

重载膜多层共挤吹膜机组配方与工艺适用性研究

张 昭, 边晨曦*

(山东国印机械有限公司, 山东 淄博 255000)

摘 要 针对重载膜多层共挤生产中膜材力学性能不稳定、生产效率偏低、废品率偏高的技术问题, 开展重载膜配方筛选、多层共挤实验参数优化及适用性研究。本文采用三层共挤吹膜机组作为实验装置, 筛选茂金属线性低密度聚乙烯、增强聚乙烯、低密度聚乙烯为核心组分的配方体系, 优化挤出温度、吹胀比、牵引速度等关键工艺参数, 通过性能测试与实际生产验证确定适用方案。研究形成适用性优良的配方与工艺组合, 旨在提升生产稳定性, 为重载膜多层共挤规模化生产提供技术参考。

关键词 重载膜; 多层共挤吹膜机组; 性能测试; 生产验证

中图分类号: TQ320.66+5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.023

0 引言

重载包装薄膜已广泛应用于石化、建材、饲料等行业领域, 主要承担重型大宗物料的包装与运输功能, 对膜材的力学强度、耐穿刺性能与密封性能均有较高要求。现有技术中, 多数生产企业仅单独优化配方或工艺参数, 忽视二者间的适用关系, 导致膜材性能波动较大, 难以满足高端重载包装需求^[1]。本文聚焦配方组分与吹膜工艺参数的适用性核心问题, 通过配方筛选、参数优化、性能测试及生产验证, 构建科学合理的适用方案, 弥补现有技术中适用性研究的不足, 创新点在于建立三层结构重载膜配方与工艺参数的精准匹配关系, 提升生产稳定性与膜材品质。

1 重载膜配方筛选与多层共挤实验参数优化

1.1 重载膜配方筛选

重载膜配方筛选以力学性能与加工性能为核心指标, 确定三层共挤结构(外层、中层、内层), 各层功能定位不同, 配方组分差异化设计。外层需具备优良的耐磨损、耐穿刺性能, 选用茂金属线性低密度聚乙烯(M-LLDPE)为基础原料, 搭配增强聚乙烯提升刚性; 中层作为力学支撑层, 侧重拉伸强度与韧性, 以M-LLDPE为主, 适当添加低密度聚乙烯(LDPE)改善加工流动性; 内层直接接触物料, 需具备良好的热封性与爽滑性, 在M-LLDPE中加入少量开口剂与加工助剂^[2]。筛选过

程中, 控制各层原料熔体质量流动速率(MFR)匹配, 避免加工过程中出现层间剥离, 最终确定各层配方组分比例, 确保配方整体加工性能与力学性能均衡。

1.2 多层共挤实验参数优化

实验采用三层共挤吹膜机组, 机组螺杆直径 35 mm, 长径比 30:1, 口模直径 80 mm。参数优化围绕挤出温度、螺杆转速、吹胀比、牵引速度四大关键参数展开, 结合配方组分的加工特点, 通过单因素实验确定各参数合理范围。挤出温度采用分段控制, 加料段 60℃~90℃, 塑化段 150℃~180℃, 口模段 170℃~210℃, 适用不同层原料的熔融特点; 螺杆转速控制在 45 r/min~70 r/min, 避免转速过高导致摩擦生热过度, 或转速过低影响塑化效果; 吹胀比调整为 2.0~3.0, 兼顾膜材横向强度与厚度均匀性; 牵引速度与螺杆转速配合匹配, 控制在 4 m/min~8 m/min, 确保泡管稳定, 减少膜材纵向拉伸应力。

2 配方组分与吹膜工艺参数的适用性分析

2.1 配方组分与工艺参数适用性影响机制

配方组分与吹膜工艺参数的适用性直接决定膜材成型质量与力学性能。M-LLDPE 的 MFR 为 1.0 g/10 min, 密度 $0.918 \pm 0.002 \text{ g/cm}^3$, 需对应较高的塑化温度与适中的螺杆转速, 确保充分熔融且不发生热降解; 增强聚

作者简介: 张昭(1996-), 女, 专科, 研究方向: 机械研究。

*通信作者: 边晨曦(1994-), 男, 本科, 研究方向: 机械研究。E-mail: 1033998416@qq.com

乙烯 MFR 为 0.2 g/10 min~0.25 g/10 min,密度 0.930±0.005 g/cm³,加工过程中需适当提高塑化段温度,避免塑化不充分导致膜材出现杂质亮点;LDPE 的 MFR 为 0.3 g/cm³~0.35 g/cm³,密度 0.925±0.005 g/cm³,可改善熔体流动性,需搭配合理的吹胀比与牵引速度,避免膜材出现拉伸不均^[3]。各层配方组分比例不同,对应的工艺参数需同步调整,形成配合适用关系,才能保证膜材层间结合紧密,性能稳定。

2.2 配方与工艺参数适用性实验分析

基于确定的配方体系,设计多组适用性实验,重点分析不同配方组分比例与工艺参数组合对膜材成型效果的影响,通过数据对比明确最优适用组合,如表 1 所示。

表 1 不同配方组分与吹膜工艺参数适用性数据表

配方组分比例 (M-LLDPE: 增强 PE:LDPE)	挤出温度 (口模段) /℃	吹胀比	牵引速度 /m·min ⁻¹
50:30:20	185	2.2	5.5
60:25:15	190	2.5	6.0
70:20:10	195	2.8	6.5
40:35:25	180	2.0	5.0
55:28:17	188	2.4	5.8

提升但韧性不足,适用性较差;比例为 55:28:17 时,工艺参数介于中间水平,适用效果中等,膜材性能波动较小但未达到最优。

3 适用方案的性能测试

3.1 性能测试方案设计

选取表 1 中适用效果最佳的配方与工艺组合(配方比例 60:25:15,口模段温度 190℃,吹胀比 2.5,牵引速度 6.0 m/min)制备重载膜样品,同时选取传统配方与工艺生产的膜材作为对照样品,开展性能测试^[4]。测试参照包装用多层共挤重载膜袋相关标准,选取拉伸强度、断裂标称应变、直角撕裂强度、表面张力、热封强度五项核心指标,每项指标测试 5 个样品,取平均值作为测试结果,确保测试数据的科学性与准确性。测试设备选用电子万能试验机、表面张力仪、热封仪,设备精度符合测试要求,测试环境控制在温度 23±2℃,相对湿度 50±5%。

完成两组重载膜样品的平行测试后,汇总五项核心性能指标的测试均值,以表格形式呈现不同配方工艺体系下膜材的性能差异,如表 2 所示。

由表 2 可知,测试数据覆盖重载膜使用全场景的核

由表 1 可知,配方组分比例为 50:30:20 时,口模段挤出温度 185℃、吹胀比 2.2、牵引速度 5.5 m/min,此时原料熔融充分,熔体流动性适中,膜材厚度均匀性较好,但拉伸强度未能达到最优;比例为 70:20:10 时,M-LLDPE 占比提升,需提高口模段温度至 195℃、吹胀比 2.8、牵引速度 6.5 m/min,才能保证原料充分塑化,膜材横向拉伸强度提升,但熔体流动性下降,易出现泡管波动;比例为 60:25:15 时,口模段温度 190℃、吹胀比 2.5、牵引速度 6.0 m/min,配方组分与工艺参数形成良好适用,M-LLDPE 的韧性与增强 PE 的刚性充分发挥,LDPE 改善熔体流动性,泡管稳定,膜材成型质量最佳;比例为 40:35:25 时,增强 PE 占比过高,需降低挤出温度与吹胀比,牵引速度放缓,膜材刚性

表 2 重载膜样品核心性能测试结果对比表

测试项目	适用方案样品	传统对照样品
纵向拉伸强度 (MPa)	22	18
横向拉伸强度 (MPa)	18	15
纵向断裂标称应变 (%)	700	600
横向断裂标称应变 (%)	650	580
纵向直角撕裂强度 (N/mm)	35	28
横向直角撕裂强度 (N/mm)	30	25
表面张力 (dyn/cm)	38	35
热封强度 (N/15mm)	12	10

心性能指标。适用方案样品的拉伸强度、断裂标称应变、直角撕裂强度均高于传统对照样品,纵向拉伸强度达 22 MPa,横向拉伸强度 18 MPa,断裂标称应变纵向 700%、横向 650%,可满足重载运输场景的抗拉伸抗形变需求。直角撕裂强度纵向 35 N/mm、横向 30 N/mm,适配耐穿刺使用要求。热封强度 12 N/15mm,膜材表面张力 38 dyn/cm,可适配印刷与复合加工需求。

3.2 性能测试结果分析

适用方案制备的膜材,纵向拉伸强度达到 22 MPa,横向拉伸强度 18 MPa,传统样品纵向拉伸强度 18 MPa,横向 15 MPa,适用方案下膜材拉伸强度显著优于传统样品,主要得益于配方组分的合理搭配与工艺参数的精准适用,M-LLDPE 与增强 PE 的配合作用充分发挥,提升了膜材的力学支撑能力^[5]。断裂标称应变纵向为 700%,横向为 650%,传统样品纵向 600%,横向 580%,适用方案有效改善了膜材的韧性,避免重载包装过程中出现断裂破损。

直角撕裂强度纵向 35 N/mm,横向 30 N/mm,满足重载膜耐穿刺、抗撕裂的使用需求,传统样品纵向 28 N/mm,横向 25 N/mm,适用方案通过优化吹胀比与牵引速度,减少膜材内部应力集中,提升撕裂性能。表面张力达到 38 dyn/cm,符合热封与印刷要求,传统样品表面张力 35 dyn/cm,适用方案通过合理控制挤出温度,改善膜材表面活性。热封强度达到 12 N/15 mm,高于重载包装所需的 8 N/15 mm 标准,传统样品热封强度 10 N/15 mm,适用方案优化内层配方与热封相关工艺参数,提升膜材热封可靠性^[6]。各项测试结果表明,适用方案制备的重载膜性能全面优于传统方案,可满足高端重载包装的使用要求。

4 适用方案的实际生产验证

4.1 实际生产验证方案

选取某石化企业的三层共挤吹膜生产线作为验证设备,该生产线与实验所用机组规格一致,螺杆直径 35 mm,长径比 30:1,口模直径 80 mm,具备分段温控、转速调节、张力控制等功能^[7]。生产验证采用适用方案的配方与工艺参数,生产批量为 5 吨,生产周期为 24 小时,生产过程中实时监测挤出温度、螺杆转速、吹胀比、牵引速度等参数,记录生产稳定性、废品率及膜材厚度偏差等指标,同时抽样检测膜材力学性能,与实验测试结果对比,验证适用方案的工业化可行性。

4.2 生产验证结果与分析

生产过程中,各工艺参数运行稳定,挤出温度波动控制在 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,螺杆转速波动 $\pm 1\text{ r/min}$,吹胀比稳定在 2.5 左右,牵引速度保持 6.0 m/min,泡管无波动、无破裂现象,层间结合紧密,未出现层间剥离问题^[8]。生产废品率为 1.2%,传统生产工艺废品率为 3.5%,适用方案有效降低废品率,主要因为配方与工艺参数适用性良好,减少了膜材厚薄不均、破膜、褶皱等缺陷。膜材厚度控制在 160 μm ,厚度偏差 $\pm 3\text{ }\mu\text{m}$,符合重

载膜厚度要求,参考相关企业减薄攻关数据,该厚度在保证性能的同时,可降低原料消耗与生产成本^[9]。抽样检测 50 个膜材样品,纵向拉伸强度平均 21.8 MPa,横向 17.9 MPa,断裂标称应变纵向 695%,横向 645%,直角撕裂强度纵向 34.8 N/mm,横向 29.7 N/mm,表面张力 37.8 dyn/cm,热封强度 11.9 N/15 mm,测试结果与实验数据基本一致,偏差在允许范围内,说明适用方案具备良好的稳定性与重复性^[10]。生产验证过程中,未出现设备故障与工艺调整需求,适用方案可直接应用于规模化生产,有效提升生产效率与产品品质。

5 结束语

本文围绕重载膜多层共挤吹膜机组配方与工艺适用性开展系统研究,解决传统生产中二者适用不足引发的膜材性能波动、废品率高、生产效率受限等问题。完成三层共挤重载膜最优组分比例筛选,优化挤出温度、吹胀比等关键工艺参数,理清配方与工艺的适用机制,经性能测试与生产验证形成适用方案。研究仍存在局限,对不同原料批次的适用性考量不够全面,未开展方案长期稳定性的跟踪验证。未来将逐步优化配方与工艺参数,拓展适用范围,结合环保趋势研发绿色重载膜配方,提升成果的适用性与推广价值。

参考文献:

- [1] 尹保林,贾汝锋,刘少兵,等.尼龙 1012 基微层共挤复合材料的制备及其吸波性能研究[J].兵工学报,2026,47(05):341-351.
- [2] 唐本州.多层共挤吹塑机膜坯内冷装置设计改进[J].金属加工(冷加工),2025(09):81-84.
- [3] 布泽华,李世勇,刘金军,等.塑料吹膜机均流板位置对排气影响的仿真研究[J].中国塑料,2025,39(06):42-47.
- [4] 林德坡,林洁波,陈靖翔.吹膜机组配方功能的多种实现方法介绍[J].橡塑技术与装备,2025,51(06):53-57.
- [5] 孟锦涛,国海,樊晓宇,等.变论域模糊 PID 在吹膜机收卷张力中的应用[J].塑料,2024,53(03):21-27.
- [6] 马佳圳.高性能功能化包装膜共挤吹塑先进装备研发[J].橡塑技术与装备,2024,50(12):19-24.
- [7] 林洁波,孙靖寰,庄志嘉.PLC 与伺服电缸推杆控制在吹膜机上的应用[J].橡塑技术与装备,2024,50(10):65-71.
- [8] 刘才富,苏键.多层共挤复合膜技术研究进展[J].轻工科技,2024,40(02):108-110,113.
- [9] 山西广华源药用包装有限公司.单挤出吹膜机组冷却风环的高效洁净送风装置:CN202320990098.4[P].2023-09-19.
- [10] 蒋兴加,姚彩虹.塑料吹膜机监控系统设计[J].上海塑料,2023,51(02):53-57.