

新能源汽车动力电池发展趋势分析及电池制造研究

○冯武 杨龙涛 李斌

(陕西重型汽车有限公司, 陕西 西安 710200)

摘要: 本文旨在探讨新能源汽车动力电池的发展趋势及电池制造工艺。通过市场调研, 分析了目前市场主流动力电池存在的问题, 并经过对比分析确定, 半固态、固态电池具有比现有动力电池更大的能量密度、更高的安全性等优势, 将成为下一代动力电池的首选技术方向。同时, 基于现有主流电池制造工艺, 探讨了半固态及固态电池的制造工艺技术。文章从动力电池的发展历程、动力电池技术发展趋势、电芯制造工艺、PACK 组装等方面进行详细阐述, 最后得出结论: 固态电池将成为未来 10 年动力电池技术发展的主流技术路线。

关键词: 液态电池; 半固态电池; 固态电池; 电芯制造; PACK 组装

中图分类号: U461 **DOI:** 10.20042/j.cnki.1009-4903.2025.01.001

Analysis of Development Trend of Power Battery for New Energy Vehicles and Research on Battery Manufacturing

Abstract: This article aims to explore the development trend of power batteries and the manufacturing process of batteries. Through market research and analysis of the existing problems in mainstream power batteries, it is determined that semi-solid and solid-state batteries have higher energy density and safety than existing power batteries, and will become the preferred technology direction for China's next generation of power batteries. And based on the existing mainstream battery manufacturing processes, explore the manufacturing technology of semi-solid and solid-state batteries. This article will elaborate in detail on the development history of power batteries, trends in power battery technology, battery cell manufacturing processes, PACK assembly, and other aspects. Finally, it is concluded that solid-state batteries will become the mainstream technology route for the development of power battery technology in the next decade.

Key words: Liquid state battery; Semi-solid state battery; Solid-state battery; Battery cell manufacturing; PACK assembly

0 引言

随着全球对环境保护和可持续发展的日益重视, 新能源汽车作为传统能源汽车的替代品, 正逐步成为汽车发展技术路线的主流趋势。而动力电池作为新能源汽车的核心部件, 其技术发展和性能直接关乎新能源汽车的安全、续航里程、成本及市场竞争力。因此, 深入研究动力电池的发展趋势及其制造技术, 对促进清洁能源在汽车行业的健康发展具有重大作用。

1 动力电池的发展历程

1.1 历史发展

动力电池作为新能源汽车的核心部件, 其发展历程充满了技术革新与市场变革。早在 1834 年, 美国人托马斯·达文波特制造出了第 1 辆采用直流电机的电动汽车。到了 1859 年, 法国科学家加斯东·普朗特发明了可充电铅酸电池, 这使得电动汽车在 19 世纪下半叶在欧美得到了广泛应用。

20 世纪初, 随着美国德州石油的开发和内燃机技术的快速发展, 能量密度低、续航里程短的铅酸蓄电池汽车逐渐失去市场优势。直到 2008 年, 特斯拉推出了首辆搭载锂离子电池的汽车 Roadster, 标志着电动汽车行业的复苏。特斯拉与松下

携手合作, 通过大规模量产 18650 圆柱形电池, 有效降低了电动汽车的制造成本, 极大地推动了电动汽车的商业化进程^[1]。

2.2 当前现状

随着各国政府纷纷出台政策扶持以及全球环保意识的提升, 动力电池在汽车市场、储能市场的占比持续扩大。市场的持续扩大为动力电池行业带来了更多的利润和人才流入, 促使动力电池技术迅速迭代, 在成本、安全性、能量密度等方面实现了全面提升。2024 年 1-8 月, 我国动力电池装车量达到 292.1 GWh, 同比增长 33.2%。其中, 宁德时代以 133.71 GWh 的装车量独占鳌头, 占比 46.2%; 其次为比亚迪, 装车量为 71.66 GWh, 占比 24.76%; 第三是中创新航, 装车量为 20.23 GWh, 占比 6.99%^[2]。图 1 列出了 2024 年 1-8 月各企业动力电池装车量的具体情况。

目前, 磷酸铁锂电池和三元锂电池是动力电池市场的主流技术路线。磷酸铁锂电池的能量密度为 120~180 Wh/kg, 能量密度相对较低, 续航表现较差。而三元锂电池在能量密度方面优于磷酸铁锂电池, 能量密度可达 150~300 Wh/kg, 但其热失控温度界限较低, 高温情况下存在较大自燃安全风险。这两款主流动力电池均存在较大缺陷。

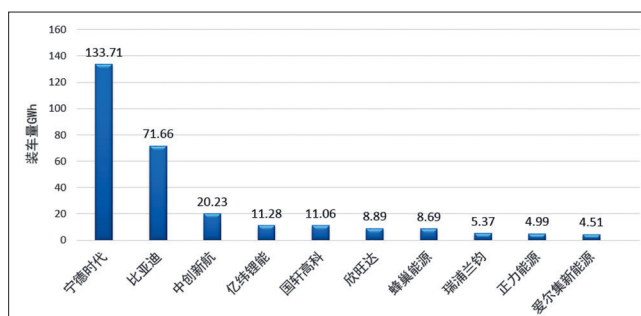


图1 2024年1-8月各企业动力电池装车量

为保证整车续航及安全性，固态电池以更大的能量密度、更强的安全性、更宽的温度适应范围应运而生。但由于制造工艺、成本等方面的限制，固态电池技术仍需较长时间来突破。目前，多家企业已公布固态电池量产时间，主要集中在2026—2030年。其中，广汽和亿维动力计划在2026年发布固态电池，宁德时代计划2027年实现小批量生产，上汽集团则计划2026年实现全固态电池的交付量产。

2 动力电池技术发展趋势

2.1 固态电池

传统液态电池在能量密度和安全性方面存在不可忽视的问题。热稳定性差和锂枝晶生长易引起电池短路起火，不仅增加了火灾事故的风险，还提高了车辆的召回概率，给主机厂带来了不必要的成本负担。同时，能量密度小会导致整车质量增加，进而降低产品竞争力。因此，从长期来看，固态电池将成为动力电池发展的主流技术路线。

2.1.1 组成及工作原理

固态电池主要由固态正电极、固态电解质及固态负电极3部分组成，采用固体电解质代替传统电池的液态电解质。其工作原理与液态电池相似，即通过正负极之间的化学反应释放电子，在外部负载上产生电流。

2.1.2 优势与特点

(1)安全性高：固态电解质不易燃、不挥发的特性，大幅降低了电池热失控的风险。相比液态电池，固态电池在碰撞、挤压等极限情况下起火的概率极低。

(2)能量密度高：固态电池拥有更高的能量密度。采用新型正、负极材料后，固态电池的能量密度可以提升到500 Wh/kg以上。

(3)快充能力强：固态电解质具有更快的离子传输速度，使得固态电池有望突破现有的充电速度限制，极大缩短电动汽车等用电设备的充电时间。

(4)温度适应性强：固态电池的工作温度范围更广，不易受极端低温的影响，因此电池的可用性和可靠性更强^[3]。

(5)循环寿命长：固态电解质有助于减少充放电过程中锂结

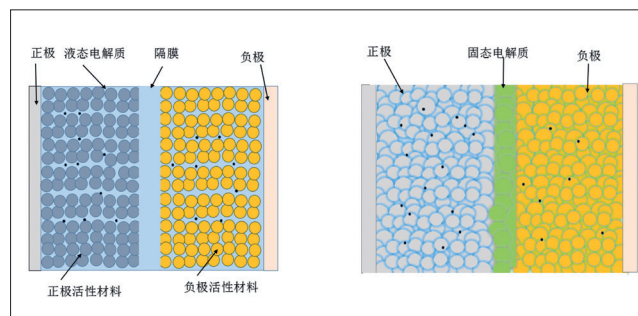


图2 液态与固态电池结构对比图

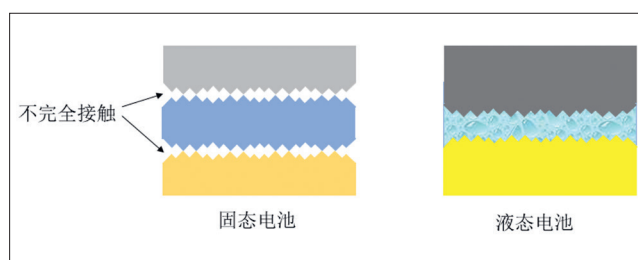


图3 固态电池与液态电池电极与电解质接触对比图

晶析出等不良反应，从而有效延长了电池的循环寿命。

2.1.3 技术挑战与现状

尽管固态电池具有诸多优势，但目前仍存在一些技术挑战。

(1)界面阻抗：相较于液态电池，固态电池电极材料与固态电解质之间的固-固接触可能不充分，导致较高的界面阻抗，进而影响充放电性能^[4]。

(2)生产工艺：固态电池的生产制造工艺尚未完全成熟，目前仍处于实验室阶段，批量生产存在技术难题。

(3)成本问题：目前固态电池电解质轻薄化难以实现，且其应用的部分稀有金属原材料价格较高。同时，由于生产工艺不成熟，制造成本相对较高，这在一定程度降低了其市场竞争力。

(4)电解质电导率：固态电解质的电导率通常低于液态电解质，这在一定程度降低了电池的功率密度。

然而，随着技术不断进步及研发资金的持续投入，上述挑战正在逐步得到解决。国内外知名企业都在积极布局固态电池领域，极大地推动了其产业化进程。例如，宁德时代、三星、丰田等知名企业在固态电池产业纷纷布局，并取得了一定的技术突破。

2.2 半固态电池

目前，由于固态电池存在界面阻抗、成本及电解质电导率等问题，导致其在短期内无法批量生产及广泛应用。基于此，在液态电池和固态电池的过渡阶段，作为固态电池的暂时性替代品，半固态电池应运而生，其能量密度和安全性均优于液态电池。

2.2.1 定义与工作原理

半固态电池是一种新型锂电池，其电解质采用固液混合

形态(凝胶电解质), 电池中的液体质量占比5%~10%。它是液态锂电池向全固态电池发展的过渡方案, 具有更高的能量密度、安全性和耐热性能。同时, 其材料可回收利用, 绿色环保。半固态电池的正极(如硅酸钠或二氧化硅)可以吸收并储存锂离子, 负极(如钛酸钠或泰特酸)则可以释放锂离子。充放电时, 锂离子可以通过半固态介质在正负极间移动, 从而产生电流。

2.2.2 优势与特点

(1)高安全性: 采用新型绝缘体, 具有更高的安全性, 适用于敏感环境, 如航空电池或汽车电池。

(2)高能量密度: 相较于液态电池, 半固态电池拥有更高的能量密度。

(3)耐高温: 比液体电池表现更好, 适用于高温、高耗热的场景^[5]。

2.2.3 技术挑战与现状

(1)相较于固态电池, 半固态电池的能量密度相对较小。目前, 国轩高科发布的半固态电池能量密度为360 Wh/kg。

(2)相较于固态电池, 半固态电池的流动阻力较大, 充电速度较慢。

半固态电池作为液态电池向固态电池过渡的技术路线, 其产业化进程正在加速。目前, 国内已有部分企业实现了半固态电池的量产与装车交付, 如蔚来汽车等。其他小型电子设备也已批产使用, 例如 vivo X Fold3 已搭载半固态电池, 其电池容量突破至5700 mAh。未来, 随着技术的不断进步和成本的逐渐降低, 半固态电池有望在更多领域得到广泛应用。

3 电芯制造工艺

3.1 液态电池

液态电池存在方形电池、圆柱电池和软包电池等多种形态, 不同形态的生产工艺存在一定差异, 但整体制造流程大致相同。方形电池因其空间利用率高、内阻小、强度高、寿命长等优点, 在商用车领域广泛使用。以下主要对方形电池的制造工艺进行介绍。

方形液态电池包制造工艺流程主要分6个阶段, 包含29个工序, 工艺流程如图4所示。

3.1.1 极板制作阶段

极板制作阶段主要分为制浆、涂布、辊压3个工序。使用混浆机将导电剂、活性物质、溶剂及粘接剂等原料混合, 为后续的涂布工艺提供优质的电极浆料; 接着使用涂布机将电极浆料均匀地涂布到金属箔(铜箔或铝箔)上, 得到初级电极片; 最后使用辊压机辊压电极片, 使其达到所需的厚度和密度。

3.1.2 芯包制作阶段

芯包制作阶段主要分为分切、模切、卷绕、热压、X射线检测5个工序。使用分切机将较大幅宽电极片纵向分切, 一分

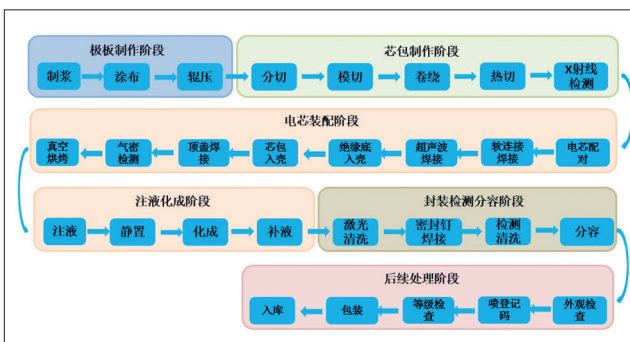


图4 方形液态电池包制造工艺流程图

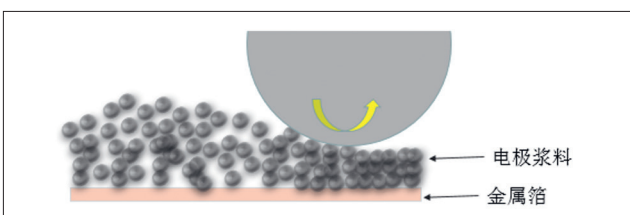


图5 辊压过程图

极耳的极片; 再通过叠片机或卷绕机将正极极片、隔膜、负极极片交替叠放或卷绕, 形成芯包; 通过热压对芯包进行整形, 消除电极片与隔膜间的褶皱气泡, 使电极片与隔膜紧密贴合, 缩短锂离子扩散距离、控制芯包厚度; 最后通过X射线检测机对已热压过的芯包进行尺寸复查, 避免不合格尺寸的芯包流入下一道工序。

3.1.3 电芯装配阶段

电芯装配阶段主要分为电芯配对、软连接焊接、超声波焊接、绝缘底入壳、芯包入壳、顶盖焊接、气密检测、真空烘烤9个工序。考虑电芯容量, 衍生了多JR电芯(即一个铝壳内装多个并联电芯, JR代表芯包), 2JR以上电芯组成一个新的电池工艺。将需配对的电芯分拣并实现堆叠配对; 接着通过软连接焊接, 使电池顶盖上的极柱与软连接片焊接; 再通过超声波焊接将芯包的正、负极极耳分别与软连接片焊接在一起, 使顶盖上的极柱与芯包极耳连接, 并在铝壳底部安装绝缘底, 避免电池内部短路; 接下来芯包入壳, 便于后续在铝壳内加入电解液及保护芯包; 芯包入壳后, 焊接顶盖, 并进行气密检测, 通过向顶盖焊接后的电池注入氦气, 检测其是否泄漏, 判定电芯铝壳及顶盖是否存在针孔或间隙; 最后进行真空烘烤, 以降低

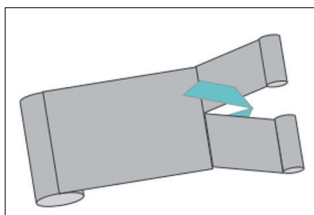


图6 分切工序图

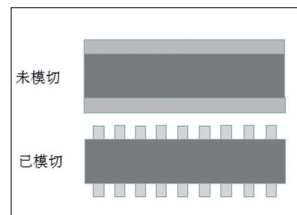


图7 模切工序图

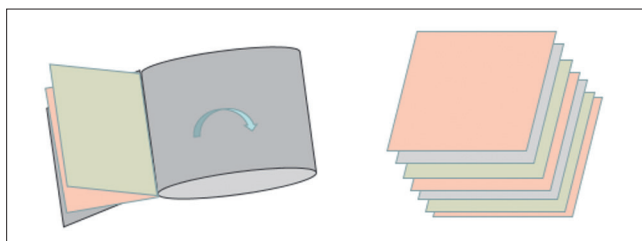


图8 卷绕与堆叠工序图

电芯中的含水量,使其达到安全界定值^[6]。

3.1.4 注液化成阶段

注液化成阶段主要分注液、静置、化成、补液4个工序。注液工序将电解液注入铝壳内,电解液和极片发生化学反应,同时作为离子运输的媒介;静置工序将电芯进行静置,使注入的电解液充分滋润极片,充分在极片间扩散;化成工序即通过一定的充放电手段激活电池内部的电化学活性物质,并在阳极上形成保护膜(SEI膜),防止阳极与电解质反应,保证电池安全运行、高容量、长寿命;补液工序检测化成后电解液损失量,严重的电芯可进行二次注液补充电解液^[7]。

3.1.5 封装检测分容阶段

封装检测分容阶段主要分激光清洗、密封钉焊接、检测、分容4个工序。激光清洗工序对注液口进行激光清洗,保证密封钉焊接的质量;密封钉焊接工序对电池负压充入一定量的惰性气体,然后插入密封钉进行封口焊接;开路状态下,没有外部负载连接时,测量正负极之间的电势差(OVC测量),确定电池电量状态及健康状态等,并清理电池表面;分容工序通过给每一块锂电池做充放电,记录测试数据,从而得出每一块电池的容量大小和内阻等数据,筛选出质量合格的电池。另外,可将筛选出的不同容量的电池匹配组合使用,提升整体效果。

3.1.6 后续处理阶段

对加工完成的电池进行外观检查、喷登记码、等级扫描检查、包装、入库处理。

3.2 半固态电池

半固态电池制造工艺和液态电池相差不多,但在混浆、负极预锂化、原位固态化等环节存在差异。以下为半固态电池的简要生产工艺流程图描述。

(1)混浆工艺:在液态电池工序的基础上,增加了制作电解质工序。将固态电解质和电解液混合,保留固液混合方案,确保固态电解质和电解液均匀混合,得到固液混合物电解质。

(2)负极预锂化工艺:在负极浆料中加入金属锂,并进行相应处理,使负极

在电池组装前即具有较高的锂含量。此技术可在一定程度上减少电池在充放电过程中锂的损耗,从而提升电池的循环性能和能量密度。

(3)原位固态化工艺:将注入电解质后的半固态电池进行烘烤,使固态颗粒和液态电解液分子在高温下相互作用形成凝胶。这有助于保持电池的导电界面接触,提升电池的循环性能和整体性能。

半固态电池可兼容液态电池生产线,生产设备基本上可以与液态电池兼容,仅需新增加一条专产半固态隔膜的生产线。生产设备与液态电池隔膜的设备兼容,对比液态电池,半固态电池的隔膜无明显工艺改变,仅需调整参数即可。不过由于半固态电池需要提升离子导电率,因此要求隔膜的孔径更大、强度更高,需采用湿法拉伸+涂覆的工艺。

3.3 固态电池

固态电池与液态电池在制造工艺上相似性较大,例如电极极板的制造过程基本包含浆料混合、涂布和辊压,待模切后进行极耳焊接、PACK成组,但也存在一些区别,最为核心的区别有以下3点。

(1)固态电池正极材料复合化:将正极活性物质和固态电解质混合作为复合正极。

(2)电解质添加方式不同:液态电池是在极耳焊接后将电解液注入电池内并进行封装,而固态电解质除了与正极活性物质形成复合正极外,还需要在延压完成的复合正极上再进行一次涂布。

(3)组合方式不同:液态电池极片可采用卷绕或者叠片的方式组合,而固态电池由于其固态电解质(如氧化物和硫化物)韧性较差,通常使用叠片形式封装。由于固态电池采用叠片的成芯工艺,因此方形/软包的封装方式更具优势。此外,软包的铝塑膜包裹方式延展性更高,能更好地适应锂离子在迁徙过程



图9 半固态电池制造工艺流程图

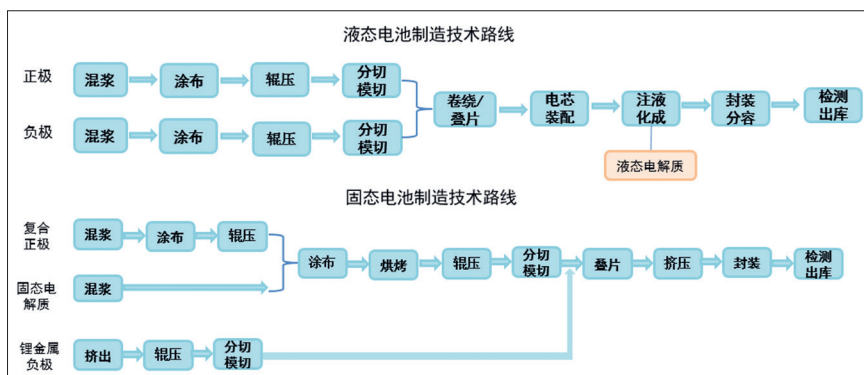


图10 固/液态电池制造工艺流程对比图

中电池整体的涨缩^[8]。

4 PACK 组装

4.1 液态电池

目前液态电池 PACK 制造主要分为电芯成组、底座分装、模组装配、封装检测 4 个部分。除检测工序外，其他工序几乎全是机器人操作，自动化水平极高^[9]。

4.1.1 电芯成组

电芯成组分为 3 个阶段。首先进行检查扫码记录，检测电芯内阻及绝缘层，确保电芯合格，并扫码记录电芯信息，记录电芯位置；接着进行电芯贴胶，清理电芯表面，在电芯表面贴胶，用于电芯间的固定、绝缘等；最后进行电芯成组，将贴胶的电芯相互粘接，粘接端板，压紧后套上金属带进行紧固^[10]。

4.1.2 底座部分分装

底座分装分为 2 个阶段。首先进行接头装配，在 PACK 包前端面处装配正负极接头、低压线接头、MSD 接头及防爆阀，并连接 MSD 与电池箱间铜排；接着进行密封胶条粘接，装配 PACK 上盖板与底座贴合处的密封胶条。

4.1.3 模组装配

模组装配分为 4 个阶段。首先进行电池模组吊装，对底座部分底板涂胶，将成组模组吊装至底座并进行固定；接着装配其他部件，包含各类采集板及传感器；然后进行电芯极柱焊接，清理电芯极柱去污，采用激光焊接将模组内电芯极柱连接起来；最后进行 EOL 检测，对焊接完成的单一电芯模组进行测试，确保电池符合健康标准及安全标准^[11]。

4.1.4 封装测试

封装测试分为 3 个阶段。首先进行铜排连接，将电芯模组进行串并联；接着进行封装外壳，装配 PACK 上盖板；最后进行 IP68 检测，确保 PACK 的密封性。

4.2 半固态电池及固态电池 PACK 对比

液态电池电芯成组通过外部串联方式升压，而固态电池采用堆叠结构，可实现电芯内部串联升压，从而避免了外部串联的焊接工艺过程以及电芯成组的工艺过程，节约了 PACK 空间，

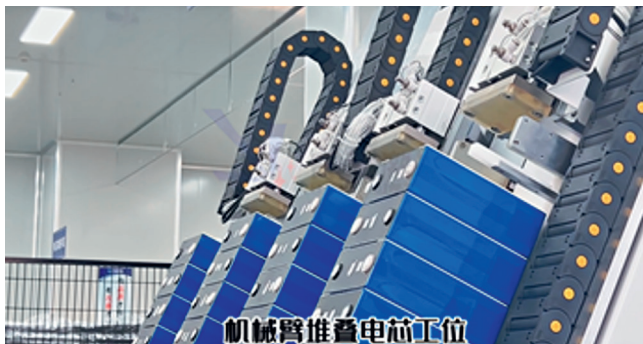


图 11 机械臂堆叠电芯图

提高了电池能量密度。

半固态电池与固态电池 PACK 组装工艺与液态电池 PACK 组装工艺相似，但区别在于半固态电池与固态电池电芯能量密度较高，因此同电量的 PACK 包内电芯数量更少，大多采用 CTP 的集成方式，省去了电芯成组的工艺过程。

5 结束语

动力电池和 PACK 制造技术正处于快速发展阶段，高能量密度、高安全性将成为未来的主要发展方向。半固态电池、固态电池因其具有更高的能量密度和安全性，将成为未来的主流技术路线。由于固态电池存在界面阻抗、电解质电导率及成本等问题，导致其在短期内无法批量生产及广泛应用。

基于此，在液态电池和固态电池的过渡阶段，作为固态电池的暂时替代品，半固态电池因其比液态电池具有更强的能量密度和安全性，将成为未来的主流动力电池。随着新能源汽车市场的不断扩大和技术的不断进步，动力电池和 PACK 制造技术将迎来更加广阔的发展前景。同时，我们也应关注行业面临的挑战和风险，加强技术研发和产业链协同合作，共同推动动力电池产业的持续健康发展。

参考文献

- [1] 牟林, 邹野, 蒋红梅. 新能源汽车的研究现状、现存问题和未来发展趋势 [J]. 汽车维修技师, 2024(16): 81-82.
- [2] 王海波, 林虹, 宋文龙, 等. 2024 年上半年中国电池行业运行情况 [J]. 电池, 2024, 54(4): 445-449.
- [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] 王钦, 张艳岗, 梁君飞, 等. 硅基固态电池的界面失效挑战与应对策略 [J]. 储能科学与技术, 2025, 14(2): 1-12.
- [5] 郑雪芹. 半固态电池已“上车”，全固态还远吗？ [J]. 汽车纵横, 2024(7): 62-64.
- [6] 项亚南, 邓小龙, 潘丰. 锂电池电芯电极自动装配系统的设计与实现 [J]. 现代制造工程, 2024(9): 136-143.
- [7] 刘萌萌, 王学锋, 安红伟, 等. 基于数字化生产车间的动力锂电池电芯智能制造新模式 [J]. 价值工程, 2022, 41(26): 64-66.
- [8] 王若, 林久, 陈珊珊, 等. 面向未来发展的动力和储能电池电解质材料研发进展：从液态走向固态 [J]. 科学通报, 2025, 70(9): 1191-1217.
- [9] 周小敏. 新能源动力电池岛式装配工艺探索 [J]. 汽车实用技术, 2024, 49(16): 138-143.
- [10] 穆永雷, 耿华. 新能源汽车电池装配生产线工艺设计研究 [J]. 制造业自动化, 2022, 44(3): 144-148.
- [11] 涂彬. 新能源汽车电池装配生产线工艺设计研究 [J]. 汽车测试报告, 2023(24): 52-54.