

综述

竹材特性及竹材的工业利用

叶克林

(中国林科院木材工业研究所 北京 100091)

前言

据估计,全世界共有竹子70余属,1200余种,我国有34属,400余种,竹林面积340余万顷,竹材蓄积量7000余万吨,年产量500余万吨,竹材资源十分丰富。另一方面,竹林种植密度高,养护管理方便,生长快,素有“三年成林,四年成材”之说,经营得当可永续发展。

竹材断面多呈圆形,中空,质地坚韧,富有弹性,纤维细长,顺纹抗拉和抗压强度超过一般木材1~2倍,能承受弯曲和偏心压力,体轻、耐水、耐酸碱腐蚀,可广泛用于建筑、纺织、食盐加工、造纸、交通运输、农业、包装和人造板工业,竹材在家具、日杂用品、工艺品和室内装修方面的应用更是历史悠久,种类繁多。但是,由于竹子是天然生长的有机生物体,含有较多的淀粉、糖类、蛋白质和脂肪等,若不经处理,极易遭受菌虫侵害,导致虫蛀、腐朽、霉烂、开裂和变色,使竹材的耐久性降低,应用受到一定的限制。

为了充分合理地利用竹材资源,多年来国内外开展了较为系统的竹材性质研究,揭示了一些竹材的特点,在竹材工业利用的三个主要方面,即竹材、竹制品防腐防虫防霉、人造板和制浆造纸方面,开发了许多新技术,新产品层出不穷。

2 竹材特性

2.1 构造特征 大部分竹子的基、干、梢三部分的解剖结构有所不同,但干部与梢部比较一致,在试材选取上,以选取竹干部分较能代表某一竹种的结构特性。丛生竹与散生竹内部构造有所不同,可以维管束类型为根据鉴别竹材,以此建立竹材分类系统,维管束通常为262~553个/cm²。

竹材纤维平均长1.5~3.5mm,与纤维直径、细胞壁厚度和节间直径密切相关。纤维宽约13μm,纤维长宽比为115~290,多为150以上,壁腔比大于1,纤维比量40%~50%。

2.2 化学性质

竹材的化学成分与种属、生长条件、竹龄和竹竿部位有关。主要组分纤维素、半纤维素和木素的含量分别约为55%,20%和45%。次要成分为树脂、单宁、蜡质和无机盐,灰分含量0.8%~5%,硅含量0.5%~4%,从基部往上逐渐增加,冷水抽提物2.2%~13.6%,热水抽提物4.1%~16.2%,苯-醇抽提物2.9%~9.0%。竹节的水溶性抽提物、半纤维素、灰分和木素含量较少,纤维素含量较多。

2.3 物理性质

竹材的基本密度为0.4~0.8g/cm³,竹壁外侧密度大于内侧密度,密度随基部往上增大。竹材含水率即使在同一竹竿内也不相同,受竹龄、采伐季节和竹种的影响,一般竹材基部含水率较高。竹材的纤维饱和点受化学成分和吸湿性抽提物含量的影响,因竹种之不同而异,即使同一竹竿也有差异,低者13%,高者20%。竹材干缩特性与木材不同,在干燥初期即发生收缩,待竹材含水率降到20%时,厚度方向干缩达4%~14%,径向干缩达3%~12%。一些研究表明,竹材干缩系数弦向为0.251%~0.291%,径向为0.167%~0.310%。竹材干缩的另一特点是当竹材含水率降到40%时,收缩几乎为零,若含水率继续下降,则收缩重新开始。另外,竹材的湿胀率随密度的增大而下降。

2.4 力学性质

竹材的力学性质与密度和含水率有关。李源哲等对中国7种主要竹材的研究表明,湿材的顺纹抗压强度为41.8~61.9MPa,弦向抗弯强度为108.1~163.1MPa,径向抗弯强度为92.2~135.8MPa,抗弯弹性模量为9.2~13.2GPa,顺纹抗剪强度为7.2~13.9MPa,顺纹抗拉强度为152.7~207.6MPa。而气干状态下的顺纹抗压强度为68.5~84.9MPa,弦向抗弯强度为155.8~200.1MPa,径向抗弯强度为130.7~173.7MPa,抗弯弹性模量为12.5~18.5GPa,顺纹抗剪强度为13.3~18.6MPa,顺纹抗拉强度为202.9~282.8MPa。竹材的力学性能基本上是弦向大于径向(个别的相差较

大),竹壁外侧大于内侧,下部大于上部。竹节对力学性能影响较大,毛竹竹节的抗拉强度比竹间低25%,而其它各项指标均略高于竹间。竹材的刚性较差,受载后易变形。不同竹种达到稳定的力学性质的年限各不相同,毛竹需6年以上。一年生竹材力学性质均较差。一些竹种在同一生长地的株间差异非常明显。

3 竹材及竹制品的防腐

竹材组织内糖类与蛋白质含量高于木材,故易吸湿,易遭受菌、虫侵蚀。危害竹材的蠹虫主要有大长蠹、小长蠹和竹粉蠹;霉菌主要有黑棘霉、青霉、叶芽枝霉和镰刀菌;虫类主要有竹拟介壳虫和竹蠹介壳虫等。竹材的强度赖以所含脂肪与适度的含水量维持,若经日晒雨淋,可导致干湿失调或生物侵蚀。为了延长竹材使用寿命,减轻养护工作,提高竹材价值,必须进行防腐、防虫和防霉处理。

竹材防腐处理主要有水浸与加热处理、药剂渗透处理两大类,前者处理效果较差,捞起贮存后即失效,后者又分为改良布绪利法、常压法和压力法。压力法能促进药剂渗透。竹材在干燥状态下,不宜照搬一般木材防腐处理方法。用三种防腐处理方法和7种防腐剂对毛竹片材和淡竹竹竿进行处理的研究结果表明,气干竹材采用热冷槽法和常压浸渍法、生材采用竹液置换法比较适合我国国情。为了使竹材有足够的药剂量,热冷槽法采用1.5小时热煮、48小时冷浸;常压浸渍为20天左右;竹液置换法约8天,均能达到预期的药剂吸收量和透入度。热冷槽法和常压浸渍法中,竹材对防腐剂的吸收率大小随竹高由下至上而增加;而竹液置换法中,药剂的吸收率则随竹高由下至上而减少,形成纵向药剂含量梯度。同一高度的断面上,竹黄中药剂含量最高,其次为竹肉,最低为竹青,形成横向药剂梯度。毛竹端面吸液率最高,竹黄次之,径侧面较少,竹青面有蜡质和10多层厚壁细胞,药剂很难透入。含酚类防腐剂处理的竹材具有抗霉能力,使用浓度以5%为宜。硼酸盐类防腐剂比铬盐的固着型防腐剂处理容易。竹材防腐后对其力学性质有影响,如CCB,处理后的抗压强度比未处理的高8%左右,而抗弯强度和弹性模量则低6%~8%。

竹制品在保存、运输和使用过程中,经常发生霉变和虫蛀,严重影响产品外观和质量。研究表明,五氯酚钠是竹制品防霉和防虫效果较好的药剂,浸泡竹材具有半年以上的防霉效果,也能防止

竹蠹。氯化钠处理竹材对竹长蠹幼虫和成虫有拒食作用,而抗霉效果不佳,处理方法宜采用常温浸渍2~4小时。对竹制品的防虫防霉处理,宜采用对剖割后的竹条和半成品进行处理,避免再加工(如锯断、挖孔、刮节等)时使吸药层受到破坏。成品处理后,药液易遗留于竹杆之中,对清漆涂刷不利。竹青部分药剂难以渗透,抗霉能力薄弱,可在清漆中加入防腐剂。五氯酚对清漆和光泽没有影响。药物防治处理是竹制品防虫防霉的重要途径,须注意综合防治,清除老竹子,减少菌虫来源,成品的合理堆放,通风贮存,合理包装,均可抑制菌虫繁殖生长。

防腐剂透入竹材的主要通道是维管束中的导管、筛管和细胞间隙,它们孤立干一些厚壁木质化的细胞之间。药液渗透主要通过细胞壁上的单纹孔进行,透过能力低,有时即使导管中充满了防腐剂,仍难以透入到附近的纤维和薄壁细胞中去。同时,竹材不具横向细胞(如木射线),横向渗透困难。

竹材和竹制品在生产使用过程中与人类息息相关,一般防腐剂大多对人体有害且易流失,防腐效果随时日而下降,如五氯酚钠遇紫外线易分解失效。五氯酚和五氯酚钠及其与其它药剂的合剂虽然对竹材防腐效果较好,但对人体毒害甚大,应限制使用。瑞典、日本等国家已完全或部分禁止使用,有被取代的趋势。在我国,当务之急要开发研制防流失、高效低毒又适合于竹材防腐的药剂。

4 竹材人造板

中国在竹材人造板技术和新产品开发方面可以说居世界领先地位。主要的工业化产品有竹材胶合板、竹编胶合板、竹材层积材、竹材拼花地板、竹材碎料板、装饰用竹材旋切单板、塑型竹材水泥模板和竹木复合板等。正在开发的新品种有竹材中密度纤维板、竹材定向刨花板、重组竹、竹木复合胶合板、竹编层积材、竹筋强化重组木和竹材复合板等。以下简要介绍五种有代表性的竹材人造板。

4.1 竹材胶合板

竹材胶合板用毛竹作原料,锯截成竹段后去除竹青和竹黄,尔后软化展平,干燥、整理、涂胶、热压而成。这种方法在生产过程中的劳动消耗和用胶量较少,并保持了竹材特性,是强度高、刚性好、耐磨损的工程结构用材料。普通三层竹材胶合板的密度约为 0.788g/cm^3 ,纵向静曲强度约为 115.5MPa ,横向静曲强度约为 73MPa 。这种产品已

在汽车车厢上得到应用,在火车车厢和建筑工业中也有较好的应用前景。

竹材胶合板生产工艺中,原料准备阶段需去除一部分竹青和竹黄,以提高竹材的胶合性能。另有研究表明,采用喷砂方法对竹青和竹黄表面进行物理处理后,可明显改善胶合性能。苯酚-甲醛树脂胶对这种物理处理方法更敏感。采用碳酸钠浸泡处理竹青和竹黄后,胶合性能无明显改善。

4.2 竹编胶合板

竹编胶合板是利用竹编加工的剩余物,即除竹青以外的竹黄、竹肉部分,剖成一定规格的竹篾,编织成一定规格的竹蓆,经涂胶、组坯、热压而成。由于竹蓆由薄的竹篾经纬交织而成,而各层厚度和性能大体上也相同,因而竹编胶合板的纵横向性能差异很小,静曲强度 $51\sim 102\text{MPa}$,抗冲击强度较高,适于作包装、临时建筑及装修材料。

4.3 竹材中密度纤维板

竹材中密度纤维板是一种很有发展前途的新产品,厘竹、青皮竹和铁厘竹的试验表明,竹材是生产中密度纤维板的好原料,产品物理力学性能和外观质量均达到国标1级品的指标,静曲强度达到 25MPa 以上,平面抗拉强度 0.5MPa 以上,吸水率为20%左右,厚度膨胀率为9%左右,线膨胀率小于0.3%,可应用于家具、广播电视器材的壳体和室内装修等方面,与木材中密度纤维板相比毫不逊色。竹材中密度纤维板的试验研究表明,竹材中非纤维细胞及灰分含量较高,灰分中二氧化硅比例高及竹青上的蜡质层,可影响纤维之间和纤维与胶粘剂之间的胶合,对板材强度产生不利影响;竹材中多糖类和抽提物含量较高,导致竹材中密度板吸水率和厚度膨胀率均较高,板材在南方贮存6个月左右开始出现霉变现象;竹材纤维韧性大、密度高,纤维干燥过程中自然卷曲,发生堵塞;磨浆过程中热磨比较困难;竹材纤维长宽比及壁腔比都远大于木材,纤维长宽比大,则其交织性能好,有利于纤维之间的结合,而壁腔比大,在制浆和热压过程中不易压成带状,柔性降低,接触面积小,反过来影响纤维之间的交织性。

对竹材中密度纤维板的防霉研究表明,中密度纤维板的霉变程度与竹材营养物质含量无关,对木材有效的防霉剂不一定对竹材中密度纤维板有效,制板工艺及防霉剂用量对竹材中密度纤维板的强度和抗霉力有明显影响,要根据竹材中密度纤维板的使用环境来确定板材密度和防霉剂用量。

4.4 竹材碎料板

竹材碎料板主要利用竹材采伐和加工剩余物以及小径杂竹为原料,生产工艺与木材刨花板大致相同。由于竹材横向撕裂强度低,备料时碎料形态较规整。由于竹青和竹黄的存在影响胶合,最好将竹材加工成针状碎料,增加竹肉的比表面积,使竹青和竹黄的相对表面积降低。

竹材碎料板相对来说,工艺设备比较成熟,很大程度上可参照木材刨花板生产工艺和设备,但也存在厚度膨胀率较大,潮湿季节易发霉,密度偏大等需要进行研究改进之处;备料工序须作必要的调整,有利于制备针状碎料;新型竹材人造防水剂的研制和热压过程控制都须加紧进行。

4.5 重组竹

重组竹突破了传统的切削加工方式,用碾压方法将竹材疏解成束状形态,干燥涂胶后热压,制成重组竹或竹筋强化重组木。这种产品抗弯强度达 25MPa ,弹性模量 4.7GPa ,长度、宽度和厚度几乎不受限制,可以代替优质方材作大截面结构材、梁材、门窗框架和表面装饰材料,是一种很有前途的新材料,可以根据不同的用途,采用不同的胶粘剂,生产不同密度的重组竹。

初步研究表明,重组竹是一种很好的工程材料,具有很多优点,但重组竹毕竟是一种新产品,其生产工艺和设备国内外尚无经验可参考。因此,竹材的软化处理、竹材疏解方法及竹束形态对产品物理力学性能的影响、竹束干燥处理方法及工艺参数,竹束涂胶方法对重组竹强度的影响,竹青竹黄对胶合强度的影响,涂胶竹束的铺装组坯方法及其对产品力学性能的影响,热压工艺参数,后加工与装饰方法以及重组竹的应用等还有待于继续研究。

5 竹材制浆造纸

从竹材的解剖结构看,竹材很适于制浆,使用的竹种多为丛生竹或加工剩余物。由于竹材的内含物多,因而蒸煮成本较高,纸浆得率较低。生产1吨未漂白浆需2吨绝干的竹片,生产1吨漂白浆需2.5吨气干竹片(4吨新鲜竹)。竹材制浆主要有硫酸盐法、热磨机械法和磺化化学机械法。

5.1 硫酸盐法制浆

制浆时采用硫化度25%,总碱14%~15%,得率40%,可生产书写纸和印刷纸的纸浆。用氯和次氯酸钙进行漂白,同时采取碱抽提和水洗涤,总的漂剂用量12%~15%,白度达到75%~78%。硫酸

盐竹浆还可经过氧化、碱抽提和次氯酸盐处理,顺序三段漂白,总氯量为绝干纸浆的7.7%~8.2%,白度达到70%,漂白浆得率约45%。

5.2 高得率制浆

可生产得率为80%的烧碱处理的热磨机械浆和85%的烧碱-亚硫酸盐热磨机械浆,分别采用10%的NaOH以及10%的NaOH和Na₂SO₃溶液,再用5%的氯以及5%的亚硫酸盐和次氯酸盐反应(有效氯5%),可大大提高强度性能。

5.3 磺化化学机械浆

硫化化学机械法制浆(SCMP)为70年代后期国外发展的一种新的制浆方法。在磨浆前用较高浓度的亚硫酸盐溶液在比较温和的条件下处理竹片,使木素发生深度磺化,纤维软化,成浆强度大大增加,能满足新闻纸或包装纸用浆的要求。研究表明,竹材SCMP预处理时,Na₂SO₃用量是影响磺化度的主要因素,NaOH用量对得率影响较大,其次是Na₂SO₄用量。H₂O₂用量是影响漂明白度的最重要因素,随H₂O₂用量增加,漂明白度增加,单段漂可漂至40SBD,CEP三段漂可漂至45SBD。竹材SCMP在多段磨浆中,段间用适量NaOH处理一段时间,能改善疏解后的纤维形态和成纸性能。竹材SCMP当磺化度高达1.19%以上时,浆张强度随磺化度的提高而提高。

6 后记

我国木材资源严重不足,而竹材资源非常丰富。竹材是一种很好的工业原料,利用得当可增加市场用材供给,保护木材资源。应该注意,竹材具有许多与木材不同的特性,竹材的工业利用不能照搬木材利用模式。必须大力开展竹材性质、竹材及竹制品防腐、竹材人造板和竹材制浆造纸等方面的应用开发研究,提高竹材价值,发挥竹材应有的作用。为了提高竹材加工利用的技术水平和经济效益,应该深入开展以下几个方面的工作:

- ①竹材解剖、物理、力学和化学性质对加工利用的影响,尤其是综合影响;
- ②高效低毒竹材防腐包括防虫防腐剂及其处理技术的开发;
- ③竹材人造板生产工艺和加工设备的改进;
- ④竹材收集、运输和保存配套技术;
- ⑤定向培养的竹材基地建设;
- ⑥竹材工业利用的规模效益研究;

⑦各种竹材产品的成本效益分析。

7 参考文献

- 1 李正理等.几种国产竹材的比较解剖观察.植物学报,1960(1):76~95
- 李正理等.国产竹材的比较解剖观察续报.植物学报,1962(1):15~27
- 3 朱惠芳等.国产33种竹材制浆应用上纤维形态结构的研究.林业科学,1964(4):311~327
- 4 中国林科院木材工业研究所.中国重要木(竹)材的化学成份.研究报告,1980
- 5 李源哲等.中国七种竹材的物理力学性质.研究报告,1986
- 6 中国农林科学院木材工业研究所.竹材防腐简介.1976
- 7 张厚培.竹制品防霉防虫研究.木材保护学术讨论会论文,1984
- 8 汤宜庄等.竹材防腐防霉处理试验研究.木材工业,1990,4(2):1~6
- 9 徐春富等.国内外竹质人造板研究和现状.森工科技信息,1985(2):58~67
- 10 赵仁杰.竹材加工利用的新产品—竹质人造板.木材应用技术通讯,1988(3):25~30
- 11 张齐生等.浅谈我国的竹材人造板.林产工业,1989(4):5~8
- 12 张齐生等.竹材胶合性能的改善.林产工业,1990(3):1~4
- 13 王天佑等.竹材中密度纤维板.木材工业,1991(1):6~10
- 14 郭文莉等.竹材中密度纤维板防霉研究.中国林学会木工学会第三次防腐研究会论文,1991
- 15 丁其详译.竹子制浆与造纸.竹类研究,1989,8(4):91~95
- 16 任维菱等.竹材磺化化机浆的研究.中国造纸,1992,11(1):55~60
- 17 Hsiung W. Research and development of production and utilization of bamboo in China. 18th IUFRO World Congress Proceedings, 1986, 464~474
- 18 Liese W. Characterization and utilization of bamboo. 18th IUFRO World Congress Proceedings, 1986, 475~485
- 19 Guan N. Plantation-grown woods, bamboo and rattan in China. International Workshop on Improved Utilization of Timber Resources in Southeast Asia, 1992