

# 带离线检测补偿的酸浓度控制系统

## Acid Concentration Control System with Off-line Detection Compensation

沈福磊<sup>1</sup> 张 喆<sup>2</sup>

(首钢京唐钢铁股份有限公司<sup>1</sup>,河北 唐山 063200;唐钢计控管理部<sup>2</sup>,河北 唐山 063016)

**摘要:**在对首钢京唐酸轧机组的酸浓度控制系统进行研究的基础上,分析了系统的特点以及酸浓度的检测原理,并详细介绍了酸浓度的计算、补偿和控制方法。针对在线检测酸浓度往往存在偏差,系统增加了离线检测,并经过线性分析得到回归曲线,对在线酸浓度检测进行补偿,有效减小了测量误差。实践证明,该系统能够对酸浓度进行精确控制,满足生产需求。

**关键词:** 流量 电导率 在线检测 控制器 电磁感应

中图分类号: TG155.4 + 2 文献标志码: A

**Abstract:** The acid concentration control system used in the combined picking line-tandem cold mill (PL-TCM) of Capital Steel Beijing-Tangshan Iron & Steel Co., Ltd. has been researched. The features of the system and the detection principle of acid concentration are analyzed; and the methods of calculation, compensation and control for acid concentration are introduced in detail. Due to deviation always appears in online detection of acid concentration, thus off line detection compensation is added in the system. Through linear analysis, the regression curve is obtained to compensate online detection and reduce the measurement error. The practice verifies that the system is able to precisely control the concentration of acid and meets the productive demands.

**Keywords:** Flow Conductivity Online detection Controller Electromagnetic induction

### 0 引言

在热轧和冷却过程中,软质普碳钢的表面会形成一层致密的、厚约  $7 \sim 15 \mu\text{m}$  的氧化层,氧化层大部分成分是  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 。由于氧化层硬而脆,延伸性很差,在冷轧过程中会发生破碎,并压入带钢表面。因此,冷轧之前必须要经过酸洗,把带钢表面的氧化层去除。

首钢京唐 1700 酸连轧机组采用的是三菱浅槽紊流酸洗工艺,即采用可再生利用的盐酸进行酸洗。该机组采用变频电机从酸循环罐往酸洗槽输送盐酸,并对带钢表面进行连续喷射;同时,根据生产中消耗的酸量,不断地向酸罐中补充酸,欠酸洗和过酸洗都将影响冷轧产品质量。因此,为了达到良好的酸洗效果,控制好酸的浓度是机组的关键。

### 1 系统概述

酸浓度控制系统的核心采用横河 STARDOM 系统。酸循环系统测量酸的比重、电导率和温度,然后通过横河 FCN 控制器来计算自由酸  $\text{HCl}$  和  $\text{FeCl}_2$  的浓度。同时,由酸数据收集电脑采集离线化验的  $\text{HCl}$  和

$\text{FeCl}_2$  的浓度,由此进行在线浓度的修正,达到精确控制的目的。现场设备的顺控、连锁和报警由日立 R700 系列的 PLC 进行控制,其 CPU 型号为 LPU500, HPU 型号为 LPU550。

酸浓度系统构成如图 1 所示。

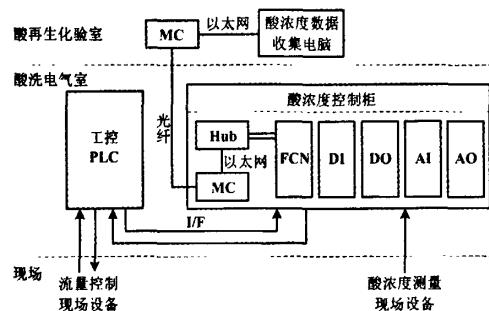


图 1 系统构成图

Fig. 1 Composition of the system

### 2 酸浓度检测

酸浓度的检测分为在线检测和离线检测,通过离线检测对在线检测的酸浓度进行修正。

#### 2.1 在线检测

在酸槽里,带钢上的氧化铁皮与酸发生化学反应,  $\text{FeCl}_2$  混入酸中,酸液的比重和电导率发生变化。因

修改稿收到日期:2010-05-25。

第一作者沈福磊,男,1984 年生,2007 年毕业于西安科技大学自动化专业,获学士学位,助理工程师;主要从事酸轧自动化控制方面的研究。

此,通过测量比重和电导率可以得到 HCl 和 FeCl<sub>2</sub> 的浓度。在线检测系统使用了日本横河公司生产的 ISC40G 感应式电导率传感器和 ISC402G 转换器测量酸的电导率。

感应式电导率传感器的优点是电极和待测溶液之间没有接触,延长了传感器的使用寿命,其测量原理是基于两线圈之间的电磁感应。密度测量采用的是日本横河公司生产的 EJA118W 差压变送器,测量的依据是密度与差压呈线性关系。

## 2.2 离线检测

离线检测使用 DKK-TOA 公司生产的 AUT-501/ABT-511 滴定仪。此精密仪器通过往酸液中滴定 NaOH 和 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,检测它们与酸液反应的用量,从而计算出 HCl/FeCl<sub>2</sub> 含量和酸液 pH 值。

## 2.3 HCl 和 FeCl<sub>2</sub> 的计算和补偿

酸液中 HCl 和 FeCl<sub>2</sub> 的含量分别为:

$$c_{HCl} = m_1 p^2 + m_2 L^2 + m_3 pL + m_4 p + m_5 L + m_6 \quad (1)$$

$$c_{FeCl_2} = n_1 p^2 + n_2 L^2 + n_3 pL + n_4 p + n_5 L + n_6 \quad (2)$$

式中: $c_{HCl}$  和  $c_{FeCl_2}$  分别为 HCl 和 FeCl<sub>2</sub> 的浓度;  $p$  为测量的密度值;  $L$  为测量的电导率值;  $m_1 \sim m_6$ 、 $n_1 \sim n_6$  为常数。

在生产过程中,按式(1)、(2)计算出的 HCl 和 FeCl<sub>2</sub> 浓度与离线式酸浓度检测仪的检测结果往往存在一定的偏差。为了减小这个偏差,引用了酸数据收集电脑。

酸数据收集电脑的工作原理如下:操作人员每 8 h 对每个循环罐的酸液取样,用离线式酸浓度检测仪进行分析,并将分析结果手工输入至系统;同时,酸数据收集电脑从酸浓度控制器 FCN 接收 HCl 和 FeCl<sub>2</sub> 浓度等各种实时数据,并与取样分析的结果进行比较,经过线性分析,得到离线检测与在线检测的线性回归线。线性回归线方程为:

$$c_{HCl_{\text{ass}}} = a_1 \times c_{HCl_{\text{det}}} + b_1 \quad (3)$$

$$c_{FeCl_{\text{ass}}} = a_2 \times c_{FeCl_{\text{det}}} + b_2 \quad (4)$$

酸数据收集电脑最终会计算出经过在线酸浓度检测的真实度  $r$ , $r \in (0 \sim 1)$ 。 $r$  越接近 1,系统测量得越准确。根据真实度  $r$ ,得到 HCl 和 FeCl<sub>2</sub> 浓度的补偿参数,并将补偿参数实时发送给酸洗控制器 FCN;控制器 FCN 利用补偿参数来修正计算值,从而得到更加接近实际的 HCl 和 FeCl<sub>2</sub> 浓度值;工控 PLC 再根据经过修正计算的 HCl 和 FeCl<sub>2</sub> 的浓度进行控制。这样就提高了控制精度,减小了偏差。

## 3 酸浓度控制

当氧化铁皮从带钢表面去除后,氧化铁皮通过化学反应消耗掉酸液中的 HCl,则 HCl 的含量将减少。酸供给控制柜完成将新酸注入到酸罐。在酸循环过程中,通过 PLC 控制 3<sup>号</sup>循环罐将酸打到 2<sup>号</sup>循环罐,2<sup>号</sup>循环罐将酸打到 1<sup>号</sup>酸循环罐。新酸通过流量控制阀供给给 3 个酸罐。

酸浓度控制柜根据比重仪和电导率仪检测酸液的比重和电导率计算出酸浓度,然后酸浓度控制器根据检测的酸浓度和设定的酸浓度计算出控制阀的开度  $C$ 。同时,根据酸槽酸洗比率  $R$  和带钢的氧化铁皮量  $W$  计算出酸罐应供给酸量  $Q_{sp}$ ,酸流量控制器根据  $Q_{sp}$  和补偿数  $Y$  计算阀的开度,达到控制酸浓度的目的。酸浓度控制原理图如图 2 所示。

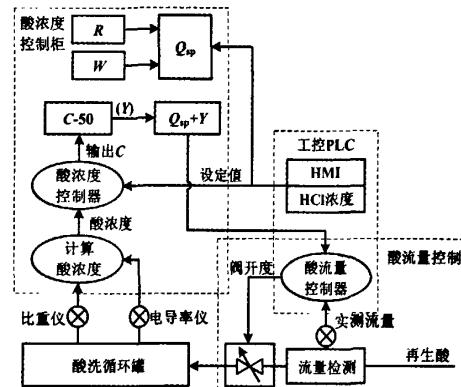


图 2 控制原理图

Fig. 2 Control principle

### 3.1 酸流量模型控制

带钢在酸洗槽中移动的速度越快、带钢越宽,与酸液接触的表面积就越大,与酸液进行化学反应就越多,消耗的酸量也就越多,同时,对于不同的钢种和不同的温度,化学反应速度也不一样。因此,消耗的酸量与带钢的速度、宽度、钢种和温度都存在一定的关系。这里我们引人数学模型。

这个模型的计算是由酸浓度控制柜来完成的。酸流量模型认为酸洗过程中酸的消耗与带钢氧化铁皮的量和在每个酸槽中酸洗比率有关。酸循环罐的酸流量模型如式(5)所示:

$$Q_{sp} = \frac{0.946 + 2.33 \times 10^{-4} X}{196 - X} \times WR \quad (5)$$

模型中的变量含义如表 1 所示。

表 1 模型中变量含义  
Tab. 1 Implication of the variables in the model

序号	项目	内容	数据来源	数据更新周期	数据范围	有关量
1	$X$	酸槽 HCl 浓度	HMI 设定值	当改变模式时	$0 \sim 100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$	
2	$W$	氧化铁皮量	PLC 计算值	每卷钢	$0 \sim 200 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$	钢种、宽度
3	$R$	酸槽酸洗比率	PLC 计算值	程序执行每一个周期	0 ~ 1	生产线速度

### 3.2 酸浓度反馈控制

除了酸流量模型控制外,闭环反馈控制也应用到了酸浓度的控制中,以减少实际值与目标值之间的偏差。酸浓度在线检测根据酸液的比重、电导率和温度计算出酸浓度,再根据酸数据收集电脑计算出的修正系数,计算出比较接近实际酸浓度的数值,也就是酸浓度反馈值。酸浓度反馈值与酸浓度设定值进行比较后,经过 PID 控制计算后输出酸浓度控制阀的开度。

$$Y = C - 50 \quad (6)$$

$$F_{sp} = Q_{sp} + Y \quad (7)$$

式中: $C$  为酸浓度控制器输出; $Y$  为补偿数; $F_{sp}$  为酸供给控制器设定流量。

由于酸循环罐体积较大,供入的酸量不能迅速影响酸浓度,即酸浓度的滞后大,故当供酸量变化较大时,很难保证酸浓度稳定在要求的设定值上。因此,将酸浓度控制器的输出值作为酸流量控制器设定值的一部分。为了保证主变量酸浓度没有余差,对酸浓度控制器设置了较大的积分时间;同时,考虑到酸浓度滞后大,我们选择了微分作用。因此,酸浓度控制器采用了 PID 控制。

### 3.3 脱盐水量控制

随着生产的持续,酸罐可能有大量  $\text{FeCl}_2$  存在,这样总酸浓度就会上升;且当生产线停止一段时间之后,酸液中含有的水将会蒸发,长时间停止后,酸将会浓缩,总酸浓度就会上升。为了补偿长时间停线蒸发掉的水分,需要往每个酸罐补充水分。补充水分的控制

是在工控 PLC 中进行的。这个控制与总酸浓度有关。总酸浓度是 HCl 浓度加上经过折算后的  $\text{FeCl}_2$  的浓度,计算公式如式(8)所示。

$$\text{总酸浓度} = c_{\text{FeCl}_2} \times 0.574\ 803\ 149 + c_{\text{HCl}} \quad (8)$$

式中:0.574 803 149 为  $\text{FeCl}_2$  折算成总酸浓度的系数。

当总酸浓度大于 201 g/L 时,往酸罐中加入脱盐水;当总酸浓度小于 195 g/L 时,停止往酸罐中加入脱盐水。

## 4 结束语

本控制系统通过测量酸液的比重和电导率得到酸浓度,并配备离线检测系统来修正在线检测的酸浓度,达到精确控制的目的。通过一年的生产实践证明,此系统运行稳定,酸浓度控制误差小,达到了良好的酸洗效果。

## 参考文献

- [1] 傅作宝. 冷轧薄钢板生产 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996: 33 ~ 40.
- [2] 赵春红. 酸洗工艺中的酸浓度控制 [J]. 工业控制计算机, 2006(10): 44 ~ 45.
- [3] 何轶, 何春来. 酸浓度控制系统的研究 [J]. 冶金自动化, 2008(81): 249 ~ 251.
- [4] 丁志宇, 金世勇. 冷轧紊流酸洗工艺的分析与优化 [J]. 鞍钢技术, 2008(3): 42 ~ 45.
- [5] 苏冬艳. 唐钢冷轧厂一期酸洗线自动控制系统 [J]. 自动化仪表, 2006, 27(12): 26 ~ 28.
- [6] 何立军. 冷轧板厂连续酸洗线装备的特点 [J]. 设备管理与维修, 2007(11): 39 ~ 41.
- [7] 邓俊杰, 李永祥. 推拉式酸洗机组设备工艺分析 [J]. 包钢科技, 2008, 34(5): 36 ~ 37.

## (上接第 44 页)

态监控软件在上位计算机中进行集中监控,具有结构灵活、人机界面好和实时性好等特点。通过多条生产线的运行证明,该系统功能全面,工作稳定可靠,具有较大的推广应用价值。

## 参考文献

- [1] 陈杭梅. 我国工业雷管生产线的现状及发展 [J]. 爆破器材, 1997, 26(4): 12 ~ 14.
- [2] 唐盛, 袁佑新, 郝艳杰, 等. 基于现场总线的分布式控制系统设计 [J]. 仪器仪表学报, 2004(21): 847 ~ 848.
- [3] 范越, 许凯华, 刘玉华. 基于 RS-485 总线的自动化检测系统的

研制 [J]. 现代电子技术, 2008, 31(5): 142 ~ 144.

- [4] 彭俊. 基于 RS-485 的分布式 LED 显示系统设计 [J]. 电脑知识与技术, 2009, 21(5): 5801 ~ 5802.
- [5] 晁阳, 胡军, 熊伟. 可编程控制器原理应用与实例解析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 23 ~ 25.
- [6] 凌志浩, 李京. 输入输出板卡 OPC 服务器程序的设计 [J]. 自动化仪表, 2003, 24(1): 95 ~ 99.
- [7] 李耀刚, 王天杰. 利用串口通讯的分布式控制系统 [J]. 机电工程技术, 2004, 33(5): 65 ~ 69.
- [8] 王安, 代荣. 组态软件的设计方法研究 [J]. 机电一体化, 2009(8): 82 ~ 85.