

# 智慧高速研究热点与研究前沿分析

于泉<sup>1</sup>, 刘秉新<sup>1</sup>, 程仁德<sup>2</sup>, 俞顺<sup>2</sup>, 张丹丹<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北方工业大学电气与控制工程学院, 北京

<sup>2</sup>河南交投中原高速郑洛建设有限公司, 河南 郑州

收稿日期: 2023年10月31日; 录用日期: 2024年1月8日; 发布日期: 2024年1月17日

## 摘要

近年来, 智慧高速的逐渐成为智慧交通中的研究焦点, 大量学者尤其在近些年对智慧高速展开了大量的研究。本文借助CiteSpace软件, 结合学者的研究, 整理了近10年间智慧高速的相关文章, 对智慧高速当前的研究内容、研究方向以及研究趋势进行分析。最终结果表明: 对于智慧高速的当前研究中, 车联网、车路协同、数字孪生等核心技术占据了研究的绝大部分, 并且研究主要是围绕了核心技术的构成与具体应用方法上。而智慧高速整体过程中, 在2015年和2018年迎来了一定幅度的爆发, 且主要爆发的关键词主要是围绕的相关核心技术, 而在近些年, 智慧高速的研究也开始关注了具体的应用场景上。而在未来, 预计会出现更多的技术相关研究, 且主要是对于技术的更加细致的应用方法和应用场景。

## 关键词

智慧高速, CiteSpace, 可视化分析

# Analysis of Hotspot and Frontiers of Smart Highway Research

Quan Yu<sup>1</sup>, Bingxin Liu<sup>1</sup>, Rende Cheng<sup>2</sup>, Shun Yu<sup>2</sup>, Dandan Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Electrical and Control Engineering Department, North China University of Technology, Beijing

<sup>2</sup>Henan Jiaotou Zhongyuan Expressway Zhengluo Construction Co. Ltd., Zhengzhou Henan

Received: Oct. 31<sup>st</sup>, 2023; accepted: Jan. 8<sup>th</sup>, 2024; published: Jan. 17<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In recent years, the concept of intelligent highways has increasingly become the focal point of research within the realm of smart transportation. A significant number of scholars, particularly in recent years, have conducted extensive research on intelligent highways. Utilizing CiteSpace software and incorporating the work of researchers, this paper compiles relevant articles from the

past decade concerning intelligent highways and analyzes the current research content, directions, and trends in this field. The results indicate that core technologies such as vehicular networks, vehicle-road coordination, and digital twins dominate the majority of current research on intelligent highways. The studies primarily revolve around the composition and specific application methods of these core technologies. The overall progression of intelligent highways research has seen notable surges in activity, particularly in the years 2015 and 2018, with key terms relating to the aforementioned core technologies driving these waves. In recent years, research on intelligent highways has also begun to focus on specific application scenarios. Looking forward, it is anticipated that there will be an increase in technology-related research, with a particular emphasis on more detailed methods of application and operational contexts.

## Keywords

Smart Highway, CiteSpace, Visualized Analysis

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

目前我国智慧公路伴随着交通强国战略一同发展，应用技术不断创新，建设大纲指南以及相关文献频出。但是对于智慧高速的定义与建设内容，不同地区不同方向的专家难免对于此解释与定义出现些许不同，进而导致文献等相关资料呈现出百花齐放之态。而在此大背景下，对于智慧高速的定义以及其包含内容进行一场总结则显得十分有必要。

具体而言，我国对于智慧高速的建设处于起步和理论阶段，即便有少数的智慧高速的建成也处于试运营中，或由于技术或经济原因，并未能广泛普及。但面对庞大且有一定研究基础的智慧高速研究，进行一篇完整的综述以及文献回顾尤其重要。因此本文基于 CiteSpace 文献可视化软件，对我国截止到 2023 年 6 月的智慧高速相关文献进行梳理与分析，总结当前的研究热点与研究不足，进而发现未来智慧高速可能的发展方向，进而推动智慧高速的相关研究。

## 2. 研究方法与数据来源

### 2.1. 研究方法

CiteSpace (CitationSpace)是一种对于文献知识进行梳理与分析的可视化软件，由陈超美教授开发用以分析科学知识的结构和规律，是目前在文献梳理研究上的常用软件[1]。

本文使用 CiteSpace 6.2.R2 软件，对当前国内有关智慧高速的相关文章进行研究与分析。重点分析当前文章的发文时间量、关键词等重点内容，借此对智慧高速研究有一定的总结与认识。

### 2.2. 数据来源

本文使用数据来中国知网数据库(CNKI)，通过知网检索，以“智慧高速”为主题词，2013 年至 2023 年 6 月 13 日共 1408 篇文章(最早以智慧高速主题文章于 2013 年)，其中学术期刊 1154 条，学位论文 67 条，会议 46 条，报纸 77 条。在去除掉会议、报纸、以及无关的学术期刊和学位论文后，合计剩余文章 1182 条数据。本文将以此 1182 条数据为研究样本，对智慧高速进行分析。

### 3. 实验分析

#### 3.1. 发文时间量

在一项领域的研究中，发文量是衡量当前研究现状的有效指标之一，其可以有效的反映出当前领域的研究热度和发展情况。目前 2013 年~2023 年智慧高速研究发文量趋势图如图 1 所示。

智慧高速相关文章从 2013 年开始第一次完整的出现，其标志为《智慧高速公路系统建设探究》文中研究了智慧高速相关系统的建设情况。虽然至今来看，文章智慧高速相关内容尚未定义清晰，系统结构也并不完善。但依旧从十年前的角度，完整的叙述了智慧高速建设系统的具体内容，如数据采集层、网络层、信息资源层和应用层，和如今对于智慧高速系统的建设层次内容相差不多[2]。

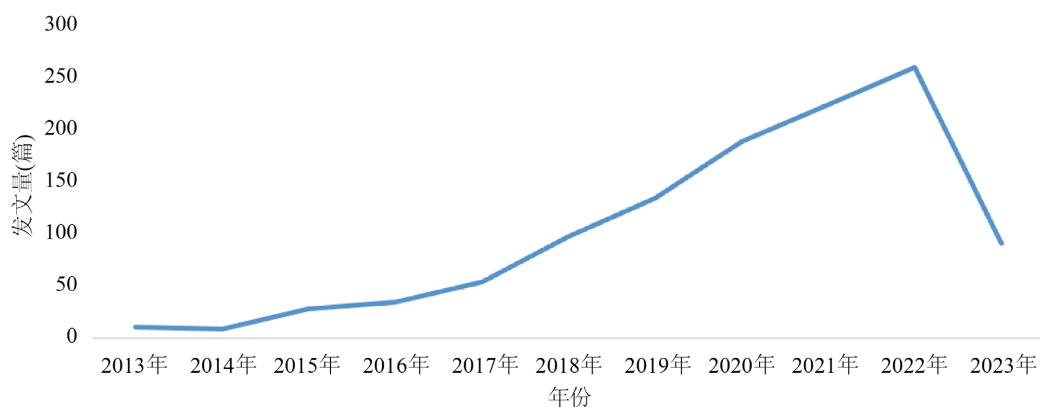


Figure 1. Smart high-speed related literature publication trend chart

图 1. 智慧高速相关文献发文量趋势图

随后在 2013 年和 2014 年两年间，智慧高速有关的发文量相对变化不大，发文量几乎没有变化。但 2015 年开始，智慧高速研究文章有了小幅度增加，但效果并不明显，仅增长了 20 篇左右，随后每天以同样的趋势增加。而 2018 年，发文量出现骤增，文章每年增长篇幅超过了 40 篇，并且逐年上升，最终来到了 2022 年的 258 篇文章。这主要由于国家和学者们对智慧高速的重视有关，尤其是建设智慧交通的相关政策。而在 2023 年中，即便仅过了上半年，也已发文 90 篇文章，预计发文量至少可以和 2022 年的 250 篇左右持平，甚至更有突破。

#### 3.2. 关键词分析

##### 3.2.1. 词频分析

通过对智慧高速相关文献进行分析后，这十年间的文章关键词中，除去通用的“智慧高速”、“智慧公路”或者“高速公路”等普遍关键词外，主要对物联网、大数据、车路协同、收费站、信息化、云计算、交通工程等关键词出现较多。具体如表 1 所示。

Table 1. Smart high-speed keyword centrality frequency table

表 1. 智慧高速研究文献关键词中心性频次表

序号	关键词	频次	中心性	首次出现年份
1	物联网	42	0.09	2013
2	大数据	37	0.03	2015
3	车路协同	34	0.03	2020

续表

4	智慧化	32	0.09	2013
5	收费站	32	0.11	2018
6	信息化	28	0.01	2015
7	云计算	18	0.01	2016
8	云平台	16	0.01	2015
9	公路工程	15	0	2019
10	人工智能	15	0.02	2018
11	数字孪生	14	0.02	2021
12	智慧监控	12	0	2019
13	智能化	12	0.01	2020
14	服务区	12	0.01	2020
15	公路隧道	11	0.01	2015

上表中, 频次为当前关键词在全部文章中出现的次数。中心性指的是一个结点担任其它两个结点之间最短路的桥梁的次数。一个结点充当“中介”的次数越高, 它的中介中心度就越大。即象征当前关键词与其他关键词的关联程度, 中心性越高, 代表和其他关键词关联性越强。

首先在智慧高速研究中, 关于物联网的研究最为丰富, 且研究时间较早, 频次为 42 次, 首次出现时间是 2013 年。同时文章的中心性较高, 为 0.09, 代表在众多关键词中, 此关键词与其他关键词关联较大。如李捷(2021)通过物联网技术, 改进了智慧高速中机电设备智慧管养系统, 通过设计改进后台服务器和 NFC 识别系统, 优化了 APP 软件功能、后台管理功能以及摄像机红外功能等功能, 最终提高了智慧高速管养中的经济成本以及管理效果[3]。邓辉(2023)改进了物联网技术结合大数据应用与智慧高速, 实现了设备的统一接入、统一管理、联动控制和远程控制。汇总文献, 物联网技术主要应用于公路基础设施建立、高速运营管理、公路养护系统等方面[4]。

同时, 以大数据为关键词的文章同样研究颇丰, 共有 37 词, 但大数据中心性为 0.03, 相较于收费站、智慧化等关键词而言联系较少, 但相较于一般关键词同样属于中心性较高。周文(2020)对智慧高速中的大数据应用进行了整理, 其中主要包括了实时交通技术、公共出行服务、交通运行评估等方面[5]。黎琮莹(2023)也对大数据技术在智慧高速中的应用进行了整理, 结合了应用场景与策略。大数据技术应用与公路健康检测场景、交通能耗检测场景、车辆缴费场景、公共出行场景等。其中应用策略为多元数据感知、多元数据预处理以及大数据算法创新等。大数据技术在智慧高速中主要涉及了实时数据分析、公共出行服务、车辆逃费稽查、公路能耗与健康检测方面[6]。

在车路协同关键词中, 频次为 34 次, 中心性为 0.03, 但首次出现年份为 2020 年, 研究相对较新。张国锋(2023)汇总创新了智慧高速中车路协同技术的构成, 如路侧感知系统、信息传输系统、边云协同计算系统以及智能车载终端等[7]。杜奕霖(2023)汇总了车路协同技术在智慧高速上的应用, 如 ETC 车路协同通信系统、智能事件监测系统、数字孪生可视化系统和智能网联车协同系统[8]。

智慧化是智慧高速的主要特征之一, 在整体关于智慧高速的研究中频次占 32 次、中心性为 0.11, 是与其他关键词联系最紧密的关键词。在研究中, 智慧化主要是对于高速公路或者其内部相关设施, 如服务区, 收费站等场景的智慧化。如刘析远(2023)对上海 G15 高速智慧化改造进行了研究分析, 主要分为四个核心技术, 全息感知网络, 全要素全周期管控平台、数据传输网络和应用模式[9]。肖晓鹏(2023)对湖南平益高速的服务区的智慧化建设进行了分析, 其组成包含信息发布、管控平台、视频监控、WIFI 信息服务、交通广播、停车诱导、视频卡口等多项子系统构成[10]。

收费站作为智慧高速中要的一部分，相关其的文章同样较多，同时收费站可以应用于大多数技术，如全息感知、车路协同大数据等技术，故其中心性同样较高。孙天一(2023)提出，智慧高速收费站主要包括了站前出口预交易系统(ETC 门架系统、车路定位追踪设施、可变信息诱导设施、数据传输系统等)和站前入口预交易系统(不停车称重系统、车配识别系统、ETC 入口信息写入系统等) [11]。李明(2023)也提出了智慧收费站的运营模式主要在于自助服务和自动化管理、智能分流和前置交易、智能感知和检测[12]。

信息化则是作为智慧高速又一主要特征同样被特别关注，其研究应用于智慧高速的各角落中，但一般在文章中大多为专门研究，故中心性较低。如李欣科(2023)对智慧高速信息化管理进行研究，认为智慧高速需要通过更加信息化的方式打造智能系统平台，包括公共信息管理平台、信息发布系统、不停车收费系统和智能化监控系统[13]。马赛(2023)对信息化和服务区相结合，重新设计了服务区系统，包括物联网感知系统、经营调度平台、内部监督管理平台、公众出行服务等内容[14]。

云计算和云平台关键词频次与中心性均较为相似，且在含义也较为相同，主要表征了智慧高速中建立云端设施，通过云计算技术建设云平台。如宋罡(2022)通过车路协同系统，结合云平台，设计了一种系统构成，使道路可以更好的应用车路协同技术，提高通行量[15]。罗方(2022)基于大数据分析，对智慧高速运营管理系统进行了分析，在其中使用了云计算技术[16]。

其余关键词的相关研究也同样重要，如张红涛(2023)对数字孪生技术在智慧高速中的应用进行了总结，数字孪生主要应用于全信息化数字感知网中，对时间空间数据要求较高，最后应用于交通控制系统[17]。智慧化作为智慧高速另一重点特征，与智慧化信息化类似，应用于智慧高速的各种方面，如目前在管控层面中主要应用于对行程时间的计算、车路 OD 统计、车路轨迹分析、运行态势预估等方面[18]。智慧监控作为智慧高速的功能的一项重要组成部分，在研究中同样被足够重视，孙浩然(2022)提出，智慧高速在智慧高速中主要应用于流量分析、违法行为监管、应急调度等场景下[19]。

### 3.2.2. 关键词共现聚类分析

在 CiteSpace 中，可以直接对全部关键词进行共现聚类，即根据信息单元间的联系类型和强度进行重构，形成不同意义的网络结构(如关键词共现、作者合作、文献共被引等)，网络中的节点代表文献信息单元，连线代表节点间的联系(共现)，最后通过对节点、连线及网络结构进行测度、聚类，得到最终的共现聚类图。

对智慧高速关键词进行共现聚类后，总计可以提取出下述九项关联性较高的类别，具体如表 2 所示。具体关键词聚类图如图 2 所示

Table 2. Keyword clustering result table

表 2. 关键词聚类结果表

序号	关键词数量	关键词
1	62	智慧公路; 数字孪生; 绿色公路建设; 预警能力; 公路管养……
2	53	智慧高速; 车路协同; 数字孪生; 智慧管控; 路测单元; 卫星定位……
3	48	智慧交通; 智慧公路; 高速公路行业; 高速公路; 智能交通; 体系架构……
4	51	高速公路; 运营管理; 联网收费; 智慧工地; 公路工程; 全程监控……
5	37	智慧交通; 指挥调度; 数据资源; 决策支持; 公路隧道……
6	24	收费车道; 收费公路; 智慧高速公路; 高速公路机电系统; 高速系统……
7	13	顶层设计; 接口协议; 业务系统; 关键技术; 智慧高速; 数据资源整合……
8	13	公路养护管理; 公路路网; 信息报送; 突发事件; 区域路网; 联合治理……





Figure 2. Cluster keyword co-occurrence map from the first to the eighth family  
图 2. 第一族到第八族聚类关键词共现图

综上所述，通过关键词聚类，对智慧高速相关关键词划分为了八族。每个族内关键词相互联系紧密，可以看作同族内的关键词，更可能来自同一篇文章。同时，图中文字越大则说明文献研究中比重越高，如在此之中智慧高速、物联网、大数据、车路协同、收费站等文字较大，则说明上述研究在整体文献研究中占比更多。

在第一族中，主要关键词指向了智慧高速中偏向高速属性的关键词，如公路养护、桥梁边坡、机电

设施等方面内容,此族内关键词最多,为62条;在第二族中,涉及了智慧高速中核心的组成架构方面的内容,如管控平台、系统架构和智慧管控等。同时第二族也包含了部分在智慧高速中广泛使用的技术,如数字孪生、车路协同等,共53条关键词;第三族包含了智慧交通的核心技术以及其整体的发展方式,如5G技术、智慧管理、智能网联等;第四族侧重于智慧高速的建设内容以及实际需要构建的相关系统,如智慧工地、服务区、机电系统等,共51条关键词。第五族核心关键词着重突出了智慧高速中的智慧决策内容,如指挥调度、智慧决策、公众出行和物联网等,共37条关键词;第六族与收费站等的关键词相关,包括了监控系统、收费系统、管控系统等关键词,合计24词条。第七组为顶层设计,包括了管理平台、关键技术等相关关键词,共13条。第八族为出行服务等内容,共13条。

综上所述,依据上述聚类,对于智慧高速的研究可以主要分为如下类别:高速属性建设类;车路协同技术类;智慧交通管理类;云平台建设类;物联网服务类;收费站建设类;顶层设计类;出行服务类别。但是上述类别之间依旧存在联系,目前仅是对当前智慧高速的研究方向进行大致方向划分。

### 3.2.3. 时空演变分析

时间线图谱上,依据上述对于关键词聚类后的族,添加时间维度,更加直观的展示了智慧高速的关键词的发展趋势,以推演智慧高速的演进脉络并且预测未来发展趋势。通过多维呈现聚类和关键词信息,将同年份的热点按时间顺序进行排列并集合在指定区域,有助于研究者了解重要关键词演进的时间路径。

通过上述分族关键词,对应绘制出其时间线图谱,如图3所示。

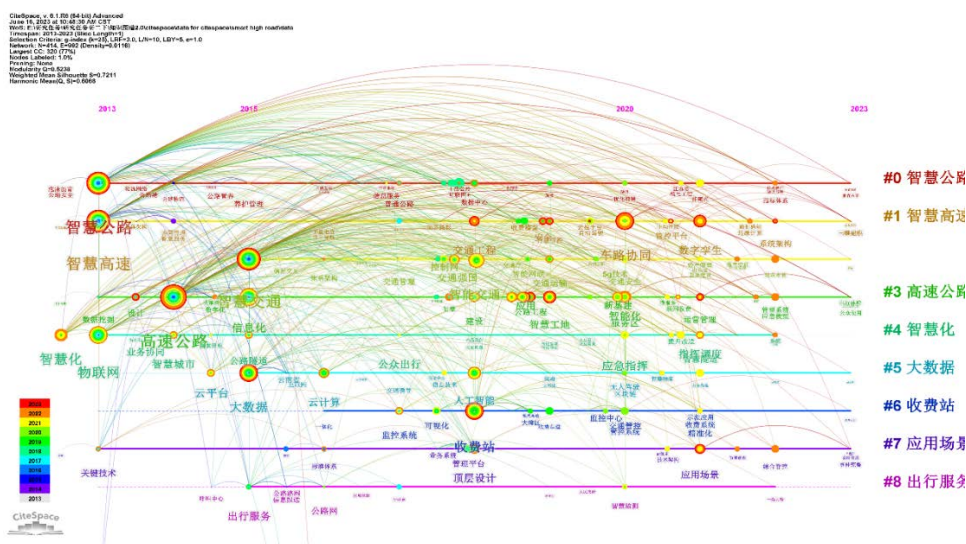


Figure 3. Keywords timeline atlas

图3. 关键词时间线图谱

在图中可以观察到,第一族、第二族、第四族和第八族研究脉络较长,从最初的2013年到现在均有涉及,其中内容主要为智慧高速的养护管理、建设内容、组成部分、核心技术、系统架构以及应用场景等相关内容。第三族、第六族和第七族在研究中开始相对较晚,研究时间从2015年左右到现在,其中主要包括核心技术、云端系统以及收费站系统等具体内容。第五族较为特殊,研究从2015年开始,到2022年,于2023年上半年并无新的相关文章,可以视为第三族当前研究热度衰退,其主要为智慧决策相关内容,如指挥调度、智慧决策、公众出行和物联网。第八族由于关键词较少,最为特殊,2015年开始,2022年结束,代表次族研究时区相对较少,内容主要为服务相关部分。

### 3.2.4. 时区图

处在不同的时期背景下会演绎出不同的研究热点，由图 4 可以看出我国至今有关智慧高速话题的演化路径。CiteSpace 中关键词共现分析时区图可以显示研究内容的演变过程，运用 CiteSpace 软件绘制智慧高速研究领域的关键词时区图，并归纳出智慧高速研究的大致发展特点。

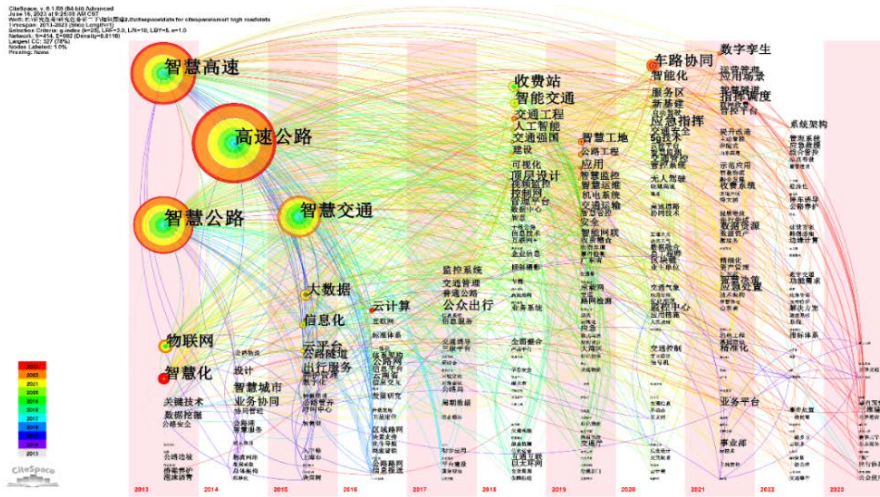


Figure 4. Smart high-speed keyword time zone map  
图 4. 智慧高速关键词时区图谱

在整体研究中，在最初的 2013 年，智慧高速和智慧公路的概念最先被提出，随后学者们开始着眼于其智慧化的研究，同时结合的相关建养的传统公路内容。在 2014 年，学者们开始对于结合智慧城市等研究，开始对智慧高速提出了建设架构。2015 年开始，对于智慧高速的研究开始了新的爆发，对智慧高速重点研究在于数字化、信息化等信息处理内容。包括 2016 年也是在 2015 年的基础上，提出了信息平台、云计算等研究。在 2017 年，学者们的研究开始关注于公路的服务属性以及监控系统上。在 2018 年，对于智慧高速的研究迎来了大爆发，许多新型技术被提出和应用于智慧高速上如互联网+、以太环网、倾斜摄影等技术，同时对于智慧高速也开始关注于收费站等场景上。2019 年的研究在前一年的基础上，更多的集中于建设层面，如智慧工地、机电系统。2020 年开始，5G 技术和车路协同技术开始应用于智慧高速上，同时学者也开始着眼于对智慧高速服务区和监控中心的相关建设。2021 年又在此技术上提出了数字孪生技术，并且提出了收费系统，同时也开始更加重视特定场景的智慧高速运营情况，如隧道桥梁等。2022 年开始，对于智慧高速的新关键词提出开始减少，同时频次也开始变少，这和距离当下时间较近也有一定关系，其中主要内容为继续前一年的基础上，提出新的完善前一年的相关技术，如路侧感知技术、停车诱导技术等。最后在 2023 年中，由于样本较少，但其主要关注于公众出行体验等内容。

对于智慧高速的研究，2015 年和 2018 年是两个主要爆发点，这两年智慧高速的有着较大的突破与创新。15 年的突破主要在于大数据、云平台等相关内容设计与智慧高速建设的结合。18 年突破在对于智慧高速与互联网+的结合中，同时伴随着新兴的智慧高速顶层设计与技术创新，其研究愈发细致，进而在各项具体场景中也开始逐渐突破。

就整体而言，智慧高速在不同阶段的发展充分体现了其不同的建设重心与建设内容。在研究的早期，智慧高速的研究较少，主要研究则是对于智慧高速中的高速属性研究，以高速公路为出发点，结合一定的技术进行研究。而在研究的中期，随着多项技术的创新，智慧高速在此阶段以技术发展为主，包括车路协同，云平台等技术。而在近期的研究中，不断完善发展技术，同时聚焦于智慧高速细节部分，如路



侧感知、车路协同、出行服务等方面。

### 3.2.5. 突现分析

关键词突现指其运用频次在某个时期内显著增加，检测、分析突现词可反映特定时间段内的研究前沿及其随时间发展的历史演变情况，并以此预测未来可能的研究方向。

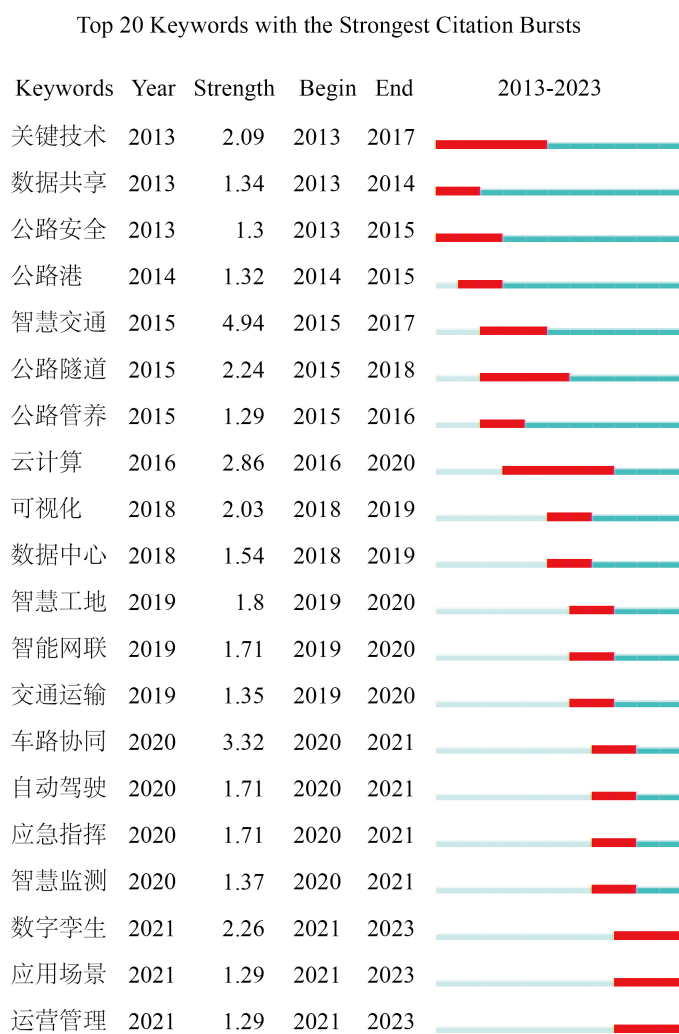


Figure 5. Key words emergent analysis graph

图 5. 关键词突现分析图

图 5 为智慧高速重点关键词突现图分析，红色代表出现年份，其中选取较为关键且具有突现意义的关键字作为汇总分析。由上图可知，数据共享、公路安全、公路港、公路养护等的关键词，仅在早年一到两年间的几篇文献中出现，或更换关键词了，如公路安全与道路安全、数据共享与大数据，或不作为智慧高速重点研究对象，如公路港等。而在近些年间的重点研究的关键词包括云计算、可视化、智能网联、车路协同、自动驾驶、应急指挥等新型的关键技术，重点研究可以应用到智慧高速中的有关技术，研究方向主要为对技术的创新与应用。而在当前，2021 年到现在，研究比较突出的关键词为数字孪生、应用场景和运营管理。数字孪生作为同样新型的技术，代表当前智慧高速研究中仍旧需要有着技术上的突破与研究。应用场景表明了当前高速公路更加重视技术和系统的具体应用场景，代表了对于智慧高速

研究的细化。运营管理意味着当前智慧高速同样需要重视运营层面和管理层面的研究。

综上所述,对于智慧高速整体的研究趋势,在早年间,主要是对于智慧高速特殊设施或者特别含义的解读,而到了近些年,尤其是18年智慧高速研究大爆发后,相关的技术开始不断出现,革新智慧高速,直到现在,对于智慧高速的创新技术以及其技术具体应用方式和场景,同样作为了重点研究方向。同时,当前的智慧高速也更加重视运营管理方面的内容。

#### 4. 结论

综上所述,本文通过CiteSpace对智慧高速的相关1000余篇文献进行梳理,对其整体进行了发文量分析并对关键词的共现分析、时空分析和突现分析等分析,较为全面且完整的研究了国内对于智慧高速当前的研究趋势和研究热点,最终得到以下结论。

1) 根据文献整理以及词频分析,目前国内对于智慧高速整体架构以及建设体系的相关研究已经较为完善,智慧高速的主要研究包括了物联网、大数据、车路协同、智慧化、收费站、云计算等方面。同时目前大部分对于智慧高速的文章均在讨论智慧高速建设包含内容以及应用一项新技术后智慧高速整体架构出现的改变。

2) 根据发文量分析和时空分析,在整体智慧高速的发展中,15年和18年出现了较大的爆发。2015年的爆发相对较小,在此年的研究中,智慧高速开始与大数据相结合,并且学者开始了对于信息化和云平台等运控平台的研究与设计。而在2018年,智慧高速的研究出现了大爆发,原因主要是由于智能交通的兴起和国家对于交通强国的支持。此年的研究中,智慧高速重视了顶层设计,同时也首次专门的对智慧高速的收费站进行了重点的研究。

3) 通过突现分析,目前对于智慧高速的研究主要分为了三个方面。首先是对于特别技术的研究,如车路协同、数字孪生等。在智慧高速相关文章中,并不会对特别的技术进行创新发展类研究,主要研究内容为通过某项技术对于智慧高速的架构和建设做出了某种改变。第二点对于智慧高速的研究为对于服务区、收费站和隧道等特殊场景的研究,此方面研究更加精细且更加具有针对性。第三点对于智慧高速的研究为对服务、管控等智慧高速本身内容的研究,此处的研究重点在于阐释智慧高速包含的内容和需要对此内容包含的相关功能。

4) 对于未来智慧高速相关研究内容的方向,作者认为未来智慧高速发展主要依旧会集中于对最新技术的发展中,每当出现新技术后,随着技术革命的大小会迎来不同幅度的研究爆发,且这些爆发主要是围绕新技术的构成、影响模式、高速构成和具体场景等多方面内容。

结合上述内容,在智慧高速的整体研究中,首先要重视其高速属性建设,进而在此基础上对结合车路协同数字孪生等新兴技术,随后对智慧管理和出行服务进行详细说明定义,最后对收费站、服务区、匝道等特殊场景进行分析,由此,智慧高速的研究则相对完善,后续则是包含了非核心的建设与研究,如服务区餐厅等内容。同时在未来随着5G技术、车联网技术、自动驾驶技术的普及与完善,对于智慧高速的建设则是更可能会倾向于上述方向。

#### 参考文献

- [1] 陈悦,陈超美,刘则渊,等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- [2] 王若霞,陈卓. 智慧高速公路系统建设探究[J]. 中国交通信息化, 2013(S1): 33-35.  
<https://doi.org/10.13439/j.cnki.itsc.2013.s1.008>
- [3] 邓辉. 基于物联网 + 大数据的智慧高速运营管理平台[J]. 中国交通信息化, 2023(S1): 118-122.  
<https://doi.org/10.13439/j.cnki.itsc.2023.S1.028>
- [4] 李捷. 基于物联网的高速公路机电设备智慧管养系统[J]. 中国交通信息化, 2021(10): 110-112.

- <https://doi.org/10.13439/j.cnki.itsc.2021.10.010>
- [5] 周文. 智慧高速公路交通大数据应用研究[J]. 北方交通, 2020(2): 92-94.  
<https://doi.org/10.15996/j.cnki.bfjt.2020.02.024>
- [6] 黎琮莹. 大数据技术在智慧高速公路交通运营管理中的应用研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(1): 137-139.  
<https://doi.org/10.19537/j.cnki.2096-2789.2023.01.041>
- [7] 张国锋, 李宁, 秦通. 智慧高速公路车路协同系统构建方案研究[J]. 北方交通, 2023(6): 91-94.  
<https://doi.org/10.15996/j.cnki.bfjt.2023.06.023>
- [8] 杜奕霖, 王平恒, 杨友盛, 等. 基于车路协同的智慧高速公路建设关键工程与技术应用研究[J]. 西部交通科技, 2023(4): 164-166. <https://doi.org/10.13282/j.cnki.wccst.2023.04.048>
- [9] 刘析远. 高速公路智慧化改造研究——以 G15 上海嘉浏段高速公路智慧化改造工程为例[J]. 城市道桥与防洪, 2023(4): 20-23+301+11. <https://doi.org/10.16799/j.cnki.csdqyh.2023.04.006>
- [10] 肖晓鹏. 湖南平益高速长寿服务区智慧化建设浅析[J]. 中国交通信息化, 2023(3): 83-84+87.  
<https://doi.org/10.13439/j.cnki.itsc.2023.03.008>
- [11] 孙天一, 晋月月. 高速公路智慧收费站建设方案研究[J]. 交通世界, 2023(Z2): 10-12.  
<https://doi.org/10.16248/j.cnki.11-3723/u.2023.z2.021>
- [12] 李明, 闻峰, 李志昌. 高速公路收费站智慧化运营新模式探索[J]. 中国交通信息化, 2023(S1): 138-141.  
<https://doi.org/10.13439/j.cnki.itsc.2023.S1.033>
- [13] 李欣科. 高速公路信息化与智能化管理的发展分析[J]. 运输经理世界, 2023(6): 71-73.
- [14] 马赛. 高速公路“智慧服务区”信息化综合管理平台研究与实践[J]. 科技与创新, 2023(1): 145-148.  
<https://doi.org/10.15913/j.cnki.kjyex.2023.01.040>
- [15] 宋罡. 基于智慧高速公路的车路协同系统及其实际应用[J]. 中国公路, 2022(23): 104-105.  
<https://doi.org/10.13468/j.cnki.chw.2022.23.024>
- [16] 罗方, 李照彬, 陈佐豪. 基于大数据分析的智慧高速运营管理系统[J]. 中国交通信息化, 2022(8): 30-34+111.  
<https://doi.org/10.13439/j.cnki.itsc.2022.08.002>
- [17] 张红涛, 孟玉文. 数字孪生技术在智慧高速中的应用[J]. 中国交通信息化, 2023(S1): 291-292.  
<https://doi.org/10.13439/j.cnki.itsc.2023.S1.068>
- [18] 常知情. 基于高速公路现有设施的智慧化提升探讨[J]. 中国交通信息化, 2023(S1): 77-79+84.  
<https://doi.org/10.13439/j.cnki.itsc.2023.S1.018>
- [19] 孙浩然. 智慧监控在高速公路信息化中的应用[J]. 电子技术, 2022, 51(12): 246-247.