

涂布量对水性 UV 涂料干燥时间与涂膜性能的影响

吴华贵^{1,2}, 龙玲^{1,2}, 徐建峰^{1,2}, 陈明贵³, 刘如², 常红言³

(1. 中国林科院林业新技术研究所, 北京 100091; 2. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091;

3. 江苏海田技术有限公司, 江苏句容 212400)

摘要: 采用自制水性 UV 木器涂料涂饰木材, 探讨涂料固体含量、涂膜厚度对涂料干燥时间与涂膜性能的影响。结果表明: 相同涂膜厚度下, 涂料固体含量增大, 干燥时间缩短, 水分挥发速率增大明显; 涂膜厚度增加, 干燥时间延长。干燥温度 35 ℃、涂料固体含量 80%、涂膜厚度 60 μm 时, 干燥时间约 4 min, 涂膜硬度达 2H、附着力 1 级、磨耗值 0.089 g/100 r, 满足 GB/T 18103-2013《实木复合地板》的要求。

关键词: 水性 UV 木器涂料; 涂布量; 涂膜厚度; 涂料固体含量; 干燥时间; 涂膜性能

中图分类号: S781.6; S792.18 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2019) 05-0007-04

Effect of UV-waterborne Wood Coating Weight on Film Drying Time and Film Performance

WU Hua-gui^{1,2}, LONG Ling^{1,2}, XU Jian-feng^{1,2}, CHEN Ming-gui³, LIU Ru², CHANG Hong-yan³

(1. Research Institute of Forestry New Technology, Chinese Academy of Forestry (CAF), Beijing 100091, China; 2. Research Institute of Wood Industry, CAF, Beijing 100091, China; 3. Jiangsu Himonia Technology Co., LTD, Jurong 212400, Jiangsu, China)

Abstract: A UV-waterborne wood coating was prepared. Effects of coating solid contents and thicknesses on drying time and film performance of the coating were studied.

The results showed that the film drying time decreased and moisture volatilization rate of the coatings increased, when coating solid contents increased and coating thicknesses kept the same. As the coating thickness increased, the film drying time extended. At the conditions of 35 ℃ drying temperature, 80% of the solid coating content and 60 μm-thickness, the film drying time was 4 minutes. The hardness, adhesion and wear resistance value of the coating film could meet the requirements of Chinese Standard of GB/T 18103-2013 for engineered wood flooring.

Key words: UV-waterborne wood coating; coating weight; coating thickness; coating solid content; drying time; coating film performance

水性木器涂料是以水性树脂为主要成膜物质, 加入助剂、水或助溶剂等配制而成, 涂覆在木质基

材表面, 具有装饰、保护等功能的涂层。水性 UV 固化涂料兼具了传统 UV 固化技术和水性涂料的优点, 还具备无有机溶剂、环保等优点, 成为涂料发展的重要方向之一^[1-4]。

但是, 水性 UV 涂料在家具、木门上的应用处于初级阶段, 尚存在一些不足^[5], 其中干燥是目前面临的一大问题。水性 UV 涂料固化成膜, 需要经历溶剂

收稿日期: 2018-09-06; 修改日期: 2019-08-05

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目课题“木制品表面绿色装饰技术研究”(2016YFD0600704)。

作者简介: 吴华贵(1993—), 男, 硕士研究生。Email: huaguiwu@qq.com。

责任作者: 龙玲, 女, 研究员。Email: longling@caf.ac.cn。

水的挥发与紫外光固化成膜两个阶段。由于水的蒸发潜热是有机溶剂的 5~8 倍,挥发过程十分缓慢,且挥发速度易受外界温湿度等环境因素影响^[6]。水性 UV 涂料固化成膜过程中的干燥除水,降低了涂料施工效率,增大了能耗,且不恰当的干燥工艺还会使涂膜产生缩孔,影响固化后涂膜质量^[7]。

鉴于此,笔者以影响水性 UV 涂料涂布量的两大因素——涂料固体含量和涂膜厚度为变量,分析和评价对涂料干燥效率,以及涂膜硬度、耐磨性、附着力等性能的影响,旨在为合理制定水性 UV 木器涂料干燥工艺,提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

- 1) 水性聚氨酯丙烯酸酯树脂,黏度 600~1 000 mPa·s (25 ℃)、市售;
- 2) 水性 UV 腻子(江苏海田技术有限公司);
- 3) 助剂:光引发剂(2-羟基-甲基苯基丙烷-1-酮);消泡剂 TEGO AIREX 901W(聚醚硅氧烷共聚物)等。
- 4) 栎木(*Quercus alba*)试件,尺寸 200 mm×300 mm×20 mm (L×T×R),共 24 块,含水率 8%~10%,外购。

1.2 仪器设备

线性涂布器(可涂膜厚度 30~120 μm),自动涂膜机,热风干燥机,紫外光固化机等。

1.3 试验方法

1.3.1 涂料配制

目前常用的水性 UV 木器涂料,固体含量大多为 40%~50%。通过前期筛选,确定采用高固体含量水性聚氨酯丙烯酸酯 UV 树脂(60%~100%)体系,制备水性 UV 木器涂料,以缩短涂层干燥时间。

制备两组涂料,固体含量分别为 70%和 80%。称取计量的水性 UV 树脂于数显高速分散搅拌机中,按质量比添加光引发剂(2%)、消泡剂(0.2%)、去离子水,在 500 r/min 转速下分散 10 min,然后避光保存。

1.3.2 基材准备

用 240[#] 砂纸顺木纹打磨,并清除粉尘;在基材上刮涂水性 UV 腻子,以避免木材表面孔隙不均的影

响,涂布量为 25~35 g/m²。腻子干燥固化后,再用 350[#] 砂纸打磨,确保表面干燥无污。

1.3.3 涂布及干燥

通常水性木器涂料的涂膜厚度为 30~120 μm,否则易出现涂膜不匀、鼓泡等缺陷。试验使用自动涂膜机对试件进行顺纹理涂布。采用一次涂布方式,涂布速度 80 mm/s,涂膜厚度分别控制为 30、60、90、120 μm。通过比较试件涂布前后的质量,计算涂布量,结果列于表 1。

表 1 不同固体含量涂料和涂膜厚度时的涂布量
Tab.1 Coating weights with different solid contents and coating thicknesses

固体含量/ %	涂膜厚度/ μm	涂布量/ (g·m ⁻²)	固体含量/ %	涂膜厚度/ μm	涂布量/ (g·m ⁻²)
70	30	68.64	80	30	73.78
	60	86.64		60	89.11
	90	112.72		90	124.11
	120	142.08		120	147.35

设置热风干燥机的干燥温度为 35 ℃,一次干燥循环为 2 min,连续记录每个干燥循环后涂饰试件的质量,共 10 个循环。然后再通过 UV 固化机固化,光固化能量为 250~350 mJ/cm²。

1.4 性能测试

1) 水分挥发质量(m_a):指涂膜干燥过程中已挥发水分的质量,相对于未涂饰基材在相同温度下干燥挥发水分的质量之差。取三块平行试样检测,结果取平均值。

2) 涂层含水率(MC_a):在第 a min 时涂层中树脂的质量占涂层总质量的百分率。取三块平行试样检测,结果取平均值。

3) 参照 GB/T 17657-2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》,分别检测涂饰试板表面涂膜的硬度、耐磨性和附着力。

2 结果与分析

2.1 涂料涂布量对水分挥发速率的影响

2.1.1 涂料固体含量的影响

本试验制备的两种固体含量涂料,其不同厚度的涂膜,在 0~20 min 干燥时间内的水分挥发质量,如图 1 所示。

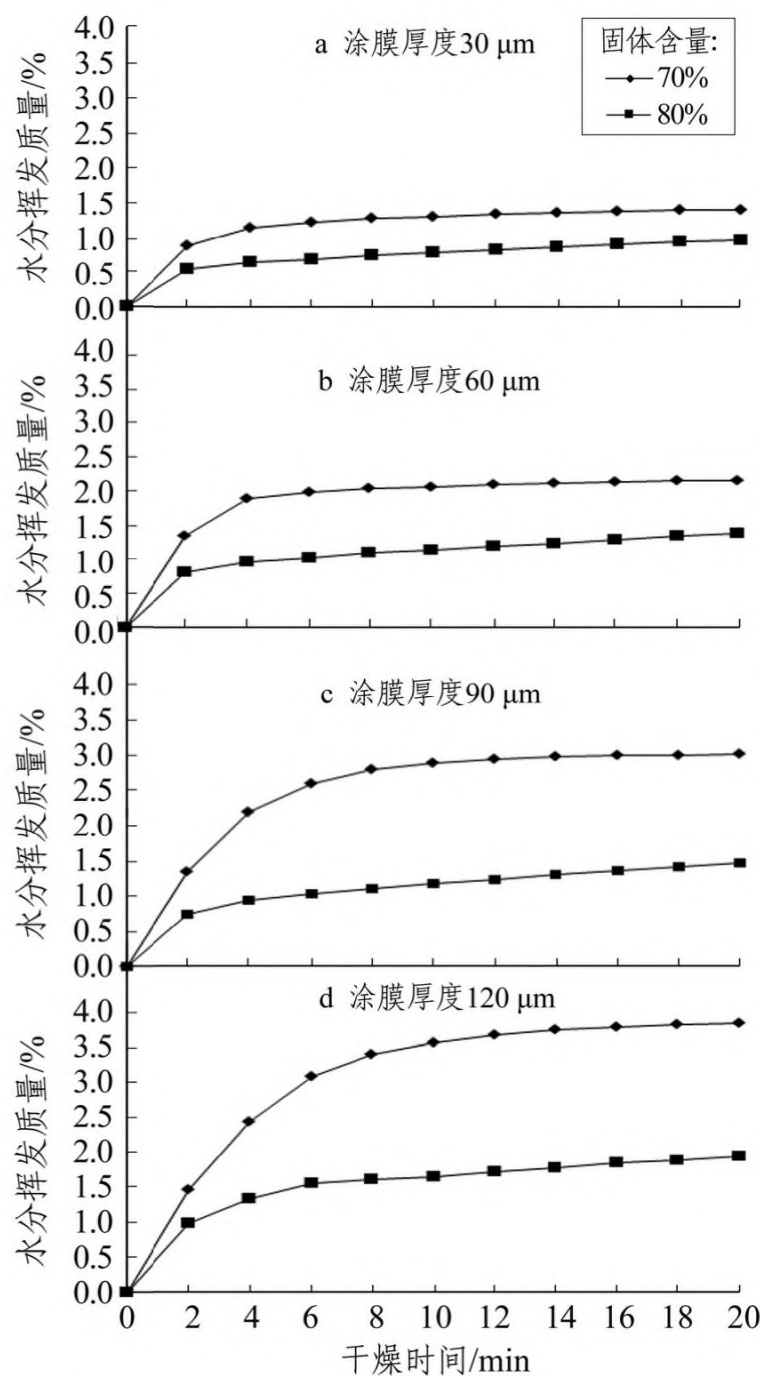


图1 涂料固体含量对涂料水分挥发速率的影响

Fig.1 Effect of solid contents on moisture evaporation rate of coatings

由图1可知,相同涂膜厚度及相同干燥时间的情况下,低固体含量涂料漆膜因基础水分较高,水分挥发质量较大。随着干燥时间的延长,涂膜水分挥发速率逐渐降低,并趋于平衡,达到完全干燥。

在相同涂膜厚度条件下,高固体含量涂料的漆膜,在初始阶段水分挥发速率较快,更快达到平衡,但剩余部分水分也需要更长时间才能完全干燥。

在本试验条件下,当涂料固体含量80%、涂膜厚度60 μm时,漆膜水分干燥时间最短,4 min左右达到基本干燥。建议在实际生产中,一次涂饰时的涂膜厚度,以不超过60 μm为宜。

在试验中还发现,干燥温度增加到50℃时,对于涂膜厚度不超过60 μm的漆膜,其表面质量较好;若涂膜厚度继续增加,涂膜则出现缩孔现象。其原因还可能与涂膜干燥应力有关,有待后续研究分析。

2.1.2 涂膜厚度的影响

在不同涂膜厚度条件下,两种固体含量涂料的漆膜在0~20 min干燥时间内,含水率的变化如图2所示。

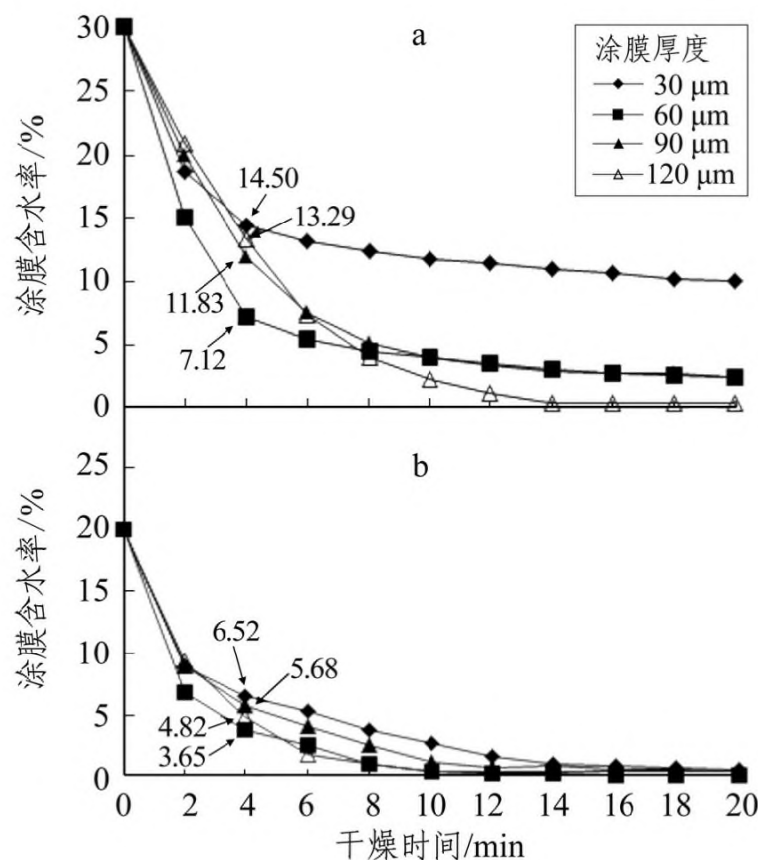


图2 涂膜厚度对涂料水分挥发的影响

Fig.2 Effect of coating thickness on moisture evaporation

由图2可知,0~4 min内水分挥发较快,随干燥时间的延长,曲线斜率减小,表明涂料水分挥发速率逐渐降低;两种固体含量的涂料,均以涂膜厚度60 μm时的水分干燥速度最快。

固体含量70%的涂料,含水率在4 min内从30%降至7.12%,降低约23%;固体含量80%的涂料,含水率在4 min内从20%降至3.65%,降低约16%。可见,在涂膜干燥过程中,应特别关注前4 min的干燥过程。对比图2a与图2b可知,水分挥发速率差别较大的干燥时间段为0~10 min,干燥时间超过10 min后,水分挥发速率基本不变。

在相同的涂膜厚度条件下,固体含量较高的涂料,水分挥发速度相对较慢。这可能是因为涂料固体含量越大,其中成膜物质越多,水分往外迁移的阻力越大,因此干燥效率越低。

水作为分散介质,水的挥发贯穿于整个成膜过程。最初水分挥发速率较快,但当胶粒相互接近至呈紧密堆砌时,则影响水分挥发速度^[8-9]。一般而言,若水分挥发速度快于树脂固化堆叠速度时,则形成的胶膜中不含水分^[8,10]。对于厚度90、120 μm的涂

膜，表层树脂的固化堆叠，在一定程度上会阻碍涂层内部水分的挥发速率；而厚度为 30 μm 的涂膜，树脂的堆叠速度快于水分挥发速率，也会导致涂膜干燥速度减慢。试验表明，厚度 60 μm 的涂膜，水分挥发速度与树脂固化速度较匹配，表现出干燥速率最快。说明在相同固体含量条件下，并非涂层越薄，其干燥速率越快，涂膜的干燥速度，取决于水分挥发速度与树脂固化速度的协调同步。

2.2 涂料固体含量及涂膜厚度对涂膜性能的影响

两种固体含量的涂料，在不同厚度涂膜的硬度、耐磨性和附着力检测结果，列于表 2。

表 2 涂膜性能检测结果
Tab.2 Coating film performance

样品 编号	固体含量/ %	涂膜厚度/ μm	铅笔 硬度	附着力	磨耗值/ (g/100 r)	光泽度/ ($^{\circ}$)
1	70	30	2H	2	0.113	85.40
2		60	H	2	0.108	79.85
3		90	2H	1	0.117	94.70
4		120	2H	1	0.107	93.56
5	80	30	2H	1	0.125	92.63
6		60	2H	1	0.089	87.30
7		90	H	1	0.108	83.10
8		120	2H	2	0.109	95.53

涂膜硬度是表示涂膜机械强度的重要性能之一，附着力主要指涂膜与基材表面之间或涂膜之间的相互粘接能力。根据表 2 结果，除 2[#]、7[#]的硬度为 H 外，其他均达到 2H；试件涂膜的附着力在 1~2 级，其中 3[#]~7[#]附着力达到 1 级。

耐磨性是指涂膜表面抵抗磨损的程度。涂布量不同，即使采用相同工艺，涂膜的耐磨性也不同。以 100 r 涂膜损失质量来比较各样品耐磨性优劣，则涂膜损失质量越小，其耐磨性越好。由表 2 结果可知，所有试件涂膜的耐磨性均 ≤ 0.15 g/100 r，其中 6[#] 试件涂膜的磨耗值最小（0.089 g/100 r）。

虽然涂膜硬度、耐磨性主要受涂料种类和涂料本身性质的影响，但是在涂料干燥过程中，涂膜的干燥速度与其中残留的水分，也会对涂膜的光泽度、硬度与附着力造成一定不良影响^[8-11]。由表 2 结果可知，随涂布量的增加，栎木光泽度呈现先下降后升高的趋势。当涂膜厚度 60 μm 时，70%、80%固体含量的涂料在初始阶段的含水率均迅速下降，水分挥

发的时候失热太多，可能使部分水分凝结在膜中，导致涂膜泛白；固体含量 80%、涂膜厚度 90 μm 时，硬度为 H，可能是水分残留在乳胶颗粒的间隙，UV 固化后被封闭其中，从而导致涂膜硬度、附着力下降。

3 结论

1) 对相同涂膜厚度，干燥时间随涂料固体含量增大而缩短；涂层水分挥发速率与树脂固化速度匹配时，干燥速率最快。干燥初期应控制水分挥发速度，才能保证表面涂膜质量。

2) 采用固体含量 80%的水性 UV 涂料，在涂膜厚度 60 μm 、干燥温度 35 $^{\circ}\text{C}$ 的工艺下，涂膜干燥时间相对较短，4 min 左右即基本干燥；且涂膜质量较好，硬度 2H、附着力 1 级、磨耗值 0.089 g/100r，符合 GB/T 18103-2013《实木复合地板》的要求。

3) 水性 UV 木器涂料的干燥时间与涂膜性能，还受温度、湿度等其他因素的影响，其成膜机理有待进一步研究，为干燥效率提升和涂膜性能改善，提供更全面的基础研究数据。

参考文献：

[1] 金养智. 水性光固化涂料[J]. 涂料工业, 2006, 36(6): 54-58.
[2] 张建新. 水性木器涂料与涂装工[M]. 北京: 中国质检出版社, 2014.
[3] 肖能君, 李强军, 姜其斌. UV固化聚氨酯丙烯酸酯涂料的研究进展[J]. 绝缘材料, 2018(1): 10-16.
[4] 何明俊, 胡孝勇, 柯勇. UV固化聚氨酯丙烯酸酯涂料的研究进展[J]. 中国胶粘剂, 2017(10): 49-53.
[5] 路则光. 家具用杨木板件的薄木贴面及其水性涂料涂饰工艺研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2007.
[6] 姚永平, 崔艳艳, 董智贤, 等. 水性光固化涂料研究进展[J]. 涂料工业, 2011, 41(8): 74-79.
YAO Y P, CUI Y Y, DONG Z X, et al. Progress of waterborne UV-curable coatings[J]. Paint & Coatings Industry, 2011, 41(8): 74-79.
[7] SONMEZ A, BUDAKCI M, BAYRAM M. Effect of wood moisture content on adhesion of varnish coatings[J]. Scientific Research & Essays, 2009, 4(12): 1432-1437.
[8] HAHN K, LEY G, SCHULLER H, et al. On particle coalescence in latex films[J]. Colloid & Polymer Science, 1986, 264(12): 1092-1096.
[9] HWANG H D, PARK C H, MOON J I, et al. UV-curing behavior and physical properties of waterborne UV-curable polycarbonate-based polyurethane dispersion[J]. Progress in Organic Coatings, 2011, 72(4): 663-675.
[10] 王洪祚, 王颖. 水性环氧树脂的干燥及成膜[J]. 粘接, 2012(12): 70-73.
[11] 王梅, 古今, 胡传双. 木制品用PU/PE漆漆膜泛白起因的模拟分析[J]. 木材工业, 2017, 31(5): 32-35.
WANG M, GU J, HU C S. Cause analysis of film whitening of PU/PE lacquer for wood products[J]. China Wood Industry, 2017, 31(5): 32-35.

(责任编辑 向 琴)