

# 目 录

## 上篇 木材表面涂饰性

|                                          |      |
|------------------------------------------|------|
| 绪论 .....                                 | (3)  |
| 1 木器常用涂料及木材表面涂饰性 .....                   | (6)  |
| 1.1 木材表面涂饰的历史 .....                      | (6)  |
| 1.2 木器常用涂料的使用现状和发展趋势 .....               | (8)  |
| 1.3 木材表面涂饰性的概念及其研究内容 .....               | (10) |
| 2 木材表面涂饰性主要检测分析方法 .....                  | (14) |
| 2.1 化学分析光电子能谱 (或 x 射线电子能谱)<br>分析技术 ..... | (14) |
| 2.2 红外吸收光谱和傅里叶变换红外吸收光谱 .....             | (19) |
| 2.3 电子自旋共振波谱分析 .....                     | (20) |
| 2.4 木材和涂膜表面颜色定量检测方法 .....                | (24) |
| 2.5 木材和涂膜表面光泽度的测量 .....                  | (26) |
| 3 木材与涂料分子结合机理的研究 .....                   | (28) |
| 3.1 木材与涂料分子结合机理的研究进展 .....               | (28) |
| 3.2 木材与涂料结合机理的研究方法 .....                 | (40) |
| 3.3 木材表面的化学组成 .....                      | (41) |
| 3.4 涂料的化学组成 .....                        | (45) |
| 3.5 木材与涂料的界面化学反应 .....                   | (60) |

|     |                                    |        |
|-----|------------------------------------|--------|
| 3.6 | 自由基在木材涂饰过程中的变化 .....               | ( 77 ) |
| 3.7 | 木材与涂料分子结合机理的讨论 .....               | ( 85 ) |
| 3.8 | 小结 .....                           | ( 87 ) |
| 4   | 透明涂饰材表面视觉环境学特性分析 .....             | ( 89 ) |
| 4.1 | 引言 .....                           | ( 89 ) |
| 4.2 | 研究方法 .....                         | ( 91 ) |
| 4.3 | 涂饰前后色度学特征变化 .....                  | ( 92 ) |
| 4.4 | 涂饰前后的光泽度特征变化 .....                 | (110)  |
| 4.5 | 涂饰前后表面视觉环境学特性综合分析 .....            | (117)  |
| 4.6 | 小结 .....                           | (127)  |
| 5   | 常用家具涂料耐光性的研究 .....                 | (130)  |
| 5.1 | 研究动态 .....                         | (131)  |
| 5.2 | 紫外线辐射引起的涂饰材表面视觉环境学特性<br>变化分析 ..... | (137)  |
| 5.3 | 小结 .....                           | (147)  |
| 6   | 壳聚糖处理在木材表面染色和透明涂饰中的应用 .....        | (149)  |
| 6.1 | 甲壳素和壳聚糖及其应用 .....                  | (149)  |
| 6.2 | 木材表面染色处理 .....                     | (156)  |
| 6.3 | 壳聚糖处理提高木材表面染色效果的研究 .....           | (159)  |
| 6.4 | 壳聚糖前处理染色材的耐光性 .....                | (173)  |
| 6.5 | 壳聚糖前处理透明涂饰效果的研究 .....              | (180)  |
| 6.6 | 小结 .....                           | (185)  |
|     | 参考文献 .....                         | (187)  |

## 下篇 木材视觉物理量

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 绪论 .....           | (195) |
| 7 木材的表面视觉物理量 ..... | (197) |

|      |                                 |       |
|------|---------------------------------|-------|
| 7.1  | 木材材色的定量表征方法 .....               | (197) |
| 7.2  | 木材表面光泽度及其测量方法 .....             | (205) |
| 7.3  | 木材反射指向性的分离测定 .....              | (206) |
| 7.4  | 木材纹理图案的定量表征 .....               | (208) |
| 8    | 中国 110 种树种木材表面视觉物理量的综合分析 .....  | (211) |
| 8.1  | 引言 .....                        | (211) |
| 8.2  | 试验材料和方法 .....                   | (213) |
| 8.3  | 木材材色的色空间分布特征 .....              | (220) |
| 8.4  | 木材表面光泽度测量值的分布特征 .....           | (236) |
| 8.5  | 木材表面视觉物理量的综合分析 .....            | (243) |
| 8.6  | 小结 .....                        | (254) |
| 9    | 木材材色与世界森林地理分布 .....             | (256) |
| 9.1  | 引言 .....                        | (256) |
| 9.2  | 材色等级的划分 .....                   | (256) |
| 9.3  | 树种材色级别的归类 .....                 | (257) |
| 9.4  | 结果与分析 .....                     | (258) |
| 9.5  | 结论 .....                        | (261) |
| 10   | 木材表面视觉物理量在加工过程中的变化 .....        | (263) |
| 10.1 | 引言 .....                        | (263) |
| 10.2 | 材色的变异性及剖切方向对材色的影响 .....         | (264) |
| 10.3 | 加热处理对不同树种材色的影响 .....            | (268) |
| 10.4 | 表面粗糙度对材色的影响 .....               | (272) |
| 10.5 | 抽提处理对木材材色的影响 .....              | (280) |
| 10.6 | 透明涂饰处理前后木材表面材色和光泽度的<br>变化 ..... | (290) |
| 10.7 | 结论 .....                        | (296) |
| 11   | 木材表面视觉环境学特性分析 .....             | (298) |
| 11.1 | 引言 .....                        | (298) |

---

|                   |                                |       |
|-------------------|--------------------------------|-------|
| 11.2              | 视觉心理量的选取和测验·····               | (300) |
| 11.3              | 木材视觉物理量与视觉心理量·····             | (301) |
| 11.4              | 视觉心理量的解析·····                  | (325) |
| 11.5              | 以木材表面视觉物理量预测木材视觉<br>环境学特性····· | (333) |
| 11.6              | 结论·····                        | (343) |
| <b>参考文献</b> ····· |                                | (344) |

# 上 篇

## 木材表面涂饰性



## 绪 论

木材涂饰是赋予木制品工艺美学功能,保护木材表面,防止木材劣化降解,延长木材使用寿命和进行环境调节,维持尺寸稳定性等的重要加工技术和方法,在木制品生产和工艺美术品的制造,木材保护以及提高人类生活质量等方面均具有极为重要的意义。

木材表面装饰的技术历史悠久。我国是世界上最早利用天然大漆涂饰木制品的国家,1978年在浙江省余姚县河姆渡村发掘出距今7000年的“朱漆木碗”,1950年中国科学院考古研究所对河南安阳殷墟武官村大墓考古中发现在很多“雕花木器印痕”中有生漆的残迹,这些都是很好的客观证明。我们的祖先在木材涂饰特别是利用天然大漆涂饰方面一直处于世界领先地位,创造了精美的漆器制作与髹漆工艺,并传到日本、朝鲜、欧洲等国家,为创造灿烂的中华民族文化做出了卓越的贡献,对世界文化艺术、科学技术及世界文明也做出了重大贡献。

木材涂饰技术已进入一个非常发达的阶段,但对木材涂饰的科学研究却很落后,正如英国一个科学家所言:“木材涂饰技术已远远走在科学的前面”。关于木材表面涂饰性的研究进展缓慢,尤其是木材涂饰机理研究的进展更为缓慢,资料也较少。

木材涂饰是一个非常复杂的“木材—涂层—空气”系统,受到物理的、化学的、生物的和环境的多种因子的共同作用。长期以来,人们对涂料的固化即该体系的“涂层—空气”的部分予以相当程度的重视,完成了从“天然成膜物质”向“人造树脂”、“合成树脂”的转变,生产和开发研制出了许多新型涂料。同时对

木材整体性质如木材的解剖构造、干缩特性、密度和一些化学特性开展了许多研究,获得了许多有益的资料与信息,对木材涂饰技术的发展和提高起到了重要的推动作用。但对木材表面与涂料的作用等许多重要课题限于各种条件很少有人研究。在现在交叉科学、边缘科学大变革大融合大渗透的时代,对涉及多学科的木材表面涂饰性的研究已列入议事日程。

木材表面涂饰性是一项重要的木材表面特征,与提高木材表面涂饰质量,推动涂饰技术发展,改善人类生活质量都有紧密的联系,也具有十分重要的意义。木材表面涂饰性,是一项重要的木材表面物理及化学性质,包括影响木材涂饰质量和涂饰工艺的木材表面构造及表面物理化学性质,木材分子和涂料分子附着结合机理,木材涂饰后的环境美学特性及其抵抗环境侵蚀老化的功能,提高木材涂饰附着力和提高涂饰质量而采用的木质基材表面处理技术等内容。

木材表面涂饰性是涉及涂料科学、木材科学、表面物理和表面化学、界面科学、色度学、光泽度学、高分子物理和高分子化学等许多学科的一个新领域,包含的内容相当丰富,需要研究的课题还很多,有许多研究的生长点和突破点。

关于木材表面涂饰性的研究进展缓慢的原因:一是由于木材涂饰的“木材—涂层—空气”系统之间的相互作用受到物理的、化学的、生物的和环境的控制,作用过程相当复杂;另一方面受到测试手段和仪器设备及研究方法的限制。尽管如此,世界各国学者都先后对木材表面涂饰性进行了多项研究,主要集中在影响涂饰性能的木材表面物理、化学性质与解剖特性的研究,木材涂膜的耐久性与提高耐久性的方法的研究,各种木材表面活化处理技术、提高木材涂饰性的研究等方面,而对木材表面涂饰性的其他方面研究很少。

为提高木材涂饰附着力和提高涂饰质量,丰富木材表面涂饰

性的内容,本研究采用先进的近代测试手段和波谱分析手段研究了木材表面涂饰特性,从分子水平揭示了木材和涂料相互作用的机理,研究了涂饰前后木材表面视觉环境学特性变化及常用涂料的耐光性,探讨研制了一种新型的表面透明涂饰和染色基材前处理的方法——壳聚糖前处理。

木材表面涂饰性是一项重要的木材表面特征,涉及许多学科内容,需要研究和探讨的内容很多,为提高木材表面涂饰质量,实现小径材和劣质材的优化使用,保护木材和节约木材资源,改善和提高人类生活质量,必须面向生产实际,对木材表面涂饰性进行深入细致的研究,特别是木材表面前处理提高木材涂膜耐久性的研究,为开发研制新的涂装处理方法提供理论指导。

## 1 木器常用涂料及木材表面涂饰性

木材涂饰具有保护木材和装饰美化的双重作用,是木材表面装饰的重要工艺技术,是使用时间最长历史最悠久的,比较简便而能有效保护木材的表面装饰处理方法,不论在过去、现在或将来,都是用途非常广泛的木材表面装饰处理方法。

### 1.1 木材表面涂饰的历史

木材表面涂饰技术历史悠久。我国人民在距今 7 000 年前或更早就开始用我国的特产天然涂料“大漆”涂饰木制品。1978 年在浙江省余姚县河姆渡村发掘出距今 7 000 年的朱漆木碗。(甘景镐, 1984; 周绍绳, 1985) 为纪念和弘扬我国璀璨晶莹的中国漆器文化, 邮电部于 1993 年发行一套“中国古代漆器”特种邮票, 其中第一枚邮票即为在河姆渡村发掘出的朱漆木碗, 题为“新石器朱漆木碗”, 编号为 1993-14, T-4-1。(乔十光, 1993) 1950 年中国科学院考古研究所对河南安阳殷墟武官村大墓考古中发现在很多“雕花木器印痕”中有生漆的残迹, 这些都是很好的客观证明。此外, 在古籍中也有许多关于涂饰原料与技术的记载, 如《禹贡》中有“兖州厥贡漆丝, 豫州厥贡漆枲”;《周礼夏官》中“有方氏办九州之国使同贯利, 河南曰豫州, 其利林漆丝枲”;在《山海经》中多次提到“生漆”, 这些都充分表明我国特产“大漆”且在很早就得到利用, 也表明木材涂饰技术悠久。(甘景镐, 1984; 周绍绳, 1984; 邹茂雄, 1985)

我国是世界上首先发明和最早使用涂料的国家, 并且在很长

的历史时期中,我国在生漆涂料的生产技术和广泛应用方面一直处于世界领先地位。从我们祖先留下的文物古迹、洞穴古墓、宫殿庙宇、佛像雕塑、壁画涂饰、手工艺品等各方面,都可以充分看到祖国劳动人民对于油漆涂料的生产技术和创造应用已具有很高的水平,并已熟练地掌握了高超而精湛的技艺。这些杰出的成就,反映了古代灿烂的东方文明也为世界文明做出了重大的贡献。

我国最早使用的涂料是天然产品,即大漆。大漆也称天然漆、国漆、土漆,分为生熟两种,直接由漆树上割下的漆称为生漆,经过加工精制后称为熟漆。大漆是我国著名特产,由漆树在夏至后到霜降期间从韧皮部割下流出来的乳白粘稠液体净化而成。目前,我国仍然是生漆的主要产地。我国不但产量大,而且质量优异,所以国际上称之为“中国漆”。史书记载,我国使用和加工漆料已有数千年历史,如《禹贡》中将漆与丝并称,《书经》、《韩非子》、《周礼》等都有关于髹漆的记述,可见早在殷商时期,尧舜禹都已广泛用漆来涂饰加工食皿、祭皿,还可用于书写竹简。

桐油也是我国的特产。在我国,桐油的利用和生漆一样,也有几千年的历史,通过桐油和对矿物颜料的加工利用,生产出各类美观耐用的彩漆。长沙马王堆等西汉古墓出土文物中的棺槨和几百件漆器,都已有红、褐、金黄等色的彩绘和纹饰;河北高城县台西出土的商代遗址中的薄板胎漆器,漆色乌黑发亮,色彩绚丽鲜明,朱地花纹精巧,还镶嵌有各种形状的嫩绿松石。古代丝绸之路上的敦煌壁画,以及许多彩画雕梁,都说明了几千年我国在晒漆、兑色、髹漆、镶嵌、彩画以及漆器制造上的高水平。直到目前,我国的生漆、桐油及漆器、镶嵌、雕漆器具等和我国的丝绸一样都是闻名世界的精美产品。(甘景镐,1984;周绍绳,1985;黄子勋,1992)

在我国几千年的涂饰技术的发展过程中,所使用的涂料主要是天然大漆、桐油、虫胶漆及天然颜料等物质。这在涂料的发展

史上被称为“天然成膜物质时期”。我国的天然大漆虽有一系列优异的物理化学性能，但远不能满足生产发展的需要。随着生产力的提高和发展，科学技术的不断进步，特别是到 19 世纪下半叶，由于有机高分子聚合物化学工业和合成染料化学工业的发展，便出现了人造树脂、合成树脂、合成染料及人造颜料。这就为涂料生产开辟了广阔的材料来源，并提供了先进的技术条件。从此便可利用多种合成树脂、有机溶剂、化学颜料及合成染料来制造涂料，而使涂料的品种和数量得到了迅速发展，质量不断提高，物理化学性能不断完善，将涂料的发展推进到一个崭新的时期——“合成成膜物质时期”。例如到 19 世纪末 20 世纪初，在国外先后出现了人造树脂漆，如硝基漆；到 20 世纪 20 年代，又出现了合成树脂漆。现在这些漆广泛用于各种涂饰工业中，随着环境保护运动的蓬勃发展，开发应用与研制环保涂料已提上议事日程，也将开辟涂饰工业的新纪元。

## 1.2 木器常用涂料的使用现状和发展趋势

### 1.2.1 涂料的种类及其固化性能

目前木材家具工业界常用的涂料种类有：

- (1) 硝化纤维素（硝基漆）；
- (2) 酸固化型氨基醇酸树脂涂料；
- (3) 聚氨酯涂料；
- (4) 不饱和聚酯涂料；
- (5) 紫外线固化型涂料（UV 涂料）；
- (6) 水性涂料。

习惯上将前四种涂料称为传统型涂料，以和紫外线固化型涂料加以区别。传统型涂料其涂膜均在常温下干燥固化，而紫外线固化型涂料则是需光（紫外线）的照射才能固化的新型涂料。传

统型涂料基本上并不需要特别的干燥设备,如果需要缩短干燥时间进行强制干燥,其温度大约只在不影响木材性质的 50℃ 的低温而已。而 UV 涂料经紫外光照射固化,可以大幅度缩短其干燥时间,虽然需要投资设备,且较适用于平板物涂装,但具有可以减少溶剂使用量,增加产量等优点,其用量有越来越多的趋势。此外,为减少环境污染而开发研制的水性涂料,目前在家具工业中也有使用,但数量还较少。

### 1.2.2 家具用涂料的发展趋势

据报道,1991 年台湾涂料的生产量约为 22.5 万 t,其中木器涂料占 6.7%,约为 1.5 万 t,而日本 1991 年涂料的产量约为 219 万 t,其中木器涂料占 5%,为 11 万 t 左右,而木器涂料所占之比例如表 1.2 所示。为更好地保护人们的生存环境,减少环境污染,以及对涂料的挥发性有机物质限制性的规范的推行使用,高固体化、无溶剂化、水性化、UV 化及粉体化等的涂料开始上市和使用。(藤原胜二郎,1993;卢昆宗,1994;花村一纪,1995)表 1.3 和表 1.4 是德国著名的 Bayer 公司对欧洲各国使用的木器涂料的现状所作的调查结果和以此作出的使用比例预测。(卢昆宗,1994)

从表 1.1、1.2、1.4 中可见,除美国、德国以外,主要品种已由硝基漆、酸固化涂料转变为聚氨酯漆、不饱和聚酯和光固化为主的高固体与高质量品种。在德国和美国,出于欣赏古朴家具,所以还保留硝基漆,并向水性涂料过渡;在东南亚,由于出口市场主要是美国,国内消费市场较低,所以主要是酸固化涂料市场,但同样向高档品种转移。意大利潮流往往占领先地位,在色彩和设计方面勇于创新。在亚洲,日本则主要为半光或平光趋向;韩国大部分工厂都与意大利合作,所以树脂种类类似意大利。

关于我国木器家具涂料使用比例,未见有关这方面的材料。经

过过去数年的发展, 木器家具涂料的应用有了长足发展, 正由低档漆向高档化发展。正由南方的广东地区向华东、华北、西北及东北地区扩散。涂料品种主要是朝着聚氨酯漆和不饱和聚酯漆高档品种靠拢。

### 1.3 木材表面涂饰性的概念及其研究内容

关于木材表面涂饰性, 在以前很少有人重视, 对其研究主要为涂饰技术和工艺的研究, 在许多权威和经典著作中也没有对木材表面涂饰性进行定义, 也没有对其研究内容进行规范和确定。(吉田丰彦等, 1980; 张广仁、李坚, 1990; 邹茂雄, 1985; 王锡春等, 1985) 为了研究的需要和更好地了解木材表面涂饰性的概况, 根据有关学科的内容及交叉学科的知识, 笔者尝试对木材表面涂饰性的概念及其研究内容进行了规范和确定, 以求引起重视和注意。

表 1.1 各国木器涂料品种结构

| 名 称     | 意大利和西班牙 | 美 国 | 德 国 | 日 本 | 韩 国 | 东南亚 |
|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 硝 基 漆   | 10%     | 55% | 50% | 15% | 10% | 45% |
| 酸固化涂料   | —       | 20% | —   | 15% | 5%  | 30% |
| 聚氨酯涂料   | 40%     | 10% | 30% | 40% | 35% | 15% |
| 不饱和聚酯涂料 | 30%     | —   | 5%  | 20% | 35% | 10% |
| 光固化涂料   | 20%     | 5%  | 10% | 10% | 15% | —   |
| 水性涂料    | —       | 10% | 5%  | —   | —   | —   |

注: 引自谭炳强《木器家具涂料及助剂在配方中的影响》, 1994。

表 1.2 日本各类涂料使用比例 (1992; 预测)

| 木器涂料的<br>消费量/t | 硝基漆<br>涂 料 | 酸固化<br>涂 料 | 不饱和聚酯<br>涂 料 | UV 涂料 | 聚氨酯<br>涂 料 | 水系涂料 |
|----------------|------------|------------|--------------|-------|------------|------|
| 110 000        | 7%         | 18%        | 27%          | 3%    | 45%        | —    |

表 1.3 日本及欧洲各国木器涂料市场动向预测

| 涂 料 类 型    | 所 占 比 例 / % |      |       |      |       |      |                   |      |      |      |
|------------|-------------|------|-------|------|-------|------|-------------------|------|------|------|
|            | 德 国         |      | 意 大 利 |      | 西 班 牙 |      | 北 欧<br>(挪威、瑞典、丹麦) |      | 日 本  |      |
|            | 1987        | 1992 | 1987  | 1992 | 1987  | 1992 | 1987              | 1992 | 1987 | 1992 |
| 低固体分型      | 80          | 72   | 40    | 61   | 60    | 45   | 89                | 83   | 77   | 63   |
| 高固体分型或无溶剂型 | 11          | 18   | 35    | 39   | 40    | 50   | 7                 | 9    | 23   | 30   |
| 水 系        | 9           | 10   | 25    | 0    | 0     | 5    | 4                 | 8    | 0    | 3    |
| 合 计        | 100         | 100  | 100   | 100  | 100   | 100  | 100               | 100  | 100  | 100  |

注：①拜耳公司技术资料。

②日本木材涂装研究会预测。

表 1.4 欧洲各国木器涂料使用比例预测 (1992)

| 国 名      | 木器涂料<br>消费量/t | 所 占 比 例 / % |      |        |       |       |       |
|----------|---------------|-------------|------|--------|-------|-------|-------|
|          |               | 硝基漆         | 酸化涂料 | 饱和聚酯涂料 | UV 涂料 | 聚氨酯涂料 | 水系及其他 |
| 德 国      | 92 000        | 44          | 4    | 5      | 13    | 24    | 10    |
| 意 大 利    | 80 000        | 9           | 1    | 26     | 14    | 50    | 0     |
| 法 国      | 25 000        | 46          | 15   | 4      | 7     | 28    | 0     |
| 英 国      | 25 000        | 50          | 25   | 5      | 10    | 5     | 5     |
| 北欧三<br>国 | 43 000        | 4           | 75   | 0      | 9     | 4     | 8     |
| 西 班 牙    | 53 000        | 18          | 5    | 14     | 5     | 58    | 0     |
| 希 腊      | 18 000        | 20          | 0    | 5      | 10    | 65    | 0     |

注：①Market trend of wood coating in European countries (拜耳公司技术资料)。

②表 1.2、1.3、1.4 均引自台湾卢尾宗《自动化涂装之木器涂料》(《木工家具》1994, (4): 97~107)。

### 1.3.1 木材表面涂饰性的概念

木材表面涂饰性,是一项重要的木材表面物理和化学性质,包括影响木材涂饰质量和涂饰工艺的木材表面构造和表面物理化学性质,木材分子和涂料分子附着结合机理,木材涂饰后的视觉环境学特性和环境美学特性及其抵抗环境侵蚀老化的功能,提高木材附着力和提高涂饰质量而采用的木质基材表面处理技术等内容。

### 1.3.2 木材表面涂饰性的研究内容

木材表面涂饰性的研究内容主要有:

(1) 木材表面与涂料的结合机理,即木材分子与涂料分子是如何附着或发生反应的;

(2) 影响涂饰性能的木材表面物理化学性质与溶剂特性;

(3) 涂料在木材中的渗透和分布及其影响因素;

(4) 木材涂饰前后的视觉环境学特性和美学特性;

(5) 提高木材涂饰性的各种木材表面活化处理技术(化学气相沉积处理和其他化学药剂及机械物理方法,染色和漂白等);

(6) 木材涂膜的耐久性与提高耐久性的方法;

(7) 木材功能性改良对涂饰性的影响;

(8) 木材表面润湿性。

卢昆宗认为木材涂饰科学需深入研究的内容有:

(1) 涂料的涂布;

(2) 与平滑性相关的流动和变形;

(3) 润湿性;

(4) 涂料的渗透和吸着;

(5) 木材与涂料的反应;

(6) 涂料固化过程中所产生的内部应力;

(7) 固化涂膜和木材间，因水分之收缩膨胀不同所产生的内部应力；

(8) 涂膜的耐久性。