

羊毛氧化改性技术及其对羊毛性能的影响

田一帆, 郭晶, 韩萌萌, 孙凯飞, 吕青臣, 权国明

(陕西元丰新材料科技有限公司, 陕西 西安 710038)

摘要: 研究聚焦于探索更优的羊毛氧化改性方法。分别采用过一硫酸氢钾与过氧乙酸作为氧化剂,对羊毛进行氧化改性处理试验。通过对比改性后羊毛的白度、直径、断裂强力等指标,探讨两种氧化剂在不同处理条件下的改性效果,并确定各自的最佳工艺参数。研究结果显示:过一硫酸氢钾改性的最佳工艺参数为过一硫酸氢钾用量 8% (相对于织物质量的百分数, o. w. f)、处理时间 30 min、处理温度 70 °C、处理液 pH 值 4;过氧乙酸改性的最佳工艺参数为过氧乙酸用量 5% (o. w. f)、处理时间 40 min、处理温度 70 °C、处理液 pH 值 6。综合各项指标的分析可知,经过氧化乙酸处理的羊毛在白度和断裂强力方面表现更优,而过一硫酸氢钾在剥鳞效果方面则具有明显优势。

关键词: 羊毛; 氧化改性; 白度; 纤维直径; 断裂强力

中图分类号: TS 134. 2

文献标志码: A

Wool oxidative modification technology and its impact on wool properties

Tian Yifan, Guo Jing, Han Mengmeng, Sun Kaifei, Lü Qingchen, Quan Guoming

(Shaanxi Yuanfeng New Material Technology Co., Ltd., Xi'an 710038, Shaanxi, China)

Abstract: The research aims to explore a more optimized method for the oxidative modification of wool. Potassium peroxymonosulfate and peracetic acid were used as oxidants to perform oxidative modification treatment on wool. By comparing the performance indicators of the modified wool, such as whiteness, fiber diameter, and breaking strength, the modification effects of the two oxidants under different treatment conditions were investigated, and the optimal process parameters for each were explored. The research results showed that the optimal process parameters for potassium peroxymonosulfate modification were the potassium peroxymonosulfate dosage of 8% (on weight of fabric, o. w. f), treatment time of 30 min, treatment temperature of 70 °C, and pH value of the treatment solution at 4; while the optimal process parameters for peracetic acid modification were the peracetic acid dosage of 5% (o. w. f), treatment time of 40 min, treatment temperature of 70 °C, and pH value of the treatment solution at 6. Comprehensive analysis of various indicators indicated that wool treated with peracetic acid exhibited superior performance in terms of whiteness and breaking strength, while potassium peroxymonosulfate had a significant advantage in the removal of scales.

Key words: wool; oxidative modification; whiteness; fiber diameter; breaking strength

羊毛作为天然纤维领域的关键原料之一,在高档纺织品制备领域应用十分广泛。羊毛具有弹性优异、吸湿能力强、保暖性能良好、不易沾染污渍,以及光泽柔和等优良特性。然而,羊毛表面独特的鳞片

层结构,致使其存在易毡缩、水洗难度大,以及易导致生物刺痒感等弊端^[1-2]。这些缺陷在羊毛的后续加工以及产品使用过程中,会引发产品尺寸规格不稳定、耐洗性能差以及产生生物刺痒感等问题。化

收稿日期: 2026-01-30

作者简介: 田一帆,男,1990年生,本科,助理工程师,主要从事纺织造生产技术研究方面的工作,273743080@qq.com

通信作者: 孙凯飞,男,1985年生,本科,工程师,主要从事纺织企业生产管理方面的工作,327683519@qq.com

学剥鳞法是处理羊毛鳞片的常用方法,该方法能够以较低成本获得光泽细腻、手感柔软、耐缩性良好的羊毛^[3-6]。本研究旨在通过氧化改性技术,改善羊毛的上述不足,提升其加工性能与使用舒适度。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与仪器

羊毛原样,渗透剂 JFC(分析纯)、过一硫酸氢钾(分析纯)、过氧乙酸(分析纯)、亚硫酸钠(分析纯)、过氧化氢酶(分析纯)、电子天平、水浴锅、电子单纤维强力仪、NG755 型激光细度仪、WSB-3A 型智能式数字白度仪、扫描电子显微镜(SEM, KYKY-2800 型)。

1.2 试验方法

1.2.1 过一硫酸氢钾改性

首先,采用渗透剂 JFC 对羊毛进行水洗预处理。预处理结束后,将羊毛置于清水中充分洗净备用。接着,使用过一硫酸氢钾对羊毛进行过氧化改性处理,严格控制处理过程中的浴比、时间、温度以及 pH 值等参数。过氧化处理结束后,再次对羊毛进行水洗,随后采用亚硫酸钠对其进行还原处理。完成还原处理后,再进行水洗和烘干操作。具体工艺流程可概括为:水洗预处理→过一硫酸氢钾处理→水洗→亚硫酸钠处理→水洗→烘干^[7]。

1.2.2 过氧乙酸改性

首先,采用渗透剂 JFC 对羊毛进行水洗预处理。预处理结束后,将羊毛置于清水中充分洗净备用。接着,使用过氧乙酸对羊毛进行过氧化改性处理,严格控制处理过程中的浴比、时间、温度以及 pH 值等参数。完成过氧化处理后,再次对羊毛进行水洗,随后采用过氧化氢酶对其进行还原处理。还原处理结束后,再进行水洗和烘干操作。具体工艺流程可概括为:水洗预处理→过氧乙酸处理→水洗→过氧化氢酶处理→水洗→烘干^[8]。

1.3 性能测试与表征

1.3.1 白度

使用智能式数字白度仪测试羊毛试样的白度,每种试样均选择 10 个不同部位测试,结果取平均值(标定值 85.7,标定值指白度测试中所用标准板的标称值,用于校准 WSB-3A 型智能式数字白度仪)。

1.3.2 直径

使用激光细度仪测试羊毛试样的直径,测试 1 000 根羊毛的直径,计算平均直径。

1.3.3 断裂强力

采用电子单纤维强力仪测试羊毛试样的断裂强力,每组试样随机抽取 20 根单纤维进行测试,计算试样的平均断裂强力。

1.3.4 表面形貌观察

将羊毛试样粘贴于样品台上,采用离子溅射仪对其进行喷金处理,使试样表面均匀镀覆导电层,再采用扫描电子显微镜观察羊毛试样的鳞片层形貌,试验在 20 ℃ 恒温条件下进行。

2 过一硫酸氢钾法改性及性能测试

2.1 单因素试验分析

2.1.1 过一硫酸氢钾用量对羊毛性能的影响

在固定处理时间为 30 min、处理温度为 70 ℃、处理液 pH 值为 4 的条件下,探究过一硫酸氢钾用量(相对于织物质量的百分数, o. w. f)对羊毛白度、直径及断裂强力的影响,结果见表 1 和图 1。从表 1 可以看出,随着过一硫酸氢钾用量的增加,羊毛白度呈现持续上升的趋势。这主要是因为过一硫酸氢钾具有较强的氧化作用,能够对羊毛表面存在的部分色素分子进行氧化分解,从而有效提升羊毛的白度。试验数据还显示,总体而言,羊毛直径随着过一硫酸氢钾用量的增加而增大,而羊毛的断裂强力则不断下降。结合图 1 进行分析,综合考虑羊毛白度和断裂强力指标,确定过一硫酸氢钾用量以 6%~8% (o. w. f) 较为适宜。

表 1 过一硫酸氢钾用量对羊毛规格、性能的影响
Tab. 1 Effect of potassium peroxydisulfate dosage on specifications and properties of wool

| 过一硫酸氢钾 用量(o. w. f)/% | 白度/% | 直径/ μm | 断裂强力/cN |
|-------------------------|------|-------------------|---------|
| 0 | 43.1 | 20.93 | 8.94 |
| 4 | 48.6 | 21.72 | 7.68 |
| 6 | 54.8 | 23.14 | 7.54 |
| 8 | 55.5 | 22.74 | 7.50 |
| 10 | 59.4 | 25.19 | 5.30 |

2.1.2 过一硫酸氢钾处理时间对羊毛性能的影响

在固定过一硫酸氢钾用量为 8% (o. w. f)、处理温度为 70 ℃、处理液 pH 值为 4 的条件下,对羊毛进行不同时间的改性处理,探究过一硫酸氢钾处理时间对羊毛白度、直径及断裂强力的影响,结果见表 2 和图 2。由表 2 可知,随着处理时间的延长,羊

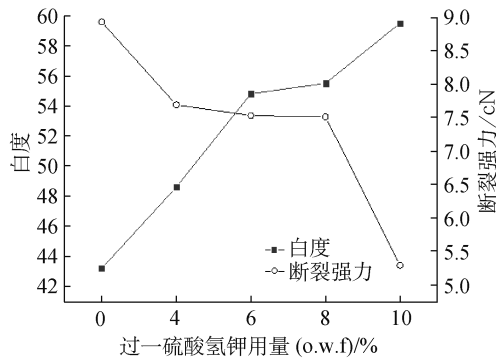


图1 过一硫酸氢钾用量对羊毛性能的影响

Fig. 1 Effect of potassium peroxydisulfate dosage on wool properties

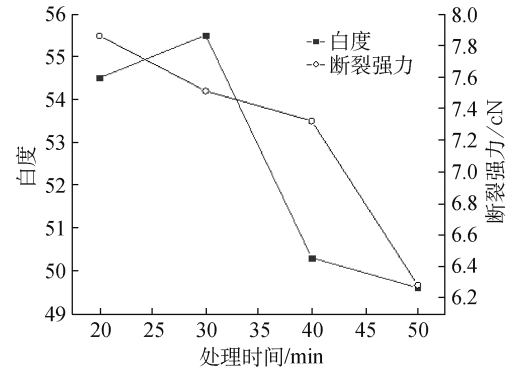


图2 过一硫酸氢钾处理时间对羊毛性能的影响

Fig. 2 Effect of potassium peroxydisulfate treatment time on wool properties

毛的白度先提高后降低。这是因为处理时间越长,氧化反应越充分,剥鳞效果越好,但过长时间的处理易导致羊毛过氧化,造成白度降低。试验数据还显示,羊毛直径随着处理时间的延长而持续增大,且羊毛的膨化程度也愈发明显。这是因为长时间的氧化处理会改变羊毛的分子结构和物理形态,使其变得更加疏松并发生膨胀。此外,处理时间越长,羊毛的断裂强力越低。这是因为长时间的处理使羊毛过氧化严重,强力受损。结合图2进行分析,综合考虑羊毛白度和断裂强力指标,确定改性处理时间以30~40 min较为适宜。

表2 过一硫酸氢钾处理时间对羊毛规格、性能的影响

Tab. 2 Effect of potassium peroxydisulfate treatment time on specifications and properties of wool

| 处理时间/min | 白度/% | 直径/ μm | 断裂强力/cN |
|----------|------|-------------------|---------|
| 0 | 43.2 | 20.92 | 8.93 |
| 20 | 54.5 | 22.95 | 7.86 |
| 30 | 55.5 | 22.75 | 7.51 |
| 40 | 50.3 | 23.07 | 7.32 |
| 50 | 49.6 | 24.60 | 6.28 |

2.1.3 过一硫酸氢钾处理液 pH 值对羊毛性能的影响

在固定过一硫酸氢钾用量为8% (o. w. f)、处理时间为30 min、处理温度为70 °C的条件下,采用不同pH值的处理液对羊毛进行改性处理,探究处理液pH值对羊毛白度、直径及断裂强力的影响,结果见表3和图3。由表3可知,随着处理液pH值的持续升高,羊毛白度呈现出先上升后下降的变化趋势。这一现象与过一硫酸氢钾的氧化特性有关。过一硫

酸氢钾的氧化电位会随着pH值的降低而升高,进而氧化作用增强。当处理液pH值较低时,过一硫酸氢钾的氧化反应剧烈且反应速度快,对羊毛的损伤较大,导致处理后羊毛的黄度高,白度低。试验数据还显示,随着处理液pH值的升高,羊毛直径呈增大趋势,且pH值为4时,羊毛的直径相对较小。此外,随着处理液pH值的升高,过一硫酸氢钾的氧化反应速度减缓。由于氧化反应不够充分,对羊毛表面鳞片层的剥除效果变差,这同时也减少了氧化剂对羊毛内部结构的过度破坏,从而使得羊毛的断裂强力相对较高。结合图3进行分析,综合考虑羊毛白度和断裂强力指标,确定处理液pH值为4较为适宜。

表3 过一硫酸氢钾处理液 pH 值对羊毛规格、性能的影响

Tab. 3 Effect of potassium peroxydisulfate treatment solution pH value on specifications and properties of wool

| 处理液 pH 值 | 白度/% | 直径/ μm | 断裂强力/cN |
|----------|------|-------------------|---------|
| —(未改性羊毛) | 43.2 | 20.92 | 8.93 |
| 3 | 49.4 | 22.88 | 6.86 |
| 4 | 55.5 | 22.75 | 7.51 |
| 5 | 54.4 | 23.15 | 7.75 |
| 6 | 53.4 | 25.49 | 7.99 |

2.1.4 过一硫酸氢钾处理温度对羊毛性能的影响

在固定过一硫酸氢钾用量为8% (o. w. f)、处理时间为30 min、处理液pH值为4的条件下,在不同处理温度下对羊毛进行改性处理,探究处理温度对羊毛白度、直径及断裂强力的影响,结果见表4和图4。由表4可知,升高处理温度,氧化反应的效

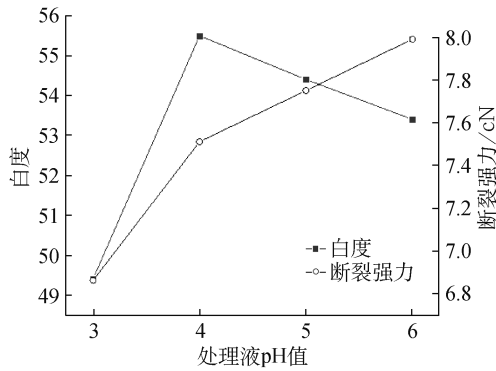


图3 过一硫酸氢钾处理液 pH 值对羊毛性能的影响

Fig. 3 Effect of potassium peroxydisulfate treatment solution pH value on wool properties

率提高,使得羊毛白度出现一定程度的提升。而处理温度对羊毛直径的影响规律较不明显,呈现出曲折波动的态势。且当处理温度为 70 °C 时,羊毛直径最小。试验数据还显示,处理温度越高,羊毛的断裂强力越小,这是因为温度升高会使羊毛鳞片层的张角增大,纤维溶胀程度增加,氧化反应效率提高,进而对羊毛的损伤加剧。结合图 4 进行分析,综合考虑羊毛白度和断裂强力指标,确定处理温度以 65~75 °C 较为适宜。

表 4 过一硫酸氢钾处理温度对羊毛规格、性能的影响

Tab. 4 Effect of potassium peroxydisulfate treatment temperature on specifications and properties of wool

| 处理温度/°C | 白度/% | 直径/ μm | 断裂强力/cN |
|----------|------|-------------------|---------|
| —(未改性羊毛) | 43.2 | 20.92 | 8.93 |
| 50 | 54.4 | 22.97 | 7.95 |
| 60 | 55.5 | 24.79 | 7.81 |
| 70 | 55.5 | 22.75 | 7.51 |
| 80 | 56.0 | 23.71 | 6.77 |

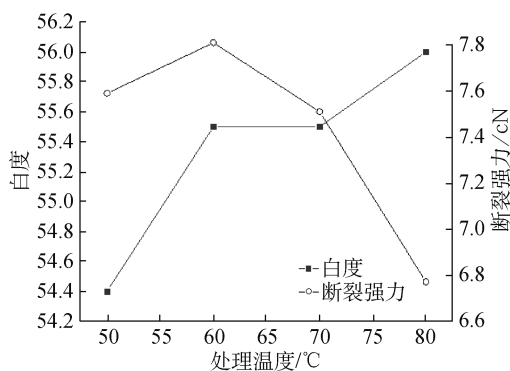


图4 过一硫酸氢钾处理温度对羊毛性能的影响

Fig. 4 Effect of potassium peroxydisulfate treatment temperature on wool properties

2.2 正交试验设计与分析

2.2.1 正交试验方案

为探究各工艺参数对经过一硫酸氢钾氧化改性的羊毛性能的具体影响,选取过一硫酸氢钾用量(A)、处理温度(B)、处理时间(C)和处理液 pH 值(D)这 4 个因素作为变量,开展正交试验分析。设计四因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交试验,详见表 5。

表 5 过一硫酸氢钾改性正交试验方案

Tab. 5 Orthogonal experimental design scheme for potassium peroxydisulfate modification

| 序号 | A 过一硫酸 氢钾用量 (o. w. f)/% | B 处理 温度/°C | C 处理 时间/min | D 处理液 pH 值 |
|----|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 1 | 6 | 40 | 30 | 4 |
| 2 | 6 | 55 | 40 | 5 |
| 3 | 6 | 70 | 50 | 6 |
| 4 | 8 | 40 | 40 | 6 |
| 5 | 8 | 55 | 50 | 4 |
| 6 | 8 | 70 | 30 | 5 |
| 7 | 10 | 40 | 50 | 5 |
| 8 | 10 | 55 | 30 | 6 |
| 9 | 10 | 70 | 40 | 4 |

2.2.2 正交试验结果与分析

各因素水平下过一硫酸氢钾氧化改性后,羊毛的性能测试结果见表 6。以断裂强力作为主要评价指标,对正交试验结果进行极差分析,结果如表 7 所示。通过分析可知,4 个因素对改性后羊毛断裂强力影响程度的强弱顺次为:因素 A(过一硫酸氢钾用量) $>$ 因素 B(处理温度) $>$ 因素 C(处理时间) $>$ 因素 D(处理液 pH 值)。各因素不同水平对羊毛整理效果的优劣顺次为: $A_2 > A_1 > A_3$, $B_3 > B_1 > B_2$, $C_1 > C_2 > C_3$, $D_1 > D_2 > D_3$ 。综合考虑断裂强力、白度(表 6)及剥鳞效果,确定最佳整理方案如下:过一硫酸氢钾用量为 8% (o. w. f)、处理温度为 70 °C、处理时间为 30 min、处理液 pH 值为 4。在此工艺条件下,羊毛白度由原样的 43.2% 提升至 60.5%,直径略有减小(由 20.92 μm 降至 20.11 μm),断裂强力为 6.90 cN,在可接受范围内,且剥鳞效果显著。

在上述最佳工艺下采用过一硫酸氢钾对羊毛进行过氧化改性。改性前后羊毛的 SEM 图见图 5。

表6 各因素水平对羊毛规格与性能的影响
Tab. 6 Impact of various factors on specifications and properties of wool

| 序号 | 未改性羊毛 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 白度 | 43.2 | 57.6 | 57.8 | 56.4 | 59.3 | 55.5 | 60.5 | 56.2 | 56.2 | 53.9 |
| 直径/ μm | 20.92 | 20.64 | 20.33 | 20.84 | 20.58 | 20.76 | 20.11 | 20.33 | 20.73 | 20.17 |
| 断裂强力/cN | 8.93 | 6.93 | 6.25 | 6.41 | 6.71 | 6.28 | 6.90 | 6.14 | 5.86 | 6.02 |

表7 正交试验各因素极差分析表
Tab. 7 Analysis of range for each factor in orthogonal experiment

| 指标 | A | B | C | D |
|-------|------|------|------|------|
| k_1 | 6.53 | 6.43 | 6.56 | 6.42 |
| k_2 | 6.63 | 6.13 | 6.33 | 6.41 |
| k_3 | 6.01 | 6.44 | 6.28 | 6.32 |
| R | 0.62 | 0.31 | 0.28 | 0.10 |

可以看出,经过一硫酸氢钾改性处理后,羊毛表面的鳞片基本上被剥除干净,顺、逆鳞片的方向已难以辨别,改性后的羊毛表面光滑细腻。

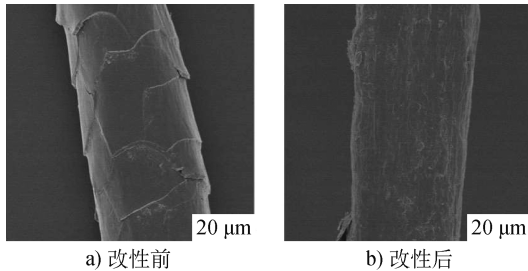


图5 过一硫酸氢钾改性前后羊毛的表面 SEM 图
Fig. 5 SEM images of the surface of wool before and after modification with potassium peroxymonosulfate

3 过氧乙酸法改性及性能测试

3.1 单因素试验分析

3.1.1 过氧乙酸用量对羊毛性能的影响

固定处理时间为 40 min、处理温度为 70 °C、处理液 pH 值为 6,在不同过氧乙酸用量下对羊毛进行改性处理,探究过氧乙酸用量对羊毛白度、直径及断裂强力的影响^[9],结果见表 8 和图 6。从表 8 可以看出,随着过氧乙酸用量的增加,羊毛的白度不断提高。这是因为随着过氧乙酸用量增加,其对二硫键有破坏作用的—OOH 的含量随之上升,对羊毛产生的氧化还原作用增强,羊毛白度提高。与此同时,试验数据还显示,羊毛直径随着过氧乙酸用量的增加而减小,原因是过氧乙酸用量越大,对羊毛的鳞片

剥离程度越高。而随着过氧乙酸用量的增加,对羊毛的氧化还原作用越来越充分,导致其断裂强力下降。结合图 6 进行分析,综合考虑羊毛白度和断裂强力指标,确定过氧乙酸用量以 4%~5% (o. w. f) 较为适宜。

表8 过氧乙酸用量对羊毛规格、性能的影响
Tab. 8 Effect of peracetic acid dosage on specifications and properties of wool

| 过氧乙酸用量 (o. w. f)/% | 白度/% | 直径/ μm | 断裂强力/cN |
|--------------------|------|-------------------|---------|
| 0 | 43.2 | 20.92 | 8.93 |
| 3 | 61.0 | 20.74 | 7.94 |
| 4 | 62.5 | 20.65 | 7.72 |
| 5 | 65.8 | 20.34 | 7.70 |
| 6 | 66.2 | 20.11 | 7.00 |

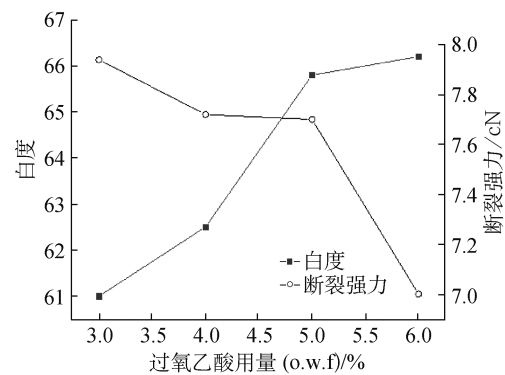


图6 过氧乙酸用量对羊毛性能的影响
Fig. 6 Effect of peracetic acid dosage on wool properties

3.1.2 过氧乙酸处理时间对羊毛性能的影响

在固定过氧乙酸用量为 5% (o. w. f)、处理温度为 70 °C、处理液 pH 值为 6 的条件下,对羊毛进行不同时间的改性处理,探究过氧乙酸处理时间对羊毛白度、直径及断裂强力的影响,结果见表 9 和图 7。由表 9 可知,随着处理时间的延长,羊毛的白度先提高后降低。这是因为处理时间越长,过氧乙

酸与胱氨酸中二硫键的氧化反应越充分,剥鳞效果越好,但反应时间过长易导致羊毛过氧化,造成白度下降。试验数据还显示,随着处理时间的延长,羊毛直径先略有增大后减小。处理时间为 20 min 时,羊毛直径由原样的 20.92 μm 增至 21.11 μm ,这可能是由于处理初期纤维发生溶胀所致;处理时间为 30~50 min 时,羊毛纤维的直径下降至 20.22~20.38 μm ,表明过氧乙酸的氧化作用使部分鳞片层有效剥离。羊毛纤维变细,断裂强力降低。原因是过氧乙酸的强氧化性导致羊毛纤维皮质层受损,进而引发纤维变细或断裂。结合图 7 进行分析,综合考虑羊毛白度和断裂强力指标,确定改性处理时间以 30~40 min 较为适宜。

表 9 过氧乙酸处理时间对羊毛规格、性能的影响

Tab. 9 Effect of peracetic acid treatment time on specifications and properties of wool

| 处理时间/min | 白度/% | 直径/ μm | 断裂强力/cN |
|----------|------|-------------------|---------|
| 0 | 43.2 | 20.92 | 8.93 |
| 20 | 60.0 | 21.11 | 8.43 |
| 30 | 62.8 | 20.22 | 7.76 |
| 40 | 65.8 | 20.34 | 7.70 |
| 50 | 63.0 | 20.38 | 6.68 |

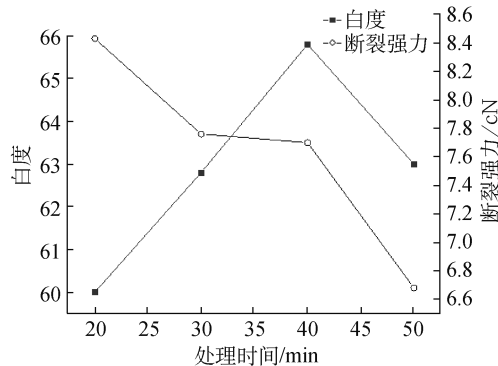


图 7 过氧乙酸处理时间对羊毛性能的影响

Fig. 7 Effect of peracetic acid treatment time on wool properties

3.1.3 过氧乙酸处理液 pH 值对羊毛性能的影响

在固定过氧乙酸用量为 5% (o. w. f)、处理时间为 40 min、处理温度为 70 $^{\circ}\text{C}$ 的条件下,采用不同 pH 值的处理液对羊毛进行改性处理,探究处理液 pH 值对羊毛白度、直径及断裂强力的影响,结果见表 10 和图 8。由表 10 可知,随着处理液 pH 值的持续升高,羊毛白度呈现出先上升后下降的变化趋势。这是因为,处理液 pH 值较低时,过氧乙酸分解速率

较小,而 pH 值过高,碱性条件下,羊毛主体易因氧化受损而变黄,白度下降。试验数据还显示,处理液 pH 值为 4~6 时,羊毛直径较稳定,处理液 pH 值为 7 时,羊毛膨化导致其直径剧增。此外,处理液 pH 值越高,羊毛的断裂强力越低^[10]。结合图 8 进行分析,综合考虑羊毛白度和断裂强力指标,确定处理液 pH 值以 5~6 较为适宜。

表 10 过氧乙酸处理液 pH 值对羊毛规格、性能的影响

Tab. 10 Effect of peracetic acid treatment solution pH value on specifications and properties of wool

| 处理液 pH 值 | 白度/% | 直径/ μm | 断裂强力/cN |
|----------|------|-------------------|---------|
| —(未改性羊毛) | 43.2 | 20.92 | 8.93 |
| 4 | 63.4 | 20.35 | 7.83 |
| 5 | 64.5 | 20.36 | 7.79 |
| 6 | 65.8 | 20.34 | 7.70 |
| 7 | 63.0 | 21.23 | 6.69 |

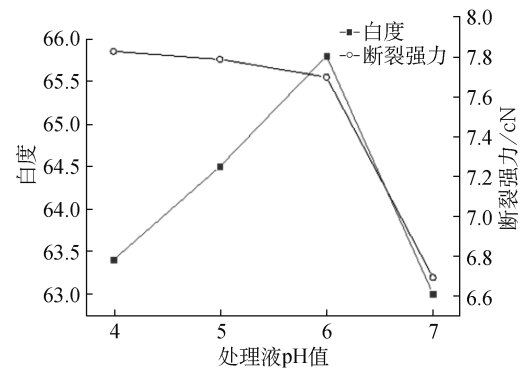


图 8 过氧乙酸处理液 pH 值对羊毛性能的影响

Fig. 8 Effect of peracetic acid treatment solution pH value on wool properties

3.1.4 过氧乙酸处理温度对羊毛性能的影响

固定过氧乙酸用量为 5% (o. w. f)、处理时间为 40 min、处理液 pH 值为 6,在不同处理温度下对羊毛进行改性处理,探究处理温度对羊毛白度、直径及断裂强力的影响,结果见表 11 和图 9。由表 11 可知,随着处理温度的升高,羊毛的白度提升,但温度也不宜过高。这是因为温度升高对羊毛氧化还原反应具有促进作用,但温度过高,羊毛易因氧化受损而变黄,白度下降。试验数据还显示,处理温度越高,羊毛的断裂强力越小。原因可能是:一方面,温度升高加速了过氧乙酸的分解,生成过氧自由基

(—OOH)等活性基团,增强了其对羊毛鳞片层的氧化剥离作用;另一方面,随着温度的升高,羊毛鳞片张角增大,促使反应在羊毛鳞片层内外同时进行,导致纤维断裂强力下降。结合图9进行分析,综合考虑羊毛白度和断裂强力指标,确定处理温度以65~75℃较为适宜。

表11 过氧乙酸处理温度对羊毛规格、性能的影响

Tab. 11 Effect of peracetic acid treatment temperature on specifications and properties of wool

| 处理温度/℃ | 白度/% | 直径/ μm | 断裂强力/cN |
|----------|------|-------------------|---------|
| —(未改性羊毛) | 43.2 | 20.92 | 8.93 |
| 50 | 61.5 | 20.28 | 8.27 |
| 60 | 64.5 | 20.68 | 7.96 |
| 70 | 65.8 | 20.34 | 7.70 |
| 80 | 57.9 | 20.71 | 6.48 |

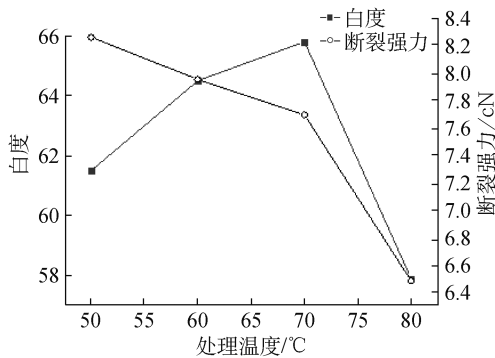


图9 过氧乙酸处理温度对羊毛性能的影响

Fig. 9 Effect of peracetic acid treatment temperature on wool properties

3.2 正交试验设计与分析

3.2.1 正交试验方案

为探究各工艺参数对经过氧乙酸氧化改性的羊毛性能的具体影响,选取过氧乙酸用量(A)、处理温度(B)、处理时间(C)和处理液pH值(D)这4个因素作为变量,开展正交试验分析。设计四因素三

水平 $L_9(3^4)$ 正交试验,详见表12。

表12 过氧乙酸改性正交试验方案

Tab. 12 Orthogonal experimental design scheme for peracetic acid modification

| 序号 | A 过氧乙酸用量 (o. w. f)/% | B 处理 温度/℃ | C 处理时 间/min | D 处理液 pH值 |
|----|----------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 1 | 5 | 70 | 50 | 7 |
| 2 | 5 | 55 | 40 | 6 |
| 3 | 5 | 40 | 30 | 5 |
| 4 | 4 | 40 | 50 | 6 |
| 5 | 4 | 70 | 40 | 5 |
| 6 | 4 | 55 | 30 | 7 |
| 7 | 3 | 55 | 50 | 5 |
| 8 | 3 | 40 | 40 | 7 |
| 9 | 3 | 70 | 30 | 6 |

3.2.2 正交试验结果与分析

各因素水平下过氧乙酸氧化改性后,羊毛的性能测试结果见表13。以断裂强力作为主要评价指标,对正交试验结果进行极差分析,结果如表14所示。通过分析可知,4个因素对羊毛改性后断裂强力影响程度的强弱次序为:因素A(过氧乙酸用量)>因素B(处理温度)>因素D(处理液pH值)>因素C(处理时间)。各因素不同水平对羊毛整理效果的优劣次序为: $A_1 > A_2 > A_3$, $B_2 > B_1 > B_3$, $C_2 > C_1 > C_3$, $D_1 > D_2 > D_3$ 。综合考虑断裂强力、白度(表13)及剥鳞效果,确定最佳整理方案如下:过氧乙酸用量为5%(o. w. f)、处理温度为70℃、处理时间为40min、处理液pH值为6。在此工艺条件下,羊毛白度由原样的43.2%提升至68.9%,直径由20.92 μm 降至20.33 μm ,断裂强力为8.41cN,综合性能优异。

表13 各因素水平对羊毛规格与性能的影响

Tab. 13 Impact of various factors on specifications and properties of wool

| 序号 | 未改性羊毛 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 白度 | 43.2 | 63.5 | 68.9 | 64.1 | 67.2 | 64.5 | 65.6 | 64.8 | 59.1 | 67.5 |
| 直径/ μm | 20.92 | 20.64 | 20.33 | 20.84 | 20.58 | 20.76 | 20.11 | 20.33 | 20.73 | 20.17 |
| 断裂强力/cN | 8.93 | 7.08 | 8.41 | 6.75 | 6.71 | 7.76 | 6.47 | 6.04 | 6.26 | 6.47 |

表 14 正交试验各因素极差分析表

Tab. 14 Analysis of range of each factor in orthogonal experiment

| 指标 | A | B | C | D |
|-------|------|------|------|------|
| k_1 | 7.75 | 6.94 | 6.93 | 7.43 |
| k_2 | 6.98 | 7.48 | 7.20 | 6.97 |
| k_3 | 6.26 | 6.56 | 6.85 | 6.57 |
| R | 1.49 | 0.92 | 0.35 | 0.86 |

在上述最佳工艺下采用过氧乙酸对羊毛进行过氧化改性。改性前后羊毛的 SEM 图^[11]见图 10。可以看出,经过过氧乙酸改性处理后,羊毛表面的尖角钝化,肩部变得平滑,呈椭圆状,部分鳞片被去除,但整体鳞片仍较完整。

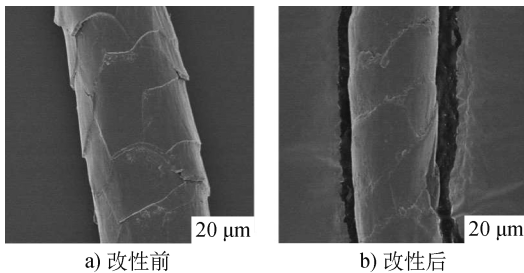


图 10 过氧乙酸改性前后羊毛的表面 SEM 图

Fig. 10 SEM images of the surface of wool before and after modification with peracetic acid

4 过一硫酸氢钾法和过氧乙酸法改性效果对比

过氧乙酸作为一种强氧化剂,其分子结构中存在的过氧键(-O-O-)在酸性条件下具备高反应活性,能够氧化分解羊毛中的天然色素基团(如类黑精、醌类化合物)。而过一硫酸氢钾虽同样具有强酸性与氧化性,但其对羊毛的漂白效果受到一定的限制。这是因为过一硫酸氢钾会优先与羊毛角蛋白中的二硫键(-S-S-)发生反应,生成磺酸基团(-SO₃H),而该基团对共轭发色体系的破坏能力相较于过氧乙酸较弱。

过一硫酸氢钾能够特异作用于鳞片层外侧的类脂结构,将其转化为可溶性磺酸盐,进而使鳞片边缘翘起角度增大 15°~20°,有利于剥除鳞片,降低纤维间的定向摩擦效应。相比之下,过氧乙酸法的鳞片剥离效果欠佳;在冷堆工艺条件下,过氧乙酸仅能去

除鳞片层表层约 30% 的类脂物质,经其处理后羊毛的定向摩擦因数仍达 0.25~0.30,相较于过一硫酸氢钾法处理后羊毛的定向摩擦因数(0.15~0.20),高出 40%~50%^[12]。

未改性羊毛和分别经过一硫酸氢钾与过氧乙酸改性(均在最佳工艺条件下进行)后羊毛的断裂强力、白度对比如图 11 所示。可以看出,经过过氧乙酸改性处理的羊毛,其白度和断裂强力指标均优于过一硫酸氢钾改性处理的羊毛。然而,结合图 5 和图 10 综合分析可知,过一硫酸氢钾法在羊毛剥鳞效果方面优于过氧乙酸法。

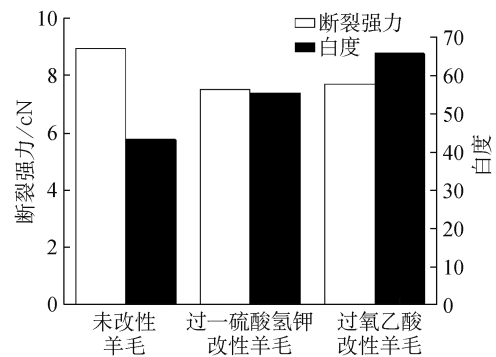


图 11 断裂强力、白度对比图

Fig. 11 Comparison of breaking strength and whiteness

5 结论

(1) 过一硫酸氢钾改性的最佳工艺参数为过一硫酸氢钾用量 8% (o. w. f)、处理时间 30 min、处理温度 70 °C、处理液 pH 值 4。该工艺下改性后羊毛的剥鳞效果较好,但白度和断裂强力相对较低。

(2) 过氧乙酸改性的最佳工艺参数为过氧乙酸用量 5% (o. w. f)、处理时间 40 min、处理温度 70 °C、处理液 pH 值 6。该工艺下改性后羊毛的白度和断裂强力较高,但剥鳞效果略逊于过一硫酸氢钾改性。

(3) 总体而言,过氧乙酸在提升羊毛白度和保持断裂强力方面更具优势,而过一硫酸氢钾在剥鳞效果方面表现更佳。在实际应用中,可根据具体需求选择合适的改性方法。若以提升羊毛白度与断裂强力为主要目标,旨在满足对色泽与强度要求较为严苛的纺织品生产需求,则过氧乙酸改性法是更合适的选择。而若关注点聚焦于改善羊毛表面性能,增强其与其他纤维的抱合力,进而提升纺织品的耐用性与抗起球性能,则过一硫酸氢钾改性法可取得更

为显著的效果。后续研究中,可结合控温调湿等复合功能整理工艺,进一步拓展改性羊毛在功能性纺织品领域的应用潜力。

参 考 文 献

- [1] 姚穆. 纺织材料学[M]. 4版. 北京:中国纺织出版社,2015: 84-102.
- [2] 高晶,王璐. 前处理工艺对毛/涤织物疏水改性效果的影响[J]. 纺织学报,2019,40(9): 91-96.
- [3] 王利娅. 羊毛纤维鳞片层对羊毛衫吸湿排汗性能的影响[J]. 毛纺科技,2017,45(12): 73-75.
- [4] 陈丽萍,陈维国,崔志华,等. 氯化改性羊毛的低温高效 Mannich 反应染色方法[J]. 毛纺科技,2022,50(3): 30-35.
- [5] 孟琳琳,程晓羽,赵丽丽,等. 形态记忆羊毛/Sorona 精纺面料的开发[J]. 产业用纺织品,2025,43(2): 39-44.
- [6] 杨陈. 毛织物防毡缩整理机理与工艺研究进展[J]. 国际纺织导报,2018,46(8): 34-36.
- [7] 朱凯棋,杨杏,李美真. 过一硫酸氢钾法羊毛剥鳞工艺的研究[J]. 染整技术,2017,39(4): 52-55.
- [8] 张庆富,杨文芳,乔艳丽,等. 过氧乙酸在羊毛防毡缩整理中的应用[J]. 印染助剂,2012,29(1): 36-41.
- [9] 孙建敏,李美真,郭晓卿,等. 过氧乙酸法羊毛丝光工艺研究[J]. 毛纺科技,2018,46(3): 24-27.
- [10] 董春燕,朱明辉,张鹏飞,等. 不同细度超细羊毛纤维的性能测试与结构分析[J]. 毛纺科技,2017,45(12): 76-79.
- [11] 曹翠玲,杨泽福,郑善亮,等. 用红外光谱仪和扫描电子显微镜研究羊毛织物的微观结构[J]. 毛纺科技,2017,45(1): 14-17.
- [12] 陈怡静,范雪荣,高卫东,等. 低强损高白度羊毛针织物冷堆漂白工艺研究[J]. 针织工业,2021(3): 32-35.

欢迎订阅 2026 年《国际纺织导报》

《国际纺织导报》(双月刊),大 16 开,全彩色印刷,定价 12.00 元/册,全年 72.00 元,中国标准连续出版物号: ISSN 1007-6867,邮发代号:4-245. CN 31-1743/TS

《国际纺织导报》由东华大学主办,东华大学期刊中心编辑出版。期刊已入编中国学术期刊(网络版)、万方数据-数字化期刊群、中文科技期刊数据库、超星期刊域出版平台及长江文库,入选第五届上海市高校科技期刊案例库特色科技期刊。

《国际纺织导报》报道国内外纺织、服装、设计以及其相关领域科研、生产和技术应用的最新成果,介绍行业内的重要学术会议、展览及技术经济信息。依托东华大学纺织、服装、纤维材料等优势学科,开设“工程科技”“时尚设计”“前沿动态”“产业服务”等栏目。

《国际纺织导报》将利用丰富的信息源架起中国与世界

纺织业间的桥梁,推进中国纺织行业的进一步发展。

《国际纺织导报》承接相关广告,并热诚为客户宣传,欢迎有意者来电、来函或 E-mail 联系。

地址:上海市延安西路 1882 号

东华大学第三教学楼 15 楼

电话:021-62373227

E-mail: mc@dhu.edu.cn

采编平台: <http://gfzb.cbpt.cnki.net>



创新是发展的引擎

开放是进步的桥梁

合作是共赢的基石