

中国林业青年科学家著作丛书

木材视觉环境学

刘一星 著
李 坚 审



东北林业大学出版社

(黑) 新登字第 10 号

木材视觉环境学

Mucal Shijue Huanjingxue

刘一星 著

李 坚 审

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

东北林业大学印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 7.25 字数 210 千字

1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 7-81008-523-9

S·127 定价: 6.80 元

前 言

随着科学的发展和人类生活的进步，人们对室内环境的舒适性提出了更高的要求。

木材是构成室内环境的主要材料之一。由于木材具有大自然赋予它的独特美感以及优越的材料特性，自古以来喜欢用木材来装点室内环境，制作室内用家具，由此提高居住环境的舒适性，这些已为人们的经验所知。但是，木材的哪些构造因子和材性参数，对人类生活的舒适性起着什么样的作用，目前若要对此问题作出科学的解答，还是比较困难的。木质环境学就是针对上述难题，通过仪器测量和实验心理学测验结果的分析，解决木材构造、物理、化学性质等基本特性与人体生理、心理感觉特性之间的关系，为合理加工利用木材资源，开发具有木材优良特性的新型材料而提供科学依据，以提高人类居住环境质量的一门新兴科学。

木质环境学的研究领域广泛，主要分为：木材的视觉环境学特性、听觉特性和触感特性，室内环境温度、湿度调节特性，以及对生物体机能的影响特性。其中，视觉环境学特性与人类心理感觉、家具设计、室内装饰以及木材加工的关系最为密切。因此，木材视觉环境学已成为木质环境学的一个最重要的分支。

木材视觉环境学的研究，对于揭示木材视觉物理量与视觉心理量的关系，客观地、科学地评价、控制和提高木制品和室内装饰的品质，以及提高人类居住环境质量均有重要的作用。有鉴于此，著者将本人几年来在该领域进行试验研究的结果归纳整

理、并纳入了国际上的一些最新研究成果、编著成本书、力求使读者对这一新学科能有一个较为全面的、深刻的了解。书中所列的图表和对应的考察、除部分引自参考资料以外、是在采集了11万余个原始测量(测验)数据的基础上、经计算机分析处理所得到的、若能为国内的同仁所参考、为我国木材科学的发展起到一点积极的作用、将是著者最大的快慰。

书中的研究成果、主要是在参加国家自然科学基金项目《木材的表面涂饰性与视觉物理量》的过程中取得的。该项目负责人、博士生导师李坚教授对研究工作和本书的编写给予了全面的指导、修改和审核、并为本书作序;尊师葛明裕教授在著者完成博士论文期间、曾给予悉心的指教;日本京都大学增田 稔博士曾为著者提供宝贵的参考资料、东北林业大学出版社对本书的出版给予了大力的扶持、在此一并表示衷心的感谢。

由于本书内容涉及面广泛、而作者的水平有限、故难免有疏漏和错误之处、恳请读者不吝指正。

著 者

1994年12月于哈尔滨

序

亘古以来，人们的生活就与木材息息相关。祖先学会了钻木取火，秦始皇用木材修造阿房宫，现代建筑的精雕细刻，都表明，中国文化与木材有着紧密的联系。随着人们生活质量的提高，愈来愈希望，在他们生活的空间中要更多地使用木材和木质材料。这是因为木材具有其它材料无法比拟的神奇的力量——木材具有独特的表面性质和视觉环境学特性。比如，生长轮、早、晚材的间隔分布呈现出一种波动现象（ $1/f$ 谱），而人的心脏跳动涨落亦呈 $1/f$ 谱分布形式，因此，木材给人一种自然、舒畅的心理感觉。此外，木材还具有良好的触觉特性、听觉特性和调节特性（室内气候调节和生物生存调节），这样，由木制品和木质材料所构成的人类生活环境会给人们一种自然感觉和美的享受，有益于家庭和善和身体健康。

过去，人们在利用木材或木质材料时，只是注重于它的材料特性，没有注重研究木质环境学特性，因此没有注意从木质环境学的角度去评定木材和木质材料的品质和用途。刘一星博士所著的《木材视觉环境学》一书弥补了这一缺憾。作者孜孜以求，希希冀，首次开展的木材表面视觉物理量和木材表面视觉环境学特性的研究获得了成功，并撰著此书。

木材表面视觉物理量的研究，是当今国际木材科学领域的前沿课题。从国外已有此方面的文献来看，大多是对个别或少数树种的研究，尚缺乏整体的系统性；国内尚未见对我国主要商品材进行视觉物理量测定和分析的研究。本研究测定了110种针、阔

叶树材的材色和光泽度参数，并对这些视觉物理量的分布特征、内在联系，以及由此出发的树种类别归并等问题进行了综合统计分析。此项工作比国内外同类研究更加完整、深入，特别是文中世界森林地理分布与木材材色的关系的研究，在国内外尚属首次。以上研究成果，可使人们对木材性质的认识在木材表面物理学和森林地理学的领域得以深化，具有重要的学术价值和理论意义。此外，对木材表面视觉物理量在一系列加工过程中的变化进行了较为系统的测定和分析。这些工作系统性强，并注重典型材色树种的不同变化特点，较国内外同类研究全面，在国内具有开拓性和创新性，对于合理加工木材、提高木材表面质量和涂饰效果，在理论和实践两方面均具有重要意义。

木材表面视觉环境学特性的研究，国外虽已有一些报道，但多偏重于木材、木质材料与其它材料视觉特性的比较。而且，使用代用材料的试验研究较多，对木材树种群体本身木材环境学特性的研究较少。国内尚无利用我国树种视觉物理量基础数据和心理感受测验数据所进行的木材视觉环境学特性研究。本研究在认真测定、测验了大量基本数据之后，利用计算机进行数据处理，对视觉物理量与视觉心理量的关系，受验者身份组别的视觉心理特点进行了详细的分析，对有关问题提出了一些新的见解。此结果可为家具用材和室内装饰选材的科学预测提供理论依据。

本研究的几个特点是：将木材材性与木材加工工艺相结合，研究木材表面视觉物理性质的动态变化，打破了传统木材学偏重于静态材性研究的局限；将木材学与森林地理学相结合，研究森林产品——木材与森林地理分布的关系，具有开创性；联系木材内含物研究木材表面物理性质；将客观性质（木材）与人类主观视觉心理相联系，与室内环境学和美学相联系。这些研究对木材科学研究领域的拓展和深化具有独到的重要意义。

作者通过对木材视觉环境学特性的研究，从更高的层次，更

宽的领域洞察了木材的天然属性，对科学地构建木质空间，对合理地利用木材资源和开发代用材料，对充实中国的木材科学文库均大有裨益。

李 坚

1994 年 12 月于哈尔滨

The Visual Environmental Science of Wood

Author: Liu Yixing

Examiner: Li Jian

Northeast Forestry University Press

目 录

1 木材的表面视觉物理量.....	(1)
1.1 木材材色的定量表征方法.....	(1)
1.1.1 色度学研究进展概况.....	(1)
1.1.2 木材材色的定量测量与分析.....	(7)
1.2 木材表面光泽度及其测量方法.....	(9)
1.3 木材反射指向性的分离测定.....	(10)
1.4 木材纹理图案的定量表征.....	(12)
2. 中国 110 树种木材表面视觉物理量的综合分析.....	(14)
2.1 引言.....	(14)
2.2 试验材料和方法.....	(16)
2.2.1 试验材料.....	(16)
2.2.2 木材材色的定量测量与计算.....	(21)
2.2.3 木材表面光泽度的测量.....	(23)
2.3 木材材色的色空间分布特征.....	(23)
2.3.1 木材材色在 $L^*a^*b^*$ 色空间的分布特征.....	(33)
2.3.2 木材材色在孟塞尔色空间的分布特征.....	(38)
2.4 木材表面光泽度测量值的分布特征.....	(42)
2.5 木材表面视觉物理量的综合分析.....	(48)
2.5.1 相关性分析.....	(48)
2.5.2 主成分分析.....	(53)
2.6 结 论.....	(58)
3. 木材材色与世界森林地理分布.....	(61)
3.1 引言.....	(61)

3.2 材色等级的划分.....	(62)
3.3 树种材色的级别归类.....	(62)
3.4 结果与分析.....	(63)
3.4.1 针叶树材和阔叶树材的材色级别分布的区别.....	(63)
3.4.2 地理分布对阔叶树材材色的影响.....	(64)
3.4.3 地理分布对针叶树材材色的影响.....	(66)
3.5 结论.....	(66)
4 木材表面视觉物理量在加工过程中的变化.....	(68)
4.1 引言.....	(68)
4.2 材色的变异性及剖切方向对材色的影响.....	(69)
4.3 加热处理对不同树种材色的影响.....	(73)
4.3.1 试验.....	(74)
4.3.2 结果与分析.....	(75)
4.4 表面粗糙度对材色的影响.....	(79)
4.5 抽提处理对木材材色的影响.....	(86)
4.5.1 试验.....	(87)
4.5.2 结果与分析.....	(88)
4.6 透明涂饰前后木材表面材色和光泽度的变化.....	(97)
4.7 结论.....	(103)
5 木材表面视觉环境学特性分析.....	(105)
5.1 引言.....	(105)
5.2 视觉心理量的选取和测验.....	(107)
5.3 木材视觉物理量与视觉心理量.....	(124)
5.3.1 视觉心理量测验数据的整理.....	(124)
5.3.2 视觉物理量与视觉心理量的相关性分析.....	(124)
5.4 视觉心理量的解析.....	(132)
5.4.1 视觉心理变量之间的联系与因子类别划分.....	(132)
5.4.2 不同身分组别受验者的视觉心理特点.....	(137)

5.5 以视觉物理量预测木材视觉环境学特性.....	(142)
5.5.1 多对多线性回归分析和双重筛选逐步回归分析.....	(142)
5.5.2 利用综合视觉物理量分布图预测木材视觉环境学特性的探讨.....	(148)
5.6 木材纹理图案与视觉环境学特性.....	(153)
5.6.1 自然界中物体固有的涨落(起伏)现象.....	(153)
5.6.2 木材纹理图案的涨落与视觉舒适感.....	(159)
5.6.3 木材纹理图案的定量测量参数与视觉舒适感.....	(164)
5.6.4 木材纹理图案视觉特性的综合评述.....	(166)
5.7 木材的光反射与视觉环境学特性.....	(170)
5.7.1 木材的光反射率与光反射指向性.....	(170)
5.7.2 木材的光泽与视觉心理感受.....	(174)
5.8 木材的其它表面性质与视觉环境学特性.....	(179)
5.8.1 树种与树种名称的影响.....	(179)
5.8.2 节子的视觉心理感受.....	(183)
5.8.3 木材对紫外线的吸收性与对红外线的反射性.....	(184)
5.8.4 室内空间木材率与视觉心理感受.....	(185)
5.8.5 木材与其它装饰材料的色彩协调.....	(187)
5.9 结论.....	(188)
参考文献.....	(191)
附录 色度学常用名词术语注释.....	(198)

1 木材的表面视觉物理量

木材表面视觉物理量由木材的材色参数、光泽度参数等与人类视觉相关并可定量测量表征的物理量所组成，是木材表面性质中的重要特征。木材表面视觉物理量直接与木制品以及室内环境的质量评定密切相关，因此，它是木材视觉环境学的主要研究内容之一。

1.1 木材材色的定量表征方法

材色是反映木材表面视觉和心理感觉的最为重要的特征。长期以来，人们习惯于用颜色名词或颜色名词的组合来描述木材的表面材色。材色的定量表征是随着色度学研究的发展才得以实现的。

1.1.1 色度学研究进展概况

色度学是研究颜色度量和评价方法的一门科学，是颜色科学领域里的一个重要部分。

颜色感觉与听觉、嗅觉、味觉等都是外界刺激使人感觉器官产生的感觉。光经过物体反射后刺激人眼，人眼产生了此物体的光亮度和颜色的感觉信息，并将此信息传入大脑中枢，在大脑中将感觉信息进行处理，于是形成了色知觉。人们就可辨认出此物体的明亮程度、颜色类别、颜色纯洁的程度，即明度、色调、饱和度，此称为颜色的三种基本特性（三属性）。用有关三维空间

的枣形立体可将上述颜色三属性全部表示出来（见图 1-1）。外界光刺激→色感觉→色知觉是个复杂的过程、它涉及光学、光化学、视觉生理、视觉心理等各方面问题，要想度量色知觉是很复杂的。心理物理学就是研究知觉量与外界刺激量之间的关系而发展起来的一门学科〔52～54, 62～64〕。色度学要解决颜色的度量问题首先必须找到外界光刺激与色知觉量之间的对应关系，以便能用物理量间接地测得知觉量，因此应用心理物理学的方法，通过大量的科学实验，建立了现代色度学。它是一门以光学、视觉生理、视觉心理、心理物理等学科为基础的综合性科学。现代色度学初步解决了对颜色作定量描述和测量的问题。

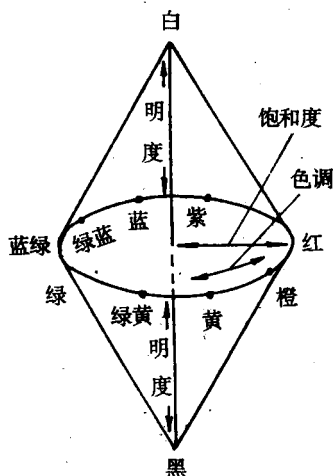


图 1-1 颜色立体（三属性）
示意

描述颜色的最简单的方法是用颜色名词。给每种颜色一个固定的名称（如红色、黄白色、黑褐色），并冠以适合的形容词（如深红色、浅黄白色、棕褐色），将这些名词汇编成颜色名词词典，为人们互相交流色知觉信息提供了一种简单、古老的方式，但它不能定量地表示色知觉量。于是，人们采用制作标准色卡的方式来描述颜色，色卡可以有不同分类及排队方式，因而形成了不同的表色系统。例如，孟塞尔表色系统，它是按照色知觉的明度、色调及饱和度这三个特征量的大小排队，并按各特征量的差值相同的原则来制作色卡给每个色卡一定的标号，以此种色卡作为目视测量颜色的标准。用这种系统来测量颜色，在一定条件下反映了人的色知觉量。但是这种系统对色调没有达到数字化表达，还有用大量色卡与物体颜色卡对照比较，易因疲劳而产生

误差。后来，国际照明协会组织的科学家们，用心理物理学方法经过大量实验，研究了人眼的视觉规律，建立了 CIE 色度系统，该系统可以用数字量来表示颜色，并可用物理仪器代替人眼来测量颜色。但是，严格地来说，用 CIE 色度系统度量的颜色是心理物理量，尚不能完全反应人们的色知觉。然而，从 1931 年 CIE 色度学系统建立至今的 60 多年，色度学已取得了重大的成绩。在工农业生产、科学技术和文化事业的各部门色度学得到广泛利用，它的理论指导着彩色电视、彩色摄影和彩色印刷、染料、纺织、造纸、交通信号、照明技术等部门的工作，各式各样的测色仪器都在产品检验和生产质量控制中获得了广泛应用。木材科学工作者则应用色度学理论和检测手段，对材色进行测量和定量表征，研究木材材色与其加工工艺、产品质量测控以及人类心理感觉特性、室内居住环境之间的关系。国外此类研究已有一些进展（1~15, 19~49）。

1. 颜色测量方法简介。色卡参比法：如前面介绍的，采用制作标准色卡的方式来描述颜色，色卡可以有不同分类及排队方式，并按各特征量的差值相同的原则来制作色卡并给每个色卡一定的标号，以此种色卡作为目视测量颜色的标准。测量时，将色卡和被测物体同时置于标准光源下，用这种系统来测量颜色，在一定条件下反映了人的色知觉量。但是这种系统对色调没有达到数字化表达，还有用大量色卡与物体颜色卡对照比较，易因疲劳而产生误差。

目视色度计法：目视色度计是利用人的视觉去调节两个视场（或一个视场的两半）的颜色和亮度达到匹配的一种仪器。仪器的一个视场呈现待测颜色光，另一个视场呈现由已知三原色或更多原色相混合而产生的比较颜色光。这些原色的相对亮度可以调节，从而可以改变比较光的颜色和亮度。观察者通过视觉观察，将比较光的颜色和亮度调节为与被测光相同，由已知的比较光各

原色的色度坐标和仪器读数，可计算待测颜色光的三刺激值和色度坐标值^(53, 65)。该方法的缺点与色卡参比法相同，即易因人眼的疲劳而产生误差。

光谱光度计（分光测色）法：以分光光度计为最基本的颜色测量仪器。它并不是直接测量颜色，而是测量样品的光反射特性或透射特性谱，通过计算求得样品颜色的三刺激值。三刺激值可由下式来计算：

$$X = \kappa \int S(\lambda) \beta(\lambda) x(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \kappa \int S(\lambda) \beta(\lambda) y(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \kappa \int S(\lambda) \beta(\lambda) z(\lambda) d\lambda$$

式中： $S(\lambda)$ 为光源的光谱分布； $\beta(\lambda)$ 为物体的光谱反射率因数； $x(\lambda)$ 、 $y(\lambda)$ 、 $z(\lambda)$ 为标准观察者的光谱三刺激值，它已由CIE所规定。因此， $S(\lambda)$ 和光谱三刺激值可认为是事先已知，只需测量出被测物体在各种频率下的光反射率 $\beta(\lambda)$ ，然后用积分法或加权求和法即可算出被测物体的三刺激值，进而求得其色度坐标值等。光谱光度计（分光测色）法的优点是测量结果准确，精度高，并可同时测得光谱分布曲线。缺点是操作和计算复杂，测量所需的时间较长。

光电积分式色度计法：光电积分式色度计可以由仪器的响应值直接得到颜色的三刺激值，不必像分光测色仪器那样进行数学积分求得。目前在国内外普遍用于颜色测量的测色色差计就是一种光电式色度计。该仪器利用本身的标准光源照明和具有特定光谱灵敏度的光电积分元件，直接测量物体色（透射色或反射色）的三刺激值和色度坐标值，还可以通过模拟计算电路或联机的电子计算机给出两个物体色的色差值。光电积分式色度计法的优点是操作简便，测量时间短，实用性强。缺点是不能测量光谱分布曲线；测量精度略低于分光测色法。

2. 色度学表色系统简介。CIE(1931)标准色度系统：1931

年在美国剑桥举行的 CIE 第 8 次会议上, 统一了许多科学家所做的“标准色度观察者光谱三刺激值”实验结果, 提出了最早的主要推荐书—— CIE 标准色度观察者和色品坐标系统; 并规定了三种标准光源 (A,B,C); 还对测量反射面的照明观测条件进行了标准化。首先推荐的是 CIE 1931- RGB 系统, 但该系统计算中会出现负值, 用起来不方便, 又不易理解, 所以 1931 年 CIE 推荐了一个新的国际通用的色度系统, 即 CIE 1931- XYZ 色度系统。该系统在 RGB 系统的基础上改用三个假想的原色 X、Y、Z, 将它们匹配为等能光谱的三刺激值, 定名为“CIE 1931 标准色度观察者光谱三刺激值”, 将这一系统叫做“CIE 1931 标准色度系统”或称为“2°视场 XYZ 色度系统”。该系统色度坐标值的计算方法为: $x = X/(X+Y+Z)$, $y = Y/(X+Y+Z)$, 其色度图如图 1-2 所示。

CIE(1964) 补充标准色度系统: 为了适应 10°大视场的色度测量, CIE 在 1964 年又另规定一组“CIE 1964 补充标准色度观察者光谱三刺激值 (颜色匹配函数)”和相应的色度图 (见图 1-2)。这一系统称为“CIE 1964 补充标准色度系统”。有关研究表明, 人眼用小视场观察颜色时, 辨别颜色差异的能力

较低。当观察视场从 2°增大至 10°时, 颜色匹配的精度也随之提高。但视场再进一步增大, 则颜色匹配的精度提高就不大

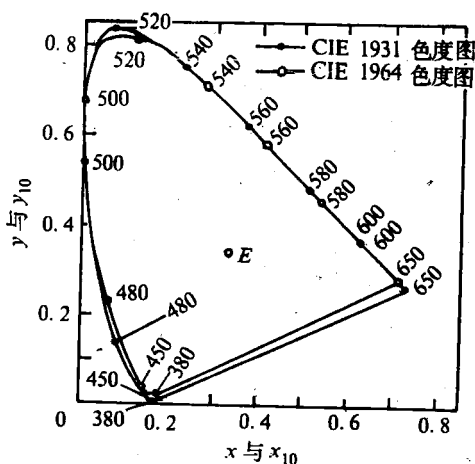


图1-2 CIE 1931(2°视场)和CIE 1964(10°视场)色品图

了⁽⁵²⁾。所以当前国内外市售的测色色差计以采用 10° 视场者为多数。

CIE(1976) $L^*a^*b^*$ 均匀色空间：色度学的研究表明，CIE(1931) 和 CIE(1964) 表色系的色度图不是最理想的色度图，其色度空间在视觉上是**不均匀的**，所以在比较颜色变化和颜色差别时，不能准确地反映颜色的视觉效果。CIE(1976) $L^*a^*b^*$ 均匀色空间是在 CIE(1931) 颜色空间的基础上几经修改之后，得到的一个简化的均匀颜色空间（见图 1-3）。它在三维色空间的各个坐标轴方向上均具有视感知觉的等距性，而且细分了明度指数和色品指数的级差，更适用于较小色差情况下的颜色测量、比较和讨论。因此，近年来国内外研制的光电式测色色差计几乎都附有直接测量 L^* 、 a^* 、 b^* 色度学参数和依据 $L^*a^*b^*$ 色空间的参数变化来计算色差的功能，使 $L^*a^*b^*$ 色空间越来越广泛地为各行业的人们所应用。

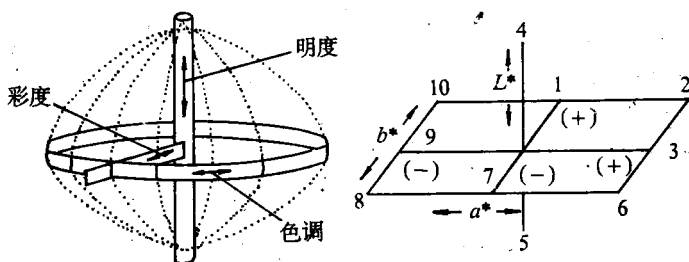


图 1-3 $L^*a^*b^*$ 色空间 (CIE 1976) 示意图

1. 黄; 2. 橙; 3. 红; 4. 白; 5. 黑; 6. 紫; 7. 蓝; 8. 蓝绿; 9. 绿; 10 黄绿

孟塞尔表色系统：它是由美国美术家孟塞尔 (Munsell A. H.) 在 20 世纪初建立的一种表色系统，他用一个三维空间的模型将各种表面色的三种视觉特性——明度、色调、饱和度全部表示出来（见图 1-4）。在立体模型中，每一个部位代表着一种