

# 基于线阵CCD的在线测宽仪动态响应优化与实时校正

韦宗佑

广西柳钢工程技术有限公司 广西 柳州 545000

**摘要：**本文聚焦于基于线阵CCD的在线测宽仪，针对其动态响应性能及测量精度问题展开深入研究。首先分析了影响线阵CCD在线测宽仪动态响应的因素，包括CCD本身的特性、信号处理电路以及被测物体的运动状态等。接着提出了一系列动态响应优化方法，如改进CCD驱动时序设计、优化信号处理算法等。同时，为提高测量精度，研究了实时校正技术。

**关键词：**线阵CCD；在线测宽仪；动态响应优化；实时校正

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

在现代工业生产中，对产品尺寸的精确测量是保证产品质量的关键环节。在线测宽仪作为一种重要的尺寸测量设备，能够实时、非接触地测量物体的宽度，广泛应用于钢铁、有色金属、造纸、塑料等行业的生产线上。线阵CCD（Charge Coupled Device，电荷耦合器件）具有高分辨率、高精度、快速响应等优点，成为在线测宽仪中常用的图像传感器。然而，在实际应用中，基于线阵CCD的在线测宽仪面临着动态响应性能和测量精度的问题。由于生产线上物体的运动速度较快，测宽仪需要在短时间内准确获取物体的宽度信息，这就要求其具有良好的动态响应能力<sup>[1]</sup>。同时，测量过程中受到各种因素的影响，如环境光照变化、CCD器件的非线性、机械振动等，会导致测量结果出现误差，因此需要进行实时校正以提高测量精度。对基于线阵CCD的在线测宽仪进行动态响应优化与实时校正研究具有重要的理论和实际意义。

### 1.2 国内外研究现状

国外对基于线阵CCD的测量技术研究起步较早，在动态响应优化和实时校正方面取得了一定的成果。一些发达国家的企业已经推出了高性能的在线测宽仪产品，这些产品在动态响应速度和测量精度上达到了较高水平。例如，德国的某公司采用先进的CCD驱动技术和信号处理算法，使其测宽仪能够在高速运动状态下实现高精度的宽度测量。在实时校正方面，国外学者提出了多种基于模型和数据的校正方法，如神经网络校正、卡尔曼滤波校正等，有效提高了测量系统的准确性和稳定性。国内对基于线阵CCD的在线测宽仪研究相对较晚，但近年来也取得了显著进展。许多科研机构和企业在动态响应优化和实时校正方面进行了深入研究。一些研究

通过改进CCD的驱动电路和信号处理电路，提高了测宽仪的动态响应性能；另一些研究则采用软件算法对测量数据进行实时处理和校正，降低了测量误差。然而，与国外先进水平相比，国内在线测宽仪在动态响应速度和测量精度上仍存在一定差距，需要进一步研究和改进。

## 2 影响线阵CCD在线测宽仪动态响应的因素分析

### 2.1 线阵CCD的特性对动态响应的影响

#### 2.1.1 电荷转移效率

线阵CCD通过电荷的转移来实现图像信号的读取。电荷转移效率是指电荷从一个势阱转移到另一个势阱的过程中，成功转移的电荷量与初始电荷量的比值。如果电荷转移效率不高，会导致信号衰减和失真，从而影响测量精度和动态响应速度。在高速动态测量中，电荷需要在短时间内完成多次转移，低电荷转移效率会使信号延迟增加，降低测宽仪的响应速度。

#### 2.1.2 响应时间

线阵CCD的响应时间是指从光信号照射到CCD表面到输出相应电信号所需的时间。响应时间包括光生电荷的产生时间、电荷在CCD内的转移时间和信号输出时间等。较长的响应时间会限制测宽仪对快速变化物体的测量能力，使测量结果滞后于实际物体尺寸的变化，降低动态测量的准确性。

#### 2.1.3 噪声特性

线阵CCD在工作过程中会产生各种噪声，如暗电流噪声、散粒噪声、复位噪声等。这些噪声会叠加在有用的信号上，降低信号的信噪比，影响测量精度。在动态测量中，噪声的干扰会更加明显，因为动态信号的幅度通常较小，容易被噪声掩盖。因此，降低CCD的噪声水平对于提高测宽仪的动态响应性能至关重要。

### 2.2 信号处理电路对动态响应的影响

#### 2.2.1 信号放大电路

信号放大电路用于将CCD输出的微弱电信号进行放大，以提高信号的强度和可检测性。然而，放大电路的带宽和响应速度会直接影响信号的放大效果和动态响应。如果放大电路的带宽不足，会对高频信号产生衰减，导致信号失真；响应速度慢的放大电路会使信号延迟增加，降低测宽仪的实时性。

### 2.2.2 模数转换电路

模数转换电路（ADC）将模拟信号转换为数字信号，以便后续的数字信号处理。ADC的转换速度和精度对测宽仪的动态响应和测量精度有重要影响。高速ADC能够在较短的时间内完成信号转换，提高测宽仪的响应速度；高精度的ADC可以减少量化误差，提高测量结果的准确性<sup>[2]</sup>。此外，ADC的采样频率也需要根据被测物体的运动速度和CCD的输出信号频率进行合理选择，以避免信号混叠和失真。

### 2.2.3 数据处理电路

数据处理电路负责对ADC输出的数字信号进行进一步处理，如滤波、边缘检测、宽度计算等。数据处理算法的复杂度和效率会影响测宽仪的动态响应速度。复杂的算法虽然可以提高测量精度，但会增加处理时间，降低实时性；简单的算法处理速度快，但可能无法满足高精度测量的要求。因此，需要选择合适的数据处理算法，并在精度和速度之间进行平衡。

## 2.3 被测物体的运动状态对动态响应的影响

### 2.3.1 运动速度

被测物体的运动速度是影响测宽仪动态响应的重要因素之一。当物体运动速度较快时，测宽仪需要在更短的时间内完成对物体宽度的测量，否则会导致测量结果不准确。高速运动的物体还可能引起图像模糊，增加边缘检测的难度，进一步影响测量精度。

### 2.3.2 运动方向和加速度

被测物体的运动方向和加速度也会对测宽仪的动态响应产生影响。如果物体的运动方向不稳定或存在加速度，会导致测量过程中物体的位置发生变化，使测宽仪难以准确捕捉物体的边缘信息。此外，加速度还会引起物体的振动，进一步增加测量的难度和误差。

## 3 基于线阵CCD在线测宽仪的动态响应优化方法

### 3.1 改进CCD驱动时序设计

#### 3.1.1 优化驱动脉冲频率

根据线阵CCD的特性和被测物体的运动速度，合理优化驱动脉冲频率。较高的驱动脉冲频率可以提高CCD的电荷转移速度，缩短响应时间，从而提高测宽仪的动态响应能力。然而，驱动脉冲频率不能过高，否则会导

致电荷转移效率下降，增加噪声。通过实验确定最佳的驱动脉冲频率，使CCD在保证电荷转移效率和信噪比的前提下，实现最快的响应速度。

#### 3.1.2 采用高速驱动电路

设计高速驱动电路，为CCD提供稳定、精确的驱动脉冲信号。高速驱动电路应具有快速的上升和下降时间，以减少驱动脉冲的延迟和失真。同时，驱动电路应具备良好的抗干扰能力，避免外界电磁干扰对CCD工作的影响。可以采用专用的CCD驱动芯片或现场可编程门阵列（FPGA）来实现高速驱动电路的设计，提高驱动时序的准确性和稳定性。

## 3.2 优化信号处理算法

### 3.2.1 快速边缘检测算法

边缘检测是在线测宽仪测量物体宽度的关键步骤。传统的边缘检测算法如Sobel算子、Canny算子等，虽然具有较高的检测精度，但计算量较大，处理速度较慢，不适合高速动态测量。因此，需要研究快速边缘检测算法，如基于一阶导数的快速边缘检测算法<sup>[3]</sup>。该算法通过对图像信号进行一阶差分运算，快速找到信号的突变点，即物体的边缘位置。这种算法计算简单，处理速度快，能够在短时间内完成边缘检测任务，提高测宽仪的动态响应速度。

### 3.2.2 并行数据处理算法

为了提高数据处理速度，可以采用并行数据处理算法。将数据处理任务分解为多个子任务，同时在多个处理单元上进行并行处理。例如，利用FPGA的并行处理能力，实现图像信号的并行滤波、边缘检测和宽度计算等功能。并行数据处理算法可以显著缩短数据处理时间，提高测宽仪的实时性，满足高速动态测量的要求。

## 3.3 优化系统结构与参数

### 3.3.1 光学系统优化

光学系统是在线测宽仪的重要组成部分，其性能直接影响测量精度和动态响应。优化光学系统的设计，选择合适的光源、镜头和光学滤波器等，可以提高图像的质量和清晰度，减少图像模糊和噪声干扰。例如，采用高亮度、高稳定性的光源，能够提供充足的光照，使CCD获取更清晰的图像信号；选择合适焦距和光圈的镜头，可以保证图像的聚焦和景深，提高测量的准确性。

### 3.3.2 系统参数自适应调整

根据被测物体的运动状态和环境条件的变化，实现系统参数的自适应调整。例如，根据物体的运动速度自动调整CCD的驱动脉冲频率和信号处理算法的参数，以保证测宽仪在不同速度下都能保持良好的动态响应性

能；根据环境光照的变化自动调整光源的亮度和光学滤波器的参数，以提高图像的质量和测量精度。系统参数自适应调整可以使测宽仪更好地适应实际生产中的各种变化，提高系统的稳定性和可靠性。

#### 4 基于线阵CCD在线测宽仪的实时校正技术

##### 4.1 实时校正的必要性

在实际测量过程中，基于线阵CCD的在线测宽仪会受到多种因素的影响，如CCD器件的非线性、环境温度变化、机械振动等，导致测量结果出现误差。为了提高测量精度，需要对测量数据进行实时校正。实时校正可以在测量过程中及时补偿各种误差因素，使测量结果更接近真实值，保证测宽仪的测量准确性和可靠性。

##### 4.2 建立校正模型

###### 4.2.1 基于多项式拟合的校正模型

多项式拟合是一种常用的校正方法，通过建立测量值与真实值之间的多项式关系来实现校正。假设测量值为y，真实值为x，则它们之间的关系可以表示为：

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

其中 $a_0, a_1, \dots, a_n$ 为多项式系数，通过实验数据拟合得到。在实际测量中，将测量值y代入校正模型，即可得到校正后的真实值x。多项式拟合校正模型简单易实现，适用于具有一定线性关系的测量系统。

###### 4.2.2 基于神经网络的校正模型

神经网络具有强大的非线性映射能力和自适应学习能力，能够建立复杂的非线性校正模型。可以采用多层前馈神经网络（MLP）来建立测量值与真实值之间的映射关系。将实验数据分为训练集和测试集，使用训练集对神经网络进行训练，调整网络的权重和偏置，使网络的输出尽可能接近真实值。训练完成后，使用测试集对神经网络的性能进行评估<sup>[4]</sup>。在实际测量中，将测量值输入训练好的神经网络，即可得到校正后的结果。基于神经网络的校正模型能够处理复杂的非线性误差，提高校正的准确性和鲁棒性。

##### 4.3 实时校正的实现方法

###### 4.3.1 软件实现

在测宽仪的控制系统软件中实现实时校正功能。将建立的校正模型以程序代码的形式嵌入到软件中，在每次测量完成后，将测量数据输入校正模型进行实时校

正，并将校正后的结果输出显示或用于后续的控制操作。软件实现方式灵活方便，易于修改和更新校正模型，但可能会增加系统的处理时间，影响实时性。

###### 4.3.2 硬件实现

采用硬件电路实现实时校正功能，如使用数字信号处理器（DSP）或FPGA。将校正模型的算法转换为硬件描述语言，在DSP或FPGA中实现校正计算。硬件实现方式具有处理速度快、实时性好的优点，能够满足高速动态测量的要求，但硬件设计相对复杂，成本较高。

#### 5 结论与展望

##### 5.1 结论

本文对基于线阵CCD的在线测宽仪的动态响应优化与实时校正进行了深入研究。通过分析影响动态响应的因素，提出了改进CCD驱动时序设计、优化信号处理算法和优化系统结构与参数等动态响应优化方法。同时，研究了基于多项式拟合和神经网络的实时校正技术。

##### 5.2 展望

虽然本文在基于线阵CCD的在线测宽仪的动态响应优化与实时校正方面取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处和可以进一步研究的方向。例如，可以进一步优化神经网络校正模型的结构和参数，提高校正的准确性和效率；研究更先进的动态响应优化方法，如基于机器学习的优化算法，以适应更复杂多变的测量环境；探索将动态响应优化与实时校正技术相结合的一体化方法，进一步提高测宽仪的整体性能。未来的研究将致力于不断完善基于线阵CCD的在线测宽仪技术，为工业生产提供更精确、更可靠的测量解决方案。

#### 参考文献

- [1] 张军.基于线阵CCD图像传感器的测宽仪关键技术探究[J].冶金设备,2019,(S1):75-76.
- [2] 汪鑫耘,赵卫东,贺海波.基于面阵CCD的双边跟随式带钢测宽仪设计[J].安徽工业大学学报(自然科学版),2019,36(02):165-169.
- [3] 王刚,陈超超.炉前测宽仪整改及优化[J].南方金属,2019,(06):25-29.
- [4] 罗桂梅,罗克力,卫文峰.炉前测宽仪误报问题分析及数据的预处理[J].工业炉,2021,43(04):31-34.