

# 新能源汽车关键技术及其创新路径选择

——以电机驱动系统技术为例

王学军, 王艺贝, 闫琳

(武汉大学 经济与管理学院, 武汉 430072)

**摘要:**随着能源短缺和气候变暖问题日益严重,新能源汽车行业成为各国重点关注的新兴产业。首先阐述了研究的背景和新能源汽车的关键技术,然后重点分析电机技术,以电机驱动系统技术为例具体地探讨新能源汽车的技术创新路径选择。

**关键词:**新能源汽车;电动汽车;电机;技术创新;创新路径选择

**中图分类号:**F270 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2017)09-0070-05

## 1 研究背景

第二次工业革命后汽车的诞生改变了人们的生活,推动了国民经济的高速发展。如今,汽车产业已经成为各国的支柱产业之一,在经济发展的过程中起着不可替代的作用。然而,随着传统汽车的增多,对石油等能源的依赖性不断增强,汽车尾气排放量已经严重影响生态环境。全球交通部门的能源消耗预计到2035年会占总量的50%,且约94%为石油,增加二氧化碳排放量24%<sup>[1]</sup>。能源短缺、环境污染和气候变化等问题接踵而至,人们开始探索研发更节能的、更环保的、动力能源来源更丰富的新型汽车,新能源汽车应运而生。

区别于传统的汽车,新能源汽车意图用各种新能源替代石油燃料,例如电能、太阳能、生物质能等,以减少石油消耗和有害气体排放。新能源汽车,是指采用非常规的车用燃料作为动力来源(或使用常规的车用燃料、采用新型车载动力装置),综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术,形成的技术原理先进、具有新技术、新结构的汽车<sup>[2]</sup>。新能源汽车包括混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池电动汽车、氢发动机汽车、其他新能源(如高效储能器、二甲醚)汽车等各类别产品。电动汽车包括前三类,是新能源汽车的主要构成部分,也是现阶段研究最多、应用最广的。在国

务院制定的节能与新能源汽车产业发展规划中,提到要以纯电驱动为新能源汽车发展和汽车工业转型的主要战略取向,当前重点推进纯电动汽车和插电式混合动力汽车产业化,推广普及非插电式混合动力汽车、节能内燃机汽车,提升我国汽车产业整体技术水平<sup>[3]</sup>。以电池为动力来源,以纯电机为驱动系统的纯电动汽车因为无污染、噪声低、能源效率高、启动加速好、结构简单、使用维修方便,电能来源多样,技术相对成熟等众多优势使其成为新能源汽车产业的重点研发对象。

虽然我国提出发展新能源汽车相对较早,但是早期投入较少,没有形成共识,留下很多问题。电动汽车的动力电池、驱动电机取代了传统内燃机,导致核心技术链变化。整个产业链的技术构成、价值构成、协作配套模式、商业运营模式、参与主体等均发生不同程度的变化,产业链的复杂程度超过传统汽车<sup>[4]</sup>。由于产业链发生了很多质的变化,致使在各环节都面临巨大的挑战。目前,在政府的大力推动下,企业开始争相投入,各高校机构积极研发相关技术,在市场上掀起一波波热潮。中国试图弯道超车,在该产业上能与外国相抗衡,提高国家的竞争力。根据中国统计局数据统计,2016年汽车的产量约2800万辆,同比增长14%,其中纯电动汽车增长最快,这与国家的战

**收稿日期:**2017-05-08

**基金项目:**国家自然科学基金项目(70773084)。

**作者简介:**王学军(1962—),男,河南鹿邑人,武汉大学经济与管理学院,教授,博士生导师,研究方向:人力资本与技术创新;王艺贝(1993—),女,湖北襄阳人,武汉大学经济与管理学院,硕士研究生,研究方向:投融资与技术创新;闫琳(1983—),男,河南鹿邑人,武汉大学经济与管理学院,博士后,研究方向:企业技术创新。

略目标和政府的政策支持息息相关。然而,大部分消费者对电动汽车却存在着顾虑,例如充电不方便、续航里程低、质量和安全,导致即便是有补贴消费者也只能敬而远之。这种现象产生的原因就是我国新能源汽车的核心技术与产业发展不匹配,技术创新速度已经跟不上产业发展的速度。电动汽车要想替代传统内燃机汽车,就需要满足市场消费者需求,在各方面性能上进行优化突破,提升在市场上的竞争力。究其根本,新能源汽车产业要想持续不断的发展,技术创新是首要任务。

2 电动汽车关键技术

自 2001 年,我国确定了节能与新能源汽车的战略以来,连续三个五年科技发展专项规划,逐步形成了“三横三纵”的技术研发体系,如表 1。在“三纵”方面,纯电动汽车、增程式电动汽车和插电式混合动力汽车作为纯电驱动汽车的基本类型归为一个大类;燃料电池汽车作为纯电驱动汽车的特殊类型继续独立作为一“纵”;混合动力汽车主要为常规混合动力汽车。在“三横”方面,“电池”包括动力电池和燃料电池;“电机”包括电机系统及其与发动机、变速箱总成一体化技术等;“电控”包括“电转向”、“电空调”、“电制动”和“车网融合”等在内的电动汽车电子控制系统技术<sup>[9]</sup>。同时构建标准检测、能源供给、集成示范的三大平台。

通过十多年的持续研发,我国在新能源汽车“三横”共性关键技术取得了明显的进步。但在很多方面,尤其在基础研究和核心技术领域,与国际先进水平还有一定差距,实现汽车强国梦还很遥远。科技部部长万钢在制定“十三五”发展规划中提到,要坚持深化以往的战略路线,在三大核心技术上有所突破。

表 1 新能源汽车技术研发体系

| 技术领域    | 技术     |
|---------|--------|
| 关键零部件技术 | 电池     |
|         | 电机     |
|         | 电控     |
| 整车集成技术  | 混合动力汽车 |
|         | 纯电动汽车  |
|         | 燃料电池汽车 |
| 公共平台技术  | 标准检测   |
|         | 能源供给   |
|         | 集成示范   |

2.1 电池

电池是电动汽车的动力源,是能量的载体,也是制约电动汽车发展的关键因素。因为电池本身存在

的局限,使得电动汽车充电麻烦,续航里程较低。另外,车用电池也要比一般电池有更多的要求。为了提高电动汽车的续驶里程,电池单位质量和体积的输出能量(比能量)要高。为了使电动汽车的加速、爬坡、负载能力好,电池单位时间所能输出的电量(比功率)要高,即放出较大的电流提高汽车的动力性。此外,电池的充放电效率、使用成本、使用寿命、安全性、稳定性等都是要考虑的指标。

目前,电动汽车最常见的动力电池有镍氢电池、铅酸电池和锂离子蓄电池。其中以锂离子电池为主流方向,以正极材料分为钴酸锂锂离子电池、锰酸锂锂离子电池、三元锂离子电池和磷酸铁锂锂离子电池。目前,各种电池都有优势和不足,不同的企业研发方向也不同。总的来说,电池的技术创新方向是加强新材料的研究和应用,基础关键技术研发,提高电池的性能和质量,并降低成本。

2.2 电机

电动机是电动汽车驱动系统的关键部件。要使电动汽车有良好的使用性能,驱动电机起到很大作用。选择适合电池特征的驱动电机也会提高电动汽车的性能。在电动汽车行驶过程中,会频繁地启动停车、加速减速、行驶环境不确定等,导致车用电机会比工业用电机有更严格的要求。低速时能为启动和爬坡提供大转矩,高速时能为滑行提供高功率。驱动电机还应该具有瞬时功率大、负载启动好、过载能力强、质量轻、体积小、可靠性高、结构简单、成本低、能量回收率高等特点。

目前,电动汽车用电动机一般采用感应电动机(异步电动机)、永磁同步电动机和开关磁阻电动机。这三类驱动电机的性能各有优劣,不同的车型、不同性能偏好会选择不同的驱动电机。永磁同步电动机的运用最为广泛,但是需要用稀土资源,随着国家对稀土资源开采的限制,这种电机是否能够满足产业发展的需求呢?探索开发出新型电机是必须的。

2.3 电控

电控是指电动汽车电子控制系统,在解决汽车功能有关问题上起到决定性作用。例如,动力转向的目的是为了改善停车或低速驾驶时的转向力以及保证在高速行驶时有路感。在不同类型的电动汽车上,电控系统存在一些区别,但总体来说一般都包括能量管理系统、再生制动控制系统、电机驱动控制系统、电动助力转向控制系统以及动力总成控制系统等。电控系统是电动汽车的大脑,由各个子系统构成,每一个子系统一般由传感器、信号处理电路、电控单元、控制

策略、执行机构、自诊断电路和指示灯组成<sup>[6]</sup>。电动汽车的电控系统要求从整车的角度出发,不能简单地将各子系统进行叠加,应该综合考虑。其次,电控系统是机械和驾驶者的中介,要求符合驾驶的习惯。总之,电控系统应具有综合性、整体性、安全性、可靠性、适应性等性能。

根据国家战略要求,在电控技术上,应该重点开发先进的纯电驱动汽车分布式、高容错和强实时控制系统,高效、智能和低噪音的电动化总成控制系统,电动汽车的车载信息、智能充电及其远程监控技术,智能交通系统及车网融合技术等。

3 电机驱动系统技术创新路径

电机驱动系统是电动汽车的心脏,包括电动机及

控制部分,其驱动特性决定了汽车行驶的主要性能,是电动汽车研制的关键技术之一。目前,对电池技术的研究较多,而对电机的研究却很少。有专家认为,中国在电控和电机方面与日韩国家差距并不像电池那么大,技术相对成熟。那么在专注电机研究的国外企业,如日本,相继涉足中国电动汽车驱动系统行业的威胁下,我们有信心与之抗衡吗?在电机方面,我们也需要不断进行技术创新,提高市场竞争力。

3.1 几种常用电机比较

目前常用的电动汽车驱动系统包括直流电机、异步电机、永磁同步电机和开关磁阻电机。四种电机的性能比较,如表 2。

表 2 四种电机性能指标比较

| 性能指标        | 直流电动机       | 异步电机          | 永磁同步电机       | 开关磁阻电机  |
|-------------|-------------|---------------|--------------|---------|
| 功率密度        | 低           | 中             | 高            | 高       |
| 过载本领(%)     | 200         | 300~500       | 300          | 300~500 |
| 峰值效率(%)     | 85~89       | 94~95         | 95~97        | 95~97   |
| 负荷效率(%)     | 80~87       | 90~92         | 90~95        | 89~95   |
| 功率因数(%)     | ——          | 82~85         | 90~93        | 90~93   |
| 恒功率区        | ——          | 1:05          | 01:02.2      | 1:03    |
| 转速范畴(r/min) | 4 000~6 000 | 12 000~20 000 | 4 000~10 000 | >15 000 |
| 可靠性         | 一般          | 好             | 优秀           | 好       |
| 布局的牢固性      | 差           | 好             | 一般           | 好       |
| 电动机外形尺寸     | 大           | 中             | 小            | 中       |
| 电动机质量       | 重           | 中             | 轻            | 中       |
| 控制操作性能      | 最好          | 好             | 好            | 好       |
| 成本          | 低           | 中             | 高            | 中       |
| 综合          | 差           | 一般            | 好            | 好       |

由表 2 可知,直流电动机最大的优点是控制简单,但电机质量和尺寸大,可靠性低,效率较差,且转速低,不适合高速运转,所以目前主要使用在低速、低成本的小型电动车上,一般不采用。

异步电动机发展历史久,技术相对成熟,操控简单,可靠性高,质量较轻,成本较低,但其低速时效率不高,无能量回收,调速性能较差,调速范围有限,且需要采用矢量控制和直接转矩等控制手段导致控制成本较高。用这种电机的乘用车有特斯拉 model s,在欧美国家应用较广。

永磁同步电机,功率密度高、调速范围宽,控制较简单,且体积小、质量轻,可以满足电动汽车的行驶需求。因此,永磁同步电动机被广泛使用,特别是日本的电动汽车大多采用这种电机。但是电机需要用到稀土永磁材料,成本较高。

开关磁阻电机,结构简单坚固、可靠性高、功率密度高、调速范围宽、成本低、效率高,而且起动转矩大,启动电流低,能量回收率高,适合高速运行。开关磁阻电机是新一代电机,与永磁同步电机有相似的高性能。但是,转矩脉动较大和噪音大的问题使得并没有被广泛运用到电动汽车上。

3.2 技术创新路径

通过以上的比较,我们可以看到永磁同步电机和开关磁阻电机是两种高性能的电机。现在广泛被电动车使用的是永磁同步电机,而潜力最大、最有前途的新一代电机是开关磁阻电机。

在技术方面,开关磁阻电机技术日臻成熟,其缺点已经得到很大的改善。例如,中纺锐力成功克服这两大难题,批量生产的 60 KW 车用电机系统产品的噪声已由近 90 DB 下降到 74 DB,在减小转矩脉动方

面已实现在 20 转/分时转矩脉动量控制在 20%，使得这种电机的优势更加突出，给电动汽车电机技术研发带来信心。作为新型电机，虽然只有短暂的发展历史，但是随着相关技术的研发和创新，开关磁阻电机可以得到不断改善和优化，发挥独特的优势，更多运用到电动汽车上。

在市场方面，将技术相对成熟的永磁同步电机运用到电动汽车上存在着较大的风险。我国的电动汽车未来将逐渐替代传统汽车，到 2020 年要实现 500 万辆电动汽车目标，如果用这种电机来支撑，稀土资源供应是相当紧张的。虽然我国是稀土资源大国，储量占到全球 23%，但是输出的稀土 90% 都是中国的，无序开采使得稀土价格暴涨暴跌，严重影响到市场秩序和相关产业的发展。根据国土资源部，2016 年稀土开采量控制在五万两千五百吨，占去年总量的一半。所以，永磁同步电机的推广有很大的限制性。例如，日本和韩国因为稀土资源匮乏，主要依靠进口，所以现在致力于开关磁阻电机的优化。日本现在也在改变策略，寻求更好的汽车驱动电机新方案，开关磁阻电机的有效材料最小，如铜材和钢材，没有交流异步电机的铝笼条，所以现阶段很多厂家又重新回到开关磁阻电机上的研发上，并改进电机性能，克服开关磁阻电机不良的低速脉动现象<sup>[7]</sup>。

站在技术和市场的角度上分析，我国的驱动电机系统技术创新应该重视开关磁阻电机系统的研发和优化。企业应该以市场导向开展技术创新，在市场上没有潜力的技术创新是不能创造价值的。市场导向创新机制是技术创新立项和投入着眼于市场需求，追求在适应市场需求的方面具有竞争力，对品牌面向市场的技术创新着力于实现创新技术大规模的产业化和市场化<sup>[8]</sup>。冒进的技术创新只会浪费资源，难以转化为成果。我国驱动电机方面的专利总体申请量较大，全球排到第二位，但是电机技术和产业化却与国外相差很大，说明专利的质量比较低，能在电动汽车产业化中起作用的很少。所以，一味地追求专利数量而不注重其潜在的价值是不利于中国的技术创新的。以上的分析可知，开关磁阻电机具有很大的市场潜力，应该以其技术创新为路线。美国、德国、日本、韩国、加拿大和我国等国家都开展了对开关磁阻电机系统的研制工作。我国很多企业和高校机构也相继开始研发，并且取得了一定的成果。开关磁阻电机有效地解决了转矩波动大、噪音大等技术难题；与微机智能控制器和 BMS 电源管理系统配套结合，可以成功装配纯电动汽车。中国开关磁阻电机领导者中纺锐

力，拥有国际领先水平技术和十多项国家专利，但于 2015 年被尼得科集团收购。电机驱动系统技术创新也可以采用“产学研”模式。高校在驱动电机方面的专利技术研究成果可以很好的投入到企业生产实践中，紧密依靠“产学研”相结合的发展策略，大力推进国内新能源汽车的产业发展<sup>[9]</sup>。例如，华中科技大学新型电机国家专业实验室与东风汽车有限公司合作项目“混合动力开关磁阻驱动电机系统及其控制器”，并成功运用到整车上。在 2014 年受博世(BOSH 中国)投资有限公司委托，开展“车用开关磁阻电机系统优化研究”，相关技术已获得国家认证。通过企业的支持，高校的研究成功地运用到生产实践中，有力地促进新能源电动汽车产业的发展。

另外，电机驱动系统技术创新还应该综合采取自主创新和合作创新的模式。在现阶段，我国的技术发展相比之下还不成熟，需要通过国际合作来研发。然而，企业必须坚持自主创新，逐渐减少对引进技术的依赖，形成自己的知识产权。根据实证分析，自主开发模式使中国汽车企业在除技术人员投入强度外的各方面都有突出成绩，非常有利于企业实现技术追赶<sup>[10]</sup>。采用合作开发模式的汽车企业的技术追赶绩效受自主研发活动意愿的影响会出现两极分化，所以必须综合两种模式，进而实现“引进—吸收—创造”的过程。

## 4 总结

通过以上对电动汽车关键技术及其创新路径的探讨，我们可以看到研发关键零部件对电动产业发展的重要性。新车型上市如没有新技术难有亮点，汽车工业的发展除新车型、新型发动机的开发外，更主要在于汽车零部件上的创新<sup>[11]</sup>。总之，电动汽车的技术创新应该以“零部件”为核心，配合整车技术；以市场为导向，综合采用“产学研”、自主创新和合作创新的模式；集成各优势资源，有效组织利用进行技术创新。

## 参考文献

- [1] IEA. International energy agency world energy outlook [R]. 2010.
- [2] 工业和信息化部. 新能源汽车生产企业及产品准入管理规定[S]. 2009.
- [3] 国务院. 节能与新能源汽车产业发展规划[S]. 2009.
- [4] 唐葆君. 新能源汽车：路径与政策研究[M]. 北京：科学出版社，2015.
- [5] 科技部. 电动汽车科技发展“十二五”专项规划[S]. 2012.
- [6] 余群明. 电动汽车电控系统发展现状及趋势[J]. 零部件论

坛,2011(4):18—19.

[7] 林仕供. 电动汽车常用驱动电机类型的特性及选型分析[J]. 汽车实用技术,2014(12):46—48

[8] 冯晓青,等. 技术创新的市场导向机制与知识产权取向研究[J]. 当代经济管理,2015(1):13—20.

[9] 陈吉清,等. 新能源汽车驱动电机专利信息分析[J]. 科技管

理研究,2016(3):136—141.

[10] 王刚,等. 中国汽车企业技术追赶模式差异化的实证分析[J]. 技术经济,2014(8):10—16.

[11] 浦襄伯. 汽车零部件供应商发展模式与创新路径的思考[J]. 技术经济,2012(7):27—30.

Key Technologies and Innovation Path Selection of New Energy Vehicle

——Take motor drive system technology as an example

WANG Xue-jun, WANG Yi-bei, YAN Lin

(Economics and Management of Wuhan University,Wuhan 430072,China)

**Abstract:** As the problem of the energy shortage and climate warming is becoming more and more serious, the new energy vehicle industry has become the focus of the whole world. This paper first elaborates the background of the research and the key technologies of new energy vehicle, and then the motor technology is analyzed emphatically. Finally we discuss the problem of technological innovation path selection, taking the motor drive system technology as an example.

**Key words:** new energy vehicle;electric vehicle;electric motor;technological innovation;innovation path selection

(上接第 64 页)

[6] 马占新. 广义参考集 DEA 模型及其相关性质[J]. 系统工程与电子技术,2012,34(4):709—714.

[7] 马占新. 样本数据包络面的研究与应用[J]. 系统工程理论与实践,2003,23(12):32—37.

[8] 马占新,马生驹. 基于 C2W 模型的广义数据包络分析方法研究[J]. 系统工程与电子技术,2009,31(2):366—372.

[9] 马占新,马生驹. 基于 C2WY 模型的广义数据包络分析方法研究[J]. 系统工程学报,2011,26(2):251—261.

[10] 李冰峰. 大中型连锁超市“上山下乡”[N]. 金华日报,2006—04—03(003).

[11] 李刚. 我国连锁超市存在的问题及其发展[J]. 商业研究,2004(24):103—106.

[12] 李健. 提升本土连锁超市竞争力的思考[J]. 江西社会科学,2008(7):236—239.

[13] 王淑霞. 我国连锁超市区域竞争状态与发展战略[J]. 经济

管理,2007(7):59—64.

[14] 居长志. 我国连锁超市发展的策略选择[J]. 中国流通经济,2005(1):54—57.

[15] 纪雯. 中国连锁超市发展现状及其对策[J]. 经济与管理,2006(10):59—61.

[16] CHARNES A, COOPER WW, GOLANY B, SEIFORD L, STUTZ J. Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions[J]. Journal of Econometrics,1985,30(1):91—107.

[17] FARRELL M J. The measurement of productive efficiency [G]. Journal of the Royal Statistical Society,1957.

[18] BANKER RD, CHARNES A, COOPER W W. Some models for the estimation of technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis [J]. Management Science, 1984, 30(9):1078—1092.

Analysis on Operational Efficiency of Large Chain Supermarkets

TIAN Yu-zhen, MA Zhan-xin, Wurigaqiqige

(School of Economics and Management, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China)

**Abstract:** E-commerce has had a huge impact on the business pattern of the physical supermarket. However, as the large chain supermarkets, their growth have not fallen back. At the same time, the original BCC model to analyze the panel data also has the disadvantage of ignoring technological progress. Therefore, in order to explore accurately the operational efficiency of them in the trend of rapid development, this paper uses the generalized DEA method to measure China 15 large chain supermarkets operational efficiency during 2008—2015. The results show that the average comprehensive efficiency of these 15 enterprises is fluctuating, and the pure technical efficiency is increasing year by year. Finally, this paper puts forward some reasonable suggestions for improving operational efficiency of the large chain supermarkets.

**Key words:** chain supermarket;generalized DEA;comprehensive efficiency;pure technology efficiency