



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20170213

数字出版日期: 2018-06-26; 数字出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1355.N.20180626.1122.002.html>

## 利用功能化细小纤维改善高得率浆纤维的结合性能

杨帆<sup>1</sup>, 侯玉峰<sup>1</sup>, 张红杰<sup>1,2,3</sup>, 钱学君<sup>2</sup>, 程洪顺<sup>2</sup>, 张凤山<sup>3</sup>, 李晓亮<sup>3</sup>

(1. 天津市制浆造纸重点实验室, 天津科技大学造纸学院, 天津 300457;

2. 河北华泰纸业有限公司, 赵县 051530; 3. 山东华泰纸业股份有限公司, 东营 257335)

**摘要:** 采用功能化细小纤维改善高得率浆长纤维级分的结合性能, 全面评价了高得率浆长纤维级分手抄片的抗张强度、松厚度和光散射系数。实验结果表明: 经阳离子助剂功能化的细小纤维在有效提高高得率浆长纤维手抄纸页的结合性能的同时, 可保持其较好的松厚度, 且在一定用量范围内其具有良好的协同作用; 当细小纤维用量为 10%、CPAM 用量为 0.7% (相对于绝干浆) 时, 其所配制的功能化细小纤维的协同作用效果最佳。

**关键词:** 高得率浆纤维; 功能化细小纤维; 结合性能; 松厚度

中图分类号: TS721<sup>+</sup>.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2018)06-0035-06

## Improving Bonding Properties of High-yield Pulp Fibers by Using Functionalized Fines

YANG Fan<sup>1</sup>, HOU Yufeng<sup>1</sup>, ZHANG Hongjie<sup>1,2,3</sup>, QIAN Xuejun<sup>2</sup>,

CHENG Hongshun<sup>2</sup>, ZHANG Fengshan<sup>3</sup>, LI Xiaoliang<sup>3</sup>

(1. Tianjin Key Laboratory of Pulp and Paper, College of Paper Science and Technology,

Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;

2. Hebei Huatai Paper Industry Co., Ltd., Huatai Group, Zhaoxian 051530, China;

3. Shandong Huatai Paper Industry Co., Ltd., Huatai Group, Dongying 257335, China)

**Abstract:** Functionalized fines were used to improve the bonding property of high-yield pulp (HYP) long-fiber fraction, and the tensile strength, bulk and light scattering coefficient of handsheets made of HYP long-fiber fractions were evaluated. The results showed that the fines, functionalized by chemical additives, could improve the bonding performance of the handsheets made of HYP long-fiber fraction without sacrificing the bulk property. The synergistic effect is good with optimized dosage of fines and additives. When the dosage is 1% fines and 0.7% CPAM (based on the o. d. pulp), the synergistic effect of the functionalized fines and chemical additives is the best.

**Key words:** high-yield pulp fiber; functionalized fines; bonding property; bulk

高得率浆(HYP)最初主要为了节约成本,应用于新闻纸和纸板芯层。目前,高得率浆部分替代阔叶木漂白硫酸盐浆,生产高档印刷纸、薄页纸和无碳复写纸等高附加值纸种,主要为了提高纸和纸板产品的松厚度、挺度和不透明度等性能<sup>[1-3]</sup>。但与化学浆纤维相比,高得率浆纤维表面保留了大量木素和抽出物等疏水性物质,纤维挺硬,纸浆中纤维表面暴露出来的游离羟基和羧基较少,不利于纸页成形时形成氢键结

合,纤维的结合性能较差。目前,普遍采用的是将HYP与漂白硫酸盐浆(BKP)配抄的方法改善HYP的性能,以抄造出综合性能较好的纸张,从而满足对纸页强度和表面性能要求较高纸种的需求<sup>[2-4]</sup>。近些年,本课题组的研究集中在改善高得率浆纤维的结合面积<sup>[5]</sup>、纤维电荷<sup>[6-7]</sup>和纤维形变性能<sup>[8]</sup>等方面,同时也考察了通过单独添加高效助剂改善高得率浆纤维的结合强度。这些途径从多个角度提出了缓解高得率

收稿日期: 2017-07-18; 修回日期: 2017-09-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31670588); 中国博士后科学基金资助项目(2016M600516)

作者简介: 杨帆(1992—),女,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生; 通信作者: 张红杰,副教授, hongjiezhang@tust.edu.cn

浆纤维结合性能较差问题的解决思路,但仍存在成本或操作性等方面的问题,高得率浆纤维结合性能较差的缺陷仍然严重限制其在高附加值产品中的应用比例和应用范围<sup>[5-9]</sup>。

细小纤维的形态尺寸较小、比表面积较大、表面负电荷密度较高,在不同纸种的生产过程中起着非常重要的作用<sup>[10-11]</sup>。特别是化学浆的细小纤维,在纸页纤维成形过程中,能够强化纤维之间的结合,降低纸页表面粗糙度。因此,在纸页抄造过程中一般必须保持一定比例的细小纤维含量。但是,细小纤维由于表面吸附能力强,在抄纸系统中更容易大量吸附其他细小组分或阳离子助剂,后期又由于其尺寸较小难以保证留着,造成大量细小组分的流失<sup>[11]</sup>。另外,阳离子型造纸助剂在抄纸过程中被广泛使用,但近几年由于造纸湿部的复杂性以及造纸过程参数控制的波动,致使阳离子型高分子长链类助剂作用效率下降,而且这类长链类阳离子型造纸助剂极易在“多孔性”纤维表面形成铺展和扩散,部分进入到纤维内部<sup>[12]</sup>,进一步降低其作用效率。

由此,本文拟采用阳离子型长链类高分子助剂功能化细小纤维,将其应用于结合性能最差的高得率浆的长纤维级分中,全面评价高得率浆长纤维级分的抗张强度、松厚度等指标,同时优化分析细小纤维与阳离子助剂在提高高得率浆长纤维级分的结合性能方面的协同作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与仪器

实验使用的高得率浆纤维为杨木温和预处理和盘磨化学处理的碱性过氧化氢机械浆(P-RC APMP)纤维,经鲍尔筛分仪筛分处理后,留取 R30 长纤维级分,备用;实验使用的细小纤维是阔叶木漂白化学浆纤维,经鲍尔筛分仪筛分处理后,留取 P200 细小纤维部分,备用;实验所选用的阳离子型长链高分子助剂为阳离子聚丙烯酰胺(CPAM),固含量为 20%,相对分子质量约为 40 万,配制成质量分数为 1% 的 CPAM 溶液。

71-03-04-0002 型鲍尔筛分仪,美国 TMI 公司;PCD-04 型颗粒电荷测定仪,德国 BTG 公司;RK3A-KWT 型标准纸页成型器,奥地利 PTI 公司。

### 1.2 功能化细小纤维的制备

取一定量细小纤维与一定量助剂于 250 mL 烧杯中,充分打散,400 r/min 搅拌 0.5 h,使细小纤维充分

吸附助剂。本实验共制备 4 种不同的功能化细小纤维,其用量见表 1。

表 1 细小纤维与 CPAM 的用量配比(相对于绝干浆)  
Tab. 1 Ratio of fines to CPAM (based on o. d. pulp)

编号	用量/%	
	细小纤维	CPAM
1	3	0.3
2	6	0.5
3	10	0.7
4	15	1.0

### 1.3 手抄纸页的制备

采用标准纸页成型器制备手抄风干片,定量为 60 g/m<sup>2</sup>。按照 GB/T 24324—2009《纸浆·物理试验用实验室纸页的制备·常规纸页成型器法》进行手抄片的制备,助剂的用量均相对于绝干浆用量而言。

### 1.4 电荷密度的测定

采用反滴定法对细小纤维的表面电荷进行测定,所需要的药品是浓度为  $2 \times 10^{-4}$  mol/L 的聚二烯丙基二甲基氯化铵(PDADMAC)溶液和  $1 \times 10^{-3}$  mol/L 的聚乙烯硫酸钠(PES-Na)溶液,具体步骤如下:

取 0.5 g 纤维或细小纤维试样,加入 0.015 g 质量分数为 1% 的 CPAM 溶液,充分打散混合 0.5 h,加入 100 g 浓度为  $2 \times 10^{-4}$  mol/L 的 PDADMAC 溶液,打散混合 1 h,过滤细小纤维。取 10 mL 滤液放入 PCD-04 型颗粒电荷测定仪中,用阴离子标准溶液 PES-Na 滴定,直至溶液呈电中性,记录消耗的体积。

取 0.5 g 纤维或细小纤维试样,加入 100 g 浓度为  $2 \times 10^{-4}$  mol/L 的 PDADMAC 溶液,打散混合 1 h,过滤细小纤维。取 10 mL 滤液放入 PCD-04 型颗粒电荷测定仪中,用阴离子标准溶液 PES-Na 滴定,直至溶液呈电中性,记录消耗的体积。

通过阴离子标准滴定液的消耗体积计算出滤液中剩余的 PDADMAC,从而计算出纤维或细小纤维的电荷密度,计算公式见式(1)。

$$CD = \frac{(c_c V_c - c_a V_a) V_t}{m V_s} \times 10^3 \quad (1)$$

式中:CD 为电荷密度,mmol/kg;  $c_c$  为阳离子标准滴定液浓度, mol/L;  $c_a$  为阴离子标准滴定液浓度, mol/L;  $V_c$  为阳离子标准滴定液消耗体积, mL;  $V_a$  为阴离子标准滴定液消耗体积, mL;  $V_t$  为滤液总体积, mL;  $V_s$  为所取滤液量, 10 mL;  $m$  为纤维质量, g。

### 1.5 手抄纸页物理性能的检测

通过测定纸张的定量、厚度(松厚度)、匀度、光散射系数、抗张强度,以此评价功能化细小纤维对于

纸页性能的影响. 所涉及的性能指标检测均在  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度  $(50 \pm 2)\%$  的标准恒温恒湿条件下进行. 定量、厚度、抗张强度分别按照 GB/T 451.2—2002《纸和纸板定量的测定》、GB/T 451.3—2002《纸和纸板厚度的测定》、GB/T 12914—2008《纸和纸板抗张强度的测定》进行测定.

## 2 结果与讨论

### 2.1 功能化细小纤维的电荷表征

通常,阳离子聚电解质通过电荷作用与阴离子的细小纤维进行结合,实验过程中一般认为功能化细小纤维的相互吸附是典型的物理吸附<sup>[10-12]</sup>. 与长纤维相比,细小纤维的比表面积较大、表面负电荷相对较高,这就为阳离子聚电解质的吸附提供了较多的吸附点<sup>[12-13]</sup>;同时,细小纤维的空隙率较少,长链的高分子助剂将以细小纤维为“载体”形成“细小纤维-CPAM-细小纤维”结构,将细小纤维所带有的负电荷“逆转”成正电荷. 相比于将长链的高分子助剂单独加入纤维体系中,纤维类似于“多孔性材料”,阳离子型长链的聚电解质很容易扩散进入长纤维细胞壁内部,降低助剂自身的作用效率. 通过将阳离子聚电解质与细小纤维搭建这种“特殊助剂”,可以提高细小纤维的功能化,还可在一定程度提高助剂的作用效率.

不同样品总电荷的测定结果见表 2. 由表 2 可知:漂白化学浆细小纤维的电荷密度为  $-36.92 \text{ mmol/kg}$ ,说明细小纤维带有较多的负电荷. 将一定量的细小纤维与 CPAM ( $m$ (细小纤维): $m$ (CPAM) = 10 000:3) 混合后制备的功能化细小纤维的电荷密度为  $+15.56 \text{ mmol/kg}$ ,其负电荷被完全中和,转变为带有正电荷的“细小纤维”;这表明当细小纤维与 CPAM 混合时,由于 CPAM 的长链分子结构使其能够很好地吸附在细小纤维表面,且 CPAM 本身带有大量正电荷,能够对细小纤维表面的负电荷进行一定程度的中和,使其整体表现为具有一定正电荷的“特殊功能助剂”,这将有利于提高纤维之间的结合强度<sup>[12,14]</sup>.

表 2 总电荷的测定结果

Tab. 2 Results of total charge measurement

样品	电荷密度/ $(\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1})$
空白	0
细小纤维	-36.92
功能化细小纤维	+15.56

### 2.2 利用功能化细小纤维改善高得率浆长纤维的性能分析

高得率浆纤维的结合性能较差,特别是长纤维级分的结合能力最差,因此含高得率浆纤维纸页的结合强度较差,如果含有较高比例的高得率浆长纤维级分,其纸页物理强度性能更差. 本文通过添加不同类型的助剂改善高得率浆长纤维级分所制备手抄纸页的结合性能.

添加细小纤维(图中用 F 代替)、CPAM 和经 CPAM 功能化的细小纤维对提高 HYP 长纤维级分抗张强度的作用效果如图 1 所示. 由图 1 可以看出:随着不同类型助剂添加用量的增加,HYP 长纤维手抄纸页的抗张强度均有提高;其中,细小纤维的作用效率最低,CPAM 和功能化细小纤维的作用效率均较高,当添加量较大时,功能化细小纤维的作用效率甚至超过了 CPAM.

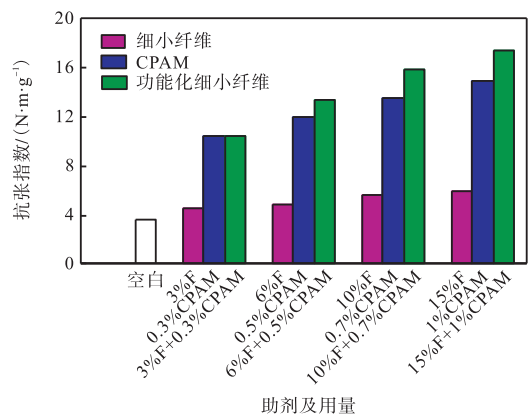


图 1 添加不同助剂对提高 HYP 长纤维级分手抄纸页抗张指数的作用效果

Fig. 1 Effect of different additives and additions on enhancing the tensile index of handsheets made from HYP long-fiber fractions

功能化细小纤维中的 CPAM 在与细小纤维充分结合的同时,在水相中伸展铺开其长链,在高得率浆长纤维的表面形成正电荷“补丁”,通过形成较强的“纤维-CPAM-纤维”结构<sup>[14-15]</sup>,增强长纤维间的结合力,从而提高纸页的物理强度. 同时由于细小纤维比表面积较长纤维大,CPAM 分子链先期吸附在细小纤维的表面,不仅减少了细小纤维自身在纸页成形过程中的流失,这在一定程度上还增大了空间位阻效应,使 CPAM 的长分子链不易进入多孔的纤维空隙中,这样可以充分发挥 CPAM 的作用.

通常认为,纸页结合强度的提高必然造成纸页松厚度的降低,两者之间具有不可调和的对立关系. 本

文在评价 3 种不同的添加剂(细小纤维、CPAM 和经 CPAM 功能化的细小纤维)对纸页结合性能影响的同时,对手抄纸页的松厚度也进行了考量. 添加 3 种助剂对 HYP 长纤维手抄纸页松厚度的影响如图 2 所示. 由图 2 可知:在仅使用 CPAM 时,由于助剂本身较强的增强效果,纸页中纤维之间的结合紧密;同时,CPAM 属于长链高分子,其长链很容易扩散进入多孔的纤维内部,造成其纤维细胞壁结构的“压缩”,进一步加剧纤维网络的紧密程度. 因此随着 CPAM 用量的增加,手抄纸页的松厚度迅速下降. 当其用量由 0.3% 增大到 1% 时,其松厚度由  $4.04 \text{ cm}^3/\text{g}$  迅速降低至  $3.53 \text{ cm}^3/\text{g}$ . 当单独将细小纤维作为助剂添加时,纸页的松厚度并没有出现明显下降,但由图 1 可知,细小纤维自身的增强功能相对较差. 当将功能化细小纤维加入纸页时,随着其添加量的增加,纸页的松厚度也呈下降趋势,但下降较为缓慢. 当功能化细小纤维的配比为 10% 细小纤维 + 0.7% CPAM 时,其松厚度下降了  $0.09 \text{ cm}^3/\text{g}$ ,下降幅度仅为 2%.

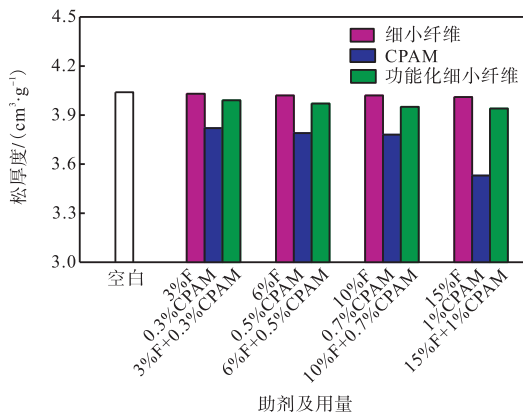


图 2 添加不同助剂对 HYP 长纤维手抄纸页松厚度的影响

Fig. 2 Effect of different additives on the bulk of handsheets made from HYP long-fiber fractions

由此可以进一步分析,经 CPAM 功能化的细小纤维在保持纸页较好松厚度的同时,对提高高得率浆长纤维的结合性能具有很好的效果. 这是由于细小纤维填充在纸页纤维网络中纤维之间的缝隙内,其本身比表面积较大,增大了其在纤维表面的相对结合面积,这对高得率浆长纤维自身的细胞壁结构没有产生较大的影响,使纸页本身的结构保持相对蓬松,能够使纸页保持一定程度的松厚度<sup>[16]</sup>. 由此看来,纸页的松厚度和纤维间的结合性能之间的对立关系在一定程度上可以缓解.

添加 3 种助剂(细小纤维、CPAM 和经 CPAM 功

能化的细小纤维)时 HYP 长纤维手抄纸页的抗张指数与松厚度的关系如图 3 所示. 由图 3 可知:对于 3 种不同助剂,随着所抄造纸页抗张指数的增加,松厚度均呈下降趋势,其中,仅添加 CPAM 的手抄纸页松厚度下降最快;添加功能化细小纤维的手抄纸页次之,下降幅度较缓慢;仅添加细小纤维的手抄纸页的松厚度下降最慢,但其抗张指数增加并不明显. 因此,向 HYP 长纤维级分体系中加入功能化细小纤维后,不仅使手抄纸页的松厚度保持在一个较高的水平,而且随着加入量的增加,松厚度下降的相对缓慢,但同时手抄纸页的结合强度却有了明显提升. 这样,既大大提高了高得率浆纤维的结合强度,又能使其保持较高的松厚度,为缓解含高得率浆纸页的松厚度与结合性能这一对立关系提供一种新思路.

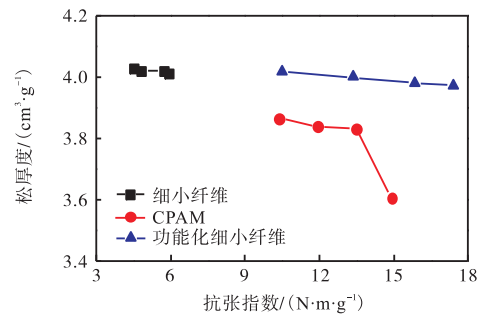


图 3 添加 3 种助剂时 HYP 长纤维手抄纸页的抗张指数与松厚度的关系

Fig. 3 Relationship between the tensile index and bulk of handsheets made of HYP long-fiber fractions with three different additives

另外,由于细小纤维自身几何尺寸较小,在抄纸过程中易于流失. 前期经过 CPAM 的功能化后,细小纤维自身的留着将会大大提升,其在纸页中将会发挥更多的效能. 进一步对手抄纸页的光散射系数进行测定,结果如图 4 所示. 由图 4 可以看出:向 HYP 长纤维级分的纸浆体系中加入细小纤维后,纸页的光散射系数呈现上升趋势,这是由于加入细小纤维后,细小纤维滞留在纤维之间的空隙内,当光线通过纤维层时,增加了光线反射和折射的次数,从而增大了光散射系数,且纸张的不透明度也随之增加<sup>[17]</sup>. 但是,当细小纤维的添加量达到一定水平后,光散射系数增加缓慢. 向 HYP 长纤维级分的纸浆体系中加入 CPAM 时,手抄纸页的光散射系数基本保持不变,随着 CPAM 用量的增加,长纤维之间的结合能力显著增强,特别是当添加量为 1% 时,手抄纸页中长纤维间的结合面积有所增加,纸页紧度上升,整体光散射系数略有波动. 当向 HYP 长纤维级分的纸浆体系中加

入经 CPAM 功能化的细小纤维时, 纸页的光散射系数呈现持续增加趋势, 而且增加幅度非常大, 这主要是由于 CPAM 的加入, 将会提高细小纤维留着, 使手抄纸页的光散射系数大大增加. 当加入量为 15% 细小纤维 + 1% CPAM 时, 细小纤维和 CPAM 助剂之间的协同效应最佳, 光散射系数大幅增加, 纸页的其他光学性能也将得到改善.

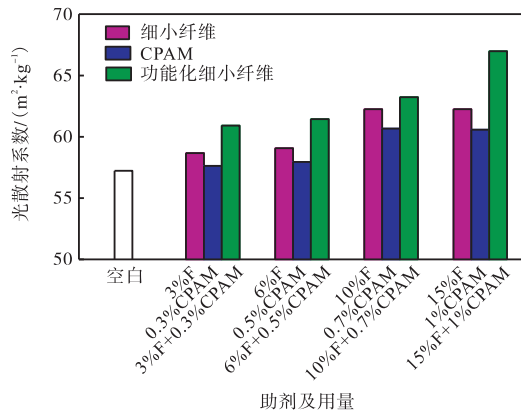


图 4 添加不同助剂对 HYP 长纤维级分手抄纸页光散射系数的影响

Fig. 4 Effect of different additives on the light scattering coefficient of handsheets made of HYP long-fiber fractions

### 2.3 细小纤维与阳离子助剂在提高 HYP 长纤维级分结合性能上的协同作用分析

当细小纤维与 CPAM 单独作为助剂添加到 HYP 长纤维级分中使用, 对手抄纸页性能的影响均有各自的作用效果, 而经 CPAM 功能化的细小纤维作为一种“特殊的”功能性助剂, 其对手抄纸页性能的影响是否能够实现“1 + 1 > 2”的作用效果, 这对于其实际应用具有重要的意义.

本实验中, 首先将细小纤维和 CPAM 作为一般性助剂单独加入 HYP 长纤维级分的纸浆体系中, 对手抄纸页的性能进行考察, 同时将经过 CPAM 功能化的细小纤维作为一种“特殊的助剂”也加入到 HYP 长纤维级分的纸浆体系中, 对手抄纸页的性能也进行检测. 评价两种助剂单独使用的效果(细小纤维单独使用时对纸页抗张强度的提升幅度为  $\Delta Y_1$ ; CPAM 单独使用时对纸页抗张强度的提升幅度为  $\Delta Y_2$ ) 与其联合使用的总效果(功能化细小纤维对纸页抗张强度的提升幅度为  $\Delta Y_3$ ), 利用这三者之间的差值  $\Delta Y = \Delta Y_3 - (\Delta Y_1 + \Delta Y_2)$  来分析两种助剂(细小纤维与 CPAM)之间是否在提高 HYP 长纤维级分结合性能方面存在协同作用, 结果见图 5 和表 3.

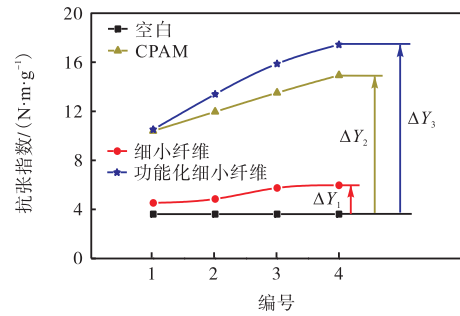


图 5 细小纤维与 CPAM 对于提高 HYP 长纤维级分结合性能的协同作用效果分析

Fig. 5 Synergistic effect of fines and CPAM on enhancing the bonding performance of HYP long-fiber fractions

由表 3 可知: 在细小纤维及 CPAM 用量均较少的情况下,  $\Delta Y = -0.79 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{g}$ , 表明此时在功能化细小纤维的使用中并没有协同作用; 而随着细小纤维及 CPAM 用量的增加,  $\Delta Y$  呈现出先增大后减小的趋势, 表明在一定范围内, 其联合使用的效果是增加的, 但当细小纤维和 CPAM 的用量超过一定范围时, 其联合使用的效果降低, 即协同作用减弱. 实验结果表明, 在功能化细小纤维的配比为 10% 细小纤维 + 0.7% CPAM 时, 其抗张指数增加了  $12.25 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{g}$ , 相对空白 ( $3.62 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{g}$ ), 提升了 3 倍多, 且此时其协同作用效果最佳,  $\Delta Y$  为  $0.26 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{g}$ .

表 3 不同助剂对 HYP 长纤维级分手抄纸页抗张指数的提升幅度

Tab. 3 Increased range of tensile index of handsheets made of HYP long-fiber fractions with different additives

编号	抗张指数变化量/( $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$ )			$\Delta Y$
	$\Delta Y_1$	$\Delta Y_2$	$\Delta Y_3$	
1	0.88	6.78	6.87	-0.79
2	1.20	8.34	9.76	0.22
3	2.10	9.89	12.25	0.26
4	2.32	11.32	13.81	0.17

图 6 进一步分析了细小纤维与 CPAM 在提高 HYP 长纤维级分结合性能上的协同作用. 由图 6 可知: 在高得率浆长纤维级分的纸页网络结构中, 仅添加细小纤维时, 细小纤维填充在长纤维的网络空隙中, 由于其自身比表面积较大, 可以在一定程度上增大纸页中纤维之间的结合面积, 增强纸页的结合性能. 而当仅添加阳离子助剂时, CPAM 长链大分子完全伸展与长纤维之间通过氢键结合使长纤维网络结构致密, 同时 CPAM 分子能够扩散进入多孔性纤维细胞壁内部, 改变纤维自身结构, 这样在增强纤维结合性能的同时, 也导致了纸页松厚度的下降. 对于功

能化细小纤维, CPAM 长链大分子首先与细小纤维形成“细小纤维-CPAM”结构, 当这种功能化细小纤维加入长纤维网络中, 进一步形成“细小纤维-CPAM-长纤维”结构, 这样不仅增加了纸页纤维网络结构中氢键的结合点, 使结合性能得到显著提高, 而且这种“细小纤维-CPAM”结构减小了 CPAM 分子进入长纤维孔隙的概率, 使长纤维尽可能保持原有状态, 使纸页网络保持“蓬松”的状态. 因此, 利用这种经 CPAM 功能化的细小纤维不仅可以显著提高 HYP 长纤维级分的结合性能, 还可以保持较高的松厚度. 另外, 通过这种添加方式, 将会最大限度地提高细小纤维在纸页网络中的留着.

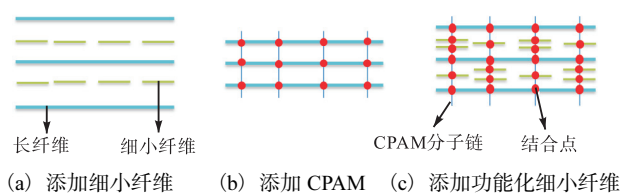


图6 细小纤维与 CPAM 的协同作用分析示意图

Fig. 6 Schema of synergistic effect of fines and CPAM

### 3 结论

(1) 利用经 CPAM 功能化的细小纤维不仅可以提高高得率浆长纤维级分的结合强度, 还可以使其手抄纸页保持较高的松厚度. 与单独添加细小纤维或 CPAM 相比, 利用功能化细小纤维(10% 细小纤维 + 0.7% CPAM)可以将手抄纸页抗张指数提高 3 倍多, 而松厚度仅下降 2%; 同时, 由于细小纤维的作用, 手抄纸页的光散射系数也得到一定程度的提高.

(2) 在一定的用量范围内, 经 CPAM 功能化的细小纤维的协同作用呈现出先增大后减小的趋势, 当细小纤维用量为 10%、CPAM 用量为 0.7% 时, 其对手抄纸页结合性能的协同作用效果最佳, 从而达到了“1+1>2”的效果.

#### 参考文献:

- [1] 刘洪斌. 高得率浆在纸、纸板和生活用纸中的应用 [C]//中国造纸学会第十七届学术年会论文集. 西安: 中国造纸学会, 2016.
- [2] Zhang H, He Z, Ni Y, et al. Using optical brightening agents (OBA) for improving the optical properties of HYP-containing paper sheets[J]. Pulp and Paper Canada, 2009, 110(8): 20-24.
- [3] Zhang H, Li J, Hu H, et al. Improvement of bleached wheat straw pulp properties by using aspen high-yield pulp[J]. Bioresource Technology, 2012, 120: 40-44.
- [4] 周亚军, 邹学军. 不含磨木浆纸中使用高得率浆以达到所需的产品性能[J]. 国际造纸, 2007, 26(2): 6-10.
- [5] Li H, Zhang H, Li J, et al. Comparison of interfiber bonding ability of different poplar P-RC alkaline peroxide mechanical pulp (APMP) fiber fractions[J]. BioResources, 2014, 9(4): 6019-6027.
- [6] Zhao C, Zhang H, Li Z, et al. Further understanding the influence of fiber surface and internal charges on the interfiber bonding capability and resulting paper strength [J]. Cellulose, 2017, 24(7): 2977-2986.
- [7] Zhao C, Zhang H, Zeng X, et al. Enhancing the interfiber bonding properties of cellulosic fibers by increasing different fiber charges[J]. Cellulose, 2016, 23(3): 1617-1628.
- [8] Li Z, Zhang H, Wang X, et al. Further understanding the response mechanism of lignin content to bonding properties of lignocellulosic fibers by their deformation behavior[J]. RSC Advances, 2016, 6(110): 109211-109217.
- [9] 周亚军, 袁志润, 江智华. 高得率浆的特性与应用[J]. 国际造纸, 2007, 26(1): 1-10.
- [10] 卫晓林, 李洪才. 细小组分和纤维之间的相互作用及其对纸张性能的影响[J]. 国际造纸, 2013, 32(1): 17-23.
- [11] Zhang H, Hu H, Hou Q, et al. Effect of fines from high-yield pulp on filler retention and paper formation in fine paper production[J]. Journal of Biobased Materials and Bioenergy, 2010, 4(4): 372-377.
- [12] 刘温霞, 邱化玉. 造纸湿部化学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [13] 刘丽莎, 戴红旗, 王淑梅, 等. 细小纤维表面化学特性研究 (I): 湿部 pH 值对细小纤维性能的影响[J]. 生物质化学工程, 2006, 40(5): 7-10.
- [14] 张红杰, 胡惠仁, 陈夫山. 高分子质量阳离子聚丙烯酰胺助留机理的探讨[J]. 中国造纸, 2004, 23(11): 16-19.
- [15] 胡惠仁, 徐立新, 董荣业, 等. 造纸化学品 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [16] 张美云, 董和滨, 王建. 细小纤维对 BCTMP 成纸性能的影响[J]. 纸和造纸, 2010, 29(3): 32-34.
- [17] 姚向荣, 周生飞, 王钱钱, 等. 细小纤维对三种纸浆纸页性能的影响[J]. 造纸科学与技术, 2010, 29(3): 27-30.

责任编辑: 周建军