



基于复合系统协同模型的江西省港口物流 与区域经济系统演化研究

刘婷^{1*}, 陈希²

¹管理学院, 九江学院, 九江, 332005, 中国.

²湖北物资流通技术研究所, 襄阳, 441000, 中国.

摘要: 为探究江西省港口物流与区域经济系统的协同演化特征, 本文构建基于 CRITIC 权重法与复合系统协同度模型的分析框架, 对 2012—2023 年两子系统的有序度和协同度进行测算。结果表明, 系统有序度演化呈现“前期协同提升—中期结构错位—后期再度趋同”的三阶段特征, 港口物流系统对政策波动更敏感, 区域经济系统发展更为稳健; 系统协同度整体偏低, 波动显著, 尚未形成稳定机制。尽管关键政策推动港口物流发展, 但区域经济结构调整滞后、要素流通不畅及政策时滞等因素, 制约了协同效应的持续释放。研究丰富了区域协调发展与港口物流互动的理论路径, 亦为优化相关政策提供了实证参考。

关键词: CRITIC 权重法、有序度、协同度、区域协调发展、系统演化

通讯作者: 刘婷, cream4.24@163.com

1. 引言

港口作为现代物流体系的重要枢纽, 在区域经济发展中具有承载要素流通、促进产业集聚和联通国内外市场的战略功能。江西省作为长江经济带上九省二市之一, 是国家设立的内陆开放型经济试验区, 拥有 152 km 沿江黄金岸线, 有着“承东启西、连接南北”独特的区位优势。近年来, 随着长江经济带、“一带一路”以及内陆开放型经济试验区等国家战略的推进, 江西省逐步推进港口物流发展, 但港口发展与区域经济之间的互动协调仍存在明显不足。一方面, 港口基础设施建设与区域产业结构匹配度不高; 另一方面, 物流效率与区域经济协同水平较低, 限制了区域资源要素的流动与集聚, 制约了区域整体竞争力的提升。因此, 系统刻画江西省港口物流与区域经济之间的互动演化关系, 对于优化区域空间结构、提升交通物流效率、推动高质量发展具有重要意义。

目前, 学者围绕“交通基础设施—经济增长”关系、港口经济与区域协调发展问题展开较多探讨, 但存在以下不足: 一是多数研究侧重于单向因果或相关关系的实证分析, 缺乏对系统协同演化机制的动态揭示; 二是部分研究缺乏对评价指标的系统权重处理, 导致结果解释力不足; 三是较少有文献专门聚焦江西省内部区域的港口物流与区域经济系统间的演化关系。因此, 有必要从复合系统视角出发, 构建科学模型, 挖掘江西省港口物流与区域经济的协同演化特征。

本文旨在基于复合系统协同发展理论, 构建港口物流与区域经济子系统的评价指标体系, 并借助 CRITIC 方法赋权, 测度二者的协同度水平与演化趋势, 为完善区域港口物流布局和提升区域协调发展水平提供理论支撑和政策依据。

本文共分为六个部分。第一章为引言, 结合区域协调发展的背景, 指出港口物流与

区域经济协同演化研究的重要性，并明确本研究的问题意识与研究目标。第二章在总结区域协调发展、复合系统协同理论的基础上，界定港口物流与区域经济等关键概念，为构建分析框架奠定理论基础。第三章在明确指标选取原则与数据来源的基础上，引入CRITIC客观赋权法与复合系统协同模型，构建港口物流与区域经济协同度的测度体系。第四章基于江西省2012—2023年数据，计算系统有序度与协同度，分析其时序演化特征与阶段性特征。第五章围绕实证结果，从协调水平波动原因、区域差异与影响机制等方面展开深入讨论，并指出本研究的局限性与进一步研究方向。第六章总结研究结论，提出优化港口物流与区域经济协同发展的政策建议，并展望未来研究前景。

2. 文献综述

2.1 理论基础

本文旨在探讨港口物流与区域经济之间的互动演化关系，因此在理论基础上主要依托于以下两个维度的支撑：

1) 区域协调发展理论

区域协调发展理论扎根于空间经济学与区域经济学，旨在解决区域间发展不平衡问题。Fujita、Krugman与Venables（1999）的空间经济理论强调区域间距离、规模效应与贸易成本对经济结构和协同机制的深刻影响，为城市群与区域系统协同的发展提供理论基石。

在中国，区域协调发展的政策路径始于迈向高质量发展的国家战略。中共中央国务院（2018）发布的《关于建立更加有效的区域协调发展新机制的意见》明确指出要优化区域功能布局、强化基础设施互联互通，尤其强调要发挥枢纽城市与节点基础设施的带动作用。基于该政策背景，学界展开了实证研究探索。例如，Yin等人（2024）对中国31省级行政区用空间杜宾模型衡量交通基础设施对经济增长的空间溢出效应，结果显示交通互联显著提升了区域经济协同性及增长动力。此外，Wan等（2021）基于成都—重庆城市群研究，将社会经济系统与生态系统作为耦合子系统进行协同测算，首次

揭示了区域系统耦合演化路径下功能互补与结构联动特征。这些研究有效衔接了空间经济理论、政策制度和实证方法，也为本论文研究争取提供了机制思路、指标借鉴与方法支撑。

由此可见，区域协调发展的理论体系已形成从理论原则、政策导向到定量实证的闭环逻辑结构，为港口物流与区域经济系统之间的协同演化分析提供清晰的研究路径与方法借力。

2) 复合系统协同理论

复合系统协同理论源于协同学。德国物理学家 Haken, H. (1977) 提出复杂系统中各子系统之间通过非线性耦合实现协同演化。近年来，复合系统协同模型在区域经济与港口物流的耦合研究中得到广泛应用。关溪媛（2020）以辽宁沿海经济带为例，运用复合系统协同度模型，发现该区域经济系统协同度整体偏低，城市间协同发展水平存在显著差异，并提出差异化发展策略。丁杰（2019）构建了基于四类要素的水环境治理系统协同模型，采用相邻基期与固定基期方法测度系统协同度，指出前者波动较大、后者增长缓慢，整体协同水平有待提升。刘畅（2019）在构建京津冀港口物流与腹地经济协同模型时强调应将港口规模纳入指标体系，并通过泊位数量等指标度量，结果显示区域间耦合度较高，存在良好的互动基础。此外，冯彦东等（2021）研究宁波港与周边经济圈的协同关系，发现不同区域协同发展程度不一，呈现出典型的梯度分布特征。

在模型构建方面，研究者通常需对多个系统子要素进行加权整合，因此指标赋权方法成为协同模型的重要技术支撑。Diakoulaki, D.等人（1995）提出CRITIC权重法，通过结合各评价指标的标准差和指标间的相关性来计算权重，从而有效克服主观赋权方法带来的偏差问题。近年来，这种方法在复合系统模型中获得广泛应用。Han和Rani（2022）在研究可持续供应链管理中区块链技术采纳障碍时，将模糊逻辑与CRITIC方法相结合，进一步提升了权重计算的鲁棒性。刘思思（2024）在制造业集群式供应链协同度评价中，应用CRITIC法

结合系统协同模型,从协同效率提升的角度出发建立多指标权重体系。张键林(2023)则将CRITIC方法嵌入跨境电商与跨境物流的协同评价框架中。

综上,复合系统协同理论为港口物流与区域经济系统之间的复杂关系提供了结构化、可量化的分析框架,其结合CRITIC等赋权方法的集成研究路径正逐步成熟,已成为区域综合发展研究的重要技术支撑。

2.2 相关概念

本文主要涉及的相关概念包括港口物流系统、区域经济系统、有序度、协同度和CRITIC法。

1) 港口物流系统

Notteboom, T.等人(2005)认为港口物流系统是指以港口为节点,结合航运、仓储、装卸、运输、配送和信息服务等功能所构建的物流体系。该系统不仅服务于本地经济发展,也通过水陆联动辐射更广泛区域,形成复杂的供应链网络。港口物流系统的运行效率直接影响区域产业布局和资源流动效率。

2) 区域经济系统

Fujita, M.等人(1999)认为区域经济系统是指在特定地理空间内,由多个相互联系的经济主体(如产业集群、企业网络)所组成的经济单元,其发展受资源配置、产业结构、交通基础设施、制度环境等多种因素影响。港口物流作为重要的基础设施系统,在区域经济中扮演着关键支撑角色。

3) 有序度与协同度

有序度用于刻画系统内部指标变化的一致性与秩序性,协同度则用于衡量多个子系统之间互动关系的协调程度,。系统越趋向有序,其发展状态越稳定,若两个子系统的有序度同步提升,表明存在协同效应。

4) CRITIC法

CRITIC权重法是通过测量各评价指标的信息对比强度(方差)与指标之间的冲突性(相关性)来确定权重。指标变异越大、与其他指标相关性越小,其在系统中的区分能力越强,所赋予的权重也越高。

3. 研究方法

本文的研究方法包括研究对象与指标体系的构建、数据来源与处理方法、权重计算方法以及协同度模型应用等四个方面。

3.1 研究对象与指标体系构建

本文的研究对象为江西省港口物流系统与区域经济系统之间的互动关系及其协同演化水平。根据研究目标、两个子系统的特点、指标体系的选取原则和考虑数据的可获得性,构建江西省港口物流和区域经济子系统指标体系。港口物流子系统可从港口基建和港口运营两方面来考虑,指标主要包括港口货物吞吐量、港口集装箱吞吐量、生产性泊位个数、交通运输业就业人数、水运建设投资和货物周转量。区域经济子系统可从经济发展水平与结构、对外开放和基础设施支撑三方面考虑,指标主要包括GDP总值、社会就业人员、社会消费品零售总额、城镇率、第三产业增加量占地区生产总值比重、交通基础设施(公路水路)投资和进出口总值,如表1所列。

3.2 数据来源与处理方法

本文选取江西省2012-2023年的相关数据进行实证研究,数据来源于江西统计年鉴、江西交通年鉴、江西省统计公报、长江年鉴和中国港口年鉴等。由于不同指标量纲不一致,采用极差标准化方法对原始数据进行无量纲化处理,确保不同指标在综合评价中的可比性。

将每个子系统 S_i 的所有观测样本数据提取为一个数据矩阵 $X_i = [x_{ikj}]$,其中*i*表示子系统编号, $i \in [1, m]$, m 为正整数。 k 表示样本编号, $k \in [1, K]$, K 为正整数。 j 表示指标编号, $j \in [1, n]$, j 为正整数。采用极差标准化对原始数据进行无量纲处理,得到标准化矩阵 $X'_i = [x'_{ikj}]$ 。其中, x'_{ikj} 是标准化后的数据。

3.3 权重计算方法

1) 计算变异性指标。标准差 σ_{ij} 反映了子系统 S_i 第*j*个指标在所有指标中的离散程度,标准差越大,信息强度越大,其计算公式为:

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (x_{ikj} - \bar{x}_{ij}^*)^2}$$

(1)

其中, \bar{x}_{ij}^* 是子系统 i 中第 j 个指标的标准化均值。

2) 计算冲突性指标。计算子系统 i 中任意两个指标 j 和 l 之间的皮尔逊相关系数, 相关性越小, 信息差异性越大。

$$r_{ijl} = \frac{\sum_{k=1}^K (x_{ikj} - \bar{x}_{ij}^*)(x_{ikl} - \bar{x}_{il}^*)}{\sqrt{\sum_{k=1}^K (x_{ikj} - \bar{x}_{ij}^*)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^K (x_{ikl} - \bar{x}_{il}^*)^2}}$$

(2)

其中, r_{ijl} 是子系统第 j 和第 l 个指标之间的皮尔逊相关系数。

3) 计算每个指标的信息量。信息量越大, 说明该指标既波动性强, 又与其他指标不冗余, 综合有效信息越多, 其计算公式为:

$$c_{ij} = \sigma_{ij} \cdot \sum_{l=1}^n (1 - r_{ijl})$$

(3)

4) 计算权重。每个子系统内进行归一化处理, 得到各指标的权重, 其计算公式为:

$$w_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_{l=1}^n (1 - c_{ij})}$$

(4)

3.4 协同度测算方法

基于复合系统协同度模型, 分别计算港口物流系统和区域经济系统的有序度, 并据此测算系统之间的协同度和协同发展水平。

1) 子系统有序度模型

假设复合系统 S 中有若干子系统, 表示为 $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_i\}$, 其中 $i \in [1, m]$, $m \geq 2$, 为正整数, $i = 1, 2, 3, \dots, m$ 。子系统的序参量为 $S_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{ij}\}$, 其中 $j \in [1, n]$, $n \geq 2$ 为正整数, $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。子系统 S_i 的序参量分量 x_{ij} 的有序度 θ_{ij} 计算公式为:

$$\theta_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \beta_{ij}}{\alpha_{ij} - \beta_{ij}}, & x_{ij} \text{ 为正向指标} \\ \frac{\alpha_{ij} - x_{ij}}{\alpha_{ij} - \beta_{ij}}, & x_{ij} \text{ 为负向指标} \end{cases}$$

(5)

其中, $\theta_{ij} \in [0, 1]$; α_{ij} 和 β_{ij} 分别表示为子系统序参量分量 x_{ij} 的上限与下限, 即 $\beta_{ij} \leq x_{ij} \leq \alpha_{ij}$ 。如果 $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{ij}$ 为正向指标, 则取值越大越好, 代表序参量分量 x_{ij} 对子系统 S_i 的贡献越大, 有序度就越高; 如果 $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{ij}$ 为负向指标, 取值越大, 代表对子系统 S_i 的贡献越小, 有序度就越低。子系统各序参量分量的有序度之和为子系统的有序度, 本文采用线性加权求和方法计算子系统 S_i 的有序度 θ_i :

$$\theta_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot \theta_{ij}, \quad 0 \leq w_{ij} \leq 1, \quad \sum_{j=1}^n w_{ij} = 1$$

(6)

其中, w_{ij} 表示为序参量 x_{ij} 的权重。

2) 复合系统协同度

复合系统协同度的计算有两种方法, 一种是以固定时期为基期, 测算系统的协同状况和演化趋势; 另一种是以相邻时期为基期, 分析系统间协同状态是否稳定^[16]。假设在初始时刻 t_1 , 各子系统的有序度为 $X_i^1, i \in [1, m]$, 当系统发展到 t_2 时刻时, 各子系统的有序度为 X_i^2 , 则复合系统 S 的协同度计算公式为:

$$C = \eta \cdot \sqrt{\prod_{i=1}^m |X_i^2 - X_i^1|}$$

(7)

$$\text{其中, } \eta = \begin{cases} 1, & X_i^2 - X_i^1 \geq 0 \\ -1, & \text{其他} \end{cases} \quad C \in [-1, 1],$$

C 值越大说明复合系统中各子系统间的协同状态越好, 系统将趋向新的有序结构; C 值越小, 则说明系统越无序, 协同度判定标准如表 2 所示。

4. 研究结果

本章基于 2012-2023 年数据, 计算了江西省港口物流子系统与区域经济子系统各指标的权重值, 进而测算有序度与协同度, 揭示二者的协同演化特征。

4.1 指标权重计算

根据式 (1) - (3) 计算各子系统序参量的变异性与冲突性, 再根据式 (4) 计算其权重, 结果如表 3 所列。在港口物流子系统中, 生产性泊位个数的权重最高, 达到 0.3049, 显示其在系统有序度演化中占据核心地位。其次为港口货物吞吐量 (权重 0.1615) 和水运建设投资 (权重 0.1588), 表明港口基础设施规模和建设投入对物流系统有序演化具有较强驱动作用。其余指标如集装箱吞吐量、交通运输业就业人数等的权重相对较低。在区域经济子系统中, 社会从业人员数量权重最高, 为 0.2932, 紧随其后的是第三产业增加值占地区生产总值比重, 权重为 0.1829, 反映了劳动力规模与产业结构在区域经济有序性演进中的关键地位。其他指标如 GDP 总值、进出口总值等均在 0.1 左右, 影响相对较小。整体来看, 两个子系统的指标权重分布体现了港口物流与区域经济间各自运行特征与主导因素的差异。

4.2 各子系统有序度计算

根据式 (5) 计算各子系统序参量的有序度, 根据式 (6) 计算 2012-2023 年江西省各子系统有序度, 如表 4 所列和图 1 所示。江西省港口物流子系统和区域经济子系统有序度均呈现出“上升—波动—恢复”式发展态势。其中, 港口物流系统有序度整体水平略高于区域经济系统, 但两者的差距在近年逐渐缩小, 并在 2022 年前后实现趋同。其演化过程分为以下三个阶段。

第一阶段: 2012-2015 年, 双系统稳步上升, 港口物流领先发展。在这一阶段, 港口物流系统有序度从 0.39 快速提升至 0.61, 区域经济系统则从 0.36 提升至 0.50, 两系统均表现出明显的上升趋势。这与江西省“十二五”规划后期加快推进水运现代化、港口功能升级有关, 尤其是 2014 年昌九一体化战略的提出与推进, 带动了港口装卸、仓储、物流企业的信息化与标准化建设, 促进港口

系统结构有序化。同时, 区域经济结构也在优化调整, 工业投资和城镇化水平有所提高, 为有序度上升提供了支撑。

第二阶段: 2016-2019 年, 物流系统波动明显, 区域经济保持相对稳定。2016 年后港口物流有序度略有下降, 到 2019 年跌至最低点 0.33, 区域经济有序度则相对平稳, 在 0.50 上下波动。这一阶段物流系统的波动可能受到 2016 年“两江两港”建设尚处于启动期、部分港口项目未落地以及 2018 年生态环保整治限制港区扩展的影响, 导致港口系统内部协调性与服务效率下降。而区域经济则在新旧动能转换的过程中保持一定的稳定, 说明区域经济发展具备一定抗冲击能力, 但尚未形成对港口物流系统的稳定支撑。

第三阶段: 2020-2023 年, 双系统恢复增长, 协同发展基础增强。2020 年后, 受“十四五”规划实施、数字化港口和智慧交通政策支持的影响, 港口物流系统和区域经济系统有序度同步回升。2021 年区域经济有序度达 0.63, 超过港口物流系统, 显示出区域经济对港口的牵引作用增强。2022-2023 年两系统有序度基本持平, 表明两者结构趋于协调, 有望为系统协同度的提升打下基础。

综上所述, 2012-2023 年江西省港口物流与区域经济系统有序度的演变呈现出三个阶段的特征性波动: 前期协同提升、中期结构错位、后期再度趋同。港口物流系统对政策变动更敏感, 区域经济系统发展相对稳健。未来应进一步推动港口功能拓展与区域产业匹配, 强化系统间的协同耦合机制, 助力江西内陆水运枢纽与区域经济高质量融合发展。

4.3 复合系统协同度计算

根据式 (7) 分别计算以固定时期为基期和相邻时期为基期的 2013-2023 年江西省港口物流与区域经济系统协同度, 如表 5 所列与图 2 所示。江西省港口物流子系统和区域经济子系统协同度演化分为以下三个阶段。

第一阶段: 2013-2016 年, 协同关系缓慢改善但仍不稳定。从相邻基期和固定基期协同度来看, 2013 至 2016 年间江西省港口

物流与区域经济系统协同度整体呈现缓慢上升的趋势，部分年份达到弱协同状态，但整体波动仍较明显。这一阶段的重要背景是2014年《昌九一体化发展规划》的提出，明确提出推动九江港与南昌城市群协同发展，强化赣江航道整治与区域产业联动。同时，江西省政府在“十二五”规划收官之际，加快了内河航运建设和综合交通枢纽布局，部分港口基础设施得到改善。政策在一定程度上提升了港口物流有序度，区域经济也受益于物流效率提升，但由于两系统发展节奏不一致、产业结构脱节，协同水平仍处于较低水平，表现为短暂弱协同但缺乏持续性。

第二阶段：2017–2019年，协同关系波动加剧，弱协同难以维系。2017年至2019年期间，系统协同度出现明显的下降与反复波动，说明港口物流系统与区域经济之间的互动性减弱。2015年江西省提出“两江两港”发展战略（赣江、信江，九江港、景德镇港），试图通过打造区域性港口群来增强物流节点功能，推动水运基础设施与产业发展协同。但在实际推进过程中，部分港口建设滞后、项目落实缓慢，加之外部经济波动影响，区域经济增长乏力，导致该阶段港口物流与区域经济系统缺乏有效联动。此外，2018年江西省加大对长江经济带生态环保整治力度，港口扩建受到一定约束，在短期内影响了港口功能提升和物流辐射能力，协同关系由弱协同转为不协同状态，系统间互动性较差。

第三阶段：2020–2023年，协同水平有所恢复但整体波动仍存。自2020年起，系统协同度呈现逐步回升的态势，部分年份重新回到弱协同状态，显示出江西省港口物流与区域经济系统之间的耦合关系有所改善。这一阶段正值“十四五”开局，江西省出台《江西省“十四五”现代物流业发展规划》和《江西省综合立体交通网规划纲要》，提出加快构建“一港四区”港口体系（以九江港为主，配套四个港区），并推动数字化港口、多式联运、港产融合等改革举措。同时，区域经济也借助国家“双循环”战略和制造业转型升级获得发展动力，对物流的结构性需求增长，增强了系统间协同互促的内在动力。然而，受制于中部内陆港口腹地较小、

市场机制尚不健全等问题，系统间协同度仍呈阶段性波动，未能实现稳定提升。

综上所述，2013–2023年江西省港口物流与区域经济系统协同度处于较低水平，波动显著，且协同机制尚不健全。尽管多个关键政策推动了港口物流系统现代化发展，但由于区域经济结构调整滞后、要素流通受限、政策实施存在时间滞后等问题，系统协同缺乏长期稳定性与内生驱动力。未来需进一步加强基础设施统筹建设、区域产业协同规划及制度机制创新，以推动港口物流与区域经济的深度融合与高水平协同发展。

5. 讨论和结论

5.1 理论贡献

本文以江西省为案例，构建了港口物流与区域经济的复合系统分析框架，结合CRITIC法与协同度模型，量化揭示二者的协同演化过程。相较于传统研究主要依赖单一维度或静态相关性分析的方法，本文实现了从多维指标动态演化出发，探讨子系统间协同机制的突破，丰富了区域协调发展理论与港口物流系统研究在方法论层面的应用。研究表明，港口物流子系统与区域经济子系统之间具有明显的结构耦合关系和阶段性协同演化特征，为理解产业系统与区域系统间的互动机制提供了理论支撑，拓展了复合系统协同模型在区域发展领域中的适用范围。

5.2 实践意义

从政策实践层面来看，本文结果对政府、港口运营机构及区域发展管理者具有一定的参考价值。一方面，通过识别出港口物流与区域经济之间的协同演化阶段，有助于政府制定更具前瞻性的产业协调发展政策，实现基础设施投资、物流枢纽建设与区域产业布局的同步优化。另一方面，研究突出了生产性泊位、货物吞吐量与水运投资等核心指标的重要性，为港口管理部门提升资源配置效率、强化功能定位提供了数据依据。此外，区域经济子系统中社会从业人员和第三产业比重的突出地位，提示区域产业升级与就业结构优化在协同发展中的关键作用，对区

域产业结构调整和发展策略制定具有启发意义。

5.3 结论

本文基于 CRITIC 法和复合系统协同模型, 测算了 2012—2023 年江西省港口物流与区域经济各子系统的有序度演化特征与协同发展水平, 并提炼出阶段性演化特征。研究发现: (1) 区域经济系统整体有序度显著高于港口物流系统; (2) 两系统间存在一定程度的协同互动, 但整体协同水平波动较大, 发展并不稳定; (3) 阶段性呈现出“波动提升—缓慢回落—逐步协调”的特征, 这与政策推进节奏、产业基础支撑能力及基础设施协同配套密切相关。

本文在实证框架与指标体系构建方面具有一定的创新意义。同时, 本文也存在以下局限: 一是指标选取虽遵循系统性与可得性原则, 但尚不能完全覆盖复杂系统中的所有维度; 二是数据口径以省级层面为主, 难以反映区域间微观差异与机制; 三是未充分纳入外部扰动因子, 如政策变迁、突发事件等对系统协同演化的影响。

未来研究可从以下方向深入拓展: 一是进一步细化港口物流系统结构, 纳入物流效率、产业链联动等微观指标; 二是结合城市层级、区域群组等空间分析方法, 探讨不同

地理单元下的协同机制异质性; 三是引入系统动力学、多主体模拟等复杂系统方法, 模拟不同政策情景下的演化路径, 以增强研究的预测性与应用价值。

6. 知识贡献

本文在港口物流与区域经济互动研究的基础上, 结合复合系统协同分析框架与江西省实证数据展开分析, 形成如下知识贡献:

1) 构建了港口物流—区域经济的省域协同分析框架。针对现有研究多集中于国家层面或沿海城市层面的局限, 本文从省域尺度出发, 构建了复合系统的协同度测算与演化分析框架, 为中部内陆地区的港口经济互动研究提供了方法路径。

2) 整合并应用 CRITIC 客观赋权法与复合系统协同模型。本文将 CRITIC 法用于评价指标权重计算, 并与复合系统协同模型相结合, 增强了分析的客观性与系统性。

3) 提出了区域协同演化的阶段划分机制。在多年度协同测算的基础上, 识别了江西省港口物流系统与区域经济系统的协同演进阶段特征, 为未来分阶段政策干预提供了基础支撑, 并拓展了协同理论在区域经济系统演化分析中的适用范围。

基金支持

本文受江西省高校人文社会科学研究一般项目“枢纽经济视域下九江港口型国家物流枢纽与区域产业结构升级协同发展研究”(项目编号: JC22117) 的资助。

附录

表 1. 江西省港口物流和区域经济子系统指标体系

子系统	符号	序参量	指标符号	指标指向
港口物流	S_1	港口货物吞吐量(亿吨)	x_{11}	正向指标
		港口集装箱吞吐量(万TEU)	x_{12}	正向指标
		生产性泊位个数(个)	x_{13}	正向指标
		交通运输业就业人数(万人)	x_{14}	正向指标
		水运建设投资(亿元)	x_{15}	正向指标
		货物周转量(亿吨公里)	x_{16}	正向指标
区域经济	S_2	GDP 总值(亿元)	x_{21}	正向指标
		社会从业人员(万人)	x_{22}	正向指标
		社会消费品零售总额(亿元)	x_{23}	正向指标

城镇率 (%)	x_{24}	正向指标
第三产业增加量占地区生产总值比重 (%)	x_{25}	正向指标
交通基础设施(公路水路)投资(亿元)	x_{26}	正向指标
进出口总值(亿元)	x_{27}	正向指标

(来源: 作者整理, 2025)

Table 1. Indicator System of Port Logistics and Regional Economy Subsystems in Jiangxi Province

Subsystem	Symbol	Indicator Name	Indicator Code	Indicator Direction
Port Logistics	S_1	Port cargo throughput (100 million tons)	x_{11}	Positive
		Port container throughput (10,000 TEU)	x_{12}	Positive
		Number of productive berths (units)	x_{13}	Positive
		Number of employees in the transportation industry (10,000)	x_{14}	Positive
		Investment in water transport (100 million yuan)	x_{15}	Positive
		Freight turnover (100 million ton-kilometers)	x_{16}	Positive
		GDP (100 million yuan)	x_{21}	Positive
Regional Economy	S_2	Urban employed population (10,000 persons)	x_{22}	Positive
		Total retail sales of consumer goods (100 million yuan)	x_{23}	Positive
		Urbanization rate (%)	x_{24}	Positive
		Added value of the tertiary industry as a percentage of GDP (%)	x_{25}	Positive
		Investment in transport infrastructure (roads and waterways) (100 billion yuan)	x_{26}	Positive
		Import and export trade value (100 billion yuan)	x_{27}	Positive

(Source: Compiled by the author, 2025)

表 2. 协同度判定标准

C 值	$-1 \leq C \leq 0$	$0 < C \leq 0.3$	$0.3 < C \leq 0.7$	$0.7 < C \leq 1$
系统状态	不协同	弱协同	一般协同	强协同

(来源: Haken, H. ,1983)

Table 2. Classification of synergistic degree of composite system

C Value Range	$-1 \leq C \leq 0$	$0 < C \leq 0.3$	$0.3 < C \leq 0.7$	$0.7 < C \leq 1$
System State	Non-synergy	Weak synergy	Moderate synergy	Strong synergy

(Source: Haken, H., 1983)

表 3. 各子系统序参量权重表

子系统	符号	序参量	权重指标符号	变异性	冲突性	信息量	权重
港口 物流	S_1	港口货物吞吐量 (亿吨)	w_{11}	0.299	5.790	1.731	0.1615
		港口集装箱吞吐量 (万 TEU)	w_{12}	0.333	4.292	1.429	0.1333
		生产性泊位个数 (个)	w_{13}	0.451	7.252	3.267	0.3049
		交通运输业就业人数 (万人)	w_{14}	0.268	4.833	1.294	0.1207
		水运建设投资 (亿元)	w_{15}	0.384	4.428	1.702	0.1588
		货物周转量 (亿吨公里)	w_{16}	0.311	4.160	1.295	0.1208
区域 经济	S_2	GDP 总值 (亿元)	w_{21}	0.347	3.478	1.209	0.1044
		社会从业人员 (万人)	w_{22}	0.326	10.404	3.396	0.2932
		社会消费品零售总额 (亿元)	w_{23}	0.328	3.470	1.140	0.0984
		城镇率 (%)	w_{24}	0.345	3.448	1.189	0.1026
		第三产业增加量占地区生产总值比重 (%)	w_{25}	0.292	7.264	2.119	0.1829
		交通基础设施 (公路水路) 投资 (亿元)	w_{26}	0.338	3.802	1.283	0.1108
进出口总值 (亿元)			w_{27}	0.329	3.795	1.247	0.1077

(来源: 作者计算, 2025)

Table 3. Classification of synergistic degree of composite system

Subsystem	Symbol	Indicator Description	Weight Code	Standard Deviation	Contrast Strength	Information Entropy	Weight
Port Logistics	S_1	Port cargo throughput (100 million tons)	w_{11}	0.299	5.790	1.731	0.1615
		Port container throughput (10,000 TEU)	w_{12}	0.333	4.292	1.704	0.1597
		Number of productive berths (units)	w_{13}	0.451	7.252	3.267	0.3049
		Transportation and warehousing employment (10,000 persons)	w_{14}	0.408	4.833	1.294	0.1912
		Water transport investment (100 million yuan)	w_{15}	0.392	4.563	1.266	0.1781

Regional Economy	S_2	Freight turnover (100 million ton-kilometers)	w ₁₆	0.091	2.160	1.295	0.0278
		GDP (100 billion yuan)	w ₂₁	0.347	3.478	1.209	0.0904
		Social employment (10,000 persons)	w ₂₂	0.311	3.445	1.180	0.0895
		Total retail sales of social consumer goods (100 billion yuan)	w ₂₃	0.300	3.155	1.191	0.0984
		Urbanization rate (%)	w ₂₄	0.345	4.445	1.239	0.1126
		Share of tertiary industry in regional GDP (%)	w ₂₅	0.372	7.264	1.219	0.1829
		Investment in transport infrastructure (roads and waterways) (100 billion yuan)	w ₂₆	0.293	2.669	1.227	0.1087
		Import and export trade value (100 billion yuan)	w ₂₇	0.329	3.795	1.247	0.1077

(Source: Calculated by the author, 2025)

表 4. 2012-2023 年江西省各子系统有序度

年份 子系统	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
港口物流	0.3908	0.4881	0.5566	0.6086	0.6083	0.5759	0.4876	0.3304	0.4016	0.4898	0.5228	0.5783
区域经济	0.3570	0.3818	0.4170	0.4974	0.5300	0.4924	0.5971	0.4963	0.5004	0.6266	0.5134	0.5577

(来源: 作者计算, 2025)

Table 4. Order Degree of Each Subsystem in Jiangxi Province(2012-2023)

Year Subsystem	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Port	0.3908	0.4881	0.5566	0.6086	0.6083	0.5759	0.4876	0.3304	0.4016	0.4898	0.5228	0.5783
Logistics												
Regional	0.3570	0.3818	0.4170	0.4974	0.5300	0.4924	0.5971	0.4963	0.5004	0.6266	0.5134	0.5577
Economy												

(Source: Calculated by the author, 2025)

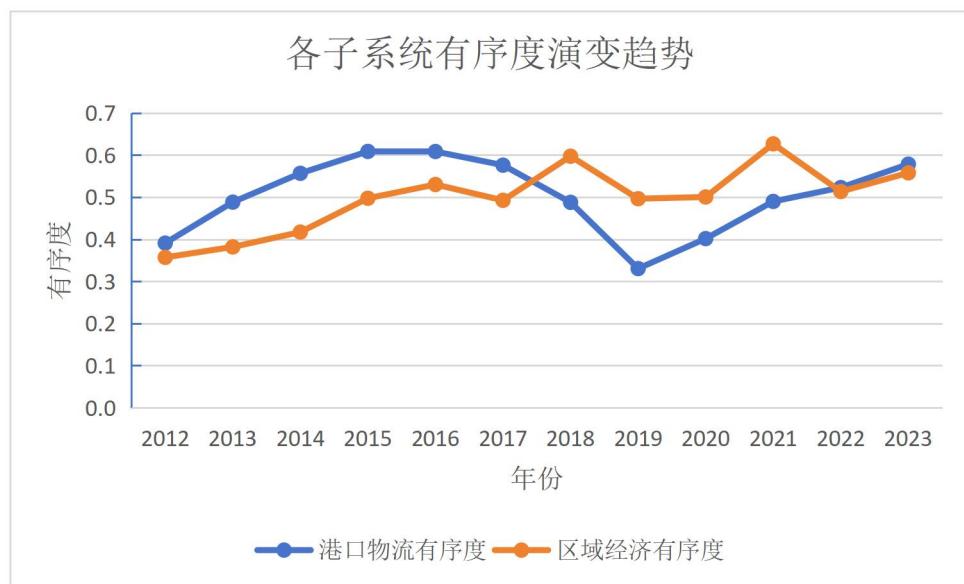


图 1. 2012-2023 年各子系统有序度演变趋势

(来源: 作者绘制, 2025)

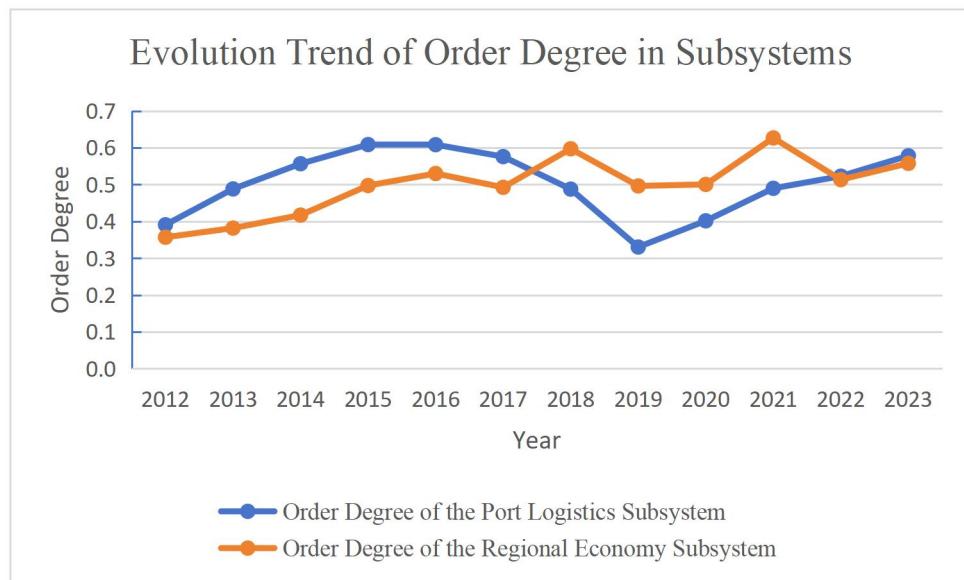


Figure 1. Evolution Trend of Order Degree in Subsystems from 2012 to 2023

(Source: Drawn by the author, 2025)

表 5. 2013-2023 年江西省港口物流与区域经济系统协同度

年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
相邻基期	系统协同度 0.0491	0.0491	0.0646	-0.0028	0.0349	-0.0961	0.1259	0.0171	0.1055	-0.0611	0.0496
	系统状态	弱协同	弱协同	弱协同	不协同	弱协同	不协同	弱协同	弱协同	弱协同	弱协同
固定基期	系统协同度 0.0491	0.0998	0.1749	0.1940	0.1583	0.1525	-0.0918	0.0392	0.1634	0.1437	0.1940
	系统状态	弱协同	弱协同	弱协同	弱协同	弱协同	不协同	弱协同	弱协同	弱协同	弱协同

(来源: 作者计算, 2025)

Table 5. Synergy Degree of Port Logistics and Regional Economy Systems in Jiangxi Province (2013–2023)

Year	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Adjacent Base Period	Synergy Degree	0.0491	0.0491	0.0646	-0.0028	0.0349	-0.0961	0.1259	0.0171	0.1055	-0.0611
Fixed Base Period	Synergy Degree	0.0491	0.0998	0.1749	0.1940	0.1583	0.1525	-0.0918	0.0392	0.1634	0.1437
Adjacent Base Period	System State	WS	WS	WS	NS	WS	NS	WS	WS	NS	WS
Fixed Base Period	System State	WS	WS	WS	WS	WS	WS	WS	WS	WS	WS

Note: WS = Weak Synergy, NS = Non-synergy.

(Source: Calculated by the author, 2025)



图 2. 2013-2023 年江西省港口物流与区域经济系统协同度演变趋势

(来源: 作者绘制, 2025)

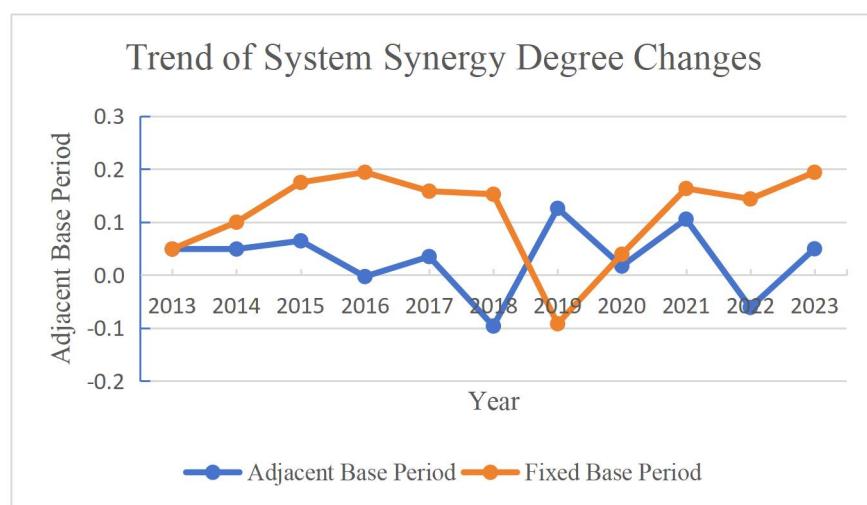


Figure 2. Trend of the System Synergy Degree between Port Logistics and Regional Economy in Jiangxi Province (2013–2023)

(Source: Drawn by the author, 2025)

文献参考

- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763–770. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)00059-H](https://doi.org/10.1016/0305-0548(94)00059-H)
- Fujita, M., Krugman, P. R., & Venables, A. J. (1999). *The spatial economy: Cities, regions and international trade*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6389.001.0001>
- Haken, H. (1977). *Synergetics: An introduction*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-96035-0>
- Han, X., & Rani, P. (2022). Evaluate the barriers of blockchain technology adoption in sustainable supply chain management in the manufacturing sector using a novel Pythagorean fuzzy-CRITIC-CoCoSo approach. *Operations Management Research*, 15(3–4), 725–742. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-0245-5>
- Notteboom, T., & Rodrigue, J. P. (2005). Port regionalization: towards a new phase in port development. *Maritime Policy & Management*, 32(3), 297–313. <https://doi.org/10.1080/03088830500139885>
- Wan, J., Li, Y., Ma, C., Jiang, T., Su, Y., Zhang, L., Song, X., Sun, H., Wang, Z., Zhao, Y., Zhang, K., & Yang, J. (2021). Measurement of coupling coordination degree and spatio-temporal characteristics of the social economy and ecological environment in the Chengdu–Chongqing urban agglomeration under high-quality development. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11629. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111629>
- Yin, F., Qian, Y., Zeng, J., & Wei, X. (2024). The spatial spillover effects of transportation infrastructure on regional economic growth—An empirical study at the provincial level in China. *Sustainability*, 16(19), 8689. <https://doi.org/10.3390/su16198689>
- 中共中央国务院. (2018年11月29日). 关于建立更加有效的区域协调发展新机制的意见. http://www.gov.cn/zhengce/2018-11/29/content_5344537.htm
- 丁杰. (2019). 我国水环境治理要素的协同发展研究——基于复合系统协同度模型. *决策参考*, (12), 114–118.
- 冯彦东, & 何炳华. (2019). 宁波港口物流与港口经济圈协同度实证分析. *中国水运*, 19(1), 56–58.
- 关溪媛. (2020). 辽宁沿海经济带经济协同度评价及对策研究——基于复合系统协同度模型. *经济论坛*, 595(2), 26–32.
- 刘畅. (2019). 京津冀地区港口物流与腹地经济协同发展研究 [硕士学位论文, 天津理工大学].
- 刘思思. (2024). 制造业集群式供应链协同度评价与提升策略研究 [硕士学位论文, 哈尔滨理工大学].
- 张健林. (2023). 基于复合系统协同度模型的深圳市跨境电商与跨境物流协同发展研究 [硕士学位论文, 四川外国语大学].

A Study on the Evolution of Port Logistics and Regional Economic Systems in Jiangxi Province Based on a Composite System Synergy Model

Ting Liu ^{*},Xi Chen²

¹School of Management, Jiujiang University, Jiujiang, 332005, China.

²Hubei Institute of Logistics Technology, Xiangyang, 441000, China.

Email: cream4.24@163.com (correspondence)

Abstract: To explore the synergistic evolution characteristics between port logistics and the regional economy in Jiangxi Province, this study constructs an analytical framework based on the CRITIC weighting method and the composite system synergy model to measure the order degree and synergy degree of the two subsystems from 2012 to 2023. The results indicate that the evolution of system order exhibits a three-phase pattern: early-stage synergy enhancement, mid-stage structural dislocation, and late-stage reconvergence. The port logistics subsystem is more sensitive to policy fluctuations, while the regional economic subsystem demonstrates greater stability. The overall system synergy remains low, with significant fluctuations and an absence of a stable coordination mechanism. Although key policies have promoted the modernization of port logistics, the delayed adjustment of the regional economic structure, inefficient factor circulation, and policy lag have constrained the sustained release of synergistic effects. This study enriches the theoretical framework of regional coordinated development and port logistics interaction, providing empirical insights for policy optimization.

Keywords: CRITIC Weight Method, Order Degree, Synergy Degree, Regional Coordinated Development, System Evolution