

竹模板湿变形特性的初步研究

陈家琰 蔡光汀 刘承瑞

(北京建筑工程学院 北京市 100044)

摘要 本文研究了在使用竹模板浇成的混凝土结构产生严重变形的原因,是由于竹模板吸收了现浇混凝土的水分所造成。进一步测定了竹模板的相对吸水率对其静曲强度和弹性模量的显著影响,并给出了计算公式,供在竹模板的间距支撑设计和使用时参考。

关键词 竹质人造板;混凝土模板;吸水率;湿变形

1 前言

竹模板以其节约木材,便于施工等优点在建筑业正被逐步推广使用。然而,在应用过程中出现了一些值得引起重视的问题,否则将会影响竹模板的使用效果。如,某工程队使用竹材胶合板做立墙侧模板,按常规使用木模板的间距支撑龙骨,结果,打混凝土后出现严重的变形,最大变形处达 100 mm 以上;另一工程队使用竹编胶合板模板做顶板支模,按模板生产厂提供的产品静曲强度和弹性模量计算出支撑龙骨的间距,也发生了波浪状变形,最大变形达 40 mm 左右。究其原因,是由于竹模板吸收了现浇混凝土的水分造成。为此,研究了在现场使用中的吸水率对竹模板静曲强度和弹性模量的影响,并给出计算公式。以期对竹模板的推广使用有所帮助。

2 试件制作与试验方法

选用上述两例中所使用的模板为试验材料。一种是三层结构竹胶合板浙江省德清县莫干山竹胶合板厂生产。该板芯条厚度约 3 mm,芯条之间排列紧密,两面覆有薄竹编面层。板尺寸为 2 400 mm× 1 200 mm× 12 mm,另一种为多层结构竹编板,无表面防水层,四川梓潼热压建材厂生产,板尺寸为 2 000 mm× 1 000 mm× 12 mm 各取一整板按纵向和横向各锯成 250 mm× 100 mm× 12

mm 的小板若干块,随机取任意同向的 6 块为一组。另设对照组。浸水方法是把每块板的一个面平放在铺有湿毛巾的浅盘中。浸水时间参考混凝土的初 终凝时间定为 2 4 6 12 h,每个时间各一组,另加竹材板旧板一组,共取竹材胶合板 10 组,竹编胶合板 6 组。然后按刨花板国家标准 GB 4903-85 的方法,测定模板的静曲强度和弹性模量。试验水温与环境温度均为 20℃ 左右,以浸水面为受压面,分别测定各组每块试件每产生 1 mm 挠曲变形 Y 时与最后破坏时的压力 P (N)。变形从 1 mm 开始,最大测到 10 mm 止。同时测量每块板的宽度 b 与厚度 h (mm) 后按以下公式计算达到某一挠度时板内所受的弯曲应力和最终的静曲强度 e (MPa),

$$e = \frac{3PL}{2bh^2}$$

其中 L 为支座距离 = 200 mm

求弹性模量 E 是先按压力 P 与变形 Y 的记录值绘制每块板的压力-挠度曲线,确定曲线的斜率 $\frac{P}{Y}$,然后再按下式计算,

$$E = \frac{L^3}{4bh^3} \cdot \frac{P}{Y} \text{ (MPa)}$$

试件的相对吸水率按以下公式计算,

$$w = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \times 100\%$$

式中 Q_1 与 Q_2 分别为试件浸水前后的重量。

3 试验结果与分析

3.1 测试结果

为避免工地现场锯制试样时尺寸偏差大和试件本身厚度差异给测试数据带来的误差,载荷一律折算成静曲强度或弯曲应力表示。所取数据均为每组试件的平均值,若全组

试件少于 3 件,则该组数据即舍去,共舍去 2 组,其余 14 组试件的平均值列于表 1

3.2 建立静曲强度、弹性模量与吸水率之间的回归方程

表 1 测试结果

试件组 名称	变形为 1~10 mm 时板内弯曲应力 (MPa)										吸水率 (%)	弹性模量 (MPa)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
竹材板对照组(纵)	11.7	24.2	36.5	48.8	57.7	65.9	71.4	74.4			0	6 851.9
竹材板浸水 2h 组	9.9	21.3	31.2	40.8	48.9	56.5	62.9	67.0			2.43	6 204.2
竹材板浸水 4h 组	10.2	21.0	31.3	40.6	48.1	54.8	60.9	65.2	66.9		5.68	6 044.9
竹材板浸水 6h 组	9.5	20.4	30.8	40.1	47.9	53.7	59.2	61.9	64.3	65.3	6.50	5 856.6
竹材板浸水 12h 组	9.9	20.5	30.7	39.5	46.9	53.4	58.0	61.6	62.4	62.4	7.15	5 597.7
竹材板对照组(横)	7.8	16.2	24.0	30.3	37.0	42.1	44.5				0	4 607.3
竹材板浸水 2h 组(横)	4.2	8.8	13.0	15.9							4.95	2 045.5
竹材板旧板组(纵)	8.6	18.2	26.7	33.0	38.0						0	4 342.1
竹编板对照组(纵)	8.6	21.6	34.4	45.3	54.1	59.8	64.4	65.2			0	6 976.4
竹编板浸水 2h 组	7.1	18.9	30.8	41.4	49.1	54.9	57.2	58.1			4.27	6 331.6
竹编板浸水 4h 组	6.5	17.7	29.9	41.0	48.4	52.4	54.8	55.5			5.37	6 076.7
竹编板浸水 6h 组	6.1	16.6	26.5	34.8	41.1	45.9	48.8	50.8	51.5	51.8	7.06	5 685.9
竹编板浸水 12h 组	4.2	11.4	20.3	27.2	32.3	35.5	39.3	43.8	47.9	48.6	8.15	5 115.8
竹编板对照组(横)	9.4	23.0	36.0	45.9	53.3	56.6	59.7				0	7 075.0

从上述 16 组试验数据中取纵向竹编胶合板和纵向竹材胶合板各 5 组(浸水 2 4 6 12 h 和对照组),每组 6 个试件,所测得的 30 个数据建立竹模板静曲强度、弹性模量与吸水率之间的一元回归方程:

$$E_{\text{竹材}} = 73.9 - 2.0w \text{ (MPa)}$$
$$r = 0.54$$

$$E_{\text{竹材}} = 6\,750.5 - 164.9w \text{ (MPa)}$$
$$r = 0.76$$

$$E_{\text{竹编}} = 65.9 - 2.4w \text{ (MPa)}$$
$$r = 0.77$$

$$E_{\text{竹编}} = 7\,191.2 - 274.2w \text{ (MPa)}$$
$$r = 0.72$$

3.3 结果分析

为便于分析,取一些典型试件数据,以图表示关系如下:

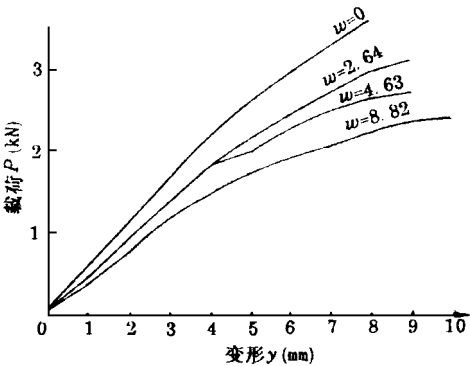


图 1 纵向竹材胶合板载荷、变形与吸水率的关系

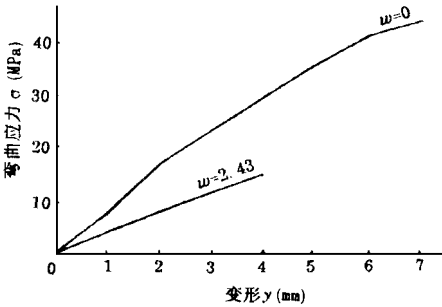


图 2 横向竹材胶合板弯曲应力、变形与吸水率的关系

3.3.1 从表 1 及图 1 2 3 5 中可以看出无论是竹材胶合板,还是竹编胶合板,也无论是纵向还是横向,凡浸水后,其承载能力均比不浸水板低,挠曲变形增加。当模板挠曲变形在 4 mm 之内时,还基本呈弹性变形,而挠曲变形达 8 mm 以后时,载荷增加很少,变形却迅速发展,特别在 9 mm 以后继续变形时,载荷几乎不变。不浸水的板变形最大能达 8 mm 就呈脆断,而浸水的板则呈塑断。其吸水率越大,此现象越明显,很多块试件做到 10 mm 时还未破坏。这就找出了用竹模板产生大于 100 mm 以上挠曲变形的原因。换句话说,只要竹模板达到一定的吸水率,在一定的载荷

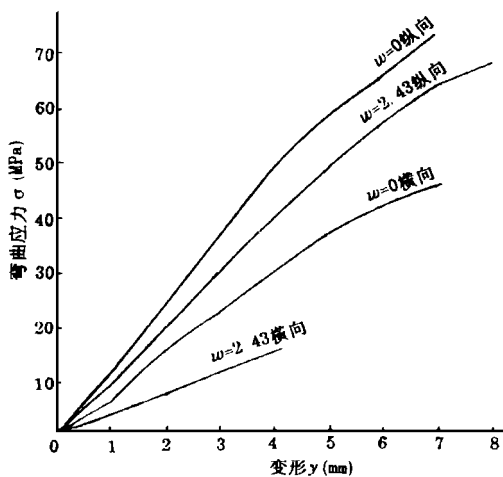


图3 竹材胶合板弯曲应力、变形和吸水率关系之比较

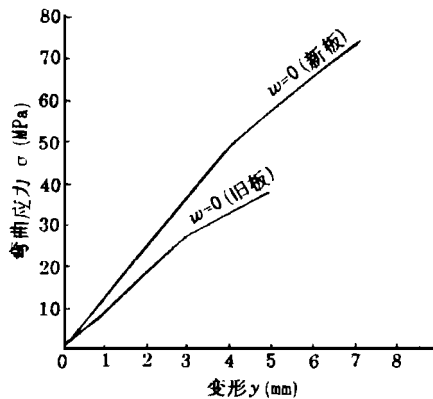


图4 新旧纵向竹材胶合板的弯曲应力、变形和吸水率关系之比较

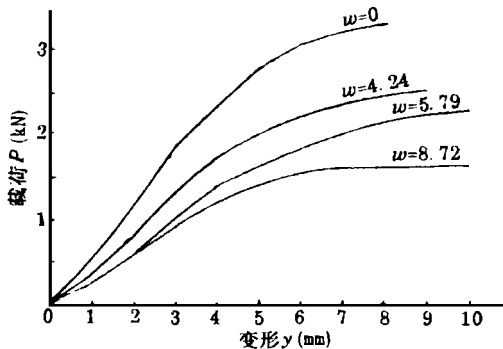


图5 纵向竹编胶合板载荷、变形和吸水率关系之比较

下,其挠曲变形的发展与停止完全由现浇混凝土的凝固状态所决定。

3.3.2 从图1图5中可以看出,随试件吸水率的增加,其承载能力相应下降。四个回归方程也证明了竹模板的相对吸水率是造成其静曲强度和弹性模量下降的主要因素。由于竹材胶合板芯板条较宽(20 mm),板条较厚(3 mm),虽然板条之间空隙较大(3~4 mm),浸水时,水首先充满空隙,然后再缓慢地被竹条吸收,所测得的吸水率对板的静曲强度和弹性模量的影响就相对小些。而竹编胶合板由于竹篾较薄(小于1 mm),水分容易浸入竹材内,吸水率对其静曲强度和弹性模量的影响就比较显著。当吸水率达到8%时,比不浸水板的静曲强度和弹性模量要下降1/3。这就是造成按常态下竹编胶合板的静曲强度和弹性模量值计算支撑,变形满足要求,而在实际使用中却又产生严重变形的原因。

3.3.3 从图3看,竹材胶合板纵向与横向所具有的静曲强度值相差较大。浸水后,板的横向静曲强度值比纵向静曲强度值下降幅度更大。浸水后竹材胶合板的静曲强度值仅为不浸水的1/5左右。而有些施工单位却往往习惯按模板的纵向加龙骨支撑,这又是易造成模板严重变形的原因之一。竹编胶合板纵向和横向静曲强度值无大的差别(表1),施工单位可以根据工程需要加龙骨支撑。

3.3.4 从图4中可以看出,使用过几次的旧模板静曲强度比新模板静曲强度有较明显的降低。故使用旧模板时,更要加强支撑。

3.4 计算验证

例:某现浇钢筋混凝土楼盖的平板模板设计。

3.4.1 条件 现浇混凝土楼板厚120 mm,采用上述竹编胶合板作模板,实测容重 13 kN/m^3 ,现浇混凝土时竹编模板的吸水率为8%。沿竹编模板纵向分为四等跨支撑,计算跨度为500 mm。

3.4.2 荷载统计 取板宽1 m计。

① 荷载标准值 g_k (引自 GB 50204- 92 附录 1)

g_k = 竹编模板重 0. 156+ 新浇钢筋混
凝土重 3. 012= 3. 168 kN /m

施工人员及设备荷载

均布荷载 q_k = 2. 5 $\times$ 1= 2. 5 kN /m

集中荷载 P_k = 2. 5 kN

② 荷载设计值 竹编模板及新浇钢筋混
凝土荷载设计值

g = 1. 2 g_k = 1. 2 $\times$ 3. 168= 3. 802 kN /m

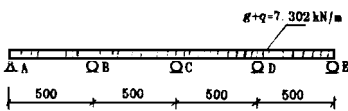
施工人员及设备荷载设计值

均布荷载 q = 1. 4 q_k = 3. 5 kN /m

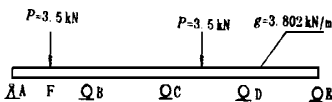
集中荷载 p = 1. 4 p_k = 3. 5 kN

3. 4. 3 承载力计算

① 内力计算 当施工人员及设备荷载为
均布荷载时, B支座弯矩最大(建筑设计手
册), M_B = 0. 107 $\times$ 7. 302 $\times$ (0. 5)²= 0. 195
kN $^{\circ}$ m;



当施工人员及设备荷载为集中荷载时由



于活荷不利布置, F点(边跨中)弯矩最大,查
建筑设计手册,得 M_F = 0. 077 $\times$ 3. 802 $\times$
(0. 5)²+ 0. 2 $\times$ 3. 5 $\times$ 0. 5= 0. 441 kN $^{\circ}$ m

由以上比较可知,当集中荷载时弯矩最
大,故设计时取 M_{max} = 0. 441 kN $^{\circ}$ m

② 正截面承载力计算(略)

3. 4. 4 变形验算 仅考虑由于竹编模板及
新浇的钢筋混凝土荷载为标准值作用下产生
的变形。挠度允许值对于结构表面外露情况
取 $L/400$,即为 500/400= 1. 25 mm 按回归
公式,当不考虑模板吸水率时, E_0 = 7. 19 $\times$
 10^3 N/mm²;当考虑模板吸水率时 E_s =
7191. 2- 274. 2 w = 7 191. 2- 2 193. 6=
4 997. 6 $\approx$ 5. 0 $\times$ 10^3 N/mm²

① 当不考虑竹编模板吸水率时

$$f_{max} = 0. 632 \times \frac{g_k L^4}{100 E_0 I} = 0. 632 \times \frac{3. 168 \times (500)^4}{100 \times 7. 19 \times 10^3 \times \frac{1}{12} \times 10^3 \times (12)^3} = 1. 208 \text{ mm} < [f_{max}] = 1. 25 \text{ mm} (\text{满足要求})$$

② 当考虑竹编模板相对吸水率时

$$f_{max} = 0. 632 \times \frac{g_k L^4}{100 E_s I} = 0. 632 \times \frac{3. 168 \times (500)^4}{100 \times 5. 0 \times 10^3 \times \frac{1}{12} \times 10^3 \times (12)^3} = 1. 738 \text{ mm} > [f_{max}] = 1. 25 \text{ mm} (\text{不满足要求})$$

3. 4. 5 分析 由计算得知,当不考虑模板吸
水率时模板变形满足要求,而考虑到模板吸
水率时,模板的变形就不能满足规范要求。因
此,必须重新设计支撑间距,才能保证竹模板
的变形满足要求。

4 结论

本试验因条件所限,所得计算公式不一
定适于所有竹模板 但竹模板因吸收现浇混
凝土中的水分造成模板本身静曲强度和弹性
模量的显著降低是肯定的 而且,在实际施工
过程中,混凝土中的水分带有强碱性,可软化
竹材,故下降值可能更大 为克服上述缺点,
竹模板的生产厂家与使用单位应共同努力做
好下列工作:

① 生产厂家要注意改进工艺,提高竹模
板的防水功能;使用单位要选用带防水覆盖
层的、不易吸水的竹模板;

② 有条件的使用单位在使用竹模板前可
以先进行模拟吸水率的测定,然后按上述公
式计算竹模板使用时实际弹性模量值,再
以此来计算支撑间距,做到有效支撑;

③ 可采用主龙骨与快拆次龙骨相结合的
办法加强支撑,既快捷又节省材料。

④ 避免采用纵向龙骨支撑纵横向静曲强
度差别较大的竹模板

(下转第 33页)

生产 1 m³ 胶合板节约木材约 0.24 m³。按平均原木价格 650 元 /m³ 计算每生产 1 m³ 胶合板节约木材成本 156 元。具体计算如下:

① 加工工资 加工 33 cm 长度的小单板,因组坯生产较麻烦,收效不高,因此目前没使用。按照厂内价格,把长度大于或等于 49 cm 小于 65 cm 的小单板加工成 49 cm 长的矩形板,厚 1.25 mm 单板的加工工资为 21 元 /m³;厚 2.25mm 的为 19.6 元 /m³;把长度大于或等于 65 cm 小于 98 cm 的碎单板加工成 65 cm 长的矩形板的加工工资,厚 1.25 mm 的为 18.6 元 /m³;厚 2.25 mm 的为 17 元 /m³。按生产 1 m³ 胶合板有 0.12 m³ 短窄小单板加工成规格板,以 1.25 mm 厚的最高费用计,其工资费用≤ 21 元 /m³。

② 组坯(排板)工资增加额 在组坯时,把长度为 49 cm 和 65 cm 的小单板,拼接成 3'× 6'幅面的芯板,按照厂内价格,拼排一层,价格上浮 37.3 元 /m³,拼排二层,上浮 62.2 元 /m³。

③ 干燥费用 根据厂内测算,包括水、电、蒸汽、操作工工资、管理人员工资在内,本厂 1.25 mm 厚的短窄小单板干燥费用为 144 元 /m³。

故加工和拼接短窄小单板费用总额≤ 21

+ 62.2+ 144= 227.2 元 /m³。

由于每生产 1 m³ 胶合板,有短窄小单板 0.12 m³,加工总费用≤ 0.12× 227.2= 27.3 元。因此,以年产 5 000 m³ 混凝土模板用胶合板计,可节约木材 0.24× 5 000= 1200 m³,计 78 万元。减去窄小单板加工费用 13.65 万元,实际降低成本费用约 64.4 万元。

5 结论

① 混凝土模板用胶合板生产中,部分芯层采用顺纤维方向组合的新组坯工艺,可以充分利用短窄小单板,提高木材利用率 3% 以上。

② 混凝土模板用胶合板组坯时,部分芯层利用窄短小单板涂胶后,再按照长度方向拼排,充分利用小单板的长度,避免了长板短锯,又缓解了生产混凝土模板用胶合板过程中小芯板的不足。

③ 用新组坯法生产的松木混凝土模板用胶合板的胶合强度与静曲强度均达到国家专业标准 ZB B 70006- 88 规定的指标值。

④ 采用图 1 所示的组坯工艺生产的混凝土模板用胶合板中,与表板纤维方向相同的各层单板厚度总和占板坯总厚度的 56.63% 和 54.43% ,均符合工艺要求。

(上接第 25 页)

A Preliminary Study on the Wet-deformation Properties of Bamboo-based Concrete Formwork

Chen Jialong Cai Guangting Liu Chengrui
(Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture 北京 100044)

Abstract The paper discussed concrete structure deformation produced when using bamboo-based formwork, occurred from the water absorbability of bamboo during concrete pouring and curing process. The effects of the relative absorptivity on static bending strength and elastic modulus of the formwork were also studied. Accordingly, a formula was given and could be used as reference when signing support of and using bamboo-based concrete formwork.

Keywords Bamboo-based panels; Concrete formwork; Water absorption; Wet-deformation