

编号：YAVFA2002

钢材宽厚板在线检测物联网系统

武汉亚为电子科技有限公司

目 录

一、 项目基本信息	4
1. 现状及存在的问题	4
2. 对策	4
3. 必要性分析	4
4. 工程范围	5
(1) 改造内容	5
5. 技术要求	6
二、 建设方案	8
1. 基本测量原理	9
(1) 多普勒测长	9
(2) 图像测宽原理	10
2. 成品板长、宽、板型在线自动测量系统测量原理及实现	11
(1) 同步采集控制器	11
(2) 钢板板形检测原理	12
(3) 测量设备功能特点	12
(4) 测宽的实现	13
3. 测量与控制过程	20
4. 数据显示	21
(1) 钢板长、宽尺寸数据	21
(2) 钢板板形数据	21
5. 测量误差分析	21
(1) 长度、速度测量精度	22
(2) 镜头畸变误差	22
(3) CCD 像素刻化的不均匀性	22
(4) 宽度测量精度	23
(5) 误差消除	23
(6) 环境因素引入的误差	24
6. 测量设备的防护措施	24
(1) 激光多普勒测速仪，测宽仪及测厚仪中钢板上表面传感器的防护	24
(2) 测量传感器的安装	25
(3) 其他设备安装防护	25
(4) 测量设备的维护	26

7. 测量传感器微调机构	26
8. 软件内容	26
9. 测量设备的标定与精度检测	27
(1) 测量设备的标定	27
(2) 测量设备的精度检测	27

一、项目基本信息

1. 现状及存在的问题

- 1、在线人工测量钢板长度影响生产效率，每件板测量时间为3分~5分钟，效率较低。
- 2、人工测量不规范，长宽窄带公差控制不稳定，无大量的数据作为支撑
- 3、历史数据保存不善，过程数据无法追溯。
- 4、在多工单组板及处理待处理板的情况下，容易出现宽度剪切错误的情况。
- 5、抽查率不足4%，不能对钢板长宽度窄带控制情况提供真实的水平。

2. 对策

提供一套能够对钢板的实际长宽尺寸进行在线测量的设备，该设备能够将测量数据与读取的喷印机数据进行比对，并将比对偏差超过3mm的信息在L3系统中反映出来，供工艺控制人员参考。

本系统在不改动原有设备的基础上，采用智能化激光测量、图像处理等非接触式测量方式，具有技术成熟、先进、可靠的特点，且本系统的控制操作简单、方便、实用、安全、可靠，设备的维护和检修方便，易耗件可快速更换。

3. 必要性分析

- 1、自动化的手段，提高生产效率
- 2、能及时发现实际长宽信息与喷码信息不符的现象，防止长宽尺寸质量争议的发生。
- 3、测量系统易与信息系统实时信息交换，实现生产质量控制过程自动化和质量数据的可追溯性。

4. 工程范围

(1) 改造内容

在不改变现有产线工艺流程的前提下，在产线周边增加龙门式结构的成套测量设备，在板材产线上用于板材长宽的实时测量和喷码数据比对，实现生产数据的保存和异常数据的快速提示功能。

总体原则如下：

- a) 设备热防护好：设备设计有风冷水冷降温系统，设备安装支架形变小，传感器镜头无凝露、凝结；
- b) 设备防尘性能好：设备防护有遮尘、除尘设计；
- c) 测量精度高：采用高精度时间同步技术对测量数据进行时间同步，测量数据带温度补偿修正，保证测量精度；
- d) 测量重复性好：测量数据稳定，不受钢板跳动、侧滑以及板头板尾形变差异的影响；
- e) 设备操作维护方便快捷：系统标定快捷方便，设计有一键启动功能，检修维护方便，可实现远程监控和更新。

具体指标要求如下：

- a) 基本数据：环境温度 $\leq 300^{\circ}\text{C}$ ，板料长度 $\leq 18\text{ m}$ ；宽度 $1.5\sim 3.2\text{ m}$ 钢板运行速度 $\leq 1.5\text{ m/s}$
- b) 测量场范围要求：长度 $0\sim 18\text{ m}$ ；宽度 $0\sim 3.2\text{ m}$
- c) 测量精度要求：长度 $\leq \pm 2\text{ mm}$ ；宽度 $\leq \pm 1\text{ mm}$
- d) 工作节拍：小于 20 秒
- e) 测量方式：在线实时动态测量
- f) 测温范围： $-40\sim 400^{\circ}\text{C}$
- g) 数据内容：记录测量日期、宽度测量值、长度测量值等存储 12 个月以上，数据可增删查改
- h) 通讯要求：以太网通讯

- i) 适应性要求：弱电工作环境温度 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，强震动、多粉尘、强电磁干扰、水、雾气等
- j) 系统标定要求：一键标定功能
- k) 数据显示要求：画面清晰易懂，数据提示醒目，有声光报警功能
- l) 可靠性要求：电气、光学器件、工控机具备 24 小时连续可靠运行能力
- m) 设备操作性：可一键启动，软件界面友好，具备故障诊断和自我恢复能力
- n) 设备柔性：系统停用或故障时可屏蔽，不影响正常生产，设备具备可扩展 I/O 端

5. 技术要求

- (1) 采用非接触式测量方式，达到国际先进水平
- (2) 设备的控制操作应遵循简单、方便、实用、安全、可靠的原则
- (3) 设备的维护和检修方便，易耗件应能保证快速更换。
- (4) 主要更换件要有良好的使用寿命，激光器保证可靠运行 1.5 年以上，其它光学器件可靠运行 3 年以上。
- (5) 厚测量可以在动态（在钢板运行中进行连续测量）、静态两种方式进行。
- (6) 计算机使用正版软件，有授权文件。
- (7) 数据通讯功能。在 MES、二级系统、PLC 的接口中，除了要使用的接口外，还要预留 50%接口和端口容量，且能从界面上操作（能传输模拟量和数字量），为以后增加通讯内容使用。
- (8) 软硬件一般故障自恢复。
- (9) 测量数据与记录：记录测量日期、班次、钢板序号、厚测量值及曲线等。系统提供尺寸测量数据库，存储每块钢板的厚的极大值、极小值和平均值，以供通过网络查询和进行技术与质量分析。数据最少存储 12 个月。具有数据导出功能。
- (10) 测量装置须具有温度补偿功能。
- (11) 测量装置运行可靠，维护一次时间间隔大于 6 个月。
- (12) 系统标定简单可靠。具有自动标定功能。

-
- (13) 适应工作环境：环境温度-10℃~60℃，强震动、多粉尘及强电磁干扰等。
 - (14) 满足产量及生产节奏要求。
 - (15) 提供必要的安全防护装置。
 - (16) 系统运行要求 系统运行可靠，平稳；
 - (17) 系统标定要求 系统标定实现“一键标定功能”；
 - (18) 数据显示 显示画面清晰易懂，主要数据醒目，具有报警功能；
 - (19) 可靠性 具备一天 24 小时连续可靠运行能力；
 - (20) 数据显示记录 记录测量日期、厚度测量值（最大值、最小值、平均值）、宽度测量值、长度测量值、平直度、镰刀弯及对角线等，形成报文输出，数据最少存储 12 个月以上；
 - (21) 通讯要求 通过计算机显示可查阅测量结果，通信距离大于 500m；
 - (22) 适应工作环境 环境温度-20℃—60℃，强震动、多粉尘、强电磁干扰、水、雾气等；
 - (23) 系统运行要求 系统运行可靠，平稳；
 - (24) 系统标定要求 系统标定实现“一键标定功能”；
 - (25) 数据显示 显示画面清晰易懂，主要数据醒目，具有报警功能；
 - (26) 可靠性要求 必须具备一天 24 小时连续可靠运行能力；
 - (27) 光学器件保证可靠运行；
 - (28) 电气器件保证可靠运行；

二、建设方案

根据用户对此项目的技术要求和现场实际情况，在不改动原有定尺剪设备结构及安装、保持原有成品板剪切工艺的基础上，本工程实施方案应用激光三角测量、视觉检测技术、激光多普勒测速及并发同步技术，采用测宽仪、激光多普勒测速仪等测量传感器为手段，将运动中的待测钢板的测宽影像、测厚数据、实时运动速度及测量时刻等数据送往同步采集控制器，经过同步采集控制器预处理后加上高精度同步标签的测宽仪、激光多普勒测速仪测量数据，测量软件根据测量解算数学模型自动进行三维空间几何尺寸解算、平差处理，并输出测量结果。为了保证测量精度，采用高采样频率、高精度的多普勒测试仪、测宽仪和同步采集控制器实时获取测量区域的测量数据，设计了完备可靠的测量数据模型、简捷有效的标定方法。本实施方案经过严密理论推导、演算，实验室模拟实际测量场景下恶劣测量环境中连续的实验测试验证，证实方法可行，精度可靠。

1. 基本测量原理

(1) 多普勒测长

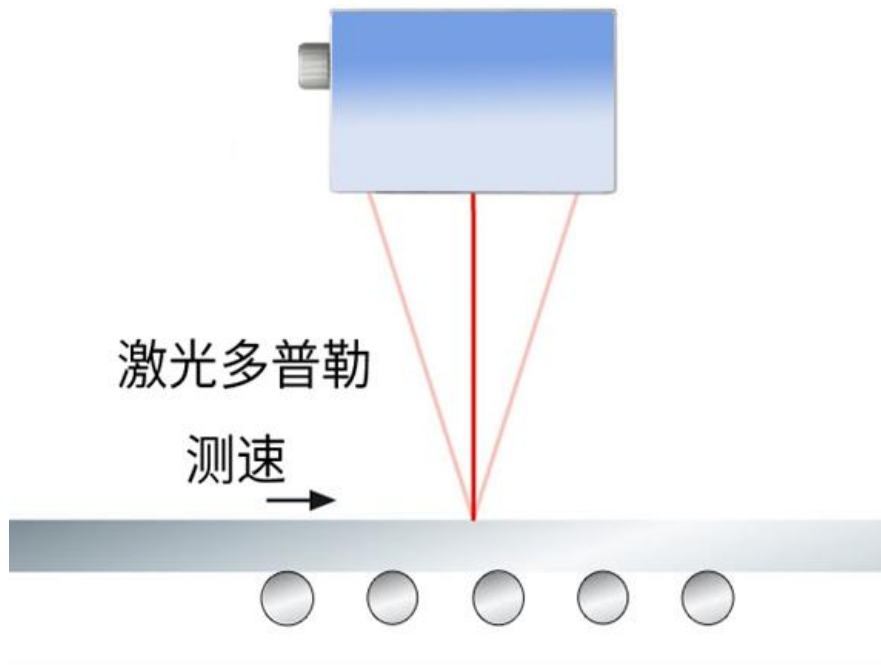


图 2-1-1：多普勒测速原理

激光多普勒测速仪 (Laser Doppler Velocimetry, LDV) 是测量通过激光探头的示踪粒子的多普勒信号，再根据速度与多普勒频率的关系得到速度。

由于是激光测量，对于流场没有干扰，测速范围宽，而且由于多普勒频率与速度是线性关系，和该点的温度，压力没有关系，是目前世界上速度测量精度最高的仪器。

钢板长度测量是基于多普勒测速仪实时检测出钢板的运行速度，再结合钢板的运行时间即可得到钢板的长度信息。系统采用光电开关作为测量开始的触发信号，通知测量系统在 2-5 秒内有钢板进入检测区域。激光多普勒测速仪，安装在公共桥形结构支架上，位于钢板上表面，激光多普勒测速仪所投射的激光线调整为垂直于钢板的表面，以降低测量结果中的系统误差。

激光束被分光器分成两束光。在工作距离两个光束相交产生干涉条纹。当运动物体通过此光斑区域时，产生散射光，一个光接收器收集散射光并将其转换为电信号，这个信号包含运动目标的速度信息，此信息由数字信号处理器进行分析，

就把多普勒频率 信息转换成速度信息。在智能滤波算法对信号进行转换运算后，激光测速仪实时输出用户所需要的速度信息。根据检测到的反射激光的强度，可以判断输出被测物的有无。

(2) 图像测宽原理

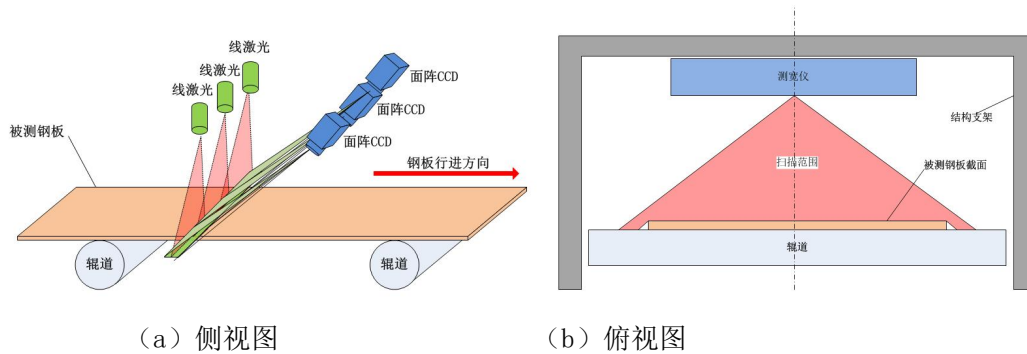


图 2-1-5：钢板测宽示意图

基于图像测量的宽度检测原理是：将线激光垂直投射至场景（即钢板表面），通过工业 CCD 获取线结构光在钢板表面图像，分析、判断出钢板的边缘，通过图像算法和标定参数，得到预处理数据，再结合误差模型，得到钢板的宽度值。

测宽仪，包含工业 CCD 和线结构光源，线结构光源垂直投射钢板表面，工业 CCD 与铅垂方向成一定的夹角，调整好光源和相机的位置后，用固定装置固定在桥型结构支架上。线结构光源垂直投射于钢板表面且涵盖钢板宽度方向的 5 米范围。

2. 成品板长、宽、板型在线自动测量系统测量原理及实现

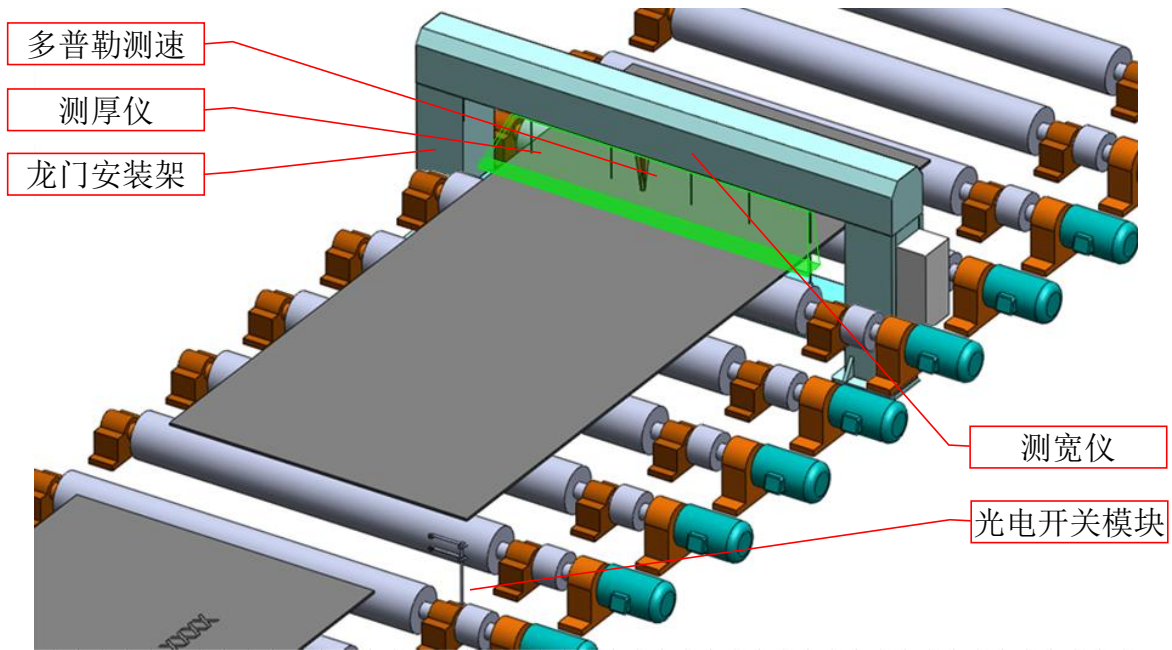


图 2-2-1：测量设备 3D 模型图

成品板长、宽、厚、板型在线自动测量系统（以下简称测量系统）如图 2-2-1 所示，应用激光三角测量、视觉检测技术、激光多普勒测速及并发同步技术，采用测宽仪、测厚仪、激光多普勒测速仪等测量传感器为手段，将运动中的待测钢板的测宽影像、测厚数据、实时运动速度及测量时刻等数据送往同步采集控制器，经过同步采集控制器预处理后加上高精度同步标签的测厚仪、测宽仪、激光多普勒测速仪测量数据，测量软件根据测量解算数学模型自动进行三维空间几何尺寸解算、平差处理，并输出测量结果，将数据和图形显示给操作人员、相关技术人员亦可通过车间以太网对测量结果进行查看（TCP/IP）。

（1）同步采集控制器

多组同步采集控制器组成同步控制系统，每组测量传感器均与同步控制采集器连接；多组同步采集控制器之间协同完成时间同步；同步采集控制器将测量传感器数据以及经处理后的同步标签一起传送给处理计算机。同步采集控制器的时间同步精度决定了钢板长度计算的准确度，宽度方向测宽仪重建宽度轮廓的准确度，最终影响长、宽、板型的测量结果和精度。

本系统测量原理的基础是，多个传感器在同一个时刻的测量值，进行运算、拟合、处理，得到最终结果。计算机系统为非实时操作系统，加之同时管理多路传感器数据的采集，不能保证测量原理里处理数据的前提（同一时刻）。通过使用同步采集器，为每个传感器每个时刻采集到的数据都加上时间戳，后期处理，可以根据时间戳索引到测量组内传感器某时刻的数据，实现同步的目的。

(2) 钢板板形检测原理

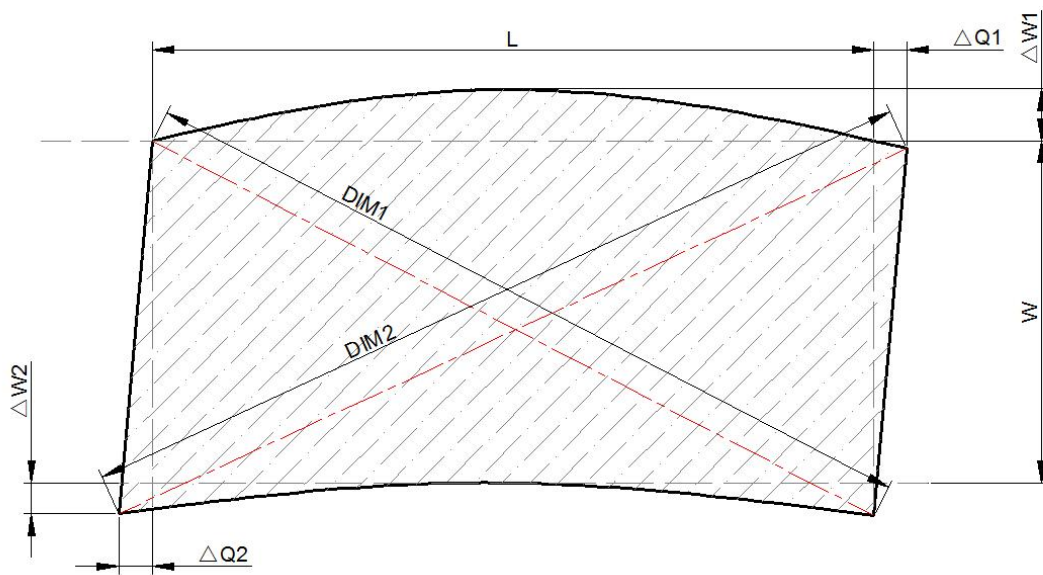


图 2-2-2：钢板板形定义

- 运动中的钢板通过测宽仪获得一系列辊道运行方向上两端面的距离数据。
- 多普勒测速获得运动中钢板一系列速度数据及长度数据。
- 测厚仪获得钢板厚度值。
- 同步采集控制器保证测宽仪和多普勒测速的数据同步。
- 从以上四个数据重建出基于同步时间的高采样率高精度的宽度方向轮廓，进而通过数据处理得到板型的镰刀弯、切斜、实际对角线的测量结果。

(3) 测量设备功能特点

如图 2-2-1 的系统布置图所示，功能特点如下：

检测速度快：最高检测速度达到 5 米每秒；

精度高：在 10 米级的距离上精度达到毫米级；
抗干扰强：在不同温度、光强环境下，精度不变；
操作简单：使用防错设计，防止误操作。

(4) 测宽的实现

1. 照明

照明是影响机器视觉系统输入的重要因素，它直接影响输入数据的质量和应
用效果。由于没有通用的机器视觉照明设备，所以针对每个特定的应用实例，要
选择相应的照明装置，以达到最佳效果。光源可分为可见光和不可见光。常用的
几种可见光源是白炽灯、日光灯、水银灯和钠光灯。可见光的缺点是光能不能保
持稳定。如何使光能在一定的程度上保持稳定，是实用化过程中急需解决的问
题。另一方面，环境光有可能影响图像的质量，所以可采用加防护屏的方法来减
少环境光的影响。照明系统按其照射方法可分为：背向照明、前向照明、结构光
和频闪光照明等。其中，背向照明是被测物放在光源和摄像机之间，它的优点是
能获得高对比度的图像。前向照明是光源和摄像机位于被测物的同侧，这种方式
便于安装。结构光照明是将光栅或线光源等投射到被测物上，根据它们产生的畸
变，解调出被测物的三维信息。频闪光照明是将高频率的光脉冲照射到物体上，
摄像机拍摄要求与光源同步。

本系统考虑到操作环境较为复杂，计划采用平面光源。

2. 镜头

FOV (Field of Vision) = 所需分辨率 * 亚像素 * 相机尺寸 / PRTM (零件测量公
差比)

镜头选择应注意：

①焦距②目标高度 ③影像高度 ④放大倍数 ⑤影像至目标的距离 ⑥中心点
/节点⑦畸变

视觉检测中如何确定镜头的焦距

为特定的应用场合选择合适的工业镜头时必须考虑以下因素：

- 视野 - 被成像区域的大小。

- 工作距离 (WD) - 摄像机镜头与被观察物体或区域之间的距离。
- CCD - 摄像机成像传感器装置的尺寸。
- 这些因素必须采取一致的方式对待。如果在测量物体的宽度，则需要使用水平方向的 CCD 规格，等等。如果以英寸为单位进行测量，则以英尺进行计算，最后再转换为毫米。



参考如下例子：有一台 1/3” C 型安装的 CCD 摄像机（水平方向为 4.8 毫米）。物体到镜头前部的距离为 12”（305 毫米）。视野或物体的尺寸为 2.5”（64 毫米）。换算系数为 1” = 25.4 毫米（经过圆整）。

勿将工作距离与物体到像的距离混淆。工作距离是从工业镜头前部到被观察物体之间的距离。而物体到像的距离是 CCD 传感器到物体之间的距离。计算要求的工业镜头焦距时，必须使用工作距离。

3. 高速相机



按照不同标准可分为：标准分辨率数字相机和模拟相机等。要根据不同的实际应用场合选不同的相机和高分辨率相机：

按成像色彩划分，可分为彩色相机和黑白相机；

按分辨率划分，像素数在 38 万以下的为普通型，像素数在 38 万以上的高分辨率型；

按光敏面尺寸大小划分，可分为 1/4、1/3、1/2、1 英寸相机；

按扫描方式划分，可分为行扫描相机（线阵相机）和面扫描相机（面阵相机）两种方式；（面扫描相机又可分为隔行扫描相机和逐行扫描相机）；

按同步方式划分，可分为普通相机（内同步）和具有外同步功能的相机等。

本系统计划采用网口通信的高速彩色相机，进口，2000 万像素，外触发。

4. 触发器

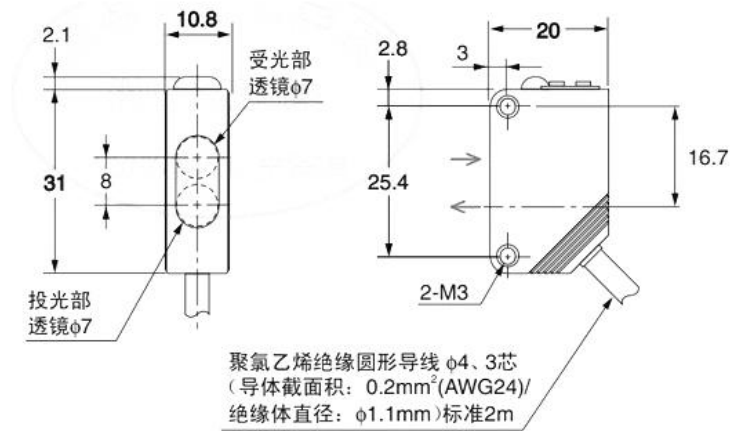
产品信息

PRODUCT INFORMATION

品牌：台邦	
品名：距离设定型光电开关传感器E3Z-LS61-TB	
检测距离：300MM	
电压：DC 12-24V	
输出：NPN	

产品参数

PRODUCT PARAMETERS



5. 工业控制器

控制器初步选用 YAV 8IO 工业级 IO 卡，军工品质，亚为自主研发，3 项专利，广泛应用于工业产线。因完全的自主知识产权，亚为可以根据现场的逻辑需求调配下位机编程，比 PLC 和其他控制器，更能高精度高速度达到控制目的。

输入输出功能指标

功能		参数指标
DI	通道数	8
	电平	TTL 或 CMOS 兼容, 高电平 (数字 1): 2~30V, 低电平 (数字 0): ≤0.5V
	功能, 多选一	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 8 路 DI 高低电平测试, 默认模式, 可上拉 ◆ 8 路测频 (0-65kHz) 或计数 (0-2³²), 软件可选可定制 8 路测频 (0.5Hz-200Hz), 精确到 0.01 ◆ 1 路 AB 项编码器 (DI0/1, 正反向计数), 6 路 DI ◆ 2 路 AB 项编码器 (DI0/1, DI4/5, 正反向计数), 4 路 DI (DI2/3/6/7), 正交编码器值放在 DI0 计数位置上
D0	通道数	8

	电平	0/Vcc-0.7V (Vcc 为供电电压)
	功能, 多选一	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 8 路 DO 高低电平输出, 默认模式, 可上拉 ◆ 2 路 PWM Out (0-15kHz), D00, D04。 ◆ 2 轴电机驱动器 ◆ DA 输出, 频率设置 1000Hz, 通过调节占空比, 调节输出电压大
供电		DC12-24V (供电接口二选一) 建议 24V 供电效果最佳
通信		RS232 或 485 Modbus RTU 协议

数字信号输入

- 输入路数: 8 路
- 电气标准: TTL 或 CMOS 兼容
- 输入范围:
 - ◆ 高电平 (数字 1): 2~5V (12V 串联 1k 电阻, 24V 串联 2k 电阻)
 - ◆ 低电平 (数字 0): ≤0.5V
 - ◆ 信号要共地
- 工作模式 (多选一, 需定制):
 - ◆ 8 路 DI 高低电平测试, 默认模式, 可上拉
 - ◆ 8 路测频(0-65kHz)或计数(0-2³²), 软件可选, **定制型号 8I0-C**
可定制 8 路测频 (0.5Hz-200Hz), 精确到 0.01
 - ◆ 1 路 AB 项编码器 (DI0/1, 正反向计数), 6 路 DI, 正交编码器值放在 DI0 计数位置上, **定制型号 8I0-E**
 - ◆ 2 路 AB 项编码器(DI0/1, DI4/5, 正反向计数), 4 路 DI (DI2/3/6/7), **定制型号 8I0-2E**

数字信号输出

- 输出路数: 8 路
- 输出模式:
 - ◆ 高低电平输出, 可驱动继电器

高电平的最低电压: Vcc-0.7V (Vcc 为供电电压)

低电平的最高电压：0.5V

上电（悬空）输出：高电平

- ◆ 集电极开路晶体管输出，通/断，可驱动 1A 设备

最大负载电压：30V

最大负载电流：100mA（外部上拉大功率 50 欧姆电阻）

- 工作模式（多选一，需定制）：

- ◆ 8 路 DO 高低电平输出，默认模式，可上拉

- ◆ 2 路 PWM Out（0-15kHz），DO0，DO4。

- ◆ 2 轴电机驱动器

- ◆ DA 输出，频率设置 1000，通过调节占空比，调节输出电压大

通信总线

- 串口 RS485 或 RS232
- ID、波特率可设置

串口接口采集卡均可安装亚为的 YMS 通用采集平台，平台自适应亚为的二十余种串口采集卡，可显示波形、存储数据、输入输出控制。无线或者网络接口采集卡均可安装亚为的 WUMS 通用采集平台，平台自适应亚为的二十余种无线采集卡，可显示波形、存储数据、输入输出控制。

或者安装亚为提供的 GIMS 通用采集平台，能兼容亚为所有 USB、串口或者无线采集卡，具备更多信号处理与分析功能（付费版）

也可根据 SDK 二次开发自己的软件

供电

- 电源电压：DC12-24V，建议 24V 供电效果最佳
- 电源电流：>1A
- 额定功率：0.3W

温度参数

- 工作温度范围：-30~70℃
- 存储温度范围：-40~80℃

硬件特点

- **供电保护**：DC12V 电压供电，防反接、防过流、低功耗、耐高温，采取多级滤波措施，抗干扰。
- **过压保护**：采用高精度分压、电压钳位控制、运放信号隔离、稳压控制和过流吸收等 5 重保护措施，保护采集卡使用安全可靠，通道耐压高达 600V。
- **过流保护**：电流超过 500mA，自动切断电源，保护电脑接口，避免出现蓝屏、死机状况。
- **过载保护**：负载电流过大，系统会自动报警，并在必要时切断电源。
- **绝缘保护**：工业级电路板具备绝缘层，能防止意外漏电和短路，手指抓握安全方便。
- **通信保护**：采用屏蔽线缆和磁环抑制浪涌技术，有效对抗辐射或传导干扰引起的采集卡工作不稳定。
- **抗干扰**：采用透明绝缘保护材料，产品耐高温，遇热不会滴落。能在电路板上生成保护膜，防止外界电磁干扰对芯片和回路工作的影响。经 EMC 检测，可在 15V/m 的强电磁干扰下正常工作。
- **抗腐蚀**：透明丙烯酸保护膜能防止弱酸、碱、盐雾、酒精、潮气的侵蚀。防止腐蚀，延长设备寿命，保护效果持久。
- **自动重连**：看门狗自动 Reset，掉电或拔出再连后，软件与硬件自动重连，软件不崩溃，确保采集数据稳定。
- **DMA 保护**：系统采用成本较高的 ARM 芯片作为主控芯片，质量稳定可靠，下位机程序十分智能，能在抑制干扰、高速采样、智能控制、数据组合等方面发挥出色作用，采用批量 PID 数据传输与数据校验算法，确保上传数据的稳定性。
- **智能算法**：下位机具备智能滤波算法，上位机采用多级缓存技术与 CRC16 校验算法，采用干扰丢包分析与补偿技术，使受扰数据 60%可修复补偿，确保了采集数据的准确性和实时性。
- **DI 去抖**：DI 通道具备去抖动功能，能准确测频计数。
- **软件强大**：平台能自适应亚为采集卡。不断更新的上位机程序，有多种版本可供选择，方便二次开发。应用案例及软件会定期更新，可提供长期保障。

3. 测量与控制过程

当定尺剪后方辊道上没有钢板时，光电控制开关实时检测，其他设备处于休眠状态，这样有利于系统的保护与延长使用寿命。当钢板进入测量视场和离开测量视场时，光电控制开关首先检测到钢板到达，唤醒系统开始测量工作；测厚仪最后检测到钢板离开测量区域，他们通知其他测量子系统开始或停止实时数据的采集、记录、同步采集控制器的标记。其他测量仪根据激光多普勒测速仪的速度记录和同步采集控制器的同步时间预判钢板到达和离开测量工位的时间，同时各自采集到的数据根据自身在梯度上的变化，检校光电开关和测宽仪判断的钢板进入和离开的合理性，达到钢板位置预测的逻辑严密，保证测量的可靠性。

激光多普勒测速仪以一定采样频率对辊道运行方向上的钢板实时速度进行采集，结合同步采集控制器的具有高精度、高采样率的同步时间，通过用测速子系统实时速度对时间的积分计算，获得钢板在经过测速场过程中得到的长度测量值。

测宽仪采集以一定采样频率对钢板宽度方向的断面进行实时采图，拟合出实时轮廓，结合同步采集控制器的具有高精度、高采样率的同步时间。

- 相同时刻，断面的瞬时轮廓，根据宽度测量原理可以获得瞬时的钢板宽度测量平均值；
- 连续时刻，断面可以拟合出宽度方向的连续轮廓；
- 测宽仪的使用降低对钢板运动过程中的稳定程度的要求，可以在抖动的情况下完成宽度的在线实时测量，同时保证板型测量的测量精度。

整个过程是实时进行的，保证在线动态实时测量。钢板长宽厚尺寸与板形测量仪都可以测量钢板的实际长度、宽度、厚度和板形。而操作人员无须进行任何操作，全自动地完成测量全过程。

系统性能的根本保证在于激光位移传感器，测宽仪，激光多普勒测速仪和高采样率高精度同步采集控制器的协同工作，计算机处理服务器的高效稳定的实时数据处理；系统精度的根本保证在于激光位移传感器，测宽仪，激光多普勒测速仪的测距、测速精度，数据采样频率和同步采集控制器的采样频率、时间同步精

度。

4. 数据显示

如图 4-2-2 钢板板型定义所示，虚线部分表示的是钢板测量结果的最大内接矩形，长为 L、宽为 W，板型数据包括镰刀弯，平直度，实际对角线 DIM1、DIM2。

数据显示分为三部分：

- ① 钢板长、宽、厚度尺寸，板形尺寸（镰刀弯，平直度、对角线长度）；
- ② 整块钢板三维重建的模型显示；
- ③ 系统运行状态显示。

（1）钢板长、宽尺寸数据

对于钢板长、宽尺寸数据，系统将在显示器上显示实时钢板长、宽尺寸及其以时间为横坐标的长、宽测量值曲线。

（2）钢板板形数据

对于钢板板型数据，显示器上显示钢板实时轮廓，以数字形式显示长度方向的镰刀弯测量值、平直度测量值、实际对角线 DIM1、DIM2。

5. 测量误差分析

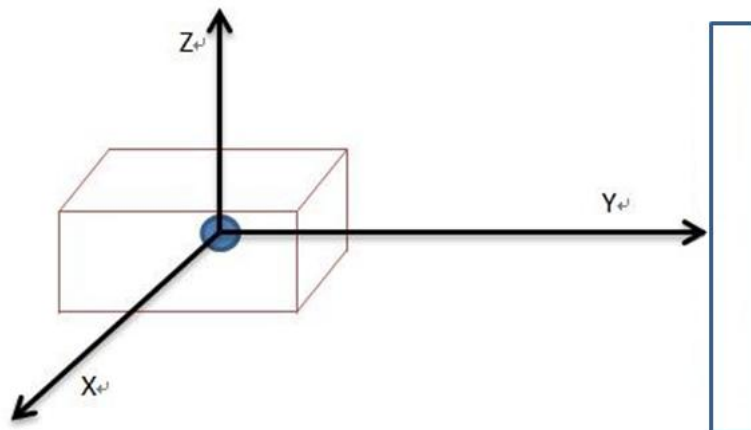


图 4-5-1：测宽示意图激光器测距模型

如图 4-5-1 所示，建立激光三角测量测距模型，左侧红色矩形框为高精度激光测距仪，右侧蓝色方块为钢板，以激光器的物理中心为坐标原点，建立空间直角坐标系，以激光测距线方向为 Y 轴，垂直 Y 轴并与 Y 轴构成的 XOY 平面为水平面为 X 轴，Z 轴垂直于 XOY 平面并符合右手法则。

(1) 长度、速度测量精度

根据计算，长度、速度测量的测量参数为：

- 长度的测量范围：0~18000mm
- 速度值测量范围：0~2500mm/s
- 测量精度： $\leq 4\text{mm}$
- 测量频率：0.2Hz~25KHz
- 测量距离：300mm~360mm
- 钢板厚度方向的范围 6~80mm

(2) 镜头畸变误差

镜头畸变误差属于系统误差，一般镜头的畸变小于 2%。本系统中只考虑宽度方向由于畸变引起的误差。

$$\text{畸变} = \text{误差} / \text{视场半径} = 2\%$$

$$\text{宽度畸变误差} \geq 5000 / 2 \times 0.02 = 50\text{mm}$$

畸变误差可以用光学测量的方法实测出每个镜头的畸变曲线，然后由计算机对数字图像进行实时修正，一般精度可达到 5%，即宽度畸变误差在 0.25mm 以内。畸变是随视场变化，视场越小，畸变则越小。

(3) CCD 像素刻化的不均匀性

工业 CCD 的像素尺寸是比较严格的，一般的刻化误差在 1%~5% 左右。这个误差是随机误差，可用测量器件对 CCD 像素进行精密量测检验，若按 1%~5% 计算，误差在 0.10mm 以下。

(4) 宽度测量精度

测宽工业 CCD 分辨率为 1000 万像素 4080×2720 (pixel), 采用 8mm 镜头, 物距按 1100mm 计算, 得到视场 $FOV=1907 \times 1519$ (mm), 要保证视场覆盖 5000mm 区域, 需要 3 个面阵相机。根据线结构光参数计算, 需要采用 3 个线结构光源。面阵相机与铅垂方向成 30 度时, 深度方向分辨率是 0.745mm。满足系统测量要求。

实际环境中, 辊道运行方向的左侧方向上钢板的位置因辊道的传送产生变化和姿态的变化, 但变化量较小; 右侧方向上钢板的位置为钢板宽度实际真值和左侧的变化量的叠加, 测量范围需要考虑左右侧的因为运动和姿态产生的变化。

根据计算, 宽度测量的测量参数为:

- 测量范围: 1400~4850mm
- 测量精度: 4mm
- 辊道运行方向的运动速度: 0~3m/s
- 钢板宽度方向的范围 $1.4 \sim 4.0$ M

(5) 误差消除

测距误差又可以称为距离改正参数, 在对激光器的姿态角度进行矫正后, 左右两个激光器的测距线可以认为在空间平行, 两个激光器的中心位置的垂直距离是个恒定值。如图 2-5-2、2-5-3 所示:

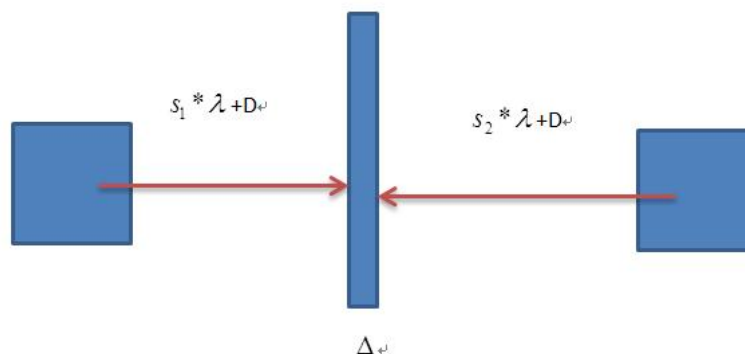


图 2-5-2: 固定的测距误差 D 消除

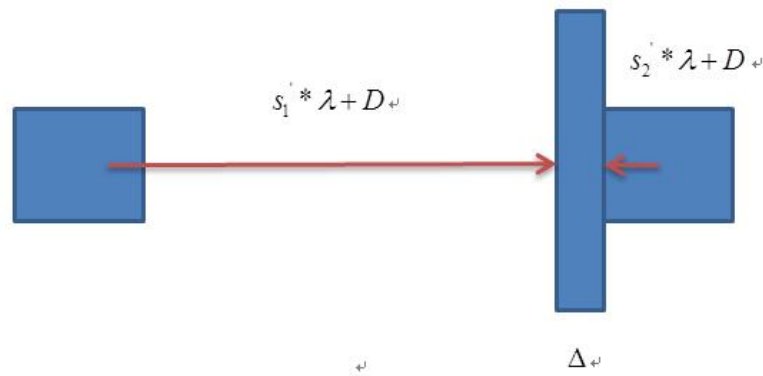


图 2-5-3：测距比例因子 λ

设 D 为距离改正参数， s_1' ， s_1 ， s_2 ， s_2' 为左右两个激光器测得的激光器到厚板的距离，在激光器的安装确定后， $s_1 * \lambda + s_2 * \lambda + 2D + \Delta$ 都是一个恒定值，用左边的激光器测量另外一个激光器或者将厚板与右侧的激光器贴合测激光器到厚板的距离 s_1' ，建立方程 2-2：

$$s_1 * \lambda + s_2 * \lambda + 2D + \Delta = s_1' * \lambda + s_2' * \lambda + 2D + \Delta \quad 2-2$$

其中 s_1' ， s_1 ， s_2 ， s_2' ， Δ 都为已知数，建立两个方程可以求出 D ， λ ，即求出固定的测距误差 D 和测距比例因子 λ ；代入误差方程进行测距值修正。

(6) 环境因素引入的误差

这些误差包括定辊道传送震动、钢板震动、行车行人和其他振动带来的测量误差。这些可以通过在地面上布测空间精密测量控制网来加以修正，同时也保证了三个测量仪之间相互关联的精密性和稳定性，这是技术关键。

6. 测量设备的防护措施

由于检测设备处在高温、粉尘、水汽环境中，为保证激光测量仪的正常工作环境，必须在仪器外增设防护系统以提高测量精度。理论上将防护内温度控制在 35°C 左右。

(1) 激光多普勒测速仪，测宽仪及测厚仪中钢板上表面传感器的防护

测宽仪中的面阵相机和线结构光源，激光多普勒测速仪和测厚仪中激光位移

传感器安装位置位于钢板上表面的激光测距仪防护罩的结构示意图如图 2-6-1 所示。

该防护罩由前舱、后舱和防护筒三个主要部分构成，配备吹扫气清洁系统及风冷降温系统。

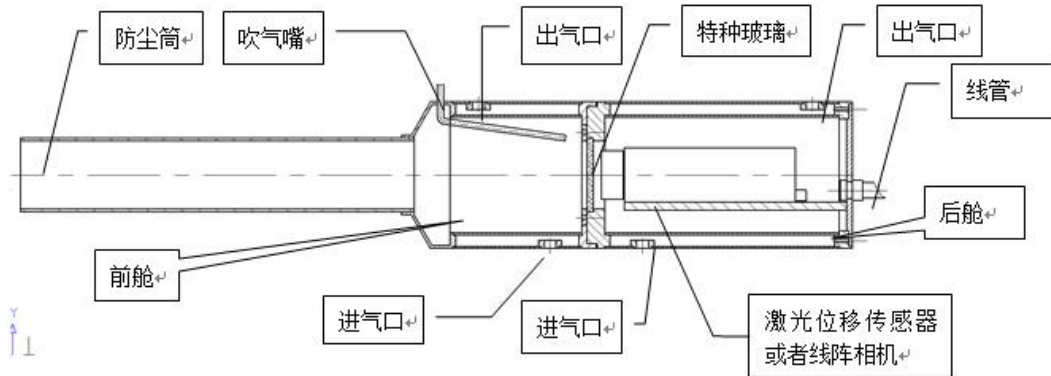


图 2-6-1：钢板上表面传感器防护

- 舱体选用 304 不锈钢制作，适应现场高温、高湿环境；
- 防尘筒由细长筒加工而成，前端设计环形出风口形成风帘，风帘可初步阻挡空气中尘埃、油等杂质直接进入筒内；
- 压缩空气经干燥、除水后由吹气嘴对准前舱特种玻璃表面直吹，有效二次去除玻璃上细小尘埃的堆积，加速水雾的风化；
- 前舱、后舱均由内外两层不锈钢筒焊接构成，循环气体通过缸筒夹层带走舱体中热量；

(2) 测量传感器的安装

设计横跨辊台上下的桥型结构保护机架，保证测量传感器与保护架的刚性安装，同时该保护架具备刚性地基支撑。

桥型结构相比于悬臂梁型结构降低了震动带给测量传感器终端的振幅；刚性地基的支撑也降低了震动带给测量传感器的震动振幅，从而最大限度的降低环境震动引入的随机误差，提高测量精度。

(3) 其他设备安装防护

本测量设备主机安装在标准机柜内，机柜安置在定尺剪操作室内。

(4) 测量设备的维护

本测量设备属于免维护设备，只需在大修期间进行检修。

7. 测量传感器微调机构

设计微小角度调整机构，实现激光传感器二维角度微调、锁紧，使得激光光束的对峙调整快速便捷、同时保证调整完成后的锁紧，使得在再次标定之前维持恒定的相对角度关系。

角度调整连接到安装架上，安装架的安装位置设计水平和垂直方向的微量调节结构，完成位置量的调整和锁紧。

8. 软件内容

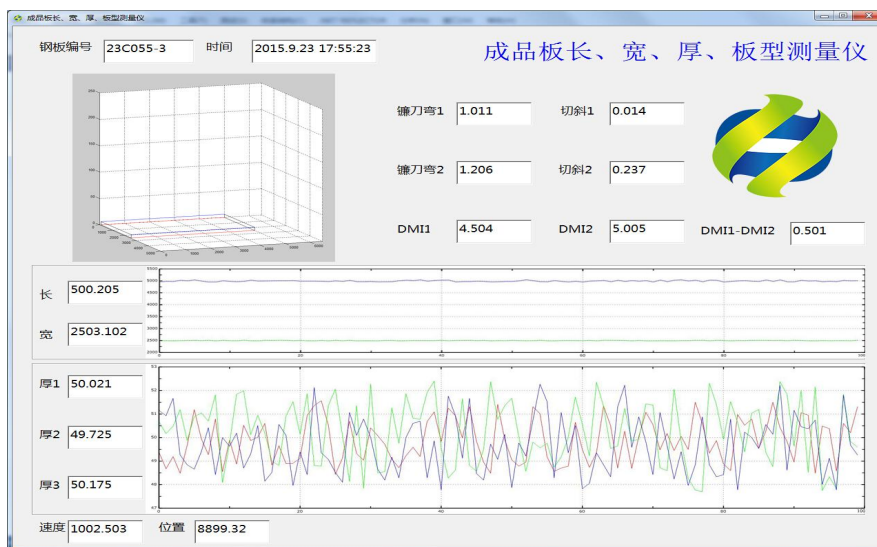


图 2-8-1：数据显示界面

1. 测长子系统软件：长度采集、计算模块；
2. 测宽子系统软件：宽度采集、计算模块；
3. 测厚子系统软件：左、中、右厚度测量模块；
4. 系统处理软件：镰刀弯、平直度、对角线计算模块；
5. 系统标定软件；
6. 人机界面软件。

9. 测量设备的标定与精度检测

(1) 测量设备的标定

测宽仪标定分四个步骤：

- 1) 用标准的相机标定程序确定相机内外参数；
- 2) 确定线结构光投影平面相对于世界坐标系的方向；
- 3) 通过差异图像进行标定变换；
- 4) 将标定装置在激光线方向上移动，标定出深度方向的变化对测宽结果的影响，拟合误差修正曲线。

长度测量标定模型，在运动方向上，4m 增加一个标定点，利用 CCD 相机成像，结合多普勒测速，进行长度校准和标定。

(2) 测量设备的精度检测

在测量场的测量范围内，按实际运行条件让任意一个在测量工位已知尺寸的钢板运行，并对其进行测量，所测精度应达到合同要求的精度。