

# 绝对值编码器测距时的关键问题及解决方法

裴红平<sup>1</sup>,宗胜悦<sup>2</sup>,张飞<sup>2</sup>,张智密<sup>1</sup>,郭强<sup>2</sup>

(1.北京科技大学设计研究院有限公司,北京 100083;

2.北京科技大学 高效轧制国家工程研究中心,北京 100083)

**摘要:**分析了绝对值编码器过零位时测量数值跳变以及安装于曲柄机构测量直线距离时曲柄初始角度需现场测量确定等问题,给出了过零位时测量数值跳变的解决方法、曲柄初始角度的现场测量方法以及直线距离的计算方法,该方法简单有效,已应用于多个热连轧现场。

**关键词:**绝对值编码器;跳变;初始角度;零位;距离计算

**中图分类号:**TP216 **文献标识码:**B **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd22182

## Key Problems and Solutions of Using Absolute Value Encoder to Measure Distance

PEI Hongping<sup>1</sup>, ZONG Shengyue<sup>2</sup>, ZHANG Fei<sup>2</sup>, ZHANG Zhimi<sup>1</sup>, GUO Qiang<sup>2</sup>

(1. Design and Research Institute Co., Ltd. of University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083,

China; 2. National Engineering Research Center for Advanced Rolling Technology,

University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The problems were analysed such as the measurement value jumps when the absolute encoder passes zero position and the initial angle of the crank needs to be measured when the absolute encoder is installed on the crank mechanism to measure the linear distance, etc. The solutions of these problems were introduced, the solutions were simple and effective, and had been applied to multiple hot continuous rolling lines.

**Key words:** absolute encoder; jumping; initial angle; zero position; distance calculation

绝对值编码器被广泛应用于机械设备角度和位置测量中,本文以某热轧厂使用绝对值编码器测量粗轧机前侧导板的开度为例,分析使用绝对值编码器测量设备直线距离时遇到的问题并给出解决方案。

## 1 设备组成

某热轧厂粗轧机前侧导板由曲柄、推板、连杆、液压缸、联轴器、限位装置等组成<sup>[1-3]</sup>,如图1所

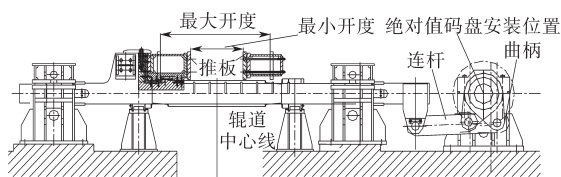


图1 侧导板的设备组成

Fig.1 The device composition for SG

示。采用单缸通过曲柄机构联接传动使左右推板同步动作,一侧推板的两个推杆通过曲柄机械同步,实现轧件对中,通过安装于曲柄轴上的绝对值旋转编码器检测侧导板(side guide, SG)的开口度。

## 2 存在的问题及解决方法

编码器输出的信号一般为格雷码,任意两个相邻的码值之间只有一位二进制数不同<sup>[4-6]</sup>,经过最大值码值后会循环到0,即在最大值和0之间有突变。如何将码盘检测回的可能含突变的数值转化为直线移动的设备当前对应的位置需解决如下几个问题。

### 2.1 码盘过零位时数值跳变处理

#### 2.1.1 数值跳变原因分析

一个新码盘在安装到曲柄轴上时,没有进行

基金项目:北海市科技计划(YYZGFW19062501)

作者简介:裴红平(1979—),女,硕士,工程师,Email:peihongping@163.com

位置校准,且侧导板处在非最大也非最小的位置,侧导板在最大开口度和最小开口度之间移动的过程中,码盘可能会转到极限,码盘读数会从0→最大或从最大→0跳变。设绝对值码盘当前读数为 $x$ ,侧导板位于标定位置时的码盘读数为 $x_0$ ,相对于位置标定时码盘读数的变化量为 $y$ ,码盘读数的最大值为 $x_{max}$ ,侧导板打开或关闭时,如果码盘过零位,则 $x$ 和 $y$ 随侧导板移动距离 $s$ 的变化情况分别如图2和图3所示,其中 $y$ 的计算方法如下式:

$$y = x - x_0 \quad (1)$$

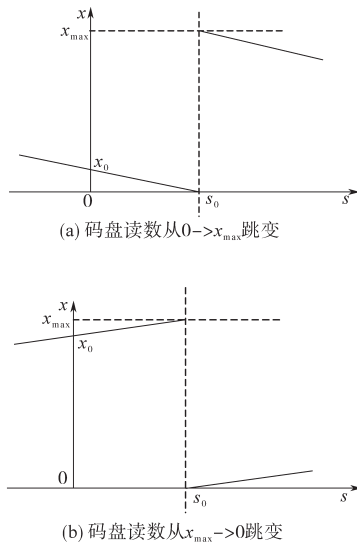


图2 码盘读数跳变

Fig.2 Diagram of encoder measurement data jumping

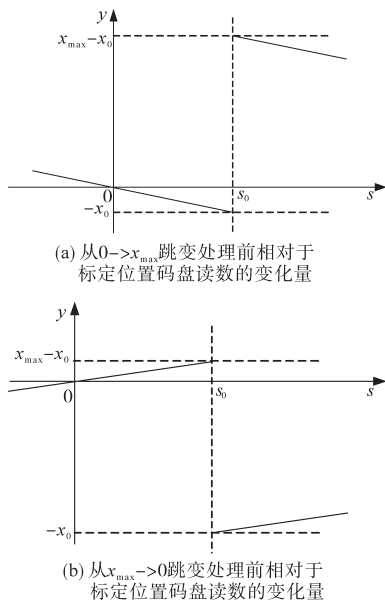


图3 相对于标定位置码盘读数的偏差跳变  
Fig.3 Deviation jump of encoder measurement data relative to calibration position

### 2.1.2 数值跳变处理方法

由图2及图3可知,码盘读数在码盘0位点

和最大值点之间发生了跳变,也就是码盘读数在零位出现了间断点。下面结合侧导板动作的过程及设备的机械结构对跳变情况进行分析。以曲柄垂直于水平面的位置为 $0^\circ$ ,在侧导板的工作行程内,曲柄旋转的角度范围为 $-45^\circ \sim 45^\circ$ ,按 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 考虑。设侧导板处于最大位置时码盘的读数为 $x_a$ ,侧导板处于最小位置时,码盘读数为 $x_b$ ,理想情况下,侧导板开度在最大位置 $W_{max}$ 和最小位置 $W_{min}$ 之间变化时码盘读数在 $x_a$ 和 $x_b$ 之间连续变化,且满足如下条件: $0 < x_a - x_b < x_{max}/2$ 或 $0 < x_b - x_a < x_{max}/2$ ,即 $y$ 的变化范围为 $-x_{max}/2 \sim x_{max}/2$ ,如图4所示。

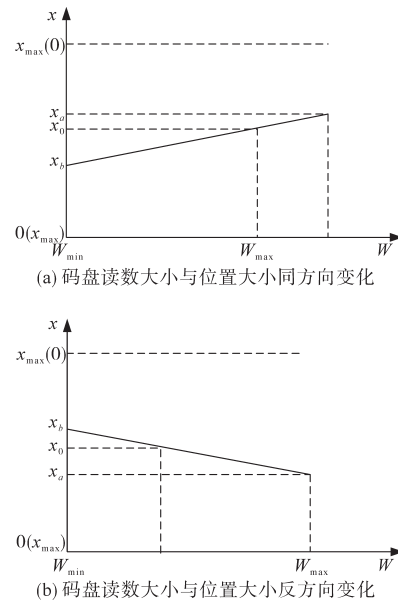


图4 理想情况下码盘读数

Fig.4 Encoder readings under ideal conditions

当码盘工作的位置整体向上偏移或整体向下偏移时, $x_a$ 或 $x_b$ 会穿过最大值和0的交界线,当 $x_0$ 接近于 $x_{max}$ , $y < -x_{max}/2$ 时,说明相对于标定点,码盘读数发生了从 $x_{max} \rightarrow 0$ 的跳变;当 $x_0$ 接近于0, $y > x_{max}/2$ 时,说明相对于标定点,码盘读数发生了从 $0 \rightarrow x_{max}$ 的跳变。跳变后需要根据实际对 $y$ 进行修正,使得 $y$ 连续。当码盘发生从 $0 \rightarrow x_{max}$ 跳变时, $y$ 的实际变化量为 $(0 - x_0) + (x - x_{max})$ ,当码盘发生从 $x_{max} \rightarrow 0$ 的跳变后, $y$ 的实际变化量为 $(x_{max} - x_0) + x$ ,即 $y$ 的计算式如下:

$$y = \begin{cases} x - x_0 & -\frac{x_{max}}{2} < x - x_0 < \frac{x_{max}}{2} \\ x - x_{max} - x_0 & x - x_0 > \frac{x_{max}}{2} \\ x + x_{max} - x_0 & x - x_0 < -\frac{x_{max}}{2} \end{cases} \quad (2)$$

经过上述处理后,  $y$  变为连续函数, 如图5所示。

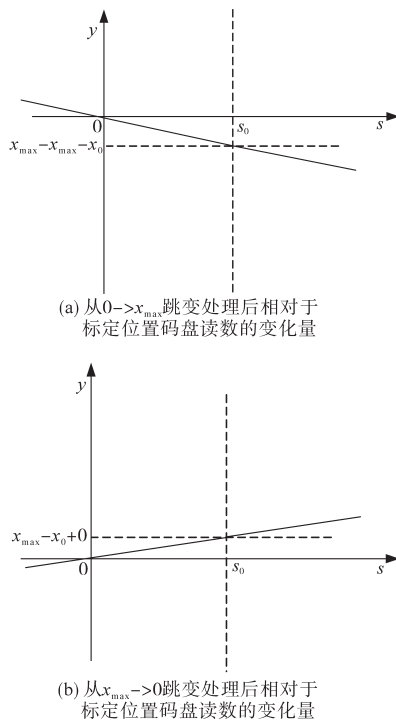


图5 跳变处理后相对于标定位置码盘读数的偏差  
Fig.5 Deviation of encoder reading relative to calibration position after jump processing

## 2.2 曲柄初始角度的现场测量

### 2.2.1 曲柄初始角度的测量依据

定义侧导板打开到最大位置时曲柄与垂直线的夹角为侧导板的初始角度, 记为  $\alpha$ , 此时曲柄端部所在位置记为  $A$ , 侧导板操作侧 (operation side, OS) 的推板所在的位置记为  $W_1$ , 当曲柄与水平线垂直时曲柄端部所在位置记为  $B$ , 侧导板操作侧推板所在位置记为  $W_2$ , 连杆长度为  $L$ , 曲柄半径为  $R$ , 曲柄在位置  $A$  和位置  $B$  时在垂直方向的分量差为  $H$ , 如图6所示。

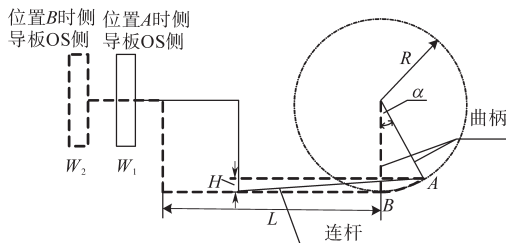


图6 曲柄带动导板开闭运动图解

Fig.6 Opening and closing movement of SG driven by crank

$W_2 - W_1$  的长度为曲柄从  $A$  移动到  $B$  时曲柄在水平方向走过的距离与连杆在水平方向走过的距离的和, 曲柄在水平方向移动的距离为  $R \sin \alpha$ , 连杆在水平方向移动的距离为  $L - \sqrt{L^2 - H^2}$ , 即

$$W_2 - W_1 = R \sin \alpha + L - \sqrt{L^2 - H^2} \quad (3)$$

其中

$$H = R - R \cos \alpha$$

侧导板曲柄机构安装后的初始角度一般与设计时的初始角度存在偏差, 如果按设计的初始角度计算测量位置, 会与实际测量结果存在比较大的偏差。设设计的初始角度为  $\alpha_0$ , 以某厂为例, 设计的初始角度  $\alpha_0 = 26^\circ$ , 曲柄半径  $R = 500 \text{ mm}$ , 连杆长度  $L = 1\,325 \text{ mm}$ , 实际的初始角度  $\alpha'_0 = 27^\circ$ , 以实际初始角度计算:

$$W_2 - W_1 = 226.99 + 1\,325 - 1\,323.87 = 228.12 \text{ mm}$$

由设计的初始角度计算:

$$W_2 - W_1 = 219.18 + 1\,325 - 1\,324.03 = 220.15 \text{ mm}$$

可见初始角度由  $27^\circ$  变为  $26^\circ$  后, 曲柄从  $A$  移动到  $B$  时,  $W_2 - W_1$  的变化量为  $228.12 - 220.15 = 7.97 \text{ mm}$ , 按两侧计算, 偏差可达  $15.94 \text{ mm}$ , 而侧导板的控制精度要求在  $\pm 3 \text{ mm}$ , 偏差远远大于允许范围。由此可见, 当设备的初始角度与安装有偏差时, 如果用设计的初始角度计算侧导板的开度会与实际出现很大的偏差, 故曲柄机构安装完毕后, 必须进行初始角度的实际测量。

### 2.2.2 曲柄初始角度的测量方法

根据前面所述方法, 操作侧导板, 使得曲柄端部从  $A$  移动到  $B$ , 然后根据式(2)计算码盘读数的变化量  $y$ , 曲柄端部移动到  $B$  时  $y = y_B$ , 绝对值码盘转动1圈的脉冲数是  $M_0$ , 则码盘初始角度:

$$\alpha = 360 \left| \frac{y_B}{M_0} \right| \quad (4)$$

### 2.3 侧导板开度的计算

设操作侧推板当前位置为  $W$ , 根据式(2)计算码盘读数的变化量  $y = y_w$ , 则在位置  $W$  时曲柄与水平线的垂直线的夹角  $\alpha_w = \alpha - 360 |y_w / M_0|$ , 则单侧侧导板移动距离为

$$W - W_1 = R(\sin \alpha - \sin \alpha_w) + L_{wL} - L_{w1L} \quad (5)$$

其中

$$L_{wL} = \sqrt{L^2 - R^2(1 - \cos \alpha_w)^2}$$

$$L_{w1L} = \sqrt{L^2 - R^2(1 - \cos \alpha)^2}$$

由于操作侧侧导板在  $W_1$  时为最大位置, 两侧推板之间的最大间距为  $W_0$ , 操作侧和传动侧两侧推板之间的开口距离  $W_{\text{sum}}$  为

$$W_{\text{sum}} = W_0 - 2(W - W_1) \quad (6)$$

## 3 应用效果及结论

通过分析码盘过零时数值跳变的现象, 找到了数值跳变后码盘读数变化量的修正方法; 通

过计算曲柄以及连杆在水平方向上移动的距离来计算侧导板的开度。这样,更换绝对值码盘后,只需将侧导板打开到最大位置进行位置标定,即可正常使用,无需关注码盘安装时侧导板所处的位置及绝对值码盘转过的角度。应用该方法计算出的侧导板实际位置,与实际测量的侧导板位置,偏差在±2 mm以内,满足控制需求。该方法已在多个热轧厂使用。

参考文献

[1] 李仁厚,张晓. 主轧机前后侧导板结构研究[J]. 设计与计算, 2011, 141(3):27-29.  
Li Renhou, Zhang Xiao. Structure research of RM entry and exit side guides[J]. Design and Calculation, 2011, 141(3):27-29.

[2] 张义强. 带检修开度度的曲柄连杆式对中导板设计[J]. 中国重型装备, 2020(2):14-16.  
Zhang Yiqiang. Design of a crank rod type center guide with access opening[J]. China Heavy Equipment, 2020(2):14-16.

[3] 曲春艳,杨大忠. 曲柄强力推床的结构特点[J]. 一重技术, 2008(2):23-24.  
Qu Chunyan, Yang Dazhong. Powerful crank side guide's construction[J]. China First Heavy Technology, 2008(2):23-24.

[4] 许用疆,甘海苗,许永童. 一种光电绝对值编码器的码盘故障自诊断方法:中国,201510045267.7[P].2015-08-19.  
Xu Yongjiang, Gan Haimiao, Xu Yongtong. A kind of method for code fault self-diagnosis of the photoelectric absolute value encoder:China, 201510045267.7[P]. 2015-08-19.

[5] 袁凯,陈思忠. 旋转编码器在四轮转向汽车上的应用[J]. 传感器技术, 2002, 21(9):27-29.  
Yuan Kai, Chen Sizhong. Application of rotary encoder in four wheel steering vehicle[J]. Journal of Transducer Technology, 2002, 21(9):27-29.

[6] 赵雄飞. 光电编码器的原理及应用[J]. 天津冶金, 2016(4):44-46.  
Zhao Xiongfei. Principle and application of photoelectric encoder[J]. Tianjin Metallurgy, 2016(4):44-46.

收稿日期:2020-07-17

修改稿日期:2020-09-01

~~~~~  
(上接第56页)

and model predictive control algorithm of supercritical thermal power unit coordination system[J]. Thermal Power Engineering, 2020, 35(2):117-125.

[12] 李应琪. 超临界机组锅炉侧核心设备复合建模研究[D]. 保定:华北电力大学, 2019.  
Li Yingqi. Research on compound modeling of core equipment on the boiler side of supercritical unit[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2019.

[13] 刁云鹏,司瑞才,王松寒,等. 基于BP神经网络的超临界火电单元机组负荷系统建模研究[J]. 吉林电力, 2019, 47(5):15-18.  
Diao Yunpeng, Si Ruicai, Wang Songhan, et al. Modeling of load system of supercritical thermal power unit based on BP neural network[J]. Jilin Electric Power, 2019, 47(5):15-18.

[14] 徐民江. 超超临界锅炉动态仿真及其汽水系统参数自整定[D]. 南京:东南大学, 2018.

Xu Minjiang. Dynamic simulation of ultra-supercritical boiler and self-tuning of steam-water system parameters[D]. Nanjing: Southeast University, 2018.

[15] 秦志明. 超超临界机组动态模型与控制的研究[D]. 北京:华北电力大学, 2014.  
Qin Zhiming. Research on dynamic model and control of ultra-supercritical units[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.

[16] Xu Liang, Yuan Jingqi, Wang Jingcheng. Dynamic modeling and solution algorithm of the evaporation system for the ultra-supercritical power plant[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2017, 105:589-596.

收稿日期:2020-03-02

修改稿日期:2020-06-19