

# 大口径钢管圆度测量设备（系统）设计报告

## 1、技术参数与要求：

钢管外径： $\Phi 508 \sim \Phi 1422\text{mm}$ ；  
长度： $1.0\text{m} \sim 3.0\text{m}$ ；  
椭圆度测量精度： $\pm 1\text{mm}$ ；  
外周长测量精度： $\pm 1\text{mm}$ ；  
测量速度 $\leq 2$  分钟/每圈；  
采样密度：360 个采样点/每圈。

## 2、设备工作性能：

连续工作时间： $>8\text{h}$ ；  
平均无故障时间： $>24\text{h}$ 。

## 3、设备工作环境要求：

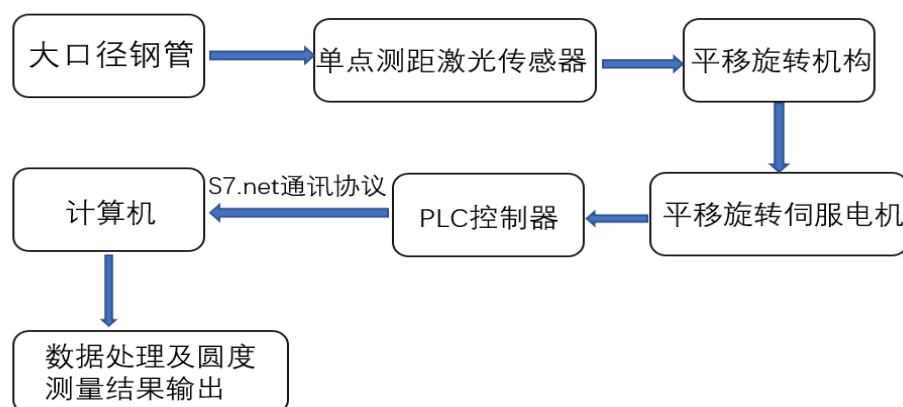
工作温度： $10^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ ；  
工作电压： $220\text{V}$ ；  
工作湿度： $20\% \sim 60\%$ 。

## 4、测量系统的基本要求：

- ①较高的自动化程度，减少因为因素产生的影响。
- ②采用电脑进行误差分析，减少因为人的失误导致的误差，提升检测系统的误差分析的可靠性。
- ③检测系统的选择的硬件应易于维护以及功能更新。
- ④软件制作简洁明了，可根据不同的检测要求灵便选择检测方案。
- ⑤一次可对被测对象的多个几何参数同时进行检测，得到被测工件外部轮廓尺寸；
- ⑥尽可能的降低制造成本以及维护费用。

## 5、系统设计(模块)说明：

测量系统主要分为三大模块：数据采集模块、运动控制模块和计算机数据处理模块。系统结构如下图所示。



## 一、数据采集模块

数据采集模块由减速机、伺服电机及编码器、直线导轨、单点激光测距传感器组成。它的功能是：固定单点激光测距传感器，并按照一定的速度旋转，对被测钢管进行圆周遍历测量。详细分为以下几个部分：

(1) 减速机：减速机是本测量系统的重要硬件组成部分，它不但可以降低转速、提高输出扭矩还可以降低负载的惯性。本项目的测量系统选用亿星科技公司 FLF57-50SW 行星减速机，该减速机具有独特多段减速比，高效率输出扭力，专利内齿环设计，确保运行时低噪音，密闭式全油封设计确保润滑油脂不会泄漏，低损耗精密齿轮设计传动效率高速 95%，同时还具有结构紧凑、使用寿命长、额定输出转矩大、回程间隙小、精度较高等优点。

(2) 伺服电机及其驱动器：整个测量系统的动力全来源于电机，电机的选择在系统中占有重要的位置，它与测量系统的运动能力和稳定性有很大的关系。在查阅国内外一些关于运动控制技术的资料后，在一定层度上了解了对其发展现状、实现方案和实际的应用情况。闭环控制系统拥有较高的控制精度和较强的抑制干扰能力，是运动控制最佳的选择。伺服电机 (servo motor) 是指在伺服系统中控制机械元件运转的发动机，是一种补助马达间接变速装置，具有低频特性好、速度响应快、控制精度高、过载能力强等性能，可根据电压使控制速度，位置精度非常高，可以将电压信号转化为转矩以及转速以驱动被控对象。本系统选用的是张大头的 57 步进电机驱动器以及配套的 57 步进电机。

(3) 旋转测量臂：由于在实际生产中被测钢管的外径的特殊要求以及对精度要求较高，现存的位移传感器很难同时满足精度和范围的要求，需要外接测量臂，所以直线导轨的作用是：支撑和引导激光位移传感器沿着旋转方向平稳做往复旋转运动，使其移动到合适的位置，以便于激光位移传感器测得的数据在其测量量程范围内在旋转机构旋转过程中不会碰到钢管内壁；同时还起着充当测量臂的作用。

(4) 传感器固定设备：传感器固定设备用于固定和安装单点激光测距传感器，使单点激光测距传感器垂直射向转台中轴线方向射到钢管外管壁上，避免在测量过程中由于传感器安装不稳和偏心而产生测量误差。

## 二、运动控制模块

运动控制模块由 PLC、伺服电机及其驱动器组成。它的功能是：首先带动单点激光测距传感器沿中轴线旋转，根据具体测量要求，选择适合的旋转速度

以及采样频率，从而实现自动检测的要求；其次是寻找零位运动控制模块消除减速机齿轮间隙对测量系统精度的影响。详细分为以下几个部分：

#### a. 圆周遍历测量步长和速度控制子系统设计

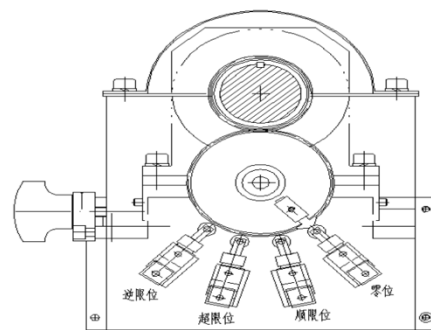
根据项目的技术条件要求，测量设备圆周遍历一周测量点数为 360 个点，测量一根钢管耗时不得超过二分钟。

圆周遍历测量总的采集点数决定着伺服电机每转一圈编码器发出的脉冲数，使用减速比 50:1 的减速机，整个旋转机构遍历一周钢管外端面共遍历 360 点，即旋转机构的测量步长为 1 度，满足测量点数的要求。

速度控制即伺服电机的速度控制也是，包括圆周遍历测量速度控制。本项目选用松下伺服电机，其驱动器只带 3 位速度设定端（000 到 111）可以设定 8 个不同速度。速度设定值为正时正转，相反设定值为负时反转。由 PLC 直接控制，最终形成 PLC 控制伺服电机的转速。伺服电机在高速旋转时，突然停止时容易发生“过冲现象”，产生原因是伺服电机的速度由运行速度突然变为零，受惯性的影响，旋转机构并不会马上停止，有向前的过冲过程。过冲容易引起测量设备振动和机械噪声，影响系统的测量精度，甚至使测量设备报废。为了保证系统运行过程平稳，工作可靠，必须严格控制伺服电机的速度。本系统采用低速启动，高速测量，低速停止，这样测量系统在一个很低的速度下停止，很好的抑制了伺服电机所产生的“过冲现象”。

#### b. 消除减速机回程误差对系统精度的影响控制子系统设计

为了确保测量的准确性和一致性，每次测量需从同一个测量起点开始测量，因此本系统设计一个旋转限位装置，该限位装置由两个齿轮，一个拨杆和四个限位开关组成。四个限位开关分别是逆限位开关、超限位开关、顺限位开关和零位限位开关，前三个限位开关主要起着安全保护作用，当大齿轮上拨杆撞到前面三个中任何一个限位开关触点时，强制切断整个测量系统的电源；零位限位开关的作用是确保每次测量时从此点开始测量，该限位的位置称为零位位置。



如果整个测量系统完成一次测量后，回到零位时，不做任何处理，系统进行下次测量时减速机齿轮的回程间隙必然影响系统的测量精度。这是因为减速机由一系列的齿轮构成，减速机的运动可以简化为一系列齿轮的综合运动。当主动轮正转时，即第一齿轮逆时针旋转，第一齿轮和第二齿轮的一个齿轮啮合，但是不能和另一面的那个齿轮啮合，所以当主动轮旋转方向改变时，第二齿轮要和第一齿轮啮合上，第二齿轮必须走过标记的回程间隙。

### 三、传感器数据采集子系统设计

本项目设计的传感器数据采集子系统由 PLC、以太网、单点激光测距传感器和其控制器组成，它的功能是对整个大口径钢管外圆周端面进行圆周遍历等角度数据采集，并将采集到的数据通过以太网传送给 PLC，最后通过 PLC 把采样数据传输给计算机数据处理系统进行综合处理。

单点激光测距传感器是传感器数据采集子系统的核心部分，也是测量系统实现自动测量和控制的首要因素，必须首先确保单点激光测距传感器对被测钢管圆周信息的采集精度，如果所采集的原始测量精度无法达到足够高的精度，

那么测量系统就无法实现高精度的测量。因此，选择适合本系统的单点激光测距传感器是非常重要的一个环节。

#### a. 单点激光测距传感器

单点激光测距传感器具有高精度、高效率、高可靠性等特点，被广泛应用于精密零件的几何尺寸检测中。

本项目从单点激光测距传感器的测量精度、测量范围、采样频率、光斑直径、抗干扰能力、温度特性以及经济成本等方面进行综合考虑，最终选择摩天公司高精度 CCD 激光测距传感器。

利用 CCD 作为接收光线的元件。目标物体反射的光线穿过接收器的透镜，接收器的透镜将光线聚焦在 PSD 或 CCD 上。PSD 型传感器利用 PSD 上的所有射束光点之光量分布来决定射束光点的中心，并由此判定目标位置。但是，光量分布会受目标物体的表面状况影响，造成测量值的变动。CCD 检测射束光点之光量分布峰值处的像素，并将此判定为目标位置。所以，无论射束光点之光量如何分布，CCD 均能获得稳定且高精度的结果。

#### b. 单点激光测距传感器的通讯

本文选择摩天 L1S-40 单点激光测距传感器控制器。根据测量的要求，选择 RS232 的通讯方式，实现 PLC 与单点激光测距传感器的通讯。

#### c. 圆周遍历等步长数据采集

单点激光测距传感器固定于旋转测量本体的直线导轨上，并随旋转机构一起旋转，对钢管端面进行圆周遍历等步长数据采集，如何保证测量步长的准确性是本项目的重点。

伺服电机编码器用来反馈旋转的角度（位置）给伺服驱动器，伺服驱动器收到反馈信号后控制伺服电机旋转。设定伺服电机控制器参数即可实现伺服电机每转一定角度，编码器就会相应的发出一个脉冲，电机持续旋转即可得到周期一定的脉冲。所以只要能准确的采集到编码器发出的脉冲即可实现圆周遍历等步长数据采集，同时可以根据此脉冲的数量判断旋转机构是否旋转完一整圈，减速机的减速比为 50:1，伺服电机每转一圈编码器发出一个脉冲，那么伺服电机每转过 50 圈，旋转测量装置则转过一圈。为了使 PLC 准确获取采样点数据，本项目采用了角度触发机制完成测量数据采集。

### 四、计算机数据处理模块

为了让企业及时地发现并剔除不合格的钢管，所以计算机数据处理的准确性在本测量系统中起到至关重要的作用。本项目设计的数据处理程序是在 .net 平台上开发的。.net 平台是一个面向对象的可视化集成开发环境（IDE），可以进行快速应用程序开发 RAD(Rapid Application Development)；同时 .net 平台使用了 Microsoft Windows 图形用户界面的许多先进特性和设计思想，采用了弹性可重复利用的完整的面向对象程序语言 C#，基于 C# 的应用程序具有速度快，可重复使用组件的优点。

数据处理模块由 s7.net 组件，最小二乘拟合算法和 Microsoft SQL server 2014 数据库组成。其中 s7.net 组件用于 PLC 通讯，获取采样数据；最小二乘拟合算法用于计算钢管圆心，并由此计算圆周上每一点对应的直径，从而得到最大最小直径，进一步获取钢管圆度；Microsoft SQL server 2014 数据库用于保存与钢管圆度相关的数据。