



美国先进电池领域发展态势及启示

史冬梅, 邱 俊, 王 晶
(科学技术部高技术研究发展中心, 北京 100044)

摘 要: 先进电池被列为美国四大关键产品供应链之一, 也是美国保持并提升经济竞争力、实现清洁能源转型的重要手段。近年来美国政府陆续出台政策, 支持美国完整的先进电池产业链建设, 并加大对科技的投入和创新平台建设, 企业界也纷纷加大电池领域的投资力度。本工作介绍了美国政府近期出台的扶持先进电池技术和相关产业的政策, 包括白宫发布《先进电池供应链安全百日评估报告》、拜登政府在《基础设施投资和就业法案》中设立电池相关条款, 以及政府制定《美国锂电池 2021—2030 国家蓝图》和发布《储能大挑战路线图》等。分析了美国政府部门对电池创新的支持和相关创新平台建设, 包括设立储能、电池、先进车辆等技术研发计划和专项。综述了在政策支持下, 美国先进电池产业投资实施方案和发展动态, 包括汽车企业加大电池产业投入、一批美国初创电池企业快速成长、电池供应链投资加大等。在此基础上, 研究了美国先进电池技术和产业发展对我国电池领域发展带来的影响, 并提出了我国应对挑战的政策建议。

关键词: 先进电池; 电池产业链; 科技计划; 科技政策

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2022.0207

中图分类号: F 110

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2022) 09-2933-11

Development of advanced battery technologies and industries in the United States

SHI Dongmei, QIU Jun, WANG Jing

(High Technology Research and Development Center, the Ministry of Science and Technology, Beijing 100044, China)

Abstract: The United States (US) government has listed advanced batteries as one of the four key product supply chains to maintain and enhance its economic competitiveness and achieve the goal of a clean energy transition. Recently, it has issued successive policies to support the development of a complete advanced battery industry chain in the country, increased investment in science and technology, and the construction of innovation platforms. Furthermore, enterprises have also increased their investment in the battery field. Therefore, this study introduces the US government's recent policies to support advanced battery technology and related industries, including the White House's 100-day assessment report on the safety of advanced battery supply chain, the Biden administration's establishment of battery-related provisions in the Infrastructure Investment and Job Act, the formulation of National Blueprint for Lithium Batteries 2021—2030, and the release of Energy Storage Grand Challenge Roadmap. This study also analyzes how the US government supported battery innovation and the construction of innovation platforms, including the establishment of technology research and development projects, such as energy storage, batteries, and advanced vehicles. Additionally, it further summarizes the US investment implementation plan

and development trends in the advanced battery industry under policy support, including the increased investment of automobile enterprises in the battery industry, rapid growth of some American start-up battery enterprises, and increased investment in the battery supply chain. Finally, the impact of US advanced battery technology and industrial development on China's battery industry development is also analyzed, and policy suggestions are proposed for China to tackle these challenges.

Key words: advanced battery; battery industry chain; science and technology plan; science and technology policy

美国拜登政府为了通过绿色经济带动其整体经济增长,将能源气候领域作为其新政的重中之重,并提出2050年实现美国净零排放的目标。2021年先进电池被列为美国四大关键产品供应链之一,拜登政府认为先进电池技术对于电动汽车、固定储能系统等领域的重要性与日俱增,是实现清洁能源转型和脱碳目标、提升美国经济竞争力的重要技术。为了推动先进电池技术和产业的发展,美国政府陆续出台一系列政策,支持国内先进电池产业链建设,同时,加大科技投入和创新平台建设力度,产业界也加大电池领域的投资。鉴于此,通过分析美国政府系列措施对我国电池产业发展将带来的影响和挑战,提出对我国电池产业发展的启示和政策建议。

1 制定国家战略、计划和扶持政策

1.1 发布《先进电池供应链安全百日评估报告》

自拜登政府将先进电池列为美国四大关键产品供应链之一,美国能源部在2021年6月发布《先进电池供应链安全百日评估报告》^[1],报告认为大容量电池对美国经济和国家安全至关重要,并针对国内电池供应链脆弱的问题提出了政策建议。

报告指出,在先进的大容量电池领域,美国目前在主要电池部件和电池制造方面的全球市场份额不到10%^[1]。美国作为电动车净出口国,但严重依赖从中国等国进口先进电池组所需的原材料,其供应链脆弱体现在供应链关键技术的可用性低、成本高以及制造先进电池的劳动力缺乏等。预计到2030年,全球锂电池市场将增长5~10倍,美国必须立即进行投资,在本土扩大安全、多样化的大容量电池供应链。

报告评估了大容量电池供应链的主要环节,并针对潜在漏洞风险提出政策建议^[1]。如在原材料生

产方面,大容量锂离子电池关键材料(尤其是镍、锂和钴)存在上游供应链的风险,本土开采重点应根据已知储量来满足所需的关键材料(如锂)生产;在材料精炼和加工方面,目前存在不足,应提高材料精炼与加工以及回收利用能力来保障供应链安全;在电池材料制造和电池制造方面,美国本土的产能占全球市场份额不到10%;在电池组件和终端产品制造方面,可满足北美地区的电动汽车生产需求,但仍落后于其他市场;在电池报废和回收方面,可以加强关键材料的回收利用,减少新的采矿需求。为建设具有弹性的大容量电池供应链,提出的政策建议包括:刺激国产大容量电池的终端产品使用需求(含运输业、公用事业部门);加强关键先进电池矿物的可靠来源供应(包括:制定针对各类矿产的战略、全面提高劳动和环境标准、加强回收利用政策),确保回收和处理得到符合最高环境标准促进可持续的本土电池材料、电池和电池组生产,对保持竞争优势至关重要的人才和创新加大投资。

针对报告的评估结果,美国能源部立即采取了强化美国本土先进电池供应链行动,联合发布《美国锂电池2021—2030年国家蓝图》,为电动汽车先进电池供应链提供约170亿美元的融资,用于在美国重新装备、建立或扩建此类电池供应链生产设施^[2-3]。

1.2 制定《美国锂电池2021—2030年国家蓝图》

美国能源部、国防部、商务部、国务院四部门联合组建了联邦先进电池联盟(FCAB),联邦先进电池联盟将美国国内锂电池供应方面相关的联邦机构聚集在一起,以建立美国本土锂电池材料和技术的完整供应链,指导联邦政府对美国国内锂电池制造价值链的投资,应对未来锂电市场的大幅增长,为美国带来清洁能源制造业的就业机会,进而加速

建设强大的、安全的美国本土先进电池工业基础。

联邦先进电池联盟发布了首份由美国政府主导制定的锂电池发展政策——《美国锂电池 2021—2030 年国家蓝图》。对于锂电池供应链的每一个阶段，该蓝图确定了联邦机构可以采取的关键行动，以增强美国锂电池行业的实力^[9]。蓝图提出 5 大愿景目标：一是确保原材料、精炼材料和加工材料的可靠供应，努力寻求可持续的替代品，减少对钴和镍等稀有材料的依赖；二是加快美国锂电池材料加工的发展，减少锂电池中关键原材料的使用并提高阴极、阳极、电解质等电池材料加工工艺水平，达到降低成本的目的；三是制定联邦政策框架，支持美国电极、电池芯、电池组的发展，特别是要建立公平和持久的供应链，鼓励锂电池需求市场的增长；四是形成报废锂离子电池的再循环利用价值链，同时开发新方法降低回收成本；五是加强对科学、技术、工程和数学的科技人才队伍的支持，为美国建立具有竞争力和公平性的锂电池供应链提供人才保障。蓝图的核心目的是建立美国锂电池材料、部件供应、自主生产、回收以及科研引领能力。在研发方面，蓝图提出了 2030 年要实现的远期目标，包括：加快研发，实现示范和规模化生产革命性的电池技术，实现生产成本低于 60 美元/kWh 和比能量为 500 Wh/kg，以及不含钴和镍固态和锂金属电池。

1.3 发布《储能大挑战路线图》

2017—2020 年期间，美国能源部在储能相关技术研发投入了 16 亿美元资金，平均每年 4 亿美元。虽然储能业务相关部门已制定了各自的发展目标与方向，但能源部尚未提出全面解决储能问题的系统战略。为此，能源部于 2020 年 1 月推出“储能大挑战”计划，预算 1.58 亿美元，支持以长储能为主的技术研发^[9]，旨在加速下一代储能技术的开发、商业化和应用，以维持美国在储能领域的全球领导地位。

2020 年 12 月，美国能源部正式发布了一份《储能大挑战路线图》报告，报告的愿景是通过储能技术使美国乃至全球能源系统更具弹性、灵活性、可承受性和安全性，进一步提升储能发展战略地位^[9]。通过“三大技术”和“五大路径”层层推进美国在储能领域的发展，打造以终端使用为目标、研发和产业相结合的完整储能产业链，最终构建、维持美国在储能技术领域全球的领先地位，实

现 2030 年美国本土制造能够满足美国所有市场需求，并达到美国创新、美国制造、全球部署及全球的领导地位。

其中储能领域三大技术方向包括：双向电力储能技术、化学储能和热储能技术、灵活性电源和可控负荷。其中在双向电力储能技术中重点强调了锂离子电池、钠系(含钠离子、钠基金属电池)二次电池、铅酸电池、锌体系二次电池，还包括其他金属(镁、铝)体系电池、液流电池、可充电燃料电池、电化学电容器在内的电化学储能技术等。美国能源部确定了一系列成本目标，为了实现这一目标，美国能源部将推动储能在一系列领域的商业应用，包括：满足高峰需求期间的负荷，保障电网能够满足电动汽车快速充电，确保关键基础设施(包括信息通信技术)的可靠性。到 2030 年，美国能源部要求长期固定式储能的平均成本降至 0.05 美元/千瓦时，比 2020 年降低 90%；300 英里续航电动汽车的电池组成本降至 80 美元/千瓦时，与目前 143 美元/千瓦时的锂离子电池相比降低 44%。

五大路径行动包括：技术开发、制造和供应链、技术转化、政策与评估、劳动力培养。在技术开发方面，当前和未来的储能研发活动将围绕以用户为中心和维持美国长期领导地位的目标进行部署，包括：①更新 2030 年之后的储能技术性能和成本目标，确定 2030 年前实现成本目标的研发路径和储能技术组合；②开发标准化的度量标准，支持美国创新生态系统(包括国家实验室、大学、初创企业)储能技术从实验室到市场转化。在制造和供应链方面，加强美国储能制造业发展的技术、方法和策略，实现美国在创新和规模制造方面的领导地位，包括：①深入理解各种储能技术生产和制造中的技术障碍和关键技术指标，通过技术创新降低制造成本，克服技术壁垒；②加速新兴制造工艺的推广，制定系统设计和测试标准；③强化国内供应链(包括与盟友)的合作，提高国内供应链弹性，推进关键材料采购的多样化，改善回收利用过程，减少对国外原材料和零部件的依赖，建立国内电池制造生态圈。在技术转化方面，通过现场验证、示范项目、公私合作、融资业务模式开发以及高质量市场数据的传播，确保能源部研发成果向国内市场转化，包括：①加强外部合作伙伴与能源部国家实验室合作关系，加速技术创新推向市场进程；②扩大

数据收集和分析,开展全球化项目技术测试,提供市场分析报告,降低技术市场转化风险;③寻求行业合作和跨部门参与,解决储能技术的融资风险。在政策与评估方面,提供数据、工具和分析方法,以支持政策决策并最大程度地发挥储能的价值,包括:①识别和评估各地方政府政策法规,开发最前沿的数据、工具和分析系统,解决政策评估问题;②制定一个协调、系统的客户参与计划,帮助利益相关方做出明智决定,实现储能技术的效用和价值最大化。在劳动力培养方面,培养研究、开发、设计、制造和运营储能系统的专业队伍,包括:①对所有教育层次和目标人群进行需求评估和技能评估;②增加利益相关方的投入,为员工发展提供创新机会,促进应对更广泛的储能技术挑战,满足劳动力发展需求。

除储能技术外,美国能源部通过梳理各相关部门的职能,构建各层级政府间以及各相关部门间储能工作的协调与参与机制,并提出具体行动及衡量行动是否成功的标准。

1.4 加大力度推动电动汽车市场,带动电池技术和产业发展

2021年,为了推动美国电动汽车的未来向前发展、超越中国并应对气候危机,在美国《重建更好未来计划》中制定了一个新目标,即在2030年销售的所有新车中,确保一半是零排放汽车,包括纯电动、插电式混合动力电动或燃料电池电动汽车。同年5月美国通过了《美国清洁能源法案》提案,提案计划提供316亿美元电动车消费税收抵免,对满足条件的车辆将税收抵免上限提升至1.25万美元/车;同时,放宽汽车厂商享受税收减免的20万辆限额,并将提供1000亿美元购置补贴;在渗透率达到50%后,税收抵免政策将会在三年内退出^[6-7]。同年8月,面对全球市场正在转向电动汽车的浪潮、美国在电动汽车电池制造的竞赛中落后以及美国插电式电动汽车销量的市场份额仅为中国电动汽车市场1/3等现状,美国就加强清洁汽车和卡车方面宣布一系列行政命令^[8]。行政命令明确美国必须在清洁高效的汽车和卡车方面引领世界,围绕实现目标,提出政府将优先制定明确的标准,扩大关键基础设施,激励关键创新,增加整个供应链中就业机会。行政命令提出现在是美国通过投资推动在电动汽车制造、基础设施和创新方面处于领先地位的时候,其目标

是建立有史以来第一个全国性的电动汽车充电网络。在行政令中,福特、通用汽车和Stellantis联合声明表示“到2030年实现美国电动汽车年销量的40%~50%,以使美国更符合巴黎气候目标的零排放未来;希望政府及时部署实施在《重建更好未来计划》中承诺的全套电气化政策,包括购买激励措施、足够密度的综合充电网络”。汽车创新联盟总裁兼首席执行官声明:“汽车制造商致力于实现净零碳运输的未来,汽车行业已承诺投资超过3300亿美元,将新型电动汽车(EV)推向市场”。

1.5 美国《基础设施投资和就业法案》中设立电池相关条款,加大对电池加工制造和回收的补助

2021年11月,拜登总统签署了《基础设施投资和就业法案》,在“清洁能源技术供应链”条款中,包含电池加工制造和电动汽车电池回收及二次使用方案两个与电池相关的部分^[9]。法案还提出将投资75亿美元在美国建立一个全国电动汽车充电器网络。

在法案的电池加工制造部分涉及先进电池、先进电池组件、电池材料、适用实体、外国相关实体、制造、过程、回收,设立“电池材料加工资助计划”“电池制造和回收资助计划”“锂离子电池回收奖竞赛”“电池和关键矿物回收项目”。“电池材料加工资助计划”目的是确保美国有一个可行的电池材料加工业以供应北美电池供应链;扩大美国在先进电池制造方面的能力;通过减少美国在关键材料和技术方面对外国竞争对手的依赖来加强国家安全;提高国内电池材料和先进电池所需矿物的加工能力。根据该计划,符合条件的实体可得到资助:在美国开展一个或多个电池材料加工示范项目;在美国建设一个或更多新的商业规模的电池材料加工设施;重组、改造或扩建位于美国的一个或多个现有电池材料加工设施。“电池制造和回收资助计划”的目的是确保美国有一个可行的国内制造和回收能力,以支持和维持北美电池供应链。在该计划下,向符合条件的实体给予支持一个或多个先进电池组件制造、先进电池制造和回收的示范项目;在美国建立一个或更多新的商业规模的先进电池组件制造、先进电池制造或回收设施;以及重组、改造或扩建位于美国的一个或多个现有设施,并经部长确定具备先进电池组件制造、先进电池制造和回收的资质。

在电动汽车电池回收及二次使用方案部分涉及电动汽车电池的二次生命应用以及电动汽车电池再循环和处理的技术和工艺。电动汽车电池回收及二次使用方案的目标是提高电动汽车电池的回收率和二次使用率，为电动汽车电池关键材料建立可替代供应链，降低电动汽车电池使用成本，并改善电动汽车电池回收过程对环境的影响。

2022年2月，根据两党《基础设施和就业法案》，美国能源部发布“电池材料加工和电池制造”和“电动汽车电池回收和二次利用”资助招标计划，提供29.1亿美元促进先进电池的生产，确保美国能够建立本土电池供应链^[10]。在“电池材料加工和电池制造”计划中，重点支持电极材料从原料提取分离到正极制造的国内商业化规模生产，利用合成原料和天然原料制造电池级石墨的国内商业化规模生产，完成国内商业化规模的电池材料提取和加工，实现国内从非传统原料来源进行分离和电池级材料的生产示范，进行国内电池材料分离与加工的示范，国内商业规模的电池组件制造和电池回收，国内电池单元级元件制造的示范等。在“电动汽车电池回收与二次利用”计划中，支持电池回收和重新整合到电池供应链以及电池二次利用大规模示范等。

2 加大科技计划支持和创新平台建设

2.1 发挥国家实验室作用，设立电动汽车下一代电池研发计划

能源部认为先进的锂电池在21世纪的技术中起着不可或缺的作用，如电动汽车、固定电网存储在国防中的应用，这些技术对确保美国清洁能源的未来至关重要。2021年10月美国能源部计划提供2.09亿美元资金，宣布支持阿贡国家实验室等开展全固态电池、电池快充技术等领域26个项目研发^[11]。此次研究项目的关键目标是显著降低下一代电池技术的成本和尺寸，推进电池在15分钟内极速充电，以减轻全国范围内充电的数千万辆汽车对电网的潜在影响等。研究项目包括电池500第二阶段、通过材料设计和集成实现长循环寿命和高能量密度的固态电池、低压全固态电池、全固态锂电池的3D打印、高能全固态锂硫电池的的稳定固态电解质及界面、锂离子电池极速充电电池等，其中重点研究固态电解质技术包括多种固体电解质、陶瓷固

体电解质、复合固体电解质等，承担项目牵头单位包括8家国家实验室，其中橡树岭国家实验室6项，劳伦斯柏克莱国家实验室和阿尔贡国家实验室各5项，国家可再生能源实验室3项，劳伦斯利弗莫尔国家实验室、太平洋西北国家实验室和国家加速器实验室各2项，布鲁克哈文国家实验室1项^[12]，具体研究项目如表1所示。

2021年，美国能源部阿贡国家实验室牵头成立“锂桥”(Li-bridge)，作为一项新的公私合作伙伴关系项目，旨在整合和协调美国政府、私营企业和国家实验室等研发机构，致力于加速建立健全和安全的锂电池国内供应链^[11]。阿贡国家实验室将通过联邦先进电池联盟(FCAB)与联邦部门进行合作，旨在使美国走上在全球电池价值链中具有长期竞争力的道路。

2.2 设立“促进锂电池回收再利用”专项

美国能源部资助2050万美元用于促进锂电池回收再利用技术，通过整合国家实验室、大学和私营企业的研究力量，将锂离子电池回收率从目前不到5%提高到90%，加速推进锂电池关键材料回收再利用技术研发^[13]。能源部资助金额的1500万美元用于支持阿贡国家实验室、国家可再生能源实验室和橡树岭国家实验室合作成立锂电池回收再利用研发中心，重点关注具有成本效益的回收再利用工艺研发，以尽可能多地从废旧锂电池中回收和再利用能够广泛使用的高价值关键材料，如钴、锂等；能源部资助金额550万美元用于设立“锂离子电池回收竞赛”奖金，旨在鼓励美国相关企业探索收集、储存和运输废弃的锂离子电池(涵盖电动汽车、消费电子、工业和固定应用领域)的创新解决方案，加速从概念原型推进到示范项目，解决电池回收再利用中面临的五大挑战。

2.3 成立国家级储能研发中心，支持储能大挑战项目

2021年3月，美国能源部投入7500万美元，依托西北太平洋国家实验室(PNNL)成立国家级储能技术研发中心(GLS)，推进低成本长时储能技术研发，通过整合学术界和产业界的研究力量，加快推进先进的电网级别的低成本长时储能技术研发和部署，以并网消纳更多的可再生能源、推进美国电网现代化和有效应对日益增长的电动汽车电力需求^[14]。

表1 美国能源部2.09亿美元资助的电动汽车电池研发项目
Table 1 A \$290 million energy Department grant to develop batteries for electric vehicles

单位	项目
	方向1: 电池500研究协会
太平洋西北国家实验室	Battery 500第二阶段
	方向2: 金属锂固体电解质
	研究重点: 多种固体电解质
劳伦斯柏克莱国家实验室	通过材料设计和集成, 实现长循环寿命和高能量密度的固态电池
国家可再生能源实验室	低压全固态电池
	研究重点: 陶瓷固体电解质
劳伦斯利弗莫尔国家实验室	全固态锂电池的3D打印
劳伦斯利弗莫尔国家实验室	鲁棒三维固态锂电池设计的集成多尺度模型
	研究重点: 硫化物固体电解质
太平洋西北国家实验室	高能全固态锂硫电池的的稳定固态电解质及界面
橡树岭国家实验室	全固态电池用替代菱铁矿固体电解质和高容量转换阴极
阿尔贡国家实验室	可伸缩、高能量密度硫化物基固体电池的多功能梯度涂层
阿尔贡国家实验室	高能全固态锂金属电池用厚硒-硫阴极负载超薄硫化物电解质
国家加速器实验室	实用全固态电池用高导电性和电化学稳定性的硫硼酸锂固态电解质
	研究重点: 复合固体电解质
阿尔贡国家实验室	复合电解质的合成与集成界面设计
橡树岭国家实验室	用于稳定低阻抗固态电池接口的聚合物电解质
布鲁克哈文国家实验室	金属锂固态电池无机聚合物复合电解质体系结构设计
劳伦斯柏克莱国家实验室	用于固态电池的离子导电高Li ⁺ 转移数聚合物复合材料
	研究重点: 其他固体电解质
橡树岭国家实验室	固态电池锂表面的精密控制
橡树岭国家实验室	卤化锂基超离子固体电解质和高压阴极界面
劳伦斯柏克莱国家实验室	锂金属电池用聚酯基嵌段共聚物电解质
阿尔贡国家实验室	抗钙钛矿电解质全固态电池的研制
	方向3: 电池的极限快速充电(XCEL)
阿尔贡国家实验室	锂离子电池极速充电(XCEL)的核心研究
国家可再生能源实验室	极速充电的电化学/热优化解决方案
劳伦斯柏克莱国家实验室	实现极快充电的创新解决方案
国家加速器实验室	在电池和材料层面实现和理解电池快速充电
橡树岭国家实验室	集成电解液开发和电极工程, 实现高能量密度锂离子电池的快速充电
	方向4: EVs@Scale实验室联盟
国家可再生能源实验室	EVs@Scale实验室联盟解决了大规模电动汽车采用和与电网集成的技术障碍
	方向5: 通过互联互通推进自动化驱动
橡树岭国家实验室	协同驾驶自动化(CDA)框架, 用于开发以能源为中心的CDA应用的通信需求
劳伦斯柏克莱国家实验室	混合交通场景下卡车、客车和基础设施协同驾驶自动化优化

GLS所在的华盛顿州承诺向GLS研发中心提供经费, 用于先进研究设备和专门仪器采购, 以及电池材料性能测试研究。GLS研发中心预计2025年建成投入运营, 中心将设立30个独立研究实验室及相应的孵化器, 加速新开发技术或者设备商业化应用进程。

2.4 设立先进车辆技术研发项目

2020年7月, 美国能源部宣布资助1.39亿美

元支持先进车辆技术16个研发项目, 重点围绕交通动力电池、车用轻量化材料、发动机效率等领域开展, 旨在提升汽车能效和电气化水平, 减少交通运输系统的温室气体排放^[9]。在交通动力电池方面重点支持基于硅负极锂电池研发, 开发全氟化的局域高浓度电解质应用于硅负极锂电池, 设计开发具备良好兼容性的高机械柔韧性的全固态电解质, 抑制硅负极体积过度膨胀, 延长硅负极的电池寿命;

对于电动汽车轻量化材料，开发具备良好结构和电化学稳定性的富含硅成分的复合负极材料；在发动机效率方面，研发更高性能的锂离子电池动力系统替代传统的内燃机，以及开发具备超低体积膨胀率的硅基纳米复合负极，以提升循环寿命。

2.5 支持储能等变革性技术项目

2021年1月，美国能源部宣布支持含储能在内的变革性能源技术并拨款4700万美元^[16]，资助研究项目主要涉及电池、数据中心、电网现代化、减排等领域，以加速能源创新技术由实验室向商业转化。电池相关项目有：①资助900万美元用于电动飞机的下一代锂金属电池，以开发可用于电动飞机的下一代锂金属电池及年产能达到1兆瓦时的中试生产线，将商业模块化生产线的电池成本降至低于70美元/千瓦时，功率密度超过1.5千瓦/千克，能量密度达到450瓦时/千克；②资助1000万美元用于电动汽车中加速规模化采用高容量的硅负极技术，开发一种硅基复合负极材料，将车用锂离子电池能量密度提高20%以上，并实现快速充电，探索将上述硅负极应用于可穿戴设备、便携式电子设备和电动汽车。相关研发团队将通过更高效的材料筛选、在线诊断、改进前驱体利用率等提高开发效率，缩减开发周期，降低成本，进而降低电动汽车电池成本；③资助800万美元用于聚合物电解质制造工艺，验证聚合物电解质的3个关键要素(包括大批量、商业化、高质量的聚合物电解质材料和组件的可制造性，高容量锂离子电池的安全性)以及电池性能是否达到商业规格，以消除商业化道路上的关键技术、制造和市场风险。此外，开发新制造工艺，将聚合物电解质生产成本降低15%，并争取获得超大容量车用固态锂离子电池的第三方生产资质。

2.6 国防部高级研究计划局(DARPA)支持固态电池技术

2021年6月，国防部先进研究计划局(DARPA)宣布启动“形态形成界面”(MINT)计划^[17]，由于持久的电池动力和耐腐蚀涂层是持续作战能力的重要保障，DARPA通过开发一种新颖、自适应的电化学界面，提升高性能电化学系统的耐用性，提升在开发高能密度固态电池和新型耐腐蚀涂层方面的应用潜力。高能密度固态电池和新型耐腐蚀涂层/合金都依赖于发生在原子级尺度到毫米级尺度界面的

电化学反应，解决固-固离子转移界面处孔隙数量及尺寸迅速增加的问题是固态电池实用化的关键；同时，为应对强腐蚀环境中材料界面形成的纳米凹坑并防止扩大化，也面临维持船体及飞机表面和动力装置性能的技术挑战。MINT计划将从两个方向展开研究工作：第一个方向是开展固-固电荷转移界面研究，使固态电池具有更高的能量密度和循环寿命；第二个方向是开展高性能耐腐蚀涂层和合金的固-液、固-气界面研究。

3 企业加大对电池产业的投入

目前，美国动力电池供应主要来自松下、LG新能源、SKI等日韩电池企业在美电池工厂以及从亚洲电池企业进口，导致美国本土动力电池产业竞争力较为薄弱。美国能源部能源效率和可再生能源办公室一份数据显示，2010—2020年，5家锂离子电池制造商生产销售了几乎在美国所有插电式电动汽车所需的动力电池^[18]。这5家电池制造商分别为松下、LG新能源、远景AESC、三星SDI和SKI。在过去的11年，上述电池企业在美国生产了总量接近76 GWh的锂电池，其中74%(约合56 GWh)来自松下。在美国政府推动下，美国动力电池产业链迅速进入投资扩产的热潮，正在积极建设本土锂电池供应链以及加强本土锂电池生产能力和新电池技术开发水平。

3.1 汽车企业加大电池产业的投入

世界最大电动汽车企业特斯拉正在美国和德国建造电池超级工厂，大规模量产三元高镍电池4680型圆柱锂离子电池，计划2022年达到每年100 GWh，2030年达到每年3 TWh。特斯拉引领下一代电池技术的4680型圆柱锂离子电池技术兼具安全性高和成本低的双重优势，其电池能量密度是现有电池的5倍，续航里程提高16%，成本降低约14%^[19]。此外特斯拉收购了加拿大电池生产设备Hibar Systems公司，垂直整合拓展产业链，以便更大规模地推进4680型圆柱锂离子电池的生产^[20]。

世界第一大汽车巨头丰田汽车计划在2030年之前向美国电池领域投资34亿美元，其中投资12.9亿美元建立其在美国的第一家电池厂(丰田北卡电池制造厂)，计划于2025年投产，预计每年可配套120万辆汽车，将在美国创造1750个新工作岗位^[21]。

在美国政府对支持电动汽车态度明晰后,美国本土车企也开始发力,包括通用、福特等美国主流车企纷纷加快其电动化的布局。通用汽车正在加大投资锂电制造业,与韩国电池企业LG新能源合作计划在美国建立第4家电池厂(前3个共建电池厂分别位于俄亥俄州、田纳西州和密歇根州^[22]),电池生产能力提高到160 GWh,满足通用汽车在北美市场对电池的所有需求。福特与韩国电池SKI深度合作,计划分别投资44.5亿美元,在美国新建3家电池工厂,于2025年开始投产。SKI表示,这将是美国最大的工厂,其订单储备产能为1600 GWh,足以满足2700万辆汽车的需求^[23-24]。

3.2 一批电池初创公司发展势头良好

在美国电池政策的推动以及在汽车产业的投入加大趋势下,美国电池初创公司加大固态锂电池等方面的研发布局,加快产业化进程,展现出良好的发展势头。以下对美国电池主要的初创公司进行简要的介绍。

美国固态电池初创公司Factorial Energy致力于研发固态电池技术,该技术通过高压和高能量密度的电极实现安全可靠的电池性能,可将续航里程增加20%~50%,且成本也比传统的三元锂电池有竞争力,得到了现代、奔驰和Stellantis等汽车企业的支持,获得2亿美元D轮融资,加速其固态电池的商业化生产^[25]。

美国固态电池制造商Quantum Scape也是固态电池商业化量产方面强有力的竞争者。在高效的固态电池方面,该公司通过使用陶瓷隔膜,成功测试了单层原型电池。此外,在实施新的试验线方面取得了长足的进步,已经开始测试其多层固态电池并推出10层叠片固态电池,该公司得到了大众汽车2亿美元的投资^[26]。

美国固态电池初创公司Solid Power,获得了丰田和宝马的投资,该公司技术路线为硫化物固态电解质技术,可能在2022年向宝马和福特提供试验车的固态电池。Solid Power先进的阴极配方有可能将阴极活性材料的成本降低90%以上,同时满足对高能量密度、高功率密度、长寿命及安静运行等需求。韩国电池制造商SKI近期也向Solid Power投资,计划合作生产固态电池,期望在2026年实现商业化^[27]。

美国Solid Energy System (SES)在下一代电

池开发方面,得到了韩国LG科技投资公司以及通用汽车、现代、本田等汽车企业的支持,公司开发的混合锂金属电池提升电池能量密度及减少重量,正处于前期产业化阶段,目前在原型演示和专业航空航天领域已小规模试制,预计2025年实现装车量产^[28-29]。

美国电动汽车电池初创公司Our Next Energy,专注于使用更安全、更可持续的材料开发先进的长程电池。该公司研究双电池模式技术,正极不用钴和镍,第二组高性能电池组能够为第一组充电,新技术可使电动汽车的续航里程增加一倍,并已在特斯拉Model S车型进行了道路测试,计划到2023年底开始量产电池组。该企业获得了德国车厂BMW和比尔·盖茨突破能源基金等注资,资金将用于电池软件、人工智能和机器学习等的研发^[30]。

除了固态锂离子电池,在钠离子电池领域,美国初创公司也在稳步发展布局。位于加州的初创公司Natron Energy开发了一种使用普鲁士蓝改性材料模拟电极和钠离子电解质的电池。目前虽然产品还处于小批量商业生产阶段,但是已获得ABB、雪佛龙的投资扶持,同时美国能源部和美国能源高级研究计划署也对该公司进行了投资。

3.3 加大电池供应链材料的投资

美国企业不仅在电池产业加大投入,对电池初创公司进行扶持,也在加大对电池供应链材料的投资,包括通过与原材料生产商建立新的合作伙伴关系以及加大投资生产电池原材料等措施,试图在北美建立更稳固更全面的先进电池供应链。

位于加利福尼亚索尔顿海域的通用汽车联合CTR公司(可控热能开发公司),建设了地热卤水提取锂项目,从地下2400米深处的水库抽取超高温富锂卤水提取锂,该技术排放的二氧化碳比澳大利亚的锂矿少15倍^[31]。该项目计划提取6000吨锂,以供应600万辆电动汽车的制造需求,该项目也将让通用成为美国最大的锂电池生产商。此外,通用汽车宣布与韩国浦项化学(Posco Chemical)签署了一份非约束性条款,共同建立合资企业,并在北美地区为其与LG化学合资的电池制造企业加工正极活性材料(CAM)等关键材料^[32]。通用汽车的一系列举措旨在建立一个完善且稳定的、可持续的、有弹性的北美电动汽车电池供应链,涵盖从原材料提取到电池回收的整个生产环节,以形成生态闭环^[33]。

特斯拉在2021年收购了拥有环保负极材料生产技术的加拿大 Spring Power 和拥有硅负极材料生产技术的美国锂离子电池初创公司 SilLion, 硅负极材料技术将助力特斯拉加快生产更便宜、续航里程更长的 4680 型圆柱锂离子电池^[34]。

美国第四大炼油商 Phillips 66(PSX.US)宣布, 以 1.5 亿美元的价格收购澳大利亚布里斯班电池材料和 Novonix Ltd. 技术公司 16% 的股份, 以巩固 Novonix 在美国电池负极材料石墨生产领域的地位, 并为美国电池供应链的发展提供支持^[35]。

美国雅保 Albemarle Corporation 作为全球最大的碳酸锂生产企业之一, 2021 年宣布全资收购广西天源新能源材料有限公司^[36]。此次收购将扩大其锂生产能力, 目前正处于试运行阶段, 公司设计年转化能力高达两万五千吨, 预计将在 2022 年上半年开始进行商业生产。此外, Albemarle Corporation 宣布与美国专业 3D 打印材料开发商 6K 签署了一项联合开发协议, 主要用于生产新型锂离子电池材料。这项合作将由 6K 的 UniMelt 微波等离子体系统专利技术来实现, 这是一个用于生产工业级粉末的可持续材料生产平台, 预期可减少 70% 的二氧化碳排放, 减少 90% 的水消耗, 完全消除废水的产生, 同时减少 50% 的厂房空间^[37]。

美国加州新一代电池材料初创公司 Sila Nano 获得了 5.9 亿美元的 F 轮融资, 该融资用于支持其在北美建设硅基负极材料生产基地。硅基负极材料被用于新一代电池生产, 具有使用周期长、膨胀率超低、能量密度高的特点, 这些材料可以将锂电池能量密度提高 20%, 甚至有望提高 40%。当前, 该公司正在与宝马、ATL 等企业合作研发下一代电池, 计划在 2024 年实现量产其硅基负极材料^[38]。

北美最大的锂离子电池回收公司 Redwood 致力于发明和推广从锂离子电池中回收和利用材料技术^[39], 该公司宣布了新的数亿美元投资计划, 以扩大其电池回收生产线, 包括在内华达州新建正极材料工厂。到 2025 年底, Redwood 新工厂的正极材料年产能将达到 100 GWh, 足够约 130 万辆长途汽车使用, 2030 年, 该工厂的年产能将增加至 500 GWh^[40]。

4 对我国的启示和建议

为了推动美国先进电池技术和产业的发展, 美国政府加强了电池产业链的顶层设计, 包括评估产

业链现状、制定先进电池长期发展规划、发布电池技术路线图和相关产业扶持政策。同时, 美国政府加强对先进电池技术的支持力度, 通过整合国家实验室、大学和私营企业的研究力量以及研发平台的建设, 设立研发项目和专项, 提升美国在先进电池技术领域的技术竞争力。美国政府系列扶持举措推动了美国汽车企业加大对电池产业的投入, 推动了先进电池企业、电池材料及原材料产业的发展, 保障了其国内电池供应链安全。

随着美国政府扶持先进电池技术领域政策实施和产业投资的见效, 美国先进电池产业将实现快速增长, 对我国电池产业的发展将产生影响和带来竞争, 我国应予以高度关注和重视。进一步明确应对全球竞争新形势下我国电池技术和产业发展战略目标及发展路径, 对电池材料、电池制造、电池应用、回收利用等整个产业链进行系统部署, 加强电池研发的基础设施和创新平台的建设。加强电池技术领域基础研究、关键技术和应用示范全链条的整体布局, 加强高效、低成本、长寿命、智能化电池材料及电池系统技术开发, 重视固态锂电池、钠离子电池等新兴和下一代电池技术发展, 进一步提升现有电池体系的性能并降低成本。为电池产业长期发展和保持竞争优势构建稳定的政策环境, 通过完善配套基础设施, 建设相关市场机制, 推动先进电池产业化, 提升电池产业数字化和智能化水平, 鼓励电动汽车企业和电池生产企业的协同合作, 推动科技型中小企业加强电池技术的创新。在“双碳”目标背景下, 重视电池制造、使用和回收生命全周期的碳减排技术, 支持电池产业可持续发展和支撑我国双碳目标的实现, 巩固我国电池产业世界领导地位。

参考文献

- [1] DOE. Biden-Harris administration 100-day battery supply chain review[EB/OL]. (2021-6-11). <https://www.energy.gov/articles/fact-sheet-biden-harris-administration-100-day-battery-supply-chain-review>.
- [2] DOE. DOE announces actions to bolster domestic supply chain of advanced batteries[EB/OL]. (2021-09-19). <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-actions-bolster-domestic-supply-chain-advanced-batteries>.
- [3] DOE. National blueprint for lithium batteries[EB/OL]. (2021-6-17). <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/national-blueprint-lithium-batteries>.
- [4] DOE. U.S. Department of Energy launches energy storage grand

- challenge[EB/OL]. (2021-8-17). <https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-launches-energy-storage-grand-challenge>.
- [5] DOE. Energy storage grand challenge roadmap[EB/OL]. (2021-05-25). <https://www.energy.gov/energy-storage-grand-challenge/articles/energy-storage-grand-challenge-roadmap>.
- [6] CONGRESS. Clean energy for America act[EB/OL]. (2021-07-12). <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/2118/text?q=%7B%22search%22%3A%5B%22Clean+Energy+Act+of+2021%22%2C%22Clean%22%2C%22Energy%22%2C%22Act%22%2C%22of%22%2C%222021%22%5D%7D&r=23&s=3>.
- [7] BLOOMBERG. Senate panel to advance electric car, clean energy tax credits[EB/OL]. (2021-07-12). [bloomberg.com/news/articles/2021-05-26/electric-car-clean-energy-credits-set-to-clear-senate-panel](https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-05-26/electric-car-clean-energy-credits-set-to-clear-senate-panel).
- [8] The White House. Remarks by president biden on strengthening American leadership on clean cars and trucks[EB/OL]. (2021-09-01). <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2021/08/05/remarks-by-president-biden-on-strengthening-american-leadership-on-clean-cars-and-trucks/>.
- [9] Congress. H. R. 3684-Infrastructure investment and jobs act[EB/OL]. (2022-01-12). <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3684>.
- [10] DOE. Biden Administration, DOE to invest \$3 billion to strengthen U.S. supply chain for advanced batteries for vehicles and energy storage[EB/OL]. (2022-02-14). <https://www.energy.gov/articles/biden-administration-doe-invest-3-billion-strengthen-us-supply-chain-advanced-batteries>.
- [11] DOE. DOE announces \$209 million for electric vehicles battery research[EB/OL]. (2021-11-19). <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-209-million-electric-vehicles-battery-research>.
- [12] DOE. VTO lab call selection table[EB/OL]. (2021-11-19). <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/vto-lab-call-selection-table>.
- [13] DOE. DOE announces \$20.5 Million for lithium-ion battery recycling[EB/OL]. (2021-8-12).
- [14] DOE. DOE Launches Design & Construction of \$75 million grid energy storage research facility[EB/OL]. (2021-7-19). <https://www.energy.gov/articles/doe-launches-design-construction-75-million-grid-energy-storage-research-facility>.
- [15] DOE. DOE announces \$139 million in funding for 55 projects to advance innovative vehicle technologies[EB/OL]. (2021-7-19). <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-139-million-funding-55-projects-advance-innovative-vehicle-technologies>.
- [16] DOE. DOE announces an additional \$47 million in funding for commercial scaling of transformational energy technology projects[EB/OL]. (2021-7-24). <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-additional-47-million-funding-commercial-scaling-transformational-energy>.
- [17] DARPA. Morphogenic interfaces (mint) proposers day[EB/OL]. (2021-9-15). <https://darpa.mil/news-events/morphogenic-interfaces-proposers-day>.
- [18] KOKA J. A 10-year look at the battery supply chain in America[EB/OL]. (2021-7-28). <https://www.anl.gov/article/a-10year-look-at-the-battery-supply-chain-in-america>.
- [19] TESLA. Tesla Gigafactory[EB/OL]. (2022-1-15). <https://www.tesla.com/gigafactory>.
- [20] KLENDER J. Tesla acquires Hibar Systems in push toward in-house battery cell development[EB/OL]. (2021-9-15). <https://www.teslarati.com/tesla-acquires-hibar-battery-manufacturer/>.
- [21] TOYOTA. Toyota Selects North Carolina for New U.S. automotive battery plant[EB/OL]. (2022-1-15). https://global.toyota/en/newsroom/corporate/36418723.html?_ga=2.91416348.700346707.1644982810-363926469.1644982810.
- [22] General Motors. GM and LG energy solution investing \$2.6 billion to build 3rd ultium cells manufacturing plant in lansing[EB/OL]. (2022-2-11). <https://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2022/jan/0125-gmandlg.html>.
- [23] FORD. Ford to lead america's shift to electric vehicles with new mega campus in tennessee and twin battery plants in kentucky; \$11.4b investment to create 11,000 jobs and power new lineup of advanced evs[EB/OL]. (2021-1-14). <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2021/09/27/ford-to-lead-americas-shift-to-electric-vehicles.html>.
- [24] REUTERS. Ford JV partner SK sees U. S. battery shortage persisting until 2025[EB/OL]. (2021-11-14). <https://reuters.com/business/autos-transportation/ford-jv-partner-sk-sees-us-battery-shortage-persisting-until-2025-2021-10-04/>.
- [25] STELLANITS. Stellantis and factorial energy to jointly develop solid-state batteries for electric vehicles[EB/OL]. (2021-11-09). https://www.stellantis.com/en/news/press-releases/2021/november/stellantis-and-factorial-energy-to-jointly-develop-solid-state-batteries-for-electric-vehicles?adobe_mc_ref=.
- [26] STEVEN L. VW Partner QuantumScape: 10-Layer solid-state battery development[EB/OL]. (2021-12-15). <https://insideevs.com/news/523612/volkswagen-quantumscape-advances-battery-testing/>.
- [27] KIM Byung-wook. SK Innovation, Solid Power to co-develop, produce solid-state batteries[EB/OL]. (2021-12-30). <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20211028000804>.
- [28] SES. The Power of SES Li-Metal Batteries[EB/OL]. (2021-11-09). <https://ses.ai/>.
- [29] REUTERS. Hyundai motor to invest \$100 mln in battery startup solid energy systems-yonhap[EB/OL]. (2021-11-09). <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/hyundai-motor-invest-100-mln-battery-startup-solidenergy-systems-yonhap-2021-07-05/>.
- [30] BMW Group. BMW i ventures announces investment in battery startup our next energy[EB/OL]. (2021-11-19). https://www.press.bmwgroup.com/usa/article/detail/T0350452EN_US/bmw-i-ventures-announces-investment-in-battery-startup-our-next-energy?language=en_US.
- [31] Green Car Congress. GM to source US-based lithium for future EV batteries from CTR; closed-loop, direct-extraction process[EB/OL]. (2021-11-15). <https://www.greencarcongress.com/2021/07/20210702-ctr.html>.
- [32] GM. GM and POSCO Chemical will build a new north america factory to process cathode active material for ultium batteries

- [EB/OL]. (2022-01-15). <https://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2021/dec/1201-posco.html>.
- [33] GM. GM and POSCO chemical will build a new north america factory to process cathode active material for ultium batteries[EB/OL]. (2021-08-21). <https://investor.gm.com/news-releases/news-release-details/gm-and-posco-chemical-will-build-new-north-america-factory/>.
- [34] KLENDER J. Tesla taps another Canadian startup for battery developments...for \$3[EB/OL]. (2021-11-15). <https://www.teslarati.com/tesla-springpower-international-patents-battery-developments/>
- [35] PHILLIPS 66. Phillips 66 announces strategic investment in NOVONIX[EB/OL]. (2021-08-21). <https://investor.phillips66.com/financial-information/news-releases/news-release-details/2021/Phillips-66-Announces-Strategic-Investment-in-NOVONIX/default.aspx>.
- [36] ALBEMARLE Corporation. Albemarle to expand lithium production capabilities with acquisition of Guangxi Tianyuan new energy materials co., ltd[EB/OL]. (2021-11-15). <https://www.albemarle.com/news/albemarle-to-expand-lithium-production-capabilities-with-acquisition-of-guangxi-tianyuan-new-energy-materials-co-ltd>.
- [37] SERTOGLU, KUBI. 6K and Albemarle partner to develop sustainable lithium battery materials[EB/OL]. (2022-02-15). <https://3dprintingindustry.com/news/6k-and-albemarle-partner-to-develop-sustainable-lithium-battery-materials-202348/>.
- [38] SILA Nano. Coatue and T. Rowe price funds anchor \$590M investment in Sila Nanotechnologies[EB/OL]. (2021-12-15). <https://www.silanano.com/press/press-releases/coatue-and-t-rowe-price-funds-anchor-590-m-investment-in-sila-nanotechnologies>.
- [39] Redwood Materials[EB/OL]. (2021-08-25). <https://www.redwoodmaterials.com>.
- [40] Tesla cofounder JB straubel announces new 100 GWh battery for US[N/OL]. <https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2021/09/14/tesla-cofounders-recycling-startup-plans-to-become-ev-battery-material-powerhouse/>.