

牵伸辊温度对尼龙 66 工业丝热力学性能的影响

郭霖轩 郭丽华 霍启明
神马实业股份有限公司, 河南 平顶山 467000

摘要:研究了牵伸辊温度对尼龙 66 工业丝性能的影响。结果表明,牵伸机的第 2 对辊一段温度为 177 °C、二段温度为 187 °C,第 3 对辊温度为 187 °C 时,可得到高断裂强力、低定负荷伸长率、低断裂伸长率、低干热收缩率、高干热收缩力的尼龙 66 工业丝,其强伸性能和尺寸稳定性良好。第 2 对辊温度固定时,可通过降低牵伸机第 3 对辊的温度得到高断裂强力、低定负荷伸长率、低断裂伸长率的尼龙 66 工业丝。

关键词: 尼龙 66 工业丝;牵伸辊温度;定负荷伸长率;干热收缩率;干热收缩力

中图分类号:TS102.5

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2026)06-0038-05

Effect of stretch roller temperature on thermodynamic properties of nylon 66 industrial yarns

Guo Linxuan, Guo Lihua, Huo Qiming

Shenma Industrial Co., Ltd., Pingdingshan 467000, Henan, China

Abstract: The influence of stretch roller temperature on the properties of nylon 66 industrial yarns was investigated. The results showed that in the stretching machine, the temperature of the second pair of rollers was 177 °C in the first stage, 187 °C in the second stage, and the temperature of the third pair of rollers was 187 °C, nylon 66 industrial yarns with high breaking strength, low constant load elongation, low elongation at break, low dry heat shrinkage rate, and high dry heat shrinkage force could be obtained, exhibiting good tensile strength performance and dimensional stability. When the temperature of the second pair of rollers was kept constant, reducing the temperature of the third pair of rollers in the stretching machine enabled production of nylon 66 industrial yarns with high breaking strength, low constant load elongation, and low elongation at break.

Keywords: nylon 66 industrial yarn; stretch roller temperature; constant load elongation; dry heat shrinkage rate; dry heat shrinkage force

随着新能源汽车行业的不断发展,乘用车对轮胎的安全、物理性能和轻量化等需求进一步增加^[1-3]。提升轮胎使用的可靠性和耐久性,避免轮

胎损坏,延长轮胎服役寿命,成为需重点攻关的课题^[4]。新能源汽车整车质量高于同级别燃油汽车,其轮胎需承受更大载荷,故对骨架材料尼龙 66 工业

收稿日期:2025-11-26

作者简介:郭霖轩,男,1995 年生,硕士,研发工程师,主要从事尼龙 66 纤维工艺技术开发与应用研究工作,1245375632@qq.com

丝的力学稳定性和热稳定性提出了更高的要求^[5-6]。牵伸辊温度是尼龙 66 工业丝生产中调控纤维结构与性能的核心工艺参数之一^[7]。

目前,众多轮胎生产企业已将定负荷伸长率纳入尼龙 66 工业丝的关键性能评价体系。车辆行驶时,轮胎帘线(由尼龙 66 工业丝制成)持续承受周期性拉伸,而定负荷伸长率表征帘布抗拉伸变形能力,可直观体现工业丝在规定载荷下的伸长量^[8]。精准管控生产阶段工业丝的定负荷伸长率,能够保障轮胎成型工艺稳定,同时提升轮胎服役过程的安全性能与耐久性能。牵伸辊温度会改变纤维拉伸过程中的结晶、取向行为,进而直接影响定负荷伸长率,并最终影响纤维的热稳定性与尺寸稳定性^[9]。定负荷伸长率与尼龙 66 工业丝的应用场景密切相关,如轮胎帘线、输送带骨架材料需低定负荷伸长率以保证尺寸稳定性。干热收缩率用于表征纤维高温

工况下的尺寸稳定性,合理的干热收缩率是轮胎帘线、航海绳索等工业丝产品的核心性能要求。干热收缩率的调控与尼龙 66 工业丝微观结构的调控机制密切相关。

本研究通过探究不同牵伸辊温度下尼龙 66 工业丝强伸性能及干热收缩率的变化趋势,确定合适的牵伸辊温度,以提高产品性能的稳定性。试验制备了高断裂强力、低定负荷伸长率、低断裂伸长率、低干热收缩率、高干热收缩力的尼龙 66 工业丝。

1 试验

1.1 原材料

尼龙 66 盐液,河南神马尼龙化工有限责任公司生产,其参数与性能测试结果见表 1。

表 1 尼龙 66 盐液的参数与性能测试结果

Tab. 1 Parameters and performance test results of nylon 66 salt solution

参数	测试结果	指标要求
质量分数/%	50.7	45.0~55.0
紫外吸收度(质量分数 20%的尼龙 66 盐液)	0.25×10^{-4}	$\leq 0.5 \times 10^{-4}$
pH 值(质量分数 10%的尼龙 66 盐液)	7.8	7.7~8.0
色度(质量分数 35%的尼龙 66 盐液)	3.4	≤ 5.0

尼龙 66 盐液通过连续熔融聚合法直接纺丝制得 140 tex 的尼龙 66 工业丝。本试验探究了 140 tex 工业丝纺丝过程中,牵伸机中牵伸辊温度对尼龙 66 工业丝性能的影响。

1.2 主要设备和仪器

熔融聚合设备,日本旭化成株式会社生产;CD 300 型卷绕机,瑞士立达公司生产;AG-IS 型强力机,日本岛津生产;RCH-IV 型帘线干热收缩测定仪,北京万汇一方科技发展有限公司生产。

1.3 性能测试

1.3.1 强伸性能

采用 AG-IS 型强力机对试样的强伸性能(断裂伸长率、定负荷伸长率和断裂强力)进行表征,设定拉伸速度为 300 mm/min、夹持长度为 250 mm、预加张力为 (0.050 ± 0.005) cN/dtex。每组试样重复测试 5 次,取平均值,结果修约至小数点后一位。

1.3.2 干热收缩性能

采用帘线干热收缩测定仪测试不同试样的干热

收缩率初值、干热收缩率残值和干热收缩力,设定温度 (180 ± 1) °C、时间 2 min,预张力 (0.050 ± 0.005) cN/dtex。每组试样重复测试 5 次,取平均值,结果修约至小数点后一位。

1.4 试验方案

试验用牵伸机具备 3 对牵伸辊,即第 1 对辊(简称 1#辊)、第 2 对辊(简称 2#辊)和第 3 对辊(简称 3#辊)。试验主要讨论 2#辊和 3#辊温度对工业丝强伸性能和干热收缩性能的影响趋势。2#辊每个辊的辊面温度分 2 段控制,距离牵伸电机近端为一段温度区,远端为二段温度区。试验中,一段温度和二段温度分别调节。在 1#辊温度(45 °C)及其他纺丝工艺参数(牵伸倍数为 4.6,纺丝速度为 2 050 m/min)不变的情况下,进行 2 组试验。

第一组试验中,设置 3#辊温度为 187 °C,2#辊温度按照工艺 1~5 进行控制。工艺 1 中,2#辊一段温度为 171 °C,二段温度为 181 °C;工艺 2 中,2#辊一段温度为 174 °C,二段温度为 184 °C;工艺 3 中,2#

辊一段温度为 177 ℃,二段温度为 187 ℃;工艺 4 中,2[#]辊一段温度为 180 ℃,二段温度为 190 ℃;工艺 5 中,2[#]辊一段温度为 183 ℃,二段温度为 193 ℃。

第二组试验中,设置 2[#]辊一段温度为 177 ℃,二段温度为 187 ℃。3[#]辊温度按照工艺 6~10 分别设置为 181、184、187、190 和 193 ℃。这 2 组试验在同一牵伸机、卷绕机上进行,每种工艺各取 3 个丝筒作为试验试样。

2 结果与讨论

2.1 强伸性能

工艺 1~5 中,尼龙 66 工业丝的强伸性能测试结果如图 1~图 3 所示。

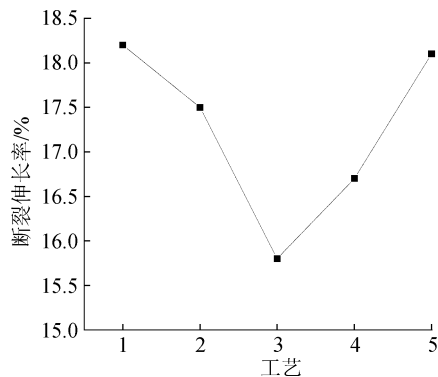


图1 2[#]辊温度与尼龙 66 工业丝断裂伸长率的关系曲线

Fig. 1 Relationship curve between 2[#] roller temperature and elongation at break of nylon 66 industrial yarns

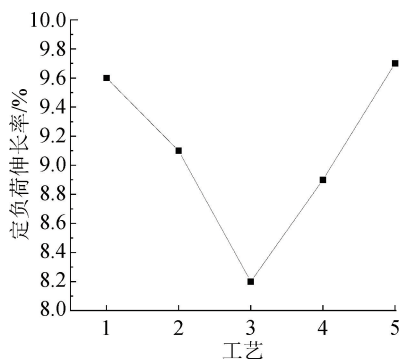


图2 2[#]辊温度与尼龙 66 工业丝定负荷伸长率的关系曲线

Fig. 2 Relationship curve between 2[#] roller temperature and constant load elongation of nylon 66 industrial yarns

从图 1~图 3 可以看出,在 3[#]辊温度及其他纺丝工艺参数不变的情况下,随着 2[#]辊一段和二

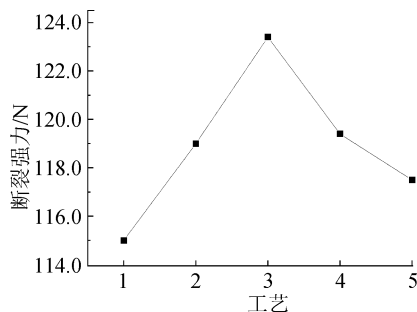


图3 2[#]辊温度与尼龙 66 工业丝断裂强力的关系曲线

Fig. 3 Relationship curve between 2[#] roller temperature and breaking strength of nylon 66 industrial yarns

的不断升高,尼龙 66 工业丝的断裂伸长率和定负荷伸长率均呈现先下降后上升的趋势。断裂伸长率反映了尼龙 66 工业丝拉伸到断裂时的最大形变能力,定负荷伸长率表示了尼龙 66 工业丝在规定负荷下的形变伸长量。断裂伸长率越大,材料在特定负荷下的延伸能力越强,定负荷伸长率也越大。尼龙 66 工业丝的断裂伸长率与定负荷伸长率呈正相关关系。

在牵伸机中,2[#]辊作为主牵伸辊,其通过牵伸作用提高纤维内部的取向度和结晶度^[10]。尼龙 66 工业丝分子链排列越规整、取向度越高,纤维断裂强力越高,分子链可活动的富余空间变少,受力后形变能力下降,伸长量降低。尼龙 66 工业丝的断裂强力与定负荷伸长率、断裂伸长率均呈负相关关系。2[#]辊一段温度为 177 ℃,二段温度为 187 ℃(即工艺 3)时,断裂强力达到峰值,得到的尼龙 66 工业丝具备高断裂强力、低定负荷伸长率、低断裂伸长率。

工艺 6~10 中,尼龙 66 工业丝的强伸性能测试结果如图 4~图 6 所示。

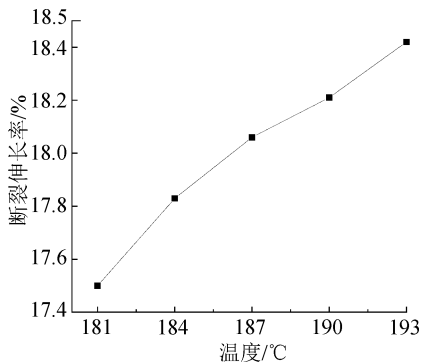


图4 3[#]辊温度与尼龙 66 工业丝断裂伸长率的关系曲线

Fig. 4 Relationship curve between 3[#] roller temperature and elongation at break of nylon 66 industrial yarns

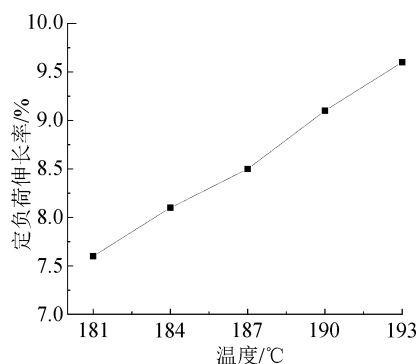


图 5 3# 辊温度与尼龙 66 工业丝定负荷伸长率的关系曲线
Fig. 5 Relationship curve between 3# roller temperature and constant load elongation of nylon 66 industrial yarns

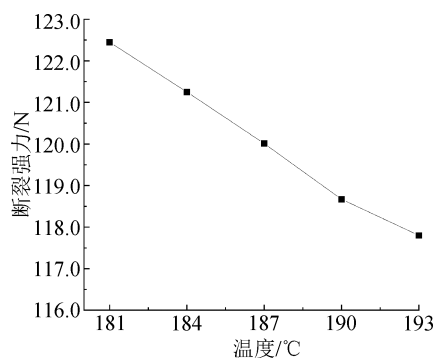


图 6 3# 辊温度与尼龙 66 工业丝断裂强力的关系曲线
Fig. 6 Relationship curve between 3# roller temperature and breaking strength of nylon 66 industrial yarns

从图 4~图 6 可以看出,在 2# 辊温度及其他纺丝工艺参数不变的情况下,随着 3# 辊温度的不断升高,尼龙 66 工业丝的断裂伸长率和定负荷伸长率均呈现上升趋势。

在牵伸机中,3# 辊为后热定型辊,其起到稳定结晶区和纤维内部取向的作用。断裂伸长率属于强伸性能^[11],尼龙 66 工业丝的断裂强力与定负荷伸长率、断裂伸长率均呈负相关关系。为平衡工业丝的其他强伸性能,在试验 2 中,当 3# 辊温度在 180 °C 以上时,随着 3# 辊温度的升高,尼龙 66 工业丝结晶区占比升高,脆度增加,尼龙 66 工业丝断裂强力呈现下降趋势。此外,尼龙 66 工业丝内部分子链的解取向和结晶中缺陷的增加,表现为断裂伸长率有所增加。在平衡断裂强力和断裂伸长率的标准要求下,牵伸机 3# 辊的温度可以适当降低,以得到高断裂强力、低定负荷伸长率、低断裂伸长率的尼龙 66 工业丝。

2.2 干热收缩性能

工艺 1~5 条件下,尼龙 66 工业丝的干热收缩

性能如图 7 所示。

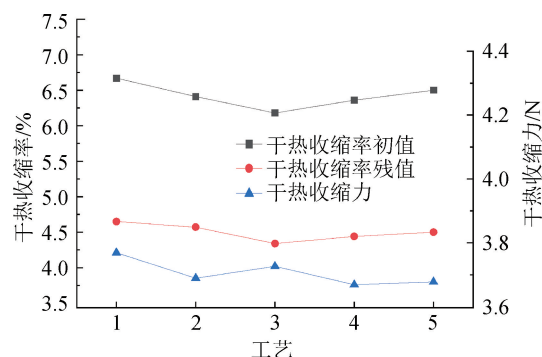


图 7 2# 辊温度与尼龙 66 工业丝干热收缩性能的关系曲线
Fig. 7 Relationship curve between 2# roller temperature and dry heat shrinkage properties of nylon 66 industrial yarns

从图 7 可以看出,3# 辊温度不变时,随着 2# 辊一段温度和二段温度的不断升高,尼龙 66 工业丝干热收缩率初值、干热收缩率残值呈现先下降后上升的趋势。在牵伸辊的牵伸作用下,纤维结构取向充分^[12]。2# 辊温度低,尼龙 66 工业丝干热收缩率初值、干热收缩率残值和干热收缩力均较高。2# 辊一段温度为 177 °C、二段温度为 187 °C (工艺 3) 时,尼龙 66 工业丝干热收缩率低,干热收缩力高,尼龙 66 工业丝热稳定性好。温度升高使取向大分子重排并规整化,形成更稳定的取向结晶结构,热稳定性增强,干热收缩率降低。2# 辊一段温度为 183 °C、二段温度为 193 °C (工艺 5) 时,尼龙 66 工业丝晶区开始被破坏、取向部分分解,内应力增加,干热收缩率回升,干热收缩力降低,热稳定性较差。根据产品干热收缩性能的需要,可调整牵伸辊 2# 辊温度以获得理想的干热收缩率初值、干热收缩率残值和干热收缩力。

工艺 6~10 条件下,尼龙 66 工业丝的干热收缩性能如图 8 所示。

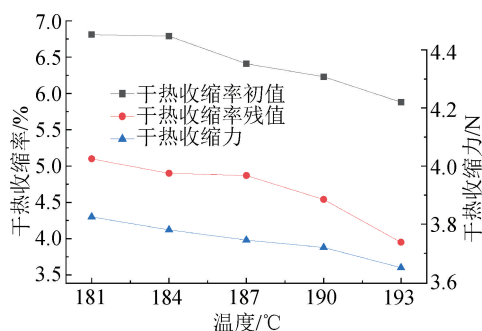


图 8 3# 辊温度与尼龙 66 工业丝干热收缩性能的关系曲线
Fig. 8 Relationship curve between 3# roller temperature and dry heat shrinkage properties of nylon 66 industrial yarns

从图 8 可以看出,2#辊温度不变时,随着 3#辊温度的不断升高,工业丝结构被破坏,尼龙 66 工业丝干热收缩率初值、干热收缩率残值和干热收缩力均呈下降的趋势。在高温状态下,尼龙 66 工业丝干热收缩率初值、干热收缩率残值和干热收缩力均加速降低。根据产品干热收缩性能的需要,可通过降低牵伸机 3#辊温度以增加尼龙 66 工业丝干热收缩率初值、干热收缩率残值和干热收缩力。

3 结论

(1) 当 2#辊一段温度为 177 ℃,二段温度为 187 ℃,3#辊温度为 187 ℃时,可得到高断裂强力、低定负荷伸长率、低断裂伸长率、低干热收缩率、高干热收缩力的尼龙 66 工业丝,其强伸性能和尺寸稳定性良好。

(2) 当第 2 对辊温度固定时,可通过降低牵伸机第 3 对辊的温度得到高断裂强力、低定负荷伸长率和低断裂伸长率的尼龙 66 工业丝。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

[1] 吕文娟. 锦纶 66 单股帘子布张力一致性探析[J].

合成纤维, 2017, 46(8): 19-21.

[2] 吴红霞. 温度对硅胶涂层面料撕裂性能的影响[J]. 产业用纺织品, 2022, 40(12): 24-26.

[3] 高君, 吴警, 王君毅, 等. 超高尺寸稳定型涤纶浸胶帘子布的开发及性能评价[J]. 产业用纺织品, 2024, 42(9): 38-44.

[4] 曹国兰, 崔运花, 马玲. 尼龙-66 涂层阻燃整理工艺研究[J]. 产业用纺织品, 2012, 30(6): 41-44.

[5] 李世群, 莫超峰, 杨超然. 影响锦纶 66 浸胶帘子布物性因素分析[J]. 中国高新技术企业, 2011(8): 51-52.

[6] 李瑶, 陈婷婷, 杨旭东. 纺织用导电纤维及其应用[J]. 产业用纺织品, 2010, 28(4): 32-35.

[7] 李龙鑫, 魏祎程, 刘呈坤. 湿法纺气凝胶纤维的制备、性能研究与应用进展[J]. 产业用纺织品, 2025, 43(6): 22-31.

[8] 吕文娟. 233 dtex/2 锦纶 66 细旦浸胶帘子布生产实践[J]. 合成纤维, 2017, 46(9): 19-23.

[9] 吕文娟, 李雅敏, 吕琼, 等. 元锦纶 66 细旦丝牵伸辊表面粗糙度的研究和开发[J]. 中国科技纵横, 2010(20): 18-19.

[10] 王劼. 拉伸倍数对尼龙 66 工业丝物理性能的影响[J]. 河南纺织高等专科学校学报, 2007, 19(4): 3-5.

[11] 黄鑫鑫, 陈康, 殷亚然, 等. 不同预加张力热处理下尼龙 66 工业丝的结构性能演变[J]. 现代纺织技术, 2025, 33(1): 10-20.

[12] 马建坤, 苏通, 赵晓杰, 等. 捻度对超高强度锦纶 66 帘线性能的影响[J]. 橡胶科技, 2025, 23(5): 277-280.

(上接第 37 页)

[39] VARSHNEY N, SAHI A K, PODDAR S, et al. Freeze-thaw-induced physically cross-linked superabsorbent polyvinyl alcohol/soy protein isolate hydrogels for skin wound dressing: *in vitro* and *in vivo* characterization [J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2022, 14(12): 14033-14048.

[40] 明贺娜, 刘福琛, 郭肖青, 等. 聚乙烯醇/海藻酸钠

复合纳米纤维膜的制备及性能[J]. 产业用纺织品, 2025, 43(1): 7-15.

[41] WAN Y, FANG J, WANG Y, et al. Antibacterial zeolite imidazole frameworks with manganese doping for immunomodulation to accelerate infected wound healing [J]. Advanced healthcare materials, 2021, 10(22): 2101515.

弘扬社会正气

倡导文明新风