

文章编号:1671-251X(2024)S2-0183-04

# 矿用带式输送机防堆煤装置机械结构设计

霍建军

(国能神东煤炭集团有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017209)

**摘要:**针对矿用带式输送机进煤口胶带撕裂、跑偏导致堆煤现象产生的问题,设计了防堆煤装置,通过减少煤料对进煤口胶带的冲击,避免胶带失稳现象的出现。首先通过理论分析得出了煤料下落冲击力和胶带受力的作用机理;然后设计了防堆煤装置的机械结构和外壳包装,经过比较分析确定了装置零件的材料,通过液压驱动方式控制装置开口间隙角大小,采用 PID 算法控制装置结构运动方式;最后使用 Simulink 模拟防堆煤装置运动模式,采用有限元方法分析装置的力学特性。仿真结果表明,该装置整体的强度、刚度符合要求,能够有效避免煤料的堆积,具有一定的应用前景。

**关键词:**带式输送机;防堆煤;机械结构

中图分类号:TD528.1 文献标志码:A

Mechanical structure design of anti stacking coal device for mining belt conveyor

HUO Jianjun

(CHN Energy Shendong Coal Group Co., Ltd., Ordos 017209, China)

## 0 引言

矿用带式输送机是煤矿企业生产运输环节的关键设备,具有较强负载能力和长距离长时间运行的特性,使得其成为矿井或电站煤炭运输的首选设备<sup>[1]</sup>。矿井下环境复杂、工作条件恶劣,长时间远距离大负荷地工作会对带式输送机各部分工作的稳定性造成严重的影响,输送机胶带跑偏、撕裂等是经常发生的典型问题<sup>[2]</sup>。多级输送带运输系统中,由于前后级存在高度落差,运输煤料时,上级煤料由于速度和高度距离的原因,产生的动能和重力势能冲击在下级胶带的入口处,坚韧锋利的煤块割裂、磨损胶带,动能和重力势能的冲击导致胶带受力不均,胶带出现滑动、跑偏的现象,使得入口处煤料堆积<sup>[3]</sup>。设计一款安装在入煤口处防止堆煤的设备,能够有效减轻冲击带来的一系列胶带损坏问题,对于延长胶带使用寿命具有重要意义。

对于矿用输送带防堆煤设备及输送带煤料入口处防冲击结构,本文结合实际生产情况,通过理论分析和软件仿真,设计了一种集保护、监测、报警于一体的带式输送机防堆煤设备,并通过仿真实验验证了设备的性能,证明本设备能够在输送带不停机的情况下有效解决输送带进煤口煤料堆积的问题,减

轻煤流对胶带的冲击。

## 1 胶带受力分析

带式输送机在长距离运输煤矿时常采用多级连接的方式,前一级将煤料抛出,煤料沿抛物线方向落到后一级的胶带上。在实际生产运输工作中,由于上下级胶带速度差、机械故障、大煤块卡堵等原因,在下级的落煤点经常发生堆煤事故。堆煤如图 1 所示。

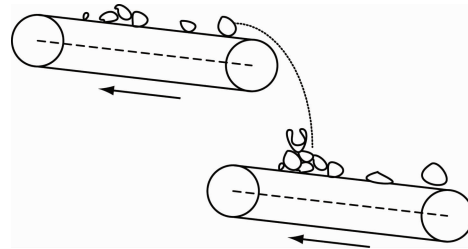


图 1 落煤点堆煤

假设带式输送机胶带工作段与水平面呈  $\alpha$  角度放置,煤料从上一级胶带持续落下,连续不断冲击力作用在下级胶带,胶带受到煤块冲击力如图 2 所示。图 2 中, $H$  为煤块在上级胶带下落点和下级胶带入口处重心的落距离, $V_0$  为胶带速度, $F$  为煤料对胶带竖直方向的冲击力, $V_1$  为冲击速度, $\beta$  为冲击速度与水平方向夹角。

收稿日期:2024-09-20;责任编辑:胡娟。

作者简介:霍建军(1985—),男,河北邢台人,高级工程师,研究方向为煤矿机电运输管理,E-mail:364488012@qq.com。

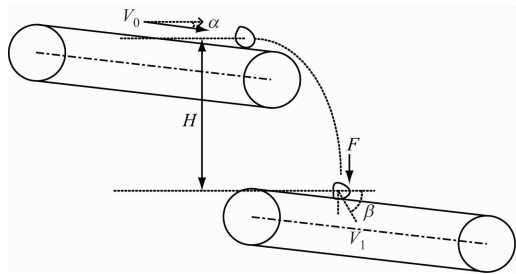


图 2 胶带受到煤块冲击力

煤块下落过程重力势能转换为动能, 竖直方向的速度  $V_s$  沿着抛物过程逐渐增大, 到达下一级胶带入口时为

$$V_s = \sqrt{V_0 \sin \alpha + 2gh} \quad (1)$$

由速度合成规则得到  $V_1$  为

$$V_1 = \sqrt{V_0^2 \cos^2 \alpha + V_s^2} \quad (2)$$

假设胶带每秒的运输量为  $M$ , 在时间  $\Delta t$  内, 下一级胶带上动量的变化为

$$\Delta I = \frac{M \Delta t}{g} V_s \quad (3)$$

由动能定量可知, 胶带承受的冲击力为

$$F = \frac{MV_s}{g} \quad (4)$$

设在时间  $\Delta t$  内, 下落煤料与胶带的接触面积为  $S$ , 煤料的堆重比为  $\tau$ , 则这段时间下落的煤料为

$$M = V_s S \tau \quad (5)$$

此时, 接触面积受到的力的大小为

$$F = \frac{V_s^2 S \tau}{g} \quad (6)$$

式中  $g$  为重力加速度。

最终煤流接触面单位面积承受应力为

$$F_s = \frac{F}{S} = \frac{V_1^2 \sin^2 \beta \tau}{g} \quad (7)$$

由式(7)可知, 胶带单位面积受到的煤流量冲击力与进入下一级胶带的竖直速度、堆重比有关, 应力值较小, 不会对胶带造成严重损伤, 常规情况下胶带能够在此冲击力下继续正常工作, 但是由于冲击力的作用, 各下落煤块之间会产生碰撞碎裂, 碎裂的煤块堆积出现堆煤现象, 对胶带造成另外伤害。在后续分析中将煤流视作刚体分析, 考虑极端状况下设计的装置是否满足要求。

## 2 防堆煤装置设计

### 2.1 机械结构设计

带式输送机胶带落煤点发生堆煤事故时, 落煤处由于煤矿的积累, 导致胶带划伤、跑偏、电机过载损坏等问题<sup>[4]</sup>。本文设计一款能够根据测量信息及时调整落入下一级煤矿量的设备, 在带式输送机运行时也能较好地消除堆煤效应的影响, 起到保护胶

带的作用。带式输送机防堆煤装置结构如图 3 所示。

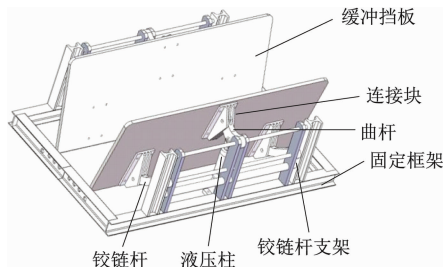


图 3 带式输送机防堆煤装置结构

防堆煤装置由机械部分、检测部分和控制系统组成。机械部分包括完成煤流量调节的缓冲挡板、连接块、液压柱、铰链杆、铰链支架和固定框架, 控制系统主要包括 PID 煤流调节策略和液压柱动作实现机构, 由传感器和工控机完成检测工作。

1) 缓冲挡板。缓冲挡板分为左右 2 块, 由连接块固定, 通过液压杆的伸缩调节 2 块板的倾斜角度, 调节开口的大小, 从而控制进入下一级胶带的煤流量, 此外缓冲挡板还具有减轻煤块撞击, 降低煤流对胶带的冲击作用。缓冲挡板的制造材料需要具备硬度高、耐磨的特性。

2) 连接块、曲杆和铰链杆。连接块一侧固定缓冲挡板, 另一侧与曲杆或者铰链杆连接, 曲杆连接液压杆。连接块、曲杆、铰链杆和缓冲挡板等价于四杆机构, 通过各部分力的传导作用, 调节每根杆的角度, 实现缓冲挡板开口大小的调节。考虑到煤流的重力和四杆机构自身的阻力, 曲杆上需要较大的驱动力才能保证动作的正常实现。

3) 液压缸。液压缸分布在防堆煤装置的左右两侧, 底部固定于固定框架, 液压杆与曲杆相连, 通过曲杆的伸缩带动缓冲挡板角度的调节, 作为装置的动力源, 液压缸具有负载能力强、工作稳定、抗腐蚀性等优点。

4) 铰链杆支架和固定框架。单侧铰链杆支架共有 3 条, 均匀固定在固定框架, 3 条铰链杆支架之间用 3 根横梁固定。固定框架横梁上有多处螺栓孔, 使用螺栓与输送机连接, 用于固定整个防堆煤装置。

综合考虑防堆煤设备的预期效果、工作场景和结构设计需要承受的冲击、摩擦和腐蚀影响, 确定了装置主要零件的尺寸、材料参数, 装置主要零件的尺寸、材料参数见表 1。

### 2.2 工作原理

装置工作原理是通过 2 根液压柱实时动态的推拉, 及时调整 2 张缓冲挡板的倾斜角度, 形成一个合适的开口间隙, 维持落到下级输送带上的煤流量稳

表 1 装置主要零件的尺寸、材料参数

| 零部件名称 | 尺寸/mm          | 材料        | 数量/个 |
|-------|----------------|-----------|------|
| 缓冲挡板  | 2100×980×18    | 45 号钢     | 2    |
| 连接块   | 460×150×60     | 45 号钢     | 6    |
| 曲杆    | 265×110×50     | 45 号钢     | 2    |
| 铰链杆   | 410×80×50      | 45 号钢     | 4    |
| 铰链杆支架 | 880×90×1 880   | Q235B 低碳钢 | 4    |
| 固定框架  | 2 660×1 580×80 | Q235B 低碳钢 | 1    |

定,既不会出现因上级输送机煤流量大导致下级的堆煤现象,也不会出现开口间隙小导致的煤块卡在间隙口的问题。利用检测部分得到下一级接收到的煤量,通过负反馈将信息传递至控制决策系统,控制系统及时调整胶带速度,使得胶带上的煤流均匀有序分布,实现在开车的过程中煤量自动调节,避免出现停机调节的情况,提高工作效率。

2.3 运动控制策略

缓冲挡板的倾斜角度通过液压杆的伸缩调节,液压杆的伸缩通过液压阀控制液压柱里面的油压实现,工程中常采用电磁比例阀、控制器、液压缸和压力传感器组成负反馈式液压运动控制系统,实现防堆煤装置的运动控制。运动控制系统动作流程如图 4 所示。

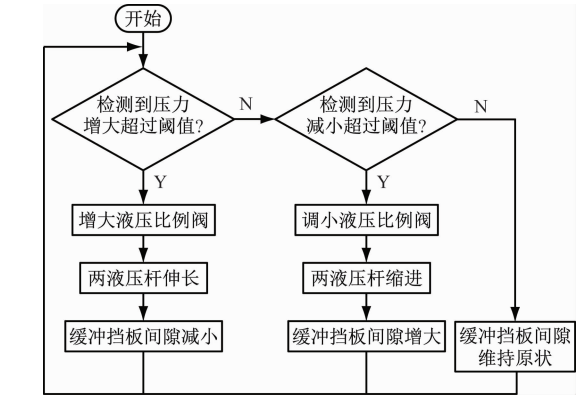


图 4 运动控制系统动作流程

系统上电开机以后,安装在下一级胶带落煤点处的压力传感器将信号反馈至运动控制系统,通过计算得到当前值压力与预设压力值的变化情况,胶带正常运输煤矿时压力值稳定,压力基本没有变化,缓冲挡板倾斜角度维持原状,当压力值增大时,说明堆煤情况出现,需要增大液压调节阀的开度,使液压杆伸长,减小缓冲挡板的间隙,减少落煤量;当压力

值减小时,缓冲挡板处可能出现卡煤的问题,需要减小液压阀开度,增大缓冲挡板的间隙,增大落煤量,缓解缓冲挡板上煤流的压力。

3 防堆煤装置仿真结果与分析

3.1 PID 运动控制策略仿真分析

根据液压缸活塞面积、压力、油量容积等参数,得到液压杆位移闭环传递函数:

$$G(s) = \frac{4.562}{0.001s^4 + 0.0023s^3 + 10.123s^2 + 0.8s + 0.126}$$

(8)

搭建了 PID 闭环控制仿真模型,在 Simulink 环境中进行位移运动仿真,如图 5 所示。

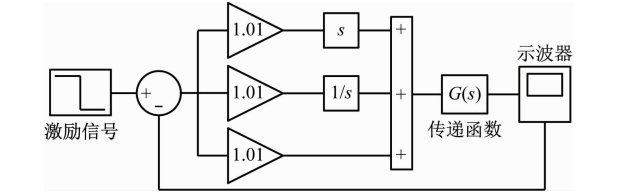


图 5 PID 闭环控制仿真模型

模型输入单位阶跃信号,前段增益设置为1.01,加入 1 个积分、1 个微分环节,仿真响应曲线如图 6 所示。由图 6 可得,系统的响应时间短,约为 1 s,超调量较小,收敛速度快,能够满足防堆煤装置频繁调节缓冲挡板对于调节时间和调节过程稳定性的要求。

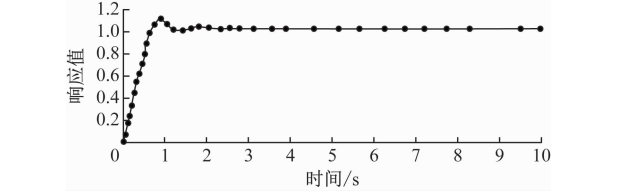


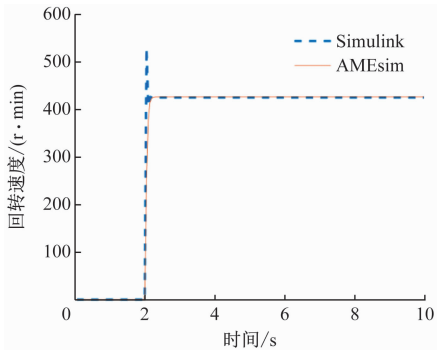
图 6 响应曲线

3.2 力学特性分析

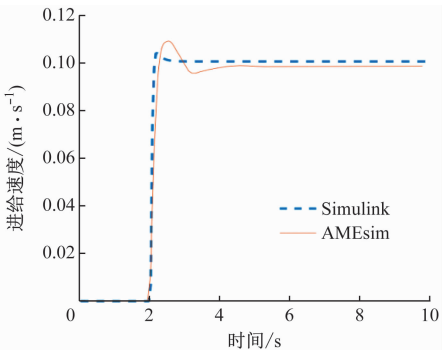
采用有限元分析法对防堆煤设备强度、刚度性能进行分析。将防堆煤设备结构简化等效为 4 杆结构,建立力学模型,在 Workbench 中导入模型数据,设置约束条件,添加载荷,得到仿真结果。缓冲挡板工作过程与水平面会形成 2 个极限夹角,分别为开口间隙达到最大和最小时的 52°和 78°,对这 2 种极限情况进行仿真分析,判断防堆煤设备整体性能能否满足设计要求。仿真结果统计结果见表 2。

表 2 仿真结果统计

| 开口间隙/(°) | 最大应力/MPa | 最大应力出现结构        | 最大形变量/mm | 最大形变量出现结构   |
|----------|----------|-----------------|----------|-------------|
| 52       | 200.14   | 液压柱推杆顶部         | 0.256 7  | 连接块与缓冲挡板连接处 |
| 78       | 45.12    | 中间铰链杆支架与固定框架连接处 | 0.200 1  | 缓冲挡板上部      |



(a) 回转速度跟踪曲线



(b) 给进速度跟踪曲线

图 6 速度跟踪曲线

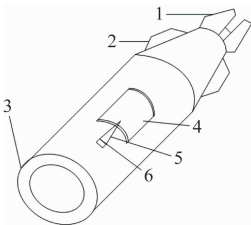
助钻头的前端通过灵活的铰链与装配槽侧壁相连，后端通过液压囊袋与槽底相接，这种设计使得辅助钻头能够根据实际需要调整角度与位置，其后端甚至可伸出至钻进段外侧长达其自身长度的 90%，增强了扩孔效果。液压囊袋系统是钻孔的核心之一，它通过调压控制阀与导流支管网络紧密相连，整个系统被嵌入导向段内部，调压阀能够精确调节液压囊袋的压力，从而控制辅助钻头的伸出程度与力度。各导流支管最终汇聚于连接管头，该管头位于导向段的后端面，便于与外部液压系统或控制装置快速对接，实现高效、稳定的钻进扩孔作业。

(上接第 185 页)

由表 2 可得，2 种极限情况下堆煤装置结构受到最大应力和最大形变量分别为 200.14 MPa 和 0.256 7 mm，应力小于材料安全应力，形变量较小，不会影响装置的正常工作，设备的强度和刚度符合设计要求。

4 结语

针对带式输送机上级高速落煤冲击下级胶带，导致胶带划伤、跑偏出现堆煤现象的问题，设计了一种在不停机状态下通过调节落煤量有效解决堆煤问题的装置。对设计装置的结构、工作原理、运动控制方式做了具体分析，并做了力学特性分析，证明系统运动的稳定性和设备整体的刚度和强度符合设计要求。本文模型仿真中使用了简化模型，后续研究中



1—主钻头；2—辅助钻头组件；3—承载基柱；4—液压囊袋系统；5—导流支管；6—调压控制阀。

图 7 钻孔结构

4 结语

通过对防冲钻孔机器人钻进系统的深入研究，构建了液压控制系统的数学模型，并提出了给进和回转速度的协同控制策略。实验结果表明，该协同控制策略能有效控制速度稳态误差，显著提升作业精度与稳定性。同时，与速度控制策略相匹配的钻孔结构设计进一步增强了液压控制系统的安全性和效率。

参考文献：

[1] 覃展斌,陈飞飞,金波,等.电液比例阀阀心位置控制 PID 自整定方法[J].浙江大学学报(工学版),2015,49(8):1503-1508,1528.  
[2] 赵怡麟,游有鹏,杨雪峰.数控折弯机电液比例控制技术的研究[J].机床与液压,2020,48(23):75-80.  
[3] 汪亮培,彭天好.基于单神经元 PID 控制的电液比例调高系统研究[J].煤炭工程,2019,51(1):130-134.  
[4] 常江华.BP 神经网络算法在智能钻进控制系统中的应用[J].煤矿机械,2020,41(5):188-191.  
[5] 姚文龙,亓冠华,池荣虎,等.具有未知负载扰动的水井钻机电液伺服系统无模型自适应控制[J].控制理论与应用,2022,39(2):231-240.  
[6] 谢帅,李群明,黄毅,等.岩心取样钻机的动力头转速自适应控制[J].机械工程师,2021(9):20-22.

需要结合井下工作实际情况，对简化模型进一步补充优化，使其更加贴合实际。

参考文献：

[1] 郭勇.带式输送机前置防堆煤机械系统设计研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2023.  
[2] 孟庆灵,杨志强,王瑞.矿用带式输送机安全保护装置应用实例分析[J].晋控科学技术,2023(5):41-44,48.  
[3] 刘晓鹏.煤矿井下带式输送机保护的重要性[J].机械管理开发,2021,36(11):309-310,331.  
[4] 刘远富,黄俊程,张国光.综合原料场胶带输送机故障原因分析及控制措施[J].仪器仪表用户,2024,31(2):65-67.  
[5] 高冶,李标.煤矿用带式输送机保护装置设计研究[J].煤矿机械,2023,44(12):8-11.