

## 碳纤维生产预氧化炉张力自动检测控制装置及方法

金振峰, 周德明, 傅春峰

浙江精工集成科技股份有限公司 浙江绍兴

**【摘要】**碳纤维是一种耐高温、高强度、耐腐蚀的新型材料, 广泛应用于航空航天、国防军工和民用工业各领域。在碳纤维生产制造过程中, 预氧化是其中最为关键的步骤之一。工业生产过程中往往采用预氧化炉进行预氧化, 而衡量预氧化好坏的一个关键指标就是预氧化炉内风场均匀性。文章对碳纤维生产预氧化炉张力自动检测控制装置及方法进行了研究分析, 以供参考。

**【关键词】**碳纤维生产; 预氧化炉; 张力自动检测

**【收稿日期】**2024 年 5 月 10 日

**【出刊日期】**2024 年 12 月 20 日

**【DOI】**10.12208/j.ijme.20240013

### Automatic tension detection and control device of pre-oxidation furnace for carbon fiber production

Zhenfeng Jin<sup>1</sup>, Deming Zhou<sup>2</sup>, Chunfeng Fu<sup>3</sup>

Zhejiang Seiko Integrated Technology Co., LTD., Zhejiang, Shaoxing

**【Abstract】** Carbon fiber is a new type of high temperature resistance, high strength, corrosion resistance material, widely used in aerospace, national defense and civil industry fields. Preoxidation is one of the most critical steps in the manufacturing process of carbon fiber production. In the process of industrial production, the pre-oxidation furnace is often used for pre-oxidation, and a key index to measure the quality of the pre-oxidation is the uniformity of the wind field in the pre-oxidation furnace. This paper analyzes the method and method of carbon fiber for reference.

**【Keywords】** Carbon fiber production; Pre-oxidation furnace; Automatic tension detection

#### 1 前言

碳纤维热处理生产过程中, 由于温度较高, 碳纤维运行张力的对碳纤维线径和通条性的影响较大, 张力较小时容易出现小弯、淬火不均匀; 张力较大时容易出现缩径、断丝等问题。实际生产中, 同一条生产线的产品规格较多, 线径不一, 牵引辊等工装也要根据产品进行更换, 在切换产品规格时, 张力轮对碳纤维的下压量会根据线径的变化而改变, 所以通过简单的张力轮检测张力不能准确反映不同规格碳纤维合适的张力值<sup>[1]</sup>。为此, 设计一套适合热处理收放线过程中碳纤维运行的张力检测方法及控制系统。

#### 2 系统组成

系统由检测、控制、执行机构 3 部分组成。主要包括: (1) 二轴直线模组支座、伺服电机、测速装置、压力检测装置、限位检测装置; (2) PLC 控

制系统; (3) 伺服驱动系统。步进电机控制测速装置和压力检测装置上下移动。该系统通过 PLC 和伺服电机控制直线模组带动测速装置从初始位置向下缓慢移动, 当测速装置接触到运行中的碳纤维时, PLC 检测到速度信号, 并记录测速装置此时的位置, 以此为初始位置, 同时记录压力传感器反馈的初始压力值<sup>[2]</sup>。随后, PLC 通过伺服电机控制测速装置继续向下移动一定位移(下压位移量可以通过人机界面设置, 位移量通过脉冲量控制), PLC 记录下此时压力传感器反馈的张力压力值, 两个压力值的差可以作为此时碳纤维张力的参考标准。该检测方法主要通过速度信号识别压力反馈装置的初始位置, 通过计算一定位移量产生的压力来判断碳纤维的运行张力, 特别适用于运行中的碳纤维以及在同一设备上生产多种碳纤维规格且线径变化较大的生产情况。对不同线径的碳纤维都能够适用, 保证

在检测过程中不同线径的碳纤维能够产生相同的变形量, 提高张力检测的准确性和一致性, 张力检

测示意图如图 1 所示。

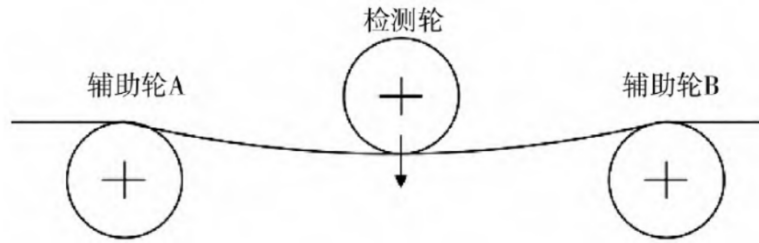


图 1 张力检测示意图

### 3 张力检测及控制

#### 3.1 控制系统选型

根据控制要求, PLC 需要 2 路高速脉冲输出及其他数字输出点, 模拟量输入 2 路, 控制器选择西门子 Smart200ST 系列的 PLC。伺服控制器选用汇川 LE40XZSN15LIUM-D, 配合 86CM120 伺服电机使用, 力传感器采用 S 型结构体, 在受力情况下, S 型结构体的上下两个梁均可近似看作平行梁, 在进行受力分析时均可看作封闭的钢架, 传感器输出的是电压信号, 在受到外力作用时, 力传感器输出电压的变化量与碳纤维张力呈良好的线性关系, 可以实现碳纤维张力检测功能<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 控制过程

PLC 通过伺服驱动器控制步进电机控制测速装置和压力检测装置上下移动。测速装置出现速度信号

时, PLC 记录此时测速装置的位置, 以及压力传感器的压力值, 随后步进电机控制测速装置继续向下移动一定位移, PLC 记录下此时测速装置的位置和压力值。系统通过计算测速装置下压碳纤维一定位移时的压力变化, 经过算法换算计算出碳纤维的运行张力, 并通过人机界面显示此时碳纤维的运行速度和张力。

#### 3.3 系统控制框图

该电气控制系统包括可编程控制器主要控制模块。光电编码器和压力传感器分别将速度和压力信号反馈至 PLC, 以确定张力轮的初始位置和张力变化, 可编程控制器通过人机界面的参数设置和伺服控制器控制伺服电机的运行, 整个系统速度信号、张力信号经过 PLC 换算后通过人机界面显示出来<sup>[4]</sup>。同时也可以进行其他执行信号的输出和控制, 图 2 系统控制框图。

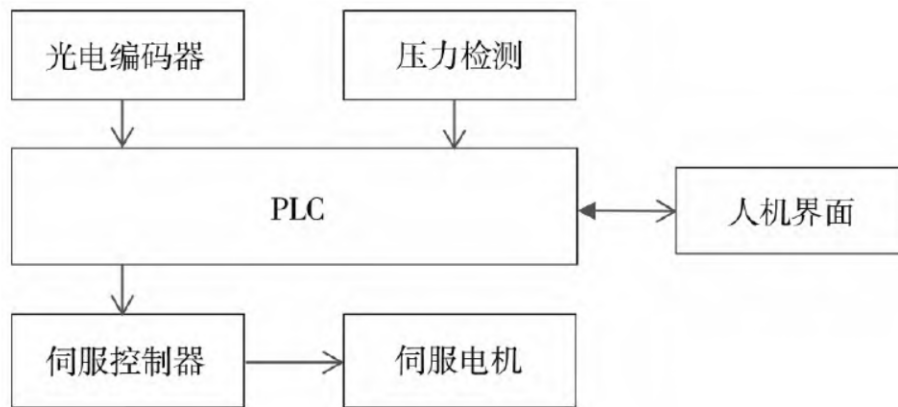


图 2 系统控制框图

#### 3.4 控制系统程序设计

由于实际操作过程中同一条生产线需要生产不

同线径的碳纤维, 张力检测装置在测量不同线径的碳纤维时下压的位移不确定, 而且张力轮在使用过

程中会不断磨损, 会给张力检测带来较大的误差。本系统在设计时充分考虑到上述影响因素, 通过速度信号的检测来确定张力检测的初始值, 使张力检测更加精准, 不受外界条件的变化而影响检测效果<sup>[5]</sup>。速度初始信号的检测是判断张力轮与碳纤维是否接触的关键, 因此在此处的控制与检测方面需要考虑误动作以及位移的惯性及时间延时问题。一是通过控制检测装置向下移动的速度尽量放缓, 二是保证检测装置初始位设置的合理性, 三是保证速度初始信号检测的连续性。人机界面完成控制系统需要的参数输入及运行参数的显示, PLC 根据触摸屏输入的线径、检测装置的位移等参数, 自动计算并显示张力值, 并能通过张力范围的设定实现报警输出功能。由于本系统设计的目的在于监测某一规格产品的碳纤维在生产过程中的张力波动, 通过试验摸索出合适的张力值作为生产工艺的辅助要求, 提高产品质量的可控性。该系统中的检测装置安装位置固定, 通过对碳纤维下压一定位移后检测的压力变化具有一定的稳定性、唯一性。可以用来作为张力的参考值达到工艺控制的目的, 因此不再进行复杂的碳纤维径向张力的计算。

### 3.5 实际应用情况简述

该设计的核心目的是解决同一条生产线上生产不同线径的碳纤维时保证张力检测条件一致性的问题, 保证同一规格碳纤维在生产时张力值的一致性, 为产品质量的稳定提供比较准确的参考标准和工艺标准, 同时二次监控生产线运行速度。该设计目前正在调试试用阶段, 能够在张力检测轮接触碳纤维转动时识别到其初始位置, 并能够按照设定值下压一定位移, 能够比较准确地反映碳纤维张力大小的变化, 基本达到了预期目的<sup>[6]</sup>。但是应用中也发现设计的装置机构本身和程序控制上还有较多可以改善的地方。比如结构设计可以更加简单; 对于程序控制, 在检测装置与碳纤维表面接触的判定等方面还可以进一步优化。

## 4 碳纤维预氧化炉温度监控系统研究

### 4.1 温度监测系统全面设计框架

基于碳纤维预氧化炉的功能需求与系统性能指标, 本设计涵盖了上位机监控与下位机控制两大核心模块。上位机担当系统输入的指挥官, 负责设定控制参数并密切监视生产流程的数据波动; 下位机则作为执行者, 依据上位机的指令精准调控碳纤维预

氧化炉的温度。此控制系统架构包含控制器、碳纤维预氧化炉本体、测温单元、模数转换单元及功率调节装置。系统整体架构图示如下, 分为三个层级: 设备层、控制层与监控层。

设备层: 部署了丰富的传感器阵列, 如精密温度传感器与功率调节装置, 这些传感器构成了系统的感知神经, 确保对碳纤维预氧化炉温度的精确监测与调节。

控制层: 核心是控制器, 通过嵌入的温控算法策略, 实现了对温度的智能调控。模数转换单元在此扮演桥梁角色, 确保信息在控制级与设备级间顺畅流通。

监控层: 配置双路监控计算机, 通过交换机与控制器相连, 形成冗余架构, 有效抵御意外事件的影响, 保障系统运行的连续性与稳定性。

### 4.2 温度控制策略深入探讨

在碳纤维预氧化炉温度控制系统的设计中, 我们评估了四种主流控制器: 单片机、温控仪表、可编程逻辑控制器 (PLC) 及实时仿真控制器。

单片机: 尽管其体积小、应用灵活, 支持复杂智能算法开发, 但抗干扰能力弱、可靠性不高, 因此不适用于本项目需求。

温控仪表: 专为温度控制设计, 操作简便且实用性强, 但面对多通道温度控制时, 需多仪表配合, 导致系统复杂度增加。

实时仿真控制器: 处理速度极快, 能执行复杂算法, 稳定性佳, 但成本高昂, 包括配套设备, 不利于单一工程项目的经济考量。

可编程逻辑控制器 (PLC): 在工业控制中广泛应用, 具备丰富的模块 (如数字输入/输出、模拟输入/输出), 稳定性卓越, 且能高效处理多种逻辑问题, 易于配置。综合考虑性价比与实用性, 本项目选择 PLC 结合实时仿真控制器, 其中 PLC 负责基础控制任务, 而实时仿真控制器则专注于执行精密复杂的控制算法, 实现温度的即时在线调控。

### 4.3 系统温度测量的研究方案

测温装置是温度测量的核心组件, 它直接决定了测量结果的精确度。根据与被测物的接触状态, 测温装置可分为接触式和非接触式两类。接触式测温元件需放置于碳纤维预氧化炉内部, 以其高精度的测量性能著称<sup>[7]</sup>。然而, 由于热传导效应, 这类传感器在响应速度上略显迟缓, 且对极端高温或强腐蚀

性介质适应性较差。非接触式传感器则因无法直接置入炉内,多用于特定场景,但易受外部环境干扰,导致测量误差增大,难以胜任高精度需求。综合考虑系统特性,本设计选用了热阻作为接触式测温元件。热阻的阻值随温度变化而规律变化,在特定温度区间内,其阻值-温度关系呈线性,确保了测量结果的准确性。鉴于碳纤维预氧化炉的工作温度上限为400℃,且测量介质为无腐蚀性气体,热阻测温方案尤为适宜。

#### 4.4 温度监测系统的硬件架构探索

系统通过开关实现监控计算机、PLCST60 控制器及实时仿真控制器间的信息流通。实时仿真控制器负责高效处理复杂的温度控制算法,并将控制指令传送至监控计算机的数据库。WINCC 监控软件从数据库中提取信息,并将控制命令回传至 PLCST60。PLCST60 隶属于西门子 S7-200SMART 系列 CPU,其中 EMAE08 模块负责将温度传感器输出的标准电流信号转换为数字信号以供 PLC 处理;EMAQ04 模块则执行相反操作,将 PLC 的控制信号转换为执行器可识别的标准信号。系统还预留了扩展接口,以应对未来可能的升级需求。电源分配上,380V 交流电通过 QF1 和 QF2 供给稳压器,而 220V 交流电则通过 QF3、QF4 和 QF7 为其他设备供电,确保了用电安全。此外,电路配备了过载保护装置,当电流超过设定阈值时,QF 将自动切断电路,有效防止设备损坏。最后,220V 交流电经隔离变压器及 24V 直流电源模块转换后,为 PLCST60 等需要稳定 24V 直流供电的设备提供电力保障。

#### 4.5 上位机监控系统的构建与应用

上位机监控系统作为碳纤维预氧化炉温度控制系统的关键一环,承担着数据展示与参数输入的重任。本系统采用 WINCC7.3 作为上位组态软件平台,它集成了丰富的工业控制功能,极大简化了项目开发流程<sup>[8]</sup>。同时,通过西门子 PCACCESS 软件与 PLCST60 建立稳定通信连接,确保了上下位机间的高效信息交换。主要包含登录界面、主界面、自动化/手动操作面板、实时/历史温度趋势对比视图、运行日志、报警记录及参数配置工具等模块,为用户提供了全面、直观的操作与监控体验。

## 5 结语

该张力检测系统能够比较准确地反映出热处理

生产过程中碳纤维张力的波动,保证不同规格产品在生产过程中张力检测条件的一致性和同一规格产品张力检测值的一致性,满足产品工艺控制和质量控制的要求。但是本系统仍然只是一个开环的在线监测系统,具有一定的滞后性,还不能作为闭环主动控制张力,从根本上避免张力变化带来的质量风险。其次本系统的张力算法较为简单,检测的张力值并非实际的张力值,只作为检测张力波动的一个相对值,使用具有一定的局限性。

## 参考文献

- [1] 李川.碳纤维预氧化炉温度特性仿真及其监控系统研究[D].辽宁工程技术大学,2020,(07):22-24.
- [2] 林康,刘增昕,孙旭涛,等.PAN 原丝在不同结构预氧化炉的预氧化过程研究[J].高科技纤维与应用,2015,(04):57-60.
- [3] 高晓冬.碳纤维生产控制系统开发及优化[D].山东大学,2012,(14):111-113.
- [4] 贺福,孙微.我国碳纤维工业由普及到提高的攻坚势在必行[J].高科技纤维与应用,2011,36(04):7-11+24.
- [5] 闫亮,朱波,金杨,等.Fluent 对碳纤维预氧化炉优化设计的可行性分析[J].建材世界,2009,30(01):97-100.
- [6] 于宽.大型碳纤维预氧化装备温度控制特性研究及应用[D].2013,(12):220-223.
- [7] 闫亮,朱波,金杨,等.Fluent 对碳纤维预氧化炉优化设计的可行性分析[J].建材世界.2009,(1):78-81.
- [8] 李磊,屠晓萍,沈志刚.聚丙烯腈预氧化纤维的制备与应用进展[J].合成纤维.2023,(5):66-68.

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS