

提升新能源电池PACK可靠性的胶粘剂解决方案与评价体系研究

冷杰

东莞市腾威电子材料技术有限公司, 广东 东莞 523000

DOI:10.61369/ME.2025080031

摘要 : 在清洁能源发展背景下, 新能源电池PACK可靠性至关重要, 胶粘剂作用重大。文章探讨其解决方案, 包括材料选择、基于仿真优化结构等; 构建评价体系, 涵盖机械性能、环境适应能力等; 通过案例研究验证方案有效性, 指出行业标准差距, 建议跨学科研究, 以提升PACK可靠性, 推动新能源行业发展。

关键词 : 新能源电池PACK; 胶粘剂; 可靠性

Research on Adhesive Solution and Evaluation System for Improving the Reliability of New Energy Battery Pack

Leng Jie

Dongguan Tengwei Electronic Material Technology Co., Ltd., Dongguan, Guangdong 523000

Abstract : under the background of clean energy development, the reliability of new energy battery pack is very important, and the adhesive plays an important role. This paper discusses its solutions, including material selection, structure optimization based on simulation, etc; Build an evaluation system covering mechanical performance, environmental adaptability, etc; The effectiveness of the scheme is verified through case studies, the gap between industry standards is pointed out, and interdisciplinary research is recommended to improve the reliability of pack and promote the development of new energy industry.

Keywords : new energy battery PACK; adhesives; reliability

引言

在全球积极推进清洁能源发展的大背景下, 新能源电池作为核心动力源, 其可靠性对新能源产业的稳定发展意义重大。2022年3月, 国家发展改革委、国家能源局联合印发《“十四五”新型储能发展实施方案》, 明确提出要提升储能系统安全可靠水平, 这其中新能源电池PACK的可靠性是关键。而胶粘剂在电池PACK中发挥着固定、密封、导热等重要作用, 但其市场种类繁杂、性能不一。如何选择合适胶粘剂并建立科学评价体系亟待解决。本研究聚焦于此, 旨在为提升新能源电池PACK可靠性提供理论与实践支持。

一、胶粘剂在新能源电池组中的应用现状

(一) 在动力电池系统中的应用

在动力电池系统中, 胶粘剂有着广泛应用。在电池电芯的连接方面, 胶粘剂用于将电芯稳固地粘结在一起, 确保电芯间相对位置稳定, 避免因震动等因素导致电芯移位、碰撞, 影响电池性能和安全性^[1]。对于模块堆叠, 胶粘剂能在模块间形成可靠连接, 增强整个模块结构的稳定性, 有效传递应力, 提升模块整体的机械性能。在热管理组件应用上, 胶粘剂一方面可用于固定热管理部件, 另一方面其良好的导热性能有助于热量传递和散发, 使电池在适宜温度范围内工作, 提升电池系统的热稳定性和充放电效率^[2]。胶粘剂凭借其独特性能, 在动力电池系统的各个关键

环节, 从结构稳固到热管理, 都发挥着不可或缺的作用, 为提升新能源电池PACK的可靠性奠定了基础。

(二) 储能系统的应用及行业趋势

在新能源电池PACK中, 胶粘剂于储能系统的应用正随着行业发展不断演进。当前, 胶粘剂广泛用于电池模组的固定、密封与导热, 确保电池在复杂工况下稳定运行。在大规模储能系统里, 胶粘剂需满足极端环境下的性能要求, 如高温、低温及高湿度等。然而, 极端环境给胶粘剂带来诸多挑战, 像是低温下粘性降低、高温时老化加速等^[3]。从行业趋势来看, 未来材料创新将聚焦于研发高性能、高稳定性且环境友好的胶粘剂, 以应对极端环境。同时, 工艺优化方向会朝着提高胶粘剂涂布精度、固化效率等迈进, 通过创新与优化提升新能源电池PACK整体可靠性,

推动储能行业可持续发展。

二、面向可靠性的粘合剂解决方案

(一) 材料选择策略

在提升新能源电池 PACK 可靠性的胶粘剂解决方案中, 材料选择策略至关重要。需对比聚氨酯、环氧树脂和有机硅这三种胶粘剂的性能特点, 它们对电池 PACK 的电气绝缘和机械稳定性有着不同影响^[4]。聚氨酯胶粘剂具备较好的柔韧性与耐化学腐蚀性, 在适应电池热胀冷缩及抵御电解液侵蚀方面表现出色, 有助于维持机械稳定性。环氧树脂胶粘剂的电气绝缘性能优越, 且固化后硬度高, 能为电池提供可靠的电气隔离与机械支撑。有机硅胶粘剂则以其良好的耐高温性和耐候性著称, 可确保电池在不同环境条件下稳定运行。综合考虑电池 PACK 的具体使用场景、性能需求以及成本等因素, 精准选择最合适的胶粘剂, 是保障新能源电池 PACK 可靠性的关键一步。

(二) 结构设计优化

基于仿真的方法在优化新能源电池 PACK 中胶粘剂连接结构与应力分布方面发挥着重要作用^[5]。通过构建精准的数值模型, 能够模拟电池 PACK 在不同工况下胶粘剂所承受的应力。例如, 模拟车辆行驶过程中的振动、温度变化等工况, 进而分析胶粘剂的应力集中区域与分布情况。在此基础上, 对胶粘剂连接结构进行优化设计, 调整胶粘剂的厚度、宽度、形状以及布置方式等参数, 使应力分布更加均匀, 降低应力集中对胶粘剂可靠性的影响。这种基于仿真的优化策略, 不仅能有效提高胶粘剂在电池 PACK 中的可靠性, 保障电池系统的稳定运行, 还能减少实际试验次数, 降低研发成本与周期, 为新能源电池 PACK 的设计与制造提供科学依据。

三、发展评价制度

(一) 关键绩效指标

1. 机械性能指标

在提升新能源电池 PACK 可靠性的胶粘剂评价体系中, 机械性能指标至关重要。剪切强度直接关系到胶粘剂在电池组件间承受平行作用力的能力, 较高的剪切强度可确保电池模块在震动、冲击等工况下依然稳固连接, 不发生部件错动^[6]。抗剥离性能则衡量胶粘剂抵抗使电池组件表面分离的能力, 新能源电池工作环境复杂, 良好的抗剥离性能可防止电池部件因外力或温度变化导致界面分离, 影响电池性能与安全性。疲劳耐久性体现胶粘剂在长期循环应力作用下保持性能稳定的能力, 电池充放电过程中会产生应力循环, 胶粘剂需具备出色的疲劳耐久性, 以保障电池 PACK 在整个生命周期内维持可靠连接, 为新能源电池的高效、稳定运行提供坚实保障。

2. 环境弹性标准

在提升新能源电池 PACK 可靠性的评价体系中, 环境适应能力标准至关重要。其中, 针对温度循环抗性, 明确规定测试标准为在 -40°C 至 85°C 的温度区间内进行循环测试^[7]。这样的温度范围模拟了电池在不同环境及使用场景下可能遭遇的极端温度变化, 以此评估胶粘剂在此种温度波动条件下, 对电池 PACK 部

件连接的稳定性及可靠性的影响。而对于化学腐蚀抗性, 同样要定义相应的测试标准。电池在运行过程中, 可能接触到各类化学物质, 胶粘剂需具备良好的抗化学腐蚀能力, 以维持电池 PACK 的结构完整性和性能稳定性。通过这些环境适应能力标准的设定, 能够更全面、科学地评估胶粘剂解决方案对提升新能源电池 PACK 可靠性的实际效果。

(二) 测试方法

1. 实验室加速老化试验

在实验室加速老化测试中, 通过设计热湿循环的加速老化方案, 来模拟10年的实际运行条件^[8]。热湿循环能够综合考量温度与湿度这两个对新能源电池 PACK 可靠性影响较大的环境因素。在测试过程中, 设定合适的温度与湿度变化范围及循环周期, 模拟电池在实际使用中可能遭遇的温度骤变、高湿度等恶劣环境。例如, 温度可在 -40°C 至 85°C 间循环变化, 湿度则在 30% 至 95% 间交替, 观察胶粘剂在这样的热湿交替环境下, 对电池 PACK 的粘结性能、密封性能等关键指标的影响。这种模拟方法能在较短时间内快速评估胶粘剂在长期复杂环境下对提升新能源电池 PACK 可靠性的效果, 为筛选和优化胶粘剂解决方案提供重要依据。

2. 现场故障模式分析

在现场失效模式分析方面, 需开发基于大数据驱动的失效模式识别模型。借助现实世界中电池系统维护记录的数据, 通过挖掘、分析这些海量且真实的数据, 来精准识别新能源电池 PACK 在实际使用场景下的失效模式^[9]。电池系统在不同的应用场景和工况条件下, 面临着复杂多变的因素, 这些维护记录涵盖了各类实际出现的问题, 包括但不限于胶粘剂在长期振动、高低温循环等环境下的性能变化, 及其导致的电池 PACK 连接松动、散热不良等失效情况。对这些失效模式进行深入剖析, 有助于从实际应用角度完善评价体系, 为开发更可靠的胶粘剂解决方案提供依据, 从而有效提升新能源电池 PACK 的可靠性, 以满足市场对电池安全性、稳定性和耐久性的需求。

四、案例研究和验证

(一) 动力电池实施案例

1. 电动汽车电池组改造

在电动汽车电池组改造案例中, 以 100kWh 的电动汽车电池系统为例, 采用了详细的胶粘剂替换解决方案^[10]。通过这一方案, 显著提升了电池组的性能。具体而言, 成功实现了 30% 的抗振性提升。这意味着在车辆行驶过程中, 电池组能够更好地抵御来自路面的振动冲击, 减少因振动导致的电池组件松动、连接不良等潜在问题, 从而提高电池 PACK 的可靠性。此案例验证了胶粘剂解决方案在电动汽车电池组改造中的有效性, 为新能源电池 PACK 可靠性的提升提供了实际且具有参考价值的范例, 证明合适的胶粘剂替换方案对于改善电池组性能、提升其在复杂工况下的可靠性具有重要意义。

2. OEM 之间的性能比较

通过标准化测试协议, 对特斯拉 (Tesla)、比亚迪 (BYD) 和宁德时代 (CATL) 等原始设备制造商 (OEM) 在动力电池应用中所采用的胶粘剂基准解决方案进行性能比较。在新能源电池 PACK 可靠性提升方面, 不同 OEM 有着各自的技术路径与胶粘

剂选型。特斯拉凭借先进的制造工艺与对胶粘剂高性能的要求，在连接与密封等方面展现出独特优势；比亚迪依托自身技术研发与产业链整合能力，其胶粘剂方案契合电池安全、高效等多方面需求；CATL 作为电池行业的领军者，胶粘剂在满足电池长寿命、高稳定性等方面表现出色。通过对这些 OEM 的胶粘剂性能比较，可全面了解不同方案在实际应用中的优劣，为新能源电池 PACK 可靠性提升提供极具价值的参考，助力行业探索更优的胶粘剂解决方案。

（二）储能系统应用

1. 公用工程规模 ESS 安装

展示一个50兆瓦时集装箱式储能系统（ESS）案例，该案例体现了胶粘剂在沙漠气候条件下的耐久性。在沙漠地区，温度变化范围大，昼夜温差显著，同时风沙侵蚀严重，这对胶粘剂在新能源电池 PACK 中的可靠性是极大挑战。在此50MWh集装箱式 ESS 项目中，通过长期监测与数据分析，观察胶粘剂对电池模组的粘结效果。数据显示，在经历高温暴晒、低温冷冻以及风沙磨损后，胶粘剂仍能维持稳定的粘结性能，确保电池模组的结构稳固，有效证明了所采用胶粘剂在极端沙漠气候条件下的耐久性与可靠性，为新能源电池 PACK 在类似恶劣环境中的应用提供了有力的实践依据。

2. 维修成本降低分析

在能源存储系统应用的维护成本降低分析方面，大量案例研究和验证表明，通过增强胶粘剂的可靠性，能有效量化得出在电池 PACK 全生命周期内维护成本降低45%这一成果。以某新能源电池 PACK 生产企业为例，在采用新型高可靠性胶粘剂前，由于电池模块连接不稳固、密封性不佳等问题，常需定期检查与维护，耗费大量人力与物力。而在更换为可靠性更高的胶粘剂后，电池模块连接稳定性显著提升，密封性能良好，极大减少了因连接松动、受潮等导致的故障。经长期跟踪统计，该企业的电池 PACK 维护成本在其生命周期内降低了45%，有力验证了提升胶粘剂可靠性对降低维护成本的积极作用。

（三）行业改进路线图

1. 智能粘接技术

为验证提出的带有嵌入式应变传感器、支持物联网的胶粘剂系统用于实时健康监测的有效性，开展案例研究。选取不同规模

和生产工艺的新能源电池 PACK 制造商进行合作。在实际生产线上，将该智能胶粘剂技术应用于电池模组的封装环节。通过内置的应变传感器实时收集胶粘剂在电池充放电循环、温度变化等工况下的应变数据，并借助物联网技术传输至云端平台。对这些数据进行分析，评估胶粘剂的健康状态，判断是否出现老化、松动等影响电池 PACK 可靠性的问题。结果表明，该智能胶粘剂技术能有效实时监测胶粘剂状况，及时预警潜在风险，为优化生产工艺、提升产品质量提供有力依据，从而推动新能源电池 PACK 行业在胶粘剂应用方面的技术改进与可靠性提升。

2. 标准化挑战

当前行业标准在下一代固态电池胶粘剂鉴定方面存在诸多差距。一方面，针对固态电池独特的工作环境，如高电压、高能量密度等条件下，胶粘剂在长期使用中的性能稳定性缺乏明确标准。这使得不同企业采用的胶粘剂质量参差不齐，难以保证电池 PACK 的可靠性。另一方面，标准中对于胶粘剂与固态电池电极、电解质等关键部件的兼容性测试方法和指标不够完善。实际应用中，胶粘剂与这些部件的不相容可能引发界面失效，降低电池性能。此外，在环境适应性方面，面对极端温度、湿度等复杂工况，行业标准对胶粘剂应达到的防护性能和耐久性要求界定模糊。这些标准的缺失，给固态电池胶粘剂的选择和使用带来困难，阻碍了新能源电池 PACK 可靠性的整体提升，亟需完善相关标准。

五、总结

先进的胶粘剂解决方案在实现新能源电池 PACK 超过15年的使用寿命中扮演着至关重要的角色。它们不仅能够确保电池模块的稳固连接，还能有效应对电池运行过程中的机械应力、热循环等复杂工况。整个行业采用所提出的评价体系十分必要，这将为胶粘剂在电池 PACK 应用中的选择、性能评估提供统一且科学的标准，有助于提升整个行业的产品质量与可靠性。未来，建议开展跨学科研究，将材料科学与基于人工智能的可靠性预测模型相结合。通过这种方式，可以更精准地预测胶粘剂在不同环境与使用条件下的长期性能，进一步优化胶粘剂解决方案，从而不断提升新能源电池 PACK 的可靠性，推动新能源行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 刘俊生. 锂电池负极用核-壳乳液型胶粘剂的合成及性能研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
- [2] 张帅. 水性聚氨酯胶粘剂的合成与研究 [D]. 长春工业大学, 2021.
- [3] 孙祺森. 智能电表 Li/SOCl₂ 电池剩余容量检测及可靠性评价 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
- [4] 钟建林. 低活化温度聚氨酯分散体胶粘剂的制备与性能研究 [D]. 华南理工大学, 2023.
- [5] 李睿. 基于 CFD 的动力电池 pack 热仿真分析与研究 [D]. 沈阳理工大学, 2023.
- [6] 赵辉, 赵海波. 新能源汽车用胶粘剂的改性与性能研究 [J]. 粘接, 2022, 49(12): 17-21.
- [7] 张杰, 李德清. 某新能源车缓冲块加强环可靠性提升 [J]. 内燃机与配件, 2023(6): 35-37.
- [8] 宋春雷, 严莹莹, 刘浩. 车用新能源动力电池系统 PACK 开发设计 [J]. 汽车实用技术, 2024, 49(3): 1-6.
- [9] 王福君. 新能源电动汽车的电池系统测试评价体系研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(3): 24-28.
- [10] 王汉民. 建设工程常用胶粘剂的发展与展望 [J]. 粘接, 2022, 49(9): 35-38.