

阻燃型包装纸板材料的阻燃剂制备及性能研究

孙昊¹, 倪敏娜², 张新昌¹, 王斌¹, 龙青¹, 陈彦鸿¹

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 东华大学, 上海 200051)

摘要: **目的** 制备一种阻燃性能较佳的包装纸板阻燃剂, 并研究分析其阻燃性能。 **方法** 在安全环保及阻燃剂在纸制品方面应用研究的基础上, 选用磷酸胍(GP)、氢氧化镁(MH)和羟甲基纤维素(CMC)作为安全环保阻燃剂, 通过对磷酸胍单组分及多组分复配配方的阻燃效果进行试验和筛选, 分析探讨并确定安全环保阻燃剂的最佳配方及制备方法。 **结果** 磷酸胍阻燃液质量分数为10%, 氢氧化镁质量浓度为20 g/L, CMC质量浓度为10 g/L, 溶剂为水, 涂覆温度为60 ℃时, 制备的阻燃性包装纸板材料的阻燃性能最佳。 **结论** 该配方涂覆B瓦单瓦楞纸板时, 能使纸板达到较好的难燃等级。

关键词: 阻燃剂; 阻燃胶黏剂; 磷酸胍; 氢氧化镁

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)23-0063-05

Preparation of a Flame Retardant Agent for Flame Retardant Type Packaging Paperboard and Its Properties

SUN Hao¹, NI Min-na², ZHANG Xin-chang¹, WANG Bin¹, LONG Qing¹, CHEN Yan-hong¹

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Donghua University, Shanghai 200051, China)

ABSTRACT: **Objective** To prepare a flame retardant agent for packaging paperboard with good flame retardant properties, and analyze its flame retardant properties. **Methods** Based on the safe and green properties as well as the application study of flame retardants in paper products, GP, MH and CMC were selected to prepare flame retardants. Tests and screening were conducted using GP as single composition and the blended formula for their flame-retardant performance, and the optimal formula as well as the preparation method for the safe and green flame retardant were analyzed and determined. **Results** The flame retardant paperboard packaging materials with the best performance were prepared when the concentration of the flame retardant Guanidine Phosphate (GP) was 10%, the dosages of magnesium hydroxide and CMC were 20 g/L and 10 g/L, the solvent was water, and the coating temperature was 60 ℃. **Conclusion** When B watts single corrugated cardboard was coated with flame retardant prepared using this formula, higher fire retardant grade was achieved.

KEY WORDS: fire retardant agents; flame retardant adhesive; guanidine phosphate; magnesium hydroxide

纸制包装材料是现代四大包装材料之一, 它的使用量占到包装材料的40%以上。瓦楞纸箱以其优越的使用性能和良好的加工性能, 逐渐取代了部分木箱等运输包装容器, 成为运输包装的主力军。随着瓦楞纸箱应用领域的不断延伸及扩大, 普通瓦楞

纸箱已经不能完全满足某些特殊产品的包装防护要求, 例如易燃、易爆危险产品的包装, 以及在纸家居行业、建筑业等领域的应用。应用于包装、装潢、建筑等方面的纸制材料, 从消防安全角度考虑都需要进行阻燃处理^[1]。由于纸制材料的植物纤维本身具有

收稿日期: 2014-06-20

作者简介: 中央高校基本科研业务费专项资金(JUSPR11209)

通讯作者: 孙昊(1981—), 女, 吉林长春人, 博士, 江南大学副教授, 主要研究方向为包装材料及结构。

可燃性,使不少火灾的发生是由纸制材料被引燃而造成的,因此研究纸制包装材料的防火阻燃特性对纸制包装的应用具有更加广泛的意义^[2]。

纸制包装材料是植物纤维制成的,其主要成分是纤维素。纤维素是易燃性物质,其热裂解(CELLULOSE PYROLYSIS)时会生成葡萄糖、挥发性气体和可燃性焦油等易燃物质(COMBUSTIBLE GASES "FUEL")^[3],其中可燃性物质和挥发性气体的扩散和热传导,以及燃烧后产生的大量热(HEAT)将反作用于纤维素使其继续热解。当纸制材料燃烧耗尽或供氧不足以维持燃烧时,燃烧才会终止,否则热解反应将循环进行下去。由此可知,纸制材料燃点较低,一般为130~230℃^[4-5]。

阻燃纸制材料可通过物理和化学法干扰支持燃烧条件(热、可燃物和氧),使燃烧循环过程中的一个或几个燃烧条件缺失或变化,从而导致燃烧循环过程无法继续或减缓燃烧。对纸制材料阻燃就是干扰纤维素热裂解,抑制可燃及挥发性气体产生,隔离热和空气或稀释可燃气体。文中主要针对已往研究的阻燃剂配方进行优化^[6-7],制备一种燃烧时不会或较其他配方少产生窒息性和有毒气体及烟雾的安全环保阻燃剂,以期指导实际生产与应用。

1 试样制备

1.1 材料及阻燃剂

1) 纸制基材。由于纸包装材料种类繁多,品质各异,为使阻燃结果更具普遍意义,文中使用标准定性滤纸作为试验材料进行阻燃材料的制备与测试。

2) 磷酸胍(GP)。文中使用有机磷-氮膨胀型磷酸胍(GP)为主要阻燃剂。磷酸胍(GP)为白色水溶性结晶粉末,是一种能自身发泡膨胀的纸制材料优良阻燃剂,可以形成多种形式的磷酸胍,能将极限氧指数从20%提高到36%~52.5%,且阻燃性能持久,对材料的物性性能影响小,装饰性好^[8-9]。

3) 氢氧化镁(MH)。文中使用氢氧化镁(MH)作为增效剂和抑烟剂。氢氧化镁(MH)常用于制浆造纸领域,作为制造阻燃纸的无机阻燃充填剂(填料),在原料的来源、制备及废弃物处理等方面都是一种绿色环保型助剂,且有极佳的消烟性能^[10-12]。

4) 羟甲基纤维素(CMC)。鉴于氢氧化镁(MH)难

溶于水,可将MH均匀分散在胶黏剂羟甲基纤维素(CMC)中,制成乳状涂料,用于涂覆纸及瓦楞纸板等纸制包装材料。在制浆造纸工业中,CMC常作为纸面的平滑剂及施胶剂,因此,用CMC作为纸制材料的胶黏剂还可以改善纸制材料的物理性能^[13]。

1.2 阻燃剂的制备

1.2.1 单组分GP阻燃剂的制备

称取一定量的磷酸胍(GP)放入烧杯中,根据前期试验方法,将其置于70℃的水浴锅中,加水溶解并高速搅拌,配制成所需浓度的阻燃液^[7]。

1.2.2 GP/MH/CMC复配阻燃剂的制备

将氢氧化镁(MH)固体研磨后,按所需比例称取一定量的MH,GP和CMC放入烧杯中,搅拌使固体混合均匀,后置于60℃的水浴锅中加水并高速搅拌,使MH均匀分散在阻燃溶液中,配制成所需浓度的阻燃液。

1.3 试样的制备条件及方法

1.3.1 单组分GP阻燃剂试样的制备条件及方法

由于定性滤纸较瓦楞纸板具有更好的材料均匀性与典型的纸张物理、化学性质,因此,文中选用定性滤纸制备试样,以保证试样的均一性和纸制材料的代表性,同时保证研究结果的稳定性和可靠性。将定性滤纸裁切成70 mm×210 mm的试样,每种制备条件下制作10个试样。由于文中探讨涂覆温度对阻燃剂质量分数的影响,在涂覆工艺下很难准确测定涂覆温度,因此选用浸渍工艺制备试样。将试样浸渍在装有不同浓度的GP阻燃液烧杯中浸渍10 s后,置入温度为50℃的真空干燥箱中干燥。干燥处理后,将试样放入温度为(23±1)℃,相对湿度为(50±2)%,标准大气压条件下的恒温恒湿箱中,预处理24 h后进行垂直燃烧试验^[14]。根据以往的研究经验,首先探讨在GP的质量分数为13%时温度对其的影响,然后在最优温度探讨6个不同浓度GP对阻燃剂质量分数和碳化长度的影响。单组分GP阻燃剂试样的制备条件见表1。

1.3.2 GP/MH/CMC复配阻燃剂试样的制备条件及方法

将定性滤纸裁切成70 mm×210 mm的试样,然后浸渍在装有不同配比浓度的阻燃液烧杯中,置入温度为50℃的真空干燥箱中干燥。干燥处理后,将试样放入温度为(23±1)℃,相对湿度为(50±2)%,标准大气压条件下的恒温恒湿箱中预处理24 h,然后

表1 单组分GP阻燃剂试样的制备条件

Tab.1 Conditions for preparation of single-component GP flame retardant sample

试验序号	GP溶液质量分数%						温度/℃			
1	13						20	30	40	50 60 70
2	7	10	13	16	19	22	60			
3	7	10	13	16	19	22	60			

进行垂直燃烧试验^[14]。复配阻燃剂试样的制备条件见表2—3。

表2 复配阻燃剂试样的制备因素水平

Tab.2 Factors and levels for preparation of composite flame retardant sample

因素	A	B	C
	GP溶液质量 分数/%	氢氧化镁质量 浓度/(g·L ⁻¹)	CMC质量浓 度/(g·L ⁻¹)
水平1	7	10	5
水平2	10	20	10
水平3	13	30	15

表3 复配阻燃剂试样的制备条件

Tab.3 Conditions for preparation of composite fire retardant sample

试验号	因素		
	A	B	C
1	1	1	3
2	2	1	1
3	3	1	2
4	1	2	2
5	2	2	3
6	3	2	1
7	1	3	1
8	2	3	2
9	3	3	3

2 单组分GP阻燃剂的性能分析

2.1 阻燃性能评定

根据 GB/T 14656—2009,当平均续燃时间≤5 s,平均灼燃时间≤60 s,平均炭化长度≤115 mm时,即认为燃烧物具有阻燃效果^[8]。文中使用平均炭化长度来进行阻燃性能评定。

2.2 阻燃剂质量分数测定

依据 GB/T 10739,将未经阻燃处理的试样在温度为(23±1)℃,相对湿度为(50±2)%的标准大气压恒温恒湿条件下预处理24 h,称量试样的质量为 m_a ,经阻燃处理干燥后的质量为 m_b 。阻燃剂质量分数 w 的计算公式为^[15]:

$$w = \frac{m_b - m_a}{m_a} \times 100\%$$

(1)

式中: w 为阻燃剂的质量分数(%); m_a 为阻燃处理前试样的质量(g); m_b 为阻燃处理烘干后试样的质量(g)。鉴于水分也参与阻燃过程,且随着实际温、湿度的变化而变化,文中不考虑阻燃剂吸湿所带来水分的影响。

2.3 单组分GP阻燃剂的性能分析

2.3.1 GP溶液质量分数、温度与阻燃剂质量分数的关系

1) 涂覆温度与阻燃剂质量分数的关系。GP溶液质量分数为13%时,用20,30,40,50,60,70℃的GP阻燃液分别对滤纸进行阻燃处理,所得涂覆温度与滤纸上阻燃剂质量分数平均值之间的关系曲线见图1。由图1可知,滤纸上阻燃剂质量分数随涂覆温度升高而逐渐增大。当涂覆温度从20℃增加到70℃时,滤纸上的阻燃剂质量分数平均值由9.5%增加到12.6%,说明当涂覆温度升高时,GP更容易渗透到滤纸内部。另外,由图1可知,温度对阻燃剂质量分数的影响较大。当温度高于60℃时,阻燃液中水汽化剧烈,对阻燃液的浓度有一定的影响,且随着温度的升高阻燃剂质量分数增量减小,趋于饱和,因此选择60℃作为阻燃处理温度。

2) GP溶液质量分数与阻燃剂质量分数的关系。试验发现,GP溶液质量分数与其在滤纸上的含量有一定关系,可通过不同阻燃溶液浓度来间接控制GP在滤纸上的含量。涂覆温度为60℃时,GP溶液质量分数为7%,10%,13%,16%,19%,22%,分别对滤纸进行阻燃处理,所得GP浓度与其在滤纸上含量之间的关系曲线见图2。由图2可知,GP阻燃液的浓度与其在滤纸上的质量分数的平均值存在较好的线性关系。当GP溶液质量分数从7%增到22%时,其在滤纸上的质量分数平均值由7.5%增到19.3%,所以随着GP

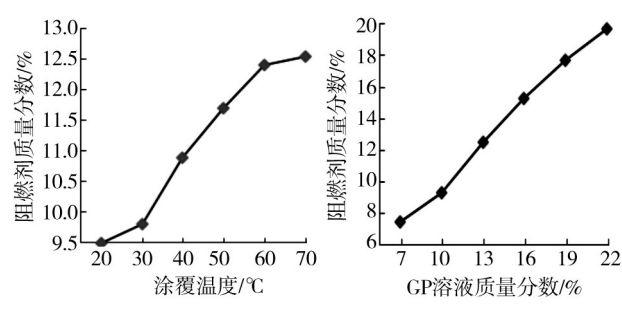


图1 GP涂覆温度与阻燃剂质量分数的关系

Fig.1 Relationship between GP coating temperature and flame retardant dosage

浓度的升高,滤纸上GP的质量分数平均值也随之提高。

2.3.2 GP溶液质量分数与炭化长度的关系

炭化长度是指在试验条件下,与试样脱离的炭化材料的长度。炭化长度可用来评定阻燃效果,而阻燃剂质量分数是影响阻燃效果的首要因素。在一定的燃烧条件下,阻燃剂质量分数过低则达不到阻燃效果,阻燃剂质量分数过高不仅造成GP的浪费,而且会影响材料的物理性能。

阻燃液温度为60℃,GP阻燃液质量分数分别为7%,10%,13%,16%,19%,22%,分别对滤纸进行阻燃处理,所得的阻燃液浓度与滤纸炭化长度之间的关系曲线见图3。由图3可知,经GP阻燃处理的滤纸其炭化长度随着质量分数的增大逐渐变小,阻燃效果逐渐变好。另外,当GP溶液质量分数小于10.3%时,炭化长度随质量分数的增加明显减小;当其质量分数大于10.3%时,炭化长度随质量分数的增加变化不明显,曲线趋于平缓。有研究发现,阻燃液质量分数为10.7%时,炭化长度达到合格^[16-17]。

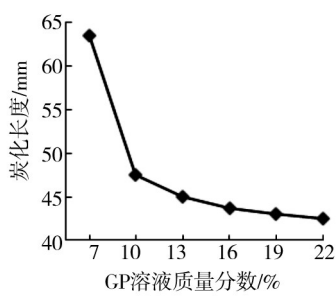


图3 GP溶液质量分数与滤纸炭化长度的关系

Fig.3 Relationship between GP dosage and the carbonized length of filter paper

综上所述,GP单组分试验结果表明,阻燃剂质量

分数是影响阻燃效果的主要因素,而阻燃剂质量分数与阻燃液的温度和浓度有关,可通过控制GP阻燃液的涂覆温度和浓度间接控制阻燃剂质量分数。设计复配型阻燃剂配方时,阻燃液的涂覆温度可确定为60℃,当涂覆厚度一定时,阻燃剂的质量分数只与GP溶液的质量分数有关,可减少多因素对筛选配方的干扰。

2.4 GP/MH/CMC复配阻燃剂的性能分析

炭化长度是评价阻燃纸制品阻燃性能的重要指标,它常作为筛选阻燃配方的依据,结果见表4。当CMC质量浓度为5 g/L时,溶解时无气泡,流动性好,溶解均匀,氢氧化镁有较多沉淀;当CMC质量浓度为10 g/L时,溶解时无气泡,流动性较好,溶解较均匀,氢氧化镁分散较均匀;当CMC质量浓度为15 g/L时,溶解时有少量气泡,流动性一般,溶解较均匀,氢氧化镁分散均匀。

由表4可知,试验5,6,8和9的炭化长度较短,阻燃效果较好;试验9的炭化长度最低为45.6 mm,但各组分阻燃剂用量较大;试验6和8的炭化长度均为50.8 mm,但试验8的磷酸胍用量较少;试验5的炭化长度较试验8小,且MH的用量较试验8少。综上所述

表4 试验结果
Tab.4 The test results

试验号	因素			炭化长度 /mm
	A	B	C	
1	1	1	3	
2	2	1	1	58.6
3	3	1	2	54.0
4	1	2	2	53.8
5	2	2	3	53.2
6	3	2	1	50.2
7	1	3	1	50.8
8	2	3	2	57.0
9	3	3	3	50.8
I	168.8	166.4	161.8	45.6
II	155.0	154.2	157.8	
III	150.2	153.4	154.4	
极差R	18.6	13.0	7.4	

注: I 为水平1三次平均炭化长度之和; II 为水平2三次平均炭化长度之和; III 为水平3三次平均炭化长度之和;极差R为 I, II, III中最大数与最小数之差。

述,试验5的阻燃剂配比效果最好。

对于各因素列,算出各个水平三次平均炭化长度之和。对于每列,比较各自Ⅰ,Ⅱ和Ⅲ的大小,其炭化长度值越小越好,所以炭化长度之和小的水平较好。第1列(A列)Ⅲ大,所以A3较好;第2列(B列)Ⅲ大,所以B3较好;第3列(C列)Ⅲ大,所以C3较好。把这3个好水平结合在一起,A3,B3和C3即试验9为全体水平组合中炭化长度最好的水平组合,说明随着阻燃剂的用量增大,炭化长度越小,但其结果并不符合实际,阻燃剂质量分数过高。

在计算各列的极差中,得 $R_1=18.6$, $R_2=13.0$, $R_3=7.4$ 。极差大的因素说明三个水平相应的炭化长度差别大,是重要因素,极差小的因素是不重要的因素。说明磷酸胍的用量对炭化长度的影响较大,是重要因素,而CMC对炭化长度的影响较小,是不重要因素。

3 结语

通过对GP单组分阻燃试验研究及GP/MH/CMC复配试验研究,确定并制备了安全环保阻燃剂的复配配方:磷酸胍阻燃液质量分数为10%,氢氧化镁质量浓度为20 g/L,CMC质量浓度为10 g/L,溶剂为水,涂覆温度为60℃。采用该配方涂覆纸板时,能使纸板达到较好的难燃等级。

参考文献:

- [1] 李超,惠岚峰,刘忠. 阻燃纸的研发现状及趋势[J]. 中华纸业,2010,31(23):62—66.
LI Chao, HUI Lan-feng, LIU Zhong. The Progress and Trends of Flame Retardant Paper[J]. China Pulp & Paper Industry, 2010,31(23):62—66.
- [2] YAMAJ Y. Fire-resistant Organic Adhesives for Paper: JP, 07/157732[P]. 1995.
- [3] 常永杰. 阻燃剂在造纸工业上的应用[J]. 黑龙江造纸, 2013,21(4):36—38.
CHANG Yong-jie. Flame Retardants Application in Paper-making Industry[J]. Heilongjiang Pulp & Paper, 2013,21(4):36—38.
- [4] 周永信. 磷-氮系膨胀型纸质材料阻燃剂的研制及应用[D]. 南宁:广西大学,2007.
ZHOU Yong-xin. Development and Application of the Intumescent Flame Retardant Containing Phosphorus and Nitrogen for Paper materials[D]. Nanning: Guangxi University, 2007.
- [5] JIMENEZ M, DUQUESNE S, BOURBIGOT S. Intumescent Fire Protective Coating: Toward a Better Understanding of Their Mechanism of Action[J]. Thermochimica Acta, 2006, 449(1):16—26.
- [6] 杨艳玲,张新昌. 一种无卤抑烟阻燃功能型瓦楞纸板的性能研究[J]. 包装工程,2012,33(5):62—65.
YANG Yan-ling, ZHANG Xin-chang. Performance Study of a Functional Corrugated Cardboard of Halogen-free Flame Retardant Smoke Suppression[J]. Packaging Engineering, 2012,33(5):62—65.
- [7] 杨艳玲. 安全环保阻燃型包装纸板的研究[D]. 无锡:江南大学,2012.
YANG Yan-ling. Study on the Safety and Environmental Protection Flame Retardant Packaging Paperboard[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [8] 王海军,陈立新,缪桦. 氮系阻燃剂的研究及应用概况[J]. 热固性树脂,2005,20(4):36—41.
WANG Hai-jun, CHEN Li-Xin, MIAO Hua. The Study on Nitrogen-containing Flame Retardants and Its Application in Plastics[J]. Thermosetting Resin, 2005,20(4):36—41.
- [9] 欧育湘,李建军. 阻燃剂——性能、制造及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
OU Yu-xiang, LI Jian-jun. Fire Retardant[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [10] 周辉,刘忠,魏亚静. 以氢氧化镁为阻燃剂制备阻燃纸的研究[J]. 中国造纸,2009,28(1):13—16.
ZHOU Hui, LIU Zhong, WEI Ya-jing. Preparation of Fire-retardant Paper Using Magnesium Hydroxide as Flame Retardant[J]. China Pulp & Paper, 2009,28(1):13—16.
- [11] MANALAC R, CHEAH B, ALIMAGNO J. Environmentally Safe Molding Compound[J]. Advanced Packaging, 2001, 10(11):31—32.
- [12] MELAMED L, EDEN E, LEIFER M, et al. Performances of Blends Between Poly (Pentabromobenzyl Acrylate) and Magnesium Hydroxide as Flame Retardants for Polypropylene Block Copolymers[J]. Fire Technology, 2014(9):9.
- [13] 李国志,丁毅. 阻燃技术在纸包装中的应用[J]. 包装工程, 2009,30(4):160—161.
LI Guo-zhi, DING Yi. Application of Flame Retardant Technology in Paper Packaging[J]. Packaging Engineering, 2009,30(4):160—161.
- [14] GB/T 14656—2009, 阻燃纸和纸板燃烧性能试验方法[S].
GB/T 14656—2009, Test Method for Burning Behavior of

- 32—34.
- Environmental Development Center of Department of Environmental Protection, China Printing Technology Association. Green Printing and China Environmental Labeling[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2012: 32—34.
- [5] 王琪, 洪亮. 高速单张纸胶印润湿液性能的控制[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 90—92.
- WANG Qi, HONG Liang. Control of Wetting Liquid Performance for High-speed Single Sheet Offset Printing[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 90—92.
- [6] 亓辉, 王玉龙. 润版液各参数之间的关系分析[J]. 包装工程, 2012, 33(6): 101—103.
- QI Hui, WANG Yu-long. Analysis of Relation Among Fountain Solution Parameters[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(6): 101—103.
- [7] 陈绍武. 平版印刷中润版液的检测与分析[J]. 包装工程, 2008, 29(4): 180—182.
- CHEN Shao-wu. Measurement and Analysis of Dampening Solution in Offset Printing[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(4): 180—182.
- [8] SHEN Wei, HUTTON B, LIU FU-ping. A New Understanding on the Mechanism of Fountain Solution in the Prevention of Ink Transfer to the Non-image Area in Conventional offset Lithography[J]. Journal of Adhesion Science and Technology, 2005, 15: 1861—1887.
- [9] 王琪, 王延伟. 高速胶印水斗液使用性能的研究[J]. 包装工程, 2008, 29(1): 184—186.
- WANG Qi, WANG Yan-wei. Study on Application Performance of Bailer Liquid for High Speed Offset[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 184—186.
- [10] 印刷工业出版社编辑部. 胶印工艺指南[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2013: 178—180.
- The Editorial Office of Printing Industry Press. Offset Printing Process Guide[M]. Beijing: Graphic Communications Press, 2013: 178—180.
- [11] LEE J Y, HILDEMAN N, LYNN M. Surface Tension of Solutions Containing Dicarboxylic Acids with Ammonium Sulfate, D-glucose, or Humic Acid[J]. Journal of Aerosol Science, 2013, 64: 94—102.
- [12] 王文波, 刘玉芬. 表面活性剂实用仪器分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 1—20.
- WANG Wen-bo, LIU Yu-feng. Analysis of Useful Surfactants Instruments[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003: 1—20.
- [13] KAMAL A H, GORAN S, KATARINA K. Effect of Excess Dispersant on Surface Properties and Liquid Interactions on Calcium Carbonate Containing Coatings[J]. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2010, 25: 82—92.
- [14] KARANIKAS E K, NIKOLAIDIS N F, TSATSARONI E G. Synthesis Characterization and Application of Hetarylazo Disperse Colorants: Preparation and Properties of Ink-jet Inks with Active Agents for Polyester Printing[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2012, 5: 3396—3403.
- [15] 方剑. 免酒精润版的性能与使用[J]. 印刷技术, 2012(5): 60—61.
- FANG Jian. The Performance and Use of Avoid Alcohol Dampening[J]. Printing Technology of Materials and Special Printing, 2012(5): 60—61.

(上接第 67 页)

Flame-retardant Paper and Board[S].

- [15] GB/T 10739, 纸、纸板和纸浆试验前温湿处理和试验的标准大气条件[S].
- GB/T 10739, Paper, Board and Pulps Standard Atmosphere for Conditioning and Testing[S].
- [16] 唐皓, 敖曼, 师恩启, 等. 环保型阻燃剂的研究与应用[J]. 辽宁化工, 2007, 36(9): 622—624.
- TANG Hao, AO Man, SHI En-qi, et al. Research and Application of Environmental Flame Retardants[J]. Liaoning Chemical Industry, 2007, 36(9): 622—624.
- [17] GAO Ming, LING Biao-can, YANG Shou-Sheng, et al. Flame Retardance of Wood Treated with Guanidine Compounds Characterized by Thermal Degradation Behavior[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2005, 73(1): 151—156.