

# Effect of Surface Treatment on Properties of Biaxially Tensile Polypropylene Film

Lanbo Luo

Zhongshan Yongning Thin Film Materials Co., Ltd., Zhongshan, Guangdong, 528400, China

## Abstract

This study investigates the effects of different surface treatment methods on the dielectric properties and surface energy of biaxially oriented polypropylene (BOPP) films. Three surface modification techniques—electrode treatment, flame treatment, and chemical coating—were applied to BOPP films, followed by measurement and analysis of their dielectric constants and surface energy. Experimental results demonstrate that all three methods can improve the electrical performance and wettability of the films to varying degrees, with electrode treatment showing the most significant enhancement in both dielectric constant and surface energy. Flame treatment and chemical coating also exhibit notable modification capabilities. The findings provide theoretical foundations and technical support for the application of BOPP films in high-adhesion and high-insulation fields such as electronic materials and functional packaging.

## Keywords

biaxially oriented polypropylene film; surface treatment; electrode treatment; flame treatment; chemical coating

## 表面处理对双向拉伸聚丙烯薄膜性能的影响

罗兰博

中山永宁薄膜材料有限公司, 中国·广东 中山 528400

## 摘要

本研究探讨了不同表面处理对双向拉伸聚丙烯薄膜(BOPP)介电性能和表面能的影响。采用电极处理、火焰处理和化学涂层处理三种方式对BOPP薄膜进行表面改性,并对其介电常数和表面能进行测试与分析。实验结果表明,三种处理方法均能在不同程度上改善薄膜的电气性能和润湿性,其中电极处理效果最为显著,在提升介电常数和表面能方面均表现优异。火焰处理和化学涂层处理也显示出良好的改性能力。研究结果为BOPP薄膜在电子材料、功能包装等高附着力与高绝缘性应用领域的推广提供了理论依据与技术支持。

## 关键词

双向拉伸聚丙烯薄膜; 表面处理; 电极处理; 火焰处理; 化学涂层

## 1 引言

聚丙烯(Polypropylene, PP)薄膜作为一种重要的塑料材料被广泛应用于包装、电子、医疗和建筑等多个领域特别是双向拉伸聚丙烯薄膜(BOPP),因其良好的机械强度、透明性和抗化学性,成为了包装行业中最常用的薄膜之一。双向拉伸技术在纵向和横向方向上同时拉伸薄膜,使其分子链的排列更加有序,可以很好地提升薄膜的力学性能和热稳定性,虽然BOPP薄膜在多方面表现出优异的性能,但在实际应用中薄膜的表面性质仍然限制了其进一步的使用和开发。

表面处理技术作为改善材料表面性能的有效手段,目

前被广泛应用于聚丙烯薄膜的生产过程中。对薄膜表面进行处理可以显著提高薄膜的附着力、印刷性、透气性等关键性能,满足不同应用需求。常见的表面处理方法包括等离子体处理、激光处理和化学涂层等。这些方法能够在不改变薄膜内部结构的情况下优化其表面特性,使其在高性能需求的领域中具有更广泛的应用前景。

本论文研究表面处理对双向拉伸聚丙烯薄膜(BOPP)介电性能与表面能的影响。对比电极处理、火焰处理和化学涂层处理三种方式下薄膜性能的变化,系统分析了表面改性工艺对薄膜电气性能和润湿性的改善效果。本研究为BOPP薄膜在高绝缘性与高附着力等应用场景中的优化与拓展提供了理论支持与实践指导。

## 2 理论背景与文献综述

### 2.1 双向拉伸聚丙烯薄膜(BOPP)的基本特性

双向拉伸聚丙烯薄膜(BOPP)是将聚丙烯在纵向和横

【作者简介】罗兰博(1992-),男,中国湖南浏阳人,本科,工程师,从事高分子材料加工研究。

向上同时拉伸制成的薄膜。双向拉伸使薄膜分子链排列更加有序可以很好地提高其拉伸强度、透明性、热稳定性和抗化学性。BOPP薄膜具有较高的机械强度、耐化学腐蚀性和较强的抗紫外线能力，被广泛应用于食品包装、药品包装和日用消费品包装。但是BOPP薄膜的表面能较低，导致其与油墨和胶水等材料的附着力较弱，限制了其在某些高附着力要求的应用中的表现。

## 2.2 表面处理技术

表面处理技术用改善BOPP薄膜的表面特性，可以很好地提高其附着力、润湿性和印刷性。常见的处理方法包括等离子体处理、激光处理和化学涂层处理。等离子体处理引入极性基团，可以很好地提高薄膜表面能和增强其与其他材料的附着力。激光处理用激光束改变薄膜表面结构，可以很好地提升其粗糙度和提高薄膜的附着力和印刷性。化学涂层处理用涂覆一层化学物质可以改善薄膜的耐磨性和抗紫外线能力。

## 2.3 表面处理对BOPP薄膜性能的影响

表面处理显著改善了BOPP薄膜的多个性能特别是在附着力、热稳定性和电气性能方面。等离子体处理可以很好地提高薄膜的拉伸强度和表面能，激光处理可以改善薄膜的表面粗糙度并增强附着力，化学涂层则提高了薄膜的耐磨性和抗紫外线能力。表面处理使BOPP薄膜更加适用于高性能应用领域。

## 2.4 研究现状

近年来，双向拉伸聚丙烯薄膜(BOPP)因其优异的物理性能在电子、电气、包装等领域得到广泛应用，但其表面能低、电气绝缘性有限等问题限制了其在高性能场景中的应用。针对这些问题，研究者逐渐将注意力转向表面处理对BOPP薄膜介电性能和表面能的优化。

卢洪超等(2023)指出，双向拉伸过程可提高聚丙烯薄膜的结构有序性，为表面改性处理提供稳定的物理基础<sup>[1]</sup>。张心悦(2021)在研究多层结构聚丙烯薄膜的储能性能时发现，表面结构的微观变化直接影响介电常数的稳定性和提升空间<sup>[2]</sup>。平江波等(2022)进一步证实表面改性手段能够显著改善BOPP薄膜的介电储能特性，其中薄膜表层极性基团的引入尤为关键<sup>[3]</sup>。

目前应用较多的三种处理方法为电极处理(如电晕放电)、火焰处理和化学涂层处理。电极处理可在薄膜表面引入极性官能团，提升表面能并增强其介电性能；火焰处理利用高温燃烧作用使表面活化、粗糙度增加，有助于提高润湿性；而化学涂层处理则通过功能涂层的包覆赋予薄膜更高的绝缘性和界面粘附性。李泽普(2021)通过研究镀铝BOPP膜的发雾问题指出，表面能的不足是导致界面失稳的主要因素<sup>[4]</sup>，李永红、蔡妹妹(2021)则认为提升表面能是改善印刷适性和图像还原度的重要途径<sup>[5]</sup>。

## 3 实验方法

本研究采用电极处理、火焰处理和化学涂层处理三种方式对双向拉伸聚丙烯薄膜(BOPP)进行表面改性，并测试不同处理方法对其介电性能和表面能的影响。实验包括材料准备、处理工艺设置、性能测试和数据分析等步骤。

### 3.1 实验材料

实验中使用的BOPP薄膜为工业级产品，厚度为30 $\mu\text{m}$ ，宽度为10cm。所有薄膜样品初始表面未经任何处理作为对照组。薄膜的选择基于其在包装和电子领域中的广泛应用。

### 3.2 表面处理工艺

电极处理：采用电晕处理装置，处理电压为10kV，频率20kHz，处理时间30秒。该方法通过放电在薄膜表面引入极性基团，提升其表面能和电气性能。

火焰处理：采用丙烷-空气火焰处理系统，火焰温度控制在1100 $^{\circ}\text{C}$ 左右，处理速度为3cm/s，处理距离为1cm，单面处理。火焰热效应可破坏疏水结构并重塑表面官能团。

化学涂层处理：采用5%聚乙烯醇(PVA)水溶液进行喷涂，控制涂层厚度约0.5 $\mu\text{m}$ ，经热风干燥(60 $^{\circ}\text{C}$ ，10分钟)形成均匀致密的功能层。

### 3.3 测试方法

为评估不同表面处理对BOPP薄膜介电性能和表面能的影响，本研究采用以下测试方法。

介电常数测试：使用Agilent 4294A精密阻抗分析仪对处理前后样品进行介电常数测量。测试频率范围为1kHz至1MHz，测试温度为25 $^{\circ}\text{C}$ ，每种样品测试三次取平均值。测试电极采用标准平行板结构，确保测试过程中的均匀接触与重复性。

表面能测试：采用接触角测量仪(Dataphysics OCA 20)，通过在薄膜表面滴加蒸馏水和乙醇，测量其静态接触角。然后利用Owens-Wendt法计算样品的表面能总值及其极性和色散分量。每种样品测量5个点，取平均值以提高准确性和代表性。

### 3.4 数据分析方法

所有实验数据均进行三次独立测试，结果用均值和标准差表示。用方差分析(ANOVA)评估不同表面处理对各项性能指标的影响要是P值小于0.05，认为差异具有统计学显著性。用数据分析可以很好地评估表面处理对介电常数和表面能的改善效果。

## 4 数据分析

本章将基于实验数据，深入分析表面处理对双向拉伸聚丙烯薄膜(BOPP)性能的影响。用实验数据展示、统计分析以及讨论，评估不同表面处理如何改善BOPP薄膜的电气性能以及表面能。所有实验数据均来自三次独立实验，且用统计分析确保结果具有显著性和准确性。

#### 4.1 介电常数分析

介电常数是衡量材料电气性能的关键参数之一，直接反映其在外加电场作用下的极化能力，对于电气绝缘材料与电子器件封装材料而言具有重要意义。原始 BOPP 薄膜的介电常数普遍较低，限制了其在高频、高绝缘需求场景下的应用，因此表面处理技术的引入被认为是一种有效的提升路径。

实验结果表明，经不同处理方式处理后的样品介电常数均较未处理样品显著提升，具体数值如下：

表 3-1 不同表面处理对 BOPP 薄膜介电常数

表面处理方式	初始介电常数 ( $\epsilon$ )	处理后介电常数 ( $\epsilon$ )	变化 (%)
未处理	2.1	2.1	-
电极处理	2.1	2.7	28.6
火焰处理	2.1	2.5	19.0
化学涂层处理	2.1	2.4	14.3

方差分析结果显示，处理方式对介电常数的影响具有显著性 ( $P = 0.027 < 0.05$ )。其中，电极处理效果最为显著，其介电常数从 2.1 提升至 2.6，增幅高达 23.8%。电极处理主要通过高压电晕放电在薄膜表面引入大量极性基团，如羟基、羧基等，这些基团能增强分子极化能力，从而提高整体介电响应。火焰处理则通过高温作用引起表面分子链的定向重排和轻度氧化，同样增强了极性特征，使介电常数提升 19%。化学涂层处理所形成的 PVA 涂层具备较好的电绝缘性，提升幅度虽小于前两者，但仍达到 14.3% 的提升，说明其在改善电气性能方面也具有实用价值，特别适用于薄膜电容器、低压绝缘薄膜等应用场景。

#### 4.2 表面能分析

表面能是衡量材料润湿性、粘接能力及其界面亲和力的核心指标。由于 BOPP 材料本身疏水性较强，表面能低，在实际应用中常导致油墨不附着、复合材料分层等问题。通过合适的表面处理方式提升表面能，可有效改善其与油墨、胶黏剂、金属层等材料的界面兼容性。

各处理方法对 BOPP 薄膜表面能的影响如下表所示：

表 3-2 表面处理前后薄膜对比

表面处理方式	初始表面能 (mN/m)	处理后表面能 (mN/m)	变化 (%)
未处理	35.2	35.2	-
电极处理	35.2	47.0	33.0
火焰处理	35.2	43.5	23.6
化学涂层处理	35.2	41.2	17.0

方差分析结果 P 值为 0.018 ( $< 0.05$ )，说明三种处理方式对表面能的提升均具有统计学显著性。其中，电极处理

同样表现最佳，其显著提升主要源于表面极性官能团的生成，极大地改善了 BOPP 薄膜对水性和极性溶液的润湿能力。火焰处理在高温作用下破坏了原有疏水结构，同时引入少量含氧基团，使表面能提升 22.4%。化学涂层处理通过在表面构建一层均匀的亲水性高分子涂层（如聚乙烯醇），显著改善了润湿性，适用于后续复合和印刷工艺的需求。

综合分析，电极处理在提升 BOPP 薄膜的介电性能与表面能方面均展现出最优效果，适用于高端包装、电绝缘、印刷基材等对功能性要求较高的应用领域。火焰处理虽然略逊一筹，但因设备简单、处理效率高，在工业连续化生产中具有实际可操作性。化学涂层处理则适合对热敏感、对界面功能层有特殊要求的薄膜系统，具有较强的拓展潜力。

综上，三种表面处理方式均能显著改善 BOPP 薄膜的电气性能和表面润湿性能，但应结合应用场景选择最优处理方案，以实现性能与成本之间的平衡与优化。

## 5 结论

本研究通过电极处理、火焰处理和化学涂层处理三种方式，对双向拉伸聚丙烯薄膜 (BOPP) 进行表面改性实验，重点评估不同处理方法对其介电性能和表面能的影响。实验结果表明，三种表面处理均能显著改善 BOPP 薄膜的电气性能和表面润湿性。其中，电极处理效果最为显著，介电常数提升达 23.8%，表面能提升 32.9%，在提高薄膜极化能力与界面附着力方面表现优越。火焰处理和化学涂层处理也在不同程度上提升了薄膜性能，尤其适用于需要提高印刷适性、粘附能力等功能的应用领域。

综合比较结果，建议在电气绝缘、功能膜材等对电气性能要求较高的应用中优先采用电极处理；而在对热稳定性要求不高但需改善附着力的场景中，火焰处理与化学涂层处理可作为高效、经济的替代方案。未来可进一步在处理参数优化与多种技术协同组合方向开展深入研究，以拓展 BOPP 薄膜在智能包装、新能源器件等领域的应用潜力。

### 参考文献

- [1] 卢洪超, 徐萌, 权慧, 等. 双向拉伸过程中聚丙烯薄膜结构与性能的演变[J]. 塑料工业, 2023, 51(09):82-87+155.
- [2] 张心悦. 多层结构聚丙烯薄膜储能特性的研究[J]. 湖南电力, 2021, 41(06):17-21.
- [3] 平江波, 冯启琨, 郑明胜, 等. 表面改性聚丙烯薄膜的制备与介电/储能特性研究[J]. 绝缘材料, 2022, 55(05):49-55.
- [4] 李泽普. 双向拉伸聚丙烯薄膜镀膜发雾问题分析[J]. 石油化工, 2021, 50(09):905-909.
- [5] 李永红, 蔡妹妹. 影响双向拉伸聚丙烯薄膜凹印色彩还原的因素[J]. 塑料包装, 2021, 31(06):5-9.