

纤维混凝土研究状况和热点 ——基于 CiteSpace 的知识图谱分析

王占魁¹, 魏国庆², 魏鼎峰³, 孟媛⁴, 吴雪菲¹

(1. 潍坊市白浪河水库运营维护中心, 山东 潍坊 261052; 2. 青岛市公路事业发展中心, 山东 青岛 266071; 3. 潍坊工程职业学院, 山东 潍坊 262500; 4. 青岛市招标中心, 山东 青岛 266072)

摘要: 为更细致地分析纤维混凝土的研究现状和热点, 本文基于中国知网数据库, 利用 CiteSpace 软件从发文量、作者、研究机构和关键词等角度对纤维混凝土方向的文献进行可视化分析。结果表明: 1) 纤维混凝土的发文量较为稳定, 始终保持在一个较高的水平; 2) 研究机构和作者之间的合作较为分散, 团队协作有待增强; 其中尹世平的发量最多, 西安建筑科技大学是发文量最多的研究机构; 3) 前期热点主要集中于纤维混凝土的基本力学性能研究, 近期热点逐渐聚焦于机理方向的研究。本文成果可为纤维混凝土未来发展提出合理的研究建议。

关键词: 纤维材料; CiteSpace; 发文量和团队; 研究热点; 研究建议

中图分类号: TV42; TU528. 58

文献标志码: A

文章编号: 1673 - 8993(2025)03 - 0072 - 07

doi: 10. 13402/j. gcjs. 2025. 03. 040

Research status and hotspots of fiber-reinforced concrete ——Based on CiteSpace knowledge graph analysis

WANG Zhankui¹, WEI Guoqing², WEI Dingfeng³, MENG Yuan⁴, WU Xuefei¹

(1. Weifang Bailanghe Reservoir Operation and Maintenance Center, Weifang 261052, Shandong, China; 2. Qingdao Highway Development Center, Qingdao 266071, Shandong, China; 3. Weifang Engineering Vocational College, Weifang 262500, Shandong, China; 4. Qingdao Tendering Center, Qingdao 266072, Shandong, China)

Abstract: In order to analyze the research status and hot spots of fiber reinforced concrete in more detail, based on the China National Knowledge Infrastructure database, the literature on the direction of fiber concrete is visually analyzed from the perspectives of publication volume, author, research organization and keywords. The results show that: 1) The publication volume of fiber reinforced concrete is relatively stable and always maintains at a high level; 2) The cooperation between research institutions and authors is relatively scattered, and the teamwork needs to be strengthened. Among them, Yin Shiping has the largest publication volume, and Xi'an University of Architecture and Technology is the research institution with the largest publication volume; 3) In the early stage, the hot spots mainly focuses on the basic mechanical properties of fiber reinforced concrete, and the recent hot spots gradually focuses on the research in the direction of mechanism. The results can put forward reasonable research recommendations for the future development of fiber reinforced concrete.

Key words: fibrous materials; CiteSpace; publication volume and team; research hotspots; research recommendations

纤维材料(如钢纤维、碳纤维、耐碱玻璃纤维、聚丙烯纤维、矿物纤维和植物纤维等)具有良

好的延展性能, 掺入混凝土中能够有效阻止微裂缝的出现, 抑制早期干缩微裂纹的发展, 从而显

收稿日期: 2024 - 04 - 09

作者简介: 王占魁(1994—), 男, 工程师, 从事水利工程管理及水工材料研究工作。

通信作者: 孟媛(1993—), 女, 助理工程师, 从事工程预算审计工作。

著增强混凝土的力学性能^[1]。王占魁等^[2]从材料基本性质、增强效果和作用机理等角度详细阐述了纤维材料改性混凝土的价值; 鲁于等^[3]通过在海水海砂珊瑚混凝土中掺入不锈钢纤维和聚丙烯纤维, 发现掺入不锈钢纤维显著改善了混凝土的强度和延性, 使试件破坏模式由脆性破坏转变为延性破坏。正因为纤维材料为高性能混凝土的制备提供了新方法和思路, 推动了纤维材料成为混凝土改性的主要研究热点^[4]。

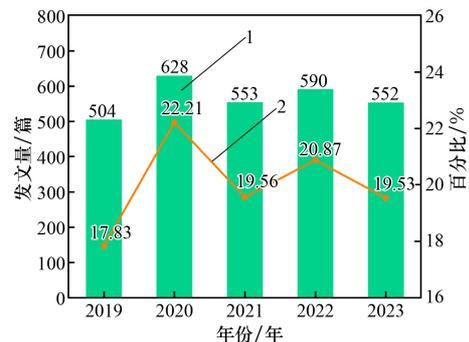
截至 2024 年 2 月, 中国知网 (China national knowledge infrastructure, CNKI) 数据库收录关键词为“纤维混凝土”的期刊文章有 27 365 篇、学位论文 11 814 篇, 庞大的文献数量单纯依靠传统计量方式难以满足实际研究需求, 而以 CiteSpace 为代表的可视化分析软件能够直观展示某一时间段内某一领域最活跃的研究主题和方向^[5], 是近些年综合研究该领域热点和前沿趋势的重要工具。

本文通过对 CNKI 文献进行整合梳理, 利用高级检索功能将主题词设置为“纤维混凝土”, 文献类别选取为科学引文索引 (science citation index, SCI)、工程索引 (engineering index, EI)、北京大学图书馆中文核心期刊、中国科学引文数据库 (Chinese science citation database, CSCD) 等核心类期刊。近 5 a 的文献往往代表最新的研究成果和热点方向, 表现出较好的时效性、针对性和前沿性^[6], 因此将研究跨度选择为 2019 年—2023 年。同时, 对选取的文献进行人工筛选, 剔除各类非学术性文章, 最终获得 2 827 篇高质量文献。为了简化网络枝节, 时间切片设置为 1 a, 节点筛选设定为 15, 并勾选“Pathfinder”等选项, 分别从作者、研究机构和关键词等角度进行筛选, 绘制关键词知识图谱和聚类图谱, 分析纤维混凝土研究热点及发展趋势, 以期纤维混凝土工程应用和未来发展提供借鉴。

1 发文量分析

发文量是指某一领域在某一时间段内发表文献的数量, 能够直接反映该领域随时间变化的研究热度^[7]。本文利用 CiteSpace 软件对筛选后的数据进行统计分析, 绘制出 2019 年—2023 年纤维混凝土

领域的年发文量统计情况, 如图 1 所示。由图 1 可知: 纤维混凝土核心论文的发表数量呈现出较为稳定的状态, 从 2019 年的 504 篇增长到 2023 年的 552 篇, 年平均发文量为 565 篇。发文量始终保持在一个较高的水平, 表明纤维混凝土在未来相当一段时间内仍将是混凝土领域的研究热点和热门方向, 具有持续的研究空间和重要价值。



1—发文量; 2—比例。

图 1 纤维混凝土领域年发文量统计

2 团队研究

核心作者、研究机构及其合作网络的发文量在一定程度上能够反映当前核心作者和研究机构在某一领域的学术贡献和影响力, 对前沿研究具有重要意义。这不仅能够推动该领域学科的发展和进步, 还能通过自身的研究促进团队间的合作与共赢。

2.1 发文作者

作者作为论文的主要贡献者, 对学科发展具有重要意义。统计某一时间段内发表的高水平论文数量是衡量作者在某领域研究水平和能力的重要指标。因此, 通过统计分析 2019 年—2023 年发文量较多的作者, 可以直观了解国内纤维混凝土的研究方向, 为纤维混凝土的发展提供有价值的参考。表 1 为 2019 年—2023 年发文量排名前十的作者。

利用 Citespace 软件对 2 827 篇纤维混凝土领域核心论文的作者进行可视化分析, 得到作者合作网络图谱, 如图 2 所示。该网络图谱包含 215 个节点和 149 条连接线, 密度为 0.006 5。每个节点代表一位作者, 节点大小表示作者的发文量, 从内圈向外环表示时间由远及近 (内圈时间早)。连接线表示研究人员之间的合作关系。由图 2 可知: 纤维混凝土领域的作者合作网络图谱密度一

为直观显示各机构间合作关系, 使用 CiteSpace 软件将节点类型设置为 “Institution”, 绘制出纤维混凝土研究机构共线网络图谱, 如图 3 所示。该图谱包含 179 个节点数、171 条连接线, 网络密度为 0.010 7。研究发现, 纤维混凝土的研究主要集中在西安建筑科技大学、湖南大学、西南交通大学、同济大学、新疆大学等高校, 但 these 学校之间的合作研究较为分散。由图 3 可知: 当前纤维混凝土的研究主要集中在高校内部, 合作交流和论文发表也以校内为主, 跨学校和校企间的合作尚未形成常态。同时, 建筑类企业在该领域的研究产出与高校相比还有较大差距, 在图谱中未能展现出相关企业的研究贡献。因此, 建议应加强校企之间的合作研究, 促进学校与企业

之间的互联互通, 推动研究成果的转化和应用, 使科研成果能够最大程度地落地实施。

3 研究热点分析

3.1 关键词共现分析

关键词浓缩了文章的核心要义, 总结了文献的主要内容。通过分析关键词, 可以洞察该领域的研究热点^[13]。使用 CiteSpace 软件将节点类型设置为 “关键词”, 绘制出纤维混凝土关键词共现图谱, 如图 4 所示, 其中颜色代表论文中关键词出现的年份, 节点大小反映关键词出现的频率及其关联强度。该图谱包含 238 个节点数、555 条连接线, 网络密度为 0.019 7。



图 3 纤维混凝土研究机构共线网络图谱

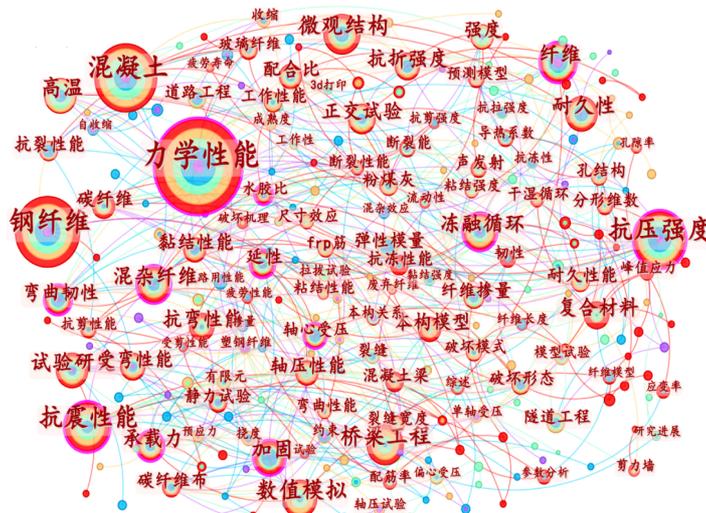


图 4 纤维混凝土关键词共现图谱

通过 Excel 表格统计高频节点和高中心性节点,选取前十个关键词进行分析,可以发现纤维混凝土的研究热点主要集中在力学性能、钢纤维、混凝土、抗压强度、抗震性能、桥梁工程、数值模拟、微观结构、耐久性和高温作用。力学性能研究是混凝土材料研究的基础,其中,抗压强度、抗弯性能、抗震性能和耐久性等都属于混凝土力学性能的范畴。因此,相当一部分论文以力学性能为研究主题。钢纤维的高频出现也表明它是纤维混凝土研究的热点,这主要是因为纤维混凝土能够显著改善混凝土材料的延展性、断裂韧性和耗能性能,被认为是提升混凝土性能的最佳辅助材料之一。数值模拟和微观结构研究是从多维度分析纤维混凝土受力破坏的演变过程,进一步深化了对该材料的理解。

3.2 关键词聚类分析

通过图谱聚类分析实现关键词的自动聚类功能,生成聚类图谱,如图 5 所示。使用 LLR 算法对聚类图谱进行分析,根据聚类明晰度和网络结构,得到模块值为 0.518 7 和平均轮廓值为 0.787。具体而言,0.787 > 0.300、0.518 7 > 0.500 0 且综合指标为 0.625 3。这些结果表明聚类结构显著,图谱聚类合理,具有较高的可信度^[14]。

表 3 为纤维混凝土关键词聚类图谱划分的 9 个板块,分别为承载力(0[#])、抗压强度(1[#])、力学性能(2[#])、桥梁结构(3[#])、抗震性能(4[#])、混杂纤维(5[#])、复合材料(6[#])、孔结构(7[#])、轴心受压(8[#])。各聚类模块的平均轮廓值均大于 0.5,表明纤维混凝土关键词的聚类匹配程度较高,符合该领域的主流研究趋势。

通过对关键词分析,可以看出纤维混凝土领

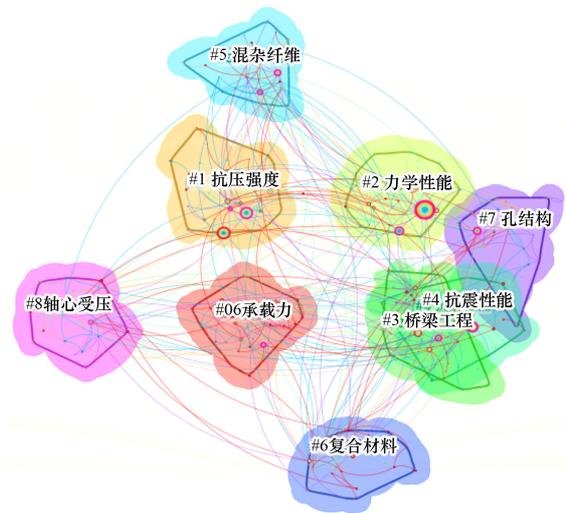


图 5 纤维混凝土关键词聚类图谱

域的研究热点如下。

(1) 相较于普通混凝土,掺加纤维能够显著提升试件的抗压强度、劈裂抗拉强度和抗折强度等,从而改善混凝土的延性、韧性和耗能性能,其中钢纤维的效果尤为显著。

(2) 纤维混凝土的性能受多种因素影响,包括纤维类型、质量分数、形状和取向分布等。研究表明,掺入钢纤维可以提高板的耗能能力、抗冲切能力和受拉面的整体性,改变其破坏方式^[14];同时,随着钢纤维层撒布量的增加,梁的极限荷载与刚度逐渐增大^[15]。此外,掺加纤维能够有效阻碍裂纹的发展,增强纤维与混凝土之间的锚固性能^[16]。研究还表明,混凝土的弯曲性能随着纤维长度的增加而提升^[17-18]。

(3) 经过多年的发展,纤维混凝土在实际应用中取得了显著成效和社会价值^[19],为其更广泛的研究和工程应用奠定了坚实基础。

表 3 纤维混凝土关键词聚类分析表

序号	聚类名称	关键词
0 [#]	承载力	抗弯性能、钢筋混凝土梁、玄武岩纤维筋、玄武岩纤维网、复合加固
1 [#]	抗压强度	抗压强度、抗折强度、劈裂抗拉强度、纤维混凝土、协同效应
2 [#]	力学性能	力学性能、纤维增强、水泥混凝土、废轮胎橡胶集料、固废资源
3 [#]	桥梁结构	桥梁工程、抗震性能、拟静力试验、碳纤维复合材料、钢筋混凝土墩柱
4 [#]	抗震性能	抗震性能、碳纤维布、可恢复性能、疲劳性能、纤维增强塑料
5 [#]	混杂纤维	混杂纤维、弯曲韧性、超高性能混凝土、硬化指数、峰后抗弯强度
6 [#]	复合材料	复合材料、玄武岩纤维、能量耗散、再生混凝土、冻融循环
7 [#]	孔结构	冻融循环、纤维混凝土、衰减模型、衬砌喷射混凝土、单面盐冻
8 [#]	轴心受压	轴心受压、碳纤维-钢复合管、超高性能混凝土、极限承载力、数值模拟

究热点阶段, 并已进入相对成熟期。

(2) 纤维混凝土的研究学者和研究机构数量较多。其中, 作者中尹世平发文量最多(23 篇), 其次是杜红秀(22 篇)、张鹏和邓宗才(各 21 篇)。研究机构主要集中在高校, 西安建筑科技大学发文量居首, 其次为湖南大学、西南交通大学和同济大学等。然而, 通过网络图谱可以看出, 研究学者和机构之间的合作较为分散, 目前单一机构内的合作概率远高于跨机构团队间的交流。此外, 建筑类企业在纤维混凝土方面的研究进展已明显滞后于高校。

(3) 通过关键词图谱和前 15 个突现词, 可以展示纤维混凝土关键词的出现频次及其相互关系, 在某种程度上反映了国内纤维混凝土的研究现状和热点领域。

(4) 近 5 a 纤维混凝土研究大致可为两个阶段: 第一阶段的研究主要集中在纤维混凝土的基本力学性能等宏观方面; 第二阶段则更多聚焦于试件破坏机理、损伤模型、寿命预测等微观方面。

(5) 研发高性能且便于施工的新纤维混凝土是混凝土发展的主要方向。特别是在“双碳”目标和节能减排的大背景下, 研发绿色生态的高质量纤维混凝土将是未来很长一段时间内的研究热点。

参考文献:

- [1] SIMALTI A, SINGH A P. Comparative study on performance of manufactured steel fiber and shredded tire recycled steel fiber reinforced self-consolidating concrete[J]. *Construction and Building Materials*, 2021, 266: 121102.
- [2] 王占魁, 孙磊, 魏国庆. 纤维和纳米材料增强水泥基材料研究进展[J]. *水利建设与管理*, 2024, 44(4): 31-41; 63.
- [3] 鲁于, 黄一杰, 王海超, 等. 改性海水海砂珊瑚混凝土力学性能试验研究[J]. *混凝土*, 2019(4): 150-154.
- [4] 沈才华, 钱晋, 陈晓峰, 等. 纤维掺量对 PVA 纤维混凝土力学参数的影响及压缩韧性指标的计算方法[J]. *硅酸盐通报*, 2020, 39(10): 3152-3160.
- [5] 宗淑萍. 基于普赖斯定律和综合指数法的核心著者测评: 以《中国科技期刊研究》为例[J]. *中国科技期刊研究*, 2016, 27(12): 1310-1314.
- [6] 俞立平, 夏芳. 基于数据变权预防指标人为操控期刊评价研究: 以管理学期刊为例[J]. *情报资料工作*, 2022, 43(4): 36-43.
- [7] LI J J, MAO Y, OUYANG J Y, et al. A review of urban microclimate research based on CiteSpace and VOSviewer analysis[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(8): 4741-4741.
- [8] D·普赖斯, 张季娅. 洛特卡定律与普赖斯定律[J]. *科学学与科学技术管理*, 1984, 5(9): 17-22.
- [9] 荆磊, 尹世平, 徐世焱. TRC 加固砖砌体墙抗剪承载力分析[J]. *土木工程学报*, 2022, 55(增刊 1): 190-195.
- [10] 杜红秀, 吴振茂, 杜帆. PP 纤维和钢筋对高温下 C60HPC 板热应变的影响[J]. *建筑材料学报*, 2022, 25(2): 142-149.
- [11] 崔祎菲, 屈士皓, 张鹏. 海水海砂碱激发混凝土与 FRP 筋的黏结性能[J]. *硅酸盐学报*, 2023, 51(11): 2750-2762.
- [12] 邓宗才, 鹿宇浩, 桂营金. 钢丝网或纤维网增强超高性能混凝土双向板弯曲性能[J]. *复合材料学报*, 2022, 39(10): 4757-4768.
- [13] 王占魁, 潘武汉, 吴建兴, 等. 智慧水利领域研究热点的文献计量与可视化分析[J]. *人民珠江*, 2024, 45(9): 101-109.
- [14] XIAO J Z, WANG W, ZHOU Z J, et al. Punching shear behavior of recycled aggregate concrete slabs with and without steel fibres[J]. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 2019, 13(3): 725-740.
- [15] 唐佳军, 郭璨, 裴长春, 等. 层布式钢纤维再生混凝土梁的抗弯性能[J]. *工程建设*, 2021, 53(2): 12-17.
- [16] YU R, SPIESZ P, BROUWERS H J H. Development of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPRC): Towards an efficient utilization of binders and fibres [J]. *Construction and Building Materials*, 2015, 79: 273-282.
- [17] WU Z M, KHAYAT K H, SHI C J. How do fiber shape and matrix composition affect fiber pullout behavior and flexural properties of UHPC [J]. *Cement and Concrete Composites*, 2018, 90: 193-201.
- [18] HUANG H H, GAO X J, KHAYAT K H, et al. Influence of fiber alignment and length on flexural properties of UHPC [J]. *Construction and Building Materials*, 2021, 290: 122863.
- [19] 许秀颖, 贾影, 时国松. 超高性能纤维混凝土在公路桥梁加固中的应用分析[J]. *公路工程*, 2020, 45(4): 92-95; 135.