

新能源汽车发展意义及技术路线研究

陈清泉¹, 高金燕², 何璇², 沈斌²

(1. 香港大学, 香港 999077; 2. 中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆 401122)

摘要: 本文从能源、环境、信息、科技等方面, 剖析了我国发展新能源汽车的重大意义。规划设计出到 2050 年我国新能源汽车发展的战略目标路线。同时, 结合已有相关研究, 分析探讨了未来新能源汽车发展的整车基本技术路线、动力电池基本技术路线以及驱动电机、系统构型等动力总成的基本技术路线。最后, 针对新能源汽车产业技术攻关, 提出组建国家级技术创新联盟的建议, 以期为我国未来新能源汽车发展提供战略参考。

关键词: 新能源汽车; 重大意义; 技术路线; 措施建议

中图分类号: F542 **文献标识码:** A

Research on the Significance of Developing New Energy Vehicles Industry and Its Technical Routes

Chen Qingquan¹, Gao Jinyan², He Xuan², Shen Bin²

(1. The University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China; 2. China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401122, China)

Abstract: This study first analyzes the significance of developing a new industry with respect to energy, environment, information, and scientific technology. It then provides a strategic plan for China's new energy vehicle development for 2050. The technical routes for new energy vehicles, power batteries, and driving motors and systematic configurations of the new energy vehicles are discussed. Toward the end, we provide suggestions for establishing national technological innovation alliances to achieve technological breakthroughs in the new energy vehicle industry. It is expected that these suggestions can provide references for the future development of China's new energy vehicle industry.

Keywords: new energy vehicle; major significance; technical route; measures

一、前言

“十三五”以来, 我国汽车行业由持续多年的高速增长转变为平稳增长。汽车大国背景下, 产业生产模式、竞争格局都在发生深刻变化, 而能源、污染、交通等因素的制约也日益严重 [1]。同时,

随着互联网、云计算、大数据等新一轮科技革命和产业革命的掀起, 新技术、新能源、新工艺以及新的商业模式的不断涌现, 我国汽车产业正面临从量变到质变的关键节点。新能源汽车作为未来汽车发展的重要方向, 协同智能化、网联化发展, 正逐步促进我国汽车产业的转型升级。在此过程中, 需进

收稿日期: 2018-01-15; 修回日期: 2018-01-28

通讯作者: 高金燕, 中国汽车工程研究院股份有限公司, 咨询工程师, 研究方向为新能源汽车; E-mail: gaojinyan@caeri.com.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“汽车强国战略研究”(2015-XZ-36)

本刊网址: www.enginsci.cn

一步明确我国发展新能源汽车的重大意义以及推进路径。

二、发展新能源汽车的重大意义

(一) 我国能耗及环保形势不容乐观，发展新能源汽车是节能减排的重要途径

目前，我国人均国内生产总值（人均 GDP）尚未达到 10 000 美元，若按照目前的发展模式与能源结构，预测我国人均 GDP 增长到 18 000 美元时，人均能源消耗将达到 8 000 kg 石油当量，即为美国、加拿大目前的人均能耗水平，但目前这些国家的人均 GDP 均已达到 40 000 美元甚至更高 [2]。为此，要提升经济实力，实现强国梦，必须改革发展模式，合理调整能源结构，走上绿色可持续发展道路。

据中国工程院研究报告结论，2020 年是我国能源结构调整的重要转折点，届时煤、石油等传统化石能源占比将开始大幅下降，而水电、核电等清洁能源则将开始快速增长 [3]。我国汽车成品油消耗量接近石油消费总量的一半，发展新能源汽车可以减少国家石油资源消耗，是顺应我国能源结构调整的关键环节。同时，由于新能源汽车天然的低排放特点，大力推广新能源汽车可大幅度削减车辆运行阶段大气污染物的排放，对改善城市空气质量，保证人群健康均有重要意义 [4]。

(二) 汽车的电动化以及智能互联，正在形成新一轮的技术冲击浪潮

近年来，随着移动互联网、物联网、大数据、4G、卫星定位技术等快速发展，汽车的电动化及智能互联浪潮正在席卷全球。各相关领域已达成一个普遍共识，即未来的汽车将从今天的代步工具进化为一个“移动智能终端”，成为一个随时互联互通、具备多种功能的交互应用平台。因此，相比传统汽车，新能源汽车是智能化技术应用集成更为理想的平台，两者的紧密联系和互动将催生出更多新理念、新模式、新维度，进而带动信息技术的发展。

(三) 新能源汽车涉及面广、融合度高，承载着我国汽车强国建设的重任

新能源汽车作为低碳化和智能化这两个未来时代主题高度融合的典型产品，涉及材料科学、信息

技术、控制技术、制造工艺、制造装备等几大领域。其产业发展将有效促进各领域相关的前沿基础研究、设计开发、测试、生产制造等各环节的技术进步和科技创新，其相关技术及产品创新将对其他产业科技创新起到示范带动作用。

同时，新能源汽车的核心是驱动力的新能源化，其创新与发展，除了革新汽车电机、电控乃至整车技术外，还将高度融合能源管理、智能互联和云服务，极大地重塑汽车产业链，这对汽车产业基础相对薄弱的我国来说，既是契机，更是挑战。2015 年国务院正式发布《中国制造 2025》，节能与新能源汽车作为十大重点发展领域之一，是实现 2025 目标的重要抓手和组成部分，也是实现汽车强国战略的重要机遇 [5]。

三、整车基本技术路线

从现在起到 2050 年，以节能减排为主驱动力，根据产品成熟度的不同，有计划、有安排、有次序地在各领域推广应用不同类型的新能源汽车，并逐步提升技术水平、调整车型结构、提高应用规模，最终实现新能源汽车占我国汽车总保有量的 50%，如表 1 所示。

第一阶段：从现在起到 2020 年，重点减少汽车 $PM_{2.5}$ 排放。主要在公交出租、物流运输、公务机构等公共服务及小型纯电动乘用车领域推广应用新能源汽车。该阶段重点发展纯电动与插电式混合动力汽车，支持鼓励燃料电池汽车技术研发。到 2020 年，新能源汽车年产量达 200 万辆，市场占比为 5%~10%，占我国汽车总保有量的 2% 以上。

第二阶段：2020—2030 年，以节能为主要驱动力， $PM_{2.5}$ 得到有效控制， CO_2 排放有所上升。在全社会各领域大规模推广应用纯电动与插电式混合动力汽车，同时实现燃料电池汽车的产业化并达到一定的产销规模。大力研发、成熟应用清洁发电及氢燃料制备（如利用自产可燃冰等资源发电、制氢）等技术，实现自产气、可燃冰等资源用量超过石油用量。到 2030 年，新能源汽车年产量达 2 000 万辆，市场占比为 50% 左右，占我国汽车总保有量的 15%。

第三阶段：2030—2050 年，以减少 CO_2 排放量为主要驱动力，降低全产业链能耗水平。在全国各

领域开始大规模推广氢燃料电池汽车，建设完善能满足全面普及燃料电池汽车的基础设施。研发应用更清洁更高效的燃料制备技术，利用太阳能、潮汐能、风能等可再生能源生产燃料。同时扩充燃料类型，积极开发生物质燃料、甲醇、CO 等多种燃料类型。到 2050 年，基本实现新能源汽车占我国汽车总保有量的 50% 以上，其中相当部分为燃料电池汽车。

四、动力电池基本技术路线

在关键零部件中，高能量密度动力电池是新能源汽车当前的迫切需求。目前三元层状锂离子电池材料是最有应用前景的高能量密度正极材料，发展方向主要有高镍及高电压两个方向。高电压三元材料受高电压电解液等配套技术不成熟的限制，短期内还无法大批量应用。而高镍正极材料组合 Si 基负极是三元动力电池面向 300 Wh/kg 以上要求的主要技术路线，如图 1 所示。Si 具有最高的理论嵌锂容量（约 4200 mAh/g）和较为适中的嵌脱锂电位（约 0.45 V vs. Li/Li⁺），在高速充电时能更好地避免锂在极片表面的析出和枝晶生长，从而改善电池的操作安全性，可适应较宽的温度范围和较高的倍率性能。

但是，高镍三元材料随着镍含量的增加，其氧化性、结构不稳定性随之明显增加。目前，为提升能量密度的约束，在提升材料的克容量时，其循环寿命、热存储、安全性等性能都会恶化。因此，只有这些性能达成一个平衡状态，满足实际使用需求时，才能真正实现量产应用。

锂离子电池属于封闭体系，其能量提升空间存在一定的瓶颈，因此未来将逐渐被新型电池所替代。当前研究比较热门的下一代动力电池有全固态电池、锂硫电池、金属空气电池、燃料电池等。

全固态电池电压平台高，固态电解质比有机电解液普遍具有更宽的电化学窗口，且能阻隔锂枝晶生长，为具有更高能量密度空间的新型锂电技术奠定了基础。全固态锂电池当前能量密度约为 350 Wh/kg，预估最大值可达 900 Wh/kg，但其生产工艺流程和技术跟当前的常规液态锂离子电池完全不同，产业化面临相当高的技术壁垒。由于固体电解质中离子传输速度较慢，固体电解质和正负极材料界面的电阻很大，决定了其倍率性能必然是短板，同时全固态电池的循环性和温度性能也会面临很大挑战。当前全固态锂电池还处于试验阶段，商业化还需时日。

锂硫电池以硫作为正极，其理论比能量高达 2600 Wh/kg，且单质硫成本低、资源丰富、对环境

表 1 新能源汽车发展战略目标整车路线图

时间阶段	现在—2020 年	2020—2030 年	2030—2050 年
发展驱动力	减排为驱动力，降低 PM _{2.5} 为主	节能为主驱动力，PM _{2.5} 缓解，CO ₂ 上升	减少 CO ₂ 排放为重点
标志性事件	—	自产气使用量超过石油	—
发展战略	公交车、出租车、物流运输车的推广，小型电动车推广运用	电动汽车大规模运用，氢燃料和燃料电池量上升	氢燃料和燃料电池量大规模推广，生物质燃料上升
新能源汽车（纯电动和插电式）保有量所占比率	2% 以上	15%	50%

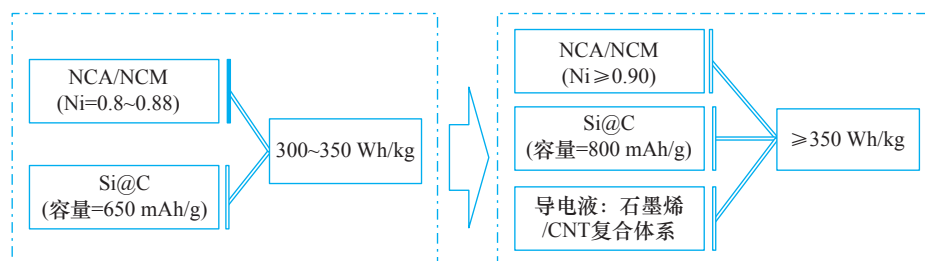


图 1 300 Wh/kg 以上三元动力电池技术路线

友好,目前主要存在活性物质利用率低和循环性差等问题。开展高性能碳硫复合材料制备技术、高稳定性锂或锂合金负极制备技术以及锂硫电池制备技术的优化等,获得比能量大于 500 Wh/kg 的锂硫电池,方可满足新能源汽车长续航里程的使用要求 [6]。

金属空气电池因为电池阴极活性物质 O_2 可以从环境中摄取而不需要存储于电池体系中,因而具有较高的理论能量密度 ($\sim 11\,500$ Wh/kg, 不包括 O_2 质量),也因此成为近年来人们研究的热点。以锂空气电池 ($Li-O_2$) 为例,最近的研究表明,可以承受 100 周期以上的循环,同时充放电过程中 Li_2O_2 的生成/分解也被证实。但是, $Li-O_2$ 电池阴极氧电极充放电动力学过程缓慢,且存在较大的极化过电位,所以导致目前报道的 $Li-O_2$ 电池能量效率较低。开发高效的双功能催化剂,以较大限度地提高 $Li-O_2$ 电池的能量效率是当前研究的重点。目前研究较为广泛的氧电极催化剂包括碳材料、非贵金属(氧化物)及贵金属(氧化物)等。

另外一种研发比较热门的新型电池是燃料电池,其独特的异相电催化反应过程,使得不管是氢的电化学氧化还是氧的电化学还原,都可以在 Pt/C 催化剂表面获得较高的交换电流密度。同时兼具高能量和高功率的工况特性,这恰恰是现代汽车对动力系统的最基本的技术要求。站在电化学器件的角度,相较于二次电池,燃料电池是化学电源的一个更高的发展层次。燃料电池和二次电池在工作方式上的本质不同,决定了二次电池适用于中小功率的储能应用,而燃料电池则适合于较大功率的储能应用。

综合来看,未来 5~10 年内全固态电池、锂硫电池、金属空气电池、燃料电池产业化的可能性都较小,动力锂电池在未来几年将迎来快速发展期。

目前全球高端动力锂电池产能吃紧,正极、负极、电解液等关键原材料高端产品被日本企业所控制。目前我国已经出现在动力锂电池电芯制造领域具备国际竞争力的企业,其电池能量密度与国外接近,但差距主要体现在可靠性及一致性上。

燃料电池方面,国外汽车企业早于我国率先进行技术布局,并建立了燃料电池发展路线,形成了多国联合研发阵营,铂金催化剂等关键技术已实现突破,并完成产业化升级,同时推出了市场化乘用车产品。我国燃料电池汽车基础较弱,关键材料和

部件大多依赖进口,燃料电池发动机成本居高不下,其耐久性、环境适用性等方面还存在技术瓶颈,有待继续研究突破。

五、驱动电机及系统构型基本路线

(一) 驱动电机

新能源汽车的驱动电机技术相对成熟。我国电机系统的技术与产品满足了新能源商用车、乘用车和特殊用途车辆的需求,多家驱动电机企业产能达到万套级以上,部分产品已经批量出口欧美国家,驱动电机部分指标达到了国际水平。

驱动电机主流路线有异步电机和永磁同步电机。其中,永磁同步电机具有结构简单、体积小、重量轻、响应快速、调速范围宽、定位准确等特点,已经成为主流技术。国内外近期上市的新能源汽车大多采用永磁同步电机,个别企业如美国特斯拉汽车公司采用异步电机。2016 年,在我国新能源汽车中,配套永磁同步电机的比例高达 81.7%,而配套交流异步电机的比例则为 17.8%。

未来车用驱动电机发展趋势主要包括:电机的功率密度不断提高,永磁电机应用范围不断扩大;电驱动系统的集成化和一体化趋势更加明显,电机与发动机、变速箱、底盘系统的集成度不断提高;车用电驱动控制系统数字化程度不断加大 [7]。

(二) 混合动力系统构型

目前市面上的混合动力车型,主要匹配有增程式、并联、混联三种系统构型。

增程式构型通过发动机向电池充电,仅由电动机驱动车辆,这样可以使发动机一直在最佳工况下工作且效率较高,即使在城市拥堵工况行驶也可以保持较低的油耗。但在高速工况下,由于能量传递有层级,会造成部分功率的损失,油耗偏高。其代表车型有宝马 i3、奥迪 A1 e-tron 等。

并联构型大多是在传统燃油车的基础上增加电动机、电池、电控,由电动机与发动机共同驱动车轮,这样能充分利用功率,没有浪费问题,同时也能实现纯电与混动模式两种工况。其缺点在于,混动模式下由于单电机不能同时发电与驱动车辆,所以发动机不能保持最佳工况,油耗较高。其代表车型有奔驰 550 插电版、比亚迪秦等。

混联构型则有两个电机，一个电动机仅用于直接驱动车轮，另一个电机即可用于充电，也可输出驱动力。其优点在于，任何行驶工况发动机均能保持最佳转速，油耗较低，但也存在结构复杂、成本较高、开发难度高等缺点。其代表车型有丰田普锐斯插电版、上汽荣威等。

市面上并联、混联构型车型较多。国外实现规模量产的乘用车混合动力系统多使用功率分流、混联系统，传递效率高、节油性能好。国内目前的混合动力系统仍然以微混和中混为主，混合动力系统的可升级产品（如插电式混合动力汽车，PHEV），主要是基于汽车起动机发电一体机（ISG）的构型拓展而来。自主汽车企业推出的插电式混合动力乘用车，多使用并联、串并联系统，综合性能距离国外还有一定的差距。尤其在专用发动机、机电耦合装置、系统集成及控制等核心技术方面水平不高，与国外差距较大。

六、措施建议

当前全球及我国在发展新能源汽车的过程中，均面临着传统锂电池技术性能提升困难、新体系电池处于研发中、燃料电池技术不成熟等核心障碍，导致新能源汽车续航里程无法与传统汽车竞争。新体系电池技术存在一定的颠覆性，燃料电池技术代表未来车用清洁能源的终极方向，我国的深度混合动力技术储备相较国际领先水平还存在差距。因此，必须高度重视，组建国家级技术创新联盟，加强投入力度，引导创新突破，掌握产业制高点与发展先机。

针对电动汽车的三大关键领域，建议由国家组织建立三家技术创新联盟：国家动力电池创新中心（已有）、国家新能源汽车动力系统研究中心、国家燃料电池技术创新中心，并设置目标任务书和实施制度约束，推动实现关键技术的研发资源集聚和研发产出。

定位目标：引导汽车及相关行业集成现有创新资源，组建协同攻关、开放共享的创新平台。加强统筹协调，开展关键共性技术研发与工程化应用。发展模块化供货等先进模式以及高附加值、知识密集型等高端零部件。全面提升我国汽车工业自主开发能力和整体技术水平。

研究领域：动力电池（新型电池隔膜、新型电解液、新型正负极材料等）、动力系统（混合动力专用发动机、混合动力专用耦合机构、绝缘栅双极型晶体管、高速减速器、逆变器集成技术等）、燃料电池（电池堆、高性能膜材料、低铂催化剂、制氢/储氢/运氢技术等）。

组织形式：由国家相关部门组织科研机构、整车企业、零部件企业、行业协会、高等院校等建立创新联盟，并分别设定一家牵头单位（原则上由第三方科研机构牵头，各单位按任务分工分头开展研究）。

运行机制：国家相关部门制定各阶段的研究目标及任务书，由牵头单位组织成员单位共同完成，实行研究成果（包括技术专利、数据、资料等）共享，并逐步实施成果的推广计划。

资金需求：国家每年定期投入30%的研究经费，企业自筹70%，鼓励吸收社会资本、金融资本参与、政府和社会资本合作（PPP）等融资模式，解决资金需求。

七、结语

总结来看，发展新能源汽车对我国降低石油对外依存度、缓解环境污染压力、带动相关领域的科技创新、助推制造业转型升级等都具有重大意义。目前各种产品的技术路线还处于不断探索改进的阶段，电池技术尚未形成终极方案、混合动力技术构型还在优化，整车推进步骤也会伴随产品成熟度的发展做出调整。未来新能源汽车产业发展，还将伴随补贴力度下降、国际竞争接踵而来的挑战，为此，必须坚持创新驱动为第一核心，发挥好国家级技术创新联盟的作用，加强产品技术竞争力。

参考文献

- [1] 制造强国战略研究项目组. 制造强国战略研究综合卷 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
Project team of Manufacturing Power Strategy. Research on the manufacturing power strategy [J]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2015.
- [2] 杜祥琬, 杨波, 刘晓龙, 等. 中国经济发展与能源消费及碳排放解耦分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(12): 1-7.
Du X W, Yang B, Liu X L, et al. Decoupling analysis of the economic development and energy consumption and carbon emission of China [J]. China Population, Resources and Environment, 2015,

- 25(12): 1-7.
- [3] 中国工程院. 中国工程院:2020 年前为我国能源结构优化期 [J]. 资源节约与环保, 2017 (6): 12.
Chinese Academy of Engineering. Chinese Academy of Engineering: The optimizing period China's energy structure will last until 2020 [J]. Resources Economization & Environment Protection, 2017 (6): 12.
- [4] 欧训民, 覃一宁, 常世彦, 等. 未来我国电动汽车能耗和温室气体排放全生命周期分析 [J]. 汽车与配件, 2009 (13): 40-41.
Ou X M, Qin Y N, Chang S Y, et al. Full-life-circle analysis of the energy consumption and GHG emission for China's electrical vehicles in the future [J]. Automobile & Parts, 2009 (13): 40-41.
- [5] 瞿国春. 抓住实现汽车强国战略的重要机遇 [J]. 汽车纵横, 2015 (8): 17-19.
Qu G C. Grasp the opportunities to realize China's automotive power strategy [J]. Auto Review, 2015 (8): 17-19.
- [6] 中国汽车工程学会. 节能与新能源汽车技术路线图 [R]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
SAE-China. Technological roadmap of energy conservation and new energy vehicle [R]. Beijing: China Machine Press, 2016.
- [7] 贡俊. 车用驱动电机系统研发和产业化进程 [J]. 汽车与配件, 2010 (2): 18-19.
Gong J. R&D and industrialization of automobile motor system [J]. Automobile & Parts, 2010 (2): 18-19.