

移动式枝桠材锯末机切削原理及力学分析

姜新波, 李晋哲*

(东北林业大学 林业与木工机械工程技术中心, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要:移动式枝桠材锯末机主要针对林间采伐以及城市园林修剪过程中遗留的树枝树叶等小径级枝桠材进行粉碎切削。通过对移动式枝桠材锯末机的切削原理进行分析, 计算出主轴锯片的切削力 $F_u \approx 260\text{ N}$, 可以实现对小径级枝桠材的粉碎切削。同时找出底刀与锯片间的间隙、切削遇角 θ 等影响物料切削质量的主要影响因素, 为整机设计提供理论依据。

关键词:枝桠材锯末机; 切削原理; 切削力

中图分类号:S776.03 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)04-0267-04

Cutting Principle and Mechanical Analysis of a Movable and Miniature Pine Branch Pulverizer

JIANG Xin-bo, LI Jin-zhe*

(Forestry and Woodworking Machinery Engineering Technology Center, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

Abstract: The movable and miniature pine branch pulverizer is mainly used for crushing small diameter grade brushwoods, such as branches and leaves which are left behind forest harvesting and urban gardens pruning processing. Based on the principle of cutting of movable and miniature pine branch pulverizer, we analyzed and calculated the spindle blade cutting force. The cutting force was 260 N. Main factors affecting the quality of the material cutting were determined, including the gap between the end of the knife and saw blade, cutting corner θ . These factors would provide a theoretical basis for the whole design.

Key words: miniature pine branch pulverizer; cutting principle; cutting force

我国木材资源丰富, 据统计, 到 2013 年我国现有有用材林 7 000 万 hm^2 、经济林 2 000 万 hm^2 、竹林 720 万 hm^2 。森林年均采伐量 3.34 亿 m^3 。其中天然林年均采伐量 1.79 亿 m^3 , 人工林年均采伐量 1.55 亿 m^3 ^[1]。然而在林间采伐以及城市绿化修剪过程中产生的大量树枝、树叶和小枝桠等木材剩余物却不能有效回收和利用, 导致了大量资源的浪费^[2-9]。木材粉碎机是包括锯末粉碎机、削片机、木屑机等在内的可以用来将木材粉碎成薄片、木屑等小型碎片的木材加工机械, 是木材加工生产过程中重要的备料设备之一^[10]。本文所述的移动式枝桠材锯末机是一种将木材切削成木材碎屑的机器, 与木材锯末粉碎机类似, 也是粉碎机中的一种。

1 移动式枝桠材锯末机的组成结构

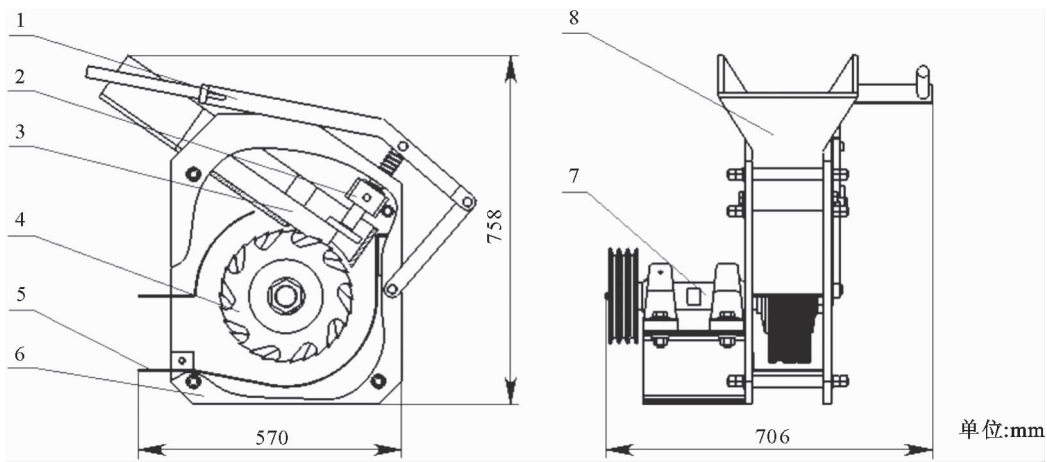
本研究的移动式枝桠材锯末机安装在拖拉机等林间行走式设备上, 依靠拖拉机提供动力, 整机结构如图 1。其采用直刃锯片切碎方式, 锯片数量为 40 片, 均布放置在主轴上, 每个锯片之间旋转 $2^\circ \sim 3^\circ$ 。进料方式为自由进料, 通过进料槽的倾斜布置, 方便物料依靠自身重力向下进给。通过手动操作使压紧机构的压头将物料压紧, 使得物料能够紧贴锯片, 从而实现对物料的粉碎。在林间作业过程中, 为方便木材碎屑的收集与装车, 出料方式选择下出料方式。采用这种方式出料, 可以将木材碎屑直接排放到碎屑收集袋中, 收集过程方便、快捷, 而且收集效率高。

收稿日期: 2014-10-17 修回日期: 2014-12-11

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201404506)。

作者简介: 姜新波, 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 机械设计及理论。E-mail: jxb-1967@163.com

* 通信作者: 李晋哲, 男, 在读硕士, 研究方向: 机械设计及理论。E-mail: 1990lijinzhe@163.com



1.手柄 2.压紧块 3.物料 4.锯片组 5.出料口 6.机架 7.主轴组件 8.进料槽

图 1 整机结构

Fig. 1 Structure of the machine

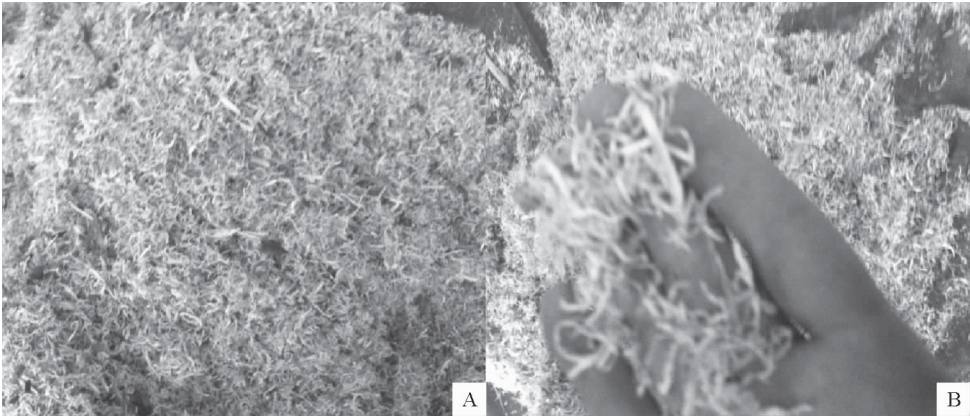


图 2 移动式枝桠材锯末机试验结果

Fig. 2 The experimental results of the machine

2 切削原理分析

本研究的移动式枝桠材锯末机的切削过程由锯切和剪切过程组成。其中,锯切过程是通过手动压紧机构将物料压在锯片上,锯片在旋转过程中刀刃对物料表面产生锯切力,将物料切下。剪切过程是锯片组中相邻锯片之间对锯切后的物料锯屑进行二次剪切和粉碎的过程。在切削过程中,锯片的切削面不断变化,因此导致遇角在一定范围内随木材厚度而变化。在切削过程中,锯片在接触弧上任一点 m 的遇角 θ 为^[11]:

$$\theta=90^{\circ}-\arcsin \frac{B-H_m}{R} \tag{1}$$

式中: B 为锯轴轴线到进料槽底面的垂直距离,mm; H_m 为接触弧上任意一点 m 到进料槽底面的垂直距离,mm; R 为锯片的切削圆半径,mm。

对式(1)中 H_m 求导可知,随着 H_m 的减小,遇角 θ 的增加越快,角度值越大。遇角过大会导致进料时

切削力与木材纤维夹角接近 90° ,使切削力减小,出现切不动木材的情况,同时影响之后的剪切作用。如图 2 所示,经实验得知,将锯片与进料槽底部之间的间隙调整为 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$,可以得到宽度为 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ 的松木木屑。木材的切削原理如图 3 所示。

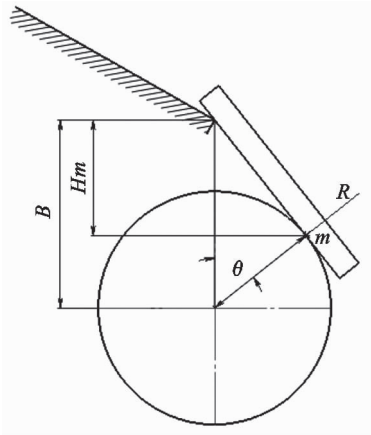


图 3 切削原理示意

Fig. 3 Schematic diagram of cutting principle

3 切削力分析

单位切削力即为锯片刀刃单位长度上的切削力,是木材切削的最基本参数^[12]。移动式枝桠材锯末机切削部分主要由进料槽、锯片和压紧块组成,在切削过程中,锯片高速旋转,同时压紧块压紧物料,通过进料槽进料使物料与锯片充分接触,以保证切削质量。切削粉碎机构是该移动式枝桠材锯末机核心构件,其工作性能直接决定物料的加工质量,因此需对切削粉碎机构所产生的切削力进行分析校核。

锯片上任意一点 m 对木材的总进给力 F_u 可分解为锯切力 F_x 和垂直分力 F_y ,锯片纵向进给时,总进给力 F_u 分解为阻力 F_{u1} 、 F_{u2} ^[13]:

$$F_u = F_{u1} + F_{u2} \tag{2}$$

式中: F_{u1} 为总进给力切向分力; F_{u2} 为总进给力法向分力;

其中 F_{u1} 为 F_x 和 F_y 在进给方向上的分力,即

$$F_{u1} = F_x \cos\theta + F_y \sin\theta \tag{3}$$

F_{u2} 为 F_x 和 F_y 在垂直于进给力方向上木材与工作台之间产生的摩擦阻力,即

$$F_{u2} = \mu(F_x \sin\theta - F_y \cos\theta) \tag{4}$$

则总给力 F_u :

$$F_u = F_{u1} + F_{u2} = F_x \cos\theta + F_y \sin\theta + \mu(F_x \sin\theta - F_y \cos\theta) \tag{5}$$

锯片上任一点 m 受力分析如图 4 所示。

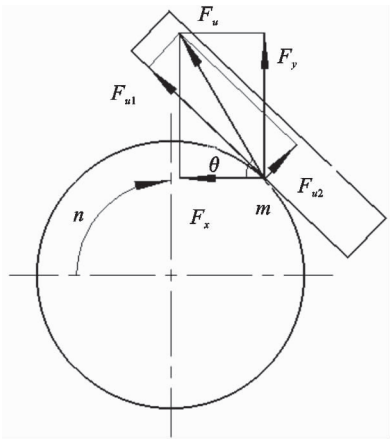


图 4 锯片上任一点 m 受力分析

Fig. 4 A point m of the blade on the force analysis chart

移动式枝桠材锯末机利用倾斜进料的方式,使物料依靠自身重力产生进给时的动力,同时锯片旋转方向与物料进给方向相同,提高了生产量。本研究的移动式枝桠材锯末机的主切削机构布置于进料口前方,当物料由进料口进入时,物料受到压紧机构与锯片的作用而被切削。在整个切削过程中,锯片作用在物料上的切削力的方向与物料进给方向的遇

角 θ 保持不变,不会随物料径级大小的不同而改变。

木材的切削过程较为复杂,切削功率的大小受木材特性、刀具特性和切削用量等条件的限制。木材特性包括木材纤维、木材径向折断、木材种类、木材含水率等;刀具特性包括刀具角度、刀刃锐利程度、刀具材质等;切削用量包括切削深度、切削速度、进给速度等。在本研究的分析过程中采用经验公式计算法,该方法是利用切削力与切削功率单位值在大量实验基础上总结产生的,在工程计算中应用广泛。

单位时间内锯切的锯屑体积 V_0 ^[14]:

$$V_0 = bh_0 u (\text{cm}^3/\text{s}) \tag{6}$$

锯切力 F_x 计算方法如下:

$$F_x = \frac{KV_0}{v} = \frac{Kbh_0 u_z}{t} (\text{N}) \tag{7}$$

式中: K 为单位锯切力, N; b 为锯路宽度, mm; h_0 为锯路高度, mm; u_z 为每齿进给量, mm。

单片锯片锯切功率 P 与单位锯切力 K 的关系:

$$P = \frac{KV_0}{1\,000} = \frac{Kbh_0 u}{1\,000} \tag{8}$$

单位切削力 K :

$$K = \frac{F_x}{eb} = \frac{F'_x}{e} = 9.807(q + \frac{H}{e}) (\text{MPa}) \tag{9}$$

由于该移动式枝桠材锯末机粉碎产生的锯屑较厚,因此使用拨料齿厚锯屑时的公式得到锯切功率:

$$P = 9.807 \left[a_b a_w a_q q + \frac{\alpha_h h_0}{b} + \frac{a_b a_w a_h H}{\frac{b}{s} u_z \sin\theta} \right] \frac{bh_0 u}{1\,000} (\text{kW}) \tag{10}$$

式中: b 为锯路宽度, mm; h_0 为锯路高度, mm; u 为进给速度, m/s; H 为计算数值, 取 0.8; q 为计算数值, 取 3.7; a_b 为修正系数, 数值为 1.10; a_h 为修正系数, 数值为 1.45; a_q 为修正系数, 数值为 1.10; a_w 为修正系数, 数值为 1.00。

则 $P \approx 0.24 \text{ kW}$, 由于该移动式枝桠材锯末机共装有 40 片锯片, 所以该移动式枝桠材锯末机的切削功率为 9.3 kW。

因此得到锯切力 F_x :

$$F_x = 9.807 \left[a_b a_w a_q q + \frac{\alpha_h h_0}{b} + \frac{a_b a_w a_h H}{\frac{b}{s} u_z \sin\theta} \right] \frac{bh_0 u_z}{t} (\text{N}) \tag{11}$$

式中: t 为单位时间, s; u_z 为单位每齿进给量, mm。

经计算得出锯切力约为 140 N, 满足切削粉碎条件, 可以实现对物料的粉碎。

F_y 是垂直分力, 是推力 f_2 和拉力 F_2 的代数和, 即

$$F_y=f_2-F_2 \tag{12}$$

$$f_2=9.807(1-x)\left[\frac{a_ba_wa_hH}{\mu\frac{b}{s}u_z\sin\theta}\right]\frac{bh_0u_z}{t}(\text{N}) \tag{13}$$

$$F_2=9.807\left[a_ba_wa_qq+\frac{\alpha_hh_0}{b}+\frac{a_ba_wa_hH}{\frac{b}{s}u_z\sin\theta}\right]\frac{bh_0u_z}{t}$$

$$\tan(90^\circ-\delta-\varphi)(\text{N}) \tag{14}$$

式中： f_2 为推力，该力具有将刀具分开线以下的木材推离刀具的趋势； F_2 为拉力，该力具有将刀具分开线以下的木材拉向刀具的趋势。

其中 φ 为摩擦角，由于刀具与木材间的摩擦系数， $\mu=0.25\sim0.30$ ，故 $\varphi=15^\circ\sim17^\circ$ 。 μ 取 0.30 ， x 取 0.5 ， $\delta=55^\circ$ ，则 $F_y=407\text{ N}$ 。

将所得 F_x 与 F_y 代入式(5)可得总进给力 F_u 约为 260 N 。通过以上对该移动式枝桠材锯末机锯片的切削力的分析可知，该锯末机的锯片能够对物料进行粉碎，可以实现设计功能，满足设计要求。

4 小结

对移动式枝桠材锯末机切削原理的分析可知，将进料槽底部与锯片间的间隙保持在 $0.5\sim1\text{ mm}$ 可以保证切削遇角 θ 的稳定，进而提高物料的切削质量。

根据切削力计算公式计算得到的总进给力 F_u 约为 260 N ，满足针对松木树枝树叶、小枝桠等采伐残余物的切削要求，这为移动式枝桠材锯末机的设计提供了理论依据。

参考文献：

[1] 钱小瑜. 中国林业资源与非木纤维供给分析[J]. 中华纸业, 2014(9):23-27.

[2] 张绍群, 张西洋, 王述洋, 等. 一种林间削片压缩打包联合机的设计方案[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(8):2502-2504.

[3] 朱思洪, 付东荔, 缪小红, 等. 树枝粉碎机的研制[J]. 南京农业大学学报, 2004(3):111-113.

ZHU S H, FU D L, MIAO X H, *et al.* Research and develop-

ment of branch grinder[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2004(3):111-113. (in Chinese)

[4] 高锐. HLZFS430Q 树枝粉碎机的研制[J]. 福建林业科技, 2011(3):82-84.

[5] 姜雪松, 张红丽. 树枝枝丫粉碎机的研制[J]. 东北林业大学学报, 2012(7):154-157.

JIANG X S, ZHANG H L. Research and development of branch chipper shredder[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012(7):154-157. (in Chinese)

[6] 牛晓华, 吴兆迁, 樊涛. 木质物料粉碎机的设计[J]. 林业劳动安全, 2008(3):14-17.

[7] 王友林. 树枝粉碎机的设计要点及分析[J]. 林业建设, 2008(2):31-33.

[8] 余雕, 耿增超. 农业秸秆生物质转化利用的研究进展[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(1):157-161.

SHE D, GENG Z C. Progress in biomass conversion and utilization of agricultural cereal straw[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(1):157-161.

[9] 刘志佳, 李黎, 鲍甫成, 等. 弯曲木构件弹性恢复与终含水率的关系研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(4):169-173.

LIU Z J, LI L, BAO F C, *et al.* Relationship between elasticity deformation and final moisture content of bending wooden-samples[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(4):169-173. (in Chinese)

[10] 张晓文, 顾正平. 木材削片机研究进展[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(3):64-70.

ZHANG X W, GU Z P. Progress of the theoretical study on wood chippers[J]. Journal of Beijing Forestry University, 1999, 21(3):64-70. (in Chinese)

[11] 姜新波, 南亦博. 秸秆锯切式粉碎机的研究与设计[J]. 林业科技, 2013, 28(5):31-33.

[12] 顾正平, 沈瑞珍. 盘式短刀枝桠削片机设计参数的影响因素[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6):183-186.

GU Z P, SHEN R Z. Factors affecting design parameters of disc branch chipper with short knives[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(5/6):183-186. (in Chinese)

[13] UWE HEISEL, JURGEN FRONIUS. 木材加工精密刀具[J]. 国际木材加工技术, 1999, 46(5):44-47.

[14] 金维洙, 贾娜, 冯莉. 木材切削与木工刀具[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 2005:15-23.