

# 先进聚酯薄膜制造技术在电芯专用膜产品生产中的实践

陆宇

杭州和顺科技股份有限公司 浙江杭州 311100

**【摘要】**本文围绕电芯专用膜生产,探讨技术背景与行业需求,分析先进聚酯薄膜制造技术应用中的问题,提出针对性技术优化方案,阐述应用成效。电芯专用膜功能定位明确,传统与先进技术存在差异,性能参数匹配、工艺稳定性及成本与规模化生产等问题得到解决,展现该领域技术发展全貌,为相关生产实践提供参考。

**【关键词】**电芯专用膜;聚酯薄膜制造技术;技术优化;生产工艺稳定性;规模化生产

Practice of advanced polyester film manufacturing technology in the production of battery cell specific film products  
Lu Yu

Hangzhou Heshun Technology Co., Ltd. Zhejiang Hangzhou 311100

**【Abstract】**This article focuses on the production of specialized films for battery cells, explores the technical background and industry demand, analyzes the problems in the application of advanced polyester film manufacturing technology, proposes targeted technical optimization solutions, and elaborates on the application effectiveness. The functional positioning of battery cell specific film is clear, and there are differences between traditional and advanced technologies. The problems of performance parameter matching, process stability, cost and large-scale production have been solved, demonstrating the overall development of technology in this field and providing reference for related production practices.

**【Key words】**specialized film for battery cells; Polyester film manufacturing technology; Technical optimization; production process stability; mass production

## 引言

新能源产业飞速发展,动力电池、储能电池等领域对电芯专用膜需求日益旺盛,电芯专用膜是电池关键组件,性能直接关乎电池安全、寿命与能量密度<sup>[1]</sup>。传统聚酯薄膜制造技术有诸多不足,难以满足电芯严苛要求,先进技术有潜力,却面临性能匹配、工艺稳定及成本与规模化生产的矛盾,研究电芯专用膜生产的技术背景、问题及优化方案,推动电池技术升级意义重大。

## 一、电芯专用膜生产的技术背景与行业需求

### (一)电芯专用膜的功能定位及市场应用价值

电芯专用膜是电池电芯关键组件,承担隔离正负极、防止短路、保障离子导通的功能,性能直接影响电池安全性、循环寿命与能量密度,新能源产业快速发展,动力电池、储能电池等领域对电芯专用膜需求激增。高性能电芯专用膜能显著提升电池稳定性和耐用性,是推动电池技术升级的重要材料支撑。

### (二)传统聚酯薄膜制造技术在电芯专用膜生产中的应用现状

传统聚酯薄膜制造技术用常规挤出和拉伸工艺生产电芯专用膜,存在诸多不足,厚度公差超范围,难满足需求;热稳定性差、热收缩率高,高温下易尺寸变化,增加电芯内

部短路风险;表面粗糙度和孔隙率控制不足,影响离子传导效率,限制电池性能;添加剂使用方式如直接加无机粒子,改善机械强度,却可能引入杂质,影响化学稳定性,导致与电解液兼容性差。

### (三)先进聚酯薄膜制造技术的发展潜力与应用优势

先进聚酯薄膜制造技术在电芯专用膜生产中潜力巨大、优势显著,原料配方采用共聚改性聚酯,熔点降至合适范围,加工适应性提升;拉伸-定型工艺改进,薄膜模量提高,拉伸伸长一定比例时应力达较高水平,机械强度与尺寸稳定性增强。添加剂控制粒径和表面处理,减少特定波长范围粒子占比或包覆过渡层,保证表面性能,降低雾度、提升透明性,利于电芯内部反应监控,多层涂布模头技术实现功能层精准复合,满足隔离、导通等多功能集成需求,为提升电池性能奠定坚实材料基础。

## 二、先进聚酯薄膜制造技术应用于电芯专用膜生产的问题分析

### (一)薄膜性能参数与电芯使用要求的匹配性问题

先进聚酯薄膜制造技术生产的电芯专用膜,性能参数与电芯使用要求的匹配存在差距,电芯运行环境复杂,需要薄膜在较宽温度范围内保持稳定尺寸,先进技术生产的薄膜在极端高低温交替作用下,收缩率仍可能超出可接受范围,电池充放电过程中,电芯对薄膜耐电解液腐蚀性要求极高,部

分改性聚酯材料长期接触电解液，分子结构可能发生变化，出现溶胀或者化学性能退化，直接影响隔离效果。电池内部离子传导有特定速率，薄膜孔隙率需精准匹配，先进技术能通过调整拉伸工艺控制孔隙结构，不同电池体系因材料、设计差异所需的差异化孔隙分布，却难以精准满足。

### （二）生产工艺稳定性对产品一致性的影响问题

生产工艺稳定性直接影响电芯专用膜产品一致性，先进技术里，多层涂布工艺对各层涂布量均匀性要求极高，涂布模头流量控制出现微小波动，哪怕是零点几毫升的偏差，都会导致薄膜功能层厚度不均匀，进而影响电芯局部性能表现，拉伸过程张力控制关键，张力波动哪怕只有几牛顿，也会使薄膜分子取向不一致，造成机械强度出现明显差异。干燥温度控制保证薄膜性能稳定，传统烘房存在温度分布不均的问题，先进技术中这一问题虽通过分区控温有所改善，仍难以完全消除，导致同一批次薄膜热收缩率存在不容忽视的差异。

### （三）技术成本与规模化生产需求的矛盾问题

先进聚酯薄膜制造技术高成本与规模化生产需求存在显著矛盾，共聚改性聚酯原料价格远高于普通聚酯，生产中对添加剂的处理，像粒子表面包覆，增加工艺复杂度与原料成本，多层涂布模头、高精度张力控制系统等先进设备初期投入大，单条生产线投资成本远超传统生产线。先进技术对生产环境洁净度要求更高，生产过程中能耗和维护成本显著上升，难以满足电芯专用膜大规模、低成本的市场需求。

## 三、基于电芯专用膜生产需求的技术优化方案

### （一）针对性改进薄膜性能参数的技术调整措施

为满足电芯对薄膜性能的严苛要求，需从原料配方与生产工艺两方面实施协同优化，形成系统性技术调整方案<sup>[2]</sup>。原料选择突破传统单一聚酯材料局限，采用三元共聚改性聚酯体系，引入特定分子结构单体，改变聚酯分子链规整性，降低薄膜结晶度，分子层面调整削弱分子间作用力，薄膜高温环境下不易刚性收缩，提升高温稳定性，热收缩率稳定控制在0.5%以内理想区间，确保电芯工作的-40℃至120℃极端温度条件下保持结构稳定，针对薄膜与电解液兼容性问题，引入等离子体表面处理技术，高能等离子体轰击薄膜表面，打破表层分子部分化学键，促使其与空气中活性粒子结合，形成羟基、羧基等极性基团，极性基团与电解液中锂盐成分形成稳定界面作用，薄膜在电解液中溶胀率控制在3%以下，避免结构变形导致隔离功能失效。

工艺优化层面，创新采用双向拉伸比例动态调节技术，激光测厚仪与红外光谱仪实时监测薄膜厚度偏差与分子取向度，纵向拉伸倍数控制在3.5-4.2倍、横向拉伸倍数控制在3.0-3.8倍的动态区间，结合实时反馈数据调整拉伸参数，实现孔隙率 $\pm 0.5\%$ 的精准调控。三元锂电池与磷酸铁锂电池

的离子传导特性存在差异，拉伸温度分别设定为85℃与92℃，薄膜内部构建直径100-300nm的均匀连贯微孔结构，结构化微孔网络与电池内部锂离子迁移路径完美匹配，离子电导率提升15%-20%，薄膜性能参数与电芯使用要求形成高度契合。

### （二）提升生产工艺稳定性的流程优化方法

提升生产工艺稳定性需构建覆盖全生产环节的精准控制系统，通过各工序的协同优化实现产品性能的高度一致。

涂布环节采用伺服电机驱动的精密涂布模头，模头配备精度达 $\pm 0.1\text{ml/min}$ 的流量控制装置，可实时调节各功能层的涂布量，分辨率 $0.5\mu\text{m}$ 的在线激光厚度监测系统同步运行，对薄膜进行每秒300次的连续扫描，监测数据经5G工业网关实时反馈至控制系统，形成毫秒级响应的闭环调节机制，通过这样的动态调整，各层厚度偏差能严格控制在 $\pm 1\mu\text{m}$ 范围内，确保功能层均匀分布，为薄膜的一致性性能筑牢基础，拉伸过程是影响薄膜分子取向的关键，引入多段张力联动控制技术。20米长的拉伸路径上均匀设置12个张力检测点，配合采样频率1kHz的红外温度传感器，实时采集薄膜不同位置的温度分布数据，控制系统依据这些参数，动态调节各拉伸辊的转速，使张力波动幅度控制在 $\pm 2\text{N}$ 以内，确保薄膜拉伸中始终保持均匀张力，避免局部张力过大或过小引发的分子取向差异。这种精细化控制能降低薄膜机械强度的波动幅度，保证力学性能一致，干燥工序的温度均匀性关乎薄膜性能稳定，采用分区温控烘房并配备热风循环优化装置，15米长的烘房内科学划分8个独立温控区域，每个区域均设置精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 的温度传感器和PID调节加热装置，配合风速 $3\text{m/s}$ 的定向循环风幕，让烘房内横向温差控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内，立体温控系统有效避免薄膜因局部过干或未干透产生的性能偏差，进一步提升产品稳定性。

### （三）平衡技术成本与规模化生产的解决方案

平衡技术成本与规模化生产需从设备、原料和生产模式三个维度实施系统性优化，实现成本控制与产能提升的协同发展<sup>[3]</sup>。设备方面开发模块化生产线，多层涂布、双向拉伸、精密干燥等关键工序整合为标准化模块单元，每个模块配备独立智能控制系统，工业互联网实现工序间数据交互，模块化设计使车间占地面积减少30%以上，可根据产能需求灵活增减模块数量——从日产 $50\text{万m}^2$ 基础配置扩展至 $200\text{万m}^2$ 规模化产能，设备利用率提升至85%以上，单位产能投资成本降低约20%，原料成本控制建立上下游协同机制，联合上游石化企业开发电芯专用膜专用纳米级添加剂，定制化分子设计让原料匹配度提升至98%，与供应商签订3-5年长期采购协议，依托年采购量超5000吨的规模优势，将核心原料价格压低15%-20%。实验室搭建12组平行实验线，历经300余次配方迭代，在保持薄膜击穿电压 $\geq 400\text{V}$ 的前提下，把无机添加剂用量从8%降至5.5%，进一步压缩单位原料成本，生产模式推行柔性化生产调度，搭建基于数字孪生的智能化管理系统，实时采集1200余个生产节点数据，借助快

速换产技术，将不同规格产品的切换时间从 4 小时缩短至 45 分钟，设备有效利用率提升至 92%，这种模式可同时应对 50 种以上规格的订单需求，在年产 30 亿 m<sup>2</sup> 的规模下，让

固定资产折旧、人工等固定成本摊薄 35%，最终实现技术成本与规模化生产的良性互动，在保证产品质量的同时提升企业的市场竞争力，详情见图 1

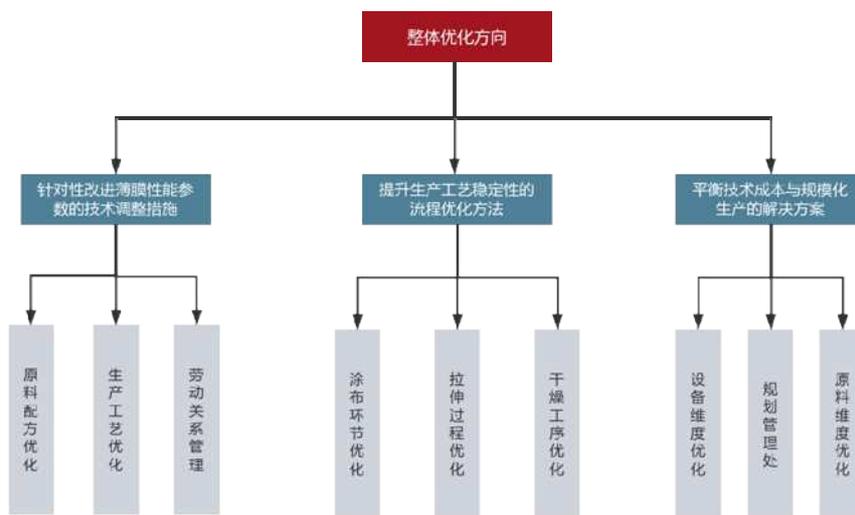


图 1 整体优化流程图

#### 四、先进聚酯薄膜制造技术在电芯专用膜生产中的应用成效

##### （一）薄膜性能参数符合电芯使用要求的具体表现

应用先进技术生产的电芯专用膜，性能参数全面满足电芯使用要求，各项指标优化直接作用于电池核心性能提升，反复测试显示，薄膜在极宽温度区间内热收缩率始终稳定在较低水平，接近电芯工作温度上限的环境中，尺寸变化也微乎其微。出色的高温稳定性从根本上减少薄膜因热胀冷缩导致的结构变形，大幅降低电芯内部正负极接触短路风险，为电池安全运行筑起坚实防线，耐电解液腐蚀性能上，改进后的薄膜表现同样亮眼，置于电解液中长时间浸泡后，微观观测发现，薄膜表面几乎无明显鼓包或开裂，溶胀程度远低于传统薄膜。

##### （二）产品一致性提升的实际成果

同一批次薄膜产品，厚度公差较以往大幅降低，随机抽样检测显示，任意两点厚度差异控制在极小范围，薄膜在电芯组装过程中能均匀承受压力，避免局部厚度不均导致的电芯内部受力失衡<sup>[4]</sup>。纵向强度偏差严格控制在较小区间，无论是薄膜边缘还是中间区域，抗拉伸能力都保持高度一致，

这种强度均匀性确保薄膜在电池封装和使用过程中，不会因局部强度不足出现撕裂或破损，进一步保障电池结构完整性，热收缩率批次间差异明显缩小，不同批次生产的薄膜在相同温度条件下，收缩幅度基本一致，为电池生产企业标准化生产提供可靠材料保障，减少因材料批次差异导致的生产工艺调整成本，连续生产过程中产品合格率显著提高，生产线能稳定输出高质量薄膜，直接减少因薄膜性能波动导致的电芯报废情况，使电池生产整体良率得到有效提升。

#### 结语

综上所述，针对电芯专用膜生产，通过分析技术背景与实际需求，明确了先进聚酯薄膜制造技术的潜力与现存问题<sup>[5]</sup>。提出的技术优化方案在改进性能参数、提升工艺稳定性及平衡成本与规模化生产方面成效显著，使薄膜性能更贴合电芯需求、产品一致性提高、成本得到有效控制，未来，持续优化技术将进一步推动电芯专用膜产业发展，助力新能源领域不断进步。

#### 参考文献

- [1]韩剑钧，陈振辉.聚酯合成材料在环保塑料薄膜中的应用研究进展[J].山东化工，2025，54（13）：56-57.
- [2]李中国.聚酯薄膜生产中各种展平方式的研究与分析[J].橡塑技术与装备，2024，50（09）：49-52.
- [3]张锐，姚晔，李超，等.非硅离型（BOPET）聚酯薄膜的研究进展[J].信息记录材料，2024，25（08）：3-5.
- [4]石少进，景丽.聚酯薄膜表面橘皮纹产生的原因及对策[J].化学推进剂与高分子材料，2024，22（02）：73-77.
- [5]张启纲.再生聚酯及膜材料关键技术开发.河南省，河南银金达新材料股份有限公司，2023-07-17.