

产业发展

基于可视化分析的中国铁路运输安全研究进展及展望

殷树强

(重庆铁路投资集团有限公司, 重庆 400023)

摘要: 铁路运输安全为确保旅客生命财产安全和货物运输顺利提供保障。通过两种文献计量分析方法研究我国铁路运输安全研究现状及未来方向。结果表明:铁路运输安全研究分为被动约束阶段、主动约束阶段和主动管理完善阶段;研究集中在安全运行防护体系、基层站段安全管理、运输安全事故预测与评价和运输安全事故影响因素;铁路运输安全未来应关注安全管理信息化技术集成、列车运行安全智能化技术和铁路外部环境动态监测。

关键词: 铁路运输; 运输安全; 安全管理; 运输事故; 可视化分析

中图分类号: U298 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)12-0053-09

铁路运输安全是指在铁路运输过程中,通过采取一系列有效的预防和控制措施,确保人员、设备、货物和环境的安全,防止事故的发生,保障铁路运输的顺利进行,包括列车运行安全、车站作业安全、线路设施安全、信号通信安全等多个方面。铁路运输运量起点较高,是大宗散装货物的主要运输方式。中华人民共和国成立初期,由于员工意识淡薄、铁路基础设施老旧失修及敌对分子破坏,铁路安全事故频发^[1]。在此背景下,铁路运输安全方面的管理、安全运输网络的建设、运输安全规章的颁布开始引起了人们的重视。随着化工产品需求的增长,铁路危险货物运输量逐年上升^[2-6],有关学者提出了铁路危险货物运输风险评价指标,以便尽早发现和减除潜在危险,并客观评价铁路危险货物运输的安全状况^[7]。如今信息技术、大数据、人工智能等现代化技术的发展为铁路运输安全的保障提供更多的工具和方法^[8-10],如何利用现有技术提高铁路运输安全水平成为铁路运输的重大挑战。研究发现,传统的回顾性方法无法较好地反映铁路运输安全领域的研究现状,科学知识图谱是通过定量分析来揭示科学知识结构的重要工具。本文运用CiteSpace与VOSviewer软件对铁路运输安全领域的文献资料进行可视化数据分析,采用关键词节点共现分析,绘制科学知识图谱,总结铁路运输安全

的研究热点和前沿,为深入认识铁路智能化运营维护及安全防护体系,优化安全管理策略以及预防铁路运输安全事故提供依据。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

选择中国知网作为数据库,检索关键词为“铁路运输安全”“铁路运输事故”“铁路行车安全”“铁路货物运输”“交通运输安全”等进行组合检索。文章类型选择“学术期刊”,匹配模式选择“精准”,论文检索时间限定为2000年1月至2023年12月,选择期刊来源为《中文核心期刊要目总览》(简称北大核心期刊)、科学引文索引(Science Citation Index, SCI)、工程索引(Engineering Index, EI)、中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database, CSCD)、中文社会科学引文索引(Chinese Social Science Citation Index, CSSCI)等。对检索到的文献资料进行相关性的排序并仔细筛选,剔除重复的文献并去除相关性较低的文献、会议记录和新闻报道,最终得到884篇文献。

1.2 研究方法

研究采用CiteSpace可视化软件,该软件能绘制科学知识的发展历程和结构关系的图像,由此能够确定某个研究领域的研究热点和研究基础。CiteSpace作为科学知识图谱^[11],具有“图”和“谱”

收稿日期: 2024-12-20

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项(CSTB2022TIAD-KPX010)

作者简介: 殷树强(1978—),男,内蒙古赤峰人,工程师,研究方向为投融资、高速铁路建设管理、水土保持与生态环境保护。

的双重特征,既是可视化的图形,又是系统化的知识谱系,能够表明知识领域内各个单元之间的许多复杂关系。VOSviewer 同为文献计量分析软件,通过“网络数据”的关系,构建可视化分析,实现图谱的绘制,展示研究领域的进化、合作等关系。

2 铁路运输安全阶段分析

2.1 铁路运输安全载文量变化

载文量是衡量信息传播的指标之一,一定程度上可以反映该领域的关注度,将筛选后的中文期刊按照发表年度进行分布排列(图 1)。按时间进行分析可以发现:2001—2003 年期间该领域处于起步阶段,论文的发表数量快速增加;2003—2007 年关于

铁路运输安全领域的研究论文数量呈现波动式下降趋势;2008—2018 年该领域发文量缓步增加,可见铁路运输安全问题逐渐引起了人们的重视;2019—2023 年发文量呈现波动态势,2021 年发文量是 2000—2023 年发文量最高的一年,达到了 55 篇。整体来看,近几年的论文数量较 2000 年已有明显的数量提升,且大体上处于上升的趋势,说明国内铁路运输安全问题的研究热度仍在上升。

2.2 铁路运输安全发展阶段划分

由 CiteSpace 制作关键词时区如图 2 所示,对关键词采用 LLR 算法进行聚类,并提取聚类标签,选择数量多的前 11 个聚类。LLR 算法在聚类过程中

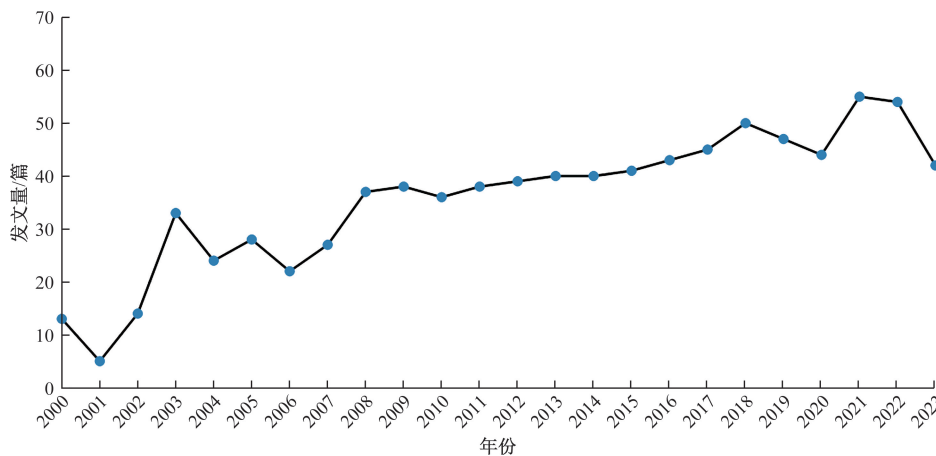


图 1 2000—2023 年铁路运输安全研究发文量

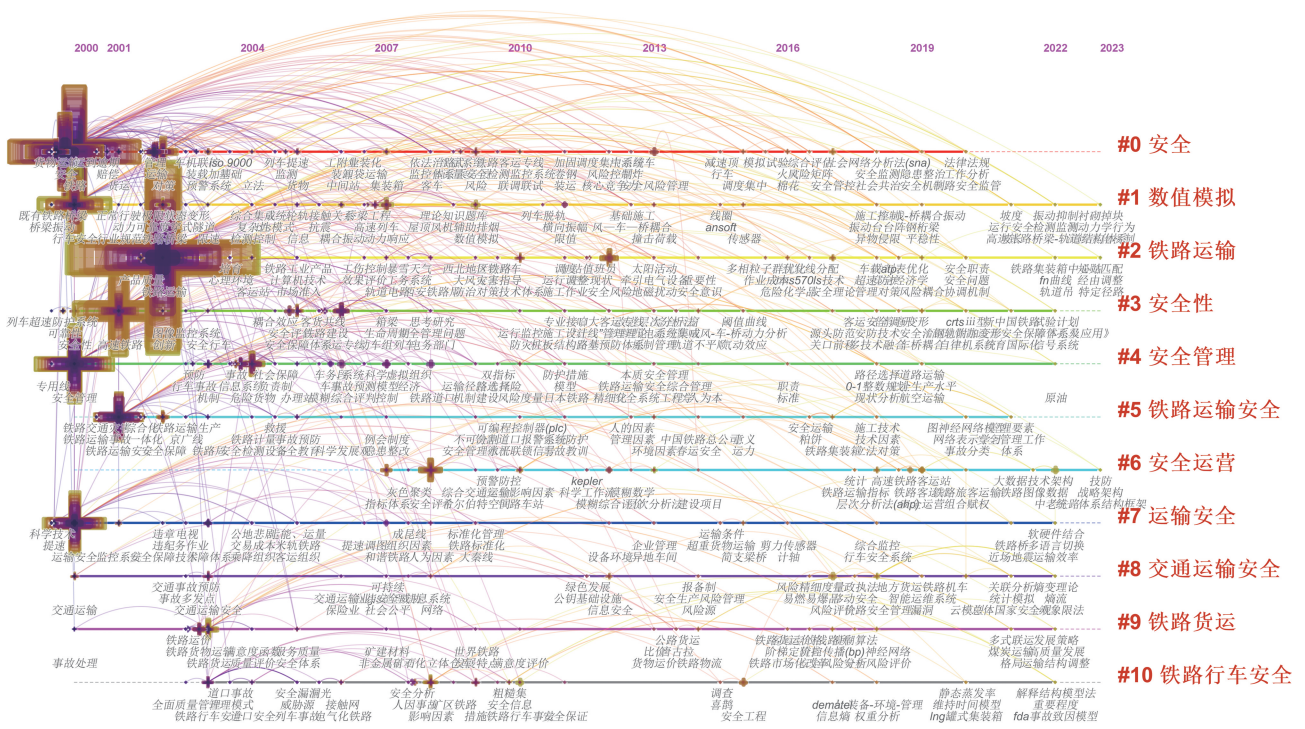


图 2 2000—2023 年铁路运输安全关键词时区

提取研究术语会偏向于表达聚类的独特性,能有效改善统计结果。在关键词时区图中每个时间点对应一条纵向的时间轴。时间轴上的关键词代表在该时间点上该关键词首次出现时间,节点的大小对应该关键词出现的频次高低,连线代表关键词的共现关系。从时区图谱得知,聚类#0、#1、#2、#3、#4、#7关注度自兴起一直持续至今,研究热点包括铁路运输管理、高速铁路、安全管理、铁路运输事故、科学技术提速等。

由时区图2显示的关键词可以了解,铁路运输安全的研究是一个循序渐进的过程,具有明显的阶段特征,大致上可以分为三个典型阶段^[12],即被动约束阶段、主动约束阶段、主动管理完善阶段^[13](图3)。

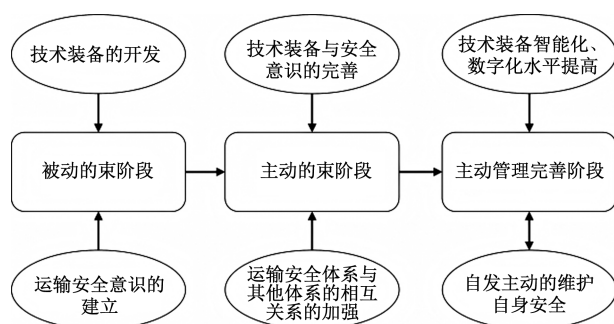


图3 铁路运输安全各阶段划分依据示意图

(1)被动约束阶段:2000—2005年,此时的安全工作并非由系统主动运行,而是在法律、规章等外部监督下进行的。随着安全意识的提升,工作人员开始注重安全文化体系的系统性的建立^[14-16],该阶段的研究重点主要集中在铁路运输安全管理体系建设、安全生产责任制落实、安全技术装备研发和应用等方面。李学军^[14]指出该阶段铁路运输安全体系和机制中所存在的不足,并对铁路运输安全管理体系提出了改进措施。通过完善的铁路运输安全管理体系、提高安全生产责任制的执行力、研发和应用先进的软硬件装备等,以保障作业人员的安全行为受到自身完全意识水平与安全管理制度共同作用^[17]。赵国智和李仲学^[18]提出开发铁路运输安全系统,将安全管理由传统的事后追踪变为事前预防控制,综合用于安全生产的各类信息资源和现有的网络设备,将提高铁路运输安全管理水平和安全生产管理效率。

(2)主动约束阶段:2006—2010年,此时的运输系统内部的安全意识和安全技术逐渐成熟,运输安全工作开始向主动约束发展,技术手段、管理章程、

安全培训等相关工作也逐步完善,运输安全体系与其他体系之间的对应和联系关系得到加强。研究重点主要集中在铁路运输安全风险评估与控制、客运专线监测监控系统、事故预警防控系统等系统与安全管理体系之间的联系。如何进行有效的铁路运输安全风险评估与控制,铁路客运专线检测监控系统,以及加强安全文化建设和铁路灾害指导等同样成为有一定热度的研究内容。李积英等^[19]提出一套综合多项工作体系的安全监控系统,系统涉及安全监管、监测信息检查检查、行车调度指挥等日常工作,将各类监测系统采集的信息集成分析,采用B/S、C/S的方式实现信息指挥系统的接入,结合行车调度指挥进行改进,通过安全制度的完善和人工检查实现归一化统一管理。

(3)主动管理完善阶段:2011年至今,此时系统内安全意识和安全技术普遍形成,运输系统积极主动地维护自身的安全状态。该阶段的研究重点主要集中在铁路安全信息化、智能化建设等方面。研究如何利用信息技术手段提高铁路运输安全的管理水平,推进智能化建设,运用各种数学模型对列车横向振幅限值、风-车-桥耦合关系、施工控制振动台异物侵限等问题进行数值模拟,并制定和实施安全生产标准化体系等。随着有关资料的不断累积和我们国经济和技术水平性能化发展,铁路桥梁建设从“单水准”设防发展为“三水准、两阶段”设防,场地分类走向精细化,安全防护措施更加具体,人民群众的出行需求和铁路运营环境更加多变,未来需要铁路运输系统将更高效、精确地采集内外部数据,以检查和校正列车的运营环境^[20]。铁路运输安全的研究从最初的行车规范和运输安全管理规范等相关规章制度的完善,逐渐发展到各种安全检测设备的应用和完善自身的安全体系,再到提高自身系统的智能化水平,进行自发、主动管理、完善的阶段。

3 铁路运输安全研究热点主题

3.1 安全运行防护体系

采用VOSviewer对关键词进行聚类分析(图4),进而反映研究领域内的热点问题和相互之间的结构关系。分析聚类图中关键词的分布与共现关系,铁路运输安全涉及行车安全、铁路建设、安全管理、安全监控事故预测、事故评价等多个方面。其中铁路桥梁、高速铁路、运输组织、安全监控、铁路行车安全等节点都涉及安全运行防护体系。先进、良好的防护体系可以保证铁路运输的安全性,

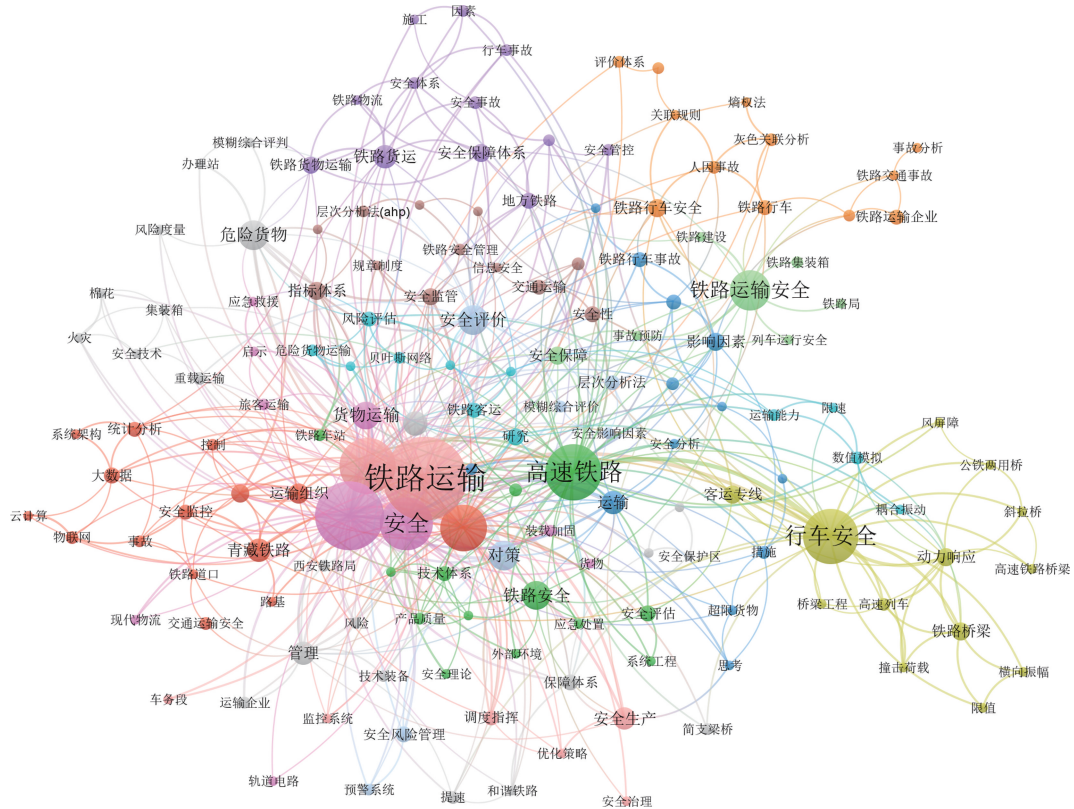


图 4 VOSviewer 铁路运输安全关键词聚类

能够提高铁路系统的应急响应能力,最小化应急事故可能造成的损失。

铁路运输安全依赖先进的安全运行防护体系,中国铁路运输领域已经开发出列车运行自动控制系统、环境监测和报警系统、列车状态监测系统、列车信号系统等,以确保列车运行的安全和通畅^[21]。信号系统涵盖地面信号设备与车载信号装置两大组成部分,信号显示逻辑设计严谨周密,CTCS-4 级系统已在高速铁路领域得以广泛应用。在此基础上,进一步将 ATO(列车自动运行)技术融入传统的 CTCS 系统中,从而实现了列车的高效、精准自动驾驶控制,极大地提升了列车运营的安全性与智能化水平。除了本务机车装备的 CTC 系统,调车机车装备了无线调车机车信号和监控系统(shunting train protecting, STP),将无线调车机车信号系统和监控系统进行综合,实现业务与系统的无线对接,以保障作业安全^[22-24]。为预防因轨道问题导致的铁路运输安全事故,设计了 ZPW-2000 轨道电路诊断系统,其能够对轨道电路电器特征数据进行压缩并提取特征值,以此判断多种常见故障。在保证列车运行环境安全方面,需保障列车的运营环境的安全,列车已装备高速铁路自然灾害及异物

侵限系统等环境监测系统,可有效实现铁路沿线风、雨、雪、地震灾害及异物侵限的多场景应用,该系统架构于通信传输系统之上,集灾害信息采集、分析、处理和指导辅助安全行车的平台。在高速铁路建设的过程中,采用压实质量的连续测量方法^[25],基于“机土耦合”理论开展大量的研究,充分考虑路基填料的振动压实特性,为列车运行安全提供保障。铁路周边的环境对铁路运输安全会产生较大的影响,地形、地貌、复杂的地质条件,都会对铁路运输安全构成威胁^[26-28],为保证列车行车安全,以桥代路的建设方案在高速铁路建设将得到更多的实施。

3.2 基层站段安全管理

通过 CiteSpace 对所选文献进行关键词共现分析,基于关键词共现分析,以此来测定它们的关联程度。选择 CiteSpace 的节点类型为关键词,时间跨度设置为 2000—2023 年,时间切片选择 1,网络裁剪 Pruning 选择最小生成树,关键词阈值选择 12。得到如图 5 所示的关键词共现图。该共现网络图共有 1 667 个节点,2 004 条连线。

分析共现结果如表 1 所示,出现频次较高的关键词有“铁路运输”“铁路”“安全管理”“行车安

全”“运输安全”和“危险货物”，同时最早出现的关键词为“铁路运输”和“运输安全”。关键词中介中心性是指节点对于其他节点之间信息传递起到的中介作用，中介中心性越高，则表示该节点与其他节点的关联越密切，在研究过程中具有更重要的作用。

由关键词中心性可知，安全管理涉及高速铁路、铁路运输安全、行车安全等多个研究领域，且安全管理是铁路运输安全的重要组成部分，是保障人员和财产安全的重要手段，如图 6 所示。基层站段作为铁路运输安全的最直接的管理单位^[29]，其安全管理完善程度，安全管理水平的高低，直接影响铁路运输的整体安全。结合技术、管理和人员培训等多方面手段，形成全方位的安全防护体系，明确各

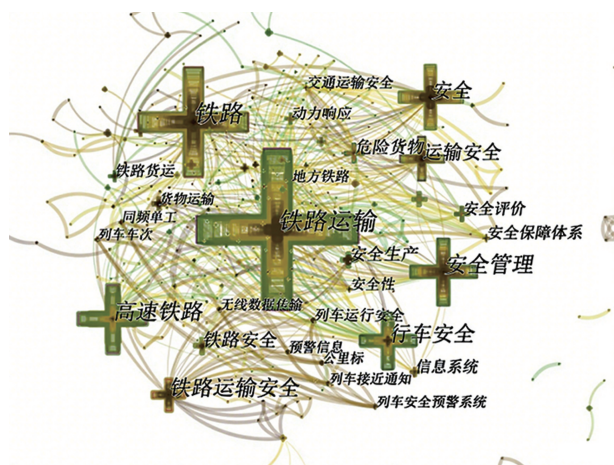


图 5 基于 CiteSpace 铁路运输安全关键词节点共现

表 1 基于 CiteSpace 的铁路运输安全关键词共现中心性

序号	关键词	中心性
1	铁路	0.29
2	铁路运输	0.25
3	高速铁路	0.19
4	铁路运输安全	0.15
5	安全管理	0.13
6	行车安全	0.10
7	铁路安全	0.10

级人员的安全责任、建立快速有效的应急响应机制是最基础的工作目标。康高亮等主张高速铁路的安全保障体系应适应其安全管理需求^[30]，遵循安全管理理念和规范。实现“三防一体”的保障体系，通过制定严格的规章制度和操作流程，保证铁路工作人员按照规定操作，避免事故发生。

制定预防和应急处理方案，可以减少事故的发生及其造成的损害，铁路生产需规范好安全事故应急预案管理，增强预案的针对性和实用性。同时需要全面开展事故安全风险评、加快应急预案管理信息化建设，以减低应急成本，减少事故危害^[31-33]。解决铁路安全应从实际出发，杨子楠^[34]基于熵变理论和二位象限法，解释了铁轮运输安全管理的本质，从源头治理本质化、风险管控本质化、组织协调本质化构建铁路运输本质安全创新体系。在管控的基础上实现了上层理念的底层落地。

3.3 运输安全事故预测与评价

研究铁路运输安全事故的预测评价，可以帮助铁路管理部门更好地识别和管理安全风险，优化资源配置，提高应对突发事件的能力。铁路事故的发生存在多种不确定性^[35-36]，采用遗传算法^[37]、马尔可夫和支持向量模型^[38]、模糊综合评价法^[39]、逻辑回归法^[39]、神经网络模型^[40]、强化学习^[41]等方法预测铁路事故发生的次数和多发点的分布规律。如钟敏慧等^[42]基于梯度提升决策树 (gradient boosting decision tree, GBDT) 对铁路事故类型预测及成因进行分析，针对历史数据进行训练，根据模型特征重要度进行排序，实现铁路事故致因分析，减少了人力的投入。还可以运用现代仿真软件^[43]，对铁路事故进行数字采集、现场仿真建模、事故过程分析、事故风险识别，探究事故发生的原因和过程，帮助铁路部门及时发现安全隐患，培养员工的安全意识。铁路运输安全评价是改善运输安全的依据，在事故安全评价方面，采用层次分析法对铁路安全事故进行分析量化，对

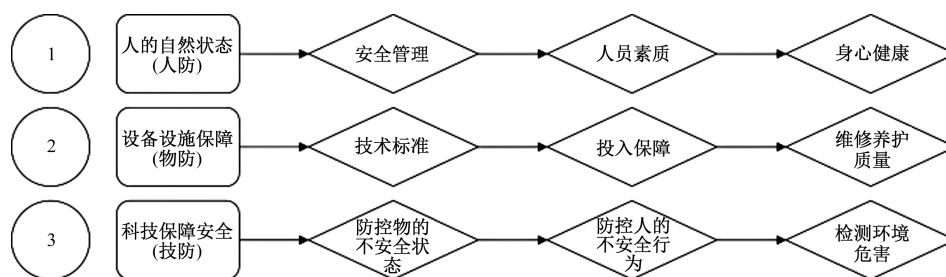


图 6 “三防一体”相关概念及联系

铁路安全事故风险进行客观评价,根据风险发生的概率和潜在影响确定风险等级并找出铁路事故后果与事故特点之间的联系,最后用一组宏观数字展现出来,为有关部门的管理监督工作提供依据。

3.4 运输安全事故影响因素

铁路运输安全事故严重威胁铁路运输安全,其受到铁路运行、设备状态、天气条件等多方面影响,铁路运输事故中主要的因素包括人、设备、环境、管理等,其中人和管理的因素为主观因素,这些因素相互制约、相互影响^[44-46]。主要内容参考表 2 中的详细解析。铁路外部环境是影响铁路运输安全、降低铁路运输效率的重要原因之一。为减弱外部环境因素对铁路运输安全的影响,铁路部门需要从应用架构、数据架构两方面构建高效、直观的外部环境隐患分析平台^[47],实施掌握全路外部环境隐患态势,通过风险评估和隐患排查,提前识别和消除可能导致事故的因素。同时外部环境安全监督部门也应随时掌握隐患的治理进展,对治理不力的行为警告并及时跟进。

表 2 铁路运输安全事故的主要影响因素

影响因素	基本内容
人的不安全行为	涉及人员包括乘客、列车工作人员、司机等,如乘客错误使用车载设备、司机疲劳驾驶或驾驶水平较低等
物的不安全状态(设备)	包括列车运行所需的信号系统、制动系统正常工作、列车设备老化、发生故障等
运行环境因素	不良天气、地震、高温高寒、隧道坍塌等不可抗力因素都会对铁路运输造成不良影响
管理制度效能	管理不善以及缺乏安全预防意识,如管理者疏忽了安全常识的教育,导致乘务员、驾驶员的疏忽都会产生潜在风险。

一般采用层次分析法^[48]、事故树理论^[49]、神经网络模型^[49]、故致因理论^[50]、解释结构模型、决策试验和评价试验法(decision-making trial and evaluation laboratory, DEMATEL)^[51]等研究因素本身对事故的影响程度,得出对事故直接或间接致因的因素^[52-54]。例如,于秀珍和牟瑞芳^[54]采用解释结构模型法与决策实验室分析法从人、机、环境、管理四个维度出发,总结多个铁路运输安全事故影响因素,得出设备设施原件故障、违规作业、监督管理不当、教育培训不到位使铁路运输安全事故导致的主要因素。

4 展望

4.1 安全管理的信息化技术集成

深度融合大数据、物联网等先进技术手段,实现对铁路运输安全的可视化动态管控、风险精确预测、应急响应自动化并构建一套高效精准的信息化安全管理系统^[55]。高速铁路安全管理工作应坚持“关口前移、源头防范、过程控制、持续反馈”原则,提高对铁路线路及其设施状态的实时监测与预警能力。采用先进的监控技术和设备,强化对铁路线路及设施状态的实时监测与预警能力^[56]。内部管理层面推广应用现代化的安全管理模式,推动后勤工作的信息化进程,采用电子围栏等智能装置,以实现安全管控的自动化与自主化,为人员安全管理构筑坚固的保障屏障。通过开发和应用可视化自动编制平台、建筑信息模型(building information modeling, BIM)信息化平台等先进工具,增强铁路运输在安全性、规范性及程序性等方面的综合表现^[57]。

4.2 列车运行安全的智能化研究

为提升列车运行安全智能化水平,研究集中于系统自身智能化水平提升、海量视频图像数据价值挖掘和跨系统融合三个方面。对于列车运行环境中存在的诸如人员误入、异物侵限和泥石流等各类危险因素的智能化识别与评估技术仍处于实验室研究和局部试点阶段,提升列车运行安全的智能化水平聚焦高速铁路的运营环境和提高智能算法的试点应用。高速铁路信号系统将具备多维度状态数据的采集整合能力^[58-59],涵盖行车设备监测、运行环境实时感知等多元应用场景,提高对复杂恶劣环境及响应突发事件的适应性^[60-62]。铁路充分利用现有系统价值,开发跨系统融合与应用,如高速铁路周界入侵报警系统与综合视频监控系统联动实现远程监控、线路安全环境管理平台和高铁基础设施视频大数据应用系统接入综合视频监控系统等,实现列车运行优化控制、动态调度智能化以及一体化的运行控制技术体系,以增强对各类突发情况的应对能力。

4.3 铁路外部环境动态监测保障

铁路外部环境动态、精密监测是保障铁路运输安全的重要手段,融合多种遥感技术、深化系统智能化、提升部门间网络互联性。广泛运用包括高分辨率遥感、机载激光雷达(light detection and ranging, LIDAR)、红外热成像在内的多元传感技术,结合地理信息系统(geographic information sys-

tem, GIS)及大数据分析手段,实现监测精度、效率的显著增强^[63]。通过深度综合多种遥感技术,铁路外部环境监测系统将进一步实现自动化识别与解析遥感数据的能力,能够智能判断潜在的安全隐患,诸如地质灾害、非法占用线路区域等状况,确保快速预警并实现实时数据共享,从而有力促进不同职能机构间协同运作效能的提升。

5 结论

铁路运输安全关系到广大乘客的生命和财产安全。铁路运输安全发展阶段从被动约束阶段到主动约束阶段,再到主动管理完善阶段,研究视角由安全生产责任制、安全管理体系建设到各类安全检测设备的多场景使用和安全管理体系的主动管理完善,并进一步追求提升系统的智能化水平,以求实现安全问题的自发识别、主动干预以及完善。通过对科学知识图谱的分析,研究热点集中于与安全运行防护体系、基层站段安全管理、运输安全事故预测与评价、运输安全事故影响因素。其中,信号系统、环境监测设施以及轨道电路诊断系统等构成铁路运输安全不可或缺的安全运行防护体系;基层站段管理强调精细化、预防性管理和应急响应方案设计;在预测评价方面,采用预测模型与数字仿真等技术预估事故发生的频率及高风险区域分布规律,并进行风险评估;影响铁路运输安全的因素有人员素质、设备状态、运行环境条件及管理制度效能等多个因素。未来的研究将注重信息化安全管理技术应用、铁路运行安全的智能化研究和铁路外部环境动态监测三个方面,在确保运输安全性的基础上,促进整体运输效率和安全标准的同步跃升。

参考文献

- [1] 黄华平. 新中国初期铁路运输的安全形势与治理成效[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2021, 20(3): 29-36.
- [2] 邢玉鑫. 铁路危险货物运输安全管理创新的探索与思考[J]. 中国储运, 2024(3): 89-90.
- [3] 黄婧瑄. 铁路危险货物运输安全管理策略研究[J]. 物流科技, 2023, 46(16): 83-85.
- [4] 王旭磊, 孙春薇. 危险化学品公路运输事故致因分析及安全管理对策[J]. 公路交通科技, 2022, 39(1): 167-174.
- [5] DRZEWIENIECKA B, NOWAK M. Safety aspect in carriage of dangerous goods by railway transport[J]. New Trends in Production Engineering, 2018, 1(1): 35-41.
- [6] VERMA M. Railroad transportation of dangerous goods: a conditional exposure approach to minimize transport risk[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2011, 19(5): 790-802.
- [7] SANGIORGIO V, MANGINI A M, PRECCHIAZZI I. A new index to evaluate the safety performance level of railway transportation systems[J]. Safety Science, 2020, 131: 104921.
- [8] TANG R, DE DONATO L, BESINOVIĆ N, et al. A literature review of artificial intelligence applications in railway systems[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2022, 140: 103679.
- [9] 余振国, 宁静, 周豆, 等. 铁路运输安全监督管理大数据应用研究[J]. 铁路计算机应用, 2021, 30(3): 19-22.
- [10] 齐彦昆, 高扬, 胡昭鹏, 等. 铁路安全监督管理现状及对策[J]. 综合运输, 2024, 46(5): 60-64.
- [11] 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.
- [12] GUIDE DS. Safety assessment for research reactors and preparation of the safety analysis report[M]. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2022.
- [13] 张开冉, 盛冷铃. 高速铁路安全文化理论体系研究[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(3): 57-62.
- [14] 李学军. 对铁路运输系统安全管理存在问题的思考[J]. 铁道技术监督, 2004(3): 21-22.
- [15] 马金宝, 季宏杰. 铁路运输安全管理问题及对策[J]. 科技信息, 2012(7): 624-625.
- [16] 宋小齐. 铁路运输安全管理问题及对策分析[J]. 运输经理世界, 2021(11): 22-24.
- [17] 关则彬. 铁路安全风险预警系统研究[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(12): 49-54.
- [18] 赵国智, 李仲学. 基于 B/S 模式的铁路运输安全管理信息系统[J]. 铁道运输与经济, 2005(11): 67-68.
- [19] 李积英, 何涛, 赵贺, 等. 青藏铁路综合安全监控系统研究[J]. 铁道学报, 2010, 32(6): 114-119.
- [20] 柳青红, 关则彬, 赵颖, 等. 高速铁路运营环境安全监测系统综述[J]. 中国铁路, 2023(4): 40-47.
- [21] 王宇晴, 查伟雄, 万平. 列车运行调整与到发线运用的协同优化研究[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(22): 9797-9804.
- [22] 郭治国, 许新伟, 张奕敏. 无线调车机车信号和监控系统应用研究[J]. 中国铁路, 2011(6): 33-34.
- [23] 王朋. 无线调车机车信号和监控系统实际应用中无线通信解决方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(2): 71-73.
- [24] 郭喜春. 无线调车机车信号和监控技术装备发展综述[J]. 无线互联科技, 2021, 18(9): 20-21.
- [25] 叶阳升, 朱宏伟, 尧俊凯, 等. 高速铁路路基振动压实现理论与智能压实技术综述[J]. 中国铁道科学, 2021, 42(5): 1-11.
- [26] NOGUEIRA K, MACHADO G L S, GAMA P H T, et al. Facing erosion identification in railway lines using pixel-wise deep-based approaches[J]. Remote Sensing,

- 2020, 12(4): 739.
- [27] 王义, 陈兴冲, 张熙胤, 等. 桥梁沉井基础抗震性能研究现状及展望[J]. 世界地震工程, 2020, 36(1): 44-55.
- [28] 庞林, 刘力维, 董俊, 等. 高烈度区铁路桥梁位移型和速度型阻尼器减震对比研究[J]. 科技和产业, 2021, 21(4): 331-336.
- [29] 文强. 铁路基层运输站段安全管理现状的思考与对策[J]. 大众标准化, 2021(15): 201-203.
- [30] 康高亮. 中国高速铁路安全保障体系研究与实践[J]. 铁道学报, 2017, 39(11): 1-7.
- [31] 陈禾. 地方铁路安全管理问题及对策研究[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(S1): 54-58.
- [32] 汤兆平, 耿彪, 刘卫卫, 等. 铁路突发事件应急资源调配的优化与决策[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(4): 292-297.
- [33] 缪孝宏. 蒙内铁路运输生产安全事故应急预案管理探讨[J]. 中国铁路, 2019(9): 39-43.
- [34] 杨子楠. 基于熵变理论的铁路运输本质安全管理研究[J]. 系统科学学报, 2022, 30(3): 131-135.
- [35] HUDOKLIN A, ROZMAN V. Reliability of railway traffic personnel[J]. Reliability Engineering & System Safety, 1996, 52(2): 165-169.
- [36] 鄢荣娇, 苏文成, 陆琳. 论铁路货物运输突发事件研究综述[J]. 交通与运输, 2021, 34(S1): 126-131.
- [37] 齐超. 基于粗糙集-遗传算法的铁路货运事故分析[J]. 铁道货运, 2015, 33(8): 22-25.
- [38] 邹亚龙, 蒋荟. 基于马尔可夫和支持向量回归组合模型的铁路行车事故预测研究[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(9): 88-92.
- [39] SATTARI F, MACCIOTTA R, LEFSRUD L. Process safety approach to identify opportunities for enhancing rail transport safety in Canada[J]. Transportation Research Record, 2021(1): 49-66.
- [40] LEE H, HAN S Y, PARK K, et al. Real-time hybrid deep learning-based train running safety prediction framework of railway vehicle[J]. Machines, 2021, 9(7): 130.
- [41] YAN D, LI K, ZHU Q, et al. A railway accident prevention method based on reinforcement learning-active preventive strategy by multi-modal data[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2023, 234: 109136.
- [42] 钟敏慧, 张婉露, 李有儒, 等. 基于GBDT的铁路事故类型预测及成因分析[J]. 自动化学报, 2022, 48(2): 470-478.
- [43] 刘瑞芳, 鲁放, 刘宇. 铁路事故现场数字化建模及动态仿真分析系统[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(S1): 11-16.
- [44] 樊梦琳, 郑伟. 铁路事故持续时长预测背景下的影响因素分析[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(S1): 101-106.
- [45] 李铁. 铁路车站行车安全的影响因素及预防措施[J]. 运输经理世界, 2021(17): 133-135.
- [46] 谢安娜, 尹盼盼, 王志远. 基于SEM的铁路客运安全影响因素分析[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(S2): 30-34.
- [47] 全超, 徐鹏, 孙新宇, 等. 铁路外部环境安全管理信息系统设计研究[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(5): 70-76.
- [48] 胥红敏, 张湜, 李晓宇. 基于层次分析法的铁路安全事故后果评价[J]. 铁道技术监督, 2018, 46(2): 27-31.
- [49] 韩梅, 吴珊, 常青, 等. 基于事故树和模糊贝叶斯网络的铁路超限货物运输风险评估[J]. 铁道学报, 2021, 43(5): 9-17.
- [50] 徐国权, 张佳慧, 况坚. 基于ARIMA-BP组合模型的铁路行车事故数预测[J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版), 2023, 43(3): 174-179.
- [51] 乔悦, 韩世龙. 基于DEMATEL-ISM的铁路施工组织设计影响因素研究[J]. 科技和产业, 2024, 24(18): 246-251.
- [52] HUANG W, SHUAI B, ZUOB, et al. A systematic railway dangerous goods transportation system risk analysis approach: the 24 model[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2019, 61: 94-103.
- [53] 左博睿, 帅斌, 黄文成. 基于ISM-24Model的重大铁路事故组织致因研究[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(10): 47-54.
- [54] 于秀珍, 牟瑞芳. 集成DEMATEL与ISM的铁路行车事故影响因素分析[J]. 安全与环境学报, 2022, 22(5): 2334-2341.
- [55] 王世恒, 王万玉. 加强专用铁路运营安全管理研究[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(S1): 138-144.
- [56] 陈家旭, 王铭铭, 李金波. 面向行车安全的高铁系统风险辨识与动态演化研究[J]. 中国铁路, 2023(9): 18-26.
- [57] 王玉玮, 宋炜杰. 高速铁路联调联试组织管理信息化研究[J]. 铁路技术创新, 2023(6): 30-35.
- [58] 程梁. 中国铁路信号显示技术的回顾与展望[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(3): 145-153.
- [59] 宁滨, 莫志松, 李开成. 高速铁路信号系统智能技术应用及发展[J]. 铁道学报, 2019, 41(3): 1-9.
- [60] 李德仓, 陈晓强, 孟建军, 等. 恶劣环境下铁路行车安全研究综述[J]. 交通信息与安全, 2022, 40(4): 26-37.
- [61] LI D, CHEN X Q, MENG J J, et al. A review on railway traffic safety under harsh environments[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2022, 40(4): 26-37.
- [62] 丁升, 梁云. 高速铁路外部环境应急融合发展研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(6): 284-286.
- [63] 杜玉柱. 铁路安全遥感新技术动态监测[J]. 测绘通报, 2023(9): 129-134.

Progress and Prospect of Railway Transportation Safety in China Based on Visual Analysis

YIN Shuqiang

(Chongqing Railway Investment Group Co. Ltd. , Chongqing 400023, China)

Abstract: Railway transportation safety provides guarantees for ensuring the safety of passengers' lives and property and the smooth transportation of goods. The current status and future directions of railway transportation safety were studied in China through two bibliometric analysis methods. The results show that railway transportation safety research can be divided into passive constraint stage, active constraint stage and active management improvement stage. The research focuses on the safety operation protection system, grassroots station safety management, prediction and evaluation of transportation safety accidents, and factors affecting transportation safety accidents. The future of railway transportation safety should focus on the integration of information technology for safety management, intelligent technology for train operation safety, and dynamic monitoring of the external environment of railways.

Keywords: railway transport; transportation safety; safety management; transportation accidents; visual analysis