

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2020.03.013

70 年中国公路路基路面病害研究现状与发展趋势

——基于 CNKI 1949—2019 年文献的知识图谱分析

周基^{1,2}, 蔡强², 田琼^{1*}

(1. 湖南科技学院 土木与环境工程学院, 湖南 永州 425199; 2. 湘潭大学 土木工程与力学学院)

摘要:新中国成立 70 年来,中国公路建设经历了不同的发展阶段,每个阶段表现出的问题与状况各不相同,许多学者对各阶段公路路基路面病害进行了深入研究,通过知识图谱分析法可清晰展现该研究领域的现状与趋势。该文以中国知网(CNKI)期刊数据库为基础数据进行分析,使用知识图谱分析工具 CiteSpace 及 Excel 分析统计表格,选取数据库中符合条件的 1 528 篇核心(北京大学中文核心,下同)及以上级别期刊中文文献作为样本数据进行研究,分别绘制了文献计量、核心及以上主要期刊及主要作者、主要研究机构以及研究内容知识图谱,阐述了该领域的研究现状,探讨了研究前沿及发展趋势。

关键词:公路;路基路面病害;文献分析;知识图谱;CiteSpace

新中国成立之初,由于战争破坏等各种原因,中国公路里程屈指可数,可通车里程不足 10 万 km,20 世纪 50—70 年代中期,中国道路建设速度发展缓慢,直至 1978 年改革开放全面开始,国家开始规划中国公路网,随着国家经济快速发展,“要想富,先修路”逐渐被各级政府所认识,20 世纪 90 年代开始,公路出现大规模建设高潮,截至 2019 年,中国高速公路及公路总里程分别超过 14.26 万 km 与 486.65 万 km,均为世界第一。伴随公路建设规模增加,公路病害也逐渐产生,

工程技术人员开始关注并研究公路病害。近 70 年来,中国公路病害的发展状况如何以及发展趋势怎样?该文通过 Citespace 软件,借助 CNKI 期刊数据库,对中国公路路基路面病害进行知识图谱分析与讨论,从而为公路病害研究提供参考。

1 研究方法

考虑数据资源获取途径及研究方法、工具的实际

- *****
- [6] 张洪伟,连鹏,杨东.基于灰色模型方法的路面使用性能预测[J].公路,2015(12).
- [7] 金年生,陈飞,苗超杰.基于灰色—马尔科夫理论的沥青路面性能预测研究[J].公路交通技术,2018(5).
- [8] 赵静,王选仓,丁龙亭,等.基于灰色关联度分析和支持向量机回归的沥青路面使用性能预测[J].重庆大学学报,2019(4).
- [9] 方圆,于峰,项国圣,等.基于灰色理论的三次指数平滑模型预测自然陈化中热闷钢渣 f—CaO 含量[J].硅酸盐通报,2019(3).
- [10] 洪海,程培峰.黑龙江省沥青混凝土路面裂缝调查分析[J].中外公路,2016(5).
- [11] 朱厚江,杨三强,李岩岩.新疆绿洲、荒漠区气候对沥青路面裂缝影响分析[J].中外公路,2017(1).
- [12] 程培峰,郑婉.基于改进残差灰色模型预测路面使用性能的研究[J].中外公路,2014(3).
- [13] 张琛.基于区域特征的高海拔高寒地区沥青路面横向裂缝的预测及演化规律[D].长安大学博士学位论文,2017.
- [14] 张争奇.高速公路沥青路面维修养护技术[M].北京:人民交通出版社,2010.
- [15] 罗宏伟,韦海涛,傅琴.沥青路面基于裂缝率的路面损坏状况研究[J].公路交通科技(应用技术版),2013(9).
- [16] JTG D50—2017 公路沥青路面设计规范[S].

收稿日期:2020—03—30(修改稿)

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(编号:2019JJ40093);湖南省教育厅科研项目(编号:16B106)

作者简介:周基,男,博士,教授. E-mail:463325458@qq.com

* 通信作者:田琼,女,硕士. E-mail:25366351@qq.com

情况,研究采取两个阶段、两种工具对文献进行知识图谱分析。

1.1 数据获取与整理

数据获取与整理即文献收集与筛选,是研究的第1阶段主要工作。以公路、路基、路面、病害4个中心词进行限定,基于CNKI期刊数据库进行检索,检索方式设置为主题(精确),检索式按照道路 or 公路 or 路基 or 路面、不含铁路 or 桥梁 or 隧道 and 病害 or 损坏 and 变形 or 其他缺陷,发表时间设定为1949—2019年进行初步检索。检索到的核心及以上级别期刊中文文献共计504篇,对检索结果进行分析判断,进一步剔除无关的中文文献,筛选后得到核心及以上级别期刊中文文献共计114篇。

为保证研究样本数据的完整性与相对精准性,再次对数据库相关文献进行细致的研读与分析,以中心词为基础对整个公路路基路面病害研究领域逐一进行手动检索,得到核心及以上级别期刊中文文献3754篇。最后对两次检索到的核心及以上级别期刊中文文献进行手动筛选,排除无关文献与重复文献,最终选取核心及以上级别期刊中文文献1528篇作为该次研究样本。

1.2 研究工具及流程

Excel与CiteSpace软件是主要研究工具,针对第1阶段CNKI期刊数据库的检索文献进行计量可视化分析,是该研究的第2阶段主要工作。首先统计研究年限范围内的文献,包括每年度发表的数量、机构的分布等信息,进而获取公路路基路面病害研究的基本信息,然后应用CiteSpace软件,对研究年限范围内的文献进行可视化分析,包括对文献发表作者、主题中关键词进行统计,对整个领域的研究状况进行阐述。最后采用同样的方法对1528篇核心及以上级别期刊研究文献进行定量与定性分析,以发现公路路基路面病害研究的热点及发展趋势。

分析过程中,从CNKI期刊数据库中导出检索到的相关文献,其导出格式为Refworks,同时保存到input文件夹中,而保存格式为download_X.txt。此时,采用CiteSpace软件对input文件夹中文献信息进行可视化分析,完成数据统计和知识图谱绘制。

2 数据分析

2.1 文献计量分析

利用Excel表对最终选取的1528篇中文文献样

本数据进行统计分析,得到有关公路路基路面病害的核心及以上期刊中文文献年发表数量随时间的分布情况,如图1所示。

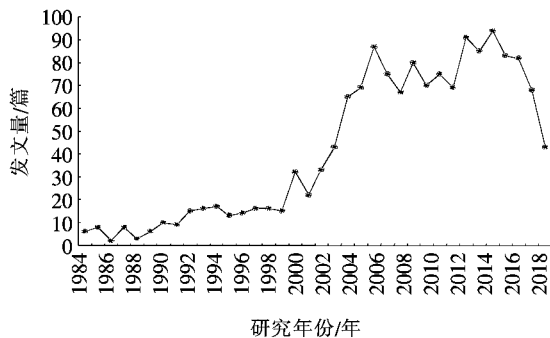


图1 核心及以上级别期刊中文文献年发表数量趋势图

从图1可知:①与“公路路基路面病害”有关的研究文献在1991年以前年发表量很少,在1979—1991年,共发表了69篇。年发表量呈波浪变化,其中发文量最多的是1990年,发表数量刚好为10篇。这个阶段的中国经济发展逐步复苏、公路建设开始逐步提质提速,高等级公路里程数量增加不明显,建设质量开始引起关注,其中公路研究的专业技术人才缺乏以及还没有足够高等级公路研究对象,从而造成对公路路基路面病害的关注与研究不够;②1992—2001年间,中国公路建设发展迅速,尤其是高等级公路建设具有一定规模,有关研究文献数量逐步上升,每年发文数量为15篇左右,2000年发文量达到32篇;③2002年后,大规模公路建设持续发展,已建公路随着车辆荷载等外界因素以及公路本身使用功能下降的影响,逐步产生不同程度损坏,此阶段每年研究文献数量呈现出直线上升的趋势,在2006年年发文量达到87篇;④2007—2015年出现了锯齿形小幅度波动,发文量最少为2012年的67篇,最高值为2015年的94篇,在这个阶段尽管存在波动,但年均发文数量达到78篇的体量,从侧面反映出相关部门及单位加大了对公路路基路面病害研究的投入,更多学者及工程技术人员投入到了相关研究中来,研究的广度与深度得到稳步提升;⑤2016年后年发文量出现了一定幅度下降,发文数量从2017年的83篇下降到2018年的68篇,通过计量可视化分析近几年的变化频率,推测2019年发文量可能有持续下降趋势。

2.2 发表1528篇论文的主要期刊分析

借助Excel表格对公路路基路面病害研究的1528篇核心及以上级别主要期刊文献进行梳理,排名前10的核心及以上级别主要期刊共发表809篇,占全

部期刊文献数量的 52.9%。排名前 3 的期刊发文量均超过 100 篇,其统计分析结果如图 2 所示。

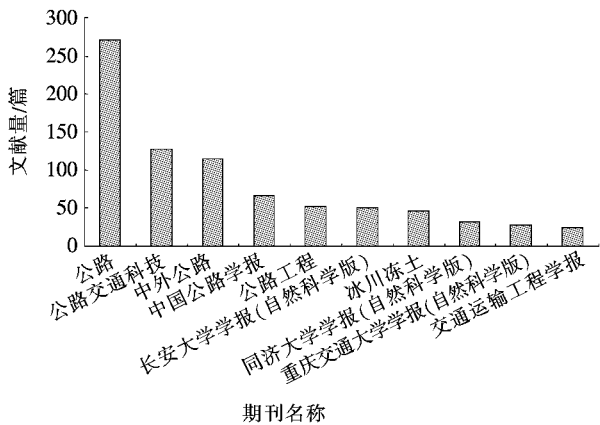


图 2 发表公路路基路面病害相关研究文献数量排名前 10 的期刊

从图 2 可知:发文数量最多的是《公路》,为 271 篇,其次是《公路交通科技》与《中外公路》,数量分别为 127 与 115 篇。同时可以从一定程度上说明《公路》、《公路交通科技》、《中外公路》等期刊是公路路基路面病害领域中文文献的主要出版刊物,是进行公路路基路面病害领域研究的主要阵地。

2.3 主要研究机构分析

采用 CiteSpace 将公路路基路面病害领域 1 528 篇相关研究文献作者所在研究机构进行可视化分析,其结果如图 3 所示,公路路基路面病害领域相关文献发表排名前 9 的主要机构及各自的发文数量如表 1 所示。

由表 1 可以看出:这些机构在该领域具有一定学科前沿引领能力与雄厚的科研实力。从图 3 可以看到,线条与年轮的颜色对应上部时间线,由浅至深;名

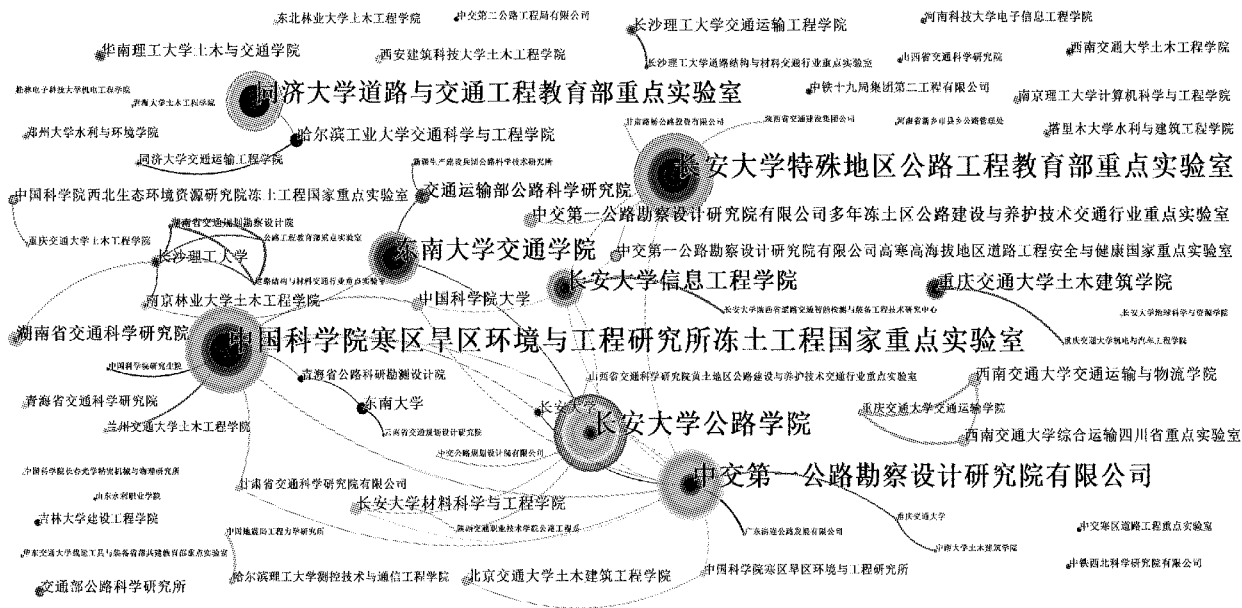


图 3 公路路基路面病害主要研究机构图

表 1 主要机构发文量统计

机构名称	发文量/篇
中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室	51
长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室	49
长安大学公路学院	45
中交第一公路勘察设计研究院有限公司	41
同济大学道路与交通工程教育部重点实验室	35
东南大学交通学院	31
长安大学信息工程学院	23

续表 1

机构名称	发文量/篇
重庆交通大学土木建筑学院	13
中交第一公路勘察设计研究院有限公司多年冻土区公路建设与养护技术交通行业重点实验室	9

称与年轮的大小对应各机构发文的数量多少。图中存在许多不同种类的机构,既有研究院所、也有高等院校、还有公司企业等,从图中可以反映出各机构间的合作联系紧密程度,如东南大学交通学院、长安大学公路

学院、中交第一公路勘察设计研究院有限公司等通过相互之间的联系形成一个合作网络,不同性质研究机构的相互紧密联系与合作,促进了理论与实践深度融合,为该领域更深层次研究创造了条件,为创新型研究成果的产生铺平了道路。

2.4 1 528 篇论文的主要作者分析

采用 CiteSpace 软件对 1 528 篇论文的作者进行分析,得到各作者的发文统计结果,如表 2 所示。

由表 2 可得:汪双杰发表公路路基路面病害领域相关中文核心及以上级别期刊研究文献最多,发文数量为 22 篇,陈建兵、朱东鹏、黄晓明、袁堃、孙立军、章金钊、胡长顺、窦明健、金龙、王秉纲等作者发表公路路基路面病害领域相关中文核心及以上期刊研究文献均超过 10 篇,反映出该领域作者的研究成果积累比较丰富,研究达到了一定的深度。

同时,从公路路基路面病害领域研究文献发文作者的合作网络来看,选择 Author(作者)进行分析,进入统计的界限(Threshold)是个人发文量 ≥ 3 篇,核心及以上期刊发表时区为 1949—2019 年,为得到整个时区内各作者的合作情况,将软件中 # Years Per Slice

设置为默认, Criteria 选择 Top50,得到公路病害研究领域作者合作网络图,如图 4 所示。

表 2 核心及以上期刊个人发文量 ≥ 5 篇的作者统计

作者名	发文量/篇
汪双杰	22
陈建兵、朱东鹏	19
黄晓明	18
袁堃	17
孙立军、章金钊	16
胡长顺、窦明健	14
金龙	13
王秉纲	11
牛富俊、马巍、彭博	10
吴青柏、房建宏、董元宏	9
张起森、刘戈、蒋阳升、孙朝云	8
贺昱曜、李宁	7
李祝龙、穆柯、刘建坤、张争奇、穆彦虎、王宏畅	6
侯曙光、汪海年、徐威、唐振民、张娟、李金平、毛雪松、李峰、赖远明、关宏信、沙爱民	5

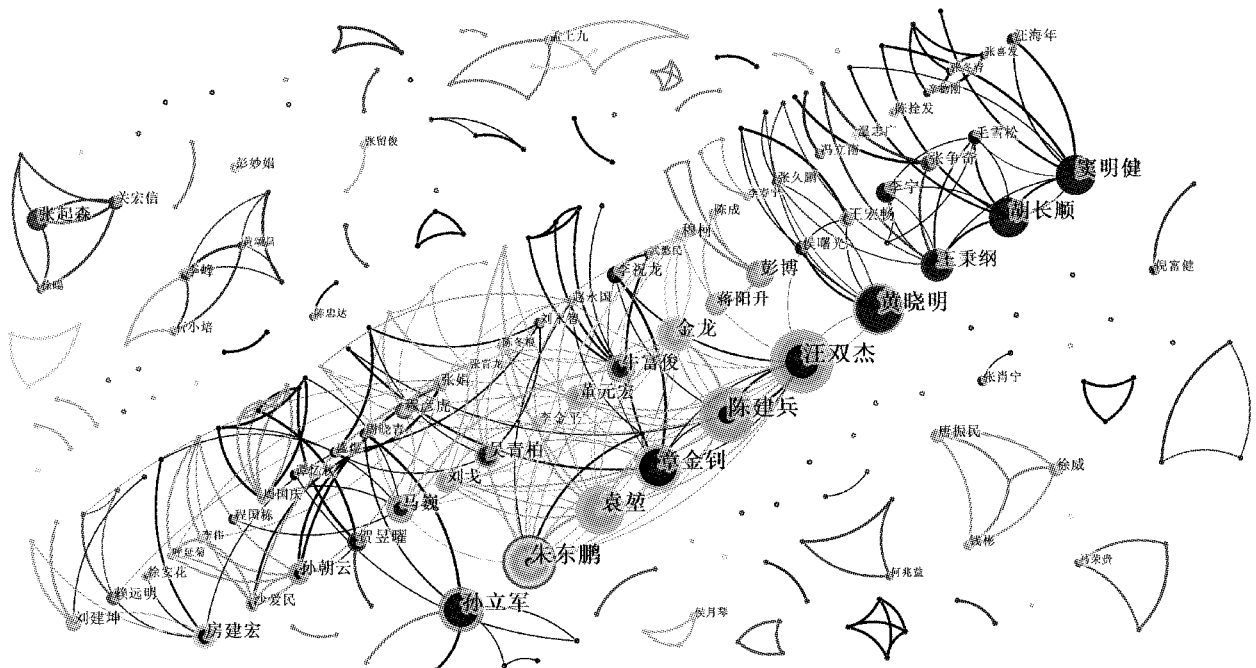


图 4 公路路基路面病害领域核心作者合作网络图(1949—2019 年)

在图 4 中,存在许多个人研究学者形成的研究团队,随着团队合作人员数量的增加,团队中的部分成员的发文量也随之上升,例如孙立军、蒋阳升、孙朝云等;图中最显眼的是位于中间的条状合作网络图,发文量

前 10 的作者大多为网络图的一部分,例如汪双杰、陈建兵、黄晓明等,且网络图内部相互之间存在非常紧密的联系。这反映了除少数个人研究能力强的作者外,普遍情况下团队的发文量要远远高于个人,从侧面印

证了团队合作的重要性,对该领域研究深度与广度影响也是很大的。通过观察图中节点与线条的颜色,发现在该领域中通过学者们相互合作交流形成团队,再通过个人与团队或团队与团队间的合作交流从而形成合作网络图,在经历一定时间的积累之后,该领域的发文数量与质量得到明显提升,较好地解释了 2002 年后年发文量出现持续性增长的现象。

同时,表明了有效地组建研究团队,能增加作者间的合作交流,促进学术研究的深入发展,提升学术文章的发文数量与质量。团队建设的重要性,也告诉了广大科学研究人员应加强交流合作,减少“闭门造车”,多尝试抱团研究,增加团员之间、团队之间的相互联系,最大程度地提高研究效率、强化研究深度,共同促进学术研究的快速发展。

3 研究现状及发展趋势

3.1 研究内容知识图谱

共词是指两个或多个关键词同时出现在一篇文章,关键词在相应研究领域出现的次数能够反映该领域的研究主题和热点,而聚类分析能找出不同时期的研究主题及发展趋势。

在 CiteSpace 软件中选择分析 Keyword(关键词),剪切方式(Pruning)设置为 MST(Minimum Spanning Tree),对其结果进行可视化分析,通过 LLR 法对关键词进行聚类,然后修正与调整计算方法与聚类形态,形成主要关键词聚类标签,得出如图 5 所示的公路路基路面病害领域研究的关键词聚类图谱,图中由关键词共现网络聚成了一个不规则区域,每一个区域都对应着一个标签,图中共形成了 10 个关键词聚类标签,顺序是从 0 到 9,数字越小,聚类中包含的关键词越多,每个聚类是多个紧密相关的词组成的。从图 5 中可得:最大的聚类为关键词多年冻土所代表的聚类,其他几个聚类都是与公路有关,或是由公路实际情况延伸而来,关键词依次有多年冻土、裂缝检测、平整度、连续配筋混凝土路面、车辙、有限元、盐渍土、防治措施、病害、坑槽修补等。

使用 Cluster 中的 Cluster Explorer 导出聚类信息,形成 1949—2019 年公路路基路面病害领域聚类标识表,如表 3 所示,表中 Size 代表关键词出现的频次,中心度大小体现出此关键词的相对研究热度和影响力。

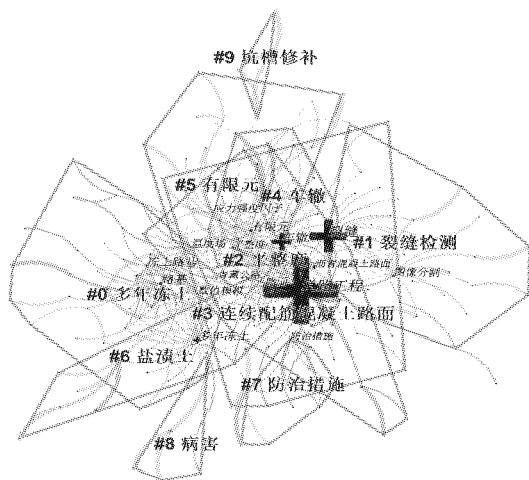


图 5 公路路基路面病害领域研究的关键词聚类图谱

表 3 1949—2019 年公路路基路面病害聚类标识表

聚类编号	聚类大小	聚类轮廓值
#0 多年冻土	44	0.925
#1 裂缝检测	33	0.914
#2 平整度	25	0.868
#3 连续配筋混凝土路面	24	0.926
#4 车辙	22	0.736
#5 有限元	21	0.878
#6 盐渍土	12	0.917
#7 防治措施	10	0.957
#8 病害	6	0.989
#9 坑槽修补	4	0.992

3.2 关键词及研究发展趋势分析

为使公路路基路面病害研究更为细化,以便深入挖掘推测出更为具体的前沿内容,对 CiteSpace 软件计算形成的聚类图谱中 9 个主要关键词,进一步检索并进行可视化,得到如图 6 所示的近几年关键词可视化图。同时依据这些关键词,根据聚类得到如图 7 所示的时间鱼眼图,时间线图中每个十字架代表一个关键词节点,十字架的大小代表关键词出现的频次高低,节点间的连线代表关键词之间的联系。标签按编号 #0、#1、#2、#3、#4、#5、#6、#7、#8、#9 依次排列,表示聚类中核心关键词数量由大到小,即多年冻土、裂缝检测、平整度、连续配筋混凝土路面、车辙、有限元、盐渍土、防治措施、病害、坑槽修补等。线图顶部的时间为真实时间,与关键词有关的研究处在关键词的时间横线上,研究时间与顶部时间相对应。

由图 6、7 可知:公路路基路面病害领域研究的发展历程可以分为 8 个阶段:第 1 阶段: #3 聚类——连

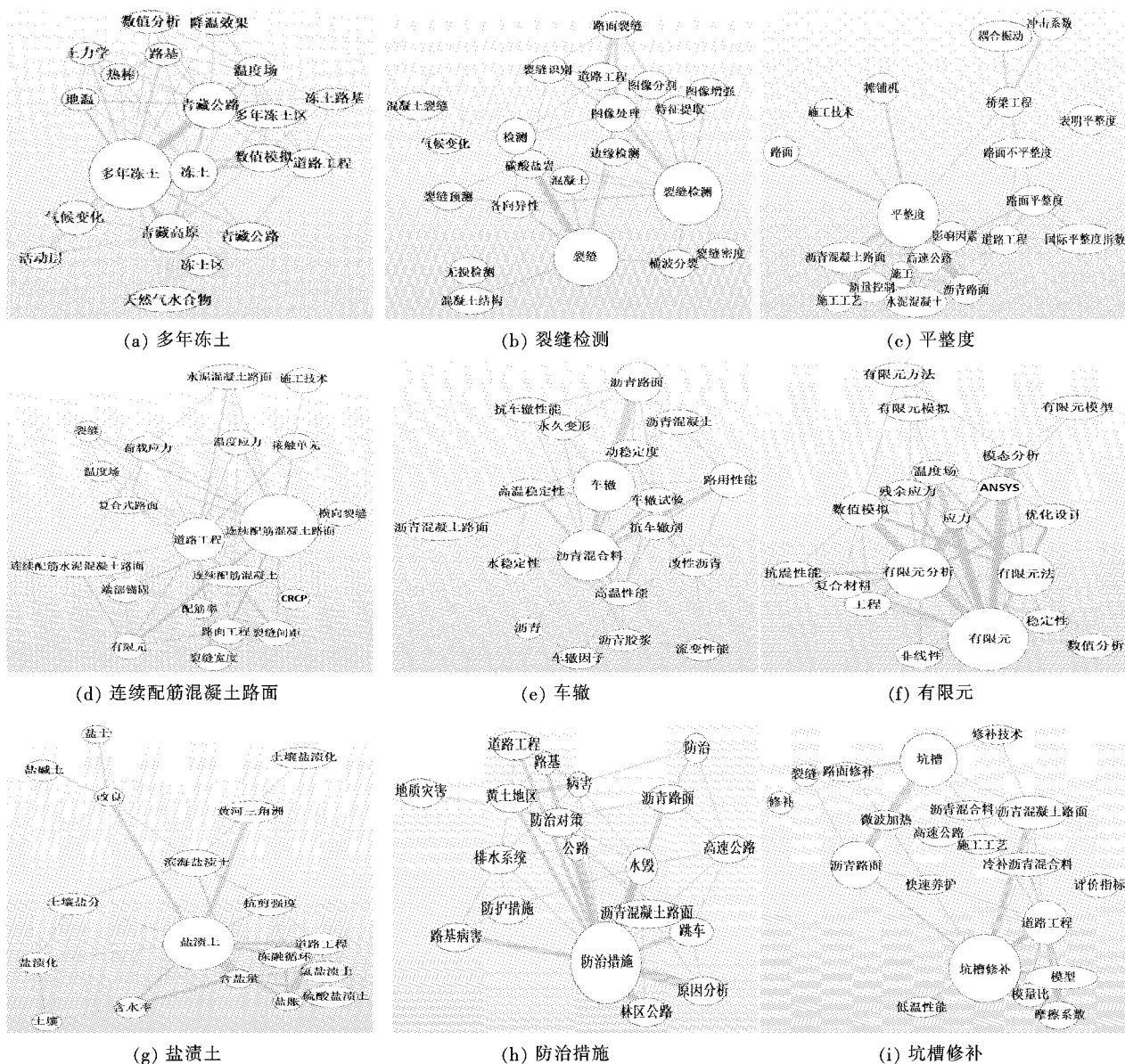


图6 关键词可视化图

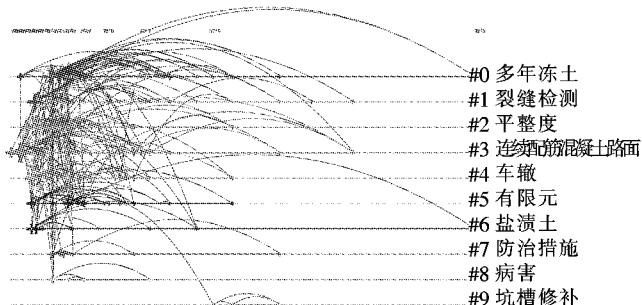


图7 时间线鱼眼图

连续配筋混凝土路面是公路路基路面病害领域相对早期出现的研究对象,处于这个时期的科研工作者期望通过连续配筋混凝土路面理论的发展与工程的实践应

用达到减少公路病害的目的,延长公路的使用寿命;第2阶段, #1 聚类——多年冻土,这个时期中国交通领域正处于对特殊区域的公路进行积极有效的建设阶段,如随着青藏公路等这些冻土区域重点工程的逐步推进,对冻土路基的理论、设计、施工及其全过程病害处治有了集中的科研攻关;第3阶段, #2 聚类——平整度。路面平整度是评定路面质量的主要技术指标之一,公路的各类病害也直接影响了平整度状况,平整度是随着科技发展与社会进步,广大使用者对良好的行驶环境的迫切追求而提出,因此科研工作者关注并投入精力研究这一关键指标,具有重要意义;第4阶段, #6 聚类——盐渍土,中国有着 20 多万 km^2 盐渍土面

积,随着公路建设的快速发展,对这些盐渍土区域公路性质特征及病害研究有了新的发展;第 5 阶段, #5 聚类——有限元,有限元数值计算与模拟是一种有效的科研手段,有力地促进了公路预估模型建立及病害机理演变研究的深入开展;第 6 阶段, #4 聚类——车辙,车辙是路面病害中最关键的一个控制指标,主要针对沥青路面材料使用性能如高温稳定性、永久变形等展开一系列深入研究;第 7 阶段, #1 聚类——裂缝检测,裂缝是路面病害中最常见、最易发生、也是早期发生的病害,会在整个公路寿命周期内逐步发展,裂缝的识别方法、检测手段及其处治措施是重点研究内容;第 8 阶段, #9 聚类——坑槽修补,涉及到路面坑槽、路面修补、修复材料、破损机理等方面的研究内容。

通过鱼眼图可印证前述公路路基路面病害研究领域的发展趋势,1991 年之前发文量很少,关键词共现数量稀少;1992—2001 年研究得到了一定的发展,高水平期刊的收录情况较为稳定,因此关键词较多且共现网络图比较集中;2002—2015 年研究一直处于上升趋势,关键词多、共现网络图均匀集中;2016 年至今发文量出现下降,关键词稀疏、共现网络图少。

近几年来,公路路基路面病害领域研究发展趋势主要是针对沥青路面及特殊路基进行相应病害机理分析、规律揭示以及处治措施研究,同时路基路面病害监测技术、检测技术也是该领域研究的热点。根据现有公路路基路面病害领域研究文献知识图谱分析,可以预测在未来的研究发展过程中,将会有更多的学者集中在以下方面进行深入研究:① 公路路基路面病害机理的深入研究及病害变化规律进一步解释,包括对公路路基路面使用性能进行评价及预测研究、对具体的高等级公路使用状况评估及处治等;② 针对公路路基路面病害领域的新技术、新设备、新材料、新的管理方法进行研究及工程实践,诸如新材料在路面裂缝控制中的应用、病害管理信息系统等将会得到快速发展;③ 针对特殊区域、极端天气、复杂状况耦合条件下路基路面病害的综合研究,如高寒地区、多年冻土区域、地质灾害频发区段、极端气候、特种交通荷载下路基路面损坏、破坏等的研究,将是高水平文章的重要来源。

4 结论

该文基于中国知网(CNKI)数据库的 1 528 篇核

心及以上期刊中文文献,运用知识图谱分析工具 CiteSpace 及 Excel 表格等方法、工具进行统计分析,对公路路基路面病害研究领域的主要文献进行了可视化与聚类分析,得到如下结论:

(1) 至目前为止,公路路基路面病害研究领域文献的发展经历了 4 个阶段:第 1 阶段为 1991 年之前,该领域研究成果较缺少;第 2 阶段为 1992—2001 年,这个阶段是研究领域缓慢发展的阶段,发文量在渐渐增加,高水平期刊收录数量缓慢增长;第 3 阶段为 2002—2015 年,期刊发文数量持续上升且数量多,虽有波动状况,但高水平期刊发文量仍然在增加;第 4 阶段为 2016 年至今,发文量出现下降,但相对高水平期刊发文量稳步增加,反映出了该领域研究的内容在不断深化。

(2) 公路路基路面病害研究领域发文的期刊机构相对集中,《公路》、《公路交通科技》、《中外公路》等期刊是公路路基路面病害领域中文文献的主要出版物。

(3) 公路路基路面病害研究领域研究团队内部联系紧密,但团队与团队之间或个人与团队之间联系比较少,没有形成大的团队网络体系。

(4) 公路路基路面病害研究领域研究的关键词有多年冻土、裂缝检测、平整度、连续配筋混凝土路面、车辙、有限元、盐渍土、防治措施、病害、坑槽修补,从一定程度上反映出该领域的研究主题和热点问题。

参考文献:

- [1] 何德. 中国公路发展历程[J]. 中国公路,1999(4).
- [2] 中国公路网. 2019 年中国公路网年终大盘点[EB/OL]. <http://www.chinahighway.com/article/65381141.html>, 2020-01-02.
- [3] 赵一洁. 基于 CiteSpace 的建筑业职业安全健康研究现状与趋势[D]. 重庆大学硕士学位论文,2014.
- [4] 郑铭,薛巧蕊,等. BIM 技术在多灾害领域中的应用研究综述[J]. 图学学报,2018(5).
- [5] 叶贵,付媛,等. 行为视角下基于 CiteSpace 的建筑安全研究综述[J]. 安全与环境工程,2019(4).
- [6] 常艳婷,陈忠达,等. 青藏公路典型路基病害影响因素分析[J]. 中外公路,2016(2).
- [7] 薛爱新,王洁光,等. 高速公路沥青路面裂缝发展对路面结构性能的影响研究[J]. 中外公路,2019(3).