

环境条件对木家具底漆的水分挥发及封闭效果的影响

路则光¹, 贾万达¹, 王 萌²

(1. 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 为了探讨环境条件对木家具底漆的水分挥发及封闭效果的影响, 在 5 种自然干燥条件下, 以枫木薄木贴面家具板材为基材, 以水性封闭底漆为涂料, 在分析干燥环境干燥能力基础上, 用扫描电镜观察了涂层在基材上的封闭状态, 用称量法研究了涂层水分挥发率和挥发速度。结果表明: 水性封闭底漆封闭效果及干燥速度受干燥条件的影响明显。干燥 30 min 时, 在温度 11.2~13.2 °C, 湿度 21.1%~23.4%, 风速 0.04~0.05 m·s⁻¹ 的干燥条件环境中, 水分挥发率为 16.48%; 在温度 18.9~19.1 °C, 湿度 54.1%~55.6%, 风速 0.03~0.15 m·s⁻¹ 的干燥条件环境中, 水分挥发率为 2.23%; 前者的封闭效果好。图 6 参 19

关键词: 木家具; 水性封闭底漆; 封闭状态; 水分挥发; 装饰面板

中图分类号: TS664.1; S784 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)05-0691-05

Sealed state and moisture volatilization of water-based sealers for wood furniture tested in five environmental conditions

LU Ze-guang¹, JIA Wan-da¹, WANG Meng²

(1. Forestry College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; 2. Water Conservancy and Civil Engineering College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China)

Abstract: The sealed state and moisture volatilization of a water-borne sealer for wood furniture using maple-veneered panels were determined for five different natural environments. Drying ability in different conditions was analyzed and the sealed state was studied with a scanning electron microscope (SEM). The dried-water weight for moisture and the drying rate were measured using a water weight-loss method. Results showed that the drying condition greatly influenced the sealed state and drying speed. After drying for 30 min with drying conditions of temperatures of 11.2–13.2 °C, relative humidity of 21.1%–23.4%, and air velocity of 0.04–0.05 m·s⁻¹; the moisture evaporation rate of the sealer was 16.48%. However, with temperatures of 18.9–19.1 °C, relative humidity of 54.1%–55.6%, and air velocity of 0.03–0.15 m·s⁻¹, the evaporation rate was 2.23%. Thus, the sealed state with 11.2–13.2 °C was better than with 18.9–19.1 °C. [Ch, 6 fig. 19 ref.]

Key words: wood furniture; water-based sealer; sealed state; moisture volatilizations; decoration panel

家具涂饰造成的环境污染已引起全社会的关注, 是亟须治理的重大问题^[1-2], 使用环境友好型水性涂料是解决该问题的有效途径^[3]。然而, 在干燥过程中, 水性涂料涂层中的一部分水分会向空气中挥发, 一部分水分向木材内渗透。其渗透性受涂料种类、着色物、固含量、黏度、干燥速度、木材的毛细管孔径及所含的抽提物和表面砂磨效果、水分在细胞壁上的迁移率的共同影响, 在针叶材内的渗透路线为先由纵向早材管胞流入交叉场, 然后进入木射线^[4-9]。向木材内渗透的水分会使木材产生膨胀, 严重破坏家具表面平整度, 影响漆膜光泽, 因此, 在应用水性涂料时应特别注意基材表面的封闭处理^[10]。而封闭底漆的作用就是在木材表面形成一个隔离层, 阻止上面涂层中的水分向木材渗透。本研究主要是探明水性

收稿日期: 2011-10-08; 修回日期: 2011-12-22

基金项目: 山东农业大学青年科技创新基金资助项目(23610)

作者简介: 路则光, 副教授, 博士, 从事家具研究。E-mail: lu9029@sina.com

封闭底漆在自然干燥条件下的水分挥发规律及封闭效果, 研究结果将为干燥规程的制定提供依据, 从而为涂层干燥技术的深入研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料 ①涂料: 水性封闭底漆, 固含量为 $252.3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。②基材: 枫木贴面装饰板(装饰板的基材为 3 mm 胶合板), 含水率为 9.21% 。

1.1.2 仪器与设备 ①精度为 0.01 g 的 JA21002 型电子天平。② $50 \mu\text{mSZQ}$ 型刮涂器。③CENTER310 型温湿度电子测量仪。④EY3-2A 型风速计。⑤沪 00000112 钻石牌秒表。⑥JSM-6601LA 扫描电镜。

1.2 方法

1.2.1 干燥条件 ①干燥条件 I: 温度为 $17.2 \sim 17.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度为 $47.1\% \sim 52.3\%$, 风速为 $0.07 \sim 0.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。②干燥条件 II: 温度为 $12.3 \sim 13.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度为 $23.1\% \sim 25.1\%$, 风速为 $0.04 \sim 0.09 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。③干燥条件 III: 温度为 $11.2 \sim 13.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度为 $21.1\% \sim 23.4\%$, 风速为 $0.04 \sim 0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。④干燥条件 IV: 温度为 $12.9 \sim 13.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度为 $28.7\% \sim 31.9\%$, 风速为 $0.05 \sim 0.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。⑤干燥条件 V: 温度为 $18.9 \sim 19.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度为 $54.1\% \sim 55.6\%$, 风速为 $0.03 \sim 0.15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。以上干燥条件皆为自然干燥条件, 重复 $5 \text{ 次} \cdot \text{种}^{-1}$ 。

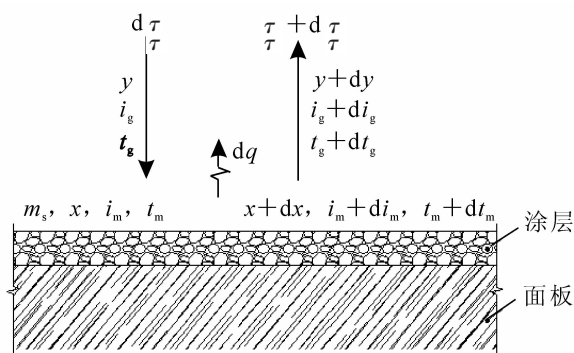
1.2.2 操作方法 ①用温湿度电子测量仪测量大气温度和湿度, 用风速计测量风速。②在天平上称量枫木贴面装饰板的质量。③将枫木贴面装饰板放在平台上, 并予以固定。把厚度为 $50 \mu\text{m}$ 的湿膜刮涂器放在枫木贴面装饰板的一端, 刮涂器的长边与枫木贴面装饰板的短边平行, 然后在刮涂器的前面均匀地放上适量涂料, 握住刮涂器, 用一定的向下压力, 并以 $150 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度匀速滑过枫木贴面装饰板, 即涂布成需要厚度的湿膜^[11]。④在大气环境中, 在天平上称量涂漆枫木贴面装饰板的质量, 连续 30 min 隔 2 min 记录 1 次枫木贴面装饰板的质量。根据前后枫木贴面装饰板的质量之差就可得出单位时间内水分的挥发速度和水分挥发量。

2 结果与分析

2.1 空气干燥能力研究

水分的蒸发潜热较大, 水性涂料涂层的水分挥发需要吸收大量的热量。水分的挥发受气温和湿度及风速的影响, 挥发速度随着温度的升高而增加, 随着空气湿度的增加而降低, 随着风速的增大而变大, 这是因为温度升高, 分子热运动更加剧烈, 液体水分子更容易摆脱其它水分子的吸引而变成水蒸气分子。但随着空气湿度的增加, 空气中的水蒸气所占的比例增加, 水蒸气的分压力增加, 在单位时间内使更多的水蒸气分子变成液体水分子, 因此, 水的挥发速度随着空气湿度的增加而减小。风速越大, 单位时间内从挥发表面带走的水分子越多, 所以挥发速度越快。

在干燥过程中, 涂饰板涂层和空气之间不断进行热质交换。在微元时间 $d\tau$ 前后, 涂层与空气的参数变化如图 1 所示。涂层和空气中的水分进行质量交换时, 起主要作用的动力是涂层表面和空气之间的水蒸气浓度差^[12]。这与空气中的含湿量和水蒸气质量浓度有密切关系, 而空气的含湿量和水蒸气质量则与空气的温度、压力等因素有关。所以, 根据不同干燥条件下空气的含湿量和水蒸气质量浓度, 可以判断空气的干燥能力。空气含湿量和水蒸气质量浓度越大, 说明干燥能力越弱; 空气含湿量和水蒸气质量浓度越小, 说明干燥能力越强。



y 为空气含湿量 ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$); i_g 为湿空气的焓 ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$); t_g 为湿空气温度 ($^{\circ}\text{C}$); m_s 为绝干涂料质量 (kg); x 为涂层的含水率 (涂层中水分质量/绝干涂料质量, $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$); i_m 为涂料的焓 ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$); t_m 为涂层表面温度 ($^{\circ}\text{C}$), d_q 为单位质量绝干涂料的热损失 ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

图 1 涂层垂直截面微元时间 $d\tau$ 前后参数变化

Figure 1 Parameters of coating vertical section before and after the infinitesimal time $d\tau$

含湿量可以用湿空气的焓湿图^[13]查得，根据公式(1)可计算出水蒸气在干燥室内空气的质量浓度：

$$C_{fv}=\frac{dB}{(622+d)R_vT_f}。$$

(1)

式(1)中： C_{fv} 为水蒸气在干燥室内空气的质量浓度， $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ； B 为当地空气大气压，Pa； d 为干燥室内空气的含湿量， $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ； R_v 为水蒸气的气体常数， $\text{kJ}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$ ； T_f 为干燥环境空气的热力学温度，K。

根据含湿量和水蒸气在干燥室内空气的质量浓度的不同，对 5 种干燥条件下的空气干燥能力进行了分析，如图 2 所示。图 2 中，就 5 种干燥环境的干燥能力而言，干燥条件Ⅲ的含湿量和水蒸气质量浓度是最小的，表示干燥能力最强。干燥条件Ⅴ的含湿量和水蒸气质量浓度是最大的，表示干燥能力最弱。与此相类似，可以得到空气的干燥能力由强至弱的干燥条件为 Ⅲ-Ⅱ-Ⅳ-Ⅰ-Ⅴ。

2.2 水性封闭底漆的封闭状态研究

涂层在上述 5 种干燥条件下干燥到全干状态后，在电子扫描电镜下，观察其成膜状态。如图 3~4 所示。枫木的结构由导管、木纤维、木射线、轴向薄壁组织构成，因此，木材表面经过砂光后，显现导管槽和木纤维的纵切面，其大小和形态取决于被加工木材细胞的大小和它们与切削表面的相互位置^[14-16]，当水性封闭底漆涂饰在这些孔隙中时，封闭底漆中的成膜物质在水分子的带动下，进入木材内。干燥后，水性封闭底漆在木家具表面形成一个隔离层，阻止上面涂层中的水分进入木材；另一方面，填充木材表面的微小的孔隙，为上面的涂层准备一个相对平整的表面。

封闭状态的好坏影响上面涂层中的水分是否会进入木材内，直接影响木材的含水率和尺寸稳定性，进而影响家具质量。图 4 和图 3 相比，经过涂饰一遍封闭底漆后，木材表面的导管槽部分被填充和封闭，尚有一部分未被封闭。封闭效果的差异除了与涂布量和涂饰方法有关外，还与干燥条件有关系。这是因为在相同的涂料、涂布量和涂饰方法前提下，干燥条件会影响涂料的流平性、涂层干燥速度和涂层的内应力。

图 4 中：方案Ⅲ的漆膜表面相对平整，方案Ⅴ的封闭状态较差。这主要是因为方案Ⅲ的干燥能力较

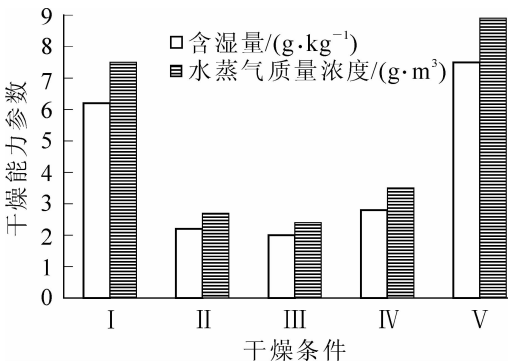


图 2 干燥能力分析图

Figure 2 Drying ability of different drying conditions

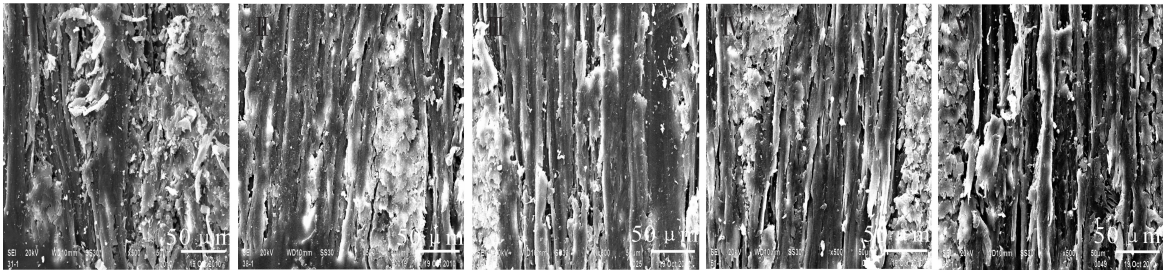


图 3 涂饰前的木家具表面状态

Figure 3 Surface state of uncoated furniture

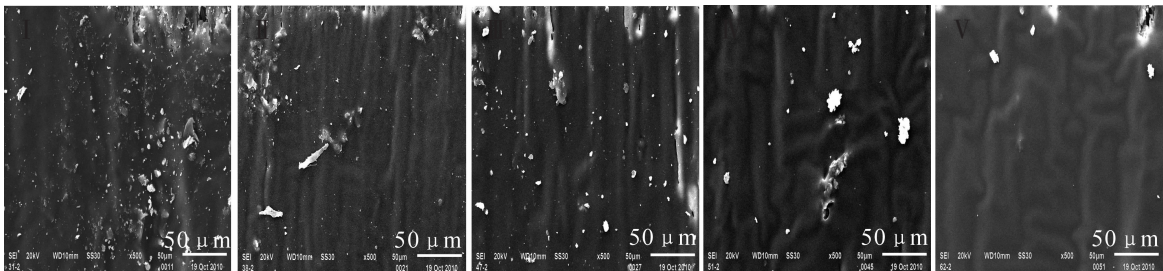


图 4 涂饰后的木家具表面状态

Figure 4 Surface state of coated furniture

强, 水分挥发速度较快, 涂层之间的内应力较小, 形成相对完整、连续的漆膜, 封闭效果好; 方案 V 的干燥能力较弱, 水分的挥发速度较慢, 涂层干燥速度慢, 涂层之间的内应力较大, 不能形成比较完整、连续的漆膜, 封闭效果差。由于干燥条件会影响封闭底漆的封闭状态, 因此, 应选择合适的干燥条件干燥涂层, 以获得良好的成膜效果。

2.3 水分挥发规律研究

水分挥发量是用水分挥发率来表示的, 所谓水分挥发率是指在重涂期间涂层已挥发的水分绝对量与湿膜中最大含水量的百分比。水分挥发速度是用单位时间内挥发的水分相对量来表示的。

水性封闭底漆的重涂时间间隔一般是 30 min。由图 5 知: 在重涂间隔过程中, 水分挥发率随干燥时间的延长是逐渐增多的。但是, 干燥 30 min 后, 不同干燥条件下涂层的水分挥发率相差很大。干燥条件 III 时, 水分挥发率为 16.48%; 干燥条件 V 时, 水分挥发率为 2.23%; 干燥条件 III 的水分挥发率是干燥条件 V 时的 7.4 倍。同样可以得出: 干燥条件 II 的水分挥发率是干燥条件 V 时的 6.5 倍, 干燥条件 IV 的水分挥发率是干燥条件 V 时的 5.0 倍, 干燥条件 I 的水分挥发率是干燥条件 V 时的 4.5 倍。这是因为在不同的干燥条件下, 空气的干燥能力是不同的。相比较而言, 干燥条件 III 时, 空气的含湿量和空气的水蒸气浓度最低, 干燥能力最强, 水分挥发率最大; 相反, 干燥条件 V 时, 空气的含湿量和空气的水蒸气浓度最大, 干燥能力最弱, 水分挥发率最小。其他干燥条件表现出相同的规律: 空气的干燥能力越强, 干燥速度越快。另外, 这也说明水性涂料涂层的干燥受干燥条件的影响非常明显, 即干燥条件对涂层干燥速度的影响显著。

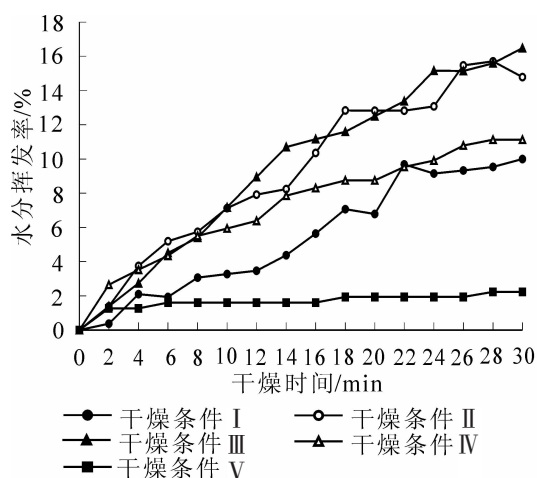


图 5 水分挥发率

Figure 5 Moisture volatilization percentage with time of different drying conditions

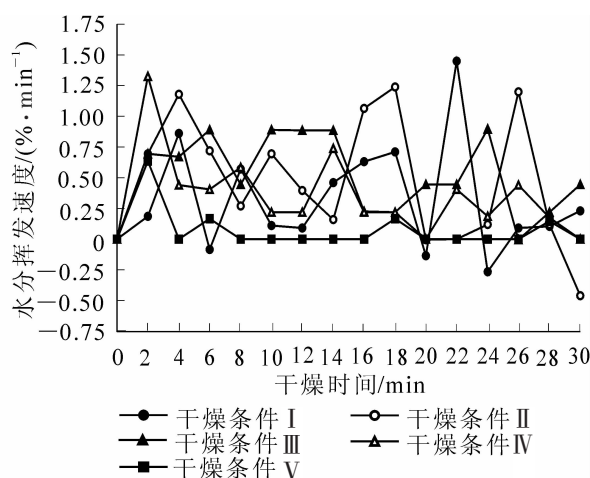


图 6 水分挥发速度

Figure 6 Moisture volatilization speed with time of different drying conditions

由图 6 知: 水分挥发速度随干燥时间的延长是逐渐降低的, 并出现了一定的波动。在干燥初期, 涂饰板上的涂层处于开放状态, 水分一方面向木材中渗透, 另一方面向空气中挥发, 树脂颗粒进行着无规则的布朗运动, 水分与在纯水中一样沿着水—空气界面以相同的挥发速率挥发, 用来挥发的水分量也多, 所以单位时间内向空气挥发的水分多, 水分挥发速度大。在干燥后期, 贴面板上涂层水分挥发速度逐渐降低, 主要是因为最初的时间内, 涂层内的水分进行了大量挥发, 可继续用来挥发的水分较少, 树脂颗粒赖以悬浮的介质减少, 使得树脂粒子之间相互靠近、堆积和聚结, 引起水—空气界面收缩, 使得水—空气界面的总面积减小、水分的挥发速率快速下降; 随着水分的挥发速率不断降低, 剩余的水分通过膜中的毛细管道扩散到涂膜—空气表面挥发出来。整个过程由树脂颗粒的表层逐渐向内部发展, 水分的挥发速率因水分的不断减少、水分由粒子之间的间隙传递转变为通过聚合物传递而降低^[17-19]。

3 结论与建议

水性封闭底漆的成膜状态受干燥条件的影响, 在温度为 11.2~13.2 °C, 湿度 21.1%~23.4%, 风速 0.04~0.05 m·s⁻¹ 环境下干燥的涂层封闭效果好。

水性封闭底漆涂层水分挥发率及速度受自然干燥条件的影响显著。温度为 11.2~13.2 ℃，湿度 21.1%~3.4%，风速 0.04~0.05 m·s⁻¹ 干燥条件的水分挥发率是温度 18.9~19.1 ℃，湿度 54.1%~5.6%，风速 0.03~0.15 m·s⁻¹ 干燥条件的 7.4 倍。

参考文献：

- [1] 邓背阶, 何中华. 家具涂饰环保技术的研究[J]. 家具, 2002 (3): 13 – 15.
DENG Beijie, HE Zhonghua. Study of technology of environmental protection in furniture coating [J]. *Furniture*, 2002 (3): 13 – 15.
- [2] 曾晋. 水性木器涂料的施工探讨[J]. 家具, 2008 (3): 46 – 49.
ZENG Jin. The discussion about the technics of water-soluble wood-based paint [J]. *Furniture*, 2008 (3): 46 – 49.
- [3] 王德华, 李建斌. 水性木器涂料在木质餐椅流水线涂装中的应用[J]. 中国涂料, 2010, **25** (6): 54 – 57.
WANG Dehua, LI Jianbin. The application of water-borne wood coatings in wooden dinning chair painting flow process [J]. *China Coatings*, 2010, **25** (6): 54 – 57.
- [4] de MEIJER M, THUURICH K, MILITZ H. Comparative study on penetration characteristics of modern wood coatings [J]. *Wood Sci Technol*, 1998, **32** (5): 347 – 365.
- [5] de MEIJER M, THURICH K, MILITZ H. Quantitative measurements of capillary coating penetration in relation to wood and coating properties [J]. *Holz Roh Werkstoff*, 2001, **59**: 35 – 45.
- [6] de MEIJER M. Comparison between laboratory water permeability tests and wood moisture content of full-scale window frames [J]. *Surf Coat Int Part B Coat Trans*, 2002, **6**: 131 – 137.
- [7] RIJCKAERT V, STEVENS M, van ACKER J. Effect of some formulation parameters on the penetration and adhesion of waterborne primers into wood [J]. *Holz Roh Werkstoff*, 2001, **59**: 344 – 350.
- [8] van den BULCKE J, RIJCKAERT V, van ACKER J, *et al.* Quantitative measurement of the penetration of waterborne coatings in wood with confocal lasermicroscopy and image analysis [J]. *Holz Roh Werkstoff*, 2003, **61**: 304 – 310.
- [9] BRUN A, BRUNEL L, SNABRE P. Adaptive speckle imaging interferometry (ASII): new technology for advanced drying analysis of coatings [J]. *Surf Coat Int Part B Coat Trans*, 2006, **9**: 251 – 254.
- [10] SONMEZ A, BUDAKCI M, BAYRAM M. Effect of wood moisture content on adhesion of varnish coatings [J]. *Sci Res Essay*, 2009, **4** (12): 1432 – 1437.
- [11] 国家技术监督局. GB/T 1727-1992 漆膜一般制备法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
- [12] 连之伟. 热质交换原理与设备[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001: 11.
- [13] 廉乐明, 李力能, 吴家正, 等. 工程热力学[M]. 5 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 263.
- [14] 刘一星, 赵广杰. 木质资源材料学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 75 – 85.
- [15] 朱毅, 李雨红. 家具表面涂饰[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2006: 1 – 30.
- [16] 吴智慧. 木质家具制造工艺学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 73 – 77.
- [17] 吴跃焕. 木器涂料用高固含量苯乙烯: 丙烯酸酯微乳液的合成及其机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2003: 102 – 103.
WU Yuehuan. *Synthesis and Mechanism of High Solid-Content Styrene-Acrylate Microlatex for Wood Paints* [D]. Guangzhou: South China University of Science and Technology, 2003: 102 – 103.
- [18] 贾世军, 陈柳生, 金熹高. 微乳液聚合和寡链高分子凝聚研究进展[J]. 功能高分子学报, 1997, **10** (3): 408 – 417.
JIA Shijun, CHEN Liusheng, JIN Xigao. New development of microemulsion polymerization and the condensed state of pauci-chain polymwer [J]. *J Function Polym*, 1997, **10** (3): 408 – 417.
- [19] 涂伟萍. 水性涂料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 12 – 512.