

定向刨花板挠度与蠕变试验

卢晓宁* 易庠华 张增彪 王泉中

摘要 采用正交异性的挠度方程计算四边简支定向刨花板的中心点挠度,并在实验基础上对此进行验证,从而得到满足实际生产的定向刨花板挠度值计算公式;并对6 mm、10 mm定向刨花板进行蠕变测试,找出持荷时间与挠度之间关系,进一步分析终挠度值与初挠度值之比、静曲强度和弹性模量损失量。

关键词 定向刨花板;挠度;蠕变

Analysis on Deflection and Creepage of OSB

Lu Xiaoning Yi Xianghua Zhang Zengbiao Wang Quanzhong
(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037)

Abstract In this paper deflection and creepage of oriented strand board (OSB) with new theoretic method analyzed. The board center deflection could be calculated with orthotropic plate models with modification of testing results so that it could be applied to OSB production. Meanwhile, creepage testing of the OSB with thickness of 6 mm and 10 mm was carried out and the relationship between the deflection and creepage was developed. The ratios of end deflection to initial one, the loss of MOR, and the loss of MOE were further analyzed.

Keywords Oriented strand board(OSB); Deflection; Creepage

由于定向刨花板的生产工艺特点,其某些力学性能与普通刨花板有所不同。普通刨花板一般以面内各向同性板(准各向同性)分析其力学性质,然而那些公式基本上不能适用于定向刨花板的挠度计算。为此本研究目的之一,试图根据定向刨花板生产特点,采用正交异性的公式计算,在此基础上进行实验修正。蠕变是结构材料必须考虑的特性,蠕变可以引起预应力OSB结构的应力损失,蠕变亦可以增加板的挠度,尤其是结构用材,如地板、长期承重面、书架等,因而产生不利的影响。Kollmann^[1]分析了普通刨花板长期持荷的蠕变情况和持荷后板的静曲强度损失率,指出在长期持荷下(超过6个月)刨花板静曲强度将损失40%~50%。目的之二,通过试验发现OSB板的蠕变性质,验证是否可用普通刨花板蠕变性质决定OSB板的性质,如静曲强度、弹性模量损失率、长期持荷下挠度增长比率。

试验材料来源于南京木器厂,板的名义厚度6 mm、10 mm,幅面1 300 mm×7 500 mm,原料为意大

利速生杨。挠度和蠕变测试仪自制(见图1)。

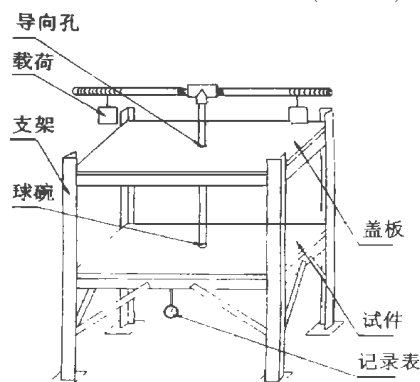


图1 挠度与蠕变测试仪

Fig. 1 Device for deflection and creepage testing

1 基本理论

对于正交异性材料,任意负载为 q 矩形薄板的挠度一般微分方程是^[2]:

$$D_x \frac{\partial^4 k}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 k}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 k}{\partial y^4} = q \quad \cdots \quad (1)$$

$$\text{其中: } \frac{\partial^4 k}{\partial x^4} = b m \lambda_n^4 \sin \lambda_n x \sin T_n y \quad \cdots \quad (2)$$

$$\frac{\partial^4 k}{\partial y^4} = b_{mn} T_n^4 \sin \lambda_m x \sin T_n y \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\partial^4 k}{\partial x^2 \partial y^2} = b_{mn} \left(2 T_n^2 \lambda_m^2 \right) \sin \lambda_m x \sin T_n y \dots\dots\dots (4)$$

经计算得: $b_{mn} = \frac{a_{mn}}{D_x \lambda_m^4 + 2 H \lambda_m^2 T_n^2 + D_y T_n^4} \dots\dots\dots (5)$

式中: $\lambda_m = \frac{m\pi}{L}$; L 为板的长度; $T_n = \frac{n\pi}{S}$; S 为板的宽度。

对于任意载荷 $q(x, y) = \sum \sum a_{mn} \sin \lambda_m x \sin T_n y$
当载荷为方块载荷时,

$$a_{mn} = \frac{16P}{\pi^2 m n u v} \sin \frac{n\pi Y}{L} \sin \frac{m\pi Z}{S} \sin \frac{n\pi u}{2L} \sin \frac{m\pi v}{2S} \dots\dots\dots (6)$$

式中: u, v 为方块的长、宽; Y, Z 为方块中心至板边的距离。

当均布载荷时, $a_{mn} = \frac{16q}{\pi^2 m n} \dots\dots\dots (7)$

当集中载荷时, $a_{mn} = \frac{4P}{SL} \sin \frac{n\pi Y}{L} \sin \frac{m\pi Z}{S} \dots\dots\dots (8)$

由于本研究着重于集中载荷在四边简支中心点的挠度,故挠度方程:

$$k = \frac{S^4}{\pi^4 D_y} \sum_m \sum_n \frac{\frac{4P}{SL} \sin^2 \frac{n\pi}{2} \sin^2 \frac{m\pi}{2}}{\left[(U/T)^2 (S/L)^4 m^4 + m^2 n^2 (S/L)^2 U + n^4 \right]} \dots\dots\dots (9)$$

当板为正方形时,即 $S = L = a$ 时,

$$k = \frac{Pa^2}{\pi^4 D_y} \sum_m \sum_n \frac{\sin^2 \frac{n\pi}{2} \sin^2 \frac{m\pi}{2}}{\left[(U/T)^2 m^4 + m^2 n^2 2U + n^4 \right]} \dots\dots\dots (10)$$

其中: a —板的尺寸; $(U/T)^2 = E_x/E_y$; P —集中载荷; $D_y = \frac{E_y t^3}{12(1-\nu_{xy})}$; $U = \frac{H}{D_y}$; $D_x = \frac{E_x t^3}{12(1-\nu_{xy})}$;
 $D_{xy} = \frac{G_{xy} t^3}{12}$; $2H = 4D_{xy} + \nu_y D_x + \nu_x D_y$

这里设 x 为 OSB 纵向方向, y 为 OSB 垂直纵向方向, t 为板厚度, E_x, E_y, G_{xy} 分别为平行于定向方向弹性模量, 垂直于定向方向弹性模量, xy 平面内剪切模量

1.1 U值的测试与计算

$$\begin{aligned} \text{因 } U &= \frac{H}{D_y} = \frac{2D_{xy}}{D_y} + \frac{D_x}{2D_y} + \frac{x}{2} \\ &= \frac{2G_{xy}}{E_y} + \frac{E_x}{2E_y} + \frac{x}{2} \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

表 1 6 mm 板基本常量测定

Tab. 1 Basic mechanical constants of OSB with thickness of 6 mm

E_x/E_y	1.50	2.00	2.50
ν_x	0.73	0.84	0.901
ν_y	0.491	0.431	0.42
$E_{1(45)}$	$0.85E_x$	$0.65E_x$	$0.55E_x$

表 1 为不同 E_x/E_y 值对应的 $\nu_x, \nu_y, E_{1(45)}$ 值, $E_{1(45)}$ 为 45° 方向的弹性模量。

对于正交异性板^[3]

$$\frac{1}{G_{xy}} = \frac{4}{E_{1(45)}} - \frac{1}{E_y} - \frac{1-2\nu_x}{E_x} \dots\dots\dots (12)$$

为便于查找,将 E_x/E_y 与 U 值作一曲线 (见图

2) 注意当 $E_x/E_y = 1$ 时, $U \approx 1$

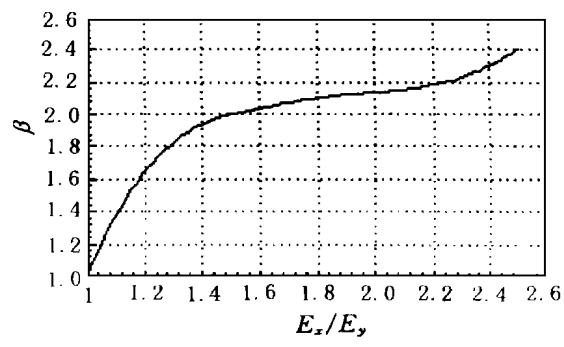


图 2 E_x/E_y 与 β 值的关系

Fig. 2 Relation between E_x/E_y and β

1.2 系数值 k_0 的确定

一般挠度方程又可以写成

$$\begin{aligned} k &= \frac{48(1-\nu_{xy})Pa^2}{\pi^4 E_y t^3} \sum_m \sum_n \frac{\sin^2 \frac{n\pi}{2} \sin^2 \frac{m\pi}{2}}{\frac{E_x}{E_y} m^4 + m^2 n^2 2U + n^4} \\ &= \frac{Pa^2}{E_y t^3} k_0 \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

当 $E_x/E_y = 1.5$ 时, $U = 2.0$

$$k_0 = \frac{48(1-\nu_{xy})}{\pi^4} \sum_m \sum_n \frac{\sin^2 \frac{n\pi}{2} \sin^2 \frac{m\pi}{2}}{1.5m^4 + m^2 n^2 4.0 + n^4} \quad (m = 1, 3, 5 \dots \dots \quad n = 1, 3, 5 \dots \dots)$$

该式收敛较快,一般取前 4 项足以保证精度。故得

$$k_0 = 0.054$$

为以后计算方便,将 k_0 与 E_x/E_y 比值绘入图 3

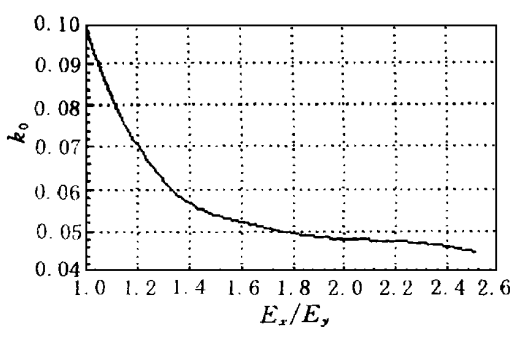


图 3 k_0 与 E_x/E_y 值的关系

Fig. 3 Relation between k_0 and E_x/E_y

2 试验验证

实测 1 定向刨花板厚度 $t = 6.09 \text{ mm}$, 荷载 $P = 95.3 \text{ N}$, $E_x = 2930 \text{ N/mm}^2$, $E_y = 1665 \text{ N/mm}^2$, $d = 0.71 \text{ g/cm}^3$, $a = 470 \text{ mm}$, $\omega' = 2.53 \text{ mm}$ (实测挠度)

因 $E_x/E_y = 2930/1665 = 1.76$, 取 $k_0 = 0.0504$

$$\text{故 } k = 0.0504 \frac{95.3 \times 470^2}{1665 \times 6.09^3} = 2.81 \text{ mm}$$

$$\text{相对误差 } \frac{2.81 - 2.53}{2.81} \times 100\% = 9.96\%$$

可见, 对 6 mm 板而言, 方程符合实际值。

实测 2 定向刨花板厚度 $t = 10.10 \text{ mm}$, 荷载 $P = 95.3 \text{ N}$, $E_x = 5170 \text{ N/mm}^2$, $E_y = 2009.6 \text{ N/mm}^2$, $d = 0.75 \text{ g/cm}^3$, $a = 470 \text{ mm}$, $k' = 1.47 \text{ mm}$ (实测挠度)

因 $E_x/E_y = 5170/2009.6 = 2.57$, 取 $k_0 = 0.044$

$$\text{故 } k = 0.044 \frac{95.3 \times 470^2}{2009.6 \times 10.10^3} = 0.447 \text{ mm}$$

公式计算与实际测量相差很大

其原因是 OSB 制造工艺所致。随着板的厚度增加, 断面密度梯度显著加大, 而方程中的 E_y 应该是垂直于定向方向的抗拉弹性模量, 当 $\text{grad} d \approx 0$, $E_{y\text{拉}} \approx E_{y\text{弯}}$, $E_{y\text{拉}} \approx E_{x\text{弯}}$; 而 $\text{grad} d \neq 0$, 尤其 $d_{\text{表}} > d_{\text{芯}}$ 时, $E_{y\text{拉}} < E_{y\text{弯}}$ 和 $E_{x\text{拉}} < E_{x\text{弯}}$, 但考虑到公式实际应用和定向刨花板标准中目前仅用抗弯强度和抗弯弹性模量来衡量板的性能, 在此仍以抗弯特性代替抗拉特性, 并采用 k_1 系数进行厚度修正。考虑到断面梯度为主要因素, 且又是二次曲线关系, 令 $k_1 = at^2 + bt + c$, 经实验回归分析得

$$k_1 = -0.026t^2 + 0.95t - 3.71 \quad (\text{无量纲})$$

修正公式为 $k = k_0 k_1 \frac{Pa^2}{E_y t^3} \dots \dots \dots (14)$

其中: $k_1 = -0.026t^2 + 0.95t - 3.71$ ($6 \leq t \leq 15$)

值得注意的是, 从理论上分析, 在板的中心点, 正交异性板的挠度要小于各向同性板的挠度。这是由于在各向同性板中 $E_x = E_y$, $u = v$, $U/E = 1$, $U = 1$, 一般 ≤ 0.5 , 而正交异性板单向铺装材料的 u 值可以大于 0.5^[3], 这里取 $u = 0.5$, 及 $k = 0.1 \frac{Pa^2}{Et^3} = k'_0 \frac{Pa^2}{Et^3}$

这也说明了由于 OSB 薄板具有正交异性, 故其挠度在同样条件下, 比普通刨花板中心的挠度小。

修正公式的验证

实测 3 定向刨花板厚度 $t = 7.01 \text{ mm}$, 荷载 $P = 95.3 \text{ N}$, $E_x = 2808 \text{ N/mm}^2$, $E_y = 1584 \text{ N/mm}^2$, $d = 0.72 \text{ g/cm}^3$, $a = 470 \text{ mm}$, $k' = 2.81 \text{ mm}$ (实测挠度)

因 $E_x/E_y \approx 1.8$, 取 $k_0 = 0.05$, 则计算得 $k_1 = 1.67$, $k = 3.22 \text{ mm}$, 相对误差 12.80%

实测 4 定向刨花板厚度 $t = 10.12 \text{ mm}$, 荷载 $P =$

95.3 N , $E_x = 5152.5 \text{ N/mm}^2$, $E_y = 2312.4 \text{ N/mm}^2$, $d = 0.76 \text{ g/cm}^3$, $a = 470 \text{ mm}$, $k' = 1.45 \text{ mm}$ (实测挠度)

因 $E_x/E_y \approx 2.4$, 取 $k_0 = 0.046$, $k_1 = 3.18$, 则计算得 $k = 1.28 \text{ mm}$, 相对误差 = -12.83%

可见修正后的挠度公式其相对误差的绝对值要小于 15%。挠度公式没有直接和板的密度、含水率等工艺参数联系, 但实际 $E_y = f(MC, d)$, 这在以前的 OSB 论文中均有阐述^[4], 不在此讨论。

3 OSB 蠕变问题

一般在建立木质材料的蠕变模型时, 将木材作为弹塑性物质, 用粘弹性理论将一系列弹簧和粘壶串、并联, 从而计算出木质材料随着时间变化, 板子的应变改变方程。笔者从实际出发, 从试验中总结出 OSB 蠕变发展趋势, 得出经验数据, 为实际应用建立许用系数值

实测 5 定向刨花板厚度 $t = 10.12 \text{ mm}$, $E_{x_0} = 5152.5 \text{ N/mm}^2$, $E_{y_0} = 2312.4 \text{ N/mm}^2$, $MOR_{x_0} = 38.21 \text{ N/mm}^2$, $MOR_{y_0} = 18.7 \text{ N/mm}^2$, $\omega = 1.45 \text{ mm}$, 持荷 1000 h 后, $MOR_{x'} = 36.28 \text{ N/mm}^2$, $MOR_{y'} = 15.9 \text{ N/mm}^2$, $E_{x'} = 5196 \text{ N/mm}^2$, $E_{y'} = 1494 \text{ N/mm}^2$, $k = 3.77 \text{ mm}$ 其它条件: 温度 $14^\circ\text{C} \sim 23^\circ\text{C}$, 相对湿度 76% ~ 93%。持荷时间与挠度的关系见图 4

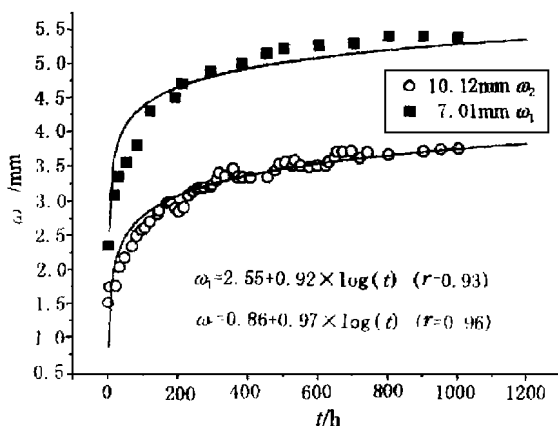


图 4 持荷时间与挠度的关系

Fig. 4 Relation between load holding time and deflection

从图 4 可知, 板的中心点挠度随着时间的变化呈对数关系, 这与普通刨花板是一致的^[1], 当 $t > 600 \text{ h}$ 时, 板的挠度变化值较小, 即 $\left. \frac{dk}{dt} \right|_{t=600} = \frac{0.42}{600} = 0.000702$, 如果以 1000 h 为计算单位, 最终值 k 与最初值 k_0 的比称为挠度变化率, 则 $k/k_0 = 3.77/1.45 = 2.6$, 与一般实验理论中最终值与最初值之比在 1~

(下转第 12 页)

使用要求

3) 本项研究对因素和水平的安排是根据实际生产提出的,从试验结果看,有较多的水平组合均可使产品质量达到国家标准规定的指标,表明本研究对因素和水平的安排是合理的

4) 根据试验结果对热压工艺各因素水平进行优选,最后确定热压工艺为:热压温度 $130^{\circ}\text{C} \sim 140^{\circ}\text{C}$ 、保压时间 $80\text{ s}/(\text{mm板厚})$ 、热压压力 3.5 MPa

5) 重复试验结果表明,产品各项质量指标均达到

国家标准的要求,证明经优选后确定的热压工艺是正确、可行的

4 参考文献

- 1 北京大学数学力学系.正交设计.北京:石油化学工业出版社,1976
- 2 中华人民共和国建筑工业行业标准, JG/G 3026-1995,竹胶合板模板
- 3 中华人民共和国国家标准, GB 13123~ 13124-91,竹编胶合板

(上接第8页)

3倍吻合。同时,在 OSB板内,时间和蠕变导致出现滑动和分离裂纹,板的弹性模量与静曲强度都有所降低,以持荷 $1\,000\text{ h}$ 以后计算:

$$\frac{E_x' - E_{x_0}}{E_{x_0}} \times 100\% = \frac{5\,196 - 5\,512.5}{5\,512.5} \times 100\% = -5.7\%$$

$$\frac{E_y' - E_{y_0}}{E_{y_0}} \times 100\% = \frac{1494 - 2312.4}{2\,312.4} \times 100\% = -35.3\%$$

平行方向的静曲强度损失为:

$$\frac{MOR_x' - MOR_{x_0}}{MOR_{x_0}} \times 100\% = \frac{36.28 - 38.21}{38.21} \times 100\% = -5.1\%$$

垂直方向的静曲强度损失为:

$$\frac{MOR_y' - MOR_{y_0}}{MOR_{y_0}} \times 100\% = \frac{15.9 - 18.7}{18.7} \times 100\% = -15.0\%$$

实测 6 定向刨花板厚度 $t = 7.01\text{ mm}$, $E_{x_0} = 2\,802\text{ N/mm}^2$, $E_{y_0} = 1\,584\text{ N/mm}^2$, $MOR_{x_0} = 18.7\text{ N/mm}^2$, $MOR_{y_0} = 13.20\text{ N/mm}^2$, $\omega_0 = 2.81\text{ mm}$ 持荷 $1\,000\text{ h}$ 后, $MOR_x' = 17.4\text{ N/mm}^2$, $MOR_y' = 11.72\text{ N/mm}^2$, $E_x' = 2\,450\text{ N/mm}^2$, $E_y' = 1\,157\text{ N/mm}^2$, $\omega = 5.41\text{ mm}$ 用相同的方法可以计算出:平行方向的静曲强度损失为 -6.93% ;垂直方向的静曲强度损失为 -15.0% 。

比较实测 5 和实测 6 可以发现,薄型 OSB 板的挠度相对变化值比厚板小,这也说明在同样条件下,正交异性的挠度相对变化值要比各向异性板小,这是因为薄板在持荷 $1\,000\text{ h}$ 后, E_y 损失率要小,对于薄板而言考虑到蠕变性能,长期持荷后的挠度是原先的 2 倍,而厚板则是 2.5~ 3 倍

4 结论

1) 薄型 OSB 板 (6 mm 以下) 与正交异性板的性能接近,随着厚度增加,由于加工工艺特点,薄 OSB 板的相对挠度变化值要小于厚 OSB 板,比同样条件下的普通刨花板更小

2) 对于四边简支,正方形 OSB 板的中心挠度公式为 $k = k_0 k_1 \frac{Pa^2}{E_y t^3}$,其中 k_0 与 E_x/E_y 有关,而 $k_1 = -0.026 t^2 + 0.95 t - 3.71$,其计算误差小于 15% 。

3) OSB 板的蠕变趋向与普通刨花板相同,持荷 $1\,000\text{ h}$ 后,最终变形与瞬时弹性之比:薄板为 2.0 ,厚板为 $2.5 \sim 3.0$

4) 随着持荷时间的延长,OSB 的静曲强度和弹性模量下降,其中垂直于定向方向的静曲强度和弹性模量损失较大,当持荷时间为 $1\,000\text{ h}$ 后 MOR_y 损失率为 $11\% \sim 15\%$,而 E_y 损失达 $27\% \sim 35\%$,薄板比厚板损失率小

5) 在同样条件下,在理论上四边简支,正方形定向刨花板的挠度要小于普通刨花板,长期持荷以后的情况也是如此,不过随着板厚度的增加,两者间的差距逐渐减小

5 参考文献

- 1 Kollmann F F P, Kuenzi E W and Stamm A J. Principles of Wood Science and Technology, II Wood Based Materials. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1975. 437~ 442
- 2 Heins C P. Applied Plate Theory for the Engineer. USA, 1976, 89 ~ 102
- 3 王秉权,刘锡礼.复合材料力学.北京:建筑出版社,1983. 60~ 78
- 4 华毓坤等编.定向刨花板研究.林业部科学技术委员会,林业部科技情报中心,1993. 120~ 131, 137~ 138