

杉木积成材的平面密度分布特征

杜春贵¹, 张齐生¹, 刘志坤¹, 陈思果²

(1. 浙江林学院 工程学院, 浙江 临安 311300; 2. 艾伯特省研究院, 艾伯特 埃德蒙顿 T6N 1E4)

摘要: 为了研究杉木 *Cunninghamia lanceolata* 积成材的平面密度分布规律, 用计算机断层摄影技术 (CT) 对其平面密度的分布情况进行了无损检测。结果表明: CT 能非常直观、清楚揭示杉木积成材的平面密度分布规律; 杉木积成材表层和底层平面的密度较高, 而芯层平面的密度较低; 木束条各接头处的密度存在变异; 木束条尺寸的大小、接头的接合情况, 以及铺装的均匀程度等都对杉木积成材平面密度的分布有较大影响; 杉木积成材与定向刨花板、普通刨花板相比, 其表层平面的条状特征非常明显。图 5 参 17

关键词: 林业工程; 杉木积成材; 平面密度; 计算机断层摄影技术; 分布特征

中图分类号: S781.3; TS653.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)04-0455-06

Distribution characteristics of horizontal density of Chinese fir oriented laminated stick lumber (OLSL)

DU Chun-gui¹, ZHANG Qi-sheng¹, LIU Zhi-kun¹, CHEN Si-guo²

(1. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Alberta Research Council, Edmonton T6N 1E4, Alberta, Canada)

Abstract: In order to investigate the distribution rules of horizontal density in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) oriented laminated stick lumber (OLSL), non-destructive testing was performed by computed tomography (CT) detection. The results were as follows: (1) CT detection could vividly and intuitively reveal the distribution characteristics of vertical and horizontal density in Chinese fir OLSL. The densities in surface plane and bottom plane were higher than that in the central plane, and that densities varied significantly in each joint. (2) Size of wood sticks, combined state in each joint and degree of forming uniformity had great influence on the distribution characteristics of horizontal density in Chinese fir OLSL. Compared with oriented strand board(OSB) and particleboard, the characteristic of stick-shaped structure in Chinese fir OLSL was more obvious under CT detection. [Ch, 5 fig. 17 ref.]

Key words: forestry engineering; Chinese fir oriented laminated stick lumber; horizontal density; computed tomography (CT); distribution characteristics

针对当前杉木 *Cunninghamia lanceolata* 间伐材加工利用效率低, 木材利用率不高, 以及杉木制材板皮已聚集于各加工企业, 至今仍未能较好地加工利用等情况, 作者所在的项目组进行了杉木资源高效加工利用的新方法——采用梳解加法制造杉木积成材的系统研究^[1-4]。人造板的密度几乎与人造板的所有性能都密切相关, 它是决定人造板物理力学性能最主要的因素之一, 但因木材原料本身密度的差异、产品的不同结构及制造工艺等不同, 使人造板内部密度的分布必然存在一定的差异。人造板密

收稿日期: 2008-10-20; 修回日期: 2008-11-18

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y304029); “十五”浙江省科学技术重点项目(011102164); 科学技术部与浙江省农业科技成果转化资金项目(03EFN213300104; 2003D70078)

作者简介: 杜春贵, 副教授, 博士, 从事竹木材加工与人造板工艺等研究。E-mail: dcg9898@zjfc.edu.cn。通信作者: 张齐生, 教授, 中国工程院院士, 从事木材科学与技术研究。E-mail: zhangqs@njfu.com.cn

度的差异在纤维板、刨花板等非单板类木质人造板中表现得尤为突出,它既存在于板厚方向,又存在于板面方向。国内外学者对此进行了较多研究^[5-13]。目前,有关人造板厚度方向的剖面密度分布的研究较多,而板面方向的平面密度分布的研究则较少。杉木积成材作为一种新型人造板,研究其平面密度的分布特征的重要意义不言而喻。计算机断层摄影技术(computed tomography, CT)代表的是一种图像重建技术^[14],它与常规X射线体层摄影不同,它利用对人体进行三维的截面扫描成像,彻底解决了X射线所造成的人体内部组织的影像重叠问题,从而可以对过去不能诊断或难以诊断的血肿、水肿、梗塞和萎缩等进行诊断。因此CT自诞生至今,在医学诊断中一直占有重要地位^[15]。当前,国际上主要的工业化国家已把CT技术用于航空、航天、军事和机械等工业部门的无损检测与无损评价,故又称为工业CT,其基本原理与人们熟知的医用CT相似,所不同的是前者检测的对象是工件,而后者是人体^[16]。由于CT能在无损条件下对各类工业材料或产品,如:复杂铸件、火箭发动机、复合材料的密度分布等进行检测,最终以计算机数字化的断层图像形式显示被测物体的内部结构、材质组成及缺陷状况等情况,检测结果非常直观、清晰和准确,而且其应用几乎不受被检测对象结构和材质的限制,与一般无损检测技术(如超声和射线照相等)相比,综合性能指标最优,适应性最强,应用范围最广,因此,国际无损检测界把CT称为最佳的无损检测手段^[17]。目前,有关人造板密度分布的研究多采用锯割法、剖面密度仪检测法和模型法等方法^[9-13],而将CT技术应用于人造板密度分布的研究鲜有报道。故作者将用CT对杉木积成材的平面密度进行无损检测,以探讨其平面密度的分布规律,旨在为探索杉木积成材的最优生产工艺和提高其产品质量,为杉木积成材的工业化生产等提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

杉木制材板皮:采自浙江省德清县,为杉木间伐材的制材加工剩余物。

脲醛树脂胶(UF):购自浙江升华云峰新材料股份有限公司,固含量为 $570.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,黏度为 $0.175\text{ Pa}\cdot\text{s}$ ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$)。添加剂:固化剂为氯化铵(NH_4Cl),防水剂为熔融石蜡。

1.2 方 法

1.2.1 木束条制备 将杉木制材板皮在大型杉木梳解机上梳解加工成杉木木束条,并进行分选。将梳解机加工制得的中等厚度的木束条,用密封袋密封好后带回实验室,放置一段时间使其含水率基本均匀一致后,将木束条在干燥箱中干燥到含水率 $6\%\sim 8\%$,然后用密封袋密封保存,放置约1周,待其含水率均匀后,再取出制板进行试验。

1.2.2 杉木积成材压制 将干燥后的中等厚度的木束条,在自制的滚筒式拌胶机中施加调制好的脲醛树脂胶,木束条的施胶量为 8% 。调胶时加入脲醛树脂胶固体质量 1.0% 的氯化铵和绝干木束条质量 1.0% 的熔融石蜡。然后将施胶木束按顺纹方向,手工定向铺装于尺寸为 $400\text{ mm}\times 400\text{ mm}$ 的模框中制成板坯。在恒定的热压条件下,压制密度分别为 $0.6, 0.7$ 和 $0.8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,厚度为 16 mm 的杉木积成材。密度大时采用较大的压力,厚度用厚度规控制。

1.2.3 CT检测 用加拿大艾伯特省研究院(Alberta Research Council)的Toshiba Scanner TSX-101A型,64 Slice Helical CT机,分别对密度为 $0.6, 0.7$ 和 $0.8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的杉木积成材进行扫描,检测不同密度的杉木积成材在板面断面(冠状断层C)的密度分布情况,检测方向如图1所示。此外,用CT对定向刨花板、普通刨花板的板面进行扫描,对比分析杉木积成材的平面密度分布特征。本次试验在加拿大艾伯特省研究院完成。

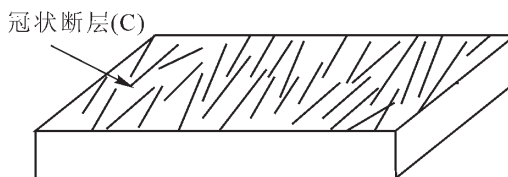


图1 CT检测杉木积成材的平面密度分布示意图

Figure 1 Sketch map of density distribution of Chinese fir OLSL by CT detection

2 结果与分析

2.1 杉木积成材平面断层的密度分布情况

用 CT 分别对密度为 0.6, 0.7 和 0.8 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的杉木积成材进行扫描, 检测在板材平面方向(冠状断层 C)杉木积成材的表层、芯层、底层的密度分布情况, 对比分析杉木积成材的平面密度在板材的不同剖面上的分布情况, 揭示杉木积成材的平面密度分布规律。结果如图 2~4 所示。



图 2 密度为 0.6 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的杉木积成材的平面 CT 图

Figure 2 Horizontal CT chart of Chinese fir OLSL in 0.6 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

CT 检测时, 图像通常由黑到白以不同的灰度在显示屏上显示, 黑影表示低吸收区(低密度区), 白影表示高吸收区(高密度区)^[14]。从图 2 可知, 杉木积成材平面密度的分布在不同断面上存在差异, 在板材芯层平面的 CT 图中, 黑影所占的比例明显比表层、底层平面要多, 因此, 杉木积成材表层、底层平面的密度较高, 而芯层平面的密度较低, 即在杉木积成材平面各层之间存在密度梯度。这主要是因为热压时板坯内部各层之间存在温度梯度, 即表层、底层温度高, 越往板坯芯层温度越低, 因而板坯表层、底层木束条的抗压强度低, 越往芯层木束条的抗压强度越高, 这就使得在相同的压力下, 表层、底层的木束条的压缩程度大, 越往芯层木束条的压缩程度越小, 从而使热压后的杉木积成材呈现表层、底层平面密度高, 芯层的平面密度低的情况。此外, 含水率也是影响密度分布的重要原因, 当表层含水率越高, 芯层含水率越低时, 形成的密度梯度就越大。

从图 2 还知, 在相同平面上, 板材的 4 个边部, 特别是宽度方向的两边的黑影部分明显比中部的白影多, 因而板材边部的密度低于板材中部; 同时, 在板材长度方向的木束条的接头处, 有的黑影部分明显比非接头处多, 而有的黑影部分明显比非接头处少, 因而木束条接头处的密度有的低于非接头处, 有的却高于接头处。这种平面密度分布的不均一性, 主要是由木束条长短不一致、板坯幅面较小和铺装不当造成的。因为在较小的板坯幅面下, 由于木束条长短不一, 在铺装时, 就会造成木束条接头处的接合形式不一样, 长木束条之间常常搭接, 而短木束条则常常处于对接状态, 搭接处接头的木束条之间重叠使密度增高, 而对接处接头的木束条之间重叠少, 且有缝隙, 导致密度低; 此外, 由于木束条长度不尽相同, 在顺纹铺装时, 使得板坯不易铺装整齐, 较长的木束条易达到板坯边部, 短木束条长度不能达到板坯边部, 因而在板坯的宽度方向的两边部的木束条之间形成部分缝隙, 所以宽度方向两边的密度更低。

图 3 和图 4 分别为密度 0.7 和 0.8 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的杉木积成材的平面密度分布的 CT 检测图。从图 3 和图 4 可知, 不同密度的杉木积成材的平面密度分布的规律基本相同, 但是随着杉木积成材密度的增大, CT 图中白影占整个板面的比例明显增大, 而黑影所占的比例却明显减小; 板材边部的黑影随着杉木积成材密度的增大而减少; 此外, 木束条接头处的黑影也随着密度的增大有所减少。这说明, 提高杉木积成材的密度, 有利于减小杉木积成材的平面密度的差异。这可能是因为随着杉木积成材密度的增大, 单位体积内的杉木木束条的数量就增多, 因而在铺装时, 木束条之间重叠的数量就相应增



图3 密度为 $0.7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的杉木积成材的平面 CT 图

Figure 3 Horizontal CT chart of Chinese fir OLSL in $0.7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

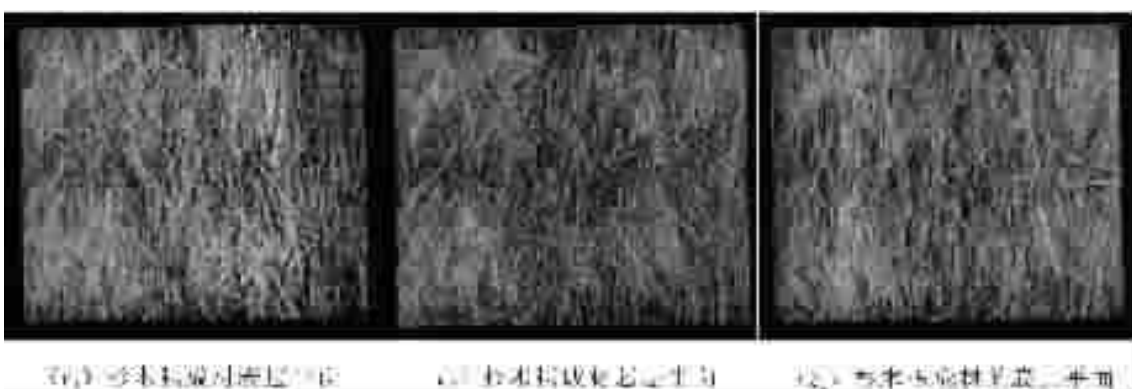


图4 密度为 $0.8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的杉木积成材的平面 CT 图

Figure 4 Horizontal CT chart of Chinese fir OLSL in $0.8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

大,木束条相互之间错位的比例增大,填补了相互之间的空隙,使板材内部的空隙率减小;此外,板材密度越大,在其他条作相同的情况下,木束条铺装的层数相应增多,从而降低了杉木积成材平面密度的变异性。

从图2,图3和图4可知,CT图非常形象直观地反映了杉木积成材平面密度的分布情况;在杉木积成材的冠状断面上,其平面密度分布的条状特征明显;板材中间木束条的定向程度可能比两边高。CT可为将来杉木积成材进入规模生产阶段时,优化密度分布提供可靠的技术保证。

从杉木积成材平面密度分布的规律可知,木束条的尺寸大小、木束条接头接合的情况、铺装的均匀程度、板材的密度大小等都对杉木积成材平面密度的分布有较大影响。因此,制造形态和尺寸均匀的木束条,合理、均匀搭配木束条的接头,均匀铺装木束条及合理定向等,是生产高质量的杉木积成材的非常重要的条件。

2.2 杉木积成材与其他板材 CT 图像的对比

为了进一步说明杉木积成材独特的结构特点和平面密度分布特征,用CT分别对定向刨花板和普通刨花板的板面进行了扫描,并进行对比。其结果见图5。

从图5可知,杉木积成材的表面特征与定向刨花板和普通刨花板完全不同,其表面条状特征非常明显,但表层平面密度分布的均匀程度显然不及这两种板材。但由于使杉木积成材呈现条状特征的单根木束条的纵向强度高,且定向铺装,因而会增大杉木积成材的纵向静曲强度和弹性模量,所以,杉木积成材的单向强度较高,可以应用于单向强度要求较高的场合。另外,为了提高杉木积成材表层平面密度分布的均匀性,可以采用在板材的上下两表面铺装较细的杉木木束条或刨花,或者将其表面砂光后覆贴单板等方法,以改善杉木积成材表层平面密度分布的均匀程度和其使用性能。

从图5还可以看出,刨花板的表层密度分布最均匀,定向刨花板次之,这说明构成单元的形态对



图 5 杉木积成材与几种常用板材的平面 CT 图

Figure 5 Comparison of horizontal CT charts between Chinese fir OLSL and several usual panels

人造板的平面密度分布的均匀程度影响较大。所以，杉木积成材的木束条形态有待进一步改善，使它们更均匀，以减小其密度偏差，提高杉木积成材的品质。

3 结论

CT 能非常直观、清楚地揭示杉木积成材的平面密度分布规律；杉木积成材表层和底层平面的密度较高，而芯层平面的密度较低；板材边部的密度低于板材中部；在板材的长度方向，木束条各接头处的密度存在变异。

在杉木积成材的制造过程中，木束条尺寸的大小、木束条接头的接合情况、铺装的均匀程度、板材的密度大小等都对杉木积成材平面密度的分布有较大影响，提高杉木积成材的密度，减小木束条尺寸的差异，增加木束条铺装的均匀程度等，均有利于减小杉木积成材平面密度的变异。

杉木积成材与定向刨花板和普通刨花板相比，其表层平面的条状特征非常明显，但表层平面密度分布的均匀性低于这 2 种板材。

参考文献：

- [1] 刘志坤, 杜春贵, 李延军, 等. 小径杉木梳解加工工艺研究[J]. 林产工业, 2003, **30** (3): 22 - 25.
LIU Zhikun, DU Chungui, LI Yanjun, *et al.* Study on combing process of small Chinese fir [J]. *China For Prod Ind*, 2003, **30** (3): 22 - 25.
- [2] 杜春贵, 刘志坤, 张齐生, 等. 杉木积成材浸渍纸贴面工艺的初步研究[J]. 浙江林学院学报, 2004, **21** (2): 134 - 137.
DU Chungui, LIU Zhikun, ZHANG Qisheng, *et al.* Overlaying technology of paper impregnated thermosetting resins of Chinese fir oriented laminated stick lumber [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2004, **21** (2): 134 - 137.
- [3] 杜春贵, 刘志坤, 张齐生. 杉木间伐材及制材板皮加工研究现状与高效加工的新途径[J]. 林产工业, 2008, **35** (3): 5 - 7.
DU Chungui, LIU Zhikun, ZHANG Qisheng. Current situation of Chinese fir thinnings and slab processing and a new approach to their high efficiency use[J]. *China For Prod Ind*, 2008, **35** (3): 5 - 7.
- [4] 杜春贵, 刘志坤, 张齐生. 杉木制材板皮辊压制备梳解加工坯料的研究[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (3): 267 - 271.
DU Chungui, LIU Zhikun, ZHANG Qisheng. Using rolling pressure on sawmill slabs of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) to form a combing processing blank [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (3): 267 - 271.
- [5] WONG E D. Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard[J]. *Wood Sci Technol*, 1999, **33**: 327 - 340.
- [6] XU Wei. Influence of vertical density distribution on bending modulus of elasticity of wood composites panels: a theoretical consideration [J]. *Wood Fiber Sci*, 1999, **31** (3): 277 - 282.

- [7] WINISTORFER P M, MOSCHLER W W, WANG Siqun, *et al.* Fundamentals of vertical density profil formation in wood composites(I) In-situ density measurement of the consolidation process[J]. *Wood Fiber Sci*, 2000, **32** (2): 209 – 219.
- [8] WANG Siqun, WINISTORFER P M. Fundamentals of vertical density profile formation in wood composites. (II)methodology of vertical density formation under dynami conditions [J]. *Wood Fiber Sci*, 2000, **32** (2): 220 – 238.
- [9] 王凤鸣. 中密度纤维板断面密度分布的控制[J]. 林产工业, 1996, **23** (4): 27 – 32.
WANG Fengming. The controlling of vertical density distribution of MDF [J]. *China For Prod Ind*, 1996, **23** (4): 27 – 32 .
- [10] KRUSE K, DAI C, PIELASCH A. An analysis of strand and horizontal density distributions in oriented strandboard (OSB) [J]. *Holzals Roh-und Werkstoff*, 2000, **58** (2): 270 – 277.
- [11] 金菊婉, 华毓坤. 刨花板平面密度变异的模拟研究[J]. 南京林业大学学报, 1999, **23** (4): 27 – 31.
JIN Juwan, HUA Yukun. On horizontal density variation in fakeboard via modeling [J]. *J Nanjing For Univ*, 1999, **23** (4): 27 – 31.
- [12] 梅长彤, 周定国, 戴春平. 平面密度分布对刨花板内结合强度的影响[J]. 林业科学, 2004, **40** (3): 123 – 127.
MEI Changtong, ZHOU Dingguo, DAI Chunping. Effects of horizontal density distribution on internal bond strength of particleboard [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40** (3): 123 – 127.
- [13] 王贵涛, 董双文, 郭东升. 剖面密度测定与人造板质量控制[J]. 木材工业, 2005, **19** (1): 37 – 39.
WANG Guitao, DONG Shuangwen, GUO Dongsheng. Profile density measurement for wood based panel quality control [J]. *China Wood Ind*, 2005, **19** (1): 37 – 39.
- [14] 曹家龙. 医学影像中 CT 与 MRI 的“PK” [J]. 新西部, 2007 (20): 296.
CAO Jialong. In medicine phantom CT and MRI “PK” [J]. *New West*, 2007 (20): 296.
- [15] 桑斌, 项金根, 阮存军, 等. CT 实验仪的研制及其在物理教学中的应用[J]. 大学物理, 2003, **22** (2): 33 – 37.
SANG Bin, XIANG Jingen, RUAN Chunjun, *et al.* A computed tomography experimentins trument, its development and application to student experiment[J]. *Coll Phys*, 2003, **22** (2): 33 – 37.
- [16] 周密. 工业 X-CT 用新型 X 射线探测器性能的模拟研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
ZHOU Mi. *Performance Simulation Study for Novel X-ray Detector Used in X-ray Industrial Computed Tomography* [D]. Chongqing: Chongqing University, 2004.
- [17] 先武, 李时光. 工业 CT 技术[J]. 无损检测, 1996, **18** (2): 57 – 60.
XIAN Wu, LI Shiguang. Industrial computed tomography[J]. *Nondestr Test*, 1996, **18** (2): 57 – 60.