

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.05.009

染色工艺对氨纶结构与性能的影响^{*}

游革新¹, 陈曦日¹, 杨波², 周秀文²

(1. 华南理工大学机械与汽车工程学院, 广州 510640; 2. 中国工程物理研究院, 四川绵阳 621000)

摘要:选取分散蓝56染料对氨纶(聚醚型聚氨酯弹性纤维)进行上染并测定色牢度等级和表面色深值(K/S 值), 结合傅立叶变换红外光谱测试、X射线衍射测试和力学性能测试方法从微观的角度探讨并分析分散染料染氨纶的不同工艺参数(时间、温度和染液pH值)对其性能与结构的影响, 以提出氨纶染色优化工艺条件。结果表明, 染色温度小于120℃时, 色牢度不够, 易脱色, 大于130℃时 K/S 值和断裂强力均明显下降, 氨纶损伤严重, 故染色温度应控制在120~130℃区间; 最佳染色时间为30 min, 染色时间短, 染料分子与氨纶结合差, 大于30 min会造成氢键化程度下降, 结晶度降低, 导致断裂强力降低, 染色性能变差; 染液pH值应为5~6, 氨纶耐酸性较好, 耐碱性很差, 在弱酸条件下表现出较好的染色性能且对氨纶的力学性能损伤较小。

关键词: 氨纶; 分散染料; 染色工艺; 结构与性能

中图分类号: TS193.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)05-0045-05

Influences of Dyeing Process on Structure and Properties of Polyurethane

You Gexin¹, Chen Xin¹, Yang Bo², Zhou Xiuwen²

(1. School of Mechanical & Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621000, China)

Abstract: The disperse blue 56 dye was selected to dye polyether polyurethane, and the color fastness grade and surface color depth were determined, according to methods of Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction and mechanical property test study from the micro perspective and analyze the dispersion of different process parameters of dye dyeing polyurethane (time, temperature and pH of dye solution) effects on its structure and properties. In order to put forward the optimum conditions for polyurethane dyeing. The results show that color fastness is not enough and decoloring when the dyeing temperature less than 120℃, surface color value (K/S value) and breaking strength substantial decline when the dyeing temperature more than 130℃, and polyurethane damage seriously, the dyeing temperature shall be controlled at 120~130℃ interval. The best dyeing time is 30 min, short dyeing time causes the dye molecules and polyurethane binding difference but more than 30 min will cause the degree of hydrogen bonding decreases, the crystallinity decreases to reduce the tensile strength, and dyeing performance. When dye liquor's pH value is 5~6, polyurethane has good acid resistance, poor alkali resistance, good dyeing performance and mechanical properties of polyurethane with less damage under weak acid condition.

Keywords: polyurethane; disperse dye; dyeing process; structure and performance

聚氨基甲酸酯弹性纤维(氨纶)是一种软硬链段交替的多嵌段共聚物, 由于相分离的结构特点, 具有断裂强力大、弹性回复率高等优点^[1-2], 因此得到广泛应用。但在染色性能方面, 经过高温染色、皂洗等过程氨纶分子结构中的C—O键和C—N键可能会发生大量水解, 大分子链的分子间滑脱或化学键断裂, 对氨纶的结构与性能造成严重伤害^[4-5], 进而影响织物的弹性和使用。

目前, 为了深入研究氨纶染色性能的变化, 前人多从不同染料种类的角度出发, 探讨染料结构、不同助剂等对氨纶上染率、色牢度、断裂强度等性能与

形貌的影响并进行分析总结^[6-13]。但是关于各种染色工艺参数对氨纶的微观结构的影响研究较少, 更未见分散染料染色工艺对氨纶微观结构与性能的影响研究。故选取一种聚醚型氨纶为研究对象, 对其进行不同工艺条件的染整, 对氨纶的色牢度、断裂强力和微观基团等结构与性能的影响进行研究分析,

^{*} 国家自然科学基金委员会与中国工程物理研究院联合基金项目(U143010011)

联系人: 游革新, 教授级高级工程师, 主要从事高分子材料的成型加工及应用研究

收稿日期: 2017-02-17

旨在为优化氨纶染色工艺和提高生产效益提供指导。

1 实验部分

1.1 主要原材料

干纺聚酯型氨纶: 40D, 浙江开普特氨纶有限公司;

染料: 分散蓝 56, 浙江山峪染料化工有限公司;

分散剂 MF: 浙江宏鑫染化材料有限公司;

乙酸钠、乙酸: 工业品, 市售。

1.2 主要仪器与设备

傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪: VERTEX70 型, 德国 Bruker 公司;

X 射线衍射 (XRD) 仪: D8ADVANCE 型, 德国 Bruker 公司;

电子万能试验机: 5965 型, 美国 Instron 公司;

测色仪: UltraScan VIS 型, 美国 HunterLab 公司;

恒温振荡水浴锅: SHZ-82 型, 常州上特仪器制造有限公司。

1.3 染色

氨纶在恒温振荡水浴锅里染色, 染料浓度 2% (owf), 分散剂 MF 浓度为 1 g/L, 浴比为 1:50, 染液 pH 值用乙酸溶液 (乙酸: 水 = 1:5)、乙酸钠溶液 (1 g/mL) 缓冲溶液调节, 于 40℃ 入染, 升温速率为 0.5℃/min, 采用不同的时间、温度和染液 pH 值对氨纶进行染色、淋洗, 晾干备用。

1.4 性能测试与表征

FTIR 测试: 测试模式为衰减全反射 (ATR), 频率范围为 500~4000 cm^{-1} , 扫描次数为 32 次, 分辨率为 0.16 cm^{-1} 。

XRD 测试: 选用铜靶, 入射线波长为 0.15418 nm, 选用 Ni 滤波片, 管流为 40 mA, 扫描步长为 0.02°, 扫描速度为 38.4 s/步, 狭缝为 0.5°, 扫描范围 5°~40°。

力学性能测试: 根据 FZ/T 50006-2013 和 FZ/T 50007-2012 标准测试氨纶的断裂强力 and 弹性回复率, 选取预加张力为 0.04 cN, 设定夹钳间距为 (50±0.5) mm, 拉伸速率为 500 mm/min, 每组做 20 个平行样, 取其平均值。

表面色深值 (K/S 值) 测试: 设置 D65 光源, 于 10° 视角下进行测试, 测试 4 次 K/S 值, 取其平均值作为结果。

色牢度按照 ISO 105-A03-1993 测试。

2 结果与讨论

2.1 染色温度

当染色时间为 30 min、染液 pH 值等于 5 时, 不同染色温度下氨纶染色的色牢度等级列于表 1, 氨纶的 K/S 值和力学性能分别如图 1、图 2 所示。

表 1 不同染色温度下氨纶染色的色牢度等级

项目	染色温度 / °C				
	115	120	125	130	135
色牢度等级	2~3	2~3	3	2~3	2~3

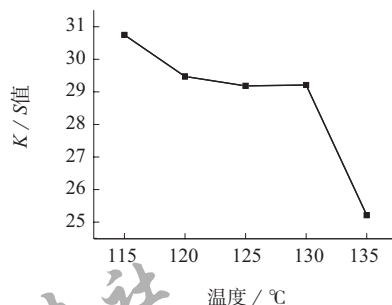


图 1 不同染色温度对氨纶 K/S 值的影响

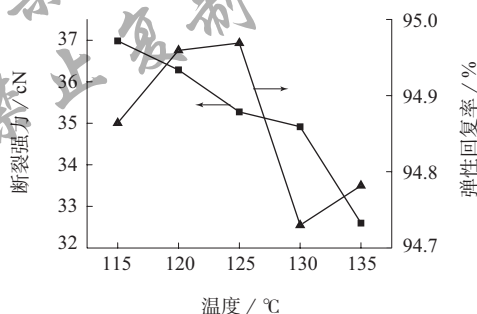


图 2 不同染色温度下氨纶的力学性能

由表 1 可以看出, 在染色温度为 115~135℃ 下, 染色温度对色牢度等级影响不大, 仅在 125℃ 时色牢度等级为 3 级, 稍高于其他温度时的染色氨纶。由图 1 和图 2 可以看出, 随着染色温度的升高, 在 120~130℃ 分散染料上染氨纶的表面色深值 K/S 值变化不大, 当温度大于 130℃ 时, K/S 值从 29.21 陡然下降至 25.21; 氨纶的断裂强力也随着染色温度的上升从 115℃ 时的 36.98 cN 下降至 135℃ 时的 32.59 cN, 当在 135℃ 染色时, 断裂强力下降显著, 相比于 130℃ 时的断裂强力, 断裂强力损失接近 7%。这可能是因为氨纶在高温染液中染色时, 分子结构中的 C—N 键和 C—O 键随着温度的升高水解加剧, 导致纤维受到损伤, 断裂强力降低, 并且氨纶的硬段在玻璃化转变温度 (T_g) 下获得足够能量开始运动, 结晶区中分子链间某些较弱的结合点由于分子的热运动被破坏, 链段空隙变大, 也会造成断裂强力下降, 导致硬链段微区内部氢键减少, 氢键化程度

下降,使纤维的无定型区体积减少。由于染料分子一般进入大分子的无定型区,与纤维间形成键合^[14],所以表面色深值也有大幅度的下降。

不同染色温度下氨纶的 XRD 曲线如图 3 所示。由图 3 可以看出,在衍射角 2θ 为 20° 附近有 1 个衍射峰。利用 Jade 软件计算出 5 组样品的结晶度列于表 2。由表 2 可知,氨纶的结晶度随上染温度的升高而下降,而结晶度对染色也是一个很重要的影响因素^[15],结晶度越高,染色越困难,因为氨基甲酸酯基和脲基使得氨纶结构中的硬段堆砌更紧密,微区结构更完整,染料分子难以进入硬链段,但在高温下,氨纶分子链的运动加剧,硬链段变得松散,分子取向度也降低,各链之间的交联化程度也相应降低,使得染料分子易与氨基甲酸酯基结合,降低硬段间的氢键化程度,因而硬链段的结晶度随之降低。

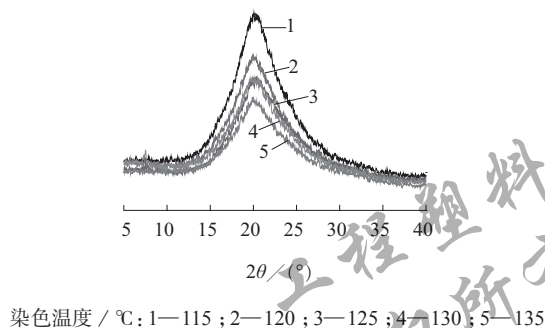


图 3 不同染色温度下氨纶的 XRD 曲线

表 2 不同染色温度下氨纶的结晶度

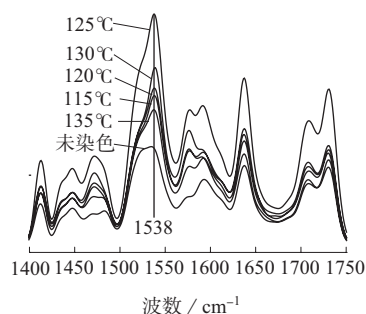
项目	染色温度 / $^\circ\text{C}$				
	115	120	125	130	135
结晶度 / %	34.39	32.68	31.72	31.23	29.14

波数在 $1400 \sim 1750 \text{ cm}^{-1}$ 和 $2800 \sim 3000 \text{ cm}^{-1}$ 范围内氨纶的 FTIR 如图 4 所示。

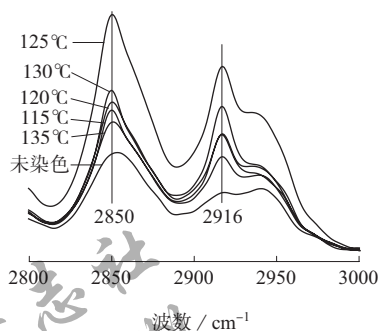
由图 4 可以看出,在 1538 cm^{-1} 附近是来自于 N—H 的变形振动和 C—N 的伸缩振动的偶合所形成的氨基甲酸酯 II 谱带 ($\delta\text{NH}+\nu\text{CN}$)^[16],可能是分散染料中的—OH 和—NH₂ 与纤维中硬链段上的酰胺键—CONH—形成较强的氢键所致^[17]; 2850 cm^{-1} 和 2916 cm^{-1} 附近的两处吸收峰是 CH₂ 基团的伸缩振动,表征氨纶纤维的软链段^[18],为分散染料上染的主要部位,其中染色温度为 125°C 的吸收峰均最强,所以可判断出染色温度为 125°C 时分散染料与氨纶的结合率最高,染色效果最佳。

2.2 染色时间

设定温度 130°C 染液 pH 值等于 5,分散染料染氨纶的时间不同时氨纶的力学性能如图 5 所示,氨纶的染色性能列于表 3。



(a)



(b)

波数 / cm^{-1} : a— $1400 \sim 1750$; b— $2800 \sim 3000$

图 4 不同染色温度下氨纶的 FTIR 谱图

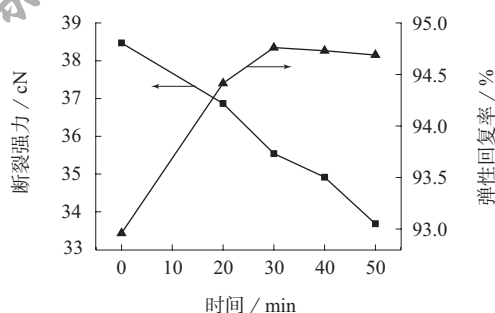


图 5 不同染色时间下氨纶的力学性能

表 3 不同染色时间下氨纶的染色性能

项目	染色时间 / min				
	0	20	30	40	50
K/S 值	0	29.088	29.268	29.210	27.713
色牢度等级	0	2~3	3	3	2~3

由图 5 和表 3 可以看出,染色时间在 $20 \sim 40 \text{ min}$ 范围内 K/S 值变化不大,当染色时间为 50 min 时, K/S 值降低至 27.713,而在 $30 \sim 40 \text{ min}$ 范围内,色牢度等级均为 3 级,高于其他染色时间的氨纶。但随着染色时间的增加,氨纶的断裂强力从 38.47 cN 下降到 50 min 时的 33.69 cN ,而弹性回复率先上升后下降,在 30 min 时达到最大值,为 94.76% 。因为氨纶软链段为分散染料上染的主要部分,随着染色时间的增加,染料分子与软段相互结合使其结构更加松弛,弹性回复率上升,而染色时间

大于 30 min 后,染料分子与氨纶形成的氢键和其他吸附力会遭到较大破坏,因此弹性回复率又有所下降;在高温条件下,染色时间越长,氨纶软硬链段的分离程度越大,导致大分子链的分子间滑脱或化学键断裂,断裂强力下降,硬链段之间的氢键相互作用减少^[19],氢键化程度下降,结晶度随之降低。

不同染色时间下氨纶的 XRD 曲线如图 6 所示。从图 6 可以看出,经过染色的氨纶的结晶度明显低于未染色氨纶。利用 Jade 软件计算出 5 组样品的结晶度列于表 4。表 4 数据表明,氨纶的结晶度确实会随着染色时间的延长而降低,这也证实了上述观点。

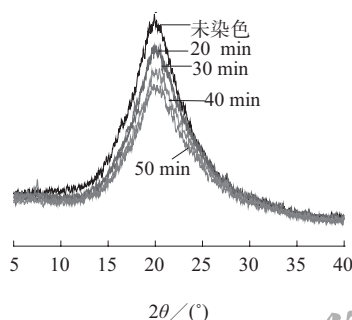


图 6 不同染色时间下氨纶的 XRD 曲线

表 4 不同染色时间下氨纶的结晶度

项目	染色时间 / min				
	0	20	30	40	50
结晶度 / %	36.97	33.57	33.13	31.71	28.45

波数在 2 700 ~ 3 400 cm^{-1} 范围内氨纶的 FTIR 如图 7 所示。

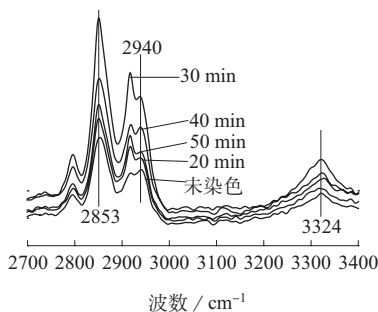


图 7 不同染色时间下氨纶的 FTIR 谱图

由图 7 可以看出,3 324 cm^{-1} 附近的弱吸收峰为 NH 基团的伸缩振动,表征硬链段,从理论上讲,染色时间越长,硬链段之间的氢键断裂程度越大,氢键化程度越低,而染色时间为 30 min 的氨纶的 NH 基团吸收峰明显大于未染色的且吸收峰最强。这可能是由于分散染料中的一 NH_2 与氨纶中硬链段上的酰胺键 $-\text{CONH}-$ 相结合形成了较强的氢键;2 853 cm^{-1} 和 2 940 cm^{-1} 附近的两处吸收

峰是 CH_2 基团的伸缩振动,染色时间为 30 min 和 40 min 的氨纶的两处吸收峰均较强,但从图 5 可知,染色时间越长,氨纶的断裂强力越差。综上所述,染色时间选在 30 min 时染色效果最佳。

2.3 染液的 pH 值

设定染色温度为 130 $^{\circ}\text{C}$,时间为 30 min,不同染液 pH 值下氨纶的 K/S 值和力学性能如图 8、图 9 所示。实验结果表明,当染液的 pH 值等于 9 时,染色氨纶的 K/S 值过差并且实际样品已呈粉色,失去原有色泽,所以仅对 pH 值为 4 ~ 8 时进行讨论与分析。

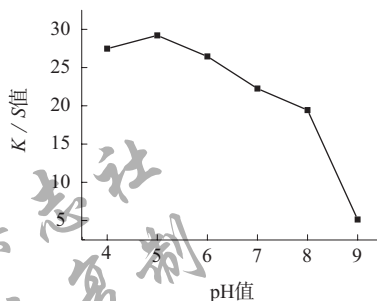


图 8 不同染液 pH 值下氨纶的 K/S 值

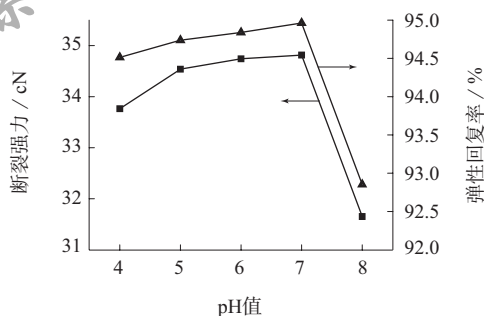


图 9 不同染液 pH 值下氨纶的力学性能

由图 8 和图 9 可以看出,分散染料在弱酸性条件下染色性能较好,染液 pH 值在 4 ~ 7 范围内,氨纶的断裂强力从 33.75 cN 上升至 34.81 cN,而表面色深值 (K/S 值) 从 27.47 下降至 22.26,当 pH 值等于 8 时, K/S 值继续下降为 19.44,而断裂强力大幅度下降至 31.65 cN。这是由于聚醚型氨纶的耐酸性较好,而耐碱性很差^[20],在强酸、强碱条件下都会发生不同程度的水解,但最易受碱攻击的氨基甲酸酯基 ($-\text{O}-\text{CO}-\text{NH}-$) 在碱性条件下会加速水解,降低形成氢键的能力,导致氨纶的染色性能变差。

不同 pH 值时氨纶在 1 450 ~ 1 600 cm^{-1} 范围内的 FTIR 谱图如图 10 所示。由图 10 可以看出,在 1 538 cm^{-1} 附近的中强吸收峰为酰胺 II 谱带的伸缩

振动峰, 1576 cm^{-1} 附近为苯环的 C—C 的伸缩振动峰, 染色氨纶相较于未染色氨纶的四处吸收峰有明显变化, 且 pH 值为 5 和 6 的吸收峰强度相近并均最强。

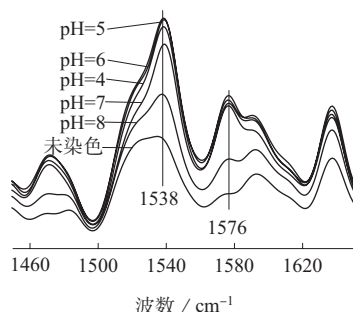


图 10 不同染液 pH 值下氨纶的 FTIR 谱图

3 结论

(1) 用分散染料上染氨纶, 其最佳工艺条件为: 温度 125°C , 时间 30~40 min, pH 值为 5~6。

(2) 染色温度应控制在 $120\sim 130^{\circ}\text{C}$ 区间, 小于 120°C 时色牢度不够, 易脱色; 大于 130°C 时, 表面色深值和色牢度都明显下降, 且染色温度越高, 氨纶硬链段间氢键化程度越小, 硬链段的结晶度越低, 对其力学性能和结构造成的损伤越严重。

(3) 染色时间一般控制在 30 min, 染色时间短, 染料分子与氨纶结合差, 色牢度和色深值均不能达到标准, 大于 30 min 会造成大分子链的分子间滑脱或化学键断裂严重, 氢键化程度下降, 结晶度降低, 导致断裂强力降低, 染色性能变差。

(4) 氨纶纤维的耐酸性较好, 耐碱性很差, 在染液 pH 值等于 5~6 的弱酸条件下表现出较好的染色性能且对氨纶的力学性能损伤较小。

(5) 通过 FTIR 和 XRD 测试方法从氨纶的微观结构分析染色性能, 将其与基团氢键进行综合分析, 更加清晰准确地说明染色工艺对氨纶的影响, 可保证氨纶染色效果最佳且损伤最小。

参考文献

- [1] 邵晓林, 毛植森, 许图远, 等. 氨纶及其织物染色性能的研究进展[J]. 合成纤维, 2015(1):22-26.
Shao Xiaolin, Mao Zhisen, Xu Tuyuan, et al. Research progress on dyeing performance of spandex and its fabrics[J]. Synthetic Fiber in China, 2015(1):22-26.
- [2] S Benmedakhene, Laksmi A. Influence of the fibre-matrix interface on the behaviour of polypropylene reinforced by short glass fibres above glass transition temperature[J]. Composites Science and Technology, 2002, 62(15):2 029-2 036.
- [3] 徐谷仓. 氨纶弹性织物染整常见疵病的产生及防止[J]. 印染,

2006, 32(10):11-17.

Xu Gucang. Common defects in dyeing and finishing of elastic fabric and its prevention[J]. Dyeing & Finishing, 2006, 32(10):11-17.

- [4] 吴志宇. 酸性染料易染氨纶的材料表征及染色性能研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2016.

Wu Zhiyu. Research on material characterization and dyeing properties of dye able PU with acid dyes[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2016.

- [5] 宋心远. 氨纶的结构、性能和染整(一)[J]. 印染, 2002, 28(11):30-35.

Song Xinyuan. The structure and properties of polyurethane, dyeing and finishing(一)[J]. Dyeing & Finishing, 2002, 28(11):30-35.

- [6] 钱红飞, 宋心远. 氨纶分散染料染色的吸附等温线和机理研究[J]. 染料与染色, 2001(6):24-25.

Qian Hongfei, Song Xinyuan. The adsorption isotherms and dyeing mechanism of disperse dyes on Polyurethane (PU) fiber[J]. Dyeing & Finishing, 2001(6):24-25.

- [7] 苗勇. 基于高含量氨纶的分散染料染色技术研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2014.

Miao Yong. Study on dyeing technology of high concentration dye dispersion based on polyurethane[D]. Suzhou: Soochow University, 2014.

- [8] 蒋玲玲, 孙振波. 氨纶染色增强剂的定性定量分析[J]. 中国纤检, 2014(11):65-67.

Jiang Lingling, Sun Zhenbo. Spandex dyeing agent enhanced the qualitative and quantitative analysis[J]. China Fiber Inspection, 2014(11):65-67.

- [9] Kara F, Aksoy E A, Yuksekdog Z, et al. Synthesis and surface modification of polyurethanes with chitosan for antibacterial properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 112:39-47.

- [10] 刘景全, 赵宏军. 腈纶莫代尔氨纶混纺织物低浴比染色工艺探讨[J]. 针织工业, 2010(5):29-31.

Liu Jingquan, Zhao Hongjun. Acrylic modal spandex blended fabric of low bath ratio dyeing process[J]. Knitting Industry, 2010(5):29-31.

- [11] 刘会娟. 助剂对氨纶混纺织物防沾色的影响及与染料的相互作用[D]. 苏州: 苏州大学, 2010.

Liu Huijuan. The interaction effect of additives on spandex fabric anti staining and dye[D]. Suzhou: Soochow University, 2010.

- [12] 王惠珍. 染料结构与氨纶的染色性探讨[J]. 丝绸, 2002(7):12-14.

Wang Huizhen. Study on the dyeing dye structure and spandex[J]. Silk, 2002(7):12-14.

- [13] 陈凤鸣. 分散染料可染丙纶的染色性能及染色机理研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2014.

Chen Fengming. Study on the dyeing performance and mechanism

(下转第 90 页)

- 苏科技信息,2016(5):60-61.
- Shen Zhongliang, Xiao Guohua, Xu Sheng, et al. Structure design of automatically take off whorl cap mould[J]. Jiangsu Science & Technology Information, 2016(5):60-61.
- [9] 沈忠良,郑子军,肖国华,等. 耦合开模闭模顺序控制与先复位机构的三板注塑模架设计[J]. 工程塑料应用,2016(10):86-89.
- Shen Zhongliang, Zheng Zijun, Xiao Guohua, et al. Design of three-plate injection mould base with coupling sequence control and pre-reset mechanism[J]. Engineering Plastics Application, 2016(10):86-89.
- [10] 陈鹏,刘仕昌,徐秋红. 塑料面板的热流道倒装注塑模的创新设计[J]. 工程塑料应用,2013(11):67-69.
- Chen Peng, Liu Shichang, Xu QiuHong. Creative design of hot runner inverse-installing injection mold for plastic cover[J]. Engineering Plastics Application, 2013(11):67-69.
- [11] 冯丽娜,熊健,郑伟,等. 复合材料波纹夹层圆柱壳设计及轴压性能[J]. 复合材料学报,2016(2):418-429.
- Feng Lina, Xiong Jian, Zheng Wei, et al. Fabrication and axial compression properties of composite corrugated sandwich cylindrical shells[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2016(2):418-429.
- [12] 霍余达,赵建,梁严,等. 储物箱热流道注射模设计[J]. 工程塑料应用,2015(12):73-75.
- Huo Yuda, Zhao Jian, Liang Yan, et al. Design of injection mould with hot runner of storage box[J]. Engineering Plastics Application, 2015(12):73-75.
- [13] 高彦哲. 注塑装备前模板变区域拓扑优化与合模动力系统性能分析[D]. 杭州:浙江大学,2016.
- Gao Yanze. Variable domain topology optimization and dynamic analysis of champing power system of injection molding equipment[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [14] 刘阳,徐晶才. 汽车后保险杠内藏式分型线模具的结构改进[J]. 汽车工艺与材料,2014(10):18-19,23.
- Liu Yang, Xu Jingcai. Bumper car invisible parting line mould structure improvement[J]. Automobile Technology & Material, 2014(10):18-19,23.
- [15] 郑少梅,郝国祥. 洗衣机上盖板的注塑模设计[J]. 塑料工业,2009(7):32-34,37.
- Zheng Shaomei, Hao Guoxiang. Injection mould of the washing machine cover[J]. China Plastics Industry, 2009(7):32-34,37.
- [16] 周慧兰,匡唐清,杨群. 色拉油瓶盖注塑模具设计[J]. 工程塑料应用,2014(5):60-62.
- Zhou Huilan, Kuang Tangqing, Yang Qun. Design of injection mold for salad cover[J]. Engineering Plastics Application, 2014(5):60-62.
- [17] 董海东. 继电器罩壳注塑模具设计[J]. 模具技术,2014(1):53-57.
- Dong Haidong. Injection mould design for relay shell[J]. Die and Mould Technology, 2014(1):53-57.
- [18] 黄克荣. 灯前盖注射模设计[J]. 模具工业,2016(1):58-60.
- Huang Kerong. Design of injection mould for front lamp shade[J]. Die & Mould Industry, 2016(1):58-60.
- [19] 施冬,刘伟庆,齐玉军. 新型轻木-GFRP夹芯板拉挤成型工艺及其界面性能[J]. 复合材料学报,2014(6):1428-1435.
- Shi Dong, Liu Weiqing, Qi Yujun. Pultrusion process and interface performance of new light wood-GFRP sandwich panels[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2014(6):1428-1435.
- [20] 田磊,刘柳,唐玉才,等. 弹力牛仔面料氯漂洗过程中失弹机理的研究[J]. 天津工业大学学报,2012,31(3):48-51.
- Tian Lei, Liu Liu, Tang Yu cai, et al. Study on loss of elastic mechanism of spandex denim in chlorine bleach washing[J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2012,31(3):48-51.
- (上接第49页)
- of disperse dye dyeable polypropylene fiber[D]. Zhejiang Sci-Tech University, 2014.
- [14] 车江宁,袁琴华. 氨纶分散染料染色工艺新探[J]. 印染,1999,25(8):6-8.
- Che Jiangning, Yuan Qinhua. A new dyeing process of spandex with disperse dyes[J]. Printing and Dyeing, 1999,25(8):6-8.
- [15] 朱新生,程嘉祺,徐彤,等. 氨纶结晶性与回弹性能的关系[J]. 合成纤维,2005,34(8):17-21.
- Zhu Xinsheng, Cheng Jiaqi, Xu Tong, et al. Relationship between crystallization and resilience of polyurethane fibers[J]. Synthetic Fiber, 2005,34(8):17-21.
- [16] 李杰妹,黄瑞,吕小王,等. 傅里叶变换红外光谱技术在聚氨酯行业中的应用进展[J]. 化学推进剂与高分子材料,2008,6(6):30-35.
- Li Jiemei, Huang Rui, Lyu Xiaowang, et al. Application progress of FT-IR technique in polyurethane Industry[J]. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2008,6(6):30-35.
- [17] 高晓红. 氨纶分散染料染色工艺研究[J]. 南通大学学报:自然科学版,2005,4(1):32-35.
- Gao Xiaohong. Research on dyeing process of spandex with disperse dyes[J]. Journal of Nantong University: Natural Science Edition, 2005,4(1):32-35.
- [18] 肖长发,孙维敏,刘振,等. 红外二向色性法研究聚氨酯薄膜的取向行为[J]. 高分子材料科学与工程,2001,17(1):106-108.
- Xiao Changfa, Sun Weimin, Liu Zhen, et al. Infrared dichroism studies on the orientation behavior of polyurethane film[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2001,17(1):106-108.
- [19] 余志成,林鹤鸣,张珍. 涤纶织物在超临界二氧化碳中的染色性能研究[J]. 纺织学报,2004,25(4):18-19.
- Yu Zhicheng, Lin Heming, Zhang Zhen. Research on dyeing properties of polyester fabrics under carbon dioxide[J]. Journal of Textile Research, 2004,25(4):18-19.
- [20] 田磊,刘柳,唐玉才,等. 弹力牛仔面料氯漂洗过程中失弹机理的研究[J]. 天津工业大学学报,2012,31(3):48-51.
- Tian Lei, Liu Liu, Tang Yu cai, et al. Study on loss of elastic mechanism of spandex denim in chlorine bleach washing[J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2012,31(3):48-51.