

连续平压热压机驱动控制系统负载均衡算法 设计与实现

侯晓鹏¹, 张国梁², 王军锋³, 刘鑫钰⁴, 苗虎⁴

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 河北农业大学林学院, 河北保定 071000;

3. 广西壮族自治区林业科学研究院, 广西南宁 530002; 4. 中国福马机械集团有限公司, 北京 100029)

摘要: 为满足连续平压热压机驱动控制系统速度同步与负载均衡的控制需求, 结合人造板连续平压生产工艺和机械结构特征, 设计一套基于 Simotion 平台的驱动控制系统, 在此基础上, 进行控制系统的负载均衡算法设计, 并通过生产现场检验运行效果。实践表明, 该设计的算法实现了驱动控制系统各驱动单元之间载荷的有效分配, 速度偏差可精确地控制在 1‰ 以内。

关键词: 连续平压热压机; 驱动控制系统; 负载均衡

中图分类号: S77; TS64 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2018) 06-0013-05

Design and Application of a Load Balancing Algorithm for Driving a Continuous Press Control System

HOU Xiao-peng¹, ZHANG Guo-liang², WANG Jun-feng³, LIU Xin-yu⁴, MIAO Hu⁴

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. College of Forestry, Hebei Agricultural University,

Baoding 071000, Hebei, China; 3. Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry Research Institute, Nanning 530002, Guangxi, China;

4. China Foma (Group) Co., Ltd., Beijing 100029, China)

Abstract: In order to meet speed synchronization and load balancing control requirements for driving continuous presses, the authors designed a load balancing algorithm based on the SIMOTION platform. The authors took into consideration both continuous pressing technology for wood-based panel production and the mechanical structure of the continuous presses. The load balancing algorithm was applied in real time operation of a driving control system in a continuous press. The application results showed that loading of each driving unit was effectively distributed with up to 1‰ of velocity precision.

Key words: continuous press; driving control system; load balancing

随着我国人造板产业的快速发展, 连续平压热压机因生产效率高、产品质量优, 可消除单层或多

层间歇式热压机在生产流水线中间歇生产的问题, 并克服板材厚度不均匀、原材料消耗大、能耗大等不足^[1], 从而得到广泛应用。

连续平压热压机主要由钢带系统、链毯系统、液压系统、润滑系统、供热系统、除尘系统以及电控系统等部分组成。其中钢带系统与链毯系统构成连续平压热压机的驱动系统, 主要组成包括: 钢带、

收稿日期: 2018-03-21; 修改日期: 2018-04-17

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“基于对称四轴结构的连续压机驱动控制系统的研究”(CAFYBB2016SY026)。

作者简介: 侯晓鹏(1981—), 男, 中国林科院木材工业研究所助理研究员。

钢带主动辊（钢带驱动辊）、钢带被动辊、链毯及链毯带动链和链条导向装置等，在板坯压制过程中，起到传递压力、热量和运输板坯的作用，对板材的质量、产量，及钢带和链毯的电气与机械部件的运行寿命至关重要^[2]。

人造板连续生产线的产品规格和种类增多，产量提升，促进了连续平压的生产工艺和机械结构的重大改变及革新。

传统连续平压热压机的驱动控制系统一般是基于 SINAMICS S120 伺服控制器的，将 PLC（Programmable Logic Controller，可编程逻辑控制器）与伺服控制器配合使用，PLC 用于逻辑控制和简单的工艺控制，驱动控制功能则由伺服控制器实现。这种方式较难实现高速数据传输、系统功能分离和复杂的运动工艺控制等要求。

基于 SIMOTION D 的新型驱动系统控制平台，以其灵活复杂的运动控制功能、简明方便的系统配置、以及多样的系统开发语言，比传统的 PLC 与伺服控制器配合使用的控制方式，可以更好地实现对连续平压热压机驱动控制系统的革新要求。因此，笔者选择 SIMOTION D 系列运动控制器作为驱动控制系统的控制核心，针对连续平压热压机驱动控制系统的结构特征及控制工艺要求，进行驱动控制系统的负载均衡算法设计，并结合驱动控制系统在生产现场的运行情况，对算法的有效性进行检验，为我国连续平压热压机的技术革新升级提供参考。

1 驱动控制总体方案与负载均衡算法设计

连续平压热压机驱动控制系统的结构，如图 1 所示。

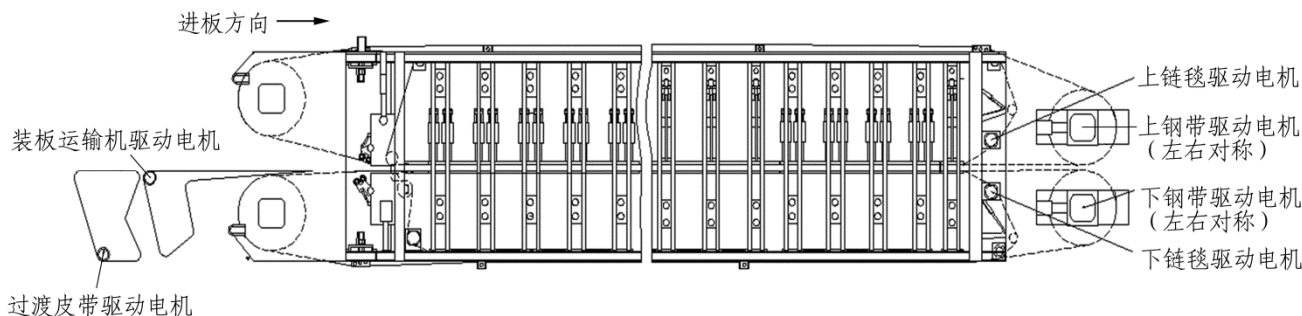


图1 连续平压热压机的驱动控制系统结构示意图

Fig.1 Structure of driving control system for continuous press

根据连续平压生产线的工艺要求^[3]，驱动控制系统主要包括：上、下钢带，上、下链毯，装板运输机以及过渡皮带等驱动电机，其中钢带驱动辊的左右两侧各装有一个型号相同的驱动电机，电机之间采用硬连接方式。

1.1 控制系统总体方案设计

主站选用 SIMOTION D435-2DP/PN 作为核心控制器，其内置的控制单元用于控制下驱动电机，使用 PROFUBUS DP 的方式，进行驱动控制单元的控制；增加了 2 个 CU 320 单元，用于控制上驱动电机以及装板运输机与过渡皮带的驱动电机，地址设定为 4 和 5。4 号从站主要控制上驱动部分，包括上钢带左右两个驱动电机及上链毯驱动电机；5 号从站主要实现对装板运输机和过渡皮带的驱动控制。

另增一个 DP/DP Coupler，实现与主 PLC 的数据交换，地址设定为 50。50 号从站接收主 PLC 传递的 HMI（Human Machine Interface，人机界面）信息，包括启动、停止以及故障复位指令、各驱动单元的速度设定和转矩电流的限幅值等控制信息，同时将各驱动单元的实时速度、电流、转矩、电机温度等状态信息传递给主 PLC，在 HMI 中显示。

控制单元与驱动组件间（包括：整流单元模块、电机模块、电机编码器）的通讯，采用专用总线 DRIVE-CLiQ（DRIVE Component Link with Intelligence Quotient）连接；带有 DRIVE-CLiQ 接口的设备在行 SIMOTION 驱动器配置时，驱动组件的类型、订货号、制造商、硬件版本、序列号、技术参数等数据，可以被自动识别和组态^[4]。

基于 DRIVE-CLiQ 总线和 PROFUBUS DP 总线的驱动控制系统总线结构，如图 2 所示。

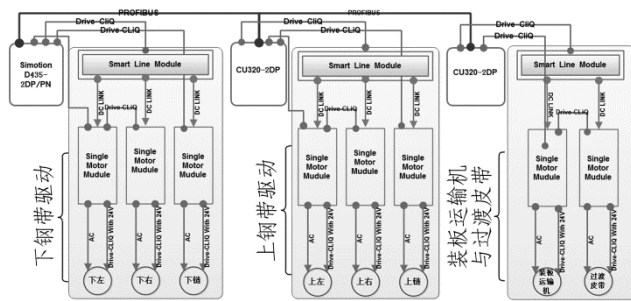


图2 控制系统总线结构

Fig.2 Bus structure of control system

1.2 驱动控制系统负载均衡算法设计

在连续平压热压机的生产过程中，驱动控制系统以压机下钢带的运行速度为基准，上钢带、链毯、装板运输机、过渡皮带的驱动速度均由此基准速度控制，还要保证所有的驱动电机都运行在一个合理的工作区间，实现整个控制系统的负载均衡。不仅保证生产安全、减少停产、停机时间，还利于延长电机的使用寿命、提高生产效益。

1.2.1 刚性连接钢带驱动负载分配主从控制算法

将钢带驱动中左右电机中的某个电机设为主机，设定在带编码器的速度控制模式；而另一台电机设为从机，设定在转矩工作模式。将主机的转矩设定值与从机转矩设定值的百分比 k 的乘积（ $0.80 \leq k \leq 0.95$ ）作为从机的转矩给定值，以从机的转矩始终跟随主机，完成转矩分配。

同时，为防止因机械结构连接出现问题，如从机相连接的减速箱齿轮啮合性能较差，从而导致从机的电机转速忽高忽低，与主电机形成“不跟随”现象的发生，可将从机速度与主机速度的偏差作为附加转矩，叠加在从机转矩设定计算。转矩分配算法流程如图3所示。

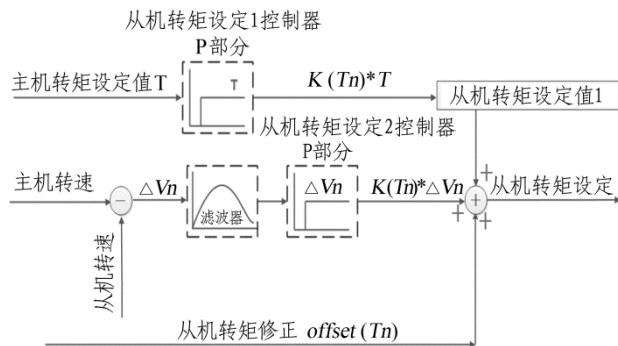


图3 钢带转矩原理

Fig.3 Torque setting diagram for steel-belts

设下钢带驱动主机的线速度为 V ，实时转矩为 T ；从机的设定转矩为 T_1 ，转矩修正值为 $offset(T_1)$ ，实时线速度为 V_1 ；则从机设定转矩 T_1 的计算式为：

$$T_1 = K(T) * T + K(V) * \Delta V + offset(T_1) \quad (1)$$

$$\Delta V = V - V_1 \quad (2)$$

1.2.2 压机钢带与链毯间负载均衡主从控制算法

1) 上下钢带驱动单元负载均衡主从控制算法

以下钢带的实时速度为主机速度，同时保证上下钢带之间驱动电机以相同的负载转矩，或者有功电流驱动负载。当驱动系统的负载分配不均衡时，上下钢带之间的负载转矩或者有功电流都会产生偏差，此时负载均衡控制器则进行相应的速度调节，并配合准确的主从速比，以实现上下钢带驱动电机负载转矩的稳定（即负载的平衡）。

算法原理如图4所示。从机的设定速度 N_{slave_set} 主要包括两部分：固定的比例系数 $Num/Demon$ 与主机速度 N_{master} 的乘积与速度修正值 N_{offset} （公式3）；其中速度修正值是根据主从与从机有功电流（或者转矩）的偏差（公式5）经过负载平衡控制器通过PI运算（比例与积分运行算，公式4）得出，同时对速度修正值的数值范围进行了偏差限幅（公式6）。

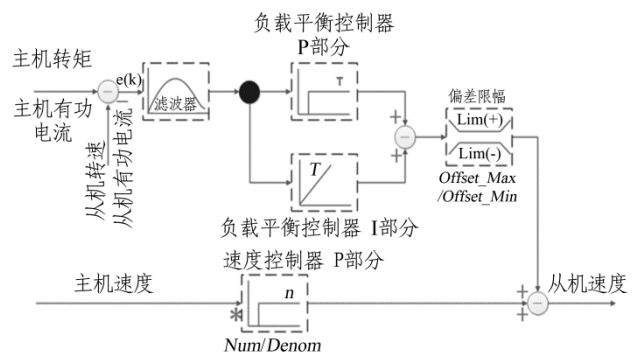


图4 上下钢带主从同步算法原理

Fig.4 Master-slave synchronization algorithm diagram between top and bottom steel-belts

$$N_{slave_set} = (N_{master} * Num) / Denom + N_{offset} \quad (3)$$

$$N_{offset} = K_p * e(K) + K_i \sum_{j=0}^K e(J) \quad (4)$$

$$e(K) = N_{master}(K) - N_{slave}(K) \quad (5)$$

$$N_{offset_min} \leq N_{offset} \leq N_{offset_max} \quad (6)$$

通过调节上述式中增益因子 K_p 和积分因子 K_i 以及改变速度偏差限值 $N_{Offset_Min}/N_{Offset_Max}$, 可以调节电流、负载变化的速度响应以及速度自我调节的范围, 进行相应的速度调节, 以实现负载的平衡。

2) 链毯驱动单元转矩限幅算法

压机空载运行过程中, 液压系统不需要向钢带施加压力, 而链毯驱动系统位于热压板和钢带之间, 为保证辊杆和钢带以及热压板之间的摩擦力最小, 则任意瞬间辊杆与热压板及钢带接触点的速度为 0 (即两者之间相对静止), 所以, 空载时的链毯采用速度控制, 且速度必须为钢带速度的 1/2。驱动系统处于速度控制时, 速度环起作用, 为保持设定的速度, 转矩需不停地进行调整。

当压机带载时, 上下钢带带动板坯前进, 造成链毯系统辊杆与钢带和热压板之间的摩擦力增大, 如要保持链毯驱动系统的设定速度, 则转矩不断增大, 甚至出现过流的情况。此时应采取控制方式使速度环失效, 即由转矩控制, 或者逐渐趋于饱和、速度开环运行状态, 即速度控制+转矩限幅的方式。

设钢带驱动线速度为 V_{belt} , 超限系数为 K ($0 \leq K \leq 1$), 则此时链毯的设定速度 V_{chain} 为:

$$V_{chain} = V_{belt} * 0.5 + V_{belt} * (k/100) \quad (7)$$

采用转矩限幅, 可以保证链毯在带载的情况下保持电流稳定, 不会出现过载的情况, 同时保证链毯从带载到不带载切换时, 链毯驱动的速度环退出饱和状态, 避免出现速度不受控制而导致意外的情况, 增强系统运行的安全性。

2 驱动控制系统负载均衡算法应用效果检验

目前, 该驱动控制系统负载均衡算法, 已在国内某中/高密度纤维板连续平压热压机生产线上进行了应用试验。测试现场基于 SIMOTIOND435-2DP/PN 的驱动控制系统控制单元与驱动系统组件, 如图 5 所示。

速度控制精度与匹配程度, 压机各驱动部分之间负载载荷分配、电流稳定程度, 直接关系到连续压机的连续生产及设备运行寿命, 也是连续热压机驱动系统运行效果与质量的重要考核指标。当驱动系统设定速度为 900 mm/s 时, 各驱动单元间相互耦合系数的设定, 列于表 1。

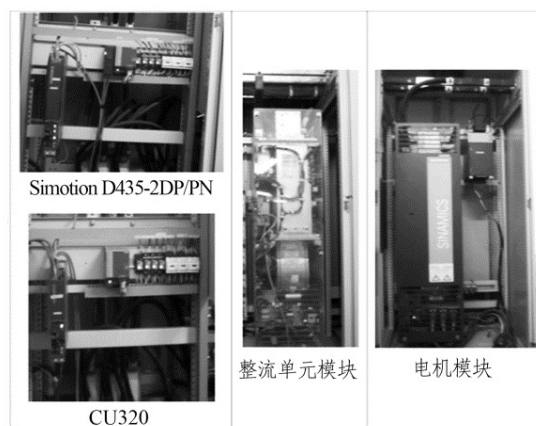


图 5 控制单元与驱动系统组件

Fig.5 Control unit and driving components

表 1 各驱动单元间耦合系数

Tab.1 Coupling factors among driving units

驱动单元	主从钢带转矩设定耦合系数/%	速度设定超限系数/%	转矩限幅值/(N·m)
上钢带	0.85	-	-
下钢带	0.87	-	-
上链毯	-	0.45	55.0
下链毯	-	0.45	40.0

使用基于 SIMOTION D 的驱动控制系统, 用户可以根据生产线的运行状态, 对驱动系统的控制参数实时在线调整、存储, 从而使整个控制系统的使用和维护更加简单、方便。

图 6、7 是系统设定速度为 900 mm/s 时, 钢带驱动部分参数和链毯驱动部分的运行历史曲线, 驱动参数包括了各驱动单元的运行速度、电流、转矩等重要运行参数。

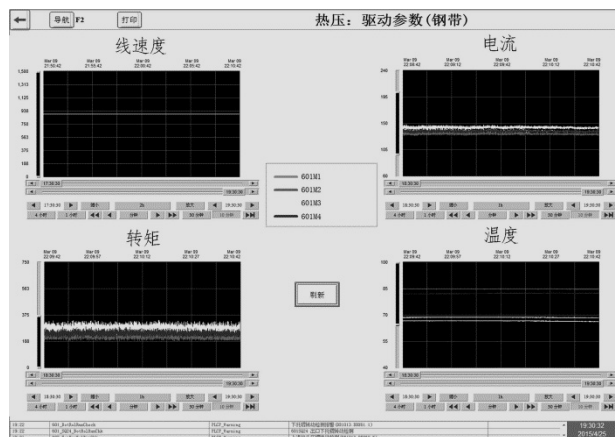


图 6 钢带驱动参数历史曲线

Fig.6 History curve of steel-belt driving parameters

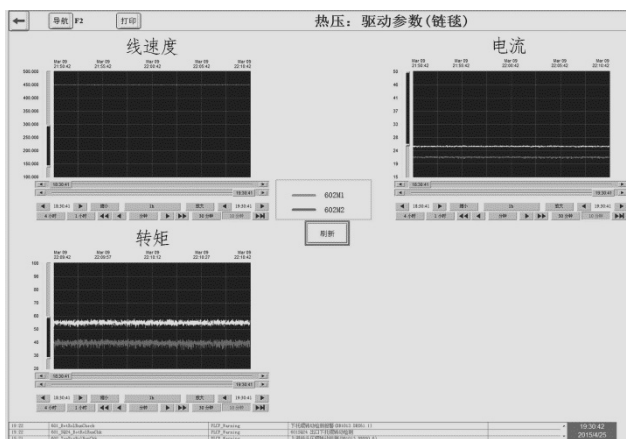


图7 链毯驱动参数历史曲线

Fig.7 History curve of roller-rod-carpet driving parameters

针对图6、图7,驱动系统历史曲线的参数分析列于表2。

表2 驱动系统运行参数分析
Tab.2 Analysis of driving operation parameters

系统组成	线速度/(mm·s ⁻¹)	电流/A	转矩/(N·m)
上钢带从驱动(601M02)	899.75~900.85	129.50~135.30	201.00~238.60
上钢带主驱动(601M01)	899.80~900.56	133.35~139.60	265.60~298.70
下钢带从驱动(601M04)	900.01~900.67	128.65~137.00	235.20~268.30
下钢带主驱动(601M03)	899.87~900.90	135.75~146.00	263.25~292.05
上链毯驱动(602M01)	450.52~452.00	25.15~25.65	50.51~57.00
下链毯驱动(602M02)	450.45~452.10	21.03~22.50	35.75~42.35

从表2可以看出,当系统速度设定为900 mm/s时:钢带驱动部分的速度最大负偏差为0.25 mm/s,最大正偏差为0.9 mm/s,控制系统的速度偏差达到1%的控制精度;钢带控制部分的主从驱动电机及上下驱动电机的电流和转矩,在达到负载有效分配的

情况下,也保持了电流和转矩的相对均衡;链毯驱动单元在转矩限幅的作用下,速度保持了有效控制,而转矩和电流也保持在限幅值的控制范围内。

3 结语

以SIMOTION D435-2DP/PN作为主控制器,建立连续平压热压机的驱动控制系统,并在此基础上,进行了连续平压热压机驱动控制系统负载平衡算法的设计,及此算法的实际应用效果现场测试。结果显示,系统运行稳定,实现了整个驱动控制系统速度偏差达到1%的控制精度;上下钢带驱动之间实现了载荷的有效分配,上下链毯运行电流稳定,可以满足连续平压热压机驱动控制系统的生产控制工艺要求。

鉴于连续平压热压机驱动系统的结构电机布置设计,趋于向单侧双电机、双侧双电机等方式转变,而目前该负载均衡算法主要针对图1驱动控制系统的机械结构,如何在新型机械结构和电机布置方式下实现扩展与设计应用,以更好地满足工艺参数的要求,将是下一步研究和实践的重点内容。

参考文献:

- [1] 陆怀锋,张荣其.我国人造板连续压机的现状和发展前景[J].中国人造板,2007(1):5-7.
- [2] 张荣其.双钢带连续压机的基本组成、要求和工作原理[J].中国人造板,2011(10):19-22.
- [3] 华毓坤.人造板工艺学[M].北京:中国林业出版社,2002:242-252.
- [4] 王薇,吕其栋,张雪亮.深入浅出西门子运动控制器:SIMOTION实用手册[M].北京:机械工业出版社,2013:28-29,122-123.
- [5] Siemens SLC Solution Team. Motion control training_02_SINAMICS S120 basic application[M]. Beijing: Siemens, 2010: 23-31.
- [6] Siemens SLC Solution Team. Motion control training_03_SIMOTION basic application[M]. Beijing: Siemens, 2010: 17-22.

(责任编辑 向琴)

《刨切单板》等国标制修订项目获批

由中国林科院木材工业研究所等单位申报,全国人造板标准化技术委员会归口管理的《刨切单板》(计划号20180666-T-432)和《基于甲醛释放率的饰面人造板室内承载限量指南》(计划号20180665-T-432)国家标准制修订项目获批立项。

《刨切单板》、《基于甲醛释放率的饰面人造板室内承载限量指南》标准的研制,将为我国刨切单板的工艺技术规范及室内用饰面人造板的甲醛释放承载限量的科学、合理评价提供方法,提供有效的技术引领和标准支撑。

张冉