

# 刮板输送机链条张紧自动控制系统研究与应用

曹 瑞 (霍州煤电集团河津杜家沟煤业有限责任公司, 山西 临汾 041000)

**摘要:** 针对煤矿刮板机链条松紧控制能力差, 调节张紧效果不佳的现状, 通过建立滑模算法应用到刮板机链条张紧系统中, 并分析其控制原理。通过对滑模控制滑模率的选择, 构造刮板机的传递函数并进行仿真。试验结果表明, 与传统PID控制算法相比, 采用滑模控制算法在张紧程度调节上延迟性小, 稳定性更好, 最终能够实现链条张紧稳定控制。

**关键词:** 滑膜控制; 链条张紧力; 传统PID; 跟踪性

刮板输送机作为煤炭井下运输的重要设备, 配合采煤机、液压支架共同工作, 完成煤炭从挖掘到输送的过程。随着国家基础建设的快速发展, 煤炭的需求大幅度增加, 对煤炭开采设备要求越来越高, 刮板输送机作为运输的主要设备在稳定性、效率上都有待提高。链条是刮板输送机的重要部件, 由煤炭运输量的不同, 链条会出现过紧或过松的状态。传统方式是由工人根据不同的状态手动调节链条的松紧。即使一些企业采用链条自动张紧设备, 也存在着稳定性差和可操作性性差。随着我国工业的高速发展, 不仅对煤炭的数量需要增加, 而且对煤炭的质量提出了更高的要求。

## 1 自动张紧控制系统模型

刮板输送机主要由机头、机尾、电源箱以及机头控制箱和机尾控制箱组成。由外接交流 127V 电源为电源箱供电, 电源箱通过整流电路输出 24V 电源, 供电给机头、机尾控制器。机头、机尾控制器是刮板机链条张紧调节的控制核心。机头控制器控制与其相连的启停传感器、压力传感器、位移传感器, 配合液压系统进行控制。启停传感器实时监测刮板机是否运行; 采用压力传感器对刮板机内部压力进行监测; 位移传感器检测链条给定位置与现有位置之间的差值, 综合多种传感器数据, 进行判断刮板机链条松紧是否在正常范围, 是否能正常工作。

## 2 自动张紧控制系统的工作原理

自动张紧控制系统的工作原理: 是根据控制系统上安全的压力传感器所采集的数据对伸出阀和收缩阀的运行进行判断。将液压泵站作为自动张紧控制系统的动力源, 伸出阀与收缩阀作为液压控制系统的执行机构, 通过液压缸的收缩和伸出进而控制伸缩机尾的收缩和伸出。与此同时, 为保证自动张紧控制安全稳定的运行, 在乳化液压力超过限值时, 减压阀介入运行达到减压的目的。

## 3 自动张紧控制系统设计

对刮板输送机进行智能化控制, 对刮板机链条系统构造数字模型, 应用滑模控制原理。一是根据刮板输送机张紧系统原理, 建立一阶动态滑模面, 构造滑模条件; 二是根据刮板机动态原理, 构造平滑的趋近律函数, 减少抖振。

本文选取滑模面函数为:

$$s = cx_1 + x_2 \quad (1)$$

该函数可以趋于稳定并保持。常见得趋近律有指数趋近律、幂次趋近律和等速趋近律等, 以上趋近律效果都存在不足。等速趋近律趋近时间较短, 但抖振频繁无法解决; 幂次趋近律抖振抑制比较好, 但趋近时间过长。

通过对刮板机链条运行机理的分析, 提出了一种变速

幂次趋近律, 缩短了传统幂次趋近律趋近时间长的问题, 使系统在减少抖振的同时快速达到滑模面。具体形式为:

$$\dot{s} = -k_1 |s|^\alpha \operatorname{sgn}(s) - k_2 |x_1| \operatorname{sgn}(s) \quad (2)$$

式中:

$$k_1 > 0; k_2 > 0; 0 < \alpha < 1$$

该趋近律通过采用将幂次趋近律与变速趋近律相结合的方式。当系统趋近滑模面时, 改变原有趋近律趋近的速率, 以更平滑的方式区进入滑模面, 结合了两者的优点。当系统远离滑模面时, 变速幂次趋近律既能保证抖振的减少, 又能快速到达稳态时间。

将(1)划分成两部分:

$$\dot{s}_1 = -k_1 |s|^\alpha \operatorname{sgn}(s) \quad (3)$$

$$\dot{s}_2 = -k_2 |x_1| \operatorname{sgn}(s) \quad (4)$$

对式(3)两边同时进行积分, 可以得到系统由初始状态  $s(0)$  到达滑模面的时间  $t_1$  为:

$$t_1 = \frac{|s(0)|^{1-\alpha}}{k_1(1-\alpha)} \quad (5)$$

对式(4)两边同时进行积分, 可以得到系统由初始状态  $s(0)$  到达滑模面的时间  $t_2$  为:

$$t_2 < \left| \frac{s(0)}{x_1(0)} - k_2 \right| \quad (6)$$

本文所选的趋近率到达滑模面所用的时间  $t_0$  为:

$$t_0 < t_1 + t_2 < \frac{|s(0)|^{1-\alpha}}{k_1(1-\alpha)} + \left| \frac{s(0)}{x_1(0)} - k_2 \right| \quad (7)$$

将式(2)进行离散化得到:

$$s(n+1) = s(n) - k_1 |s(n)|^\alpha \operatorname{sgn}(s(n)) - k_2 |x_1(n)| \operatorname{sgn}(s(n)) \quad (8)$$

当系统处于稳态时,  $\lim_{n \rightarrow \infty} s(n) = 0$ ,  $\lim_{n \rightarrow \infty} x_1(n) = 0$ 。根据式(2)计算出滑模控制器的实际输出, 通过与刮板输送机给定值相对比, 使刮板输送机无限接近于给定值, 使得刮板输送机动态调节链条张紧度。

## 4 仿真模拟研究

为验证优化改造后刮板输送机链条张紧自动控制系统的响应特性和稳定性, 采用 AMESim 软件对设计刮板输送机链条张紧自动控制系统的动态性能进行模拟仿真研究。采用模拟软件重点对液压系统的液压泵站、控制阀和液压缸等液压元器件进行建模。刮板输送机动态张紧装置系统结构如图 1 所示。

根据刮板输送机张紧系统性能指标参数对仿真模型中的参数进行设置, 分别对自动张紧装置液压控制系统液压缸伸出工况和收缩工况的性能进行仿真分析。

液压缸只有在无杆侧压力低于设定(下转第 117 页)

### 2.3 添加液相晶种试验步骤

S1401A 到加晶种时间时, 加入晶种罐中待用的液相晶种, 降温程序结束后, 晶浆下料到离心机进行固液分离, 直到全部下完, 在离心机下料管取样分析, 随机抽取 5 组数据。将 5 组数据值求平均值。分析结果如下表 1 所示。

表 1

| 添加方式   | 滤饼     |        |       |              |
|--------|--------|--------|-------|--------------|
|        | 均四甲苯   | 偏四甲苯   | 连四甲苯  | 瞬时振动值 (mm/s) |
| 固相添加晶种 | 83.96  | 9.57   | 0.5   | 4.442        |
|        | 83.82  | 10.58  | 0.55  | 4.246        |
|        | 82.48  | 11.34  | 0.65  | 4.850        |
|        | 84.18  | 9.07   | 0.51  | 4.039        |
|        | 83.77  | 10.87  | 0.58  | 4.384        |
| 平均值    | 83.642 | 10.286 | 0.558 | 4.392        |
| 液相添加晶种 | 85.95  | 9.31   | 0.26  | 3.447        |
|        | 84.12  | 10.67  | 0.39  | 4.052        |
|        | 85.39  | 9.77   | 0.33  | 3.846        |
|        | 85.32  | 9.64   | 0.54  | 3.855        |
|        | 84.17  | 10.56  | 0.65  | 4.657        |
| 平均值    | 84.99  | 9.99   | 0.434 | 4.052        |

通过实验数据可以得出: ①液相添加晶种滤饼中均四甲苯的平均值含量大于固相添加晶种, 液相晶种滤饼中偏

四甲苯和连四甲苯的平均含量小于固相晶种。说明整个结晶降温过程中, 结晶形成的均四甲苯小颗粒变大, 滤饼的透油性变好, 均四甲苯的收率有所上升; ②液相添加晶种离心机的平均振动值稍低于固相添加晶种; ③滤饼中均四甲苯含量越高, 对应的离心机振动越小。

### 3 结论

①液相添加晶种滤饼中均四甲苯的含量略大于固相, 说明均四甲苯小颗粒在晶核上生长较好, 滤饼透油性增强; ②液相添加晶种形成的浆液对离心机的振动减小, 说明形成滤饼的厚度均匀, 液相晶种的分散性较好, 不存在结块现象; ③添加液相晶种工艺完全可以代替添加固相晶种。

### 4 优点

①减少操作工工作量; ②降低员工患职业病风险; ③环境污染得到改善。

### 5 优化

①液相添加晶种试验系统液位计选用的是双法兰液位计, 试验过程中发现, 晶浆经常会把测量通道堵死, 造成测量结果失真。后期准备将双法兰液位计更换为沉筒液位计且远传到 DCS; ②试验过程添加晶种是通过手动控制球阀, 由于此阀操作频繁, 后期考虑更换为气动开关球阀且远传到 DCS。

### 参考文献:

[1] 舒畅, 沙喜江, 李世松, 等. 晶种添加对 MTG 重汽油中均四甲苯结晶影响研究 [J]. 当代化工, 2019(5):973-976.

(上接第 115 页) 压力值后才会进行伸出动作。因此, 设定液压缸无杆侧压力值为 0 时对活塞位移、活塞速度以及活塞推力三个参数进行仿真分析。仿真结果分析如下: 当液压缸无杆侧压力为 0 时, 液压缸迅速伸出, 即在仿真开始阶段活塞杆的速度在瞬间达到最大值, 最大活塞速度为 0.056s; 随着液压缸无杆侧压力的增加, 活塞杆的伸出速度呈线性减小趋势, 直到液压缸无杆侧压力值等于系统设定压力值时, 活塞杆的速度为 0, 历时 4.2s, 此时活塞杆的伸出位移为 0.1m, 最终液压缸无杆侧的压力稳定在 15.3MPa, 上述仿真结果满足系统要求。

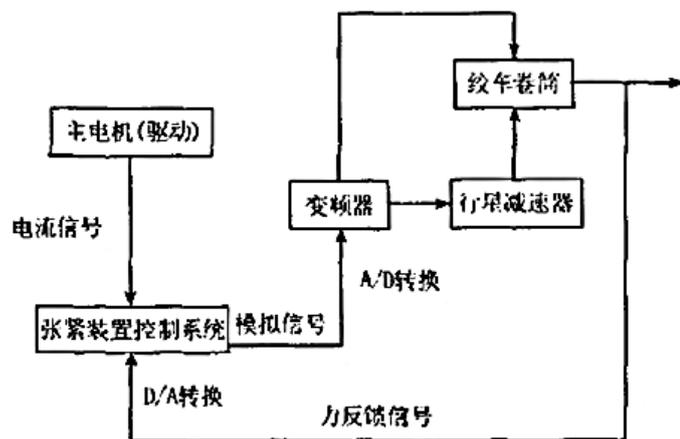


图 1 刮板输送机动态张紧装置系统结构

当控制系统的设定压力值小于液压缸无杆侧的压力时, 液压缸会进行收缩运行。此时将液压缸无杆侧的压力值设定为 20MPa, 同时对活塞位移、活塞速度以及活塞推力三个参数进行仿真分析可知, 在收缩工况下由于系统压力波动导致对系统造成冲击, 直接导致刮板输送机的链条张力产生较大浮动。为降低冲击, 在收缩工况下应适当降低活塞杆的运行速度、延长无杆侧的释压时间。

### 5 结论

刮板输送机作为空间综采工作面的主要机电设备, 担负着原煤运输的主要任务, 同时还是采煤机牵引的导轨, 保证刮板输送机的稳定运行非常重要。但是, 刮板输送机在实际运行工况下启动及载荷突变的情况下, 需及时的刮板输送机的链条张力进行调节。为此, 设计采用滑模控制算法在张紧程度调节上延迟性小, 稳定性更好, 能够很好的实现链条张紧稳定控制。特别是自动张紧装置具有响应速度快、张紧效果好的优点, 能够满足长距离、高带速、大运量综采工作面刮板输送机的技术要求, 实现对链条的动态张紧, 有效提升综采工作面采掘运输效率。

### 参考文献:

[1] 高志勇. 综采工作面刮板输送机监控系统研究 [J]. 机械工程与自动化, 2020(06):157-159.  
[2] 于忠厚. 刮板输送机链条自动张紧系统的研究与应用 [J]. 山西焦煤科技, 2014(12):18-20.