

372-374

# 热轧螺纹钢纵肋处内径的在线测量\*

钱思明

(华东师范大学物理系量子光学开放实验室, 上海, 200062)

**摘要** 讨论了测量热轧螺纹钢纵肋处内径的原理、测量定标的方法和数据处理的方法。  
**关键词** 螺纹钢, 长度测量仪器, 在线检测, 光电探测.

## 引言

热轧 热轧 光电技术 TG333.11

在现代化高速轧机上对钢材的尺寸进行在线测量, 是防止废品堆积, 提高轧制成材率, 保证产品质量的重要手段. 采用光电技术对圆钢、方钢、六角钢的截面参数进行在线测量早已取得成功<sup>[1]</sup>, 对热轧螺纹钢横截面参数的测量尚在研究中. 在热轧螺纹钢横截面诸参数中, 纵肋处内径这个参数是最难测量的, 尚未见到文献报道. 为此我们开展了这一研究工作.

## 1 测量原理

(11)

根据螺纹钢生产的国家标准<sup>[2]</sup>, 需要在线测量的参数有钢筋内径  $d$ 、横肋高度  $h$ 、纵肋高度  $h_1$  (见图 1). 但是, 厂家在进行横肋高度和纵肋高度的测量时, 不是直接测量横肋和纵肋, 而是测取钢筋的最大外径, 减去该处内径, 将所得数值的一半作为该处肋高. 在测量纵肋高时 (见图 2), 采用卡板测量纵肋处的外径  $D$  和纵肋处的内径  $d'$ , 将两者之差的一半作为纵肋高, 纵肋处的内径  $d'$  同水平线的夹角约为  $18^\circ \sim 25^\circ$ . 各厂家之间没有统一的标准. 采用内外径差值的方法避免了在确定纵肋同圆弧体交界时人为因素造成的误差.

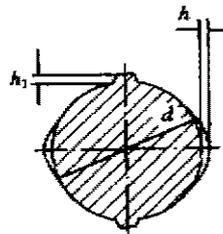


图1 螺纹钢截面图

Fig. 1 The cross-section of ribbed steel bar

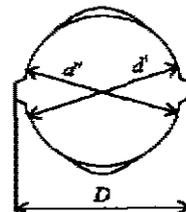


图2 被测参数

Fig. 2 Parameters to be measured

\* 本文部分内容是作者在中国科学院上海技术物理研究所的博士论文  
本文 1996 年 2 月 1 日收到, 修改稿 1996 年 5 月 29 日收到

本文专门讨论  $d'$  的测量方法, 由于纵肋的阻挡和背景作用, 无法用投影成像法测量纵肋处内径  $d'$  这个参数, 只能用三维测量的方法, 我们利用三角测量原理来测量。

测量光路上下对称, 图 3 所示为上半部分, 我们使用一个半导体激光器, 它发出的光经过准直后由柱面透镜扩束, 再经过一狭缝后在垂直于待测螺纹钢轴的平面内投向目标, 物镜将螺纹钢表面被照亮部分成像在一个面阵 CCD 上, 在物镜和 CCD 之间, 有一块滤光片和一个控制曝光时间的快门, 滤光片阻止目标自身辐射的通过。

CCD 曝光时间的选取原则是: 目标在 CCD 的曝光时间内径向移动距离小于要求的测量精度, 虽然目标在轴向高速运动(速度约  $8.5\text{m/s}$ ), 但其径向运动速度很慢(小于  $200\text{mm/s}$ ), 因此 CCD 曝光时间较长, 测量系统有足够的信噪比, 在快门打开的时间内, 如果有螺纹钢的横肋同狭缝光相交, 在 CCD 上对应于横肋的图像会模糊, 但对应于被测参数端点的图像不会受影响。

从上下两个方向进行测量, 就可获取整个截面同测量有关的所有数据, 实际上, 光学系统的上、下部分分别对测量区域的上、下部分进行成像, 这样每个部分的视场减小一半, 有利于用小的 CCD 面阵获得较高的测量精度。

## 2 测量定标

一般的三维测量系统是根据图像坐标、投射光的方向和成像系统的几何结构计算出物体的坐标<sup>[3]</sup>, 由于装配误差, 用偏离设计值的结构参数来计算均会给测量带来误差, 我们采用测量定标的方法消除这种系统误差, 提高了测量精度, 同时降低了装配精度要求, 我们在被测截面所在的平面内选定一个二维直角坐标作为物体坐标, 物体坐标中的一点  $(x, y)$  同它的像在上方 CCD 图像坐标中的点  $(a, b)$  以及下方 CCD 图像坐标中的点  $(c, d)$  的对应关系由下式确定:

$$\begin{cases} x = c_1 a + c_2 b + c_3, \\ y = c_4 a + c_5 b + c_6, \\ x = c_7 c + c_8 d + c_9, \\ y = c_{10} c + c_{11} d + c_{12}; \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中  $c_1 \sim c_{12}$  是由定标确定的系数, 它们不是一组而是许多组, 分别对应于测量范围的不同区域, 区域划分得越小, 误差就越小。

定标采用一条细的金属线, 使它垂直穿过投射的光束, 并在视场范围内移动, 为了方便, 将金属线的初始位置作为物体坐标系的原点, 它的两个移动方向作为两坐标轴的方向, 金属线的位置由位置传感器变换成电信号, 经模数变换后送入计算机, 由定标软件同时读取金属

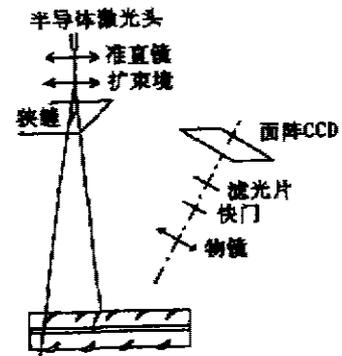


图3 测量光路  
Fig. 3 Optical diagram  
for measurement

线在物体坐标系中的坐标和金属线与光束交点的像在 CCD 像平面中的坐标. 定标程序按照多元线性回归分析的方法计算出式(1)中的定标系数<sup>[4]</sup>.

### 3 数据处理

求出纵肋附近圆弧线图像的矩心,再由式(1)计算出圆弧线完整的坐标. 然后求出同圆弧线相切、并同水平线成一固定角度(按厂家要求定为  $18\sim 25^\circ$ )的直线方程,这些直线都在被测截面内. 有四段圆弧线,故有四条切线. 两条相对圆弧线的切线之间的距离就是纵肋处内径  $d'$  的值.

### 4 误差分析

本文提出的定标方法消除了系统误差. 引起偶然误差的主要因素和误差值是:(1)钢材表面的反射特性. 如果在一条投射光线的宽度上钢材表面的反射率不均匀,就会产生误差,此误差不大于投射光线宽度的四分之一.(2)钢材在轧制时振动和摆动引起的误差. 振动引起的误差同 CCD 的曝光时间有关,摆动引起的误差同摆动角度有关,将测量仪器靠近轧辊安装可以减小运动引起的误差. 振动引起的误差不大于测量误差的一半. 摆动小于  $3^\circ$ ,引起的误差不大于测量值的 1%.(3)测量仪器安装位置误差. 取定安装误差为  $0.5^\circ$ ,则相对误差不大于 0.04%.(4)面阵 CCD 光敏元的不均匀性引起的误差. 这种不均匀性可达 20%,引起的误差为投射光线宽度的 20%. 测量总误差小于  $\pm 0.1\text{mm}$ ,能满足实际需要.

### 参考文献

- 1 Feng C. *SPIE*, 1989, **1094**, 103
- 2 国家标准 GB1199~91
- 3 Gamcheetal R. *SPIE*, 1990, **1333**, 160
- 4 张圣华. C 语言程序设计,北京:海洋出版社,1990,509~515

## ON-LINE MEASUREMENT OF THE INTERNAL DIAMETER NEAR THE LONGITUDINAL RIB OF HOT-ROLLING RIBBED STEEL BAR

Qian Siming

(Department of Physics, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract** The principle for the measurement of the internal diameter near the longitudinal rib of hot-rolling ribbed steel bar, the method of calibration and data processing were discussed.

**Key words** ribbed steel bar, length measurement instrument, on-line measurement, photoelectric detection