

# 纤维板纤维制备单元能耗分析

葛冰, 花军, 贾娜, 宋杰

东北林业大学机电工程学院, 哈尔滨 150040

**摘要** 利用统计实验的方法对国内典型纤维板生产厂家的纤维制备单元进行能耗分析, 得出了生产单位质量纤维的能耗组成、各部分能耗所占比重以及影响纤维制备单元能耗的主要影响因素。通过实际生产的测试数据, 定量分析计算了纤维制备单元各工序以标准煤表征的电能、热能的消耗。在此基础上的分析和计算结果表明, 1t 纤维的总能耗为 162.434kg(ce), 电能和热能消耗比例大约在 1.00:4.49; 各工序中, 干燥和热磨为主要的耗能工序, 分别占总能耗的 65.199% 和 33.681%, 电能和热能的消耗比例分别为 1.00:17.40 和 1.00:1.75, 研究为进一步采取有效措施节能降耗提供了理论依据。

**关键词** 纤维板; 纤维制备; 能耗分析; 节能

**中图分类号** TS653.6

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.18.007

## Energy Consumption Analysis on Fiber Preparation Unit of Fiberboard

GE Bing, HUA Jun, JIA Na, SONG Jie

College of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

**Abstract** Statistical experiment method is applied to conduct energy consumption analysis on the fiber preparation unit of domestic typical fiberboard production manufacturer, the energy consumption composition for producing unit quality fiber, the share of energy consumption, and the main factors affecting fibers unit energy consumption are obtained. Through the test data of actual production, for the each process of fiber preparation unit, the consumption of electric energy and thermal energy in terms of standard coal is quantitatively analyzed and calculated. Based on the analysis and calculation, results indicate that the total energy consumption for 1t fiber is 162.434kg(ce); the ratio of electric energy consumption to heat energy consumption is about 1:4.49. Among the processes, dry and hot mill are the process of main energy consumption, accounted for 65.199% and 33.681% of the total energy consumption, respectively; the consumption proportion of electric energy and heat consumption is 1:17.4 and 1:1.75, respectively; and the research provide the theoretical basis for taking further effective stapes saving energy and reducing consumption.

**Keywords** fiberboard; fiber preparation; energy consumption analysis; energy saving

### 0 引言

近十年来, 在国内外对纤维板需求量不断增加和国家出台优惠政策鼓励下, 中国纤维板产业飞速发展, 成为发展最快的人造板产品<sup>[1]</sup>。在纤维板行业呈现快速发展态势的同时, 所存在的问题也逐渐显现出来。纤维板制造业是技术密集、投资密集的行业, 也是高能耗行业, 纤维板生产过程的能耗在很大程度上能够反映生产企业的技术和管理水平, 而目前中国纤维板生产的单位综合能耗是世界平均水平的 4.8 倍<sup>[2]</sup>, 由此可见, 中国纤维板生产的节能应用还存在着巨大的潜力, 中国在纤维板制造业的节能理论和节能技术(包括单元节能技术和系统节能技术)研究方面还亟待加强。

在纤维板制造过程的诸多生产单元中, 纤维制备单元是纤维板生产的重要环节之一, 直接影响产品的产量和质量。Beatriz 等<sup>[3]</sup>依据 ISO 14040—43, 利用 Eco-indicator 99 方法对西班牙和智利的 3 家中密度纤维板厂的生产情况进行分析, 结果显示, 纤维制备阶段对资源消耗、人体健康和环境质量影响最大, 其所占比例分别为 94.1%、91.1% 和 94.8%<sup>[3]</sup>。中国对纤维板生产能耗的研究和关注起步较晚, 研究内容主要集中在总能耗的计算和定性分析上, 还未进行能耗在生产单元中的精确计算和分析<sup>[4-6]</sup>, 因此有必要对纤维制备单元的能耗进行分析, 为生产企业减少能耗从而降低运行费用提供参考。

本文选择国内具有典型设备配置和生产工艺的人造板

收稿日期: 2012-11-12; 修回日期: 2013-04-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(31070499)

作者简介: 葛冰, 博士研究生, 研究方向为林业与木工机械, 电子信箱: gbaml@126.com; 花军(通信作者), 教授, 研究方向为林业与木工机械, 电子信箱: huajun81@163.com

企业为研究对象,利用统计实验的方法,对纤维制备单元进行能耗的定量分析,为生产实际提供有效的指导,以达到节约能源和优化资源配置的目的。

## 1 纤维制备单元工艺系统

纤维制备单元是指生产原料(小径木、枝桠材等)经剥皮、削片、清洗、纤维分离、施胶干燥直至纤维储存的全过程,它是纤维板生产的重要环节,也是纤维板生产耗能最多的部分,其热能消耗约占纤维板生产总能耗的 88%<sup>[3]</sup>。纤维制备单元的生产工艺和设备匹配因厂家而异,不同的生产工艺和设备匹配将会对该生产单元的能耗分析结果产生较大的影响,本文以国内具有典型工艺和设备的某年产 20 万 m<sup>3</sup> 纤维板厂为对象,进行纤维制备单元能耗的分析计算。

在该厂的纤维制备单元生产过程中,原料供给方式为自削加外购,比例为 3:7,外购的枝桠材、小径木不经剥皮工序,直接削片;削片所得木片进入辊筛和水洗设备进行木片筛选和清洗,以除去木片中碎石或金属等杂质,经脱水螺旋送入预蒸煮仓进行预蒸煮,预蒸煮时间为 3~4min,预蒸煮温度为 80~85℃;入蒸煮仓蒸煮时间为 3~4min,蒸煮温度 190~200℃,蒸煮压力为 863kPa,蒸煮后木片含水率为 70%左右;蒸煮后的木片进入热磨机,每小时消耗 1.2t 的冷却水,纤维得率约为 95%;热磨后的纤维采用喷蒸施胶,施胶后的纤维进入干燥管道进行干燥,干燥入口温度为 200℃左右,出口温度为 60~70℃,干燥风速为 30m/s,干燥后纤维含水率为 7%~9%。蒸煮和干燥所消耗的热能全部由热能工厂提供。纤维制备单元的工艺及设备配置如图 1 所示。

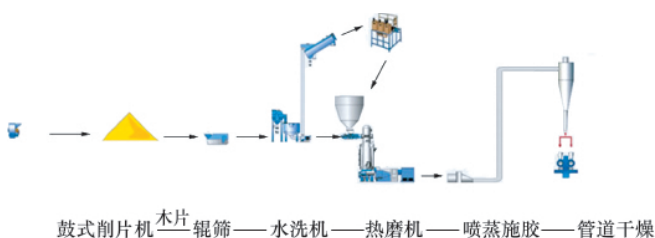


图 1 纤维制备单元工艺及设备配置

Fig. 1 Configuration of process and equipment for fiber preparation unit

## 2 纤维制备单元能耗计算方法

木质纤维生产过程中的总能耗,是指在计划统计期内纤维生产企业用于纤维生产全过程中实际消耗的能源实物量,按照规定的计算方法,折算成标准煤后的总和,包括木质纤维生产过程中剥皮、削片、清洗、热磨、施胶干燥等主要生产工序和处理生产过程中所产生废水、废气的能源消耗量。

纤维制备单元主要消耗的能源物质为电能、热能,均属二次能源,主要耗能工质为新水。电能和耗能工质能耗的标准煤化换算,按能量当量值换算,GB/T 2589—2008《综合能耗

计算通则》<sup>[7]</sup>中附录 A 给出了各种能源折标准煤参考系数,其中电力的折标准煤系数为 0.1229kg(ce)/(kW·h),新水的折标准煤系数为 0.0857kg(ce)/t。对于热能的标准化转换,采用能源等价值转换,即低(位)发热量等于 29307kJ 的燃料,称为 1 千克标准煤(1kg(ce))。

$$\text{电能的标准化换算方程为 } E_i = e_i \cdot P_1 \quad (1)$$

$$\text{耗能工质能耗的换算方程为 } E_j = M_j \cdot P_2 \quad (2)$$

$$\text{热能的标准化转换方程为 } E_k = Q_k / q \quad (3)$$

综上,木质纤维制备单元总能耗( $E$ )可由式(4)估算:

$$E = \sum E_i + \sum E_j + \sum E_k = \sum (e_i \cdot P_1) + \sum (M_j \cdot P_2) + \sum Q_k / q \quad (4)$$

式中, $e_i$ 为单一生产工序电能消耗,kW·h; $P_1$ 为电力的折标准煤系数; $M_j$ 为单一工序新水质量,t; $P_2$ 为新水的折标准煤系数; $Q_k$ 为单一生产工序热能消耗量,J; $q$ 为热能的等价转换系数,J/kg(ce)。

求出木质纤维制备工段总能耗后,各工序的能耗比 $\omega$ 为

$$\omega = (E_i + E_j + E_k) / E \quad (5)$$

由此可计算出各个工序的能耗比例。同时,当设备配置方式变更后,通过总能耗和 $\omega$ 值的变化,可分析在一定生产工艺条件下,纤维制备生命周期能耗的重要影响因素,并确定设备的优化配置方案。

## 3 纤维制备单元能耗实验结果与分析

在前述的工艺和设备条件下,利用统计实验的方法,监测该工厂连续 30d 的生产数据,并将测试结果进行整理分析。为了更清晰地表述纤维制备单元的能耗规律,根据纤维制备单元各工序的工艺特点和设备情况,将其划分为木片制备、纤维制备两个主要过程,将两个工序消耗的电能和热能折算成生产单位纤维的能耗进行比较分析。

### 3.1 木片制备工序能耗

采集木片制备过程的电能数据,并根据给出的电能标准化换算方程,以 1t 木质纤维为功能单位,将其转换为标准煤数量。木片制备过程各工序的电能耗量情况如表 1 所示,单位纤维对应木片制备过程各工序的电能消耗如图 2 所示。

表 1 木片制备过程各工序电能消耗量及折标准煤量

Table 1 Electrical energy consumption and standard coal equivalent amount for the each process in chip preparation process

工序	设备功率/kW	各工序能耗折标准煤/kg
削片	250	30.7250
辊筛	15	1.8435
水洗	100	12.2900
双脱水螺旋	30	3.6870

由于中国纤维板企业所使用的工艺木片大多数由小径

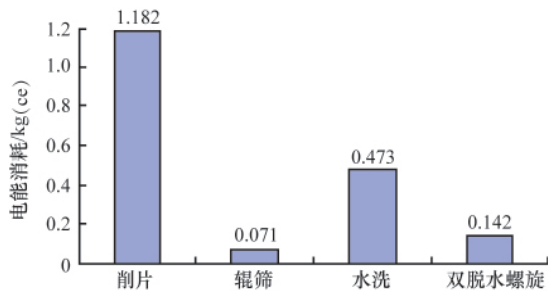


图2 木片制备单元生产单位纤维电能消耗

Fig. 2 Electrical energy consumption per unit fiber of chip preparation element

木和枝桠材经削片设备加工而成,受原材料来源和质量的限制,小径木并不进行剥皮,木片中树皮和杂质的含量较高,需对木片进行清洗和脱水,水洗过程需要消耗能源,并会产生污水回收和处理的能耗,同时也会对环境产生影响,因此,在纤维板制造行业中,越来越多的企业倾向于直接购买工艺木片而非自行加工。由此可见,将原材料供应基地进行积极整合,向纤维板企业直接供应高质量的木片,是原料供应商需要积极努力的方向。同时,从设备和工艺角度讲,积极研发小径木高效剥皮和杂质筛分设备,也是有效提高木片质量,节约生产能耗的有效手段和方法。

### 3.2 纤维制备工序能耗

#### 3.2.1 纤维制备工序电能消耗

在上述工艺条件下,纤维制备过程各工序电能消耗量及折标准煤情况如表2所示,生产单位质量纤维各工序电能消耗如图3所示。

表2 纤维制备过程各工序电能消耗比例

Table 2 Electrical consumption ratios for the each process in fiber preparation process

工序	设备功率/kW	各工序能耗折标准煤/kg
蒸煮	3.7	0.4547
木塞螺旋	450	55.3050
热磨	4000	491.6000
施胶	3	0.3687
干燥	1200	147.4800

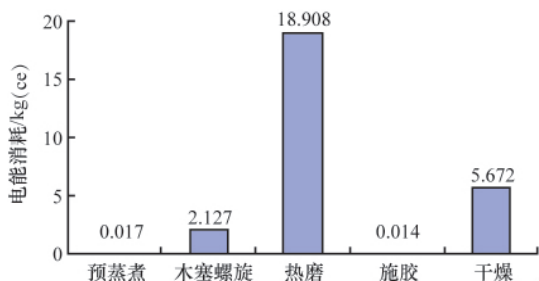


图3 纤维制备单元生产单位质量纤维电能消耗

Fig. 3 Electric energy consumption per unit fiber of fiber preparation element

由图3数据可以看出,纤维制备过程中,热磨工序和干燥工序是消耗电能最多的工序。其中,热磨工序消耗的电能是干燥工序的3倍之多。可见,控制热磨工序的电能消耗是节约能耗的重要手段。由于提高热磨效率能有效降低生产单位纤维的能耗,近些年纤维板制造企业对大尺寸热磨机需求呈上升趋势。风机的电能消耗是管道干燥工序的主要电能消耗,干燥纤维所用热蒸汽的能耗是纤维干燥过程的主要能源消耗。

#### 3.2.2 纤维制备工序热能消耗

纤维制备过程中,预蒸煮、蒸煮和干燥过程消耗热能,本研究所选纤维板厂蒸汽消耗量及分配情况见表3。实验中结合该厂的实际耗能情况,1t蒸汽按 $2.5 \times 10^9$ J热量计算,通过热能标准化转换方程折算为标准煤数量,各工序热能消耗及折标准煤情况如表3所示。从表中可以看出,生产单位质量纤维所消耗的总蒸汽量为40t/h,其中干燥工序消耗蒸汽量占75%。

表3 纤维制备各工序热能消耗量及折标准煤量

Table 3 Heat energy consumption and standard coal equivalent amount for the each process of fiber preparation

工序	蒸汽消耗/(t·h <sup>-1</sup> )	折标准煤/kg
热磨(预蒸煮)	3	257.14
热磨(蒸煮)	7	600.01
干燥	30	2571.43

图4是根据表3数据计算的单位纤维热能消耗情况。由图可看出,生产单位质量纤维需消耗131.87kg(ce)/h,而且主要消耗在干燥工序。在较高的纤维干燥能耗下,提高干燥效率,合理设计与匹配风机与散热器等设备,合理设置纤维干燥管道并精确调整相关的控制参数,开发高效的换热器,将是有效降低能耗的重要措施,也是今后研究的重要方向。

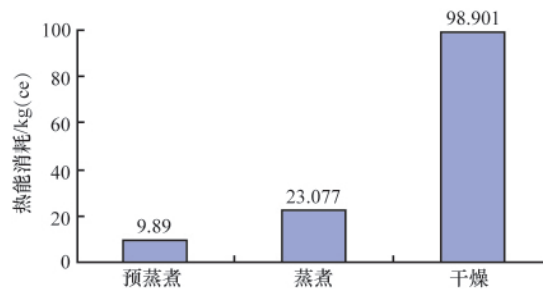


图4 纤维制备单元生产单位质量纤维热能消耗

Fig. 4 Heat energy consumption per unit fiber of fiber preparation element

### 3.3 纤维制备单元总能耗分析

根据以上数据及木质纤维制备各工序的能耗计算,可以计算出生产单位质量纤维所消耗的标准煤量为

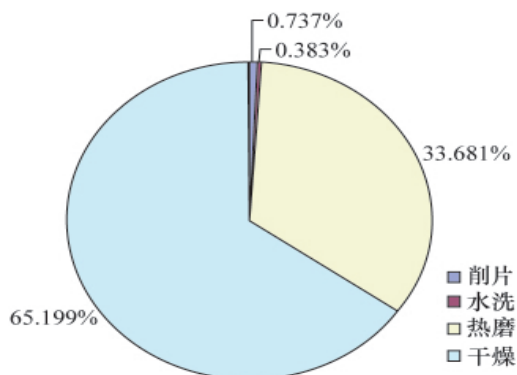
$$E = \sum (e_i \cdot P_i) + \sum (M_j \cdot P_2) + \sum Q_k/q = 162.434 \text{kg(ce)/t}$$

在上述能耗计算中,关于耗能工质能源的计算,因该纤维板厂每天新水输入量约为 200t,折标准煤系数为 0.0857kg(ce)/t,则生产单位纤维的能耗值很小,故将其忽略不计。

将上述实验结果进行综合,可以得出生产单位质量纤维总能耗(表 4),同时分析各工序能耗占纤维生产单元总能耗比例,结果如图 5 所示。

**表 4 各工序热能消耗量及折标准煤量**  
**Table 4 Heat energy consumption and standard coal equivalent amount for each process**

工序	各工序能耗 折标准煤/kg	单位纤维各工序能耗 折标准煤/kg
削片	30.725	1.182
水洗	17.820	0.686
热磨	1348.723	51.875
干燥	2718.908	104.573



**图 5 纤维制备单元生产单位质量纤维总能耗分配**  
**Fig. 5 Total energy distribution per unit fiber of fiber preparation element**

由图 5 可知,在木质纤维生产各工序中,干燥、热磨工序消耗能量较多,分别占总能耗的 65.199%和 33.681%。通过计算可知,生产 1t 纤维所消耗的 162.434kg(ce)能量中,总热能消耗为 132.84kg(ce),总电能消耗为 29.59kg(ce)。由此可见,在纤维生产总能耗中,热能消耗所占比例较大,电能和热能消耗比例大约在 1.00:4.49,热能消耗约是电能消耗的 4.5 倍。此比例在干燥过程中表现更为突出,达到 1.0:17.4。因此,在干燥过程中,合理匹配和优化干燥温度、气流速度、纤维初含水率、管道长度、送料浓度等工艺参数和设备,并综合回收和利用干燥余热,对纤维板生产节能降耗具有重要作用。

热磨工序中,电能和热能消耗比例大约在 1.00:1.75,观测能量的实际消耗,电能转化的机械能 90%用于水蒸汽的蒸

发,仅有 10%用于纤维分离。因此,合理控制木片蒸煮时间、蒸煮温度、降低含水率是降低热磨能耗的有效方法。

#### 4 结论

本文对国内典型年产 20 万 m<sup>3</sup> 纤维板企业的纤维制备单元进行了能耗实验统计分析,在一定的生产设备和工艺条件下,可得出如下结论。

(1) 定量测试和分析纤维制备单元各工序以标准煤表征的电能、热能的消耗,结果显示,每生产 1t 纤维总能耗为 162.434kg(ce);其中,总热能消耗为 132.84kg(ce),总电能消耗为 29.59kg(ce),电能和热能消耗比例大约在 1:4.49。

(2) 在纤维制备各工序中,干燥、热磨工序因同时消耗电能和热能而成为主要耗能工序,其能耗占总能耗的比例分别为 65.199%和 33.681%。其中,纤维干燥工序电能和热能消耗比例为 1:17.4,热磨工序该比例为 1:1.75。

(3) 从数据结果看,纤维制备单元的干燥和热磨工序是节能降耗的关键环节,是采取节能措施的重要实施对象,亟待从工艺、设备和节能技术等诸多环节上加以解决。

总之,对纤维板纤维制备单元进行能耗的定量分析,能为生产实际节能降耗提供理论依据,以达到节约能源和优化资源配置的目的。同时,也可开展纤维板生产单元的节能技术和系统节能技术的研究提供技术支撑。

#### 参考文献 (References)

- [1] 晨夕. 中国纤维板产业报告 2010 发布[J]. 中国人造板, 2011, 18(12): 39.  
Chen Xi. China Wood-based Panels, 2011, 18(12): 39.
- [2] 高金贵, 高开斌, 姜兆方, 等. 中密度纤维板干燥线的节能减排 [J]. 林产工业, 2011, 18(1): 42-43.  
Gao Jingui, Gao Kaibin, Jiang Zhaofang, et al. China Forest Products Industry, 2011, 18(1): 42-43.
- [3] Rivela B, Moreira M T, Feijoo G. Life cycle inventory of medium density fiberboard [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2007, 12(3): 143-150.
- [4] 贺志强, 周永东, 孙峰. 纤维干燥中热能利用现状及发展趋势[J]. 中国人造板, 2012, 19(3): 4-7.  
He Zhiqiang, Zhou Yongdong, Sun Feng. China Wood-Based Panels, 2012, 19(3): 4-7.
- [5] 郭森民, 钟光清, 李芳. 人造板生产线热能系统的发展[J]. 能源与环境, 2004, 23(1): 24-26.  
Guo Senmin, Zhong Guangqing, Li Fang. Energy and Environment, 2004, 23(1): 24-26.
- [6] 伊松林, 张璧光. 热管换热器用于木纤维干燥余热回收的可行性分析 [J]. 华北电力大学学报: 自然科学版, 2012, 39(1): 81-83.  
Yi Songlin, Zhang Biguang. Journal of North China Electric Power University: Natural Science Edition, 2012, 39(1): 81-83.
- [7] 国家发展和改革委员会能源研究所, 中国标准化研究院. GB/T2589—2008 综合能耗计算通则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 59-92.  
Energy Research Institute, National Development and Reform Commission, China National Institute of Standardization. GB/T2589—2008 General principles for calculation of total production energy consumption[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 59-92.

(责任编辑 王媛媛, 马骁骁)