

# 国内外固态电池产业现状及发展挑战

孙昱晗 吴喜庆 姚占辉 李逸凡

(中国汽车技术研究中心有限公司,天津 300300)

【欢迎引用】孙昱晗,吴喜庆,姚占辉,等. 国内外固态电池产业现状及发展挑战[J]. 汽车文摘, 2025(5): 51-54.

【Cite this paper】SUN Y H, WU X Q, YAO Z H, et al. Current Status and Development Challenges of Solid-State Battery Industry at Home and Abroad[J]. Automotive Digest (Chinese), 2025(5): 51-54.

【摘要】固态电池作为下一代动力电池的关键技术,能够满足新能源汽车全场景、全气候、高安全的使用需求。为了支撑固态电池产业高质量发展,系统梳理固态电池主要技术路线,以及国内外政策支持和主要企业发展现状,提炼出当前行业存在的技术、成本的共性难题,总结出我国固态电池产业发展面临专利受制约、标准体系不健全、现有液态电池产业可能被冲击等挑战。未来,亟需统筹谋划,汇聚行业力量,多措并举加快固态电池技术攻关及产业化应用。

关键词: 固态电池; 固态电解质; 产业现状; 技术布局

中图分类号: U461.2; TQ152 文献标志码: A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20240138

## Current Status and Development Challenges of Solid-State Battery Industry at Home and Abroad

Sun Yuhan, Wu Xiqing, Yao Zhanhui, Li Yifan

(China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd., Tianjin 300300)

【Abstract】As a key technology of next-generation power battery, solid-state batteries can meet the full-scene, all-climate, and high-safety requirements of new energy vehicles. To support the high-quality development of the solid-state battery industry, it is essential to systematically sort out the main technical routes of solid-state batteries, as well as the policy support and development status of domestic and foreign enterprises. The common technical and cost-related problems in the industry should be identified. The development of China's solid-state battery industry is confronted with challenges such as patent constraints, an incomplete standard system, and potential impacts on existing liquid-state battery industries. In the future, it is urgent to plan and coordinate efforts, mobilize industry forces, and take multiple measures to accelerate the technological breakthroughs and industrial application of solid-state batteries.

Key words: Solid-state batteries, Solid electrolytes, Current Industry Status, Technology Layout

## 0 引言

目前,新能源汽车上升到国家战略高度,随着产业升级,消费者对新能源汽车的续航里程、补能效率、安全性能要求不断提高,也对动力电池提出了更高的要求。固态电池在能量密度、本征安全和循环寿命等方面相较于液态电池具有显著优势,被视为下一代动力电池的主流技术路线<sup>[1]</sup>。然而,尽管其理论优势明显,产业化进程仍面临诸多挑战,如电解质电导率低、界面阻抗大、生产制造成本高等。本文聚焦固态电池的技术进展,分析全球主要国家和地区的政策及产业

链发展情况,探讨行业发展面临的共性问题外。同时,针对我国在固态电池领域的具体挑战,通过对比国内外产业发展现状,剖析我国在该领域的优势与不足,提出具体建议,旨在为我国固态电池技术突破和产业化发展提供理论支持,助力我国在动力电池和新能源汽车领域保持全球领先地位。

## 1 固态电池产业发展现状

固态电池主要指固态锂离子电池,其工作原理与传统液态锂离子电池基本一致,主要区别在于将传统电解液替换为固态电解质。根据电池电解质中固液

含量的不同,固态电池可分为半固态电池和全固态电池。半固态电池采用固液混合电解质,液体质量占比5%~10%,是液态锂离子电池和全固态电池的折中方案;全固态电池则完全使用固态电解质,在安全性、理论能量密度等方面具有显著优势<sup>[2]</sup>。

当前,固态电池仍处于多技术路线并行的发展阶段,尚未形成行业共识的主流技术路线。根据电解质材料的不同,固态电池主要分为聚合物、氧化物和硫化物三大技术方向。

(1)聚合物电解质:主要由聚合物基体与锂盐构成,高温时离子电导率高、易于加工、电解质-电极的界面阻抗可控,是最早实现产业化的技术路线,其主要缺点在于室温时离子电导率低( $10^{-7}\sim 10^{-5}$  S/cm)<sup>[3]</sup>。

(2)氧化物电解质:具有较高的室温离子电导率、优异的电化学稳定性和良好的循环性能,但其与正负

极材料的界面接触较差,导致界面阻抗较高。尽管如此,氧化物电解质的综合性能较好且易于大规模生产,目前产业化进展最快,将在混合固液电池中率先应用。

(3)硫化物电解质:具有最高的室温离子电导率,但其与电极材料的界面稳定性较差,且电解质易氧化,技术难度较高。硫化物电解质更适合应用于全固态电池,长期发展潜力巨大。

整体来看,氧化物电解质因其综合性能和生产可行性,成为当前产业化进展最快的技术路线;硫化物电解质虽然技术难度大,但其性能优异,适合全固态电池的长期发展;聚合物电解质则可能作为前两种路线的补充,通过与氧化物或硫化物复合,改善电解质-电极界面的柔性,从而提升电池的循环性能。

表1 不同技术路线固态电解质特点及主要企业

类型	聚合物	氧化物	硫化物
电解质材料	聚环氧乙烷、聚丙烯腈等	LiPON(聚合锂磷氧氮)、NaSiCON(钠超离子导体)等	LiGPS(锂锆磷硫)、LiSnPS(锂锡磷硫)、LiSiPS(锂硅磷硫)等
离子电导率/S·cm <sup>-1</sup>	室温: $10^{-7}\sim 10^{-5}$ ; 高温: $10^{-4}$	$10^{-6}\sim 10^{-3}$	$10^{-7}\sim 10^{-2}$
优点	高温下工作性能好,柔韧性好,易大规模制备薄膜	机械强度高,热稳定性和空气稳定性好,电化学窗口宽	室温电导率高,延展性好,可以通过掺杂、包覆提高稳定性
缺点	常温下电导率低(<4 V),电化学窗口窄	材料总体电导率较低,界面接触差	易氧化,界面稳定性较差
主要企业	以欧美企业为主,主要为 Bollore、BatScap、Blue Solutions、Solid Energy 等	以中国企业为主,主要为辉能科技(台湾)、赣锋锂电、卫蓝新能源、ProLogium、Quantum Scape 等	以日韩企业为主,主要为丰田、三星、松下、Solid Power、宁德时代、比亚迪、蜂巢能源等

### 1.1 国外产业现状

全球主要汽车强国均已将固态电池作为重要战略方向。日本、韩国、美国、欧洲等国家和地区不仅在战略规划文件中明确支持固态电池的发展,还提供了高达千亿元规模的资金支持,力求在未来新一代电池技术中抢占先机,从而实现对我国动力电池和新能源汽车产业的“换道超车”。

日本在固态电池领域的布局尤为突出。2018年,日本组织松下、丰田等23家汽车、电池和材料企业,以及京都大学、日本理化学研究所等15家学术机构共同开展固态电池的研发。2022年,日本经济产业省牵头建立更强大的电池制造产业链,重点聚焦固态电池领域,并发布《蓄电池产业战略》。该战略提出,提出到2030年基本实现全固态电池实用化及全面商业化,拟投资1 205亿日元用于以全固态电池为核心的下一代电池技术及回收技术研发。在技术研发方面,日本丰田在2020年成为全球首家推出全固态电池试制车的整车企业。2023年7月,丰田宣布攻克了影响电池循

环寿命的固态电解质界面龟裂问题,能够将电池质量、体积和成本减半,目前,丰田已制造出续航里程达1 200 km、充电时间仅为10 min或更短的固态电池,并计划于2027—2028年实现全固态电池的装车应用。此外,日本企业在固态电池专利领域也占据领先地位,丰田、松下和出光兴产的固态电池专利数量分别位列全球前三位<sup>[4]</sup>。

表2 2000年至2022年3月全球固态电池专利排名

排名	企业名称	国别	专利数量/件
1	丰田	日本	1 331
2	松下	日本	445
3	出光兴产	日本	272

韩国积极布局固态电池发展。2021年,韩国发布《K电池发展战略》,计划到2030年前联合企业共同投入20万亿韩元,用于全固态电池等下一代电池技术的研发,并力争在2027年实现全固态电池的初步商业化。目前,韩国三星SDI已开发出体积能量密度为900 Wh/L、循环寿命1 000次的全固态电池样品,并建

成了全固态电池中试线,计划于2027年实现大规模量产。此外,韩国企业在固态电池专利方面也表现较为突出,三星SDI和LG新能源的固态电池专利数量分别位列全球第4位和第6位。

欧洲在固态电池领域的布局同样具有战略高度。欧盟推出《电池2030规划》及《2030电池创新路线图》,明确将固态电池作为重点发展方向,并批准了欧洲固态电池投资专项计划。该计划由欧盟多国共同出资32亿欧元,用于支持固态电池的研发和产业化。

美国在固态电池领域也制定了明确的发展目标。在《国家锂电发展蓝图2021—2030》中,美国明确提出到2030年实现固态电池示范应用和规模化生产。美国Solid Power公司对外宣称开发出了单体能量密度390 Wh/kg、循环寿命超过1 000次的全固态电池,并已通过针刺、过充等安全性测试。

## 1.2 国内产业现状

我国在动力电池领域积累了丰富的研发和产业化经验,并在固态电池技术方面取得一定进展。然而,在技术研发与创新以及产业化发展方面,我国仍面临一系列问题和不足,与国外先进水平相比仍存在一定差距。基于成熟的电池产业基础,我国选择在积极布局全固态电池技术研发的同时,大力推动半固态电池的产业化应用。

政策支持方面,我国高度重视固态电池的技术攻关。2021年,科技部在国家重点研发计划“新能源汽车重点专项”中专门设置全固态金属锂电池技术等固态电池基础前沿技术课题,通过项目形式加大技术创新攻关。2022年,科技部等九部门颁布的《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030年)》中明确指出,要研究固态电池等更安全、长寿命、高能量效率的前沿储能技术。2023年,国务院印发的《新能源汽车产业高质量发展行动计划》进一步提出,实施产业技术创新攻关工程,重点布局新材料新体系动力电池等前沿领域技术研发与产业化,加快培育产业发展新优势。

产业化进展方面,我国半固态电池在全球率先实现量产上车。2022年1月,搭载赣锋锂电半固态电池的东风风神E70实现全球首发,并在江西、广东、浙江、江苏等地开展商业化示范运营。2023年6月,卫蓝新能源半固态电池也正式交付蔚来汽车,并搭载蔚来ET7车型。该电池单体能量密度达到360 Wh/kg,循环寿命超过1 200次,实际续航里程突破1 000 km。2024年4月,清陶能源开发的超快充

固态电池应用于智己L6车型,续航里程同样超过1 000 km。此外,宁德时代发布的“凝聚态电池”也是一种半固态电池,单体能量密度最高可达500 Wh/kg,目前已具备量产能力。

## 2 面临的问题及挑战

### 2.1 全球固态电池产业共性问题

目前,技术和成本是制约全球固态电池产业化发展的两大核心问题。

技术方面,当前固态电池面临以下挑战:(1)固态电解质电导率低:固态电解质的离子电导率普遍较低,导致倍率性能和循环性能较差。目前,行业主要通过替换元素或掺杂同种异价元素<sup>[5]</sup>,来提高固态电解质电导率,但氧化物、聚合物路线离子电导率与液态电池相比仍存在较大差距。(2)界面阻抗大:固态电解质和电极间界面阻抗大、界面相容性低,严重影响了电池的倍率性能和循环稳定性。目前,行业拟通过纳米结构设计、复合电解质、机械压力辅助等手段改善性能,但尚未从根本上解决界面问题。(3)金属锂负极问题:金属锂负极在循环中易出现锂枝晶及孔洞,影响电池循环稳定性和安全性<sup>[6]</sup>,尽管行业通过机械压力等手段延缓锂枝晶的生长,但仍无法从根本上消除负极析锂问题。

成本方面,固态电池的产业化面临以下挑战:(1)固态电解质成本高:固态电解质是主要新增成本,且目前成本居高不下。(2)生产工艺不成熟:与成熟的液态锂电池相比,固态电池的生产制造工艺尚未完全成熟,缺乏规模效应,产业链也不完备。此外,生产设备需要定制化开发,进一步推高了整体成本<sup>[7]</sup>。(3)材料成本高:当前全固态电池的材料成本约为1.5~2.5元/W·h,显著高于液态电池。

### 2.2 我国面临的挑战

在全球电池固态化发展进程中,我国固态电池发展除面临上述共性问题外,还面临以下独特挑战。

(1)技术布局受到专利标准限制。当前,全球固态电池专利数量排名前十的企业均来自日韩,制约我国企业在固态电池技术路线选择、产品研发和海外出口。另外,我国在固态电池产品设计、生产制造、安全评估、性能测试等环节均缺乏相关标准<sup>[8]</sup>,将进一步限制我国固态电池产业发展。

(2)对当前成熟的液态电池产业造成冲击。我国在液态锂离子电池领域处于全球领先地位。2023年,我国动力电池正极材料、负极材料、电解液、隔膜等关

键主材全球出货量占比均超过70%。然而,全固态电池与现有液态电池产业体系兼容度较低,一旦全固态电池大规模推广应用,将对我国具有明显优势的液态电池产业造成冲击,尤其电解液和隔膜等关键环节可能面临颠覆性影响。我国现有电池产业也存在“船大难掉头”的风险。

### 3 相关对策建议

我国规划类政策文件多次提及加快固态电池研发,但尚未形成具体的发展路线以及实施办法,缺乏顶层设计。为此,亟需在国家层面系统谋划,通过多部门、多领域协同推动固态电池的关键技术攻关和产业化应用,确保我国在动力电池前沿技术上实现长期持续引领和自主可控,进一步巩固和扩大新能源汽车产业的发展优势。

#### 3.1 加强统筹谋划,提升固态电池战略地位

充分发挥新型举国体制优势,科学谋划、系统部署动力电池的顶层规划,加快推进固态电池产业化发展。具体措施包括:(1)优化产业链布局:围绕负极、隔膜、电解质、生产制造装备等固态电池产业链颠覆性环节,加强政策引导建设,优化调整现有动力电池总体布局,重点打造固态电池特色产业链。(2)加大财税金融支持:持续加大对固态电池财税金融支持力度,对研发、生产和应用固态电池的企业给予资金支持或税收优惠。例如,在2024年至2027年新能源汽车购置税减免政策中,对使用固态电池的新能源乘用车取消免税额上限,以平衡固态电池发展前期的高成本,激励企业加大对固态电池领域的投资和创新。(3)引导社会资本参与:充分利用风险投资基金,吸引私募基金和风险投资,为初创企业在发展初期面临的高风险和不确定性提供担保和支持,鼓励社会资本加大对固态电池领域的投入。

#### 3.2 聚焦关键技术,持续加大技术创新攻关

固态电池的发展涉及材料、电池、装备、集成等多领域多方面关键技术,我国应大力鼓励企业对前沿技术的创新,搭建综合性创新平台。具体措施包括:(1)发挥国资央企产业引领作用:鼓励企业间联合开展电解质、锂金属负极、电池制备、失效分析评价等技术的创新。(2)构建创新联合体:探索构建产业链上下游紧密协作的创新联合体,协同开展关键技术攻关,加快补齐全链条全环节发展短板,加速实现技术突破,提升固态电池前沿技术创新攻关效能。(3)加强专利布局:支持具备技术创新优势的企业加强国内外专利布

局,探索建立“专利联盟”,应对国际知识产权挑战。

#### 3.3 加快标准制定,抢占标准国际话语权

通过制定有关固态电池各环节的标准体系,提升我国固态电池产业的国际地位。具体措施包括:(1)完善标准体系:从产品设计、生产制造、安全评估、性能测试、安全指标等方面开展标准化研究,搭建关联、公开、透明的标准共享平台。(2)推进标准国际化:支持企业、社会团体、科研机构等积极参与国际性专业标准组织活动,推动固态电池在生产设计、质量安全、试验方法等方面的标准和结果国际互认,掌握全球固态电池主动话语权。

### 4 结束语

近年来,新能源汽车市场蓬勃发展,加速电池技术革新和产品迭代,目前,日、韩、欧、美等主要汽车强国均发布了固态电池的产业化进展和未来计划,并已率先取得突破,给国内产业带来了巨大压力。相比之下,我国除了面对技术、成本等共性问题外,还受到政策、专利和产业冲击等挑战。在此背景下,我国应加强统筹谋划,聚焦关键技术,加快标准制定,构建固态电池全链条协同创新体系,推进前沿技术突破和产业化发展,巩固和扩大我国在动力电池和新能源汽车领域的长期领先优势。

#### 参考文献

- [1] 赵宇龙,孙旭东. 固态电池关键制造工艺综述[J]. 汽车工艺师, 2022(7): 25-32.
- [2] 张春英,马亚辉,易正根,等. 固态电池技术发展现状综述[J]. 现代车用动力, 2023(4): 1-5+10.
- [3] 陈昕,赵宁,刘桂贤,等. 当前固体电解质与固态电池技术成熟度分析[J]. 电源技术, 2024, 48(6): 969-984.
- [4] 张鹏,赖兴强,沈俊荣,等. 固态锂电池研究及产业化进展[J]. 储能科学与技术, 2021, 10(3): 896-904.
- [5] 王宇豪,李志勇,郭新. 聚合物基电解质在低温固态锂电池中的应用与挑战[J/OL]. 储能科学与技术, 2024, 13(7): 2243-2258.
- [6] 李泓,陈立泉. 固态电池关键材料体系发展研究[J]. 中国工程科学, 2024, 26(3): 19-33.
- [7] 孟繁科. 固态电池的产业化难题[J]. 中国工业和信息化, 2023(8): 6-11.
- [8] 薛海波,程晓燕,徐洋. 我国固态电池产业化发展的问题与进路[J]. 西南石油大学学报(社会科学版), 2024, 26(2): 1-7.

(责任编辑 明慧)