

桉树枝丫材压缩特性的试验与分析

于航¹, 刘晋浩^{1, 2}

(1. 东北林业大学, 黑龙江哈尔滨 150040; 2. 北京林业大学, 北京 100083)

摘要: 林木枝丫材的压缩收集与运输, 对降低收集运输成本、提高运输装载率至关重要。为了对林木压缩收集装置的结构设计提供依据, 对桉树枝丫材进行压缩试验, 并建立压缩特性模型。结果表明: 随着压强的增大, 桉树枝丫材的压缩位移和压缩密度增加, 体积模量随之增大; 理论上最佳压缩密度为 169.349 kg/m^3 , 最佳压强为 0.012 MPa 。

关键词: 桉树枝丫材; 压缩特性; 模型; 压强; 位移; 密度; 体积模量

中图分类号: S781; S776 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2016) 03-0025-04

Compression Characteristics of Eucalyptus Branches

YU Hang¹, LIU Jin-hao^{1, 2}

(1. Northeast Forest University, Harbin 150040, Heilongjiang, China; 2. Beijing Forest University, Beijing 100083, China)

Abstract: The authors designed a tree branch collecting and conveying device and selected eucalyptus branches at 52.76% of moisture content and 10~40 mm in diameter to conduct a compression experiment using 50 mm/min compression speed and 50 kN for the highest loading force. They built three compression models to analyze the relationship among pressure, displacement, compression density and bulk modulus of the eucalyptus branches. They proposed that the optimum parameters were 169.349 kg/m^3 of compression density and 0.012 MPa of pressure so as to keep the branches with their original state and maintain their value for subsequent processing.

Key words: eucalyptus branch; compression characteristics; model; pressure; displacement; density; bulk modulus

桉树是联合国粮农组织推荐的三大速生造林树种(桉、松、杨)之一, 也是我国南方最重要的速生商品林树种之一, 具有耐干旱瘠薄、适应性广、种植容易、速生高产等特点, 被广泛用作人造板生产原料。桉树也是优良的能源树种, 每 kg 桉树木材

的燃烧, 能产生 $19.69 \sim 22.98 \text{ MJ}$ 热量, 具有较高的燃烧值^[1]。在当今能源短缺的情况下, 发展桉树生物质能源, 也是带动区域林业产业发展的途径之一^[2], 经济和社会意义重大。

在林区抚育采伐作业时, 会有大量剩余物产生, 由于堆积密度小、运输储存占用空间大、成本高, 严重制约了林区采伐加工剩余物资源的利用。实现经济便捷地收集及运输, 是林业生产作业中急需解决的关键技术问题。

压缩密度, 是林业生物质压缩装备的重要设计参数^[3]。压缩密度过低, 无法达到减少运输体积的目的, 且松散的枝桠材料亦存在安全隐患; 压缩密度

收稿日期: 2015-12-01; 修改日期: 2016-03-29

基金项目: 国家林业局“引进国际先进农业科学技术计划”(“948”计划)“车载式采伐剩余物打捆机关键技术引进”(2013-4-19); 中央高校博士研究生自主创新基金项目“基于林业生物质打捆机的能源材料压缩特性研究”(2572014AB24)。

作者简介: 于航(1982—), 女, 东北林业大学机电工程学院博士研究生。

责任作者: 刘晋浩, 男, 北京林业大学工学院教授。

过高,则能耗及作业成本增加。为了探究合理的压缩密度,笔者对桉树枝丫材在压缩过程中,各因素(压强,压缩位移,压缩密度,体积模量)之间的关系和规律进行了研究,并通过对数学模型的优化分析,确定最佳压缩密度及最佳压强值,为设计林木枝丫材收集运输压缩装置提供理论依据。

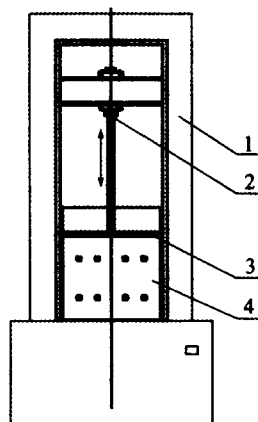
1 试验材料与方法

1.1 试验材料

桉树(*Eucalyptus* spp.)枝丫材,取自广西钦州,直径10~40 mm,含水率52.76%,用台式圆锯机锯成长度小于480 mm试材,试材的总质量为45 kg,初始密度为121.6 kg/m³。

1.2 主要装置

CMT系列电子万能试验机,压力范围0~50 kN。根据试验需要,专门设计并加工了压缩仓和压缩板,如图1所示。



1. 万能试验机 2. 压力传感器 3. 压缩板 4. 压缩仓

图1 压缩试验装置示意图

Fig.1 Diagram of equipment for compression test

压缩仓是由45号钢板焊接组成的长方体结构,内截面尺寸为400 mm×500 mm,高度为600 mm;在压缩仓四壁开有气孔,以便压缩时物料内部空气逸出;压缩板与压缩仓内壁留有2 mm的间隙,并在中心位置固定有与试验机压力传感器接触的压杆,以减少压缩板与压缩仓之间的摩擦,确保压缩过程的顺利进行。

1.3 试验方法

将桉树枝丫材随机排列填满压缩仓,初始高度等同于压缩仓高度600 mm。反复3次试验,经称量

可知,平均每次装入桉树枝丫的质量为14.5 kg。根据预试验结果,压缩速度对于压缩密度的影响比较小,故按常规设定压缩速度50 mm/min。试验机自动记录压缩力(F)随压缩位移(l')变化的数据,另存为Excel数据文件,并通过数理统计分析软件SPSS进行统计分析。

压缩力(F)、压缩位移(l')为试材压缩试验中实际测量值;压缩密度(ρ)通过每次载入试材质量与压缩过程中体积计算而得;体积模量(K)表示试材单位体积产生相对变化量时所需的压力增量,其值越大,则表明试材的可压缩性越低。

由于工程装置实际的压缩仓尺寸将远大于试验所用的压缩仓尺寸,故将试验中的压缩力(F)换算为压强 p (MPa)作为分析变量。

2 试验结果与分析

2.1 压强与压缩位移的关系

通过试验直接测得试材的自变量压缩力(F)与因变量压缩位移(l')的数据,换算得到压强(p)与压缩位移(l')的关系曲线,如图2所示。

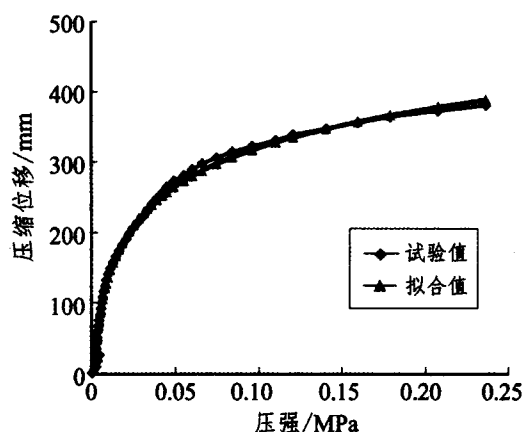


图2 桉树枝丫材压强与压缩位移的关系曲线

Fig.2 Relationship between pressure and compressing displacement of *Eucalyptus* branches

由图2可见,在压缩过程中,试材的压缩位移随压强的增加而变大。在初始阶段,压缩位移呈现迅速增加,且压强与压缩位移近似线性关系。该过程主要是以克服枝丫材之间空隙为主,用较小的压强即可获得较大的压缩位移。在达到一定位移量后,桉树枝丫材的压缩位移量增加趋缓,压强主要作用于桉树枝丫材内部孔隙空间的压缩。

应用软件 SPSS 分析, 在本试验条件下, 初始密度为 121.6 kg/m^3 的桉树枝丫材, 压强与压缩位移的拟合数学模型:

$$l' = 501.86 + 79.06 \ln(p), R^2 = 0.979.$$

2.2 压强与压缩密度的关系

根据密度公式: $\rho = m/sl = m/s(l_0 - l')$ (1)

式中: ρ —压缩过程中的压缩密度, m —试材质量, s —压缩面积, l —压缩过程的高度, l_0 —初始高度, l' —压缩位移。

经推导与计算, 得出初始密度为 121.6 kg/m^3 的桉树枝丫材, 在压缩过程中压强与压缩密度关系曲线, 如图 3 所示。

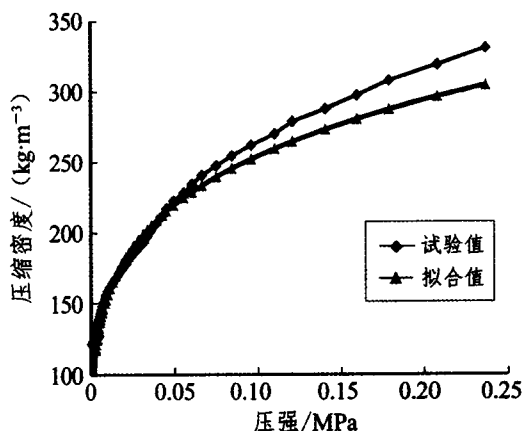


图3 桉树枝丫材压强与压缩密度的关系曲线

Fig.3 Relationship between pressure and compressing density of Eucalyptus branches

桉树枝丫材的压缩密度在初始阶段增加迅速, 达到某一值后, 增加速度变缓, 意味着需要更大的压强来进行压缩。

压强 (P) 与压缩密度 (ρ) 的拟合数学模型为:

$$\rho = 411.97 p^{0.21}, R^2 = 0.968.$$

2.3 压缩密度与体积模量的关系

在工程中, 常用体积模量 (K) 反映物料抵抗压缩能力的大小。 K 值越大, 说明物料越不易被压缩, 当 K 值 $\rightarrow \infty$ 时, 表示该物料绝对不可压缩。物料种类不同, 其 K 值也不同; 同一种物料的 K 值, 随体积和压强的变化而变化。

本试验中桉树枝丫材的体积模量 K 值, 由公式 2 计算。

$$K = -\frac{dp}{dv/v} = -\frac{d(F/s)}{d(sl)/sl} = \frac{(l_0 - l')}{s} dF/dl' \quad (2)$$

由此可知, 通过试验测得压缩力 (F) 随压缩量 (l') 变化的规律, 利用数值微分求出 dF/dl' , 即可计算求得 K 值。

桉树枝丫材的压缩密度与体积模量的关系, 如图 4 所示。

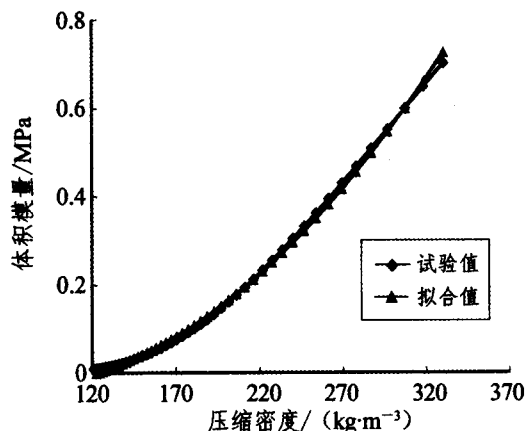


图4 桉树枝丫压缩密度与体积模量的关系曲线

Fig.4 Relationship between compressing density and bulk modulus of Eucalyptus branches

压缩密度 (ρ) 与体积模量 (K) 的拟合数学模型为:

$$K = 0.013 - 0.001\rho + 1.087 \times 10^{-5} \rho^2, R^2 = 0.998.$$

根据美国学者对于物料压缩的研究^[4], 压缩过程通常可划分为三个阶段。

第一阶段: 在较低的压强下, 物料之间进行重新排列从而达到体积上的缩小, 在该过程中虽然存在由于物料之间的摩擦力而导致的能耗, 但大多数物料都保留原有的物料特性;

第二阶段: 物料发生弹性和塑性变形;

第三阶段: 物料在非常大的压力作用下形成新的压缩密度, 在该过程中物料可能达到熔点。

由本试验结果分析可知, 桉树枝丫材压缩过程处于前两个阶段, 体积的减小来源于试材之间的重新排列和部分试材内部孔隙结构变化。试材的体积模量随压缩密度增加而变大, 即说明桉树枝丫材的可压缩性随压缩密度的加大而逐渐变差, 但压缩后的材料没有受到大的破坏和变形, 保持了原有的物理特性, 符合后续多种加工对物料形态的要求。

2.4 最佳压缩密度的确定

如图 4 所示, 初期阶段桉树枝丫材的体积模量

随压缩密度的增加而增加,而压缩密度大于某一点数值后,体积模量的增加速度明显变快,说明压缩密度与体积模量的曲线上存在拐点。压缩密度超过该点数值后,试材的可压缩性明显变差,即单位体积减少量所需的压缩力明显增加,理论上该点对应的密度值即为最佳压缩密度值,相应的压强值为最佳压强值。最佳压强值可为林木压缩装置的单位载荷提供设计参数。

根据《正和反的增量法》提出的理论,将曲率半径看作是过曲线上连续等间隔三点的圆的半径,半径最小的地方即为曲线最弯曲的地方^[5],本研究求解压缩密度与体积模量关系曲线中最弯曲的点。在试验数据曲线上依次取三点做一个圆,圆的半径记为 R_n ,则最小的 R_n 所对应的点(ρ_{n+1}, K_{n+1})即为曲线中最弯曲点,其中 ρ_{n+1} 所对应数值即为最佳密度值,再通过压强与压缩密度的拟合数学模型,可换算得出最佳压强值。

在本试验条件下,桉树枝丫材的压缩密度与体积模量曲线中的拐点为(169.349, 0.073)。当压缩位置对应的密度大于该点压缩密度值后,桉树枝丫材的压缩难度明显增加。因此,确定桉树枝丫材的最佳压缩密度值为169.349 kg/m³,最佳压强为0.012 MPa。通过压强与压缩位移拟合数学模型,得出对应压缩位移为172 mm,即达到最佳压缩密度的桉树枝丫材的体积压缩量为28.5%。

3 结论

1) 通过桉树枝丫材压缩特性的试验和理论分析,构建压强与压缩位移、压缩密度,压缩密度与体积模量的数学模型,根据所需压缩密度的数值,计算压缩装置的单位面积载荷,为林木枝丫材压缩装置的设计提供依据。

2) 通过对桉树枝丫材的压缩密度及体积模量的数学模型优化分析,在本试验条件下,桉树枝丫材的最佳压缩密度为169.349 kg/m³,压缩装置所提供的压缩力至少为0.012 MPa。在此条件下对应的体积压缩量为28.5%,压缩后物料可保持原有物理特性,以便进行后续的加工利用。

参考文献:

- [1] 林小珠,林成辉.开发桉树作为生物质能源的思考[J].可再生能源,2006(4):106-107.
- [2] 韩斐扬.桉树人工林能量结构特征与能源林品种选择[D].北京:中国林业科学研究院,2001.
- [3] PK Adapa, LG Tabil, GJ Schoenau, et al. Compression characteristics of fractionated alfalfa grinds[J]. Powder Handling and Processing, 2002, 14(2): 252-259.
- [4] LE Holman. The compaction behaviour of particulate materials: An Elucidation based on Percolation Theory[J]. Powder Technology, 1991, 66(3): 265-280.
- [5] Ian Bruce. Brook Taylor: Methodus incrementorum directa & inversa[M/OL]. [2016-04-05]. <http://17centurymaths.com/contents/taylorcontents.html>.

(责任编辑 向琴)

展 讯

2016 中国国际林业机械展

以“打造现代林业机械 促进生态文明建设”为主题的2016中国国际林业机械展览会,将于2016年10月20—22日在安徽省合肥市盛大启幕。

本届展会由中国林业机械协会主办、安徽中设国际会展有限公司承办。集中展示国内外先进的户外林业机械装备及技术,以促进林业机械上下游及产学研之间的交流与合作,加快推动我国林业机械装备现代化建设,更好服务于生态文明及林业现代化建设。

本届林业机械展的展出面积有望达到2.5万m²,将设立国际展区、营林机械、森林保护机械、园林

机械、园艺工具、其他户外林业机械、生物质能转化机械及木工机械和室外大规格机械等8个展区。届时将广泛邀请国内外林业机械采购商及客户,国有林区、国有林场、园林绿化等行业相关人士参加,力求为参展企业提供一个充分展示产品性能、优质服务、促进销售和技术交流的平台。

2016中国国际林业机械展览会同期,还将举办第4届全国林业机械发展论坛、园林机械经销商大会和中国林业机械协会相关分会的年会等多项丰富活动。

中国林业机械协会