

DOI:10.12405/j.issn.2097-1486.2026.01.005

从科研攻关到产业突破:中国新能源汽车 发展进程研究^①

孙显斌^{1*}, 吕昌茂^{1,2*}

1. 中国科学院自然科学史研究所, 北京 100190

2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 发展新能源汽车是我国抢占科技制高点和振兴汽车工业的重大战略部署。本文回顾和分析了中国新能源汽车从无到有和走向产业领先的发展历程, 首先介绍了中国新能源汽车启动科研攻关的历史背景和发展概况, 钱学森提出建议, 国家在“八五”“九五”时期组织研究力量开展电动汽车的技术攻关, 进行了车辆的技术验证和样车试制。进入 21 世纪, 国家在“863”计划中确立电动汽车“三纵三横”的技术路线并加强研发布局和产业投入, 电动汽车技术取得重大进展和产业突破, 同时在国际活动和示范推广上收效良好。随后国家和地方层面的产业规划与相关支持政策相继推出, 企业自主创新和市场规模快速发展, 逐步构建起从基础研究到应用转化的完整创新链条, 进一步推动我国新能源汽车实现弯道超车走向世界, 探索出了一条国家科技产业从追赶到突围, 再到实现超越的中国发展道路。

关键词: 新能源汽车; 国家科技计划; 电动汽车; 技术路线; 产业发展

中图分类号: U469.72

文献标志码: A

文章编号: 2097-1486(2026)01-0037-16

From scientific research to industrial breakthroughs: a study on the development process of China's new energy vehicles

SUN Xianbin^{1*}, LÜ Changmao^{1,2*}

1. Institute for the History of Natural Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Developing new energy vehicles is a significant strategic move for China to seize technological dominance and revitalize its automotive industry. This paper reviews and analyzes China's NEV development journey from scratch to industrial leadership. It first presents the historical background and overview of how China initiated NEV scientific research. Qian Xuesen's proposal led the nation to organize research efforts during the 8th and the 9th "Five-Year Plan" periods, launching electric vehicle technology research and development, conducting vehicle technology validation, and building prototype vehicles. After entering the 21st century, the nation established the "three vertical and three horizontal" technological strategy for electric vehicles in the "863 Program", strengthening research and development and industrial investment. Electric vehicle technology advanced remarkably, achieving industrial breakthroughs and succeeding in international activities and demonstration promotions. Subsequently, industrial planning and related support policies at the national and local levels were successively launched, leading to the rapid development of independent innovation and market scale of enterprises. A complete innovation chain from basic research to application transformation was gradually constructed, further promoting China's new energy vehicles to achieve "overtaking on the bend" and move towards the world.

*通信作者

收稿日期: 2025-05-12; 修回日期: 2025-06-27

① 根据《新能源汽车生产企业及产品准入管理规定》(工业和信息化部令 39 号), 新能源汽车指采用新型动力系统, 完全或者主要依靠新型能源驱动的汽车, 主要包括纯电动汽车、插电式混合动力(含增程式)汽车及燃料电池汽车等。其中“纯电驱动”是我国新能源汽车发展的主要战略取向。

This has explored a China's development path of the nation's scientific and technological industry from catching up, then breaking through, and finally surpassing.

Keywords: new energy vehicles; national science and technology programs; electric vehicles; technology road-maps; industrial development

0 引言

科技强国,汽车先行。汽车工业是一个国家经济发展水平和科技实力的重要体现。在全球能源结构转型和环境保护共识日益增强的今天,新能源汽车已成为世界各国竞相发展的焦点。早在2014年5月23日,习近平总书记就明确指出“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”^[1]。2024年我国新能源汽车产销量分别达1 288.8万辆和1 286.6万辆,连续10年位居全球第一,新能源汽车实现了跨越式发展^[2]。究其背后,是我国三十多年来从科研攻关到产业布局等一系列努力的成果。这肇始于1992年钱学森院士向中央提出的发展新能源汽车的建议,紧接着电动汽车于“八五”(国民经济和社会发展第八个五年计划)期间首次被纳入国家重大科技攻关计划,此后电动汽车及其关键技术研究从国家层面开启了漫长和艰难的攻关探索。

关于我国新能源汽车发展历程的现有研究大多是从“863计划”(国家高技术研究发展计划)后开始论述的,并主要以产业发展角度分析,如张立国等重点探讨了“863计划”电动汽车重大专项的技术进步和产业培育成果^[3],牛英凯^[4]、黄艺苗^[5]等从产业演变的角度对中国新能源汽车相关的产业政策进行了梳理和阶段性分期,苗珏则通过分析近些年来我国新能源汽车的产业和技术发展脉络总结了我国汽车工业在新能源赛道上的经验与教训^[6],并探讨全球汽车产业的未来趋势。对于电动汽车因何首次进入国家科技计划、攻关时期有哪些科学家和研究力量参与并存在哪些进展与不足、为后来的研究和产业化发展提供了哪些经验等的历史研究和具体分析较为不足。下文即是对上述问题进行回答,深入探讨中国电动汽车在技术上从无到有,在产业上从样车示范到大规模市场化的发展历程,为探索中国在汽车工业上通过新能源汽车进行“换道超车”的产业振兴路径和建设世界汽车工业强国提供一些历史经验及参考。

1 20世纪90年代初我国汽车工业所处的宏观环境与发展概况

1.1 世界环境保护与能源安全问题得到重视

20世纪90年代初全球环境危机与能源安全问题进一步凸显,1992年6月于里约热内卢召开的联合国环境与发展大会审议通过了《21世纪议程》,显示了可持续发展理念的全球共识。作为一个发展中大国,面对环境保护和资源节约的双重压力,我国政府在参会后于1992年8月批准了《中国环境与发展十大对策》^[7],其中第一条就明确提出“实行可持续发展战略”,确立可持续发展作为我国的基本方略。而汽车行业作为具有代表性的高污染、高耗能产业,世界范围内不断壮大的汽车产业规模对环境和资源造成的压力正与日俱增,社会可持续发展面临严峻的挑战。

1.2 国内燃油汽车工业竞争力有待提升

彼时国内汽车工业的自主创新能力相较发达国家还十分薄弱。改革开放前,中国汽车工业在高度集中的计划经济体制下运行,通过集中力量办大事的制度优势先后建成第一汽车制造厂(现中国第一汽车集团公司)和第二汽车制造厂(现东风汽车公司)及一批汽车零部件厂,国家对汽车生产和销售执行计划管理,因缺乏市场机制的引入以及以中型载货汽车为主的产品单一性使得汽车工业发展缓慢,整体工业技术水平不高,产业规模并不大^[8]。改革开放后,国家对经济管理体制进行了重大改革,汽车制造基地得到进一步拓展,并积极引入外资建立了北京吉普(1984)、上海大众(1985)等一批汽车合资企业,引进了国外先进车型、制造技术及发展理念,汽车工业“缺重少轻”的矛盾得到了些许缓解,但是民用轿车的制造能力并未得到明显提升^[9]。至1990年,世界汽车总产量达到3 500多万辆,其中美国轿车产量606.8万辆(通用汽车独占524万辆),而中国汽车总产量为50.9万辆,其中轿车占比不足8%,这种代际差距表明要想在传统燃油汽车领域实现对汽车发达国家的追赶是一件十分艰难的事^①。

① 《中国汽车工业年鉴1991》

1.3 国际汽车能源技术革新为我国电动汽车发展提供契机

环境污染和能源安全使得以清洁能源为动力的汽车技术路线重新得到各国的重视,此时全球电动汽车的产业化进程刚刚起步,发达国家有关新能源汽车的技术研发和政策布局已经开始^[10]:美国通用汽车公司于1990年推出续航120 km的Impact纯电动概念车,加州颁布《零排放车辆法案》强制推行清洁能源汽车;同年法国雪铁龙汽车公司决定研发电动汽车以适应环保要求,在法国科技部支持下开展电动汽车的推广;日本丰田汽车公司则进行了Prius混合动力汽车的研发……这些国际上汽车动力能源革新的趋势和对电动汽车的技术探索及市场评估,为中国开展新能源汽车的研制提供了战略机遇和历史契机。

2 国家科技计划主导下电动汽车研发的先行攻关

中国最早针对新能源汽车开展研究的国家重大课题源自1991年中央政府制定的“八五”国家重大科技攻关计划,此前地方上出现过一些对电动汽车蓄电池和整车的研制尝试,研究工作未取得突破^[11]。在学术组织方面,中国电工技术学会在1987年成立了国内首个电动车辆学术研究会,其于1989年召开的年会就电动车的技术进展和发展情况进行了交流,当时香港大学成立了国际电动汽车研究中心,由香港大学电子系教授陈清泉任主任,陈清泉在会上就国外的新技术做了报告,会议一致认为电动车的发展取决于蓄电池质量和技术水平,并呼吁国内研制和生产单位要尽快提升铅酸电池的能量比^[12]。由于此时我国电动汽车还处于萌芽之中,因此会议讨论的主题是“电动车辆”这一较宽泛的概念,并未着重聚焦在电动汽车上,但不可否认的是学会对我国早期电动汽车的技术交流提供了一个集中的窗口。

2.1 钱学森的战略建议与“电动汽车关键技术研究”国家科技攻关项目的首创

20世纪90年代初,国家启动了新能源汽车研发的先行探索,时任中国科学院学部主席团荣誉主席钱学森院士于1992年8月向中央致信,钱学森在信中提到“我国汽车工业应跳过汽油柴油阶段,直接进入减少污染的新能源阶段”“现在美国、日本及西欧都在发展蓄电池汽车,我国也不应该等待,要立即制订蓄电池发展计划,迎头赶上,力争后来居上”“所以国家多组织力量,中国有能力跳过一个台阶,直接进

入汽车的新时代”^[13]。信中的建议蕴含着钱学森对国内外技术、政治和经济的深刻洞察(见图1),在国际层面钱学森敏锐地捕捉到了发达国家蓄电池研发的动态,预判新能源汽车将引发全球汽车产业秩序的重构;国内层面他又基于对未来汽车规模会对环境造成严重影响的预测,结合相关科研人员从事电动汽车技术研究的实际情况,向中央提出国家应组织力量发展电动汽车以提前进入新能源阶段的战略建议,敏锐地预测出了中国新能源汽车的发展路径。

实际上钱学森的建议与1992年国务院发布的《中国环境与发展十大对策》中“防治工业污染,改善能源结构”的政策导向形成了一定的共振^[15],虽然对策中并未提到“新能源”“电动汽车”,但强调了要因地制宜开发和推广清洁能源。这一建议对当时还处在燃油汽车工业体系完善中的中国来说极具前瞻性,站在今天去看,规避传统燃油汽车技术的代际鸿沟,抢占尚未形成垄断格局的电动汽车技术和新能源制高点无疑是正确的做法。

钱学森独具科学理性与政策前瞻的战略思维,使得建议迅速得到了中央的重视和响应。时任国务院副总理邹家华回信(如图2)^[14]并批复将电动汽车列入1992年“八五”国家重大科技攻关计划(1991—1995)中,项目命名为“电动汽车关键技术研究”,由国家计委科技司具体推动落实,由中央财政出资总共1500万元,重点用于电动汽车的制造研究,由中国汽车工业总公司牵头,清华大学相关院系以及第二汽车制造厂等国内有关企业、研究所共同承担。其中中国汽车工业总公司(简称中汽总公司)是国务院于1992年2月批复成立管理汽车工业直属单位的经济实体,作为衔接政府和企业的桥梁和纽带,这种相当于“既当裁判员又当运动员”的政企结合模式并不利于汽车市场的长期发展,于是1993年10月国务院又做出决议,把汽车行业的管理职能从原单位划分出来,不再由中汽总公司承担,而是交给新成立的机械工业部汽车工业司来负责执行^[16]。在缺乏汽车行业专业指导和政府管理部门的情况下,国家起初决定电动汽车攻关由中汽总公司牵头是较为合理的,在探索的早期阶段能起到组织和协调研发力量的作用。这项任务开创了国内电动汽车研制国家项目的先河,是其在国家重大科技计划中的首次出现,从此电动汽车的研究工作初步进入了有组织、有领导的阶段。

2.2 “八五”时期(1991—1995)我国电动汽车技术研究的兵分两路与发展概况

1992年“八五”国家重大科技攻关计划中的电

邹家华副总理：

在这封信里我想提一个建议。我国汽车工业应跳过汽油柴油阶段，直接进入减少环境污染的新能源阶段。今年我国汽车生产将达65万辆，到下个世纪20年代10年代估计将达1000万辆，保护环境将是十分重要问题。现在美国、日本、西欧都在组织各自技术力量开发高功率蓄电池，计划开发高功率蓄电池汽车。

在此形势下，我们决不应再等待，应立即制订高功率蓄电池汽车计划，迎头赶上，力争后来居上！

这是有可能实现的。不久前广东中山市中标高功率蓄电池中试基地，说明我国高功率蓄电池汽车现在就可着手开发。而这种能源的小汽车一次充电的行程已远大于高功率蓄电池汽车一次充电的100公里，可达250-300公里，是可以进入实用的。外

国也在同样阶段，并不比我们领先多少。

更先进的蓄电池我们也有力量研制。例如哈尔滨工业大学就有由王纯三教授任总经理的珠海益士文化电源开发中心，他们正在研究汽车动力新电源。

所以国家应组织力量，中国有能力跳过一个台阶，直接进入汽车的新时代！

以上如有不当，请批评指教。

此致

敬礼！

钱学森
1992.8.22

图1 1992年8月22日钱学森给国务院副总理邹家华的建议信^[14]

Figure 1 Proposal letter from Qian Xuesen to Vice Premier of the State Council Zou Jiahua on August 22, 1992^[14]

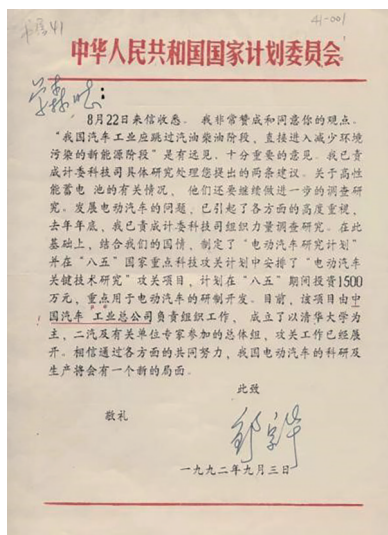


图2 1992年9月3日邹家华的回信^[14]

Figure 2 Reply from Zou Jiahua on September 3, 1992^[14]

电动汽车项目是电动汽车开展组织化科研的起步阶段，计划包括电动轻型客货汽车总体设计及试验研究、电动轻型客车制造技术及运行试验、电池研制、驱动电机及其控制器研制、整车微机监控系统研制等11个子项目，与“八五”时期国防科工委推进下中美合作的军用技术转民用、共同研制纯电动大客车实际构成了不同的研发局面^[17]。

2.2.1 实验室阶段的技术验证与样车试制

作为电动汽车关键技术研究的主要承担单位，清华大学发挥了关键作用，在电动汽车整车设计、电

池及电池能量管理、车用稀土永磁电机及调控系统研制、试验性能与参数匹配方法等方面取得了进展。1994年在攻关成果基础上研制的16座电动轻型客货车最高时速为80 km，铅酸蓄电池能量比为40 Wh/kg，一次充电续航里程大于120 km，最大爬坡度超过15% (8.5°)，整体车型在原有汽车底盘和车身基础上进行改造而来，研制出的汽车在校内成功长期试运行^[18]。天津市汽车研究所承担的“电动汽车总体设计研究”子项目则以华利微型厢式货车为基础，在历时4年的研发中重点攻克了与电力驱动相关的技术难题，包括精准确定车身总成和部件的具体参数以及相关布局的优化，团队研制出的3辆微型电动汽车做到了电力驱动系统（电机、电控、蓄电池等）参数与整车间的协调匹配，总体布局基本合理，电动汽车的实际测试数据如下^[19]：①三辆电动汽车分别以板式铅酸电池、管式铅酸电池以及镍镉电池供能；②测试的最高车速>70 km/h；③一次充电续航里程>94 km (40 km/h车速时) ④爬坡度>20% (11.3°)；⑤车外加速噪声比原车低13 dB。三辆车在1996年4月顺利通过国家科委工业科技司、天津市科委、中国汽车技术研究中心、清华大学机械学院等单位专家的联合鉴定，认为微型电动汽车的开发和研制是成功的，同车型中总体水平居国内领先^[20]。

在国内大学、车企和科研院所的攻关下，北京、上海、天津、珠海、香港等地研制出的样车都具备了

一定水准,进行了路试,但由于技术限制,成品维持在实验室阶段,基本在现有同类燃油车型的结构和基础上重新改装设计^[21]。从另一个角度看,当时这一技术路线的探索实际表明了我国在缺乏完全自主研发电动汽车能力的情况下,跨车型进行电动汽车的部分技术迁移和工程实践是可行的。这种以整车集成需求为导向,反过来推动驱动电机、电控系统及储能电池等关键子系统的研发和适配,然后再借助微型车、中型车这类较低复杂度的车身载体,逐步实现电动汽车基础技术体系的可行性验证有利于推广到其他车型上。

2.2.2 中国第一辆电动大客车“远望号”始末

“八五”时期除了国家计委推进下1992年由中汽总公司牵头、清华大学等单位承担电动汽车研究课题外,1990年在国防科工委的推动下,由中国远望集团牵头、北京理工大学为主负责技术,国防科技大学、河北胜利客车厂及北京市电车公司联合参与了对电动大客车的调研论证,确定要共同研制大型电动客车^[22]。当时美国、法国、日本等发达国家均在进行电动汽车整车和关键技术的研究,并已分别开展了小规模的市场应用,1991年美国3大汽车公司(克莱斯勒、福特和通用)签订协议成立了先进电池联合体(USABC),计划在1991—1995年间投入资金研发镍氢、钠硫、锂聚合物和锂离子等高能电池技术,同年美国电力研究院加入,并在第二年决定共同研发50辆电动货车以满足城市货运需要^[23]。

1992年我国电动大客车项目决定与美国国防部进行合作,其中动力系统、电机控制器、变速器和充电机由美国提供,定价4万美元一套,我国则负责开发电动汽车车身和底盘和系统集成^[24]。1994年项目正式启动,由北京理工大学的孙逢春担任该军转民项目的总工程师,经过近两年艰难攻关,在1995年成功研制中国第一款纯电动大客车“远望号”样车(YW6120DD)并顺利路试^[25],如图3^[26]。客车最大乘员52人,采用密封免维护铅酸电池组,驱动电机最大功率172 kW,最高车速80 km/h,续驶里程150 km,各项指标达到国际同车型先进水准,改变了我国没有大功率交流驱电动大客车的局面,该项目于1998年获国防科工委科技进步二等奖^[27]。

后来该车得到了香港中华电力公司的大额采购订单,但遗憾的是美国公司得知我国打算将研发出的电动客车商业化后,转而将供货价格从4万美元提升到了10万美元,高昂的成本使得项目合作不得不中断,香港公司的订单也被迫取消^[28]。关键核心



图3 “远望号”电动大客车^[26]

Figure 3 “Yuanwang” electric bus^[26]

技术的缺乏使得我国在电动客车的技术合作中处于劣势一方,这也是世界上发展中国家在技术追赶的初期普遍会面临的结构性困境,其在基础研究投入、高端人才培养和产业链完善等方面往往存在短板,也警醒我们要想在国际技术合作中不受制于人,就必须提高自立自强、自主创新的能力。

“远望号”项目的挫折也使得孙逢春团队意识到在未来的发展中必须更加重视核心技术的自主创新与突破,团队由此转向自主技术攻坚,于“九五”时期成功研发出了自主知识产权的电机和电控系统,能效比取得进步。

2.3 “九五”时期(1996—2000)我国电动汽车的研制和发展概况

“九五”时期,国家科委继续重视电动汽车的技术攻关,加大财政投入,继续将电动汽车研发作为“国家重大科技产业工程项目”,主要开展电动概念车(含相关技术研究)、电动改装车开发、试验示范区建设、运行机制和政策法规及技术标准的相关研究,同时逐步推动电动汽车样车在社会公共交通系统的试运行^[3]。

2.3.1 研制工作多元推进,电动汽车关键技术和燃料电池汽车取得进展

该阶段我国电动汽车技术研究的主要趋势为从电动汽车工程样车的技术可行性验证逐步过渡到向电动汽车动力电池、电动机、车身设计等关键技术的突破和制造,拓展和消化实验室阶段积累的技术成果,并开始初步向标准化和市场化探索。在技术进展方面,在国内车企、科研机构、大学等研制单位的参与下,顺利完成了纯电动轿车的概念车研制、电动改装车试制和小批量生产、小型镍氢电池和锂离子电池开发及其主要原材料国产化水平的提升,并进一步开展了混合动力型电动汽车和燃料电池电动汽车及燃料电池技术的研究开发^[29]。

这一时期国际上在进行纯电动汽车和混合动力电动汽车研发的同时,多国还将燃料电池技术视为未来新能源汽车发展的重要方向,其能不经燃烧,直接将燃料的化学能转化为电能,过程不受卡诺循环的限制,因此能量转化效率要高于普通电动汽车和传统燃油汽车^[30]。其中质子交换膜燃料电池(PEMFC)因其高效能和零排放等特性被国际学界认为是电动汽车理想的动力解决方案,美国和加拿大此时均已生产出了采用质子膜燃料电池的先进燃料电池电动汽车样车^[31]。我国也在“九五”时期布局,将“电动汽车概念车驱动系统研究”“燃料电池轻型客车研制”“电动汽车质子交换膜燃料电池”等列入国家和中国科学院重大科技攻关项目。在科技部(前国家科委)和中国科学院的组织与支持下,中国科学院、清华大学、东风汽车集团等单位针对电动汽车关键技术和燃料电池汽车进行攻关。清华大学研制的EV6460N电动轻型客货车最高时速90 km/h,一次续航里程120 km,最大爬坡度12.3%,加速时间(0~40 km/h) < 12 s,在广东地区高速公路上可以70~80 km/h车速连续行驶1 h以上,电机和斩波器

运行稳定^[32]。在混合动力电动汽车和燃料电池汽车研制上清华大学也取得了进展,推出了混合动力轻型客车和燃料电池电动游览样车。此外中国科学院大连化学物理研究所、中国科学院电工研究所和东风汽车公司共同研制了我国首辆具备自主知识产权的燃料电池轻型客车,客车最高时速60.6 km/h,最大爬坡度18%,(0~40 km/h)加速时间22.1 s。客车使用的交流异步电机全数字矢量控制驱动系统由中国科学院自主研制,主回路采用智能模块、迭层结构及水冷方式,丰富了我国燃料电池电动汽车自主研究工作的技术方案和工程实践^[33]。

2.3.2 立足研发实际,建立电动汽车国际交流的窗口

为了更好地融入世界汽车工业新技术的发展趋势,打开电动汽车国际交流与合作的窗口,在1996年举行的北京国际电动汽车展示会上,我国包括国防科工委、机械工业部、中国科学院、清华大学、中国航天工业公司即从事汽车制造的相关工厂等单位首次就电动车辆领域的技术成果面向世界集中展示,如表1^[34]。

表1 1996年北京国际电动汽车展会我国电动车辆成果参展概况^[34]

Table 1 Overview of China's electric vehicle achievements at the 1996 Beijing International Electric Vehicle Exhibition^[34]

参展单位	主要展品
国防科工委电动汽车管理委员会	YW6120DD电动大客车、特种工业电动车
中国航天工业公司	EV样车
中国科学院	轮式电动车、电动三轮车、电动摩托车、电动助力车、电动自行车、单体钠硫电池、动力型电池、快速充电器
北京有色金属研究院	电动汽车
清华大学汽车工程系、计算机科学与技术系、精密仪器与机械学系	电动轻型客车、太阳能赛车 电动车剩余电量计、电池管理系统、智能充电机 电助动车、电动轮椅车
郑州黄河电动车制造厂	电动牵引车、多方向电动叉车
中国科学院上海硅酸盐研究所	单体钠硫电池
中国船舶工业总公司第四八一厂	电动车用铅酸蓄电池
机械工业部北京机电研究所	电动汽车智能化快速充电系统
国营第755厂	镍镉蓄电池、氢镍蓄电池、锌银蓄电池、铁镍蓄电池
广东益威电动汽车有限公司广东粤海汽车改装厂	EV6460N电动轻型客车
无锡市爱神电气自行车厂	春星电动自行车

从参展信息可以发现我国这一时期在电动汽车研发主体和技术路径的多样化,即国家和地方共同参与,整体聚焦于电动汽车的核心技术电池和整车集成两大类,并对充电技术、电池管理等进行了研究。除民用领域的电动车辆,如中国科学院研制的多轮电动车以及清华大学研制的电动轻型客车和太阳能

汽车等(图4),还有国防科工委和相关制造工厂展出的工业电动车和电动叉车等,将电动汽车技术拓展应用到了特种车辆领域^[35]。值得一提的是当前我国新能源汽车市场主流品牌之一比亚迪的创始人王传福曾在表1中参展单位的北京有色金属研究院学习深造,王传福硕士毕业后留院工作,1993年研

究院派王传福出任深圳比格电池公司的总经理,1995年王传福创办比亚迪公司。

为了进一步增强国际交流与合作,国内相关研究单位在政府部门的组织和推进下参与了1997年12月在美国举行的第十四届国际电动车辆年会,出席会议的代表有81%来自欧美国家,亚太地区占19%,帮助我国人员学习和了解国外先进电动汽车技术的同时,为后续国际合作和运营示范拓宽了渠道^[36]。1999年10月,在电动汽车技术处于世界领先的美国通用公司首次向中国科学院捐赠了一辆雪佛兰S-10电动皮卡进行研究与开发,这辆车也成为北京市第一辆获得正式牌照能在街头行驶的电动皮卡^[37]。



图4 1996年中国科学院展出的电动多轮车和清华大学展出的太阳能汽车^[35]

Figure 4 Electric multi wheeled vehicles exhibited by the Chinese Academy of Sciences and solar powered vehicles exhibited by Tsinghua University in 1996^[35]

2.3.3 电动汽车标准体系研究与首个国家电动汽车试验示范点

伴随着世界汽车工业技术的迅速发展,国际上已开始制订新能源汽车的标准体系,而尚未产业化的电动汽车并不能简单地在原有内燃机汽车体系上进行调整,除部分共性指标外,还需开展整车及关键技术专门标准体系的研究。1989年中国电工技术学会电动车辆研究会提出电动车的发展要有统一的标准,组织了中国汽车技术研究中心、长春汽车研究所等单位参与调研论证。“九五”时期我国政府结合电动轿车技术研究和产品开发实际,按照国际先进标准,将部分标准化项目拆解到了科研课题中,以此达成技术研究与标准体系建构间的相互推进^[38]。在国家科委和国家技术监督局的指导下,中国汽车技术研究中心、中国科学院、清华大学等单位的专家共同拟定了16项急需标准,涵盖电动汽车整车、电

机、蓄电池与充电系统领域的技术指标与试验规范,虽不够完善和成熟,但在当时填补了我国电动汽车标准的空白,为其进行性能测试和安全评价提供了初步参考^[39]。

电动汽车的研制和推广必须将实验室和路面测试结合,国外在这方面起步较早,如1992年德国科技部便在吕根岛开展了为期四年的电动汽车运营实验。我国则于1998年建成了首个国家电动汽车试验示范区,地点位于广东省汕头市南澳岛,承担国内外电动汽车成品车的运行试验与示范,包括日本丰田、美国通用电动汽车以及国内自行研发改装的纯电动汽车,围绕公务、出租、公共出行等用途进行示范运营,运行中所采集的数据被用于电动汽车性能的调试和改进,积累的经验也能用于其他城市探索电动汽车的市场化^[40]。

2.3.4 电动汽车研究有待突破的关键技术难点和此时我国产业化条件不足的原因

(1) 电动汽车技术研究和推广有待解决的问题

不同于燃油汽车,电动汽车蓄电池单位重量所存储的能量少、充放电循环寿命短,这是限制其发展的主要障碍。从表2可以发现这一时期国际上实现小规模量产的商品化电动汽车主要采用的是铅酸和镍铬电池,正在研发中的高性能电池如锂离子电池的最大功率也不到150 kW,这就意味着电动汽车充满电后的续航里程与传统内燃机汽车差距较大。根据清华大学汽车研究所所长陈全世的研究,当时一辆重1 500 kg的汽车,满载50 kg汽油续航可达600 km,而同样重量的电动汽车充满电一次性只能行驶不到200 km,并且电池和充换电的成本十分高昂,在续航里程上电动汽车显得捉襟见肘^[41]。因此,高性能和长循环寿命的动力蓄电池是各国推广电动汽车最大的技术难点。

除了高性能动力电池外,驱动电机及控制系统、充电和电池管理技术、车身结构设计、电子系统、整车集成等以及成本控制也是该时期有待解决的技术和经济难题。美国、日本等发达国家由于具备雄厚的经济实力,在电动汽车的研发中往往较少考虑成本,以通用公司1996年推出的最具代表性的纯电动汽车EV1为例,其研发和推广总计投入超10亿美元,单台制造成本大于10万美元,性能上已达到世界领先^[42]。但因铅酸电池技术限制,EV1需要4—5年就更换一次电池,而同期主流燃油车的市场价格在2万美元内,最终EV1因成本失控和市场接受度低在1999年停产,并在21世纪初召回销毁。

表 2 20 世纪 90 年代发达国家几种小规模量产的电动汽车数据对比

Table 2 Comparison of data on several small-scale mass-produced electric vehicles in developed countries in the 1990s^①

国家	法国	美国	美国	意大利	瑞士	日本	日本
出厂时间	1996	1996	1997	1992	1993	1994	1997
生产厂家	标致、雪铁龙	通用	通用	菲亚特	埃索罗	丰田	丰田
电动汽车型号	P106SAXO	EV1	S-10	Panda Elettra2	Esoro E 301	RAV-4	Plus
座位	4座轿车	2座轿车	2座载货汽车	2座轿车	4座轿车	5座轿车	4座轿车
整车整备质量/kg	1 088	1 350	1 682	780	720	1 540	1 620
满载质量/kg	1 388	1 550	2 114	—	1 000	1 815	1 840
最高车速(km/h)	100	120	120	85	120	125	160
续驶里程/km	75~85	122~144	80	100	100~150	215	220
蓄电池类型	镍镉	铅酸	铅酸	铅酸	镍镉	镍氢	镍氢
电动机	—	交流感应	交流感应	交流异步	交流异步	永磁同步	永磁同步
驱动方式	前轮驱动	前轮驱动	前轮驱动	前轮驱动	前轮驱动	前轮驱动	前轮驱动
充电时间/h	—	2	2	—	4~6	6.5	8

(2)20 世纪 90 年代我国电动汽车未能实现商品化的原因

在国家科技计划的推进下,经过两个五年的艰难攻关我国取得了许多基础性的研究成果,改变了无法独立研制电动汽车的局面,并锻炼了一批开展技术攻关和实践教学的研究队伍,为后续电动汽车技术和产业的发展积累了教训和经验。但和国际同期对比,我国的样车数据要想超越还存在着距离,毕竟发达国家这一轮研制电动汽车的热潮更早于我国,始于 20 世纪 70 年代石油危机后^[43]。当时我国未能将电动汽车从科研层面转换成市场消费的产品,最主要的原因应该是社会发展的客观条件有限,我国是一个发展中国家,20 世纪 90 年代末国民经济发展水平还不高,国家研发投入和居民实际消费能力都相对有限,普通汽车对于寻常公众来说还是一件稀有的高档奢侈品,更不用说当时续航更短、研发和制造成本却高出数倍的电动汽车。从实用的角度看,这一阶段完善燃油汽车工业体系,以内燃机汽车为基础逐步发展节能和环保技术是更符合国情的做法,而在电动汽车领域的前瞻科研布局也说明国家领导人对于汽车的新能源和新技术是重视的。

从研发和组织的角度去看,除了国际上未能解决的共性技术难题如电池续航、充电困难等,还可以分析出以下原因:①社会研发力量分散化,缺乏形成合力的技术路线标准和行业体系指导。各地研制出的电动汽车样车型号和技术方案不一,存在较多低水平和重复性的工作。②科研攻关存在周期性,未

有市场竞争机制的引入。早期研究计划起到指路的作用,但在后续阶段缺乏成果转化的动力和条件。

③燃油汽车技术路径和利益固化,几大燃油车企难以投入较多精力和资金从事短期无法取得收益和存在风险的新技术。④缺乏专门从事电动汽车研发、生产、运营等一条龙服务的新能源汽车集团公司,单纯依赖国家有限的资金投入难以带动产业链的发展。⑤专业人才队伍有待建设,有关电动汽车科学与技术的人才培养暂无法支撑其产业化运转。而这些问题也在进入 21 世纪后的“863 计划”中逐步得到了重点关注,新能源汽车进入了一个新的发展阶段。

3 从科研攻关到产业布局:“863 计划”推动新能源汽车产品开发与应用推广

在 20 世纪末的技术攻关中,国家科技计划发挥了重要作用,各地陆续进行了纯电动汽车、混合动力电动汽车和燃料电池汽车的技术验证、试制和试验运行,进入新世纪,我国以“863 计划”为引导,继续完善顶层设计以推动电动汽车的发展。

3.1 “十五”时期(2001—2005)“电动汽车重大科技专项”(“863 计划”)的实施

20 世纪 80 年代,前沿高技术研究成为各国综合国力竞争的重点领域,美国提出“星球大战”计划、欧共体推出“欧洲信息技术研究和发展战略计划”和“尤里卡计划”。为了跟踪世界科技发展趋势,推动国家高技术研究与发展,经中央批准,我国于 1987 年

① 互联网公开信息统计整理

启动国家“高技术研究发展计划”(简称“863计划”),此后“我国高技术领域的研究进入一个以国家规模有计划有组织发展的新阶段”^[44]。

跨入21世纪,全球汽车工业迎来新一轮技术升级,主要发达国家的汽车产业竞争日益激烈。为了更快融入世界汽车工业的发展浪潮和抓住加入世界贸易组织的战略机遇,同时面向更严峻的环境保护和能源安全需求,“十五”时期经国务院科教领导小组批准,科技部于2001年10月正式启动“电动汽车重大科技专项”(列入“863计划”),由曾在德国奥迪汽车公司长期任职的万钢博士担任首席科学家和第一届专家总体组组长^[45]。“专项”由国家财政投入8.8亿元,加上地方配套及企业共计投入24亿元,首次确立了“三纵三横”的研发布局,即以燃料电池汽车、混合动力汽车和纯电动汽车这三种车型为“三纵”,以多能源动力总成、驱动电机和动力蓄电池这三项电动汽车共性关键技术为“三横”,并通过整车技术引领、关键零部件配合、官产学研结合的模式形成我国新能源汽车的总体技术路线^[46]。计划同时确立项目总体组负责制和监理制的组织管理模式,成为当时国内电动汽车研发路线和组织模式的一项重大创新^[47]。“三纵三横”确立的研发布局走在了世界前列,是当时国际上汽车发达国家对新能源汽车产业和技术部署的汇总,为后来我国新能源汽车的发展打开了崭新的局面,并在“十一五”时期继续以“节能与新能源汽车重大项目”推动前进。

3.1.1 “863计划电动汽车专项”相较“八五”“九五”时期电动汽车研究的特征与创新之处

2001年中国加入世界贸易组织(WTO)。过去通过跟踪和引进技术来发展经济的措施不再适应新形势下的发展需求,按照WTO规则我国进口关税将进一步下降,以汽车为例,我国需在2006年将进口汽车关税降到25%,并在2005年消除汽车进口配额许可,这就意味着全球主要汽车公司的先进产品和技术都可能将对国内燃油车市场造成冲击,但这也是机遇,要想加强本国市场经济发展自力更生的能力,缩小产业差距,我国就必须突破发达国家构筑的技术专利壁垒。因此,进入21世纪的“863计划”明确提出“自主创新,重点跨越,支撑发展,引领未来”的指导方针,要求在突破高技术的同时把提升产业竞争力作为重大战略目标^[48]。从国情出发,在燃油汽车赛道进行赶超已十分困难,并不理想,而在新能源汽车领域,各国产业化进程尚未拉开明显差距,“专项”正是在这一综合考量下推进。

“863计划电动汽车专项”基于产业化目标开展,采用“官产学研”四位一体的模式:政府制定规划、提供启动资金,企业作为技术市场主体负责整车研制、生产和销售,高校和研究机构负责基础研究、人才培养和关键核心技术攻关,并和企业保持整车研制的联动。相较过去十年的研制情况,“专项”继承联合攻关经验的同时促成了更多产业力量的参与,并配有第三方进行监督,以形成新能源汽车产业发展的合力,如图5,其主要特征和创新总结如下^[49]。

(1)研究目标更明确,技术布局系统化。“三纵三横”的开发布局确保了技术的协同推进和资源优化配置,有效避免过去重复建设和研发分散的情况。更加注重技术工程化和产业化,目标是开发出满足市场需求的电动汽车产品。

(2)整车牵头、零部件跟进的项目组织模式,实行全过程监理和质量控制。燃料汽车、混合动力汽车和纯电动汽车研制分工明确,如燃料电池及客车和纯电动客车依托清华大学、北京理工大学、上海汽车集团、同济大学等,混合动力项目由东风汽车、中国第一汽车集团、奇瑞等车企共同研发。项目实施全过程监理,以确保项目质量、进度和资金使用规范,突破了原先科研管理的封闭性。

(3)引入市场机制,培育产业化基础。“专项”加大了与企业的合作,推动产学研结合下电动汽车战略联盟的形成,推动了一批专门从事电动汽车研发和制造的公司成立,鼓励企业技术创新和产品优胜劣汰,研发面临内外环境的竞争压力。

(4)实行“人才、专利和技术标准”三大战略,积极开展国际合作。“专项”不局限于国内,从全球范围遴选行业优秀人才,引进国外先进技术和管理经验同时重视本土人才培养,重视知识产权保护和利用,并加强了此前不足的标准体系建设。

3.1.2 “三纵三横”奠定技术产业化基础,电动汽车逐步向产品化过渡

作为第一个新能源汽车领域的国家高技术研究发展计划,“专项”初步建立了一套紧密联系的产学研技术联盟,并且同步推进政策、法规和相关标准体系的建设。立项初期,跟进国际趋势,燃料电池汽车受关注较多,研发难度也较大,其次是混合动力和纯电动车型,21世纪初美国通用EV1纯电动轿车的召回和销毁使得各国发现蓄电池技术短时间难以突破,更高效的氢燃料电池汽车便成为国际研发的热门,美国、日本、加拿大均在燃料电池技术上投入了较多研发资金。

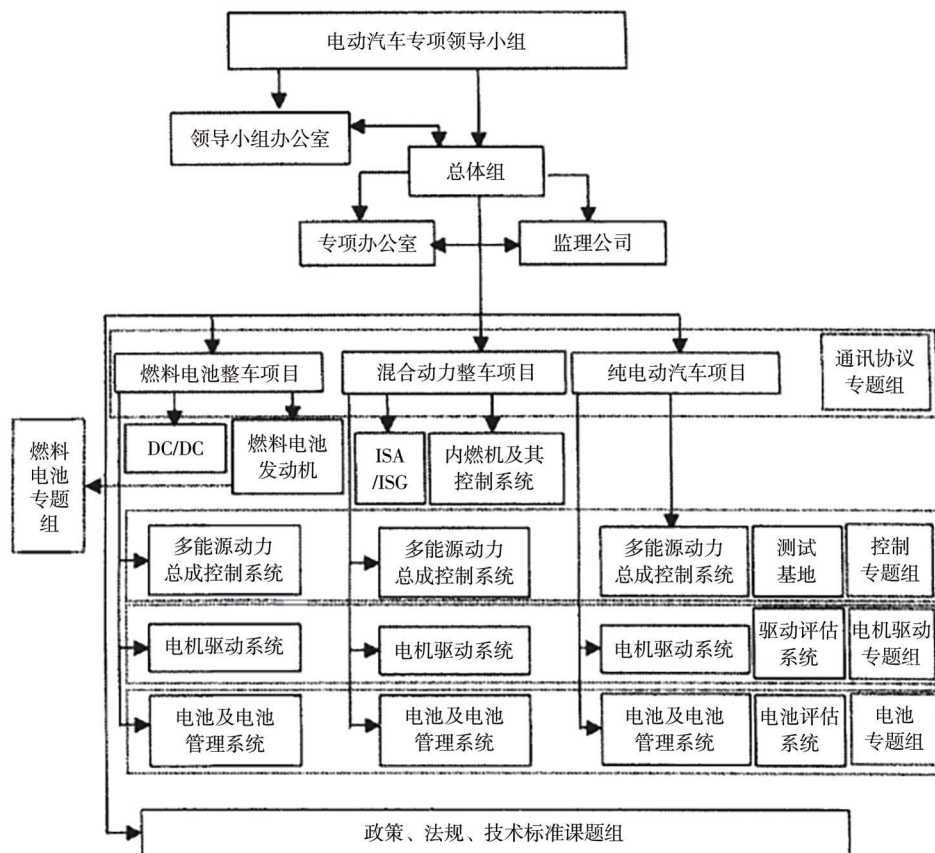


图5 电动汽车重大专项提出的“三纵三横”研发布局与管理组织模式^[49]

Figure 5 The "Three Vertical and Three Horizontal" R&D layout and management organizational model proposed by the Major Special Project for Electric Vehicles^[49]

技术路线的确立为研发提供了指引,整车制造方面上海汽车集团和同济大学等研发的“超越”系列燃料电池汽车、北京清能华通公司研发的燃料电池城市客车样车的技术指标接近国际先进水平,混合动力汽车则具备小批量生产能力,东风生产的混合动力电动客车首批成功售出15辆,在武汉公共交通长期运营,做到了节油30%以上,排放减少30%,纯电动汽车初步实现了量产和市场化,北京理工大学联合企业研发的4种纯电动大客车车型近40辆公交车投入北京市公交电动汽车示范车队运行,天津清源公司等开发的搭载锂离子电池的三种纯电动轿车于2005年向美国出口112辆^[50]。在关键技术领域,镍氢电池、驱动电机、电子控制单元等核心部件取得突破,国家标准完善到了26项,总共申请国内外专利796项,一批产业化的中试基地及中试生产线得以建立,到了“十五”末期,北京、武汉、株洲等7个城市均开展了电动汽车小范围的商业示范运营^[51]。此时我国的电动汽车整车已结束了无法进入市场和商品化的历史,电动汽车“专项”在整车技术和零部件研发等方面取得了重大突破,为后续产业化发展

搭建了良好的平台^[52]。

3.2 国家战略指定方向,“863计划”和行业规范塑造电动汽车发展有利环境

2006年2月国务院发布《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》,首次将低能耗与新能源汽车定为交通运输领域的优先发展主题^[53]。科技部也在2006年12月继续启动“863计划节能与新能源汽车重大项目”,将清洁燃料汽车和电动汽车(包括燃料电池汽车、混合动力汽车和纯电动汽车)统称为节能与新能源汽车,由清华大学欧阳明高教授任专家总体组组长,继续坚持“三纵三横”的技术研发布局,支持上一轮的动力系统技术平台成果继续向整车车型和市场推广,并通过较大规模的示范推广试点提升电动汽车产品化水平^[54]。国家发改委则在2007年迅速出台《新能源汽车生产准入管理规则》,这是我国首部针对新能源汽车生产准入规范性的专项法规,一方面能有力护航国内新能源汽车产品的有序发展,另一方面能对境外新能源汽车产品导入施加合理管控,确保其符合本土市场规范化要求。这些来自国家宏观层面的整体科学技术规划

纲要、新一轮新能源汽车的研发计划及生产规范为产业培育提供了路线方向和制度保障。

3.3 重大国际活动助力电动汽车市场培育,绿色奥运点燃产业化契机

2001年北京申奥成功,为了履行向国际奥委会和世界人民作出的“绿色奥运、科技奥运、人文奥运”的承诺,按照奥组委规定我国将采用一批新能源汽车作为赛事用车,实现奥林匹克公园核心区内零排放,并确保新能源汽车的环保性能指标达到发达国家的先进水平。具体要求为2008年北京市90%的公共汽车和70%的出租车将以清洁燃料作为动力,并且用于奥运会的新能源客车必须完全在国内生产制造^[55]。奥运会产生的需求订单为我国电动汽车行业提供了巨大的发展资金,是我国自主研发电动汽车以来大规模的一次市场验证。

为了实现这一目标,面向世界展示我国新能源汽车技术的最新进展,多个单位参与了奥运会电动汽车的研制工作。北京理工大学作为北京市科技奥运电动汽车重大专项总体组,负责期间电动汽车的应用系统工程,孙逢春为项目首席科学家。北理工与京华客车公司合作开发的50辆纯电动大客车在国际上首次大规模使用新型锰酸锂离子电池系统,客车的异步交流电机驱动系统由中国科学院电工研究所和株洲时代集团研制,汽车核载50人,最大爬坡度20%(11.3°),等速续航180 km,整车外观、内部及功能设计具备观赏性和乘坐舒适性^[56]。东风汽车和一汽集团生产的25辆混合动力客车用于奥运公交专线,奇瑞、长安等企业研发的75辆混合动力轿车编入出租车队运营,此外上海燃料电池汽车动力系统有限公司、同济大学等共同开发的20辆燃料电池轿车用于赛时公务用车,清华大学、北汽福田开发的3辆燃料电池客车在公交线路示范运行等等,共有595辆节能与新能源汽车投入运营,累计行驶370万千米,载客440多万人次^[57]。后来在2010年上海世博会中,我国研发的新能源汽车再度规模亮相,借助国际公开活动的窗口,成功展示了连续两个“863计划”支持下电动汽车领域的科技成果。

经过多轮国际公共活动的呈现,新能源汽车受到了社会大量关注,这让车企也看到了汽车工业新的发展动能和趋势,在国家意志展现的背景下坚定了发展新能源汽车的信心。2008年比亚迪推出首款量产插电式混合动力电动汽车F3DM,其在D3燃油车型基础上改进而来,能在纯电动和混合动力两种模式之间切换行驶,不依赖专门的充电站也可实

现电能的补充,纯电驱动下续航100 km,混合驱动下续航500 km,拉开了城市民用电动轿车市场的帷幕。

4 产业突破:政策和市场双驱动下走向产业化的中国新能源汽车

实际上经过两轮“863计划”支持的发展,国内生产的电动汽车已具备了初步产品化所需的关键技术指标,“十一五”期间众多以整车研制为载体、动力系统研究为核心的科技攻关项目取得了良好成果,建立起15个涵盖新能源汽车整车、关键零部件及其共性技术的研发中心和国家重点实验室,形成48个电动汽车研发平台,已有350余款新能源汽车车型列入目录公告^[58]。而前期公共示范区的试验运营又为市场化积累了一定经验,再加上在北京奥运会、上海世博会等的成功亮相,新能源汽车已不断进入社会公众的视野,所缺乏的是更大范围的产业实践。此时如何让新能源汽车从国家政治任务中的试点推广扩展到更大规模的公共交通和民用私人领域成了产业化的关键问题,汽车作为规模经济的典型代表,生产和销售单位只有在达到了一定汽车销量后才能实现盈利,这意味着民间电动汽车的生产制造在成本和利润均衡点前将一直处于亏损状态,如何改变这一局面,国家陆续出台的各项产业政策支持 and 前期财政补贴提供了有效方案,为新能源汽车产业的发展注入了活力。

4.1 政策推广取得良好反馈,新能源汽车步入产业发展轨道

为了加速推进新能源汽车商品化,同时面对2008年国际金融危机引发的世界经济动荡和衰退,基于国际汽车工业的比较优势,我国将发展新能源汽车产业作为振兴经济的重点主题之一,进一步加强和细化了对新能源汽车的政策引导和保障支撑,推动其从公共交通领域和以政府、事企业单位为主导的示范试行拓展至社会较大规模的实际应用,有效刺激了市场需求以便为其产业化铺平道路。2009年1月财政部、科技部、国家发改委、工信部联合启动首轮“十城千辆”工程对新能源汽车进行示范推广和财政补贴,计划2010年开始每年选择10个城市,每个城市推广约1000辆新能源汽车,后续推广规模迅速扩大^[59]。同年国务院发布《汽车产业调整和振兴规划》,其中提到“实施新能源汽车战略”“电动汽车形成产销规模”等规划内容,制定了“50万辆新能源汽车产能和新能源汽车销量占乘用车销售总量5%左右”的具体目标^[60]。为了进一步推动新能

源汽车产品下沉到私人消费领域,在“十城千辆”工程的基础上2010年财政部等四部委发布《私人购买新能源汽车试点财政补助资金管理办法》,由中央财政进行购买补贴,确立了直接购买、整车租赁和电池租赁这三种补贴形式,例如插电式混动乘用车最高补助5万元/辆,纯电动乘用车最高补助达6万元/辆,地方财政则重点支持充电基础设施建设,并提出了预先补贴退坡机制,即车企取得规模效益后,补贴标准将适量降低以释放市场自主活力^[61]。2010年国务院将新能源汽车列入国家七大战略性新兴产业之一,可以看到这一阶段我国对于政策工具的选择及其效用偏向于提升新能源汽车的国家战略定位和增强产业参与者的信心,多个国家部委联动推进,将产业循环的环节打通,通过一系列措施为解决新能源汽车的产业化困境提供可靠保障。政策拉动研发、生产和消费的效应逐步显现,并在一定程度上倒逼或催化了电动汽车技术的快速迭代,成为我国新能源汽车产业发展的关键驱动力,新能源汽车市场规模迅速扩大。

在“十城千辆”工程结束后,2013年5月科技部部长万钢指出,到2012年年底我国25个试点城市已共推广各类节能与新能源汽车2.74万辆,其中纯电动车型推广最多^[6]。通过政策激励与市场推广的双重驱动,消费者对于新能源汽车的选购意愿及使用频率显著提升,而新能源汽车在实际运营中所产生的如续航里程焦虑、充电设施普及率不高、车辆智能化配置有待优化等问题也为企业后续的产品改进和市场策略调整提供了经验。从产业发展视角而言,新能源汽车已经驶向了产业发展的快车道,逐步迈向技术成熟与市场普及的新阶段。

4.2 产业规划和支持政策纵深细化,新能源汽车产业竞争力稳步提升

2012年6月国务院发布了第一个由工信部牵头编制的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》,此前关于新能源汽车的国家规划多从科技层面由科技部编制,例如科技部在同年发布的电动汽车科技发展“十二五”专项规划^[62]。从今天来看该产业规划具有里程碑的作用,其明确了纯电驱动的发展方向,从21世纪初将燃料电池作为电动汽车的重点发展车型,经过多轮实际研发和产业实践,发展纯电动车型在环境、技术和市场层面相比混动和燃料电池车型具备更多的有利条件和优势。同年11月党的“十八大”报告提出要把生态文明建设放在突出地位,将“绿色发展、循环发展、低碳发展”作

为生态文明建设的着力点^[63],而新能源汽车作为汽车工业绿色低碳转型的代表,其发展不仅是实现节能减排目标的重要途径,也是推动我国汽车产业技术升级和产业结构调整的关键。2013年我国启动了新一轮更大规模的新能源汽车推广政策,对于消费者购买新能源汽车继续给予高额补贴,随后国家推广新能源汽车的政策逐步延伸至环境保护、能源战略、市场推广、基础设施等多个环节和领域,财政补贴拓展到了电池、充电基础设施等方面。在推动新能源汽车市场形成自主造血的功能后,同时为了避免行业过度依赖补贴机制所产生的副作用,购买补贴机制优化并逐渐退坡,这也刺激了国内企业增加研发投入和提升产品质量来获得消费者的青睐。国家进一步放宽了新能源汽车投资的准入和购买限制,并通过各项立法与规划推动全国充电设施支持体系的建立,更多国内传统车企进入到纯电动乘用车的生产,美国新能源汽车品牌特斯拉的引入倒逼国内车企不断加快产品的更新换代,新能源汽车产业发展的良好态势也吸引了更多社会资本和互联网科技产业的跨界加入。

“十二五”(2011—2015)之后我国新能源汽车技术取得重大进步,动力电池性能和关键零部件的国产化水平大幅提升,电动汽车生产和制造成本下降,企业技术创新的脚步不断加快。宁德时代在车用电池领域以磷酸铁锂、三元锂电池为基础陆续研发了CTP(Cell to Pack)无模组电池、钠离子等高性能电池并布局固态电池,国家电网、特电投等企业参与形成充电及配套设备领域的上下游产业链,北京汽车集团有限公司、上海汽车集团股份有限公司、大众汽车公司等传统燃油车企加速转型,相继推出高端纯电车型,蔚来集团、理想汽车、小鹏汽车有限公司等新能源造车新势力的成立为国内电动汽车消费市场的发展注入了新的活力,同时互联网资本和科技企业的跨界入局进一步推动了新能源汽车的智造升级,开始融合无人驾驶、智能网联、车身一体化等新技术的新能源汽车取得了国内外消费市场的良好反响^[64]。

实际上除中国外,世界主要汽车工业发达国家德国、日本、美国等均对新能源汽车产业进行了不同程度的支持和投入。这些国家的研发实力和汽车产业实力雄厚,因此政府对新能源汽车产业的扶持除了出于环保和能源方面的考虑,更多是为了保持其在汽车产业的领先地位,从国情出发,我国则是将其作为绿色经济转型和汽车工业“弯道超车”的国家战

略。以欧洲地区为例,英法德等发达国家也采取了诸如购车补贴、税收优惠等激励措施,但由于其传统燃油车节能技术先进且市场成熟,汽车产业存在着长期的政策和技术惯性^[65],这种惯性短时间内难以解决,因此政策制定和实施更注重与现有汽车产业的协同和环境保护目标的实现,前期更多依赖于低碳能源战略和严格的碳排放法规来推动传统车企向电动化转型。欧盟委员会曾在2005年、2007年分别通过“关于能源研发的第七框架计划”和“新欧洲能源政策”,强调了低碳能源战略和完善排放法规的重要性^[66],德国在这个框架影响之下于2009年从国家层面提出发展电动汽车的计划,重点支持新能源汽车电动化车型的研发和市场推进,但直到2016年德国联邦政府才开始对消费者购买新能源汽车实行补贴政策,这与传统汽车产业是德国经济的重要支柱的国情是分不开的。

正是在我国连续多个国家科技计划的推进、不断完善的各项产业政策和迅速扩大的市场需求引导下,我国新能源汽车产业在动力电池、电机和电控等关键技术和整车制造工艺上取得了飞速进展,新能源汽车领域的专利申请数从1992年的空白上升到了2015年当年超过5 000件,2015年中国新能源汽车销量首次超过美国达到全球第一^[67]。从那一刻起新能源汽车正式开始实现世界范围的“东升西降”,深度改变了原有以西方为主的国际汽车产业格局,逐步形成了纯电主导、插电式混合动力跟进,燃料电池汽车技术补充这“三纵”车型的产业网络。这项成绩一直保持到了今天,2024年我国新能源汽车产量首次突破1 300万辆,作为持续10年的全球第一大新能源汽车产销国,当前我国已基本建成本土化的新能源汽车产业体系,关键零部件技术和原材料做到了较高程度的自主可控,未有明显被“卡脖子”的电动汽车整体技术处于国际领先水平。从最初只能研制出电动改装汽车到今天整体水平处于领先的新能源汽车,中国已走过了三十多年的艰难历程,实现了新能源汽车的从无到有和从有到优,这是我国科研人员、企业家和技术工人、消费者和政府等共同努力的实践成果,也对外呈现出了世界新能源汽车工业发展过程中的中国模式。

5 总结与思考

综上所述,我们可以看到中国的新能源汽车发展脉络已逐渐清晰,在这一历史进程中,技术创新迭代与产业升级的自然需求是重要的推动剂,但更关

键的是国家战略布局、国家科学技术研发体系和产业市场体系所形成的协同力量。中国始终坚持科学技术作为第一生产力的核心地位,在党的领导下通过系统性战略规划与组织动员,重视战略科学家的引领作用,凝聚各方科研力量推动关键科学技术领域的突破,实现了“两弹一星”“载人航天”等重大科学技术成就。

我国新能源汽车的早期发展正是在这种“举国体制”下运行,钱学森的建议使得电动汽车研发进入到国家组织科研攻关的阶段,在新技术探索初期,只有国家层面才能提供所需的科研条件,在20世纪90年代初步形成了大学、科研机构与生产企业合作攻关的模式,初期聚焦于样车试制和关键技术跟进,并在科技部门的指导和组织下参与国际交流与合作。正是有了这些前期探索,我国电动汽车研究在经验和教训中明白了自主创新的重要性。进入21世纪,新能源汽车发展进入到第二阶段,此时国际环境发生巨大变化,一是国际环保和能源安全主题进一步凸显,二是我国加入世界贸易组织,汽车贸易壁垒减少,取得机遇同时也将面临诸多风险,在燃油汽车领域赶超发达国家短时间难以实现,因此我国政府将电动汽车研发提高到国家高技术研究“863计划”的阶段,以更高平台集合更多专业力量,明确产业化目标推动电动汽车整车制造、关键核心技术攻关和示范运营,积极借助国际大型活动检验技术成果和积累运营经验。随着社会对新能源汽车的关注迅速增加,电动汽车经过多轮攻关,技术指标已具备产品化条件,国家又果断推行“十城千辆工程”《汽车产业调整和振兴规划》《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》等一系列产业支持政策和行业规划,完善顶层设计为新能源汽车落地推广和企业技术创新奠定良好的市场环境,不断提升企业和消费者信心,同时完善研发布局,逐渐构建起从基础研究到应用转化的完整创新链条,新能源汽车进入到市场快速发展的第三阶段,吸引了更多社会资金和人才投入的新能源汽车行业规模效应进一步增强,为走向国际化提供了支撑。总结经验,中国新能源汽车的发展经历了三步走:即科研攻关、产品开发与应用、政策扶持与市场催化,从中我们可以看到国家科技产业从追赶到突围,再到实现超越的成功发展模式。

中国新能源汽车发展的历史经验证明了重大科技成果的突破和其经济效益的扩大离不开顶层设计的战略眼光、科研体系的高效运转以及产学研用的阶段性深度融合。另外中国新能源汽车的崛起也并

非孤立现象,也是与外部环境中的全球能源转型、绿色经济兴起等形成共振的结果。在三十多年的发展历程中,中国逐步实现了电动汽车从技术跟进到自主创新的范式转换,进而在全球汽车产业链中占据关键位置,揭示出了科技与产业的互动规律,当国家战略需求、科研体系效能与市场化机制合理匹配时,不断进步的科技成果能从实验室加速走向产业化。在2025年3月份的政府工作报告会上,国务院总理李强就指出要充分发挥“新型举国体制”优势^[68],强化关键核心技术攻关和前沿性、颠覆性技术研发,同月底国务院国资委宣布进行整车央企的战略性重组,打造拥有全球竞争力的世界一流汽车集团,集中优势资源推进新能源汽车发展,既是对过去经验的总结,也是新形势下发展新能源汽车产业的创新举措。现阶段的新能源汽车向智能化和网联化方向纵深演进,其中纯电动车型和插电式混动车型在市场上占主要地位,燃料电池汽车的技术成熟度和产业化水平还有待提升,相信在“新型举国体制”和“双碳”目标等的指引下,以史为鉴,继承过去的经验与教训,整体新能源汽车的智能驾驶、智慧网联等先进颠覆性技术和燃料电池汽车的发展及产业化突破将持续推进。我国新能源汽车将继续保持快速发展态势,通过科技创新与产业生态更新为汽车工业的“换道超车”和建成世界汽车强国做出更大贡献,同时也为全球汽车产业的电动化和智能化转型提供丰富的中国方案和中国经验。

参考文献:

- [1] 习近平:新能源车是汽车强国的必由之路[J]. 专用汽车,2014(6):78.
- [2] 郑雪芹. 2024年国产汽车销量3143.6万辆[J]. 汽车纵横,2025(2):100-101. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1892.2025.02.024.
- [3] 张立国,宁国宝. 国内电动汽车发展综述[J]. 汽车工业研究,2006(12):30-33.
- [4] 牛英凯,任安波. 电动汽车产业发展简史[J]. 新兴科学和技术趋势,2024,3(02):197-206. DOI: 10.12405/j.issn.2097-1486.2024.02.008.
- [5] 黄艺苗. 2001年~2015年我国新能源汽车产业政策综述[J]. 汽车工业研究,2017(07):34-41. DOI: 10.3969/j.issn.1009-847X.2017.07.006.
- [6] 苗圩. 换道赛车:新能源汽车的中国道路[M]. 北京:人民邮电出版社,2024.
- [7] 外交部,国家环保局. 党中央国务院批准我国环境与发展的十大对策[J]. 石油化工环境保护,1992(04):62-63.
- [8] 雷斯斯. 中国汽车工业发展史[J]. 交通建设与管理,2009(2):99-101.
- [9] 桂俊松. 责任与担当:新中国70年汽车工业发展纪实[M]. 北京:机械工业出版社,2020:212.
- [10] 陈清泉,孙逢春,祝嘉光. 现代电动汽车技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002:7-9.
- [11] 牛英凯. 中国电动汽车产业政策演变的分期[J]. 广西民族大学学报(自然科学版),2015,21(03):29-34. DOI: 10.16177/j.cnki.gxmzzk.2015.03.006.
- [12] 中国电工技术学会电动车辆研究会(EVC-2)第二次年会纪要[J]. 电机技术,1989(02):49-50.
- [13] 《钱学森书信选》编辑组. 《钱学森书信选》(下卷)[M]. 北京:国防工业出版社,2008:670.
- [14] 吕成冬. 科学与忠诚:钱学森的人生答卷[M]. 北京:人民邮电出版社,2021:169.
- [15] 张坤民. 中国的环境政策[J]. 世界环境,1994(01):3-6.
- [16] 国务院. 国务院关于中国汽车工业总公司体制有关问题的批复:国函[1993]147号[EB/OL]. (1993-10-22)[2025-03-10]. https://www.gov.cn/xxgk/pub/govpublic/mrlm/201012/t20101217_63286.html.
- [17] 我国电动汽车关键技术研究结硕果[J]. 世界机电经贸信息,1996(14):24.
- [18] 陈全世. 电动汽车项目的研究现状和前景[C]//中国电工技术学会电力电子学会. 中国电工技术学会电力电子学会第八届学术年会论文集. 清华大学汽车安全与节能国家重点实验室,2002:3.
- [19] 任世源. 国家“八五”科技攻关项目:“电动汽车总体设计”通过鉴定验收[J]. 天津汽车,1996(02):2.
- [20] 我国电动汽车发展状况综述[J]. 机电新产品导报,1997(Z3):23-25.
- [21] 颜增品. 我国电动汽车开发一览[J]. 汽车与配件,1995(17):28.
- [22] 张承宁,孙逢春,祝嘉光. 发展我国电动汽车的对策[J]. 兵工学报(坦克装甲车与发动机分册),1996(02):12-17. DOI: 10.16599/j.cnki.1009-4687.1996.02.003.
- [23] National Research Council. Effectiveness of the United States Advanced Battery Consortium as a Government-Industry Partnership [M]. Washington, D. C.: The National Academies Press, 1998:10.
- [24] 龙九尊. 孙逢春和他的电动汽车[J]. 中国科技奖励,2009,17(1):51-53. DOI: 10.3969/j.issn.1672-903X.2009.01.026.
- [25] YW6120DD 远望电动客车[J]. 中国科技产业,1996(8):24-25.
- [26] 孙逢春. 电动汽车:21世纪重要的交通工具[M]. 北京:北京理工大学出版社,1997:43.
- [27] 勾宝利. 浅谈 YW6120DD 电动大客车的设计[J]. 城市车辆,1999(04):46-48.

- [28] 中国汽车报. 讲述40年,孙逢春:1995年我们造出了中国第一款纯电动大客车.[EB/OL].(2018-08-13)[2025-03-08]. <https://auto.ifeng.com/qichezixun/20180813/1222504.shtml>.
- [29] 王文伟,毕荣华. 电动汽车技术基础[M]. 北京:机械工业出版社,2010:21.
- [30] 李径定,罗智中,张立军. 质子燃料电池电动汽车的关键技术[J]. 汽车技术,1998(02):40-43.
- [31] 蔡年生. 质子交换膜在燃料电池中的应用[J]. 膜科学与技术,1996(04):2-7.
- [32] 伦景光,陈全世,韩晓东,等. EV6460N轻型电动旅行车[Z]. 北京:清华大学,2005-01-01.
- [33] 齐智平. 电工研究所“九五”期间重大科研成果[J]. 中国科学院院刊,2002,17(02):118-121,159.DOI:10.16418/j.issn.1000-3045.2002.02.009.
- [34] 景淦泉. 我国电动汽车研制开发概况一览[J]. 上海汽车,1997(08):36,39.
- [35] 侯艺兵. 驶向新世纪的“绿色汽车”亮相京城[J]. 中国科技信息,1997(02):14.
- [36] 第十四届国际电动车辆年会简介[J]. 中国科技信息,1998(06):26.
- [37] 通用公司向中科院捐赠电动皮卡[J]. 汽车维修与保养,1999(12):4.
- [38] 国家重大科技产业工程项目电动汽车标准化座谈会纪要[J]. 世界标准信息,1996(10):1-2.
- [39] 何云堂,邵忠瑛. 我国电动汽车标准体系综述[J]. 标准生活,2010(05):42-48.
- [40] 人民日报华南新闻. 电动汽车整车运行检测实验研究通过专家组验收[EB/OL]. 中国政府网,(2006-07-07)[2025-03-09]. <https://www.gov.cn/jrzq/2006-07/07/content329569.html>.
- [41] 陈全世. 我国电动汽车何时驶上马路[J]. 知识就是力量,1998(3):28-29.
- [42] ANDERSON C D, ANDERSON J. Electric and Hybrid Cars: A History [M]. Jefferson: McFarland & Company, 2010:61-69.
- [43] WAKEFIELD E H. History of the electric automobile hybrid electric vehicles [M]. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers, Inc, 1998:223-234.
- [44] 朱丽兰. 中国科学院与“863”计划[J]. 中国科学院院刊,1994,9(4):287-288.DOI:10.16418/j.issn.1000-3045.1994.04.001.
- [45] 许惊.“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.DOI:10.3969/j.issn.1002-0608.2002.03.020.
- [46] 董治郡,赵玉平. 中国新能源汽车发展展望[J]. 科技创新导报,2014,11(2):251-252.DOI:10.3969/j.issn.1674-098X.2014.02.191.
- [47] 万钢,许惊. 国家重大科技专项的创新管理:电动汽车重大科技专项管理实践[J]. 中国软科学,2002(12):77-81.DOI:10.3969/j.issn.1002-9753.2002.12.015.
- [48] 郭金明,杨起全,王革. 我国高技术研究发展计划(863计划)的历史沿革和新时期面临的问题[J]. 自然辩证法研究,2012,28(09):77-81.DOI:10.19484/j.cnki.1000-8934.2012.09.015.
- [49] 电动汽车重大专项总体组.“十五”国家高技术研究发展计划(863计划)电动汽车重大专项进展[J]. 汽车工程,2003,25(06):533-536.DOI:10.3321/j.issn:1000-680X.2003.06.001.
- [50] 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(02):110-117.DOI:10.3969/j.issn.1002-0608.2006.02.025.
- [51] 中华人民共和国科学技术部.“十五”电动汽车重大科技专项通过验收[EB/OL].(2006-02-20)[2025-03-02]. https://www.most.gov.cn/kjbgz/200602/t20060219_28821.html.
- [52] 中国科学院. 我国电动汽车产业化技术基础奠定[EB/OL].(2009-06-08)[2025-03-05]. https://www.cas.cn/xw/kjxm/gndt/200906/t20090608_647728.shtml.
- [53] 程广宇. 新能源汽车发展的国内外经验及思考[J]. 中国科技财富,2011(09):78-81.DOI:10.3969/j.issn.1671-461X.2011.09.019.
- [54] 吕彩霞.“十一五”节能与新能源汽车重大项目通过论证[N]. 国际商报,2006-07-03(D03).
- [55] 徐能伟. 我国电动汽车商业化运营模式探讨[J]. 上海汽车,2005(05):3-6.DOI:10.3969/j.issn.1007-4554.2005.05.003.
- [56] 林程. 北理工电动客车及奥运电动客车研发介绍[J]. 商用汽车,2007(12):48-51.
- [57] 中华人民共和国科学技术部. 科技部新能源汽车奥运示范项目组获“北京奥运会残奥会先进集体”荣誉称号[EB/OL].(2008-10-08)[2025-03-19].https://www.most.gov.cn/kjbgz/200810/t20081007_64168.html.
- [58] “十一五”863计划节能与新能源汽车重大项目通过验收[J]. 电源世界,2012(10):6.
- [59] 王静宇,刘颖琦,KOKKO A.“十城千辆”示范工程政策与效果比较研究[J]. 科学决策,2012,(12):1-14.
- [60] 刘泽琨,江采欣. 中国新能源汽车产业政策变迁及阶段特征研究[J]. 科研管理,2025,46(6):146-156.DOI:10.19571/j.cnki.1000-2995.2025.06.015.
- [61] 余蔚茗,黄颖. 新能源乘用车的补贴综述及展望[J]. 汽车工业研究,2018(07):16-21.
- [62] 程肖君,李少林. 供给侧改革背景下新能源汽车产业发展策略研究[J]. 理论学刊,2018(02):78-86.DOI:10.14110/j.cnki.cn-37-1059/d.2018.02.012.
- [63] 建设生态文明推进永续发展[J]. 求是,2013(08):

- 38-40.
- [64] 张夕勇. 中国新能源汽车的跨越式发展之路[J]. 经济导刊, 2023(02):40-47.
- [65] 曾耀明, 史忠良. 中外新能源汽车产业政策对比分析[J]. 企业经济, 2011, 30(02):107-109. DOI:10.13529/j.cnki.enterprise.economy.2011.02.014.
- [66] 陈翌, 孔德洋. 德国新能源汽车产业政策及其启示[J]. 德国研究, 2014, 29(01):71-81, 127.
- [67] 王彦. 我国新能源汽车专利态势分析和高质量发展研究[J]. 世界汽车, 2024, (09):58-61.
- [68] 李强作的政府工作报告(摘登)[N]. 人民日报, 2025-03-06(003).



孙显斌,男,研究员。曾任中国科学院自然科学史研究所所长助理、图书馆馆长,兼任北京科学技术情报学会元科学专业委员会委员等。国家社科基金冷门绝学“科学史所科技典籍整理研究团队”首席专家。研究方向:科学技术史、科学传播等。主编《中国古代重大科技创新丛书(第一辑)》获全国优秀科普作品奖。Email: sunxianbin@ihns.ac.cn



吕昌茂,男,中国科学院大学学术型硕士研究生,培养单位:中国科学院自然科学史研究所;研究方向:科技与社会、科技战略、科学技术史。Email: lvchangmao@ihns.ac.cn

(责任编辑:彭 鹏)