

# 人造板热压机中电液控制系统的应用

杨承

(西南林学院, 昆明 650224)

**摘要:** 简述了国产人造板热压机根据传统热压工艺而制定的传统控制技术及其存在的弊病。对国内外单层热压机控制系统的现状和发展进行了分析,并由此对用比例闭环控制系统取代伺服系统的可能性进行了讨论并提出了笔者的见解。

**关键词:** 人造板;热压机;控制系统

中图分类号: TS6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2000) 06-0021-04

## Discussion on Electrohydraulic Control System of Hot Press for Wood-based Panels

YANG Cheng

(Southwest Forestry College, Kunming 650224, Yunnan)

**Abstract** In this article, the control system of traditional hot presses made in China and its disadvantage was described briefly. Meantime, the actuality situation and development of control systems of single opening presses both homebred and imported were analyzed. For improving the system, the possibility of using proportional closed-loop (PCL) to replace the servo-system as control system for hot press was discussed.

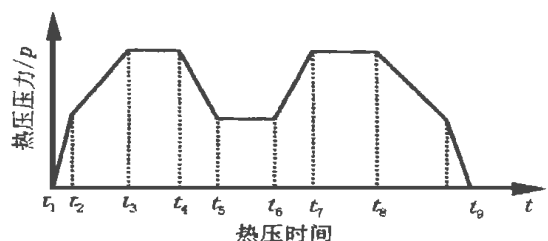
**Key words** Wood-based panels; Hot press; PCL control system

在人造板生产中,热压机是关键设备之一,对产品质量和产量起着举足轻重的作用,而热压机电液控制系统直接影响产品质量和原材料的消耗。应用传统热压工艺和控制模式生产的板材,产品精度不高,原材料浪费大,因此,热压工艺和控制系统的改进就显得十分重要。本文仅涉及阀控缸式的速度控制和位置控制的改进。

### 1 传统控制模式

图1所示为传统热压工艺中的液压系统压力曲线,曲线中所示整个热压工艺过程的几个主要工艺步骤如图下所注。

图2为一个与传统热压工艺匹配的单层压机示意图。这种压机一般有8~12个压制油缸(柱塞油缸),4个提升油缸,1个三位四通(或五通)电液换向阀(或插装阀)。当压机空载闭合时,1个大规格的蓄



1. 空载闭合段  $t_0 \sim t_1$ ; 2. 升压闭合段  $t_1 \sim t_2$ ; 3. 保压段  $t_2 \sim t_3$ ;
4. 降压段  $t_3 \sim t_4$ ; ... 9. 压板回位段  $t_8 \sim t_9$

图1 传统热压曲线

Fig. 1 Traditional hot-pressing technological curve

能器(或顶置油箱)和高低压油泵(图中未示)通过液控单向阀同时向压制油缸供油;系统压力达到某一确定值时,压力开关发讯,液控单向阀反向锁止,液流经三位四通电液换向阀直接进入压制油缸;当液压系统的压力达到某一设定值时,压板锁止不动,由时间继电器控制保压时间。从( $t_0 \sim t_1$ )到( $t_1 \sim t_2$ )或( $t_1 \sim t_2$ )到( $t_2 \sim t_3$ )等的转换均由压力来控制。由于传统热压工艺中压板的位移和压力没有直接的联系,所以,热压

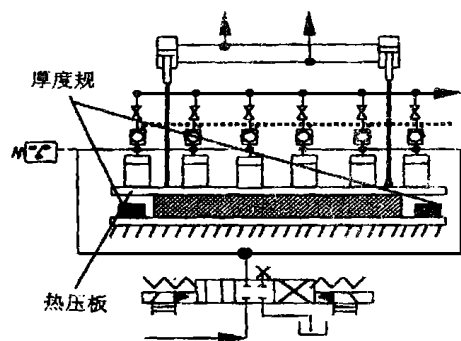


图 2 热压机示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the hot press

机的压板最终应该到达的位置只能由厚度规来控制。

如图 2 所示,从  $(t_1 \sim t_2)$  到  $(t_2 \sim t_3)$  的转换中,厚度规起到固定挡块的作用。当压板接触到厚度规时,系统压力迅速升高直至溢流阀或压力开关的设定值;然后,压力开关迅速发讯,电液换向阀的电磁铁关断,压板锁止,保压段  $(t_2 \sim t_3)$  开始。这个系统是一个分段压力调节系统,系统的控制信号来自时间继电器(或可编程控制器的计时器)、电接点压力表、压力开关和一对厚度规。在每一段工艺过程中,除了压板升降的起始和终了阶段,压板的速度基本是一个常数。这种开关控制系统基本适应传统的热压工艺。

必须指出,这种系统的精度较差,如果灰尘和原料粉尘被粘附到厚度规上,产品厚度将严重超差。厚度误差都在 +1 mm 以上,甚至 2 mm,以致后工序的砂光量增大,浪费了大量的原材料。另外,在保压过程中,板坯的弹性降低而塑性增加,此时液压系统的工作压力恰恰又最高,只有厚度规来承担整个液压系统输出的总压力,其结果是压板产生弹性(弯曲)变形,给压板本身和板厚精度带来极为不利的影响。

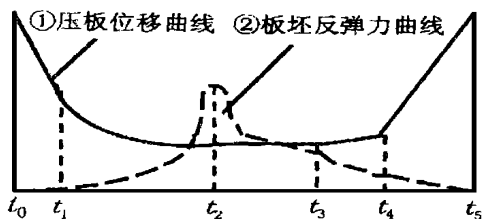
综上所述,在传统控制模式的热压循环中,热压板的受力状况是如此之差而变形又如此之大,终将导致原材料消耗增加,效益降低。毋庸置疑,这种控制模式必须改进。

## 2 热压工艺技术的发展

根据现代热压工艺的研究,压板的升压速度对板材的性能有较大的影响<sup>[1]</sup>,如剖面密度分布(VDG)、表面预固化层厚度等。如果在升压闭合的起始适当提高速度,板材的性能将会有所改善。

根据新的工艺理论,热压机控制系统不仅要能控制板厚精度,而且还要控制系统的压力升降和压板位

移的速度。以此为基础,整个热压过程可以用一条新的热压曲线来描述(见图 3)<sup>[2]</sup>。压板位移曲线①和板坯反弹力曲线②都以时间的函数来描述。位移曲线由五个热压工步组成(见图 3 中注)。



1. 闭合段 ( $t_0 \sim t_1$ ); 2. 升压段 ( $t_1 \sim t_2$ ); 3. 保压段 ( $t_2 \sim t_3$ );
4. 降压段 ( $t_3 \sim t_4$ ); 5. 压板打开段 ( $t_4 \sim t_5$ )

图 3 新型热压曲线

Fig. 3 New hot-pressing technological curve

压机的控制条件取决于位移曲线①。在五段曲线中,升压段  $t_1 \sim t_2$  是整个控制系统的关键。理论上能用数学方程来描述的任何合理的特性曲线都可以用作这一段闭合曲线。从  $t_1$  开始,压板的速度由高到零连续变化,而液压系统的压力由于原材料的阻力则迅速增加。在  $t_2$  点,压板位移速度为零,位置恰好到达位移终止的设置点(板厚)此时液压系统的工作压力达到最大值(该最大值直接影响溢流阀的调定压力)板坯反弹力曲线的斜率取决于压板的位移速度和原材料的弹性模量。在这一段曲线中,控制系统不仅要保证位置精度而且要使压板的速度连续变化。

## 3 控制系统分析

为了获得较高的厚度精度,进口热压机已基本取消了厚度规。很明显,由于压力和位移之间的关系既变化且又未知,所以,压力信号不能作为位置的控制信号,而应以压板的位移信号作为系统的主控制信号。因此,现代压机的控制系统几乎均为闭环位置控制系统,板厚精度大为提高,厚度误差约 +0.2~+0.3 mm,极大地提高了原材料的利用率。

在自动控制领域内,有多种方式方法进行位置控制或速度控制。现代压机应用的闭环电液线性位置伺服系统在大多数情况下,都是应用成熟的伺服控制理论为用户设计电液闭环控制系统。由于原材料特性的原因,要设计一个既能满足位置精度,又可大范围调节速度的系统还具有一定难度。而且生产车间的环境空气质量也是影响伺服系统工作可靠性的因素之一。

### 3.1 伺服控制模式

图 4 所示为某型进口热压机电液伺服控制系统伺服阀的配置方式。压机有 12 个压制油缸(柱塞缸)

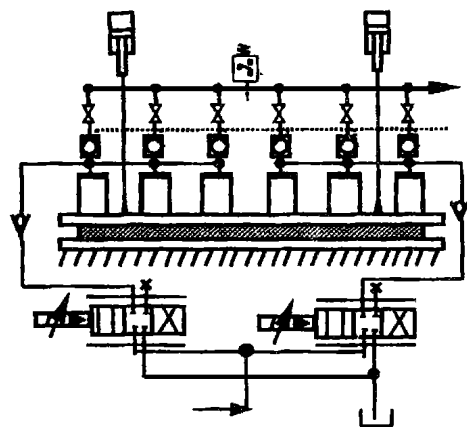


图 4 热压机伺服系统原理图

Fig. 4 Servo system schematic of the hot press

4 个提升缸和 4 个伺服阀。压制油缸被分为 4 组（每组 3 缸），每个伺服阀控制一组。用这个系统控制压机油缸的位置，可以在 0~80 mm 之间控制板厚。其位置使用线性电位器式传感器来测量，指令数值（即板厚）由可编程控制器给定（12 位）。当压机从  $t_0$  点开始闭合时，油流从蓄能器和高压油泵经液控单向阀进入压制油缸，使压机高速闭合。在闭合段（ $t_0 \sim t_1$ ），虽然伺服阀中没有液流通过，由于位移传感器的反馈信号已输入伺服放大器，伺服阀芯即开始动作。在这个过程中，伺服阀口的开度在逐渐减小。当压机接近  $t_1$  点时将降低闭合速度。压板接触板坯表面以后，由于板坯反弹力，压力升高至压力开关设定值（约 4 MPa），除伺服系统油路以外的油路卸荷，油流开始从伺服阀进入压制油缸，升压段（ $t_1 \sim t_2$ ）开始。压板的运动由闭环位置控制系统控制，压板的速度随着伺服阀口开度的缩小而自动降低。当位移传感器的反馈信号和设定值比较差值为零，即误差信号为零时，压板停止移动（ $t_2$  点），板厚为设定尺寸。

众所周知，伺服阀的负载流量随着系统负载压力的增加和阀口开度的减小而减小。随着压板的下移，伺服阀口的开度越来越小；当系统的压力达到 4 MPa 以后，压力迅速增加，而伺服阀口的开度也已处于一个较小位置，这种状况极大地限制了压板速度的调节范围，板材物理性能也较难提高。

值得注意的是，系统从闭合（ $t_0 \sim t_1$ ）到升压（ $t_1 \sim t_2$ ）之间的转换是由系统的压力信号来控制。不同树种木材的物理特性有较大差异，它们有各自不同的弹性模量。对于不同树种、不同原材料而言，当系统压力达到 4 MPa 时，由于其压缩量不一样，相应地，伺服阀口开度也不同，在升压段的速度也将不同，板材的物理性能亦难控制。而且由于高速闭合到加压之间的

转换是由压力信号控制的，如果板厚改变，系统的调节比较困难。因此，这种系统适合于相对固定的树种和具有严格备料工序的场合，方可保证板厚精度。

另一方面，伺服系统的液压油需要很高过滤精度。如果车间充满灰尘，油液极易污染，伺服阀容易发生故障，实际应用中常出现这种情况。

### 3.2 电液比例控制系统分析

随着电液比例控制技术的发展，比例阀的性能除了在频率响应方面逊于伺服阀外，其它方面已可以和伺服阀媲美。如果用比例方向阀来代替图 4 中的伺服阀，所组成的系统也可以像伺服系统一样来控制位置精度。如果用比例流量阀来代替伺服阀，所组成的系统可能有更好的性能（图 5）。

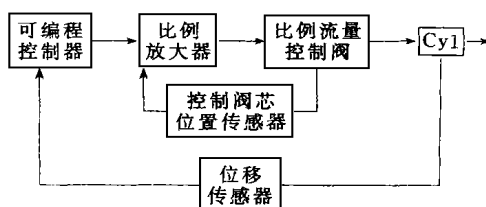
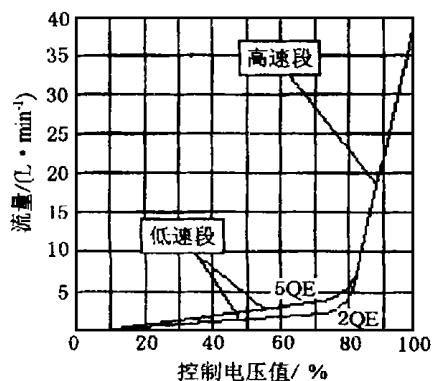


图 5 电液比例控制系统示意图

Fig. 5 Schematic diagram of electrohydraulic control system

图 5 所示的控制模式为应用比例流量阀来控制压板的位置和速度。比例流量阀用预置的电信号来控制流量，流量与压力和温度无关。根据图 5，该系统既可以作为一个闭环位置控制系统，也可以作为一个速度控制系统来控制压板的运动，即既能控制压板的速度，也能控制压板的位置。这种比例流量阀（如图 6 所示）有较好的双增益流量—输入电压曲线<sup>[3]</sup>。指令输入电压，80% 以上的高速部分用来控制压板在升压闭合的初始阶段；曲线的另一段低速部分用来控制压板的位置。如果仅需要特性曲线某点来进行速度控制，当压板移动到某一位置时，根据位移传感器（DT）的

图 6 比例流量阀  $Q \sim V$  特性曲线Fig. 6  $Q \sim V$  characteristic curve

反馈,可编程控制器可以及时地对比例放大器发出合适的指令,比例流量阀将及时输出相应的流量以改变速度。此模式是以位移传感器的位置反馈点为基础,实际上是一个开环速度控制系统。当然,也可以采用普通闭环模式来控制速度,但闭环系统最好采用可编程控制器(或相应的控制模块)尤其在两种模式(指速度控制和位置控制)并存时,两种模式的转换最好依靠软件(或梯形图)进行。作为闭环速度控制系统,油缸是一个微分装置,故为“O”型系统,它对阶跃输入产生速度偏差,而且不能跟踪斜坡输入。进行了积分补偿以后,系统不仅稳定,而且在理论上可以使阶跃输入的稳态误差为零。

当压板接近板厚的指定位置时,系统用图6的低速段进入位置控制。由于比例流量阀有10%~20%的死区,所以必须对比例流量阀施加补偿电压,使比例流量阀相当于一个零重叠的伺服阀。用成熟的线性理论对系统进行分析,其稳定性可以用公式(1)来判断<sup>[4]</sup>。

$$K_v < 2Wk_f \dots \dots \dots (1)$$

其中:  $K_v$ ——开环放大系数  $/s^{-1}$ ;

$W$ ——阻尼系数,无量纲;

$k_f$ ——油缸固有频率  $/rad \cdot s^{-1}$ 。

在特性曲线的低速段,曲线的斜率较小,因而流量增益小,导致开环放大系数小,所以公式(1)比较容易满足而使系统处于稳定状态。在实际应用中,系统使用带有电位置反馈的比例流量阀,且放大器中已带有PID调节器。在放大器的输入和比例流量阀的输出之间有较为有利的线性关系,则比例流量阀可以作为一个比例环节来考虑。如图5所示系统的开环传递函数就可以写为一般常见的形式:

$$W(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{K_v}{S(\frac{S^2}{k_f^2} + 2W\frac{S}{k_f} + 1)} \dots (2)$$

如果应用这个开环传递函数来分析系统的稳定性,很明显,系统不但是稳定的,而且由于是“I”型系统,所以对阶跃输入没有稳态误差,且可以跟踪斜坡输入<sup>[5]</sup>(尽管有一定误差)。公式(2)也说明,由于油缸是一个积分环节,压板的位移  $Y$  和比例流量阀阀芯位移之间并没有直接的联系,所以,比例流量阀的位置控制系统不能是一个开环控制系统。虽然如此,但根据现在的研究<sup>[4]</sup>,开环速度控制系统也可以用来进行位置控制,这就是减速定位控制系统。

在热压机控制系统中应用比例流量阀来控制速度和位置有明显的优点。除了可以保证足够的位置精

度以外,还可以在控制位置的同时控制速度。在图3工艺曲线的  $t_1 \sim t_2$  段能控制速度,对热压工艺过程非常重要。此外,比例阀的抗污染能力也比伺服阀好。

综上所述,在热压机的压板位移速度控制和位置控制中,应用电液比例控制系统不失为明智的选择。

### 3.3 停位控制和继电脉冲控制

一般应用闭环控制系统对热压机进行速度控制和位置控制,可以获得较高的板材精度,但用高增益达到高响应和高精度时,就可能发生稳定性问题。开环控制与稳定性无关,但又难以获得较高的精度。

随着计算机、各种电子装置和高性能开关阀的引入,就可能把某些先进的开环控制模式应用于位置控制。对于这些控制模式有许多文章进行了探讨,实际应用不多。但停位控制和继电脉冲控制对热压机系统的改进有较大的参考价值。

对于一般压制锻件的油压机,清华大学的研究者们应用人工神经网络(ANN)提取油压机工况条件和超程值之间的一般关系<sup>[6]</sup>,并把这种关系用于超程值的预测而实现高精度停位控制。系统中起关键作用的元件是超程预测器。试验结果表明,ANN超程预测器对停位系统的控制不仅有较高的停位精度和良好的稳定性,而且在工艺过程中可提高智能控制特性。在3.15 MN油压机上的停位精度是 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 。

ANN超程预测器的主要特性参数之一是主油缸压力的变化率  $dp/dx$ 。锻件产品一般是金属,可视作连续介质,在系统压力  $p$  和压机位移  $x$  之间的关系较为稳定。而刨花板、纤维板等的原材料不是一种连续介质,而且原材料的物理特性随树种的变化而变化,主油缸压力的变化率  $dp/dx$  也随树种的变化而变化。人造板原材料的这种特性直接影响系统的控制精度。当然,对于某些树种,如能先在试验压机上获得参数,再应用于生产压机,在热压机的位置控制中应用ANN也有可能性。

另一种控制模式是用于汽缸的继电脉冲控制系统<sup>[7]</sup>。这种系统由汽缸、继电器、位移传感器和计算机组成,以开环系统的模式进行控制。

虽然这两种模式应用了不同的数学方法,但都是继电脉冲控制系统,都依赖于精密的时间优化控制。在系统的硬件配置方面与电液伺服系统和电液比例系统相比,是一个明显优势。而且,抗污染能力明显优于电液伺服系统与电液比例系统。对于热压机,最重要的条件之一就是控制系统必须能够适应生产车间的环境。

(下转第27页)

复合材料,既能达到装饰效果又可减少电磁辐射,其潜在市场有待进一步开发。

参考文献:

[1] 华毓坤,傅峰. 导电胶合板的研究 [J]. 林业科学, 1995, 31(3): 254~ 259.

[2] 陈穷. 电磁兼容性工程设计手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 525~ 566.

[3] William M. Bulleit, Reinforcement of Wood Materials A Review [J]. Wood and Fiber Science, 1984, 16(3): 391~ 397.

[4] 加藤昭四郎. 森林综合研究所研究报告 (日) [R]. 1991, 360 171 ~ 184.

[5] 周兆,等. 铝箔覆面刨花板 [J]. 木材工业, 2000, 14(1): 32~ 34.

[6] Lambuth Alan L,等. 美国专利 4,906,484[P]. 1990.

[7] Lambuth Alan L. Electrically Conductive Particleboard Proceedings 23rd. International Particleboard/Composite Materials Symposium [J]. Washington State University, 1989, 117~ 128.

[8] 长泽长八郎,等. Electromagnetic Shielding Particleboard with Nickel-Plate Wood Particle [J]. 木材学会论 (日), 1989, 35(12): 1092~ 1099.

[9] 长泽长八郎,等. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Particleboard Containing Nickel-Metalized Wood-particle in the Core Layer [J]. 木材学会论 (日), 1990, 36(7): 531~ 537.

[10] 长泽长八郎,等. Electroconductivity and Electromagnetic-Shielding Effectiveness of Nickel-Plate Veneer [J]. 木材学会论 (日), 1991, 37(2): 15~ 163.

[11] 长泽长八郎,等. Changes in Electromagnetic Shielding Properties of Particleboards, Made of Nickel-Plated Wood Particles Formed by Various Pre-treatment Processes [J]. 木材学会论 (日), 1992, 38(3): 256~ 263.

[12] 长泽长八郎,等. Effects of Wood Species on Electroconductivity and Electromagnetic Shielding Properties of Electrolessly Plated Sliced Veneer with Nickel [J]. 木材学会论 (日), 1994, 40(10): 1092~ 1099.

[13] 唐尺健司. Preparation of Electromagnetic Shielding Woody Materials with Carbon [J]. 木材工业 (日), 1992, 47(7): 312~ 318.

[14] 朴钟莹,等. Performances Improvement of Medium Density Fiberboard by Combining with Various Non-wood Materials [J]. 林研研报 (韩), 1993, 47 35~ 48.

[15] Hiromu KAJITA. Recent Trends of Wood-based Composite Panels [J]. 木材保存 (日), 1998, 24(6): 2~ 17.

(上接第 24页)

4 结论

人造板热压机的控制系统和其它普通压机的控制系统有一定的差别。首先,原材料(各种板坯)是不连续介质,这使控制系统无法确定压力和位移之间的关系,以致难以获得一个准确的数学模型。系统既要控制位移也要控制速度,而压力和位移之间的关系既是变化的又是未知的,所以,那种当压力上升到某个值(例如 4 MPa)就结束某种控制,然后转入另一种控制的方法在实际中效果并不好;其次,由于生产车间的粉尘含量较高,所以系统必须抗污染;再者,系统必须对不同树种或不同树种混合的原材料有一定的适应能力。综合以上的分析,电液比例控制系统比较适合于对热压机的控制。

参考文献:

[1] 张宏健,赵立. PF-MDF剖面密度分布特征的研究 [J]. 北京林业大学学报, 1991(1): 66~ 75.

[2] Robert L. Geimer, Richard Kinney, Mark Podlipec. User-friendly Programing for a Computerized Laboratory Press [J]. Forest Products Journal, 1990, 40(3): 41~ 44.

[3] Mannesmann Rexroth Catalogues: Preportional, High-response and Servo-valves, Electro Components and Systems RE29 190/02 90.

[4] 黎启柏. 电液比例控制与数字控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997, 368~ 402.

[5] 绪方胜言. 现代控制工程 [M]. 卢伯英,等译. 北京: 科学出版社, 1980, 216~ 218.

[6] 骆建彬,俞新陆,等. 人工神经网络在压机行程停位控制中应用 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 1995, 35(2): 70~ 75.

[7] Takashi Matsui, Eiji Lishimoto and Msahiro Takawaki. Leaning Position Control of Pneumatic Cylinder Using Fuzzy Reasoning [J]. The Journal of Fluid Control, 1990, 20(2): 7~ 29.

欢迎订阅 2001年《林业劳动安全》杂志

国家林业局哈尔滨林业机械研究所主办,是全国林业系统唯一的劳动保护、劳动安全与职业卫生工人方面的国内外公开发行人刊物。全国统一刊号: CN 23-1385/X,ISSN 1006-5091,广告经营许可证号: 2301004010050

本刊面向全国林业系统的各级领导、安全管理与技术干部、工程技术人员、职业卫生工作者、安全员和广大林业职工,以及大专院校安全教育工作者、各级工会劳动保护工作者。欢迎广大读者踊跃投稿,多提宝贵意见;欢迎广大厂商宣传产品,互通供求信息,扩大影响,树立企业形象。

栏目辟有: 政策与文件,安全管理,研究与技术,防火安全,事故分析,职业卫生,标准化工作,新产品、新技术、新工艺,国内外动态,调查报告,经验交流,读者服务台,安全文艺,知识讲座等。

季刊,大 16开 48页,每期 6.00元,全年 24.00元,自办发行。地址: 哈尔滨市南岗区学府路 374号《林业劳动安全》编辑部 (150086),电话: 0451-6664063,联系人: 徐克生,开户行: 哈尔滨工商行和兴支行,帐号: 421089146-45 户名: 哈尔滨林业机械研究所 (注明订《林业劳动安全》刊物款)。