

基于测厚控制与液压的无卡轴旋切机设计

郑剑翔

(福州大学自动化研究所, 福建 福州 350002)

摘要: 介绍一种采用液压进给机构和以检测木片厚度为控制目标的无卡轴旋切机。采用独特的厚度检测机构, 实现直接以切割厚度为控制目标的闭环控制系统, 克服了柔性液压传动系统所带来的厚度不均匀的问题。

关键词: 无卡轴旋切机; 液压; 测厚

中图分类号: TP271. 2

文献标识码: A

Design of round wood non center peeling machine based on thickness detecting and hydraulic pressure

ZHENG Jian-xiang

(Institute of Automation, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: This article introduces a new kind of round wood non-center peeling machine which is based on the hydraulic which is used as knife feeding driver and closed-loop control system with the thickness target. A unique thickness detecting mechanism is designed for the control target detecting so as to realize the closed-loop control method and solve the problem of nonuniformity of chip thickness.

Keywords: non-center peeling machine; hydraulic pressure; thickness detecting

目前市场上的旋切机多以丝杆进给系统为主。丝杆进给系统有其缺点, 主要问题是进给电机的功率大、退刀速度慢, 工作效率低、丝杆损坏率高、控制系统比较复杂等, 而用液压油缸替代丝杆作为旋切机的进给机构是克服上述缺点的一个办法。但是, 由于液压属柔性传动系统进给速度会因负载大小的变化而变化; 而木材随树种的不同有软硬区别, 且同一木芯也有阴阳面之分。因此在旋切过程中不断变化的负载, 会造成进给速度的不稳定^[1], 影响了液压进给系统旋切机的性能, 使得目前旋切机多数仍采用丝杆进给系统。此外, 现有的旋切机是采用非闭环的控制方式: 检测被切割木材的直径, 根据理论计算公式^[2]得到当前需要的进刀速度, 通过变频器调节丝杆驱动电机的转速, 达到厚度均匀的切割目的。这种非闭环(误差检测不是取自最终控制对象——厚度)的控制方式对于具有刚性特点的丝杆传动机构是可行的。所谓传动机构的“刚柔性”, 也就是指其输入和输出之间关系的稳定性。而对于液压传动机构而言, 其输入(液压的改变)和输出(位移速度的改变)不成固定的线性关系, 而会受其负载大小的影响。也就是给定了计算好的输入并非能得到想要的输出, 难以达到准确控制厚度的目的。因此, 要想将液压传动系统应用于旋切机, 必须改非闭环控制为闭环控制, 即把误差信号的检测从检测木材直径改为直接检测切割木片的厚度。在闭环控制下, 由于液压传动机构的输入是直接根据厚度误差计算得到。任何因素对切割厚度产生的影响都会得到修正, 当然也包括“柔性”传动所带来的影响。因此, 实现厚度检测和采用闭环控制系统是解决旋切机液压传动进给机构关键所在。

旋切机如何实现切割木片的厚度检测是一个难点。经过反复实验, 设计了一种厚度检测机构, 进而使用闭环控制方式成功地把液压传动系统应用于旋切机, 取得了满意的结果。

收稿日期: 2005- 10- 09

作者简介: 郑剑翔(1955-), 男, 助研。

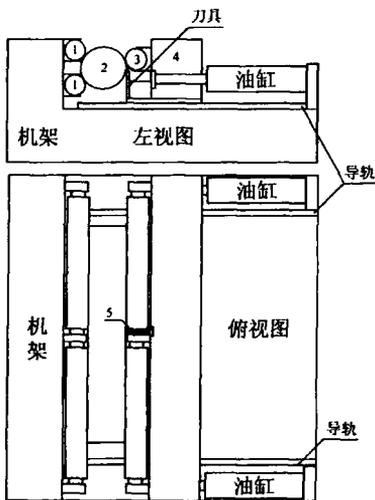
应用液压推进实现旋切机的刀具进给,除了需要克服上述的“柔性”问题外,主要困难还有2点:①液压系统延时特性大,反应速度慢,另一方面,旋切的速度又比较快,大大增加了适时调节切割厚度的困难.②由于旋切过程都是短过程,频繁的启动使控制过程的起始阶段成为旋切质量的关键问题.

本文围绕这些问题讨论并简要介绍该机器原理与设计.

1 进给和厚度检测机构

图1为旋切机示意图.图中,液压油缸替代了原有的丝杆作为刀具的进给机构.刀具、动滚轴和厚度检测机构都固定在动机架上.切割时,这些构件随着动机架被液压油缸推进,同时动力系统驱动定滚轴和动滚轴朝适当的方向滚动.在油缸推动下,被切木头夹在滚轴间滚动,同时被刀片切割.

图2为厚度检测机构侧面示意图.图中探测前杆看起来与动滚轴重叠部分是在动滚轴上开一个厘米长的槽,将探测杆嵌入其中.当切削出的木片挤过探测头滚轮与刀具时,探测前杆向后移动,探测后杆向上移动,使探测后杆上的磁铁与位移传感器距离减小,传感器由此得到木片厚度信号.为了得到准确的厚度信号,必须调整传感器支架的高度,使探测头滚轮尽量靠近刀具的刀锋口上,从而避免测量误差,因为刚被刀具切离木芯的木片与刀具贴的较紧,它们之间既无空隙,也不抖动.



1. 定滚轴 2. 被切木材 3. 动滚轴
4. 动机架 5. 厚度检测机构

图1 旋切机及进给机构示意图

Fig.1 Wood peering machine schematic diagram

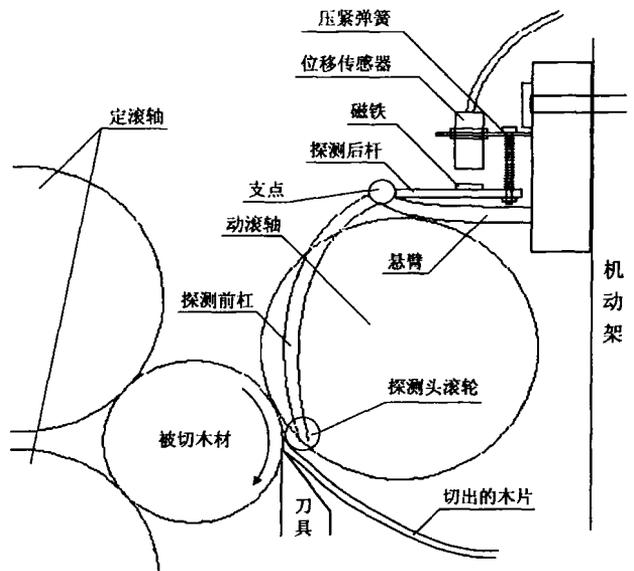


图2 厚度检测机构示意图

Fig.2 Thickness detecting mechanism diagram

2 提高切割质量的措施

2.1 精确给定初始值以消除启始抖动

一次切割过程一般都只持续几秒或十几秒,所以旋切机的PID控制过程的启始阶段的误差调整显得特别重要.一般PID控制过程的启始阶段都会产生一个抖动过程,该过程会产生数十厘米长不符合要求的切片.如何消除这个抖动是提高切割质量的关键.本机采用的方法是事先给定正确的初始值,以消除启始阶段的误差,达到消除启始阶段的抖动.文献[2]给出了以木材直径 ϕ 为变量的进给速度 V 的计算公式.

$$V = \left[1 + \frac{\phi + D}{\sqrt{(\phi + D)^2 - a^2}} \right] \times \frac{D \times n_0 \times S}{\phi}$$

式中: S 为切割厚度; D 为驱动滚轴直径; n_0 为滚轴转速; a 为两定滚轴中心距离. 这些均为已知常数

根据此公式, 只要知道开始切割时木材的直径, 便可适时给出正确的初始速度值。

2.2 末端补厚

由于液压传动延时性大, 必须采用较低的 PID 采样频率与之相适应。这就使得进给速度的调节无法变化太快。对于接近木芯的切割, 需要很大进给加速度, 单靠 PID 自动调节无法跟上, 这时须增加末端补厚措施以避免末端太薄的缺陷。

2.3 启始补厚

在切割的启始阶段, 如果仅根据理论计算所得的切割速度 V_i 进给切割, 所得到的木片从薄到厚的启始过度段仍嫌太长, 为了缩短这个过程, 采用 $V_0 = V_i + \Delta V$ 作为初始速度, 使得初始进刀过程加快。在此过程中, 先以一较高的频率检测切片厚度数值, 一旦厚度接近目标值时, 及时将进给速度回到 V_i , 同时启动 PID 控制过程, 并将采样频率降到适合 PID 控制所需的频率 (约 5 Hz), 以达到平稳进入 PID 控制过程的目的。

3 控制程序流程

主控制程序的流程如图 3 所示。开始切割运行后, 计算机根据计算公式给出初始进刀速度。计算公式中所需的变量除了切割厚度和被切割木头直径外都是已知常数。切割厚度是事先设定的参数, 在切割过程中也是已知常数。只有被切割木头直径是需要讨论的变量。如果机器备有检测当前刀具与定滚轴之间的距离的传感器, 获得木头直径的数据就不成问题。但是本机为控制过程而设的传感器是检测切割木片的厚度。为降低成本, 没有专设一个传感器为此服务。为了得到木头直径的数据, 本机采用零位校准复位, 累记移动时间, 通过移动速度和时间求得当前刀具位置的办法。当然, 如果有此距离传感器, 运算程序会更简单, 误差也小。

如前所述, 根据理论计算值, 刀具先以 $V_0 = V_i + \Delta V$ 的速度进给。控制器先以 400 Hz 的采样频率检测木片厚度, 以便及时从厚度数据变化中, 测出 2 个操作时刻点, 即它们是刀具接触木头开始切割的时刻和厚度接近设定值的时刻。后者所作的操作是启动 PID 控制程序 (即修改进给速度为 $V_0 = V_i$ 、降低采样频率为 5 Hz、令 $F_0 = 1$)。前者是启动定时器 T_0 , 此定时器的作用是从开始切割的时刻算起, 在规定时间内强制启动 PID 调节程序。防止由于木头表面的缺陷或定位计算误差等其他原因, 使木片厚度不能达到设定值, 以致无法启动 PID 控制过程。末端补厚的起始点是由一个行程开关决定。当木芯小到一定尺寸时, 额外给 PID 运算结果添加一个增量, 加快刀具进给速度。

4 PID 运算程序流程

以切割木片厚度误差为控制目标的比例微积分运算程序是控制程序的核心。根据 PID 控制理论, 其输入输出关系为:

$$U(t) = K_p \cdot [e(t) + (1/T_i) \cdot \int e(\tau) d\tau + T_d \cdot de(t)/dt] \quad (1)$$

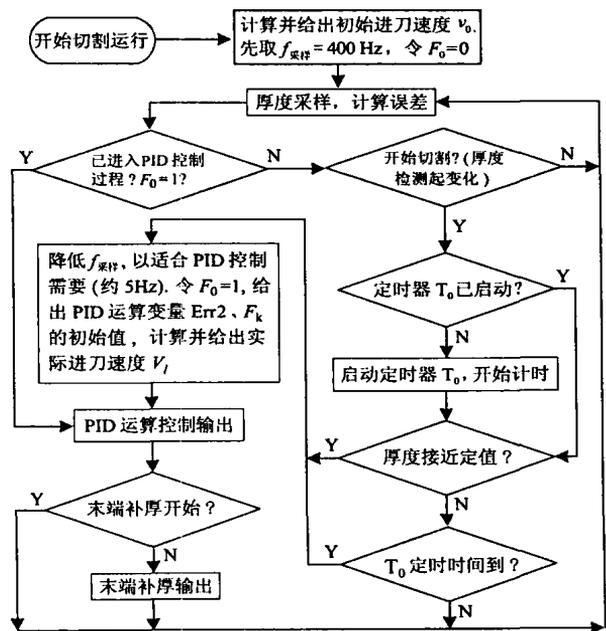


图 3 主控制软件流程图

Fig. 3 Main control software flow chart

其中: K_p 为比例系数; T_i 为积分常数; T_d 为微分常数; $U(t)$ 为控制器输出; $e(t)$ 为厚度误差(厚度目标值减厚度采样值). 将上式离散化可写成:

$$U(k) = K_p \cdot e(k) + K_i \cdot \sum e(i) + K_d \cdot [e(k) - e(k-1)] \tag{2}$$

式中: 令 $K_i = K_p \cdot T_s / T_i$; $K_d = K_p \cdot T_d / T_s$; T_s 为采样周期. 从式(2) 可得:

$$U(k) - U(k-1) = d_0 \cdot e(k) - d_1 \cdot e(k-1) + d_2 \cdot e(k-2) \tag{3}$$

其中: $d_0 = K_p \cdot (1 + T_s / T_i + T_d / T_s)$; $d_1 = K_p \cdot (1 + 2 T_d / T_s)$; $d_2 = K_p \cdot T_d / T_s$.

将(3) 式改写为:

$$U(k) = d_0 \cdot e(k) + F(k-1) \tag{4}$$

其中: $F(k-1) = U(k-1) - d_1 \cdot e(k-1) + d_2 \cdot e(k-2)$. 根据式(4), 可以得到如图 3 中“PID 运算控制输出”方框的细化流程图(见图 4). 图中各变量和常数定义如下: $Targ$ 为厚度目标设定值; $Thick$ 为当前厚度采样值; $Err1$ 为当前厚度误差值; $Err2$ 为前次厚度误差值.

PID 参数的整定: 先令 $d_0 = d_1 = K_p, d_2 = 0$, 此为纯比例闭环控制过程. 通过调节 K_p, T_s 试验, 可得到纯比例闭环控制下的临界振荡周期和比例系数 T_u, K_u .

采样周期 $T_s = 0.1 T_u, T_i = 0.5 T_u, T_d = 0.125 T_u, K_p = 0.2 K_u$. 则可得 $d_0 = 0.49 K_u, d_1 = 0.7 K_u, d_2 = 0.25 K_u$. 最后参数的确定还应在实际运行中作些调整.

根据式(4) 可将控制过程简单表述为: 当正误差发生时(厚度采样值小于目标值)PID 输出修正值为正, 输出电压加大. 此电压作用于比例电磁阀, 使阀门开启度增大, 油缸的压力增加, 推进速度加快, 从而使切割厚度增加. 反之, 负误差产生时, 控制作用将使厚度减小. 隐含在公式中的微分作用可使控制过程更精确和迅速. 图 5 为控制系统方框图.

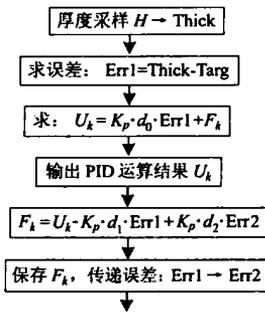


图 4 PID 流程图

Fig. 4 PID flow chart

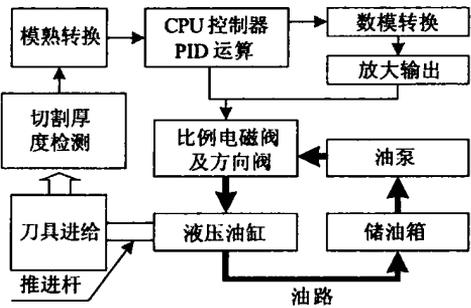


图 5 控制系统方框图

Fig. 5 Control system block diagram

5 结语

介绍了无卡轴液压旋切机的设计原理, 主要特点是采用了测厚机构, 使旋切机的闭环控制过程得以实现. 试生产运行表明, 对于直径小于 38 cm 的各种木材, 可以切割从 0.8~ 4 mm 各种厚度的木片. 需注意的是, 厚度检测机构中, 让探测前杆嵌入动滚轴所开的槽要尽可能大且深些. 否则, 当切割带树皮(尤其对长纤维的树皮)的木材时, 容易发生树皮阻塞检测槽的情况.

参考文献:

[1] 郑山华, 蒋华, 邓金华, 等. 数控无卡轴旋切机的设计与调试[J]. 林业机械与木工设备, 2002, 30(6): 15- 16.
 [2] 崔成法, 何德芳, 宋杰, 等. 无卡轴旋切机刀床变速进给理论的分析与应用[J]. 林产工业, 2001, 28(6): 19- 20.
 [3] 陈学永, 潘天红. 圆木无卡轴旋切机单片机控制系统的设计[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2003, 32(4): 533- 534.