

阳离子聚丙烯酰胺基复合增强剂对瓦楞原纸增强作用研究

梁晓菲¹, 龙柱¹, 吕文志¹, 王建华²

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 浙江永泰纸业集团股份有限公司, 杭州 311421)

摘要: **目的** 探讨CPAM-HPCS-PAE复合增强剂作为增干、湿强剂在瓦楞原纸中的应用效果, 并与CPAM增强剂和CPAM/HPCS/PAE混合物比较增强效果。 **方法** 将羟丙基壳聚糖(HPCS)、CPAM及PAE树脂通过交联反应制得CPAM-HPCS-PAE复合增强剂。 **结果** CPAM-HPCS-PAE复合增强剂质量分数为0.5%时, 纸张具有较好的机械强度, 与单独使用CPAM增强剂和CPAM/HPCS/PAE混合物相比, 该复合增强剂不但能明显提高瓦楞原纸的干强性能, 而且还能显著改善其湿强性能。SEM及光散射系数检测结果表明, CPAM-HPCS-PAE复合增强剂的加入能够显著改善纸张纤维之间的交织, 增加纤维之间的结合面积, 从而对纸张起到增强作用。 **结论** CPAM-HPCS-PAE复合增强剂不但具有良好的增干强性能, 而且具有一定的增湿强性能。

关键词: 羟丙基壳聚糖; CPAM; PAE树脂; 瓦楞原纸; 复合增强剂

中图分类号: TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)21-0022-06

Cationic Polyacrylamide Crosslinking Complex as a Strengthening Agent of Corrugating Medium

LIANG Xiao-fei¹, LONG Zhu¹, LYU Wen-zhi¹, WANG Jian-hua²

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Zhejiang Yongtai Paper Group Co., Ltd., Hangzhou 311421, China)

ABSTRACT: This work mainly discussed the usage of CPAM-HPCS-PAE complex as a strengthening agent of corrugating medium and the performance enhancement was compared with CPAM and CPAM/HPCS/PAE mixture. The strengthening agent was prepared with hydroxypropyl chitosan (HPCS), CPAM and PAE resin through the cross-linking reaction. All results showed that the optimal addition of CPAM-HPCS-PAE complex was 0.5%, and the dry and wet strength properties of the corrugating medium after the addition of this agent were improved compared with those of CPAM and CPAM/HPCS/PAE mixture. SEM and light scattering results indicated that the intertexture between the paper fibers and the fiber bonding area was efficiently improved after the addition of CPAM-HPCS-PAE complex, thus increasing the strength of paper sheets. In conclusion, both the dry and wet strength properties of the corrugating medium were significantly improved after the addition of CPAM-HPCS-PAE complex.

KEY WORDS: hydroxypropyl chitosan (HPCS); CPAM; PAE resin; corrugating medium; compound strengthening agent

随着造纸行业的发展和对资源循环利用要求的提高, 废纸回收利用正越来越受到人们的重视。虽然 废纸回收利用能够大大降低生产成本, 但与原木浆相比, 二次纤维长度短、强度差, 且杂质较多, 对抄纸过

收稿日期: 2015-02-26

基金项目: 国家自然科学基金(31270633); 江苏省科技支撑计划(BE2012427)

作者简介: 梁晓菲(1990—), 女, 吉林人, 江南大学硕士生, 主攻造纸助剂。

通讯作者: 龙柱(1966—), 男, 江南大学教授、博导, 主要研究方向为造纸新技术、纸基功能材料和造纸等轻工助剂。

程影响很大^[1]。瓦楞纸作为一种被广泛应用的包装材料,要求具有良好的机械强度及一定的防潮、防湿性能。由于纸质包装材料本身的特点,其机械强度有限,为了扩大包装纸板的应用范围,需要提高其强度,以满足低成本重型包装的需要^[2]。由此,瓦楞原纸生产过程中往往要借助高性能的助剂,特别是增强剂来弥补原料强度的不足。

增强剂的应用是提高纸页强度的主要途径之一,常用的增强剂有改性淀粉类、壳聚糖类^[3-5]、合成高聚物(如CPAM,PVA等)^[6-7]等增干强剂,三聚氰胺甲醛树脂(MF树脂)、脲醛树脂(UF树脂)、聚酰胺多胺环氧氯丙烷树脂(PAE树脂)^[8]、聚乙烯亚胺(PEI)等湿强剂类。作为能有效提高纸张强度的一类重要造纸助剂,增强剂的研究和应用越来越受到重视。CPAM作为最常用的造纸增强剂被广泛应用于造纸行业,其增强机理为自身所带的阳离子与纤维上的阴离子形成离子键,酰胺基与纤维的羟基形成氢键,从而提高纸张强度。唐新峰^[9]等将羟丙基壳聚糖(HPCS)加入到浆料中考察其对纸张纤维的增强作用,发现HPCS能够很好地提高纸张的力学性能。纸张的扫描电镜(SEM)及IR分析表明HPCS有助于纤维之间形成更多的氢键,增加了纤维之间的相互作用。PAE作为一种高效造纸增湿强剂,具有可以在中碱性条件下熟化、湿增强效果好、无游离甲醛、用量少,且成纸返黄少、无毒、损纸回收容易等优点^[10]。研究结果和应用实践表明单独使用某种增强剂的增强效果有限,因此将几种增强剂通过接枝、交联、复配等方式进行改性来更好地提高纸页强度已成为研究热点。张光华^[11]等以甲醛作为交联剂将壳聚糖与阴离子聚丙烯酰胺交联制得的一种两性离子增强剂,此增强剂不仅具有良好的增强作用,还有助留、助滤作用。Yahya Hamzeh等^[12]将2种高、低分子量的壳聚糖(Ch I, Ch II)、阳离子淀粉(CS)及聚乙烯醇(PVA)等3种助剂加入OCC浆中,通过改变助剂的加入顺序考察其对纸张的增强效果,发现采用PVA-Ch-CS的顺序连续加入纸浆中对纸张的增强效果最好。严维博^[13]等用羧甲基纤维素-聚乙烯醇(CMC-PVA)改性剂改性PAE树脂,探讨PAE改性后对纸张的增强效果并与CS及CPAM比较,发现改性后的PAE的增强效果要优于未改性的PAE,CS及CPAM。对CPAM,PAE等进行改性的研究有很多,但以阳离子聚丙烯酰胺为主体,同时加入HPCS及PAE进行改性的研究尚未见文献报导。

文中以阳离子聚丙烯酰胺为主体加入HPCS及PAE,以乙二醛为交联剂进行交联制得CPAM-HPCS-

PAE复合增强剂,并检测此复合增强剂的性能,探讨其对纸张的增强效果及增强机理。

1 实验

1.1 原料及试剂

原料:国产废纸、美国进口废纸。

试剂:羟丙基壳聚糖,自制;阳离子聚丙烯酰胺、聚酰胺多胺环氧氯丙烷,苏州自天禾化学用品有限公司;乙二醛,分析纯,商购。

1.2 设备与仪器

设备与仪器:ZQJ1-B-II型纸样抄取器、DC-KZ300C型电脑测控抗张试验机、DCP-KY3000型电脑测控压缩试验仪、YQ-Z-23A电动纸张耐破度测定仪、WS-SD色度白度计、PCD-04微粒电荷测定仪、NDJ-79型旋转黏度计、Sul510型扫描电镜。

1.3 CPAM-HPCS-PAE的制备及指标检测

称取一定量的阳离子聚丙烯酰胺(稀释至一定浓度)、PAE和少量羟丙基壳聚糖(溶解)倒入500 mL三口瓶中,置于恒温水浴锅中,边搅拌边缓慢升温至一定温度,加入交联剂乙二醛等助剂,保温一定时间,得到自制复合增强剂。

将自制复合增强剂配制成质量分数为1%的液体,测其pH值和黏度,然后将其稀释为质量分数为0.1%的溶液测其电荷密度。CPAM-HPCS-PAE复合增强剂为透明溶液,pH值为6.5,黏度为12 mPa·s,电荷密度为1.41 mEq/L。

1.4 CPAM/HPCS/PAE混合物的制备

称取与1.3节质量相等的CPAM,PAE,HPCS,将其导入500 mL的三口瓶中,置于恒温水浴锅中,边搅拌边升温,升温温度和保温时间与1.3节相同。

1.5 纸样抄造

称取一定量的浆料(美国进口废纸与国产废纸的质量比为3:7,打浆度为35°SR),加入纤维解离器中疏解30 000转,加入增强剂搅拌2 min,抄片,纸样定量为110 g/m²。

1.6 纸样物理强度的检测

将纸样放入恒温恒湿室中24 h平衡水分,按GB/T

12914—2008测定抗张指数,按GB/T 2679.8—1995测定环压指数,按GB/T 454—2002测定耐破指数。

1.7 扫描电镜观察

应用扫描电镜观察纸页表面及断面的纤维结构。

2 结果与讨论

2.1 复合增强剂用量对纸张强度的影响

改变CPAM-HPCS-PAE复合增强剂在纸浆中的加入量,考察助剂加入量对纸张强度的影响见图1。

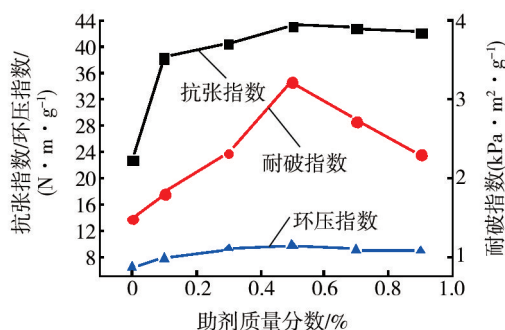


图1 CPAM-HPCS-PAE复合增强剂用量对纸张物理强度的影响
Fig.1 Effect of the dosage of CPAM-HPCS-PAE complex on paper physical strength

由图1可知,随着助剂用量增加,纸张的抗张指数、环压指数及耐破指数都大幅增加,这可能是因为CPAM-HPCS-PAE具有较高的阳电荷性,能够与纤维之间形成较强的静电作用,并且减少废纸中阴离子垃圾的干扰,当质量分数达到0.5%(相对绝干纸浆)时,抗张指数、环压指数和耐破指数分别为43.3 N·m/g, 9.55 N·m/g, 3.21 kPa·m²/g,均达到最大值,之后随着助剂用量的增加,抗张指数、环压指数和耐破指数均有所下降。这可能是因为用量过多,使絮凝作用增强,细小纤维留着增加,纤维之间发生团聚使纸张匀度降低,从而使纸页强度降低。

2.2 复合增强剂与其他助剂的增干强效果对比

CPAM增强剂、CPAM/HPCS/PAE混合物、CPAM-HPCS-PAE复合增强剂等3种助剂对纸张抗张指数、环压指数及耐破指数对比见图2。

由图2可以看出,在相同助剂用量条件下,加入CPAM-HPCS-PAE复合增强剂后纸张的抗张指数、环压指数、耐破指数都要高于加入CPAM/HPCS/PAE混合物及单独加CPAM增强剂的相应指标,这说明加入

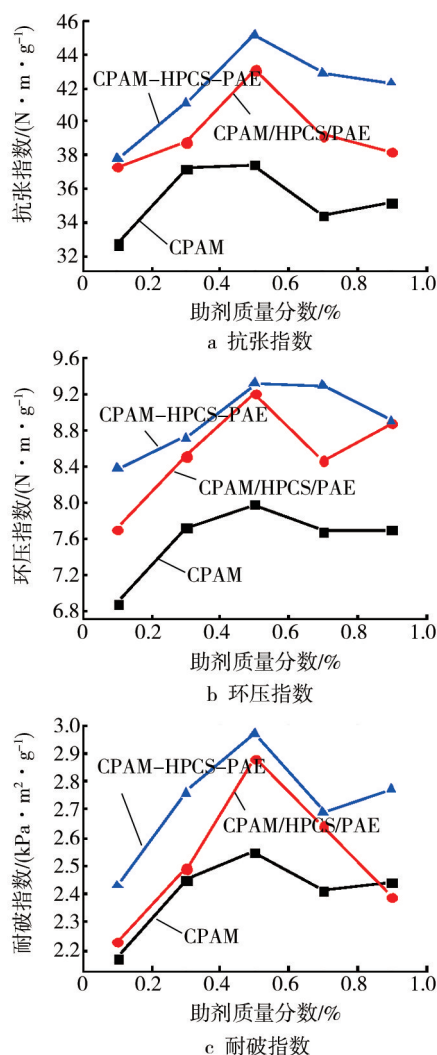


图2 CPAM、CPAM/HPCS/PAE混合物、CPAM-HPCS-PAE复合增强剂3种助剂对纸张力学性能的影响

Fig.2 Influence of three different additives on burst index of paper

CPAM-HPCS-PAE复合增强剂的增强效果比单独使用CPAM增强剂及CPAM/HPCS/PAE混合物都好。这是由于与单独添加CPAM相比复合增强剂中存在HPCS和PAE,其中的HPCS羟基及氨基能够与纤维之间形成更多的氢键和共价键,从而提高了纸张强度^[9],而PAE能够通过纤维上的羧基和羟基发生反应来提高纸张的强度。与CPAM/HPCS/PAE混合物相比,CPAM-HPCS-PAE复合增强剂由于HPCS,CPAM,PAE三者之间发生了交联反应,这种交联反应增加了CPAM,HPCS,PAE三者之间的结合,形成一种网络结构,减少了三者因相同电性产生的排斥作用,使其能够更好地与纤维之间结合,从而进一步提高了纸张的强度。

2.3 复合增强剂与其他助剂增湿强效果对比

将分别加入PAE,CPAM/HPCS/PAE混合物及

CPAM-HPCS-PAE 复合增强剂等 3 种助剂后抄造的纸张按纸张的湿强度测定要求,测量纸张浸水后的抗张强度,计算抗张强度保留率。

$$r=p_w/p_d \tag{1}$$

式中: r 为浸水后抗张强度保留率(%); p_w 为湿抗张强度(kN/m); p_d 为干抗张强度(kN/m)。3 种助剂的增湿强效果见图 3。

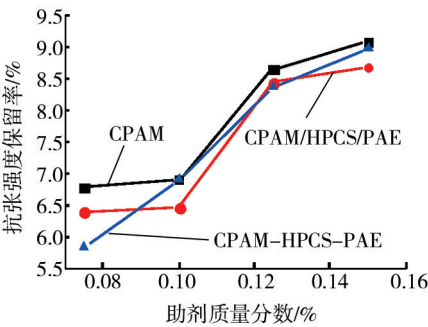


图3 PAE、CPAM/HPCS/PAE 混合物、CPAM-HPCS-PAE 复合增强剂等 3 种助剂增湿强效果对比

Fig.3 Contrast of three different additives for their influence on the wet tensile property of paper

从图 3 可以看出,随着 3 种助剂用量的增加,抗张指数保留率逐渐增加。这说明纸张湿强度增加比例高于干强度增加比例,加入 CPAM-HPCS-PAE 复合增强剂后纸张的增湿强效果与加入 PAE 后纸张的增湿强效果接近,比加入 CPAM/HPCS/PAE 混合物后纸张的增湿强效果略好。

2.4 复合增强剂的增强机理研究

2.4.1 扫描电镜分析

质量分数为 0.5%(对绝干纤维)的 CPAM 增强剂、CPAM/HPCS/PAE 混合物及 CPAM-HPCS-PAE 复合增强剂后纸样的扫描电镜分别见图 4—5。从图 4 可以看出加入 CPAM-HPCS-PAE 复合增强剂后纸样表面孔洞比加入 CPAM 增强剂和 CPAM/HPCS/PAE 混合物后均要少,纸页表面更均匀,匀度更好。这是因为复合增强剂能够更多地增加细小纤维与长纤维之间的结合,更好地提高细小纤维的留着。纸样断面的扫描电镜图见图 5,可知 CPAM-HPCS-PAE 复合增强剂后的纸样更紧实,且断面处拉伸出的长纤维较少。这是因为加入复合增强剂后,纤维-助剂-纤维之间形成了更多的氢键及共价键,从而使得纤维间的结合更紧密。

2.4.2 CPAM-HPCS-PAE 复合增强剂对纸样纤维间结合面积的影响

在未添加的纸张中,光散射只发生在纤维-空气界

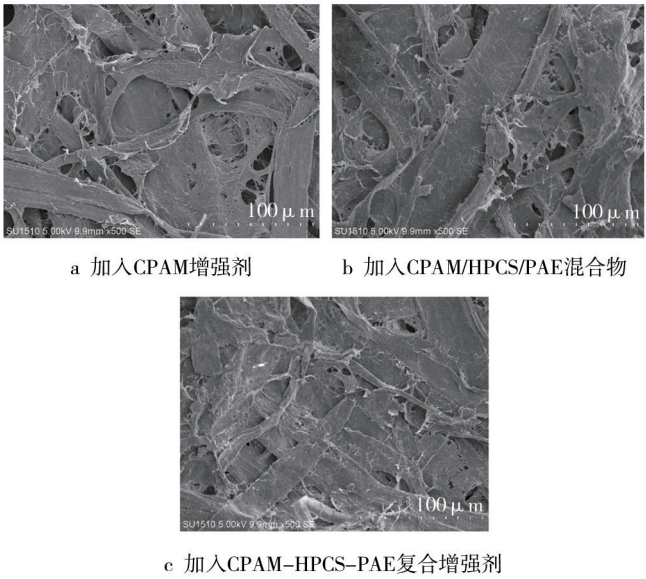


图4 纸张表面扫描电镜图(× 500)
Fig.4 Typical SEM images of paper surface (× 500)

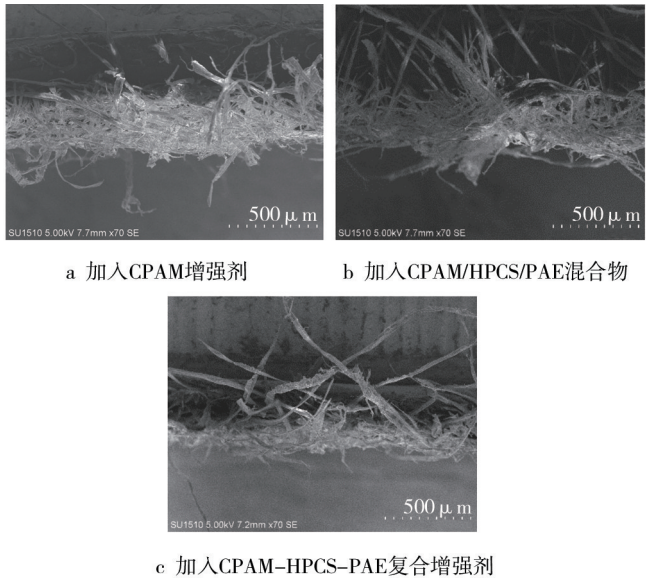


图5 纸张断面扫描电镜图(× 70)
Fig.5 Typical SEM images of paper fracture (× 70)

面,如果光线从一根纤维到另一根纤维,则不发生散射,即处于“光学接触”状态时界面散射作用消失^[15—16],因此光散射系数能够反应纤维的结合面积,纤维的结合面积增大光散射系数降低。CPAM 增强剂、CPAM/HPCS/PAE 混合物、CPAM-HPCS-PAE 复合增强剂用量对纸张光散射系数的影响见图 6,可知随着复合增强剂用量的增加,光散射系数逐渐降低。这说明随着复合增强剂用量的增加纤维间的结合面积逐渐增大;相同用量下,加入 CPAM-HPCS-PAE 复合增强剂后纸张的光散射系数比加入 CPAM 增强剂和 CPAM/HPCS/

PAE混合物的小。这是因为与CPAM增强剂及CPAM/HPCS/PAE混合物相比,CPAM-HPCS-PAE复合增强剂由于HPCS,CPAM,PAE三者之间发生了交联反应。这种交联反应增加了CPAM,HPCS,PAE三者之间的结合,形成了一种网络结构,减少三者因相同电性产生的排斥作用,增加了助剂与纤维之间、纤维与纤维之间的结合点,使纤维之间能够产生更多的氢键结合,从而进一步提高了纸张的强度。

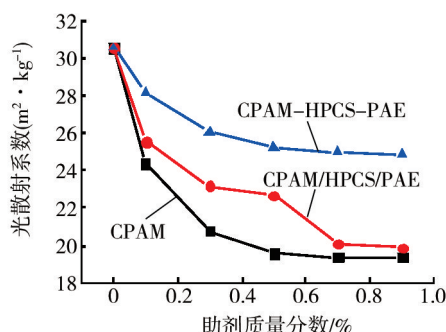


图6 CPAM、CPAM/HPCS/PAE混合物、CPAM-HPCS-PAE复合增强剂用量对纸张光散射系数的影响

Fig.6 Effect of dosages of three different additives on light scattering coefficient of paper

3 结语

1) CPAM-HPCS-PAE复合增强剂质量分数为0.5%时纸张的环压指数、耐破指数及抗张指数达到最大,分别为 $9.55 \text{ N} \cdot \text{m/g}$, $3.21 \text{ kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$, $43.3 \text{ N} \cdot \text{m/g}$,助剂增强效果最好,且好于CPAM/HPCS/PAE混合物及单一的CPAM增强剂。

2) CPAM-HPCS-PAE复合增强剂与加PAE具有相似的增湿强效果,比加入CPAM/HPCS/PAE混合物的增湿强效果略好。

3) 扫描电镜分析表明,与CPAM增强剂和CPAM/HPCS/PAE混合物相比,复合增强剂能更好地增加细小纤维的留着,提高纸张的匀度,并且纸页断面处纤维整根拉出比前两者少,拉断较多,说明复合增强剂对增加纤维的结合强度作用明显。

4) 加入CPAM-HPCS-PAE复合增强剂后纸张的光散射系数比加入CPAM增强剂和CPAM/HPCS/PAE混合物的小,说明CPAM-HPCS-PAE复合增强剂能更好地增加纤维间的结合面积,从而更好地提高纸张强度。

参考文献:

[1] 徐晓霞. 国产OCC浆湿部特性研究[D]. 杭州: 浙江理工大

学, 2008.

XU Xiao-xia. Wet-end Performance of Home OCC Pulp[D]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology University, 2008.

[2] 郝笑梦, 张新昌. 一种复配表面施胶剂对瓦楞纸板边压强度的影响[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 51—55.

HAO Xiao-meng, ZHANG Xin-chang. Effect of Compound Surface Sizing Agent on Edgewise Compression Strength of Corrugated Paperboard[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 51—55.

[3] ALIREZA A, JALALUDDIN H. Enhancing Dry-strength Properties of Kenaf (Hibiscus Cannabinus) Paper Through Chitosan[J]. Polymer-plastics Technology and Engineering, 2006, 45: 125—129.

[4] ALIREZA ASHORI, WARWICK D. RAVERTY. Effect of Chitosan Addition on the Surface Properties of Kenaf (Hibiscus Cannabinus) Paper[J]. Fibers and Polymers, 2005, 6(2): 174—179.

[5] 董和滨, 张美云. 壳聚糖及其衍生物在造纸工业中的应用[J]. 纸和造纸, 2010, 29(8): 42—45.

DONG He-bin, ZHANG Mei-yun. Application of Chitosan and Its Derivatives on Paper Industry[J]. Paper and Paper Making, 2010, 29(8): 42—45.

[6] 刘建林. 瓦楞原纸环压增强剂的合成与应用研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.

LIU Jian-lin. The Preparation and Application of Ring Crush Strengthening Agents for Corrugating Base Paper[D]. Tianjin: Tianjin Science and Technology University, 2010.

[7] 杨慧荣. 聚丙烯酰胺高效环压增强剂的合成及应用机理的研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2014.

YANG Hui-rong. Synthesis of the Efficient Polyacrylamide Ring Crush Enhancer and Research on Its Application Mechanism[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2014.

[8] 石岩, 谢来苏. 聚酰胺-环氧氯丙烷(PAE)湿强剂在造纸中的应用[J]. 黑龙江造纸, 2001(1): 19—21.

SHI Yan, XIE Lai-su. The Application of Polyamide-epichlorohydrin (PAE) as Wet Strength in Papermaking[J]. Heilongjiang Pulp & Paper, 2001(1): 19—21.

[9] 唐新峰, 杜予民, 黎厚斌. 中性造纸助剂羟丙基壳聚糖的增强作用与助滤性能[J]. 造纸科学与技术, 2005, 24(1): 1—3.

TANG Xin-feng, DU Yu-min, LI Hou-bin. Strengthening and Dewatering by Hydroxypropyl Chitosan as a Wet-end Additive in Neutral Papermaking[J]. Paper Science & Technology, 2005, 24(1): 1—3.

[10] 严维博, 王志杰. 造纸湿强剂及其研究进展[J]. 造纸化学品, 2014, 26(3): 9—11.

YAN Wei-bo, WANG Zhi-jie. Wet Strengthening Agents in Papermaking and Its Developing Progress[J]. Paper Chemicals, 2014, 26(3): 9—11.

[11] 张光华, 刘书钗. 壳聚糖交联聚丙烯酰胺的制备及应用[J].

- 造纸化学品, 1999(3):5—9.
- ZHANG Guang-hua, LIU Shu-chai. The Synthesis of Chitosan Coupling APAM and Application in Papermaking[J]. Paper Chemicals, 1999(3):5—9.
- [12] YAHYA H, SANAZ S. Improving Wet and Dry Strength Properties of Recycled Old Corrugated Carton (OCC) Pulp Using Various Polymers[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 94:577—583.
- [13] 严维博, 王建. CMC-PVA共混改性PAE树脂及其对纸张的增强作用[J]. 中国造纸学报, 2014, 29(2):14—17.
- YAN Wei-bo, WANG Jian. Study on the Modified PAE Resin as Paper Strengthening Agents[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2014, 29(2):14—17.
- [14] 刘温霞, 邱化玉. 造纸湿部化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- LIU Wen-xia, QIU Hua-yu. Wet End Chemistry[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [15] 毕松林, 孙耀宗. 未加填和加填纸张的光散射系数[J]. 中国造纸学报, 1995(10):54—60.
- BI Song-lin, SUN Yao-zong. Light Scattering Coefficient of Filled and Unfilled Paper Sheets[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 1995(10):54—60.
- [16] PEDRAM F, THOMAS M. Improving the Strength of Old Corrugated Carton Pulp (OCC) Using a Dry Strength Additive[J]. Appita Journal, 2010, 63(5):364—368.

(上接第10页)

- [4] EWEN J A, ELDER M J, JONES R L, et al. Chiral Ansa Metallocenes with cp Ring-fused to Thiophenes and Pyrroles: Syntheses, Crystal Structures, and Isotactic Polypropylene Catalysts[J]. J Am Chem Soc, 2001, 123(20):4763—4773.
- [5] VOSS K, STARK R W, DIETZ C. Surface Versus Volume Properties on the Nanoscale: Elastomeric Polypropylene[J]. Macromolecules, 2014, 47(15):5236—5245.
- [6] LI B, LI L, ZHAO L, et al. In Situ FT-IR Spectroscopic Study on the Conformational Changes of Isotactic Polypropylene in the Presence of Supercritical CO₂[J]. Eur Polym J, 2008, 44:2619—2624.
- [7] LOTZ B. A New ϵ Crystal Modification Found in Stereodefective Isotactic Polypropylene Samples[J]. Macromolecules, 2014, 47(21):7612—7624.
- [8] DOMENECH T, ZOUARI R, VERGNES B, et al. Formation of Fractal-like Structure in Organoclay-based Polypropylene Nanocomposites[J]. Macromolecules, 2014, 47(10):3417—3427.
- [9] CHEN J W, DAI J, YANG J H, et al. Amplified Toughening Effect of Annealing on Isotactic Polypropylene Realized by Introducing Microvoids[J]. Ind Eng Chem Res, 2014, 53(12):4679—4688.
- [10] HE Q L, YUAN T T, ZHANG X, et al. Electromagnetic Field Absorbing Polypropylene Nanocomposites with Tuned Permittivity and Permeability by Nanoiron and Carbon Nanotubes[J]. J Phys Chem C, 2014, 118(42):24784—24796.
- [11] 王晓梅, 黄红军, 万红敬, 等. 凹凸棒石/聚丙烯酸钠合成条件对其吸水吸湿性能的影响[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6):104—107.
- WANG Xiao-mei, HUANG Hong-jun, WAN Hong-jing, et al. Effects of the Synthesis Condition of Dusty Attapulgite Mineral/Sodium Polyacrylate Composite Material on Its Moisture-absorbing Properties[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(6):104—107.
- [12] LU Y, WANG Y T, JIANG Z Y, et al. Molecular Weight Dependency of Surface Free Energy of Native and Stabilized Crystallites in Isotactic Polypropylene[J]. ACS Macro Lett, 2014, 3(11):1101—1105.
- [13] ROOZEMOND P C, MA Z, CUI K P, et al. Multimorphological Crystallization of Shish-kebab Structures in Isotactic Polypropylene: Quantitative Modeling of Parent-daughter Crystallization Kinetics[J]. Macromolecules, 2014, 47(15):5152—5162.
- [14] 韩卫荣, 刘树彬, 周中高, 等. 变温傅里叶红外光谱技术研究硬脂酸结构及相变机理[J]. 理化检验(化学分册), 2014, 50(1):11—14.
- HAN Wei-rong, LIU Shu-bin, ZHOU Zhong-gao, et al. Study on Molecular Structure of Stearic acid and Mechanism of Its Phase Transform by Temperature-control FTIRS[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis, 2014, 50(1):11—14.
- [15] MAEKAWA H, BALLANO G, TONIOILO C, et al. Linear and Two-dimensional Infrared Spectroscopic Study of the Amide I and Amide II Modes in Fully Extended Peptide Chains[J]. J Phys Chem B, 2011, 115(18):5168—5182.
- [16] MAEKAWA H, GE N H. Comparative Study of Electrostatic Modes for Amide I and Amide II Modes: Linear and Two-dimensional Infrared Spectra[J]. J Phys Chem B, 2010, 114(3):1434—1446.
- [17] 于宏伟, 鄢海丽, 姚清国, 等. 硬脂酸亚甲基面外弯曲振动变温FT-IR光谱研究[J]. 红外技术, 2013, 35(7):448—452.
- YU Hong-wei, YUN Hai-li, YAO Qing-guo, et al. Varying Temperature Effect on FT-IR Spectrum of Stearic Acid Methylene Out-of-plane Wagging Vibration[J]. Infrared Technology, 2013, 35(7):448—452.