

“十一五”“863计划”《节能与新能源汽车》重大项目和“十二五”科学技术部《电动汽车》重点专项总体专家组组长

中国新能源汽车的研发及展望

欧阳明高

清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084

摘要 近年来中国新能源汽车发展迅速,成为技术创新和产业升级的亮点领域。核心技术的突破带动了产品性能的提升,鼓励政策的实施促进了产业化的进程。本文对国家科技研发计划支持下的新能源汽车技术进步及其产业化进行了总结,展望了未来5年新能源汽车科技研发的重点。

关键词 新能源汽车;电动汽车;产业化

进入21世纪以来,中国汽车工业获得飞跃发展,产业规模连续多年稳居世界第一,年产量已突破2000万辆大关,并预计在2020年前超过3000万辆。与此同时,汽车保有量也快速上升,已突破1.5亿辆大关,并预计在2020年前达到2.5亿辆左右。在汽车业成为国民经济的支柱产业和国民富裕的重要标志的同时,中国也面临着汽车产业大而不强,以及越来越严重的汽车尾气污染和石油安全等重大问题。

汽车能源与环境问题也是21世纪全球汽车业共同面临的巨大挑战。全球低碳发展目标和日益严格的油耗法规客观上要求尽快实现车辆能源动力系统的转型升级。为此,引发了全球汽车动力系统技术变革:以汽车排放净化、汽车燃料节约化、汽车能源多元化为主要特征的各种节能环保汽车迅猛发展,混合动力和纯电动汽车实现了产业化,燃料电池汽车进入市场,动力电池和燃料电池等核心技术不断突破和升级。预示着21世纪的前20年将是汽车能源动力系统转型的战略机遇期。从中长期看,为了达到2050年全球温室气体减排目标,全球能源结构也将发生重大调整,以化石能源为主的集中供应能源体系将转变为以清洁、可再生能源为主、分布与集中供应相结合的能源网络新模式。以插电式混合动力汽车、纯电动汽车和燃料电池汽车为代表的新能源汽

车,作为能源网络中用能、储能和回馈能源的终端,将成为世界经济新体系中的重要组成部分,并从根本上解决空气污染、能源安全、低碳发展等重大问题。

全球汽车能源动力系统技术变革为中国提供了历史机遇。与此同时,中国还具有独特的发展环境和优势。中国交通体系结构呈现明显的“点-线-面”特征:大城市和大城市群为“点”,联接大城市的交通干道为“线”,广大中小城镇和农村区域为“面”。在“点”上,公交系统占主导,公交车辆电动化全球领先;在“线”上,铁路占主导,高铁电气化全球领先;在“面”上,短途交通工具占主导,电动自行车全球领先。在这一交通体系中,中国乘用车主要集中在城区驾驶,具有短途出行为主的特征,加之中国道路交通建设与管理的体制优势,在已有的交通电气化基础上,中国新能源电动汽车具有发展出全球领先优势的巨大潜力。

中国政府高度重视新能源汽车发展,将其确立为国家战略。中国节能与新能源汽车的发展经历了“十五”以来的在国家科技计划支持下的研发、示范与考核,近年来在国家政策的大力推动下,产业化与市场推广形势喜人,2015年年销量已突破30万辆,居世界第一位。本文对中国新能源汽车研发进展进行简要总结与展望。

收稿日期:2015-09-30;修回日期:2016-02-26

作者简介:欧阳明高,教授,研究方向为汽车动力系统,电子邮箱:ouymg@mail.tsinghua.edu.cn

引用格式:欧阳明高.中国新能源汽车的研发及展望[J].科技导报,2016,34(6):13-20;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.06.001

1 新能源汽车科技研发历程

中国从“十五”开始对电动汽车技术进行大规模有组织的研究开发。“十五”期间是中国新能源汽车打基础的阶段,组织实施了国家“十五”电动汽车重大科技专项;“十一五”期间是中国新能源汽车从打基础到示范考核的阶段,组织实施了“十一五”“863计划”节能与新能源汽车重大项目;“十二五”期间是中国新能源汽车从示范考核到产业化启动阶段,组织实施了“十二五”电动汽车重点专项。

1.1 “十五”电动汽车重大专项

在中国汽车产业快速发展、传统汽车技术落后、电动汽车与国外处于相近起跑线的背景下,为在世界汽车工业新一轮竞争中占领制高点、取得有利地位,提高中国汽车工业的国际竞争力,从而实现中国汽车工业跨越式发展,2001年,经国家科教领导小组批准,中国实施了国家电动汽车重大科技专项^[1]。电动汽车重大专项以汽车整车技术和关键零部件技术为开发重点,采取整车牵头、零部件配合、产学研相结合的模式,根据整车产品特征属性和关键核心系统共享属性,建立了电动汽车“三纵三横”的矩阵式研发布局^[2](图1)。

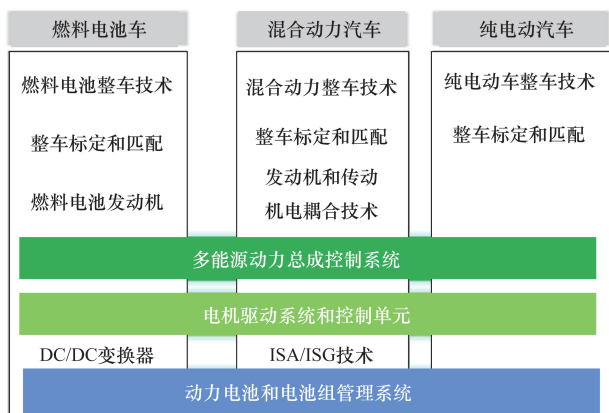


图1 “十五”电动汽车重大科技专项布局

“三纵”是指燃料电池汽车、混合动力汽车和纯电动汽车3种整车。“三横”是指动力电池、驱动电机、多能源动力总成电控等三大关键零部件系统。在“三纵三横”研发布局中,整车项目单位对整车各个阶段和总体目标的质量、进度和资金运用全部负责,实现了对总成、子系统和零部件研究课题的择优组合、协调、指导、监控,从而构成了产业链纵向子联盟;同时,为了使“横向”能够联合和交流,培育3种整车共同的零部件基础和产业链,分别成立电池、电机、电控3个专题组,负责协调零部件系统技术指标,建立评估和技术标准体系,同步进行安全性、可靠性协调开发等。

通过“十五”国家科研资金的投入,在国内形成了200多家企业、高校和科研院所,2000多名技术骨干组成的研发队伍,培养了一批中青年技术骨干,建立了中国电动汽车产业发展急需的人才队伍,推动出台了26项国家标准;累计申请796项国内外专利。专项的实施,对于提升中国汽车工业的

核心竞争力,实现重点跨越,发挥了重要作用,为电动汽车的产业化奠定了技术基础^[3]。

1.2 “十一五”节能与新能源汽车重大项目

随着《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》^[4]的发布,与优先主题之一“低能耗与新能源汽车”和前沿技术之一“氢能及燃料电池技术”相呼应,“十一五”总体研发思路是:基于国家中长期科学和技术发展规划交通与能源领域战略研究成果^[5],推进节能与新能源汽车并行互动与协调发展。一方面优化现有以内燃机为基础的车用能源动力系统,发展节能汽车;另一方面开发新一代车用能源动力系统,发展新能源汽车。通过“过渡”与“转型”的双重战略促进汽车动力电控化和电气化双重技术变革。研发总体布局在保持“三纵三横”的基本框架下,在车型“三纵”方面的内涵相应有所扩展,将基于燃油的节能内燃机汽车和混合动力汽车,基于气体燃料的燃气汽车和氢燃料电池汽车以及基于电能的纯电动车和增程式电动车综合考虑。

“十一五”节能与新能源汽车重大项目研发布局如图2所示^[7]。项目以“十五”电动汽车重大科技专项和清洁汽车科技行动计划研发成果为基础,以“建立技术平台,突破关键技术,实现技术跨越”、“建立研发平台,形成标准规范,营造创新环境”和“建立产品平台,培育产业生态,促进产业发展”为三大核心目标,在关键零部件、动力系统、整车集成、测试平台、示范推广以及标准政策研究等方面安排课题270项,以整车集成为载体、动力系统为核心,重点突破关键零部件瓶颈技术,支撑产业化示范推广。国内整车及零部件企业、研究机构、大学院校等432家单位14600名科技人员参与研发工作,构建了中国电动汽车产学研联合研发创新体系。

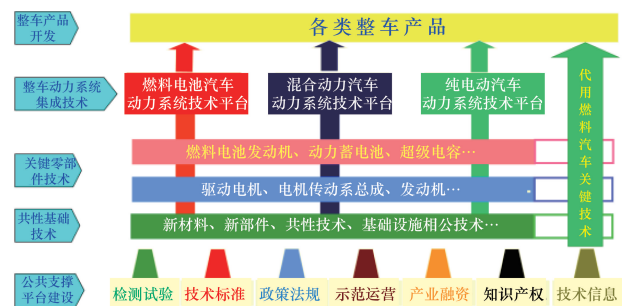


图2 “十一五”节能与新能源汽车重大项目布局

通过5年国家科技计划实施^[6],攻克了一大批节能与新能源汽车关键技术,有各类新能源汽车350余款进入国家汽车公告目录,在25个示范城市有超过19000辆自主研发的电动汽车产品示范应用;突破了一批代用燃料汽车关键技术,带动形成国内140万辆天然气汽车应用规模;结合2008年北京奥运会和2010年上海世博会等国际大型活动的举办,成功开展了集中化、高强度的电动汽车示范运行,取得了良好的国际影响;制定电动汽车国家和行业标准59项,基本满足电动

汽车科技研发和产业化需求;建成 15 个国家重点实验室和工程技术研究中心,形成电动汽车研发平台 48 个;项目成果获得国家科技进步奖二等奖 10 项,省部级科技进步奖一等奖 22 项;累计申请专利 2011 项,其中,发明专利 1015 项。

1.3 “十二五”电动汽车重点专项

“十二五”期间,中国新能源汽车发展面临更加紧迫的战略需求,首先是作为国家战略性新兴产业之一,新能源汽车承载了汽车技术转型需求^[9],其次是国家汽车节能环保法规不断严格带来的产业升级换代需求^[10]。国家领导人在多次听取专家意见的基础上,以胡锦涛总书记 2010 年在两院院士大会上的讲话为起点^[11]、习近平总书记 2014 年关于新能源汽车的讲话为标志^[12],电动汽车上升为国家战略。

在此背景下,科技部制定了《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》^[13],在“十一五”节能与新能源汽车研发成果基础上,以全面实施“纯电驱动”技术转型为总体战略,提出了技术平台“一体化”、车型开发“两头挤”、产业推进“三步走”的技术发展路径。在城市公共用车和私人小型轿车上优先发展“纯电驱动”电动汽车,形成“两头挤”发展格局,启动市场。然后滚动发展,逐步挤占中高档轿车这一市场空间。项目的组织实施落实了国务院 2010 年“关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定”精神,成为培育和发展新能源汽车战略性新兴产业的重大科技举措。

在研发布局上,以“三纵三横”为基础,进一步强化纯电驱动技术转型,“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”;混合动力汽车则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、电制动等在内的电动汽车电子控制系统技术。同时,为了适应从科技研发向示范推广转型的需求,增加了标准检测、能源供给、集成示范等三大支撑平台的研发,从而形成“三横三纵三大平台”战略重点与任务布局(图 3)。

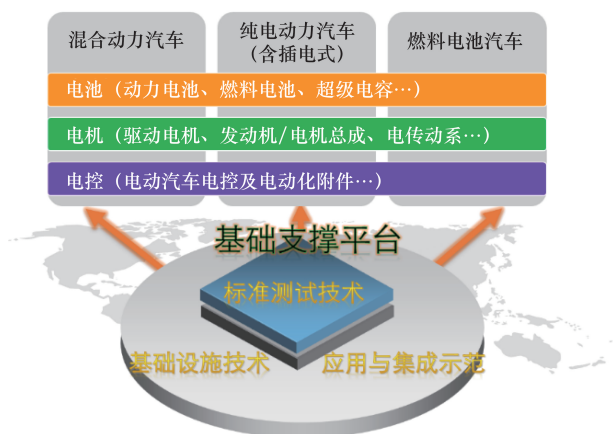


图 3 “十二五”电动汽车重点专项布局

在组织实施上,根据“三纵”(混合动力、纯电驱动、燃料电池)技术发展的不同阶段,分别以“产业链”、“价值链”、“技术链”为纽带,建立“三纵三链”技术创新联盟开展研发活动。专项部署的项目共 61 项,包括 863 项目 18 项、科技支撑计划项目 36 项、国际合作项目 3 项、公益类项目 4 项。全国 177 家高校和科研院所参与。截至 2015 年,已经验收的首批启动项目完成新产品、新工艺及相关软件开发 500 多项,发表科技论文 1000 多篇,申请国内发明专利 1000 多项。专项的实施全面带动了关键零部件、整车和支撑平台的全产业链发展,技术支撑了中国新能源汽车产业化在 2015 年跃居全球首位。

2 新能源汽车技术进展

经过 3 个五年计划的科技攻关,中国掌握了新能源商用车的整车技术,实现了从混合动力向纯电驱动的转型;发展出了独具特色的新能源乘用车纯电驱动技术路线,实现了技术的跨越式发展;燃料电池汽车形成了自主研发能力,实现了与国际技术的基本同步;在关键零部件方面,锂离子车用动力电池技术和电机驱动系统技术取得重大进展;在公共平台技术方面,建立了新能源汽车标准体系和整车、电池、电机测试平台。

2.1 关键零部件技术

1) 动力电池技术。迄今为止,中国电动汽车动力电池研发经历了 3 个阶段。“十五”起步阶段:主要研发镍氢动力电池和锰酸锂锂离子动力电池;“十一五”发展阶段:加大了磷酸铁锂电池研发,支撑了“十二五”电动汽车示范与产业化;“十二五”升级阶段:重点支持三元材料动力电池的研发,电池比能量目标要求达到 180 (W·h)/kg。经过 3 个五年计划,中国已基本掌握了电池材料、单体电池、电池系统、批量生产工艺等核心技术。中国已形成包括磷酸铁锂和锰酸锂正极材料、三元材料前驱体、石墨负极材料、钛酸锂负极材料、电解液和 PP/PE 隔膜在内的完整电池材料技术体系,技术水平与国际基本同步。中国单体电池设计制造能力取得重要突破,电池能量密度显著提高,如磷酸铁锂电池单体的能量密度从 2007 年的 90 (W·h)/kg 提高到接近 140 (W·h)/kg,三元材料的电池单体的能量密度达到 180 (W·h)/kg,与国际水平基本保持同步;功率型电池比功率最高达到 3000 W/kg,与国际先进水平相当。中国在电池系统集成技术和能力方面取得较大进展和突破,动力电池模块的比能量最高达到 140 (W·h)/kg 以上,锂离子动力电池产业化技术水平已经具备支撑电动汽车开展大规模商业化运行的技术和产业条件。但是,中国在先进电池材料与机理等基础研究方面,以及电池一致性和良品率等方面与国际领先水平相比还存在差距。

2) 电机驱动技术。在驱动电机技术方面,采用车用电机多领域集成优化设计理念,解决了多目标高性能车用电机的极限设计、多物理场精确分析、控制策略、系统集成等技术难题。采用结构集成设计技术,实现了电机与变速器在机械、

电磁、热的高度一体化设计与应用。利用中国稀土资源优势,逐步形成了车用永磁电机技术特色,中国多个电机企业突破高效、高功率密度车用永磁电机设计与制造技术,研制出功率密度超过 3 kW/kg 的高速高密度永磁电机,在多款纯电动轿车、插电式混合动力轿车上获得了广泛应用。中国商用车电机(特别是直驱电机)在转矩指标、成本控制方面已经具备较强的国际竞争优势。

在电机控制器技术方面,采用电力电子模块集成技术,将汽车级 IGBT 模块、长寿命膜电容与低电感复合母排高度集成、低热阻散热技术以及小型化电路板设计技术高度集成,降低了电机控制器的体积和重量,提高了系统集成度,实现了电力电子与信息处理技术的融合。中国典型电机控制器功率密度达到 8 kW/L,控制器峰值效率超过 97%,大于 90% 的高效率区超过 50%。全速度范围的转矩控制精度提升至 $\pm 2\sim 3$ N·m 或 $\pm 3\%\sim 5\%$ 。但是中国在芯片集成设计、电力电子系统集成等方面与国际领先水平还存在差距。

3) 车用燃料电池技术。燃料电池系统技术链长,中国相关基础薄弱。经过多年努力,中国在燃料电池电化学基础材料器件和电堆方面取得了显著的进步,近年来突破了耐久性强的复合膜、高活性抗毒催化剂、高导电性碳纸、低铂载量的电极组件、超薄金属双极板冲压、防腐蚀、焊接和密封等关键技术;中国在“十二五”期间已基本突破了金属双极板电堆的设计技术,研制的样堆功率密度突破 2 kW/L 的水平,为今后高功率密度发动机的研发奠定了基础。研制的燃料电池催化剂、复合膜、碳纸、膜电极及双极板样品从性能指标上已经能够满足商业化需求,但是需要建立批量化生产线,大力开展测试评价并建立相关产业链,推动中国燃料电池技术赶上国际先进水平。

4) 电动化附件技术。电空调:开发了无位置传感器的变频压缩机电机控制技术、高效的一体化低噪声电动空调技术、基于总线控制技术的电动空调高效控制技术,实现了空调与电池的集成热管理。

电转向:突破了转向传感器、EPS 控制器、EHPS 控制器、EPS 与电动轿车匹配, EHPS 与电动客车匹配等电控助力转向系统关键技术。电控助力转向系统-40~85℃ 范围内正常工作,具有良好的高低温稳定性。

电制动:在中国已有液压和气压 ABS 系统自主技术的基础上,通过集成化设计,成功地开发出能量回馈式液压和气压制动系统,打破了国际垄断,且在成本上有竞争优势。实现了制动安全性、系统可靠性与寿命、制动舒适性与制动能量回收效率的综合优化。回馈制动对能量经济性的贡献率达到 20% 以上。

2.2 整车技术

1) 纯电动汽车技术。纯电动汽车是中国新能源汽车的主要类型。经过 3 个五年计划的努力,中国纯电动乘用车技术取得重大进展,整体技术水平接近国际先进水平,续航里程、可靠性、安全性不断提高,能效持续优化,完全具备了商

业化推广条件。尤其是形成了中国特色小型纯电动轿车技术特色。

纯电动公交车整体技术水平达到国际先进。已建立起纯电动客车设计理论与系统集成体系;在高效电驱动系统、整车轻量化、动力电源热电集成和管理技术等方面取得了重大进展,通过关键部件通用化、总成配置模块化、机电接口标准化建立了新能源客车的技术平台,开发出低地板公交车专用电动化底盘,基于平台开发的整车性能优异,12 m 公交大客车实际运行百公里电耗在 100 kW·h 左右。

电动汽车充换电设施技术方面,建立了电动汽车充换电设施仿真平台;研发了基于交流和直流能源供给模式的多种变换容量的充换电设备接口技术、充换电过程控制技术、电能计量技术、安全可靠技术;研发了 40 kW 单口三相交流车载充电技术和 450 kW 直流非车载充电技术及产品;新型换电技术可以实现 3 min 内更换 11 箱电池。开发了无线充电系统样机,开始在整车上进行示范。

2) 插电式混合动力汽车技术。在乘用车方面,国内基本掌握了混合动力机电耦合、混合动力系统动态协调控制与能量管理系统等核心关键技术。形成了比亚迪秦为代表的 P3 后并联式混合动力系统及在此基础上发展出来的四驱混联系统;上汽荣威 550 为代表的双电机串并联式混合动力系统,吉利和科力远联合研制的“CHS”为代表的双行星排功率分流构型混合动力系统,基本打破了日本公司在国际上的技术垄断。进入“十二五”以来,国内企业纷纷发力插电式/增程式汽车,推出了如比亚迪秦、上汽荣威 550、广汽传祺等插电式混合动力车型。其中,比亚迪秦百公里加速时间达到 5.9 s,百公里综合油耗低至 1.6 L,总体上达到国际先进水平。荣威 550 插电式车型实现了纯电行驶里程 58 km,百公里综合油耗 2.3 L(工况法测试),百公里加速时间 10.2 s 等先进性能指标。

商用车方面,国内基本掌握了混合动力整车控制、高功率电机系统、混合动力自动变速箱及控制、APU 发电单元等关键技术,开发出具有完全自主知识产权的整车系统。具有中国特色直驱混联系统节油率达到 40%。基于自主 AMT 技术的同轴并联混合动力机电耦合系统构型混动模式下的节油率 > 30%。以车载发电装置和储能装置共同驱动电机为特征的新型纯电驱动客车动力系统形成了插电、增程、纯电动、燃料电池等各种技术路线的一体化平台,具有总成模块化、能源多元化、车型系列化的技术特点和优势。

3) 燃料电池汽车技术。中国燃料电池轿车采用独具特色的“电-电混合”动力系统平台技术方案,具有“动力系统平台整车适配、电-电混合能源动力控制、车载高压储氢系统、工业副产氢气纯化利用”的技术特征。进入“十二五”后,以上汽为代表的汽车集团制定了燃料电池汽车发展的 5 年规划,开始投入大量资金研发燃料电池汽车,完成了第 3 代燃料电池轿车 FCV 的开发,在 2011 年必比登比赛中,上汽开发的 FCV 在燃料电池轿车组别中,名列第三名。

中国燃料电池城市客车在三大系统(燃料电池/蓄电池混

合动力、电动化底盘、整车控制)和三大技术(燃料电池耐久性、氢电安全性、整车燃料经济性)取得重要突破。基于国家标准公交循环的整车氢耗 ≤ 7.5 kg/100 km,达到国际先进水平。“十二五”期间,以宇通客车为代表的国内领先的新能源客车企业全面介入燃料电池客车研发,开发出获得国家产品公告的燃料电池客车,并制定了“十三五”燃料电池客车商业化计划。

中国已基本掌握 35 MPa 加氢站系统集成技术。加氢站三大关键设备:45 MPa 大容积储氢罐、35 MPa 加氢机和 45 MPa 隔膜式压缩机已实现国产化。在上海 2010 世博会上,规模化的副产氢气提纯、输送以及由 2 辆移动车(移动加氢站)和 2 座固定加氢站构成的小型加氢网络成功为世博园区内外 196 辆燃料电池观光车、轿车和大巴提供高压氢气加注服务,安全性和可靠性得到检验。

3 新能源汽车示范考核与推广应用

3.1 新能源汽车示范推广历程

中国新能源汽车示范推广经历了 3 个阶段。

第一阶段(2003—2008 年):技术验证与科技示范工程。2003—2007 年,在“十五”电动汽车重大专项和“十一五”节能与新能源汽车重大项目支持下,开展了小规模电动汽车示范运行和技术验证,积累了大量的技术研发和升级的宝贵数据。在此基础上,中华人民共和国发展和改革委员会于 2007 年 11 月正式公布实施《新能源汽车生产准入管理规则》及《车辆生产企业及产品公告》的管理规定。2008 年开始,先后配合北京奥运会、上海世博会、深圳大运会等重大国际活动开展新能源汽车科技示范工程。其中,作为科技示范工程的起点和标志开展了全球最大规模的奥运会新能源汽车示范运行,共投入 595 辆节能与新能源汽车为奥运会提供服务,累计行驶 371.4 万 km,载客 441.7 万人次。在奥运史上第一次实现了中心区零排放、周边地区交通低排放,对中国新能源汽车产业化发挥了启动作用。

第二阶段(2009—2012 年):十城千辆示范推广工程一期。2009 年开始,中国加大了对新能源汽车示范推广的投入力度,出台了系列支持措施。2009 年,中华人民共和国财政部、科学技术部、工业和信息化部、发展和改革委员会等 4 部门共同启动组织实施“十城千辆”新能源汽车示范推广工程。为鼓励新能源汽车推广应用积极性,2009 和 2010 年,先后出台公共服务领域和私人购买领域新能源汽车补贴政策。为提升新能源汽车产品性能及产业化水平,2012 年 9 月,中华人民共和国财政部、工业和信息化部、科学技术部组织实施《新能源汽车产业技术创新工程》。2009—2012 年,中国在 25 个试点城市开展的新能源汽车规模化示范运行,总共推广新能源汽车 2.7 万辆。

第三阶段(2013—2015 年):十城千辆示范推广工程二期。2013 年开始,国家对新能源汽车的支持政策密集出台,促成了新能源汽车大规模示范推广。2013 年,第二期示范推

广工程补贴政策出台。2014 年,国务院先后 4 次发布加快新能源汽车发展的政策措施。2014 年 5 月,新能源汽车决策咨询平台——中国电动汽车百人会成立,研究聚焦新能源汽车产业化初期政策、技术与市场之间的复杂互动关系,整车开发、关键零部件供应和基础设施建设之间的协调发展问题。在国务院领导和多部门多领域多行业共同努力下新能源汽车市场发展出现快速增长的良好势头。2015 年中国新能源汽车销量达到 33 万辆,在新增汽车销售中的占比首次突破 1%,在 2015 全球销售新能源汽车的占比超过 50%,中国首次超过美国销量居全球第一。中国成为全球最大的新能源汽车推广应用区域,新能源汽车累积推广接近 50 万辆。截至 2015 年底,建成充电站 3600 座,充电桩 48000 个,初步形成了充换电服务网络,智能网联技术开始应用,有力支撑了新能源汽车推广。

3.2 关键零部件技术示范考核与产业化

中国新能源汽车示范推广与产业高速发展源于关键零部件产品技术性能突破和产业链体系建设。占据新能源汽车保有量 95% 以上市场份额的中国品牌新能源汽车依靠的是基于自主核心技术的电池、电机和电控关键部件。而且,其中的高端产品已与德国宝马等国际顶级厂商开发的车型配套。

1) 动力电池。中国已建立起较为完整的锂离子动力电池产业链,形成了珠江三角洲、长江三角洲、中原地区和北京-天津区域为主的四大动力电池产业化聚集区域。锂离子动力电池正极材料、负极材料、电解液和隔膜已进入国际动力电池生产企业供应体系。磷酸铁锂电池产业成熟度和规模国际领先,采用三元正极材料的高比能量电池和钛酸锂负极材料的快充电池大规模商业化应用。在整车需求的带动下,中国电动汽车用动力电池产业快速发展,2015 年产量达到 20 GW·h,涌现出比亚迪和宁德时代新能源等具有国际竞争力的动力电池生产商,其中,比亚迪建成全球最大的锂离子动力电池生产基地,浙江微宏动力的车用锂离子电池系统规模出口欧洲。中国车用锂离子电池产业总体上处于国际前 3 甲。

2) 电机驱动总成。中国的乘用车驱动电机系统和商用车驱动电机系统已形成规模化产业。乘用车驱动电机形成了系列化产品,并为国内多款乘用车配套,部分产品实现了批量出口;开发出了深混动力分流双电机、并联单电机和高速桥驱电机等重点产品,应用于混合动力和插电混合动力以及各类纯电动车型。在商用车驱动电机系统产品方面,形成了 65~200 kW 的系列化电动客车用电机及其控制系统产品,分别应用于 10.5~12 m 插电式混合动力客车和 12~13.7 m 纯电动客车;开发出了同轴混联双电机动力总成产品,应用于 12 m 插电式混合动力公交车。

基本形成电机驱动系统基础零部件的完整产业链,包括硅钢片、液压铸铝壳体、永磁体等。中国也建立了“电动汽车电驱动系统全产业链技术创新战略联盟”和“中国 IGBT 技术

创新与产业联盟”,在高性能硅钢、高性能磁钢、车用功率模块、车用膜电容器、旋转变压器、车用接插件以及车用DC/DC变换器等方面,形成了一大批典型产品,其指标和性能与国外同类产品相当。技术标准方面也取得快速进展,推动了中国电动汽车电驱动系统产业发展。

3.3 新能源整车技术示范考核与产业化

伴随着国家科技项目和推广工程的实施,各龙头企业加快了新能源客车产品开发,形成了混合动力客车、纯电动客车、燃料电池客车等多种技术路线。2014年起,各种车型的产业化进程加速,2015年实现了新能源汽车产业化快速发展。2015年销售各类新能源汽车33万辆,有4家企业进入全球新能源汽车销量前10名,比亚迪成为全球最大的新能源汽车生产商。中国新能源汽车,尤其是新能源商用车开始规模出口发达国家市场。

1) 新能源商用车。新能源商用车从2013年开始产销量快速增长,2015年产量超过17万辆。其中,新能源客车产量超过12万辆,占据全球总量的80%以上,居全球首位。新能源公交车是新能源客车推广的先行者和主力军。截至2015年新能源公交车保有量超过10万辆,现在已经占到国内公交车保有量19%左右,在全球遥遥领先。新能源商用车国际竞争力取得重大突破,行业标杆企业新能源客车整车与总成开始规模出口。目前,各种混合动力客车产品成熟度较高,经过市场拉动作用,产品性能逐步提高,与国际对标水平(25 L/100 km)相比,中国混合动力大客车的油耗已经从2012年的局部相当(11款车型中2款达到25 L/100 km),改善到2014年全面超越的水平(最佳达到21 L/100 km),并发展出插电式混合动力产品系列,2015年技术领先企业的插电式混合动力客车的油耗水平已经降至19 L/100 km。纯电动客车经历了电池快换、大容量电池慢充、小容量电池多次快充的示范考核与技术选择,已逐步形成主流技术和主流车型。随着性能的不断提升,电动客车逐步受到市场认可,运营效率已经从最初的60%提升至93%,运营成本下降到2元/km左右,基本可以与传统燃油车竞争。

2) 新能源乘用车。从2010年开始新能源乘用车产销量逐年高速增长。2010年新能源乘用车产量仅为3773辆,2014年的产量增加到6.2万辆,2015年,产量大幅上升到20.5万辆。新能源乘用车在新增乘用车销售中的占比首次突破1%,这是一个具有里程碑意义的数据,它表明新能源乘用车已经从示范推广阶段的产品导入期进入规模化推广阶段的产业成长期。分车型来看,纯电动乘用车以微型电动轿车为主,而且比例在逐年提高,2015年占比超过了85%,小型电动汽车性价比高,节能环保优势明显,有望成为中国电动国民车的战略车型,同时具有形成国际竞争优势的巨大潜力。中高级别新能源乘用车以插电式混合动力车为主,2015年销量占比超过82%。尤其是以比亚迪唐为代表的插电式SUV受到市场欢迎,销量直线上升。SUV的插电化正在成为重要的发展趋势,这对进一步增强中国品牌SUV竞争优势,同时

解决SUV油耗和排放问题将发挥重要作用,有望成为中国品牌主流战略车型。从插电式混合动力乘用车实际使用看,基于用车大数据分析统计发现,随着充电基础设施的改善,用电的比例在大幅上升,纯电行驶里程已经占到总行驶里程的2/3以上,纯电驱动的节能环保优势正在显现。

4 “十三五”新能源汽车研发展望

4.1 “十三五”新能源汽车重点专项背景与目标

当前,中国汽车产业发展正面临3个重大挑战和历史任务。第一,汽车产业由大到强转型的挑战。习近平总书记明确指出:“发展新能源汽车是我国由汽车大国迈向汽车强国的必由之路”;第二,汽车排气污染治理的挑战。大气污染控制的国家行动计划倒逼零排放汽车的发展;第三,汽车保有量快速上升带来的能源安全和低碳发展的挑战。2020年乘用车企业平均油耗降到百公里5 L的国家油耗法规,倒逼中国汽车新型能源动力的全面发展。

从全球范围看,以动力电气化、材料轻量化、车辆智能化三大科技为核心的新能源汽车技术大变革,正在深入发展,未来5~10年,将迎来全球汽车产业重组和技术转型升级的重要战略机遇期。

总体看,中国新能源汽车核心关键技术尚未彻底突破,例如新型高比能量、长寿命、高安全动力电池技术,第三代燃料电池膜电极技术,新一代电机驱动电力电子技术等;配套体系不够完善,例如充电基础设施的技术、规范和运营模式大大滞后于整车市场发展;产品性能还不能完全满足市场需求,例如纯电动轿车的性价比与燃油轿车相比还偏低。中国新能源汽车技术研发虽然起步不晚、速度不慢,但基础不牢、体制不顺,与国际领先水平相比仍有差距。作为一个完全开放的市场,技术竞争压力越来越大,加快新能源汽车持续创新,推进中国汽车产业技术转型升级,是中国科技发展的重大战略需求。

“十三五”新能源汽车科技创新的总体目标是:落实《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》;实施新能源汽车“纯电驱动”技术转型战略;完善电动汽车“三纵三横”技术体系和新能源汽车研发体系,升级新能源汽车动力系统技术平台;抓住新能源、新材料、信息化科技带来的新能源汽车新一轮技术变革机遇,超前研发下一代技术;到2020年,建立起完善的电动汽车动力系统科技体系和产业链,技术支撑新能源汽车战略性新兴产业又好又快发展。

4.2 研发布局与重点任务

1) 研发布局。“十三五”新能源汽车试点专项总体布局,按照全创新链设计原则分为4个层次:基础科学问题、共性核心技术、动力系统技术、集成开发与示范。每层有3个模块:三大基础科学问题;“三横”共性核心技术;“三纵”动力系统技术;面向集成开发与示范的三大支撑平台(图4)。

将上述12个模块通过串并联组合形成从基础研究、重大共性关键技术攻关到应用示范的全链条贯穿的6个创新链条

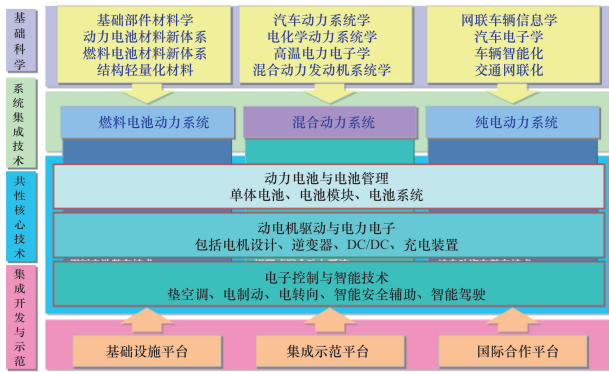


图4 “十三五”新能源汽车试点专项研发布局

(动力电池与电池管理、电机驱动与电力电子、电动汽车智能化技术、燃料电池动力系统、插电/增程式混合动力系统和纯电动动力系统),共部署39个任务(图5)。

2) 重点任务与目标。动力电池与管理系统研究重点与目标:重点突破高比能量动力电池技术和电池管理系统、电池安全性等电池系统集成技术。2020年,量产化能量型动力电池单体比能量达到300 (W·h)/kg,系统比能量大于210 (W·h)/kg,寿命达到1500次,成本达到0.8元/(W·h);示范用新型能量型电池单体比能量达400 (W·h)/kg,探索性能量型动力电池新体系单体比能量达到500 (W·h)/kg;高功率长寿命型动力电池单体比功率达到1500 W/kg,循环寿命达到10000次。

	动力电池与电池管理	电机驱动与电力电子	电动汽车智能化技术	燃料电池动力系统	插电/增程式混合动力系统	纯电动动力系统
基础科学	任务1: 动力电池新材料新体系	任务1: 高温电力电子学及系统评测方法研究	任务1: 智能电动汽车信息感知与控制关键基础问题研究	任务1: 燃料电池材料新体系及过程研究	任务1: 插电/增程式混合动力系统构型分析、动态控制与能量管理方法研究	
共性核心	任务2: 高比能量锂离子电池技术	任务2: 电机驱动控制功率密度倍增技术开发及产业化	任务2: 智能电动汽车电子电气架构及信息安全	任务2: 电堆组件与关键零部件技术提升	任务2: 主流插电式轿车混合动力性能优化	任务1: 电动轿车轻量化技术
	任务3: 高功率长寿命电池技术	任务3: 高可靠性车载电力电子集成系统开发及产业化	任务3: 电动汽车智能辅助驾驶技术	任务3: 轿车燃料电池发动机关键技术	任务3: 新型高性价比乘用车(插电/增程)混合动力系统开发	任务2: 分布式纯电动轿车底盘技术
	任务4: 动力电池系统技术	任务4: 宽禁带半导体控制器开发和产业化	任务4: 电动无人驾驶汽车技术	任务4: 商用车燃料电池发动机关键技术	任务4: 新型高性价比商用车(插电/增程)混合动力系统开发	任务3: 集中式电动化轿车底盘技术(B级)
	任务5: 高比能锂二次电池技术	任务5: 高效轻量高性价比电机技术及产业化	任务5: 智能电动汽车测试与评价技术	任务5: 轿车燃料电池动力系统及整车集成技术	任务5: 混合动力发动机开发	任务4: 电动轿车整车集成与控制技术
	任务6: 电池测试、分析和标准技术	任务6: 新一代电驱动总成	任务6: 智能电动汽车集成与示范	任务6: 商用车燃料电池动力系统及整车集成技术	任务6: 增程器系统开发	任务5: 纯电动商用车技术
集成示范	任务6: 电池测试、分析和标准技术		任务6: 智能电动汽车集成与示范	任务7: 燃料电池汽车示范		任务6: 中美清洁能源技术国际科技合作平台
				任务8: 中德燃料电池汽车国际合作		任务7: 电动汽车标准与基础设施支撑技术

图5 新能源汽车试点专项创新链与任务部署

电机驱动与动力电子研发重点与目标:开发功率密度超过4 kW/kg的高速、高效和轻量电机系统;电机驱动控制器比功率2020年达到17 kW/L,新一代车载电力电子变换器功率密度>30 kW/L。

电动汽车电控与智能化研究重点与目标:突破纯电动汽车智能化平台技术,电动汽车智能化水平达到SAE 3级(结构化道路的无人驾驶)。实现百辆级自动驾驶智能电动汽车、千辆级网联化智能电动汽车示范运行。

插电/增程式混合动力系统研究重点与目标:形成中国特色插电式电动汽车主流技术路线和处于世界领先地位主流车型;到2020年,插电式混合动力轿车百公里综合油耗小于1.3 L,混合工况节油率大于45%;插电式混合动力客车(12 m)百公里油耗小于16 L。

燃料电池动力系统研究重点与目标:重点突破高功率密度、低成本的乘用车燃料电池发动机产业化技术和长寿命、高效率商用车燃料电池发动机产业化技术。到2020年,轿车燃料电池电堆体积功率密度超过3.1 kW/L,发动机最高效率达到55%;客车燃料电池发动机耐久性超过1万h,最高效率达到60%。加速开展氢能的“储-输-运”体系研究和基础设施

建设,支撑燃料电池汽车的规模化示范和推广应用。

纯电动动力系统研究重点与目标:全面提升纯电动轿车底盘一体化、车身轻量化、整车智能化综合技术水平。以集中驱动式电动轿车为重点,通过技术进步全面提升主流电动轿车性价比,A级车百公里电耗降低20%,达到12 kW·h(工况法测试),续驶250 km左右的小型纯电动轿车,取消补贴后购置+使用综合成本可以与燃油车竞争。同时研发高性能电动轿车技术:针对典型车型(车长≥4.5 m),同时实现百公里电耗≤10 kW·h(工况法测试)和续驶里程≥400 km(工况法测试)。重点加强充电基础设施技术支撑能力,提高互联互通水平,开展无线充电和V2G等前沿技术研发,实现推广应用。

5 结论

经过3个五年计划的艰苦努力,中国新能源汽车经历了从打基础、示范考核、到产业化启动的发展进程,“三纵三横”研发布局的内涵和外延不断得到完善,“纯电驱动”的技术转型战略得以确定,核心技术的突破带动了产品性能的提升,中国已成为全球新能源汽车技术研发和产业化最活跃的区域之一,新能源汽车产业发展被李克强总理称为中国“新经

济”在工业领域的标志性行业。随着动力电气化、材料轻量化、车辆智能化的新能源汽车技术大变革的深入,作为一个完全开放的市场,中国面临的技术竞争压力也越来越大。我们要尽最大努力抓住新能源、新材料、信息化科技带来的新能源汽车新一轮技术变革机遇,实现新能源汽车动力系统全面升级,尤其是要加快实现动力电池革命性突破,以完善的科技体系支撑新能源汽车产业又好又快发展,最终实现中国汽车工业的技术强国梦。

参考文献(References)

- [1] 许倬. “十五”国家 863 计划电动汽车重大专项正式启动[J]. 中国科技产业, 2002(3): 49-50.
- [2] 万钢. 中国“十五”电动汽车重大科技专项进展综述[J]. 中国科技产业, 2006(2): 110-117.
- [3] 科技部. “十五”电动汽车重大科技专项通过验收[EB/OL]. 2006-02-20. http://www.most.gov.cn/kjbgz/200602/t20060219_28821.htm.
- [4] 国务院. 国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)[EB/OL]. 2006-02-20. http://www.gov.cn/gongbao/content/2006/content_240244.htm.
- [5] 严陆光, 陈俊武. 中国能源可持续发展若干重大问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [6] 欧阳明高. 我国节能与新能源汽车技术发展战略与对策[J]. 中国科技产业, 2006(2): 8-13.
- [7] 科学技术部. “十一五”863 计划节能与新能源汽车重大项目实施方案(内部报告)[R]. 北京: 科学技术部, 2006.
- [8] 科技部. “十一五”863 计划节能与新能源汽车重大项目通过验收[EB/OL]. 2012-10-09. http://www.most.gov.cn/kjbgz/201210/t20121008_97083.htm.
- [9] 国务院. “十二五”国家战略性新兴产业发展规划[EB/OL]. 2012-07-09. http://www.gov.cn/zwgk/2012-07/20/content_2187770.htm.
- [10] 国务院. 节能与新能源汽车产业发展规划[EB/OL]. 2012-06-28. http://www.nea.gov.cn/2012-07/10/c_131705726.htm.
- [11] 胡锦涛. 在中国科学院第十五次院士大会中国工程院第十次院士大会上的讲话[EB/OL]. 2010-06-07. http://www.gov.cn/ldhd/2010-06/07/content_1622343.htm.
- [12] 习近平. 发展新能源汽车是迈向汽车强国的必由之路[EB/OL]. 2014-05-24. http://news.xinhuanet.com/2014-05/24/c_1110843312.htm.
- [13] 科学技术部. 电动汽车科技发展“十二五”专项规划[EB/OL]. 2012-03-27. http://www.most.gov.cn/tztg/201204/t20120420_93807.htm.

New energy vehicle research and development in China

OUYANG Minggao

State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract New energy vehicles have developed rapidly in China in recent years, and have become the brightening point in the automobile fields for technology innovation and industry upgrade. Breakthroughs in the core technology have enhanced the performances of vehicle products, and the incentive policies in market penetration have promoted the industrialization process. In this paper, the technical progress in new energy vehicle researches and applications under the national research and development programs are reviewed, and research topics in the next five years are summarized as well.

Keywords new energy vehicle; electric vehicle; industrialization

(责任编辑 王媛媛)