

定向结构板热物理特性的研究

周晓燕 华毓坤

摘要 采用热脉冲法测定杨木定向结构板的热物理特性, 研究板材的密度、含水率对其热物理特性的影响, 获得了绝干、气干及高湿度状态下各种不同密度的定向结构板的热导率、热扩散率、比热容的变化规律, 以此为建筑热工设计提供依据。通过对不同材料建筑物的采暖能耗的对比分析得出, 定向结构板具有良好的保温隔热性能, 用作墙体材料可达到节能目的。

关键词 定向结构板; 热物理特性; 密度; 含水率

Study on OSB Thermophysical Property

Zhou Xiaoyan Hua Yukun

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu)

Abstract Thermophysical properties of OSB was studied with heat flow method. Test specimens were preconditioned under oven-dry, RH50%, RH80% and RH90% before tested. Effects of boards density and moisture on the properties were discussed. It indicates that OSB tested had good thermal insulation performance compared with other traditional construction materials.

Keywords OSB; Thermophysical property; Density; Moisture

随着人民生活水平的不断提高, 人们开始追求返璞归真、接近于自然的高质量的居住环境, 因而人造板材料已在建筑及室内装修行业占有举足轻重的地位。此外, 我国政府相继出台了一系列关于墙体材料改革, 大力发展节能、节地、利废的新型墙体材料的政策, 木质人造板尤其是结构类人造板(如结构胶合板、定向结构板、单板层积材等)将以其质轻高强、保温、隔声以及能耗低、安装方便等特点在建筑行业替代传统的砖、瓦、混凝土等用作墙体材料、屋面材料、地板、梁柱等^[1]。因此, 对人造板材料的热学、声学、光学等特性的研究也越来越引起众多学者的关注。

材料的热物理特性是建筑业对围护结构进行热工设计的重要指标。影响材料热物理特性的主要因素有: 材料的分子结构及其化学成分、密度(包括材料的孔隙率、孔洞的性质和大小等)、湿度状况和温度状况^[2]。本研究采用热脉冲法测定杨木定向结构板的热物理特性, 研究板材的密度、含水率对其热物理特性的影响, 获得了绝干、气干及高湿度状态下各种不同密度的定向结构板的热导率、热扩散率和比热容的

变化规律, 为建筑热工设计提供了依据。

1 材料及试验方法

1.1 材料

采用工厂机制杨木刨花, 按照干燥、施胶(PF)、铺装、热压、冷却、砂光的流程, 在实验室小型压机上压制成五种不同密度的定向结构板(见表1)。每种类型的试件选定两组密度相近(两位有效数字一致)的试件进行测试。试件尺寸为20 cm×20 cm×1 cm, 表面光滑平整, 相互接触紧密。

表1 试件类型

Tab. 1 Types of specimen

试件号	密度(g/cm ³)	厚度(mm)	含水率(%)
A	0.45	9.52	8.81
B	0.54	9.34	8.73
C	0.60	9.52	8.55
D	0.71	9.66	8.68
E	0.83	9.77	8.63

注: 测试时试件处于气干状态, 空气相对湿度50%。

1.2 试验方法及测试指标

热脉冲法是以非稳定热流原理为基础, 在试验材料中给以短时间的加热, 使试验材料的温度发生变

收稿日期 1998-01-24

本文作者分别为: 南京林业大学木材工业学院博士研究生(讲师), 教授, 南京 210037

化, 根据其变化的特点计算出试验材料的热导率、热扩散率及比热容。试验装置(DRM-1 型热导率测定仪)如图 1 所示^[2]。测试指标包括热导率、比热容和热扩散率。

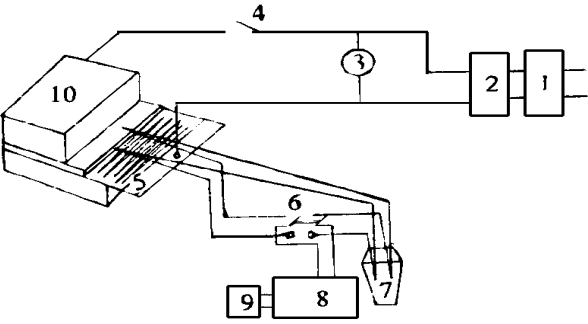


图 1 热脉冲法测试装置示意图

Fig. 1 Diagram of the heat flow device

1. 稳压电源; 2. 调压器 3. 电压表; 4. 加热开关; 5. 加热器;
6. 热电偶转换开关; 7. 保温瓶; 8. 电位差计; 9. 检流计; 10. 试件
测定试件处于绝干、气干(平衡含水率 $EMC=8.6\%$)、 $80\% RH$ ($EMC=12.2\%$) 以及 $90\% RH$ ($EMC=18.5\%$) 状态下的热物理特性。

2 试验结果与分析

2.1 密度对定向结构板热特性的影响

定向结构板由木材实体、胶粘剂、孔隙(空气)及水分四要素组成, 热量主要依靠木材实体和孔隙中的空气以导热形式进行传导。由于空气的热导率很低, 静态下, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的热导率为 $0.022\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 与木材物质的热导率 $0.25\sim0.34\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ^[3] 相比差别悬殊, 因此板材的密度对热导率起着决定性的作用。从试验结果(表 2, 图 2)可知, 热导率随着板材密度的增加而增加。木材是粘弹性物质, 热的传导是靠弹性波的作用进行的, 介质愈致密, 弹性波传播能量愈容易。而且从图 1 还可得出, 定向结构板的热导率与密度成一定的线性关系。此关系与有关文献报道的结果一致^[4,5]。材料的热扩散率 $\alpha=\lambda/c\gamma$, 其中 λ 为热导率, c 为比热容, γ 为密度。材料的热扩散率一般随着材料密度的减小而降低, 但当密度减小到一定程度时, 其热扩散率反而随着密度的减小而增大(由其定义式决定)^[2]。由图 2 和表 2 表明: 当定向结构板的密度降低到 $450\text{ kg}/\text{m}^3$ 左右时, 热导率随之减小, 幅度比较缓慢, 于是热扩散率反而会有所增加。

从表 2 可知, 在气干状态下定向结构板的比热容基本不受密度的影响。

2.2 含水率对定向结构板热物理特性的影响

表 2 定向结构板在气干状态
($16\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\% RH$) 下的热物理特性指标

Tab. 2 OSB thermophysical properties in air-dry
($16\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\% RH$)

试件号	密度 (kg/m^3)	热导率 ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	热扩散率 ($\text{a}\times10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$)	比热容 ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$)
A1	453.6	0.1163	0.144	1.786
A2	450.2	0.1129	0.141	1.782
B1	542.5	0.1296	0.136	1.760
B2	544.6	0.1276	0.132	1.771
C1	601.6	0.1456	0.139	1.742
C2	605.3	0.1470	0.140	1.739
D1	711.9	0.1742	0.141	1.735
D2	710.4	0.1755	0.142	1.742
E1	831.9	0.2146	0.145	1.775
E2	835.3	0.2158	0.148	1.742

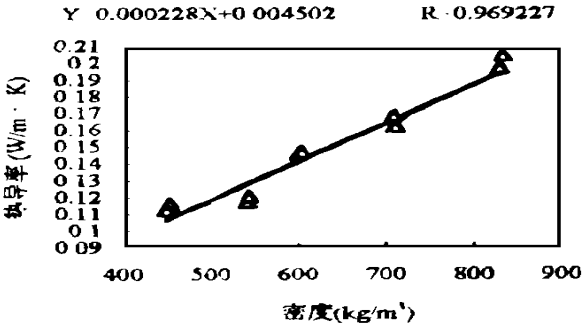


图 2 定向结构板密度与热导率的关系

Fig. 2 Relationship between OSB thermal conductivity and density

由于水的热导率 ($0.58\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) 比静态空气的热导率 ($0.022\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) 大 20 多倍, 因此, 当板材吸湿后其热导率必然增大^[4]。从图 3 可知, 当定向结构板的含水率在纤维饱和点以下时, 热导率随含水率的增加呈线性增长。因为水的比热容为 $4.186\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, 大大高于木材物质, 所以随着板材含水率的提高, 其比热容也随之增加。对于木材等一些有机材料, 其比热容与含水率间呈抛物线关系^[2], 试验结果(图 4)与此一致。从图中还可以发现, 随着含水率的增加, 密度对板材比热容的影响程度越来越小。这是因为水分的比热容在其中起了主导作用。

虽然水的热扩散率 ($0.0005\text{ m}^2/\text{h}$) 比空气的热扩散率 ($0.077\text{ m}^2/\text{h}$) 小得多^[2], 但热扩散率是由热导率与比热容导出的热物理特性指标, 当材料的含水率增加时, 热导率与比热容都增加, 而且增长的速率不一致。随着定向结构板含水率的增加, 其热扩散率变化趋势如图 5。

2.3 定向结构板与现有墙体材料的热物理特性比较

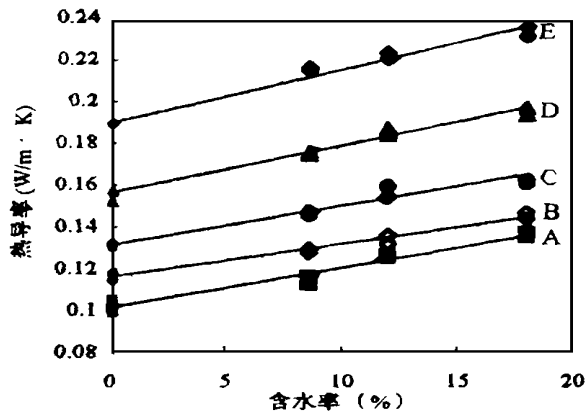


图3 含水性与热导率的关系

Fig. 3 Effect of moisture content on OSB thermal conductivity

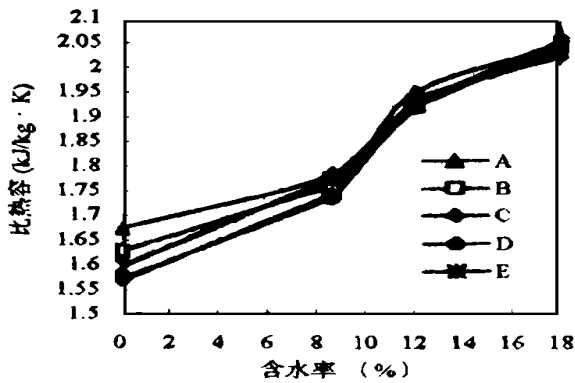


图4 含水性与比热容的关系

Fig. 4 Effect of moisture content on OSB thermal capacity

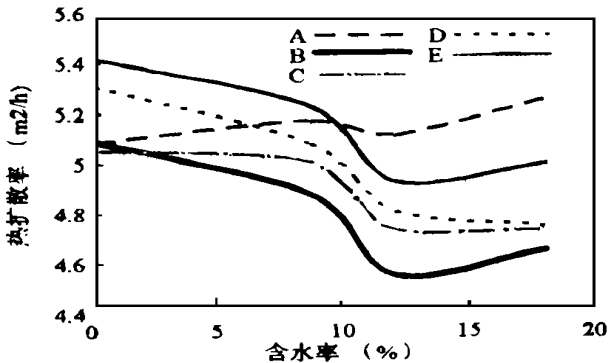


图5 含水性与热扩散率的关系

Fig. 5 Effect of moisture content on OSB thermal diffusivity

一般,把热导率 $\lambda < 0.25 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 的材料称为保温材料^[7],从图3可知,杨木定向结构板应属保温材料。通过对定向结构板与现有墙体材料的热物理特性比较(见表3)可知,杨木定向结构板的热导率远小于传统建筑材料的热导率。此外,定向结构板的热

扩散率远小于其材料的热扩散率,约为加气混凝土($\rho = 500 \text{ kg/m}^3$)的39%,材料的热扩散率越小,说明在相同的环境下,热量在该材料内的传播越慢,热量穿透材料的能力越差^[8]。可见,与砖墙、混凝土结构相比,定向结构板是优良的保温材料。

表3 定向结构板与现有墙体材料的热物理特性指标^[9]

Tab. 3 Comparison of thermophysical properties among OSB and other construction materials

材料名称	密度 (kg/m ³)	热导率 (W/(m·K))	热扩散率 (a×10 ⁻⁶ m ² /s)	比热容 (kJ/(kg·K))
OSB(气干)	602	0.146	0.139	1.74
加气混凝土	500	0.190	0.360	1.05
加气混凝土	700	0.220	0.299	1.05
轻质粘土	1 200	0.470	0.388	1.01
重砂浆空心砖砌体	1 400	0.580	0.395	1.05
重砂浆砌筑粘土砖砌体	1 800	0.810	0.429	1.05
钢筋混凝土	2 500	1.740	0.757	0.92

建筑上把围护结构的传热分为三个部分:表面感热、构件传热及表面散热(表4)。从理论公式可知,围护结构的传热量与材料的热导率、表面换热系数、厚度及环境温度有关。表面换热系数 α 主要取决于气流状况(自然对流还是受迫对流)、壁面所处位置(是垂直、水平或倾斜)、表面状况(平整或有肋骨)、热的传递方向(由下而上或由上而下)等,在国标中是依据上述影响因素来规定围护结构内外表面换热系数的取值,与建筑材料本身无关^[9]。由此,在外部环境相同的情况下,围护结构的传热量主要取决于材料的热导率及厚度。在稳定传热条件下,面积为 F 的围护结构单位时间内传热量计算如下:

$$Q = \frac{(t_1 - t_2)F}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_0}}$$

根据上述公式,计算几种不同围护结构(面积设定为 5 m^2 ,总厚度 280 mm)在室内外温度分别为 $18\text{ }^\circ\text{C}$ 及 $-2\text{ }^\circ\text{C}$ 时单位时间内的传热量,各参数及计算结果列于表5。根据结果分析可知,在围护结构厚度相同的情况下,由定向结构板和保温材料(玻璃棉)组合成的围护结构单位时间内传热量远远小于传统围护结构,如D型围护结构(定向结构板与玻璃棉板的组合结构)的单位时间传热量仅为A型(砖墙结构)的1/10左右。分析不同厚度D型结构(玻璃棉板的厚度不同)的单位时间传热可得,随着玻璃棉板厚度的减小,D型结构的单位时间传热量略有增长,但仍远小于其它结构的传热量。比较A型结构与E型结构(普通砖墙内表面用 10 mm 定向结构板装饰),后者的单位时间传热量是前者的1/2。显然,用定向结

表 4 围护结构的传热过程^[10]

Tab. 4 Thermal conduction process in the wall					
传热示意图		过程名称	主要传热方式	热传导参数	热流密度
	表面感热	对流、辐射	内表面换热系数 α_i		$q = \alpha_i (t_i - \theta_i)$
	构件传热	导热	各层材料热导率 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$		$q = \frac{\lambda_1}{d_1} (\theta_1 - \theta_2)$
					$q = \frac{\lambda_2}{d_2} (\theta_2 - \theta_3)$
					$q = \frac{\lambda_3}{d_3} (\theta_3 - t_2)$
	表面散热	对流、辐射	表面换热系数 α		$q = \alpha_0 (\theta_3 - t_2)$

表 5 几种不同围护结构的热传量

Tab. 5 Thermal conductance of different wall structure							
编号	围 护 结 构		厚度 (m)	热导率 (W/(m·K))	热阻 (m ² ·K/W)	单位时间 传热量(W)	耗能比 (%)
	图 例	材 料					
A		1. 抹面层(石灰、水泥复合砂浆)	0.02	0.87	0.0230	203.12	10
		2. 普通粘土砖砌体($\rho=1\,800\text{ kg/m}^3$)	0.24	0.81	0.2963		
		3. 抹面层(石灰、水泥复合砂浆)	0.02	0.87	0.0230		
				$\Sigma 0.3423$			
B		1. 抹面层(石灰、水泥复合砂浆)	0.02	0.87	0.0230	163.99	8
		2. 空心砖砌体($\rho=1\,400\text{ kg/m}^3$)	0.24	0.58	0.4138		
		3. 抹面层(石灰、水泥复合砂浆)	0.02	0.87	0.0230		
				$\Sigma 0.4598$			
C		1. 抹面层(石灰、水泥复合砂浆)	0.02	0.87	0.0230	303.86	15
		2. 加气混凝土($\rho=500\text{ kg/m}^3$)	0.10	0.19	0.0526		
		3. 钢筋混凝土($\rho=2\,500\text{ kg/m}^3$)	0.14	1.74	0.0805		
		4. 抹面层(石灰、水泥复合砂浆)	0.02	0.87	0.0230		
				$\Sigma 0.1791$			
D		1. 定向结构板($\rho=602\text{ kg/m}^3$)	0.03	0.146	0.2055	20.16	1
		2. 玻璃棉板($\rho=70\text{ kg/m}^3$)	0.22	0.050	4.4		
		3. 定向结构板($\rho=602\text{ kg/m}^3$)	0.03	0.146	0.2055		
				$\Sigma 4.811$			
E		1. 抹面层(石灰、水泥复合砂浆)	0.02	0.87	0.0230	100.78	5
		2. 普通粘土砌体($\rho=1\,800\text{ kg/m}^3$)	0.24	0.81	0.2963		
		3. 空气层	0.01	0.022	0.4545		
		4. 定向结构板($\rho=602\text{ kg/m}^3$)	0.01	0.146	0.0685		
				$\Sigma 0.8423$			

注: 1. 表中热阻的定义为: $R = d / \lambda$; 2. 冬季围护结构内表面换热阻取为 0.11, 外表面换热阻取为 0.04^[10]。

构板作墙体材料或进行内装修能大大降低建筑物的传热量,可起到较好的保温作用,达到良好的节能效果。

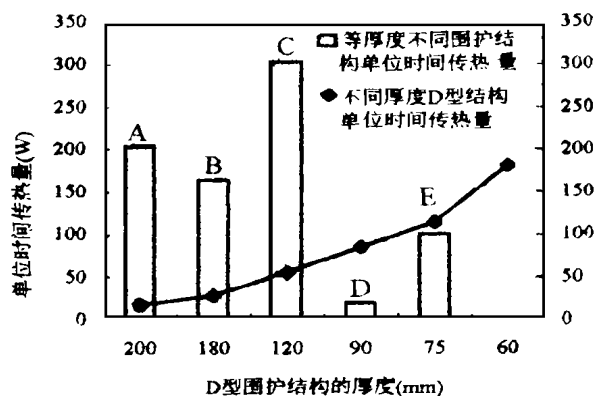


图6 不同围护结构及不同厚度D型结构的单位时间传热量

Fig. 6 Unit thermal conductance of different D-type wall structure with different thickness

3 结论

3.1 定向结构板的密度及含水率是影响其热物理特性(热导率、热扩散率、比热容)的重要因素。除了密度对比热容的影响不明显外,其它指标均显著受密度及含水率的影响。

3.2 定向结构板密度增加,热导率呈线性增长,热扩散率呈下降趋势,但当密度降至 450 kg/m^3 左右时,热扩散率反而有所增加。比热容基本不受密度影响。

随着板材含水率的增加,热导率亦呈线性增长,比热容有所增加。含水率对热扩散率的影响比较复杂,其变化规律主要取决于热导率及比热容的增长速率。

3.3 定向结构板的热导率、热扩散率远小于其它材料。围护结构的传热量主要取决于材料的热导率及厚度,在厚度相同的情况下,材料热导率越小,围护结构的单位时间传热量越少,建筑物采暖能耗也越低。对比几种不同围护结构的单位时间传热量,定向结构板与玻璃棉板组合结构单位时间传热量仅为传统砖墙的 $1/10$,对于同一结构的砖墙,内表面用定向结构板装饰后的单位时间传热量只为未装饰的 $1/2$ 。

4 参考文献

- 1 Thomas C. Marcin. The Outlook for the Use of Wood Products in New Housing in the 21st Century. F. P. J., 1987, 37(7/8): 55~61
- 2 沈颢元等编著. 建筑材料热物理性能. 中国建筑工业出版社, 1981
- 3 成俊卿主编. 木材学. 中国林业出版社, 1985
- 4 陈启高编著. 建筑热物理基础. 中国建筑工业出版社, 1991
- 5 Frederick A. Kamka. Effects of Wood-based Panel Characteristics on Thermal Conductivity. F. P. J., 1989, 39(5): 19~24
- 6 关野 登等. 温度及含水率对木质板传热特性值的影响. 岩手大学农学部报告, 1990 19(4): 307~315
- 7 [日] 山田雅士著, 景贵琴译. 建筑绝热. 中国建筑工业出版社, 1987
- 8 [美] M. N. 奥齐西克著, 俞昌铭译. 热传导. 高等教育出版社, 1984
- 9 中国建筑工业出版社主编. 采暖通风工程师常用规范选. 中国建筑工业出版社, 1994
- 10 叶歆编著. 建筑热环境. 清华大学出版社, 1996

(上接第36页)

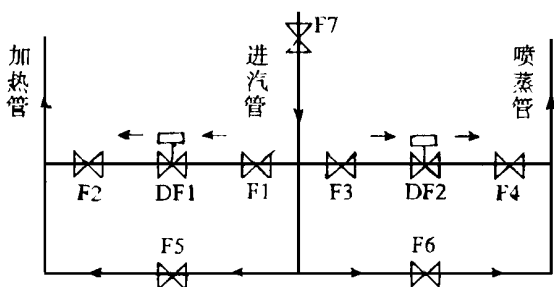


图8 喷蒸、加热调节阀位置

Fig. 8 The position of steaming and heating control valve
注: F1~F7—手动阀; DF1、DF2—电动执行器。

度可达到: 干球温度 $\pm 1^\circ\text{C}$, 湿球温度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 完全满足木材干燥工艺的要求。

3.2 整个控制系统采用单元集成的办法构成, 安装、调校较方便可靠, 维修简单。

3.3 用常规继电器电路, 将执行器动作与指示灯指示信号分开, 人工监控方便。

3.4 由于系统有一组电源开关, 将控制器的主要功能部件分别供电, 其特点是: (1) 供电电源互不干扰, 调试维修方便; (2) 可将时间控制单元按需要投入或退出在线运行, 调节效果较好。

3.5 用电子智能控制单元的报警功能控制时间单元的工作区间, 只有在保温保湿的干燥阶段, 时间单元才能工作, 进行时间比例调节, 其通断周期可人工设定, 减少了被控对象因热惰性大而引起的波动。

4 参考文献

- 1 成俊卿主编. 木材学. 中国林业出版社, 1985
- 2 朱政贤主编. 木材干燥. 中国林业出版社, 1994 3
- 3 南京林产工业学院主编. 木材干燥. 中国林业出版社, 1981
- 4 何伟仁主编. 传感器新技术. 中国计量出版社, 1992
- 5 中国林学会木材工业分会论文集(14). 第六次全国木材干燥学术讨论会论文集, 1997. 12
- 6 中国林学会木材工业分会论文集(6). 木材干燥学术讨论会论文集. 林产工业编辑部, 1991. 1