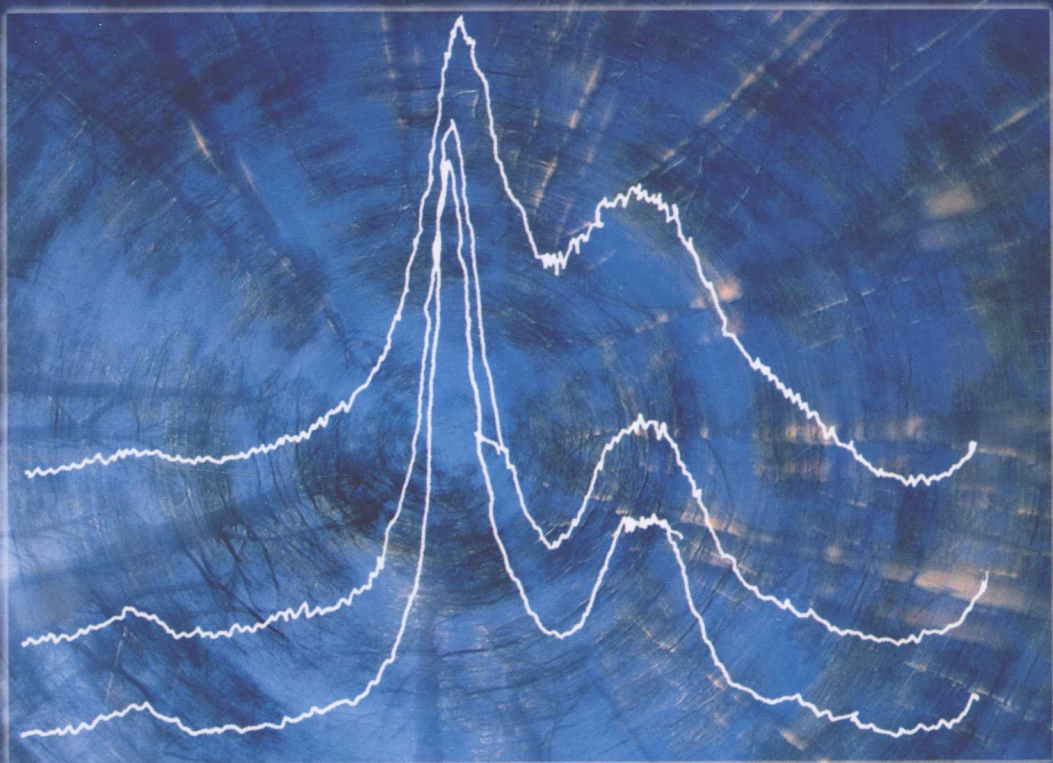


李坚 等 编著
葛明裕 主审



木材科学研究



科学出版社
www.sciencep.com

木材科学研究

李 坚 等 编著

葛明裕 主审

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书重点阐述国内外在木质环境学、木材的功能性改良、木材物理力学性质的综合分析及木材无损检测等有关木材科学与技术领域中新的研究成果,同时深入浅出地趣谈了木材科学知识和木材加工利用中的一些疑难问题,进而使读者明了木材相关知识,木材性质评价,木材功能改良和木材检测的新方法、新技术。

本书可作为从事木材科学与技术、家具与室内设计、木材检验工作的科技人员和高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

木材科学研究/李坚等编著. —北京:科学出版社,2009.6
ISBN 978-7-03-024726-1

I. 木… II. 李… III. 木材学—研究 IV. S781

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 092397 号

责任编辑:周巧龙 王国华 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 6 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 6 月第一次印刷 印张:33 1/2

印数:1—1 500 字数:639 000

定 价: 98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

前 言

何谓“木材科学”？对此，国际木材科学院曾作了科学的、准确的解答，即木材科学是关于木质化的天然材料与衍生制品以及为木质材料的加工利用技术提供科学依据的一门生物的、化学的和物理的科学。而今，研究者们已将木质材料外延到生物质并进行了各方面的研究工作，这是科技进步、经济社会发展的需要。木材科学研究的目的是促进高附加值的木材制品、木质材料乃至生物质复合材料产品的创新和发展。

随着我国森林资源结构的变化，经济发展对生物质资源开发利用的需要，以及人类对其生存环境和生活质量追求的提高，在科学技术日新月异的今天，对木材科学与技术的新理论、新知识、新技术和新方法提出了更高的要求。据此，本书作者适时对原出版的《木材科学新篇》的内容予以充实、完善和更新。原书曾于1991年5月出版，现应广大读者的需求，进行修订再版。本次修订注重增加了近几年本学科同仁最新的科学研究成果，分别充实在各有关篇章中。

全书共分五部分，由李坚任主编，刘一星任副主编。编写人员分工如下：

第一篇 木材的居住性 李坚，姚永明，董玉库；

第二篇 木材无损检测 刘一星；

第三篇 木材物理力学性质系统分析 董玉库，刘一星；

第四篇 木材功能性改良 李坚，董玉库，宋魁彦，王立娟，王成毓，苏文强；

附录 木材科学知识考究 李坚。

本书部分新增内容为国家自然科学基金资助项目(编号:30630052及30571454)所获得的最新研究成果。期望本书可供从事相关工作的企业工程技术人员和高等院校相关专业的师生学习参考。

限于时间和水平，疏漏和不妥之处在所难免，恳请读者指正。

作 者

2008年12月

目 录

前言

第一篇 木材的居住性

第一章 木材的视觉特性	3
一、木材的反射特性	3
二、木材的视觉物理量与感觉特性	5
三、室内空间木材率与感觉	10
参考文献	11
第二章 木材的触觉特性	12
一、木材表面的冷暖感	12
二、木材表面的粗滑感	18
三、木材表面的软硬感	20
四、木材触觉特性的综合分析	21
五、木材触觉特性的应用举例——木质地板的步行感与材料属性	21
参考文献	29
第三章 木材的调湿特性	30
一、湿度与居住性	30
二、木材调湿性能的评定方法	31
三、木材厚度与调湿效果	36
四、居室的调湿性能	37
参考文献	44
第四章 木材的隔声特性	45
一、人耳的听觉特性	45
二、单层板的隔声性能	46
三、双层板的隔声性能	48
四、楼板的隔声性能	49
参考文献	51
第五章 木材的生物调节	53
一、室内木材设置与微环境卫生	53

二、1/f 涨落与生物节律——自然现象与木材的舒适感	56
三、木材对动物体生长发育的调节	59
参考文献	62

第二篇 木材无损检测

第六章 木材物理性质和生长特性的无损检测	65
一、射线检测	65
二、电学法检测	74
三、红外线检测	76
四、在线称量法检测	77
参考文献	78
第七章 木材力学性质的无损检测	79
一、超声波检测	79
二、机械应力无损检测(应力分级)	86
三、振动法(共振法)检测	88
四、冲击应力波检测	90
五、FFT 分析无损检测	91
参考文献	94
第八章 木材缺陷的无损检测	96
一、射线法检测	97
二、超声波检测	103
三、光学法检测	109
四、电学法检测	112
五、应力波检测	113
六、几种近代无损检测方法	115
参考文献	117

第三篇 木材物理力学性质系统分析

第九章 主成分分析——将多项木材性质参数化为几个独立综合指标	121
一、主成分分析的方法和步骤	121
二、木材物理力学性质的主成分分析	123
参考文献	129
第十章 聚类分析和判别分析——根据木材性质进行树种分类并判别新树种	130
一、聚类分析及判别分析的方法和步骤	130

二、木材物理力学性质的聚类分析和判别分析·····	132
参考文献·····	136
第十一章 相关分析——木材物理力学性质之间的相互关系·····	137
一、相关分析的方法和步骤·····	137
二、木材物理力学性质的相关分析·····	138
参考文献·····	148
第十二章 变异性分析——木材试件数的决定和物理力学指标的分级·····	149
一、各项指标的均值和极值·····	149
二、总体变异系数·····	154
三、试件数量的决定方法·····	155
四、物理力学指标的分级·····	156
五、小结·····	161
参考文献·····	161
第十三章 用途综合分析——木材用途与物理力学性质的关系·····	162
一、模糊聚类分析和 χ^2 检验分析——木材用途的分类及其与材性的 关系·····	162
二、主成分分析和判别分析——木材用途与树种间互选关系的探索·····	170
参考文献·····	172
第四篇 木材功能性改良	
第十四章 木材阻燃·····	177
一、木材在火焰中的性状·····	177
二、木材的阻燃处理·····	187
三、阻燃机理·····	192
四、阻燃处理对材性和加工性的影响·····	195
参考文献·····	196
第十五章 木材的尺寸稳定化·····	197
一、木材与水分·····	197
二、尺寸稳定性的评定·····	198
三、尺寸稳定化的方法·····	200
四、木质人造板的尺寸稳定化·····	210
参考文献·····	216
第十六章 木材塑料复合材料·····	217
一、WPC的制造方法·····	217
二、WPC的性质·····	227

三、WPC 的用途	230
四、WPC 的新探索	230
参考文献	233
第十七章 木材软化	234
一、木材软化机理	234
二、木材软化处理	236
三、木材塑化展望	245
参考文献	246
第十八章 木材顺纹压缩与弯曲技术	247
一、概述	247
二、木材顺纹压缩预处理	249
三、木材顺纹压缩	260
四、木材多维弯曲	271
五、木材多维弯曲热定型	278
参考文献	286
第十九章 新型木材-金属复合材料	289
一、化学镀技术概述	289
二、化学镀法制造木材-Ni-P 复合材料的深入研究	298
三、超声波辅助木材表面化学镀 Ni-P 合金	329
参考文献	338
第二十章 木材-无机质复合材	340
一、概述	340
二、木材-无机质复合材的制备方法	342
三、木材-无机质复合材的形成机理	347
四、木材-无机质复合材的性能	349
五、无机纳米材料与木材的复合	350
六、功能性木材-无机纳米复合材	357
参考文献	365
第二十一章 树木提取物的功能性合成与木材防腐	368
一、概述	368
二、树木提取物用于木材防腐	388
三、提取物化合物单体的选用及药液配制	396
四、咪唑啉季铵盐的合成与表征	398
五、合成产物与商业防腐剂抑菌实验	412
六、室内木材防腐实验与木材性质检测	415

七、防腐剂的抗流失性能及对环境的急性毒性试验	436
参考文献	441
第二十二章 木材的塑料化与溶液化	444
一、木材的热可塑性	444
二、与塑料化有关的木材成分的特性	445
三、木材的塑料化	445
四、木材获得热流动性的应用	448
五、木材的溶液化	449
参考文献	454
第二十三章 木材的电晕处理	455
一、放电现象与等离子化学	455
二、木材的电晕处理方法	457
三、木材电晕处理结果的表面分析	458
参考文献	462

附录 木材科学知识考究

一、小小树籽是怎样长成参天大树的?	465
二、树木受伤之后	465
三、木材的味道哪里来?	466
四、木材花纹之谜	466
五、木材的各向异性	467
六、边材和心材的颜色为什么不同?	468
七、在边材与心材之间——“移行材”	469
八、怎样识别木材的边、心材?	469
九、为什么边材容易发生“蓝变”?	470
十、白桦木制筷子好在哪里?	471
十一、木材变形是怎么回事?	471
十二、“应力木”为什么容易开裂翘曲?	472
十三、白桦原木放久了,为什么先从里面腐朽?	473
十四、松散的纸浆怎样变成了结实的纸张?	473
十五、落叶松木材为什么难干燥?	474
十六、木材为什么会出现“干心子”?	474
十七、为什么云杉、泡桐宜于作乐器材?	475
十八、“无胶也成板”是何道理?	476
十九、立柱为什么能顶千斤?	476
二十、木材为什么易受生物危害?	477

二十一、在木材干燥中为什么水分越少越难蒸发?	478
二十二、长期暴露的木材表面为什么会变粗变灰?	479
二十三、榫接合日久变松是怎么回事?	479
二十四、木材为什么能弯曲?	480
二十五、木材为什么适于用微波干燥?	480
二十六、木材抽提物的惟妙惟肖	481
二十七、树液与木材的缓冲容量	485
二十八、针叶阔叶木材碎料能识别吗?	486
二十九、树木生长应力与木材利用	487
三十、电杆腐朽与声波检测	488
三十一、木材的压电效应与考古	489
三十二、木质基材料的力学松弛与木制品的质量	490
三十三、木材的低湿膨胀与冷冻收缩	492
三十四、木质素的玻璃态转变与木材纤维分离	493
三十五、纤维表面的电动电势与应用	495
三十六、木材的耐候性与表面涂饰	496
三十七、尿素与木材工业	498
三十八、木材窑干中的声音检测	499
三十九、树叶与树皮的新用途——制造胶黏剂	499
四十、新型的树皮纤维剥离机	500
四十一、改良木材的品质	501
四十二、增湿能降低木制品的返工率	501
四十三、木材防腐的新途径	502
四十四、激光雕刻木材	503
四十五、木塑复合材料	504
四十六、何谓幼龄材和成熟材? 如何界定?	505
四十七、室内有氡辐射吗?	506
四十八、什么是生物质?	507
四十九、木材与生态安全有何关系?	509
五十、木材的材面污染是怎么回事?	510
五十一、涂饰、胶合之前木材表面为什么要砂磨?	513
五十二、何谓“工程木材”?	515
五十三、新型低酯化木材是怎样形成的?	518
五十四、木制家具(木制品)为什么受人喜爱?	521
参考文献	523

第一篇 木材的居住性

人类生活离不开室内环境。室外环境是指区域气候、地质、水质、城市交通、空气污染、环境噪声等大环境，而室内环境是指居住房间牢固程度、居室生活是否舒适、居室生活是否方便等内容。牢固性与方便性主要由建筑师、室内设计师、家具设计师等负责，而居室生活的舒适性取决于多种因素。本篇从木材科学与木质环境学角度阐述木材与室内环境的关系，从木质材料居住性角度，探讨木材为什么能从多方面满足人类生活的需要，从而进一步介绍木材居住特性的妙用以及推动合理地、科学地利用木材，提升人类的生活质量。

第一章 木材的视觉特性

木材是构成室内环境的主要材料,人们习惯于用木材装点室内环境、制作室内用具,这与木材的视觉特性有着密切的联系。

一、木材的反射特性^[1]

当一束光照射到木纹纸、塑料、漆膜等非金属物表面之后,其反射光有一部分在空气与物体的界面上反射,这部分称为表面反射;还有一部分光会通过界面进入到内层,在内部微细粒子间形成漫反射,最后再经过界面层形成反射光,这部分称为内层反射。

表面反射遵循菲涅耳关于透明体边界层的反射理论,其反射率取决于折光指数,反射光的颜色几乎与入射光相同,与物体的固有色无关。纸、塑料、漆膜等的折光指数基本上为 1.5~1.6,垂直入射时的表面反射率(ρ_0)为 4.0%~5.3%。随着入射角的变大,反射率也变大,物体表面变得更光滑,表面的光泽感也更强。

内层反射实际上是极靠近表面层内部微细粒状物质间的扩散反射,与表面反射相比,更加接近于均匀扩散,能显示物体的固有色。

物体的反射性可用反射特性函数表示,图 1-1 为几种材料的反射特性函数。未涂饰的扁柏及桐木的径切面反射特性基本类似,两个方向(ρ_{\parallel} 与 ρ_{\perp})之间的差别非常明显;内层反射呈扩散性,特别是与纤维方向垂直的 $\rho_{D\perp}$ 呈球面状,近似于均

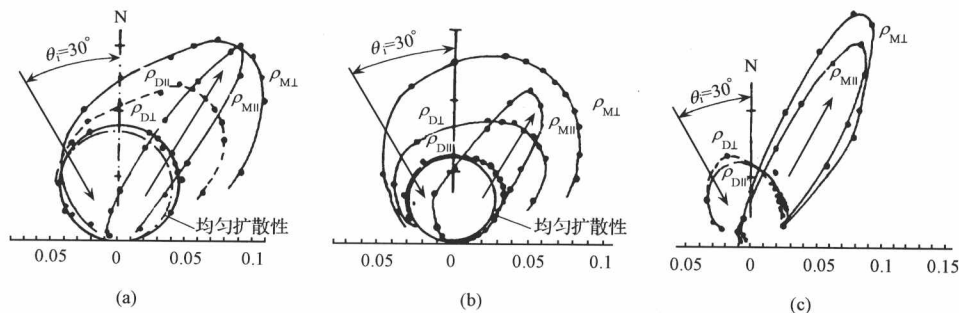


图 1-1 反射特性函数

(a) 扁柏径切面,刨光,未涂饰;(b) 桐木径切面,刨光,未涂饰;

(c) 印刷木纹纸贴面胶合板,涂饰氨基醇酸树脂涂料

ρ 为反射特性函数; \parallel 为入射光平行于纤维方向; \perp 为入射光垂直于纤维方向; M 为表面; D 为内层

匀扩散;表面反射的 $\rho_{M\perp}$ 也呈现扩散性,而 $\rho_{M\parallel}$ 则呈现方向性较强的正反射性。

印刷木纹纸贴面胶合板的反射特性差异较小,由表面反射成分的 $\rho_{M\parallel}$ 和 $\rho_{M\perp}$ 可知,木纹纸的表面与真实木材表面的差别是很大的,没有木材表面反射中 $\rho_{M\perp}$ 的扩散性。

如将上述反射特性函数 ρ 在 2π 立体角内积分,就可得到反射率 R 。几种树种表面的反射率如表 1-1 所示。

表 1-1 木质材料的反射率

树 种	$R_{M\perp}$	$R_{D\perp}$	R_{\perp}	$R_{M\parallel}$	$R_{D\parallel}$	R_{\parallel}	R	$R_{M\perp}/R_{\perp}$	$R_{M\parallel}/R_{\parallel}$
扁 柏	0.471	0.277	0.748	0.117	0.381	0.498	0.623	0.630	0.235
桐 木	0.456	0.204	0.660	0.146	0.312	0.458	0.559	0.691	0.319
柳 杉	0.576	0.084	0.660	0.095	0.188	0.283	0.471	0.873	0.336
柚 木	0.183	0.083	0.266	0.043	0.057	0.100	0.183	0.688	0.430
柚木(涂饰)	0.237	0.029	0.266	0.099	0.038	0.137	0.201	0.891	0.723
木纹纸	0.169	0.194	0.363	0.151	0.178	0.329	0.346	0.466	0.459

注: $\theta_i = 30^\circ, R = (R_{\perp} + R_{\parallel})/2$ 。

由表 1-1 可知,未涂饰木材表面反射成分的反射率,其与木纹方向垂直的 $R_{M\perp}$ 要比通常漆膜大得多;而与木纹平行方向的 $R_{M\parallel}$ 则较低。总而言之,未涂饰木材具有独特的光泽感。

另外还可以用反射光扩散能 δ 来表征正反射光的强弱。 δ 越接近于 1,正反射的方向性越差; δ 越小,正反射的方向性越强。由表 1-2 可知,未涂饰木材在垂直于纤维方向的内层反射呈均匀扩散性,而涂饰木材的表面呈现很强的正反射性。

表 1-2 木质材料的反射光扩散能

树 种	$\delta_{M\perp}$	$\delta_{D\perp}$	$\delta_{M\parallel}$	$\delta_{D\parallel}$
扁 柏	0.746	0.978	0.182	0.837
桐 木	0.954	0.984	0.355	0.944
柳 杉	0.753	1.022	0.174	0.822
柚 木	0.883	0.438	1.127	1.017
柚木(涂饰)	0.201	1.008	0.101	1.210
木纹纸	0.247	1.188	0.241	1.184

注: $\theta_i = 30^\circ$ 。

综上所述,未涂饰木材表面不同方向的反射特性差别明显,其表面反射的反射率比一般漆膜表面要大得多,由此可以推定木材素材的表面有其独特的光泽感。另外,涂饰木材的表面反射成分与木纹方向无关,有很强的方向性;印刷木纹纸的表面,如未经特殊处理,其表面很难出现木材素材表面的反射特性,但能达到涂饰木材的表面特性。

二、木材的视觉物理量与感觉特性^[2,3]

(一) 木材颜色

木材颜色的分布范围如图 1-2 所示。色相主要分布在 2.5Y~9.0R(浅橙黄~

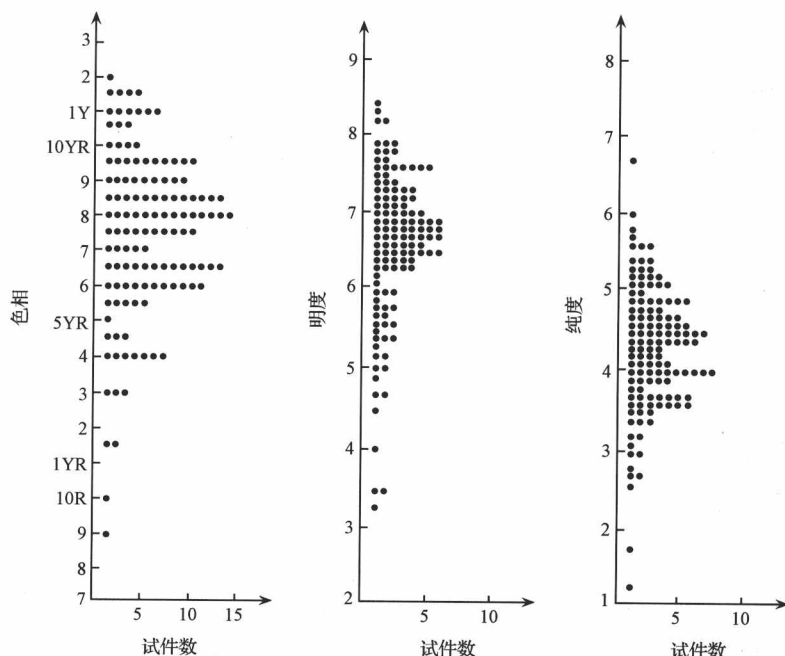


图 1-2 木材的色相、明度及纯度

灰褐色),以 5YR~10YR(橙黄色)居多;明度主要集中在 5~8;纯度主要位于 3~6,为了测定木纹颜色与人感觉的关系,采用红、黄、橙、蓝、绿、紫等不同颜色印制一系列木纹,用民意测验的方法测得木纹颜色与温暖感的关系(图 1-3)。

另外,木材的明度及纯度也会产生不同的感觉。明度越高,明快、华丽、整洁、高雅的感觉越强;明度低,则有深沉、厚重、沉静、素雅、豪华的感觉。纯度低的木材有素雅、厚重、沉静的感觉;纯度高的则

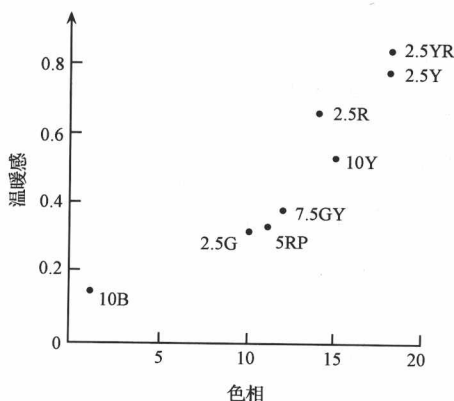


图 1-3 温暖感与色相

有华丽、刺激、豪华的感觉。木材颜色与感觉的关系如表 1-3 所示。

表 1-3 木材颜色与感觉

感 觉	明 度	纯 度	色 相
漂 亮	+++		
明 快	++++		++(7.5R)
舒 畅	+++		++(5Y)
现 代	++	+	++(7.5R)
洋 气	++		++(5Y)
华 丽	++	+++	+(5R)
上 乘	+		+(5YR)
刺 激		++	-(10YR)
挚 爱		+-	++(5YR)
舒 适		+	++(5YR)
温 暖		++	+++++(7.5YR)
稳 静	---	---	++(7.5YR)
素 雅	---	---	-(7.5YR)
深 沉	-----	---	-(10R)
重 厚	-----	---	
豪 华	---	++	+++ (10R)

注：“+”为正相关，“-”为负相关，“+”或“-”越多相关性越高。

(二) 木材光泽^[4~7]

物体的颜色取决于反射光的波长，木材的光泽与木材的反射特性有直接联系。图 1-4 为几种材料的光泽特性。当入射光与木纤维方向平行时，正反射量较大；而当相互垂直时，正反射量较小。因此从不同方向所呈现的木材颜色也不一样。家具表面粘贴不同纹理方向的薄木后呈现不同颜色，就是这个道理。当用木纹纸贴面后，表面就不存在着这种方向性，但当表面有压纹时，也会呈现真实木材的光泽特性，这种情况下单凭肉眼就很难判别木材的真假。

尽管如此，仿制品仍然代替不了真实木材的表面效果。木材表面是由无数个微小的细胞构成的，细胞切断后就是无数个微小的凹面镜，凹面镜内反射的光泽有着丝绸表面的视觉效果，这一点是仿制品很难模仿的。

另外，从图 1-4 的光泽度曲线来看，最大峰值都出现在反射角为 60°时，但不同材料的波峰大小有很大差别。不锈钢板、玻璃的峰值较大，且分布范围很集中；木材及印刷木纹的表面光泽度的分布范围较广，峰值也较低。

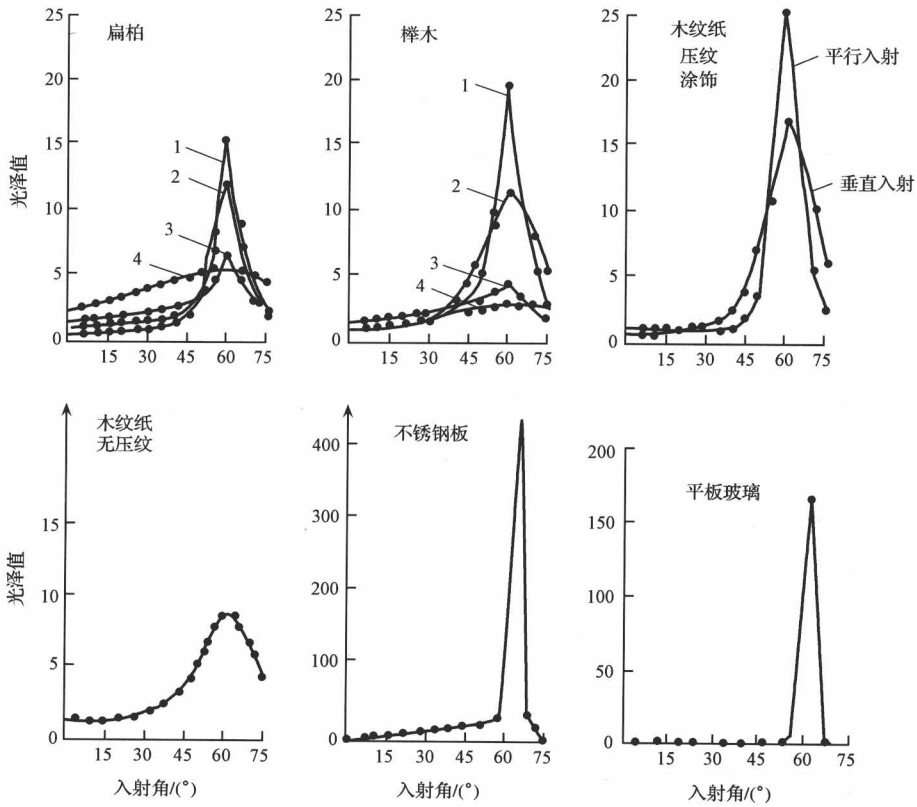


图 1-4 几种材料的光泽特性

1—平行于纤维方向入射,涂饰;2—垂直入射,涂饰;3—平行入射,未涂饰;4—垂直入射,未涂饰

在日常生活中,人们可以靠光泽的高低来判别物体的光滑、软硬、冷暖、其相关性如表 1-4 所示。光泽高且光滑的材料,硬、冷的感觉较强,冷暖感的相关性略差一些;当光泽度曲线平坦时,温暖感就强一些。由此可知温暖感不但与颜色有关,而且也与质地有关。

表 1-4 木材光泽度与感觉

感 觉	$G_{\parallel 60^\circ}$	$G_{\perp 60^\circ}$	$\lg G_{\parallel 60^\circ}$	$\lg G_{\perp 60^\circ}$
光滑—粗糙	0.53	0.52	0.83	0.81
硬—软	0.49	0.49	0.68	0.67
冷—暖	0.42	0.44	0.26	0.28

注: G 光泽度;“ \parallel ”平行于纤维方向;“ \perp ”垂直于纤维方向。

图 1-5~图 1-7 是室内装修材料的测试结果。光滑感与光泽度对数值 $\lg G_{\parallel 60^\circ}$