

我国新型能源材料发展战略研究

黄学杰¹, 赵文武¹, 邵志刚², 陈立泉¹

(1. 中国科学院物理研究所, 北京 100190; 2. 中国科学院大连化学物理研究所, 辽宁大连 116023)

摘要: 作为战略性新兴产业的重要组成部分, 新型能源材料产业的发展关系到国民经济、社会发展和国家安全。本文选取锂离子电池和燃料电池这两种典型新能源关键材料, 总结了国内外新能源材料的发展情况, 分析了我国相关材料产业发展存在的原始创新不足、关键战略材料产业链安全面临威胁、高端产品自给率不高、高端应用自主保障能力不足以及“产学研用”合作平台欠缺等问题, 展望了国内外新材料研发与产业的发展趋势。面向 2025 年和 2035 年的发展要求, 阐述了我国新能源关键材料在锂离子电池和燃料电池领域的发展思路, 细化了发展目标和重点任务。研究建议: 完善顶层规划, 加大创新驱动政策支持力度, 培育优势企业, 开展生产应用示范平台建设, 加强人才队伍建设, 以期实现我国新能源材料的跨越发展。

关键词: 新能源材料; 锂离子电池; 燃料电池; 发展战略

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A

Development Strategies for New Energy Materials in China

Huang Xuejie¹, Zhao Wenwu¹, Shao Zhigang², Chen Liquan¹

(1. Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, Liaoning, China)

Abstract: New energy materials are an important element for the strategic emerging industries and they are also important concerning economic and social development as well as national security. In this paper, we summarize the development status of the key materials for lithium-ion batteries and fuel cells in China and abroad and analyze the problems of China's new energy materials industry, which include shortage of original innovation, insecure industry chain of key strategic materials, low self-sufficiency rate of high-end products, insufficient self-supply of high-end applications, and lack of platforms for collaboration among production, education, research, and application. The development trends of the key materials industry are also prospected. In view of the development requirements by 2025 and 2035, we expound the development ideas for the new energy materials regarding the lithium-ion batteries and fuel cells and elaborate the development goals and key tasks. To achieve leapfrog development, China should improve top-level planning and enhance its support policies for innovation-driven development to foster competitive enterprises. It also should establish a production and application demonstration platform and strengthen talent training.

Keywords: new energy materials; lithium-ion battery; fuel cell; development strategy

收稿日期: 2020-07-12; 修回日期: 2020-08-31

通讯作者: 黄学杰, 中国科学院物理研究所研究员, 研究方向为能量转换、储存材料和纳米材料离子/输运研究;

E-mail: xjhuang@iphy.ac.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“新材料强国 2035 战略研究”(2018-ZD-03)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

新能源材料指支撑新能源发展的、具有能量储存和转换功能的功能材料或结构功能一体化材料。新能源材料对促进新能源的发展发挥了重要作用, 新能源材料的发明催生了新能源系统的诞生, 新能源材料的应用提高了新能源系统的效率, 新能源材料的使用直接影响着新能源系统的投资与运行成本 [1]。锂离子电池是新能源汽车和电力调节最有竞争力的储能技术, 燃料电池是氢能时代的核心发电单元, 因此, 本文将重点研究以锂离子电池和燃料电池关键材料为代表的新能源材料发展战略。

纵观全球发展态势, 美国、日本、欧盟等发达国家和地区, 以及俄罗斯、巴西、印度和南非等新兴经济体陆续推行一系列支撑新能源材料产业发展的政策和措施, 力争在未来国际竞争中抢占一席之地。具体来看, 美国制定了“电动汽车国家创新计划 (EV Everywhere)”“材料基因组计划”等重大战略, 近期还发布了《“储能大挑战”路线图草案》; 日本出台了《纳米与材料科学技术研发战略》《新增长战略》等规划 [2]; 欧盟把关键新材料视为先进制造业的重要基础, 发布了“欧盟 2020 战略”《电池 2030+ (BATTERY 2030+)》 [3] 等。中国也专门制定了《中国制造 2025》《“十三五”材料领域科技创新专项规划》等 [4,5], 力争促进我国新能源材料产业发生结构性变化, 全面重塑技术方式, 形成开放竞合的发展生态。

经过多年努力, 我国新能源材料产业取得了显著发展, 技术水平日益提高, 产业规模不断扩大, 为我国锂离子电池材料、燃料电池材料等高技术产业突破技术壁垒、实现快速发展提供了坚强的支撑。从整体来看, 我国新能源材料领域与国外先进水平相比仍存在较大差距。今后, 我国新能源材料产业的竞争力仍需加强, 以企业为主体的自主创新体系亟待完善, 部分核心关键材料受制于人、高端材料对外依存度较高的问题需解决。为此, 抓紧机遇, 合理规划, 提升新能源材料产业的支撑能力势在必行, 这对加快我国经济发展方式转变、增强国际竞争实力、实现材料绿色低碳化发展目标具有重要的战略意义。

二、国内外新能源典型关键材料发展概况

(一) 锂离子电池材料

目前, 锂离子电池领域的核心技术多被欧盟、美国、日本、韩国等国家和地区掌握, 其中, 日本最早开始生产锂离子电池, 技术实力最为雄厚。日本松下电器产业株式会社控制了特斯拉汽车公司的电池产业链; 日本电气株式会社 (NEC) 和韩国 LG 化学公司生产的锂离子电池在日产 Leaf 电动车、通用 Volt 电动车各有良好的安全运行记录; 村田制作所是中国强制性产品认证 (3C) 电池供应商, 韩国乐金 (LG) 化学公司、三星 SDI 公司、SK Innovation 电池公司是大众汽车、宝马汽车和奔驰汽车的主力供应商。我国一直重视锂离子电池材料的研究, 在 20 世纪 80 年代就将其列为 863 计划的重点项目。近年来随着新能源汽车产业的发展, 对锂离子电池材料的研发投入仍一直保持较高的强度。

与发达国家相比, 我国锂离子电池中的部分新材料高端产品占比还比较低, 技术含量不高, 产品的附加值较低, 高端材料和电池的高精度自动化装备仍需大量进口。近年来, 在国家相关部门的支持和推动下, 特别是受益于我国新能源汽车和智能手机领域的快速发展, 宁德时代新能源科技有限公司和比亚迪股份有限公司已成为全球动力电池的主力供应商。在电极材料方面, 上海杉杉科技有限公司和贝特瑞新材料集团股份有限公司的产能规模已位于全球前列, 我国的电解液和隔膜产能已占全球总产能的 50% 以上。

在专利方面, 美国、日本、韩国已在锂离子电池领域进行了比较全面的覆盖, 突破专利封锁是我国锂离子电池发展必须要解决的难题。

(二) 正极和负极材料

在磷酸铁锂和中低镍三元正极材料技术及产品方面, 我国相关企业发挥后发优势, 相关产品已在国内市场得到广泛应用, 部分产品已出口; 在高镍多元材料方面, 我国目前尚处于追赶阶段, 相关企业通过解决关键问题和升级改造量产线设备, 有望实现赶超。

负极材料行业市场集中度较高, 我国负极材料的国际市场占有率已处于领先水平, 2019 年中国企

业的出货量占全球总出货量的 74%。代表性企业如贝特瑞新材料集团股份有限公司、上海杉杉科技有限公司、江西紫宸科技有限公司等在负极材料的研发和产业化方面已位于世界领先地位，可满足动力电池企业对负极材料的使用需求。

（三）电解液

全球电解液市场主要由日本三菱化学株式会社、日本宇部兴产株式会社、韩国三星 SDI 公司占据，各公司都拥有独特的添加剂制备技术。我国企业在部分功能添加剂的设计和生方面还存在一定的进口依赖现象。

从电解液产业角度看，广州天赐高新材料股份有限公司、深圳新宙邦科技股份有限公司、张家港国泰华荣化工新材料有限公司和天津金牛电源材料有限责任公司等电解液生产企业在研发和产业化方面已位于世界前列，可满足国内动力电池公司对电解液的需求，市场集中度不断提高，行业领导集群已逐渐形成，其中部分企业已进入国际主流电池企业供应链体系，实现了海外市场的突破。

目前，碳酸酯类溶剂和六氟磷酸锂已主要由国内进行生产，代表性企业如广州天赐高新材料股份有限公司、多氟多化工股份有限公司、天津金牛电源材料有限责任公司等实现了六氟磷酸锂电解质盐的规模化生产，大规模应用的电解液功能添加剂（如碳酸亚乙烯酯、氟代碳酸乙烯酯、1,3-丙烷磺酸内酯、1,3-丙烯磺酸内酯、硫酸乙烯酯等）也已经实现国产化。

（四）锂离子动力电池隔膜材料

目前，世界上最好的锂电池隔膜材料来自旭化成株式会社和东燃化学株式会社两家日本公司。我国在干法隔膜领域的市场占有率已超过美国、韩国和日本，湿法隔膜进入大幅扩张期。上海恩捷新材料科技有限公司、苏州捷力新能源材料有限公司、河北金力新能源科技股份有限公司、深圳星源材质科技股份有限公司等企业已形成独具特色的产业化发展模式，基本可满足国内动力电池公司对电池隔膜的需求，但生产隔膜的原料和核心装备目前仍依赖进口。

（五）膜电极相关的基础材料研究

在燃料电池方面，我国金属双极板技术的原始创新不足，主要体现在与膜电极相关的基础材料研究与国际先进水平存在较大差距，尤其是质子交换膜。全球生产全氟磺酸膜的企业主要集中在美国、加拿大、日本、比利时等，其中美国戈尔公司在全世界质子交换膜供应领域中处于领先地位。我国山东岳化有限公司在质子交换膜研发和产业化方面进展较快，形成了完善的氟硅材料产业链。浙江汉丞科技有限公司已经掌握超高分子量聚四氟乙烯树脂、含氟质子交换树脂、双向拉伸薄膜及涂膜等质子交换膜全产业链的关键技术，拥有自主知识产权，并已开始质子交换树脂和膜的大规模生产。国内外的膜电极技术水平均有大幅提升，国内赶超国外水平的趋势明显。

（六）催化剂

在催化剂方面，开发低铂或非铂的高活性、高稳定性的氧还原反应（ORR）催化剂一直是质子交换膜燃料电池（PEMFC）的研究重点 [6~9]。目前车用燃料电池电催化剂的国外供应商主要有英国庄信万丰公司（Johnson Matthey）、日本田中贵金属集团（TKK）、德国巴斯夫化工集团（BASF）等。国内燃料电池催化剂尚处于研究开发阶段，主要有两类机构：一类是企业，如贵研铂业股份有限公司主营汽车尾气铂催化剂，已和上海汽车集团共同研发燃料电池催化剂；另一类是研究所，如中国科学院大连化学物理研究所制备的 Pd@Pt/C 核壳催化剂，其氧还原活性与稳定性表现优异。目前，铂合金催化剂是 ORR 催化剂的研究热点之一 [10~12]。

（七）气体扩散层基材

在扩散层方面，市场上商业化的碳纸或碳布可作为气体扩散层的基材，如日本东丽（Toray）碳纸，德国西格里（SGL）碳纸等，都是成熟的碳纸/碳布材料和气体扩散层产品。其中，日本东丽集团生产的碳纸具有高导电性、高强度、高气体通过率、表面平滑等优点，在全球市场上占据较大的市场份额，拥有的碳纸相关专利也较多。国内在该领域尚没有商业化产品，亟需开发自主可控的扩散层产品。目前，中南大学正持续开展燃料电池用碳纸的研究，

江苏天鸟高新技术股份有限公司基于碳纤维产品进行碳纸研发。

三、我国新能源关键材料发展存在的问题

以锂离子电池为代表的二次电池广泛应用于手机等信息电子终端产品、电动车和电力储存领域，服务于信息产业，更是交通能源变革和电力能源革命的重要支持技术。燃料电池技术作为我国新能源产业的关键核心技术之一，被列入《能源技术革命创新行动计划（2016—2030年）》《“十三五”国家科技创新规划》《可再生能源中长期发展规划》等。目前，我国总体上已成为新能源材料大国，但大而不强，存在自主保障能力较弱、高端材料受制于人、资源利用能力不高等问题，严重制约着我国新能源材料的可持续发展。

（一）部分基础原材料依赖进口，严重威胁关键战略材料产业链安全

在锂电池电解液产业中，国内企业部分功能添加剂的设计和在一定程度上依赖进口；在高性能膜材料领域，基层无纺布、聚砜、界面聚合单体等原料普遍依赖进口。作为燃料电池核心部件的燃料电池膜电极，其原材料如质子交换膜、树脂溶液、催化剂、碳纸等主要依赖进口。国内自主知识产权的超薄增强质子交换膜大规模国产化处于起步阶段；电催化剂的量产能力已有所提升，但性能和耐久性性与国外相比还有较大差距；大规模使用的碳纸扩散层主要依赖进口，而国外正不断提高碳纸售价且大幅减少出口，威胁着我国关键战略材料的产业链安全。

（二）高端产品自给率不高，高端应用的自主保障能力不足

锂电池关键材料技术总体上仍落后国外先进水平，部分高端材料还依赖进口。技术创新能力不足、自主推出的新产品少、产品升级换代慢、相关专利及核心技术缺乏，阻碍了中国锂离子电池参与国际市场竞争的步伐。关键材料 Co、Li、石墨等资源不足，导致价格变动幅度大且有上涨趋势。

我国车用燃料电池技术无论在电堆性能、寿命还是成本方面，与国际先进水平比较仍有较大差距。

国外高端燃料电池产品目前对国内禁售，亟需进行自主设计与开发，而高端产品研发所需的核心材料和部件仍主要依靠进口，如质子交换膜。我国正在实施面向此类高端基础材料的重大专项研究项目，预计在“十四五”末期，高端产品的自给率和自主保障能力将大幅提高。

（三）原始创新不足，“产学研用”合作平台欠缺

我国新能源材料基础研究薄弱，存在重应用轻基础、重模仿轻原始创新、重迭代轻颠覆性等问题，严重制约了我国新能源材料行业整体技术水平的提升。另外，缺少用于原始创新和基础研究的“产学研用”合作平台，大量创新成果仅停留在实验室研究阶段，没有高效的研发平台将基础性研究成果进行工艺小试验证和中试放大研究，阻碍了科研成果的快速转化和产业应用。

（四）基础性创新研发投入占比低

我国新能源材料核心技术和制造装备受制于人的局面尚未得到根本性扭转，产业处于价值链的中低端。研发投入分配失调，多用于应用技术的研发，基础研究研发投入占比低，导致关键核心技术攻关后劲不足。另外，基础研究与工业生产结合黏度低，限制了研究成果的转化，导致原始创新能力不足。

四、国内外新材料研发与产业发展趋势

（一）行业垄断进一步加剧，关键材料控制成为竞争焦点

国外跨国企业在新能源材料领域不断拓展，尤其在高附加值的关键战略材料产品中占据主导地位，通过技术和市场行业垄断实施产品封锁或倾销，扼制竞争国家的经济建设及重大工程实施。材料技术的进步是动力电池水平提升的基础，以三元电池为例，目前正处于低镍向高镍的转化期。美国少数企业垄断了高容量富锂和低钴/无钴正极材料的技术专利，德国、日本和韩国的少数企业在高镍低钴三元电池材料中占据优势地位，日本信越化学工业株式会社、美国 3M 公司等拥有硅基负极材料的关键专利技术。我国正负极材料和电池产能已是世界第一，但核心专利技术仍然缺乏。

在燃料电池领域，膜电极（包括催化剂、膜

和碳纸)的性能及成本是限制燃料电池大规模商业化的瓶颈。日本田中贵金属集团生产的铂催化剂在国际市场份额占有率居于首位,美国戈尔公司在全球质子交换膜供应领域中处于领先地位。日本东丽(Toray)集团、德国西格里(SGL)公司、加拿大巴拉德(Ballard)动力系统公司等生产的碳纸是我国燃料电池领域的主要进口产品,曾经出现过碳纸供应渠道中断的情况,对我国的燃料电池技术安全构成了严重威胁。

(二) 绿色低碳成为新能源材料发展的重要趋势

以节能环保和绿色低碳为代表的新能源产业迅速崛起,带动关键材料产业及应用的绿色化和低碳化发展。锂离子电池材料和燃料电池材料技术的不断突破使新能源汽车逐步走进千家万户,同时,汽车的电动化与智能化相得益彰,带来汽车行业和能源行业的深刻变革。未来10年将是现有主流混合动力和纯电动汽车市场发展的黄金时代,也是燃料电池汽车技术快速发展的10年,必将推动燃料电池用车载制氢系统的发展。高效、清洁、经济的燃料电池是世界强国布局未来发展的重点,随着配套技术逐步改进,燃料电池汽车有望在15~20年内成为新能源汽车的主流,特别是在重型货车和长途客车市场,将为重整制氢用高温催化材料迎来前所未有的发展机遇。

(三) 新能源材料的高性能化、尖端化发展明显加速

重大原创成果代表着科技硬实力,持续创新是保持科技强国地位的基石。随着一系列高新技术的突破,以锂离子电池和燃料电池关键材料为代表的新能源材料继续向更高精尖、高性能方向发展。

在技术进步和产业发展双因素共同作用下,电池系统技术水平明显提升,生产成本也呈持续下降趋势。近年来,我国动力电池技术飞跃发展,并已实现了规模化生产;高镍三元材料量产的软包电池比能量达到288 Wh/kg;乘用车领域的电池系统比能量集中在140~160 Wh/kg,在成组效率及能量密度方面普遍高于国际同期其他产品。

燃料电池关键材料、核心部件、电堆与系统的性能持续迅速提升。在催化剂方面,国内外均采用合金化以及形貌调控技术,使我国实验室中催化

剂性能已经超过美国能源部(DOE)2020年设置的技术指标。在质子交换膜方面,为提高燃料电池比功率,美国戈尔公司以全氟磺酸树脂为基础制备超薄增强膜,使面电阻进一步减小。在膜电极方面,国内外的实验室研究均已达到美国DOE设置的2020年膜电极铂用量指标(0.125 mg/cm²),但目前国外最好的商业化车用膜电极铂载量仍高达0.35~0.4 mg/cm²。

(四) 产业规模不断扩大,新能源材料成为经济增长新引擎

随着基础创新和应用创新研究能力的不断提高,一系列新能源关键材料的核心技术不断取得突破。我国已成为国际主要的锂离子电池材料生产国。在燃料电池方面,国内有多个省市推出了氢能与燃料电池的发展规范。

发展新能源汽车是保障我国能源安全的重大战略举措,是降低汽车污染排放的有效途径。2019年,我国新能源汽车销量超120万辆,位居世界首位,2030年有望达到1500万辆。锂离子电池为我国新能源汽车的跨越式发展和能源安全提供了关键支撑。由于具有功率密度高、室温下快速启动等优点,PEMFC在交通运输和固定电站领域有着广泛的应用前景。

五、我国新能源关键材料发展路径

(一) 发展思路

本文分别从锂离子电池和燃料电池两方面来阐述我国新能源关键材料今后的发展思路。

在锂离子电池方面,支持动力电池关键材料与关键设备的技术攻关,完善锂离子电池关键材料研发、测试、应用验证和分析平台建设,支撑锂离子电池产业与产品升级以及成本降低;持续支持新型电池体系的创新基础与技术研究,发展更高比能量和高安全性、低成本电池技术;推进产业升级(如发展先进装备、强化先进控制与推行先进管理)与产品升级,在国家新能源汽车政策的支持下,保持国内市场高速发展;重视和促进超大规模企业(或企业联合体)的形成与发展,推动企业创新技术与产品、知名品牌以及高端人才队伍的培育与培养,不断夯实产业做“强”的基础。

在燃料电池方面,不断完善我国燃料电池的技术创新平台,鼓励开发应用质子交换膜燃料电池、直接甲醇燃料电池等小型实用燃料电池;支持低成本制氢技术与大容量储氢技术的研究与示范应用,发展燃料电池本体与材料技术以及燃料电池电动汽车动力系统技术,降低燃料电池应用成本;拓宽小型燃料电池系统的应用领域,推动燃料电池在电动车上的示范运营,形成完整的应用产业链。

(二) 发展目标与重点任务

1. 2025 年的发展目标与重点任务

(1) 锂离子电池

发展目标为:力争在 2025 年前,在动力电池方面实现固液混合锂离子电池比能量 ≥ 400 Wh/kg,循环 ≥ 1000 次,实现在新能源动力系统中的应用;金属锂负极二次电池比能量 ≥ 500 Wh/kg;全固态金属锂电池比能量 ≥ 400 Wh/kg,循环 ≥ 500 次。2025 年,预计正极材料年产能为 2×10^6 t、负极材料年产能为 1×10^6 t、隔膜年产能为 1.5×10^{10} m²、电解液年产能为 6×10^5 t。

重点发展任务为:重点研发高镍低钴或无钴三元正极材料、高压镍锰尖晶石正极材料、富锂锰基正极材料、碳/合金等高容量负极材料,研发陶瓷涂层隔膜等高安全性隔膜、阻燃电解液,研发耐高压隔膜和电解液。研发基于三元/高压/富锂正极材料和高容量碳/合金负极材料的高能量密度单体电池,发展基于模型的极片/电池设计技术,提高电池功率和环境适应性;开发高安全性隔膜、电解质和高稳定低电阻电极/电解质界面技术,提升动力电池能量密度、功率密度、寿命、安全性以及降低成本等。带动关键材料国产化,实现动力电池规模制造与品质保证技术的快速升级;提出固态动力锂电池的设计原理和材料体系,阐明循环过程中动力学特性及结构演化规律,形成固态电池系统自主技术,开展在新能源汽车等方面的应用推广。开展锂离子动力电池的回收再利用技术研究,降低动力电池体系全生命周期成本,建立绿色全生命周期设计优化评估,增强材料的绿色度和对环境的可持续性发展。

(2) 燃料电池

发展目标为:2025 年,实现加氢站现场制氢、储氢模式的标准化和推广应用;突破燃料电池关键

技术,初步建立起燃料电池材料、部件和系统的产业链。2025 年铂基电催化剂产能达到 3 t/a,满足 10 万套车用 PEMFC 系统的需要;酸性离子交换膜年产能为 2×10^6 m²;碳纸年产能为 4×10^6 m²,膜电极年产能达到 2×10^6 m²。

重点发展任务为:立足于我国燃料电池产业现状,重点突破低铂燃料电池技术、超薄酸性离子交换膜技术、高性能碳纸制备技术、廉价金属双极板技术以及高性能长寿命膜电极制备技术。从基础材料出发,一方面在催化方面创新理论,从合金到核壳再到单原子催化,不断提高铂有效利用率降低铂载量;另一方面升级技术,对超薄复合膜的单体制备、基膜合成及超薄复合膜成型工艺进行深入研究,并扩大生产。对碳纸的制备理论、工艺、质量控制等利用跨学科的综合优势进行协力攻关;开发电极制备新工艺,在静电喷涂、纺丝等工艺基础上,开发稳定可靠的薄层有序高性能膜电极的规模放大工艺。以燃料电池关键核心材料的突破为基础,突破燃料电池全产业链需要的技术和设备,包括空压机、回流泵、先进控制器设计集成、轻质化系统、抗震性以及低温环境适应设备设施等,完善辅助系统与燃料电池电堆的一体化设计,从关键材料、核心部件与辅助系统全方位降低成本、提高使用寿命,强化系统耐久性、可靠性和适应性。

2. 2035 年的发展目标与重点任务

(1) 锂离子电池

发展目标为:2035 年前,金属锂负极二次电池比能量 ≥ 500 Wh/kg,循环 ≥ 1500 次,实现在新能源汽车和特殊领域的规模应用;全固态金属锂电池比能量 ≥ 600 Wh/kg,循环 ≥ 1000 次,全产业链成熟;新型电池比能量 ≥ 800 Wh/kg,循环 ≥ 100 次。2035 年扩产后正极材料年产能为 1×10^7 t,负极材料年产能为 3×10^6 t,隔膜年产能为 5×10^{10} m²,电解液年产能为 1.2×10^6 t。

重点发展任务为:面向电动汽车产业化,需要持续提升磷酸铁锂、锰酸锂、三元等正极材料和硬碳、硅基等负极材料的先进制备技术和工艺,攻关功能电解液、高安全性隔膜等高性能动力电池的关键技术,支持锂离子电池材料行业的技术进步,开发高水平原位表征测量、无损检测、高空间分辨率三维成像和高速检测技术等。建立动力电池工艺技术装备的研发和服务平台,组织全行业力量进行攻

关, 建立与我国现阶段制造业比较优势相适应的动力电池制造工艺/装备和标准, 采用物联网、大数据和新一代人工智能技术, 解决动力电池及其关键材料制造的质量、效率和成本等问题。组织国内优势研发机构, 跨领域联合开展新一代高容量锂离子正负极材料和以锂聚合物电池、锂硫、锂空气、钠空气、全固态电池为代表的新型体系电池的深度的基础研究和制造技术工艺研究开发, 在下一代电池和材料发展过程中形成我国的高价值专利技术。

(2) 燃料电池

发展目标为: 2035年, 实现大规模制氢、储氢、运氢、用氢一体化, 实现加氢站现场储氢、制氢模式的标准化和推广应用; 自主掌握燃料电池核心技术, 建立完备的燃料电池产业链, 大规模推广应用氢能和燃料电池, 创造突破万亿元人民币的市场价值, 氢能汽车占动力车辆总量的10%~15%, 并承担10%以上的能源需求。2035年扩产后的低铂催化剂能够保障500万套燃料电池系统对电催化剂的需要, 产能达到50 t/a, 同时非铂催化剂能够行车试验; 离子交换膜能够保障500万套燃料电池系统的需要, 年产能达到 $7.5 \times 10^7 \text{ m}^2$, 膜电极年产能达到 $7.5 \times 10^7 \text{ m}^2$ 。

重点发展任务为: 瞄准国际前沿, 继续保持我国在低成本碱性膜燃料电池研究方面的优势。在基础材料方面重点开发新型高活性密度长寿命的非贵金属催化剂, 以过渡金属Fe、Co及氮杂碳为立足点, 创新催化理论, 提出高体积活性密度的新型非贵金属催化剂结构, 并加速放大及推向市场; 继续保持碱性离子交换膜上的理论、设计和工艺创新, 提出绿色环保的高性能长寿命碱性膜制备新工艺。在制备工艺以及燃料电池过程机理研究方面, 借鉴酸性膜电极制备经验研制碱性膜电极, 重点开发碱性膜电极的环境空气适应性和水管理过程控制, 为发展下一代廉价材料体系的高性能长寿命燃料电池奠定基础。

六、对策建议

(一) 顶层布局, 加大政策支持力度

完善顶层设计和规划, 加强科技支撑, 完善相关体系标准规范, 加强能力建设, 实现战略协同发展。充分发挥企业和科研院所的作用, 建立创新良

性的协作模式, 提高研究成果对企业生产技术提升的推动作用, 加强核心技术的专利布局。引导行业建立产品标准, 规范市场, 营造良好的发展环境。同时, 在国家层面上持续加强对立项科研项目的资助, 支持新能源材料相关技术的发展, 重点关注关键技术薄弱环节, 出台相关政策措施, 激励材料企业加大研发投入弥补技术短板, 积极面对国际市场的竞争。

(二) 实施创新驱动, 培育优势企业

实施创新驱动, 集中行业优势资源协同攻关, 发挥材料企业主体作用, 加大先进材料的技术研发, 持续提升材料性能, 增加材料设备研发投入, 提高生产工艺的精度、一致性和可靠性, 进一步降低成本, 提高产业全球竞争优势。同时, 加快新能源材料产业结构调整、组织结构优化、技术结构优化, 培育一批技术雄厚、品质优良、行业引领的新能源材料企业, 持续推进产融结合, 实现跨越发展。

(三) 协同联动, 开展示范平台建设

加强对科技创新的金融支持力度, 通过各类产业投资基金等渠道, 加速建设创新中心; 通过国家科技计划(专项、基金等)鼓励前沿技术、共性核心技术的攻关; 加大海外技术合作与引进。另外, 在国家重点领域开展生产应用示范平台建设, 有序推进产业转型升级, 重点完善应用开发软硬件条件, 突破关键领域共性应用技术, 实现新能源材料与终端产品同设计、系统验证、批量应用等的协同联动。

(四) 柔性用才, 加强队伍建设

凝聚产业高端人才, 强化人才梯队建设; 加强科技领军人才、紧缺人才培养, 鼓励企业加大相关投入; 实施海外人才引进政策, 促进人才开展国际交流。通过柔性用才汇聚创新发展动力, 激发人才发展活力, 提高国际竞争力, 形成国际化、人才集聚规模化的人才格局。

参考文献

- [1] 蒋利军, 张向军, 刘晓鹏, 等. 新能源材料的研究进展 [J]. 中国材料进展, 2009, 28(7-8): 50-56.
Jiang L J, Zhang X J, Liu X P, et al. Progress in research of new energy materials [J]. Materials China, 2009, 28(7-8): 50-56.
- [2] 张翼燕. 日本发布《纳米与材料科学技术研发战略》[J]. 科技

- 中国, 2019, 2(2): 76–79.
- Zhang Y Y. Japan releases research and development strategy of nanotechnology and materials science and technology [J]. *China SciTechnology Business*, 2019, 2(2): 76–79.
- [3] 屠海令, 张世荣, 李腾飞. 我国新材料产业发展战略研究 [J]. *中国工程科学*, 2016, 18(4): 90–100.
- Tu H L, Zhang S R, Li T F. Research on development strategies for China's advanced materials industry [J]. *Strategic Study of CAE*, 2016, 18(4): 90–100.
- [4] 王昶, 宋慧玲, 耿红军, 等. 关键新材料创新突破的研究回顾与展望 [J]. *资源科学*, 2019, 41(2): 207–218.
- Wang C, Song H L, Geng H J, et al. Review and prospect of advanced material innovative development [J]. *Resources Science*, 2019, 41(2): 207–218.
- [5] 中华人民共和国科学技术部. 科技部关于印发《“十三五”材料领域科技创新专项规划》的通知 [EB/OL]. (2017-04-14) [2020-08-30]. http://www.most.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgnr/fgzc/gfxwj/gfxwj2017/201704/t20170426_132496.html.
- Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China. Notice on the issuance of the special plan for scientific and technological innovation in the material field during the 13th Five-Year Plan period [EB/OL]. (2017-04-14) [2020-08-30]. http://www.most.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgnr/fgzc/gfxwj/gfxwj2017/201704/t20170426_132496.html.
- [6] Proietti E, Jaouen F, Lefevre M, et al. Iron-based cathode catalyst with enhanced power density in polymer electrolyte membrane fuel cells [J]. *Nature Communications*, 2011 (2): 1–9.
- [7] Shui J, Chen C, Grabstanowicz L, et al. Highly efficient nonprecious metal catalyst prepared with metal-organic framework in a continuous carbon nanofibrous network [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(34): 10629–10634.
- [8] Luo L, Zhu F, Tian R, et al. Composition-graded Pd_xNi_{1-x} nanospheres with Pt monolayer shells as high-performance electrocatalysts for oxygen reduction reaction [J]. *ACS Catalysis*, 2017, 7(8): 5420–5430.
- [9] Tang X, Fang D, Qu L, et al. Carbon-supported ultrafine Pt nanoparticles modified with trace amounts of cobalt as enhanced oxygen reduction reaction catalysts for proton exchange membrane fuel cells [J]. *Chinese Journal of Catalysis*, 2019, 40(4): 504–514.
- [10] Lu B A, Sheng T, Tian N, et al. Octahedral PtCu alloy nanocrystals with high performance for oxygen reduction reaction and their enhanced stability by trace Au [J]. *Nano Energy*, 2017, 33: 65–71.
- [11] Stamenkovic V R, Fowler B, Mun B S, et al. Improved oxygen reduction activity on Pt₃Ni(111) via increased surface site availability [J]. *Science*, 2007, 315(5811): 493–497.
- [12] Wood T E, Tan Z, Schmoeckel A K, et al. Non-precious metal oxygen reduction catalyst for PEM fuel cells based on nitroaniline precursor [J]. *Journal of power sources*, 2008, 178(2): 510–516.