

基于CiteSpace的车速分布特性研究热点与趋势分析

刘永栋^{1,2*}, 张萌萌^{1,2#}

¹山东交通学院交通与物流工程学院, 山东 济南

²山东省智慧交通重点实验室(筹), 山东 济南

收稿日期: 2023年10月8日; 录用日期: 2023年11月10日; 发布日期: 2023年11月20日

摘要

车速分布特性是交通流理论研究的重要组成部分,也是交通管理与控制研究的基础。为全面分析车速分布特性的研究现状和发展趋势,以Web of Science和中国知网(CNKI)为文献来源,运用文献可视化软件CiteSpace,对车速分布特性领域的研究关注度、研究热点和演进趋势进行分析。结果表明:1)中英文整体发文量于2000年后呈波动式上升趋势,2019~2020年发文量最多,美国和中国是该领域关注度最高的国家。2)研究热点包括针对高速公路的车速分布特性分析、结合新技术的研究方法改进、面向交通安全领域的应用研究等。3)研究趋势方面,针对不同道路条件以及面向智能网联环境的车速分布特性研究将成为主要的研究方向。建议未来该领域研究人员拓宽研究范围,考虑不同的道路及交通条件来改进研究方法,并加强现代信息技术的应用。

关键词

车速分布, 车速离散, CiteSpace, 可视化分析

Hotspot and Trend Analysis of Vehicle Speed Distribution Characteristics Based on CiteSpace

Yongdong Liu^{1,2*}, Mengmeng Zhang^{1,2#}

¹School of Transportation and Logistics Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan Shandong

²Shandong Key Laboratory of Smart Transportation (Preparation), Jinan Shandong

Received: Oct. 8th, 2023; accepted: Nov. 10th, 2023; published: Nov. 20th, 2023

*第一作者。

#通讯作者。

Abstract

The distribution characteristics of vehicle speed are an important part of traffic flow theory and the foundation for research in traffic management and control. To comprehensively analyze the current status and development trends in the field of vehicle speed distribution, this paper used Web of Science and CNKI as literature sources and the CiteSpace visualization software to analyze the research attention, hotspots, and evolving trends in this field. The results showed that: 1) The overall number of publications in both Chinese and English has a fluctuating upward trend after 2000, with the largest number of articles published in 2019~2020. The United States and China are the countries with the highest attention in this field. 2) The research hotspots include the analysis of speed distribution characteristics on expressways, improvement of research methods with new technologies, and application research in the field of traffic safety. 3) Regarding the evolving trends of research, the studies of speed distribution characteristics under different road conditions and towards intelligent connected environments are expected to become the main research direction. In the future, researchers in this field should expand their research scope by considering different road and traffic conditions to enhance their research methods, as well as strengthen the application of modern information technology.

Keywords

Speed Distribution, Speed Dispersion, CiteSpace, Visualization Analysis

Copyright © 2023 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

随着汽车保有量的不断增加,道路拥堵和交通事故等问题日益凸显。车速是衡量道路交通运行效率的重要指标之一,其分布特性反映了交通流的运行状态。本文通过探析车速分布特性领域的研究现状和发展趋势,使科研人员准确把握该领域的研究脉络,为制定有效的交通管理措施提供参考。

国内外学者从不同层面对车速分布特性开展研究。在研究对象层面,Helbing等[1]人通过对高速公路实测数据进行拟合,总结了车速方差与平均车速之间的关系。朱建全[2]对快速路的地点车速分布特性进行研究,总结出交通流运行状态与车辆所处车道位置之间的联系。任彦铭[3]定性分析了城市主干道的车速分布类型,得到多数主干道车速可用正态分布拟合的结论。在研究方法层面,Berry和Mosher[4]等人最早提出可以用正态分布及对数正态分布等来描述车速分布规律;AS-Ghamdi[5]通过建立不同流量状态之间车速分布特性相互转化的临界值,得到了更为全面且准确的车速分布特性。姚铮[6]采用基于GPS数据的车速分布研究方法,对车速分布类型的特点、拟合的常用方法和各种数据用于车速分布研究的可行性进行总结和分析,得到了不同等级、不同形式城市道路的车速分布类型和特征。在研究应用层面,Solomon[7]最早将车速分布特性与交通安全联系起来,提出用“U”型曲线来描述二者之间的关系。裴玉龙[8]借助模型分析,得到车速分布越离散,事故率越高的结论,为高速公路的车速限制提供了理论依据。

本文借助动态科学文献可视化软件CiteSpace,筛选车速分布特性相关文献,对现有研究展开综述,总结相关成果和应用,探讨未来的研究方向和发展趋势,并绘制可视化网络图谱,为之后从事相关研究的人员提供参考和借鉴。

2. 数据来源与统计方法

2.1. 数据来源

本文运用科学知识图谱及文献计量学方法,选取 Web of Science (WoS)与中国知网(CNKI)作为英文和中文文献研究数据来源,对所检索到的文献出版年份不作限制。根据英文数据库中关于“车速分布”的常用英文书写,检索词设置为: Topic = (speed) AND All Fields = (speed distribution OR speed dispersion)。文献类型选择“Review”和“Article”共检索并筛选得到车速分布研究领域发表的文献 457 篇。依据车速分布研究在 CNKI 中的不同关键词,将检索词设置为:主题 = “车速”且全文中含“车速分布”或“车速离散”。经筛选,共得到 757 篇与主题联系较为密切的文献。

2.2. 研究方法

CiteSpace 是一款应用于科学文献中识别并显示科学发展新动态和新趋势的软件,由陈超美教授开发 [9],以科学计量学、信息与数据可视化背景,挖掘并分析文献中的潜在知识。该软件不仅可以将知识网络中表征中心度的节点大小与位置直观地展示出来,还可以分析相关主题的研究热点及演进趋势,是当今较为热门的文献可视化工具。

3. 结果与分析

本文借助 CiteSpace 文献可视化软件,分别从研究关注度、研究热点及研究趋势三个方面对车速分布特性研究领域的文献进行分析。

3.1. 研究关注度

如图 1 所示,文中选取不同时期的发文量作为研究关注度的评价指标,针对车速分布特性研究的受关注程度及其发展轨迹进行分析,并在此基础上挖掘发展趋势。

WoS 收录的车速分布特性相关文献数量整体呈波动式上升趋势,依据文献波动情况可分为小幅波动阶段(1998~2010 年)和大幅波动阶段(2010~2022 年)。

1998~2010 年发文较少,基于车速离散程度的交通流模型构建、车速分布与交通安全的联合分析是该时期学者的重点研究内容。2010 年后关于车速分布特性的研究呈现快速增长趋势,其中 2010~2011 年涨幅最大,2019 年发文量达到最高点。结合 2010 年之后 WoS 上有关车速分布特性研究的文献进行分析,发文量快速增长主要得益于三个方面:

1) 车速分布特性研究对象的范围不断扩大。由于不同道路条件和交通状况下的车速变化规律存在差异,单一的分布模型难以拟合所有情况,研究对象不再局限于高速公路,针对城市道路的研究在逐步增多。

2) 数据采集和处理水平的提高。随着数据采集和处理等相关技术的发展,数据的精度和广度得到了提升。在多源数据的支撑下,相较于以往的路段实测数据,既能获取更加准确的车速分布信息,也提高了数据的处理效率。

3) 车联网及自动驾驶的应用和发展。通过实时采集车辆的运行数据,如位置、速度、行驶时间等,能够更加全面且准确地反映车辆行驶时的速度分布特性,为未来智能网联车辆的广泛应用奠定基础。

结合 2022 年发文量的变化,可以发现针对车速分布研究的关注度呈上升趋势,结合后面的关键词聚类及突现分析,提示专家学者需要结合新的热点开展研究工作。

CNKI 收录的车速分布特性相关文献数量整体呈波动式逐年攀升的态势,与英文文献相比,其波动幅度较大。

1983~2004 年间, CNKI 收录的文献数量均小于 10 篇/年, 该时期虽已出现部分车队离散模型研究[10]和城市快速路车速分布特性的研究[11], 但尚未形成规模。造成此现象的原因包括两个方面, 一是数据获取难度大、精度低, 很难对车速分布特性进行系统的研究和分析; 二是研究关注度低, 研究者可能更加关注交通安全、道路设计等方面的问题, 从而忽视了车速分布特性的研究。

2004~2010 年间, 针对车速分布特性的研究在数据获取、建模方法等方面取得了一系列重要进展。其中, GPS 数据的广泛应用以及考虑核密度估计等方法的车速分布建模分析等, 推动了车速分布特性的研究进程。此阶段还出现了基于车辆跟驰理论来反映交通流动态特性的车速离散度研究[12]以及城市道路车速分布与车道宽度的关联性分析研究[13]等。

2010~2021 年间, 发文量出现较大幅度的波动, 但整体发文量较之前明显增加, 并于 2015 年和 2020 年达到峰值, 年度发文量均达到 70 篇。相比之下, 在 2015~2018 年和 2020~2021 年, 文献数量出现了明显的下降, 其中 2021 年发文量仅有 35 篇。对比分析 2013~2015、2015~2018、2018~2020、2020~2022 四个阶段的研究主题变化, 第一阶段主要开展基于 GPS 数据的车速分布模型建立与分析, 同时, 考虑车速分布特性与交通安全之间的联系进行相关研究。第二阶段针对城市道路车速分布的研究关注度逐步上升, 有助于开展不同道路及交通条件下的车速分布特性比较和分析。相较于以往研究, 此阶段针对新研究热点的发文量有所减少。第三阶段的研究主题相较第二阶段没有产生较大的变化, 但发文量却出现了明显的上升趋势, 可知针对该阶段主题的深入研究取得了较为丰富的成果。第四阶段中, 随着信息技术的不断发展, 结合车速分布特性, 有关异质交通流[14]、车联网[15]的研究开始大量涌现。与第二阶段相似, 当新的热点出现时, 研究人员需要足够的时间来了解, 由于缺乏相对成熟的研究方法和技术, 导致发文量暂时呈下降趋势。随着研究的不断深入, 第四阶段的内容有望成为未来一段时期内的热点, 相关人员应在此基础上开展车速分布特性的研究工作。

发文数量年度趋势

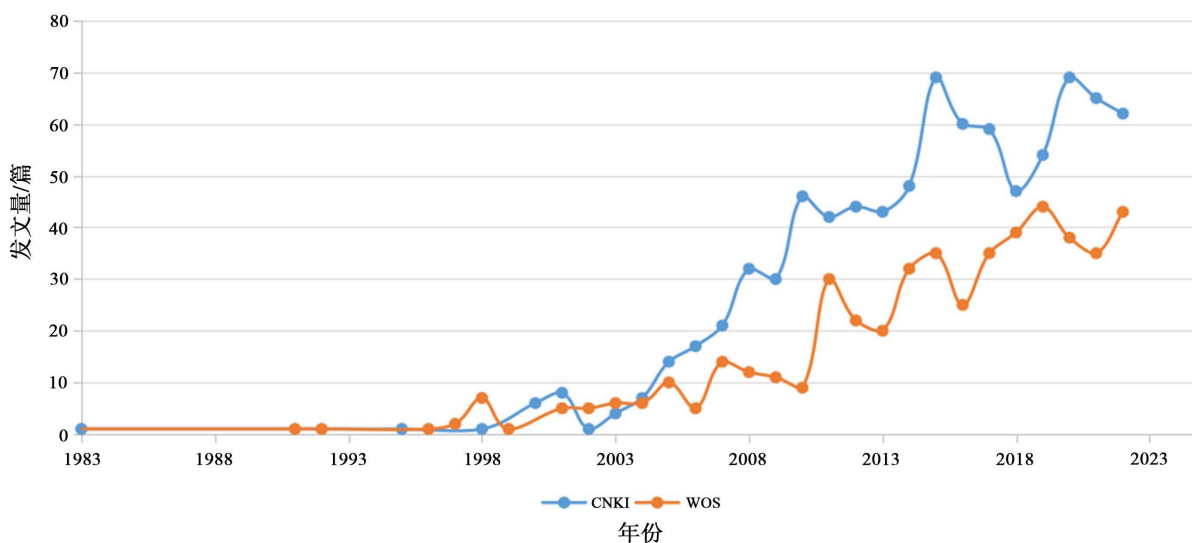


Figure 1. Changes in the number of published papers related to speed distribution over time

图 1. 车速分布相关论文出版数量随时间变化情况

3.2. 研究热点及趋势

关键词是一篇文献的核心概括, 也是分析相关学科领域研究热点及趋势的重要指标。借助 CiteSpace

软件对文章的关键词进行聚类 and 突现分析, 能够对车速分布领域的研究热点和研究趋势实现更深层次的把握。

3.2.1. 关键词聚类分析

CiteSpace 通过将关系紧密的关键词进行聚类 and 赋值, 选取赋值最大的关键词作为该类别的代表, 并贴上相应的标签。对文献合集进行合理的聚类分析, 其聚类的大小和同质性的强弱有助于对研究领域的热点内容进行回顾, 进而找到与研究相关的高支撑方向, 并在此方向的基础上探寻更多的应用可能性[16]。通过 CiteSpace 提取关键词进行聚类, 并对结果进行渲染, 得到中英文文献关键词聚类图谱, 如图 2 所示。

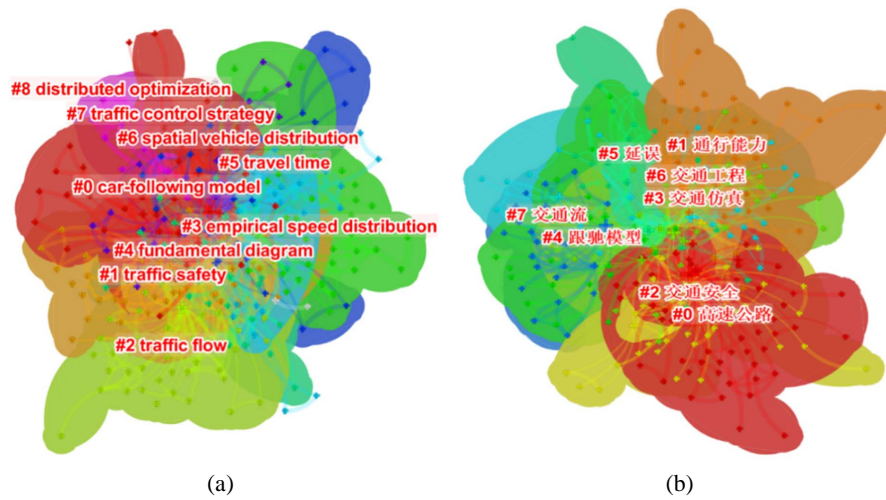


Figure 2. Clustering map of keywords in both Chinese and English literature
图 2. 中英文文献关键词聚类图谱

本文采用对数似然算法(Log-Likelihood Ratio, LLR)对中英文文献的关键词进行分析, 其作为一种简单有效的相似度量方法, 能够通过对两个事件的计数来计算事件之间的相似度, LLR 值越大, 说明该关键词越能代表该主题。

$$LLR = 2 \times (\log L_1 - \log L_2)$$

其中: $\log L_1$ —两篇文本共同出现的词语集合的联合概率的自然对数; $\log L_2$ —两篇文本分别出现的词语集合的联合概率的自然对数之和。

关键词聚类效果需通过两个指标进行评定[17], 一是 Modularity(聚类模块值), 即 Q 值, 是目前常用的一种衡量聚类网络稳定度的指标, 可对网络的整体结构划分水平进行评判; 另一个是 Silhouette(聚类平均轮廓值), 即 S 值, 其越接近 1 说明类群内部相似程度越大, 聚类的主题越明确, 研究者对这个问题的关注越集中。一般认为: $Q \leq 0.3$ 表明聚类整体的结构不够明显; $Q > 0.3$ 则意味着聚类结构显著; $S \leq 0.5$ 说明聚类缺乏合理性; $0.5 < S < 0.7$ 表示聚类合理, $S \geq 0.7$ 则意味着聚类结果令人信服。本文中英文和中文关键词聚类结果中的 Q 值为 0.53 和 0.60, S 值为 0.84 和 0.83, 聚类效果较好。

结合英文和中文文献的关键词聚类一览表, 对每个聚类中具有代表性的关键词进行深入分析, 结果见表 1 和表 2:

1) 英文文献:

聚类#0 表明车速分布特性是交通流理论的重要组成部分。包括 car-following model (跟驰模型)、behavior (行为)等关键词。在跟驰理论中, 速度判定法是常用的判定跟驰状态的方法, 通过判断车辆行驶

速度与理论安全速度之间的差异来确定其跟驰状态, 在发展过程中出现了新的方法, 即利用前后车速度的相关系数随车头时距变化的规律来确定跟驰状态的临界值[18], 上述方法都与车辆的速度分布特性密切相关。

Table 1. Clustering list of keywords in English literature

表 1. 英文文献关键词聚类一览表

聚类名称 Cluster name	大小 Size	同质性 Silhouette	研究主题(对数似然比/P 值) Top terms (log-likelihood/P-level)
#0 car-following model	52	0.781	car-following model (12.43, 0.001); behavior (9.3, 0.005) weather conditions (6.19, 0.05)
#1 traffic safety	46	0.775	traffic safety (12.04, 0.001); vehicle automation (8, 0.005) dispersion (8, 0.005)
#2 traffic flow	44	0.834	traffic flow (17.25, 1.0E-4); traffic jams (7.71, 0.01) microscopic simulation (7.71, 0.01) cellular automaton (7.71, 0.01)
#3 empirical speed distribution	39	0.868	empirical speed distribution (4.02, 0.05) freeway traffic (4.02, 0.05); lane-changing behavior (4.02, 0.05) three-phase traffic theory (4.02, 0.05)
#4 fundamental diagram	28	0.764	fundamental diagram (8.27, 0.005) network fundamental diagram (9.73, 0.005) heterogeneous traffic (9.73, 0.005)
#5 travel time	27	0.97	travel time (11.67, 0.001); platoon dispersion model (5.8, 0.05) shifted log-normal model (5.8, 0.05) recursive estimation (5.8, 0.05)
#6 spatial vehicle distribution	24	0.885	spatial vehicle distribution (9.5, 0.005) convolutional neural network (9.5, 0.005) real-time crash risk analysis (9.5, 0.005)
#7 traffic control strategy	22	0.821	traffic control strategy (5.52, 0.05) bayesian inference method (5.52, 0.05) trip length distribution (5.52, 0.05)
#8 distributed optimization	11	0.968	distributed optimization (8.49, 0.005); algorithm (8.49, 0.005) control distribution (8.49, 0.005) anticipatory network traffic control (8.49, 0.005)

聚类#1 揭示了车速分布特性的研究及应用能够为交通管理提供科学依据。类团中包括 traffic safety (交通安全)、vehicle automation (车辆自动化)、dispersion (离散)等关键词。交通安全一直是人们关注的热点, 其中, 较高的行车速度是影响交通安全的重要因素, 有学者通过建立车速分布与交通事故的分析模型, 对车速离散程度与事故率之间的关系进行分析。而车辆自动化技术的发展在平滑车速分布的同时, 通过感知周围环境, 也能够提升车辆行驶过程中的安全性。

聚类#2、#3、#4 分别从不同的角度开展车速分布特性研究。在研究方法方面: cellular automaton (元胞自动机)、fundamental diagram (基本图)等都被用来研究车速分布特性[19]。许多学者尝试将交通流基本图与车速离散特征相结合, 借助大量的实测数据来反映交通流参数特征[20]。近年来出现了在传统基本图

方法和新兴的三相交通流理论体系下对交通流元胞自动机模型的研究, 提高了速度离散特征研究结果的精度。在研究对象方面: 有 freeway traffic (高速公路交通流)等关键词。结合以往研究分析, 车速分布特性的研究对象以高速公路为主, 但是随着研究范围的扩展, 有学者发现, 快速路的车速并不像高速公路那样多数服从正态分布, 而是具有一定的偏态[21]; 由于信号控制的存在, 城市主干道的整体车速分布与高速公路同样存在明显差异。因此, 针对快速路以及城市主干道等不同对象的车速分布特性研究在逐步增加。

聚类#5、#6 主要包括相关模型的构建与方法的研究。如卷积神经网络(convolutional neural network), 通过将路面交通图像输入到 CNN 模型中, 可以快速获取车速等交通状态信息, 进而提取出车速的分布特征; 行程时间(travel time)与车速分布特性之间有着密切联系, 部分研究方法能够通过建立数学模型来描述车速的变化规律, 如最小二乘法、马尔科夫链等, 由此可以得到行程时间的预测结果。

聚类#7 和#8 涉及到实时的车速变化对交通控制策略以及速度分布优化的影响, 其中也包括一些相关的研究方法。如利用贝叶斯推理方法(bayesian inference method)来预测车速的分布特征, 包括均值、标准差和偏差等, 这些统计量可以为规划和管理交通提供更准确的数据。而利用先进的交通控制系统来优化车辆在路段上的速度分布, 能够提升交通流的稳定性, 缓解交通拥堵。

Table 2. Clustering list of keywords in Chinese literature

表 2. 中文文献关键词聚类一览表

聚类名称 Cluster name	大小 Size	同质性 Silhouette	研究主题(对数似然比/P 值) Top terms (log-likelihood/P-level)
#0 高速公路	58	0.804	高速公路(45.69, 1.0E-4); 交通组织(35.04, 1.0E-4); 交通事故(18.39, 1.0E-4); 施工区(15.31, 1.0E-4);
#1 通行能力	41	0.746	通行能力(34.88, 1.0E-4); 车头时距(15.63, 1.0E-4); 临界间隙(9.4, 0.005); 概率分布(9.4, 0.005)
#2 交通安全	39	0.78	交通安全(61.67, 1.0E-4); 限速方法(12.05, 0.001); 回归分析(12.05, 0.001); 事故形态(12.05, 0.001);
#3 交通仿真	36	0.878	交通仿真(47.22, 1.0E-4); 交通特性(27.38, 1.0E-4); 可变限速(26.03, 1.0E-4); 交通拥堵(22.28, 1.0E-4);
#4 跟驰模型	27	0.8	跟驰模型(28.7, 1.0E-4); 交织区(22.9, 1.0E-4); 换道模型(17.13, 0.001); 微观交通流(12.75, 0.001); 元胞自动机(11.39, 0.001); 期望车速(10.27, 0.001);
#5 分布拟合	26	0.796	分布拟合(25.75, 1.0E-4); 交通流特性(23.4, 1.0E-4); 车速离散(22.9, 1.0E-4); 正态分布(18.01, 1.0E-4);
#6 异质交通流	26	0.808	异质交通流(43.65, 1.0E-4); 协调控制(20.02, 1.0E-4); 车联网(14.99, 1.0E-4); 动态规划(9.97, 0.005);
#7 交通流特性	23	0.948	交通流特性(46.71, 1.0E-4); 交通调查(30.54, 1.0E-4); 交通安全(5.28, 0.05); 交通流仿真(5.04, 0.05); 安全行驶车速(5.04, 0.05);

2) 中文文献

聚类#0、#6 与英文文献的分析相类似, 由于车流量大、车速变化频繁等特点, 高速公路一直以来是车速分布特性的重点研究对象。随着我国对智能网联车辆研究的不断深入, 针对未来智能网联车辆与人工驾驶车辆混行环境下的车速分布特性进行分析, 有助于开展更深层次的理论研究[22]。

聚类#1 和#2 是与车速分布特性研究联系紧密的两个应用方向。首先, 结合聚类#0 可知, 相较于基本路段, 由于车速的频繁变化, 导致高速公路施工区极易产生交通冲突, 加之其偏低的通行能力, 车流常会呈现跟驰状态, 故对其车速分布规律进行研究, 有助于进行道路通行能力计算和安全风险分析[23]。其次, 车速分布特性在交通安全领域的研究起步较早且取得了较为丰富的研究成果, 既有车速离散度与事故严重程度之间的研究, 还包括基于实测数据的车速离散度与事故率的相关分析[24]。

聚类#3、#4、#5 中的关键词侧重于研究方法。交通仿真是研究车速分布特性的常用手段, 其中, 又以研究对象为个体车辆的微观仿真为主, 涉及到 VISSIM 和 SUMO 等仿真软件的应用。同时, 由于元胞自动机模型具有简单易懂以及能够反映很多复杂交通状况的特点, 多数针对车速分布特性的研究选择在已有元胞自动机模型的基础上进行改进, 通过准确模拟车辆在交通流中的加/减速、换道等行为, 进而反映车速分布特性[25]。在分布拟合研究方面, 多项研究表明, 由于车速的分布具有良好的对称性和单峰性, 符合正态分布的假设, 故其在描述车速分布特性方面占据重要地位。需要注意的是, 正态分布并不适用于所有的车速分布情况, 有学者使用复合分布、对数正态分布等来描述某些特定场景下车速的分布规律。

由关键词聚类分析可知, 国内外车速分布特性的研究热点主要集中在以下三个方面:

① 研究对象: 由于车速分布特性常被用于评估道路的安全性以及通行效率, 在高速公路和快速路上, 具有车流量大、车型多、车速快的特点。一方面能够获得更加全面的数据用于分析, 另一方面, 对于容易发生事故的高速道路来说, 研究其车速分布特性也更为必要。

② 研究方法: 既包括传统的回归分析方法, 也有用于车速分布模拟的微观仿真方法。随着车速分布研究方法逐步深入, 常常结合多种技术手段来系统地分析车速分布与各影响因素之间的关系, 例如大数据、人工智能等, 这些新技术的应用, 能够从大量的数据中识别车速分布的特点和规律, 进而获得更加全面且准确的车速分布特性。

③ 应用研究: 车速分布特性在交通安全领域的研究较为集中。当车速离散现象出现时, 会导致交通流稳定性下降以及道路通行能力降低, 进而引发交通事故。因此, 结合车速分布特性来对交通事故数据进行分析, 通过建立二者的联系来更为细致和准确地划分交通状态, 对提升道路交通安全具有重要意义。

3.2.2. 关键词突现分析

对关键词进行突现分析可以发现某一领域相关研究的演化进程, 还能对成为重点研究方向的关键分支进行整合, 进而分析学科的前沿领域和发展趋势。

通过深入分析车速分布领域研究的演化趋势和前沿动态, 能够为预测未来的发展方向提供有力支撑。关键词突现分析需要借助突发性检测(Burst Detection)来完成, 它能够获知哪些变量的值在短时间内激增, 成为热点并被学术界所关注。此处选取关键词(Keywords)作为变量进行突发性检测, 分别得到 21 个英文和 20 个中文突现词, 表格中红色部分表示该突现词的持续时间(Begin-End), 结合表征突现词引用量变化程度的突现强度(Strength)指标, 如图 3 和图 4 所示。

从英文突现词来看, 早期突现强度较高的词有“distribution”与“platoon dispersion”, 虽然持续时间较短, 但此阶段针对车速分布特性的研究开始大量增加。结合近五年英文文献的突现词可以看出, “network”、“adaptive cruise control”、“system”等成为近年来的突现词, 且其有着相对较高的突现强度。随着智能交通系统和自动驾驶技术的不断发展, 对车速分布的研究产生了较为深远的影响。“自适应巡航控制”技术能够根据交通流的变化实现自主调节车速, 提高了车辆的行驶效率和安全性, 其中, “网络技术”和“系统工程”则是支撑其发展的重要基础。值得注意的是, 在 2007~2017 年这个阶段中, 突现词相对较少。结合发文量趋势图中此阶段发文数量的波动式上升态势分析, 虽然针对车速分布特性研究的范围在逐步扩大, 但是研究热点仅围绕在少数领域, 并没有出现较为新颖的研究方向。通过对这十年间的 236 篇文章进行分析, 其研究关注度在不断提升, 相关论文被引用次数同样较多。

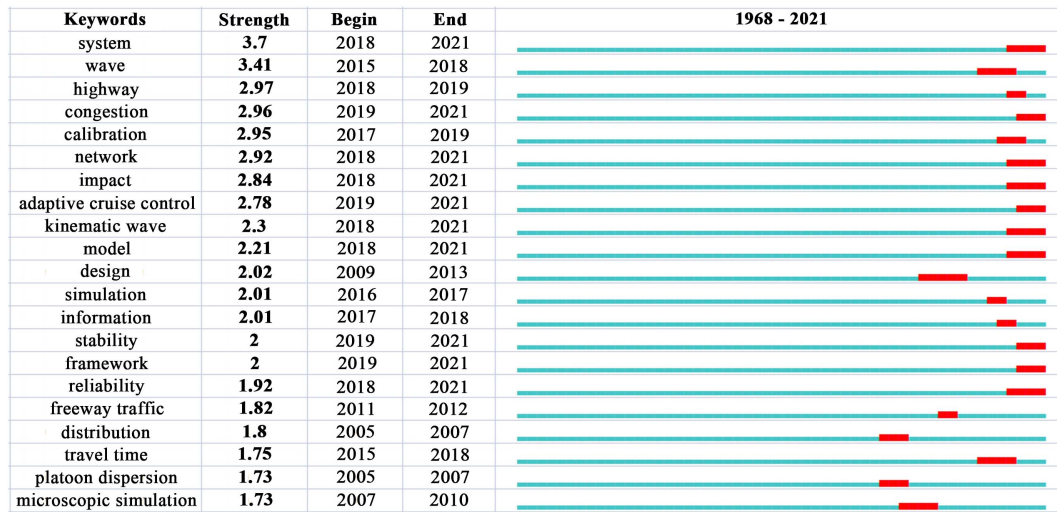


Figure 3. Burst keywords in English literature

图 3. 英文文献突现词

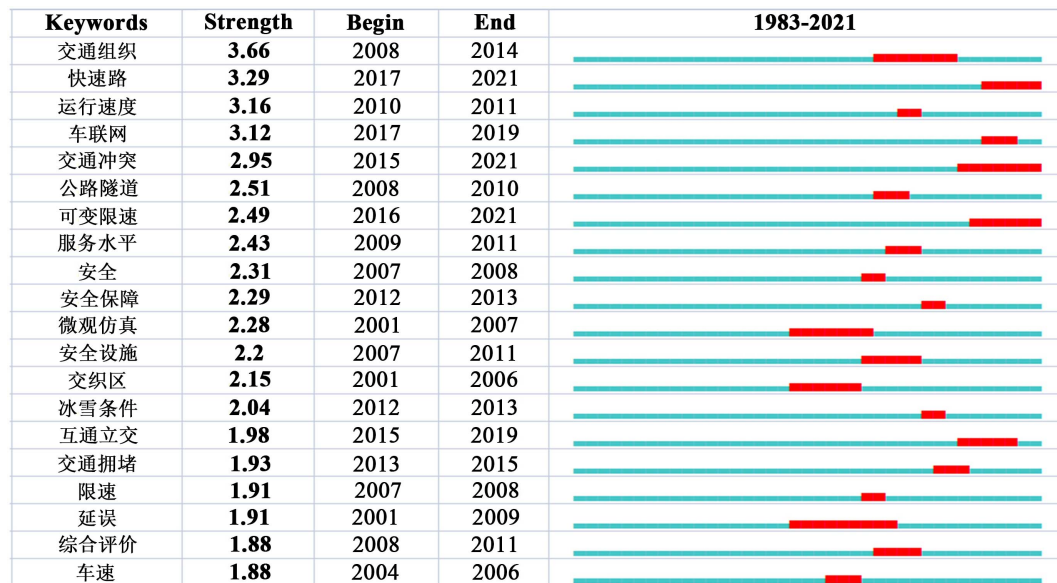


Figure 4. Burst keywords in Chinese literature

图 4. 中文文献突现词

对中文文献突现词分析可知, 部分突现词出现较早且持续时间长, 如“延误”、“交织区”、“微观仿真”。其中, 高速公路与快速路交织区是道路系统中车辆行驶速度变化较为频繁的路段, 有实测数据表明, 在不同时段、不同交通量的情况下, 其表现出的速度分布特征存在明显差异, 故一直以来是研究的重点方向。交通流微观仿真技术弥补了传统数学分析模型在进行微观层次的交通需求分析时存在的不足, 其在分析交通流特性方面存在着较为明显的优势, 因而受到很多学者的青睐[26]。延误作为评价仿真结果的重要指标同样具有较高的突现强度。近年来, 突现强度较高的关键词有“快速路”、“车联网”、“交通冲突”。结合文献进行分析, 由于高速公路一直以来就是车速分布特性的重点研究对象, 多数学者从不同的角度进行了相应的研究, 与之相比, 其他道路条件下的车速分布特性研究较少, 故近年来针对城市快速路及主干道的车速分布特性研究呈上升趋势[27]。与英文突现词趋势相类似, 随着车联网技术

的发展, 针对智能网联车辆与人工驾驶车辆混行环境以及全智能网联车辆环境开展车速分布特性研究, 对提升通行效率和行车安全性具有重要意义, 也是未来研究的重要方向[28]。

由关键词突现分析可知, 国内外车速分布特性研究趋势主要集中在以下两个方面:

1) 研究对象多样化。高速公路一直是车速分布特性的重点研究对象, 近年来, 针对城市快速路、城市主干道的研究逐步增多。考虑到单一的分布模型无法拟合所有的交通情况, 未来针对不同道路条件的车速分布特性研究将会持续增加。

2) 智能网联环境下的车速分布特性研究。随着车联网技术的发展, 未来车辆之间可以进行高效的通信和协同驾驶, 在保证车速分布更加平滑的基础上, 提高了车辆在行驶过程中的安全性。因此, 开展未来智能网联环境下的车速分布特性研究具有重要意义。

4. 总结与展望

本文运用文献计量学的方法, 借助 CiteSpace 软件, 以 WoS 和 CNKI 数据库作为文献来源, 对车速分布特性领域的研究关注度、研究热点和演进趋势进行分析。

在研究关注度方面, 中英文文献的发文量呈现出较为明显的上升趋势, 在此过程中也伴随着不同程度的波动。结合中英文关键词聚类及突现分析发现, 车速分布特性领域目前的研究重点包括: 针对高速公路的车速分布特性分析、结合新技术的研究方法改进、面向交通安全领域的应用研究等。其中, 部分内容仍然值得进行深入研究:

1) 多技术融合的车速分布特性分析方法。未来应结合交通大数据资源和技术, 注重不同类型数据的统计分析与归纳, 在传统研究方法的基础上, 加强现代信息技术的应用, 提升车速分布特性研究的精度和广度。

2) 不同道路条件下的车速分布特性分析。在城市交通拥堵日益严重的情况下, 研究不同道路条件下的车速分布特性, 能够弥补单一的车速分布模型难以拟合不同道路状况的不足, 进而提高道路运行效率, 制定更具针对性的安全保障措施。

3) 智能网联环境下的车速分布特性研究。受益于先进的感知和通讯等技术的应用, 车速分布特性研究正在向更加精细化、个性化以及区域化的方向发展, 为智能交通建设注入新活力, 进而更加适应现代交通发展的需求。

本文并没有对车速分布领域研究主体间的合作与期刊分布情况等展开分析, 未来可以借助 CiteSpace 中的科研合作网络进行研究。

基金项目

国家自然科学基金项目/National Natural Science Foundation of China (52102412); 山东省自然科学基金项目/Natural Science Foundation of Shandong Province, China (ZR2021MF019, ZR2021QF110)。

参考文献

- [1] Helbing, D. (1996) Derivation and Empirical Validation of a Refined Traffic Flow Model. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, **233**, 253-282. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(96\)00228-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(96)00228-2)
- [2] 朱建全, 石琴. 城市快速路路段车速分布特征及影响因素研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2018, 41(1): 95-101.
- [3] 任彦铭, 李铁柱, 孙婵. 城市主干路路段车速分布特性研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2013, 11(3): 98-105.
- [4] Wu, N. (2002) A New Approach for Modeling of Fundamental Diagrams. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **36**, 867-884. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(01\)00043-X](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(01)00043-X)
- [5] Al-Ghamdi, A.S. (2001) Analysis of Time Headways on Urban Roads: Case Study from Riyadh. *Journal of Transport-*

- tation Engineering*, **127**, 289-294. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2001\)127:4\(289\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2001)127:4(289))
- [6] 姚铮. 基于多源交通大数据的城市道路车速连续性分布与可视化研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2019.
- [7] Solomon, D. (1964) Accidents on Main Rural Highways Related to Speed, Driver, and Vehicle. US Department of Transportation, Federal Highway Administration. <https://www.scribd.com/document/348287691/ACCIDENTS-ON-MAIN-RURAL-HIGHWAYS-RELATED-TO-SPEED-DRIVER-and-VEHICLE-David-Solomon-1964>
- [8] 裴玉龙, 程国柱. 高速公路车速离散性与交通事故的关系及车速管理研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(1): 74-78.
- [9] Chen, Y., Chen, C.M., Liu, Z.Y., et al. (2015) The Methodology Function of CiteSpace Mapping Knowledge Domains. *Studies in Science of Science*, **33**, 242-253.
- [10] 王殿海, 汪志涛. 车队离散模型研究[J]. 交通运输工程学报, 2001, 1(1): 68-71.
- [11] 诸葛敬敏. 城市快速道路交通流特性研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京工业大学建筑工程学院, 2000.
- [12] 王昊, 王炜, 陆建, 等. 基于跟驰理论的车速离散度定义及特性[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2009, 39(1): 161-165.
- [13] 马莹莹, 杨晓光, 曾滢. 城市道路自由车速与车道宽度关联性分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2009, 37(12): 1621-1626.
- [14] 蒋阳升, 胡蓉, 姚志洪, 等. 智能网联车环境下异质交通流稳定性及安全性分析[J]. 北京交通大学学报, 2020, 44(1): 27-33.
- [15] 常玉林, 张成祥, 张鹏, 等. 车联网环境下基于间隙优化的无信号交叉口车速控制方法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2021, 35(3): 10-17, 60.
- [16] 万明, 吴倩, 严利鑫, 等. 道路交通安全研究的现状与热点分析[J]. 交通信息与安全, 2022, 40(2): 11-21, 37.
- [17] 王晓燕, 王微, 王幼珊, 等. 基于CiteSpace软件的丛枝菌根真菌近30年研究态势分析[J]. 菌物学报, 2022, 41(5): 802-818.
- [18] 李硕, 李景密, 汪猛. 跟驰状态下城市主干道交通流特征研究[J]. 公路工程, 2017, 42(2): 52-55, 62.
- [19] Treiber, M., Kesting, A. and Helbing, D. (2010) Three-Phase Traffic Theory and Two-Phase Models with a Fundamental Diagram in the Light of Empirical Stylized Facts. *Transportation Research Part B: Methodological*, **44**, 983-1000. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2010.03.004>
- [20] Wang, H., Ni, D., Chen, Q.Y. and Li, J. (2013) Stochastic Modeling of the Equilibrium Speed—Density Relationship. *Journal of Advanced Transportation*, **47**, 126-150. <https://doi.org/10.1002/atr.172>
- [21] 刘浩敏, 曲大义, 宋慧, 等. 快速路交通流状态突变边界提取及其演化规律[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2023, 20(3): 74-81.
- [22] 姚志洪, 蒋阳升, 王逸, 等. 车联网环境下的动态异质交通流车队离散模型[J]. 北京交通大学学报, 2019, 43(2): 107-116.
- [23] 邵长桥, 黄群龙. 高速公路改扩建施工区交通流特性[J]. 北京工业大学学报, 2021, 47(9): 1036-1047.
- [24] 刘莹莹, 李健, 陈小鸿. 城市快速路车速离散特征及其影响因素研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(5): 111-120.
- [25] 卫妮娜. 基于元胞自动机的交通流改进模型及模拟分析[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [26] 张文会, 李德才, 罗文文. 高速公路事故路段车速空间分布与排队特性仿真[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(1): 158-163.
- [27] 张卫华, 李军, 丁恒, 等. 基于交通流到达率预测的交叉口自适应控制研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2022, 41(5): 35-42.
- [28] 吴德华, 彭锐, 林熙玲. 智能网联异质交通流混合特性[J]. 西南交通大学学报, 2022, 57(4): 761-768.