

基于串级积分分离PID算法的人造板连续压机 温度控制系统

崔勇¹, 侯晓鹏², 张国梁³

(1. 苏州工业职业技术学院, 江苏苏州 215104; 2. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 3. 河北农业大学林学院, 河北保定 071000)

摘要: 针对单级PID算法在人造板连续压机温度控制中存在的问题, 以串级积分分离PID算法为基础, 开发包含主、副控制回路的温度控制系统, 并设计模块化控制程序和监控界面。现场测试结果表明, 串级积分分离PID算法利用主、副控制回路的协同作用, 提高压机热压温度的控制精度, 体现出较好的实际应用价值。

关键词: 人造板; 连续压机; 温度控制; 积分分离PID; 串级算法

中图分类号: S77; TS64; TS653

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654 (2019) 05-0016-04

Temperature Control System of Continuous-presses for Manufacturing Wood-based Panel Based on Integral Separation PID Cascade Algorithm

CUI Yong¹, HOU Xiao-peng², ZHANG Guo-liang³

(1. Suzhou Institute of Industrial Technology, Suzhou 215104, Jiangsu, China; 2. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: The Integral Separation PID Cascade Algorithm was adopted to develop a temperature control system including two control loops (major and minor) for continuous-presses of wood-based panels, in order to solve problems of using Single-stage PID Algorithm method. Meanwhile, the modular control program and monitoring interface were also designed accordingly. The trial tests showed that the accuracy of hot press temperatures were significantly improved due to the synergistic effect of the major and minor control loops.

Key words: wood-based panel; continuous-press; temperature control; integral separation PID; cascade algorithm

在众多类型人造板压制设备中, 连续压机可以不间断加热加压的运行方式, 使人造板生产真正实现了高品质、低能耗和大产量, 现已成为国内外新建人造板生产线的首选^[1-2]。热压温度是人造板连续

压机热压工艺的关键因素之一, 压板温度的平稳控制与稳定输出, 对板材的品质至关重要^[3-5]。

在温度控制系统设计中, 单级积分分离的比例-积分-微分 (Proportional Integral Derivative, PID) 算法被广泛采用^[6], 可有效减小系统的超调量 (也称为最大偏差), 缩短系统达到稳定状态的时间。但采用该算法设计的人造板连续压机温度控制系统, 受到压板热油入口温度波动、压板热量损失变化等干扰, 会出现控制不及时、偏差较大等问题。

收稿日期: 2018-09-30; 修改日期: 2018-11-28

基金项目: 苏州工业职业技术学院博士科研启动项目 (2019KYQD009); 江苏高校品牌专业建设工程资助项目“数控技术专业” (PPZY2015B186); 苏州市重点实验室资助项目“苏州市精密检测技术重点实验室” (SZS201815)。

作者简介: 崔勇 (1984—), 男, 讲师。Email: 00767@siit.edu.cn。

为了解决上述问题,笔者采用串级PID控制方法,设计压板温度调节器和入口温度调节器,利用主、副回路协同控制来降低外界的干扰,以实现压板温度的准确和稳定控制,从而保证人造板连续压机的可靠运行和板材质量的稳定。

1 温度控制单元的工作原理

依据热压工艺和生产能力的需要,人造板连续压机通常在长度方向上划分4~5个独立的加热区域。为保证热量传递和温度控制,每个加热区域都配备了单独的温度控制单元,如图1所示。

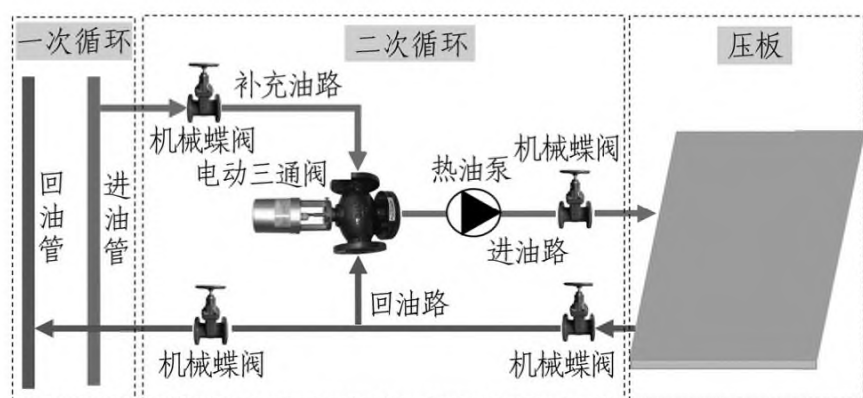


图1 连续压机温度控制单元的工作原理

Fig.1 Operational principle of Continuous-presses with a temperature control unit

每个温度控制单元的工作方式和控制原理基本一致:在结构上,进油路和回油路相互连接,二次循环和压板之间形成闭环回路,导热油在该闭环回路内循环流动;在工作时,二次循环通过补充油路,从一次循环补充一定量的高温导热油,并将其输送至压板,通过热交换使压板达到设定的温度;同时,压板内多余的导热油又通过二次循环的回油路,流回到一次循环,并再次被加热^[7]。

在温度控制单元中,电动三通阀是一次循环与二次循环进行热油交换的通道,当阀门开度增大,压板温度随之升高;当阀门开口减小,压板温度保持不变或随之下降;当阀门关闭,压板温度逐渐下降。因此,电动三通阀的开度调节是系统自动控制的核心,控制精确度直接影响加热温度和产品质量。

2 串级PID控制方法

PID1为主回路,PID2为副回路(如图2所示)。其中,主回路设置压板温度调节器,其输出作为副回路的输入校正值;副回路设置入口温度调节器,

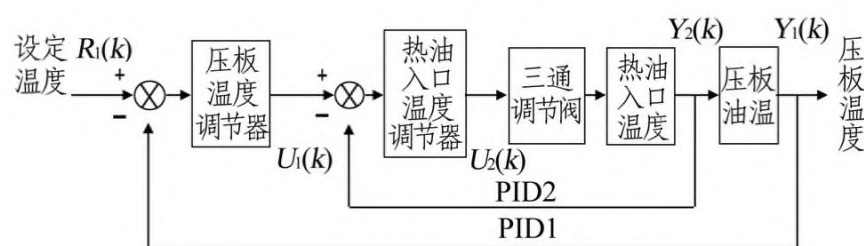


图2 温度控制系统原理图

Fig.2 Principle diagram of a temperature control system

其输出用于控制电动三通阀的开度值。主、副回路调节器均采用积分分离PID算法,其基本原理为:

当被控量与设定值偏差较大时,取消积分作用,以免超调量增大;当被控量接近给定值时,引入积分控制,以消除静差,提高控制精度^[8-9]。

该控制系统的具体计算步骤如下:

1) 主回路偏差:

$$e_1(k) = R_1(k) - Y_1(k) \quad (1)$$

式中: $e_1(k)$ —采样时刻主回路的偏差; $R_1(k)$ —采样时刻主回路设定温度值; $Y_1(k)$ —采样时刻主回路压板温度值。

2) 主回路压板温度调节器输出控量(副回路输入值):

$$U_1(k) = U_1(k-1) + \Delta U_1(k) \quad (2)$$

式中: $\Delta U_1(k)$ —作用于压板温度调节器的控制增量。

3) 副回路偏差:

$$e_2(k) = U_1(k) - Y_2(k) \quad (3)$$

式中: $Y_2(k)$ —采样时刻副回路压板热油入口温度值。

4) 副回路压板热油入口温度调节器输出控量(电动三通阀输入值):

$$U_2(k) = U_2(k-1) + \Delta U_2(k) \quad (4)$$

式中: $\Delta U_2(k)$ —作用于压板热油入口温度调节器的控制增量。

其中,根据积分分离PID算法可知:

$$\text{当 } |e(k)| \geq \varepsilon \text{ 时: } \Delta U = K_P[e(k) - e(k-1)] + K_D[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (5)$$

$$\text{当 } |e(k)| < \varepsilon \text{ 时: } \Delta U = K_P[e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (6)$$

式中: ε —阈值; K_P —比例常数; K_I —积分常数; K_D —微分常数。

3 温度控制系统的设计

3.1 硬件组成

温控系统的硬件如图3所示。

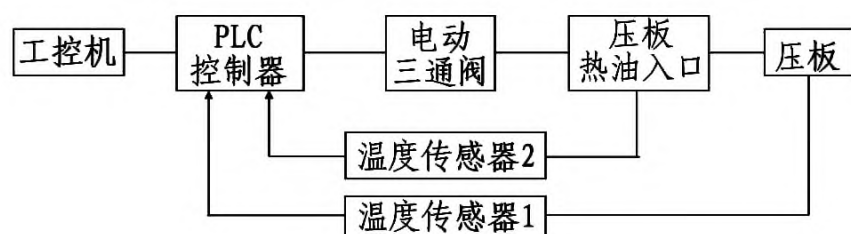


图3 温度控制系统硬件结构示意图

Fig.3 Hardware structure diagram of the temperature control system

主要组成硬件特点：

1) 选用西门子公司的 CPU 416-3PN/DP 大型 PLC 控制器, 内置 16 MB 工作内存, 带有 PROFINET 和 PROFIBUS DP 接口, 最多连接 32 个 DP 从站, 便于与连续压机其他控制系统集成和通信;

2) 选用铠装热电偶作为温度传感器, 测温范围 $-200\sim 850\text{ }^{\circ}\text{C}$, 通过温度变送器输出 $4\sim 20\text{ mA}$ 信号;

3) 选用电动三通阀的工作温度为 $-10\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, 输出和反馈均为 $4\sim 20\text{ mA}$ 信号, 本体耐压 PN16。

3.2 程序设计

利用西门子 PLC 编程软件 STEP7 创建项目^[10], 在 STEP7 中进行硬件组态, 依次插入机架、CPU、ET200S 等模块, 同时配置 PROFIBUS 网络。电动三通阀的升温/降温、压板温度调节器和压板热油入口温度调节器, 均采用不同的模块程序控制。

1) 升温/降温控制模块: 程序运行周期为 1 s , 按照每 min 升降 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的要求, 则升温/降温速率为 $1/60$; 比较输入温度 $1 (R_1(k))$ 和压板设定温度, 如果压板设定温度高于输入温度 $1 (R_1(k))$, 则按照确定的升温速率进行升温; 降温时亦然。

2) 压板温度调节器控制模块: 程序以输入温度 $1 (R_1(k))$ 作为设定值, 以压板实际温度 ($Y_1(k)$) 作为实际值, 进行 PID 运算, 得到输入温度 2。

3) 压板热油入口温度调节器控制模块: 程序以经输入温度 2 补偿后的输入温度 3 ($U_1(k)$) 作为压板热油入口温度设定值, 以压板热油入口实际温度 ($Y_2(k)$) 作为实际值, 进行 PID 运算, 得到电动阀开度输入值 ($U_2(k)$)。

3.3 监控界面

利用 InTouch 软件, 设计温度控制系统的控制界面 (如图 4 所示)。主要功能: 1) 热油泵的启动、停止控制; 2) 电动三通阀的手动打开、关闭控制; 3) 电机状态、温度值、三通阀开度等状态的显示;

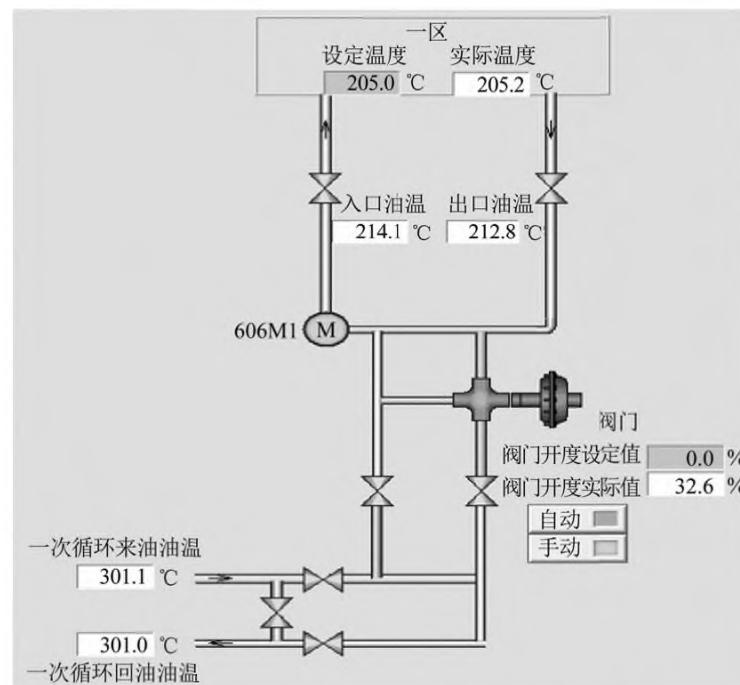


图4 温控控制系统的监控界面

Fig.4 Control interface diagram of the temperature control system

4) 报警信息的显示; 5) 数据存储与历史曲线。

此外, 通过管理控制台 (System Management Console, SMC) 软件和 WindowMaker 软件, 建立 InTouch 与 PLC 的通讯, 监控界面可从 PLC 读取数据或者通过按钮向 PLC 发送指令, 实现数据在两者之间的双向流通, 并可以通过 InTouch 软件内置的趋势控件, 将存储的历史数据以曲线的形式显示。

4 温度控制系统的测试

选择某人造板生产企业的连续压机设备, 在空载升温的工况条件下进行现场测试, 对比串级积分分离 PID 和单级积分分离 PID 算法在人造板连续压机温度控制系统中的实际应用效果。

4.1 压机系统参数设置

连续压机用于生产 8 英寸幅面中纤板, 压板尺寸 $10\text{ m}\times 2.65\text{ m}$, 压板起始温度为 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ (即环境温度); 一次循环热油温度 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$, 热油流量 $340\text{ m}^3/\text{h}$; 二次循环热油温度 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$, 循环热油流量 $430\text{ m}^3/\text{h}$ 。

温度控制要求: 依据连续压机保压段的生产工艺要求, 压板目标温度: $188\text{ }^{\circ}\text{C}$, 升温速度: $3\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 温度控制精度: $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.2 PID 参数整定

串级 PID 整定参数时, 将主、副回路隔离调整, 因为副回路靠近输出, 故采用先副回路、后主回路的整定顺序, 先去掉积分和微分的作用, 让系统变为纯比例调节方式, 再考虑积分, 最后微分; 整定

串级积分分离 PID 主回路控制器参数为: $K_P=1.1$ 、 $K_I=0.03$ 、 $K_D=0.02$, 副回路控制器参数为: $K_P=2.3$ 、 $K_I=0.01$ 、 $K_D=0.01$, 阈值 $\varepsilon=10$ 。整定单级积分分离 PID 控制器参数为: $K_P=1.1$ 、 $K_I=0.03$ 、 $K_D=0.02$ 。

4.3 测试结果与分析

测试结果显示如图 5 所示。当升温时间大于 60 min 后, 采用单级积分分离 PID 算法的温度控制系统, 温度曲线波动明显, 温度控制精度为 $\pm 10^\circ\text{C}$, 超调量显著偏高; 采用串级积分分离 PID 算法的温度控制系统, 温度控制精度达到 $\pm 4^\circ\text{C}$, 有效地减少了温度波动。

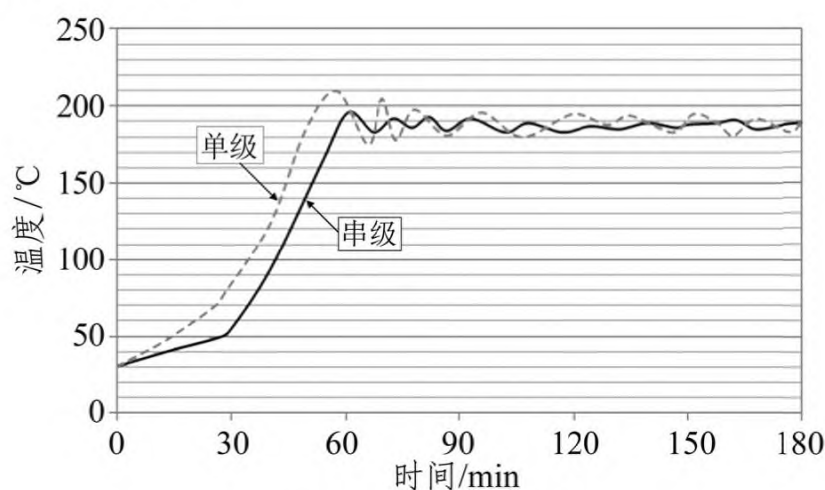


图5 压板温度曲线

Fig.5 Temperature curves of a hot-pressing plate

在压板温度控制过程中, 串级积分分离 PID 控制系统克服外界干扰的主要过程如下:

1) 当压板热油入口温度 $Y_2(k)$ 升高时, 主回路 PID1 压板温度 $Y_1(k)$ 和压板温度调节器的输出 $U_1(k)$ 不变; 副回路 PID2 压板热油入口温度调节器按照不变的设定值和变大的测量值的差值 $e_2(k)$ 进行控制, 通过减小电动三通阀的开度, 使压板热油入口温度调节器的输出减小, 导致进入二次循环的热油流量下降, 进而保持压板温度的稳定。

2) 当压板热油入口温度 $Y_2(k)$ 不变时, 因生产调速导致压板温度 $Y_1(k)$ 降低, 主回路 PID1 压板温度调节器的输出 $U_1(k)$ 增加, 压板热油入口温度调节器按照变大的设定值和不变的测量值的差值 $e_2(k)$ 进行控制, 通过增大电动三通阀的开度, 使压板热油入口温度调节器的输出增大, 增加进入二次循环的热油流量, 使压板温度恢复到设定值。

3) 当压板热油入口温度 $Y_2(k)$ 和压板温度 $Y_1(k)$ 同方向变化时 (同时升高或同时降低), 则主、副回路调节器共同作用, 电动三通阀的开度大幅度变化,

压板温度在较短的时间便能恢复到设定值。

4) 当压板热油入口油温和压板温度反方向变化时 (一个升高一个降低), 则两种变化的干扰作用会相互抵消, 电动三通阀只需做较小调整即可使压板温度恢复到设定值。

5 结语

1) 在人造板连续压机温度控制系统中应用串级积分分离 PID 算法, 借助压板温度调节器和压板热油入口温度调节器的协同作用, 可实现压板温度的准确和恒定控制, 相对传统单级积分分离 PID 算法, 系统具有更高的温度控制精度, 能够更好地满足人造板连续压机生产工艺要求。

2) 本控制系统也适用于其他人造板连续压机的温度控制, 但需要对 K_P 、 K_I 和 K_D 的数值做相应调整, 以达到合适的控制精度。

参考文献:

- [1] Celeste Pereira, Luisa M H Carvalho, Carlos A V Costa. Modeling the continuous hot-pressing of MDF[J]. Wood Science and Technology, 2006, 40(4): 308-326.
- [2] 薛建利, 朱瑞华, 曾明, 宋惠萌. 国产中型 MDF 生产线控制系统的设计[J]. 木材工业, 2008, 22(4): 33-35, 38.
XUE J L, ZHU R H, ZENG M, SONG H M. Automatic control system for a medium-scale MDF production line[J]. China Wood Industry, 2008, 22(4): 33-35, 38.
- [3] 刘春虎, 刘玉绒, 谭利华. 连续平压热压机二次热循环温度控制系统研究[J]. 机床与液压, 2013, 41(14): 105-106, 116.
- [4] 闫承琳, 周玉成, 张星梅, 等. 人造板连续平压机分时多任务温度控制系统的软件设计[J]. 林业科学, 2014, 50(4): 115-120.
YAN C L, ZHOU Y C, ZHANG X M, et al. Software design of time-sharing and multitask temperature control system for wood-based panel continuous press[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2014, 50(4): 115-120.
- [5] 张素梅. 人造板热压机温度分程-串级控制系统的开发[J]. 木材工业, 2012, 26(6): 50-53.
ZHANG S M. Development of split-cascade temperature control system for wood-based panel press[J]. China Wood Industry, 2012, 26(6): 50-53.
- [6] 曹法立, 付远明, 吴江涛. 基于多级积分分离 PID 算法的温度控制系统[J]. 控制工程, 2017, 24(6): 1107-1112.
- [7] 崔勇, 张红建, 焦海良, 等. 人造板连续压机供热系统耗热量设计计算分析[J]. 中国人造板, 2016, 23(8): 11-14.
- [8] 彭双剑, 刘武林, 盛锴, 等. 过热汽温串级 PID 控制系统建模机理分析与验证[J]. 湖南电力, 2013(s2): 24-28.
- [9] 高健, 陈先桥. 干熄焦系统温度模糊串级 PID 控制策略[J]. 自动化与仪表, 2013, 28(1): 35-38.
- [10] 阳胜峰, 谭凌峰. 西门子 S7-200/300/400 系列 PLC 快速入门手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.

(责任编辑 向琴、张鹏)