

# 双向同步拉伸工艺对PET聚酯薄膜性能的影响

卢 波 杜浪子 罗仕俊

温州强润新材料科技有限公司 浙江 温州 325000

**摘要：**本文探讨了双向同步拉伸工艺对PET聚酯薄膜性能的影响。通过分析PET聚酯薄膜的性能要求，探讨拉伸工艺在PET薄膜生产中的作用，进行拉伸工艺对PET聚酯薄膜性能测试，从而得出工艺参数对薄膜机械性能、热性能、光学性能的影响，精确控制双向拉伸条件可显著提升PET薄膜的性能，包括增强的强度和稳定性，以及改善的透明度。旨在为PET薄膜生产提供了新的优化途径。

**关键词：**双向同步；拉伸工艺；PET聚酯薄膜；性能

随着科技进步和市场需求的不断扩大，高性能PET聚酯薄膜在包装、电子、汽车等领域的应用愈发广泛。特别是在环保和可持续性日益受到关注的背景下，开发和优化具有高性能、低环境影响的材料制备技术显得尤为重要。双向同步拉伸技术（BOPET）因其能有效改善薄膜的物理性质，比如增强强度和改善透明度，而被视为PET薄膜制造领域的重大突破。因此，深入研究此技术对于推动材料科学和工程技术的发展具有重要意义。

## 1 PET 聚酯薄膜的性能要求

在当今高速发展的工业与技术领域，PET聚酯薄膜凭借其卓越的性能，已成为包装、电子、汽车等多个行业不可或缺的材料之一。随着行业需求的不断升级和对环境保护要求的加强，对PET聚酯薄膜的性能要求也越来越高。

(1) 机械强度是PET聚酯薄膜最基本的性能要求之一。薄膜需要有足够的拉伸强度和撕裂强度，以保证在生产、加工和使用过程中的耐用性。在包装行业中，这种强度保障产品在运输和存储过程中的安全；在电子行业中，强度则确保薄膜作为绝缘材料时的可靠性。

(2) 热稳定性也是PET聚酯薄膜需满足的关键性能之一。高热稳定性意味着在高温加工过程中或在高温环境下使用时，薄膜能保持形态稳定，不会出现变形或降解。这对于那些要求在极端温度条件下使用的应用场景尤为重要，比如在汽车和电子行业中作为部件隔热材料。

(3) 化学稳定性也十分关键。PET聚酯薄膜需要能够抵抗多种化学物质的侵蚀，包括酸、碱和某些有机溶剂。这一点对于包装行业尤为重要，因为食品、药品等产品的包装不能因为薄膜材料的化学反应而影响产品的安全和稳定性。

(4) 透明度和光学性能也是评价PET聚酯薄膜的重要指标。良好的透明度不仅能提高产品的外观质量，对于需要透光或显示的应用场合（如触摸屏、显示器保护膜

等），高光学性能也是必不可少的。

(5) 环境友好性日益成为PET聚酯薄膜性能要求的一个重要方面。随着全球对环境保护的重视，可回收、生物降解或使用再生资源生产的PET薄膜正在受到越来越多的关注。这不仅符合当前的可持续发展趋势，也是企业负责任地面对社会和环境的表现<sup>[1]</sup>。

## 2 拉伸工艺在 PET 薄膜生产中的作用

拉伸工艺，在多种塑料制品生产中扮演着关键角色，特别是在PET聚酯薄膜的生产流程中，它的作用至关重要。

(1) PET薄膜的制作通常开始于将PET树脂加热至一定温度，使其达到可流动状态。随后，这种熔融状态的树脂会经过一系列挤出或模具，形成初级薄膜。正是在此阶段，拉伸工艺开始显现其至关重要的作用。拉伸可以使用纵向拉伸（机向拉伸），通常这种拉伸会连续或同时进行，以优化薄膜的性质。

(2) 拉伸工艺主要通过增强聚酯分子链的取向来达到强化薄膜性能的效果。在纵向拉伸中，薄膜被沿着其长度方向拉伸，导致分子链沿拉伸方向取向排列。类似地，横向拉伸则是沿薄膜的宽度方向进行。这种取向效果能显著提高材料的力学性能，如拉伸强度和抗撕裂力，这些特性对于随后的加工和终端应用来说至关重要。

(3) 拉伸过程还能改善薄膜的热稳定性和抗收缩性。在薄膜经过拉伸处理后，由于分子链的有序排列，PET薄膜在后续加热过程中不易发生变形，这一点在需要后续热处理的应用中尤为重要。

(4) 对于PET薄膜的光学属性而言，拉伸工艺同样发挥着重要影响。经过精确控制的拉伸，能够获得具有优良透明度和光泽度的薄膜，这对于包装和显示屏领域中的应用尤其重要。在这些应用中，用户对于清晰度和视觉效果的要求十分严格<sup>[2]</sup>。

(5) 环境稳定性方面, 拉伸过程亦促进了薄膜的耐化学性和耐候性。由于分子链的均匀有序排列, 拉伸后的薄膜能更好地抵御外界化学物质的侵蚀和紫外线的照射。

### 3 双向同步拉伸工艺对 PET 聚酯薄膜性能测试方法

在对PET聚酯薄膜进行优化研究的过程中, 全面地评估其性能变化是至关重要的。这不仅涉及到薄膜的机械性能, 还包括热性能和光学性能等多个方面。为此, 确立一系列严密和可靠的性能测试方法是研究中的基础工作。

#### 3.1 机械性能测试

机械性能是PET薄膜应用领域中的关键指标, 它包括拉伸强度、伸长率、撕裂强度等多个方面。为了准确测量这些指标, 采用拉伸试验机进行测试, 按照GB/T 1040.3标准进行。

(1) 拉伸强度和伸长率: 将经过预处理的样品切割成制定尺寸, 固定在拉伸试验机“夹具”两端, 以一定的速度拉伸直至断裂。记录最大力和相应的伸长, 计算拉伸强度(最大力除以原始截面面积)和伸长率(断裂时的伸长除以原始长度)。

(2) 撕裂强度: 采用同样的拉伸试验机, 根据GB/T 16578.1-2009标准进行操作, 测量样品在预制裂纹处启裂至完全断裂所需的最大力。

#### 3.2 热性能测试

热性能测试包括热稳定性和玻璃化转变温度(Tg)的测定, 主要通过差示扫描量热仪(DSC)实现。

(1) 热稳定性: 将样品加热至预定温度并保持一段时间, 观察其质量变化或结构变化。通过设置不同的加热速率, 可以得到样品的热分解温度, 即样品开始显著分解的温度点。

(2) 玻璃化转变温度(Tg): 在差示扫描量热仪中设定一定的加热速率, 从室温逐渐加热样品。通过记录样品在加热过程中吸收或释放热量的变化来确定其Tg。此温度对于判断材料的加工温度范围极为重要。

#### 3.3 光学性能测试

光学性能主要包括雾度与透光率和光学均匀性等, 这些性能是PET薄膜在包装、显示技术等应用领域的重要参考指标。

(1) 雾度测试: 使用雾度测量仪, 根据GB/T 2410标准, 透过试样而偏离入射光趋势的散射光通量与透射光通量之比。偏离 $2.5^\circ$ 以上的散射光通量用于计算雾度。

(2) 透光率测试: 使用雾度测量仪, 根据GB/T 2410标准, 透过透明或半透明体的光通量与其入射光通量的百分率。

(3) 光学均匀性测试: 采用光束干涉仪, 通过产生

的干涉图案分析样品的厚度和成分的均匀性。光学均匀性对于高清显示材料等应用至关重要。

通过这些细致且标准化的测试方法, 可以全面、精确地评估PET薄膜在优化处理后的性能变化, 为研究提供有力的数据支持<sup>[3]</sup>。

### 4 双向同步拉伸工艺对 PET 聚酯薄膜性能的影响

#### 4.1 对薄膜机械性能的影响

在对PET薄膜进行性能优化的研究中, 工艺参数是决定薄膜机械性能的关键因素。这些参数包括但不限于拉伸速度、拉伸温度和拉伸比例。通过系统地变化这些参数, 并评估其对薄膜机械性能的影响, 研究人员可以确定最优的制备条件, 从而制得具有优异性能的薄膜材料。

(1) 拉伸速度的影响。拉伸速度是影响PET薄膜机械性能的重要参数之一。实验表明, 随着拉伸速度的增加, 薄膜的拉伸强度和模量通常会提高。这是因为较高的拉伸速度有利于分子链的定向排列, 增强了分子间的相互作用力, 使得材料的机械性能得到提升。然而, 当拉伸速度超过某一临界值时, 薄膜的拉伸强度开始下降, 这可能是由于过快的拉伸速度导致分子链断裂, 从而降低了材料的整体性能。

(2) 拉伸温度的影响。拉伸温度对PET薄膜的机械性能同样具有显著影响。在较低的拉伸温度下, 由于分子运动受限, 薄膜的拉伸强度较高, 但伸长率低, 表现出较为脆弱的特性。随着拉伸温度的升高, 分子链的运动性增强, 薄膜的伸长率显著提高, 但过高的温度会导致分子间相互作用力减弱, 从而降低拉伸强度。因此, 选择适宜的拉伸温度, 可以在保证材料强度的同时, 改善其延展性。

(3) 拉伸比例的影响。拉伸比例, 即薄膜在拉伸过程中长度的增加比, 也是影响其机械性能的一个关键因素。一般来说, 随着拉伸比例的增加, 薄膜的机械性能会得到改善。这是因为较高的拉伸比例有助于分子链的进一步定向, 增强了材料内部的结构强度。然而, 过高的拉伸比例可能会导致分子链过度拉伸甚至断裂, 从而损害薄膜的性能。因此, 在实际应用中需要找到合适的拉伸比例平衡。

#### 4.2 对薄膜热性能的影响

在高分子材料研究与应用领域, PET薄膜的热性能是其应用范围和性能稳定性的一个重要指标。热性能主要包括热稳定性、热收缩性和热变形温度等, 这些特性直接影响到PET薄膜在高温环境下的应用性能。实践证明, 工艺参数是调控PET薄膜热性能的关键因素, 其中最具影响力的参数包括加热速率、冷却速率以及拉伸温度。

(1) 加热速率对热性能的影响。加热速率直接关系到薄膜在加工过程中分子链结构的重新排列程度。加热速率过快可能导致内部应力不能及时释放,影响材料的热稳定性。研究表明,适中的加热速率有利于薄膜内部分子链有序排列,促进结晶性的提高,从而增强材料的热稳定性和减少热收缩性。适宜的加热速率可以使PET薄膜具备更优异的高温下的使用性能,例如在高温环境中维持较好的尺寸稳定性<sup>[4]</sup>。

(2) 冷却速率对热性能的影响。冷却速率是另一个重要的工艺参数。快速冷却通常会导致PET薄膜内部应力的增大,影响薄膜的热稳定性,可能会在后续的高温应用中导致性能的不稳定。相反,慢速冷却有利于分子链的充分排列和结晶,可显著提高PET薄膜的热稳定性和抗热变形的能力。因此,在具体的生产工艺中,通过合理调控冷却速率,可以有效改善薄膜的热性能,满足特定应用领域对材料热特性的要求。

(3) 拉伸温度对热性能的影响。拉伸温度不仅影响PET薄膜的机械性能,也对其热性能产生重要影响。在一定的温度范围内,适当提高拉伸温度可以使PET薄膜的分子链在拉伸过程中更容易发生取向和结晶,有利于薄膜的热稳定性和减少热收缩。然而,过高的拉伸温度可能导致材料性能的退化,特别是薄膜的热稳定性会因过度的分子链松弛而降低。

#### 4.3 对薄膜光学性能的影响

在现代工业和科技领域,薄膜材料的光学性能日益成为重点研究的对象。特别是在光电子、显示器以及包装等行业,薄膜的透明度、反光性和光学均匀性等指标对产品的品质和性能有着决定性的作用。实践中发现,制备过程中的工艺参数,如温度、拉伸速度及冷却方式等,对薄膜的光学性能具有显著影响。

(1) 温度对薄膜光学性能的影响。制备过程中的温度是影响薄膜光学性能的核心因素之一。适宜的处理温度有助于促进薄膜内部分子链的有序排列,从而减少光的散射和吸收,提高薄膜的透明度。例如,在PET薄膜的拉伸过程中,过低的处理温度会导致分子链排列紧凑,

但不够有序,影响光线的透过;而过高的温度则可能导致材料结构过度放松,同样不利于光学性能的提升。因此,优化处理温度对于提高材料的透明度和减少光学缺陷具有重要意义。

(2) 拉伸速度对薄膜光学性能的影响。拉伸速度的调整对薄膜的分子取向和微观结构有着直接的影响,从而间接地影响到薄膜的光学性能。一般而言,适中的拉伸速度有利于分子链的均匀取向,能够有效减少由于结构不均匀导致的缺陷,如云雾状斑点等。过快的拉伸速度可能会导致材料内部产生微裂纹或应力集中,进而影响光学透明性。恰当选择拉伸速度,是优化薄膜光学性能的关键之一。

(3) 冷却方式对薄膜光学性能的影响。薄膜的冷却过程也是影响其光学性能的重要环节。快速冷却可以锁定高分子链在拉伸过程中形成的有序状态,有利于提高薄膜的透明度和光学均匀性。相反,缓慢冷却可能会导致高分子链部分回复至无序状态,降低薄膜的透明度。因此,选择合适的冷却速率和方式对保持薄膜的光学均匀性极为关键。

结语:本研究深入探讨了工艺参数对薄膜材料机械性能、热性能和光学性能的显著影响。通过调整加热速率、冷却速率、拉伸温度和拉伸速度,成功优化了薄膜的性质,为材料科学领域提供了重要见解。未来工作将进一步研究不同材料的反应特性,探索更多调控手段,以实现薄膜性能全面提升,满足更广泛应用的需求,推动材料科学的创新发展。

#### 参考文献

- [1] 孙忠海,濮娟,王大志.一种PET聚酯薄膜生产工艺:CN201810722921.7[P].CN110684323A[2024-03-26].
- [2] 杜永胜,张晓龙.简述双向拉伸薄膜制造的知行合一(三)[J].塑料包装,2023,33(5):20-22,53.
- [3] 陈志明,黄洛玮,司虎,等.双向同步拉伸工艺对PET聚酯薄膜性能的影响[J].合成技术及应用,2023,38(1):1-5.
- [4] 吴思瑶,王绪,周玉波,等.双向拉伸PEFT薄膜的制备及性能[J].工程塑料应用,2023,51(8):1-7.