

# 《聚酰亚胺薄膜制备方法》（征求意见稿）

## 编制说明

### 一、工作简况

#### （一）任务来源

本文件由中国技术市场协会提出，经中国技术市场协会标准化工作委员会批准，正式列入 2026 年团体标准制修订计划，标准名称为《聚酰亚胺薄膜制备方法》。

#### （二）项目背景

聚酰亚胺（PI）薄膜因其卓越的耐高低温、高绝缘、高强度等特性，被广泛应用于柔性电路板、5G 通信、航空航天、新能源等领域，是战略性新材料的关键组成部分。随着高端制造和电子信息产业的快速发展，市场对高性能、高可靠性聚酰亚胺薄膜的需求日益迫切。然而，当前国内聚酰亚胺薄膜制备工艺多样，企业在原料控制、工艺流程、设备参数、质量控制等方面缺乏统一规范，导致产品质量稳定性不足、性能指标离散度大，高端薄膜产品仍依赖进口，制约了产业链自主可控与升级。

在柔性显示、高速高频覆铜板、新能源汽车电机绝缘等新兴应用场景中，对 PI 薄膜的尺寸稳定性、介电性能、力学均匀性提出了更严苛的要求。制备工艺的标准化缺失，使得上下游企业技术对接困难，产品评价标准不一，影响了新技术、新产品的推广应用和产业化进程。为提升我国聚酰亚胺薄膜产业整体技术水平，保障关键基础材料供应安全，亟须制定一套科学、系统、可操作的制备方法标准，规范从原料到成品的全流程操作，为行业高质量发展提供坚实的技术支撑。

### （三）目的意义

#### 1. 目的

##### （1）统一制备工艺规范

整合行业内成熟的溶液法制备技术与实践经验，明确从原材料预处理、聚合反应、流延成膜到亚胺化处理的全流程工艺参数及控制要求，消除不同企业间的工艺差异，实现产品质量的可控与稳定，为产业链上下游提供统一的技术依据。

##### （2）保障产品质量一致性

从环境控制、设备要求到人员资质制定严格规范，构建涵盖过程参数与成品性能的多维度质量评价体系。帮助企业精准识别生产过程中的质量短板，从源头把控原材料及工艺质量，满足市场对高端聚酰亚胺薄膜的高品质需求。

##### （3）推动技术迭代升级

通过明确科学合理的制备方法，为科研机构和企业提供清晰的技术研发方向，降低企业在工艺摸索阶段的试错成本，促进高性能聚酰亚胺薄膜（如低膨胀、高导热等）的研发与应用，加速国产替代进程。

##### （4）规范行业市场秩序

填补聚酰亚胺薄膜制备工艺标准的行业空白，遏制低质低价竞争等不良现象，维护市场公平竞争环境，保障下游应用企业的合法权益，为电子、电气等产业链的协同发展奠定坚实基础。

#### 2. 意义

##### （1）推动行业技术进步

本标准的建立将统一行业技术评价体系，促进不同研究团队、

企业间的技术交流与数据共享，避免重复研发和资源浪费。标准化的制备流程有助于加速新产品从实验室向规模化生产的转化，推动我国聚酰亚胺材料技术的整体突破。

## （2）提升生产效率与良率

标准化的工艺流程和技术要求，可显著提高聚酰亚胺薄膜生产的稳定性和重复性。通过规范反应温度、流延速度、拉伸倍数等关键参数，减少因工艺波动导致的产品缺陷，使生产过程更符合产品本征性能要求。同时，标准化操作能够提高生产效率，缩短工艺调试周期，为企业降低生产成本。

## （3）降低产业链成本

统一的制备标准可避免因工艺不达标导致的产品性能波动，减少下游客户的筛选成本和使用风险。对于生产企业，标准化的质控流程能提高产品一次合格率，降低因废次品造成的原材料浪费；对于电子制造企业，可靠的材料性能可减少产线异常，整体提升产业链的经济效益。

## （四）起草单位及起草人名单

本文件起草单位：无锡理奇智能装备股份有限公司、北京中研博采技术服务有限公司、北京六只猫创意科技有限公司、北京彬诚科技有限公司、郑州桐晟技术服务有限公司。

本文件主要起草人：孙振德、乐志斌、夏卫彬、杨笛、乐佳雨。

## （五）主要起草过程

### 1. 文本调研

2025年12月启动了文本的调研工作，并于2026年1月完

成了相关资料的收集和分析工作。

## 2. 标准立项

2026年3月向中国技术市场协会标准化工作委员会提出申请，于2026年3月6日获得中国技术市场协会标准化工作委员会批准立项。

## 3. 形成标准草案

2026年3月，起草组对资料收集情况进行汇总处理，确定了标准框架和主要内容。2026年3月23日，《聚酰亚胺薄膜制备方法》形成标准初稿。

## 4. 形成征求意见稿

2026年3月24日至2026年5月7日，起草组根据反馈的意见和建议，对草案内容进行了修改和调整，形成标准征求意见稿。

# 二、确定标准主要内容的论据

## （一）编制原则

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》以及《中国技术市场协会团体标准工作程序》的规定起草。

## （二）标准主要内容及适用范围

本文件规定了聚酰亚胺（PI）薄膜制备的基本要求、制备流程、技术要求、质量控制、过程记录。

本文件适用于以二酐类、二胺类为主要单体，采用溶液法制备的聚酰亚胺薄膜，其他制备方法可参照执行。

## （三）确定标准主要内容的论据

### 1. 关于“基本要求”

为确保 PI 薄膜质量稳定性，标准从源头和环境进行控制。规定了严格的环境要求（如聚合车间湿度 $\leq 45\%$ ，洁净度 10 万级），旨在防止原料水解和粉尘污染；明确了设备要求（如反应釜温控精度、流延机基带粗糙度、亚胺化炉温度均匀性），以确保工艺执行的精确性；制定了详细的原材料要求（如 PMDA 纯度 $\geq 99.5\%$ ，NMP 含水量 $\leq 0.05\%$ ），引用 GB/T 511、GB/T 27563 等国家标准作为检验依据，保证原料质量是生产合格产品的前提。

### 2. 关于“制备流程”

标准将 PI 薄膜制备系统分解为“原材料预处理→PAA 合成→过滤脱泡→流延成膜→干燥与热亚胺化→后处理（拉伸、冷却、分切）→质量检测”九个阶段。此流程设计基于溶液法“聚合—成膜—亚胺化”的核心工艺路径，逻辑清晰，覆盖了从投料到成品的全过程，并对每个阶段的功能和关键控制点进行了说明，为生产企业提供了完整的工艺指导框架。

### 3. 关于“技术要求”

过程技术要求：标准以表格形式详细规定了各制备阶段（如原料预处理、溶液聚合、流延成膜、亚胺化等）的关键参数（如溶剂含水量、反应温度、单体摩尔比、PAA 特性黏度、亚胺化度、拉伸倍数等）及其控制范围与监控频率。这些参数是影响薄膜分子结构、外观和最终性能的核心工艺变量，其控制值是结合产业实践和理论要求确定的，旨在实现过程精细化控制。

成品性能要求：标准依据 GB/T 13542.6 等国家标准，设定了成品薄膜的全面性能指标，包括厚度公差、拉伸强度（ $\geq 150$

MPa)、断裂伸长率( $\geq 40\%$ )、电气强度( $\geq 100$  kV/mm)、体积电阻率( $\geq 1 \times 10^{16}$   $\Omega \cdot m$ )、热收缩率( $\leq 1.0\%$ )等。这些指标综合体现了PI薄膜作为高性能材料在力学、电学、热学方面的关键特性,是评价其是否满足电气绝缘及通用领域应用要求的直接依据。

#### 4. 关于“质量控制”与“过程记录”

标准规定了从原材料入库到成品出厂的全过程质量控制点(如每批次原材料检验、PAA特性黏度检测、在线厚度检测、亚胺化度检测、成品抽样规则等)以及不合格品的处理流程。同时,要求对生产全过程的关键数据、设备运行、质量检测等信息进行记录。这些规定旨在建立可追溯的质量管理体系,确保任何质量问题都能追溯到源头,是实现稳定生产和持续改进的基础。

### 三、主要试验[或验证]情况分析、技术经济论证、预期经济效果

#### (一) 主要试验(或验证)情况分析

为保障标准的科学性、实用性与可操作性,起草组联合行业内权威检测机构及聚酰亚胺薄膜头部生产企业,选取涵盖不同应用领域(如电工绝缘、电子基材)的主流型号样品,严格遵循GB/T 1040.3、GB/T 1408.1等相关国家标准及行业规范开展试验验证,累计完成试验项目200余项,获取有效数据800余组,具体验证情况如下:

##### 1. 原材料及过程验证

原材料控制:对N-甲基吡咯烷酮(NMP)溶剂含水量进行严格控制验证,数据显示,当溶剂含水量从0.05%升至0.2%时,聚

合反应产率下降约 18%，且 PAA 溶液中气泡缺陷增加 30%以上。对单体原料（PMDA、ODA）进行纯度及水分检测，验证了杂质含量超标会导致薄膜黄度增加及介电性能下降。

聚合工艺：在不同温度（30 °C~60 °C）和搅拌转速下进行聚合反应，结果显示，控制单体摩尔比为 1:1，反应温度在 50 °C~60 °C 时，生成的聚酰胺酸（PAA）溶液特性黏度稳定在 1.5 dL/g~3.0 dL/g 范围内，满足成膜要求。验证了搅拌转速（200-300 r/min）对反应均匀性的关键作用，转速低于 200 r/min 时，反应釜内温差可达 ±3°C，导致分子量分布不均。

流延成膜：通过调节刮刀间隙和基带速度（1 m/min~5 m/min），验证了湿膜厚度与干膜厚度的对应关系（通常为 5~10 倍）。实验表明，基带表面粗糙度  $Ra \leq 0.1 \mu\text{m}$  时，薄膜表面平整度最佳，表面缺陷（针孔、划痕）数量控制在每平方米 2 个以内。

热亚胺化：采用阶梯式升温（80 °C~400 °C），升温速率控制在 5 °C/min~10 °C/min。验证数据显示，高温段（350 °C~400 °C）保温 30 min~60 min，可使亚胺化度达到 95%以上。未达到该温度或时间要求的样品，其电气强度下降 40%以上，拉伸强度从  $\geq 150 \text{ MPa}$  降至 100 MPa 以下。

后处理（拉伸）：在 150 °C~200 °C 下进行双向拉伸（1.2~1.5 倍），验证了拉伸工艺对提升薄膜力学强度和降低热收缩率的有效性。拉伸后的薄膜热收缩率（200 °C×1 h）从 5%以上降至 1.0%以内，断裂伸长率保持在  $\geq 40\%$ 。

## 2. 成品性能验证

依据标准规定的测试方法，对成品薄膜进行全项检测。结果显示，符合本标准工艺制备的薄膜，厚度公差控制在±3%至±5%以内(如 12.5 μm 规格公差仅±0.6 μm)，拉伸强度均≥150 MPa（实测平均值达 165 MPa），断裂伸长率≥40%，电气强度≥100 kV/mm，体积电阻率≥ $1 \times 10^{15} \Omega \cdot m$ ，各项指标均优于行业平均水平，验证了标准技术指标的合理性和先进性。

## （二）技术经济论证

### 1. 产业链层面

标准化将推动产业链协同优化，上游原材料生产企业将针对性研发高纯度单体及溶剂，验证数据显示，高性能溶剂成本较常规产品高 10%~15%，但标准实施后规模化生产可使成本降低 5%~8%；中游薄膜制造企业将聚焦工艺适配优化，预计工艺调整投入占比从当前 2%提升至 4%~6%，但产品一次合格率可从 90%提升至 96%以上，单吨薄膜生产成本降低 5%~8%；下游应用端，电子及电机企业因材料性能稳定可减少产线停机时间约 15%，同时薄膜的高耐热性能可使终端设备使用寿命延长 20%。

### 2. 企业层面

技术升级与成本效益实现平衡，根据 200 余项试验数据，企业为达到标准要求需增加设备升级及工艺调试成本约 5%~8%，但因产品良率提升和废品率降低，产品全生命周期成本下降 12%。以年产 1000 吨聚酰亚胺薄膜的中型企业为例，标准实施后预计年增收可达 1500 万元~2000 万元。

### 3. 社会经济层面

标准推广后，行业整体性能提升可降低材料报废率，据测算，

若高性能产品市场占有率提升至 40%，每年可减少废旧高分子材料产生量约 5000 吨。同时，因电气强度和热稳定性提升，预计电气火灾等安全事故率可降低 40%，减少社会安全损失。此外，标准化将加速行业整合，促使低效产能淘汰，预计 3 年内行业集中度提升 15%，资源利用效率提高 12%以上。

### （三）预期经济效果

制定和实施《聚酰亚胺薄膜制备方法》标准后，将为行业和社会带来长远且显著的经济效益：

#### 1. 节能降耗效益突出

以单条年产 500 吨聚酰亚胺薄膜的生产线计，使用标准化工工艺可使原材料利用率提升 5%，每年减少高价值单体及溶剂浪费约 25 吨，折合节约原材料成本约 500 万元。按全国 2026 年预计产能 5000 吨测算，年节约原材料成本可达 5000 万元以上，同时减少高浓度有机废水处理能耗，助力“双碳”目标实现。

#### 2. 出口竞争力大幅增强

欧美及日韩市场对电子级聚酰亚胺薄膜的性能与环保认证要求严苛，本标准对标 UL、RoHS 等国际认证指标，在介电性能、热收缩率等方面设置高阶门槛。据海关数据，2025 年我国聚酰亚胺薄膜及相关制品出口额为 15 亿美元，预计标准实施后，因性能不达标导致的退货率可从当前的 5%降至 1%以内，年增加出口创汇约 1 亿美元。

#### 3. 促进行业提质增效与产能优化

当前行业存在部分小型企业产品性能参差不齐，无法满足高端市场需求。标准实施后，预计 20%以上的低效产能将因无法达

标退出市场，行业优质产能占比有望从当前的 40%提升至 60%以上，资源向技术领先企业集聚，全行业研发投入强度预计将从 3.0%提升至 5.0%以上，推动行业向高质量、高附加值方向转型。

#### **四、采用国际标准和国内外先进标准的程度**

本文件不涉及国际国外标准的采标情况。

#### **五、重大分歧意见处理经过及依据**

本文件在制定过程中未出现重大分歧意见。

#### **六、与现行相关法律、法规及相关标准的协调性**

与现行相关法律、法规及相关标准相协调。

#### **七、知识产权情况说明**

本文件不涉及必要专利等知识产权情况。

#### **八、其他应予说明的事项**

无。

《聚酰亚胺薄膜制备方法》

团体标准工作组

2026 年 5 月 8 日