

# 聚氯乙烯的制备及其应用研究进展

王博焱, 张家宁, 何航川\*, 王光硕

河北工程大学材料科学与工程学院, 河北 邯郸

收稿日期: 2025年6月7日; 录用日期: 2025年6月30日; 发布日期: 2025年7月7日

## 摘要

聚氯乙烯作为一种重要的通用型热塑性塑料, 由于其优异的阻燃性能、耐化学腐蚀、耐低温、易于加工且加工过程无污染的特点, 广泛应用于建筑、医疗、电子、食品包装等诸多领域。本文详细阐述了聚氯乙烯的主要制备方法, 包括悬浮聚合法、乳液聚合法、本体聚合法等, 然后相继提出了聚氯乙烯的改性技术, 包括物理改性和化学改性, 最后分析了聚氯乙烯未来在建筑材料、电线电缆、医疗器械等领域的发展趋势, 为高性能聚氯乙烯的研发提供了新的研究思路。

## 关键词

聚氯乙烯, 制备过程, 改性技术

# Research Progress on Preparation and Application of Polyvinyl Chloride

Boyao Wang, Jianing Zhang, Hangchuan He\*, Guangshuo Wang

School of Materials Science and Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

Received: Jun. 7<sup>th</sup>, 2025; accepted: Jun. 30<sup>th</sup>, 2025; published: Jul. 7<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

As an important general-purpose thermoplastic, polyvinyl chloride (PVC) is widely used in construction, healthcare, electronics, food packaging, and many other fields due to its excellent flame retardant properties, chemical corrosion resistance, low-temperature resistance, ease of processing, and pollution-free processing characteristics. This paper elaborates on the main preparation methods of PVC, including suspension polymerization, emulsion polymerization, and bulk polymerization. Subsequently, modification techniques for PVC are presented, encompassing both physical modification and chemical modification. Finally, the future development trends of PVC in

\*通讯作者。

文章引用: 王博焱, 张家宁, 何航川, 王光硕. 聚氯乙烯的制备及其应用研究进展[J]. 材料化学前沿, 2025, 13(3): 281-286. DOI: 10.12677/amc.2025.133031

building materials, wire and cable, medical devices, and other fields are analyzed, providing new research perspectives for the development of high-performance PVC materials.

## Keywords

Polyvinyl Chloride, Preparation Process, Modification Technology

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

聚氯乙烯(PVC)是由氯乙烯单体(VCM)聚合而成的热塑性树脂,具有成本低、机械性能良好、耐化学腐蚀、电绝缘性优异等特点,广泛应用于建筑、包装、电子、医疗等领域。随着社会经济的发展和人们生活水平的提高,对聚氯乙烯的需求不断增加,同时对其质量和性能也提出了更高的要求。因此,深入研究聚氯乙烯的制备方法和工艺优化对于推动塑料行业的发展具有重要意义。

## 2. 聚氯乙烯的制备

现阶段制备聚氯乙烯最常用的方法为悬浮聚合法,其产量约占聚氯乙烯总产量的80%以上。其原理为:在悬浮聚合体系中,氯乙烯单体以液滴的形式分散在水中,引发剂则溶解在单体液滴内,并于一定温度下分解产生自由基,引发氯乙烯单体聚合。分散剂的存在可以使单体液滴稳定地分散在水中,防止液滴之间相互凝聚。该方法的优点是生产的聚氯乙烯颗粒形貌良好,尺寸分布均匀,产品纯度较高,且生产成本相对较低。此外,采用该方法制备聚氯乙烯,可在生产过程中控制反应温度、压力等条件,从而有效提高生产效率。然而,聚合过程中使用的分散剂等助剂可能会残留在产品中,对产品的电性能等产生不利影响。采用悬浮聚合法制备的聚氯乙烯被广泛应用于管材、型材、板材、薄膜等塑料制品领域。

乳液聚合法也是制备聚氯乙烯的重要方法之一。在乳液聚合体系中,氯乙烯单体分散在含有乳化剂的水相中,形成稳定的乳液。引发剂的作用是在水相中分解产生自由基,进入单体溶胀胶束中引发聚合反应。此制备方法反应速率快,可在较低温度下进行,从而生产出具有特殊性能的聚氯乙烯树脂,如糊用聚氯乙烯树脂。并且,聚合过程中体系的粘度较低,易于散热和控制反应温度,最终使产品表现出良好的加工性能和流动性。此外,反应过程中所使用助剂的残留一定程度上会影响产品的电性能和耐水性,且该制备方法的成本较高。

为了降低生产过程中助剂残留对产品性能的影响,可采用本体聚合法制备聚氯乙烯。本体聚合法是一种不使用溶剂或分散介质的聚合方法,即将氯乙烯单体和引发剂直接加入聚合釜中,在一定温度和压力下进行聚合反应。反应初期,单体处于液态,随着聚合反应的进行,聚合物逐渐形成并溶解在单体中,此时体系的粘度也相应增大。采用本体聚合法制备的聚氯乙烯由于无助剂残留,从而表现出更加优异的电性能和光学性能,且产品纯度高,生产成本较低。但是,随之而来则是散热困难、局部过热等问题,极大地影响了产品的稳定性。

微悬浮聚合法介于悬浮聚合法和乳液聚合法之间,即先将氯乙烯单体、引发剂、乳化剂等混合制成均匀的微悬浮液,然后置于聚合釜中进行聚合反应。微悬浮聚合法生产的聚氯乙烯树脂具有粒径小、粒度分布窄、颗粒形态规整、物理性能良好、易于加工等优点,缺点则是生产过程中需要制备稳定的微悬浮液,对乳化剂的选择和使用要求较高,生产工艺相对复杂,且成本较高。该方法常用于生产高性能的

聚氯乙烯树脂，如汽车内饰件用聚氯乙烯树脂、高档塑料制品用聚氯乙烯树脂等。

### 3. 聚氯乙烯制备工艺的优化

#### 1) 改善反应条件

通过精确控制聚合反应的温度、压力、引发剂用量等条件，可以提高聚氯乙烯的聚合速率和产品质量。例如，在悬浮聚合中，适当提高反应温度可以加快聚合反应速率，但温度过高会导致聚合物的分子量分布变宽，影响产品质量[1]。因此，合理控制反应温度才可达到预期产品要求。与此同时，还需要尽可能地选用纯度较高的氯乙烯单体，因为反应中的杂质会影响聚合反应的进行，从而导致产物性能下降。

#### 2) 助剂的选择和使用

选择合适的分散剂、乳化剂等助剂对于聚氯乙烯的制备至关重要。当采用悬浮聚合法制备聚氯乙烯时，分散剂的种类和用量会影响聚氯乙烯颗粒的形态和尺寸分布。因此，应选择合适的分散剂，并使用有机钴等适宜的引发剂，优化其用量，以获得理想形态的聚氯乙烯颗粒[2]。当选用乳液聚合方法时，乳化剂的选择不仅要考虑其乳化性能，还要考虑其对产品性能的影响，尽量选择低残留、对产品性能影响小的乳化剂。

#### 3) 聚合设备的改进

改进聚合设备的结构和性能可以提高聚氯乙烯的生产效率和产品质量。例如，采用新型的搅拌器可以使得聚合体系混合更加均匀，并减少局部过热现象的发生。另外，采用大型聚合釜的传热结构，并配合使用高效的引发剂(如过氧化二碳酸脂二辛脂)，可提高传热效率[3]。

#### 4) 质量控制与监测

建立完善的质量控制体系，加强对聚合过程中各项参数的监测和分析，以便及时发现和解决问题。通过在线监测聚合体系的粘度、温度、压力等参数，实时调整反应条件，以确保产品质量的稳定性。同时，聚氯乙烯对温度、湿度变化较为敏感，即：在高温环境下，聚氯乙烯容易发生热分解，释放出氯化氢气体，从而导致产品颜色变黄、机械性能下降；在低温环境下，软质聚氯乙烯会变硬，柔韧性和耐寒性降低，所以应当采用完善的储存方法以保证产品质量。

### 4. 聚氯乙烯改性技术

尽管聚氯乙烯在生活中的使用已经非常广泛，但不同的塑料制品对聚氯乙烯材料的性能要求也各不相同，而改性技术可以使得最终产物具有更加优异的物化性能，在一定程度上扩展了聚氯乙烯的应用领域。PVC 改性方法可大致分为两类，即：物理改性、化学改性，其中物理改性是指通过物理手段(如添加填料、增塑剂或共混改性等)改变 PVC 的性质，不涉及分子结构的化学变化。化学改性则是通过共聚、接枝、交联等方式，来改善 PVC 的热稳定性、耐腐蚀性、力学性能等。

PVC 物理改性所用改性剂可细分为弹性体改性剂、非弹性体改性剂两种，具体改性剂类型如下图 1 所示[4]。物理改性因其简单快捷、成本低、不产生有害副产物等优点，而受到了广泛的应用。王文玲系统研究了玻璃纤维以及不同种类改性剂对 PVC 性能的影响，结果表明，当玻璃纤维的添加份量为 15 时，所制备的 PVC 复合材料具有优异的力学性能[5]。张雨绮分析了氯化亚铁对聚氯乙烯热特性的影响作用，实验显示， $\text{FeCl}_2$  的引入，使得制备的 PVC/ $\text{FeCl}_2$  复合物的结晶度显著增加，提高了复合材料的玻璃化转变温度[6]。张国平等通过氨基硅烷偶联剂(GAS)对二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )纳米颗粒进行改性，然后研究了改性  $\text{SiO}_2$  纳米颗粒掺量对 PVC 材料力学性能、介电性能的影响，结果表明：当改性  $\text{SiO}_2$  添加量为 1.0%时，PVC 复合材料的拉伸强度、弯曲强度及断裂伸长率分别为 49.33 MPa、92.67 MPa 和 187.34% [7]。潘宣成等通过液相超声剥离的方法，使用具有优异化学稳定性和力学性能的二维无机材料氮化硼(BN)式对石墨

烯进行改性,制备了氮化硼/石墨烯(GBN)复合填料,进一步研究了 GBN 掺量对 PVC 复合材料力学性能的影响。结果表明:当 GBN 掺量为 1.0%时,PVC 复合材料的拉伸应力保持率和拉伸应变保持率分别为 156%和 82% [8]。Masiuk 等系统研究了增塑剂(邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯)、改性剂(聚苯乙烯、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物)对 PVC 材料表面硬度、维卡软化点等的影响,测试数据显示,随着改性剂含量的增加,PVC 的表面硬度提高了 40%至 60%,维卡软化温度提升了 15℃至 20℃ [9]。

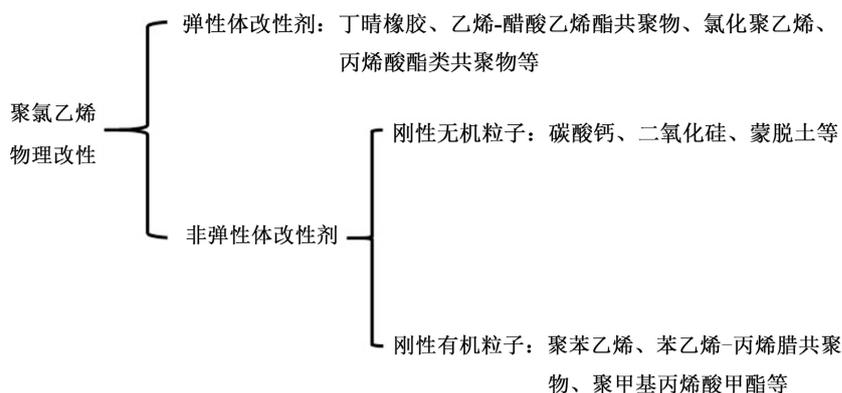


Figure 1. Types of common modifiers for PVC

图 1. PVC 常用改性剂种类

相较于物理改性只能改善 PVC 的韧性、强度等力学性能,化学改性能对 PVC 进行更深层次的性能优化,显著提高其热稳定性、耐化学性、耐紫外线性能等,以满足高性能 PVC 的应用需求。Ahmad 等采用 4-氨基苯甲酸(4ABA)对 PVC 进行改性,得到了 PVC-4ABA,然后以二氧化钛(TiO<sub>2</sub>)为填料,进一步制备了 PVC-4ABA/TiO<sub>2</sub> 纳米复合材料,结果表明,PVC-4ABA/TiO<sub>2</sub> 复合材料的热稳定性优于未改性 PVC/TiO<sub>2</sub> 材料[10]。当 PVC 作为建筑材料使用时,因其阻燃性能不佳、易于燃烧等缺点限制了其广泛应用。王文娟等在 PVC 中掺杂氢氧化镁(MH)阻燃剂,详细对比了颗粒状(MHP)和片状(MHW)对 PVC 力学性能、热稳定性和阻燃性能的影响。结果表明:在相同掺杂用量下,PVC/MHP 的综合性能要优于 PVC/MHW 复合材料,且掺杂 MHP 可以使 PVC 分子链上的氯化氢提前移除,形成共轭双键,从而显著提升 PVC 复合材料的热稳定性[11]。王思尧等采用种子乳液聚合结合半连续加料的方法设计合成了聚(N-苯基马来酰亚胺-苯乙烯-丙烯腈- $\alpha$ -甲基苯乙烯)(NSAA)四元共聚物,并探究了其对 PVC 树脂的耐热改性效果。结果表明,相较于 PVC 材料,NSAA/PVC 复合材料的拉伸强度升高,冲击强度则略有下降,但整体下降不大,且 NSAA 共聚物对 PVC 树脂具有优异的耐热改性效果[12]。

采用化学改性除了可改善 PVC 的力学性能、热稳定性外,还可进一步制备具有优异抗菌性能、耐腐蚀性能的树脂材料。简细燕通过结构设计,合成了基于氯乙烯的二元和三元共聚物,并进一步反应合成季铵盐阳离子抗菌聚合物,最终制备了耐迁移抗菌 PVC 材料以及具有增塑性和抗菌性双重功能的 PVC 基体树脂材料[13]。齐新慧通过预乳化半连续种子乳液聚合法制备了以 PVC 为“核”,丙烯酸酯类(ACM)聚合物为“壳”的核壳结构水性氯丙乳胶(PVC/ACM 乳胶),进一步地,以合成的 PVC/ACM 乳胶为基体制备了水性氯丙涂料,研究了其涂层硬度、附着力、耐水性及抗腐蚀能力,结果表明,氯丙涂层具有附着力强和表面硬度高等优点,抗腐蚀能力优越,但涂层的耐水性需进一步提高[14]。

## 5. 未来发展趋势

### 1) 生产工艺改进

随着科技的不断进步,聚氯乙烯生产技术将不断创新。例如,在PVC热稳定剂行业,铅盐类、金属皂类、有机锡类、有机复合类热稳定剂是PVC生产重要的加工助剂,对PVC新产品开发及其工业发展至关重要[13]。随着自动化的发展,可通过采用先进的自动化控制系统和智能设备,实现生产过程的精准控制和优化管理,提高生产效率和产品稳定性,同时减少人工操作所带来的误差和安全风险问题。

#### 2) 产品性能优化

为了满足不同应用领域对聚氯乙烯性能的更高要求,未来将开发出力学性能、耐热性、耐寒性、耐腐蚀性能更加优异的高性能化聚氯乙烯产品。例如,通过改进聚合工艺、添加新型助剂等方法,提高聚氯乙烯在极端环境下的应用性能。此外,开发出具有出色阻燃、导电、抗菌抗静电性能的聚氯乙烯材料,在电子、电器、医疗、包装等领域具有广阔的应用前景。企业应当加强功能性聚氯乙烯的研发和生产,以满足市场对多样化功能树脂材料的需求。

#### 3) 绿色环保发展

在环保政策日益严格的社会背景下,聚氯乙烯行业应当更加注重清洁生产。企业应尽可能地采用先进的环保技术和生产设备,减少生产过程中的废水、废气、废渣的排放,以降低对环境的污染。与此同时,还需要加强对能源的管理和利用,最大程度地提高能源利用效率,降低能源损耗。此外,可生物降解的聚氯乙烯材料将成为未来的研究热点。目前关于可降解聚氯乙烯的研究已经取得了一定进展,未来随着技术的不断成熟,可降解聚氯乙烯在一定程度上有望替代传统聚氯乙烯,从而减少塑料废弃物对环境的不利影响。

#### 4) 应用领域拓展

未来应当不断拓展聚氯乙烯的应用领域,例如,在新能源领域,聚氯乙烯可用于太阳能电池板的封装材料、电动汽车的电池外壳等;在3D打印领域,聚氯乙烯材料可用于制造各种复杂形状的零部件;在传统建筑领域,可逐步开发出具有优异保温、隔热、隔音性能的聚氯乙烯建筑材料,以满足市场对高性能、高品质材料的需求。

#### 5) 产业结构调整

为了提高产业集中度和市场竞争力,聚氯乙烯行业内的企业兼并重组将不断加剧。大型企业将通过收购、合并等方式扩大生产规模,优化资源配置,提高企业的综合实力。同时,小型企业将面临更大的市场压力,需要加强技术创新,提升管理水平,以便在市场竞争中寻求生存和发展。产业链的延伸和整合也会得到增强,不断向上游原材料供应和下游制品加工领域拓展。通过一体化发展,可以降低生产成本,提高产品附加值,增强企业的抗风险能力。

## 6. 结论

聚氯乙烯作为一种重要的塑料材料,其制备技术和应用领域不断发展。在制备方面,新型的催化剂和聚合方法不断涌现,提高了聚氯乙烯的生产效率和产品质量。在应用方面,聚氯乙烯在建筑材料、电线电缆、医疗器械等领域的应用不断拓展,同时也面临着环保、高性能等方面的挑战。未来,随着科技的不断进步,聚氯乙烯的制备技术将更加绿色、高效,应用领域将更加广泛,为塑料行业的发展做出更大的贡献。

## 参考文献

- [1] 郭珺,王在花,杨英. 聚氯乙烯在化学建材领域的发展现状及前景分析[J]. 石油化工技术与经济, 2024, 40(6): 14-17.
- [2] 王秀丽,张爱华. 悬浮法PVC的颗粒形态及改进方法[J]. 聚氯乙烯, 2003, 31(6): 1-3.
- [3] 孙立科,林洋,关彦军,等. PVC合成树脂技术及性能改进研究进展[J]. 化工新型材料, 2024, 52(12): 74-80.

- [4] 汤千熠. 聚丙烯酸酯核壳弹性粒子的构筑及对聚氯乙烯的增韧研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 长春工业大学, 2024.
- [5] 王文玲. 聚氯乙烯复合材料共混改性的研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛科技大学, 2018.
- [6] 张雨琦. 氯化亚铁诱导聚氯乙烯热特性改性研究[J]. 辽宁化工, 2025, 54(1): 115-117.
- [7] 张国平, 祝文军. SiO<sub>2</sub> 纳米粒子增强 PVC 电缆材料性能研究[J]. 塑料科技, 2024, 52(8): 102-104.
- [8] 潘宣成, 唐泽君. 氮化硼改性石墨烯制备 PVC 复合材料及其抗腐蚀性能的研究[J]. 塑料科技, 2024, 52(7): 43-46.
- [9] Masiuk, A.S., Levytskyi, V.E., Katruk, D.S., Humenetskyi, T.V. and Bilyi, L.M. (2022) Physicomechanical Properties of Polyvinyl-Chloride-Polystyrene Plastics. *Materials Science*, **57**, 595-601.  
<https://doi.org/10.1007/s11003-022-00583-0>
- [10] Ahmad, N. and Mahmood, T. (2022) Preparation and Properties of 4-Aminobenzoic Acid-Modified Polyvinyl Chloride/Titanium Dioxide and PVC/TiO<sub>2</sub> Based Nanocomposites Membranes. *Polymers and Polymer Composites*, **30**, 1-12.  
<https://doi.org/10.1177/09673911221099301>
- [11] 王文娟, 陈静静, 陈峙. 片状和颗粒状氢氧化镁对聚氯乙烯力学性能和阻燃性能的影响[J]. 塑料科技, 2024, 52(9): 111-115.
- [12] 王思尧, 邢思波, 程博, 等. N-苯基马来酰亚胺四元共聚物的合成及对 PVC 树脂的耐热改性[J]. 复合材料学报, 2024(43): 1-10.
- [13] 简细燕. 抗菌聚氯乙烯共聚物的结构设计及合成研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京化工大学, 2023.
- [14] 齐新慧. 核壳结构聚氯乙烯-聚丙烯酸酯水乳胶的制备与性能研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2023.