

# PU/CPE 协同改性 PVC 材料的制备工艺研究

喻兴开 林泽群 方敏

浙江三诚塑业有限公司 浙江 台州 318000

**【摘要】**：聚氯乙烯（PVC）作为应用广泛的通用塑料，具有成本低廉、耐腐蚀、加工便捷等优势，在多个领域发挥重要作用，但自身存在硬而脆、热稳定性差、抗冲击性能不足等缺陷，限制了其在高端场景的应用。热塑性聚氨酯（PU）具有优异的弹性和韧性，氯化聚乙烯（CPE）具备良好的耐候性和相容性，二者协同改性可实现优势互补，改善 PVC 材料的综合性能。本文结合现有研究成果，系统探讨 PU/CPE 协同改性 PVC 材料的制备工艺，分析原料选择、制备流程、工艺参数对改性材料性能的影响，优化制备工艺要点，明确协同改性的作用机制，为该类型 PVC 材料的工业化生产和应用提供理论参考与实践指导。

**【关键词】**：PU；CPE；协同改性；PVC 材料；制备工艺

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.117

## 引言

PVC 是产量大、应用广的热塑性聚合物，凭借优异的化学稳定性、绝缘性和经济性，广泛应用于建筑、管材、包装、电子等多个行业。但 PVC 分子结构中含氯原子，热稳定性较差，加工中易降解，且韧性不足、抗冲击性能薄弱，难以满足高端产品需求。单一改性剂对 PVC 改性效果有限，而 PU 与 CPE 具有良好协同作用，可兼顾材料韧性、热稳定性和加工性能。因此，研究二者协同改性 PVC 的制备工艺、优化工艺条件，对拓展 PVC 应用范围、提升产品附加值具有重要意义，本文围绕制备工艺展开系统研究，为实际生产提供支撑。

## 1 相关材料特性及协同改性机理

### 1.1 核心原料特性

PVC 是非结晶、极性高分子聚合物，机械性能和透明性较好，价格低廉、耐腐蚀、耗能低，但软化和熔融温度较高，机械性能硬而脆，高温下易发生脱氯化氢反应导致热降解，需通过改性改善性能短板。

PU 兼具橡胶高弹性与热塑性塑料成型加工性，分子结构含硬段和软段，硬段影响拉伸强度、抗撕裂强度和硬度，软段决定弹性及低温性能。PU 弹性、机械强度优良，耐油耐臭氧、低温性能突出，可有效改善 PVC 韧性和抗冲击性，但自身耐老化、阻燃性差，加工性能不佳且成本较高，单独改性效果有限。

CPE 主链为饱和结构，氯原子无规分布，使聚乙烯从结晶态转变为柔顺无定型结构，兼具塑料与橡胶优点，耐油、耐臭氧、耐热氧老化、耐腐蚀等性能优异。CPE 与 PVC 相容性好，可改善其加工流动性和热稳定性、提升抗冲击性，但单独改性难以显著提升材料弹性和韧性。

### 1.2 协同改性机理

PU/CPE 对 PVC 的协同改性，核心是利用二者结构互补性，通过分子间相互作用实现性能协同提升，而非简单叠加。PU 软段与 PVC 链段具有相容性，PU 中的羰基可与 PVC 中的  $\alpha$ -H

形成新氢键，破坏 PU 原有氢键，使二者分子链相互渗透结合，提升改性材料韧性和抗冲击性。

CPE 与 PVC 分子结构相似，相容性优良，可均匀分散在 PVC 基体中，其饱和主链能抑制 PVC 分子链降解、减少氯化氢释放，提升热稳定性；同时，CPE 柔顺链段可改善 PVC 分子链刚性，进一步提升抗冲击性和加工流动性。

协同作用下，PU 侧重提升材料弹性和韧性，CPE 侧重改善热稳定性和加工性能，二者互补，既弥补 PVC 自身缺陷，又克服单一改性剂不足，使改性 PVC 兼具良好韧性、热稳定性、加工性和经济性。

## 2 PU/CPE 协同改性 PVC 材料的制备工艺

### 2.1 原料预处理

原料预处理是保证改性效果的基础，核心是去除原料杂质、水分，使原料颗粒均匀，便于后续分散混合，预处理对象包括 PVC 树脂、PU、CPE 及各类辅助助剂，操作需温和，避免破坏原料性能。

PVC 树脂储存运输中易吸潮，未除净的水分在熔融共混时会因高温产生气泡，导致材料内部缺陷，影响力学性能和外观，因此需进行干燥处理，干燥环境需清洁无杂质，干燥后冷却至室温再进入后续环节，避免高温吸潮。

PU 易吸潮且高温下易软化，预处理需控制干燥时间和时间，防止提前软化结块影响分散；CPE 多为粉末状，易团聚，可通过轻微粉碎、过筛打破团聚颗粒，确保均匀分散。辅助助剂需提前筛选、干燥，去除杂质水分，避免影响改性效果，预处理后分类存放、做好标识，确保配料准确。

### 2.2 配料与混合

配料与混合是关键环节，配料准确性和混合均匀性直接影响 PU、CPE 与 PVC 基体的相容性，进而影响材料综合性能。配料需根据改性目标，合理确定各原料比例，兼顾韧性、热稳定性和加工性能，避免比例失衡影响协同效果。

配料需严格按预设比例,将预处理后的原料依次加入混合设备,遵循“先主后辅、先粗后细”原则,先加PVC、PU、CPE主原料,再加辅助助剂,避免助剂团聚,同时保持操作环境清洁、做好配料记录,便于工艺优化和质量追溯。

混合分为低速和高速两个阶段,低速混合实现原料初步均匀,避免高速混合时原料飞溅团聚;高速混合利用剪切作用打破团聚,使PU、CPE及助剂均匀分散在PVC基体中,促进分子链初步结合。混合需控制温度和时间,避免温度过高导致原料软化结块、温度过低混合不充分,时间过长增加能耗、可能导致降解,过短则混合不均。混合完成后,物料需呈均匀粉末或颗粒状,无明显团聚、颜色一致。

### 2.3 熔融共混

熔融共混是核心环节,通过高温、高压和剪切作用,使PVC熔融,PU、CPE及助剂均匀分散在PVC熔融基体中,实现分子链充分结合,形成均匀稳定的共混体系,温度、转速、时间是关键控制参数。

熔融温度需结合原料熔融特性,既要保证PVC充分熔融,又要避免原料降解。PVC熔融温度有一定范围,PU熔融温度略低,CPE热稳定性好、熔融范围宽,需控制温度在合理区间,避免温度过高导致降解、过低导致熔融不充分、分散不均。

转速控制影响剪切效果和混合均匀性,转速过低剪切力不足,无法打破团聚、实现分子链充分结合;过高则增加能耗、可能导致物料降解和设备磨损,需根据设备和物料特性控制合理转速。

熔融时间需与温度、转速匹配,确保物料充分熔融分散,时间过短则熔融不充分、分子链结合不紧密,性能不佳;过长则物料易降解,影响力学性能和热稳定性。过程中需实时观察物料状态,及时调整参数,共混完成后物料需呈均匀熔融态,无分层、气泡和明显杂质。

### 2.4 成型与后处理

熔融共混后的物料,通过挤出、注塑、压延等成型方式加工成所需制品,核心是保证制品结构完整、性能稳定、外观和尺寸精度达标,不同成型方式工艺要求有所差异。

挤出成型适用于管材、板材等,需控制挤出温度、速度和口模尺寸,温度与熔融共混温度匹配,速度均匀稳定,口模尺寸符合制品规格,避免出现毛刺、变形等缺陷;注塑成型适用于复杂形状制品,控制注塑温度、压力和保压时间,确保物料充满型腔、制品成型完整,避免飞边、缩孔等问题;压延成型适用于薄膜、片材,控制压延温度、速度和间隙,确保制品厚度均匀、表面光滑。

成型后需进行后处理,消除内部应力、提升性能稳定性和外观质量,主要包括冷却、退火、修边。冷却需控制速度,避

免过快产生裂纹、变形,冷却至室温后可进行退火处理,消除残余应力,提升尺寸稳定性和力学性能;修边去除毛刺飞边,确保外观整洁、尺寸精准。后处理后需进行外观检查和性能检测,剔除不合格产品,合格产品分类包装,在干燥通风环境储存。

## 3 制备工艺影响因素分析

### 3.1 原料特性的影响

原料特性是改性效果的基础,PVC树脂的型号、聚合度影响熔融和力学性能,聚合度过高增加熔融难度、降低加工性,过低则力学性能不足,需根据改性目标选择合适型号。

PU类型对协同效果影响显著,聚酯型PU与PVC相容性优于聚醚型,软段比例越高、硬段/软段比例越低,与PVC相容性越好,改性效果越佳。CPE的氯含量和分子量需适中,氯含量适中则与PVC相容性好,分子量均匀可避免分散困难或力学性能不足。辅助助剂需选择与原料相容性好的类型,确保稳定剂抑制降解、相容剂提升相容性、润滑剂改善加工性。

### 3.2 配料比例的影响

配料比例是影响协同效果的关键,PU与CPE比例、总改性剂与PVC比例,直接影响材料力学性能、热稳定性和加工性。PU比例过高会降低热稳定性、增加加工难度和成本;CPE比例过高则韧性不足,无法改善PVC脆性。总改性剂比例过低则改性效果不明显,过高则增加成本、造成性能冗余。辅助助剂比例需严格控制,避免不足或过量影响材料性能。

### 3.3 混合工艺的影响

混合均匀性直接影响原料相容性,混合温度、时间、转速需相互匹配。温度过高导致原料软化结块,过低则混合不充分、易团聚;时间过短则原料未充分混合,协同作用无法发挥,过长则增加能耗、可能导致降解;转速过低剪切力不足,混合不均,过高则物料降解、设备磨损,需根据原料和设备特性优化参数。

### 3.4 熔融共混工艺的影响

熔融共混参数直接决定共混体系均匀性和分子链结合程度,温度过高导致原料降解、产生有害气体,温度过低则熔融不充分、分散不均;转速过低剪切力不足,分子链结合不紧密,过高则物料降解、能耗增加;时间过短则性能不佳,过长则物料降解,需严格控制参数,实时监测物料状态。

### 3.5 成型与后处理工艺的影响

成型参数控制不当,会导致制品出现裂纹、变形、毛刺等缺陷,影响性能和使用寿命;后处理质量直接影响内部应力和性能稳定性,冷却过快产生残余应力,退火不充分则尺寸稳定性差,修边不彻底影响外观和精度,需优化各环节参数,确保制品质量。

## 4 制备工艺优化要点

### 4.1 优化原料选择

根据改性目标,选择性能适宜的原料,是工艺优化的基础。PVC树脂应选择聚合度适中、纯度较高的型号,确保其具有良好的熔融性能和力学性能,避免杂质影响改性效果。PU优先选择聚酯型,其与PVC的相容性更好,且软段比例适中,能有效提升材料的韧性;同时选择硬段与软段比例适宜的PU,确保其与PVC、CPE的协同作用充分发挥。

CPE选择氯含量适中、分子量均匀的产品,确保其与PVC的相容性良好,能有效改善材料的热稳定性和加工性能。辅助剂选择性能优良、与原料相容性好的产品,稳定剂优先选择高效、环保的类型,相容剂选择能有效提升PU、CPE与PVC相容性的类型,润滑剂选择能改善加工流动性且不影响材料性能的类型,确保各类助剂充分发挥作用。

### 4.2 优化配料比例

结合改性目标,优化各原料的配料比例,实现PU与CPE的协同作用最大化。合理控制PU与CPE的比例,兼顾材料的韧性、热稳定性和加工性能,避免单一改性剂比例过高或过低。优化总改性剂与PVC的比例,在保证改性效果的前提下,降低成本,避免性能冗余。

### 4.3 优化混合工艺

优化混合工艺参数,提升混合均匀性。根据原料特性,控制合理的混合温度,避免原料提前软化或混合不充分;优化混合时间和混合转速,确保原料充分混合,打破团聚颗粒,使PU、CPE以及辅助剂均匀分散在PVC基体中。混合过程中,实时观察物料状态,及时调整工艺参数,确保混合效果。

### 4.4 优化熔融共混工艺

熔融共混工艺的优化是核心,需结合原料特性,优化熔融温度、熔融转速和熔融时间三个核心参数。确定合理的熔融温度区间,确保PVC充分熔融,同时避免原料降解;优化熔融转速,确保剪切力适中,实现分子链之间的充分结合,提升共

混体系的均匀性;控制合理的熔融时间,确保物料充分熔融、均匀分散,同时避免物料降解。

熔融共混过程中,加强对物料状态的监测,建立工艺参数的反馈机制,若出现物料降解、分层、气泡等问题,及时调整工艺参数,确保共混体系稳定。

### 4.5 优化成型与后处理工艺

根据制品类型,选择合适的成型方式,优化成型工艺参数。对于挤出成型,优化挤出温度、挤出速度和口模尺寸,确保制品尺寸精度和外观质量;对于注塑成型,优化注塑温度、注塑压力和保压时间,避免制品出现缺陷;对于压延成型,优化压延温度、压延速度和压延间隙,确保制品厚度均匀、表面光滑。

优化后处理工艺,控制合理的冷却速度,避免制品出现裂纹、变形等问题;加强退火处理,确保充分消除内部应力,提升制品的尺寸稳定性和力学性能;规范修边操作,确保制品外观整洁、尺寸精度符合要求。后处理完成后,加强制品的质量检测,建立不合格产品的追溯机制,及时优化工艺参数。

## 5 结论

本文围绕PU/CPE协同改性PVC材料的制备工艺展开系统研究,结合材料特性和协同改性机理,阐述制备核心环节,分析影响因素,提出工艺优化要点,得出以下结论:

(1) PU与CPE对PVC具有良好协同改性作用,PU提升材料韧性和弹性,CPE改善热稳定性和加工性能,二者通过分子间氢键作用和结构互补,克服单一改性剂不足,使改性PVC兼具优良综合性能。

(2) 制备工艺以熔融共混法为主,核心环节包括原料预处理、配料与混合、熔融共混、成型与后处理,熔融共混参数和配料比例是影响协同改性效果的关键。

(3) 优化原料选择、配料比例、混合、熔融共混及成型后处理工艺,可提升改性材料综合性能,确保工艺稳定高效,满足工业化大规模生产需求,拓展PVC应用范围。

## 参考文献:

- [1] 李亚茹,张振秀.炭黑或白炭黑增强辐照交联氯化聚乙烯复合材料的制备与性能[J].合成橡胶工业,2025,48(1):51-55.
- [2] 黄轲,张荣,刘颖,等.热塑性聚氨酯/氯化聚乙烯发泡珠粒的制备及性能[J].高分子材料科学与工程,2018,34(9):126-131.
- [3] 刘晓辉,李迪,张秋艳.基于白石墨基阻燃剂的PVC复合材料阻燃抑烟改性[J].天津工业大学学报,2025,44(2):23-28,36.
- [4] 吕瑞雪,张佳琳,张慧琳,等.生物相容性聚乳酸基热塑性聚氨酯的合成及性能[J].工程塑料应用,2025,53(12):79-88.