

圆竹的力学性能及影响因素研究

于金光, 郝际平, 田黎敏, 邓光睿

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 为了获得圆竹的主要力学性能及其影响因素, 完成了 6 组共计 51 个试件的试验研究, 获得了圆竹的抗压强度、环刚度以及抗弯强度等力学性能, 研究了含水率、竹节和取材单元对上述力学性能的影响。结果表明: 竹材顺纹抗压强度分别为弦向横纹和径向横纹抗压强度的 2.7 倍和 4.0 倍; 竹节的紧箍作用有效提高了圆竹的环刚度, 节部材较节间材提高 90%; 竹节对竹材的抗压强度具有一定的提高作用, 节部材较节间材提高 6.3%; 含水率对圆竹抗压强度和抗弯强度有较大影响, 但其影响趋势不同。圆竹的抗压强度随竹材含水率降低而增加, 含水率降低 40% 时抗压强度提高约 20%, 而其抗弯强度随竹材含水率的降低而降低, 在挠度相同的前提下, 抗弯强度下降约 20%。

关键词: 毛竹; 径向性能; 环刚度; 竹节; 含水率

中图分类号: TU366.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2018)01-0030-07

The study on the main influencing factors and mechanical properties of *phyllostachys pubescens*

YU Jinguang, HAO Jiping, TIAN Limin, DENG Guangrui

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, 710055, China)

Abstract: In order to obtain the main mechanical properties and influencing factors of the bamboo culms, this paper complete tests of 6 groups a total of 51 specimens, which result in the longitudinal compressive strength, radial compressive strength and chord compressive strength of bamboo sheets, radial compressive strength and bending moment of bamboo culms. And carry out the influencing research of moisture content and bamboo nodes. The results show that the longitudinal compressive strength of bamboo sheets is almost the 2.7 times of radial compressive strength of bamboo sheets, and almost the 4.0 times of chord compressive strength of bamboo sheets. The radial compressive strength of bamboo culms with nodes increases 90% than the without nodes. The longitudinal compressive strength of bamboo culms with nodes increases 6.3% than the without nodes. The longitudinal compressive strength of bamboo culms increases with the decrease of moisture content, which shows that moisture content decreases by 40% while the compressive strength increased by about 20%. The bending moment of bamboo culms decreases with the decrease of moisture content, which shows that moisture content decreases by 40% while the compressive strength decreased by about 20%.

Key words: bamboo culms; radial properties; mechanical properties; bamboo node; moisture content

力学性能是衡量结构用材质量的重要指标,也是结构设计的重要依据。竹材是一种重要的绿色资源,具有质量轻、强度高、抗震性能好、生长周期短等优点,在建筑行业的利用越来越广泛。而毛竹是我国最主要的建筑用竹种,深入了解毛竹的力学性能,对充分合理利用毛竹建造结构具有十分深远的意义。

现代竹结构中,使用毛竹圆竹(以下简称:圆竹)作为柱、梁等承重结构构件,竹材力学性能的研究多以毛竹竹片为研究对象,探讨了竹龄、取

材部位、种源等对竹材物理力学性能的影响^[1-5];关于圆竹材性也开展了相关研究,张丹等^[6]对于圆竹用于建筑领域的抗弯、抗剪和抗压等力学性能进行了相关研究,分析了圆竹在竹龄、取材部位的力学性能变异规律。文献^[7-9]试验获得了单圆竹轴心受压构件的稳定承载力。关于竹节对竹材力学性能的影响研究较少,仅邵卓平^[10]等针对毛竹竹节对竹片强度的影响进行了研究。在圆竹构件中,考虑竹节影响的相关研究成果较少,《建筑用竹材物理力学性能试验方法》(JG/T199-2007)^[11]

收稿日期: 2016-11-07

修改稿日期: 2017-12-12

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0703502); 陕西省创新产业链项目(2016KTZDSF04); 陕西省自然科学基金计划(2017JQ5064); 陕西省教育厅专项科研计划(17JK0438)

第一作者: 于金光(1985—),男,博士,副教授,主要从事钢及竹木结构基本理论的研究。E-mail: yjggordon@163.com

中没有相关的测试标准, 因此有必要开展圆竹力学性能的试验研究, 探讨竹节对圆竹力学性能的影响. 同时, 圆竹在实际应用中径向承受不同程度的载荷, 常出现径向压溃的现象. 因此本文开展了圆竹抗压、环刚度和抗弯性能的试验研究, 探究了取材单元、竹节和含水率等对上述主要力学性能的影响, 以期为圆竹的实际应用提供参考.

1 试验材料

试验研究对象为井冈山地区毛竹, 竹龄为 4~6 a 并且取材位置一致. 从不少于 100 株样竹中, 分散取 12 株成熟、无缺陷、胸径在 100 mm 以上的有代表性的样竹.

2 圆竹抗压性能研究

2.1 试件制备与加载制度

根据 ISO 22157-1: 2004(E)^[12] 和 ISO 22157-2: 2004(E)^[13] 的相关规定, 圆竹顺纹抗压试件尺寸规格为: $H\text{ mm}\times d\text{ mm}\times t\text{ mm}$, 其中 H 为圆竹长度, 取 200mm、 d 圆竹直径、 t 为竹壁厚度. 试件编号原则为: YY-圆竹有竹节试件; YW-圆竹无竹节试件; YH-圆竹无竹节低含水率试件, 共计 3 组, 每组 5 个试件, 编号 1~5.

试样的端面应与试件长度方向垂直且平整, 最大偏差为 0.2 mm. 测量试件每个端面的垂直方向的两个外径和四个相对位置的壁厚, 分别取其平均值计算试样的横截面面积. 试验装置与竹片试件加载装置相同, 试验以均匀速度加载, 按每分钟 80 N/mm² 均匀速度加荷, 直至试样破坏.

2.2 试验结果

节间材和节部材圆竹的顺纹抗压强度试验值如表 1 和表 2, 竹节对圆竹顺纹抗压强度的增强较为明显, 节部材的顺纹抗压强度较节间材提高约 6%, 节间材和节部材的最终典型破坏如图 1 所示.

试验结束后, 测定试件含水率, 除了含水率影响对比分析, 所有强度结果按 JG/T199-2007^[11] 转化含水率为 12% 时的强度, 以消除含水率差异对试验的影响, 计算方法如式(1)和式(2), 精确至 0.1N/mm²:

$$f_{c,12} = K_{f_{c,w}} f_{c,w} \tag{1}$$

$$K_{f_{c,w}} = \frac{1}{0.79 + 1.5e^{-0.16w}} \tag{2}$$

式中: $f_{c,12}$ 为含水率为 12% 时抗压强度, N/mm²; $K_{f_{c,w}}$ 为竹材抗压强度含水率修正系数; w 为试样含水率, %.

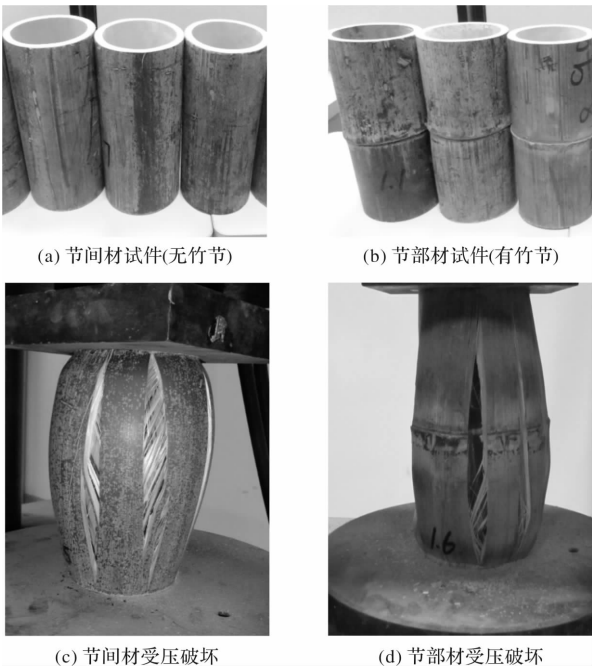


图 1 圆竹受压破坏形态

Fig. 1 The compressive failure of bamboo culms

表 1 圆竹有竹节顺纹抗压强度试验结果

Tab. 1 Test result of compressive strength of bamboo culms with node

试件 编号	破坏 荷载/N	含水率 /%	顺纹抗压强度/MPa	
			试验时	含水率 12%
YY1	116.56	40.12	53.0	66.8
YY2	131.15	40.28	52.6	66.4
YY3	127.90	47.66	53.0	67.1
YY4	89.81	77.81	41.2	52.2
YY5	85.00	76.53	39.8	50.4
平均值	110.08	56.48	47.9	60.6
标准差	21.47	19.14	6.1	7.6
变异系数	19.50%	33.88%	12.68%	12.57%

表 2 圆竹无竹节顺纹抗压强度试验结果

Tab. 2 Test result of compressive strength of bamboo culms without node

试件 编号	破坏 荷载/N	含水率 /%	顺纹抗压强度/MPa	
			试验时	含水率 12%
YW1	95.98	38.99	46.6	58.8
YW2	99.45	44.77	48.8	61.7
YW3	86.79	58.53	42.8	54.2
YW4	112.63	61.31	45.6	57.7
YW5	91.6	63.82	41.8	52.9
平均值	97.29	53.48	45.1	57.0
标准差	9.80	10.95	2.6	3.2
变异系数	10.08%	20.47%	5.65%	5.58%

2.3 含水率的影响

表 1 和表 2 中试件含水率在 38%~78%之间,含水率变化范围为 40%,试件抗压强度随含水率增加由减小趋势,为进一步验证含水率对圆竹抗压强度的影响,增加了节间材低含水率(11%~20%)试件,其抗压强度试验结果见表 3. 表 3 试验试件含水率在 38%~63%之间,圆竹抗压强度平均值为 45.1 N/mm²,表 3 试件含水率在 11%~20%之间,圆竹抗压强度平均值为 53.83 N/mm²,提高了近 20%,含水率的降低将显著提高圆竹的抗压强度. 通过对比表 2 和表 3,可以看出当换算成含水率 12%时,两者抗压强度平均值基本相等.

表 3 圆竹无竹节低含水率抗压强度试验结果

Tab. 3 Test result of compressive strength of bamboo culms without node and low moisture content

试件 编号	破坏荷 载/N	含水/%	抗压强度/MPa	
			试验时	含水率 12%
YH1	119.92	11.91	50.62	49.97
YH2	121.34	20.25	53.59	63.14
YH3	110.60	11.80	57.04	56.09
YH4	146.70	15.05	56.97	61.59
YH5	128.00	14.05	50.93	53.70
平均值	125.31	14.61	53.83	56.90
标准差	13.47	3.45	3.12	5.47
变异系数	10.75%	23.58%	5.79%	9.62%

2.4 试件单元的影响

为了研究取材单元的影响,制作了竹片单元作为对比试件,同时研究了基于竹片试件的各抗压性能的差异. 竹片抗压试件几何尺寸为: 15 mm×55 mm×*t* mm, *t* 为竹片壁厚. 试件尺寸如图 2

所示. 径向横纹抗压试件内外两侧应做打磨处理,以排除竹片弧度的影响. 试件编号原则为: Y-顺纹抗压强度试件; XY-弦向横纹抗压强度试件; JY-径向横纹抗压强度试件,共计 3 组,每组 5 个试件,编号 1~5.

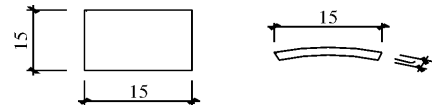


图 2 竹片抗压单元试件尺寸

Fig. 2 The sample size of compressive Strength of bamboo sheets

试验开始时,将试件放于抗压试验机的正中间,调节试验设备,使得试验设备与试件接触密实. 依据 JG/T199-2007 的规定要求,以均匀速度加载,按每分钟 80 N/mm² 均匀速度加荷,直至试样破坏.

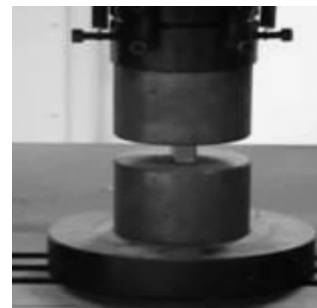


图 3 竹片顺纹抗压强度试验装置

Fig. 3 Test equipment for determination of the compressive strength of bamboo sheets

试验结果及分析:

以竹片为单元的毛竹各组试件的抗压强度力学性能测试结果如表 4 所示.

表 4 竹片抗压强度

Tab. 4 Compressive strength of bamboo sheets

指标	编号 Y1~Y5			编号 XY1~XY5			编号 JY1~JY5		
	顺纹抗压强度/MPa			弦向抗压强度/MPa			径向抗压强度/MPa		
	含水率	试验时	含水率 12%	含水率	试验时	含水率 12%	含水率	试验时	含水率 12%
平均值	46.97	46.2	58.40	5.31	31.25	21.83	5.40	20.70	14.55
标准差	3.54	2.0	2.5	0.14	1.29	1.00	0.98	1.00	1.34
变异系数/%	7.54	4.27	4.27	2.62	4.12	4.58	18.09	4.81	9.22

竹片的顺纹受压破坏如图 4(b)所示,破坏过程为竹黄部位先出现剪切破坏,随后竹青部位出现弯曲变形,导致竹青部位纤维撕裂出现错层现象. 竹片的弦向受压破坏如图 4(c)所示,破坏过程为竹黄部分先出现挤压破坏,随着荷载的增加

初始局部破坏裂纹不断扩大,从竹黄部位向竹青部位斜向延伸,最终整个试件出现剪切破坏. 竹片的径向受压破坏如图 4(d)所示,破坏过程为试件厚度方向压缩变形,竹材纤维间出现错层,竹黄部位的两端出现局部破坏. 以竹片为单元的毛

竹各类受压破坏均表现为竹黄部位破坏较为严重,主要原因在于竹材截面在径向上维管束分布不均匀,竹青至竹黄维管束呈明显的阶梯状,靠近竹黄处维管束稀疏,承载能力弱,容易被压溃。竹片的顺纹抗压强度为 58.40 N/mm^2 ,竹片的弦向抗压强度为 21.83 N/mm^2 ,竹片的径向抗压强度为 14.55 N/mm^2 ,竹材顺纹抗压强度约为弦向横纹抗压强度的 2.7 倍,约为径向横纹抗压强度的 4.0 倍。

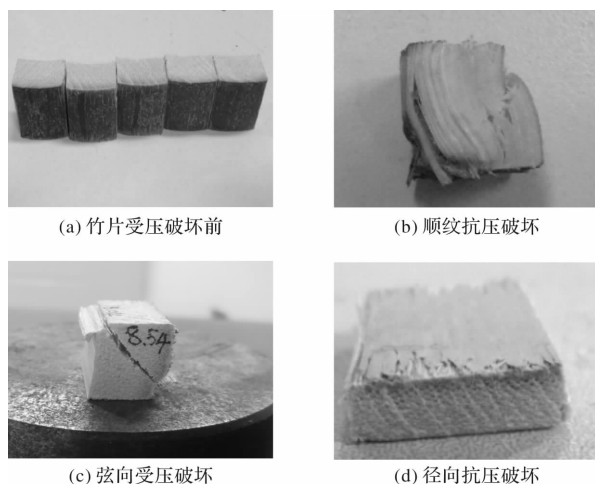


图4 竹片受压破坏形态

Fig. 4 The compressive failure of bamboo sheets

竹片和圆竹的顺纹抗压强度试验值对比结果如表 5。

表5 竹片与圆竹试样抗压强度结果比较

Tab. 5 The compressive strength between bamboo culms and bamboo sheets

试件组别	无竹节/MPa	有竹节/MPa	指标比
平均强度	58.40	57.0	1.025

由表 5 可见,不同的测试单元对毛竹顺纹抗压强度测试结果有一定影响,但不显著。以竹片为单元的毛竹纵向抗压强度略大于圆竹纵向抗压强度。主要原因在于竹片试件尺寸较小,测试时发生单纯的顺纹受压破坏,而圆竹试件不仅发生受压破坏,竹壁还发生了弯曲破坏,综合体现了材料和中空复合结构的破坏特征,因此测得圆竹的纵向抗压强度略小于竹片的纵向抗压强度。

3 圆竹的径向环刚度

3.1 试件制备与加载制度

环刚度是管状材料抗外压负载能力的综合参数。按 GB/T 9647-2003 的试验方法,将规定的管

材试样在两个平行板间垂直压缩,使管材直径方向变形达到试件内径的 3%。根据试验测定造成 3% 变形的力 F 计算环刚度,计算公式如式(3)。

$$S = (0.0186 + 0.025Y/d) \frac{F}{LY} \quad (3)$$

式中: F 为相对于管状材料内径 3% 变形时的力值, kN; L 为试样长度, m; Y 为变形量, m; d 为内径, m。

试件编号原则为: YH-有竹节环刚度试件; WH-无竹节环刚度试件, 共计 2 组, 每组 5 个试件, 编号 1~5。

3.2 圆竹径向环刚度试验过程及现象

无竹节环刚度试件首先会在与两加压面平行的直径方向出现裂缝,裂缝首先出现在竹青一侧,如图 5a,随着荷载增加,裂缝会逐步向竹黄一侧扩散,直至贯通整个竹壁,试件破坏。有竹节试验试件,首先节隔中部垂直于加载面的方向出现竖向裂缝,逐渐扩展到竹黄至竹青方向,同时,类似无竹节试件,在与两加压面平行的直径方向出现裂缝,裂缝先出现在竹青一侧逐步向竹黄一侧扩散,直至贯通整个竹壁,试件破坏如图 5(b)。



(a) 无竹节环刚度试件破坏形式



(b) 有竹节环刚度试件破坏形式

图5 环刚度试验现象

Fig. 5 The radical compressive failure of bamboo culms

3.3 试验结果分析

节间材和节部材圆竹的径向环刚度试验值如表 6 和表 7,竹节对其影响的对比结果如表 8。

表 6 圆竹无竹节环刚度试验结果

Tab. 6 The radial compression of bamboo-culm without node

试件编号	计算荷载/N	变形值/mm	含水率/%	环刚度/N/mm ²
WH1	1.37	2.11	10.08	126.24
WH2	1.53	2.25	13.16	132.47
WH3	0.78	1.14	10.40	130.94
WH4	1.13	2.08	14.55	104.95
WH5	1.19	1.99	12.92	115.69
平均值	1.20	1.91	12.22	122.06
标准差	0.28	0.44	1.92	11.60
变异系数/%	23.59	23.13	15.69	9.50

表 7 圆竹有竹节环刚度试验结果

Tab. 7 The radial compression of bamboo-culm with node

试件编号	计算荷载/N	变形/mm	含水率/%	环刚度/N/mm ²
YH1	2.61	2.58	26.69	196.59
YH2	2.54	2.24	16.83	218.19
YH3	2.62	2.07	10.44	243.54
YH4	2.69	2.19	11.29	238.32
YH5	2.40	1.74	14.11	265.17
平均值	2.57	2.16	15.87	232.36
标准差	0.11	0.30	6.55	26.06
变异系数/%	4.27	14.01	41.26	11.22

表 8 圆竹试样环刚度结果比较

Tab. 8 The radial compression of bamboo-culm with node or without node

试件组别	有竹节/MPa	无竹节/MPa	指标比
平均强度	232.36	122.06	1.904 : 1

由表可见,圆竹有竹节环刚度远大于圆竹无竹节环刚度,圆竹有竹节环刚度平均值超出圆竹无竹节环刚度平均值达 90%,这主要是因为竹节对圆竹有紧箍作用,限制了其横向变形,从而使得有竹节环刚度远远大于无竹节的环刚度.

4 圆竹抗弯性能强度

4.1 试件制备与加载制度

圆竹抗弯试验采用四点加载方式,位于试样跨中设置竖向位移计用来测量试样挠度.在试验

进行前,首先确定加载梁、支座以及圆竹处于同一竖直面内.为防止圆竹在试验时发生滚动现象,同时避免文献[6]圆竹抗弯试验的中空薄壁圆竹被压溃,制作如图 6 所示支撑座,加载支座和支撑座应尽量作用在竹节处.

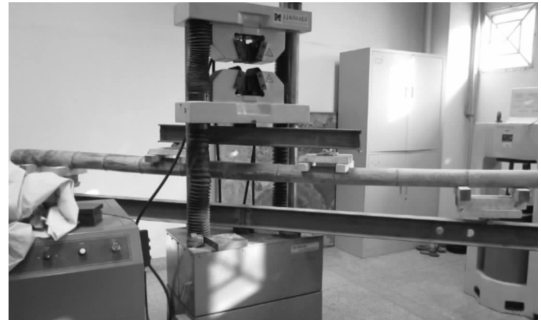


图 6 圆竹抗弯加载装置及试件

Fig. 6 Test equipment for determination of the bending strength of bamboo culms

试件编号原则为:KW-圆竹抗弯试件,试件含水率从顶部到底部为 40%~60%;KWH-圆竹抗弯低含水率试件,试件含水率从顶部到底部为 10%~30%,共计 2 组,每组 3 个试件,编号 1~3.

4.2 试验结果分析

在试验开始时,以匀速进行加载,KW 和 KWH 两组试件分别荷载加至约 10 kN 和 7 kN 时,达到试验设备最大量程 150 mm,跨中挠度达试件跨度的 1/20,试验结束,试件变形图如图 7 所示.由此可见,在实际工程中,当单圆竹作为受弯构件使用时,当采取竹壁压溃措施时,可根据正常使用极限状态要求控制设计.

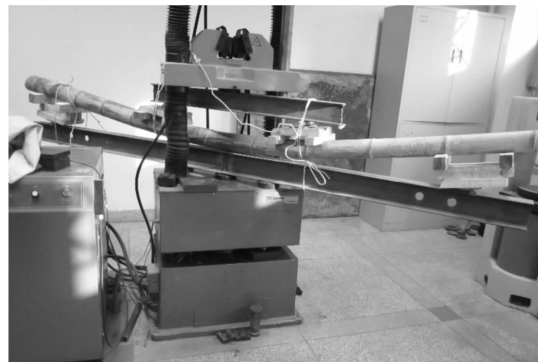


图 7 圆竹抗弯强度变形

Fig. 7 The bending failure of bamboo culms

4.3 影响因素分析

4.3.1 含水率的影响

KWH 组试件含水率从顶部到底部为 10%~30%,相比 KW 组的 60%已有大幅降低,但最终试件未破坏,但圆竹抗弯强度随着竹材含水率的

降低而降低, 在相同挠度的情况下圆竹抗弯承载力下降约 20%。

4.3.2 试件单元的影响

抗弯强度的测试采用两点对称加荷, 两个加荷点距离支座各 50 mm, 加荷点间距. 按每分钟 150 N/mm² 的均速加荷直至试样破坏, 记录破坏荷载. 试样的抗弯强度的计算公式如式(4)所示:

$$f_{m,w} = \frac{150P_{\max}}{th^2} \tag{4}$$

式中: $f_{m,w}$ 为含水率为 w 时顺纹抗弯强度, N/mm²; P_{\max} 破坏荷载, N; h 为试样高度, mm; t 为试样厚度, mm.

4.3.3 抗弯强度试验研究

抗弯试件加载及破坏形式如图 8 所示. 破坏形式为纤维的纵向撕裂和横向剪切破坏. 随着荷载增加, 试样的弯曲变形逐渐增大, 当弯曲变形达到极限变形时, 顺纹方向竹黄部分首先出现裂纹, 随着荷载的增加, 裂纹不断增大并且沿径向逐步向竹青部分延伸, 最终导致整个试样撕裂破坏.

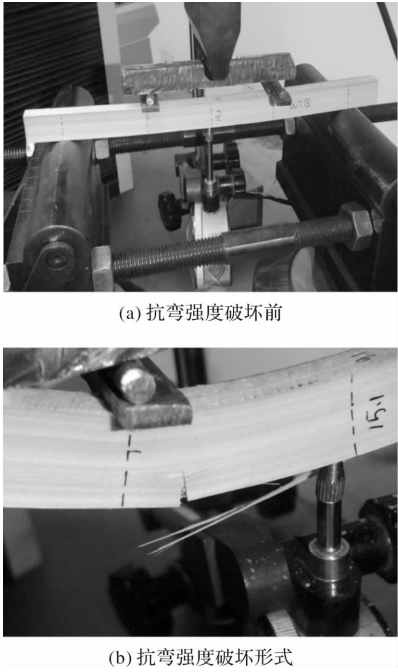


图 8 竹片抗弯强度试验现象

Fig. 8 The bending failure of bamboo sheets

试验结果及分析对比如表 9 所示, 以竹片为试验单元的毛竹平均抗弯强度为 108.60 N/mm².

由于圆竹抗弯强度试验未能获得最终破坏荷载, 故未能量化取材单元对抗弯强度的影响. 单圆竹作为受弯构件使用时, 具备很好的变形能力, 可根据正常使用极限状态要求控制设计.

表 9 竹片抗弯强度试验结果

Tab. 9 Bending strength of bamboo sheets

试样 编号	破坏荷 载/N	含水率 /%	抗弯强度/MPa	
			试验时	含水率 12%
W1	1439	41.08	120.2	123.75
W2	1102	38.59	94.2	96.99
W3	1394	41.78	100.8	103.78
W4	1203	36.77	105.6	108.75
W5	1073	39.61	106.3	109.51
平均值	1242.2	39.57	105.4	108.60
标准值	167.03	2.00	8.60	8.80
变异系数	13.45	5.05	8.12	8.12

5 结论

通过 31 个圆竹试样和 20 个竹片试样, 研究了毛竹的各项抗压、环刚度和抗弯性能, 获得以下结论:

(1)对比分析毛竹的各项抗压强度, 以竹片为试验单元, 其顺纹抗压强度最高, 约为弦向横纹抗压强度的 2.7 倍, 径向横纹抗压强度 4.0 倍; 对比取材单元的影响, 圆竹由于中空结构的影响, 发生的为轴压和竹壁弯曲的联合破坏, 承载力较竹片试样低, 实际设计时应予以注意.

(2)竹节的存在有利于圆竹环刚度和抗压强度. 竹节对圆竹的紧箍作用, 限制了其横向变形, 有竹节圆竹环刚度远大于无竹节圆竹环刚度, 平均值超出 90% 左右; 有竹节圆竹顺纹抗压强度较无竹节圆竹试件提高 6.3%.

(3)含水率对圆竹抗压强度和抗弯强度有较大影响, 但其影响趋势不同. 圆竹抗压强度随着竹材的含水率降低而增加, 含水率降低 20%~40%, 抗压强度提高约 20%, 随着含水率的降低, 在相同挠度情况下圆竹抗弯强度下降约 20%.

参考文献 References

[1] 刘亚迪, 桂仁意, 俞友明, 等. 毛竹不同种源竹材物理力学性质初步研究[J]. 竹子研究汇刊, 2008, 27(2): 48-52.
LIU Yadi, GUI Renyi, YU Youming, et al. Preliminary study on the physical and mechanical properties of different provenances of Moso Bamboo[J]. Journal of Bamboo Research, 2008, 27(2): 48-52.
[2] 马媛媛, 朱松松. 安吉毛竹主要力学性能的测定[J].

- 实验科学与技术, 2013, 11(4): 22-24.
- MA Yuanyuan, ZHU Songsong. Determination of the mechanical properties of Anji Moso Bamboo[J]. Experiment Science and Technology, 2013, 11(4): 22-24.
- [3] 司徒春南, 王健. 撑绿竹不同方向及年龄竹材物理力学性能比较[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(13): 2683-2684.
- SITU Chunnan, WANG Jian. Comparison on the physical property and mechanical strength of bambusa pervariabilis dendrocalamopsis grandis [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(13): 2683-2684.
- [4] 李霞镇. 毛竹材力学及破坏特性研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- LI Xiazhen. Research on mechanics and failure properties of moso bamboo[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2009.
- [5] AHMAD M, KAMKE F A. Analysis of calculate bamboo for structural composite materials; physical and mechanical properties [J]. Wood Science and Technology, 2005, 39(6): 1448-459.
- [6] 张丹, 王戈, 张文福, 等. 毛竹圆竹力学性能的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(7): 119-123.
- ZHANG Dan, WANG Ge, ZHANG Wenfu, et al. Mechanical properties of phyllostachys pubescens[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2012, 32(7): 119-123.
- [7] YU W K, CHUNG K F, CHAN S L. Axial buckling of bamboo columns in bamboo scaffolds[J]. Engineering Structures, 2005, 27(1): 61-73.
- [8] 孙永良, 何敏娟. “德中同行”竹结构展馆竹构件的试验及结构分析研究[J]. 特种结构, 2010, 27(3): 99-101.
- SUN Yongliang, HE Minjuan. Experiment and structure analysis of bamboo components of “German-Chinese Peer” bamboo structure pavilion [J]. Special Structure, 2010, 27(3): 99-101.
- [9] 王戈, 陈复明, 程海涛, 等. 圆竹双轴向压缩方法的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(5): 70-75.
- WANG Ge, CHEN Fuming, CHENG Haitao, et al. Study on methods of bamboo-culm compressed under biaxial loads. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2010, 30(5): 70-75.
- [10] 邵卓平, 黄盛霞, 吴福社, 等. 毛竹节间材与节部材的构造与强度差异研究[J]. 竹子研究汇刊, 2008, 27(1): 50-54.
- SHAO Zhuoping, HUANG Shengxia, WU Fushe, et al. A study of different structure and strength between internodes and nodes of moao bamboo[J]. Journal of Bamboo Research, 2008, 27(1): 50-54.
- [11] 中华人民共和国建设部. 建筑用竹材物理力学性质试验方法: JG/T 199-2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- Ministry of Construction P. R. China. Testing methods for physical and mechanical properties of bamboo used in building: JG/T199-2007 [S]. Beijing: Ministry of Construction P. R. China. 2007.
- [12] ISO. Bamboo-Determination of physical and mechanical properties-Part 1: Requirements: ISO 22157-1-2004 [S]. International Standards Organization, 2004.
- [13] ISO. Bamboo-Determination of physical and mechanical properties-Part 2: Laboratory: ISO 22157-2-2004 [S]. International Standards Organization, 2004.

(编辑 桂智刚)