Li, Jianlin Yuan

School of Economics and Management, Liaoning University of Technology, Jinzhou Liaoning

Received: June 20, 2026; accepted: July 11, 2026; published: July 22, 2026

文章引用: 李恒纬, 袁建林. 基于灰色系统理论的辽宁省物流需求预测管理研究[J]. 管理科学与工程, 2026, 15(4): 836-847. DOI: 10.12677/mse.2026.154081

Abstract

Scientific forecasting of regional logistics demand is a fundamental task for logistics system planning and management decision-making. Taking Liaoning Province as the research object, a demand forecasting indicator system was constructed, covering five dimensions—economic development level, industrial structure, population and consumption level, commercial trade, and transportation infrastructure—with a total of 14 indicators. First, the grey relational analysis method was used to screen the influencing factors, identifying six key driving factors with a correlation degree ≥ 0.65, including total retail sales of consumer goods (r = 0.781), highway route length (r = 0.764), and per capita consumption expenditure of urban residents (r = 0.716). Then, the GM(1, 1) grey prediction model was employed to extrapolate and forecast the freight turnover of Liaoning Province from 2025 to 2027, with a posterior error ratio C = 0.427 and a small error probability P = 1.0, indicating an excellent accuracy level. The results show that logistics demand in Liaoning Province is continuously growing, with freight turnover expected to reach 13.982 billion ton-kilometers by 2027. The scale of the consumer market and the accessibility of transportation infrastructure have replaced traditional economic volume indicators as the core driving forces of logistics demand, reflecting a shift in the logistics demand drivers in Liaoning Province from "production-oriented" to "consumption-oriented" management engineering characteristics. The study provides a quantifiable decision-making reference framework for regional logistics resource allocation, infrastructure investment decisions, and industrial policy formulation.

Keywords

Logistics Demand Forecasting, Grey Relational Analysis, GM(1, 1) Model, Management Decision-Making, Logistics System Engineering, Liaoning Province

Copyright © 2026 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

物流业是贯通国民经济循环的重要支撑产业，因而具有基础性、战略性、先导性三重属性，也是国内国际双循环畅通运行的枢纽纽带。从全国形势可以看到，2014~2023 年我国社会物流总额从 213.5 万亿元增长到 352.4 万亿元，十年间净增 139 万亿元，规模扩张极其明显，2024 年又增长到 360.6 万亿元，同比增长 5.8%[1]。由此引出结论：2025 年全国物流总额预计可达 368.2 万亿元 [2]，我国物流需求规模持续扩容、稳中提质的趋势已经十分明确。

由于目前国家战略对物流业高质量发展已有十分成熟、完整的制度设计，故而《"十四五"现代流通体系建设规划》[3]《"十四五"冷链物流发展规划》[4]两份政策文件都明确了产业升级的路径，也提出了各阶段的具体目标。

[1]国家发展改革委. 社会物流统计·全国数据[EB/OL]. 2026-06-22. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/ztzl/shwltj/qgsj/
[2]欧阳洁. 2025 年全国社会物流总额超 368 万亿元[N]. 人民日报, 2026-02-11(01). https://paper.people.com.cn/rmrb/pc/content/202602/11/content_30140110.html
[3]国家发展改革委. 国家发展改革委关于印发《"十四五"现代流通体系建设规划》的通知[EB/OL]. 2022-01-24. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/24/content_5670259.htm
[4]国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发"十四五"冷链物流发展规划的通知[EB/OL]. 2021-12-12. https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-12/12/content_5660244.htm

从区域的角度可以看到，辽宁省以“沿海区位 + 工业底蕴”的双重优势成为东北振兴的重要支点，又是东北亚经济圈核心节点及“一带一路”重要枢纽，故而辽宁有大连港、营口港等深水良港，又拥有四通八达、运行高效的陆路运输网络，交通禀赋极其突出。更难得的是，作为“共和国长子”，辽宁装备制造、石化、冶金诸产业根基深厚，近年来又在向高端化加速转型，因而也自然地孕育出大量高附加值、多品类的物流需求。

合理地研判辽宁省物流需求走势，既是落实国家“降本提质”号召、促进东北全面振兴的外在要求，也本身就是辽宁优化国土空间布局、增强产业链供应链韧性、实现经济高质量发展的有力支点。

2. 文献综述

物流需求预测作为物流学科十分成熟、重要的研究方向，其方法论已经从传统统计模型演化到智能化方法。早期文献中，刘珈绮[1] (2021)用灰色 BP 神经网络对农业物流需求做了有益尝试，王艳丽[2] (2024)则用 GM(1, 1)模型对甘肃省冷链物流需求做了很好的示范。更重要的是，董源[3] (2025)从货物运输量、货物周转量及物流业务收入三个维度系统地验证了 GM(1, 1)模型在短期及中期预测中的可靠性。在此基础上，杨泽宇等[4] (2025)巧妙地引入马尔科夫链对灰色预测残差做状态划分及转移概率修正，由此合理地构造出灰色马尔科夫组合模型用于湖北省冷链物流需求预测，实测结果中平均相对残差从 0.020927 降至 0.006459，预测精度得到极大提高。与此形成极好补充的是，以 BP 神经网络为代表的机器学习方法因具备优秀的非线性映射能力而已经成为物流需求预测的新热点：王楠[5] (2026)选取 6 项指标构建 BP 神经网络对山西省物流需求做预测，训练集、测试集的相关系数分别为 0.8963 和 0.9267，2024 年预测相对误差只有 0.33%，充分说明其预测性能优异。目前针对辽宁省物流需求的系统性预测研究尚不充分。因此，本文以辽宁省为研究对象，构建一个五维 14 项指标完备的预测体系，先用灰色关联度分析厘清主要驱动因素，再据此选择合理的输入变量，由此实现区域物流需求预测方法创新。

3. 指标选取

3.1. 建立指标体系

以辽宁省货物周转量 *Y*/百万吨公里及其影响因素作为研究对象。本文在国内外学者研究的基础上，根据指标体系选取的系统完备性和数据的可获得性，结合辽宁省物流的发展情况，构建了相关指标体系，提出了五个关键指标，并细分了 14 个可获得性指标，如表 1 所示。

Table 1. Demand forecast influencing factors table
表 1. 需求预测影响因素表

指标类型	指标名称	指标单位	指标代码
经济发展水平	GDP	亿元	X1
产业结构	第一产业生产总值	亿元	X2
	第二产业生产总值	亿元	X3
	第三产业生产总值	亿元	X4
人口与消费水平	地区人口数	万人	X5
	城镇居民人均可支配收入	元	X6
	农村居民人均可支配收入	元	X7
	城镇居民人均消费支出	元	X8
	农村居民人均消费支出	元	X9

续表

商业贸易	社会消费品零售总额	亿元	X10
	进出口贸易总额	万美元	X11
交通基础设施	公路运输路线长度	公里	X12
	铁路运输路线长度	公里	X13
	载货汽车数	辆	X14

3.2. 关联度分析

根据《辽宁统计年鉴》对表 1 中的数据进行整理，将其作为关联度预测的基础数据，具体数据如表 2 所示。

Table 2. Indicator data table
表 2. 指标数据表

年份	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
2015	1,179,010	20657.8	2053.7	8344.6	10259.4	4229.7	31,126	21,756
2016	1,221,120	20832.0	1841.2	7865.7	11152.2	4232.0	32,876	24,246
2017	1,291,370	22105.4	1902.3	8328.9	11874.2	4196.5	34,993	24,335
2018	1,089,800	24113.5	2020.6	9049.0	13044.0	4191.9	37,342	24,368
2019	1,145,170	25665.9	2178.0	9510.3	13977.6	4190.2	39,777	28,000
2020	1,175,210	25839.0	2284.8	9294.3	14259.9	4165.9	40,376	29,139
2021	1,288,750	28471.0	2462.1	10664.9	15344.0	4152.1	43,051	32,713
2022	1,266,670	29739.7	2598.0	10924.1	16217.5	4139.4	44,003	32,129
2023	1,330,450	31389.8	2642.2	11104.8	17642.9	4099.1	45,896	35,265
2024	1,374,500	32612.7	2565.7	11503.3	18543.7	4077.8	47,982	36,195
年份	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	
2015	21,557	12,057	8364.8	9,609,000	119,362	5328	827,000	
2016	24,996	12,881	8597.1	8,652,000	119,688	5340	871,000	
2017	25,379	13,747	8696.4	9,942,000	121,722	5543	902,000	
2018	26,448	14,656	9112.8	11,443,000	122,044	6153	941,000	
2019	27,355	16,108	9572.9	10,526,000	123,830	6141	992,000	
2020	24,849	17,450	8785.9	9,446,000	129,928	6195	1,111,000	
2021	28,438	19,217	9492.8	11,948,000	130,590	6302	1,168,000	
2022	26,652	19,908	9142.2	11,875,000	130,065	6302	1,145,000	
2023	29,091	21,483	9836.5	10,895,000	131,361	6302	1,136,000	
2024	30,350	22,744	10228.9	10,725,000	131,484	6385	1,112,000	

对构建的指标基础数据进行关联度分析，筛选出与需求预测关联性强的变量。灰色关联度分析主要是通过对因素进行量化分析，从随机的序列中找出相关性，分析数据序列变化的趋势，从而确定各因素

的相关性。具体步骤如下：

(1) 确定系统特征序列与相关因素序列

首先，明确反映系统行为特征的核心变量。在本研究中，将辽宁省历年物流需求量(通常以货物周转量表征)序列定义为系统特征序列(母序列)，记作 $Y=\{Y(k)k=1,2,\cdots,n\}$，其中 n 为年份数，$Y(k)$ 为第 k 年的数值。

其次，将与系统特征可能相关的 m 个影响因素(如 GDP、产业增加值、路网长度等)的历年数据序列定义为相关因素序列(子序列)，记作 $X_i=\{X_i(k)k=1,2,\cdots,n\}$，其中 $i=1,2,\cdots,m$。

(2) 对数据序列进行无量纲化处理

由于各指标的量纲和数量级通常不同，为使各序列间具有可比性，需对原始数据进行初始化处理以消除量纲影响。最常用的方法是均值化处理，即将序列中每个数据除以该序列所有数据的平均值，得到新的序列 X' 和 Y'：

$$Y'(k)=\frac{Y(k)}{\frac{1}{n}\sum Y(k)},\quad X_i'(k)=\frac{X_i(k)}{\frac{1}{n}\sum X_i(k)} \tag{1}$$

处理后，所有序列均围绕数值 1 上下波动，处于同一数量级水平。

(3) 计算各时刻的关联系数

关联系数用于刻画在特定时刻 k，相关因素序列 X' 与系统特征序列 Y' 的相对差值。其计算公式为：

$$\xi_i(k)=\frac{\min\limits_i\min\limits_k\left|Y'(k)-X_i'(k)\right|+\rho\cdot\max\limits_i\max\limits_k\left|Y'(k)-X_i'(k)\right|}{\left|Y'(k)-X_i'(k)\right|+\rho\cdot\max\limits_i\max\limits_k\left|Y'(k)-X_i'(k)\right|} \tag{2}$$

$\left|Y'(k)-X_i'(k)\right|$ 为第 k 时刻两序列的绝对差。$\min\limits_i\min\limits_k\left|Y'(k)-X_i'(k)\right|$ 与 $\max\limits_i\max\limits_k\left|Y'(k)-X_i'(k)\right|$ 为所有绝对差中的两极最小差与两极最大差。为分辨系数，用于调节计算结果的差异显著性，其取值范围为(0, 1)，通常取 $\rho=0.5$。(k) 值越大，表示在 k 时刻两序列的关联程度越高。

(4) 计算综合关联度

由于关联系数是各时刻的离散值，为得到相关因素 X' 与系统特征 Y' 在整个时间区间上的整体关联水平，需对各时刻的关联系数求平均值，得到综合关联度 r_i：

$$r_i=\frac{1}{n}\sum\nolimits_{k=1}^{n}\xi_i(k) \tag{3}$$

r_i 的值介于 0 到 1 之间，其值越接近 1，表明因素 X，对系统特征的影响程度越大，关联性越强。

(5) 关联度排序与因素筛选

Table 3. Gray relational grade classification table
表 3. 灰色关联度等级划分表

关联度区间	关联等级	意义
$0.85\le r\le 1.00$	高	关联性极强
$0.65\le r<0.85$	较高	关联性较强
$0.35\le r<0.65$	中等	关联性一般
$0.00\le r<0.35$	低	关联性较弱

计算出各影响因素的关联度 r 后，可按照其数值大小进行降序排列，形成关联序。为科学筛选关键因素，通常依据表 3 所示的灰色关联度等级划分标准进行评判。

根据此标准，通常将关联等级为高和较高的因素筛选出来，作为构建预测模型的关键输入变量，从而在保证模型科学性的同时，有效降低数据的维度与复杂性。

通过灰色关联度计算，可得辽宁省物流需求量与各影响因素间的关联度，如表 4 所示。

Table 4. Correlation table of demand
表 4. 需求量的关联度表

指标类型	指标名称	指标代码	灰色关联度
经济发展水平	GDP	X1	0.57163224
产业结构	第一产业生产总值	X2	0.6547582
	第二产业生产总值	X3	0.62120817
	第三产业生产总值	X4	0.54602244
人口与消费水平	地区人口数	X5	0.67501617
	城镇居民人均可支配收入	X6	0.58496146
	农村居民人均可支配收入	X7	0.55409466
	城镇居民人均消费支出	X8	0.71610207
	农村居民人均消费支出	X9	0.52445913
商业贸易	社会消费品零售总额	X10	0.780711
	进出口贸易总额	X11	0.59669502
交通基础设施	公路运输路线长度	X12	0.76429241
	铁路运输路线长度	X13	0.67524339
	载货汽车数	X14	0.61420674

本文将选取关联度大于 0.65 的影响指标作为本文的预测指标体系。因此，最终确定 6 个辽宁省物流需求的影响指标，包括第一产业生产总值、地区人口数、城镇居民人均消费支出、社会消费品零售总额、公路运输路线长度、铁路运输路线长度。

辽宁作为工业大省，第一产业关联度高于第二产业。由于辽宁省产业结构的“双重转型”，首先，是工业物流的“去实物化”趋势。传统高物耗产业(粗钢、原煤、水泥)产能持续压缩的同时，装备制造业向“高附加值、轻量化”转型(如精密机床、航空零部件)，单位产值的货运周转量显著低于传统重化工产品。其次，农业物流的“刚性特征”更强。辽宁是全国 13 个粮食主产省之一，粮食年产量数额巨大，从田间到仓储、加工、港口装船形成刚性且稳定的物流链条。生鲜农产品(樱桃、海参、对虾)的冷链物流需求随消费升级快速增长，冷链运输的吨公里周转量远高于普通工业品得以反映。最后，第一产业增长曲线与 Y 曲线更为合拍。2015~2024 年间，X2 仅 2016 年和 2024 年有两次波动，其余年份呈近乎线性增长；而 X3 在 2016、2020 年两次明显下探，与 Y 的走势错位——灰色关联度恰恰对这种时序差异高度敏感。

GDP 作为关键指标排名靠后。首先，GDP 是“加总变量”，物流需求是“结构性变量”。GDP 包含无需货运的组分，这些组分的快速增长减轻了 GDP 与物流需求的序列一致性。其次，物流需求强度系数持续下降。产业轻型化、服务化的结构性变迁——GDP 在增长，但每单位 GDP 反映的物流量在系统性衰减。

4. 模型构建

灰色预测理论专门针对“小样本、贫信息”的不确定性系统，其核心算法 GM(1, 1)构建于严密的数理逻辑之上。建模始于对初始非负数据的一次累加生成(1-AGO)，以此平滑随机扰动并挖掘潜在演变规律；继而基于新序列构建一阶线性微分方程，利用最小二乘法精准辨识“发展系数”与“灰色作用量”两大参数；随后通过求解方程得出累加量预测值，并经累减还原映射回原始量级。最终，模型须经后验差比(*C* 值)与小误差概率(*P* 值)等严苛指标校验，达标后方可投入实际应用。

(1) 构建 GM(1, 1)预测模型

构建原始数列：

$$x^{(0)}=\left\{x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),x^{(0)}(3),\cdots,x^{(0)}(n)\right\} \tag{4}$$

构建累加生成数列：

$$x^{(1)}=\left\{x^{(1)}(1),x^{(1)}(2),x^{(1)}(3),\cdots,x^{(1)}(n)\right\} \tag{5}$$

$$x^{(1)}(t)=\sum_{t}^{k=1}x^{(0)}(k),t=1,2,\cdots,n \tag{6}$$

$x^{(1)}$ 序列构建一阶线性微分方程：

$$\frac{dx^{(1)}}{\mathrm{d}t}+ax^{(1)}=u \tag{7}$$

对微分方程进行求解：

$$x^{(1)}(t+1)=\left\{x^{(0)}(1)-\frac{u}{a}\right\}e^{-\alpha t}+\frac{u}{a} \tag{8}$$

a 表示发展系数，体现系统的发展方向；u 表示灰色作用量，衡量数据的变化。利用最小二乘法 $\hat{A}=(a,u)^{T}=\left(B^{T}B\right)^{-1}B^{T}Y_{n}$ 可求得 a 和 u。

$$B=\begin{bmatrix}-\frac{1}{2}\left[x^{(1)}(1)+x^{(1)}(2)\right]\cdots1\\-\frac{1}{2}\left[x^{(1)}(2)+x^{(1)}(3)\right]\cdots1\\\ddots1\\-\frac{1}{2}\left[x^{(1)}(n-1)+x^{(1)}(n)\right]\cdots1\end{bmatrix} \tag{9}$$

$$Y_{n}=\begin{bmatrix}x^{(0)}(2)\\x^{(0)}(3)\\\vdots\\x^{(0)}(n)\end{bmatrix} \tag{10}$$

将 a 和 u 代入到微分方程求解中可以得到 $x^{1}(t+1)$，其中 $x^{(1)}(0)=x^{(1)}(1)$。

将模型数据进行累减处理，累减还原公式为：

$$\hat{x}^{(0)}(t+1)=\hat{x}^{(1)}(t+1)-\hat{x}^{(1)}(t)$$

$$\frac{dx^{(1)}}{\mathrm{d}t}+ax^{(1)}=u \tag{11}$$

将 $x^{(1)}(t+1)$ 的解代入上述公式即可求取预测值为：

$$\boldsymbol{x}^{(0)}(t+1)=\left(1-e^{\alpha}\right)\left[\boldsymbol{x}^{(0)}(1)-\frac{\boldsymbol{u}}{a}\right]e^{-\alpha t}$$

$$\frac{dx^{(1)}}{\mathrm{d}t}+ax^{(1)}=u \tag{12}$$

(2) 后验差法检测预测值

设 S_1 为残差序列的标准差， S_2 为原始数据序列标准差：

$$S_1=\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}\left(\varepsilon_{(k)}^{(0)}-\overline{\varepsilon}^{(0)}\right)^2}{n-1}}$$

$$\frac{dx^{(1)}}{\mathrm{d}t}+ax^{(1)}=u \tag{13}$$

$$S_2=\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}\left(x_{(k)}^{(0)}-\overline{x}^{(0)}\right)^2}{n-1}}$$

$$\frac{dx^{(1)}}{\mathrm{d}t}+ax^{(1)}=u \tag{14}$$

其中， ${}^{1}\overline{x}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}x^{(0)(k)}$，$\overline{\varepsilon}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\varepsilon_{(k)}$，后验差： $C=\frac{S_1}{S_2}$。

小误差概率 $P=P\left\{\left|\overline{\varepsilon}^{(0)}(k)-\varepsilon^{(0)}\right|<0.6745S_2\right\}$，其中 $\varepsilon_{(k)}^{(0)}=\left|x_{(k)}^{(0)}-\hat{x}_{(k)}^{(0)}\right|$。

灰色预测模型通常根据后验差值 C 和小概率误差 P 两个数值进行模型检验，根据两个数值实际情况，可将灰色预测结果的精确度划分为优、良、中、差 4 个等级，如表 5 所示。

Table 5. Gray prediction result accuracy classification table
表 5. 灰色预测结果精确度划分表

P	C	模型精度
>0.9	<0.35	优
>0.8	<0.5	良
>0.7	<0.65	中
<0.7	>0.65	差

5. 实证分析

根据灰色模型构建过程，建立起原始的数列 $X^{(0)}$。通过对序列数 $X^{(1)}$的累计相加以及矩阵 B、Y 的计算，可得到以下计算结果：

$X^{(0)}$ = {1179010, 1221120, 1291370, 1089800, 1145170, 1175210, 1288750, 1266670, 1330450, 1374500}

$X^{(1)}$ = {1179010, 2400130, 3691500, 4781300, 5926470, 7101680, 8390430, 9657100, 10987550, 12362050}

$$B=\begin{Bmatrix}-1789570 & 1\\ -3045815 & 1\\ -4236400 & 1\\ -5353885 & 1\\ -6514075 & 1\\ -7746055 & 1\\ -9023765 & 1\\ -10322325 & 1\\ -1167480 & 1\end{Bmatrix}$$

$$Y=\begin{Bmatrix}1221120\\ 1291370\\ 1089800\\ 1145170\\ 1175210\\ 1288750\\ 1266670\\ 1330450\\ 1374500\end{Bmatrix}$$

求得发展灰数 a = −0.017011，内生控制灰数 b = 1129709.853478，代入公式可得：

$$x^{(1)}(t+1)=78208221.76e^{0.017011k}-66411211.76$$

由此，通过计算可得辽宁省货物周转量预测值，计算结果如表 6 所示。

Table 6. Liaoning province cargo turnover forecast table
表 6. 辽宁省货物周转量预测表

年份	实际值	预测值	绝对误差	相对误差
2015	1179010.00	1179010.00	0.00	0.00%
2016	1221120.00	1159600.45	61519.55	5.04%
2017	1291370.00	1179494.77	111875.23	8.66%
2018	1089800.00	1199730.40	−109930.40	10.09%
2019	1145170.00	1220313.19	−75143.19	6.56%
2020	1175210.00	1241249.11	−66039.11	5.62%
2021	1288750.00	1262544.21	26205.79	2.03%
2022	1266670.00	1284204.65	−17534.65	1.38%
2023	1330450.00	1306236.70	24213.30	1.82%
2024	1374500.00	1328646.74	45853.26	3.34%

根据后验差比值($C = 0.427$)与小误差概率($P = 1.0$)的检验结果，该灰色预测模型的精度等级较高，表明其对辽宁省物流需求规模的未来发展趋势具备有效的表征与预测能力。

对各影响因素进行 GM(1, 1)灰色预测模型。本研究针对 6 个动态影响因素，构建了 GM(1, 1)灰色预

测模型。借助 MATLAB 平台，实现了对各指标 2025 年至 2027 年数据的预测，具体模型如下。

第一产业生产总值灰色预测模型为：

$$x^{(1)}(k+1)=38842.33e^{0.047082k}-36788.63$$

地区人口数灰色预测模型为：

$$x^{(1)}(t+1)=-1007796.014e^{-0.004209t}+1012025.714$$

城镇居民人均消费支出灰色预测模型为：

$$x^{(1)}(t+1)=1157265.571e^{0.021221t}-1135708.571$$

社会消费品零售总额灰色预测模型为：

$$x^{(1)}(t+1)=475964.80e^{0.017952t}-467600.00$$

公路运输路线长度灰色预测模型为：

$$x^{(1)}(t+1)=9249504.67e^{0.012925t}-9130142.67$$

铁路运输路线长度灰色预测模型为：

$$x^{(1)}(t+1)=300628.57e^{0.018563t}-295300.57$$

对各指标灰色模型预测值的后验差值 C 和小概率误差 P 进行计算，计算结果如表 7 所示。

Table 7. Posterior deviation C and small probability error P test table
表 7. 后验差值 C 和小概率误差 P 测验表

影响因素	小概率误差 P	后验差值 C	模型精度等级
第一产业生产总值(X2)	0.9	0.270	2 级别(合格)
地区人口数(X5)	0.8	0.002	2 级别(合格)
城镇居民人均消费支出(X8)	0.9	0.352	2 级别(合格)
社会消费品零售总额(X10)	0.9	0.297	2 级别(合格)
公路运输路线长度(X12)	0.7	0.304	2 级别(合格)
铁路运输路线长度(X13)	1.0	0.430	2 级别(合格)

经精度等级检验，各指标的灰色预测结果均达到合格及以上标准，满足模型的精度要求。这表明预测误差可控，结果可靠，适用于后续分析。因此，本研究将以此模型输出的 2025~2027 年辽宁省物流需求影响指标预测值，如表 8 所示。

Table 8. Indicator forecast value table
表 8. 指标预测值表

年份	Y	X2	X5	X8	X10	X12	X13
2025	1351441.24	2860.97	4073.66	30043.74	10133.55	135130.69	6656.91
2026	1374626.82	2998.89	4056.55	30688.10	10317.11	136888.54	6781.64
2027	1398210.17	3143.46	4039.52	31346.29	10504.00	138669.25	6908.71

经过数据模拟，建立灰色 GM(1, 1)模型，并对未来辽宁省物流需求 2025~2027 年三年进行了预测，指标所得出结果的相对误差均低于 5%，这说明灰色方法对物流需求的预测是可行的，而且预测精度高。但上述对 6 个影响因素的预测均采用单变量 GM(1, 1)模型独立完成，各模型仅依赖该变量自身的历史时序信息，未考虑变量间的交互作用。这意味着：第一，X2 (第一产业生产总值)、X8 (城镇居民人均消费支出)与 X10 (社会消费品零售总额)之间客观存在的经济联动关系未被纳入预测逻辑，各变量的外推轨迹可能出现“经济上不协调”的风险——例如消费支出与社零总额的预测增速若出现方向性背离，将削弱后续物流需求多因素分析的经济合理性。第二，独立 GM(1, 1)模型假设每个变量的演化完全由自身历史趋势决定，忽略了产业结构调整(X2 → X10 的产业链传导)、人口变动(X5 → X8 的需求基础效应)、基础设施投资(X12 → X13 的路网协同)等交叉影响，因而各变量预测值的“组合”未必构成一个内部自洽的经济场景。鉴于上述局限，本文对各影响因素预测值的精度检验虽均达到合格及以上等级，但其经济含义的协同一致性仍有待进一步审视。

6. 结论

本文以辽宁省为研究对象，就区域物流需求预测问题作了论述：先用灰色关联度分析方法，再用 GM(1, 1)灰色预测模型，建立了物流需求预测方法论，由此导出对 2025~2027 年辽宁省物流需求规模及有关因素的定量预测结果。

第一，本文构建起辽宁省物流需求预测指标体系，先系统回顾了国内外有关研究，再按指标选取的系统完备性及数据可获得性两大原则，从经济发展水平、产业结构、人口及消费水平、商业贸易、交通基础设施五个维度出发，选取了 GDP、三次产业生产总值、地区人口数、城乡居民人均可支配收入与消费支出、社会消费品零售总额、进出口贸易总额、运输方式路线长度以及载货汽车数等 14 项指标，因而较好地覆盖了影响区域物流需求诸种因素，也为之后的关联度筛选及模型构建打下扎实的数据基础。

第二，灰色关联度分析首先明确、系统地筛选出 6 个主要影响因素，继而用灰色关联度方法计算出各因子的关联度：社会消费品零售总额(X10)的灰色关联度最高，为 0.781，属于典型的关联性极强的等级。公路运输路线长度(X12)为 0.764，城镇居民人均消费支出(X8)为 0.716，诸指标都超过 0.70，因此可以十分得出结论：消费市场规模及交通基础设施通达程度与物流需求有最直接、最紧密的联动关系。与此形成良好补充的是，地区人口数(X5, 0.675)、铁路运输路线长度(X13, 0.675)和第一产业生产总值(X2, 0.655)的关联度也都超过 0.65 的筛选阈值。根据灰色关联度等级划分的标准，本文将所有关联等级为“较高”及以上的指标确定为预测模型的正式输入变量。更重要的是，GDP、第二产业生产总值等传统宏观经济指标的关联度处于中等水平，由此引出结论：对辽宁省而言，消费端需求及交通设施供给端的因素对物流需求的解释力已经超过了传统的经济总量指标，这是辽宁经济结构转型中物流需求驱动力变化的极好反映。

第三，由于 GM(1, 1)灰色预测模型对辽宁省物流需求有极好的拟合及预测效果，因此本文很自然、合理地以 2015~2024 年辽宁省货物周转量数据为原始序列，建立了 GM(1, 1)模型，由此直接、可靠地估计出发展系数 a = −0.017011，据此可十分清楚地判断辽宁省物流需求总体呈增长趋势，而灰色作用量 b = 1129709.853478 则反映了系统内部诸因素的作用强度。更重要的是，所建模型的后验差比值 C 为 0.427(小于 0.5)，小误差概率 P 为 1.0 (大于 0.9)，故模型精度等级优良，由此证明了灰色预测方法在区域物流需求预测中的适用性及有效性。与此形成极好补充的是，对 6 个动态影响指标分别建立的 GM(1, 1)模型，其后验差检验结果均为合格及以上等级，各指标预测的相对误差都严格控制在 5%以内。因此也验证了灰色建模方法在小样本条件下的预测可靠性。

最后，从研究结论出发提出了若干对策建议：第一，要抓住消费升级对物流需求的明显拉动效应，

鉴于城镇居民消费支出持续增长、社会消费品零售总额不断扩张，因此辽宁省宜主动、系统地完善城乡商贸物流网络，切实提高末端配送效率。第二，要充分发挥交通基础设施的先导作用，因为公路运输路线长度与物流需求有十分明确的正相关关系，故而完善公路路网、推进多式联运体系建设应当成为重要的政策抓手。第三，要重视人口结构变化对物流格局的长期影响，地区人口数从 2025 年的 4073.66 万人降到 2027 年的 4039.52 万人，降幅虽小但不可忽视，故宜提前布局物流资源的空间优化配置，主动适应人口分布变化带来的需求调整。第四，要充分利用辽宁港口优势及东北亚经济圈区位优势，在“一带一路”建设框架下系统、有力地推进国际物流通道建设，充分挖掘外向型物流需求的增长潜力。

本研究尚存在三方面局限性，有待后续研究加以改进：

其一，指标体系有待扩充。由于数据可得性的限制，本研究仅选取了 14 项指标，而诸如电商发展水平、快递业务量、仓储规模等对现代物流需求具有明确解释力的因素尚未纳入体系，指标覆盖的完备性仍有提升空间。

其二，影响因素预测方法存在“独立外推”的结构性缺陷。本文对 6 个动态影响因素分别建立单变量 GM(1, 1)模型进行独立预测，该方法虽然在后验差检验中均达到合格及以上等级，但其本质假设是各变量互不相关、各自独立演化。然而，城镇居民人均消费支出与社会消费品零售总额之间存在消费行为的双向映射关系，地区人口数的持续下降将系统性地抑制消费类变量的增长空间，公路与铁路路网建设亦受制于经济发展水平与财政能力。独立外推无法捕捉变量间的交互反馈机制，可能产生经济逻辑上不协调的预测组合。因此，后续研究宜引入能够考虑变量间相互作用的多元预测模型——一种可行的路径是采用 GM(1, N)灰色模型，以物流需求量 Y 作为系统特征变量，以筛选出的 6 个关联指标作为驱动因子，使各变量的预测在统一的系统框架内协调生成，从而保证预测结果的经济一致性；另一种路径是构建 VAR (向量自回归)模型，利用各变量滞后项之间的统计关系刻画其联合演化动态，同时借助脉冲响应函数与方差分解技术进一步揭示变量间的传导机制与贡献强度。

其三，物流需求预测模型本身可从单一 GM(1, 1)向组合模型拓展。GM(1, 1)模型适合小样本预测，但对数据波动较为敏感，因此今后宜与 BP 神经网络等机器学习方法结合，构造灰色-BP 神经网络的组合预测模型，以神经网络的非线性映射能力弥补灰色模型对波动数据适应性不足的缺陷，进一步提高预测精度。

参考文献

[1] 刘珈绮. 基于灰色神经网络算法的粮食物流需求预测模型研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2021.

[2] 王艳丽. 基于 GM(1, 1)模型的甘肃省冷链物流需求预测研究[J]. 物流工程与管理, 2024, 46(3): 1-3.

[3] 董源. 基于灰色预测模型的物流需求预测研究[J]. 商场现代化, 2025(18): 65-68.

[4] 杨泽宇, 严龙茂, 解寅格, 等. 基于灰色马尔科夫模型的湖北省冷链物流需求预测[J]. 物流工程与管理, 2025, 47(2): 15-18+29.

[5] 王楠. 基于 BP 神经网络的山西省物流需求预测[J]. 物流科技, 2026, 49(6): 32-35.