



大直径钢管直线度在线测量

上海交通大学 测量与仪器工程系 05级 检测技术课程设计
组员：张弓，徐吉成，柏旻



大直径钢管直线度在线测量

1

课题概况

2

原理设计

3

硬件设计

4

结论

课题概况

资料准备

▲根据此课题在国内外生产和学术领域的一些文章和分析，得出设计的大体方向。

设计要求

▲通过分析现有的技术方案在实践和应用上出现的一些经验和不足。确定此次设计内容应该达到的要求和需要克服的问题。

技术要求

▲将整个设计部分分成几个模块，通过理论计算，使得模块达到要求的功能。最后逐个分析，确认完成的情况及误差。

课题概况

❖ 大直径钢管直线度测量一直是困扰现代工业生产的一个重要技术难题。目前国内外厂家在生产实践中对大尺寸钢管直线度测量的主要方法有：激光准直法、自准直仪法、拉线法、三坐标测量法等。上述的方法有几个重要缺点：不能实现自动在线实时检测；检测时接触到钢管本体，对测量结果造成影响；大部分依赖人工，检测速度缓慢。



课题概况

❖ 钢管轴线直线度的在线测量技术，目前受到较多关注的是视觉传感器标定法。此方法基于空间坐标原理。通过分析钢管表面发射光的几何参数，拟合出其轮廓线，进而计算直线度。此法可以实现无缝钢管的直线度的实时测量，原理简单，实用性强。

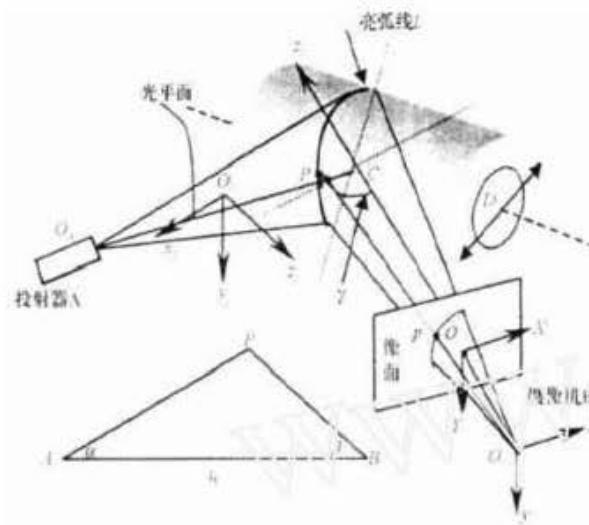


图1 钢管直线度的视觉检测原理

Fig.1 Visual inspection tenets in steel pipe linearity



图3 视觉传感器的部分结构

Fig.3 Part structure of the visual sensor

课题概况

- ❖ 该方法目前的主要缺点在于：基于视觉分析技术，对周围环境有较高要求；由于钢管和光截面相交线很窄，测量结果的稳定性不足；为了提高精度，必须使用多个发射/接收装置进行分析，成本较高。

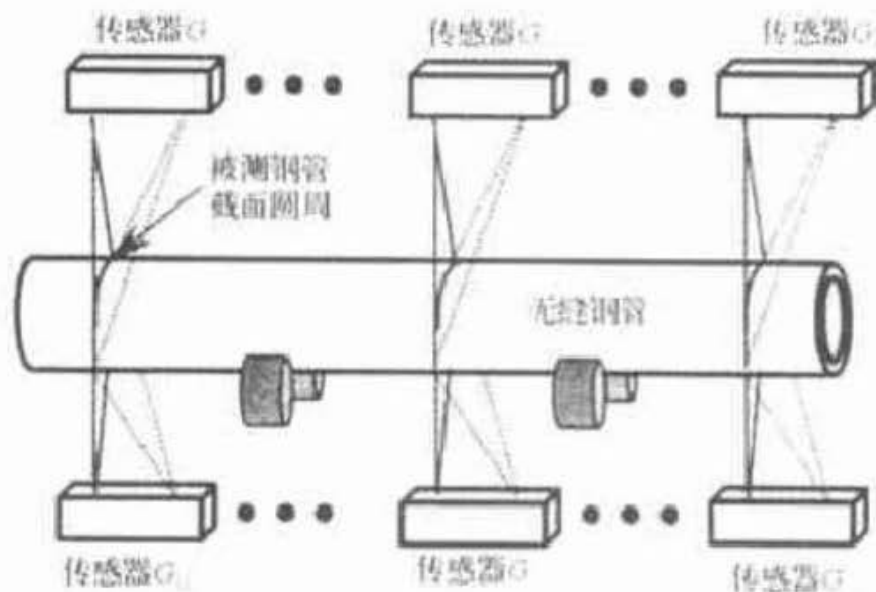


图2 钢管直线度的视觉检测系统

Fig. 2 Visual inspection system of steel pipe linearity

课题概况

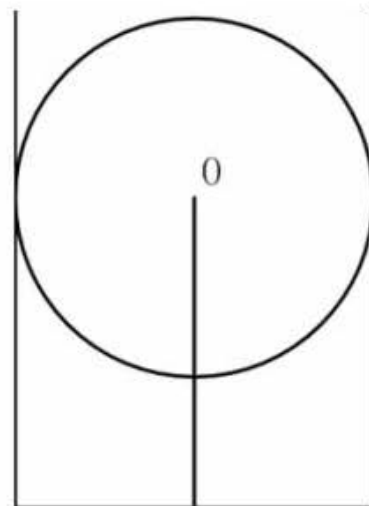
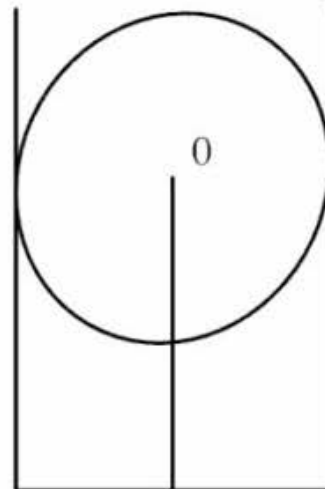
- ❖ 基于已有的一些经验和理论，最终我们决定采取十字投影法来取得钢管轮廓的更稳定和精确的数据。利用光波被钢管挡住后接受器接收到的“投影”，来实时监测钢管在水平和竖直两个方向上的轮廓。并根据这些数据分析出钢管母线位置，进而量化的得到直线度数据。

原理设计

❖ 方案原理:

现代化生产技术下生产出的钢管，其不圆率较低，可以用椭圆和圆来代替。大直径钢管尤其如此。

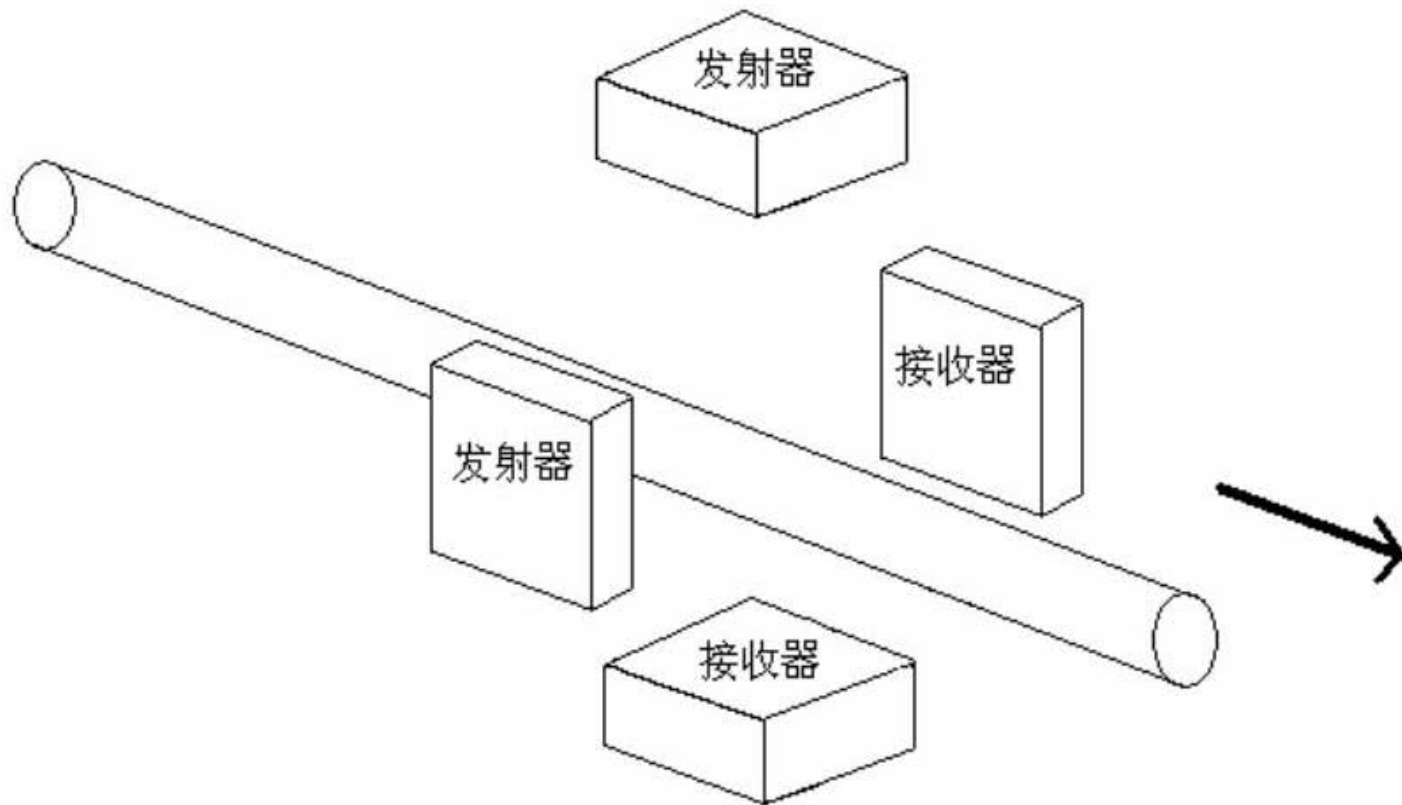
对任意轴向与直径的圆或椭圆，只要知道了它在两个交叉方向上的投影，就可以在二维空间标定出该圆的圆心。圆心的位置，就在投影线的垂直平分线交点处。



原理设计

- ❖ 图1为测量原理示意图。传感器A1投射出一组平行光。被钢管遮挡后，余下的光沿直线传播被传感器A2接收。则椭圆圆心在空间上位于该投影线的垂直平分线上。现在在垂直方向再安装一组传感器B1 B2。则圆心位于两条垂直平分线的交点处，在空间位置被唯一确定。
- ❖ 随着钢管在母线方向的射出，可以依次求得多个截面圆的圆心，然后对这些圆心进行直线拟合，就可以求出其直线度。

原理设计



投影法仪器结构示意图

硬件设计

传感器设计

发射器系统设计，包括：发射光种类的确定；发射器结构优化；空间位置确定。

接收系统设计，包括：接收元件选择；接收阵列排布方式。

分析系统设计，主要包括：计算方法。

硬件设计

❖ 发射部分设计

❖ 发射光波种类选择

在生产条件下发射的光波，必须有以下几个要求：

1. 自然环境中该频率光波背景强度不能很大。
2. 与钢管不能产生涡流等强烈电磁反应。
3. 对人体无害。

在这三个条件下，我们最终选择采用红蓝两个波段的激光作为波源。红蓝光在自然环境下，强度约占光谱总强度的 15%。由于本身的电磁能量很低，不会发生影响结果的电磁现象。同时没有辐射危害。符合上述要求。之所以要选择两种光波，是因为在两个方向上的光会因为钢管的反射而互相影响。所以选择两个光频率差距较大的波段以降低这种影响。

硬件设计

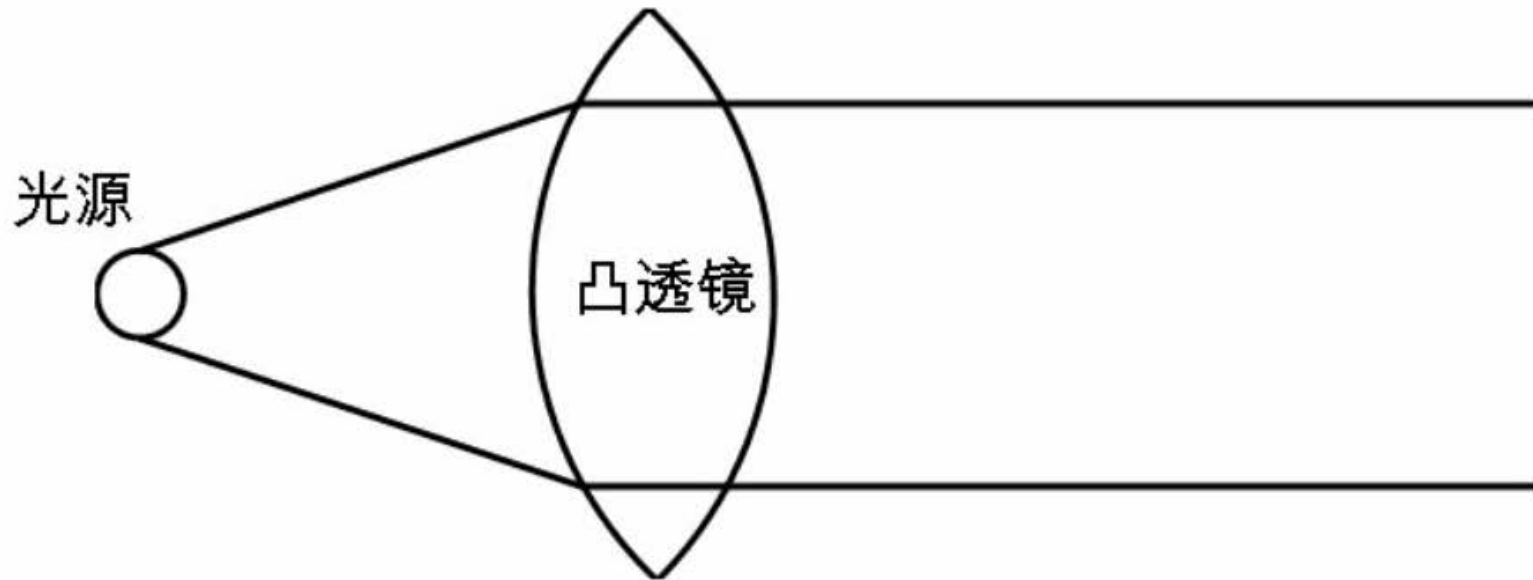
❖ 发射部分设计

❖ 发射器结构优化

这次的要求是利用光束测出一个圆的竖直方向上的轮廓线，所以光必须平行出射。由于一般的集束激光发射器技术已经十分成熟。所以在设计开始我们想用多个激光发射器呈直线排列的方法，射出单排激光。但是这样做提高了成本，并且由于激光器之间的缝隙，使得测量精度有所下降。所以最后我们采用点光源加凸透镜的方法取得平行光，虽然这样就无法采用普通的激光发射器，光的强度和单色性都有所下降。但是由于光波面的连续性使得结果的精度有所上升。而上述的问题我们可以通过接收器的合理选择来解决。

❖ 图3为发射器结构示意图。

硬件设计



硬件设计

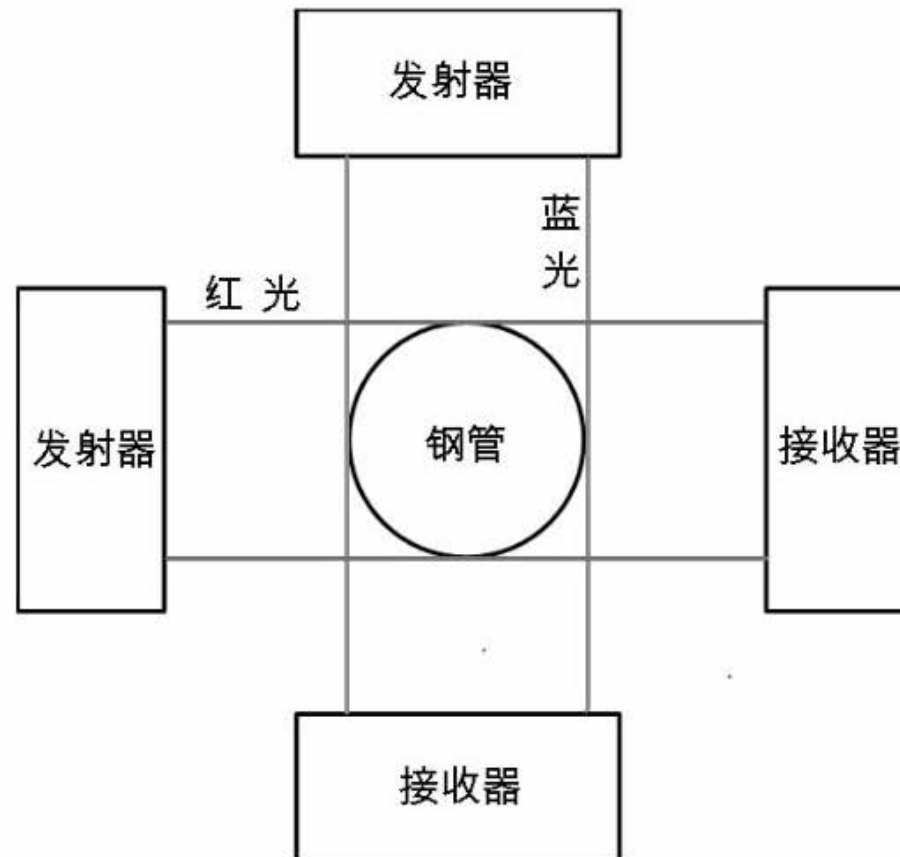
- ❖ 发射部分设计
- ❖ 空间结构优化

由于要确定圆心在圆平面这个二维坐标系中的位置，所以需要采用两组接受发射装置。测量的原理决定，一组装置的安装位置主要是由发射部分确定的。

从理论上讲，两组装置不管呈多少角度，最终都可以唯一确定圆心的空间位置。但是两组装置之间的夹角越小，任意一组出现的误差对最后结果的影响越大，也就是结果的精度越低。与此同时，夹角越小，彼此发射的光波间的影响也越大。所以我们最后采取了两组发射接收装置互相垂直的方案。

- ❖ 图4为安装空间位置示意图

硬件设计



硬件设计

- ❖ 接收部分设计
- ❖ 接收元件选择

由于外界激励为光信号，所以显然要采取光敏元件。这里有两种选择，光敏电阻元件和光敏电容元件。出于对稳定性和成本的考虑，我们最后选择了光敏电阻元件。

由于自然光和另一组传感器在钢管表面反射光的干扰，我们要求光敏元件只对某一频率的光有反应。这里我们是通过在外面覆盖单色光波片的方法来达到这个目的。在红光发射器对应的接收器接收端覆盖红色波片，在蓝光发射器对应的接收器接收端覆盖蓝色波片。这种做法原理简单，效果稳定。

硬件设计

❖ 接收部分设计

❖ 接收阵列排布方式

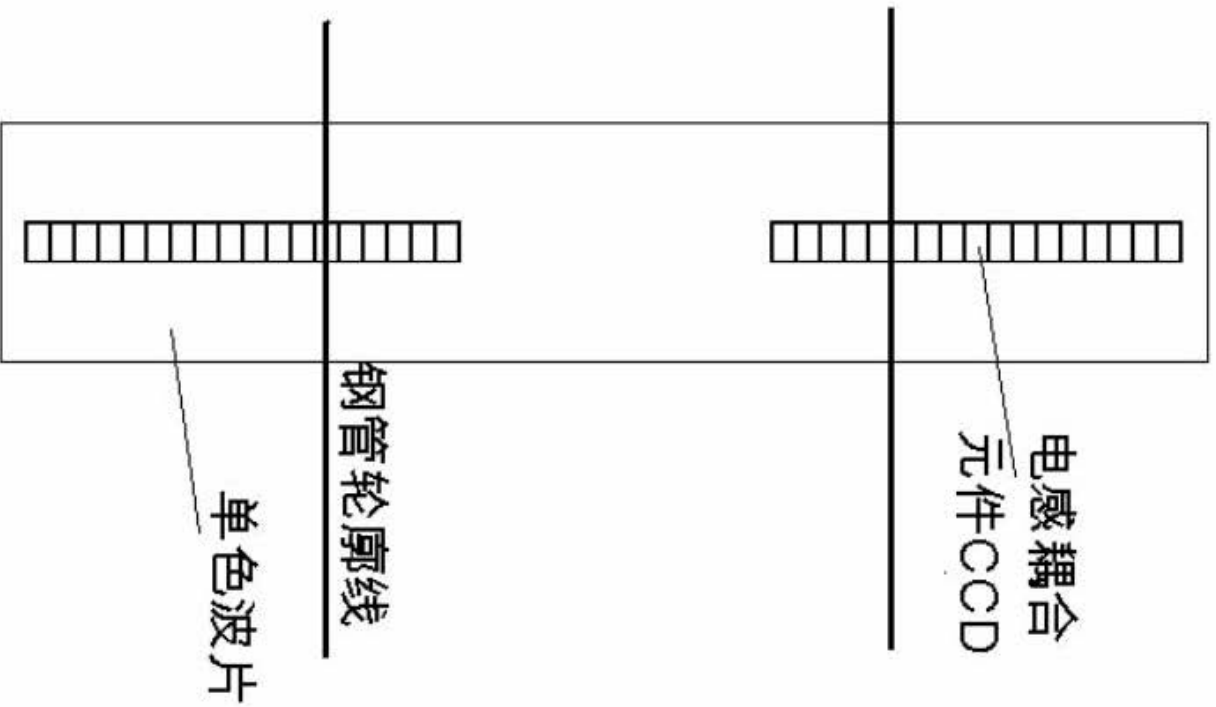
由于从实际上说，最终要得到的是圆形平面的轮廓线，所以接收阵列必须能接受排面光。同时阵列中光敏元件必须达到一定数量，这样才能保证测量精度。

这次我们采取将光敏元件呈一线排列的方式。假设每个光敏元件端口接收宽度为 a ，光敏元件之间的距离为 b ，则测量的最小分度为 $a+b$ 。小于这个值的变化都无法再最终结果里反应出来。一般一个大直径钢管直径都在114mm以上，精度要求不超过1mm，我们可以通过这个来估计 a, b 的值。

同时，如果知道钢管直径不小于某值，我们可以把接收器该部分的光敏元件省略以节约成本。

❖ 图5为接收部分结构示意图

硬件设计



$$\delta = \sqrt{a^2 + b^2}$$

硬件设计

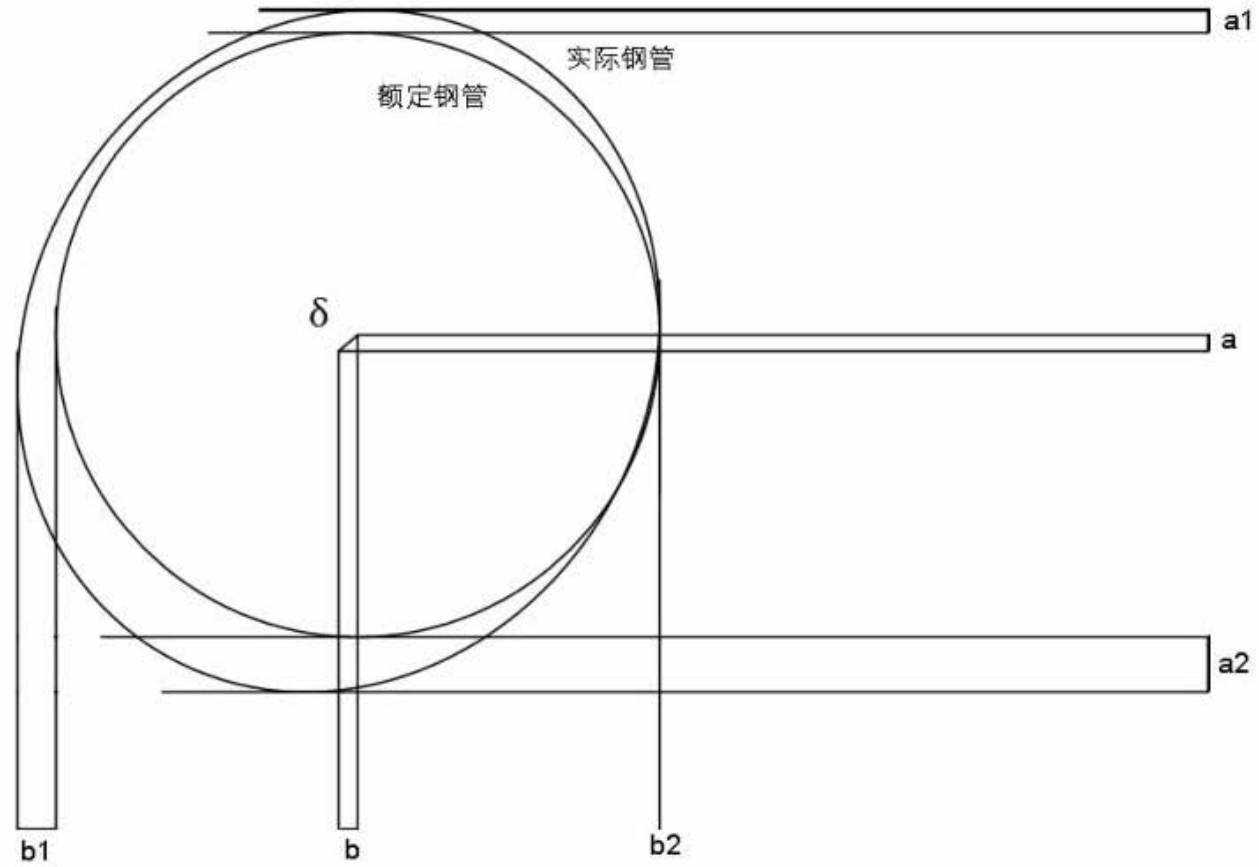
- ❖ 分析系统设计
- ❖ 计算方法确定

由于我们选择的测量方法并不基于图像处理技术，所以在标定方面也比较简单，不需要外界的参考物帮助标定。我们以合格规格钢管的两个轮廓点作为基准点。通过接收器，得到实际钢管的两个轮廓点与标定点之差，设为 a_1, a_2 。则实际的钢管轴心点与规定轴心点在该方向上的差值为 $a = (a_1 + a_2) / 2$ 。然后通过另一组传感器得出在与原方向垂直方向上的差值 $b = (b_1 + b_2) / 2$ ，空间上该圆截面上的中心点与规定点的差值就为

$$\delta = \sqrt{a^2 + b^2}$$

- ❖ 图6为计算方案示意图。

硬件设计



结论



结论

误差分析

发射端

从凸透镜得到的光平行度误差
影响：低

接收端

接收端由于采用分离排布，分辨率有限。
影响：中等
外界干扰及发射光互相作用
影响：低

算法

默认生产出来的钢管都为圆和椭圆，且不圆度低
影响：中等

结论

实现

主要只用到了激光发射和光敏元器件技术，目前都比较成熟

效率

利用光传递，传感响应迅速。
接收器的离散性可以很快得到数据。
计算方法简单。
可以很好地达到在线检测的要求。

计算法

由于测量的是大直径钢管，所以需要的光敏元器件数目较多，且都对精度有一定要求。
原理简单，维护方便。

参考书目：

现代无缝钢管生产技术
检测技术(第二版)

双远华 化学工业出版社
施文康 机械工业出版社

High accuracy 3D machine vision metrology

Y.A.Tsai IEEE Journal

机器人技术及其应用

朱世强 浙江大学出版社



Thank You!

