

基于 PLC 技术涂布机厚度控制模块设计方案研究

田桂祥 施淋枫

(北京大学长三角光电科学研究院 江苏 南通 226001)

摘要: 想要确保卷对卷涂布机始终处于正常工作状态, 工作人员就要对卷对卷涂布机厚度控制模块进行优化设计。该模块主要由刮涂设备、放卷设备和张力管控设备组成, 三种设备相互配合, 实现对于涂布厚度的有效控制。本研究基于卷对卷涂布机, 引入 PLC 技术, 对涂布作业进行自动化升级, 在确保涂布厚度控制精度符合质量标准的基础上, 提升卷对卷涂布机自动化水平, 最终达到柔性化生产目标。

关键词: PLC 技术; 涂布机; 控制系统

0 引言

伴随着科学技术不断进步, 薄膜太阳能电池逐渐代替传统硅基太阳能电池, 特别是在新能源产业蓬勃发展的背景下, 薄膜太阳能电池行业迎来了快速增长期, 市场需求也不断扩大。想要提升卷对卷涂布机的工作效率, 提高产品良率, 就要对涂布厚度控制模块进行优化与升级, 基于 PLC 技术为该模块安装集中控制系统, 并对其中的刮涂装置进行优化, 提升涂布厚度控制精度, 为薄膜太阳能电池产业的发展提供技术支撑。

1 涂布厚度控制模块控制系统设计

借助集中式 PLC 技术, 能够让设备中的各种模块接受统一控制, 每一种机械设备上安装的 PLC 模块都可以视为子控制系统, 借助 PLC 技术受中央控制系统的统一管控。在卷对卷涂布机上运用集中式 PLC 技术, 能够减少该设备内的每一个模块之间的信息传递量, 提升信息传输效率, 实现柔性化生产。卷对卷涂布机厚度控制装置想要正常运行, 需要借助 PLC 技术实现对不同功能模块的灵活控制, 确保每一个模块都可以根据需要启动或者关闭。

从整体上看, 模拟量输入是确保 PLC 系统稳定工作的关键因素, 卷对卷涂布机正常工作过程中, 放卷模块的电机转动速度、张力控制模块检测到的张力值等, 都是十分关键的模拟量, 借助 A/D 转换模块, 将模拟量数据转换为 PLC 单片机可以读取的数字信号, 由于 A/D 转换模块采用的是积分法原理, 因此 A/D 转换模块的工作效率以及数据处理精度, 受到积分时间的影响。本次设计工作中, 设计人员考虑谐波对于 PLC 系统的影响, 决定使用积分时间为 20ms、精度达到 12 位的 A/D 转换模块。实际工作中, 各个子模块的模拟量数据按照设定顺序逐次转化, 通过这种方式充分利用模拟量采样时间, 提升模拟量采样效率。

2 张力控制模块与放卷模块设计

卷对卷涂布机运行过程中, 如果张力检测模块检测到当前张力值超过设定阈值, 则放卷控制模块就会进行放卷动作, 在确保放卷动作顺利完成的情况下确保张力值始终处于安全范围内。

本次优化设计中, 工作人员使用 PET 膜作为基础卷材, PET 膜厚度为 3mm。质量为 86 ~ 90kg/。设备通电之后, 电机带动气涨轴工作, 将 PET 膜固定在轴上, 由于本次设计采用芯轴安装模式, 因此可以将轴的旋转当作圆柱体旋转进行转动惯量计算工作, 得出公式:

$$J=1/2mr^2 \quad (1)$$

公式 (1) 中: 变量 m 为放卷模块的总重量, 变量 r 为 PET 膜卷外径的尺寸。通过计算可得 $J=1.3\text{kg/}$ 。

计算卷对卷涂布机厚度控制模块中的电机总负载转矩的公式为:

$$T=J\omega/\Delta t \quad (2)$$

公式 (2) 中, 设计人员已经得到 J 的数值, 将 PET 膜卷轴的转速调整为 30 转/min, 进而得到 ω 的数值, $\omega=2\pi n/60=6.27\text{rad/s}$, 本次设计方案中使用的电机, 其功率为 60W, 转矩参数为 5N/m, 因此得出等加速度数值为 1.45, 满足该设备工作要求。

3 刮涂控制模块设计

刮涂模块的运行精度以及设计合理性, 对于涂布厚度会产生直接影响, 因此想要提升涂布品质, 就要对刮涂控制模块进行优化设计。

3.1 涂布辊及刮刀设计

实际工作中, 刮刀与涂布辊会受到浆料的影响, 刮刀在长时间使用之后会出现变形、卷刃等问题, 降低涂布厚度控制精度。因此, 设计人员需要对刮刀的结构设计进行优化, 提升刮刀作业精度, 延长刮刀使用寿命。本次设计中, 工作人员基于 Pro/Engineer 软件, 对刮刀以及涂布辊进行 3D 建模。利用 45# 钢材作为涂布辊原料, 在计算机平台对其进行调质处理, 将硬度设定为 HB225, 直径为 180mm, 安装轴的直径设定为 50mm, 并在软件中建模。

建模工作完成之后, 利用 Ansys Workbench 软件对该模型进行仿真实验, 利用该软件的对外接口导入涂布辊模型, 并对涂布辊的材质数据进行设定 (见表)。

3.2 划分网格

为了提升刮刀对于涂布厚度的控制精度, 需要对涂布

表 45 号钢材涂布辊性能参数表

性能	抗拉强度	屈服强度	延长率	密度	杨氏模量
数据	≥ 0.7GPa	≥ 0.356GPa	≥ 17%	7.88g/mm³	210000GPa

辊进行科学合理的网格划分。通常情况下，可以使用扫掠划分、自由划分和映射网划分三种方法。这三种网格划分方式中，自由划分方法最为灵活简便，在 Ansys Workbench 软件的帮助下，能够对涂布辊模型表面进行自动网格划分，将表面转化为由若干个四边形以及三角形组成的曲面（如图所示）。

完成该工序之后，设计人员需要对涂布辊添加边界约束条件，并分析其受力结果，通过仿真模拟实验，发现涂布辊在外力作用下出现了变形，中间部位的变形最为明显，变形幅度为 179 μm，由于涂布辊出现了明显的变形，导致涂布厚度控制精度下降。针对这一问题，工作人员尝试通过改变涂布辊及刮刀材质的方式提升其刚性，同时对刮刀以及涂布辊结构进行重新设计，减轻该装置的自重，进而达到控制涂布辊变形的目的。

3.3 涂布辊及刮刀改良

一方面，设计人员对涂布辊与刮刀结构进行了重新设计，利用提拉架两侧的螺栓，将刮刀固定在涂布辊上方，减轻该装置的重量。另一方面，重新布置涂布辊的位置，对涂布辊与刮刀之间的距离进行严格把控。本次设计中，涂布辊自身重量为 26kg，考虑到设备安装以及维护的便利性，将其移动距离调整为 0 ~ 60mm，使用气缸作为该设备的驱动

装置，根据该设备的摩擦力大小来灵活调整气缸的驱动力。

$F = \mu mg \quad (3)$

$F_{推} = 2 \times p \times \pi r^2 \quad (4)$

公式 (3) 与公式 (4) 中，μ 为涂布辊的摩擦系数，p 为作用在涂布辊上的压强，r 为气缸装置的推动轴半径。

考虑到气缸设备的润滑问题，将摩擦系数调整为 0.1 ~ 0.13，由于该装置呈现出左右对称的分布态势，因此计算得出 F 的数值为 16N。制备薄膜太阳能电池车间的大气压平均数据为 0.8MPa，将该数据代入公式 (4)，能够计算得出气缸推动轴的半径数据，r≥1.97mm。考虑到零件采购成本、后期维护费用等因素，工作人员决定使用 CXSM10×60 型号气缸作为卷对卷涂布机驱动装置。

4 关键模块优化设计

4.1 磁粉离合装置

工作人员需要对不同类型的磁粉离合装置参数性能进行横向对比，选择适合本次优化设计工作的磁粉离合装置类型。

供电模式：

从供电方式方面来看，分为线圈旋转式以及线圈静止式，前者需要借助滑环提供的电能运行；后者则直接由馈线负责供电。

4.2 张力传感装置

为了避免卷材出现变形或者不平问题，需要对卷材的张力进行严格控制，通过张力控制系统为基础卷材提供一个张力恒定的工作环境。因此，工作人员需要在卷对卷涂

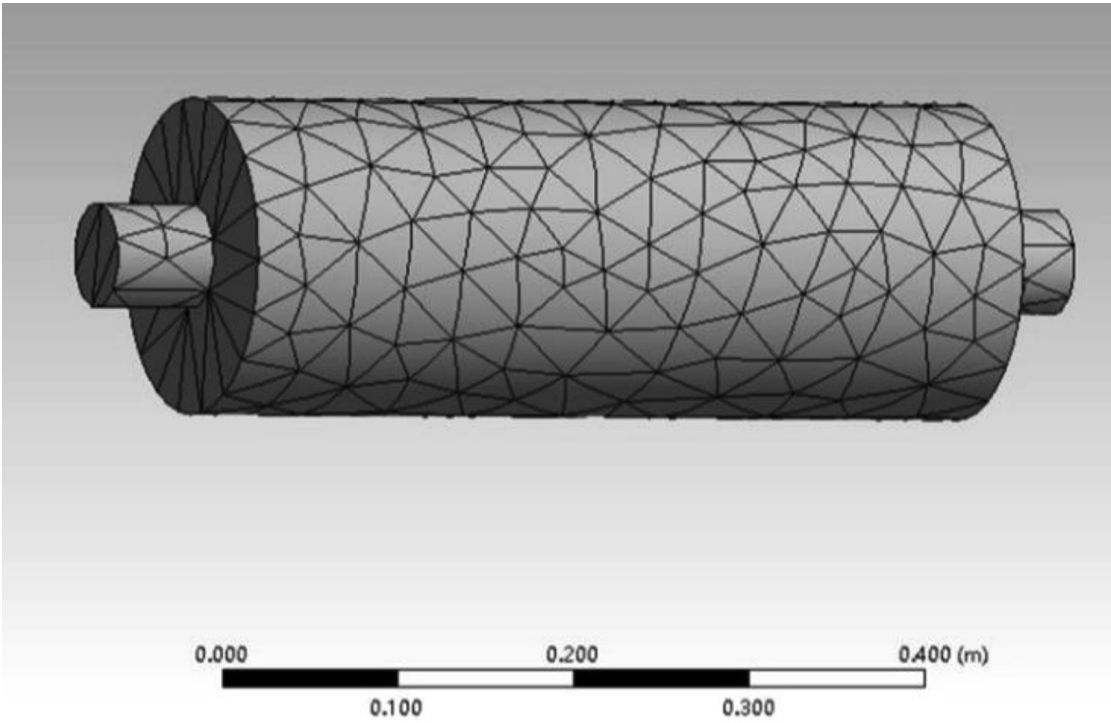


图 涂布辊网格示意曲面图

(下转第 17 页)

通过配套的上位机软件,通过 CAN 总线与装在一体化电机内部的 STM32F103 处理器(已预装 IAP 程序)通信,IAP 程序为指示灯 1HZ 闪烁,电机不转;APP 程序 1 为指示灯常亮,电机顺时针旋转;APP 程序 2 为指示灯常亮,电机逆时针旋转。

5.1 Flash 中只有 IAP 程序时的程序更新

当一体化电机装好后,STM32F103 处理器内只有 IAP 程序。启动上位机,向设备地址发送程序更新指令,成功后上位机自动将 APP 程序 1 的 bin 文件通过 CAN 总线发送给 STM32,更新完成后,电机旋转,程序更新成功。

5.2 Flash 中有 APP 程序 1 时的程序更新

5.1 实验结果已证明从 IAP 进行程序更新是成功的。现从 APP 程序 1 进行程序更新,上位机发送程序更新指令,后将 APP 程序 2 的 bin 文件发送给 STM32,更新完成后,电机旋转,程序更新成功。

5.3 从 APP 程序 2 跳转至程序 1

在 5.2 实验之后,通过上位机,修改 STM32Flash 中 BOOT 的值,修改成 2,重启后,电机开始顺时针旋转,

说明正在执行 APP 程序 1,跳转成功。

6 结语

本文基于 CAN 总线,设计了 Bootloader 软件更新相关协议以及软件实现流程。应用在一体化电机上,进行了相关实验验证,全部功能均验证成功。Bootloader 的设计与实验使得今后的软件开发和维护通过设备固有的 CAN 总线即可实现,极大地提高了工作效率。

但是该方案是基于 CAN 总线的,对于其他通信总线,如以太网等,需要配备相应的上位机软件。硬件和通信协议需要进行修改。

参考文献:

- [1] 王琦.基于 CAN 总线的 Bootloader 研究与实现[D].南京:邮电大学,2016.
- [2] 汪春华,白稳峰,刘胤博,等.基于 CAN 总线 UDS 服务 Bootloader 应用开发[J].汽车电子与测试测量技术,2017,(2):166-170.
- [3] 郭玲.基于 STM32 的 IAP 程序更新方式[J].信息技术,2016,(6):169-170.

(上接第 14 页)

布机内部安装张力控制装置,对卷材张力进行实时监控,监控设备将卷材张力信号实时传输到 PLC 单片机中,通过对模量数据的数字化处理,令 PLC 单片机实时对比实际张力数值与设定数值,如果两组数据存在差异,则 PLC 系统发出指令,输出励磁电流,在励磁电流的作用下磁分离和装置的制动力矩发生改变,进而达到提供基础卷材表面张力的目标。

张力传感装置内部主要由晶体构成,由于晶体结构自身的特点,在受到作用力的时候会出现变形,当作用力消失,晶体的形状会逐渐恢复,晶体受力变形过程中会产生放电效应,这也是张力传感装置工作的基础。在选择张力传感装置过程中,工作人员需要综合考虑以下几个方面的问题:

- (1) 传感器类型,注意传感器晶体的接触方式以及体积;
- (2) 灵敏性,在综合考虑设备成本以及后期维护投入的基础上,尽可能选择灵敏性高的传感装置,提升张力监测精度;
- (3) 反馈能力,通常情况下,张力传感装置的反馈信息会存在一定的延迟,因此要尽可能选择低延迟张力传感设备,提升传感器反馈效率。

5 结语

随着薄膜太阳能电池需求量的不断扩大,如何提升薄

膜太阳能电池生产效率以及电池质量,成为了新能源行业重点关注的问题。相关工作人员需要积极应用 PLC 技术,对卷对卷涂布机厚度控制模块优化设计,通过 PLC 技术提升卷对卷涂布机自动化水平,实现柔性生产。同时对该装置内部模块进行优化,通过对张力控制模块、放卷模块、刮刀与涂布辊、磁粉离合装置以及张力感应装置的优化与更新,提升卷对卷涂布机厚度控制精度,为提升薄膜太阳能电池品质以及生产效率提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 肖艳军,杨欢,康炎平.锂电池极片涂布机 NMP 回收系统的红外辐射研究[J].系统仿真学报,2020,32(01):96-104.
- [2] 齐继宝,黄烨,杨伟民.新型宽幅动力锂电池挤压式涂布机的研制[J].机械设计与制造,2019(12):117-120.
- [3] 庞可可.激光测厚仪在锂电池极片涂布生产中的应用性研究[J].河南科技,2016(05):144-145.
- [4] 常笑丛.锂电池行业双面涂布技术综述[J].河南科技,2015(15):104-106.

作者简介:田桂祥(1983.02-),男,汉族,江苏南通人,硕士研究生,中级职称,研究方向:高分子光电印刷装备;施淋枫(1991.11-),女,汉族,江苏南通人,本科,中级职称,研究方向:高分子光电印刷装备。