

引用格式:洪武,张文亮,杨琛,等. 基于 SIMULINK 的智能剥锌机剥离过程液压控制系统建模与仿真分析[J]. 有色设备, 2024,38(3):30-36.

HONG Wu, ZHANG Wenliang, YANG Chen, et al. Model constructing and simulation analysis of the stripping process hydraulic control system of intelligent zinc stripping system based on SIMULINK[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2024,38(3):30-36.

# 基于 SIMULINK 的智能剥锌机剥离过程液压控制系统建模与仿真分析

洪武<sup>1</sup>, 张文亮<sup>1</sup>, 杨琛<sup>1</sup>, 和继高<sup>1</sup>, 高泽宇<sup>2</sup>

(1. 云南金鼎锌业有限公司, 云南 兰坪 671401; 2. 北矿机电科技有限责任公司, 北京 100160)

**[摘要]** 智能剥离单元是智能剥锌系统中的核心装备,用于对阴极铝板上的电沉积金属锌片进行剥离。本文以某公司研发的全新一代 BKAS-32 型智能剥锌机的智能剥离单元为研究对象,针对其非对称液压缸控制系统的特点,建立了电液比例阀控液压系统的数学模型,设计了基于单神经元控制算法的剥离过程液压控制系统模型并进行了仿真分析,通过与传统 PID 控制系统的仿真结果进行对比,论证了基于单神经元控制算法的剥离过程液压控制系统性能的优越性。经过现场应用表明,应用单神经元控制算法的智能剥离单元的剥离刀具组件双向运行速度曲线平滑,对称性高,两侧剥离刀具组件的速度差小于 1%,极大地增加了智能剥离单元剥离作业的稳定性。

**[关键词]** 智能剥离单元; 非对称液压缸; 单神经元控制; PID; 仿真

**[中图分类号]** TF35; TF813

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1003-8884(2024)03-0030-07

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.03.005

## 0 前言

金属锌是国民经济发展中必不可少的基础原材料,对国家工业、国民生活和科技发展至关重要。我国作为世界金属锌生产大国,2023 年产量达到 715.2 万 t,占世界锌年产量的一半以上<sup>[1]</sup>。国内约有 95% 的企业利用湿法冶炼方法,通过电场作用将溶液中的金属锌离子在阴极还原为锌单质,进行生产<sup>[2]</sup>。该方法自 20 世纪初工业化应用以来,因具有回收效率高、易于大规模自动化作业等优点,成为锌冶炼生产的主要方式<sup>[3]</sup>。在湿法锌冶炼过程中,电解液中的金属锌离子通过电积沉积到阴极板上,当阴极板上的锌片达到一定厚度后,需要将其从阴极板上剥离下来,送入熔铸工序以完成产品锌的生产,因此将附着在阴极铝板上的电积锌进行剥离是湿法

锌冶炼作业过程中的关键工序<sup>[4]</sup>。但由于国内高品质矿石原料逐渐减少,冶炼用的锌矿石品位逐年降低,电解液中的氟离子、氯离子显著超标,导致锌片与阴极铝板粘合紧密,剥离艰难,进口设备无法适应国内复杂的工艺条件,无法实现自动化剥离。若要降低电解液中的氟、氯离子至进口设备要求的参数范围内,则会增加大量生产成本,国内锌冶炼企业盈利能力普遍不强,无法承担<sup>[5-6]</sup>。

随着国家“双碳”目标的提出,国家工信部等部门自 2020 年连续编制了《有色金属行业智能工厂(矿山)建设指南(试行)》《有色金属行业碳达峰实施方案》《有色金属行业稳增长工作方案》等多项实施方案,明确了铜、铅、锌等有色金属工业发展要进一步加快节能降碳工艺升级改造,促进行业高端化智能化绿色化发展的要求,国内锌冶炼行业面临由高速增长向高质量发展转变的迫切要求。目前,某公司研发的新一代 BKAS-32 型智能剥锌系统在行业内处于优势地位,理论连续剥板速度已能达到为 330 片/h<sup>[7]</sup>,综合技术达到国际领先水平。智能剥离单元作为其核心装备,采用非对称液压缸配合比

**[收稿日期]** 2024-01-15

**[第一作者]** 洪武(1984—),男,湖北黄冈人,高级工程师,硕士,主要从事有色金属采选冶装备能源、安全环保管理。

**[基金项目]** 工信部智能制造新模式应用项目(Z135060009002)。

例调节阀控制的方式完成锌片从阴极板上的剥离工作<sup>[8-9]</sup>。但在实际应用过程中,当液压控制系统改变动作方向时,往往会出现液压力突变或系统性振动而导致的动作不稳定的现象。此外,由于非对称液压缸活塞两侧的面积不同,双向动作具有动态不对称性,也会引起剥离过程的不稳定,从而导致剥离失败。

本文以 BKAS-32 智能剥板系统的智能剥离单元为研究对象,针对其液压驱动过程中所存在的实际问题,采用单神经元控制算法对智能剥离单元的液压系统进行控制优化,增强对液压系统中各因素影响的适应能力,提高智能剥离单元液压控制系统的动态性能,进一步提升剥离工艺的安全性,进而提高工作质量和作业效率。

## 1 智能剥离单元基本结构

智能剥离单元是智能剥锌系统中的核心装备,主要由剥离单元机架、阴极板放置支架、剥离刀具组件、剥离液压驱动装置、同步液压驱动装置、锌片接收装置、传感器组件、驱动系统、电气系统、控制系统等组成<sup>[10]</sup>。剥离单元机架为立式框架结构,剥离刀具组件共有 2 组,于两侧对称安装于剥离单元机架上;阴极板放置支架位于剥离单元机架中部,用于放置待剥离的阴极板;锌片接收装置位于剥离单元机架下部,用于接收从阴极板上剥离下来的锌片。两侧剥离刀具组件通过同步装置进行同步开合,通过液压驱动装置的双向驱动实现对阴极板上锌片的剥离工作。此外,在剥离单元机架上布置有传感器组件,用于剥离刀具组件的多向定位,并向液压控制系统提供反馈信号。智能剥离单元结构如图 1 所示。

BKAS-32 型智能剥锌机的智能剥离单元的工作流程如下<sup>[11-12]</sup>:剥离刀具组件在初始位等待,此时同步液压驱动装置和剥离液压驱动装置的液压缸均收缩,剥离刀具位于上限位并处于打开状态;带锌阴极板通过链条步进的方式进入智能剥离单元,通过极板位移装置放置在阴极板支撑架上;剥离液压驱动装置的液压缸伸出,驱动剥离刀具组件向下运动;当剥离刀具组件运动至阴极板导电梁下方、锌片上边沿上方时,同步液压驱动装置的液压缸伸出,剥离刀具组件闭合;剥离刀具组件在剥离液压驱动装置的驱动下继续向下运动,刀具到达锌片下边沿下方,完成锌片剥离;剥离刀具组件抵达下限位,同步

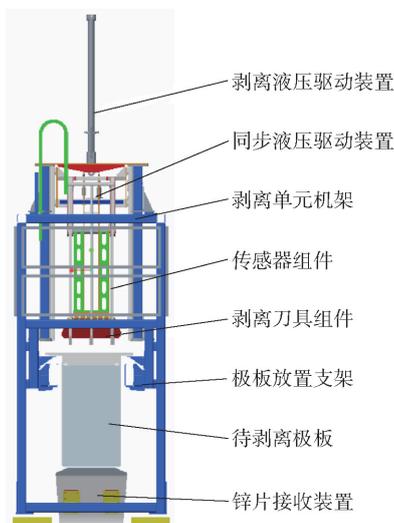


图 1 智能剥离单元结构示意图

Fig. 1 The structure schematic diagram of the intelligent zinc stripping unit

液压驱动装置的液压缸收缩,剥离刀具组件打开;剥离液压驱动装置的液压缸收缩,带动剥离刀具组件向上运动,直至返回初始位,完成一个作业周期。

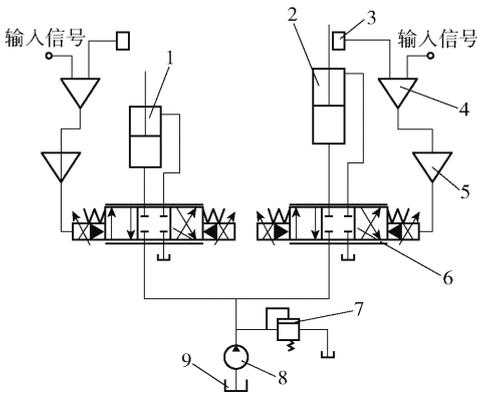
## 2 剥离过程液压控制系统建模与控制器设计

BKAS-32 型智能剥锌机的智能剥离单元采用电液比例阀控液压系统进行剥离刀具组件的精准控制<sup>[13]</sup>。智能剥离单元的 2 组剥离刀具组件的控制方式相同:当工作油缸收到控制信号时,电液比例方向阀内阀芯的位置依据控制系统进行移动,实现系统对液压缸活塞杆位移的控制;同时通过智能剥离单元上传感器组件的布置对剥离刀具组件运动位置的反馈,用以消除系统偏差,提高控制精度,实现活塞杆运动位置的精准控制。智能剥离单元剥离刀具组件的液压原理如图 2 所示。

### 2.1 剥离过程液压控制系统模型

剥离过程液压控制系统由控制器、放大器、电液比例阀、液压缸、传感器等组成,通过 PLC 实现控制系统的运行。当智能剥离单元上传感器组件的布置对剥离刀具组件运动位置的反馈信号传输至 PLC 后,通过控制系统响应,将控制参数提供至液压系统中的电液比例阀中,使电液比例阀的阀芯进行相应位移,从而改变液压输出的流量,以实现对活塞杆速度和位移的精准控制。

液压控制系统根据液压放大器的不同可分为阀



1、2—智能剥离单元两侧剥离液压驱动装置的工作油缸；3—传感器组件；4—比例加法器；5—放大器；6—电液比例阀；7—溢流阀；8—液压泵；9—油箱

图2 剥离刀具组件液压原理

Fig.2 Hydraulic schematic diagram

控缸和泵控缸2种,其中阀控缸以其响应快、精度高等优点,广泛应用于液压控制系统中。BKAS-32型智能剥锌机的智能剥离单元采用非对称液压缸,因其仅有一侧有活塞杆,同行程下比对称液压缸的尺寸更小,在外部结构尺寸受限的应用场景中具有明显的优势。虽然非对称液压缸的结构更为简单,泄漏点位更少,但相比较对称液压缸,其伸出和缩回

$$Y = \frac{A_1 K_{q1} X_v - A_1 \frac{n^2(n^2-1)}{(1+n^2)(1+n^3)} c_{ic} p_s \left( K_{c1} + \frac{1+n}{(1+n^3)} c_{ic} + \frac{c_{ec}}{1+n^2} + \frac{V_1}{2(1+n^2)\beta_e} s \right) F}{\left( K_{c1} + \frac{1+n}{(1+n^3)} c_{ic} + \frac{c_{ec}}{1+n^2} + \frac{V_1}{2(1+n^2)\beta_e} s \right) (ms^2 + B_c s + K) + A_1^2 s^2} \quad (1)$$

式中: $A_1$ 为无杆腔有效面积; $n$ 为面积比; $c_{ic}$ 为内泄露系数; $c_{ec}$ 为外泄露系数; $p_s$ 为系统供油压力; $p_0$ 为回油压力; $\beta_e$ 为液体弹性模量; $V_1$ 为有效容积。

$$Y = \frac{A_1 K_{q2} X_v - A_1 \frac{n^2-1}{(1+n^2)(1+n^3)} c_{ic} p_s \left( K_{c2} + \frac{1+n}{(1+n^3)} c_{ic} + \frac{c_{ec}}{1+n^2} + \frac{V_1}{2(1+n^2)\beta_e} s \right) F}{\left( K_{c2} + \frac{1+n}{(1+n^3)} c_{ic} + \frac{c_{ec}}{1+n^2} + \frac{V_1}{2(1+n^2)\beta_e} s \right) (ms^2 + B_c s + K) + A_1^2 s^2} \quad (2)$$

比例放大器的数学模型公式见式(3)。

$$I = K_a \times \Delta u \quad (3)$$

式中: $\Delta u$ 为输入电压; $I$ 为输出电流; $K_a$ 为增益。

电液比例阀的传递函数可简化为式(4)。

$$G_{sv}(s) = \frac{K_{sv}}{\frac{s^2}{\omega_{sv}^2} + \frac{2\zeta_{sv}}{\omega_{sv}} s + 1} \quad (4)$$

式中: $K_{sv}$ 为比例阀的增益; $\omega_{sv}$ 为比例阀的固有频率;

时不再具有控制对称性,执行元件在2个方向上的运动参数不同,若要使系统在伸出和缩回2个方向的运动中均具有良好的控制性能,则需要根据其2个方向运动时的特性对其数学模型分别进行推导,控制参数进行独立调整。阀控非对称液动力机构如图3所示<sup>[8]</sup>。

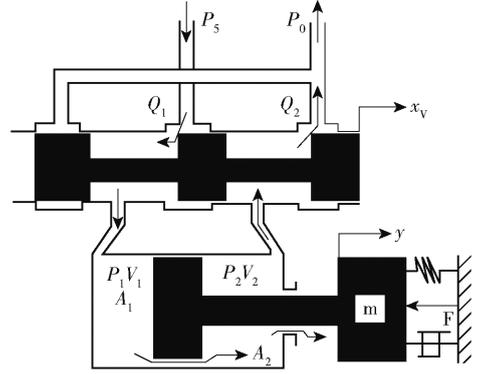


图3 阀控非对称液压缸动力机构示意图<sup>[8]</sup>

Fig.3 Schematic diagram of the valve controlled asymmetric hydraulic cylinder power mechanism

当活塞运动速度  $\dot{y} > 0$  ( $x_v > 0$ ) 时,液压缸活塞位移计算公式见式(1)<sup>[7-8]</sup>。

当活塞运动速度  $\dot{y} < 0$  ( $x_v < 0$ ) 时,液压缸活塞位移<sup>[7-8]</sup>计算公式见式(2)。

$\zeta_{sv}$ 为比例阀的阻尼比。

位移传感器一般视之为比例环节,其传递函数见式(5)。

$$U_f = K_f Y \quad (5)$$

式中: $U_f$ 为位移传感器的反馈电压; $Y$ 为液压缸活塞杆位移; $K_f$ 为增益。

根据式(1)~(5)可得,阀控非对称液压控制系统如图4所示。

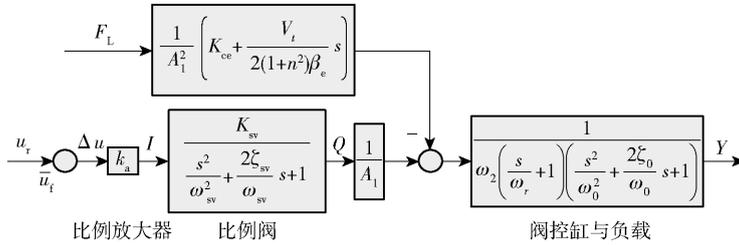


图 4 阀控非对称液压控制系统方块

Fig. 4 Block diagram of the valve-control asymmetric hydraulic control system

## 2.2 单神经元控制器的设计

传统 PID 控制算法是一种在连续系统中应用最为成熟和广泛的控制算法,通过比例、微分、积分函数关系的运算调节,在许多工业控制系统中均能取得良好的控制效果。但应用传统 PID 控制算法的系统在遇到不同场景或不同系统状态时,其最优 PID 控制参数并不相同。同时,传统 PID 控制算法是一种线性控制算法,当其在扰动较大或控制系统非线性特征较强时,也无法实现高控制性能。BKAS-32 型智能剥锌机的智能剥离单元所采用的非对称液压缸在伸出和缩回 2 个方向的运动中具有不同的运动参数和模型,因此在使用传统 PID 控制算法时,2 个方向的运动控制效果无法兼顾。同时,在智能剥离单元实际运行过程中,现场的振动、酸结晶等对其系统的扰动较大,单一 PID 控制参数在运行过程中会偶发失控故障,需要人工处理。因此,设计一种能够适应扰动且对非对称液压缸在 2 个方向上的运动控制系统进行独立参数设置的控制系统迫在眉睫<sup>[9-11]</sup>。

本文选择采用单神经控制器的学习算法使控制系统能够自行判定当前扰动及当前系统状态下自身的最优控制参数,并通过不断迭代优化来达到最优控制效果。单神经元控制结构中仅一个单独的神经元参与控制计算,是构成神经网络的基本单位,具有自学习和自适应能力,其结构简单,抗干扰能力强。该优化过程通过将各项变量输入至神经元,根据输入量的权重、数值和激励函数进行控制率增量的计算,然后依照学习规则迭代优化输入权重,以此往复使损失函数达到最小。单神经元控制结构框图如图 5 所示<sup>[12-14]</sup>。

在图 5 中, $r(k)$  为转换器输入值, $y(k)$  为对象输出值, $x_1, x_2, x_3$  为转换器转换后的神经元的输入量,其中:

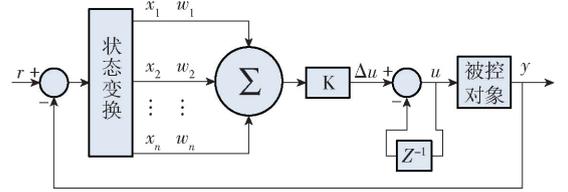


图 5 单神经元控制结构框

Fig. 5 Single neuron control structure diagram

$$\begin{cases} x_1(k) = r(k) - y(k) = e(k) \\ x_2(k) = e(k) - e(k-1) = \Delta e(k) \\ x_3(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{cases} \quad (6)$$

$$\Delta u(k) = K(w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3) \quad (7)$$

$$\Delta u(k) = K\{w_1 e(k) + w_2 [e(k) - e(k-1)] + w_3 [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]\} \quad (8)$$

单神经元控制器的学习规则见式(9)。

$$w_i(k+1) = w_i(k) \eta_i r_i(k) \quad (9)$$

式中: $r_i(k)$  为随过程递减的学习信号; $\eta_i > 0$  为学习速率。

## 3 仿真分析

采用 SIMULINK 对基于单神经元控制算法的剥离过程液压控制系统进行建模,其 SIMULINK 仿真模型如图 6 所示。

BKAS-32 型智能剥锌机的智能剥离单元所选的非对称液压缸的基本参数如表 1 所示。

BKAS-32 型智能剥锌机的智能剥离单元在进行锌片剥离作业时,剥离液压驱动装置控制活塞杆进行双向往复运动。因此,采用双向方波信号模拟往复作业过程,对单神经元控制系统进行仿真。单神经元控制系统控制参数设置如表 2 所示。

单神经元控制系统仿真结果如图 7 所示。

通过图 7 可见,在针对非对称液压缸往复 2 个

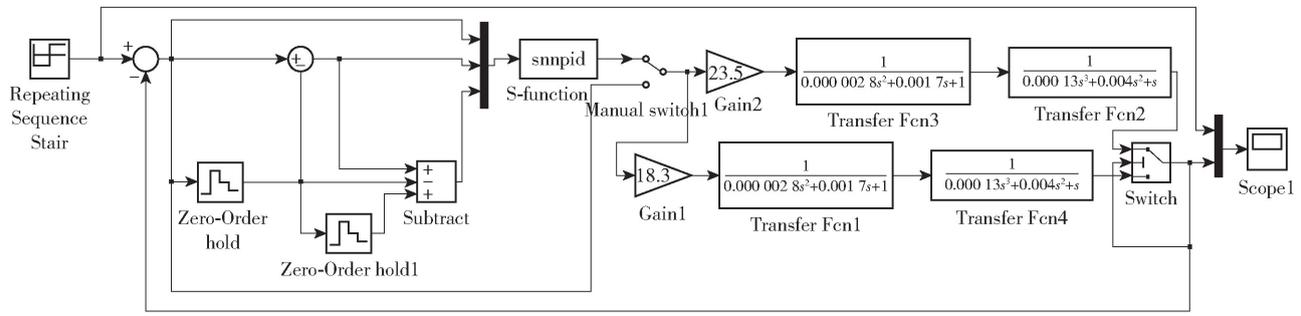


图 6 基于单神经元控制算法的剥离过程液压控制系统仿真模型

Fig. 6 Simulation model of hydraulic control system of stripping process based on single-neuron control algorithm

表 1 智能剥离单元所选液压系统参数

Table 1 Hydraulic system parameters selected for the intelligent stripping unit

符号	参数名称	数值
$A_1$	无杆腔有效面积/ $m^2$	0.875
$A_2$	有杆腔有效面积/ $m^2$	0.400
$n$	面积比	0.457
$C_{ie}$	内泄露系数/ $(m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-1})$	$3 \times 10^{-11}$
$C_{ee}$	外泄露系数/ $(m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-1})$	0
$p_s$	系统供油压力/MPa	10
$p_o$	回油压力/Pa	0
$\beta_e$	液体弹性模量/Pa	$7 \times 10^8$
$V_t$	有效容积/ $m^3$	$1.3 \times 10^{-3}$
$D$	液压缸活塞直径/mm	100
$d$	活塞缸直径/mm	70
$l$	液压缸行程/mm	1 200
$M$	活塞及负载总质量/kg	850
$F_L$	负载力/N	500
$c_d$	流量系数	0.7
$\omega$	面积梯度/m	0.032 5
$B$	阻尼系数/ $(N \cdot s^{-1} \cdot m^{-1})$	800
$K_a$	比例放大器放大系数/ $(A \cdot V^{-1})$	0.08
$K_f$	位移传感器放大系数/ $(V \cdot m^{-1})$	10
$K_{pv}$	电液比例方向阀增益/ $(m^3 \cdot s^{-1} \cdot A^{-1})$	$5.5 \times 10^{-2}$
$\omega_{pv}$	电液比例方向阀固有频率/ $(rad \cdot s^{-1})$	600
$\xi_{pv}$	电液比例方向阀阻尼比	0.6
$\omega_{hl}$	液压固有频率/ $(rad \cdot s^{-1})$	219.6
$\xi_{hl}$	液压阻尼比	0.165

表 2 单神经元控制系统参数

Table 2 Single-neuron control system parameters

控制参数	参数值
k	0.4
etap	400
etai	30 000
etad	2 000

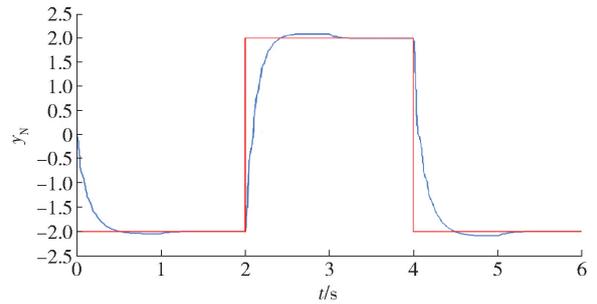


图 7 单神经控制系统方波信号响应曲线

Fig. 7 Square-wave signal response curve of a single-neural control system

方向运动的参数和模型不同的情况时,单神经控制系统在正波时调节时间最大为 1.2 s,超调量最大为 4.0%,稳态误差最大为 0.006,在负波时调节时间最大为 1.3 s,超调量最大为 3.2%,稳态误差最大为 0.005,在 2 个方向的运动控制过程中均表现出了良好的控制效果<sup>[15-18]</sup>。

采用相同双向方波信号对传统 PID 控制系统进行仿真,仿真结果如图 8 所示。

通过图 8 可见,在针对非对称液压缸往复 2 个方向运动的参数和模型不同的情况时,传统 PID 控制系统在正波时调节时间为最大为 1.4 s,超调量最大为 9.5%,稳态误差最大为 0.033,在负波时调节时间最大为 1.3 s,超调量最大为 1.5%,稳态误差最

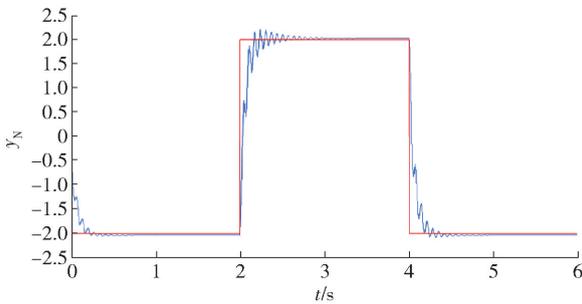


图8 传统PID控制系统方波信号响应曲线

Fig.8 Square-wave signal response curve of the traditional PID control system

大为0.035,在正波方向的控制效果明显差于负波方向。

通过图7和图8对比可知,针对非对称液压缸往复2个运动方向的运动过程参数的不同,单神经控制系统展现出了较高的适应性,其系统响应保持着较高的对称性。而传统PID控制系统在往复2个运动方向的控制过程中,则显示出了明显的差异,控制系统无法使往返2个方向的输出响应均达到良好的状态。同时,单神经控制系统相较于传统PID控制系统,其输出响应的超调量明显减小,振荡更少,响应时间更快,稳态误差更小,控制效果明显优于传统PID控制系统。

## 4 结论

本文以BKAS-32智能剥板系统的智能剥离单元为研究对象,针对其非对称液压缸控制系统的特点,建立了电液比例阀控液压系统的数学模型,设计了基于单神经元控制算法的剥离过程液压控制系统模型并进行仿真分析,通过对比与传统PID控制系统的仿真结果,论证了基于单神经元控制算法的剥离过程液压控制系统性能的优越性。

通过前期的大量分析和工业试验,采用基于单神经元控制算法的剥离过程液压控制系统的智能剥离单元实现了工业应用,通过现场实际测量,智能剥离单元的剥离刀具组件双向运行速度曲线平滑,对称性高,两侧剥离刀具组件的速度差小于1%,极大增加了智能剥离单元剥离作业的稳定性。

通过计算机仿真和现场试验可见,基于单神经元控制算法的剥离过程液压控制系统所具有的机器学习参数优化能力,表现出良好的作业自适应性

能,克服了系统运行过程中非线性因素和扰动的影响,增强了控制系统的鲁棒性,极大改善了智能剥离单元的动态性能。

### 【参考文献】

- [1] 郭娟,崔荣国,周起忠,等. 2023年中国矿产资源形势回顾与展望[J]. 中国矿业, 2024,33(1):12-19.
- [2] 王成彦,陈永强. 中国铅锌冶金技术状况及发展趋势: 锌冶金[J]. 有色金属科学与工程, 2017,8(1):1-7.
- [3] 梅光贵,王德润,周敬元,等. 湿法炼锌学[M]. 长沙:中南大学出版社, 2001.
- [4] 王繁滨. 锌和剥锌机[J]. 金属世界, 1996(4):13.
- [5] 陈德华,郭鑫. 锌电解自动剥板机在云南某冶炼厂的应用[J]. 矿冶, 2019,28(3):94-97.
- [6] 罗涛. 大极板电积锌技术和设备的发展[J]. 世界有色金属, 2019(18):41-44.
- [7] 殷兆奎,石峰. 阴极板间距调整装置的设计[J]. 机械制造, 2018, 56(10):71-74,82.
- [8] 王占林. 近代液压控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005:1-5.
- [9] 吴振顺. 液压控制系统[M]. 北京:高等教育出版社, 2008.
- [10] 张志国,姜智,王勇,等. 智能剥锌机锌片剥离过程建模及瞬态动力学分析[J]. 有色设备, 2022, 36(2):28-32,40.
- [11] 李恒通,郭鑫,姜勇,等. 电沉积金属的剥离系统: CN201510209412.0[P]. 2017-05-24.
- [12] 石峰,顾洪枢,段辰玥. 阴极铝板剥锌主刀: CN201320110969.5[P]. 2013-08-14.
- [13] 李强,范凌霄,刘利敏,等. 单神经元控制器在剥锌机主剥离过程控制的应用研究[J]. 中国矿业, 2023, 32(S1):267-271.
- [14] 闫育斌,杜学海,纪德良,田静. 铜电解剥片机组机器人阴极板出板抓手改进设计[J]. 有色矿冶, 2022, 38(6):41-43.
- [15] 尤向阳. 电解铜剥片工业机器人控制系统设计[J]. 有色冶金节能, 2020,36(5):57-59,71.
- [16] 张元清,张元生,吕潇,等. 基于智能减阻策略的地下铲运机自动铲装控制研究[J]. 矿业研究与开发, 2024,44(1):183-189.
- [17] 曹钦,吴杰,宋端阳. 基于AMESim对液压控制系统优化改进的应用[J]. 山西冶金, 2023,46(2):173-175,192.
- [18] 邬喜春,陈亮. 基于数字化矿山平台的智能配矿系统研究[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2023(6):80-83.

# Model constructing and simulation analysis of the stripping process hydraulic control system of intelligent zinc stripping system based on SIMULINK

HONG Wu<sup>1</sup>, ZHANG Wenliang<sup>1</sup>, YANG Chen<sup>1</sup>, HE Jigao<sup>1</sup>, GAO Zeyu<sup>2</sup>

(1. Yunnan Jinding Zinc Industry Co., Ltd., Lanping 671401, China;

2. BGRIMM Machinery and Automation Technology Co., Ltd., Beijing 100160, China)

**Abstract:** In the field of zinc hydrometallurgy, the intelligent stripping unit is the core equipment of the intelligent stripping system. It used to strip the electrodeposited metal zinc sheets on the cathode aluminum plate. This article takes the intelligent stripping unit of the new generation BKAS-32 intelligent zinc stripping system developed by BGRIMM as the research object. Based on the characteristics of asymmetric hydraulic cylinder control system, a mathematical model of the electro-hydraulic proportional valve control hydraulic system is established. A hydraulic control system model for the stripping process based on the single neuron control algorithm is designed and simulated. By comparing the simulation results with the traditional PID control system, the superiority of the single neuron control system performance for the stripping process is demonstrated. After on-site application, it has been shown that the bidirectional running speed curve of the stripping tool of the intelligent stripping unit which using the single neuron control algorithm is more smooth. This intelligent stripping unit also has the higher symmetry. The speed difference between the stripping tool on both sides is less than 1%. The single neuron control algorithm greatly increasing the stability of the stripping operation of the intelligent stripping unit.

**Key words:** intelligent stripping unit; asymmetric hydraulic cylinder; single neuron control; PID; simulation ▲

---

## 敬告读者

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况。本刊开通由中国知网提供的“腾云”网络采编系统,作者投稿请注册并登录本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作,网址 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。注册登录后可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

本刊文章数字版可在中国知网(<http://www.cnki.net>)、万方数据知识服务平台(<https://www.wanfang-data.com.cn/>)、维普网(<http://www.cqvip.com/>)下载使用。本刊从未委托任何单位或个人组稿或代收、代转稿件,作者咨询投稿事宜请拨打编辑部办公电话 010-63936591、63933053 联系。

《有色设备》编辑部