

DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201702045

专利视角下中美电动汽车技术发展比较分析

章博文¹, 李显君¹, 闫旭²

(1. 汽车安全与节能国家重点实验室(清华大学汽车工程系), 北京 100084; 2. 西安应用光学研究所, 西安 710065)

摘 要: 为深入分析中国电动汽车技术的发展现状, 基于中美两国公开发表的与电动汽车直接相关的专利数据, 采用面板数据分析方法, 针对年新增专利数量、主要专利权人和专利所属技术领域, 从技术和产业的角度对中美两国电动汽车技术发展历程、研发热点和创新主体进行了比较分析, 并选择两国典型汽车企业进行了案例分析. 结果表明: 由于政府重视以及政策支持, 中国电动汽车技术在 2001 年后得到了高速发展, 与美国的整体技术差距显著缩小; 动力电池及其与内燃机的协同控制等相关技术是电动汽车发展的核心技术和重点研究领域; 在车辆子系统联合控制和电数字数据处理等相关技术方面, 中国与美国还存在明显差距. 国家应继续支持电动汽车技术和产业发展, 企业应抓住政府创造出的机会窗口快速发展, 在促进产销量提升的同时提升技术能力和技术水平.

关键词: 电动汽车; 专利分析; 面板数据分析; 动力电池; 内燃机

中图分类号: U469.72 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2017)07-0086-07

Comparative analysis on the development of electric vehicle technologies in China and USA: patent view

ZHANG Bowen¹, LI Xianjun¹, YAN Xu²

(1. State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy(Department of Automotive Engineering, Tsinghua University), Beijing 100084, China; 2. Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

Abstract: To promote the development of electric vehicle technologies in China, a comparative analysis on the development of electric vehicle technologies in China and USA is made based on all published electric-vehicle-related patent data. The number of new patents, the main patentee and the technical field are indicated to analyze the technology development process, research hot spots, and innovation subject from the view of both industry and technologies. The cases of typical enterprises are also checked, and the findings show that though starting to develop electric vehicle technologies is late, China has paid more attention to developing electric vehicle technologies than USA since 2001, and is catching up fast. The battery and its synergistic control with internal combustion engine are the core technologies. There is a clear gap between China and USA in terms of joint control of vehicle subsystems and digital data processing. Our government should keep supporting the development of electric vehicle, and enterprises should seize the opportunities for both promoting production and sales, and enhancing their technical capabilities.

Keywords: electric vehicle; patent analysis; panel data analysis; battery; engine

电动汽车是保障国家能源战略安全、减轻环境压力、实现《中国制造 2025》制造强国目标的重要手段^[1-3]. 美国不仅长期作为世界上最重要的电动汽车市场之一, 更数次引领了世界电动汽车的发展浪潮^[4]. 比较、分析中美电动汽车技术发展, 对促进中国电动汽车技术和产业发展具有重要作用和意义.

有关电动汽车技术发展研究的方法主要有两类: 基于业内专家的经验^[5-6]和专利数据的分析^[7]. 基于专利数据的分析往往是“由技术找专利”, 该方

法能比较清晰地对各类技术进行分析, 但惯用的技术类别与国际通用的专利类别 (IPC: International Patent Classification) 的对应关系不好, 存在检索的遗漏或重复问题, 曾经出现过 B60L 11/18 这类非常重要的专利被整体遗漏的情况^[8].

此外, 现有研究对早期数据关注不足, 限制了对电动汽车技术发展历程的全面理解和把握^[9]; 忽略了电动汽车专利在汽车相关专利中占比的情况, 不能全面反映电动汽车研发的受重视程度^[10]; 采用面板数据的研究少, 不利于全面、深入地分析两国技术发展趋势^[11].

为了弥补上述不足, 本研究采用“由专利找技术”的思路, 基于中美两国公开发表的电动汽车相

收稿日期: 2017-02-20

作者简介: 章博文 (1989—), 男, 博士研究生;
李显君 (1967—), 男, 副教授, 博士生导师

通信作者: 李显君, leexj@mail.tsinghua.edu.cn

关专利的全部数据, 分析了两国电动汽车技术发展历程和主要技术发展方向, 并选择典型汽车企业进行了比较分析。提出了电动汽车技术发展的主要方向、核心关键技术和对中国电动汽车发展的建议, 对政府制定相关政策和产业发展具有参考价值。

1 研究方法

专利作为技术信息的有效载体, 是分析电动汽车技术发展的重要工具^[12-13]。基于国家知识产权局 (SIPO) 提供的在线检索平台 (www.pss-system.gov.cn) 分别对国家知识产权局和美国专利商标局 (USPTO) 中的数据进行检索。为给电动汽车相关专利界定出清晰的边界, 本研究假设所有专门为电动汽车研发的技术均会在摘要中明确其与电动汽车的相关性, 即包含“电动汽车”或“电动车辆”的表述, 并以多种关键词对检索结果进行了稳定性检验。“中国电动汽车专利”是指在摘要中以“电动汽车或电动车辆”为检索词搜索到的所有中国发明授权专利; “美国电动汽车专利”是指在摘要中以“electric vehicle”为检索词检索到的所有美国专利; “电动汽车专利占比”是指检索到的电动汽车专利数与同一时间段内检索到的汽车相关专利数 (检索词为“汽车”或“车辆”) 的百分比。检索时间为 2017 年 1 月 2 日。

分析框架参见图 1。需要说明两点: 1) 由于专利类型和专利库的差异, 中美两国专利数量的差距

仅在一定程度上定性反映两国的技术差距, 不能定量反映差距大小。2) 由于专利审查平均需要 3 年以上的时间, 因此检索到的专利绝对数量自 2013 年呈现出明显的下降趋势, 但两国的相对数量对比仍然具有实际意义。

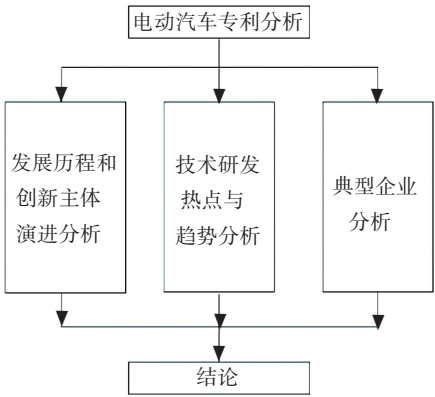


图 1 分析框架
Fig.1 Analysis framework

2 发展历程和创新主体演进分析

2.1 发展历程分析

中美从首个电动汽车专利出现以来的历年专利数量和专利占比变化情况参见图 2。从图 2 中可以看出, 总体上中美两国的电动汽车技术发展历程较为相似, 在得到显著发展前都经历了较长的沉寂期。

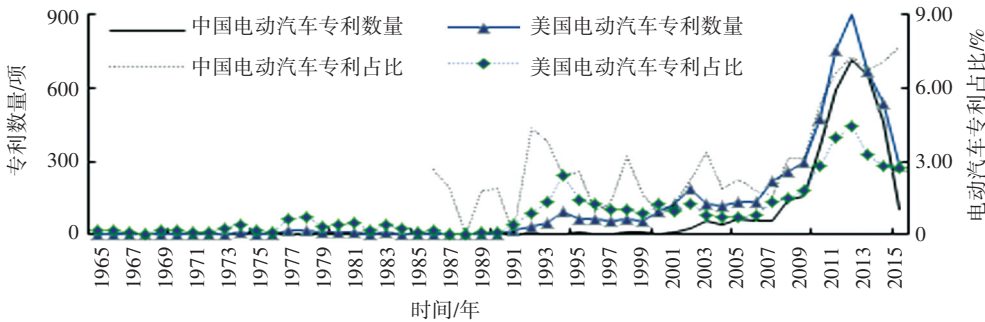


图 2 中美历年电动汽车专利

Fig.2 Electric vehicle patent of China and the U.S.

中国首个电动汽车专利出现在 1986 年, 其后十余年未得到太大发展, 截至 2000 年合计只有 57 项专利。2001 年以来, 国内兴起了电动汽车技术研发热潮, 年新增专利由 2000 年的 5 项上升到 2012 年的 719 项, 年均复合增长率为 51.29%。目前, 中国共有 3 560 项电动汽车专利。中国电动汽车的快速发展期与国家 2001 年启动 863 计划电动汽车重大专项和 2010 年出台《关于开展私人购买新能源汽车补贴试点的通知》密切相关, 国家政策对推动以电动汽车为代表的新能源汽车技术和产业发展发挥了重要作用^[14]。

美国的首个电动汽车专利出现在 1965 年, 早于中国 21 年。电动汽车技术在发展早期整体不受重视, 仅在 1973-1980 年间受石油危机影响有过较为明显的发展, 且极少有产品被推向市场。1990 年后, 在以加州零排放汽车法案为代表的一系列节能环保政策的促进下, 电动汽车得到了广泛的关注。汽车企业纷纷推出各自的电动汽车产品, 电动汽车技术得到快速发展: 年新增专利由 1990 年的 4 个上升到 2012 年的 904 个, 年均复合增长率 27.94%, 其中 2000 年至 2012 年的年均复合增长率为 20.24%。目前美国共有 6 045 项电动汽车专利。

从专利变化趋势看,中国 1986 年以来,年新增电动汽车专利占比约为 2%,2007 年之后持续快速增长,在 2012 年达到 7.33%的最高值. 美国年新增电动汽车专利占比在 1991 年之前长期维持在 0.5%以下,其后在 0.7%~1.5%之间波动,2007 年之后迎来明显提升,在 2012 年达到 4.48%的最高值. 尽管中国电动汽车技术研发起步晚于美国,但从电动汽车专利增速和专利占比可以看出,中国对电动汽车技术研发的重视程度高于美国.

根据电动汽车专利数量和专利占比变化,结合

国家政策对电动汽车技术和产业发展的促进作用,将我国电动汽车发展划分为 3 个阶段:2000 年及以前的早期探索阶段;2001 年~2009 年的科技攻关阶段;2010 年至今的商业化推广阶段.

2.2 创新主体演进分析

按中国电动汽车发展阶段,中美两国持有电动汽车专利数量前十名的创新主体情况见表 1. 从表中可以看出,美国电动汽车专利的申请人主要为企业,特别是业内主流的汽车企业,表明其产业格局较为稳定,相关的研发工作较为系统和成熟.

表 1 各阶段主要专利权人
Tab.1 Main patentees of each period

早期探索阶段(2000 年以前)				科技攻关阶段(2001~2009 年)				商业化推广阶段(2010 年至今)			
中国	专利数	美国	专利数	中国	专利数	美国	专利数	中国	专利数	美国	专利数
本田	8	本田	90	丰田	40	福特全球技术	184	国家电网公司	176	现代	352
BAE 系统控制	5	日立	36	比亚迪	38	本田	77	本田	89	福特全球技术	333
雅马哈	2	日产	22	本田	27	现代	71	奇瑞汽车	67	本田	174
诺思路· 格鲁曼公司	2	福特全球技术	21	清华大学	26	通用汽车全球	61	比亚迪	55	通用汽车全球	144
日立	2	福特	19	奇瑞汽车	20	丰田汽车	51	清华大学	53	起亚	120
SMH	2	丰田	19	通用汽车环球	20	三菱电机	34	通用汽车环球	50	LS 产电	85
松下电器	2	通用汽车	17	福特全球技术	17	特斯拉	31	长安汽车	47	特斯拉	79
北京理工大学	1	德科电子	14	三菱自动车	17	福特汽车	27	北汽福田	46	丰田	64
哈尔滨工业大学	1	卢卡斯实业	14	北京理工大学	13	日产汽车	27	长安新能源汽车	43	川崎重工	63
邵满柏	1	通用电气	14	福特环球技术	12	日立	24	福特全球技术	40	日产	63

中国电动汽车专利的主要申请人变化明显. 在早期探索阶段,由于国内专利意识不强,尽管以清华大学、北京理工大学、哈尔滨工业大学为代表的高校与企业合作开发了数款车型,但专利的主要申请人多是外资企业;在政府的推动下,科技攻关阶段外资企业所占份额下降,以汽车企业和大学为代表的国内申请人对电动汽车技术的贡献显著增强,在排名前十中专利占比达到 42.17%;在商业化推广阶段专利数量进一步提升,国内申请人在排名前十中专利占比达到了 73.12%,其中以奇瑞、比亚迪等为代表的国内汽车企业贡献的专利占比由上阶段的 25.22%提高到 38.74%,以国家电网公司为代表的电力公司则贡献了 26.43%. 这一演进过程不仅反应了中国电动汽车产业的技术实力不断增强,还反应了不同的创新主体在不同创新阶段发挥不同作用的规律:在技术和产业发展初期,由于相关知识匮乏,大学等研究机构和个人从事前期研究工作推动技术发展;随着技术的成熟,企业逐渐成为创新主体,研发重点从技术原理转向工程实践;在我国电动汽车进一步走向商业化的过程中,充电问题重要性凸显,促进了电力公司在相关技术领域的研发工作.

3 技术研发热点和发展趋势分析

3.1 研究方法

分别在中国和美国选择了特定时间段内专利数量最多的十个技术类别,基于这些技术类别和每一类别所包含的专利数量对两国技术水平、技术热点及其发展趋势进行研究.

3.2 早期探索阶段(2000 年以前)

这一时期中美电动汽车主要专利分布参见图 3. 该阶段中国电动汽车相关技术水平低下,与美国差距非常大. 就专利总数而言,中国只有 57 个,远小于美国的 725 个. 就技术侧重而言,中国除 H01M 4/04 项和 B60L 11/18 项各有 6 项专利外,其余技术领域多为 1 项或 2 项专利,没有形成明显的研发热点.

美国有两个明显的研发热点,分别是有 242 项专利的 B60L 11/18 和有 144 项专利的 H02J 7/00,另有 8 项专利数量多于 50. 这说明该阶段美国在电动汽车的动力、电池以及控制、结构布置等技术领域开展了较多的研发工作,形成了较多的技术积累.

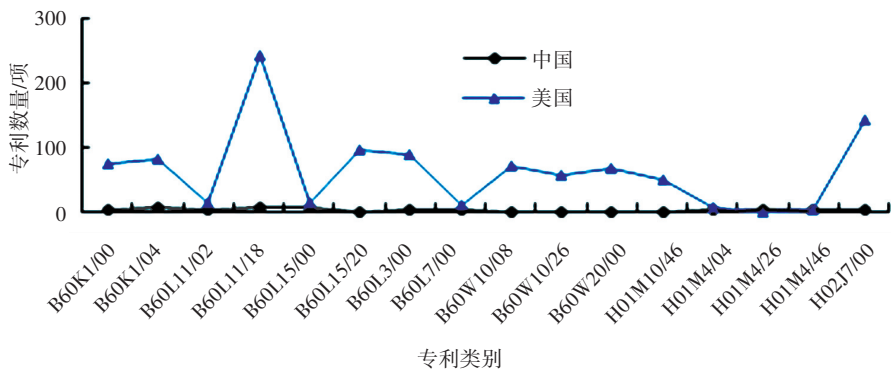


图 3 早期探索阶段主要专利分布

Fig.3 Main patent distribution in early exploratory phase

3.3 科研攻关阶段 (2001~2009 年)

这一时期中美电动汽车主要专利分布参见图 4。在“863”计划的带动下,中国电动汽车技术有了明显发展,新增专利 612 项,较前期增长 793.68%。研发热点初步显现, B60L 11/18、B60W 20/00 和 H02J 7/00 新增专利均超过 50 项,分别为 83 项、56 项和 28 项。B60L 15/20、B60L 11/00、B60K 1/04、B60W 10/08、B60W 10/06、H01M 2/10、H01M 4/58 等领域技术也有较明显发展,各有 20~40 项新增专利。这一阶段中国开发出了多款纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车的样车,基本完成了电

动汽车产业化的准备。

这一时期美国电动汽车相关技术也得到了快速发展,新增专利 1 618 项,较前期增长 123.17%。B60L 11/18 和 H02J 7/00 相关技术依旧是研发热点, B60W 20/00、B60W 10/08、B60K 1/00、B60W 10/06 等 4 类技术在这一时期得到了格外重视,其中与混合动力汽车控制直接相关的 B60W 20/00 领域的新增专利数为 270 项,超过了同期其他任一领域。研发热点的变化主要是由于以丰田普锐斯为代表的混合动力汽车自 2000 年起在世界范围广受欢迎,推动了混合动力汽车相关技术的发展。

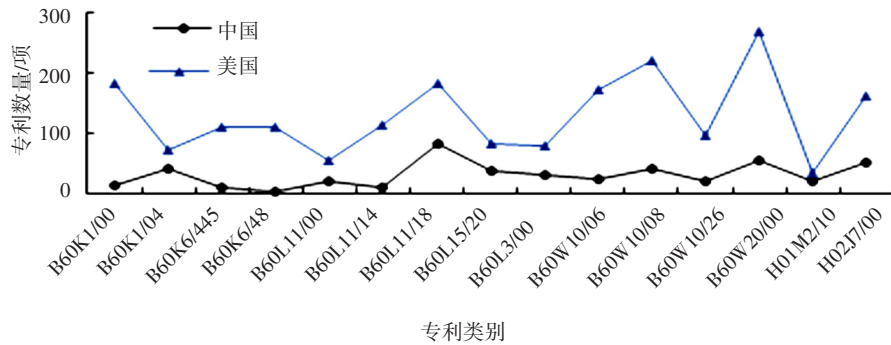


图 4 科研攻关阶段主要专利分布

Fig.4 Main patent distribution in scientific research phase

3.4 商业化推广阶段 (2010 年至今)

这一时期中美电动汽车主要专利分布参见图 5。中国电动汽车技术在该阶段得到迅猛发展,新增专利 2 891 项,较前期增长 372.39%。研发热点进一步聚焦于 B60L 11/18 和 H02J 7/00 两个技术领域,新增专利数分别为 403 和 445 项。新增专利数排名第 3~第 10 的是电池和车辆控制的相关技术,在 83 项~125 项。电池、电机、电控相关技术取得重大突破。动力电池能量密度达到 200 Wh/kg,电机功率质量比达到 2.8~3.0 kW/kg,大幅提高了产品的实用性,纯电动汽车续航里程突破了

400 km,多款插电式混合动力汽车的百公里油耗下降到 2 L 以下,电动汽车的加速性能得到大幅提高。

美国这一时期的电动汽车技术也发展迅速,新增专利 3702 项,较前期增长 118.80%。B60L 11/18 和 H02J 7/00 这两项技术重回核心位置,分别新增专利 1113 和 640 项。B60W 10/06、B60W 10/08、B60W 20/00 等与车辆子系统的联合控制紧密相关的技术领域的专利数量仍保持高位,新增专利 194~348 项。表明这 3 类技术在美国得到了持续的关注,仍将是电动汽车领域内持久的研发热点。

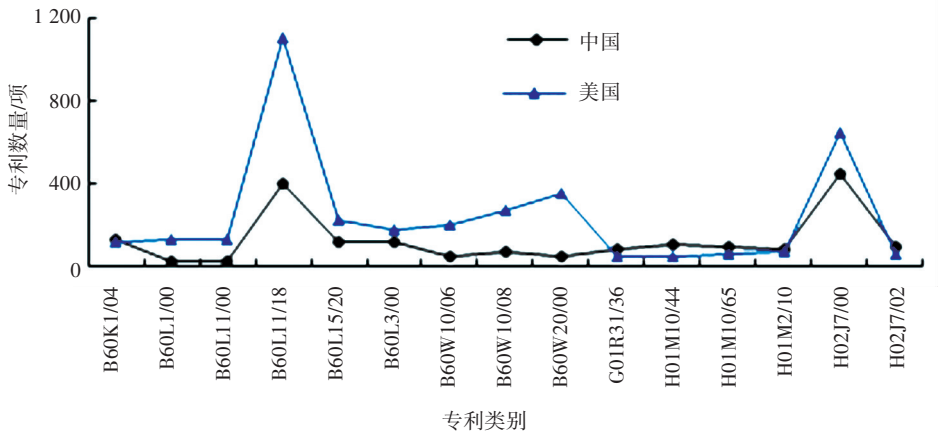


图 5 商业化推广阶段主要专利分布

Fig.5 Main patent distribution in commercialization phase

3.5 发展趋势分析

由于电动汽车对缓解能源危机、促进可持续发展具有重要作用,中国将电动汽车看作战略新兴产业的重要组成部分,政府给予了大力、持续的支持;而美国新任总统特朗普对电动汽车的态度明显不如前任总统奥巴马积极,甚至对电动汽车的重要性提出了质疑. 因此中国电动汽车技术的发展速度很有可能继续超越美国,并进一步缩小与美国的技术差距.

在研发热点方面,美国现有的 3 个最主要技术领域(车辆动力装置、车用供电装置、车辆子系统的联合控制)不会有明显变化,且有较大可能成为中国未来的重点研发领域. 中国将持续保持对电动汽车的动力装置和电池组的电路装置这两个技术领域的重视. 目前中国在混合动力汽车中子系统联合控制相关技术的发展落后美国较多,新增专利数仅为美国的 20% 左右,随着插电式混合动力汽车的发展,相关技术也将迎来快速发展. 由于中国着重发展的混合动力汽车不包含传统的油电混合汽车,因此与油电混合动力相关的技术在中国受到的重视程

度难以达到在美国的水平.

4 典型企业分析

为了深入了解电动汽车产业的发展情况,选择中美两国电动汽车表现突出的新进入者比亚迪和特斯拉,以及两国汽车产业中最大的在位者上汽和通用汽车进行分析. 这 4 个企业电动汽车的销量在本国市场都处于领先地位,2015 年比亚迪、特斯拉、上汽、通用的销量分别为 61 726、51 598、20 233 和 11 123 辆.

4 个企业历年电动汽车专利数参见图 6. 通用汽车对电动汽车的研发最早,第一个专利出现在 1978 年;其次是比亚迪和上汽,首个专利均出现在 2003 年;特斯拉的首个专利出现在 2006 年,是 4 个企业中最晚的. 4 个企业电动汽车专利总量自 2002 年以来明显增加,表明企业加大了相关技术研发活动. 整体而言,美国企业的专利数明显多于中国企业. 通用汽车、特斯拉、比亚迪、上汽的相关专利数分别为 259、111、93、25.

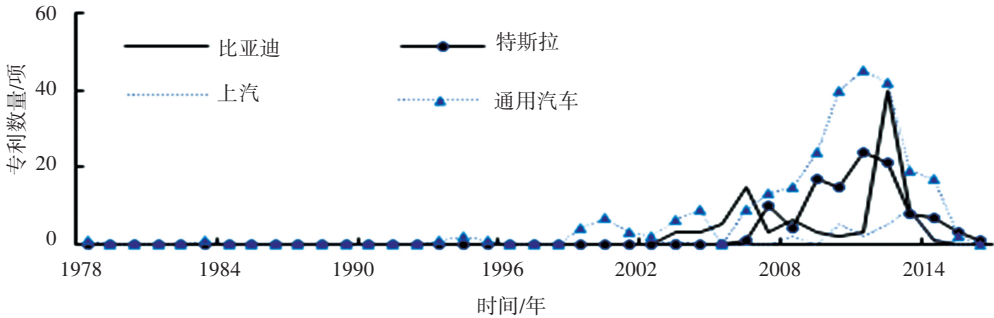


图 6 案例企业历年电动汽车专利数量

Fig.6 Number of electric vehicle patents of case enterprises

4 个企业技术侧重参见图 7. 电动汽车的动力装置和其电池组的电路装置是中美企业共同的研究重点,此外,美国企业在混合动力汽车相关技术和电

数字数据处理这两个方面的技术研发和积累明显超过中国企业;而中国企业在电池组的加热或保温相关技术上有一定优势.

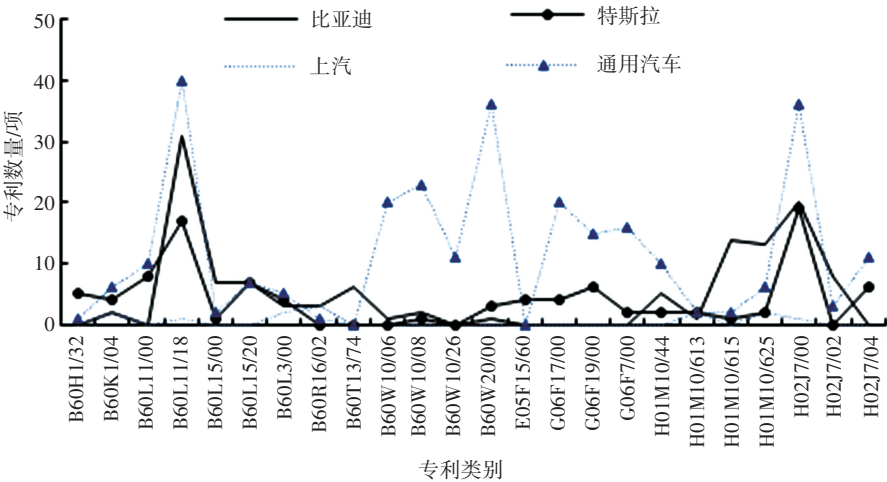


图 7 案例企业电动汽车专利分布

Fig.7 Electric vehicle patent distribution of case enterprises

附表 主要专利分类号及含义对照表

Appendix Tab Main IPC number and its meaning

分类号	含义
B60K 1/00	电力装置的布置或安装
B60K 1/04	用于动力装置蓄电器的布置或安装
B60L 3/00	电动车辆上安全用电装置、运转变量的监测
B60L 11/00	车辆内部电源的电力牵引
B60L 11/18	使用电池的电动车辆动力装置
B60L 15/20	电动汽车驱动电动机控制
B60W 10/06	包括内燃机的控制的车辆子系统联合控制
B60W 10/08	包括电力单元的车辆子系统的联合控制
B60W 10/26	用于电能的车辆子系统的联合控制
B60W 20/00	专门适用于混合动力车辆的联合控制
G06F 7/00	通过待处理数据的指令或内容进行运算的数据处理的方法或装置
G06F 17/00	特别适用于特定功能的数字计算设备或数据处理设备或数据处理方法
G06F 19/00	专门适用于特定应用的数字计算或数据处理的设备或方法
H01M 2/10	电池组的安装与保持
H01M 4/04	电极的一般制造方法
H01M 4/58	除氧化物或氢氧化物以外的无机化合物的聚阴离子结构的电极
H01M 10/46	结构上与充电设备相联接的蓄电池
H01M 10/615	电池的加热或保温
H01M 10/625	专门适用于车辆的电池
H02J 7/00	用于电池组的充电或去极化或用于由电池组向负载供电的电路装置

通用汽车是世界汽车界的代表,具备雄厚的技术积累,其技术侧重在一定程度上代表着世界先进技术的发展方向。通用汽车从事电动汽车的研发工

作早,且历年的专利数明显高于新进入者特斯拉,但目前在市场上,新进入者特斯拉的表现却更好,其中的缘由还有待于进一步研究。

上汽等中国汽车企业在电动汽车技术上还处于起步阶段,与美国企业尚有一定的差距,在加强整体研发力度的同时也应该加强对电数字数据处理和车辆子系统的联合控制技术方面的重视。上汽和新进入者比亚迪对电动汽车的研发起始时间相差无几,但目前在电动汽车专利方面,上汽则明显落后于比亚迪,分析认为其主要原因是相较于比亚迪,上汽能从电动汽车业务中获得的盈利增长非常有限,因此缺乏大力推进相关业务的动力。

5 结 论

1)中国电动汽车技术发展历程可分为早期探索、科技攻关与商业化推广 3 个阶段,随着技术和产业的发展,创新主体由以个人、科研机构为主向以企业为主转变。在政府的高度重视和政策支持下,2001 年后中国电动汽车技术的研发热度和发展速度明显高于美国,与美国的技术差距显著缩小。

2)从各阶段研发热点可以看出,电动汽车技术研发内容在早期广泛探索的基础上逐渐聚焦于电池和车辆控制的相关技术。在众多相关技术中动力电池技术处于核心地位,单体电池技术、电池成组技术和动力电池与内燃机的协同控制技术等均是未来的重点研究领域和主要技术发展方向。而在车辆子系统联合控制和电数字数据处理等相关技术方面中国汽车企业与美国还存在明显差距。

3)在国家继续重视、鼓励电动汽车产业发展的同时,建议重点关注两个技术领域:一是动力电池,特别是单体电池技术,这是电动汽车最核心的技术^[15-16],应持续加大在相关技术领域的研发投入;

汽车企业在条件允许的情况下也应掌握电池的核心技术,以免在电动汽车业务发展中受制于电池企业。二是发展潜力较大的混合动力汽车技术,特别是其结构布置和整车控制技术^[17]。鉴于混合动力汽车在当前较长时间内比纯电动汽车更容易被市场接受,是目前缓解能源和环境问题有效且可行的手段,国家应鼓励相关技术的发展,企业在混合动力汽车发展中应重视掌握动力系统的结构布置和整车控制等核心关键技术。

4)从电动汽车技术研发热点和发展趋势中可以看出,电动汽车技术将得到持续的关注和长足的发展,除纯电动汽车外,混合动力汽车技术也将有较大的发展。

参考文献

- [1] 欧阳明高. 我国节能与新能源汽车发展战略与对策[J]. 汽车工程, 2006, 28(4): 317-321.
OUYANG Minggao. Development strategy and countermeasure of energy saving and new energy vehicle in China[J]. Automotive Engineering, 2006, 28(4): 317-321.
- [2] CHAN C, CHAU K T. Modern electric vehicle technology[M]. Demand; Oxford University Press, 2001.
- [3] JIANG K, HU X. Energy demand and emissions in 2030 in China: scenarios and policy options [J]. Environmental Economics and Policy Studies, 2006, 7(3): 233-250.
- [4] KIRSCH D. The electric vehicle and the burden of history [M]. Piscataway: Rutgers University Press, 2000.
- [5] 曹秉刚,张传伟,白志峰,等. 电动汽车技术进展和发展趋势[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(1): 1-5.
CAO Binggang, ZHANG Chuanwei, BAI Zhifeng, et al. Technology Progress and Trend of Electric Vehicles [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2004, 38(1): 1-5.
- [6] 孙逢春,张承宁,祝嘉光. 电动汽车:21世纪的重要交通工具[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1997.
SUN Fengchun, ZHANG Chengning, ZHU Jiaguang. Electric vehicle-important transport in the 21st century [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1997.
- [7] PILKINGTON A, DYERSON R. Innovation in disruptive regulatory environments: A patent study of electric vehicle technology development [J]. European Journal of Innovation Management, 2006, 9(1): 79-91.
- [8] 杨利锋,陈凯华. 中国电动汽车技术水平国际比较研究:基于跨国专利的视角[J]. 科研管理, 2013, 34(3): 128-136.
YANG Lifeng, CHEN Kaihua. The international comparative study of China's electric vehicle technologies: Based on the view of transnational patents [J]. Science Research Management, 2013, 34(3): 128-136.
- [9] YU X Y, ZHAO X C, MA J, et al. Electric vehicle technology development trend in China based on patent analysis [J]. Science of Science and Management of S & T, 2011 (4): 8.
- [10] OLTRA V, SAINT JEAN M. Variety of technological trajectories in low emission vehicles (LEVs): a patent data analysis [J]. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(2): 201-213. DOI:10.1016/j.jclepro.2008.04023.
- [11] 王健美,刘志芳,戴爱兵. 纯电动汽车产业关键技术演进分析:专利引文分析视角[J]. 图书情报工作, 2014, 58(14): 21-27.
WANG Jianmei, LIU Zhifang, DAI Aibing. Key technology evolution analysis of battery electric vehicle industry from the perspective of patent citation analysis [J]. Library and Information Service, 2014, 58(14): 21-27.
- [12] PILKINGTON A, DYERSON R, TISSIER O. The electric vehicle: Patent data as indicators of technological development [J]. World Patent Information, 2002, 24(1): 5-12.
- [13] BASBERG B. Patents and the measurement of technological change: a survey of the literature [J]. Research policy, 1987, 16(2): 131-141.
- [14] ZHENG J, MEHNDIRATTA S, GUO J Y, et al. Strategic policies and demonstration program of electric vehicle in China [J]. Transport Policy, 2012, 19(1): 17-25. DOI:10.1016/j.tranpol.2011.07.006.
- [15] 邓超,史鹏飞. 基于神经网络的 MH/Ni 电池剩余容量预测[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(11): 1405-1408.
DENG Chao, SHI Pengfei. Prediction of residual capacity of MH/Ni batteries based on neural network [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(11): 1405-1408.
- [16] HENDER B S. Recent developments in battery electric vehicles [J]. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, 1965, 112(12): 2297-2308.
- [17] 王建新. 基于 CAN 总线的汽车电子集成控制系统 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(5): 811-814.
WANG Jianxin. Automotive electronics technology integrated control system based on CAN bus [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(5): 811-814.

(编辑 杨 波)