

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.06.008

介电弹性体研究前沿及其演化的可视化分析*

鄂世举,包辉煌,曹建波*,张海艇,包昆伟,王武辉
(浙江师范大学工学院,浙江金华 321004)

摘要:针对目前介电弹性体材料的相关研究进展问题,运用信息可视化技术对近十年的相关文献进行了研究。以“dielectric elastomer”为主题词对 Web of Science 的 SCI 核心数据库进行了检索,利用 CiteSpace 信息可视化软件对数据进行了计量分析,对介电弹性体文献-共引网络图谱和文献-突现词共引混合图谱进行了绘制,对介电弹性体研究演进进行了梳理,对介电弹性体研究的前沿热点进行了归纳。归纳结果表明:介电弹性体材料领域正处于大发展时期,中美两国在该领域的科研投入较多,得到了 3 篇有显著影响力的关键节点文献,对介电弹性体材料在组成、性能和方法这 3 个方面的研究具有重要的意义。

关键词:介电弹性体;前沿;演化;信息可视化;CiteSpace

中图分类号:TH142;TB34

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)06-0590-04

Visualizing the research fronts and evolution of dielectric elastomers

E Shi-ju, BAO Hui-huang, CAO Jian-bo, ZHANG Hai-ting, BAO Kun-wei, WANG Wu-hui
(College of Engineering, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: Aiming at the current research progress of dielectric elastomer materials, using the information visualization technology, the related literature in recent ten years was studied. The SCI core database of Web of Science was searched with the word "dielectric elastomer" as the key word. Using CiteSpace information visualization software, the data were analyzed. A number of co-citation maps on dielectric elastomer were plotted. The research progress was reviewed, and the frontiers and hotspots were summarized. The results indicate that the field of dielectric elastomer material is under the period of great development and more scientific research are invested in this field in both China and the United States. After the search of the SCI core database of Web of Science, three key nodes with significant influence were obtained, which can reveal that the study of dielectric elastomer materials has great significance in the aspects of compositions, performances and methodology.

Key words: dielectric elastomer; frontiers; evolution; information visualization; CiteSpace

0 引言

从 20 世纪 90 年代初发展起来的电活性聚合物 (electroactive polymer, EAP), 其特性是在电刺激作用下会发生大的形状变化, 使得许多科研人员致力于 EAP 材料的研究, 并扩大到高分子材料领域^[1]。其中, 电子型 EAP 的介电弹性体材料 (dielectric elastomer, DE) 广泛应用于传感器、致动器、发电机等, 具有良好的应用性能^[2]。DE 可以从环境资源 (如海洋能、水流、风能、人体运动等) 中获取能量, 由于其具有高能量密度和高转换效率, 使其具有可观的发展前景^[3]。

本研究将以近十年 (2008 年 ~ 2017 年) Web of Science (WoS) 的 SCI 核心数据库收录的介电弹性体相关研究论文为数据源, 分析介电弹性体研究的实力分布, 并用 CiteSpace 信息可视化软件为分析工具, 以可视化的方式显示介电弹性体研究领域的发展进程与结构关系, 对介电弹性体领域的知识基础、研究热点及前沿趋势等进行分析, 总结其发展特征与规律, 以期为推进我国介电弹性体的研究与应用提供理论依据。

1 数据来源与处理

随着介电弹性体技术的发展, 对介电弹性体的研究越来越多, 相应的文献也在不断增多。例如, 在 SCI

收稿日期: 2017-09-21

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (LY17E070001); 浙江省基础公益研究项目工业项目 (LGG18E070005); 国家自然科学基金资助项目 (51377146, 51407162); 国家级大学生创新创业训练计划项目 (201610345028)

作者简介: 鄂世举 (1970-), 男, 吉林长春人, 博士, 副教授, 主要从事新型功能材料驱动与发电方面的研究。E-mail: 276828373@qq.com

通信联系人: 曹建波, 男, 博士, 副教授, 硕士生导师。E-mail: caojianbo2008@163.com

数据库中以“dielectric elastomer”为主题词的文献由 2008 年的 62 篇增长到了 2017 年 8 月的 163 篇,统计折线图如图 1 所示。

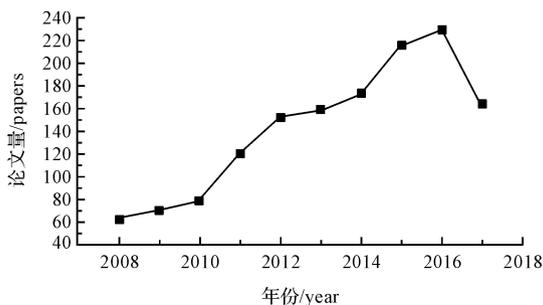


图 1 2008 年—2017 年 8 月介电弹性体论文数量统计折线图

本研究以“dielectric elastomer”为主题词,对 2008 ~ 2017 年间以英语发表的“Article”类文献进行检索,共获得 1 423 条文献数据,其中共包含引文 9 538 条(2017-08-31 检索)。在计量分析中,以 1 年为单位,将 2008 ~ 2017 年的 10 年分成 10 个时段。使用信息可视化软件 CiteSpace(版本号:5.1.R6 SE(64-bit))对这些数据进行分析,CiteSpace 可以直接转换从网络上保存的数据格式,不需要下载原始文献数据^[4-5]。

2 文献分析

2.1 机构分布

对发文机构进行分析,可为相关学者了解研究机构的科研实力以及进行科研合作提供指导作用。介电弹性体论文研究机构中,西安交通大学位居榜首,发文 88 篇,占总比 6.18%;哈佛大学次之,发文 64 篇,占总比 4.50%;北京大学化学系和浙江大学并列第三,发文 43 篇,占 3.02%。

2.2 领域分布

本研究对论文所涉及的领域进行了分析,2008 年 ~ 2017 年 8 月介电弹性体论文排名前五的领域分别为材料科学(Materials Science)、物理学(Physics)、聚合物科学(Polymer Science)、工程学(Engineering)和

化学(Chemistry),其中在材料科学(Materials Science)、物理学(Physics)和聚合物科学(Polymer Science)领域分布最多,分别为 569、420 和 307 篇;分布与其他领域的研究论文低于 300 篇。

3 实验及结果分析

本研究运行 CiteSpace 信息可视化软件,选择引文(Cited Reference)进行聚类(Cluster)分析,同时设置合适的阈值,运行得到基于文献共引——突现术语介电弹性体研究可视化分析网络知识图谱,如图 2 所示。

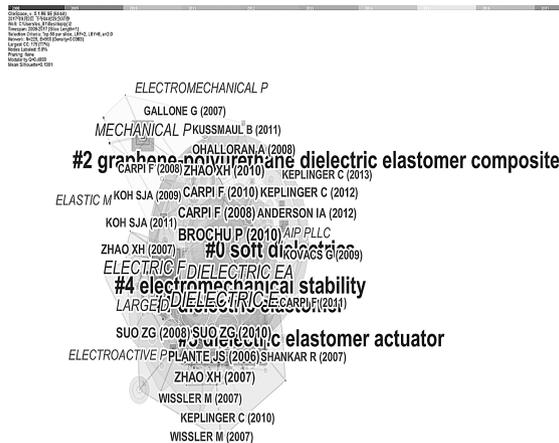


图 2 共引——突现术语可视化分析网络知识图谱

其中包括节点 225 个,连线 966 条。这一过程,CiteSpace 运行用了 9.856 s 时间。

3.1 介电弹性体关键节点文献的演进

分析文献共被引网络的演进关系,不同文献聚类之间通过关键节点文献相连接,而这些文献节点具有很好的中介中心性,起到连接和过渡不同的聚类网络作用。在由 CiteSpace 信息可视化软件得到的文献共被引网络的可视化图谱中,关键节点是指中介中心性不小于 0.1 的节点,图谱中用紫色外圈表示网络中的关键节点。因此,在上述介电弹性体领域文献共被引网络图谱中,共包含了 3 个文献节点(Node),如表 1 所示。

表 1 介电弹性体研究领域关键节点文献摘要表

引用频率	中心度	作者	出版年	文献题目	期刊名称	期刊卷号	页码	文献半衰期
120	0.12	Suo ZG	2008	A nonlinear field theory of deformable dielectrics	JMPS	V526	P467	5
116	0.10	Zhao XH	2010	Theory of dielectric elastomers capable of giant deformation of actuation Improvement of electromechanical actuating	PRL	V104		4
44	0.10	Carpi F	2005	performances of a silicone dielectric elastomer by dispersion of titanium dioxide powder	IEEE TD&EI	V124	P835	7

这 3 个关键节点都是在 2005 ~ 2010 年发表的论文,分别发表于《Journal of the Mechanics and Physics of Solids》、《Physical Review Letters》和《IEEE Transactions on Dielectrics & Electrical Insulation》,不管是在本

文所选 SCI 核心数据库中,还是在 Google 学术搜索中,3 篇文献的被引次数都很高,故这 3 篇论文具有较高的研究价值。

按照关键节点在网络中的中心度大小来看,中心

度最大的是 SUO Z G 在 2008 年发表在《Journal of the Mechanics and Physics of Solids》(影响因子:4.255)的《变形电介质的非线性场论》(A nonlinear field theory of deformable dielectrics)。该文在 SCI 核心数据库中检索,被引频次达到 237 次(2017-08-31)。在网络中,其中心度为 0.12,是网络中中心度最大的关键节点,同时它连接了几乎各个时间段的共背引文献聚类,可见其在网络中的中心地位。SUO Z G 主要对介电弹性体领域的电介质固体的场理论进行研究。SUO Z G 的研究假设电介质中的每一个物质粒子都附有一个重量和一个电荷,并规定一个虚拟位移场和一个虚拟电压场。将牛顿力学定律和麦克斯韦法拉第静电理论作为结果产生,引入机电耦合通过物质定律,在流体介质的极限情况下,该理论恢复了麦克斯韦应力。该理论适用于有限变形,适用于弹性和非弹性介质。随着理论的应用,SUO Z G 讨论了弹性介质的材料定律,并研究了叠加在给定场上的无穷小场,包括振动,波传播和分岔等现象^[6]。

在共引网络中中心度位居第二的是 ZHAO X H 等人 2010 年在《Physical Review Letters》(影响因子:7.329)上发表的《大变形驱动的电介质弹性体理论》(Theory of dielectric elastomers capable of giant deformation of actuation)。该文在 SCI 核心数据库中检索,被引频次达到 155 次(2017-08-31)。在网络中,其中心度为 0.10。ZHAO X H 主要对介电弹性体领域的电介质材料进行研究。ZHAO X H 对两种不稳定模式的相互作用进行了分析,发现该介质弹性体在

小拉伸下是连续性的,但是在临界状态呈现断崖现象,并用互穿网络实验和具有膨胀弹性体的模型验证了该理论。根据该理论预测,对于具有所需形式的应力拉伸曲线的弹性体,电压可引起巨变^[7]。

共引网络中心最后一个关键节点文献是 CARPI F 等人 2005 年在《IEEE Transactions on Dielectrics & Electrical Insulation》(影响因子:2.115)发表的《用二氧化钛粉体分散改善有机硅介电弹性体的机电驱动性能》(Improvement of electromechanical actuating performances of a silicone dielectric elastomer by dispersion of titanium dioxide powder)。CARPI F 主要对介电弹性体领域的电介质材料进行研究。CARPI F 研究了通过将高介电陶瓷包裹体嵌入在橡胶基质介质中来提高电介质弹性体驱动的机电材料响应。所研究的聚合物/陶瓷复合材料,与纯硅相比,弹性模量降低,以及介电常数增加。测量的低频介电常数与几种经典的介电混频规则一致。将这种材料用作平面致动器的弹性电介质,可以减小驱动电场,从而获得了在 10 V/ μm 下的 11% 的横向应变和 9 V/ μm 的 16.5 kPa 的横向应力,分别比用于类似电刺激的纯聚合物基质产生的相应值高出 4~8 倍^[8]。

3.2 介电弹性体研究前沿探测

研究前沿是根据题目、摘要、描述词和文献中突现专业词而确定的。在 CiteSpace 可视化软件中,笔者应用前文数据,选择“keyword”作为节点,节点类型选择突变专业术语,设置适当的阈值,运行 CiteSpace 软件^[9]。关键词突变的知识图谱如图 3 所示。

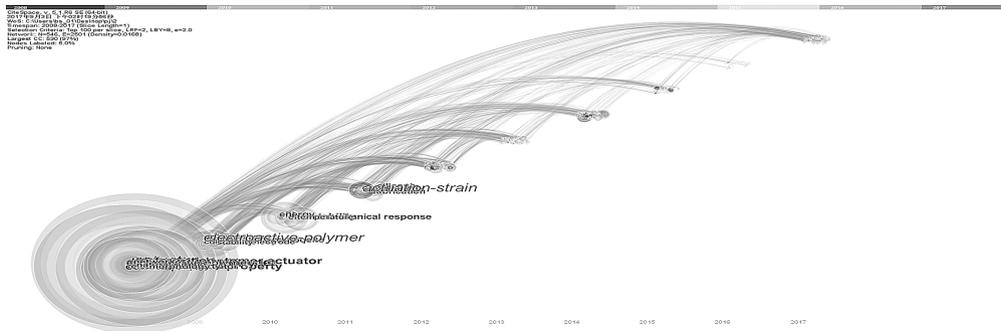


图 3 介电弹性体领域研究前沿关键词突变的知识图谱

图 3 将该领域知识研究前沿从左到右、自上而下地展示出来。通过各时间段之间的连线关系,可以看出各时间段之间的传承关系,从 2008 年时区中的节点开始,该领域研究文献和研究热点的不断增长。

主要突变关键词分布统计表如表 2 所示。

本研究利用 CiteSpace 中词频的变动趋势,来确定“介电弹性体”领域的研究前沿^[10]。由图 3 和表 2 可以看出,中心性在 0.01 及以上的突变关键词可以归纳为以下几个方面:

(1) 从组成来看,弹性体 (elastomer)、纳米粒子 (nanoparticle)、丙烯酸弹性体 (acrylic elastomer)、流体 (fluid)、液晶 (liquid crystal)、电介质 (dielectrics)、钛酸钡 (barium titan ate)、凝胶 (gel)、天然橡胶 (natural rubber) 将成为电活性聚合物 (electroactive polymer (EAP)) 和介电弹性体 (dielectric elastomer (DE)) 材料领域的研究前沿,通过对介电弹性体材料领域的研究,来寻找出适合研制稳定、高性能介电弹性体基础材料,为运用于实践生产具有指导意义;

表2 主要突变关键词分布统计表

序号	关键词	引用次数	中心度	突现度	序号	关键词	引用次数	中心度	突现度
1	elastomer	281	0.03	7.47	15	dielectrics	25	0.03	3.05
2	electrostriction	80	0.03	4.80	16	conductivity	45	0.02	3.03
3	nanoparticle	25	0.01	4.17	17	molecular dynamics	7	0.01	2.97
4	large deformation	10	0.03	3.96	18	improvement	11	0.01	2.91
5	acrylic elastomer	18	0.01	3.57	19	barium titan ate	11	0.01	2.91
6	high permittivity	14	0.01	3.50	20	dielectric constan t	18	0.02	2.89
7	actuated strain	16	0.01	3.48	21	gel	18	0.04	2.85
8	fluid	10	0.02	3.42	22	electroactive polymer (EAP)	5	0.01	2.84
9	dielectric spectroscopy	15	0.04	3.30	23	functionalization	7	0.01	2.82
10	model	61	0.02	3.29	24	dielectric elastomer (DE)	8	0.01	2.81
11	array	15	0.01	3.09	25	system	14	0.03	2.80
12	reinforcement	25	0.04	3.09	26	dielectric relaxation	21	0.02	2.68
13	high dielectric constant	20	0.04	3.09	27	natural rubber	39	0.03	2.50
14	liquid crystal	7	0.01	3.06	28	display	6	0.01	2.41

(2)从性能来看,电致伸缩(electrostriction)、大变形(large deformation)、高介电常数(high permittivity、high dielectric constant、dielectric constant)、致动应变(actuated strain)、介电光谱(dielectric spectroscopy)、电导率(conductivity)、介电弛豫(dielectric relaxation)将成为介电弹性体性能领域的研究前沿,通过对介电弹性体性能领域的研究,来确定介电弹性体的性能,如变形能力、响应速度、质量、能量密度等,进而运用于人工肌肉、能量回收器、柔性机器人、自适应光学仪器等方面;

(3)从方法来看,模型(model)、排列(array)、加强(reinforcement)、分子动力学(molecular dynamics)、改善(improvement)、功能化(functionalization)、系统(system)、展示(display)将成为介电弹性体研究方法的研究前沿,通过对介电弹性体研究方法的研究,来改善介电弹性体制备工艺、机电能量转换效率、失效模式等,进而使介电弹性体能在发电方向以及驱动方向的广泛运用。

4 结束语

本研究对 Web of Science 核心数据库中的文献数据进行了计量分析,利用 CiteSpace 信息可视化软件,对近十年来介电弹性体领域研究的文献进行了可视化分析。经过上述分析研究,得出以下结论:

(1)介电弹性体材料领域的发文数量随时间呈明显的增长趋势,说明该领域正处于大发展时期,从发表论文的机构分布来看,中国和美国在该领域的科研投入较多;

(2)利用信息可视化工具,绘制出介电弹性体领域共引-突现术语可视化分析网络知识图谱,得到3篇有显著影响力的关键节点文献;

(3)通过检测词频变动趋势显著的主题词揭示了介电弹性体材料在组成、性能和方法的研究前沿。

参考文献(References):

- [1] ZHANG R, LOCHMATTER P, KOVACS G, et al. Dielectric elastomers as electromechanical transducers[M]. Amsterdam:Elsevier Ltd.,2008.
- [2] 方康,金肖玲,王永,等.介电弹性球膜的动力稳定性分析[J].固体力学学报,2017,38(2):146-156.
- [3] 金丽丽,鄂世举,曹建波,等.介电弹性体材料研究现状综述[J].机电工程,2016,33(1):12-17.
- [4] CHEN C. Measuring the movement of a research paradigm[J]. **Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering**,2005(5669):63-76.
- [5] 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.
- [6] SUO Z, ZHAO X, GREENE W H. A nonlinear field theory of deformable dielectrics[J]. **Journal of the Mechanics & Physics of Solids**,2008,56(2):467-486.
- [7] ZHAO X, SUO Z. Theory of dielectric elastomers capable of giant deformation of actuation[J]. **Physical Review Letters**,2010,104(17):178302.
- [8] CARPI F, ROSSI D D. Improvement of electromechanical actuating performances of a silicone dielectric elastomer by dispersion of titanium dioxide powder[J]. **Dielectrics & Electrical Insulation IEEE Transactions on**,2005,12(4):835-843.
- [9] 郑新艳,邵海英. Web of Science 平台下蚯蚓研究文献的调研分析[J].农业图书情报学刊,2017,29(8):72-75.
- [10] 郭全珍,吕建国. 纳米功能材料领域研究前沿和发展趋势的可视化分析[J].情报杂志,2014(3):49-53.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

鄂世举,包辉煌,曹建波,等.介电弹性体研究前沿及其演化的可视化分析[J].机电工程,2018,35(6):590-593.

E Shi-ju, BAO Hui-huang, CAO Jian-bo, et al. Visualizing the research fronts and evolution of dielectric elastomers[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2018,35(6):590-593.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>