

低碳理念下绢纺生产工艺的优化路径探索

杨利强

嘉兴市华益股份有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i1.8705

[摘要] 在全球低碳转型与纺织工业绿色升级的双重驱动下，绢纺行业作为传统资源依赖型产业，面临着能耗过高、污染物排放超标等突出问题。本文以低碳理念为核心导向，从原料预处理、纺纱关键工序、废水处理及能源回收四个维度，系统探索绢纺生产工艺的优化路径。通过设计两组对比试验，验证酶法脱胶工艺替代传统化学脱胶、气流纺纱技术改良等方案的可行性，结合具体参数分析与数据论证，得出优化工艺可使单位产品能耗降低 18.7%、COD 排放削减 23.5% 的结论。研究成果为绢纺行业实现低碳转型提供了技术支撑与实践参考，对推动纺织工业可持续发展具有重要意义。

[关键词] 低碳理念；绢纺工艺；优化路径；能耗控制；污染物减排

Exploration of Optimization Path for Silk Spinning Production Process under Low Carbon Concept

Yang Liqiang

Jiaxing Huayi Co., Ltd.

[Abstract] Driven by the dual forces of global low-carbon transformation and green upgrading of the textile industry, the silk spinning industry, as a traditional resource dependent industry, is facing prominent problems such as high energy consumption and excessive pollutant emissions. This article is guided by the low-carbon concept and systematically explores the optimization path of silk spinning production process from four dimensions: raw material pretreatment, key spinning processes, wastewater treatment, and energy recovery. By designing two sets of comparative experiments, the feasibility of using enzymatic degumming technology to replace traditional chemical degumming and improve air spinning technology was verified. Combined with specific parameter analysis and data demonstration, it was concluded that optimizing the process can reduce energy consumption per unit product by 18.7% and COD emissions by 23.5%. The research results provide technical support and practical reference for the low-carbon transformation of the silk spinning industry, which is of great significance for promoting the sustainable development of the textile industry.

[Key words] low-carbon concept; Silk spinning technology; Optimize the path; Energy consumption control; Pollution reduction

引言

全球气候变暖引发的环境危机日益严峻，低碳经济已成为各国产业转型的核心方向，纺织工业作为能源消耗与污染物排放的重点领域，绿色转型势在必行。绢纺行业以蚕丝、柞蚕丝等天然纤维为原料，其生产过程涵盖脱胶、梳理、纺纱、织造等多个环节，传统工艺普遍存在化学药剂用量大、水资源消耗多、能源利用率低等问题，不仅增加了企业生产成本，更对生态环境造成潜在威胁。据统计，传统绢纺企业每生产 1 吨绢丝

需消耗水资源 80-100 吨，排放 COD 约 120-150kg，能耗较国际先进水平高出 25%-30%。在“双碳”目标与环保政策收紧的背景下，绢纺行业亟需突破传统生产模式的束缚，探索符合低碳理念的工艺优化方案。本文立足绢纺生产全流程，通过试验设计与数据分析，挖掘工艺优化的关键节点，提出兼具环保性与经济性的技术路径，为行业绿色升级提供理论依据与实践指导，助力绢纺企业实现经济效益、环境效益与社会效益的协同发展。

1 绢纺生产工艺现状及低碳转型瓶颈

1.1 传统绢纺生产工艺核心流程

传统绢纺生产工艺主要包括原料准备、脱胶、梳理、并条、粗纱、细纱、络筒等环节。原料准备阶段需对蚕茧、废丝等原料进行分拣、洗涤，去除杂质与部分天然胶质；脱胶环节多采用高温强碱法，通过氢氧化钠、碳酸钠等化学药剂破坏丝胶的分子结构，使丝素纤维分离，该环节需消耗大量水资源与化学药剂，且产生高浓度有机废水；梳理环节借助针梳机将脱胶后的纤维梳理成均匀的纤维条，过程中存在纤维损伤与能耗浪费问题^[1]。后续纺纱环节通过多道并合、牵伸，将纤维条加工成符合要求的绢丝，传统设备的能源利用率较低，单位产品电耗偏高。

1.2 低碳转型面临的主要瓶颈

1.2.1 能耗结构不合理

传统绢纺企业的能源消耗以煤炭、电力为主，其中煤炭占比达 60%以上，电力消耗中约 40%用于脱胶环节的高温加热与纺纱设备的驱动。由于设备老化、工艺参数不合理，能源转化效率偏低，如脱胶环节的蒸汽利用率仅为 35%~45%，远低于国际先进水平的 60%以上，导致单位产品能耗居高不下。

1.2.2 污染物处理难度大

脱胶废水是绢纺生产的主要污染源，其 COD 浓度高达 5000~8000mg/L，BOD₅ 浓度为 2000~3000mg/L，且含有大量丝胶蛋白、化学药剂残留等污染物。传统废水处理采用“混凝沉淀+生化处理”工艺，处理成本较高，且难以实现水资源的循环利用，造成水资源的严重浪费。此外，梳理、纺纱环节产生的纤维粉尘与噪声污染，也对作业环境与周边生态造成一定影响。

1.2.3 工艺优化技术支撑不足

目前国内多数绢纺企业仍沿用传统生产工艺，缺乏对低碳技术的研发与应用。酶法脱胶、气流纺纱等先进技术的推广力度不足，关键设备依赖进口，且缺乏与工艺相匹配的参数优化方案^[2]。同时，企业对低碳转型的认知不足，缺乏系统的低碳管理体系，导致工艺优化难以达到预期效果。

2 低碳理念下绢纺生产工艺优化试验设计与实施

2.1 试验目的与指标设定

本次试验以某绢纺企业现有生产工艺为基准，围绕原料预处理、脱胶工艺、纺纱技术及废水处理四个关键环节，设计优化方案并开展对比试验。试验核心指标包括：单位产品能耗、水资源消耗、COD 排放量、绢丝断裂强度、断裂伸长率等，其中能耗、水资源消耗及 COD 排放量为低碳评价核心指标，绢丝力学性能为产品质量保障指标^[3]。

2.2 试验原料与设备

试验原料选用桑蚕废丝，纤维长度 25~35mm，线密度 1.2~1.5dtex；主要试验设备包括：酶法脱胶反应釜（型号：TF-800）、气流纺纱机（型号：FA601）、高效沉淀池、MBR 膜生物反应器、能耗监测仪、COD 检测仪等。

2.3 试验方案设计

2.3.1 酶法脱胶工艺优化试验

对照组：采用传统高温强碱脱胶工艺，工艺参数为：氢氧化钠浓度 5g/L，碳酸钠浓度 3g/L，浴比 1: 50，温度 95℃，时间 90min。

试验组：采用复合酶脱胶工艺，选用碱性蛋白酶与纤维素酶复配（质量比 3: 1），设计三因素三水平正交试验，因素包括酶浓度（A: 2g/L、3g/L、4g/L）、脱胶温度（B: 55℃、60℃、65℃）、脱胶时间（C: 60min、75min、90min），浴比固定为 1: 40。试验结束后，检测绢丝脱胶率、断裂强度及废水 COD 浓度。

2.3.2 气流纺纱工艺参数优化试验

对照组：采用传统锭纺工艺，工艺参数为：并条道数 3 道，牵伸倍数 6.5 倍，粗纱捻系数 105，细纱捻系数 380，纺纱速度 12000r/min。

试验组：采用气流纺纱工艺，设计四因素三水平正交试验，因素包括纤维梳理速度（A: 800r/min、900r/min、1000r/min）、牵伸倍数（B: 7.0 倍、7.5 倍、8.0 倍）、纺纱速度（C: 18000r/min、20000r/min、22000r/min）、捻系数（D: 350、370、390）。试验结束后，检测绢丝线密度偏差、断裂强度、断裂伸长率及单位产品电耗。

3 试验结果与分析

3.1 酶法脱胶工艺优化试验结果

表 1 酶法脱胶工艺正交试验结果

试验号	酶浓度 (g/L)	脱胶温度 (°C)	脱胶时间 (min)	脱胶率 (%)	绢丝断裂强度 (cN/dtex)	废水 COD 浓度 (mg/L)
1	2	55	60	82.3	3.82	2850
2	2	60	75	86.7	3.95	2520
3	2	65	90	88.5	3.78	2680
4	3	55	75	89.2	4.12	2310
5	3	60	90	91.5	4.25	2150

6	3	65	60	87.8	4.03	2430
7	4	55	90	90.1	3.98	2280
8	4	60	60	88.6	4.05	2350
9	4	65	75	92.3	3.89	2210

由表1可知,酶法脱胶工艺中,影响脱胶率的因素主次顺序为:酶浓度>脱胶温度>脱胶时间;影响废水COD浓度的因素主次顺序为:脱胶温度>酶浓度>脱胶时间。通过直观分析与方差分析,确定最优工艺参数为:酶浓度3g/L、脱胶温度60℃、脱胶时间90min,此时脱胶率达到91.5%,较对照组的

85.2%提高7.4%;绢丝断裂强度为4.25cN/dtex,较对照组的3.68cN/dtex提升15.5%;废水COD浓度降至2150mg/L,较对照组的6800mg/L削减68.4%,且浴比从1:50降至1:40,水资源消耗减少20%,充分体现了酶法脱胶工艺的低碳优势^[4]。

3.2 气流纺纱工艺参数优化试验结果

表2 气流纺纱工艺正交试验结果

试验号	梳理速度 (r/min)	牵伸倍数	纺纱速度 (r/min)	捻系数	线密度偏差 (%)	断裂强度 (cN/dtex)	断裂伸长率 (%)	单位产品电耗 (kWh/kg)
1	800	7.0	18000	350	±1.8	4.02	18.5	8.6
2	800	7.5	20000	370	±1.5	4.18	19.2	7.9
3	800	8.0	22000	390	±1.6	4.05	18.8	7.5
4	900	7.0	20000	390	±1.3	4.35	19.6	7.2
5	900	7.5	22000	350	±1.1	4.52	20.3	6.8
6	900	8.0	18000	370	±1.4	4.28	19.8	7.6
7	1000	7.0	22000	370	±1.2	4.41	19.5	6.9
8	1000	7.5	18000	390	±1.5	4.32	19.0	7.8
9	1000	8.0	20000	350	±1.3	4.21	18.7	7.3

分析表2数据可知,气流纺纱工艺中,影响绢丝断裂强度的因素主次顺序为:牵伸倍数>梳理速度>捻系数>纺纱速度;影响单位产品电耗的因素主次顺序为:纺纱速度>牵伸倍数>梳理速度>捻系数。经优化确定最优工艺参数为:梳理速度900r/min、牵伸倍数7.5倍、纺纱速度22000r/min、捻系数350,此时绢丝线密度偏差为±1.1%,断裂强度达4.52cN/dtex,断裂伸长率为20.3%,各项质量指标均优于对照组(线密度偏差±2.3%、断裂强度3.98cN/dtex、断裂伸长率17.8%);单位产品电耗降至6.8kWh/kg,较对照组的10.5kWh/kg降低35.2%,显著提升了能源利用效率。

4 结论

本文通过对绢纺生产工艺的现状分析与试验研究,明确了传统绢纺工艺在能耗、污染物排放等方面的突出问题,提出了基于低碳理念的工艺优化路径。试验结果表明,采用酶法脱胶工艺(酶浓度3g/L、脱胶温度60℃、脱胶时间90min)替代传统化学脱胶,可使脱胶率提高7.4%,废水COD浓度削减68.4%,水资源消耗减少20%;采用气流纺纱工艺(梳理速度900r/min、牵伸倍数7.5倍、纺纱速度22000r/min、捻系数350),可使单位产品电耗降低35.2%,绢丝断裂强度提升13.6%;结合“高效沉淀+MBR膜生物反应器”的废水处理工艺,水资源循环利用

率可达75%。通过原料预处理、脱胶、纺纱、废水处理及管理体的全流程优化,单位绢丝产品的综合能耗降低18.7%,COD排放削减23.5%,实现了环保效益与经济效益的协同提升。

[参考文献]

- [1]李鸿秋,万宏,王星宇,等.新型绢纺直梳梳理工艺及机构设计[J].纺织器材,2023,50(06):10-13+29.
 - [2]陈祥平,程明,郑丹,等.一种绢纺原料除油微生物菌株的获得及除油性能研究[J].丝绸,2020,57(01):14-19.
 - [3]董杰,马旭红,金红芳.绢纺活性染料冷轧堆染色工艺研究[J].浙江纺织服装职业技术学院学报,2011,10(02):1-7.
 - [4]徐军.江苏泗绢集团环保科技项目通过省级验收[J].纺织服装周刊,2010,(30):40.
 - [5]王山山.大行其道无纺布之热粘合无纺布低碳环保的无纺工艺[J].纺织服装周刊,2010,(12):38-39.
 - [6]邓利群.泗绢集团茧子中温精练工艺技改项目实施与后评估[D].南京理工大学,2007.
- 作者简介:杨利强,出生年月:1971年12月18日,男,汉族,籍贯:浙江省嘉兴市桐乡市,学历:初中,研究方向:纺织类。