

功能性双向拉伸聚酯薄膜生产技术在太阳能背板用膜领域的应用

陆宇

杭州和顺科技股份有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i12.8625

[摘要] 功能性双向拉伸聚酯 (BOPET) 薄膜生产技术应用于太阳能背板用膜领域值得探究, 功能性 BOPET 薄膜与太阳能背板用膜存在关联基础, 涉及前者生产技术发展现状及后者性能需求。功能性 BOPET 薄膜应用中存在生产技术适配性不足引发的性能短板, 以及应用时的环境适应性问题, 可针对性提出基于性能需求的生产工艺参数调整方案, 还有提升环境适应性与降低成本的技术改进路径, 验证显示, 优化后的产品机械强度、耐候性等关键性能明显提升, 应用稳定性增强, 推动了太阳能背板用膜行业技术升级与产业发展。

[关键词] 功能性双向拉伸聚酯薄膜; 太阳能背板用膜; 生产技术优化; 性能提升

Application of Functional Bidirectional Stretching Polyester Film Production Technology in the Field of Solar Backpanel Films

Lu Yu

Hangzhou Heshun Technology Co., Ltd.

[Abstract] The application of functional biaxially oriented polyester (BOPET) film production technology in the field of solar backsheet film is worth exploring. There is a correlation between functional BOPET film and solar backsheet film, involving the current development status of the former production technology and the performance requirements of the latter. In the application of functional BOPET film, there are performance shortcomings caused by insufficient production technology adaptability, as well as environmental adaptability issues during application. Targeted production process parameter adjustment schemes based on performance requirements can be proposed, as well as technological improvement paths to improve environmental adaptability and reduce costs. Verification shows that the optimized product has significantly improved key performance such as mechanical strength and weather resistance, and enhanced application stability, promoting the technological upgrading and industrial development of the solar backsheet film industry.

[Key words] Functional biaxially oriented polyester film; Film for solar backsheet; Production technology optimization; Performance improvement

引言

太阳能背板用膜是光伏组件关键防护层, 性能关联组件使用寿命与发电效率, 影响光伏产业发展, 功能性 BOPET 薄膜机械强度、耐候性优异, 在太阳能背板用膜领域应用潜力

广阔。当前功能性 BOPET 薄膜生产技术与太阳能背板用膜特定需求适配不足, 实际应用存在性能短板, 复杂环境中适应性也需提升, 制约该领域进一步应用, 梳理两者关联基础, 剖析应用挑战, 提出切实可行的生产技术优化方案, 可为行

业持续发展注入动力。

1 功能性双向拉伸聚酯薄膜与太阳能背板用膜的关联基础

1.1 功能性双向拉伸聚酯薄膜的生产技术发展现状

功能性 BOPET 薄膜生产技术走过数十年历程,逐步搭建起从原料精准配比到后处理精细工艺的完整技术体系,当下主流生产工艺遵循“熔融挤出-双向拉伸-热定型”的固定流程,其中双向拉伸技术堪称决定薄膜最终性能的核心环节,纵向拉伸(MD)与横向拉伸(TD)的配比参数历经改进,从早期普遍采用的 3:3 逐步调整为如今的 4:5,借助对拉伸速率 30~50m/min 和温度 100~150°C 的稳定把控,让薄膜纵向拉伸强度成功突破 200MPa,横向拉伸强度达到 180MPa,对比未经过拉伸处理的聚酯薄膜,强度提升幅度在 3~4 倍之间^[1]。功能化改性技术成为近些年行业内的发展热点方向,在原料中特意掺入纳米粒子(像二氧化硅、氧化锌这类),能够让薄膜的耐紫外老化性能提升 50%以上,透光率稳定维持在 90%以上的水平,表面处理技术也实现升级,从传统的电晕处理方式更新为等离子体处理,使薄膜表面张力从 38dyn/cm 提高到 52dyn/cm,这一变化显著增强了其与胶粘剂之间的结合力,根据行业统计数据显示,2024 年国内功能性 BOPET 薄膜的总产能达到 120 万吨,其中具备耐候、耐湿热等特殊性能的专用薄膜,在总产能中的占比已经超过 40%,这为其在太阳能相关领域的应用筑牢了产能基础。

1.2 太阳能背板用膜的性能需求

太阳能背板用膜充当光伏组件的防护屏障,得在户外复杂环境里长期耐受多种严苛条件,性能需求呈现出多维度的特征,机械性能方面,要求薄膜具备较高的抗拉伸强度($\geq 150\text{MPa}$)和撕裂强度($\geq 40\text{kN/m}$),以此抵御组件在安装及使用过程中可能遭遇的机械应力;断裂伸长率需要控制在 100%~150%这个区间,既要保证拥有一定的柔韧性,又要避免因过度拉伸而导致的结构破坏,耐候性是太阳能背板用膜的核心指标^[2]。在紫外老化测试中,经过 2000 小时的紫外照射之后,薄膜的拉伸强度保留率需要 $\geq 80\%$,黄变指数则应 ≤ 3 ,这样才能防止因长期暴晒而造成的性能衰减,耐湿热性能要求在 85°C、85%相对湿度的条件下放置 1000 小时后,薄膜不会出现明显的水解现象,水蒸气透过率需要 $\leq 1.5\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$,从而阻断湿气侵入到组件内部,电气绝缘性能和耐化学腐蚀性也同样是不可或缺的。背板用膜的体积电阻率需要 $\geq 10^{14}\Omega \cdot \text{cm}$,以此来保障组件的电气安全。

2 功能性双向拉伸聚酯薄膜在太阳能背板用膜应用中的现存挑战

2.1 生产技术适配性不足导致的性能短板

当前功能性 BOPET 薄膜生产技术体系,面对太阳能背板用膜的专用化需求,存在多维度适配性缺陷,拉伸工艺上,现有主流 4:5 纵向(MD)与横向(TD)拉伸配比,虽提升薄膜整体机械强度,可横向拉伸强度(180MPa)仍略低于太阳能背板用膜理想标准($\geq 200\text{MPa}$),让薄膜在组件安装时的抗撕裂性能有隐患,某光伏企业测试数据显示,采用传统拉伸工艺的 BOPET 薄膜,组件边缘裁切过程中破损率达 3.2%,明显高于氟膜材料的 0.8%。功能化改性技术精准度不够,进一步加重性能短板^[3]。目前纳米粒子掺杂工艺多靠物理共混,二氧化硅、氧化锌等粒子在聚酯基体中分散均匀性差,使薄膜耐紫外老化性能出现波动,同一批次产品经 2000 小时紫外照射后,拉伸强度保留率差值能达 15%,部分产品甚至低于太阳能背板用膜要求的 80%下限,等离子体表面处理技术虽能提高表面张力,处理效果耐久性却不足,经 85°C 湿热环境放置 500 小时后,表面张力会从 52dyn/cm 降到 35dyn/cm 以下,导致与 EVA 胶粘剂的剥离强度下降 40%,增加组件分层风险,薄膜厚度的均匀性控制同样存在技术瓶颈。

2.2 应用过程中面临的环境适应性

户外复杂环境对功能性 BOPET 薄膜的长期稳定性带来严峻考验,其环境适应性存在的短板在多个场景中集中显现出来,处于高温高湿的环境里,聚酯分子链的水解反应速率会加快,这直接导致薄膜的机械性能出现急剧衰减,在 85°C、85%相对湿度的加速老化测试过程中,BOPET 薄膜经过 1000 小时后,拉伸强度保留率仅能达到 68%,这一数值远低于光伏组件 30 年使用寿命所要求的 $\geq 70\%$ 保留率,水蒸气透过率会从最初的 $1.2\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$ 上升至 $2.5\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$,使得薄膜失去了对组件内部的防潮保护作用^[4]。极端温差条件下的尺寸稳定性不够,是另一个突出的问题,我国北方地区冬季夜间的温度可以低到 -30°C,而夏季正午时分组件表面的温度能达到 70°C,这种 70°C 以上的温差变化会导致 BOPET 薄膜产生明显的热胀冷缩现象,相关测试数据显示,薄膜在 -30°C 至 70°C 之间循环 100 次之后,热收缩率能够达到 1.8%,这很容易造成组件背板出现起皱、翘边的情况,进而引发水汽侵入组件内部。

3 优化后功能性双向拉伸聚酯薄膜在太阳能背板用膜领域的应用成效

3.1 产品性能提升与应用稳定性验证结果

优化后的功能性 BOPET 薄膜核心性能指标有显著突破, 机械性能上, 横向拉伸强度稳定在 210MPa, 比优化前提升 16.7%, 组件边缘裁切破损率从 3.2%降到 0.9%, 与氟膜材料性能差距大幅缩小, 厚度偏差控制在±2.5%以内, 10 批次产品厚度超标区域占比都低于 3%, 3000 小时老化测试后黄变指数最高 2.8, 完全符合太阳能背板用膜标准要求。环境适应性验证显示, 优化后的薄膜能耐受多种极端条件, 85℃、85% 相对湿度的加速

老化测试中, 拉伸强度保留率从 68%升到 75%, 水蒸气透过率稳定在 $1.3\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$ 以下, 比优化前降低 48%, 有效阻断湿气对光伏组件的侵蚀, -30℃至 70℃的温差循环测试表明, 薄膜热收缩率从 1.8%降至 0.8%, 某光伏电站实地运行数据显示, 用该薄膜的组件投运 5 年后, 因热收缩导致的故障占比仅 3.5%, 比传统产品降低 64%。高海拔强紫外环境中, “多层梯度抗紫外”结构作用显著。详见表 1:

表 1 优化前后功能性 BOPET 薄膜性能及应用稳定性对比表

性能指标	优化前	优化后	变化幅度/效果
横向拉伸强度	180MPa	210MPa	提升 16.7%
组件边缘裁切破损率	3.2%	0.9%	降低 71.9%
厚度偏差	±4.0%	±2.5%	提升 37.5%
10 批次厚度超标区域占比	8%	<3%	改善 62.5%
3000 小时老化后黄变指数	4.5	2.8	降低 37.8%
85℃、85%RH 老化后拉伸强度保留率	68%	75%	提升 10.3%
水蒸气透过率	$2.5\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$	$1.3\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$	降低 48%
-30℃~70℃温差循环热收缩率	1.8%	0.8%	降低 55.6%
光伏电站 5 年热收缩故障占比	9.7%	3.5%	降低 64%

3.2 技术应用对太阳能背板用膜行业发展的推动力

优化后的功能性 BOPET 薄膜为太阳能背板用膜行业带来了高性能、低成本的材料解决方案, 采用“BOPET/氟材料复合”这一结构后, 产品成本相比全氟薄膜降低 40%, 而使用寿命依旧能够达到 30 年, 这一变化显著提升了光伏组件的性价比, 某光伏企业的应用数据有所显示, 使用该薄膜之后, 背板材料成本在组件总成本中所占的比例从 12%下降至 8%, 为企业带来了十分显著的成本优势。技术应用推动着太阳能背板用膜行业的技术升级与产业转型, “原料替代-工艺简化-废料回收”的全链条优化体系, 让再生聚酯切片的使用率达到 30%, 生产效率提升 20%, 能耗降低 15%, 推动着行业朝着绿色、环保、可持续的方向不断发展。“原位聚合-纳米粒子包覆”“等离子体处理-硅氧烷封端”等创新技术的实际应用, 提升了行业的技术壁垒, 促进着行业从低端同质化竞争向高端差异化竞争逐步转变, 优化后的功能性 BOPET 薄膜还拓展了太阳能背板用膜的应用场景。

结语

本研究聚焦功能性 BOPET 薄膜应用于太阳能背板用膜时的现存挑战, 提出的生产技术优化方案经实践验证成效显著, 优

化后的功能性 BOPET 薄膜在机械强度、厚度均匀性、耐高低温、抗紫外老化等关键性能指标上均有大幅提升, 应用稳定性明显增强, 可满足太阳能背板用膜的严苛要求。这一成果为太阳能背板用膜行业提供了高性能、低成本的优质材料解决方案, 降低了光伏组件生产成本, 还推动了行业技术升级与产业转型, 技术持续完善下, 功能性 BOPET 薄膜在太阳能背板用膜领域的应用前景会更广阔, 对行业可持续发展将产生更深远影响。

参考文献

- [1] 陈伟佳, 刘宁, 张卫锁.复合型太阳能电池背板脱涂问题的研究和解决方法[J].信息记录材料, 2024, 25(12): 4-5.
- [2] 石孟可, 范靖, 张军.低温氟膜背板及光伏组件老化性能研究[J].太阳能学报, 2024, 45(7): 525-531.
- [3] 卢博, 左燕, 郭永刚, 等.光伏组件盖板封装材料的研究进展[J].电源技术, 2022, 46(11): 1233-1237.
- [4] 周旭苗, 杨辉, 刘芳, 等.太阳能背板耐候层表面张力影响因素研究[J].信息记录材料, 2023, 24(10): 8-12.
- [5] 刘向军.太阳能电池背板发展趋势[J].中国科技信息, 2023(12): 136-138.