

青岛纺织工程与管理

QingDao Textile Engineering and Administration

2009年 第3期

青岛市纺织工程学会 主办
锦桥纺织网 协办

E-mail: qzbl1949@sina.com

本期目录

【国家纺织专项成果简介】

- | | |
|----------------|------------------------|
| 青岛即发集团股份有限公司 | “甲壳素纤维及功能性纺织品研发和产业化”项目 |
| 青岛喜盈门集团有限公司 | “海藻纤维及纺织面料一体化开发”项目 |
| 青岛纺联控股集团有限公司 | “纺织企业现代配棉技术规范”项目 |
| 青岛东佳纺机(集团)有限公司 | “非织造布成套设备”项目 |
| 青岛海珊发展有限公司 | “印染节能及生产回用水”项目 |
| 青岛众地家纺有限公司 | “家用纺织品海外直流分拣信息系统”项目 |

【山东省纺织工程学会 2008 年获奖论文选】

- | | |
|-----------------------|-------------|
| 聚乳酸纤维混纺纱强伸性与混纺比之间的关系 | 杨庆斌 于洪珍 |
| 羊毛纤维 KOH 正丁醇溶液细化工艺的研究 | 王洪燕 潘福奎 赵晓东 |

【青岛市纺织工程学会 会员论文选】

- | | |
|-----------------------|-------------|
| 染色棉品质综合评价模型探讨 | 关永红 邱兆宝 邢明杰 |
| 一种新型抗污染超滤膜在印染废水回用中的应用 | 王希辉 盛亚荔 |

【国家纺织专项成果简介】

纺织行业加快结构调整转变
增长方式国家专项资金项目

青岛市国家纺织专项成果简介

2006年11月23日，财政部、国家发改委联合下文（财企[2006]418号）向青岛市6户企业拨付“纺织行业加快结构调整转变增长方式”专项资金。青岛市承担的纺织专项中，涉及新型纤维原料及产品一条龙开发2项，纺织关键技术装备研发及产业化1项，印染节水节能降耗新技术的开发及应用1项，现代物流信息系统建设1项，现代配棉技术规范1项。6户企业的项目已全部通过专家验收。

青岛即发集团股份有限公司

“甲壳素纤维及功能性纺织品研发和产业化”项目成果简介



甲壳素纤维纺织材料检测实验室

青岛即发集团股份有限公司是国内最大的针织品研发生产基地之一，建立了国家级企业技术中心、CNAS认证的检测中心，拥有中国驰名商标、中国名牌产品和中华老字号称号，通过ISO9001、ISO14001、Oeko-Tex Standard 100认证。综合竞争力连续多年位居同行业前茅。

本项目研究和解决了甲壳素纤维及功能性纺织品生产过程中的关键技术难题，建立了甲壳素纤维功能性纺织品一条龙生产线。

1、研发了高性能甲壳素纤维生产技术工艺，提高了纤维可纺性，织出100%的甲壳素纤维针织布和医用无纺布，填补国内空白。提高了纤维的抑菌性能，生产的纤维对真菌类的抑菌率达到99%以上。

2、发明了天然色素染色甲壳素纤维生产技术，提高了纤维的生物活性，解决了纤维染色技术问题，使产品更加环保。

3、对甲壳素纤维生产进行了监控和工艺数据采集，设计了生产控制程序，并对相关设备进行了改造完善，形成了一条标准化生产线。纤维生产能力由30吨/年达到100吨/年，纤维生产批次合格率达到99%以上。

4、项目实施期间新申请国家发明专利4件，已授权1件。

5、制订和备案了《甲壳素纤维》、《甲壳素原料及纤维标准和测试要求》企业标准，其中《甲壳素纤维》已列入2008年纺织行业标准计划。

6、建立的功能性纺织材料检测实验室于2007年通过中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认证。

本项目一是建成了一条甲壳素纤维自动化生产示范线，提高了生产能力。二是甲壳素纤维功能性纺织品进一步产业化和商品化，形成各种甲壳素纤维混纺纱线 500 吨/年或各种功能面料 500 吨/年，无纺布等材料达到 30 吨/年的生产能力。本项目 2008 年已实现销售 1685 万元，利税 468 万元，出口 52 万美元。本项目的建设符合国内外对高档功能性、生态性、环保性纺织产品的技术发展趋势和市场消费需求。对提高我国纺织产品的技术含量，培育具有自主知识产权纺织出口品牌等，都有积极的意义。用高性能甲壳素纤维加工的贴身内衣、袜子、毛巾等，使用效果更加明显，更适合于制作保健内衣，供皮肤疾病患者穿着作为辅助医疗。也可用于医院用床单、被套、枕套等细菌易感染场所，也更适用于医用辅料，具有广阔的市场前景。

青岛喜盈门集团有限公司

“海藻纤维及纺织面料一体化开发”项目成果简介



海藻纤维生产线现场

青岛喜盈门集团有限公司是以纺织、印染为主业，经营领域涉及橡胶轮胎、包装新材料等多个产业的大型企业，现有职工 4860 人，工程技术人员 1016 人，拥有国家认定企业技术中心、博士后科研工作站，2008 年实现销售收入 36.5 亿元，利税 1.46 亿元，出口创汇 7020 万美元。

项目的主要内容：

1、海藻纤维以海洋化工产品海藻酸钠为原料，通过对纤维级海藻酸盐的提取，对海藻酸钠分子结构等的研究，制备了纤维级海藻酸及海藻酸盐，表证了海藻酸盐纺丝溶液的特性，建立了凝胶纺丝技术，使海藻酸盐高分子的高倍拉伸与凝固成型有机结合，获得了性能良好的海藻纤维。

2、海藻纤维的力学性能达到可纺织加工要求，具有天然阻燃、防辐射、止血、抗菌、美肤、生物相容等功能，用途广泛，具有良好的加工性能。

本项目共申请 7 项发明专利，其中已授权 2 项。形成了自主知识产权的核心技术。

项目的主要效果：

1、该项目成功研发了纤维级海藻酸盐的系列产品，建成 50 吨/年海藻纤维生产线一条。

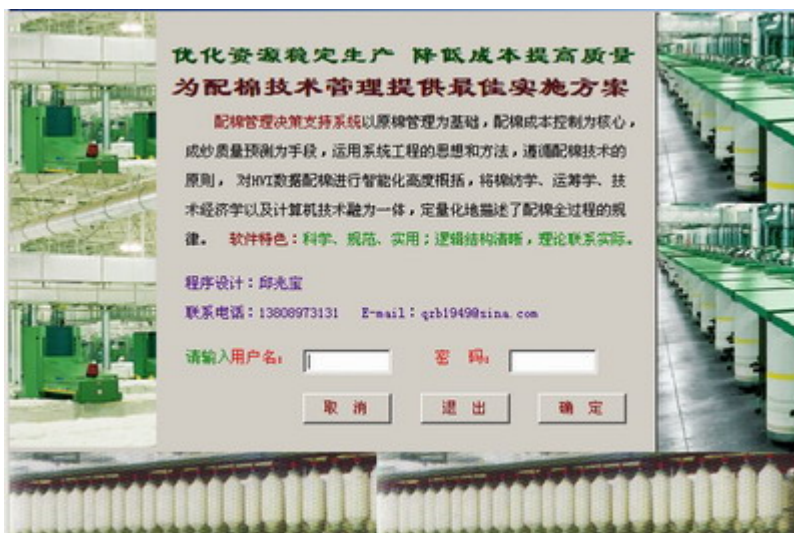
2、海藻纤维采用以水为溶剂的“湿法纺丝”工艺，生产过程无污染、无“三废”，实现了清洁生产。形成了较为完善的海藻纤维生产线，为产业化提供了技术保障。

3、该项目充分利用海洋生物资源，开拓纤维纺织原料的新的来源途径，有效节约土地资源。通过发展该项目，下游可带动传统纺织印染工业的发展，形成以海洋纺织品为特色的更新换代产品，加快纺织产业

技术进步；上游可带动海藻养殖和海藻综合加工业的发展，形成从海藻养殖到海洋纺织品的新型产业链。

海藻纤维具有其它纤维所不能比拟的功效，对中国纺织行业的健康发展具有重要的拉动作用，满足人们追求时尚、健康、环保的生活理念。对提高我国纺织品在国际市场的竞争能力，对纺织产业结构调整，振兴纺织产业具有重大意义，对消防、军事、环境等产业发展有重要影响，可产生重大社会效益，蕴涵巨大经济效益和社会效益。

青岛纺联控股集团有限公司 “纺织企业现代配棉技术规范”项目成果简介



配棉技术管理软件界面

青岛纺联控股集团有限公司创立于 2002 年 11 月，是以纺织为主业，集纺织实业、海外事业、国际贸易、现代物流、房地产投资为一体的综合性集团公司。公司注册资本 3800 万元，资产总额 40311 万元。

“纺织企业现代配棉技术规范”课题组成员来自青岛纺联控股集团、青岛市纺织工程学会；青岛大学、山东省纺织科学研究院、青岛市纺织纤维检验所；青岛纺联集团一、六、八棉；陕西长岭软件开发有限公司、山东大海集团、山东东营宏远纺织有限公司。

国务院批准实行的《棉花质量检验体制改革方案》是一项庞大的、复杂的系统工程，必将对棉纺织企业的配棉技术产生深刻的变革。研究 HVI 检验指标在纺纱工艺中的作用和对纺织产品性能价值的影响，正确使用 HVI 指标，并直接用于纺织生产，改变相对落后的按感官检验结果配棉的方式，对促进棉纺织企业技术进步以及利用信息化改造传统行业，改进和完善棉纺织企业合理购棉、科学配棉、稳定生产，降低成本，提高产品质量有着重要的技术经济意义。

课题研究的主要内容：

以原棉管理为基础，配棉成本控制为核心，成纱质量预测为手段，综合运用系统工程的思想和方法，遵循配棉技术原则，对 HVI 数据配棉进行智能化高度概括，将棉纺学、运筹学、模糊数学、技术经济学以及计算机技术融为一体，量化地描述配棉全过程的规律，并以此形成以棉纤维和纱线质量检测为主体的在线网络化棉纺质量工艺专家指导基础系统。该系统有利于实现配棉技术信息化、智能化和规范化。

课题研究的主要创新点：

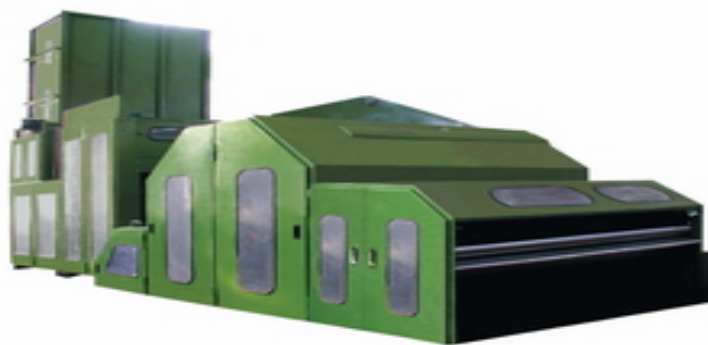
1. 运用模糊数学对原棉品质进行综合评价分析，确定细绒棉与长绒棉的配棉技术品级的划分及其连续性。
2. 运用系统工程的思想建立包括接批棉在内的完整的配棉数学模型，并从理论与实践的结合上对模型的求解进行独具特色的分析。
3. 运用动态权系数建立动态成纱质量组合预测模型，优化函数类型的方法实用有效。

4. 发挥程序设计语言与办公自动化软件的优势，搭建各类数据交换平台，配棉软件操作简易、灵活。

5. 配棉软件与 HVI 测试仪、纱线质量测试仪在线网络一体化，数据共享与实时分析。

配棉软件已在有关企业正式使用。

青岛东佳纺机（集团）有限公司 “非织造布成套设备”项目成果简介



BG212 型非制造布梳理机

青岛东佳纺机（集团）有限公司是由原青岛胶南纺织机械厂改制的民营企业，原厂始建于 1952 年，现集团公司总资产 3.5 亿元，员工 1000 人，占地面积 360 亩，涉及机械、房地产及物业、服装加工、毛纺织等行业。

非织造布成套设备开发了针刺法、喷胶棉法、热风法和熔喷法非织造布成布工艺及设备技术先进，设计合理，具有以下创新性：

1、自动检测系统：该技术为保持原料喂入均匀和连续性，分别在上毛箱、下毛箱、振动箱外侧装有两组对射式光电管，用来控制毛箱料位的高低和密度；采用碳帘两侧安装红外传感装置自动检测帘子的跑偏，并设帘子自动纠偏装置。

2、梳理成网及固结成布工艺及技术：输送平帘与斜帘之间的传动，设有单项步进装置，控制输送平帘低速单方向运动，来保证原料喂给的工艺要求。新型步进式减速传动装置已获国家专利；喂入采用两对喂入罗拉，前罗拉上方两端分别装有加压装置，可以加强对纤维的握持力，提高开松辊对纤维的开松效果。为防止金属物和硬质物进入梳理区域，在喂毛辊轴端分别装有金属物探测装置和硬质物防轧装置。

3、整机电气控制系统：电气控制系统采用 PROFIBUS 现场总线控制系统，通过 PROFIBUS 总线，PLC 直接与伺服控制系统通信，可方便完成对驱动机构的监测及操作；采用高新技术产品触摸屏，实现整个控制过程的可视化；采用先进的伺服控制系统，电机与伺服控制系统之间采用闭环控制，设备运行速度稳定，主传动辊转矩恒定，铺网换向快捷。

该项目已申请和授权的专利有 7 项，其中发明专利 1 项。分别是：非织造布梳理机，专利号：ZL200320107015.5；喂毛机用档毛板机构，专利号：ZL03215774.6；梳理机械用成条装置，专利号：ZL03215773.8；新型步进式减速传动装置，专利号：ZL200520080297.3；新型针刺机，专利号：ZL200620080570.7；交叉铺网机，专利号：ZL200620080569.4；梳理机平帘式定量输入机构，申请号：200710014410.1。

该项目自销售单机开始到目前为止，累计销售 100 台套，实现销售收入 15000 万元，利税 2300 万元。同时该项目完成后已初步形成我国非织造布研发、试制、生产基地，并已打入国际市场。

青岛海珊发展有限公司 “印染节能及生产回用水”项目成果简介



生产回用水中水站

青岛海珊发展有限公司位于青岛市城阳区青大工业园内，建筑面积 25000 多平方米，主要生产高档提花、缎档、剪绒、印花等代表国际水平的巾被类织物，产品主要出口日本、澳大利亚、欧洲、美洲等地区，年生产能力 1500 吨，其中 97% 的产品出口。

项目的主要创新点：

1. 该项目的核心设施“超滤(UF)膜”采用了有机高分子合金技术，表面改性技术和不对称成孔技术生产出的具有极强机械强度，化学相溶性和耐污染性的截留分子量为 1000dalton 的中空纤维超滤膜，保证了印染节能和生产回用水项目的稳定运行。

2. 该项目主体工艺为“固液分离器+超滤膜+反渗透膜”，具有出水水质稳定，系统操作劳动强度低，设备维修率低，系统运行费用低等特点。

3. 该系统为模块组装式，安装方便，工期短，不受地理环境的制约，自动化程度较高，易形成产业化。

该项目具有广泛的推广应用前景和显著的社会经济效益，对节能减排、减少环境污染、实现清洁生产、降低成本有着重要的技术经济意义。

青岛众地家纺有限公司 “家用纺织品海外直流分拣信息系统”项目成果简介

青岛众地家纺有限公司前身为青岛中地纺织品有限公司，建于 2004 年 3 月，位于青岛平度市工业新区，是由众地集团有限公司与日本阳光寝装株式会社共同出资兴建的一家中日合资企业。公司主要从事中高档家用纺织品的研发、生产、销售及物流配送。产品品种主要有被套、褥套、枕套、手工绗棉被、绗缝床垫、绗缝被、靠垫、儿童七件套、毛绒被等。

该项目属于纺织行业公共信息服务平台建设领域，是在家用纺织品生产的基础上，构建纺织品海外直流分拣信息平台。

1. 该项目运用信息技术搭建家用纺织品信息服务平台，直接根据海外超市的需求信息，组织本公司和协作加工企业的生产，分拣后直接发送海外超市。物流信息技术将生产商和销售网点有机地连接起来，及时收集产品在世界各地的销售信息，准确把握市场动态，及时组织生产，真正做到了以市场为导向，实现供产销一体化。

2. 利用搭建的家用纺织品信息服务平台, 可以根据产品销售情况尽快做出正确的市场预测, 设计生产出符合市场发展要求的家用纺织品, 加快家用纺织品的市场转化率, 在市场竞争中取得先机。

3. 利用网络信息资源发展家纺产业, 及时了解家纺产品市场动态, 对促进我国家纺产业结构调整, 转变增长方式, 规避市场风险, 降低成本, 提高行业的综合效益, 构建以龙头企业带动行业发展为基础的家纺产业可持续发展体系等具有重要意义。

通过实施分拣系统, 使搭配装箱的准确率达到了 99%, 缩短了库存积压时间, 减少了人力成本和时间成本, 经综合计算, 每年可节省成本费用 200 多万元。



系统分检线

【山东省纺织工程学会 2008 年获奖论文选】

聚乳酸纤维混纺纱强伸性与混纺比之间的关系

杨庆斌 于洪珍

(1.青岛大学纺织服装学院, 山东 青岛 266071; 2.青岛市纺联控股集团公司, 山东 青岛)

摘要: 为了研究聚乳酸纤维混纺纱的强伸性与混纺比之间的关系, 对各种不同混纺比例的聚乳酸纤维/莫代尔、聚乳酸纤维/棉混纺纱的强伸性做了测试分析, 并与传统的简化模型做了对比, 结果表明, 聚乳酸纤维混纺纱的强伸性与混纺比之间的关系并不完全符合简化模型, 主要是由于混纺纱中两种纤维的交互作用所产生。

关键词: 聚乳酸纤维; 强度; 混纺比; 混纺纱

The Relationship Between the Strength and Blended Ratio of PLA Fiber Blended Yarn

Yang Qing-bin¹, YU Hong-zhen²

(1.College of Textile and apparel, Qingdao University, Shandong, Qingdao 266071, China; 2.Qingdao Textile unite corporation)

Abstract: In order to analysis the relation between the strength and elongation and the blended yarn of PLA fiber blended yarn, the strength and elongation of PLA fiber/Modal and PLA fiber/cotton blended yarn with different blended ratio were measured and compared with the simple model. The results indicated that the relationship

between the strength and the blended ratio of blended yarn was not completely in accordance with the simple model.

Key words: PLA fiber; strength; blended ratio; blended yarn

混纺纱线的力学性能，被许多学者研究，其中大多数学者关注对生产具有实际指导意义的断裂强力的预测。Hamburger^[1]是预测混纺纱理论强度的开拓者，分析了两种不同拉伸性质的纤维混纺时，混纺纱的断裂强度与混纺比之间的关系。Kemp和Owen^[2]对锦 60/棉 40 的混纺纱进行了实验观察，得出棉纤维平均长度和断裂次数与混纺纱伸长率之间的关系。Gupta^[3]等考虑了由于加捻后纤维倾斜的作用，导出了两种纤维混纺纱的强度表达式。Ratnam^[4]等研究了双组分混纺纱的最优捻度，以得到最佳混纺纱强度，潘宁^[5]提出短纤纱中混纺比与混纺纱力学性能之间的关系。费培兴^[6]研究了Lyocell纤维混纺纱强度与混纺比之间的关系。本文是在前人研究的基础上，研究聚乳酸纤维与莫代尔、棉混纺时其混纺纱强度与混纺比之间的规律，对实际生产和产品开发具有重要的指导意义。

1 实验方法及实验条件

1.1 实验材料

纺纱时所采用的原料规格见表 1。

表 1 纤维原料规格

项目	聚乳酸纤维	莫代尔	棉
细度(dtex)	1.67	1.67	1.67
长度(mm)	38	38	29
强度(cN. dtex ⁻¹)	4.4	3.94	2.57
伸长率 (%)	25.1	15.8	7.4
产地	台湾	进口	山东

所纺制成的纱线规格如下：

聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱：其混纺比分别为 P/M30/70、P/M 40/60、P/M 50/50、P/M 70/30、P/M 80/20；聚乳酸纤维/棉混纺纱：其混纺比分别为 P/C 30/70、P/C 40/60、P/C 50/50、P/C 60/40、P/C 70/30、P/C 80/20、P/C 90/10；纯棉纱，纯莫代尔纱，纯聚乳酸纱线。各种纱线的细度均为 18 特，捻系数均为 320。

1.2 实验仪器及实验条件

单纤维强力测试：LLY-06E 电子单纤维强力仪。

实验条件：温度：20℃，相对湿度：65%，夹持距离：10mm，拉伸速度：10mm/min；预加张力：0.2 cN；测试数量：50 根。

单纱强力的测定：YG061 电子单纱强力仪，根据 GB/3916-83 标准测试不同混纺比的聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱、聚乳酸纤维/棉混纺纱以及纯聚乳酸纱、纯棉纱、纯莫代尔纱的强伸性能。

实验条件：温度：20℃，相对湿度：65%，夹持距离：500 mm，拉伸速度：500mm/min，预加张力：10cN，测试数量：50 根。

2 实验结果分析

2.1 聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱线的拉伸性能

2.1.1 聚乳酸纤维和莫代尔纤维纯纺纱的拉伸曲线分析

根据单纱强力试验仪可得到聚乳酸纤维和莫代尔纤维纯纺纱拉伸曲线如图 1 所示。从图 1 中可以看出，聚乳酸纤维和莫代尔纤维属于断裂强度和断裂伸长率均不相同的两种纤维混纺，混纺纱拉伸时，莫代尔纤维首先断裂，此时聚乳酸纤维发挥较小的应力，按照混纺纱的简化模型理论聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱强度与聚乳酸纤维含量之间的关系如图 3 实线所示。

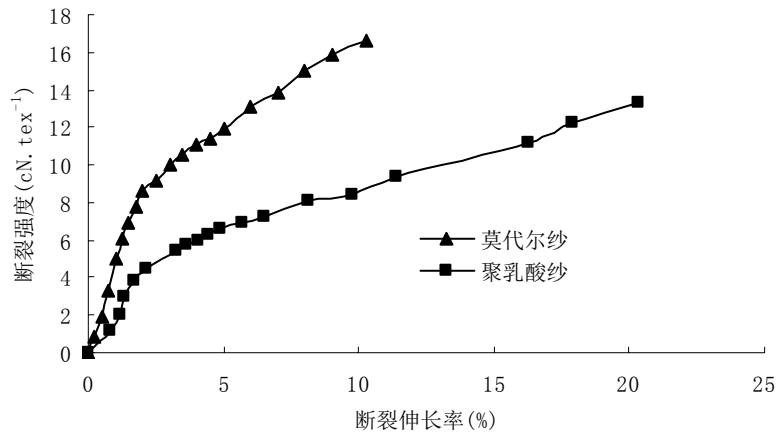


图 1 聚乳酸纤维和莫代尔纤维纯纺纱拉伸曲线

依据单纤维强力仪可得聚乳酸纤维和莫代尔纤维的拉伸曲线如图 2 所示。

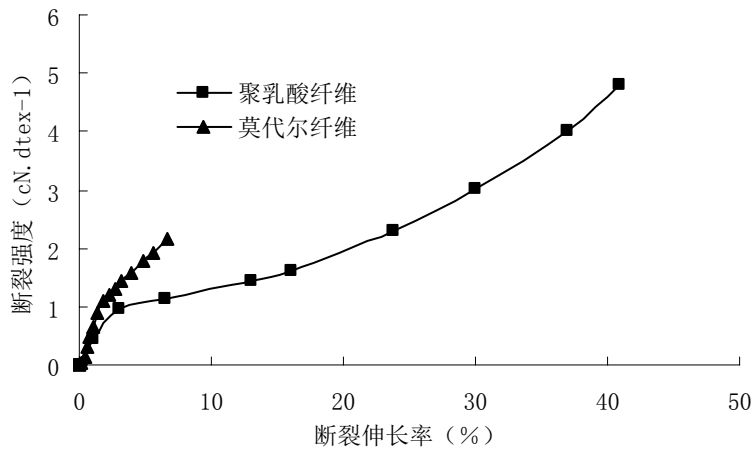


图 2 聚乳酸纤维和莫代尔纤维拉伸曲线

2.1.2 聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱强伸性能实测结果

各种聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱强伸性能测试结果，如表 2 所示。

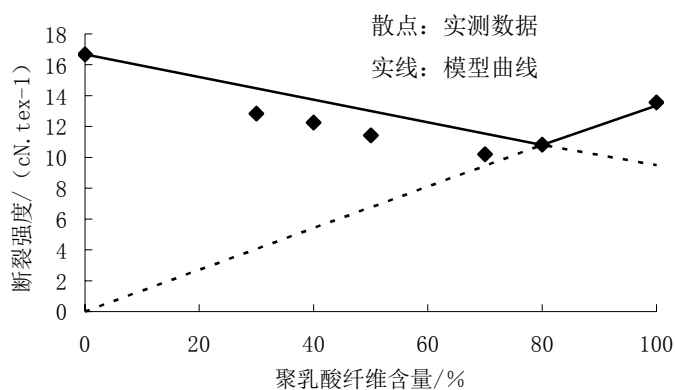
表 2 不同混纺比聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱的强伸性能

聚乳酸/莫代尔混纺比/%	断裂强度 /cN.tex ⁻¹	强力变异系数/%	断裂伸长率/%	伸长变异系数/%	初始模量 /cN.tex ⁻¹	断裂功 /mJ.tex ⁻¹
P/M 0/100	16.67	7.014	10.754	7.553	0.037	115.771
P/M 30/70	12.832	6.876	5.9573	11.563	0.023077	48.8194
P/M 40/60	12.256	9.958	5.8858	12.506	0.021538	38.6352
P/M 50/50	11.425	10.287	6.734	11.691	0.018718	35.1118
P/M 70/30	10.206	8.81	10.1693	18.095	0.016667	60.5056
P/M 80/20	10.825	13.792	18.0895	18.153	0.018385	119.7932
P/M 100/0	13.557	8.501	20.9853	10.615	0.024103	150.2142

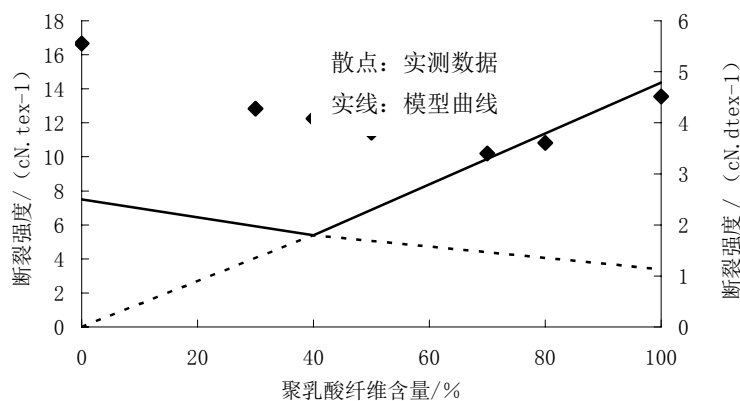
2.1.3 实验结果与模型对比分析

从表 2 和图 3 可以看出聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱强度与聚乳酸纤维含量间的关系总体趋势与模型曲线所描述的趋势基本一致，但聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱的实测强度低于模型所表达的强度值，这主要是由于聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱中的两种纤维之间的交互作用的负面效应所引起的，由于聚乳酸纤维和莫代尔纤维表面光滑，摩擦系数较小，故混纺纱实测强度低于模型强度^[5]。聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱强度在聚乳酸纤维含量为 60-80%时有劣化的趋势。为了进一步验证聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱的强度与混纺比之间关系，做出聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱的初始模量和断裂功随混纺比的变化曲线见图 4，从图中可以看出聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱的初始模量和断裂功随聚乳酸纤维含量的变化呈下凹曲线，说明混纺纱的强伸性在聚乳酸

纤维含量为 70%~80%时, 有劣化的趋势, 故其混纺纱强度随聚乳酸纤维含量的变化规律应该与前面理论分析 (图 3) 的结果一致。这种吻合, 说明上述对聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱强度与混纺比之间关系的分析是正确的。



(a) 依聚乳酸和莫代尔纯纺纱拉伸曲线的模型曲线和实测数据



(b) 依聚乳酸纤维和莫代尔纤维拉伸曲线的模型曲线和实测数据

图 3 聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱强度与聚乳酸纤维含量之间关系

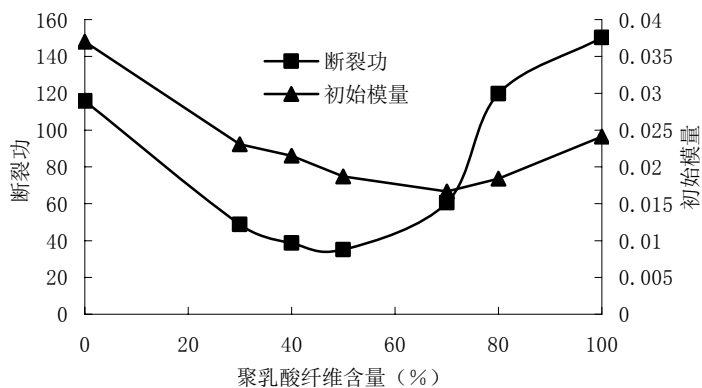


图 4 聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱初始模量和断裂功比较

2.2 聚乳酸纤维/棉混纺纱的拉伸性能

2.2.1 聚乳酸纤维和棉纤维纯纺纱的拉伸曲线分析

根据单纱强力试验仪可得到聚乳酸纤维和棉纤维纯纺纱拉伸曲线如图 5 所示。从图 5 中可以看出，聚乳酸纯纺纱和纯棉纱的断裂强度相差不大，断裂伸长率相差较大，混纺纱在拉伸的过程中棉纤维首先断裂，此时聚乳酸纤维发挥较小的应力，依据混纺纱的简化模型曲线聚乳酸纤维/棉混纺纱与聚乳酸纤维含量之间的关系如图 7 实线所示。

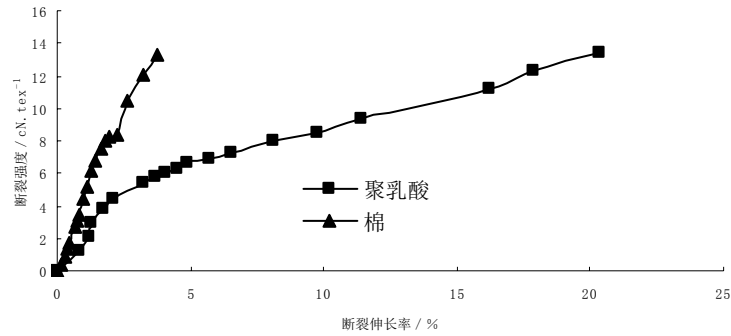


图 5 聚乳酸纤维和棉纤维纯纺纱的拉伸曲线

根据单纤维强力仪可得聚乳酸纤维和棉纤维的拉伸曲线如图 6 所示。由单纤维的拉伸曲线，亦可以观察到聚乳酸纤维和棉纤维混纺纱在拉伸时棉纤维首先断裂，此时聚乳酸纤维发挥较小的应力。

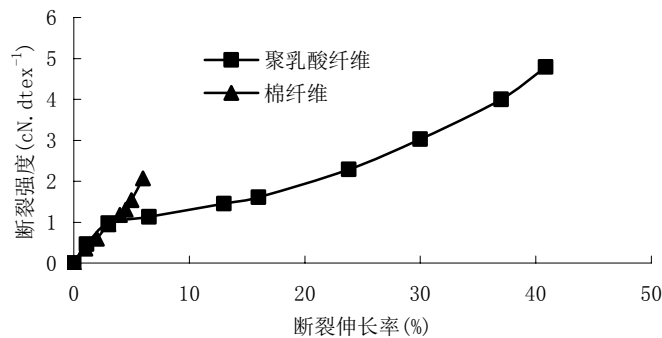


图 6 聚乳酸纤维和棉纤维的拉伸曲线

2.2.2 聚乳酸纤维/棉混纺纱强伸性能实测结果

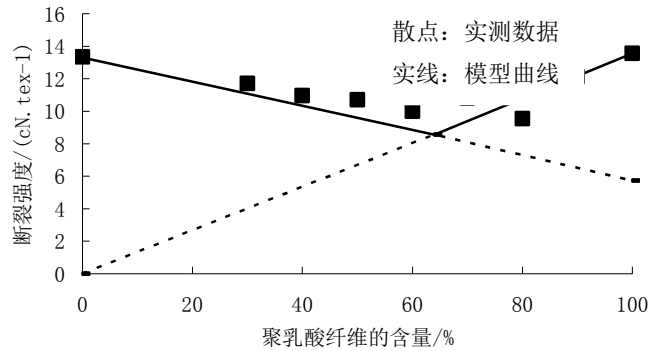
聚乳酸纤维/棉混纺纱强度与混纺比关系数据如表 3 所示。由表 3 所示数据可得聚乳酸纤维/棉混纺纱强度与混纺比关系曲线如图 7 所示。

表 3 聚乳酸纤维/棉混纺纱强伸性能与混纺比间关系

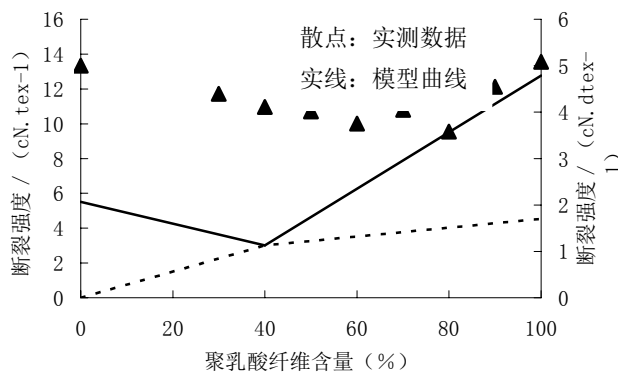
聚乳酸/棉混纺比 /%	平均断裂强度 /cN.tex ⁻¹	强力变异系数/%	平均伸长率 /%	伸长变异系数/%	初始模量 /cN.tex ⁻¹	断裂功 /mJ.tex ⁻¹
P/C 0/100	13.337	8.911	3.65625	9.577	0.030513	36.6818
P/C 30/70	11.717	9.826	5.50875	9.852	0.018974	28.5215
P/C 40/60	10.958	11.222	5.51525	10.081	0.018718	27.7559
P/C 50/50	10.711	8.109	5.83375	10.255	0.018462	24.5978
P/C 60/40	10.003	7.902	7.8585	12.967	0.015385	43.6247
P/C 70/30	10.795	5.801	12.896	26.725	0.015385	85.7907
P/C 80/20	9.549	9.319	19.4155	19.242	0.014615	119.9527
P/C 90/10	12.118	11.519	19.7925	11.205	0.017077	134.3222
P/C 100/0	13.557	8.501	20.98525	10.615	0.018103	150.2142

2.2.3 实验结果与模型对比分析

由表 3 和图 7 可以看出，聚乳酸纤维/棉混纺纱强度随大豆蛋白纤维含量的变化规律与模型中所表达的规律比较接近，实测聚乳酸纤维/棉混纺纱强度要大于模型中所表达的混纺纱强度，说明聚乳酸纤维/棉混纺纱的实测强度与简化模型不一致，主要是因为聚乳酸纤维/棉混纺纱中棉纤维的天然转曲提供了良好的抱合力，使聚乳酸纤维与棉纤维之间的交互作用大大加强，故聚乳酸纤维/棉混纺纱强度提高较大。而当聚乳酸纤维的含量较高时，混纺纱实测强度与模型曲线非常接近，主要是棉纤维含量少，聚乳酸纤维表面光滑，抱合力较差，交互作用较小所致。



(a) 依聚乳酸和棉纯纺纱拉伸曲线的模型曲线和实测数据



(b) 依聚乳酸纤维和棉纤维拉伸曲线的模型曲线和实测数据

图 7 聚乳酸纤维/棉混纺纱强度与聚乳酸纤维含量关系

为了进一步验证聚乳酸纤维/棉混纺纱强度与混纺比之间的关系，做出聚乳酸纤维/棉混纺纱的初始模量和断裂功随聚乳酸纤维含量的变化曲线，见图 8，从图 8 中可以看出聚乳酸纤维/棉混纺纱的初始模量和断裂功随聚乳酸纤维含量的变化规律与混纺纱断裂强度随聚乳酸纤维含量的变化规律非常吻合，说明上述对聚乳酸纤维/棉混纺纱强度与混纺比之间的关系的分析是正确的。

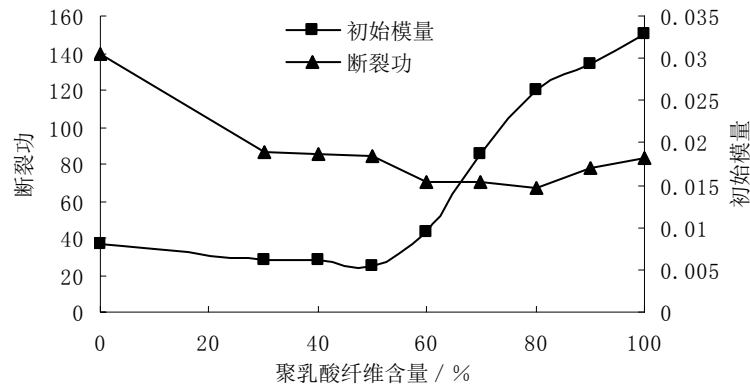


图8 聚乳酸纤维/棉混纺纱初始模量和断裂功比较

3 结论

3.1 通过对7种不同混纺比例的聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱和9种不同混纺比例的聚乳酸纤维/棉混纺纱强度与混纺比之间关系的实测分析表明,聚乳酸纤维混纺纱的强度与混纺比之间的关系并不完全符合简化模型。聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱强度与混纺比之间的关系与简化模型的趋势基本一致,但实测强度值小于模型值,这是由于两种纤维表面光滑交互作用的负面效应所致。聚乳酸纤维/棉混纺纱的强度较模型值要高得多,这主要是因为混纺纱中两种纤维存在着交互作用,交互作用越大,差异越大。聚乳酸纤维/棉混纺纱中棉纤维抱合力较大,故混纺纱强度交互作用更显著。

3.2 通过对聚乳酸纤维/莫代尔、聚乳酸纤维/棉混纺纱的初始模量、断裂功与混纺纱强度的对比分析,可以得出,两种混纺纱初始模量和断裂功随混纺比的变化趋势基本一致,这进一步证明上述结论是正确的。

3.3 对于聚乳酸纤维/莫代尔混纺纱,当聚乳酸纤维的含量为70-80%时,其强度有劣化的趋势;对聚乳酸纤维/混纺纱,当聚乳酸纤维的含量为60%左右时,其强度有劣化的趋势。可以从产品的要求和混纺纱强度与混纺比之间的关系去考虑选择适宜的混纺比。

参考文献

- [1] Hamburger, W. J. The Industrial Application of the Stress-strain Relationship[J]. J. Text. Inst., 1949,40: P700-P720.
- [2] Kemp A., Owen J. D. The Strength and Behaviour of Nylon/Cotton Blended Yarns Undergoing Strain[J]. J. Text. Inst., 1955,46, T684-T698.
- [3] Gupta D. K., EL-shiekh A. The Mechanics of Blended Yarns[J]. Applied Polymer Symposium, 1975 (2): 295-316.
- [4] Ratnam, T.V., Shankaranarayana, K. S., uanderwood, C. Prediction of the Quality of Blended Yarns from that of the Individual Components[J]. Textile Res. J., 1968, 38 (4): 360-365.
- [5] Ning Pan. Development of a Constitutive Theory for Short-fiber Yarns, Part IV, The Mechanics of Blended Fibrous Structures[J]. J. Text.. Inst., 1996, 87 (3): 467-483.
- [6] 费培兴, 张建春. Lyocell 纤维混纺纱强度与混纺比关系研究[J]. 纺织学报, 2002, 23 (2): 10-13.

羊毛纤维 KOH 正丁醇溶液细化工艺的研究

王洪燕, 潘福奎, 赵晓东

(青岛大学 纺织服装学院, 山东青岛 266071, 中国)

摘要: 用二次回归旋转组合设计方法, 研究了羊毛纤维 KOH 正丁醇溶液细化工艺, 建立了 KOH 正丁醇溶液浓度、处理时间和渗透剂浓度三个主要因素与处理后羊毛纤维细度、断裂强力、断裂伸长率、减量率的数学模型。并利用多目标灰色局势决策求出其最优工艺参数。结果表明, 当 KOH 正丁醇溶液浓度为 7.2%, 处理时间为 7.7h、渗透剂浓度为 0.13%时, 细化效果最好。

关键词: 羊毛纤维; KOH 正丁醇溶液; 细化; 二次通用旋转组合设计; 最优工艺

中图分类号: TS190.643 **文献标识码:** A

Research on the Alkaline Organic Solution Slenderizing Process for Wool Fiber

WANG Hong-yan, PAN Fu-kui, ZHAO Xiao-dong

(College of Textiles and Fashion of Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract: The Alkaline Organic Solution Slenderizing Process for Wool Fiber was investigated with quadratic regression rotation composite design and a mathematical model was set up of the fineness, breaking strength and breaking elongation related to the three major factors of the concentration of the KOH n-butanol solution, treatment time and the concentration of the penetrating agent. The optimum process parameters were obtained with the method of decision of multi-objective gray situation. The results show that the best slenderizing was achieved when the concentration of the KOH n-butanol solution was 7.2%, treatment time 7.7h; and the concentration of the penetrating agent 0.13%.

key word: wool fiber; KOH n-butanol solution; slenderizing; quadratic regression rotation composite design; optimum process

前言

羊毛纤维作为一种天然的蛋白质纤维, 是纺织纤维中的精品。随着人民生活水平的提高及生活方式的改变, 服装向轻薄化、舒适化、休闲化、功能化、高档化方向发展^[1]。毛纺织品穿着的刺痒感和不适感是影响其使用的主要原因之一, 究其原因主要是由于羊毛纤维整体偏粗且细度离散大造成的, 而细支羊毛(直径 19 μ m以下)主要产自澳大利亚, 且数量有限, 价格昂贵。因此, 羊毛纤维的细化是影响毛纺织产品开发的一项重要技术^[2]。改性后的细羊毛织物具有类似山羊绒织物的手感和风格, 这样可以充分利用我国的羊毛资源, 提高羊毛产品的附加值, 满足人们对服用舒适性能的要求^[3]。在羊毛细化的诸多方法中, 碱有机溶液处理法不失为一种好方法。这种方法虽然有前人研究过, 但没有提供详细的实验数据及可行的细化工艺。本文采用二次回归旋转组合设计方法, 研究了羊毛纤维KOH正丁醇溶液细化工艺, 建立了KOH正丁醇溶液浓度、处理时间和渗透剂浓度三个主要因素与处理后羊毛纤维细度、断裂强力、断裂伸长率、减量率的数学模型。并利用多目标灰色局势决策求出其最优工艺参数。

作者简介: 王洪燕 (1983-), 女, 山东滨州人, 青岛大学纺织服装学院在读硕士研究生。

导师简介: 潘福奎 (1961-), 男, 青岛大学纺织服装学院, 教授, 博士。E-mail: pfkui@163.com

1 实验

1.1 实验原料

1.1.1 羊毛材料

细度为 22.65 μm 的国产绵羊毛。

1.1.2 试验试剂

KOH、正丁醇、浓硫酸、乙醇、快速渗透剂 F686。

1.2 试样处理方法^[4]

将配制好的 KOH 正丁醇溶液倒入烧杯中，放入待处理的羊毛纤维，处理一定时间后取出，用硫酸酒精溶液中和后先用乙醇冲洗掉纤维上的胶状物再用水冲洗，然后放入烘箱中(110 $^{\circ}\text{C}$)烘干。

1.3 减量率的测定

得到处理前后纤维的干重后，用下面的公式计算减量率：

$$\text{减量率}(\%) = \frac{\text{处理前纤维干重} - \text{处理后纤维干重}}{\text{处理前纤维干重}} \times 100\%$$

1.4 试样处理前后鳞片形态的观察

制作羊毛纤维纵向切片，用扫描电子显微镜(1000 倍)观察处理前后鳞片形态的变化情况。

1.5 试样细度的测试

采用普通生物显微镜(1000 倍)测量试样的细度，每组测 400 根。

1.6 试样力学性能的测试

用 YG001N 型单纤维电子式强力仪测试试样的力学性能变化情况。试样条件如下：拉伸速度：20mm/min；预加张力：0.4CN；拉伸距离：10mm；测试次数：50

2 实验设计与数学模型的建立^[5]

2.1 实验设计

本实验采用三因素二次回归通用旋转组合设计方法，所使用的基本模型是二次多项式非线性回归模型，如公式 1 所示。

$$Y = b_0 + b_i X_i + b_{ii} X_i^2 + b_{ij} X_i X_j, \quad i=1,2,3; \quad j=1,2,3; \quad i \leq j \quad (1)$$

式中 $X_i (i=1,2,3)$ 分别代表碱有机溶液细化工艺参数中的 KOH 浓度、处理时间和渗透剂浓度。对各因素进行编码，见公式 2~3 和表 1。

$$X_{0i} = \frac{X_{1i} + X_{2i}}{2} \quad (2)$$

$$\Delta_i = \frac{X_{2i} - X_{0i}}{\gamma} \quad (3)$$

式中 X_{0i} 、 X_{1i} 、 X_{2i} 分别为第 i 各因子的零水平和上下限， Δ_i 为其变化区间。其中星号臂 $\gamma=1.682$ 。

表 1 因子水平编码表($\gamma=1.682$)

因子	水平				
	$+\gamma$	+1	0	-1	$-\gamma$
KOH浓度 (x_1)/%	8	7.2	6	4.8	4
处理时间 (x_2)/h	8.5	7.7	6.5	5.3	4.5
渗透剂浓度 (x_3)/%	0.15	0.13	0.1	0.07	0.05

组合设计的实验次数:

$$N=m_c+2p+m_0 \quad (4)$$

其中, N: 根据通用旋转组合设计的实验次数

m_c : 分布在半径为 $\rho_c=p^{1/2}$ 的球面上的点数

m_0 : 分布在半径为 $\rho_0=0$ 的球面上的点数

p : 通用旋转组合设计的因子数, 本实验中 $p=3$

依据本实验的具体情况, 在 $m=2p$ 情况下, 根据旋转性要求确定 $\gamma=2p/4$, 即取星号臂 $\gamma=1.682$ 。再根据能用性的要求, 适当选取中心点实验次数, 二次通用旋转组合设计三因子情况下, 中心点实验次数 m_0 应为 6。所以本实验按该方法设计的总实验次数: $N=m_c+2p+m_0=8+6+6=20$ 。

根据三因子二次通用旋转组合设计的要求, 排出三因子二次通用旋转组合设计结果矩阵表, 如表 2 所示。

表 2 三因子二次通用旋转组合设计结果矩阵表

实验号	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1
4	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
5	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1
7	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

9	+1	- γ	0	0	0	0	0	γ^2	0	0
10	+1	+ γ	0	0	0	0	0	γ^2	0	0
11	+1	0	- γ	0	0	0	0	0	γ^2	0
12	+1	0	+ γ	0	0	0	0	0	γ^2	0
13	+1	0	0	- γ	0	0	0	0	0	γ^2
14	+1	0	0	+ γ	0	0	0	0	0	γ^2
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.1 数学模型的建立

实验结果如表 3 所示。

表 3 实验结果

方案	细度/ μm	断裂强力/cN	断裂伸长率%	减量率/%
1 [#]	21.13	5.36	42.33	3.88
2 [#]	21.2	5.43	42.25	2.5
3 [#]	21.37	5.74	38.56	3.32
4 [#]	21.45	5.8	38.42	1.9
5 [#]	21.47	5.65	39.73	3.49
6 [#]	21.58	5.72	39.21	1.86
7 [#]	22.89	5.94	37.41	3.03
8 [#]	23.04	6.04	37.42	1.08
9 [#]	23.16	5.98	41.07	2.47
10 [#]	20.98	5.4	42.86	3.47
11 [#]	22.41	6.13	35.64	2.26
12 [#]	21.42	5.24	40.86	3.11
13 [#]	22.26	5.87	39.78	1.18
14 [#]	21.54	5.31	40.09	3.99
15 [#]	21.77	5.65	39.63	2.59
16 [#]	22.06	5.7	39.46	2.66

17 [#]	21.77	5.67	39.45	2.45
18 [#]	22.29	5.67	39.28	2.71
19 [#]	21.89	5.52	39.15	2.63
20 [#]	21.99	5.63	38.78	2.06

根据表 3 中的实验结果，分别以细度、断裂强力、断裂伸长率和减量率为目标函数Y，下面建立它们对KOH浓度（X₁）、处理时间X₂）和渗透剂浓度（X₃）的数学模型。

2.1 回归方程的模型

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2$$

2.2 求回归系数

利用 Matlab 编程对上述回归模型的回归系数进行计算，结果见表 4。

表 4 各考察指标的回归系数

指标	回归系数									
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
细度	21.9680	-0.5489	-0.3687	-0.1187	0.2988	0.0137	0.0062	-0.0029	-0.0577	-0.0631
断裂强力	5.6382	-0.1461	-0.2092	-0.0909	-0.0175	0.0050	0.0025	0.0291	0.0273	-0.0063
断裂伸长率	39.3137	0.7908	1.5002	0.0916	0.4362	-0.0362	0.0587	0.8018	-0.5118	0.0840
减量率	2.5208	0.2798	0.2804	0.8132	-0.0100	-0.0975	-0.0450	0.1333	0.0325	-0.0029

2.3 回归方程的显著性检验

利用 Matlab 编程对上述回归模型的回归方程进行检验，结果见表 5。

表 5 回归方程的显著性检验结果

指标	显著性水平		各有变量				显著与否
	α_1	α_2	F_1	F_2	F_{α_1}	F_{α_2}	
细度	0.05	0.05	1.8197	13.9624	5.0503	3.0204	显著
断裂强力	0.05	0.05	5.0495	9.4369	5.0503	3.0204	显著
断裂伸长率	0.05	0.05	4.8714	23.2857	5.0503	3.0204	显著
减量率	0.05	0.05	0.2675	34.9688	5.0503	3.0204	显著

2.4 回归系数的检验与剔除

经过方程的显著性检验后，再对回归系数进行检验，剔除不显著的回归系数，得出实验中各目标函数的有效回归方程，见表 6。

表 6 有效回归方程

指标	有效回归方程
细度	$y_{\text{细度}} = 21.9680 - 0.5489x_1 - 0.3687x_2 - 0.1187x_3 + 0.2988x_1x_2 - 0.0577x_2^2 - 0.0631x_3^2$

$$\text{断裂强力} \quad Y_{\text{断裂强力}}=5.6382-0.1461x_1-0.2092x_2-0.0909x_3+0.0291x_1^2+0.0273x_2^2$$

$$\text{断裂伸长率} \quad Y_{\text{断裂伸长率}}=39.3137+0.7908x_1+1.5002x_2+0.0916x_3+0.4362x_1x_2+0.8018x_1^2-0.5118x_2^2+0.0840x_3^2$$

$$\text{减量率} \quad Y_{\text{减量率}}=2.5208+0.2798x_1+0.2804x_2+0.8132x_3-0.0975x_1x_3-0.0450x_2x_3+0.1333x_1^2-0.0325x_2^2$$

3 结果与讨论

3.1 各因素及其交互作用与处理后羊毛细度的关系

3.1.1 主效应分析

回归模型本身已经过无量纲形编码代换，其回归系数已经标准化，不受因素取值的大小和单位的影响，故可以直接从其绝对值的大小来判断各因素对目标函数的相对重要性^[6]。从表 4 可以得到三因素对处理后羊毛细度的影响程度次序为：KOH浓度> 处理时间> 渗透剂浓度。

3.1.2 单因素分析

将回归模型中三个因子中的两个固定在零水平，求得单因素与羊毛细度的回归方程，根据这些方程描绘出单因素对细度的影响曲线^[6]，如图 1 所示。

从图 1 可以看出，随着 KOH 浓度的增加，处理后羊毛的细度几乎呈直线下降，说明用碱量对细度的降低贡献最大。在较低水平下，细度随处理时间的增长降低较缓慢。但过了中心点（零水平）之后，处理时间的延长对细度的影响增强。渗透剂浓度对细度的影响呈抛物线关系，随着渗透剂浓度的增加细度先是缓慢增加，在过了中心点（零水平）之后迅速下降。

3.1.3 两因素间的交互效应分析

将回归模型中的任意一个因素固定在零水平，得到其它两个因素间的交互作用效应^[6]。利用 Matlab 中 meshc(f) 函数作带有等高线的立体曲面图，分析细度与因子之间的相互关系。

从图 2~图 4 可以看出，三因素任意两者之间都不存在明显的交互作用。从图 2 可以看出，单独延长处理时间或提高 KOH 的浓度都有利于细度的降低。由等高线可以看出，与 KOH 浓度的提高对细度的影响相比，细度随处理时间变化的幅度较小。从图 3、图 4 可以看出，渗透剂浓度对细度降低的影响较小。从影响程度上看，KOH 浓度最为显著，处理时间次之，最后是渗透剂浓度，这与主效应分析和单因素分析的结果都是一致的。

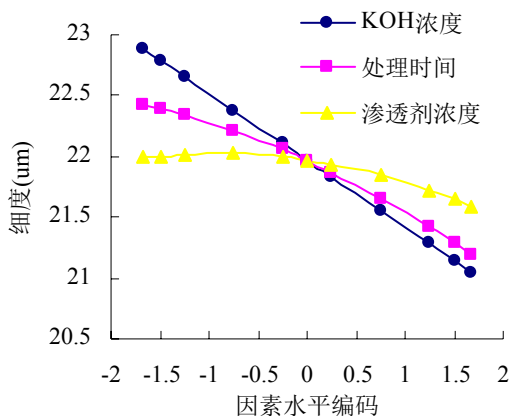


图 1 单因素与处理后羊毛细度的关系

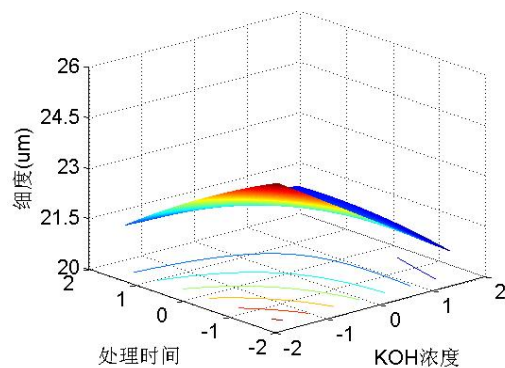


图 2 细度与 KOH 浓度、处理时间的关系

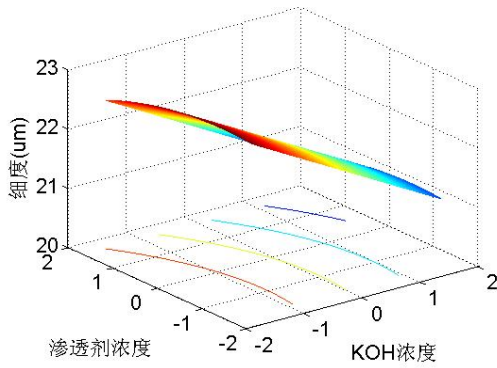


图3 细度与 KOH 浓度、渗透剂浓度的关系

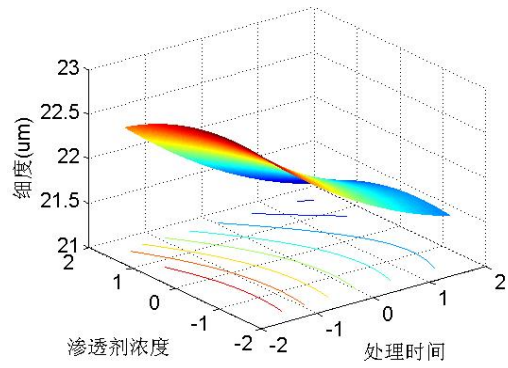


图4 细度与处理时间、渗透剂浓度的关系

3.2 各因素及其交互作用与处理后羊毛断裂强力的关系

3.2.1 主效应分析

回归模型本身已经过无量纲形编码代换，其回归系数已经标准化，不受因素取值的大小和单位的影响，故可以直接从其绝对值的大小来判断各因素对目标函数的相对重要性。从表 4 可以得到三因素对处理后羊毛断裂强力的影响程度次序为：处理时间>KOH 浓度>渗透剂浓度。

3.2.2 单因素分析

将回归模型中三个因子中的两个固定在零水平，求得单因素与羊毛断裂强力的回归方程，根据这些方程描绘出单因素对断裂强力的影响曲线，如图 5 所示。

从图 5 可以看出，随着处理时间的延长，处理后羊毛的断裂强力下降的趋势最为明显，说明处理时间对断裂强力的降低贡献最大。在较低水平下，断裂强力随 KOH 浓度的增加降低较快。但过了中心点（零水平）之后，KOH 浓度的增加对断裂强力的影响减弱。渗透剂浓度对断裂强力的影响呈直线关系，但斜率小，断裂强力随渗透剂浓度的增大缓慢下降。

3.2.3 两因素间的交互效应分析

将回归模型中的任意一个因素固定在零水平，得到其它两个因素间的交互作用效应。利用 Matlab 中 meshc(f)函数作带有等高线的立体曲面图，分析断裂强力与因子之间的相互关系。

从图 6~图 8 可以看出，三因素任意两者之间都不存在明显的交互作用。从图 6 可以看出，单独延长处理时间或提高 KOH 的浓度都会使断裂强力降低。由等高线可以看出，与 KOH 浓度的提高对细度的影响相比，断裂强力随处理时间变化的幅度较大。从图 7、图 8 可以看出，渗透剂浓度对断裂强力降低的影响较小。从影响程度上看，处理时间最为显著，KOH 浓度次之，最后是渗透剂浓度，这与主效应分析和单因素分析的结果都是一致的。

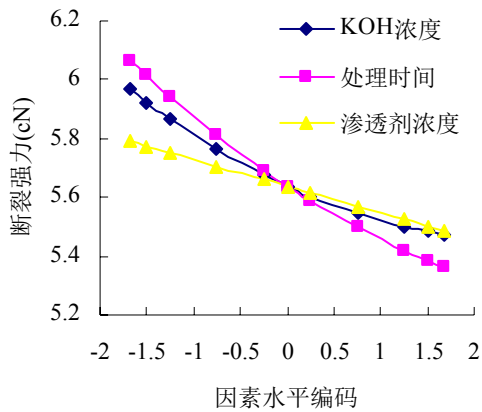


图5 单因素与处理后羊毛断裂强度的关系

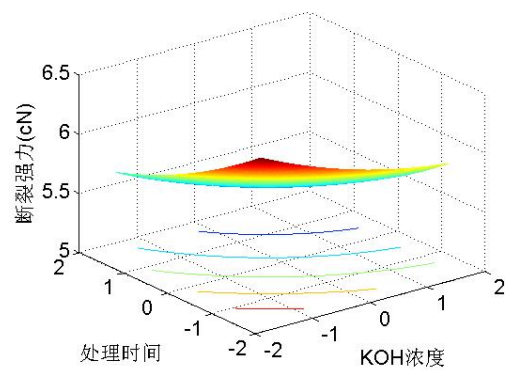


图6 断裂强度与 KOH 浓度、处理时间的关系

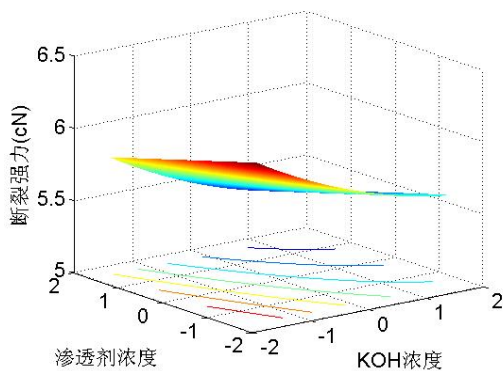


图7 断裂强度与 KOH 浓度、渗透剂浓度的关系

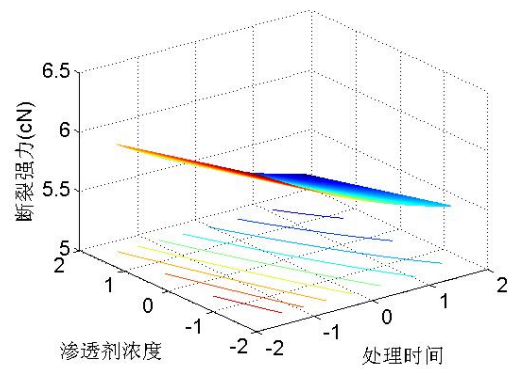


图8 断裂强度与处理时间、渗透剂浓度的关系

3.3 各因素及其交互作用与处理后羊毛断裂伸长率的关系

3.3.1 主效应分析

回归模型本身已经过无量纲形编码代换，其回归系数已经标准化，不受因素取值的大小和单位的影响，故可以直接从其绝对值的大小来判断各因素对目标函数的相对重要性。从表 4 可以得到三因素对处理后羊毛断裂伸长率的影响程度次序为：处理时间>KOH 浓度>渗透剂浓度。

3.3.2 单因素分析

将回归模型中三个因子中的两个固定在零水平，求得单因素与羊毛断裂伸长率的回归方程，根据这些方程描绘出单因素对断裂伸长率的影响曲线，如图 9 所示。

从图 9 可以看出，随着处理时间的延长，处理后羊毛的断裂伸长率增加的趋势最为明显，说明处理时间对断裂伸长率的降低贡献最大。在较低水平下，断裂伸长率随 KOH 浓度的增加略有降低。但过了中心点（零水平）之后，KOH 浓度的增加对断裂伸长率的影响增强，断裂伸长率随 KOH 浓度的增加逐渐增大。渗透剂对断裂伸长率的影响几乎呈直线关系，但斜率很小，断裂伸长率随渗透剂浓度的增加缓慢增大。

3.3.3 两因素间的交互效应分析

将回归模型中的任意一个因素固定在零水平，得到其它两个因素间的交互作用效应。利用 Matlab 中 meshc(f)函数作带有等高线的立体曲面图，分析断裂伸长率与因子之间的相互关系。

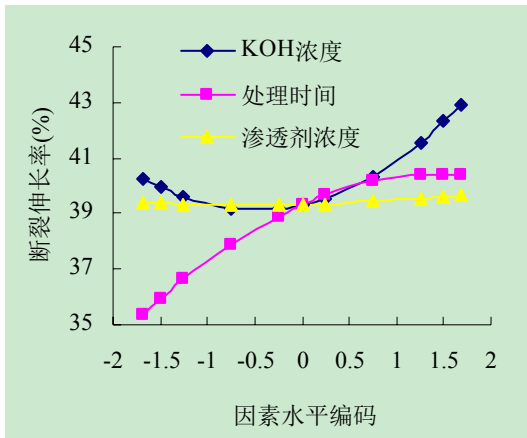


图 9 单因素与处理后羊毛断裂伸长率的关系

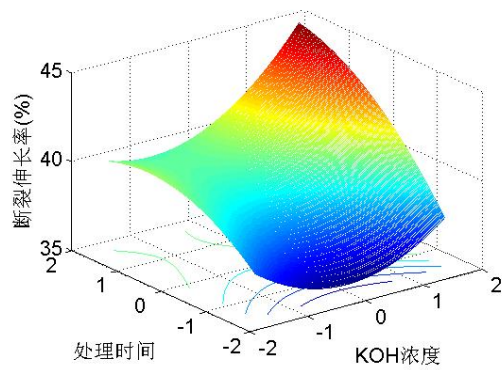


图 10 断裂伸长率与 KOH 浓度、处理时间的关系

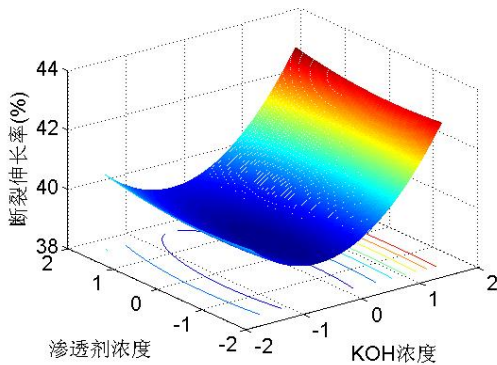


图 11 断裂伸长率与 KOH 浓度、渗透剂浓度的关系

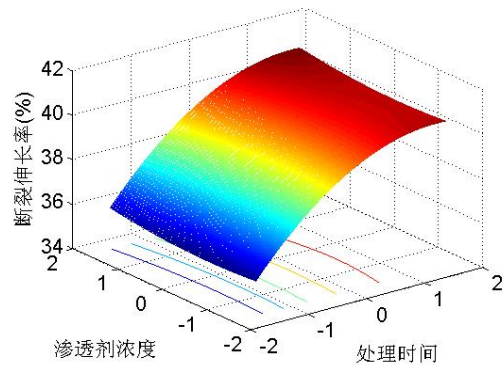


图 12 断裂伸长率与处理时间、渗透剂浓度的关系

从图 10~图 12 可以看出，三因素任意两者之间都不存在明显的交互作用。从图 10 可以看出，单独延长处理时间或提高 KOH 的浓度都会使断裂伸长率增大。由等高线可以看出，在较低水平时，断裂伸长率随处理时间变化的幅度较大。但在零水平之后，处理时间对断裂伸长率的影响减弱，这时，影响断裂伸长率的主要是 KOH 浓度的变化。从图 11、图 12 可以看出，渗透剂浓度对断裂伸长率降低的影响很不明显。从影响程度上看，处理时间最为显著，KOH 浓度次之，最后是渗透剂浓度，这与主效应分析和单因素分析的结果都是一致的。

3.4 各因素及其交互作用与处理后羊毛减量率的关系

3.4.1 主效应分析

回归模型本身已经过无量纲形编码代换，其回归系数已经标准化，不受因素取值的大小和单位的影响，故可以直接从其绝对值的大小来判断各因素对目标函数的相对重要性。从表 4 可以得到三因素对处理后羊毛减量率的影响程度次序为：渗透剂浓度>KOH 浓度>处理时间。

3.4.2 单因素分析

将回归模型中三个因子中的两个固定在零水平，求得单因素与羊毛减量率的回归方程，根据这些方程描绘出单因素对减量率的影响曲线，如图 13 所示。

从图 13 可以看出，随着渗透剂浓度的提高，处理后羊毛的减量率增加的趋势最为明显，说明渗透剂浓度对减量率的降低贡献最大。在较低水平下，减量率随 KOH 浓度的增加略有增加。但过了中心点（零水平）之后，KOH 浓度的增加对减量率的影响增强，减量率随 KOH 浓度的增加逐渐增大。处理时间对减量率的

影响几乎呈直线关系，但斜率较小，减量率随处理时间的延长缓慢增大。

3.4.3 两因素间的交互效应分析

将回归模型中的任意一个因素固定在零水平，得到其它两个因素间的交互作用效应。利用 Matlab 中 meshc(f)函数作带有等高线的立体曲面图，分析减量率与因子之间的相互关系。

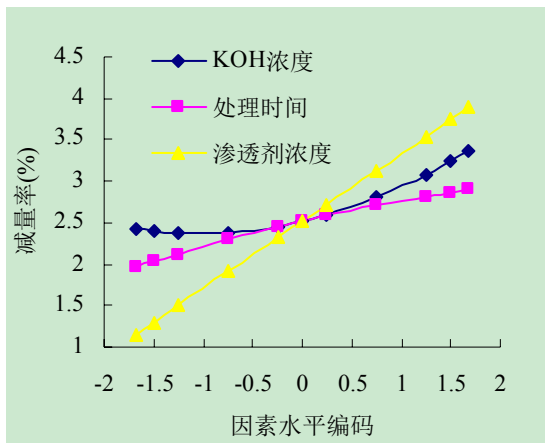


图 13 单因素与处理后羊毛减量率的关系

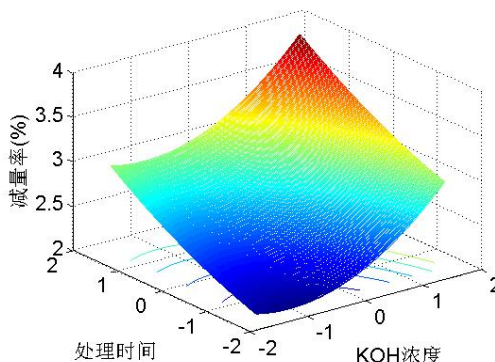


图 14 减量率与 KOH 浓度、处理时间的关系

从图 14~图 16 可以看出，三因素任意两者之间都不存在明显的交互作用。从图 6 可以看出，单独延长处理时间或提高 KOH 的浓度都会使减量率增大。由等高线可以看出，在较低水平下，减量率随 KOH 浓度的增加略有增加。但过了中心点（零水平）之后，KOH 浓度的增加对减量率的影响增强。这与单因素分析的结果一致。从图 15、图 16 可以看出，渗透剂浓度对减量率降低的影响非常明显。从影响程度上看，渗透剂浓度最为显著，KOH 浓度次之，最后是处理时间，这与主效应分析和单因素分析的结果都是一致的。

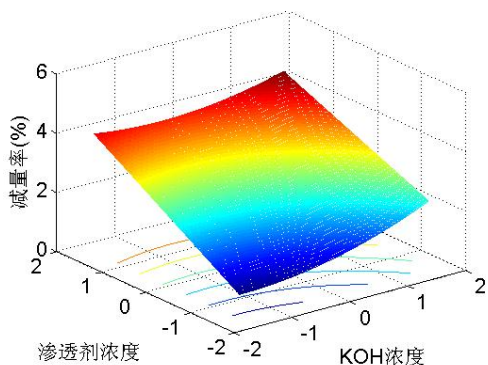


图 15 减量率与 KOH 浓度、渗透剂浓度的关系

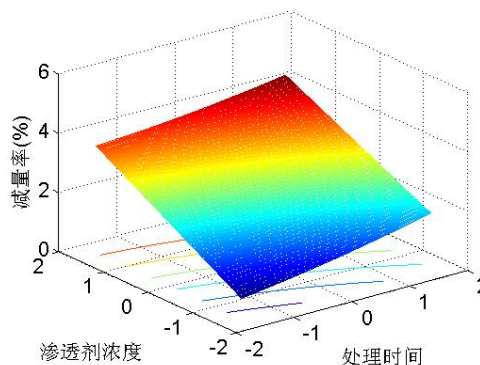


图 16 减量率与处理时间、渗透剂浓度的关系

综合以上分析可以得出，提高用碱量、延长处理时间虽对细度的降低有利，但过高的用碱量和过长的处理时间将导致纤维断裂强力的下降，所以用碱量不宜过高、处理时间也不能过长。渗透剂的加入可以克服羊毛表面的油脂，使细化作用更加均匀、彻底。

3.5 参数优化^[5]

参数优化时，理想的实验结果是在保证羊毛的力学性能损失较小的情况下，尽可能地降低其细度，而减量率反映了细化的均匀性，所以将细度、断裂强力、断裂伸长率和减量率作为四个考察指标，采用多目标灰色局势决策的方法求出其最优工艺参数。

(1) 事件集：羊毛纤维细化。

- (2) 对策集：表 2 为各试验设计方案。
- (3) 效果集：羊毛纤维细化四项考察指标：即细度、断裂强力、断裂伸长率和减量率一共四项指标的测试结果，见表 3。
- (4) 细度越小越好，故选用下限效果测度计算。在此将 15[#]~20[#]实验的结果取平均值参与计算，以下同。
- (5) 断裂强力、断裂伸长率和减量率越大越好，故选用上限效果测度计算。
- (6) 各项指标权重比例的分配，见表 7。

表 7 考察指标及权重分配

考察指标	细度	断裂强力	断裂伸长率	减量率
权重比例	0.35	0.25	0.25	0.15

采用上述方法求解，得决策矩阵

$$R(1, j) = [0.9589, 0.9082, 0.9274, 0.8744, 0.9354, 0.8722, 0.8952, 0.8239, 0.8934, 0.9507, 0.8705, 0.9118, 0.8457, 0.9413, 0.8883]$$

决策结果

按效果优劣的排序结果为

优—劣：(方案) 1[#]—10[#]—14[#]—5[#]—3[#]—12[#]—2[#]—7[#]—9[#]—15[#]—4[#]—6[#]—11[#]—13[#]—8[#]

4 结论

实验设计得到了 KOH 正丁醇溶液细化羊毛纤维后细度、断裂强力、断裂伸长率、减量率与工艺参数间的数学关系模型，揭示了其内在联系。并采用多目标灰色局势决策的方法求出其最优工艺参数，即当 KOH 浓度为 7.2%，处理时间为 7.7h，渗透剂浓度为 0.13%时细化效果最好。

参考文献

- [1] 陈德兆, 张 扬, 喻红芹, 等. 羊毛蛋白酶减量细化的研究[J]. 毛纺科技, 2004, 9: 18-20.
- [2] 黄立新. Optim 纤维及产品的开发与应用[J]. 纺织学报, 2004, 25(2): 101-102.
- [3] 吴 坚, 魏 菊. 羊毛仿山羊绒改性整理的性能分析[J]. 毛纺科技, 2002, 3: 39-41.
- [4] 孔繁超. 国产细羊毛鳞片剥除的研究[R]. 天津: 天津纺院纺织系纺材教研室, 1981.
- [5] 郁崇文, 汪军, 王新厚. 工程参数的最优化设计[M]. 上海: 东华大学出版社, 2003: 108-128, 227-250.
- [6] 徐 峻, 陈克复, 褚媛媛, 等. 硫酸盐大麻芯秆浆氧脱木素工艺的模型研究[J]. 中华纸业, 2007, 28(6): 48-51.

染色棉品质综合评价模型探讨

关永红¹, 邱兆宝², 邢明杰¹

(1. 青岛大学纺织服装学院, 山东 青岛 266071; 2. 青岛纺联控股集团有限公司, 山东 青岛 266011)

摘要: 本文运用模糊数学方法建立了染色棉的综合评价模型, 并根据各棉批的综合评价指数运用 SPSS 软件对各棉批进行分层聚类分析。评价指数可以综合反映染色棉的特性, 并作为色纺配棉的参考依据。

关键词: 染色棉; 模糊数学; 评价模型; 聚类分析

Research on comprehensive quality evaluation model of dyed-cotton

GUAN Yong-hong¹ QIU Zao-bao² Xing Ming-jie¹

(1. College of Textile and Garment, Qingdao University, Qingdao, Shandong, 266071; 2. Qingdao Textile Holding Group CO., Ltd, Qingdao, Shandong, 266011)

Abstract: This thesis establishes model of dyed-cotton evaluation by applying the method of fuzzy mathematics, and carries on hierarchical cluster analysis using the SPSS software according to their evaluation score. The evaluation score can reflect the characteristics of dyed-cotton and it can be used as a reference for cotton assorting.

Key Words: dyed-cotton; fuzzy mathematics; evaluation model; cluster analysis

0. 前言

染色棉是原棉经过煮练、染色工艺后获得的。在这一过程中原棉因受碱的作用, 部分杂质已去除, 由于染色后棉纤维的天然卷曲减少, 棉蜡熔化, 加上染料分子的渗透, 纤维发涩、弹性差、蓬松度下降, 存在大量的扭结现象和结块现象, 致使各种性能较原棉都有所改变。多年来, 业内学者在染色棉的研究主要集中于原棉染色工艺的优化^[1-2], 而对染色棉的综合品质方面的研究较少。本文采用模糊数学中的模糊分等和隶属度的概念, 建立了染色棉品质综合评价模型并计算出各批染色棉的综合指数。然后根据综合指数, 运用层次聚类分析, 对品质相近的染色棉棉批进行聚类。所得结果客观性强, 可作为色纺配棉的参考依据。

1. 模糊数学在染色棉品质综合评价中的应用^[3]

综合评价是指按预定的目的, 构建涵盖评价对象功能的指标体系, 再用某种评价方法, 构造一个标量实值函数——价值函数, 从而计算出每个对象的综合指数, 进而实现对评价对象的评价、排序、分类以及选优。

1.1 评价指标的确定^[4]

评价指标是从不同侧面刻画被评价对象所具有某种特征大小的度量。在从多个指标中选取评价指标时, 各指标之间存在近似线性关系, 即某个指标能近似地用其它指标的线性函数来表示。这在实际评价某一事物的综合品质时, 会对评价结果造成严重的影响, 为了提高评价精确度, 应当去除次要的指标。具体选择时应遵循的原则是: (1) 目的性; (2) 全面性; (3) 科学性; (4) 可比性; (5) 可观性或可测性。

表 1 中的染色棉物理性能指标是 XJ120 型快速纤维性能测试仪测试值。运用 SPSS 软件对染色棉原始数据进行简单相关性分析得出表 2, 将成熟度比、短纤维作为控制变量计算偏相关系数, 结果见表 3。

表 1 染色棉质量统计表

序号	上半部长度 (mm)	整齐度 (%)	马克隆值	伸长率 (%)	成熟度比	短纤维 (%)
1	35.19	89.79	4.61	6.30	0.84	11.84
2	34.83	88.66	3.96	5.84	0.79	8.20
3	34.25	87.78	4.46	5.99	0.79	8.18
4	33.52	89.63	5.03	6.64	0.85	7.80
5	32.50	87.47	4.88	5.69	0.85	8.00
6	32.25	88.29	5.36	5.97	0.86	8.12
7	31.81	87.80	5.00	5.61	0.84	7.82
8	31.36	86.00	4.08	5.78	0.78	8.85
9	30.81	85.33	5.71	5.99	0.89	8.85
10	30.32	84.71	5.41	5.59	0.83	9.29
11	29.57	82.91	4.88	5.21	0.82	10.61
12	29.32	82.67	4.46	6.46	0.82	10.88
13	28.89	81.87	5.18	4.73	0.84	11.65
14	28.63	81.19	5.23	4.57	0.83	12.36
15	28.25	81.01	5.25	5.76	0.85	12.73
16	27.77	82.30	5.41	4.74	0.84	11.74
17	27.51	79.87	4.58	5.17	0.78	14.36
18	27.16	81.31	5.37	4.31	0.83	12.93
19	26.90	81.03	5.14	5.45	0.83	13.34
20	26.73	80.75	5.41	5.78	0.85	13.73

表 2 染色棉简单相关系数

	上半部长度	整齐度	马克隆值	伸长率	成熟度比	短纤维
上半部长度	1	0.958**	-0.498**	0.618**	-0.087	-0.780**
整齐度	0.958**	1	-0.352	0.635**	0.062	-0.838**
马克隆值	-0.498**	-0.352	1	-0.327	0.806**	0.239
伸长率	0.618**	0.635**	-0.327	1	0.109	-0.497*
成熟度比	-0.087	0.062	0.806**	0.109	1	-0.072
短纤维	-0.780**	-0.838**	0.239	-0.497*	-0.072	1

表 3 染色棉偏相关系数

指标	上半部长度	整齐度	马克隆值	伸长率
上半部长度	1.000	0.916**	-0.621**	0.458
整齐度	0.916**	1.000	-0.551*	0.464
马克隆值	-0.621**	-0.551*	1.000	-0.609**
伸长率	0.458	0.464	-0.609**	1.000

** 表示在 0.01 水平上显著相关 * 表示在 0.05 水平上显著相关

从表 3 可以看出，染色棉指标之间呈强相关关系，如果用 ∇_i 来表示第 i 项染色棉指标对染色棉综合品质的贡献值，则：

$$\nabla_i = \sum_{j=1}^4 |R_{ij}| \quad \text{其中 } j \neq i \quad (1)$$

上式中 R_{ij} 为第 i 项染色棉指标与第 j 项染色棉指标之间的偏相关系数。

各指标对染色棉的贡献分析如表 4。

表 4 相关系数贡献分析表

	上半部长度	整齐度	马克隆值	伸长率
染色棉	1.995	1.931	1.781	1.531

经分析，染色棉上半部平均长度、整齐度、马克隆值和伸长率为染色棉纤维的主要评价指标。

1.2 评价指标权重的确定

权重是表示各评定因素相对重要程度的物理量。在对染色棉品质进行综合评价时，权系数选择是否恰当，将起非常重要的作用。

如何确定权重系数，是综合评价中的核心问题，一般说来，赋权方法可分为主观赋权法和客观赋权法两大类。为了避免在取定权重系数时受人为的干扰，本文采用客观赋权法，根据各指标对染色棉品质综合评价赋予不同的权重。

如果用 a_i 来表示第 i 项染色棉评价指标的权系数，则：

$$a_i = \frac{\nabla_i}{\sum_{j=1}^4 \nabla_j} \quad (2)$$

根据上式计算的染色棉各个评价指标的权系数如表 5。

表 5 色棉品质权系数数值表

评定因素	上半部长度	整齐度	马克隆值	伸长率
权系数	0.276	0.267	0.246	0.211

1.3 评价指标的模糊分等

为了更加充分的利用评价指标，本文采用模糊分等和隶属度的概念对评定指标进行转化。在对指标进行模糊分等之前，首先应规定各个评价指标的分级特征值。由于原棉染色后，马克隆值变差，伸长率降低，所以划分等级时应较原棉等级适当放宽。分级特征值见表 6。

表 6 评定因素的分级特征值

评定因素/级别	一级	二级	三级	四级	五级
上半部平均长度(mm)	≥ 35.0	$\geq 33.0; < 35.0$	$\geq 29.0; < 33.0$	$\geq 26.0; < 29.0$	< 26.0
长度整齐度指数(%)	≥ 86.0	$\geq 83.0; < 86.0$	$\geq 80.0; < 83.0$	$\geq 77.0; < 80.0$	< 77.0
马克隆值	$\geq 3.6; < 4.3$	$\geq 3.2; < 3.6$	$\geq 4.3; < 5.5$	< 3.2	≥ 5.5
伸长率(%)	≥ 6.7	$\geq 5.8; < 6.7$	$\geq 4.9; < 5.8$	$\geq 4.0; < 4.9$	< 4.0

利用模糊分等的方法可以将“0-1”度量法推广到“[0, 1]”度量法，也就是用 0-1 之间的一个实数去度量它，这个数就叫“隶属度”。因为“隶属度”是随条件而改变的，当用函数来表示隶属度的变化规律时，就叫它隶属函数。

在实际问题中，用模糊数学去处理模糊概念时，选择适当的隶属函数是很重要的。对于上半部长度、整齐度指数、伸长率的评定等级，用“[0, 1]”度量法，选用正向指标的线性隶属函数。

正向指标的隶属函数为：

$$u(x) = \begin{cases} 1 & (0 \leq X \leq a_1) \\ (a_2 - X)/(a_2 - a_1) & (a_1 < X \leq a_2) \\ 0 & (a_2 < X) \end{cases}$$

这样，对于某一批染色棉，将不再仅属于某一等级，而是可能以不同的隶属度 u_i 归属于不同的等级。

马克隆值为非线性，可用“0-1”度量法分段处理。

1.4 染色棉评价模型的建立

1.4.1 模糊综合评价的基本原理

模糊综合评价是一种以模糊数学为基础，对事物存在的性态和类属的亦此亦彼或中介过渡从数量上对其归属程度给予刻划和描述的模糊数学方法，它能够有效地将定性分析和定量分析结合起来，多层次、多因素的进行综合评价，科学性好，可信度高。在综合评价中，合成是指通过一定的算式将多个指标对事物不同方面的评价指综合在一起，以得到一个整体性的评价。可用于合成的数学模型较多，问题在于根据被评价事物的特点来选择较合适的合成方法。因而需要对主要合成方法的算式、适用场合、特点等加以分析。

本文采取模糊综合评价中的线性加权综合法。所谓线性加权综合法就是应用线性模型 $y = \sum_{j=1}^m w_j x_j$ 来进行综

合评价的方法。式中 y 为被评价对象的综合评价价值， w_j 是与评价指标 x_j 相应的权重系数

$$(0 \leq w_j \leq 1 (j = 1, 2, \dots, m), \sum_{j=1}^m w_j = 1)。$$

1.4.2 模糊综合评价模型的建立

通过以上分析，可以建立染色棉品质综合评价指数模型：

$$P_i = \sum_{j=1}^4 d \sum_{i=1}^n a_i r_{ij} \quad (5)$$

上式中： P_i 染色棉的评价指数

d 染色棉标准等级数

a_i 染色棉第 i 项品质指标的权系数

r_{ij} 原棉第 i 项品质指标对于第 j 个等级的隶属度

评价指数的物理意义为各染色棉品质的模糊等级值。评价指数值愈小，则该染色棉的品质越好。根据公式(5)，计算表1前10组的综合评价指数见表7。

表7 染色棉评价指数

序号	上半部长度 (mm)	整齐度 (%)	马克隆值	伸长率 (%)	评价指数
1	35.19	89.79	4.61	6.30	1.796
2	34.83	88.66	3.96	5.84	1.720
3	34.25	87.78	4.46	5.99	2.256
4	33.52	89.63	5.03	6.64	2.198
5	32.50	87.47	4.88	5.69	2.535

6	32.25	88.29	5.36	5.97	2.478
7	31.81	87.80	5.00	5.61	2.593
8	31.36	86.00	4.08	5.78	2.091
9	30.81	85.33	5.71	5.99	3.391
10	30.32	84.71	5.41	5.59	3.081

2. 染色棉层次聚类分析

聚类分析，又称集群分析，其分析的基本思想是依照事物的数值特征，来观察个样品之间的亲疏关系。层次聚类法的层次含义是：开始时每个样品各看成一类，将距离最近的两类合并；重新计算新类与其他类的距离，再将距离最近的两类合并；再计算新类与其他类的距离……，这样一步步地进行下去，每一步减少一类，直至所有的样品都合并为一类为止，整个聚类的过程可绘制成聚类图^[5]。

为了更加充分合理的利用主成分分析得出的染色棉品质综合评价结果，本文根据以上各批染色棉的综合指数，采用 SPSS 统计软件的层次聚类分析等功能对染色棉进行聚类分析，所得树状聚类图如图 1 所示。

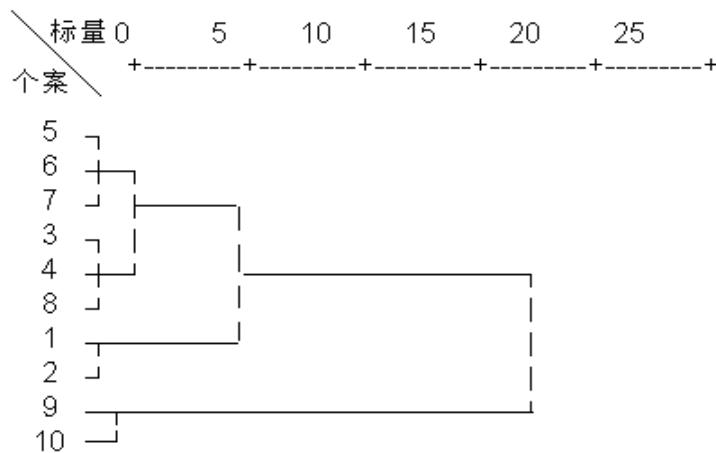


图 1 染色棉聚类分析树状图

根据图 1 可以看出，如果将原棉分为两类，那么棉批 1~8 为一类，棉批 9~10 为另一类；如果分为三类，那么棉批 1~2 为一类，3~8 为第二类，棉批 9~10 为第三类……。

染色棉聚类结果在一定程度上反映了各棉批性能上的差异程度，色纺厂可以根据所纺色纺纱线的质量要求和最终用途，参考各批染色棉的评价指数，进行配棉。

3 结语

本文采用模糊数学中的模糊分等和隶属度的概念，建立了染色棉品质综合评价模型并计算出各批染色棉的综合指数，最后根据各批染色棉的综合指数对其进行层次聚类。通过分析可以看出，利用主成分分析法可以准确评价各批染色棉品质的综合情况，为配棉提供客观的定量化参考数据。

参考文献：

- [1] 许玉坤，曾昭礼. 棉散纤维染色的工艺探讨[J]. 山东纺织科技，2006，(2)：21-22.
- [2] 刘玉森等. 棉纤维染色工艺的探讨[J]. 北京纺织，2001，22(6)：42-44.
- [3] 邱兆宝. 成纱质量预测模型研讨[J]. 纺织学报，1988，9(9)：21-24.
- [4] 胡永宏，贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京：科学出版社，2000.
- [5] 宇传华. SPSS 与统计分析[M]. 北京：电子工业出版社，2007.

作者简介：关永红(1983-)，女，汉族，山东东明人，青岛大学纺织服装学院纺织工程 06 级硕士研究生。
联系方式：E-mail:guanyonghong0212@163.com

一种新型抗污染超滤膜在印染废水回用中的应用

王希辉¹ 盛亚荔²

(1 青岛源清环保科技有限公司; 2 青岛海珊发展有限公司, 山东 青岛 266032)

摘要: 由于印染废水成分复杂且不稳定, 盐度高, 可生化性差, 使用常规生化处理方法难以达到最佳回用效果。我们研制了一种新型抗污染超滤膜, 结合反渗透技术成功处理了青岛海珊发展有限公司的印染废水。工程实践表明, 该系统运行稳定, 对COD、Cl⁻的去除效率均可达 97%以上; 对悬浮物、色度的去除率达到 100%。系统出水符合印染车间生产回用水的要求。回用水工程具有广泛的应用前景。

关键词: 新型抗污染超滤膜; 反渗透; 印染废水; 生产回用水

A new type of anti-pollution ultrafiltration membrane in printing and dyeing wastewater reuse application

Wang Xi-hui Sheng Ya-li

(Qingdao source clean environmental technology co.,Ltd ;Qingdao haishan development co.,Ltd
qingdao266042 shandong)

Abstract: It is difficult to have a good recycle-water performance by traditional biochemical method,because the textile wastewater is complicated,unstable,high salinity and bad biodegradability. A novel antifouling ultrafiltration membrane and reverse osmosis combined membrane process were applied for in the textile wastewater treatment and reuse .It was shown that the membrane system operate stable ,the rejection for COD and Cl⁻ could reach as high as 97%;at the same time, the system complete remove the SS and colority.The water production of the system fully consistent with the printing and dyeing plant water.It has a broad application prospects of recycle-water.

Key words: novel antifouling ultrafiltration membrane; reverse osmosis; textile wastewater; production recycle-water

1 前言

青岛是我国严重缺水的沿海城市, 纺织印染行业又是用水大户, 且排污量大, 因此, 开源节水成为当今企业可持续发展的重大问题。目前双膜技术是国际上研发和工程化应用的热点之一^[1-3], 而作为反渗透系统预处理的超滤膜的抗污染及其稳定性又在回用系统中起着关键作用。公司经过多年工程实践, 与高等院校, 科研机构合作, 开发出抗污染性能强、机械强度高、截留分子量小的超滤膜, 将其与反渗透组成的双膜工艺首次应用于青岛海珊发展有限公司印染废水回用工程中。实践表明, 系统运行稳定, 出水达到回用水要求, 为纺织行业加快结构调整, 转变增长方式开辟了一条新道路。

2 水质状况

2.1 进水水质指标

青岛海珊发展有限公司排放的漂染废水经生化系统处理后的出水作为双膜工艺回用水处理设施进水源, 具体水质状况如表 1。

表 1 进水水质指标

水质项目	单位	数值
CODCr	mg/ L	100~150
BOD5	mg/ L	20~140
悬浮物	mg/ L	≤100
pH	-	6~9
氯根	mg/ L	≤2500
色度	倍	≤100
总硬度	mg/ L	≤600

2.2 回用水要求

根据纺织工业回用水要求，处理之后的水用于印染生产工序，要求如表 2。

表 2 回用水水质指标

水质项目	COD _{cr} (mg/L)	铁 (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	色度 (倍)	pH	Cl ⁻ (mg/L)	总硬度 (以CaCO ₃ 计) mg/L
指标	≤15	≤0.1	≤0.1	≤10	7.0~8.0	≤500	≤18 (染液)

3 工程设计

在工艺设计上，充分考虑到原水的水质及波动状况，根据生产工艺回用水要求，通过前期项目的小试、中试过程，对比不同的工艺，最终确定工艺流程为“预处理单元+超滤+反渗透”，以下为具体处理单元介绍：

① 预处理单元：设置固液分离器，主要去除水中的细小颗粒、悬浮物和胶体等，使其满足超滤进水要求。设计系统流量为 21m³/h。

② 超滤系统：系统核心装置采用中空纤维外压式超滤膜，该膜机械强度高，抗污染性强，水通量大。超滤主要截留大分子有机物，胶体、蛋白质、部分菌类等。由于超滤在分离过程中不发生相变化，所以能耗低，污染少。本系统设置循环泵提高超滤系统水利用率，设计流量为 21m³/h，系统回收率为 99%。

③ 反渗透系统：包括 5μm 保安过滤器、高压泵、清洗系统和反渗透装置。反渗透主要除去大分子离子，除盐率可达 97%，COD 去除率可达 97%以上。

4 核心设施超滤膜

4.1 新型超滤膜

传统结构超滤膜不适合处理高污染的废水，在膜表面没有严重污染和给水通道没有堵塞时，超滤膜也不能在高的给水通量下运行，且频繁的膜冲洗会降低膜的通量及寿命。近年来，中空纤维结构的新型超滤技术开始出现^[4]。我公司与高等院校，科研机构合作，根据具体工程实践研制了新型的抗污染超滤膜，超滤膜的截留分子量小，运行方式为外压式，膜的抗污染性能强，通量大，运行稳定。表 3 为超滤系统的具体设计参数。

表 3 超滤系统主要设计参数

设计参数	单位	数值
设计流量	m ³ /h	21
出水COD	mg/L	≤50
出水色度	倍	≤5
出水SS	mg/L	≤3
水的利用率	-	99%
操作温度	℃	≤80
最大进水压力	Mpa	0.8

新型的超滤膜与传统的超滤膜最大的优点就是抗污染性能强，机械强度高，透水通量大，出水水质效果好。其结果对比在处理之后水质效果中论述。

4.2 超滤膜的化学清洗

超滤膜是本系统的核心设施，超滤膜的影响因素有操作运行压力，温度，运行周期，清洗频率等，为保持超滤高效的出水水质效果，必需对超滤系统定期进行化学清洗。根据膜的污染情况和进出水水质分析，对膜采用合适的清洗剂进行酸洗、碱洗、特殊情况下清洗。公司根据具体的工程实践，专门研制了针对不同水质的清洗剂。从图 1 中看出超滤装置正常运行初期，约经三周左右，跨膜压力逐步升高，经化学清洗后，压力基本至初始状态，说明采用的化学清洗剂效果好，有利于减免清洗频率，延长膜的使用寿命。

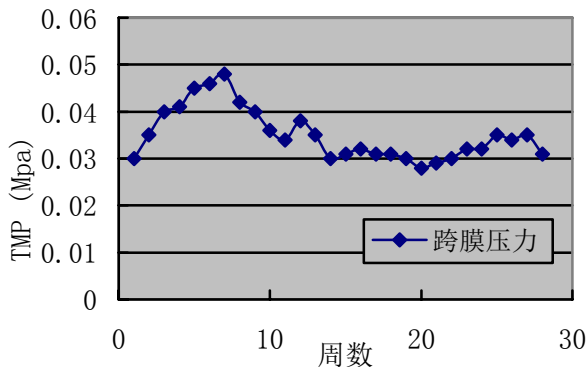


图 1 统的跨膜压力趋势图

5 回用水工程特点

- ① 在工艺选择上，针对具体的水质情况，研究对比不同的方法最终确定超滤和反渗透双膜工艺。
- ② 高效预处理承载单元的设计，防止在过滤器内形成沟流，提高了过滤截留速率和反洗效率，节水约 35%，且出水水质稳定，悬浮物去除率可达 90%以上，有效保证超滤的进水要求。
- ③ 预处理单元与超滤系统动力供应的联动组合，能耗低，降低运行费用。超滤采用两段式过滤，水利用率为 99%。
- ④ 超滤和反渗透双膜工艺组合，深度处理生产废水，并应用于印染行业，出水水质直接达到印染回用水要求，无需再进行软化处理，在国内具有领先地位。
- ⑤ 整个系统全部采用 PLC 进行自动化控制，具备无人职守的能力及条件。系统不受地理环境的制约，易于推广。

6 处理水质效果

6.1 超滤系统的水质效果分析

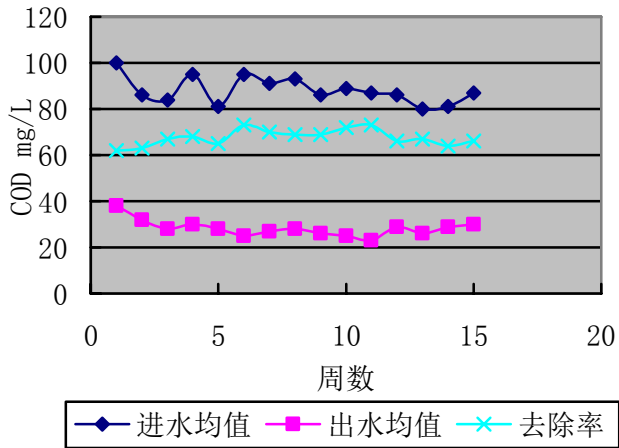


图2 超滤系统对 COD 去除效果图

由以上效果图进行分析，超滤的进水水质 COD 平均为 88 mg/L，出水 COD 平均为 28 mg/L，超滤系统对 COD 的平均去除率为 66%。

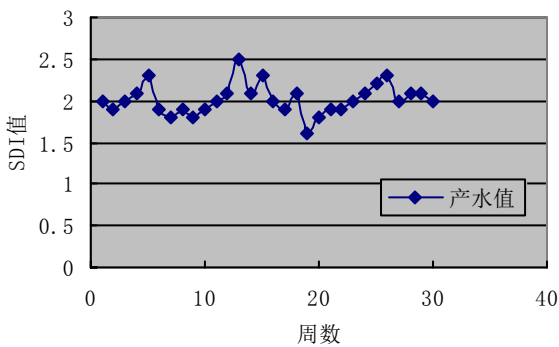


图3 超滤系统出水 SDI 图

SDI 值是测定反渗透系统进水的重要标志之一，也是检验预处理系统出水是否达到反渗透进水要求的主要手段，因此超滤作为反渗透的预处理系统，出水 SDI 大小很重要。由以上图表中看出，超滤系统的 SDI 范围在 2 左右，完全符合反渗透系统的进水要求。

6.2 超滤和反渗透系统水质效果分析

青岛海珊发展有限公司的印染回用水工程投入运行后，系统运行稳定，处理水质效果如表 4。

表 4 处理水质效果

天 数	COD _{Cr} (mg/l)			Cl ⁻ (mg/l)			总硬度 (mg/l)			电导率 (μm/cm)		
	进水	出水	去除率	进水	出水	去除率	进水	出水	去除率	进水	出水	去除率
10	132	6	95%	1025	25	97%	587	18	96%	2050	25	99%
20	118	3	97%	987	20	98%	580	15	97%	2038	24	99%
30	140	6	96%	992	24	97%	532	10	98%	2089	26	99%
40	135	7	95%	998	21	98%	567	11	98%	2076	29	98%
50	129	6	95%	976	19	98%	579	20	96%	2103	31	99%
60	119	3	97%	879	12	98%	582	13	98%	2097	25	99%
70	130	5	96%	876	10	98%	576	15	97%	2162	32	98%
80	125	4	96%	892	13	98%	569	13	97%	2108	20	99%
90	130	6	95%	897	12	98%	573	15	97%	2143	22	99%
100	138	7	95%	894	16	98%	579	12	98%	2165	23	99%
110	125	6	95%	878	15	98%	565	13	97%	2093	19	99%
120	131	5	96%	879	10	98%	579	10	98%	2082	28	98%
130	128	3	97%	887	19	97%	567	12	98%	2067	23	99%
140	129	5	96%	786	12	98%	578	13	97%	2036	20	99%
150	130	4	97%	789	13	98%	564	12	98%	2068	20	99%
160	128	5	96%	778	17	98%	572	10	98%	2094	26	99%
170	130	2	98%	820	17	98%	569	8	98%	2092	23	99%
180	129	3	98%	848	19	97%	558	9	98%	2086	25	99%

超滤和反渗透系统对COD、Cl⁻、硬度的去除效率均可达 97%以上；对电导率的去除效率为 99%，系统出水中未监测出悬浮物和色度，去除率达到 100%。

7 经济效益分析

本工程中，生产回用水的价格为 1.80 元/吨，工程正常运行后，三年内即可收回资金投入，对比企业目前自来水费用 3.50 元/吨，经济效益显著。

8 结论

青岛海珊发展有限公司的印染废水回用工程采用的主体工艺为“预处理单元+超滤+反渗透”，本工艺组合成功应用于印染废水回用，系统运行稳定，出水水质达到工业印染回用水要求。系统对COD、Cl⁻的去除率平均可达 97%以上，对悬浮物、色度的去除率达到 100%。本双膜工艺不受地理环境的制约，自动化程度较高，设备便于维修，易形成产业化。

参考文献：

- [1] Robinson T., McMullan G., Marchant R., et al. Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 2001, 77: 247~255
- [2] Zhang G., Zeng H. C., Meng Q. Water Recycling from Dyeing Effluent Using Nanofiltration and Diverse Osmosis Membranes. Annual ACS Meeting, Boston, September, 2007
- [3] 曾杭成, 张国亮, 孟琴等. 超滤/反渗透双膜技术深度处理印染废水[J] *环境工程学报*, 2008, 8(2)
- [4] LESLIE GL, MILLS WR, DUNIVIN WR, et al. Performance and economic evaluation of membrane processes for reuse applicationsA. *Proceedings of ADA ConferenceC. USA: Williamsburg, VA, 1998. 299*