

# 我国国内航空运输领域相关的复杂网络研究 综述

## ——基于CiteSpace的可视化研究分析

王冠超

上海工程技术大学航空运输学院, 上海

收稿日期: 2024年1月18日; 录用日期: 2024年3月15日; 发布日期: 2024年4月28日

### 摘要

随着航空业在我国的飞速发展, 复杂网络研究成为理解和优化航空领域运作的重要工具。本文以我国国内航空运输为研究对象, 通过基于CiteSpace的可视化研究分析, 综述了相关的复杂网络研究。本文介绍了复杂网络在航空领域的广泛应用背景。航空运输作为一个涉及多方面、多层次关系的系统, 复杂网络理论为解析和理解这些复杂关系提供了有力的工具。通过文献调查和数据分析, 总结了国内航空运输领域复杂网络研究的主要趋势和热点问题。研究发现: 我国航空网络呈现出多层次、复杂交互的特征, 而研究的焦点主要集中在网络拓扑结构、安全性、效率等方面。这些研究为深入理解我国国内航空运输复杂网络提供了重要线索。通过CiteSpace可视化工具呈现了相关研究的知识图谱。这一可视化呈现能提供直观而清晰的研究格局, 展示各领域的关键论文、学者合作网络等信息。这不仅有助于研究者更好地理解研究热点和趋势, 也为未来研究方向提供了参考。

### 关键词

航空运输, 复杂网络, 网络拓扑结构, 系统安全性, 文献计量, CiteSpace

# A Review of Complex Networks in the Field of Domestic Air Transport in China

## —A Visualization Research and Analysis Based on CiteSpace

Guanchao Wang

School of Air Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Jan. 18<sup>th</sup>, 2024; accepted: Mar. 15<sup>th</sup>, 2024; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

With the rapid development of the aviation industry in China, complex network research has become an important tool to understand and optimize the operation of the aviation field. This paper takes domestic air transportation as the research object, and summarizes the related complex network research through the visualization research and analysis based on CiteSpace. This paper introduces the background of complex network application in aviation field. Air transport is a system involving many aspects and multi-level relationships. Complex network theory provides a powerful tool for analyzing and understanding these complex relationships. Through literature investigation and data analysis, the main trends and hot issues of complex network research in domestic air transportation are summarized. It is found that China's aviation network presents the characteristics of multi-level and complex interaction, and the focus of the research is mainly focused on the network topology, safety, efficiency and so on. These studies provide important clues for understanding the complex network of domestic air transportation. The knowledge map of related research is presented through the CiteSpace visual tool. This visualization provides an intuitive and clear picture of the research landscape, showing key papers in each field, scholar collaboration networks, and more. This not only helps researchers to better understand research hotspots and trends, but also provides a reference for future research directions.

## Keywords

Air Transport, Complex Networks, Network Topology, System Security, Bibliometrics, CiteSpace

Copyright © 2024 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

近年来,我国航空运输行业取得了令人瞩目的发展成就,成为国家经济和社会发展的重要支柱。随着航空业务规模的不断扩大和航班网络的不断拓展,航空运输系统逐渐呈现出复杂、庞大的特征。为了更好地理解和优化这一复杂系统,学者们纷纷将复杂网络理论引入航空领域的研究中,以揭示网络结构、动态演化规律及其对系统运作的影响[1]。

本文旨在通过基于 CiteSpace 的可视化研究分析,全面综述我国国内航空运输领域相关的复杂网络研究。随着复杂网络理论在不同领域的广泛应用,其在航空运输领域中的研究已经成为学术界的一个重要研究方向[2]。通过系统梳理国内航空运输复杂网络研究的发展历程、主要趋势以及存在的问题,本文旨在为深入理解和优化我国航空运输系统提供理论参考和科学指导[3]。

研究航空运输复杂网络的特征对于推动我国航空运输领域的创新发展、提高运输效率、加强安全管理具有重要意义[4]。通过引入可视化工具,本文将呈现相关研究的知识图谱,为学者们更好地了解研究热点、学科交叉点等提供直观而清晰的展示[5]。通过本文的研究,有望为我国国内航空运输复杂网络的进一步研究提供基础和启示,为航空运输系统的可持续发展贡献新的思路和方法[6]。

## 2. 数据来源和研究方法

### 2.1. 数据来源

本文所使用的数据均来自于中国知网(CNKI)的数据库。关键词为:“复杂网络”以及“航空”。时

间跨度为 2014 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日，手动去除会议、报纸、图书等文献类型，共得到中文文献 1492 篇。

## 2.2. 研究方法

本文利用陈超美博士团队基于 JAVA 平台开发的 CiteSpace 信息可视化软件，该软件是一款免费的多元、分时的可视化分析软件。对获得的文献记录分析机构及期刊分布，可以发现该研究领域的核心机构和期刊[7]；对参考文献与关键词共现分析，可以发现该研究领域的演化路径、关键经典文献；对关键词共现分析，可以发现该研究领域的研究热点；对膨胀词进行探测，可以找到该研究领域的发展前沿[8]。

## 3. 研究现状分析

### 3.1. 年度发文量分析

由图 1 可知从 2014 年到 2023 年，航空运输相关的复杂网络方面的研究，每一年的发文量统计。图 1 表明，航空运输领域相关的复杂网络研究发文数量呈波浪式增长趋势，该领域现已受到广泛关注，呈现蓬勃发展的态势。

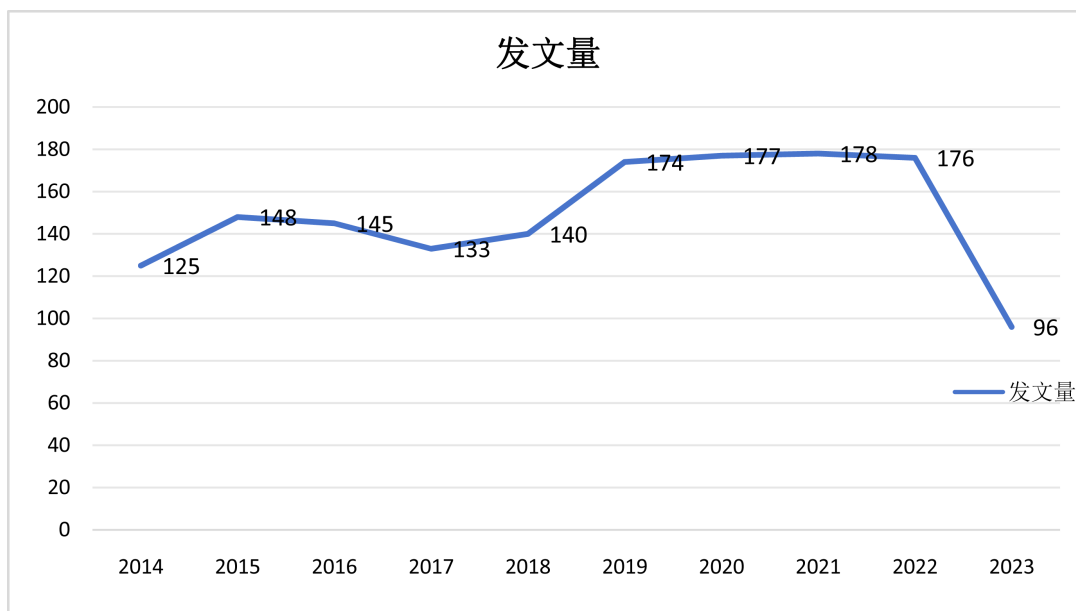


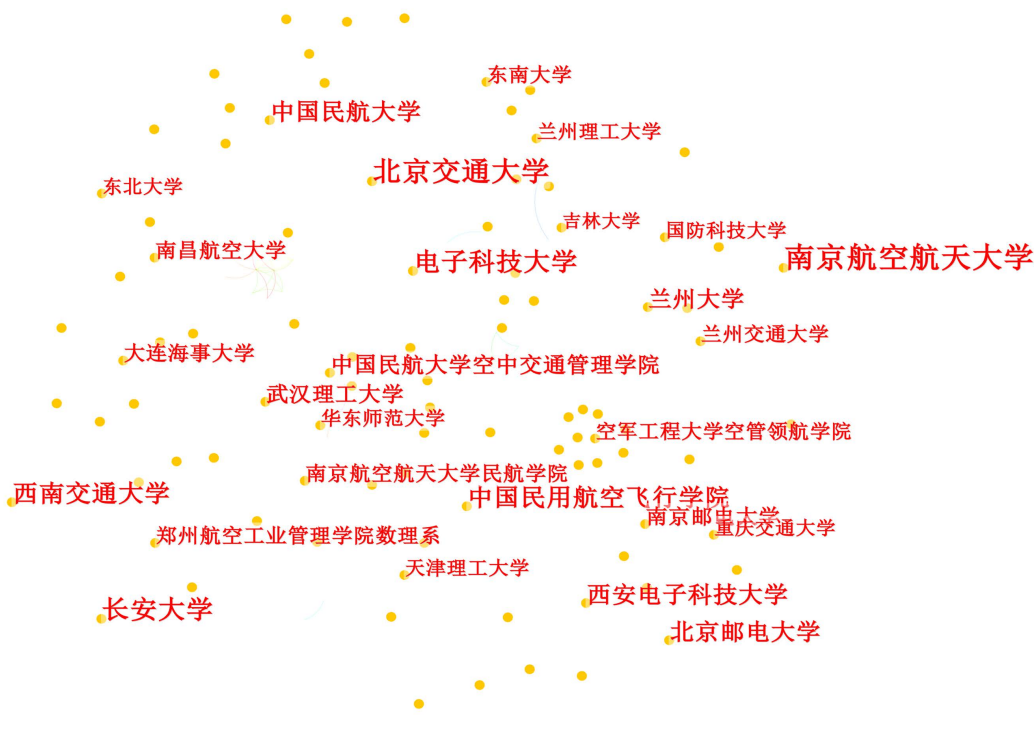
Figure 1. Statistics of the number of papers published in the field of complex networks related to air transport from 2014 to 2023  
图 1. 2014~2023 年航空运输相关的复杂网络研究领域文献发文量统计图

### 3.2. 核心机构与作者分析

#### 3.2.1. 核心机构分析

对发文机构分析，能了解不同机构之间的合作关系，评估其在研究领域中的地位。图 2 显示的是频次出现在 10 次及以上的机构，各个节点代表不同发文机构，该图谱共有 289 个节点，88 条连线，密度为 0.0021。统计得到，如表 1 所示，发文量前五名的机构分别是南京航空航天大学、北京交通大学、长安大学、电子科技大学和西南交通大学，发文数量分别为 50、40、32、29、26。从图中可以看出来，发文机构数量和文献数量较多，但是机构之间的连线较少，在一定程度上说明研究机构之间的协作和资源共享不够多，说明航空运输领域相关的复杂网络研究上，各机构之间交流相对封闭。

CiteSpace, v. 6.1.R6 (64-bit) Basic  
 March 8, 2024 at 10:07:56 AM CST  
 CSSCI: E:\读二\数据集\data for citespaceldata  
 Timespan: 2014-2023 (Slice Length=1)  
 Selection Criteria: g-index (k=25), LRF=3.0, L/N=10, LBY=5, e=1.0  
 Network: N=289, E=88 (Density=0.0021)  
 Largest CC: 10 (3%)  
 Nodes Labeled: 1.0%  
 Pruning: None



**Figure 2.** Statistical chart of research institutions in the field of complex networks related to air transport from 2014 to 2023  
**图 2.** 2014~2023 年航空运输相关的复杂网络研究领域研究机构统计图

**Table 1.** The top five research institutions in terms of the number of publications  
**表 1.** 发文量前五的研究机构

序号	机构	篇数
1	南京航空航天大学	50
2	北京交通大学	40
3	长安大学	32
4	电子科技大学	29
5	西南交通大学	26

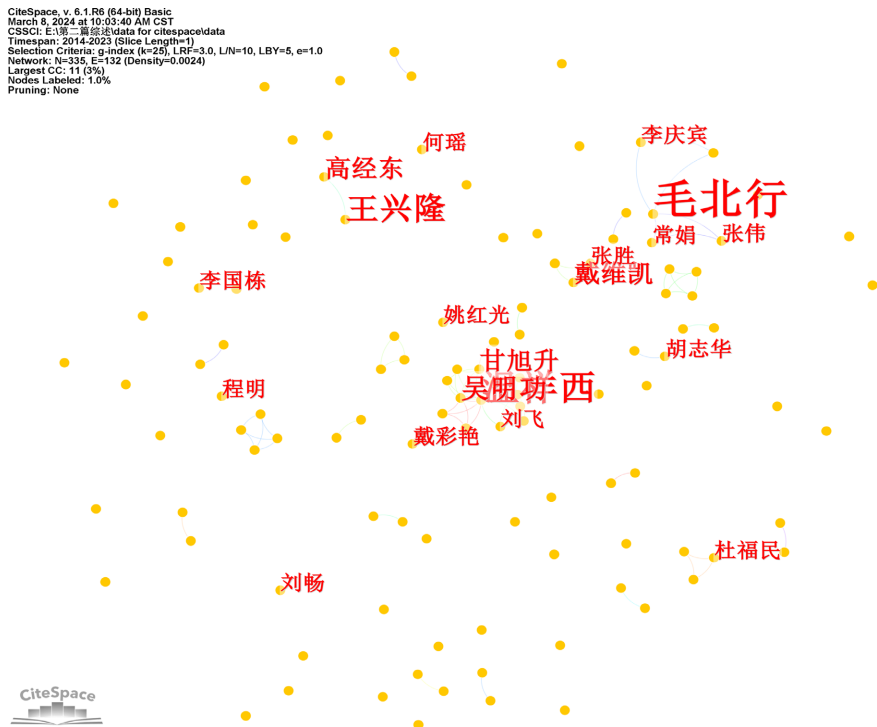
### 3.2.2. 核心作者分析

通过对发文作者及其合作网络的分析，可以识别出在该领域内贡献最大的学者，了解他们的研究方向和成就。另外，有助于建立学术网络，找到不同学者之间的合作关系，发现研究领域内的合作模式，也可以找到在相关领域内有影响力的学者，有助于建立合作关系和寻找潜在的合作伙伴。图 3 展示了航空运输相关的复杂网络研究领域的主要作者之间的合作关系图谱，该图谱包括 335 个节点和 132 条边，整体密度为 0.0024。

另外表 2 列出了国内航空运输领域复杂网络研究的作者发文量排名。毛北行、温翔西、王兴隆分别占据前三名，发文数量分别为 16、10 和 7 篇。

**Table 2.** The top three prolific authors with the largest number of publications  
**表 2.** 发文量前三的高产作者

序号	作者	篇数
1	毛北行	16
2	温翔西	10
3	王兴隆	7



**Figure 3.** Statistical chart of the authors of the research field of complex networks related to air transport from 2014 to 2023  
**图 3.** 2014~2023 年航空运输相关的复杂网络研究领域研究作者统计图

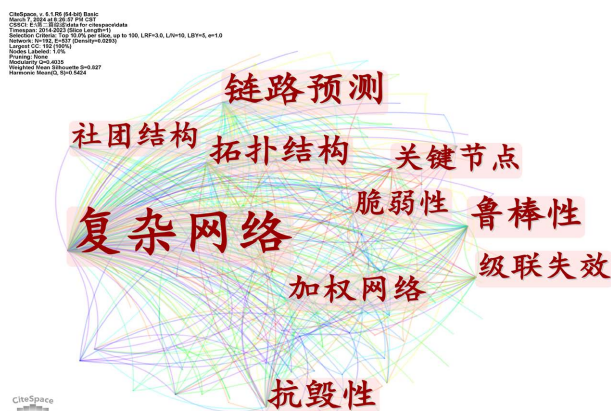
## 4. 研究热点与趋势

### 4.1. 关键词共现网络分析

通过高频关键词分析，能够找出现有研究的热点，从而为未来航空运输领域复杂网络的研究和发展奠定知识基础。图 4 是软件运行出的关键词共现图谱，显示出该领域出现次数前十的关键词。该图谱包括 192 个节点和 537 条边，整体密度为 0.0293。从图中能清晰地看出，“复杂网络”关键词出现频率最高，出现次数为 1337 次，远超排名第二的关键词“链路预测”和排名第三的关键词“鲁棒性”，分别出现 94 和 90 次。

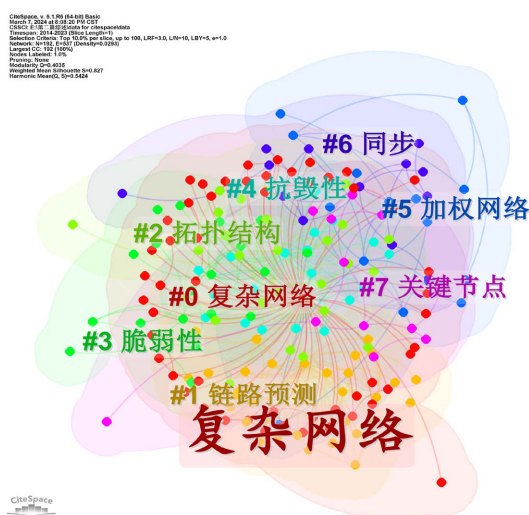
### 4.2. 关键词聚类网络分析

为深入了解国内航空运输相关的复杂网络研究领域不同时期研究现状的结构特点，对该领域关键词进行聚类分析。经过多次聚类得到关键词聚类分析图，如图 5 所示。其 Q 值为 0.4035 > 0.3，说明社团结构显著，S 值为 0.827 > 0.7，说明聚类是高效的。图谱中主要聚类有：#0 复杂网络、#1 链路预测、#2 拓扑结构、#3 脆弱性、#4 抗毁性[9]、#5 加权网络、#6 同步、#7 关键节点。



**Figure 4.** Co-occurrence of keywords in the field of complex networks related to air transport from 2014 to 2023  
**图 4.** 2014~2023 年航空运输相关的复杂网络研究领域关键词共现图

另外通过关键词聚类，得到了一个研究热点的时间线图，如图 6 所示。展示了不同聚类之间的关系强度和演化时间跨度。在这个时间线图中，同一聚类内的关键词按照时间顺序排列在同一条线上，生动地呈现出研究领域的发展趋势。在时间线视图中，复杂网络、链路预测、社团结构、拓扑结构、鲁棒性等是出现最早，这些聚类的关注度和影响力极高，随后脆弱性、加权网络、多层网络被学界重点关注，由此开始了对航空运输相关的复杂网络研究领域的探索。自 2014 年开始复杂网络、链路预测，2016 年开始脆弱性、加权网络研究之后，该领域聚类相关成果开始增多，且聚类之间联系密切，学者们对国内航空运输相关的复杂网络研究领域的不同方面模式开始进行研究，研究内容不断细化。



**Figure 5.** Keyword clustering diagram of complex networks related to air transport from 2014 to 2023  
**图 5.** 2014~2023 年航空运输相关的复杂网络研究领域关键词聚类图

### 4.3. 关键词突现分析

关键词突现指在特定时间段内文献中出现频率显著增加的关键词，这些突现的关键词可以揭示出某一领域中研究的热点和重点，具有重要的研究作用。关键词突现的越显著，对应着更高的关注度[5]。通过 CiteSpace 软件分析，获得了 2014 年至 2023 年之间国内航空运输相关的复杂网络研究领域突现强度排名前十四的关键词。通过分析这些突现词的出现情况，可以探讨该领域研究主题的变化趋势。在图中，

突现词用于表示研究领域中出现变化的关键词，Year 表示这些关键词的原文发表年份，Strength 则代表突现强度。Begin 和 End 标明了突现词的出现时间范围，而红色加粗线则突出显示了突现词的时间段。可以看出“小世界”和“同步”二词都最早出现于 2014 年，分别持续了一年和四年。“航线网络”一词出现最晚，从 2021 年持续到 2023 年。

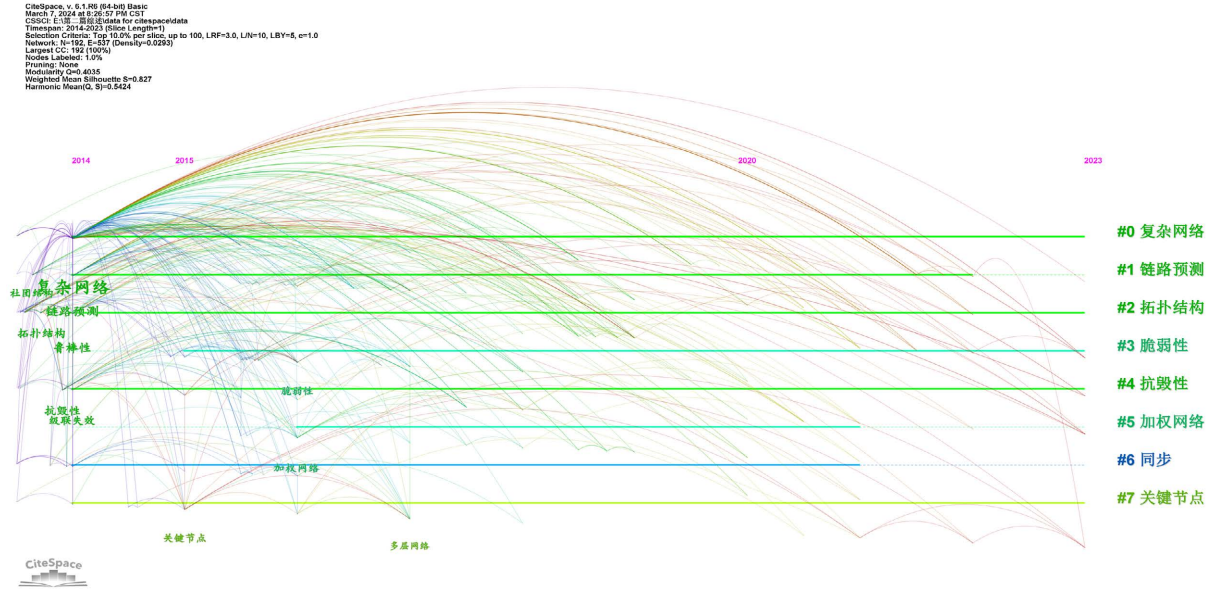


Figure 6. Timeline of keywords in the field of complex networks related to air transport from 2014 to 2023  
图 6. 2014~2023 年航空运输相关的复杂网络研究领域关键词时间线图

### Top 14 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2014 -2023
小世界	2014	3.13	2014	2015	<b>■</b> ■■■■■■
同步	2014	3.06	2014	2018	<b>■</b> ■■■■■■ ■■■■■■
混沌同步	2015	3.19	2015	2016	■ <b>■</b> ■■■■■■
无标度	2015	2.66	2015	2016	■ <b>■</b> ■■■■■■
交通网络	2015	2.6	2015	2017	■ ■ <b>■</b> ■■■■■■
度分布	2016	2.95	2016	2017	■ ■ <b>■</b> ■■■■■■
社区划分	2016	2.46	2016	2017	■ ■ <b>■</b> ■■■■■■
蓄意攻击	2016	2.46	2016	2017	■ ■ <b>■</b> ■■■■■■
加权网络	2016	3.38	2017	2018	■ ■ ■ <b>■</b> ■■■■■■
社区结构	2017	2.94	2017	2020	■ ■ ■ ■ <b>■</b> ■■■■■■
网络优化	2019	3.66	2019	2021	■ ■ ■ ■ ■ <b>■</b> ■■■■■■
多层网络	2017	2.95	2019	2020	■ ■ ■ ■ ■ ■ <b>■</b> ■■■■■■
可达性	2019	2.69	2019	2020	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ <b>■</b> ■■■■■■
航线网络	2019	2.93	2021	2023	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ <b>■</b> ■■■■■■

Figure 7. Keyword emergences in the field of complex networks related to air transport from 2014 to 2023  
图 7. 2014~2023 年航空运输相关的复杂网络研究领域关键词突现图

## 5. 结论

通过对我国国内航空运输领域复杂网络的研究综述,本文基于 CiteSpace 的可视化分析揭示了该领域的关键主题和研究动态。在这一研究中,本文得出了以下几点结论:

**研究热点与趋势:**通过 CiteSpace 的分析,我们发现 2014 年至 2023 年期间,我国国内航空运输领域的研究主要集中在复杂网络、链路预测、拓扑结构等几个热点主题上。未来的研究可能会受到社区结构、网络优化和航线网络等因素的影响,呈现出深入社区结构研究、强调网络优化技术应用、关注航线网络的演进、强调综合研究与跨领域合作等趋势[10]。

**关键节点与核心作者:**本文通过可视化工具突显了在复杂网络研究中的关键节点和核心作者。这些关键节点可能是行业发展的关键推动者[11],而核心作者的工作对于推动领域研究的深入发展起到了积极的作用。

**研究局限与未来方向:**尽管已经取得了一些有益的发现,但我们也认识到本研究存在一些局限性,如对外部因素未考虑。外部因素例如政策变化、经济波动或突发事件可能对航空运输网络产生重大影响,但这些因素可能未被充分考虑。未来的研究可以通过深入挖掘政策导向的趋势、拓展研究视角等方面来进一步完善和深化我们的理解[12]。

总的来说,本研究对于理解我国国内航空运输领域复杂网络的结构和演化规律提供了有益的参考。我们期望这一研究能够为未来相关领域的深入研究和实践应用提供有力的支持。

## 参考文献

- [1] 王姣娥,莫辉辉.中国航空网络演化过程的复杂性研究[J].交通运输系统工程与信息,2014,14(1):71-80.  
<https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2014.01.001>
- [2] 曾小舟,唐笑笑,江可申.基于复杂网络理论的中国航空网络结构实证研究[J].交通运输系统工程与信息,2011,11(6):175-181.  
<https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2011.06.002>
- [3] 党亚茹,彭丽娜.基于复杂网络中心度的航空货运网络层级结构[J].交通运输系统工程与信息,2012,12(3):109-114.  
<https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2012.03.002>
- [4] 彭语冰,周莹莹.我国航空客运网络结构研究[J].经济地理,2009,29(11):1850-1854.
- [5] 隋东,康金霞.基于复杂网络理论的中国航路网络抗毁性分析[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2016,32(3):295-302.  
<https://doi.org/10.19492/j.cnki.1672-0946.2016.03.010>
- [6] 冯霞,贾宏璨.考虑节点失效和边失效的航空网络鲁棒性[J].北京交通大学学报,2021,45(5):84-92.
- [7] 王红勇,赵焱飞,温瑞英.基于复杂网络的空中交通复杂性度量方法[J].系统工程,2014,32(3):112-118.
- [8] 王岩韬,刘毓.基于复杂网络的航班运行风险传播分析[J].交通运输系统工程与信息,2020,20(1):198-205.  
<https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2020.01.029>
- [9] 党亚茹,丁飞雅,高峰.我国航班流网络抗毁性实证分析[J].交通运输系统工程与信息,2012,12(6):177-185.  
<https://doi.org/10.16097/j.cnki.1009-6744.2012.06.001>
- [10] 卓志强,姚红光.“一带一路”沿线航空网络结构及其鲁棒性研究[J].物流科技,2018,41(5):78-84.  
<https://doi.org/10.13714/j.cnki.1002-3100.2018.05.020>
- [11] 罗赞骞,汤锦辉,赵钟磊,等.中国航空交通网络时变和多层次特性分析[J].复杂系统与复杂性科学,2014,11(4):4-9.  
<https://doi.org/10.13306/j.1672-3813.2014.04.002>
- [12] 党亚茹,丁飞雅,史丽媛,等.基于航线失效模式下的航班流网络抗毁性分析[J].中国民航大学学报,2014,32(1):64-69.