

## 辊压机张力控制系统设计与实现方案研究

赵向辉

邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司，河北 邢台 054001

**[摘要]**辊压机在薄膜、纸张、金属带材等连续加工行业有着广泛的应用，其张力控制对于保证产品质量以及生产效率而言是极为关键的因素。当下不少辊压机依旧采用传统控制方式，此种方式存在控制精度不高、响应速度偏慢以及抗干扰能力较差等一系列问题，很难契合现代工业生产所提出的高精度、高稳定性方面的要求。为了能够解决这些问题，文章针对辊压机张力控制系统展开相关研究，其研究成果能够为相关设备的自动化升级以及智能控制给予一定的技术参考。

**[关键词]**辊压机；张力控制系统设计；实现方案

DOI: 10.33142/ect.v3i9.17876 中图分类号: TM912 文献标识码: A

## Research on the Design and Implementation Scheme of Tension Control System for Roller Press Machine

ZHAO Xianghui

Xingtai Naknor Technology Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054001, China

**Abstract:** Roller presses are widely used in continuous processing industries such as film, paper, and metal strip. The tension control is a crucial factor in ensuring product quality and production efficiency. At present, many roller presses still use traditional control methods, which have a series of problems such as low control accuracy, slow response speed, and poor anti-interference ability, making it difficult to meet the requirements of modern industrial production for high precision and high stability. In order to solve these problems, this article conducts relevant research on the tension control system of the roller press, and its research results can provide certain technical references for the automation upgrade and intelligent control of related equipment.

**Keywords:** roller press machine; design of tension control system; implementation plan

### 引言

在现代工业生产进程里，辊压机身为极为关键的连续加工装备，其应用范围颇为广泛，在金属加工领域、塑料薄膜相关领域、纸张制造行业以及锂电池极片涂布等诸多领域均可见其身影。伴随着产品质量标准持续提高，生产效率的要求也在不断攀升，在这样的情况之下，材料于加工过程当中所出现的张力控制方面的问题，已然逐步变成对产品性能以及生产稳定性产生影响的关键要素。张力控制系统所起到的作用是保证材料在处于运动状态的时候，能够维持一种恒定并且合适的张力状况，以此来避免因为张力过大的缘故而致使断带情况的发生，同时也要防止由于张力过小而导致出现褶皱、跑偏以及堆料等一系列的质量问题，进而达成对产品尺寸稳定性、表面平整性以及整体均匀性等这些关键性能予以保障的目的。传统的张力控制系统大多依靠人工经验或者简单的开环控制的方式来进行运作，其控制精度以及响应速度很难契合现代高自动化生产线所提出的需求，所以构建起一个具备高精度以及高稳定性的自动张力控制系统，这已然成为了提升辊压机智能化程度的重要途径。基于此，本文紧扣辊压机张力控制系统的功能与实现这一主题来展开相关的研究工作，对它的结构组成以及控制原理展开较为系统的剖析，从传感器的选型环节、控制硬件的配置事宜一直到控制算法的优

化操作以及软件的实现流程，给出了一套较为完整的方案，并且借助仿真的方式以及实验手段来对其有效性以及可靠性加以验证。

### 1 辊压机张力控制系统设计

#### 1.1 系统需求分析

辊压机张力控制系统在设计之时，得先明确整个系统的各项需求，如此一来才能让控制效果符合生产工艺方面的要求。张力控制系统所着重追求的目标是要达成对材料于辊压进程当中的张力予以精准且稳定的调节这一目的，进而保证材料受力分布均匀，避免出现断裂或者松弛等状况，由此促使产品质量得以提升，同时生产效率也能获得提高。其具体的需求涵盖如下方面：系统务必要拥有高灵敏度的张力检测功能，能够做到实时且准确地将张力变化信号采集起来；控制响应的速度必须要够快，要保证在材料速度发生变动又或者是遭遇外界干扰的情况下，系统能够快速地对张力做出调整，维持住稳定的状态；硬件部分应当具备不错的抗干扰性能以及稳定性，能够适应工业现场那种复杂的环境情况；控制算法需要有很好的鲁棒性以及自适应的能力，以便能够适应不同材料所具有的特性以及工况方面的变化情况；除此之外，系统还得方便和现有的设备进行集成操作，实现数据通信以及远程监控等相关功能。

### 1.2 控制硬件方案设计

辊压机张力控制系统硬件方案设计对于保障系统稳定运行以及精准控制而言极为关键。就张力检测部分来讲,一般会采用像应变式传感器或者光电传感器这类高精度张力传感器,其可实时获取材料张力变化信号,而且线性度良好,抗干扰能力强。控制单元通常会选择性能稳定且处理速度较快的工业级控制器,比如 PLC 或者工业计算机,以此来满足高速数据处理以及实时控制方面的需求。执行机构部分主要是电机及其驱动器,常用的是伺服电机或者变频调速电机,借助调节电机转速来达成对材料张力的细致调节。在硬件设计时,还得考量信号采集模块的滤波以及放大电路,从而保证传感信号能准确传输,降低噪声带来的影响。通信接口设计务必要契合工业现场的标准协议,像是 CAN 总线、Modbus 或者以太网,以便确保控制系统和上位机以及其他设备能够实现无缝对接<sup>[1]</sup>。硬件设备的选型以及布局得充分考虑环境因素,例如温度、湿度以及电磁干扰等情况,以确保系统在复杂工业环境下具备稳定性与可靠性。

### 1.3 控制软件方案设计

辊压机张力控制系统软件方案设计对于达成张力精准调节以及系统智能化管理而言,称得上是极为关键的保障所在。就软件设计来讲,其首要任务是要实现对传感器所采集到的张力信号予以实时的采集操作,同时还要开展滤波处理以及相应的数据处理工作,唯有如此,才能够确保输入数据具备足够的准确性以及良好的稳定性。依据所采集到的张力相关信息,控制软件得要能够实现高效的控制算法运算,像 PID 控制、模糊控制又或者是自适应控制算法等都包含在内,通过这些算法来动态地去调整执行机构的输出情况,进而达成对材料张力的精准把控。软件还得拥有异常检测以及报警的相关功能,要能够及时察觉到张力出现异常或者设备发生故障的情形,以此来确保系统可以安全且稳定地运行下去。在用户界面的设计环节,务必要做到简洁而又直观,要让操作人员能够方便地对张力变化加以实时监控,同时也能够便捷地去调整控制参数,并且还能轻松地查看系统的运行状态。除此之外,软件还需具备数据记录以及分析的功能,如此一来便利于对历史数据进行追踪,也有助于性能方面的优化工作。要是想保证系统具备灵活性以及扩展性这两个特性,那么在软件架构的设计层面就得采用模块化的形式,这样做是为了方便在后期开展升级以及维护等相关事宜。

### 1.4 传感器及执行机构选型

在辊压机张力控制系统设计之时,传感器以及执行机构的选型极为关键,其会直接对系统的响应速度以及控制精度产生影响。就传感器而言,一般会选择高精度的张力传感器,像应变式传感器或者光电式传感器,这类传感器有着灵敏度颇高、响应较为迅速、抗干扰能力较强的特点,可精准地反映出材料在辊压期间的张力变化状况。而且,

传感器的量程还有测量范围需要依据具体的工艺参数以及材料特性来合理地匹配,以此保证测量数据的可靠性与稳定性。在执行机构方面,大多采用伺服电机或者变频调速电机当作动力装置,借助调节电机转速的方式来精确地控制张力变化<sup>[2]</sup>。伺服电机具备响应速度较快、控制精度较高以及稳定性较好的优点,适宜在需要对张力进行细致调节的场合使用。驱动器的选型要确保能与电机相匹配,并且得具备不错的动态响应以及过载保护功能。

### 1.5 通信与接口设计

在辊压机张力控制系统当中,通信以及接口方面的设计属于极为关键的一环,其对于实现各个功能模块能够协同开展工作以及完成系统的集成有着重要作用。要想保证传感器、执行机构、控制器还有上位机相互之间所进行的数据传输能够做到准确且高效,那么系统就需要选用那种既可靠又稳定的通信方式,并且得采用标准化的接口协议才行。一般来说,张力传感器以及其他检测元件所输出的模拟信号是需要借助信号转换模块将其转变成数字信号的,之后再凭借 RS485、CAN 总线、Modbus 或者工业以太网这类通信协议来将信号传送到控制单元那边去。上述这些协议都具备诸如传输速率比较快、抗干扰的能力较强以及通信的距离较远等诸多优点,所以它们能够很好地适应那种较为复杂的工业现场环境。就控制系统和上位机二者之间而言,其通信接口的设计不但要达成实时数据上传的目的,而且还应当能够支持参数下发、远程控制以及状态监测等一系列功能,以此来进一步强化系统在操作方面的便捷程度以及智能化的水准。从接口硬件设计的角度来讲,务必要确保通信模块和控制器、显示器、驱动器等各种各样的设备都能够实现兼容,同时接口的数量以及类型也都得留出一定的扩展余地,从而满足后续可能涉及到的功能升级或者设备扩展方面的需求。为了避免在通信的过程当中出现信号受到干扰亦或是数据发生丢失等情况,还需要设置与之相对应的防雷措施、电气隔离手段以及错误检测机制,进而提升整个系统在安全性和稳定性这两方面的表现。

## 2 张力控制算法实现

### 2.1 张力检测与反馈信号处理

张力检测与反馈信号处理是实现辊压机张力控制算法的基础环节,其核心任务是在实际运行过程中实时获取材料的张力信息,并将其转化为控制系统能够识别和处理的有效信号。首先,通过张力传感器对材料在运行过程中的受力情况进行实时监测,通常采用应变式、光电式或压电式传感器,输出模拟信号反映当前张力状态。由于现场环境复杂,信号在传输过程中容易受到电磁干扰、机械振动等因素影响,因此在进入控制器前,需通过滤波电路或数字滤波算法对信号进行处理,去除噪声并增强信号稳定性。同时,为确保控制系统对张力变化的快速响应,还需对反馈信号进行放大、线性和采样,进而通过 A/D 转换模块将模拟信号转化为数字信号输入至控制器。

## 2.2 控制算法的设计与优化

在辊压机张力控制系统当中,控制算法的设计以及优化这一环节,可说是确保张力能够保持稳定、响应速度足够快、系统运行较为可靠的关键所在。张力控制无疑属于典型的闭环控制范畴,它的目标在于依据实时反馈回来的张力信号,去调节执行机构所输出的内容,从而让实际的张力值可以始终贴近设定的目标值。传统的 PID 控制算法,凭借其结构相对简单的特性,再加上参数调节起来也比较方便,所以在工业控制领域得到了广泛的应用。在初步开展设计工作的时候,可以通过经验法或者 Ziegler-Nichols 整定法来对 PID 参数加以设定,进而达成基本的张力调节功效。不过由于辊压过程本身存在着较强的扰动情况,还呈现出非线性以及时变的特性,所以单一的 PID 控制通常在动态性能以及抗干扰能力这两个方面都会有所欠缺<sup>[3]</sup>。鉴于此,就需要针对算法做出相应的优化举措,比如引入模糊控制、自适应控制又或者是遗传算法这类智能控制策略,以此来对传统的 PID 参数实施在线自调节的操作,进一步强化系统在不同工况之下的适应能力以及鲁棒性。与此在控制的过程之中还需加入前馈补偿、滞后补偿以及干扰抑制的相关机制,借以提升系统对于突发张力波动所具备的快速响应能力以及抑制能力。经过优化之后的控制算法,一方面提升了张力控制的精度以及稳定性,另一方面也能够有效地减少出现材料断带、褶皱等质量方面的问题,进而切实保障生产过程的连续性以及高效性。

## 2.3 控制策略的实现细节

在张力控制算法方面,控制策略的具体实现细节在很大程度上决定了系统的实际运行性能以及控制精度,这其中涉及到信号采集、误差计算、算法调用、执行输出等诸多环节的相互协同配合。一开始,系统会依靠张力传感器来实时采集材料于运行期间的张力数据,之后经过滤波处理以及放大操作之后再传送给控制器,以便进行数据方面的解析工作。控制器所接收到的张力值会和预先设定的目标张力去做差值方面的比较,进而形成误差信号。系统依据预先设定好的控制策略去调用与之相对应的控制算法,像 PID、模糊控制或者自适应算法这类,针对误差值展开动态的调节操作,从而计算得出控制量。在具体的实施过程当中,为了能够提升控制响应的速度,常常会采用离散化算法来开展实时的计算工作,并且还会引入采样周期以及控制周期的同步机制,以此来确保控制器可以以一种稳定的频率输出信号。与此为了避免算法在启动之时或者负载发生突变的情况下致使系统出现震荡的情况,需要设置启动缓冲、积分限幅、抗饱和保护等相关功能。控制器所输出的控制信号再经过 D/A 转换模块转变为模拟电压或者电流信号,然后将其传输给执行机构,像是伺服电机或者变频器等,以此来达成张力调整的相关动作。

## 2.4 控制系统的仿真与分析

在张力控制系统开发进程里,开展控制系统的仿真以及相关分析,这无疑是一项极为重要的手段,其主要作用在于对控制算法的可行性以及系统性能加以验证。借助于建立起张力控制系统的数学模型,这里面囊括了材料传输的动态特性、执行机构的响应模型还有传感器的反馈特性,如此一来便能够在仿真平台之上(比如像 MATLAB/Simulink 这样的平台)去构建起完整的控制系统仿真框架。在进行仿真的过程当中,人为地输入设定好的张力变化曲线又或者是典型的扰动信号,然后仔细观察系统在不同控制算法(像传统的 PID 算法、模糊 PID 算法、自适应控制算法等等)之下的具体响应过程<sup>[4]</sup>。通过对这些不同情况下的稳态误差、调节时间、超调量以及抗干扰能力等关键指标展开比较,进而深入分析控制策略所呈现出的优劣状况以及它所适用的具体场景。与此仿真还能够对系统处在负载发生突变、传感器存在噪声或者执行器出现延迟等这样一些工况之下的实际表现予以模拟,以此来助力于对控制参数进行优化操作,从而促使系统的鲁棒性得以提升。

## 3 结语

经过对辊压机张力控制系统设计与实现方案展开研究,本文围绕系统需求、硬件构成、控制算法、软件实现等诸多方面展开了较为详尽的剖析,由此给出了一套具备实际应用价值的张力控制解决办法。研究得出的结果显示,该系统可切实提高张力控制的精准程度以及稳定水平,能够契合现代辊压生产针对产品质量以及生产效率所提出的要求。不过,本文所设计的系统虽说在功能以及性能层面拥有一定长处,然而在实际的应用进程当中,依旧需要联合更多的现场数据以及复杂的工况状况来加以优化。后续能够在算法智能化程度、系统集成的程度以及远程监控能力等方面再进一步拓展并提升,以此给辊压设备的智能化发展给予有力的支撑。

## [参考文献]

- [1]刘振州.高速动力电池辊压机厚度闭环控制系统的研究[J].山东工业技术,2018(9):44.
  - [2]黄金成,石海川,孙登建.辊压机辊轴断裂行为仿真分析与结构优化[J].水泥工程,2025,38(2):53-55.
  - [3]赵斌,吴运动.冶金辊压机故障模拟及在线监控策略研究[J].安徽冶金科技职业学院学报,2024,34(3):15-17.
  - [4]荣亚坤,李华军,董天明,等.国际化发展进程中辊压机控制系统的优化[J].水泥技术,2024(3):9-15.
- 作者简介:赵向辉(1989.12—),男,汉族,籍贯:河北省邢台市柏乡县,现就职于邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司,现职称中级工程师,2013年7月毕业于石家庄职业技术学院机械设计与自动化,最高学历大专,现主要从事辊压机设计制造。