

木粉改性及其对包装原纸性能的影响

陈自豪¹, 戴磊¹, 龙柱^{1*}, 孙昌¹, 陈箫²

(1. 江南大学 纺织科学与工程学院 造纸研究室, 江苏 无锡 214122; 2. 聊城市高得率清洁制浆特种文化纸重点实验室 山东金蔡伦纸业, 山东 聊城 252000)

摘要: 使用均苯三甲酸 (TF)、柠檬酸和 (CA) 3-氯-2-羟丙基三甲基氯化铵 (CHPTAC) 分别对杨木木粉进行改性, 制得了 3 种改性木粉 (TF 木粉、CA 木粉和 CH 木粉)。采用 FTIR、XRD、TGA 对改性前后木粉进行了表征和测试, 阐释其改性机理。将其添加到废纸浆中制备了包装原纸。通过动态滤水、Zeta 电位、环压强度、裂断长和撕裂指数、耐破指数的测试, 考察了改性木粉对纸浆和包装原纸性能的影响。结果表明, TF 木粉、CA 木粉较原木粉 (绝干木粉) 均增加了酯基, CH 木粉接枝了阳离子季铵盐基团; 改性主要作用在木粉表面纤维素的非结晶区, 3 种改性木粉的结构未改变, 而热稳定性略有提升。改性木粉对纸浆浆料滤水时间没有明显影响, 但能提高木粉留着率。用含量 (以绝干木粉的质量为基准, 下同) 为 8% 均苯三甲酸、8% 柠檬酸或 15% CHPTAC 改性的木粉 (TF8、CA8 或 CH15) 制备包装原纸, 与未添加改性木粉的包装原纸相比, 当添加量 (以纸浆质量为基准, 下同) 为 10% 时, 制备的包装原纸的环压强度分别提高 37%、45% 和 29%, 裂断长分别提高 29%、47% 和 41%。其中, CA8 添加效果最好, 添加 CH15 的环压强度略低。

关键词: 木粉; 改性; 包装原纸; 强度; 木粉留着率; 造纸化学品

中图分类号: TS761.7 文献标识码: A 文章编号: 1003-5214 (2025) 03-0654-06

Modification of wood flour and effect on packaging base paper

CHEN Zihao¹, DAI Lei¹, LONG Zhu^{1*}, SUN Chang¹, CHEN Xiao²

(1. Laboratory of Papermaking, College of Textile Science and Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China; 2. Liaocheng Key Laboratory of High Yield Clean Pulping and Special Cultural Paper, Shandong Jincailun Paper Co., Ltd., Liaocheng 252000, Shandong, China)

Abstract: Poplar wood flour was modified with trimesic acid (TF), citric acid (CA) and 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethyl ammonium chloride (CHPTAC), respectively, and three types of modified wood flour (TF wood flour, CA wood flour and CH wood flour) were obtained, and characterized via FTIR, XRD and TGA trying to clarify the modification mechanism, and then added to waste pulp to obtain packaging base paper. The effects of modified wood flour on the properties of pulp and packaging base paper were analyzed by dynamic water filtration, Zeta potential, ring compression strength, breaking length, tear index and break resistance index. The results demonstrated that TF and CA wood flour had more ester groups, while CH wood flour was grafted with cationic quaternary ammonium salt groups in comparison to basic wood flour (absolute dry wood flour). The modification mainly took place in the amorphous region of cellulose on the surface of wood flour, without changing the flour structure and the water filtration time of pulp, but showing improvement in thermal stability and wood flour retention rate. Comparing with those of the packaging base paper without addition of modified wood flour, the packaging base paper, prepared with addition amount of 10% wood flour (TF8, CA8 or CH15) modified with (based on the mass of absolute dry wood flour, the same below) 8% homopterisic acid, 8% citric acid or 15% CHPTAC, showed an increase in the ring compression strength of 37%, 45% and 29%, respectively and in the breaking length of 29%, 47% and 41%, respectively. The packaging base paper with CA8 exhibited the

收稿日期: 2024-01-08; 定用日期: 2024-03-21; DOI: 10.13550/j.jxhg.20240026

基金项目: 国家自然科学基金项目 (22178208)

作者简介: 陈自豪 (1998—), 男, 硕士生, E-mail: czhyuri@yeah.net. 联系人: 龙柱 (1966—), 男, 教授, E-mail: longzhu@jiangnan.edu.cn.

best performance, while CH15 showed a slightly lower ring compressive strength but the largest increase in breaking length.

Key words: wood flour; modification; packaging base paper; strength; wood flour retention rate; papermaking chemicals

近年来,随着人们环境保护意识的不断增强和国内森林资源日益匮乏,造纸行业出现纤维原木原材料的严重短缺,这一问题成为造纸行业进一步发展的瓶颈之一^[1]。木粉(木屑或者木材残渣)是木材加工时产生的大量边角料。以往对木粉的常见处理方式通常为丢弃或露天焚烧,仅有一小部分被当作工业原材料或燃烧产热的燃料,这既对自然资源造成浪费,又给环境带来污染^[2]。因此,木粉的高值化利用对于木材资源循环利用、缓解造纸原料短缺以及环境可持续发展有着重要的意义^[3-5]。

木粉主要是由纤维素、半纤维素和木质素等成分组成,含有大量羟基、羧基等一系列官能团,通过对木粉纤维改性处理可以实现木粉高值化利用。目前,木粉改性方法主要分为物理法、化学法和生物法^[6]。其中,化学法改性是木粉常用改性方法,其产品取代度高、反应效率高、反应条件简单,适合实际生产应用^[7]。木粉的化学改性主要与木粉纤维素羟基发生化学反应有关。纤维素每个葡萄糖单元都含有3个羟基,可以进行酯化、醚化和接枝共聚等反应^[8-9]。SI等^[10]研究表明, β -环糊精/柠檬酸/木粉接枝共聚物木粉基吸附剂对亚甲基蓝(MB)的吸附容量较原木粉增加了5%。ZHANG等^[11]将甲基丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸丁酯和苯乙烯喷洒在木粉上,对其进行疏水改性,成功制备了木塑复合材料。这些研究多集中于染料吸附或木塑材料制造领域,将木粉用于纸张生产领域的研究目前较少。在纸张中直接添加木粉会大幅降低纸张的物理性能,因此,为了满足实际生产生活需要,以及缓解造纸原料短缺现状,需进一步对木粉进行改性处理,以适应纸张应用需求。均苯三甲酸和柠檬酸是三元羧酸,其羧基与木粉纤维素中的羟基发生酯化反应可以提高木粉的酯基含量^[12-13]。3-氯-2-羟丙基三甲基氯化铵(CHPTAC)是常见的阳离子醚化剂,其与木粉上羟基的季铵盐基团取代反应可以实现木粉阳离子化^[14],木粉阳离子化后带正电荷,可以与带负电荷的纸浆纤维形成离子键,从而促进木粉的留着并增加纤维连接强度。

本文拟分别以均苯三甲酸(TF)、柠檬酸(CA)、CHPTAC对木粉进行改性处理,来制备3种改性木粉。对改性木粉进行结构表征和性能测试,考察改

性木粉添加对包装原纸物理性能的影响。以期为木粉改性及包装纸应用提供技术支持和理论依据。

1 实验部分

1.1 材料、试剂与仪器

旧瓦楞纸箱(OCC),国内某纸厂;杨木木粉(60目),石家庄灵县木材有限公司;柠檬酸、均苯三甲酸、三聚磷酸钠、NaOH,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;CHPTAC,美国ARK PHARM公司。

Nicolet iS10型傅里叶变换红外光谱仪(FTIR),美国Thermo Fisher Scientific公司;D2 PHASER型X射线衍射仪(XRD),德国Bruker公司;Q200型热重分析仪(TGA),德国Netzsch公司;SZP-06型Zeta表面电位分析仪,德国Metek公司;Tensile 02型环压强度仪、Tensile 05型撕裂度仪,东莞英特耐森精密仪器有限公司;ZQJI型纸页成型器,陕西科技大学机械厂;瓦力打浆机,咸阳泰斯特仪器有限公司;DDJ动态滤水仪,美国PRM公司。

1.2 实验方法

1.2.1 均苯三甲酸改性木粉

均苯三甲酸改性木粉的制备参照SUN等^[12]方法。将4g绝干木粉加入到三口烧瓶中,再向其中加入200mL去离子水,搅拌下加入含量(以绝干木粉的质量为基准,下同)为0.4%的三聚磷酸钠,然后加入含量(以绝干木粉的质量为基准,下同)为2%的均苯三甲酸,充分混合后油浴加热。先将温度控制在25℃下反应2h,然后升温至65℃,充分搅拌反应30min,最后升温至120℃处理5h后结束反应。降温并静置30min后过滤,将反应产物用去离子水冲洗30min,最后,抽滤得到均苯三甲酸改性木粉(TF木粉),记为TF2。

固定其他反应条件不变,调整均苯三甲酸含量,采用上述相同步骤和方法,将由均苯三甲酸含量为5%、8%、11%制得到TF木粉分别记为TF5、TF8、TF11。

1.2.2 柠檬酸改性木粉

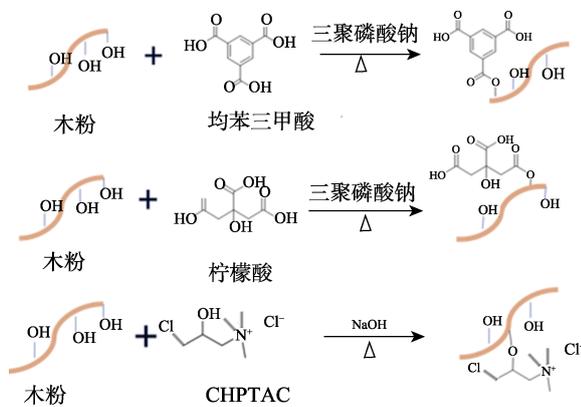
柠檬酸改性木粉的制备参照SUN等^[12]方法。采用与1.2.1节相同步骤和方法,用柠檬酸替换均苯三甲酸,制得了柠檬酸改性木粉(CA木粉),将柠檬酸含量为2%、5%、8%、11%制得的CA木粉分别记为CA2、CA5、CA8、CA11。

1.2.3 CHPTAC 改性木粉

CHPTAC 改性木粉的制备参照 WANG 等^[15]的方法。将 4 g 绝干木粉加入到盛有 60 mL NaOH 溶液 (pH=12) 的 100 mL 锥形瓶中, 然后加入含量 (以绝干木粉的质量为基准, 下同) 为 5% 的 CHPTAC, 搅拌 10 min, 直至完全分散。然后, 置于 70 °C 恒温干燥箱中反应 4 h。反应结束后, 降温、过滤, 使用无水乙醇对样品进行清洗、过滤。最后, 将清洗干净的改性木粉自然风干, 制得了 CHPTAC 改性木粉 (CH 木粉), 记为 CH5。

固定其他反应条件不变, 调整 CHPTAC 含量, 采用上述相同步骤和方法, 将由 CHPTAC 含量为 10%、15%、20% 制得的 CH 木粉分别记为 CH10、CH15、CH20。

3 种改性木粉反应机理如下所示。



1.2.4 OCC 浆制备

将废旧纸板破碎成小块, 在去离子水中浸泡 24 h, 用瓦力打浆机进行打浆; 甩干装入样品袋放置一夜平衡水分, 得到 OCC 浆, 打浆度为 33°SR, 放入冰箱冷藏保存备用。

1.2.5 木粉包装原纸的制备

采用纸页成型器制备定量 100 g/m² 包装原纸手抄片。将改性木粉与 OCC 浆混合, 其中改性木粉添加量 (以浆料的质量为基准, 下同) 为 5%、10%、15% 和 20%, 采用浆料疏解机疏解 5 min 使其充分混合均匀后, 抄成湿纸幅。然后将湿纸幅在 0.6 MPa 下压榨 3 min。最后, 于 105 °C 下干燥 10 min 得到木粉包装原纸。

1.3 表征方法与性能测试

FTIR 测试: 通过 KBr 压片法对改性前后木粉制样, 分析木粉改性前后官能团, 波数范围 4000~500 cm⁻¹, 扫描次数 40 次。XRD 测试: 采用 X 射线衍射仪表征改性木粉晶体结构, 并根据式 (1) 计算其结晶度:

$$X/\% = (I_1 - I_2) / I_1 \times 100 \quad (1)$$

式中: X 为结晶度, %; I_1 为 (200) 晶面的衍射强度;

I_2 为 $2\theta=18^\circ$ 的无定形峰的衍射强度。

SEM 测试: 对改性前后的木粉包装原纸手抄纸进行喷金处理, 观察手抄纸样品并拍摄图片, 加速电压 4 kV。TGA 测试: 样品质量约为 5.0 mg, 在 N₂ 氛围下以 10 °C/min 的恒定速率从 25 °C 升至 600 °C。

纸张厚度、环压强度、裂断长、撕裂指数、耐破指数分别按 GB/T 451.3—2002、GB/T 2679.8—2016、GB/T 12914—2008、GB/T 455—2002、GB/T 454—2020 进行测定。

采用动态滤水仪对木粉留着率和浆料滤水性能进行测定, 考察改性木粉添加量对纸浆浆料湿部的影响。采用 Zeta 表面电位分析仪对木粉和木粉浆料的电性质进行测定。

2 结果与讨论

2.1 改性木粉的表征

2.1.1 FTIR 分析

图 1 为 TF8、CA8、CH15 和绝干木粉的 FTIR 谱图。

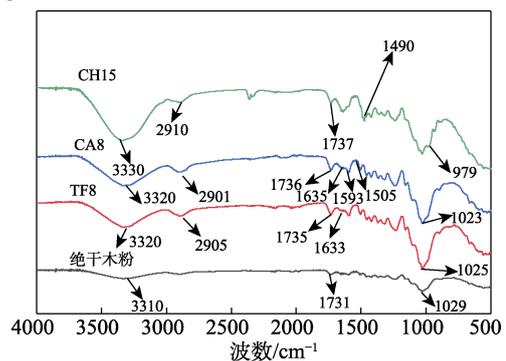


图 1 改性木粉的 FTIR 谱图
Fig. 1 FTIR spectra of modified wood flour

从图 1 可以看出, 对于 TF8、CA8, 3320 cm⁻¹ 处为 —OH 的伸缩振动吸收峰; 2905 和 2901 cm⁻¹ 处为 C—H 的伸缩振动吸收峰; 1633 和 1635 cm⁻¹ 处为 C=O 键的非对称伸缩振动吸收峰; 1735 和 1736 cm⁻¹ 处为 C=O 键的伸缩振动吸收峰。与绝干木粉的 FTIR 谱图相比, 这些吸收峰均明显增强, 说明木粉改性成功。木粉分别与均苯三甲酸和柠檬酸发生了酯化反应^[16], 木粉纤维引入了羧基基团。对于 CH15, 3330 cm⁻¹ 处为 —OH 的伸缩振动吸收峰; 1737 cm⁻¹ 处为 C=O 键的伸缩振动吸收峰^[17]。与绝干木粉相比, CH15 在 1490 cm⁻¹ 处出现一个微弱的吸收峰, 为季铵基团特征吸收峰, 979 cm⁻¹ 处属于季铵吸收带, 以上表明木粉发生了阳离子化反应。

2.1.2 XRD 分析

图 2 为 TF8、CA8、CH15 和绝干木粉的 XRD 谱图。

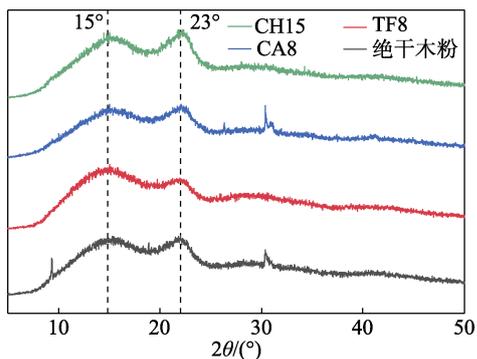


图2 改性木粉的XRD谱图

Fig. 2 XRD patterns of modified wood flour

从图2可以看出, 改性前后木粉均在 $2\theta=15^\circ$ 、 23° 处出现了明显的特征衍射峰, 说明两者均是纤维素I型结构。经式(1)计算, 绝干木粉、TF8、CA8、CH15的结晶度分别为51%、53%、56%、53%, 木粉改性前后结晶度变化微小, 表明均苯三甲酸、柠檬酸、CHPTAC对木粉的改性未破坏其物相结构, 改性主要作用在木粉表面纤维素的非结晶区^[15]。

2.1.3 TGA 分析

图3为TF8、CA8、CH15和绝干木粉的TGA和DTG曲线。

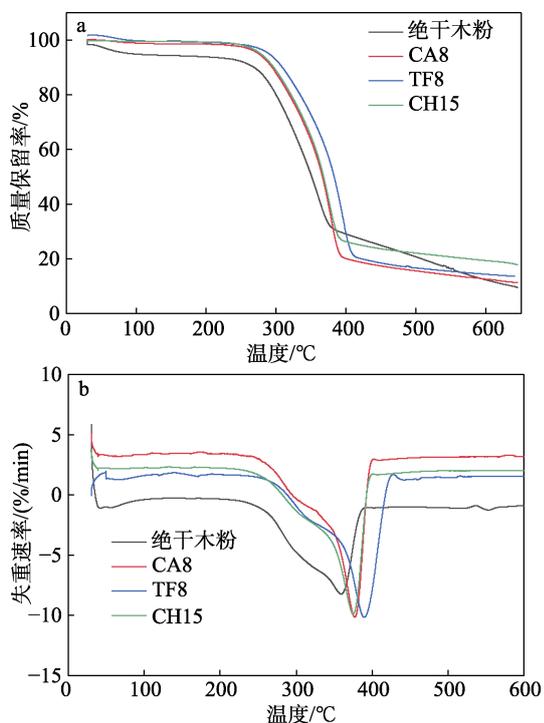


图3 改性木粉的TGA (a) 和DTG (b) 曲线

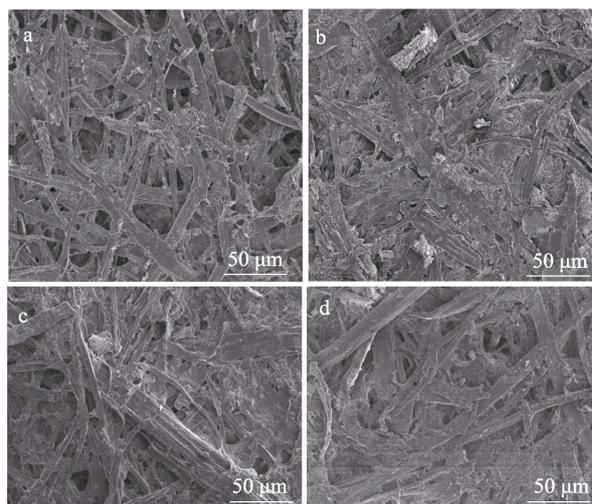
Fig. 3 TGA (a) and DTG (b) curves of modified wood flour

从图3a可以看出, 改性前后的木粉在热稳定性上未发生明显改变。TF8、CA8、CH15和绝干木粉的热分解主要分为3个阶段: 第1个阶段是从室温~ 270°C , 为干燥阶段, 样品内部水分蒸发, 此阶段TF8、CA8、

CH15和绝干木粉的质量保留率分别为95.69%、95.67%、95.65%和93.58%; 第2阶段为热分解阶段, 温度范围 $270\sim 390^\circ\text{C}$, 此时4组样品质量保留率均迅速下降, 表明其发生了剧烈热解反应, 这是由样品组分的分解、氧化和燃烧所致, 此阶段TF8、CA8、CH15和绝干木粉的质量保留率分别为40.67%、39.75%、39.68%和29.33%, 改性木粉残存质量明显高于未改性的, 表明经改性后木粉产生更多的酯键; 第3阶段为炭化阶段, 当温度 $>390^\circ\text{C}$ 后, TF8、CA8、CH15和绝干木粉最终变为炭和灰分, 质量变化较为平稳并达到质量恒定^[18]。从图3b可以看出, TF8、CA8、CH15的最大质量损失峰值分别在 387 、 385 、 389°C , 均高于绝干木粉(355°C), 可以推断, TF8、CA8、CH15用于包装原纸实际抄造干燥阶段($105\sim 160^\circ\text{C}$)时将较为稳定, 不会发生热分解反应。

2.2 木粉包装原纸的SEM分析

图4为包装原纸纤维表面的SEM图。



a—绝干木粉包装原纸; b—TF8包装原纸; c—CA8包装原纸; d—CH15包装原纸

图4 木粉抄造包装原纸的SEM图

Fig. 4 SEM images of wood flour packaging base paper

从图4可以看出, 加入绝干木粉的手抄片纤维表面较粗糙、空隙较大, 且木粉与纤维之间松散交织, 排列不紧密(图4a); 而添加了TF8(图4b)、CA8(图4c)、CH15(图4d)的手抄纸纤维之间结合更加紧密, OCC纤维与木粉纤维之间空隙更小。这是因为, TF8、CA8的木粉纤维与OCC纤维之间形成了更多氢键, 或是木粉阳离子化改性后的CH15带正电荷, 与带负电荷的OCC纤维之间产生了更多的静电作用。

2.3 改性木粉对纸浆浆料湿部性能的影响

2.3.1 滤水时间和木粉留着率分析

图5为TF8、CA8、CH15和绝干木粉不同添加量对纸浆浆料湿部性能的影响。

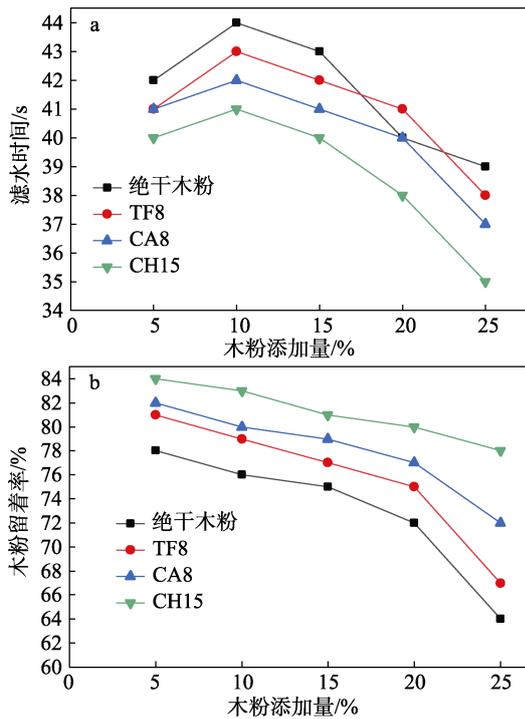


图 5 改性木粉对纸浆浆料湿部滤水时间 (a) 和木粉留着率 (b) 的影响

Fig. 5 Effect of wood flour addition amount on wet end filtration time (a) and wood powder retention (b) of paper pulp

从图 5a 可以看出, 滤水时间随着木粉添加量的增加先增加后减少, TF8、CA8、CH15 和绝干木粉均在添加量为 10% 时滤水时间最长, 分别为 43、42、41 和 44 s, 在添加 25% 时滤水时间最少, 分别为 38、37、35 和 39 s。TF8、CA8、CH15 加入后, 纸浆浆料滤水时间依次减小, 且均小于绝干木粉, CH15 有着最好的滤水性能。这是因为, CH15 带正电荷, 可与带负电荷的纤维和细小组分产生电荷中和或电荷补丁, 有助于纤维之间产生絮聚作用, 可以有效减少滤水时间; TF8、CA8 可与 OCC 纤维之间形成更多氢键, 其均可以提高滤水性能, 减少滤水时间。

从图 5b 可以看出, 木粉在浆料中的留着率均随着木粉添加量的增加而减小。当绝干木粉添加量为 5% 时, 木粉留着率为 78%; 当添加量为 25% 时, 木粉留着率为 64%, 木粉留着率的下降是由于绝干木粉与纤维之间结合较弱, 并且木粉主要以机械截留为主, 因而数量较为有限。当 TF8 添加量为 5% 时, 木粉留着率为 81%, 当添加量为 25% 时, 木粉留着率为 67%。同样, 添加 CA8、CH15 后木粉留着率相对添加量相同的绝干木粉均有所提高, 其留着效果由大到小顺序为: CH15>CA8>TF8>绝干木粉。CA 木粉和 TF 木粉留着效果好于绝干木粉, 这是因为, TF8 或 CA8 与纤维之间的结合既有机保留, 还有氢键结合; 此外, CA 木粉效果好于 TF 木粉,

原因是, CA8 可以使得纤维间有更加紧密的结合, 有利于木粉留着率的提升; CH15 有最好的留着效果是因为带正电荷的 CH15 可与带负电荷的纸浆纤维逐步中和, 减少纤维之间排斥力, 从而提高木粉留着率。

2.3.2 Zeta 电位分析

表 1 为 TF8、CA8、CH15 和绝干木粉不同添加量对纸浆浆料 Zeta 电位的影响。

表 1 木粉对纸浆浆料 Zeta 电位的影响
Table 1 Effect of wood flour on Zeta potential of paper pulp

添加量/%	Zeta 电位/mV			
	绝干木粉	TF8	CA8	CH15
0	-17	-17	-17	-17
10	-29	-35	-46	21

从表 1 可以看出, 当添加量为 10% 时, 添加绝干木粉、TF8、CA8 的纸浆浆料 Zeta 电位分别为 -29、-35、-46 mV, 均小于未添加木粉的纸浆浆料 (-17 mV)。这是因为, 绝干木粉本身具有电负性, 羧基含量较高的 TF8、CA8 的添加增加了浆料的负电荷, 因而 Zeta 电位下降。而 CH15 的添加使纸浆浆料 Zeta 电位 (21 mV) 明显上升, 这归因于 CH15 纤维带正电荷。

2.4 改性木粉对手抄纸物理性能的影响

表 2 为不同改性木粉对手抄纸物理性能的影响。

表 2 添加量 10% 木粉对包装原纸物理性能的影响
Table 2 Effect of addition amount of 10% wood flour on properties of packaging base paper

木粉	紧度/ (g/cm ²)	环压强度/ (N·m/g)	裂断长/ km	撕裂指数/ (mN·m ² /g)	耐破指数/ (kPa·m ² /g)
绝干木粉	0.50	6.24	3.11	7.77	2.08
TF2	0.49	7.69	3.51	7.81	2.18
TF5	0.51	8.11	3.86	8.35	2.30
TF8	0.51	8.54	4.01	8.41	2.35
TF11	0.53	8.31	4.03	8.42	2.41
CA2	0.51	7.85	3.91	8.05	2.29
CA5	0.49	8.32	4.31	8.41	2.24
CA8	0.48	9.07	4.57	8.52	2.36
CA11	0.52	8.69	4.52	8.96	2.49
CH5	0.49	7.01	3.31	7.91	2.11
CH10	0.49	7.39	4.02	8.02	2.26
CH15	0.51	8.06	4.37	8.22	2.34
CH20	0.52	8.46	4.35	8.31	2.35

从表 2 可以看出, 添加量 10% 的 TF8、CA8、CH15 的手抄纸环压强度分别达到 8.54、9.07 和 8.06 N·m/g, 比添加量 10% 的绝干木粉的手抄纸环压强度 (6.24 N·m/g) 分别提高了 37%、45% 和 29%; 添加量 10% 的 TF8、CA8、CH15 的手抄纸裂断长达

到 4.01、4.57 和 4.37 km, 比添加 10% 的绝干木粉的手抄纸裂断长 (3.11 km) 分别提高了 29%、47%、41%。改性木粉的加入明显提高了手抄纸环压强度和裂断长。这是因为, TF8、CA8 具有更多的羧基, 有利于增加纤维间的结合点数量和面积, 使其反应基团与废纸纤维间有着更多的氢键结合, 增加纤维之间相对键合面积, 从而提高包装原纸的环压强度。CA8 具有更好的效果, 是由于柠檬酸分子比均苯三甲酸分子多了 1 个羟基^[19]; 而 CH15 具有大量阳离子季铵盐基团, 有助于其与带负电荷的纤维结合, 形成共价键或离子键, 从而提高纸张物理性能。从表 2 还可以看出, 添加量 10% 的 CA11 时, 制备的包装原纸的环压强度和裂断长均出现了一定程度的下降, 这可能是由于过多的羧基使纸张纤维与木粉纤维之间发生了负电荷相互排斥现象, 影响了它们之间的结合^[20]。添加量 10% 的 CH20 时, 包装原纸的裂断长也出现一定程度下降, 这是因为, 过量的 CHPTAC 会使纸浆纤维带正电荷, 纤维间排斥作用增加。

综上所述, 添加量 10% 的 TF8、CA8、CH15 的包装原纸的各项物理性能均为最佳, CA8 对包装原纸物性的增强效果明显优于 TF8 和 CH15。

3 结论

绝干木粉经均苯三甲酸、柠檬酸或 CHPTAC 改性, 制备的改性木粉 (TF 木粉、CA 木粉或 CH 木粉) 添加至包装原纸, 可显著提高包装原纸物理性能。

(1) TF 木粉、CA 木粉均增加了酯基, CH 木粉接枝了阳离子季铵盐基团。TF 木粉、CA 木粉和 CH 木粉较绝干木粉的结构未发生改变, 改性主要作用在木粉表面纤维素的非结晶区; TF 木粉、CA 木粉和 CH 木粉较绝干木粉的热稳定性略有提升。

(2) 改性木粉对纸浆浆料滤水时间不会产生明显的影响; 改性木粉留着率明显优于未改性木粉。CH 木粉的留着效果明显优于 TF 木粉、CA 木粉。

(3) 添加量为 10% 时, TF8、CA8 和 CH15 制备的包装原纸较绝干木粉制备的包装原纸环压强度分别提高了 37%、45% 和 29%, 裂断长提高了 29%、47% 和 41%; CA8 对包装原纸物性的增强效果明显优于 TF8 和 CH15。

本文制备的 TF 木粉、CA 木粉和 CH 木粉可用于包装原纸配抄, 在一定程度上缓解了造纸原材料短缺问题, 并为木粉高值化利用提供了一种新思路。

参考文献:

[1] GUO C Y (郭彩云). Overview of waste paper recycling and utilization,

- as well as import and export of waste paper and pulp in China in 2019[J]. China Paper Newsletters (造纸信息), 2020(9): 16-23.
- [2] HOU F M (侯方淼), LIU C (刘璨), PEI R T (裴润田), *et al.* Effects of China's environmental regulations on the global value chain status of wood processing industry[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition) (南京林业大学学报: 自然科学版), 2022, 46(3): 231-230
- [3] SUN N, WANG T, LIU C. Preparation, characterization and photocatalytic study of wood flour/ β -cyclodextrin/TiO₂ hybrid composite[J]. Wood Science and Technology, 2016, 50(6): 1243-1260.
- [4] CHEN C J, HU L B. Nanoscale ion regulation in wood-based structures and their device applications[J]. Advanced Materials, 2020, 12(6): 1099-1109.
- [5] OU J H, YAN J, XU T, *et al.* Fabrication of nickel-iron layered double hydroxides using nickel platin wastewater via electrocoagulation, and its use for efficient dye removal[J]. Journal of Molecular Liquids, 2021, 13(4): 1199-1213.
- [6] PATRYCJA B, DARIUSZ M, RAFAL B, *et al.* Bio-based polyethylene composites with natural fiber: Mechanical, thermal, and ageing properties[J]. Materials, 2020, 13(11): 2595-2615.
- [7] DAVID H, RICARDO V, FERNANDO J, *et al.* Topography of the interfacial shear strength and the mean intrinsic tensile strength of hemp fibers as a reinforcement of polypropylene[J]. Materials, 2020, 13(4): 1012-1028.
- [8] SUHAS, GUPTA V K, CARROTT P J, *et al.* Cellulose: A review as natural, modified and activated carbon adsorbent[J]. Bioresource Technology, 2016, 216: 1066-1076.
- [9] LUO C C, WANG H, CHEN Y. Research progress on modification and application of cellulose[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2015, 3: 767-773.
- [10] SI H Y, WANG T, XU Z W. Biosorption of methylene blue from aqueous solutions on β -cyclodextrin grafting wood flour copolymer: Kinetic and equilibrium studies[J]. Wood Science and Technology, 2013, 47(6): 1177-1196.
- [11] ZHANG L, SUN J P, YU Q Y, *et al.* Effect of hydrophobic modification of wood flour on properties of HDPE based wood plastic composites[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2020, 39(9): 3487-3493.
- [12] SUN Q, HE W T, SONG X L. Esterification of galactomannan and polyacid as paper strengthening agent[J]. Journal of Wood Chemistry and Technology, 2018, 38(3): 246-253.
- [13] TU M LOS R, TING J L, ELIAS O, *et al.* Results of the study of chemical-, vacuum drying- and plasma-pretreatment of coconut (*Cocos nucifera*) lumber sawdust for the adsorption of methyl red in water solution[J]. Surface and Coatings Technology, 2011, 205: S425-S42.
- [14] ZHANG X T, ZHAO Y S, CHEN Z H, *et al.* Effect of cationic hemicellulosic fractions from corn cob obtained by graded ethanol precipitation on recycled paper strength[J]. BioResources, 2018, 13(2): 4187-4201.
- [15] WANG M, HE W T, YAN R S, *et al.* A study of cationic glucomannan as a paper strength agent[J]. Journal of Macromolecular Science Part A Pure and Applied Chemistry, 2016, 54(4): 216-220.
- [16] LIU R, PENG Y, CAO J Z, *et al.* Comparison on properties of lignocellulosic flour/polymer composites by using wood, cellulose, and lignin flours as fillers[J]. Composites Science and Technology, 2014, 103(12): 1-7.
- [17] YAN L Y, LI S Y, SONG X L. Preparation of paper strengthening agent by esterification of cellulosic fines[J]. BioResources, 2017, 12(1): 469-477.
- [18] LIU Q X, XU W C, LYU Y B, *et al.* Research on preparation of cationic polyacrylate emulsion paper strengthening agent[J]. Advanced Materials Research, 2015, 12(2): 18-29.
- [19] FERRER A, QUINTANA E, FILPPONEN I, *et al.* Effect of residual lignin and heteropolysaccharides in nanofibrillar cellulose and nanopaper from wood fibers[J]. Cellulose, 2019, 19(8): 2179-2193.
- [20] SEGAL L, CREELY J J, MARTIN A E, *et al.* An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer[J]. Textile Research Journal, 1959, 29: 786-794.