

2007 - 2017 年我国无线充电技术的文献计量分析^①

史晓枫^{②*} 张紫婧^{**} 望俊成^{③*}

(* 中国科学技术信息研究所 北京 100038)

(** 北京大学信息管理系 北京 100871)

摘 要 通过检索中国知网 (CNKI) 2007 - 2017 年收录的我国无线充电技术相关论文, 运用文献计量分析方法、社会网络分析方法等初步探明我国无线充电技术的研究现状和发展趋势。研究结果表明, 从 2007 年开始, 我国无线充电技术领域的发文量逐渐增长, 2015 年是近 10 年来发文量最多的一年。通过分析可知, 无线充电技术的主要应用领域为消费类电子设备 (以可穿戴设备和智能手机为代表) 和新能源汽车, 电动汽车是目前无线充电技术市场规模较大的应用场景, 且无线充电技术在电动汽车、电子产品等应用方面的研究将越来越深入。

关键词 无线充电, 文献计量, 中国知网 (CNKI)

0 引 言

无线充电技术是指通过电磁波进行无线电力传输, 使产品可以摆脱线缆的束缚补充电能, 它起源于特斯拉 (Tesla) 在 1890 年代提出的理论构想。2006 年 11 月, 美国麻省理工学院 Kurs 等人^[1] 的研究团队宣布发现了实现电力无线传输的理论依据, 并于 2007 年将研究成果发布在《Science》杂志上。美国在无线充电领域研究的突破于 2006 年 12 月迅速地被我国的学术期刊报导^[2], 引起了国内学术界与科研领域的浓厚兴趣。作为一种革命性的能源传输技术, 无线充电技术对电子、汽车、医疗、通信等领域具有巨大的应用潜力; 也备受国内企业界关注, 中兴通讯、比亚迪、奇瑞、海尔等均在全球无线充电技术领域大力增加研发投入, 在数年内跃升至研发领域全球前 50 名内^[3]。特别是新能源汽车的崛起, 加速了无线充电技术的发展。国际范围内, 各大车企如丰田、日产、本田等加紧开展技术研发和产品推广, 许多组织和公司如美国宇航局研究中心 (NASA)、美

国 WAVE 公司等也纷纷推出了移动交通无线充电产品。未来几年, 电动汽车无线充电技术仍将会是行业热点^[4]。2015 年无线充电技术已在消费电子设备中大规模应用, 如索尼、谷歌 NEXUS、MOTO、诺基亚等品牌在其高端机上内置了无线充电模块, 这也标志着无线充电技术的成熟应用^[5]。

无线充电技术领域发表的学术论文近几年迅速增加。为了对我国在无线充电领域的科研活动做出客观的评价, 本文利用 2007 - 2017 年 10 年间中国知网 (China National Knowledge Infrastructure, CNKI) 所收录的无线充电领域相关论文进行文献计量分析, 以揭示我国学术界在无线充电领域的发展历程、研究现状与规律, 为无线充电领域的企业和科研机构的研发计划制定和政府机构对无线充电领域的政策与规划的制定提供参考借鉴。

1 我国无线充电领域论文计量分析

本文选取中国知网 (CNKI) 数据库收录的相关

① 国家社会科学基金青年项目 (12CTQ025) 和中国科学技术信息研究所青年创新基金资助项目。

② 女, 1992 年生, 硕士; 研究方向: 信息分析, 人才管理; E-mail: shixf@istic.ac.cn

③ 通信作者, E-mail: wangjc@istic.ac.cn

(收稿日期: 2018-05-08)

研究文献作为研究对象,检索条件为:年 between (2007,2017) 并且 ((主题 = 无线充电 或者 主题 = 无线充电技术) 或者 (题名 = 无线充电 或者 题名 = 无线充电技术)) (精确匹配),专辑导航:全部;数据库:学术期刊 单库检索,检索时间截止到 2018 年 6 月 16 日。筛选掉重复和不相关的文献,共有论文1 063篇。

在对文献数据的分析过程中,结合计量与归纳总结等方法,分析了 2007 - 2017 年间我国无线充电领域研究期刊文献的年度发文量分布、载文期刊分布、学科分布、作者分布以及相关主题分析等问题。具体分析过程中,使用了 Excel 2016 对检索结果进行统计整理,生成图表;利用社会网络分析软件 Ucinet 6.2 生成如关键词共现矩阵等相应的共现矩阵,对检索结果进行分析;借助可视化分析软件工具 NetDraw 将检索结果进行可视化展示。结合定性分析,对结果进行深入解释,试图通过对无线充电领域的文献分布来探究我国该技术领域的发展现状。

1.1 年度发文量分布

从年度发文量统计数据(图 1)可以发现,我国对无线充电领域的研究基本与国外同步。自 2006

年无线充电领域在国外取得突破性进展后,我国科学界随之于 2007 年进行报导与引进性研究。2008 年末,旨在制定并促进广泛市场采用与所有可再充电电子设备兼容的国际无线充电标准的“无线充电联盟”(Wireless Power Consortium,WPC)成立,并于 2010 年 8 月 31 日将其无线充电国际标准 Qi 引入中国^[6],促使 2009 - 2012 年间我国科技界在无线充电领域的发文量以接近逐年翻倍的速度增长;2013 - 2017 年,学界对无线充电领域的研究方向逐渐明晰,发文量亦逐步进入平稳增长状态。在不同的阶段,从论文标题反映出我国学术界所发表的论文主题亦有不同。2007 年,学术界发表的论文主题是对国外突破性技术的引进介绍为主。2008 - 2009 年间,学术界对无线充电领域的讨论主要侧重于技术的尝试,比如采用 PCB 线圈、RFID 技术、晶体振荡电路或射频电路实现无线充电或电能传输。在 2009 年后,Qi 标准引入中国并逐步得到广泛采纳时,学术界对其他无线充电的技术尝试开始减少,主要讨论重点在于对 Qi 标准的介绍、对 Qi 标准的细节进行技术性的研讨与优化以及无线充电技术在不同行业与领域的应用方案。

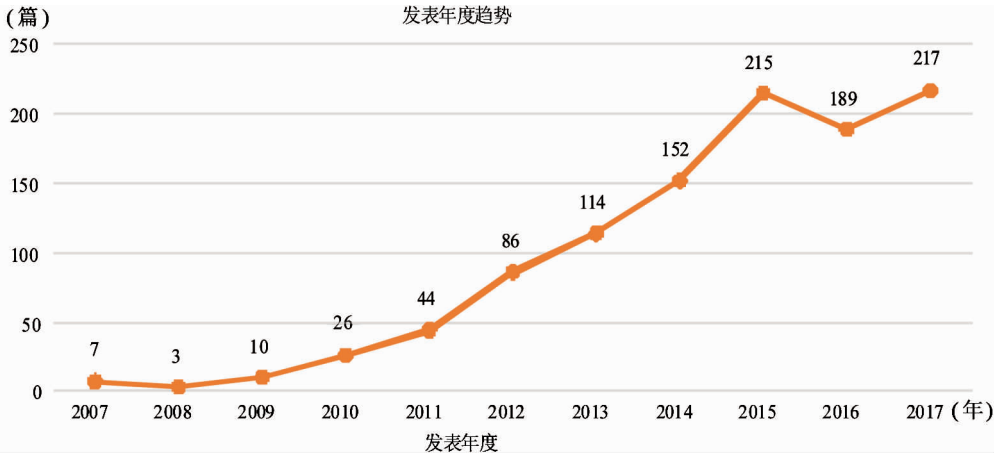


图 1 我国无线充电技术领域年度发文量

1.2 载文期刊分布

对无线充电技术领域的载文期刊进行统计,1 063篇期刊论文共发表在 342 种期刊上,刊登无线充电领域论文的期刊 80% 属于无线电电子学领域,其中主要的核心期刊有《电工技术学报》,主要刊登无线充电领域相关的技术性研究,近 10 年来载有与

无线充电技术相关的论文共 22 篇,在载文量统计中排名第 3;《电子技术应用》,主要刊登无线充电行业的技术新闻通讯与该技术在不同领域与应用场景下的实现方案,在载文量统计中排名第 4。从载文期刊分布上看,我国无线充电技术属于电子类热门应用领域。此外,影响因子比较高的期刊数量仍

比较少,进一步说明我国无线充电技术的研究仍有待加强。载文量排名前 10 的期刊见表 1。

表 1 我国无线充电技术领域载文量排名前 10 的期刊

期刊名称	载文量(篇)
电子产品世界	31
今日电子	23
电工技术学报	22
电子技术应用	20
电子世界	20
世界电子元器件	19
消费电子	19
通信世界	18
中国电子商情	17
电子设计工程	15

1.3 学科分布

统计 1 063 篇论文的学科类别,发文量排名前 10 的学科见表 2。从表中可以得出:接近 80% 的论文属于电力工业、汽车工业、工业经济 3 大领域。其中,排名第 1 的电力工业领域论文占比很高,为 48.93%。电力工业作为国民经济的基础产业,对资源性行业、设备制造业、原材料及能源加工行业有很大影响,对经济增长具有重要作用^[7]。这反映了无线充电技术在推动我国工业化进步方面的促进作用,也可以看出无线充电技术在电力工业领域可能具有的强大潜能,中国在无线充电领域的下一个突

表 2 我国无线充电技术领域论文排名前 10 的学科

学科名称	论文数量(篇)	占比(%)
电力工业	591	48.93
汽车工业	198	15.93
工业经济	173	14.02
电信技术	94	7.85
自动化技术	37	3.35
无线电电子学	35	2.90
信息经济与邮政经济	26	2.06
公路与水路运输	22	1.98
计算机硬件技术	22	1.68
计算机软件及计算机应用	14	1.30

破性技术很可能会出现与电力工业领域结合的应用中。

排名第 2 的学科类别是汽车工业,共有 198 篇发表论文,该领域的论文数占无线充电技术总论文数的15.93%,其背后的推动力是新能源汽车的兴起。新能源汽车,如混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车、生物燃料汽车、太阳能汽车等,在国际能源供应紧缺和环保意识日益提升的背景下,新能源汽车具有环保、节能的独特优势,适应国际能源供应紧缺和环保的要求,逐渐成为了市场和社会各界所关注的焦点。新能源汽车采用电力作为主要或次要的动力源,为无线充电技术提供相当广阔的应用场景。汽车的无线功率传输充电是一种相对较新的新兴技术^[8]。纯电动汽车领域的技术研发水平目前处于快速成长期,预计今后一段时间专利申请量将继续快速增长^[9]。随着无线充电技术的不断完善,同时结合中国智能电网的建设,其在电动汽车智能充换电服务网络方面的应用必将大大推动电动汽车的大规模应用。

排名第 3 的学科是工业经济,与其他学科具有重大的相关性,它反映了无线充电在信息领域的应用状况,以及它在该领域所实现的市场价值。进一步反映了以无线充电方式充电的可穿戴电子产品市场的商业价值在不断增加。目前,大多数可穿戴设备还是使用传统的有线充电方式,仅苹果 Apple Watch、高通 Toq 手表等已应用了比较成熟的无线充电技术,并受到市场和广大消费者的欢迎和认可。可穿戴设备的电池容量小,无线充电手段是目前研究的一个热点^[10]。

从学科的研究层次上看,发文量排名前 10 的研究层次类别见表 3。研究主要集中在自然科学类论文,占总论文的77.89%,社会科学类论文占总论文数的20.63%。其中在自然科学类上,研究层次主要为工程技术、专业使用技术和基础与应用基础研究;在社会科学类上,研究层次主要为行业指导、职业指导、政策研究等,为提高行业指导能力,无线充电技术在政策研究、人才需求预测、职业资格制定等方面发挥了重要作用。

表 3 我国无线充电技术领域论文排名前 10 的研究层次

层次类别	学科分类	论文数量(篇)	占比(%)
工程技术	自然科学类	593	58.25
行业指导	社会科学类	163	16.01
专业实用技术	自然科学类	72	7.07
基础与应用	自然科学类	67	6.58
基础研究			
行业技术指导	自然科学类	51	5.01
职业指导	社会科学类	14	1.38
政策研究	社会科学类	12	1.18
经济信息	-	11	1.08
政策研究	自然科学类	10	0.98
基础研究	社会科学类	8	0.70

1.4 资助基金分布

通过对基金资助的统计同样可以反映出国家对这一领域的政策支持状况。统计出的 1 063 篇文献排名前10的基金种类见图2,依次是国家自然科学基金、国家科技支撑计划、国家高技术研究发展计划(863 计划)、北京市科技计划项目、高等学校博士学科点专项科研基金、湖南省教委科研基金、国家重点基础研究发展计划(973 计划)、江苏省自然科学基金、天津市科学基金和国家社会科学基金。其中,国

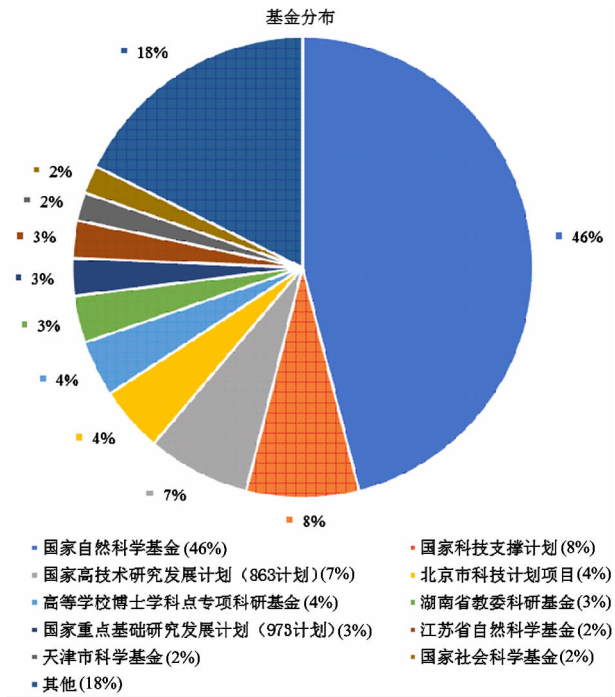


图 2 我国无线充电技术领域论文排名前 10 的基金种类

家自然科学基金占基金总数的 46%、国家科技支撑计划占基金总数的7.8%,共计占比 54%,超过一半。这表明无线充电技术作为一项新兴技术,受到国家层面基金资助的占比较高,国家对无线充电技术的研究给予了较大力度的支持。其中,2016 年 4 月,国家发展改革委、国家能源局下发了《能源技术革命创新行动计划(2016 – 2030 年)》,重点提到无线充电的应用,要求到 2020 年形成充电技术标准体系并建设无线充电器场站示范工程^[11]。基金的总体分布说明了无线充电研究作为一项新兴技术,受到国家层面级别基金的大力支持,也得到了地方政府和科技基金的积极参与。

1.5 主要发文机构分布

对发文机构进行统计,可以看出无线充电领域的发文机构主要分为科研院所、高等院校(简称高校)和电力企业 3 类。其中发文量排名前 10 的机构见表 4。

表 4 我国无线充电技术领域论文排名前 10 的机构

机构名称	论文数量(篇)	所属类别
中国科学院电工研究所	20	科研院所
北京理工大学	13	高等院校
合肥工业大学	10	高等院校
清华大学	9	高等院校
东南大学	8	高等院校
武汉大学	8	高等院校
天津工业大学	8	高等院校
中国科学院大学	8	高等院校
南方电网科学研究院	7	电力企业
国家知识产权局专利局	7	政府部门

我国对无线充电技术的研究力量主要集中在以中科院电工研究所及合肥工业大学、北京理工大学、清华大学等工科类高校为主的科研机构及高校中,以高校居多,也不乏南方电网、国家电网等大中型电力企业,这也体现了无线充电技术广泛应用于企业的特点。而政府类机构,如国家知识产权局、专利局等对无线充电技术领域的研究体现了国家宏观政策在无线充电技术领域的布局和谋划。

1.6 高产作者分布

近 10 年我国无线充电技术领域发文量排名前

10 的作者见表 5。从表中可以看出高产作者的排位基本与主要发文机构排位是一致的。在排位靠前的学者中,王丽芳、廖承林均来自于中国科学院电工研究所,他们以前的研究方向是电力工业、汽车工业、自动化技术、计算机软件及应用。郭彦杰的研究背景也是电力工业和汽车工业,他在无线充电领域的论文主要发表于 2015 年,并且与王丽芳、廖承林存在合著关系。本文将在1.7节通过合著分析,进一步探讨无线充电领域作者群之间的合作关系与群体关系。王丽芳、廖承林、郭彦杰等人作为无线充电技术

表 5 我国无线充电技术领域发文量排名前 10 的作者

作者姓名	发文数量(篇)	所属机构
王丽芳	23	中国科学院电工研究所
廖承林	17	中国科学院电工研究所
郭彦杰	9	北京理工大学
韩江洪	6	合肥工业大学
石雷	5	合肥工业大学
李树凡	5	中国科学院电工研究所
张献	5	天津工业大学
雷鸣	4	西安工业大学
宋凯	4	哈尔滨工业大学
李均锋	4	中国科学院电工研究所

领域的高产作者和核心研究人员,对他们研究方向的追踪可以进一步掌握该领域的发展动向。

其中,王丽芳的学科背景为电力工业、汽车工业、自动化技术,无线充电是其近 10 年左右的关注点,2008 年、2013 年分别有电动汽车领域的高被引论文发表,如大规模电动汽车充电需求及影响因素、电动汽车动力总成系统控制器局域网(CAN)总线通信协议等。

廖承林的学科背景为电力工业、汽车工业、计算机软件及计算机应用,和王丽芳有很多合作,产出了许多相当高质量的研究成果,近年来电动汽车领域的最高被引论文与王丽芳一致。

郭彦杰的学科背景主要为电力工业和汽车工业,其所著最高被引论文皆与上述 2 位作者合作。2015 年发表多篇无线充电领域论文,研究题目有无线电能传输中线圈设计对效率的影响综述、电动汽车无线充电系统磁场仿真与屏蔽技术研究。

1.7 作者合著分析

本文选取发文次数在 3 次及以上的作者,构建作者合著矩阵,部分矩阵图见图 3。将合著矩阵导入 Ucinet 6.2,通过 NetDraw 将合著矩阵可视化,得到作者合著网络图(图 4)。

*	王丽芳	廖承林	郭彦杰	李健	高巧玲	宋凯	朱春波	付永升	雷鸣	张波	王莹	丁思杰	陈华君	殷孝能	陈端	沈建苗	张献	秦旭华	陈宁宁	吴小雷	黄润鸿	黄华良
王丽芳	11	9	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
廖承林	9	9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
郭彦杰	8	6	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
李健	0	0	0	7	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高巧玲	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
宋凯	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
朱春波	0	0	0	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
付永升	0	0	0	2	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
雷鸣	0	0	0	2	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
张波	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
王莹	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
丁思杰	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
陈华君	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
殷孝能	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
陈端	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
沈建苗	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
张献	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
秦旭华	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
陈宁宁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
吴小雷	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
黄润鸿	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
黄华良	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4

图 3 作者合著矩阵

通过图 4 可以看出,发文次数在 3 次及以上的作者构成的合著网络共 17 个子群,合著网络图是一个非连通图,合著现象仅存在于子群内部。本文采用社会网络分析方法,分别从中心性、凝聚子群和核心-边缘结构 3 个角度对合著网络进行分析。

表 6 展示了节点度排名前 10 位的作者,他们处于合著网络的中心位置,是无线充电领域研究的

核心作者。其中,王丽芳的绝对中心度值最大(29.000),表明该作者与其他作者合作频繁且合作成果最多。排在第 2、3 位的作者分别是廖承林(25.000)、郭彦杰(24.000)。这 3 位作者的发文量也是排名最靠前的,由此可见,发表论文比较多的作者同其他作者的合作也比较频繁。

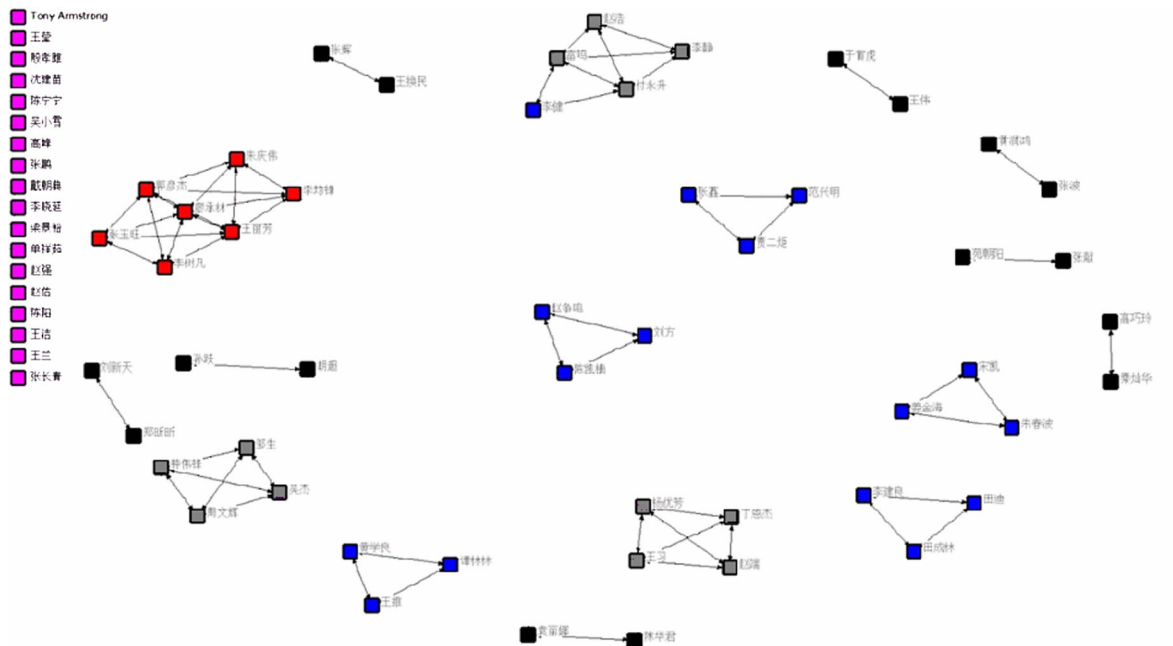


图4 作者合著网络图

表6 节点度排名前10位的作者

作者姓名	绝对中心度	相对中心度	作者姓名	绝对中心度	相对中心度
王丽芳	29.000	4.739	李树凡	11.000	1.797
廖承林	25.000	4.085	赵端	10.000	1.634
郭彦杰	24.000	3.922	丁恩杰	10.000	1.634
付永升	12.000	1.961	张玉旺	10.000	1.634
雷鸣	12.000	1.961	宋凯	9.000	1.471

对合著网络进行凝聚子群分析,分析结果表明合著现象主要发生在同一单位,内部合作比较紧密的单位有中国科学院电工研究所、北京理工大学等。而单位之间的合著现象比较少,合著网络的凝聚子群密度非常显著,表明无线充电技术研究领域的凝聚子群的规模比较小,合著网络中作者的合作范围较小,大部分作者都只和少数作者有合著关系。

对合著网络的核心—边缘分析结果表明,无线充电技术研究的核心作者是王丽芳、廖承林、郭彦杰 3 人。他们分别来自中国科学院电工研究所、北京理工大学,说明这 2 所机构在该领域的研究处于核心地位。

整体来看,我国无线充电技术领域研究作者的合作关系矩阵是一个稀疏矩阵,而作者合著网络也比较稀疏,与稀疏矩阵的表现吻合,表明该领域的合

作关系并不密切。但合著网络内存在关系较为紧密的“小团体”,如以王丽芳为核心的研究团队。而王丽芳也是该领域论文产出最高的作者,这进一步说明发表论文比较多的作者同其他作者的合作也比较频繁,且具有广泛的影响力和凝聚力。

1.8 文献主题分析

对不同阶段的关键词进行聚类分析,可以归纳总结我国无线充电技术领域在不同时间段的研究热点及热点变迁。根据我国无线充电研究的背景,结合各年度发文量统计,分别对 2007-2008 年,2009-2012 年以及 2013-2017 年 3 个阶段的关键词进行统计,分析每个时间段的研究热点。去除“无线充电”和“无线充电技术”,将其他关键词按词频由高到低排列,排在前 10 的高频关键词见表 7。

表 7 3 个阶段的高频关键词统计

2007 - 2008 年		2009 - 2012 年		2013 - 2017 年	
高频词	频次(次)	高频词	频词(次)	高频词	频次(次)
手机	5	电动汽车	74	电动汽车	329
电磁感应	3	手机	29	无线能量传输	129
电子	2	无线充电器	25	磁耦合谐振	63
轻子	2	WPC	9	电磁感应	59
无线充电器	2	电磁感应	9	无线充电器	36
充电板	2	接收器	7	手机	35
		无线电源	6	智能手机	31
		发射器	5	传输效率	28
		无线能量传输	5	无线传感器网络	23
		Qi 等	5	锂电池/充电桩	16
				/可穿戴设备等	

同时对无线充电技术研究发展比较快速的两个阶段的关键词进行可视化分析,选取共现次数大于等于 5 的关键词,利用 Ucinet 和 NetDraw 绘制网络图谱,分别见图 5 和图 6。关键词共现网络图直观地展示了不同阶段的研究热点。

1.8.1 2007 - 2008 年的研究主题分析

从表 7 可以看出,2007 - 2009 年的关键词统计频次很低,包含了无线充电技术相关的基础粒子“轻子”、基本作用形式“电磁感应”等,以及唯一的应用领域“手机”,说明这一时期的研究尚处于起步阶段。

1.8.2 2009 - 2012 年的研究主题分析

2009 - 2012 年的关键词词频数相较于上一阶段大幅增加,研究热点也逐渐显现,对无线充电技术的研究已经转向“电动汽车”、“手机”两大应用领域,关键词词频分别排名第 1、第 2 位。结合这一时期的相关研究可以看出,无线供电是未来电动汽车供电技术的发展趋势,也是未来移动设备能量输送的发展趋势^[12]。

2010 年,海尔推出的无线电视成为世界上第一款无绳电视,该电视不仅省去了电源线,连信号线也一并省去,实现了真正的无线。无线充电技术已经在我国的电子设备研发上崭露头角。

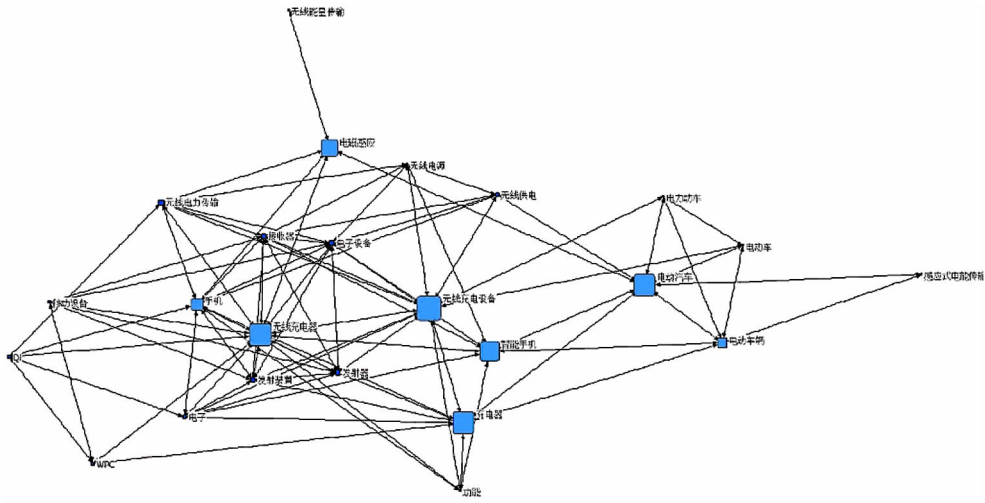


图 5 2009 - 2012 年关键词共现网络关系图

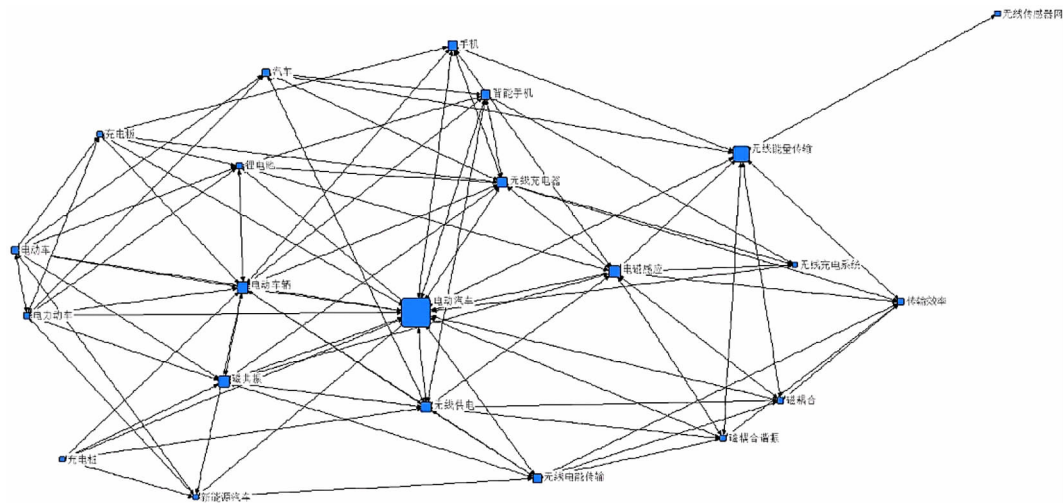


图 6 2013 – 2017 年关键词共现网络关系图

2010 年 8 月 31 日,全球首个推动无线充电技术标准化的组织,无线充电联盟(WPC)在北京宣布将 Qi 无线充电国际标准引入中国,大大推动了我国无线充电技术领域的发展。Qi 是由 WPC 推出的“无线充电”标准,市场主流的无线充电技术主要有 3 种方式,即电磁感应、共振作用以及无线电波,Qi 采用了目前最为主流的电磁感应技术。在不久的将来,手机、相机、电脑等电子产品都可以用 Qi 无线充电器充电,Qi 标准的诞生为无线充电的大规模应用提供了可能。Qi 标准也作为高频关键词成为这一阶段的研究热点代表^[13]。随着无线充电技术的标准逐渐统一,充电成本和充电效率也逐步向有线充电趋近,考虑到无线充电设备隐形、设备磨损率低、应用范围广、操作方便、安全性能高等优点,无线充电的未来应用推广值得期待。

2012 年 2 月,北京市科委正式在全国范围内征集电动汽车无线充电设备研制方案。电动汽车作为无线充电技术的重要应用领域,这一方案的征集代表着该领域正式迈向新的阶段。

进一步通过图 5 可以看出,关键词共现网络作为一个整体网络,展现了网络整体的构成、规模、密度和各个关键词之间的距离等。2009 – 2012 年我国无线充电技术无论是在充电原理等基础作用方式的研究,例如对电磁感应、磁耦合谐振等,还是在消费类电子产品及新能源汽车产业的应用研究,在这个阶段都全面兴起。出现频率最高的“电动汽车”

和“手机”,这 2 个关键词分别与其他关键词共现关系比较多。具体来看,“电动汽车”与“无线充电设备”等关键词的连接最强、关系最紧密。可见,攻克充电技术的难关是电动汽车真正在汽车市场上具有不可替代作用的关键,而无线充电技术为攻克这一难题提供了一种可行性。近年来,随着手机、平板电脑等多样化便携移动设备的耗电量增加,消费者给设备充电频率也在提高,对设备充电方式的多样化需求也越来越强烈。为了使消费者在各种场合下都能及时给产品的电池充电,无线充电技术的应用能够简化充电步骤,更加轻松地对便携式设备充电。在不同环境和差异需求的背景下,有线充电和无线充电两种方式都各有优点,而相较于有线充电方式,无线充电的研究也将成为下一步领域研究热点。

1.8.3 2013 – 2017 年的研究主题分析

从表 7 对关键词的统计可以看出,2013 – 2017 年这一阶段无线充电技术的研究热点仍以“电动汽车”为主。对无线充电技术的原理、方式等基础研究也较上一阶段有所增加,例如关键词“电磁感应”、“磁耦合谐振”出现频次也较高。2015 年,汽车行业特斯拉、奔驰等纷纷表示将会为电动汽车搭载无线充电设备。这些车企的布局,势必会带动电动汽车领域内其他厂商的涉入,同时将大大提高无线充电技术的渗透率^[14]。

值得注意的是,对“手机”的研究热度较上一阶

段有所下降,而“可穿戴设备”等其他应用领域的出现,标志着无线充电技术应用范围的扩展。对“电动汽车”、“新能源汽车”研究的热度不减,这也体现出无线充电技术在手机、电脑、相机等消费电子产品上的附加功能影响并不显著,而对电动汽车产业来说却有可能是整个产业的关键。无线充电技术安全性高、受天气影响小、节省道路空间,因此和充电桩相比更适宜应用于电动汽车;同时公关充电站、充电桩等设备的建设速度也难以跟上电动汽车的增长速度,成为制约电动汽车的发展瓶颈,因此无线充电将对电动汽车的推广起到重要促进作用^[15]。

2015 年以来,我国先后出台多项政策或标准来鼓励和支持无线充电技术的发展。发改委、国家能源局组织编制并印发了《能源技术革命创新行动计划(2016 - 2030 年)》,部署了现代电网关键技术创新等 15 项重点任务,无线充电技术尤其是在汽车领域的应用多次被提及,可见无线充电技术的发展有着良好的政策环境^[11]。在补贴方面,上海市出台《上海市鼓励电动汽车充换电设备设施发展扶持办法》,对无线充电等新技术、设备投资给予 30% 的资金补贴^[16]。随着市场的逐步打开和政策助推力度的加大,预计未来无线充电产业空间巨大,标志着无线充电规模化生产时机日渐成熟。

对比图 6 与图 5,2013 - 2017 年这一阶段,无线充电领域的研究显然更为集中,关键词如“电动汽车”、“电磁感应”、“无线电能传输”的共现数更多,关系也更紧密。这表明,在上一阶段的研究基础上,无线充电技术的研究在电动汽车这一应用领域正在逐渐深入。

2 结 论

通过对 CNKI 中与无线充电技术领域相关的期刊论文进行文献计量分析,得到如下结论。

(1) 从无线充电领域的年度发文量来看。我国学术界对无线充电技术的研究投入和所取得的成果都处于上升趋势。在不同的发展阶段学界对技术所探讨的侧重点有所差别,总体来说我国无线充电技术研究呈现与国际标准融合的趋势。

(2) 无线充电技术的研究分为 2 个方向。一是对充电原理等基础作用方式的研究,例如对电磁感应、磁耦合谐振原理、以及对 Qi 标准的细节技术优化等方面。另一方向是对无线充电技术在不同领域和行业的应用,包括消费类电子产品、新能源汽车等领域。

(3) 从无线充电技术领域的发文作者来看,其所在的单位内部已经形成一个较为稳定的合作团体。该领域的研究力量主要集中在以中国科学院电工研究所、北京理工大学等为主的高校和科研机构,而发文机构之间的合作较少。

(4) 从无线充电技术领域的研究主题来看。起步阶段是 2007 - 2008 年,发文数较少,研究的侧重点在对国外研究的引进与介绍,和无线充电技术的充电方式和作用机制上。2009 - 2012 年是研究迅速增长的阶段,研究重点转向“电动汽车”、“手机”和“电子设备”3 大应用领域,同时也对主流的“无线充电”标准 Qi 进行了探讨。2013 - 2017 年是研究持续发展的阶段,对无线充电技术的研究除了深植在电动汽车领域,也扩展到可穿戴设备等。可以推断,我国无线充电技术将随着多项政策及标准的制定和出台,在各大企业的助力推动下,不断扩大研究与应用范围,实现进一步的发展。

通过对过去 10 年间无线充电技术文献计量的分析可以得出,未来无线充电技术的研究将更注重技术应用领域的探索,为解决人类能源问题和环境问题应运而生的“电动汽车”,将实现无线充电,大大方便人们的出行;而手机等智能移动设备由有线充电向无线充电方式的改变,也将对智能移动设备产业带来新的布局,未来能够攻克无线充电技术难关的企业将成为行业领头人。

参考文献

- [1] Kurs A, Karalis A, Moffatt R, et al. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances[J]. *Science*, 2007, 317(5834):83-86
- [2] 《数字通信》编辑部. 无线充电:闻所未闻的科技[J]. *数字通信*, 2006(24):20-20
- [3] 陶文冬. QUESTEL 报告称:美中两国无线充电专利居首,中兴通讯跨界领先[EB/OL]. <http://tech.huan->

- qiu. com/comm/2016-10/9611807. html: 环 球 科 技, 2016
- [4] 高大威,王硕,杨福源. 电动汽车无线充电技术的研究进展[J]. 汽车安全与节能学报, 2015, 6(04):314-327
- [5] 望俊成, 马晓倩, 李翔,等. 全球无线充电产业发展现状分析[J]. 高技术通讯, 2016, 26(3):299-305
- [6] 李妍. Qi,开启“无线充电”生活[J]. 中国经济周刊, 2010(36):66-67
- [7] 谭显东,胡兆光. 我国电力工业在国民经济中的地位和作用研究[J]. 能源技术经济,2010,22(11):6-12
- [8] Miller J M, White C P, Onar O C, et al. Grid side regulation of wireless power charging of plug – in electric vehicles[C]. In: Proceedings of IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Raleigh, USA, 2012. 261-268
- [9] 谢志明,张媛,贺正楚,等. 新能源汽车产业专利趋势分析[J]. 中国软科学,2015(9):127-141
- [10] 赵静, 林宇. 基于划小分割式电极的电场耦合无线充电方法[J]. 移动通信, 2015, 39(21):21-24
- [11] 国家发展改革委, 国家能源局. 能源技术革命创新行动计划(2016 – 2030 年). [EB/OL]. <http://www.ndrc.gov.cn/fzgggz/fzgh/ghwb/gjjgh/201706/W020170607547578184249.pdf>; 国家发展和改革委员会,2016
- [12] 曹玲玲,陈乾宏,任小永,阮新波. 电动汽车高效率无线充电技术的研究进展[J]. 电工技术学报, 2012, 27(08):1-13
- [13] 彭穗硕. 无线充电技术 Qi[J]. 电子质量, 2013(12):55-58
- [14] 平安证券. 中小市值行业深度报告:摆脱线缆最后的束缚,无线充电市场静待爆发[EB/OL] <https://finance.qq.com/a/20161118/011004.htm>; 腾讯公司, 2018-11-18
- [15] 电子发烧友网. 巨头抢滩,无线充电技术将改变世界[EB/OL] <http://m.elecfans.com/article/499664.html>; 深圳华强聚丰电子科技有限公司,2017-03-23
- [16] 上海市财政局,上海市规划国土资源局. 上海市鼓励电动汽车充换电设备设施发展扶持办法[EB/OL]. <http://www.shanghai.gov.cn/nw2/nw2314/nw2319/nw12344/u26aw47395.html>; 上海市人民政府,2018

Bibliometric analysis of wireless charging technology in China from 2007 to 2017

Shi Xiaofeng^{*}, Zhang Zijing^{**}, Wang Juncheng^{*}

(^{*} Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

(^{**} Department of Information Management, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

We initially explore the present development and the trends of wireless charging technology in China by retrieving papers concerning wireless charging technology from 2007 to 2017 in China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and using bibliometric methods and social network analysis methods. It turns out that the number of documents in the field of wireless charging technology in China has gradually increased since 2007, and 2015 was the year with the largest number of documents in the past decade. According to the bibliometric analysis, wireless charging technology is mainly applied to consumer electronic devices (represented by wearables and smartphones) and new energy vehicles. At present, electric cars have very big market size of wireless charging technology, and researches concerning application of wireless charging technology in fields of electric cars and electric devices will dig deeper.

Key words: wireless power, bibliometric, China National Knowledge Infrastructure (CNKI)