

木质地板生产与使用

高振忠 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

木质地板生产与使用/高振忠主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 7
ISBN 7-5025-5867-5

I. 木… II. 高… III. 木质板: 地板-基本知识
IV. TS653

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 077800 号

木质地板生产与使用

高振忠 主编

责任编辑: 王秀鸾 王 斌

责任校对: 李 林

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

[http:// www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15¼ 字数 353 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5867-5/TU·47

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着社会的进步和人民生活水平的提高，地板作为一种现代的装饰材料已深入千家万户，并已成为现代家庭装饰用的重要材料。地板决定着在人们室内行走的舒适度并能对居室环境起调节作用，能在家中营造一个脚感舒适、温馨自然，既有一定硬度，又有一定弹性的地面环境，是众多成功人士的共同追求，地板也成了人们装修时地面材料的首选。

地板不是一种新产品，它随着材料工业的发展和装饰水平的提高在不断地进步。为更好地认识、制造、鉴识、选择、安装、使用和维护地板，本书对产量大、装饰性强、应用广泛的实木地板、强化地板、实木复合地板等生产制造的关键技术进行了介绍。为更有利于广大专业人员把握地板生产过程中干燥应力的降低、尺寸形状的稳定、着色与染色技术和地板表面色泽的均匀稳定、漆膜质量的提高等生产的核心技术，本书从理论到实践，由浅入深地对地板质量形成与改进途径进行了叙述。希望本书对从事地板生产的专业人士有所帮助。为提高广大消费者对地板质量的鉴别能力，以产品质量评价为主线，通过产品质量的形成过程的分析，对地板质量的鉴别、检测与选用进行了较详细的论述，希望提高广大消费者对地板的认识，实现对地板产品的优化选择、合理使用，并使广大消费者通过本书的阅读能更好地将地板的装饰性、功能性和舒适性有效的结合起来。

全书共分四篇，第一篇由高振忠、王晓波编写，第二篇由高振忠、余德业、孙伟圣编写，第三篇由高振忠、陈健编写，第四篇由王晓波和廖峰编写。在此感谢华南农业大学林学院领导的支持。限于编者水平，书中难免有疏漏之处，望读者批评指正。

编 者

2004 年 6 月

目 录

第 1 篇 实木地板	1
1 概述	3
1.1 实木地板的特点及发展	3
1.2 实木地板的分类	4
2 实木地板加工技术	7
2.1 制材与选材	7
2.2 开料	7
2.3 陈放和干燥	7
2.4 脱色与染色	21
2.5 木地板的成形加工	30
2.6 表面涂饰	32
3 实木地板质量评价	58
3.1 地板基材质量	59
3.2 实木地板的漆膜质量	69
4 实木地板用材性能评价	93
4.1 实木地板用木材的基本特征	93
4.2 木材识别	95
4.3 实木地板对木材物理性质的主要要求	98
4.4 实木地板与木材力学性质	100
4.5 实木地板环境学特征	101
4.6 实木地板用木材的种类	103
4.7 市场上常见实木地板简介	109
5 实木地板的安装	110
5.1 地面的基本知识	110
5.2 地板施工的基本知识	117
5.3 实木地板的铺设方法与注意事项	120
5.4 实木地板的使用与保养	129
5.5 实木地板使用问题的处理方法	130
5.6 验收	131
第 2 篇 强化地板	135
6 强化地板发展史	137
7 强化地板的结构、性能特点及分类	138

7.1	结构	138
7.2	性能与特点	139
7.3	强化地板的分类	141
8	强化地板现状与发展	144
8.1	国际市场上的强化地板	144
8.2	我国的强化地板工业的发展	144
8.3	强化地板的发展趋势	144
9	强化地板生产技术	145
9.1	纤维板基材生产	145
9.2	浸渍纸生产技术	163
9.3	基材与浸渍纸的复合工艺技术	170
9.4	检验分等入库	174
9.5	包装	174
9.6	贮存	175
10	强化地板质量评价	175
10.1	质量评价的主要内容	175
10.2	强化地板的质量要求	181
11	强化地板的安装与养护	182
11.1	强化地板的安装	183
11.2	强化地板的使用与保养	188
第3篇	实木复合地板	189
12	概述	191
13	胶合板基材实木复合地板生产	192
13.1	原料	192
13.2	干燥	194
13.3	芯板加工	194
13.4	表板加工	195
13.5	热压	195
13.6	开榫和油漆	196
14	细木工板基材复合地板生产	196
14.1	板芯制作	196
14.2	拼接与剪切	197
14.3	涂胶、热压	197
14.4	成型	197
14.5	修补、检验、入库	198
15	实木复合地板质量评价	198
15.1	弹性模量和静曲强度	198
15.2	胶合强度	200
15.3	浸渍剥离	202

15.4	含水率	203
15.5	甲醛含量与释放量	203
16	实木复合地板的鉴别与选择	206
16.1	实木复合地板的外观质量	206
16.2	实木复合地板内在质量	206
17	实木复合地板的安装与养护	208
17.1	实木复合地板的安装及注意事项	208
17.2	实木复合地板的维护保养	208
第4篇 新型地板		211
18	竹地板	213
18.1	概述	213
18.2	竹地板的分类	213
18.3	竹地板生产工艺	214
18.4	竹木复合地板生产工艺	216
19	软木地板	217
19.1	概述	217
19.2	软木复合地板的类型	219
19.3	软木地板的生产工艺	220
19.4	软木复合地板的生产工艺	220
19.5	地毯式软木复合地板生产工艺	221
20	功能性地板	222
20.1	天然雕饰纹理强化木地板	222
20.2	彩色强化地板	222
20.3	降噪声强化地板	222
20.4	锁扣强化地板	222
20.5	地热采暖专用地板	223
20.6	蜂窝地板	223
20.7	组合地板	223
20.8	木质基防火活动地板	223
20.9	超强化木质地板	223
20.10	德国防火木地板	223
20.11	瑞典淡色、中庸色和深色等系列木质地板	224
20.12	体育地板	224
附录		225
参考文献		232

1 概述

1.1 实木地板的特点及发展

实木地板是用未经任何方式组合的木材为原料，经过一系列的加工过程，直接形成的具有一定尺寸、形状，并有一定的装饰性和功能性，用于房屋地面装饰的地板。它是以未经重新组合的优质天然木材作为原料而生产的，保留了天然木质材料的优良性能。用于居室装饰有脚感舒适、自然温馨、冬暖夏凉、高贵典雅的特点，对环境有很好的调节作用。

实木地板是一种很早就被广泛使用的装饰材料，随着生产技术的进步、社会发展、优质木质资源减少，近年也出现了一些其他形式的木地板。这些地板以木材为主要原料。它们与实木地板的主要区别是每块地板均用同等厚度的优质木材在宽度方向拼合而成，这种地板被称为拼板或拼木地板。这种变化使实木地板的概念得到了发展，将厚度尺寸不进行复合加工的板材制造的地板也归入了实木地板的范畴。

实木地板作为装饰材料，其发展历程很缓慢。在二次世界大战后，各种新型的材料，特别是纺织、油毡、PVC、橡胶，还有陶瓷、瓷砖和其他一些坚固的材料逐渐取代木地板的市场地位。随着国民经济的发展和人民生活水平的提高，人们对木材特殊的性质有了更新的认识，从20世纪90年代开始实木地板逐渐在国内受到青睐。宾馆大厦、体育场馆、商场商厦、娱乐服务场所及居民住宅装修等，多选用木地板铺设地面。随着实木地板发展，产品种类不断增多，生产企业迅速增加。

我国的实木地板生产企业约有5000多家，主要分布在广东、浙江、山东、黑龙江、吉林、辽宁、天津、上海、四川、云南、广东、江苏、湖北等地。实木地板生产企业规模差别很大，较多的是小规模的企业。年产量达5万平方米以上的企业在全部实木地板加工企业中所占的比例较小，约占3%~5%，这些企业的设备先进，主要设备多从国外引进。由于这些企业的产量较大，销售额占整个市场的40%左右，其他小型企业的产量占其余60%左右的市场。十几年来，实木地板成为人们用于地面装饰的首选材料，其市场需求呈直线上升趋势。1999年，我国木地板消费量达7000多万平方米，年销售额80亿元以上，年增长量约在15%~20%之间；2000年消费量突破1亿平方米，年销售额达100亿元以上。

1980年左右，我国一些工厂生产较小尺寸的地板，这些地板一般是不进行油漆而直接进行销售。到1992年前后才出现一些经过油漆的地板产品。2000年以后实木地板的品种随着住宅的商品化进程加速而得到迅速的发展，出现了很多新的地板品种，主要是榫接地板（又称企口地板）、平接地板（又称平口地板）、镶嵌拼方地板、指接地板、竖木地板、卡扣地板及地热地板等。

实木地板市场呈现出欣欣向荣的景象。目前，由于我国木材资源较少，可用于实木地板生产的优质林木资源更少，用于国产木材生产的实木地板在市场上占有的比例较少并呈下降趋势。市场上的实木地板以进口材为主。浙江、广东是我国生产实木地板较为集中的

地区，生产实木地板的规模较大，生产企业多以进口材为原料，通过精加工、包装供应全国各地。一些大型企业重视提高产品质量、增加花色品种，从而赢得了消费者的青睐，一些知名品牌正在形成。在短短的 20 年内已形成多种类、多规格，从生产到销售、铺装、售后服务配套具备一定规模的行业体系。

我国实木地板的生产已渐渐成熟，并快速成长，但整个行业还存在许多不容忽视的问题。

首先，实木地板生产供大于求，市场有待进一步开拓，一些质量较差的产品出现滞销。随着木地板产品种类的不断增多，木地板生产企业迅速增加，这就导致了一些质次价低产品冲击市场，而质优价高的产品滞销，使具有一定规模的木地板厂库存增大，生产成本和经营风险大幅增加。

其次，由于有些企业的设备落后，技术水平低下，实木地板质量参差不齐。随着木地板销售量的不断增加，消费者对实木地板的质量争议和投诉也在增加。反映出的实木地板质量问题有以下几点。

① 因实木地板干燥质量较差，引起的地板间缝隙增大或开裂，因湿胀引起地板尺寸较大的变化，使已铺装好的地板拱起，单片实木地板翘曲变形，铺装好的地板整体变形，铺装实木地板产生霉变等；

② 表面油漆质量较差，由于地板表面漆膜附着力差使表面漆膜剥落的现象时有发生；

③ 实木地板树种名称混淆，有部分销售商将同一种树种的实木地板使用不同的树种名称；

④ 地板表面漆膜耐磨性能差。

造成以上问题的原因，首先是木地板本身的质量问题，如地板表面油漆剥落、地板翘曲变形、地板表面出现裂纹、表面耐磨性差等。其次是由于铺设和使用维护不当造成。部分经销商为了推销自己的产品，夸大自己产品的各种性能，给消费者造成错觉，随意铺设和随意使用。如水泥地面和四周墙基尚未干燥即铺设地板；单块地板间及地板与墙体间未预留合理的伸缩缝，暖气管道中的热水泄漏至地板上；经常用水清洗地板，地板下有暖气管道或自来水管通过等，经过一定时间后，必然会使木地板受到损害甚至被破坏。

随着建筑业的发展，室内装修业将有更大的发展，而实木地板作为室内装饰材料也将随之发展。据预测，今后我国实木地板市场的年增长率约在 10%~20%。我国未来的木地板行业将沿着以下方向发展：

① 逐步实现实木地板生产的规模化、标准化、功能化、多样化；

② 进一步提高实木地板的质量，改善其尺寸稳定性、耐磨性、耐热性，具有良好的阻燃性，进一步发挥地板对环境的影响和改良；

③ 国家经济长远发展策略对实木地板行业的发展和市场结构形成较大的影响，并带来新的机遇。国内有实力、管理水平高、产品质量好、售后服务好的大型企业和知名品牌将在竞争中迅速成长。

1.2 实木地板的分类

1.2.1 按表面涂饰情况分类

按是否进行涂饰，可分为涂饰实木地板和未涂饰实木地板。涂饰实木地板是在实木地

板的表面涂饰油漆的地板。未涂饰实木地板是没有对表面进行涂饰处理的地板，这种地板可以在安装后进行涂饰或打蜡处理。目前市场上作为商品出售的主要是涂饰地板。

涂饰实木地板是在地板加工时完成油漆。这种地板由于多采用质量较高的耐磨光固化涂料用面层，所以有较高的光泽、耐磨性、硬度及耐液性等。非涂饰地板一般可在施工的中后期进行，这种地板的主要特点可以满足住户个性化的要求，其表面漆膜光泽、硬度、耐磨性一般较低，适于亚光或典雅仿古的装饰。未涂饰实木地板的表面质量由于受安装水平的影响可能产生较大的波动。

1.2.2 按铺装形状进行分类

实木地板按其形状可分为条形地板、拼木地板等。条形地板按其连接方式又可分为榫接地板、平接木地板等。

榫接地板也叫企口地板，就是按照一定的尺寸规格，将干燥好木板的侧面、端面加工成榫、槽状的地板，在安装时榫、槽结合，达到铺装牢固，不易变形的目的。

平接木地板也叫平口地板，就是没有加工榫、槽的地板，整个地板是六面平齐的长方体，加工精度一般较低。

条形地板一般具有较高的加工精度，拼缝严密，安装方便、牢固，不易变形。地板的宽度一般为25.4~150mm，长度一般为300~1500mm，厚度为9~30mm。对地面的平整要求不如拼花地板严格，便于施工铺设。缺点是：工序多，操作难度大。地板常采用龙骨架空铺装，具有弹性好，防潮隔热，豪华美观，是目前最为流行的地面装饰材料之一。

拼花木地板是按一定图案、规格，将一定规格的小块木地板拼成一定的图案而成，一般拼成的地板呈方形。这样的地板一般是涂饰地板，少数是不涂饰地板，其规格尺寸小，一般长度在600mm以下，宽度20~60mm，厚6~30mm，在两侧和端头可带榫、槽或平口。它能组成不同的花形图案，通常直接使用胶和填料铺贴于地面。这种定型的地板装饰材料已遍及了世界的各个角落，而且正在日益普及和流行。

和条形木地板相比，拼花木地板有以下特点。

① 拼花木地板可以节省生产原料，每立方米厚度为27mm厚板材平均可加工拼花木地板块 70m^2 ，而用 1m^3 的毛板料却只能加工 $30\sim 35\text{m}^2$ 厚度为22mm或33mm的条形木地板块。拼花地板生产对原料的节省可使其生产成本降低30%左右。

② 拼花木地板由许多小木块组成，能十分理想地补偿湿度的变化，尺寸稳定性好，不易变形。拼花木地板块在通常情况下能确保处于良好的胶接状态。一般每平方米拼花地板大约由350块小木块拼成，直接通过胶料紧紧地粘接在一起。在这种情况下，由空气或地下温度产生的木材含水率变化而引起的地板变形往往很微小，一般用肉眼是看不出来的。而对于每平方米仅由少数几块条形地板铺成的地板，木材将明显地向湿度变化小的地板膨胀。尤其在新建筑物内，条形地板可能会出现更多的问题。拼花木地板长期使用会出现随空气湿度的变化出现地板缝隙尺寸的变化，如果这种变化过大，会使地板松动，严重时会影响拼花地板正常使用。

③ 拼花地板的厚度较小，8mm是拼花木地板最基本的厚度，未进行表面涂饰的拼花地板，为提高表面质量，要多次砂磨以达到理想状态。

④ 铺设拼花木地板时，通过采用不同预先设计的图案和混合不同木种，可得到大量

不同的地面装饰效果。

⑤ 拼花木地板可以更经济地利用木材。用同样的生产原料能生产出来更为高级的产品，用质量较差的木料，通过合理工艺的加工，能生产出效果良好的产品，也是它的主要特点。

拼花地板如果干燥质量差、保管不当、没有涂饰等原因影响，易受到湿气的影响，日久会发黑，失去光泽，翘曲变形。如果拼花地板用的木材的干燥质量良好，经刨光、成形等十多道工序的加工，就可以制成漆膜平滑、木纹清晰、色泽优雅、防水效果好、具有一定耐磨性的高质量产品。

尽管拼花地板具有几何图案，装饰效果好，施工简单方便，但由于一般厚度较小，导致其弹性差，隔湿防潮效果不好，如干燥、铺装不当，易造成鼓块、裂缝，使用一段时间后会有少量松动、脱落。对表面进行砂光、涂饰的高级免漆地板，不宜采用胶和水泥等填料的粘贴法铺装，而应先将地板拼成一定的图案的板块，再拼铺在地面上。

1.2.3 按结构进行分类

实木地板按其组成结构可分为以下几种。

(1) 镶嵌拼方拼花地板 镶嵌拼方拼花地板，是由长方形地板条，按照一定图案，拼接而成，其形状呈方形。拼接可用铝丝或钢丝在地板背面镶嵌，或者用丝网、牛皮纸、塑料膜粘结。

(2) 指接地板 指接地板由宽度、厚度相等，长度不等的木条沿着纵向指接或直接成长料，并在纵向和横向两侧开有相应的榫槽。这类地板在日本市场上有一定的销售量。

(3) 集成材地板 将木材沿着纵向指接或直接成长条板材，再用相同截面的木料沿着横向胶拼成宽的板料，再在其纵横两侧加工成相应的榫槽。该类地板相对同样尺寸规格的独木板来讲，其变形量大大缩小，尺寸稳定性好，色泽自然，综合出材率高。

(4) 竖木地板 竖木地板以木材的横截面为板面，其外形呈方形、正六边形、八边形等图案。市场上比较常用的是竖木拼花地板，这种地板是木纹垂直于板面，即以横切面为耐磨面，形状似马赛克、瓷砖的小块颗粒拼合而成的一种新型地板。与目前普遍采用的横纹木地板条相比，其显著的特点是：拼装的图案更美观、更富于立体感；耐磨度提高近3倍，适用树种更广；可利用林区直径在6~12cm的枝丫材、小径材，做到小材大用、劣材优用、变废为宝。在次生林抚育改造的林区分广泛地开展竖木拼花地板的生产，对缓解优质硬杂木的供需矛盾和发展林区经济都有着十分重大的作用。随着加工工艺水平的提高和环保意识的加强，竖木地板将逐渐推向市场。

1.2.4 按实木地板材质分类

实木地板按其材质来分可以分为软木地板和硬木地板。

针叶树木材是由松杉目和红豆杉目树种加工成的商品材，应用上，包括银杏树种在内，有柏木、竹相、松木、黄杉、铁杉、油杉、竹叶松、红豆杉、南豆杉、铁油杉等。其质轻、较软、易加工，故又称软材。多用作普通木地板。用这些木材加工的地板一般称为软木地板。阔叶树木材是由双子叶植物树种加工成的商品材。质重，较硬，难加工，故又称硬材。常用的有柞木、柚木、麻栎、香红木、荔枝木、铁梨木和龙眼木。用这类质地较硬的木材制造的地板一般称为硬木地板。

2 实木地板加工技术

实木地板生产过程由成形加工和涂饰加工两部分组成。成形加工是由制材到形状与尺寸形成的全过程，包括制材与选材、开料、陈放和干燥、成形加工、脱色与染色等过程。涂饰加工按生产顺序分为表面清净、腻平与填平、填孔与着色、砂光与磨光、涂饰、磨光与抛光等工序。这些工序中，干燥质量影响着实木地板的形状与尺寸的稳定性，着色与染色影响到地板的装饰性。涂饰加工更对地板的外在质量有重要影响。

2.1 制材与选材

制材和选材是实木地板生产的第一道工序。主要目的是对原料进行初选，得到适用于制作不同类别地板的材料。带锯机是这一工序的主要加工设备。这一工序完成的质量影响到原料的利用效率，对地板生产的成本有着重要影响。如对缺陷木材和正常材的第一个锯口的下锯位置的选择等。这一工序的阶段性产品按树种、规格、材质的不同，送到下一工序。

2.2 开料

开料工序的主要任务是将前工序加工的规格按订单或生产计划要求，用多片锯等加工成有一定公差余量的地板毛坯，以利于陈放干燥。设备的加工精度决定着地板毛料的加工余量，影响材料的利用效率。

预留加工余量的毛料是这一工序的主要产品。预留加工余量的大小与下列因素有关。

① 与地板所用木材的材种有关。干缩系数大的木材，预留较大的加工余量；干缩系数小则可预留较少加工余量。

② 与木材的结构有关。环孔材和硬木应预留较大的加工余量，以防边部细微的开裂造成整块板材的损失。

③ 与木材的含水率有关。如果木材的初含水率较低，干燥时的收缩较小，可以预留较少的加工余量；如果木材的初含水率较高，应预留较大的加工余量。

④ 与后续设备加工精度有关。因为加工余量是作为后续加工的储备尺寸，如果设备的加工精度高、刃具质量好，则可少留余量。

⑤ 与木材纹理有关。纹理通直的木材在干燥时产生的变形较小，可以采用较小的加工余量。如果木材有较多的斜纹、胶质纤维、扭转纹等，则在干燥时不仅对干燥工艺有严格要求，而且易产生变形，所以也要相对预留较多的加工余量。

2.3 陈放和干燥

2.3.1 陈放和干燥的作用

陈放和干燥是地板加工的重要工序，影响着实木地板含水率和内应力，这些因素都与实木地板经常发生的变形缺陷关系密切。

一般未经干燥的木材加工成的板材含水率较高, 树木不同部位加工成的板材含水率也不同。由于树的种类、树木的生长环境和采伐季节的不同, 木材含水率也有很大的不同。刚采伐完的木材含水率很高且不相同。不经干燥的板材不能直接用于地板生产。

如果用含水较多的木材直接进行地板的生产, 由于木材中含水较多, 大气中相对所含的水分较少, 木材中的水分会不断地向大气中散发, 以使木材含水率达到相应大气湿度所匹配的含水率, 从而实现水分的平衡。木材是一种天然的生物材料, 有着对湿度的自动调节作用, 随着木材含水率的降低, 木材会收缩, 但这个收缩是不均匀的, 有的部分收缩的多, 有的部分收缩的少, 这就会导致木材的变形, 影响使用。为使木材在使用中减少由于水分变化而产生的变形和性质上的异动, 一般木材在使用过程中都要进行陈放和干燥处理, 以使木材从较高的含水率降到与用户所在地相适应的大气平衡含水率 (一般为 8%~14%)。

使木材含水率降低的过程称为木材干燥。

2.3.2 干燥原理

2.3.2.1 木材内水分的移动与蒸发

(1) 木材表面的水分蒸发

在气体介质内的对流干燥过程, 主要决定于两种物理现象: 木材表面的水分蒸发及木材内部的水分移动 (传导)。

水分由水面或从湿物体的表面的蒸发条件是当水面或湿物体表面上的空气没有被水蒸气所饱和的时候 (即相对湿度 $\psi < 100\%$) 才能发生。 ψ 越小, 表明空气中的水蒸气分压也越小, 蒸发速度就越快。自由水面的蒸发强度与在水分蒸发温度下的饱和蒸气压力 P_H 和周围空气内的水蒸气分压 P_n 的水蒸气压力差 ($P_H - P_n$) 成正比。另外自由水面的蒸发强度又与水面上的空气流动速度 ω 有着密切的关系, 因为水面上常具有一层薄薄的被蒸汽所饱和的空气, 水面上的气流速度越大, 薄层的厚度就越小, 蒸发就越快。

在大气压力下水面的蒸发量可近似用道尔顿公式计算, 即

$$i = B(P_H - P_n) \quad (1-1)$$

水蒸气蒸发的主要动力是压力差 $P_H - P_n$, 但它的确定比较困难, 用干燥势即干湿球温度差 $\Delta t = t - t_m$ 表示蒸发的难易较方便。它们之间的关系可表示为

$P_H - P_n = \Delta t(65 - 0.0006P_n)$, 代入式 (1-1) 得

$$i = B_1 \Delta t(65 - 0.0006P_n) = B \Delta t(65 - 0.0006P_n) \quad (1-2)$$

在上式中, 决定水分蒸发强度的主要参数是 Δt 。式中的蒸发系数 B , 当气流方向平行于被蒸发的水面和温度在 60~250℃ 时近似为

$$B = 0.00017 + 0.0013\omega \quad (1-3)$$

式 (1-2) 中的 $B_1 = 0.1B$ 。当气流方向垂直水面时, 蒸发强度加大一倍。

湿木材表面水分蒸发, 不同含水率时的蒸发机理不同。当其表层含水率没有降低到纤维饱和点以下时, 与自由水面的水分蒸发情况相同, 可以应用上述公式确定水分蒸发量。但是从木材表层含水率降低到纤维饱和点的瞬间开始, 情况就发生了变比, 此时木材表面上的水蒸气压力 P_w , 将低于同温度下水面上的水蒸气分压 P_n , 因此蒸发强度降低, 水分挥发变慢。

干燥过程主要阶段 (表层含水率低于纤维饱和点时) 内的水分蒸发量, 是由木材内部水分向表面的移动速度来决定的。

木材属于吸湿材料，它在不同温度、湿度与含水率的情况下和周围的气体介质进行湿交换。如使木材既不变干又不湿，必须使木材表面的水蒸气压力和周围介质中的水蒸气分压相一致，即 $P_w = P_n$ 。如果 $P_w > P_n$ ，则水分由木材向外蒸发，反之如果 $P_w < P_n$ ，木材表面将从周围介质中吸收水气。

(2) 木材内部的水分移动

a. 木材内水分传导的路径

在含水率低于纤维饱和点的条件下，木材内的水分同时以蒸汽状态及液体状态沿着微毛细管、大毛细管和二者的混合路径向木材表面传导水分。

第一种路径，在毛细管张力作用下，水分呈液体状态沿着连续不断的微胶粒间微毛细管移动。由于毛细管张力随着毛细管直径的缩小而增大，此时木材表层的含水率比内层低，表层微胶粒间的水层比内层薄，因而表层的毛细管张力比内层大。在这种张力差的作用下，促使结合水从含水率高的部位向含水率低的部位移动。

第二种路径，在水蒸气分压差的作用下，水分呈蒸汽状态沿着由相邻的细胞腔、纹孔腔及纹孔膜上的微孔所组成的大毛细管道向木材表面扩散。水蒸气分压是由于木材表面水分蒸发使木材内部形成含水率梯度而产生的。当水蒸气通过一个个细胞腔时，必须不断地克服细胞腔、纹孔腔及纹孔膜上微孔的阻力。由于微孔的断面积比纹孔腔或细胞腔小好多倍，因而木材内水蒸气扩散的总阻力则决定于纹孔膜上微孔的数目和大小。在纹孔膜上的微孔很小或是纹孔被堵塞的木材内，蒸汽状态的水分移动就很缓慢。

第三种路径是混合路径，即水分交替地既呈液体状态又呈蒸汽状态，不断沿着彼此相邻的微孔间毛细管和细胞腔移动或扩散。

b. 影响木材水分传导的因子

上述木材水分传导的情况对于所有树种都是适用的。但是各种水分传导路径的相对效率随着树种、密度、构造特征、含水率及温度而变化。

不同树种的木材具有不同的构造，它们的纹孔大小和数量，以及纹孔膜上微孔的大小都有很大差异，因此沿着上述三种路径所移动的水分的数量也有很大变化。环孔阔叶树材（例如栎木），由于敞开的纹孔少和纹孔膜上微孔的直径小，因而它的水分传导就显著地小于散孔阔叶树材和针叶树材。这说明在环孔材中第二种路径的水分传导效率非常低。在同一树种中，木材的构造特征对于水分传导也有显著影响。细胞壁厚度的相对增大（与细胞腔尺寸相比），会减低第二种水分传导路径的效率，但对第一种路径却没有影响。由此可以推断：散孔阔叶树材和针叶树材的水分传导随着密度的增加而减小；环孔材由于第二种水分传导路径的效率极小，密度对水分传导不会有重大影响。由于木材内水分传导的差异，导致木材各处由于含水率不一致而形成应力，木材内应力不均匀的分布是实木地板在加工和使用过程中产生变形的一个主要原因。

心材的水分传导总是比边材小，原因是心材中的纹孔多是闭塞的，第二种水分传导路径的效率小。

不同纤维方向水分的传导速度也有差异。顺纤维方向的水分传导比横纤维的大 10~20 倍，除干燥铅笔杆和鞋楦头之类的短料外，实际意义不大。横纤维方向上的径向水分传导比弦向水分传导大 15%~20%，这是由于木射线的影响。

木材含水率的增加（到纤维饱和点为止）或降低，会使微胶束间的水层加厚或减小。

在干缩与湿胀过程中,细胞腔的内径几乎保持不变,只是细胞壁的厚度有变化,但干缩会引起纹孔膜上微孔的扩大。因此,当含水率降低时,第一种水分传导路径的效率减低,而第二种路径的效率反而增高,说明含水率的变化对各种路径的效率有着不同的影响。根据实验及理论分析的结果,木材含水率从5%变化到纤维饱和点时,木材的水分传导没有明显的变化。

在木材中,沿着各种水分传导路径的水分移动均随着温度的升高而急剧地增大。这是由于升高温度可以提高水蒸气的扩散强度和降低液态水分的黏度的缘故。因此可以推断:与环孔阔叶树材的水分传导相比较,针叶树材与散孔阔叶树材的水分传导会随着温度的升高而增大。

2.3.2.2 木材在气体介质中的对流干燥过程

当含水率低于纤维饱和点时,木材内不含有自由水,细胞腔内充满着空气。木板放在一定状态的空气中进行干燥,由于其向空气中挥发水分,木板表层的含水率在过程开始之后立即降低,结果在木板断面上产生了含水率梯度。在含水率梯度的作用下,水分开始由内部向表面移动,木板整个断面上的含水率也随之降低。木板横断面上的任何一点在相应瞬间的水流量与含水率梯度成比例。

在干燥技术上,通常是用干燥曲线即单位时间内木料平均含水率的变化曲线和温度曲线即单位时间内木料温度的变化曲线来分析干燥过程。预热期内,木板表面几乎不蒸发水分,含水率变化不大,干燥速度等于零。干燥期内,开始时干燥速度很快,而后逐渐降低,当木料的含水率接近平衡含水率时,干燥速度趋近于零。

木材的温度在预热期内升高,最后趋向于介质温度。实际上,干燥过程不能进行到木料含水率达到平衡含水率,因为这样需要的时间太长,而是在达到规定含水率后即结束。

含水率高于纤维饱和点时,细胞腔内含有液态水分。此时,由于木料整个断面上的水层厚度都相等,不会形成毛细管张力差,所以没有沿着微毛细管的液态水分的移动。又由于细胞腔内含有液态水分,木板整个厚度上的水蒸气分压都是饱和蒸汽压,所以也没有沿着大毛细管的蒸汽状态的水分移动。在这种情况下,只能发生在毛细管压力差的作用下使液态的自由水沿着细胞腔与纹孔的移动。

水分蒸发过程一开始,表层的含水率即降低,当表层的含水率没有达到纤维饱和点的时候,木材内部的水分不能移动。但从表层的自由水完全被排除的瞬间开始,木板内层(大毛细管内填充有水分)和表层(大毛细管是空的,只是细胞壁的微毛细管内有水分)之间产生了毛细管压力差;在毛细管压力差的作用下,促使自由水按照水分蒸发的强度向表面移动。最初,木板外层向内吸取自由水,此时表层的含水率保持在接近纤维饱和点的固定水平。在这个时期内,干燥速度固定不变,并由木板表面的水分蒸发强度来决定。它与相同条件下的自由水面的蒸发强度相等。

随着自由水移动路径的加长,水分移向表面的速度逐渐减小,从移动速度小于蒸发速度的瞬间开始,表层的含水率即降低到纤维饱和点以下。从这一瞬间以后,木板的厚度上就形成了两个区域:含水率低于纤维饱和点的外区和含水率高于纤维饱和点的内区。外区水分的移动完全受含水率梯度的作用,内区则受毛细管压力的作用。内区在毛细管压力作用下使自由水移到上述两个区域的交界处,一部分变为蒸汽,另一部分仍在液体状态下继续沿着外区的微毛细管移动。

含水率高于纤维饱和点时的干燥过程分为等速干燥段和减速干燥段。在等速干燥期内，由木材表面蒸发自由水，表层的含水率保持在接近于纤维饱和点的水平，此时有足够数量的自由水供应表面蒸发，干燥速度固定不变。在减速干燥期内，表层含水率低于纤维饱和点，由内层向表面移动的水分的数量，小于表面的蒸发强度，干燥速度逐渐缓慢，到干燥终了时等于零，达到平衡含水率。

等速干燥结束、减速干燥期开始这一瞬间的含水率，叫做临界含水率 W_{kp} 。由于木板厚度上含水率的分布不均匀，临界含水率常常大于纤维饱和点。含水率越不均匀， W_{kp} 值就越大。干燥速度、被干木料的厚度和密度的加大，都会引起含水率在干燥过程中沿着木料厚度的不均匀性的加大，从而加大 W_{kp} 的数值。干燥速度越大，被干木料越厚和越密实，临界含水率就越向最初含水率 W_H 靠近，等速干燥期就越短。在干燥室内，干燥常用一定尺寸的锯材（厚度在 25mm 以上）时，等速干燥期实际上几乎是不存在的。

木料的温度在预热时期内很快地达到冷却极限温度，在等速干燥期内保持不变，在减速干燥期内逐渐升高，当木料的含水率接近平衡含水率 W_p 时趋向介质温度即干球温度。

2.3.2.3 干燥时木材内应力的产生与变形

(1) 木材应力的理论计算

设将要进行干燥的木板为无限大平板，并从木板上取样板一块，断面为 $ABCD$ （图 1-1），假定干燥开始后若干时间内，木板断面上的含水率均降低到纤维饱和点以下，含水率在厚度上的分布为一条对称曲线，即

$$W = f_1(x) \quad (1-4)$$

如将取得的样板在宽度方向上切成很多相同的木条，每片木条收缩后的长度 L 可按下式确定

$$L = L_H [1 - K(W_T - W)] \quad (1-5)$$

式中 L_H ——含水率高于（或等于）纤维饱和点时木条的原始长度，mm；

K ——干缩系数；

W_T ——纤维饱和点的含水率；

W ——木条的含水率。

木条的长度分布为一曲线

$$L = f_2(x) \quad (1-6)$$

如果不附加外力，则物体处于平衡状态。设从 BC 及 AD 两边使木片固定不动，整个体系也将处于平衡状态。此时木条层的原始长度 L_H 在干燥时间内保持不变，但每层木条将会受到一定的应力，即

$$\sigma' = E\delta \quad (1-7)$$

式中 E ——木条的弹性模量；

δ ——木条的相对变形，即木条的干缩。

数值 δ 可用下式求出

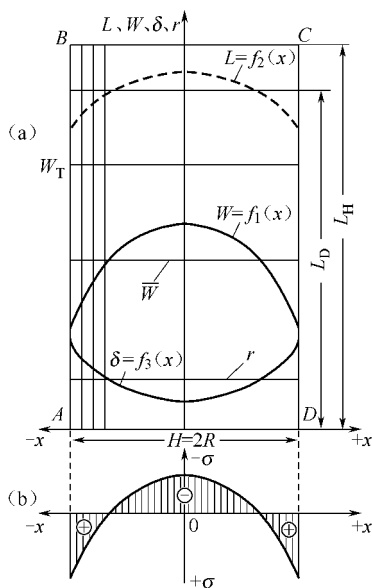


图 1-1 湿应力计算图（情况一）

(a) 木条长度 L 、含水率 W 、自由干缩 δ 及不自由干缩 r 在木板厚度上的分布；(b) 应力图

$$\delta = \frac{L_H - L}{L_H} = K(W_T - W) \quad (1-8)$$

如果解除木板的固定状态, 则产生新的平衡状态, 各层木条作同样变形, 称为不自由干缩。此时每层木条所受到的应力 σ'' 与不自由干缩成比例, 即

$$\sigma'' = Er \quad (1-9)$$

r 为相对干缩率, 由下式确定

$$r = \frac{L_H - L_p}{L_H} \quad (1-10)$$

L_p 为每层木条的实际长度。存留在每层木条内的应力为

$$\sigma = \sigma' - \sigma'' = E(\sigma - r) \quad (1-11)$$

因此, 木条内的应力与自由干缩和不自由干缩之差成比例。

设弹性模量在厚度方向上没有变化, 对于含水率高的弦切板, 实际上很近似。这样可以求得在各种有代表性的含水率分布情况下自由干缩, 不自由干缩与含水率的关系方程式。

据此可以求得这块木板每层木条的应力, 并按木板的厚度绘出应力分布曲线。

任何内应力分布曲线都应满足下列两种平衡条件

$$\int_{-R}^{+R} \sigma dx = 0 \quad (1-12)$$

$$\int_{-R}^{+R} \sigma x dx = 0 \quad (1-13)$$

木材应力较有代表性的状态有 4 种。

① 当木板含水率在整个厚度方向上均低于纤维饱和点, 且按对称曲线 $W = f_1(x)$ 分布时, 干缩系数 k 在木板厚度上无变化。

每层木条的干缩量 δ 可按式 (1-8) 确定, 它在厚度上的分布为对称 $\delta = f_3(x)$ 。未知的干缩量与含水率之间的关系可按应力平衡条件来确定。这种情况下的应力可用式 (1-11) 来确定, 且在木板厚度上也作对称分布。当应力图对称时, 只第一种平衡条件就可满足, 且只讨论木板断面的一半。如此平衡条件可以写成下列形式。

$$\int_0^R E(\delta - r) dx = 0 \quad (1-14)$$

将式 (1-8) 中的 δ 值代入式 (1-14) 并解出 r 得

$$r = \left[W_r - \frac{1}{R} \int_0^R f_1(x) dx \right] = K(W_r - \bar{W}) \quad (1-15)$$

\bar{W} 为平均含水率。因此相对干缩与纤维饱和点平均含水率之差成比例。

将式 (1-8) 及式 (1-15) 中的 δ 及 r 代入式 (1-11), 得出计算应力公式为

$$\sigma = KE(\bar{W} - W) \quad (1-16)$$

对于表层, 因表层含水率 W_B 小于平均含水率 \bar{W} , 公式中的 $(\bar{W} - W) > 0$, 应力为正值, 说明表层所受的是拉伸应力。对于内层, 内层含水率 W_L 大于平均含水率, 即 $(\bar{W} - W) < 0$, 说明存在压缩应力。这种情况的应力图见图 1-1(b)。

② 干燥开始时, 接近表层区域内的含水率低于纤维饱和点; 而内层区域的含水率却在纤维饱和点之上, 没有干缩。含水率分布为对称曲线 $W = \varphi_1(x)$, 如图 1-2(a) 所示。由

于在排除吸附水时才发生干缩,所以在C段内的 δ 等于0,而在R—C段为曲线 $\delta=\varphi_2(x)$ 。与情况一的分析相同,即

$$r=K(W_T-\bar{W}_r) \quad (1-17)$$

\bar{W}_r 为平均吸附水含水率,按下式确定

$$\bar{W}_r = W_T \frac{C}{R} + \frac{1}{R} \int_R^C \varphi_1(x) dx \quad (1-18)$$

式中,C按方程式 $W_T=\varphi_1(C)$ 确定。因此求得计算应力公式为

$$\sigma=KE(\bar{W}_r-W_r) \quad (1-19)$$

这种情况的应力图如图1-2(b)所示。

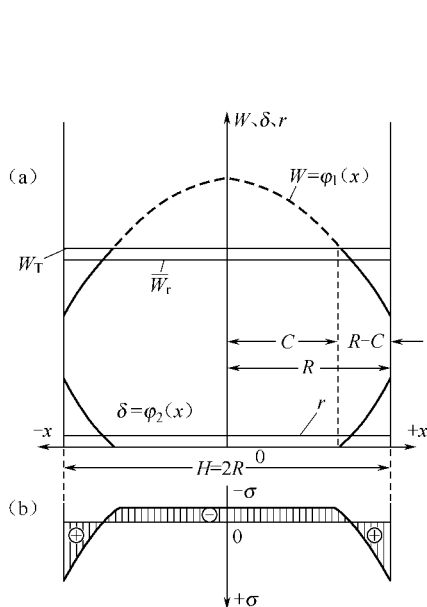


图 1-2 湿应力计算图(情况二)

(a) 含水率 W 、自由干缩 δ 及不自由干缩 r 在木板厚度上的分布;(b) 应力图

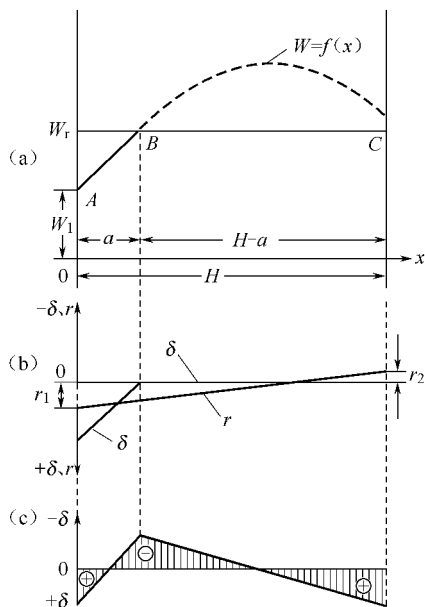


图 1-3 湿应力计算图(情况三)

(a) 厚度上含水率的分布;(b) 自由干缩 δ 及不自由干缩 r 在厚度上的分布;(c) 应力图

③ 木板的最初含水率分布不均,如一边(心材)低,一边(边材)高,干燥一开始,含有心材的表层区域的含水率低于纤维饱和点,含水率分布如图1-3(a)所示。

为了简化问题,取在 W_T 以下的区段 $W=f(x)$ 为直线,则吸湿水的分布如折线ABC所示。

确定 a 段含水率的方程式为

$$W = W_m + \frac{W_r - W_m}{a} x \quad (1-20)$$

式中 W_m ——木板表面含水率;

a ——吸湿含水率区的深度。

吸湿含水率为含水率 W_r 。根据式(1-8), a 段的 δ 值按下式确定

$$\delta = K \left(W_r - W_m - \frac{W_r - W_m}{a} x \right) \quad (1-21)$$