

防白蚁剂对三聚氰胺甲醛树脂胶粘剂性能的影响

王启慧¹, 徐长妍¹, 朱典想¹, 潘昌怀², 周国平¹

(1. 南京林业大学, 南京 210037; 2. 常红木制品厂, 涟水 223400)

摘要: **目的** 研究加入防白蚁剂对胶粘剂的影响。 **方法** 测试了联苯菊酯、溴氰菊酯、高效氯氰菊酯等3种拟除虫菊酯类防白蚁剂对三聚氰胺甲醛树脂黏度、pH值、固化时间、润湿性及胶合性能的影响。采用模拟固化法,测试了三聚氰胺甲醛加入防白蚁剂前后的红外光谱特征。 **结果** 防白蚁剂的加入降低了三聚氰胺甲醛树脂的pH值,提高和延长了三聚氰胺甲醛树脂的黏度和固化时间,提高了三聚氰胺甲醛树脂在杨木单板上的润湿性,降低了胶层剪切强度;联苯菊酯、溴氰菊酯和高效氯氰菊酯等3种防白蚁剂的加入没有引起三聚氰胺甲醛树脂红外特征峰的改变。 **结论** 联苯菊酯、溴氰菊酯和高效氯氰菊酯一定程度上影响三聚氰胺甲醛树脂的常规特性;由于防白蚁剂中水份和原药微粒的影响,三聚氰胺甲醛树脂的胶层剪切强度有所下降;联苯菊酯、溴氰菊酯和高效氯氰菊酯对三聚氰胺甲醛树脂化学基团没有影响。

关键词: 防白蚁剂; 三聚氰胺甲醛树脂; 红外光谱; 接触角; 性能

中图分类号: TB484.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)13-0066-05

Influence of Anti-termite Agent on Performance of Melamine-formaldehyde Resin

WANG Qi-hui¹, XU Chang-yan¹, ZHU Dian-xiang¹, PAN Chang-huai², ZHOU Guo-ping¹

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Changhong Wood Products Factory, Lianshui 223400, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the effect of addition of anti-termite agent on adhesives. **Methods** In this article, we tested the impacts of anti-termite agents bifenthrin, deltamethrin and beta-cypermethrin, on the viscosity, pH, curing time, panel surface property and gluing properties of melamine formaldehyde resin. Using the solidification simulation method, we tested the IR absorption spectra of the melamine formaldehyde resin before and after the addition of anti-termite agent. **Results** The results showed that the pH of melamine-formaldehyde resin was reduced while the viscosity and curing time of melamine-formaldehyde resin were increased and the panel surface property was improved by the addition of anti-termite agent. However, the bond strength of melamine-formaldehyde resin was declined. Infrared spectrum analysis showed that the characteristic peak of melamine-formaldehyde resin was not influenced by the addition of anti-termite agents. **Conclusion** Bifenthrin, deltamethrin and beta-cypermethrin affected the general characteristics of melamine-formaldehyde resin. There was an adverse effect on shear bond strength of melamine-formaldehyde resin due to the moisture and original drug fine particles. The chemical groups of melamine formaldehyde resin were not influenced by bifenthrin, deltamethrin and beta-cypermethrin.

KEY WORDS: anti-termite agent; melamine formaldehyde resin; infrared spectrum; contact angle; performance

收稿日期: 2014-02-28

基金项目: 江苏省科技型企业技术创新资金项目(BC2011440); 江苏省优势学科项目(021020110)

作者简介: 王启慧(1990—),女,江苏泰州人,南京林业大学硕士生,主攻材料工程。

通讯作者: 徐长妍(1967—),女,湖北宜昌人,博士,南京林业大学副教授、硕士生导师,主要研究方向为材料学、物流运输包装系统设计。

人造板作为实木的替代品,其需求量日益增大,在包装领域也被广泛应用^[1,2]。木质材料容易受到白蚁的蛀蚀,人造板的抗蚁蛀性成为人造板发展和完善的方向之一。具有抗蚁蛀性能的人造板使用寿命长,能够节省包装费用,因此该类板材在包装行业的推广应用具有一定意义。

对于木制品而言,传统的防虫方法是对木材进行热处理或者化学改性^[3,4]。由于热处理会降低木材的力学性能,所以化学处理得到了更为广泛的应用。对于结构人造板而言,防虫方法更为多样化,可归纳为原料防腐防虫预处理^[5]、生产过程中防腐防虫一体化处理方法^[6,7]和成品防腐防虫处理^[8-10]。对胶合板而言,前2种方法药力渗透优于后一种方法^[11],而生产过程中防腐防虫处理一体化方法(文中简称一体处理法)处理简单,不增加生产工序,而优于原料防腐防虫预处理方法。一体处理法具体应用到胶合板上是将具有防虫功能的药物与胶粘剂混合,而后按照原有工序进行生产。胶粘剂的性能将直接影响胶合板的性能,所以对防虫剂与胶粘剂相容性的研究就显得尤为重要。为此,研究了防白蚁剂的加入对三聚氰胺甲醛树脂常规性能及其在杨木单板表面润湿性的影响,并对加入防白蚁剂的三聚氰胺甲醛树脂进行了红外光谱分析。

1 实验

1.1 材料

三聚氰胺甲醛树脂由宫良木业有限公司提供。防白蚁剂包括:联苯菊酯悬浮剂(10%),购于安徽康宇生物科技工程有限公司;溴氰菊酯悬浮剂(2.5%),高效氯氰菊酯悬浮剂(10%),购于南通功成精细化工有限公司。

1.2 仪器

仪器:JC2000A 接触角测量仪(上海中晨数字技术设备有限公司)、IS10 Smart iTR 傅里叶红外光谱仪(美国尼高力(Nicolet)公司)、CMT-4204 万能力学实验机(深圳市新三思材料检测有限公司)。

1.3 方法

参照标准 GB/T 14074—2006《木材胶粘剂检验方

法》3.5,测试三聚氰胺甲醛树脂的固含量。

将三聚氰胺甲醛树脂和防白蚁剂按一定的质量比共混。参照 GB/T 14074—2006《木材胶粘剂检验方法》,测定胶粘剂在加入防白蚁剂前后的 pH 值、黏度、固化时间以及胶合强度的变化。以杨木单板压制胶合板,热压温度为 140 ℃,压力 1.4 MPa,时间 8 min,涂胶量 220 g/m²(单面),预压 10 min,压制 3 层胶合板。胶合强度的测定参照 GB 17657—1999《人造板及饰面人造板理化性能实验方法》Ⅱ类胶合板进行测试。

将添加不同比例防白蚁剂的三聚氰胺甲醛树脂滴在杨木单板表面,进行 10 s 接触角的测试。采用傅里叶变换红外光谱仪对添加最优比例防白蚁剂的三聚氰胺甲醛树脂进行红外光谱分析,研究联苯菊酯、溴氰菊酯和高效氯氰菊酯与三聚氰胺甲醛树脂的化学反应。采用模拟热压法^[13]制备三聚氰胺甲醛树脂试件,将三聚氰胺甲醛树脂在聚四氟乙烯的脱模纸中固化。此试验可进一步了解加入防白蚁剂对三聚氰胺甲醛树脂化学性能的影响。

2 结果与分析

根据标准 GB/T 14074—2006《木材胶粘剂检验方法》,测试得出试验所用三聚氰胺甲醛树脂固含量为 57.5%。

2.1 对三聚氰胺甲醛树脂 pH 值的影响

防白蚁剂对三聚氰胺甲醛树脂(MF 树脂)pH 值的影响见图 1,可以看出,加入防白蚁剂后防白蚁剂-MF 混合胶粘剂的 pH 值减小,且随防白蚁剂加入量的增加而略有减小。主要是因为防白蚁剂为弱酸性,使得

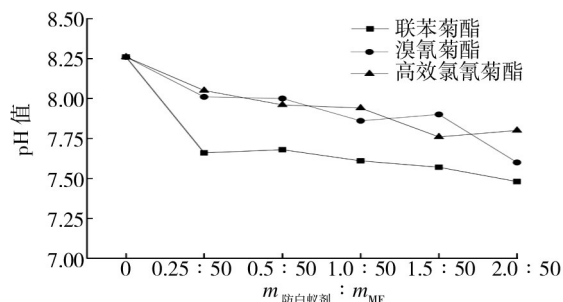


图1 防白蚁剂对三聚氰胺甲醛树脂 pH 值的影响

Fig.1 Influence of addition of anti-termite agents on the pH of melamine formaldehyde resin

本身为弱碱性的MF树脂pH值向着中性偏离。其中,联苯菊酯pH值减小幅度最大。

2.2 对三聚氰胺甲醛树脂黏度的影响

防白蚁剂对三聚氰胺甲醛树脂黏度的影响见图2,可以看出,加入联苯菊酯和溴氰菊酯后三聚氰胺甲醛树脂的黏度增加,且随防白蚁剂添加量的增加而增加。加入高效氯氰菊酯对三聚氰胺甲醛树脂黏度影响不大。这是由于MF树脂是在酸性条件下固化的,而防白蚁剂的弱酸性可能会导致部分MF树脂发生反应,使得胶液变得黏稠,黏度增大^[12]。加入联苯菊酯的三聚氰胺甲醛树脂黏度增加最大,这与图1中显示联苯菊酯-MF胶液的pH值最小相符。

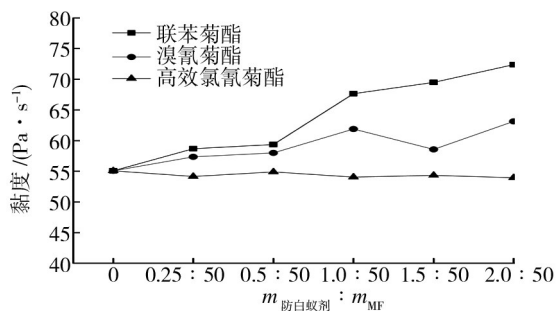


图2 防白蚁剂对三聚氰胺甲醛树脂黏度的影响

Fig.2 Influence of addition of anti-termite agents on the viscosity of melamine formaldehyde resin

2.3 对三聚氰胺甲醛树脂固化时间的影响

防白蚁剂加入前后三聚氰胺甲醛树脂固化时间的变化见图3。三聚氰胺甲醛树脂的固化时间与pH有一定关系,从图1可以看出,在添加比例为0.25:50时,联苯菊酯的作用效果略强于其他2种防白蚁剂,因此加入该比例的联苯菊酯固化时间最短。随着防白蚁剂添加比例的增加,联苯菊酯-MF混合胶液和溴氰菊酯-MF混合胶液的固化时间反而延长。这是由于防白蚁剂中含有水分,随着添加量的增加,被带入到混合胶液中的水分也不断增加,虽然pH值减小,当其作用效果没有水分的影响大,所以表现为联苯菊酯或溴氰菊酯的比例持续增加时,混合胶液的固化时间不减反增。高效氯氰菊酯对三聚氰胺甲醛树脂固化时间的影响较小,即使在高添加比例下,混合胶液的固化时间变化量也不大,其原因可能是高效氯氰菊酯与三聚氰胺甲醛发生反应抵消了水分的负面影响。

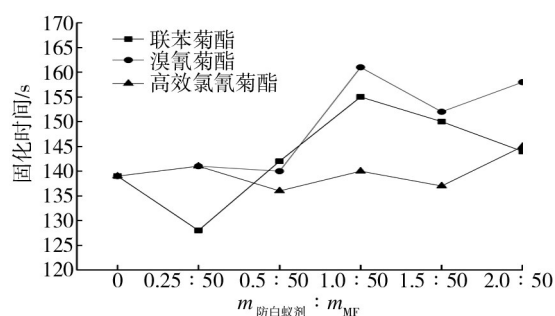


图3 防白蚁剂对三聚氰胺甲醛树脂固化时间的影响

Fig.3 Influence of addition of anti-termite agents on the curing time of melamine formaldehyde resin

2.4 对三聚氰胺甲醛树脂胶合强度的影响

各试验组胶合强度结果见图4,可以看出,添加联苯菊酯、高效氯氰菊酯和溴氰菊酯后胶合强度略有下降。

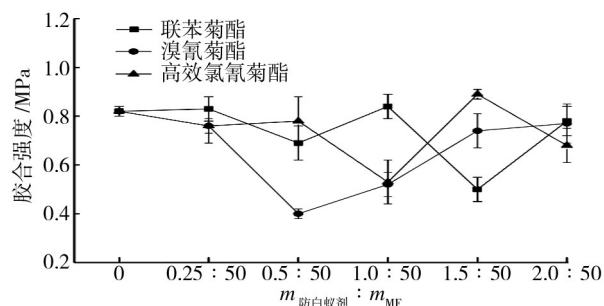


图4 防白蚁剂对三聚氰胺甲醛树脂胶合强度的影响

Fig.4 Influence of addition of anti-termite agents on the bond strength of melamine formaldehyde resin

引起胶合强度下降的原因可能是防白蚁剂附带进入胶液体系中的水分影响了胶粘剂的固化,从而胶合强度下降。此外,悬浮剂是农药原药和载体及分散剂混合,利用湿法进行超微粉碎,将固体农药原药粉碎成 $4\mu\text{m}$ 以下的微粉而制得的黏稠可流动的悬浮剂。试验所用联苯菊酯、溴氰菊酯、高效氯氰菊酯等3种防白蚁剂的剂型均为悬浮剂,将其加入三聚氰胺甲醛树脂中,混合胶液中含有一定量的农药原药微粉。由于相邻两单板平面之间存在这些微粉,因而使得相邻两单板平面不能紧密接触。此外,加入防虫剂会带入一定的水分。由于残留的空气或吸附的水分会阻碍胶粘剂渗透而不利于粘结^[13],从而影响胶接的强度和品质,体现为胶合强度下降。另一方面,悬浮剂的

分散性和展着性比较好,悬浮率高,很容易粘附在木材表面,有时会堵塞木材组织内的胞腔,不利于胶粘剂渗透,从而表现为胶合强度下降。

2.5 对三聚氰胺甲醛树脂在杨木单板表面接触角的影响

表面润湿性是木材表面胶合性能的重要影响因素,它是固体材料的一种重要界面特征,它可以表征当某些液体(如水、胶粘剂、油漆及改性处理剂等)接触到固体时,在其表面润湿、铺展、渗透和粘附的效果^[14, 15]。润湿性关系胶粘剂在材料表面的渗透和附着,将影响胶合质量。接触角可以反映液体在固体表面的润湿情况,接触角越小,液体在固体表面越容易润湿。加入防白蚁剂前后三聚氰胺甲醛树脂在杨木单板表面接触角的大小见图5。实验还测试了联苯菊酯、溴氰菊酯、高效氯氰菊酯对杨木单板的接触角,结果显示,3种防白蚁剂均在短时间内完全润湿。随着防白蚁剂添加量的增加,三聚氰胺甲醛树脂在杨木单板表面的接触角减小,与图5的结果一致。

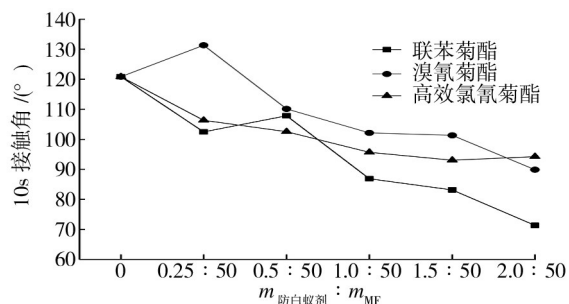


图5 防白蚁剂对三聚氰胺甲醛树脂在杨木单板表面润湿性的影响

Fig.5 Influence of addition of anti-termite agents on the wetting property of MF resin on the surface of poplar veneer

适当的润湿性有利于胶粘剂在单板表面的铺展,提高胶合强度。若润湿性过好,胶粘剂过度向木材组织渗透,引起缺胶,会导致胶合强度下降^[13]。这也从另一方面说明了防白蚁剂加入后胶合强度下降的原因。

2.6 红外谱图分析^[16-18]

根据图4可知, $m_{\text{防白蚁剂}}:m_{\text{MF}}$ 为2.0:50时胶合强度结果最佳,故选择该添加比例进行红外光谱分析,红外光谱图见图6。图7为三聚氰胺甲醛树脂的红外光谱图,用于对照分析。从图6—7中可以清楚地看出加入

联苯菊酯、溴氰菊酯和高效氯氰菊酯的三聚氰胺甲醛树脂的红外光谱非常相似,且也与三聚氰胺甲醛树脂的红外光谱图非常相似。在 3340 cm^{-1} 处较强的吸收带为N-H伸缩振动吸收峰; 1630 cm^{-1} 和 1538 cm^{-1} 处出现2个非常强的吸收峰,对应于三聚氰胺和甲醛缩聚体系中三嗪环上C=N伸缩振动峰和N-H剪切弯曲振动峰; 1345 cm^{-1} 处吸收峰是环内C-N伸缩振动吸收峰; 814 cm^{-1} 处吸收峰为三聚氰胺骨架的面外弯曲振动吸收峰,以上几个峰是三聚氰胺特有的。此外,在 2966 cm^{-1} 左右出现较弱的吸收带为C-H的伸缩振动峰; 1123 cm^{-1} 处吸收峰为醚键C-O-C伸缩振动吸收峰; 1030 cm^{-1} 处吸收峰为醇类中C-O伸缩振动吸收峰; 1967 cm^{-1} 和 2169 cm^{-1} 处为水峰,可能是由于样品中的水分造成的。

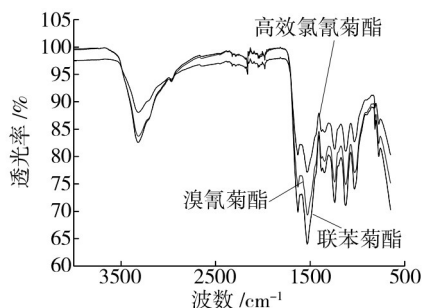


图6 加入不同防白蚁剂的三聚氰胺甲醛树脂的红外光谱
Fig.6 Infrared spectra of FM resin after addition of different anti-termite agents

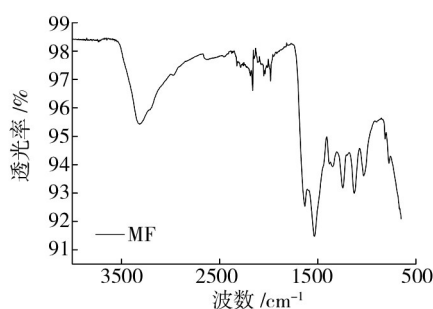


图7 三聚氰胺甲醛树脂的红外光谱
Fig.7 Infrared spectrum of FM resin

基于以上分析,基本可以认定3种防白蚁剂对三聚氰胺甲醛树脂的影响较小。此外,从红外图谱中可以看出,高效氯氰菊酯对三聚氰胺甲醛树脂的影响较另外2种防白蚁剂大,N-H伸缩振动吸收峰形有所减弱,可能是高效氯氰菊酯与三聚氰胺甲醛树脂之间存在化学反应,但由于含量少,并没有影响树脂的化学

基团,这与图4中高效氯氰菊酯胶合强度最低相吻合。

3 结语

1) 防白蚁剂的加入降低了三聚氰胺甲醛树脂的pH值,对提高胶粘剂的黏度有一定作用。但同时也使得固化时间延长,对于胶合强度的影响没有明显规律可循,胶合强度水平整体下降。

2) 加入防白蚁剂可提高三聚氰胺甲醛树脂对杨木单板的润湿性。

3) 联苯菊酯与溴氰菊酯对三聚氰胺甲醛树脂的特征峰并无影响。高效氯氰菊酯的红外光谱与其他2种防白蚁剂略有不同,可能原因是高效氯氰菊酯中的某些成分与三聚氰胺甲醛树脂中的某些基团发生反应,从而导致三聚氰胺甲醛树脂中的特征峰削弱。

参考文献:

- [1] 国际代木包装发展趋势[J]. 中国包装工业, 2003(9): 7—8.
Developing Trends of Non-Wood Packaging in the World[J]. China Packaging Industry, 2003(9): 7—8.
- [2] 卫佩行, 周定国. 人造板机电包装材料应用现状及前景[J]. 林业科技开发, 2012, 26(1): 13—16.
WEI Pei-xing, ZHOU Ding-guo. The Application and Prospects of Plywood Electromechanical Packaging Materials[J]. China Forestry Science and Technology, 2012, 26(1): 13—16.
- [3] SHI J L, KOCAEFE D, AMBURGEY T, et al. A Comparative Study on Brown-rot Fungus Decay and Subterranean Termite Resistance of Thermally-modified and ACQ-C-treated Wood [J]. Holz Roh Werks, 2007, 65(5): 352—358.
- [4] 李小英, 高道蓉, 徐卫英. 美国的白蚁及其防治概况[J]. 白蚁科技, 1998, 15(1): 1—17.
LI Xiao-ying, GAO Dao-rong, XU Wei-ying. Overview of American Termite and Prevention[J]. Science and Technology of Termites, 1998, 15(1): 1—17.
- [5] KARTAL S N, AYRILMIS N, IMAMURA Y. Decay and Termite Resistance of Plywood Treated with Various Fire Retardants[J]. Building and Environment, 2007, 42(3): 1207—1211.
- [6] SMITH W R, WU Qing-lin. Durability Improvement for Structural Wood Composites Through Chemical Treatments: Current State of the Art[J]. Forest Prod, 2005, 55(2): 8—17.
- [7] SEAN T, GILLES B, FRANCINE C. Protection of Oriented Strandboard with Borate[J]. Forest Prod J, 1999, 49(6): 47—51.
- [8] TASCIOGLU C, TSUNODA K. Laboratory Evaluation of Wood-based Composites Treated with Alkaline Copper Quat against Fungal and Termite Attacks[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2010, 64(8): 683—687.
- [9] TERZI E, CIHAT T, KARTAL S N, et al. Termite Resistance of Solid Wood and Plywood Treated with Quaternary Ammonia Compounds and Common Fire Retardants[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2011, 65(3): 565—568.
- [10] 周冠武, 李春高, 虞华强, 等. 结构人造板防腐防虫技术的应用及发展[J]. 工业木材, 2012, 26(5): 32—35.
ZHOU Guan-wu, LI Chun-gao, YU Hua-qiang, et al. Current State and Development of Technologies for Protecting Structural Board Against Decay and Insect Attack[J]. China Wood Industry, 2012, 26(5): 32—35.
- [11] 宋润慧, 郝金城. 结构集成材的防腐处理[J]. 林业科技, 2003, 28(6): 38.
SONG Run-hui, HAO Jin-cheng. Preservative Treatment of Structural Timber[J]. Forestry Science & Technology, 2003, 28(6): 38.
- [12] 贾聪, 李凤, 徐兴武, 等. 芳香剂对脲醛树脂性能的影响[J]. 包装工程, 2012, 33(11): 54—56.
JIA Chong, LI Feng, XU Xing-wu, et al. Influence of Aromatic Agent on Performance of Urea-formaldehyde Resin [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(11): 54—56.
- [13] 王炼, 程瑞香. 木材影响其胶合强度的诸因素分析[J]. 中国人造板, 2006(8): 10—13.
WANG Lian, CHENG Rui-xiang. Effect of Wood Material Factors on Bonding Strength of Wood[J]. China Wood-based Panels, 2006(8): 10—13.
- [14] 董元彦, 李宝华, 陆福绥. 物理化学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
DONG Yuan-yan, LI Bao-hua, LU Fu-sui. Physical Chemistry[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [15] 程传焯. 表面物理化学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
CHENG Chuan-xuan. Surface Physical Chemistry[M]. Beijing: Science Press, 1999: 111—153.
- [16] 李元杰, 王峰. 微胶囊壁材用三聚氰胺甲醛树脂的改性及性能研究[J]. 材料导报, 2009, 23(5): 42—44.
LI Yuan-jie, WANG Feng. Research on Characteristics of Modified Melamine-formaldehyde Resin in Microcapsule[J]. Materials Review, 2009, 23(5): 42—44.
- [17] 杨中兴, 齐鲁, 狄海燕. 三聚氰胺甲醛树脂改性及其纤维的

(下转第149页)

低,RC色卡重构图像的色差最小,色度精度最高;3种色卡重构的光谱吻合度相差不大,且重构精度仅与主成分数量有关。最后分析以6个主成分为例分析整幅图像的 ab 色度分布,RC色卡色差大于3的像素点分布范围较小,且主要分布在一、四象限,这一结果与对重构图像的分析吻合。综上所述,光谱图像重构精度并不随训练样本数量增多以及分布范围增大而提高。从颜色复制精度的角度分析,采用RC色卡的7个主成分对光谱图像重构是达到较高颜色复制精度的最优选择。

参考文献:

- [1] 丁国华,朱元泓,李博,等. 基于不同色块数量的光谱重构对比[J]. 包装工程,2012,33(2):14—18.
DING Guo-hua, ZHU Yuan-hong, LI Bo, et al. Comparison of Spectrum Reconstruction on Different Number of Color Block [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(2): 14—18.
- [2] 张显斗. 光谱颜色管理系统关键技术综述[J]. 中国印刷与包装研究,2013,5(1):10—17.
ZHANG Xian-dou. Key Technologies Review of the Spectral Color Management System[J]. China Printing and Packing Study, 2013, 5(1): 10—17.
- [3] 陈奕艺. 基于数码相机的物体表面色光谱重构[D]. 杭州: 浙江大学,2008.
CHEN Yi-yi. Spectrum Reconstruction of Surface Color Based on the Digital Camera[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [4] TZENG D Y, BERNIS R S. A Review of Principal Component Analysis and Its Applications to Color Technology[J]. Color Research & Application, 2004, 29(2): 104—110.
- [5] FAIRMAN H S, MICHAEL H B. The Principal Components of Reflectances[J]. Color Research & Application, 2005, 30(2): 84—98.
- [6] 许淑娜,李长坡. 对主成分分析法三个问题的剖析[J]. 数学理论与应用,2011,31(4):116—121.
- XU Shu-na, LI Chang-po. Dissection to Three Typical Issues of Principal Component Analysis[J]. Mathematical Theory and Applications, 2011, 31(4): 116—121.
- [7] TZENG D. Spectral-based Color Separation Algorithm Development for Multiple Ink Color Reproduction[D]. Rochester: Rochester Institute of Technology, 1999.
- [8] CHEN Qiao-hong, MACDONALD L W. Comparison Study of Estimation Methods for Digital Camera's Spectral Sensitivity [A]. Tokyo Japan, 2002.
- [9] 万晓霞,易尧华. 全彩色遥感影像彩色合成效应的研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2002,27(2):203—207.
WAN Xiao-xia, YI Yao-hua. Color Compound Domino Effect of True Color Remote Sensing Imagery[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2002, 27(2): 203—207.
- [10] 刘浩学. CIE均匀颜色空间与色差公式的应用[J]. 北京印刷学院学报,2003,11(3):3—9.
LIU Hao-xue. The Application of CIE Uniform Color Space and Its Color Difference Formula[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2003, 11(3): 3—9.
- [11] TRUSSELI H J, KULKAMI M S. Sampling and Processing of Color Signals[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(4): 677—681.
- [12] Spectral Database, University of Eastern Finland Color Group [EB/OL]. [http://www.uef.fi/spectral/spectral database](http://www.uef.fi/spectral/spectral%20database).
- [13] Spectral Image Database, University of Eastern Finland Color Group [EB/OL]. [http://www.uef.fi/spectral/spectral image database](http://www.uef.fi/spectral/spectral%20image%20database).
- [14] IMAI F H, BERNIS R S. Spectral Estimation Using Trichromatic Digital Cameras[C]// Proceedings of the International Symposium on Multispectral Imaging and Color Reproduction for Digital Archives, Wiley, 1999: 42.
- [15] FLINKMAN M, LAAMANEN H, TUOMELA J, et al. Eigenvectors of Optimal Color Spectra[J]. Optical Society of America, 2013, 30(9): 1806—1813.

(上接第70页)

性能[J]. 高分子材料与工程,2008,24(1):147—150.

YANG Zhong-xing, QI Lu, DI Hai-yan. Performance of Modified Melamine-formaldehyde Resin and Fiber[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2008, 24(1): 147—150.

[18] 琚晓晖,齐鲁. 有机硅改性三聚氰胺甲醛树脂的研究[J]. 热固性树脂,2006,21(3):14—17.

JU Xiao-hui, QI Lu. Study on Melamine-formaldehyde Resin Modified with Silicone[J]. Thermosetting Resin, 2006, 21(3): 14—17.