

# 改性聚酰胺热熔胶粉的制备工艺优化及其在汽车内饰中的应用研究

董邦华 温 蕾

浙江澳宇新材料科技有限公司 浙江 衢州 324000

**【摘要】**：聚酰胺热熔胶因具备优异的粘接性能、耐高温性及环保特性，在汽车内饰制造领域占据重要地位。然而，普通聚酰胺热熔胶粉存在低温脆性大、耐湿热老化性能不足等缺陷，难以满足现代汽车内饰对粘接材料的高标准要求。本文以改善聚酰胺热熔胶粉综合性能为目标，系统研究了其改性制备工艺的优化方向，深入分析了不同改性剂、制备参数对胶粉性能的影响机制，并探讨了优化后改性聚酰胺热熔胶粉在汽车内饰中的应用特性。研究结果表明，通过合理选择改性剂种类与用量、优化聚合及粉碎工艺参数，可显著提升聚酰胺热熔胶粉的柔韧性、耐老化性及粘接强度，使其能更好地适配汽车内饰中不同材质的粘接需求，为汽车内饰粘接技术的升级提供理论支撑。

**【关键词】**：改性聚酰胺；热熔胶粉；制备工艺优化；汽车内饰；粘接性能

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.029

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

随着汽车工业发展，消费者对内饰的舒适性、安全性及环保性要求不断提升。粘接技术作为关键工艺，直接影响装配质量与使用寿命。热熔胶因固化快、无溶剂、适用广，已成汽车内饰主流胶种。其中，聚酰胺（PA）热熔胶凭借分子中大量酰胺基可与极性材料形成氢键，具备优异粘接强度及耐油、耐化性能，广泛用于顶棚、门板、座椅等部件粘接。

然而，普通 PA 热熔胶粉存在明显缺陷：分子链刚性较强，低温易脆裂；酰胺基亲水，湿热环境下易吸水导致界面失效；且与聚丙烯、聚乙烯等非极性内饰材料相容性差，粘接效果不佳。因此，通过改性调控其分子与聚集态结构，并优化制备工艺以获得粒径均匀、性能稳定的胶粉，成为提升应用性能的关键。开展改性 PA 热熔胶粉的制备工艺优化及汽车内饰应用研究，对推动粘接材料升级和提升制造质量具有重要价值。

### 1.2 研究现状综述

当前研究主要通过化学改性或物理共混改善柔韧性、耐老化性及相容性。制备工艺方面，熔融挤出法效率高但粒径分布宽，喷雾干燥法粒径均匀但成本高，粉碎法易团聚。近年虽在挤出温度、雾化压力等参数优化上取得进展，但改性胶粉制备工艺与性能间的构效关系仍缺乏系统研究。同时，不同内饰部件对胶性能需求各异，需针对性优化配方与工艺。本文聚焦改性 PA 热熔胶粉的制备工艺优化，探究改性剂种类与工艺参数对性能的影响，并评估其在汽车内饰中的应用特性。

## 2 改性聚酰胺热熔胶粉的理论基础

### 2.1 聚酰胺热熔胶的粘接机理

聚酰胺热熔胶的粘接过程主要包括湿润、扩散与固化三个阶段，其粘接机理可从物理吸附、化学结合及机械结合三个方

面进行解释。在湿润阶段，聚酰胺热熔胶在加热熔融后呈现低黏度流体状态，能够快速湿润被粘材料表面，填补材料表面的微小凹陷与孔隙，为后续的扩散与结合奠定基础。湿润效果主要取决于胶液的表面张力与被粘材料的表面能，当胶液的表面张力低于被粘材料的表面能时，才能实现良好的湿润。

在扩散阶段，熔融的聚酰胺分子链具有较高的活动能力，会逐渐向被粘材料表面的分子间隙中扩散，形成分子间的相互渗透层。聚酰胺分子链中的酰胺基（-CONH-）是一种强极性基团，能够与被粘材料表面的羟基（-OH）、羧基（-COOH）、氨基（-NH<sub>2</sub>）等极性基团形成氢键，这种氢键结合力较强，是实现良好粘接强度的主要原因之一。同时，若被粘材料表面存在活性基团，聚酰胺分子链还可能与这些活性基团发生化学交联反应，进一步提升粘接强度与耐老化性能。

在固化阶段，随着温度的降低，熔融的聚酰胺胶液逐渐冷却凝固，分子链的活动能力减弱，最终形成固态的粘接层。在固化过程中，聚酰胺分子链会发生结晶，形成结晶区与无定形区共存的聚集态结构。结晶区能够提升粘接层的强度与耐高温性，而无定形区则赋予粘接层一定的柔韧性。因此，聚酰胺的结晶度与结晶速率会直接影响热熔胶的固化速度与最终的粘接性能。

### 2.2 聚酰胺热熔胶的性能缺陷及改性机理

普通聚酰胺热熔胶粉的性能缺陷主要源于其分子结构与聚集态结构的固有特性。从分子结构来看，聚酰胺分子链由刚性的酰胺键与柔性的亚甲基链段组成，当亚甲基链段较短时，分子链的刚性较强，导致胶粉的柔韧性较差，低温环境下易发生脆裂；同时，酰胺基的强极性使得聚酰胺具有较强的吸湿性，吸湿后分子链间的作用力减弱，粘接强度与耐高温性会显著下降。从聚集态结构来看，普通聚酰胺的结晶度较高，结晶速率

较快,导致粘接层的内应力较大,易产生裂纹,影响粘接的耐久性。

针对上述性能缺陷,改性的核心思路是通过调整聚酰胺的分子结构或聚集态结构,实现性能的平衡与提升。其改性机理主要包括以下几个方面:一是引入柔性链段,通过共聚或共混的方式在聚酰胺分子链中引入醚键、酯键等柔性基团,或与弹性体共混,降低分子链的刚性,提升胶粉的柔韧性与低温性能;二是降低结晶度,通过引入不规则结构的单体或共混非晶态聚合物,破坏聚酰胺分子链的规整性,降低其结晶度与结晶速率,减少粘接层的内应力,提升耐老化性能;三是改善相容性,通过接枝改性在聚酰胺分子链中引入与非极性材料相容性较好的基团(如烯烷基),或添加相容剂,提升胶粉与非极性汽车内饰材料的粘接效果;四是增强抗老化性能,通过添加抗氧化剂、紫外线吸收剂等助剂,抑制聚酰胺分子链在外界环境因素(如热、氧、紫外线)作用下的降解,延长粘接层的使用寿命。

### 3 改性聚酰胺热熔胶粉的制备工艺优化

#### 3.1 原材料的选择与配比优化

##### 3.1.1 基体树脂的选择

基体树脂选择:聚酰胺热熔胶性能主要由基体树脂决定。脂肪族PA(如PA6、PA12)强度高但柔韧性差;共聚聚酰胺结晶度低、柔韧性和低温性能更优。为兼顾强度与柔韧性,采用PA6与PA6/PA12共聚体复合基体,质量比控制在7:3~6:4,可实现良好平衡。

##### 3.1.2 改性剂的选择与用量优化

改性剂选择与用量:

柔性改性剂:选用聚乙二醇(PEG),其醚键结构降低结晶度,提升低温韧性。最佳用量为基体树脂的5%~8%,此时-20℃粘接强度保持率>85%,断裂伸长率提升30%以上。

相容改性剂:采用马来酸酐接枝聚烯烃(如MAH-g-PP),通过化学键桥接聚酰胺与PP/PE等非极性材料,用量3%~5%为宜。

抗老化改性剂:添加0.5%~1%受阻酚类抗氧化剂(如1010)和苯并三唑类紫外线吸收剂(如UV-P),有效抑制热氧与光老化。

##### 3.1.3 其他助剂的选择

除上述改性剂外,为进一步提升胶粉的性能,还需添加增粘剂、蜡类等助剂。增粘剂主要用于提升胶粉的初粘力,缩短定位时间,常用的增粘剂为松香树脂、萜烯树脂等,其与聚酰胺的相容性较好,可有效降低胶液的表面张力,改善湿润效果。增粘剂的用量一般为基体树脂质量的8%~12%,用量过多会导致胶粉的耐温性下降。蜡类助剂主要用于降低胶粉的熔融黏度,改善流动性,常用的为聚乙烯蜡,其用量为基体树脂质量

的2%~4%,可有效提升胶粉的涂布性能。

#### 3.2 制备工艺参数的优化

改性聚酰胺热熔胶粉的制备工艺主要包括熔融共混、挤出造粒、粉碎筛分三个关键环节,每个环节的工艺参数都会对胶粉的性能产生重要影响,因此需对其进行系统优化。

熔融共混:温度控制在230~250℃,确保各组分充分熔融且避免降解;搅拌转速300~400 r/min,共混时间15~20 min,实现均匀分散。

挤出造粒:采用分段温控——料筒一区210~220℃、二区230~240℃、三区240~250℃、机头250~260℃;螺杆转速80~120 r/min,兼顾效率与分子链完整性;切粒速度150~200 r/min,获得2~3 mm均匀颗粒。

粉碎筛分:采用液氮低温冷冻粉碎,温度控制在-40~-30℃,使颗粒脆化;粉碎转速800~1000 r/min,保证粒径分布均匀;根据应用场景选择筛网孔径:内饰面料粘接用80~120目细粉,顶棚粘接用60~80目粗粉。不合格颗粒返工,提高原料利用率。

综上,通过合理选材与精准调控工艺参数,可制得粒径均匀、柔韧耐寒、粘接可靠且适配多类汽车内饰材料的改性聚酰胺热熔胶粉,为其在高端汽车制造中的推广应用奠定基础。

### 4 改性聚酰胺热熔胶粉的性能表征

#### 4.1 基本性能表征

熔融指数(MI):反映熔融流动性,直接影响涂布均匀性与润湿效果。改性胶粉MI宜控制在15~30 g/10min(230℃,2.16 kg)。通过调节PEG和聚乙烯蜡用量可精准调控MI——添加量增加,MI升高。

软化点:决定高温稳定性,汽车内饰要求软化点≥80℃。PA6比例越高,结晶度越大,软化点越高。当PA6与共聚聚酰胺配比为7:3~6:4时,软化点达85~95℃,满足使用需求。

#### 4.2 力学性能表征

拉伸强度与断裂伸长率:需兼顾强度与柔韧,目标范围分别为15~25 MPa和100%~150%。PEG用量5%~8%时,断裂伸长率显著提升,强度适度下降,实现最佳平衡。

低温冲击强度:-20℃下应≥5 kJ/m<sup>2</sup>。经PEG改性后,冲击强度达6~8 kJ/m<sup>2</sup>,较未改性胶提升40%以上,有效避免寒冷环境下脆裂。

#### 4.3 粘接性能表征

剪切粘接强度:对钢板≥8 MPa、PP≥4 MPa、织物≥3 MPa。优化后实测值分别达10~12 MPa、5~6 MPa,归因于良好润湿性与分子间作用力。

剥离粘接强度:用于面料与发泡层粘接,要求≥1.5 kN/m。

添加相容改性剂后,剥离强度达 2.0 - 2.5 kN/m,确保长期不脱层。

#### 4.4 耐老化性能表征

耐湿热老化: 60℃/90%RH 老化 1000 h 后,剪切强度保持率应 $\geq$ 75%。改性胶可达 80% - 85%,因 PEG 降低结晶度减少吸水通道,抗氧化抑制氧化降解。

耐热老化: 120℃老化 500 h 后,强度保持率应 $\geq$ 80%。改性后达 85% - 90%,表明分子结构优化与抗氧化体系有效提升了高温稳定性。

### 5 改性聚酰胺热熔胶粉在汽车内饰中的应用研究

#### 5.1 汽车内饰对热熔胶粉的性能要求

汽车内饰由金属、塑料、织物、发泡材料等多材质构成,对热熔胶粉提出综合要求:一是通用粘接性,适配多种基材;二是宽温域稳定性(-20℃~80℃以上);三是柔韧抗振性,耐受行驶振动;四是长效耐老化性(湿热、热氧、紫外),确保 10 年以上寿命;五是环保无挥发,符合车内空气质量标准。不同部件需求各有侧重:顶棚强调高强度与耐高温性;门板注重柔韧抗冲击;座椅则需高剥离强度、透气性与环保性。

#### 5.2 在不同汽车内饰部件中的应用

顶棚粘接:采用热熔喷涂工艺(250 - 270℃,胶层 0.1 - 0.2mm),30 - 60 秒快速固化。改性胶粉对金属骨架剪切强度 $>$ 10 MPa,对 PU 发泡层 $>$ 8 MPa,经 1000h 湿热及 500h 热老化后强度保持率 $>$ 80%,有效防止脱落、起皱。

门板内饰粘接:采用热熔滚涂工艺(240 - 260℃,厚度 0.08 - 0.15mm,加压 0.5 - 1 MPa/30 - 40s)。得益于优异柔韧性与低温冲击性能(-20℃无开裂),其对 PP 骨架剪切强度 $>$ 5 MPa,对织物剥离强度 $>$ 2 kN/m,可长期承受开关门振动。

座椅粘接:采用点涂工艺(230 - 250℃,点径 3 - 5mm,间距 10 - 15mm,低压短时加压),兼顾粘接与透气。剥离强度达 2.5 kN/m 以上,面料无脱落,且无有害挥发,满足环保与舒适性双重要求。

#### 参考文献:

- [1] 王菊,王文燕,吴薇,等.热熔胶改性技术的进展[J].塑料,2025,54(3):71-76,111.
- [2] 高铁敦.衬布用聚氨酯热熔胶粉的研究[J].商品与质量,2016(41):328-328,329.
- [3] 叶胜荣,潘庆华.我国纺织品用热熔胶的现状与发展[J].产业用纺织品.2004,(11).
- [4] 田文玉.服装热熔胶粉碎工艺研究[J].河北科技大学学报,2006,27(2):139-142.

### 5.3 应用优势与发展前景

相比溶剂型胶和普通 PA 热熔胶,改性聚酰胺热熔胶粉具备四大优势:粘接广谱性强、环保无 VOC、固化快效率高、性能可定制化。随着汽车向轻量化、智能化、绿色化发展,新型内饰材料(如生物基织物、低表面能塑料)不断涌现,对胶粘剂提出更高要求。未来可通过优化分子结构(如引入耐高温链段、降低吸湿基团)、开发多功能复合改性体系,并结合自动化点胶、智能喷涂等先进工艺,进一步拓展其在高端汽车内饰中的应用,推动国产高性能热熔胶的产业化升级。

### 6 结论与展望

#### 6.1 结论

本文围绕提升聚酰胺热熔胶粉在汽车内饰中的应用性能,系统开展了材料配比、制备工艺及应用特性研究。结果表明:采用 PA6 与共聚酰胺复合基体,辅以柔性、相容及抗氧化改性剂,并优化增粘与流动助剂配比,可实现强度与柔韧性的良好平衡;通过精准控制熔融共混、挤出造粒与低温粉碎等关键工艺参数,获得粒径均匀、性能稳定的胶粉;所制胶粉具备优异的熔融流动性、耐高低温性、力学性能及对多类基材的强粘接能力,耐湿热与热老化性能显著优于普通产品;在顶棚、门板、座椅等典型内饰部件中应用效果良好,粘接牢固、效率高、环保无溶剂,完全满足汽车内饰严苛工况需求。

#### 6.2 展望

未来研究可在以下方向深化:一是开发新型功能性改性剂,如引入自修复组分,提升粘接层长期耐久性;二是探索微胶囊化、连续化等先进制备技术,实现改性剂缓释与生产过程高效稳定;三是拓展至新能源汽车领域,针对轻质复合材料等新型内饰基材,定制适配性更强的胶粉体系;四是构建更贴近真实使用环境的综合评价体系,结合振动、温变、疲劳等多因素耦合测试,全面评估胶粉服役寿命与可靠性。通过材料—工艺—应用—评价全链条协同创新,推动高性能热熔胶在高端汽车制造中的深度应用。