

4年生冰冻雪压毛竹弯压材的力学性能^{*}

苏文会¹ 范少辉¹ 张文元¹ 周金明² 汪忠健²

(1. 国际竹藤网络中心 北京 100102; 2. 安徽省黄山市黄山区林业局 黄山 245706)

关键词: 毛竹; 弯压材; 力学性能; 冰雪灾害

中图分类号: S795; S781.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-7488(2009)09-0169-05

Wood Mechanical Properties of Bended *Phyllostachys edulis* for 4-Year-Old by Frost and Snow

Su Wenhui¹ Fan Shaohui¹ Zhang Wenyuan¹ Zhou Jiming² Wang Zhongjian²

(1. International Center for Bamboo and Rattan Beijing 100102; 2. Huangshan County Forest Bureau of Huangshan, Anhui Province Huangshan 245706)

Abstract: Compared with the undamaged *Phyllostachys edulis*, the wood mechanical properties of bended bamboo for 4-year-old by frost and snow were studied. It was shown that the wood mechanical properties of bended *Phyllostachys edulis* were equivalent to or a little less than those of the undamaged bamboo. The bending strength (MOR) of moderately bended bamboo and the modulus of elasticity in static bending (MOE) of heavily bended bamboo were 125.8 MPa and 10 978.9 MPa respectively in the culm base, and compared with those of undamaged *Phyllostachys edulis* wood, the differences were significant. However, the other mechanical properties including tensile strength parallel to grain, compressive strength parallel to grain and shearing strength parallel to grain etc. Between bended and undamaged bamboo wood, the difference were not significant. The study results could provide data supports for the proper ways of rational cutting, process and utilization of bended *Phyllostachys edulis* wood.

Key words: *Phyllostachys edulis*; bended bamboo wood; mechanical property; frost and snow disaster

毛竹(*Phyllostachys edulis*)是我国资源最丰富、利用范围最广、经济价值最大的优良竹种(江泽慧, 2002),广泛分布于浙江、安徽、江西、湖南和福建等省区。由于该竹秆形高大、枝叶繁茂,一直以来是风雪灾害影响较大的林种之一(肖本权, 2003)。2008年1月份,我国南方遭受历史罕见的雨雪冰冻灾害,波及范围正好为毛竹的主分布区,毛竹林受灾极其严重。据报道,全国受灾竹林400万hm²以上,其中80%为毛竹林(李潇晓, 2008)。

冰冻雪压导致大量弯曲和破裂竹,严重影响了竹材利用率和经济价值。笔者于2008年2月对安徽省黄山区的受灾毛竹林调查发现,弯曲、断裂和翻蔸等各类受损竹比例达45.8%,其中仅弯压竹就占22.5%(苏文会等, 2008)。因此,如何对灾后大量的受损竹进行合理处置和有效利用,直接关系到竹农的切身利益和竹林可持续经营,是救灾减灾措施的重要内容。从竹林的受灾类型看,弯压竹的比例最大,但从秆的外部形态看,未表现出受损,那么,该类

毛竹能否象健康竹一样出售和利用是灾后竹农和加工企业共同关注的问题。从目前毛竹的利用方式看,作为板材加工是高附加值利用的重要途径之一(张齐生等, 1999; 唐永裕, 1999)。一般说来,对灾后竹林,等天气回暖冰雪融化后,大部分弯压竹可慢慢恢复直立状态,秆形变异较小,但竹秆内部的力学强度是否改变,是否对其利用尤其是作为板材原料加工产生影响,目前尚不清楚;同时,根据目前生产上速生丰产林4年生以上毛竹基本砍伐利用,因此,本文选取4年生毛竹作为测试对象,对不同程度的冰雪弯压材的顺纹抗拉、顺纹抗压、抗弯、抗弯弹性模量及顺纹抗剪强度等力学性能进行测定与分析,旨在为灾后毛竹弯压材的合理采伐及有效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试材采集 采样地位于安徽省黄山区,是我国重要的毛竹产区,也是此次雪灾影响最严重

收稿日期: 2008-11-28。

基金项目: 国家“十一五”科技支撑(2006BAD24B0701),国家林业局中试项目(QT2005-34K)和推广项目([2005]85号)资助。

* 范少辉为通讯作者。

的地区之一。该区自 2008 年 1 月 13 日开始降雪, 前后间断性降雪时间达 23 天, 积雪厚度达 40 cm, 部分山地积雪厚度达 80 cm, 毛竹被雪压时间达 45 天以上。

2008 年 2 月 7—10 日, 在面积约为 20 hm² 的雪压毛竹林内, 通过实地调查, 将竹子分为健康竹、弯压竹和断裂竹等 4 大类 7 小类(苏文会等, 2008)。以健康竹作对照, 本文主要对雪压竹中的中度和重度弯压竹进行研究。分散选取健康竹(未受雪压损害)、中度弯压竹(竹秆严重弯曲, 梢头弯压接近地面 2 m 以下, 但无着地、无破裂)和重度弯压竹(冠梢严重下垂, 梢头埋入雪中, 竹秆弯曲成弓形, 但无破裂) 300 株进行分类挂牌标示。至本年度 3 月份天气回暖积雪融化弯曲毛竹基本恢复直立状态时, 从挂牌毛竹中随机选取年龄为 4 年生的健康竹、中度和重度弯压竹各 3 株, 齐地砍倒, 取胸径的 2/5 为用材小头直径(吴富桢, 1994), 在该秆径处砍断作为梢头去掉, 然后将竹秆 3 等分, 分别记为“基部”、“中部”和“梢部”。根据调查, “梢部”在靠近秆基即与“中部”连接的部位为雪压弯曲的核心区(定义为“中梢部”), 变形最大, 而“基部”跟竹鞭相连, 为支撑秆段, 竹株受雪压弯曲后, 支持并拉拽整个竹株, 亦受力较大, 因此, 选择中度、重度弯压竹的“基部”和“梢部”, 每部分自下(靠近竹基)向上截取约 1.5 m 长的竹段, 编号标记为“基部”和“中梢部”的测试样, 带回实验室, 同时以基本未受雪压影响的健康毛竹作为对照, 试材截取方法同上。各测试样竹情况见表 1。

1.2 试件制作及试验方法 为了保证各试件取自竹秆上相对一致的位置, 将待测试的各段竹筒剖开, 对称截取各力学性质的测试试材, 保留试材 2 个弦面竹青与竹黄的原状, 将各试材编号标记。

按照国家标准的要求制作各力学强度试件(中国标准出版社第一编辑室, 2002), 规格如下。顺纹

表 2 毛竹各力学性能测试试件数量

Tab.2 The tested sample numbers for wood mechanical properties of *Phyllostachys edulis*

种类 Species	部位 Parts	顺纹抗拉强度 Tensile strength parallel to grain(δ_t)	顺纹抗压强度 Compressive strength parallel to grain(δ_c)	试件数 Sample numbers	
				抗弯强度/弹性模量 Bending strength (MOR)/ modulus of elasticity in static bending (MOE)	顺纹抗剪强度 Shearing strength parallel to grain(δ_s)
健康竹 Undamaged	中梢部 Between middle and top	36	36	36	40
	基部 The base	36	36	36	40
中弯竹 Moderately bended	中梢部 Between middle and top	36	36	35	36
	基部 The base	36	36	35	36
重弯竹 Heavily bended	中梢部 Between middle and top	38	36	36	36
	基部 The base	38	36	36	36

表 1 毛竹力学性能试材情况

Tab.1 The tested *Phyllostachys edulis* conditions
for mechanical properties

种类 Species	样竹号 Sample No.	秆高 Culm height/m	胸径 DBH/cm
健康竹 Undamaged	1	16.3	9.1
	2	14.6	7.9
	3	16.8	9.76
	均值 Mean	15.9	8.92
中度弯压竹 Moderately bended	1	15.8	8.3
	2	17	9.1
	3	15.8	8.28
	均值 Mean	16.2	8.56
重度弯压竹 Heavily bended	1	14.9	6.9
	2	17.1	8.9
	3	14.5	10.84
	均值 Mean	15.5	8.88

抗压强度: 20 mm(纵向尺寸) × 20 mm(弦向尺寸) × t mm(竹壁厚), 尺寸释义下同; 抗弯强度和抗弯弹性模量: 160 mm × 10 mm × t mm; 顺纹抗拉和顺纹抗剪强度试件的制作规格详见“竹材物理力学性质试验方法”(中国标准出版社第一编辑室, 2002)。

各力学强度指标在微机控制电子式木材万能力学试验机(山东济南 MWD/50)上进行, 各类毛竹的每一测试部位的力学强度测试样本数为 35~40 个(表 2), 测定方法参照“竹材物理力学性质试验方法”(中国标准出版社第一编辑室, 2002)。

因为竹材含水率对其力学性质有较大影响, 按照国家标准的要求, 将力学强度的测试试件放入温度(20 ± 2) °C、相对湿度 65% ± 5% 条件下的恒温恒湿箱中, 调整试件含水率至 9% ~ 15% 时进行测定为有效值。

2 结果与分析

竹材的力学性能反映了其抵抗外界机械力作用

的能力,对竹材的生产应用有极重要的影响,主要包括抗拉强度、抗压强度、抗剪强度、抗弯强度及其弹性模量等指标。冰冻雪灾下的毛竹林,由于雪压,毛竹秆较长时间处于变形状态,其力学性能也受到了

一定程度的影响,大部分指标比健康竹的相应值有所下降,毛竹雪压后中度和重度弯压竹各力学强度指标见表3。

表3 毛竹弯压材的力学性能

Tab.3 The wood mechanical properties of the bended *Phyllostachys pubescens*

部位 Parts	顺纹抗拉强度 Tensile strength parallel to grain(δ_t)/ MPa			顺纹抗压强度 Compressive strength parallel to grain(δ_c)/ MPa			抗弯强度 Bending strength(MOR)/ MPa			
	健康竹 Undamaged	中弯竹 Moderately bended	重弯竹 Heavily bended	健康竹 Undamaged	中弯竹 Moderately bended	重弯竹 Heavily bended	健康竹 Undamaged	中弯竹 Moderately bended	重弯竹 Heavily bended	
	1	148.9	135.6	172.6	68.1	69.9	68.9	153.4	136.4	170.0
中梢部	1	148.9	135.6	172.6	68.1	69.9	68.9	153.4	136.4	170.0
Between middle and top	2	164.8	147.6	179.4	74.1	57.0	59.8	151.6	146.6	169.9
基部	3	181.6	146.5	150.9	77.7	60.2	63.5	170.5	143.0	148.0
The base	均值 Mean	165.1	143.3	167.6	73.3	62.3	64.1	158.5	142.0	162.6
	1	131.1	120.9	164.1	68.3	67.4	69.5	142.6	122.6	153.1
基部	2	153.1	133.7	156.5	73.5	56.5	67.1	149.9	133.0	149.0
The base	3	165.3	121.5	126.3	76.7	63.7	61.8	165.7	122.1	139.1
	均值 Mean	149.8	125.4	149.0	72.9	62.5	66.1	152.8	125.9	147.1
抗弯弹性模量 Modulus of elasticity in static bending(MOE)/MPa										
部位 Parts	健康竹 Undamaged			中弯竹 Moderately bended			重弯竹 Heavily bended			
中梢部	1	7 789.0	9 607.6	11 976.0	20.9	16.1	16.7			
Between middle and top	2	9 363.8	9 235.5	12 317.8	22.2	9.1	21.1			
基部	3	10 841.9	10 125.1	11 215.0	14.3	16.7	18.0			
The base	均值 Mean	9 331.6	9 656.1	11 836.3	19.1	13.9	18.6			
	1	8 553.0	6 881.1	11 124.2	15.8	11.7	15.2			
基部	2	8 194.3	8 539.2	11 922.7	22.3	12.8	13.3			
The base	3	9 186.8	7 345.7	9 889.7	17.6	16.7	17.1			
	均值 Mean	8 644.7	7 588.7	10 978.9	18.6	13.7	15.2			

2.1 中度弯压毛竹的力学性能 1) 中度弯压竹秆基部的力学强度及其变化 中度弯压竹是因雪压竹秆严重弯曲而未破裂,梢头弯压接近地面2 m以下的受灾类型。由表3可以看出,由于雪压的影响,同健康竹相比,中度弯曲毛竹的竹秆基部各力学强度基本上出现了不同程度的降低。从顺纹抗拉、抗压等5个力学指标看,抗弯和抗剪强度的下降程度最大,分别下降了17.6%和26.1%,抗拉和抗压次之,抗弯弹性模量的变化较小。通过方差分析发现,中度弯压毛竹秆基部的抗弯强度与健康毛竹的相应值差异显著,表明冰冻雪灾危害下,竹秆基部虽然没有直接受到雪压,但由于植株中上部在重压下弯曲变形,对毛竹秆基的内部应力产生了影响。

2) 中度弯压竹秆中梢部力学强度及其变化 竹秆部位对竹材力学强度有一定影响,从基部到梢部,由于密度等指标的变化,竹材力学强度也呈现出逐渐增大的趋势(周芳纯,1974; 张宏健等,1998; 杨云芳等,1998; 於琼花等,2004; 苏文会等,2006)。

冰雪灾害下,雪压弯曲毛竹秆部力学性能受到一定程度的影响,但同竹秆基部相比,中梢部各力学强度仍表现为增大的规律(表3)。同基部受雪压各力学强度值的变化规律相似,除抗弯弹性模量外,中度弯压竹中梢部的各力学性能比健康竹的相应值有所降低,可基本得出,冰雪灾害下,毛竹从基到梢均受到了一定的危害。从竹秆不同部位力学性能受雪压的影响程度看,中梢部所受影响比基部小,这可能与2个部位的受力方式不同及中梢部纤维束密度大、材质韧性好有关系。

2.2 重度弯压竹的力学性能 1) 重度弯压竹秆基部力学强度及其变化 重度弯压竹是因雪压竹秆严重弯曲,梢头埋入雪中但未破裂的受灾类型。从测试结果看,重度弯压竹秆基部的顺纹抗拉(149.0 MPa)、顺纹抗压(66.1 MPa)、顺纹抗弯(147.1 MPa)和抗剪强度(15.2 MPa)与健康竹的相应值基本相当,变异较小,可能与梢头接触地面对竹株起到支撑和稳定作用有关。其中,抗弯弹性模量(10 978.9

MPa)甚至比健康竹的相应值(8 644.7 MPa)要大。弹性模量是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标,其值越大,则使材料发生一定弹性变形的应力也越大,即在一定应力作用下,发生弹性变形越小。出现这一现象的原因可能是活体毛竹在长时间雪压的胁迫下,内部持续产生大小相等方向相反的对抗外力的应力,当雪化后竹秆恢复直立,其弹性模量值增大。

2) 重度弯压竹秆中梢部力学强度及其变化

冰冻雪压危害下,重度弯曲毛竹中梢部各力学性能的变化同竹秆基部的变化规律基本一致,除抗弯弹性模量外,其他4个力学指标对与对照大致相当或略有降低。从竹秆不同部位力学性能受雪压的影响程度看,重度弯压毛竹和中度弯压竹表现出的规律也基本一致,即中梢部所受影响比基部要小。

2.3 健康竹、中度、重度弯压竹力学性能的比较

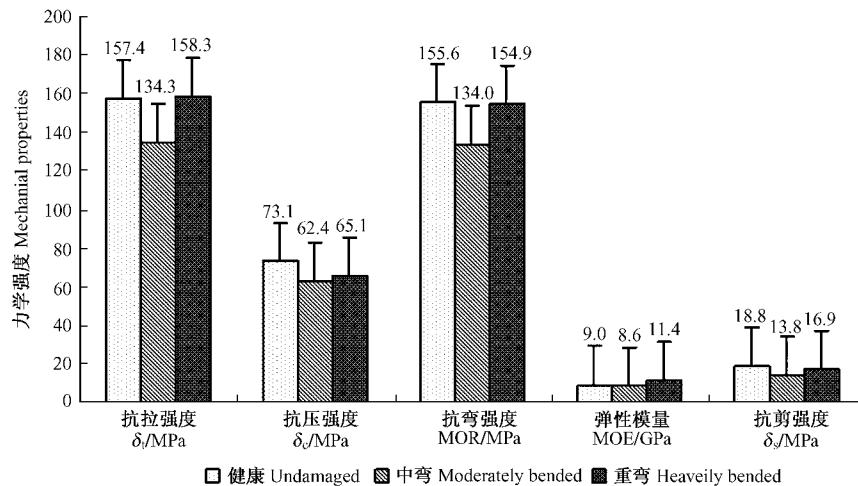


图1 健康竹与弯压竹的力学性能

Fig. 1 The mechanical properties of undamaged and bended *Phyllostachys edulis* wood

2.4 雪压对毛竹材力学性能影响的方差分析 为分析雨雪冰冻灾害下,雪压弯曲毛竹秆材力学性能的变异程度,评价雪压对毛竹材性的影响,为受灾弯压竹的合理有效利用提供理论,笔者运用统计分析学的方法(罗应婷等,2007),对健康竹与中度弯压竹、重度弯压竹的力学性能测试结果进行了T检验,分析结果见表4。可看出,对中度弯压竹,除抗弯强度在竹秆基部与健康竹差异显著外,其他4个力学指标在2个部位与健康竹均未表现出显著的差异性;对重度弯压竹,竹秆基部的抗弯弹性模量与健康竹有差异,其他部位的所有测试值亦未表现出显著差异性。

以未受到明显影响的健康竹为对照,通过对冰冻雪压损害下中度、重度弯压竹秆不同部位力学性能的分析可看出,除抗弯弹性模量等个别指标外,顺纹抗拉等力学性能基本上表现出了不同程度的下降趋势,说明长时间雪压对毛竹材性产生了一定的影响。但从2种不同程度弯压的毛竹材力学性能看,重度弯压材各力学强度更接近于健康材,比中度弯压竹的相应值要大(图1),其中重弯与中弯竹的抗弯弹性模量差异最大,前者为11 407.6 MPa,约比后者高出32.3%。出现这一现象的原因可能与受灾类型的界定有关系,重度弯压的毛竹竹梢被完全埋在雪中,虽然竹株弯曲率大,但梢头触地对植株反而起到一定支撑与稳固作用,减小了风等因子的协同破坏,从而降低对杆部的损害,而中度弯压的竹秆,由于竹梢附着大量冻雪,又无地面支撑,在风的作用下反复受力,导致竹秆变形损伤比重度弯压竹更重一些。

3 结论与讨论

冰冻雪压是毛竹林常见的受灾类型,可造成大量弯压竹,降低竹林生产力,影响竹材利用率和经济效益。以基本未受到雪压危害的健康毛竹作对照,发现中度弯压毛竹的秆部力学性能均有不同程度的下降,但除竹秆基部的抗弯强度外,顺纹抗拉强、顺纹抗压、顺纹抗剪和抗弯弹性模量等指标与健康竹的相应值均未表现出显著差异性;对重度弯压毛竹,秆材力学强度与对照竹的相应值基本相当或略有降低,无显著差异,而竹秆基部的抗弯弹性模量比健康竹大,并表现出显著的差异性。

这一研究结果为受灾竹林秆材的加工利用提供

表4 冰冻雪压对毛竹材力学性能影响的 T-test^①Tab.4 T-test of the effect of frost and snow disaster on the *Phyllostachys edulis* wood mechanical properties

力学性能 Mechanical properties	健康竹 - 中弯竹 Undamaged-moderately bended				健康竹 - 重弯竹 Undamaged-heavily bended			
	基部 The base		中梢部 Between middle and top		基部 The base		中梢部 Between middle and top	
	F	显著性 Sig.	F	显著性 Sig.	F	显著性 Sig.	F	显著性 Sig.
顺纹抗拉强度 Tensile strength parallel to grain(δ_t)	5.093	0.087	4.580	0.099	0.003	0.957	0.039	0.852
顺纹抗压强度 Compressive strength parallel to grain(δ_c)	6.536	0.063	5.278	0.083	4.020	0.115	5.752	0.074
抗弯强度 Bending strength(MOR)	12.184	0.025*	5.992	0.071	0.504	0.517	0.190	0.685
抗弯弹性模量 Modulus of elasticity in static bending(MOE)	3.399	0.139	0.125	0.742	12.557	0.024*	7.103	0.056
顺纹抗剪强度 Shearing strength parallel to grain(δ_s)	3.858	0.121	2.229	0.210	2.286	0.205	0.037	0.857

① * 差异显著 Significant difference.

了理论依据,从研究结论看,毛竹弯压材与正常材的力学强度大致相当,基本无差异,因此,竹材加工企业,尤其附加值较高的竹板材加工业完全可以以正常材的价格和工艺参数对弯压毛竹进行收购与加工。此举一方面可最低限度降低竹农的灾后损失,另一方面也可维持后灾后竹材加工企业稳定的原料供应,对我国林业救灾减灾和灾后重建工作的顺利开展也起到了一定的作用。

参 考 文 献

- 李潇晓.2008.雨雪冰冻灾后毛竹林恢复与重建技术.林业实用技术,(5): 17-18.
- 罗应婷,杨钰娟.2007.SPSS统计分析从基础到实践.北京:电子工业出版社.
- 苏文会,范少辉,张文元,等.2008.冰冻雪灾对黄山区毛竹林的损害及影响因子研究.林业科学,44(11): 42-49.
- 苏文会,顾小平,马灵飞,等.2006.大木竹竹材力学性质的研究.林业科学研究,19(5): 621-624.

唐永裕.1999.我国竹材加工工业的现状及发展.竹子研究汇刊,18(4): 5-10.

肖本权.2003.影响楠竹生产的气象灾害及其防御对策.湖北气象,(1): 26-28.

杨云芳,俞友明,方伟,等.1998.红壳竹竹材物理力学性质的研究.浙江林学院学报,15(2): 158-163.

於琼花,俞友明,金永明,等.2004.雷竹人工林竹材物理力学性质.浙江林学院学报,21(2): 130-133.

张宏健,杜凡,张福兴.1998.云南4种材用从生竹的主要物理力学性质.西南林学院学报,18(3): 189-193.

张齐生,孙丰文.1999.我国竹材工业化利用的几种途径.林业科技开发,(3): 13-14.

江泽慧.2002.世界竹藤.沈阳:辽宁科学技术出版社.

吴富桢.1994.测树学实习指南.北京:中国林业出版社,83-86.

中国标准出版社第一编辑室.2002.木材工业标准汇编.北京:中国标准出版社,207-228.

周芳纯.1974.竹林培育.北京:农业出版社.

(责任编辑 石红青)