

# 低碳交通与交通治堵非协调耦合关系识别研究

周佳欣, 刘巍巍

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年9月14日; 录用日期: 2024年10月16日; 发布日期: 2024年10月25日

## 摘要

以2022年拥堵前十的城市群2013~2022年的低碳交通与交通治堵协调耦合关系为研究对象, 构建低碳交通与交通治堵的评价指标体系, 依据判定标准对其进行识别。结果表明: 1) 随着社会不断发展, 城市群的低碳交通水平都有不同幅度的提升且整体低碳交通的发展水平较快, 交通治堵水平的提升相对缓慢但整体增长向好; 2) 交通治堵与低碳交通的协调耦合关系具有明显的阶段性特征, 且不同类型城市的阶段性特征有所区别, 分别经历了低水平协调耦合、拮抗阶段和磨合阶段, 一线拥堵城市在2013~2018年左右处于磨合非协调耦合阶段, 在2018年以后慢慢转向拮抗非协调耦合阶段, 2022年以后已经开始由协调逐步向高水平协调耦合迈进; 新一线城市群也在2021年前后进入了拮抗阶段; 虽然近期两者的协调耦合关系整体向好, 但离高水平的协调耦合关系仍任重道远; 二线城市整体还是处于磨合阶段, 未来几年预测会步入拮抗阶段。

## 关键词

低碳交通, 交通治堵, 城市群, 非协调耦合, 判别

# Identification of Uncoordinated Coupling Relationship between Low-Carbon Transportation and Traffic Congestion Management

Jiixin Zhou, Weiwei Liu

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Sep. 14<sup>th</sup>, 2024; accepted: Oct. 16<sup>th</sup>, 2024; published: Oct. 25<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Taking the coordinated coupling relationship between low-carbon transportation and traffic

congestion of the top ten congested city clusters from 2013 to 2022 as the research object, we constructed the evaluation index system of low-carbon transportation and traffic congestion, and identified them based on the judgment criteria. The results show that: 1) With the continuous development of society, the level of low-carbon transportation in urban agglomerations has different magnitudes of improvement and the overall level of development of low-carbon transportation is faster, the level of traffic congestion is relatively slow to improve but the overall growth is good; 2) The coordination and coupling relationship between traffic congestion and low-carbon transportation has obvious stage characteristics, and different types of cities have different stage characteristics, respectively, have experienced the coordination and coupling of the low level, antagonistic stage and grinding stage, first-tier congested cities were in the grinding non-coordinated coupling stage around 2013~2018, after 2018 slowly turned to antagonistic non-coordinated coupling stage, after 2022 have begun to gradually move from the coordination to the high level of coordinated coupling; the new first-tier city clusters also entered the antagonistic stage before and after 2021. Although the overall coordination and coupling relationship between the two has been improving recently, there is still a long way to go before a high-level coordination and coupling relationship; second-tier cities are still in the teething stage as a whole, and are predicted to enter the antagonistic stage in the next few years.

## Keywords

Low-Carbon Transportation, Traffic Congestion, Urban Agglomeration, Uncoordinated Coupling, Discrimination

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

根据《党的二十大报告》指出, 减缓交通治堵、减少二氧化碳的排放是“交通强国”“碳达峰碳中和”国家战略的基本目标, 是实现全球城市可持续发展的重大核心问题。现如今, 低碳已成为全世界共同关注的问题, 中国已将低碳纳入经济发展的硬约束中。然而, 在我国, 一些城市的交通治堵问题日益突出, 给道路交通的碳减排带来了很大的阻力。中国由于其巨大的人口和经济总量, 机动车拥有和使用量居高不下, 已产生常态化拥堵现象。而拥堵状态下, 机动车碳排放量是设计速度下的 4~8 倍; 进入 21 世纪以来全球碳排放量增长 40%, 中国的碳排放量约占世界碳排放总量的三分之一, 居世界首位, 其中交通碳排放的贡献率就达到了 25% [1]。城市交通治堵以及碳排放是当前全球面临的重要问题。同时交通治堵、交通碳排放也是城市交通研究中的热点和难点问题。传统的交通治堵措施往往以提高道路容量为主, 但忽视了交通对环境的负面影响。实际上城市交通治堵会导致潜在的交通需求量, 同时交通碳减排也与交通拥挤程度有着密切相关性。低碳经济的目标引发了对中国各种碳减排措施的思考。研究低碳经济与交通治堵之间的平衡, 对碳减排具有重要意义。然而在已有研究中, 交通治堵和碳减排研究往往是分离的, 缺乏综合考虑两者关联性的研究。同时也缺少对于城市群交通治堵与低碳交通两者交互关系的一个综合测度。因此, 有必要开展交通治堵与降碳一体化的研究, 以探索减少交通治堵同时降低交通碳排放的有效方法。

## 2. 研究基础

### 2.1. 研究城市群概况

参考国务院颁发的城市规模划分标准, 本文现将研究的十个城市按照常住人口以及经济的结合划分

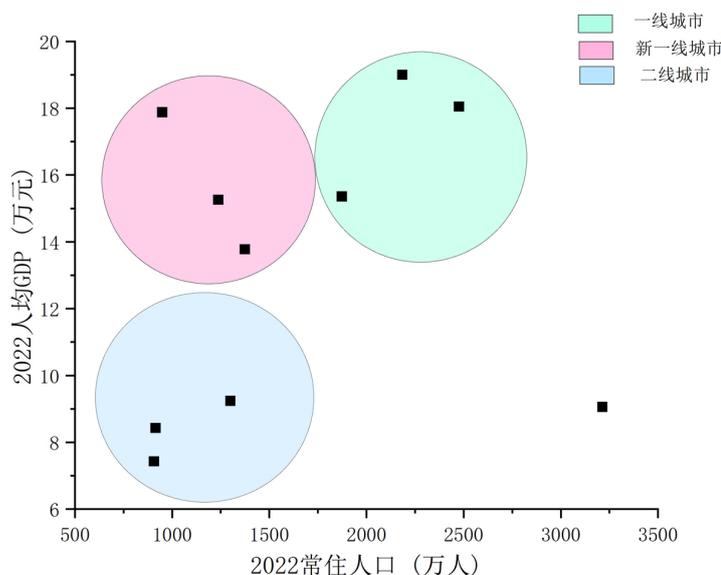
标准, 将其分为三类: , 其中北京、上海及广州为一线城市; 杭州、重庆、南京以及武汉为新一线城市; 西安、沈阳及长春为二线城市。

由表 1 和图 1 可以看出表 1 展示了 2022 年中国 10 个主要城市的人口和人均 GDP 数据。从中可以看出, 这些城市在常住人口和人均 GDP 方面存在显著差异。从图 1 来看, 城市可以根据人口和人均 GDP 分为三个类别: 一线城市、新一线城市和二线城市。根据图中显示的城市分类, 一线城市如北京和上海不仅拥有较高的人均 GDP, 还具有中等或较大的常住人口规模。新一线城市如杭州和南京在人口上略低于一线城市, 但人均 GDP 也较为可观。二线城市如长春、沈阳在人口和人均 GDP 方面则相对较低。

**Table 1.** Population and economic situation of urban agglomerations in 2022

**表 1.** 2022 城市群人口及经济情况

	2022 常住人口(万人)	2022 人均 GDP (万元)
重庆	3213.34	9.06
北京	2184.3	19
上海	2475.89	18.05
杭州	1237.6	15.26
长春	906.54	7.43
南京	949.11	17.88
广州	1873.41	15.36
西安	1299.59	9.24
沈阳	914.7	8.43
武汉	1373.9	13.78



**Figure 1.** Classification map of urban agglomerations in 2022

**图 1.** 2022 城市群分类图

总体来看,城市的发展呈现出明显的层级结构,一线城市在人均 GDP 和经济发展潜力上占据显著优势。不同类型的城市在发展过程中表现出不同的阶段性特征,一线城市通常经历了从低水平协调耦合、拮抗阶段到磨合阶段的发展路径,而新一线城市和二线城市则相对滞后,当前仍处于从拮抗阶段向磨合阶段转型的过程中。随着时间的推移,各类城市在低碳交通与交通治堵的协调发展上逐渐趋于改善,但整体而言,城市间的发展阶段差异依然显著。

## 2.2. 指标体系

本研究主要涉及低碳交通与交通治堵两者发展水平评价以及二者之间非协调性耦合判别,所以首先构建两者的评价指标体系,其次对两者之间的关系进行判别,借鉴以往的一些研究成果,并结合实际情况,按照科学性、层次性、可得性等原则构建低碳交通与交通治堵评价指标体系(见表 2),讨论既有的研究,采用压力-状态-响应模型来对低碳交通评价指标体系进行构建。压力方面选取可吸入颗粒物浓度(PM10)、细颗粒物(PM2.5) [2]、城市道路交通噪声来表征;状态方面选取新能源汽车产量、新能源汽车保有量、建成区绿化覆盖率[3]来表征;响应方面选取交通二氧化碳排放量、公共类充电桩数量、全社会用电量交通运输、仓储及邮政业来表征;其次,在深入研究城市交通治堵和低碳交通相互作用演化过程的基础上,从基础建设、车辆、经济等因素出发,分析了城市拥堵与交通基础设施建设、公共交通运营里程、产出效益对城市低碳交通的影响(高妍南,郝晴,2021)。交通治堵评价指标体系从设施供给、运行参数、状态参数三个维度构建。设施供给主要选取了人行道面积、道路长度、建成区城市道路网密度、人均道路面积来表征;运行状态方面选取了旅客周转量、货物周转量、公交营运线路网长度、城市轨道交通运营线路总长度四个指标来表征;产出效益主要选用了民用车辆拥有量、事故发生数、交通设施建设用地面积、交通运输行业生产总值来表征[4]。

**Table 2.** Evaluation indicators system for low-carbon transportation and traffic congestion control  
**表 2.** 低碳交通与交通治堵评价指标体系

系统	准则	指标	E-熵值	D-效用值	W-权重
低碳交通 测度指标	压力(P)	可吸入颗粒物浓度(PM10)*	0.9911	0.0089	0.0120
		细颗粒物(PM2.5)*	0.9867	0.0133	0.0180
		城市道路交通噪声*	0.9747	0.0253	0.0343
	状态(S)	新能源汽车产量	0.7757	0.2243	0.3042
		新能源汽车保有量	0.8004	0.1996	0.2708
		建成区绿化覆盖率(市辖区)	0.9932	0.0068	0.0093
		交通 CO <sub>2</sub> 排放量*	0.9874	0.0126	0.0171
	响应(R)	公共类充电桩数量	0.7804	0.2196	0.2979
		全社会用电量交通运输、仓储和邮政业*	0.9732	0.0268	0.0363
交通治堵 测度指标	基础设施	人行道面积市辖区	0.9347	0.0653	0.1021
		道路长度市辖区	0.9469	0.0531	0.0831
		建成区城市道路网密度市辖区	0.9588	0.0412	0.0644
		人均道路面积市辖区	0.9604	0.0396	0.0619

续表

运营参数	公路旅客周转量	0.9031	0.0969	0.1515
	公路货物周转量	0.9314	0.0686	0.1073
	公共交通营运线路网长度	0.9663	0.0337	0.0527
交通治堵 测度指标	城市轨道交通运营线路总长度	0.9272	0.0728	0.1139
	民用车辆拥有量*	0.9875	0.0125	0.0195
状态参数	交通事故发生数*	0.9806	0.0194	0.0303
	建设用地面积交通设施用地	0.9223	0.0777	0.1214
	交通运输行业生产总值	0.9412	0.0588	0.0920

### 2.3. 数据来源

本文原始指标数据来自 2013~2022 年《中国统计年鉴》、各省市统计年鉴、各省市统计局、交通局等。在数据使用之前, 为了避免指标体系量纲的差异, 本文首先对为消除数据之间的量纲差异, 采用数量极化处理模型进行无量纲处理, 其中正向指标为  $z_{ij} = (x_{ij} - x_{j\min}) / (x_{j\max} - x_{j\min})$ ; 负向指标为  $z_{ij} = (x_{j\max} - x_{ij}) / (x_{j\max} - x_{j\min})$  [5]。

### 2.4. 研究方法

1) 首先, 该文采用熵权法计算低碳交通与交通治堵质量综合得分

$$p_{ij} = z_{ij} / \sum_{i=1}^m z_{ij} \quad (1)$$

其中:  $P_{ij}$  为指标因子所占比重,  $Z_{ij}$  为标准化值

2) 利用信息熵定义计算信息熵  $e_j$

$$e_j = -\ln(n) - 1 \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (2)$$

当  $P_{ij} = 0$  时, 令

$$\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0 \quad (3)$$

3) 依据信息熵计算公式, 计算第  $j$  个指标的  $e_1$ 、 $e_2$ 、 $e_k$ , 利用信息熵计算第  $j$  个指标权重  $\lambda_j$ , 有

$$\lambda_j = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^n e_i} \quad (4)$$

4) 利用权重  $\lambda_j$  乘以标准化值  $Z_j$ , 其中交通治堵指标的标准化值用  $a$  表示, 交通低碳环境指标的标准化值用  $b$  表示, 计算交通治堵与低碳交通环境综合分值, 有

$$UP_j = \lambda_j a_j, \quad UE_j = \lambda_j b_j \quad (5)$$

其中:  $UP_j$  为交通治堵综合分值,  $UE_j$  为交通低碳环境综合分值。

其次已有研究表明, 交通碳减排与交通拥挤属于一对交互耦合的时空响应函数, 两大系统之间经过不断地进行物质、能量和系统等要素的耦合流动引起系统熵变, 进而形成一对耗散结构体[6]。一方面交通治

堵可能通过机动车保有量增长、经济增长、交通运营管理等对低碳环境产生胁迫,也有可能基于人口、产业、设施的地理集聚而减少对环境的“扰动”;另一方面低碳交通又通过生活环境等对城市发展产生约束。

1) 本文利用物理学中的容量耦合(capacitive coupling)系数模型[7],计算出交通治堵与低碳交通环境的耦合协调度

$$C = [(UE \cdot UP) / (UP + UE)(UP + UE)]^{1/2} \quad (6)$$

通常耦合度  $C$  介于 0~1 之间,当  $C$  越大(趋近于 1)时,两大系统之间越接近有序状态,反之亦然。

2) 计算协调耦合度. 由于耦合度  $C$  是表征耦合的时序状态,但在部分时段不能充分反映交通治堵与低碳交通环境整体的协同效应,对判定交通治堵与低碳交通环境的协调耦合度的意义不大。因此,本文利用协调耦合度来判定交通治堵与低碳交通环境协调耦合关系,计算模型如下

$$D = (C \times T)^{1/2}, T = \alpha UP + \beta UE, \quad (7)$$

$$ND = 1 - D \quad (8)$$

其中:  $D$  为协调耦合系数;  $ND$  为非协调耦合系数;  $T$  为交通治堵与低碳交通环境耦合调和指数,反映两大系统对整体系统的贡献度;  $\alpha$ 、 $\beta$  为待定系数,由于交通治堵与低碳交通环境系统同等重要,令  $\alpha$ 、 $\beta$  取值 0.5。

3) 低碳交通与交通治堵非协调耦合判别

在不同时段,不同城市间而表现相异的耦合状态,这些耦合状态可能是协调的,也可能是非协调的。基于协调性与非协调性之间的互动关联,文中在已有耦合协调函数的基础上,构建非协调性耦合判别函数,具体如下:并依据非协调性耦合度、参考先前协调性耦合度研究成果而划分为如下 4 个阶段(见图 2):低水平非协调耦合( $0 < ND \leq 0.2$ )、拮抗非协调耦合( $0.2 < ND \leq 0.5$ )、磨合非协调耦合( $0.5 < ND \leq 0.8$ )和高水平非协调耦合( $0.8 < ND < 1.0$ ) 4 个阶段[8]。

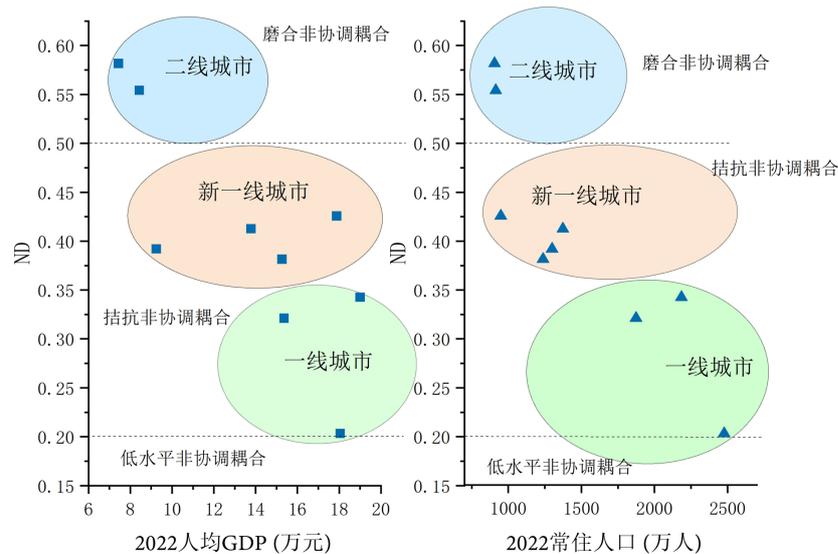


Figure 2. Schematic diagram of  $ND$  stages of urban agglomerations  
图 2. 城市群  $ND$  阶段示意图

### 3. 结果分析

利用模型(1)~(3)计算交通治堵与低碳交通环境系统的熵权值和权重(见表 2),利用模型(4)~(8)计算交通治堵与低碳交通环境综合分值、耦合调和指数、协调耦合度和非协调耦合度(见表 3)。

**Table 3.** Coupling and coordination relationship between traffic congestion control and low-carbon transportation  
**表 3.** 交通治堵与低碳交通的耦合协调关系判别

城市	年份	<i>UE</i>	<i>UP</i>	<i>T</i>	<i>D</i>	<i>ND</i>
上海	2013	0.0626	0.3978	0.2302	0.3972	0.6028
	2014	0.0804	0.3499	0.2152	0.4096	0.5904
	2015	0.1013	0.4054	0.2534	0.4502	0.5498
	2016	0.1449	0.3127	0.2288	0.4614	0.5386
	2017	0.1807	0.3282	0.2545	0.4935	0.5065
	2018	0.2585	0.3350	0.2968	0.5425	0.4575
	2019	0.2953	0.3964	0.3458	0.5849	0.4151
	2020	0.4500	0.3685	0.4092	0.6381	0.3619
	2021	0.6739	0.4642	0.5691	0.7479	0.2521
	2022	0.9193	0.4381	0.6787	0.7966	0.2034
杭州	2013	0.0871	0.1610	0.1241	0.3441	0.6559
	2014	0.0987	0.1652	0.1319	0.3573	0.6427
	2015	0.1098	0.1715	0.1407	0.3704	0.6296
	2016	0.1220	0.1815	0.1517	0.3857	0.6143
	2017	0.1327	0.1982	0.1654	0.4027	0.5973
	2018	0.1647	0.2043	0.1845	0.4283	0.5717
	2019	0.1828	0.2188	0.2008	0.4472	0.5528
	2020	0.2229	0.2368	0.2299	0.4793	0.5207
	2021	0.2897	0.3032	0.2964	0.5444	0.4556
	2022	0.4460	0.3279	0.3870	0.6184	0.3816
沈阳	2013	0.0754	0.1927	0.1340	0.3471	0.6529
	2014	0.0768	0.2104	0.1436	0.3566	0.6434
	2015	0.0771	0.2159	0.1465	0.3592	0.6408
	2016	0.0846	0.1988	0.1417	0.3601	0.6399
	2017	0.0811	0.2304	0.1557	0.3697	0.6303
	2018	0.0906	0.2399	0.1653	0.3840	0.6160
	2019	0.0913	0.2490	0.1701	0.3883	0.6117
	2020	0.0933	0.2763	0.1848	0.4007	0.5993
	2021	0.1161	0.2932	0.2046	0.4295	0.5705
	2022	0.1378	0.2864	0.2121	0.4457	0.5543

注: *UP*、*UE*、*T*、*D*、*ND* 的含义同公式。

### 3.1. 低碳交通环境综合水平

通过表 3 的数据可以看出, 2013~2022 年, 北京市为代表的一线城市群的低碳交通发展水平呈现出显著的快速增长趋势。从 2013 年的得分 0.0577 增长到 2022 年的 0.5305, 增长幅度超过了 9 倍。以杭州市为例的新一线城市, 低碳交通综合得分从 2013 年的 0.0871 增加到 2022 年的 0.4460, 增长幅度超过了 5 倍。长春市为代表的二线城市, 其低碳交通综合得分从 2013 年的 0.0777 增长到 2022 年的 0.1271, 增长幅度约为 2 倍。可以发现, 不同类别的城市群在低碳交通发展方面具有共同的历史趋势, 尽管发展速度有所不同, 但总体上都随着城市的发展而持续良性发展。在表 2 中新能源汽车产量比重(0.3042)、新能源汽车保有量比重(0.2708)以及公共类充电桩数量比重(0.2979)的权重系数较高, 表明以上指标对城市低碳交通的发展水平有很大的促进作用, 随着政府对新能源汽车政策的倾斜, 如购车补贴、免费停车和不限购等优惠措施的实施, 新能源汽车保有量迅速增长, 有效降低碳排放的同时政府通过规划新能源汽车产业发展、提供财政支持和优化营商环境, 推动了新能源汽车产量的提升, 确保了市场供给的丰富和消费者选择的多样化。此外, 公共类充电桩的加快建设, 通过规划布局、建设补贴和电网企业参与等措施, 有效缓解了充电难题, 提高了充电桩的覆盖率和可用性, 进一步推动了新能源汽车的普及和低碳交通的深入发展。

### 3.2. 交通治堵综合水平

从表 3 可以看出, 在 2013~2022 年期间, 交通治堵水平整体呈现上升态势。其中, 以杭州市为代表的新一线城市治堵水平增长较快, 交通治堵水平综合得分从 2013 年的 0.1610 上升至 2022 年的 0.3279, 增长幅度超过两倍。而一线城市和二线城市的增长幅度则相对较为缓慢。以北京市为例, 其交通治堵水平综合得分从 2013 年的 0.3272 增长至 2022 年的 0.3521。这可能是由于城市化的不断推进, 城市人口增多及人口流动性增强, 同时, 随着居民经济水平的提升, 私家车购买量迅速增长, 导致拥堵问题逐渐加剧, 对交通治堵产生了阻抗作用。以长春市为代表的二线城市, 交通治堵水平增长缓慢, 综合得分从 2013 年的 0.2302 增长至 2022 年的 0.2409, 增长幅度仅为 0.05 倍。这可能与公共交通网络覆盖不全、无法满足市民多样化出行需求, 以及城市轨道交通建设速度缓慢, 未能有效缓解地面交通压力有关。

表 2 中对交通治堵影响评价的指标中, 公路旅客周转量的权重系数为 0.1515、城市轨道交通运营线路总长度的权重系数为 0.1139、交通设施用地的权重系数为 0.1214, 这三者的权重占比较大。周转率对道路交通资源占用较大, 通过降低出行次数和出行距离(如提高运输效率、减少不必要的行驶距离等)对于缓解交通拥堵具有显著作用。同时, 发展完善的城市轨道交通网络能够有效缓解城市交通拥堵, 提高城市交通运行效率。此外, 合理的交通设施用地规划和利用对于提高道路通行能力、减少交通拥堵也具有重要意义。

### 3.3. 耦合协调度

由计算结果可知, 同类别的城市低碳交通与交通治堵随时间序列的推移所显现的阶段性特征相似, 因此本文分别在三类城市中选取上海、杭州、沈阳三个城市为代表, 按照顺序代表一线城市、新一线城市和二线城市来表征各类城市的低碳交通与交通治堵的协调发展水平。另外不同类别的城市群所表现得阶段性特征不同, 探究低碳交通与交通治堵的非协调耦合曲线如图 3 所示。

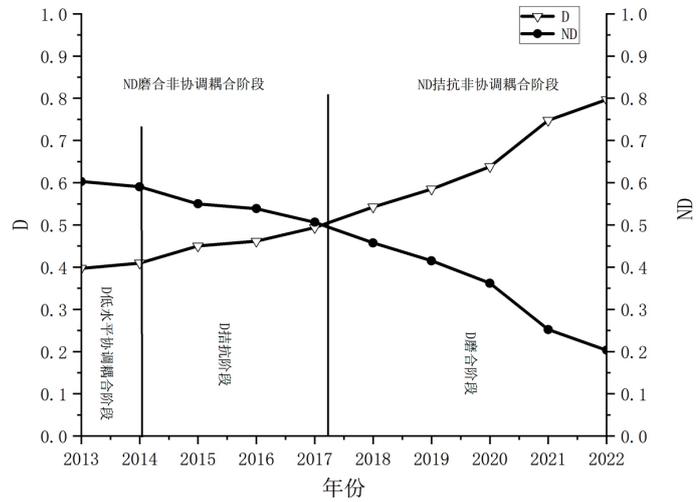
依据上文判定标准和图 3 可知, 各类别的城市的低碳交通和交通治堵非协调耦合曲线阶段性特征都较为明显, 分别对三个不同类别城市的非协调耦合关系进行分析:

首先, 上海市的低碳交通与交通治堵在 2013~2014 年的耦合协调系数  $D$  在 0.4 左右, 属于低水平的

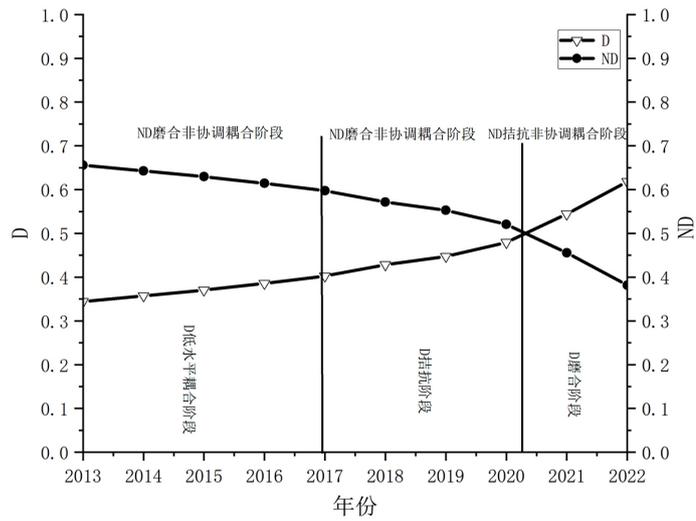
协调耦合阶段, 在 2013 年时低碳交通发展速度较慢, 同时随着城市化进程的加快, 汽车保有量不断增加, 交通治堵问题并未得到有效解决。2014~2017 年间, 上海市的低碳交通与交通治堵的耦合协调系数  $D$  值介于 0.4~0.5 之间, 步入拮抗阶段, 在面对低碳交通与交通治堵的挑战时, 已经显示出一定程度的改善。此阶段低碳交通逐渐得到重视并开始不断快速发展, 汽车拥有量的不断扩张所带来的交通拥堵加剧也开始引起人们的重视, 虽然仍处于拮抗阶段, 但已表现出两者协调发展的积极趋势。2017~2022 年间协调耦合度系数  $D$  介于 0.5~0.8 之间, 步入磨合阶段, 低碳交通与交通治堵形成拮抗非协调耦合关系, 从图 2 可以看出 2017 年非协调耦合曲线与协调耦合曲线出现交叉, 非协调耦合曲线出现下降, 协调耦合曲线上升, 说明了二者的非协调开始向协调方向发展, 同时政府出台了一系列政策并采取相应措施以加快两者协调发展的步伐, 例如实施多样化的交通管理措施, 如限行政策、拥堵收费和停车管理, 通过经济手段调控交通需求; 通过宣传教育、建设完善的步行和自行车道、提供公共自行车服务等措施, 鼓励市民采用步行、骑行等绿色出行方式, 减少对汽车的依赖; 通过推进电动车充电基础设施建设、实施灵活的工作时间制度、推广绿色物流模式等; 加大对低碳交通技术的研发和应用力度, 如智能交通系统、无人驾驶技术等, 以提高交通系统的智能化和低碳化水平等。这些措施有助于推动上海市在低碳交通与交通治堵方面的协调发展, 逐步迈向高水平的协调耦合阶段。

杭州市在 2013~2017 年的低碳交通与交通治堵的耦合协调系数  $D$  值介于 0.3~0.4 之间, 属于低水平的协调耦合阶段。此阶段, 杭州市的低碳交通发展较慢, 汽车保有量持续上升, 导致交通拥堵问题难以有效缓解。政府通过提高公共交通服务质量和吸引力、推行城市交通拥堵收费制度以及加强电动车和混合动力车的推广和应用, 努力应对这些挑战。2017~2020 年间, 杭州市的耦合协调系数  $D$  值提升至 0.4~0.5 之间, 进入拮抗阶段。低碳交通开始得到重视并逐渐发展, 但交通拥堵问题仍然严峻。政府实施了智能交通管理系统、推进“共享交通”模式以及推广企业绿色出行计划等措施, 以缓解交通压力。2020~2022 年间, 杭州市的耦合协调系数  $D$  值提升至 0.5~0.6 之间, 进入磨合阶段, 低碳交通与交通治堵之间的协调性进一步增强。政府通过建设绿色交通基础设施、推进智慧城市建设和建立低碳出行奖励机制, 鼓励市民选择低碳出行方式。相对于一线城市上海, 杭州市低碳交通与交通治堵的发展由不协调转向协调发展的步伐较晚, 离高水平协调耦合还任重道远, 不过, 随着低碳交通的不断发展和政府多项政策措施的实施, 杭州市的低碳交通与交通治堵的协调发展水平正逐步提升, 未来有望达到更高的协调耦合水平。

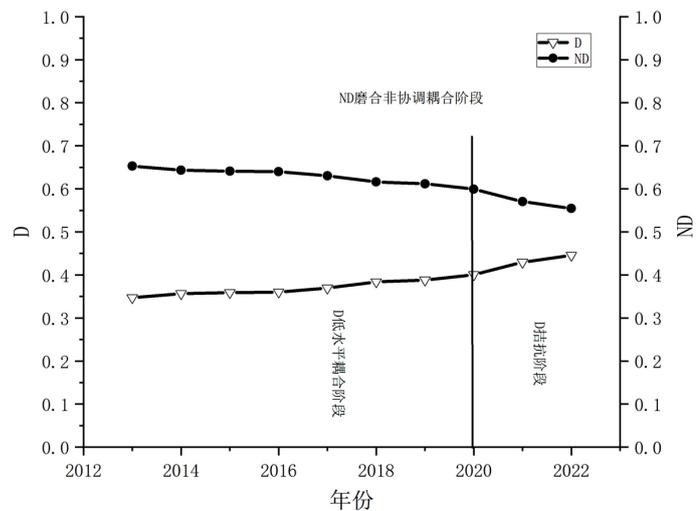
在 2013~2020 年期间, 沈阳市的低碳交通与交通治堵的耦合协调系数  $D$  值介于 0.3~0.4 之间, 处于中度失调阶段。这一阶段, 沈阳市低碳交通发展相对滞后, 汽车保有量显著增加, 交通拥堵问题日益严重。为应对这一问题, 政府采取了一系列措施, 包括通过科学的交通规划优化交通网络布局, 加快地铁线路的建设和扩展, 提高公共交通的覆盖率和便利性, 特别是改善冬季候车环境。在 2020~2022 年间, 沈阳市的耦合协调系数  $D$  值提升至 0.4~0.5 之间, 进入拮抗阶段。低碳交通逐渐受到重视, 政府推行了新能源公交车的使用、设置高峰时段专用车道以及优化交通信号灯系统等政策, 以缓解交通拥堵问题, 同时进一步促进低碳交通的发展和交通治堵的协调。尽管相对于上海市和杭州市, 沈阳市在低碳交通与交通治堵的协调发展方面相对落后, 尚未达到磨合阶段, 但通过以下措施有望逐步提升其协调发展水平: 加大对低碳交通技术的研发和应用力度, 利用智能交通系统优化交通信号控制, 减少车辆等待时间和燃油消耗; 推广新能源汽车, 建立完善的充电设施网络, 结合当地汽车制造业优势, 加快新能源车的普及; 加强与周边城市的交通规划和管理合作, 建立区域一体化的交通管理体系。随着这些措施的实施以及低碳交通的不断发展, 沈阳市的低碳交通与交通治堵的协调发展水平正逐步提升, 未来几年有望进入磨合阶段, 并向着高水平协调耦合的远景目标不断迈进。



上海市低碳交通与交通治堵非协调耦合曲线



杭州市低碳交通与交通治堵非协调耦合曲线



沈阳市低碳交通与交通治堵非协调耦合曲线

Figure 3. Uncoordinated coupling curves for three types of cities  
图 3. 三类城市非协调耦合曲线

## 4. 主要结论

交通治堵与低碳交通是一个时空交互耦合的函数, 其中包含了各种协调与非协调的耦合状态。如何从逆向思维和问题诊断的角度, 将非协调耦合作为科学问题进行研究, 从而为交通治堵与低碳交通的耦合关系搭建一座通向协调发展的桥梁, 是当前可持续发展研究中的一个重要课题。本文在前人研究的基础上, 通过构建交通治堵与低碳交通的评价指标及其二者之间的非协调耦合函数, 对 2013 至 2022 年间十个拥堵城市进行了实证分析, 得出了以下结论:

1) 低碳交通水平提升显著, 交通治堵水平稳步增长: 在研究期间, 所有研究城市的低碳交通水平都有明显提升。一线城市如北京和上海的低碳交通得分增长尤为显著, 分别从 2013 年的 0.0577 和 0.0871 增长到 2022 年的 0.5305 和 0.4460。相比之下, 交通治堵水平的提升相对缓慢, 但整体呈上升趋势, 新一线城市如杭州的治堵水平从 2013 年的 0.1610 增长到 2022 年的 0.3279。低碳交通与交通治堵的协调耦合关系具有阶段性特征: 一线城市如上海在 2013~2018 年间经历了低水平协调耦合和拮抗阶段, 2018 年后逐步向高水平协调耦合发展。

新一线城市如杭州在 2020~2022 年间从拮抗阶段进入磨合阶段, 未来有望达到更高的协调耦合水平。二线城市如沈阳尚未达到磨合阶段, 但通过推广新能源汽车和优化交通管理等措施, 有望逐步提升其协调发展水平。

2) 耦合协调度的时空演变: 随着时间推移, 不同城市的低碳交通与交通治堵的耦合协调度逐步提升, 但依然存在显著的非协调阶段。一线城市已开始逐步迈向高水平协调耦合, 新一线城市也基本实现了初级协调, 二线城市仍在逐步过渡中。

通过对低碳交通与交通治堵之间非协调耦合关系的识别和分析, 本文为交通治堵与低碳交通的协调发展提供了理论支持和实证依据, 有助于进一步推动城市可持续发展的研究和实践。研究通过对低碳交通与交通治堵之间非协调耦合关系的识别和分析, 为交通治堵与低碳交通的协调发展提供了理论支持和实证依据, 推动了城市可持续发展的研究和实践。然而, 对于具体的脱钩机制设计、小尺度(如县域)的比較分析、协调性与非协调性的内在关联等方面仍需进一步深入研究。

## 参考文献

- [1] Yang, S., Ji, Y., Zhang, D., et al. (2019) Equilibrium between Road Traffic Congestion and Low-Carbon Economy: A Case Study from Beijing, China. *Sustainability*, **11**, 219. <https://doi.org/10.3390/su11010219>
- [2] 杨亮洁, 张小鸿, 潘竟虎, 等. 成渝城市群城镇化与生态环境耦合协调及交互影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(3): 993-1004.
- [3] 翁异静, 卓莹莹, 黄扬飞. 长江经济带城市群绿色发展空间分布及障碍因子分析[J]. 林业经济, 2022, 44(3): 37-49.
- [4] 张帅. 中国新型城镇化与低碳交通耦合协调时空格局及其驱动因素[J]. 生态经济, 2023, 39(10): 115-123.
- [5] 梁振民, 陈才. 城市化与生态环境非协调性耦合关系识别研究[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2019, 43(1): 72-79.
- [6] 孙平军, 修春亮, 张天娇. 熵变视角的吉林省城市化与生态环境的耦合关系判别[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 875-882.
- [7] 曲振涛, 陈美齐, 周正. 产业融合、区域差异与地区服务型装备制造业发展——对东北地区与京津冀、长三角的一项比较研究[J]. 产经评论, 2020, 11(6): 5-20.
- [8] 孙平军. 1994~2011 年江苏省城市化与生态环境非协调性耦合关系的判别[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(8): 1051-1056.