

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)04-0029-06

煤矿综采设备地面检修工作面综合自动化控制技术

高冬霞

(国家能源集团神东煤炭集团设备维修中心,陕西 榆林 715315)

摘要:煤矿综采设备的故障模式多样,且在时域信号中表现为不同频率分量的组合,使得信号变得非常复杂。当前的信号处理方法难以有效分离这些频率分量,导致难以准确识别故障类型和程度,使得煤矿综采设备地面检修工作面控制技术存在综合控制参量偏差大、自动化程度偏低等问题。为此,提出全新的综合自动化控制技术。首先,通过采集煤矿综采设备地面检修工作面的动力信息,包括设备正常运行与潜在问题数据,并将其转化为动力信息;其次,采用经验模态分解法处理综采设备故障状态下的时域信号,将信号分解为固有模态函数以分析故障特征,采用低通滤波技术处理信号,提高故障特征提取的准确性;再次,建立综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型,对采集的信息进行滤波处理,提取出有效的控制信号;最后,利用综合控制下的自动化控制特征算子计算,确定优化参量的特征算子。经过对比测试,证明该技术性能卓越,控制效果稳定,有望在煤矿行业中得到广泛应用与推广。

关键词:综采设备;地面检修;综合控制;自动化控制;煤矿;故障识别

中图分类号: TP273; TN773

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)04-0029-06

Comprehensive automatic control technology of ground maintenance working face of coal mine fully mechanized mining equipment

GAO Dongxia

(Shendong Equipment Maintenance Center of National Energy Group, Yulin 715315, Shanxi, China)

Abstract: The traditional control technology for ground maintenance of coal mine comprehensive mining equipment has problems such as large deviation in comprehensive control parameters and low automation level. Therefore, this article proposes a new comprehensive automation control technology. Firstly, by collecting power information from the ground maintenance working face of coal mine comprehensive mining equipment, including data on normal operation and potential problems of the equipment, and converts it into power information; Secondly, it establishes a comprehensive control filtering model for the ground maintenance working face of fully mechanized mining equipment, filters and processes the collected information, and extracts effective control signals. Once again, it uses the automated control feature operator under comprehensive control to calculate and determine the feature operator for optimizing parameters. After comparative testing, it is proven that this technology has excellent performance and stable control effects, and is expected to be widely applied and promoted in the coal mining industry.

Keywords: fully mechanized mining equipment; ground maintenance; comprehensive control; automatic control; coal; fault identification

综采设备运行过程中,由于工作环境的复杂性和设备的长期运行,常常会出现各种故障,严重影响煤炭生产的安全和效率。为了及时发现和排除故障,传统的监测方法大多依赖于人工巡检和定期维护,但这种方法不仅效率低下,而且容易漏检和误判。

近年来相关研究人员及学者提出了多种地面检修工作面控制技术与方法,来提升检修效率与准确性。其中,以文献[1-2]两种方法应用最为广泛,两种方法均属于电气设备故障检测方法,因此都不同程度地存在噪声扰动带来的自动化影响问题。究其原因,是由于这两种方法在采集和处理设备故障信号时,常常受到工作环境中噪声的干

扰。噪声可能来自于机械部件的摩擦、电磁干扰、电源波动等多种因素,这些因素产生的噪声信号会与设备故障信号混合在一起,导致故障信号的识别和提取变得困难。为了解决这个问题,Ren等^[3]提出了薄煤层综采工作面智能化开采成套系统研究方法,通过实际矿井或模拟实验,验证系统的有效性,对开采效率、安全性等指标进行评估。Zhi等^[4]提出了煤矿综采工作面自动控制系统的设计与应用的方法,介绍如何实现工作面的自动控制,包括传感器数据的采集与处理、控制指令的生成与执行等。以上两种解决方案,从实际使用效果来看,确实能够有效减少扰动,提升控制准确度,但是从我国煤矿综采设备结构与维

收稿日期:2024-12-27;录用日期:2025-01-17

基金项目:陕西省国家能源科技创新项目(201991548010)

作者简介:高冬霞(1987—),女,工程师,研究方向:机械工程。

引用本文:高冬霞. 煤矿综采设备地面检修工作面综合自动化控制技术[J]. 自动化技术与应用, 2026,45(4):29-34. (GAO Dongxia. Comprehensive automatic control technology of ground maintenance working face of coal mine fully mechanized mining equipment[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(4):29-34.)

修技术特征来看,其实用性较差。因此,有必要提出一种,高效、稳定、适用性强的综合自动化控制技术。

1 综合控制自动化技术研究

1.1 动力信息采集

为了实现对地面检修工作面综合信息的精准控制,首先需要对综采设备在作业状态下的动力参数进行重新采集和量化。根据综采设备的运行状态及其故障检修特征参量,以获取更为精确的检修工作面动力信息。通过分析综采设备液压结构与控制电路之间的关联,构建控制回路动力学模型,将液压状态信号与检修工作面动力控制新信号统一转换为电信号,从而实现对综采设备地面检修工作面动力信息的高精度采集,具体计算如下。

设综采设备液压系统中电磁控制前置推力场 F_M 的计算公式为

$$F_M = K_1 I + K_y x_T \quad (1)$$

式中, K_1 代表综采设备作业状态下控制电磁阀所对应电流值的增益; I 代表综采设备正常运行中的电流值; x_T 代表综采设备各控制单元的位移总量; K_y 代表综采设备各控制单元的位移增益。

基于长期的经验积累,发现综采设备在检修状态下,其故障点参数与检修工作面的控制参数具有高度相似性。这一相似性为一条重要线索,即检修工作面的动力信息可以转化为综采设备检修故障参数的采集问题^[5-6]。深入研究综采设备的液压系统,特别是阀控缸结构,可以从中提取关键的故障参数。

为确保综采设备的正常运行,需要仔细判断其运动方向的一致性,并在过程中精确采集动力参数。当液压结构单元的双向动作与动态动作完美匹配时,代表综采设备液压系统处于正常状态。若出现不一致的情况,需立即对阀控缸在当前运动状态下的油温变化与响应能力进行综合分析。

为了更精确地评估液压系统的健康状况,利用式(2)对阀控缸的连接状态进行判断。

$$Q_A = C_d \theta x_v \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_s - p_A)} \quad (2)$$

式中, C_d 代表当前综采设备判定液压单元下阀控缸端口的流量系数; θ 代表综采设备滑阀弹性模量; x_v 代表阀芯动力位移信息; ρ 代表故障状态下问题单元缸体内的液压油密度; p_s 代表故障状态下供油压力所对应的动力信息; p_A 代表故障状态下回油压力所对应的动力信息。

完成上述流量信息计算采集后,根据信息中综采设备液压系统单元的节流流量变化,判断对应故障单元中活塞在缸体的位置,结合当前对应阀控缸内液压油体积,可得到综采设备故障位置点液压系统活塞的动力平衡方程为

$$\bar{A}(p_s - p_A) = \bar{A}p_L = m_c \frac{d^2 z}{dt^2} + B_c \frac{dz}{dt} + Kz + F_L \quad (3)$$

式中, \bar{A} 代表活塞的受压有效面积; L 代表负载; p_L 代表综采设备中阀控缸的压力差; d 表示微分; m_c 代表综采设备

故障活塞的动力负载的质量总值; z 代表综采设备活塞的位移参数; t 代表时间; B_c 代表综采设备故障状态下活塞的动力黏性阻尼的综合指标量; c 代表活塞; K 代表综采设备故障状态下活塞负载与控制电路之间的信号转换量; F_L 代表综采设备故障点的动力负载外力参数。

对上述计算参量进行综合整理,可以得到综采设备故障状态下的时域信号,对其进行采集分析。

根据动力学模型可知,将上述参数导入模型后,在综采设备时序信号原始状态的基础上,对其故障点特征信息中关联时序信号部分^[7-8]进行特征提取,该部分时序信号特征包括故障样本均值 μ_i (综采设备地面检修工作面目标参数)与方差 σ_i (综采设备地面检修工作面控制信号转换参数),其对应关系函数分别为

$$\mu_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4)$$

$$\sigma_i = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_i)^2 \quad (5)$$

式中, N 代表综采设备地面检修工作面目标时序信号的原始采样时间步长; x_i 代表综采设备地面检修工作面时域信号转换的特征系数。

在设备故障状态下,时域信号往往包含丰富的特征信息,但同时也伴随着各种噪声扰动。因此,需要采取有效的方法对这些信号进行处理,以提取出有用的故障特征信息。通过传感器网络实时采集综采设备在故障状态下的时域信号,这些信号可能包含多个频率分量,每个分量都可能对应不同的故障模式或故障程度。

为了分析这些信号,本文采用经验模态分解(empirical mode decomposition, EMD)方法,将时域信号转换为频域或模态域进行分析。EMD方法能够将一个复杂的信号分解为若干个固有模态函数(intrinsic mode function, IMF),每个IMF都包含了信号中不同频率成分的信息。通过分析这些IMF,可以了解信号中各个频率分量的特征。假设通过传感器采集到的原始时域信号为 $x(t)$,通过EMD分解,将 $x(t)$ 分解为若干个IMF和一个余项,该过程可表示为

$$x(t) = \sum_{i=1}^n \text{IMF}_i(t) + r(t) \quad (6)$$

式中, $\text{IMF}_i(t)$ 代表第 i 个固有模态函数; $r(t)$ 代表余项。

然而,由于采集过程中不可避免地存在噪声扰动,直接分析这些原始信号可能会导致结果不准确,因此本文采用低通滤波技术来降低噪声的影响。假设滤波后的信号为 $\tilde{x}(t)$,滤波器的传递函数可以表示为 $H(f)$,其中 f 表示频率,则滤波后的信号可以通过以下公式计算得到。

$$\tilde{x}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau \quad (7)$$

式中, $h(t)$ 代表滤波器的冲激响应。

在频域中,滤波过程可以表示为

$$\tilde{X}(f) = X(f) \cdot H(f) \quad (8)$$

式中, $X(f)$ 和 $\tilde{X}(f)$ 分别代表原始信号和滤波后信号的频

谱。经过上述滤波处理之后,可以得到更为精准的采集信息,这些信息可以用于后续的故障诊断和预测维护中。

1.2 建立综合控制滤波模型

在完成信息的精细采集后,根据每条信息的特征属性,特别是与工作面控制参量相关的部分,进行了深入的分析。其中涉及到的控制信号的处理显得尤为关键。为了确保信号的纯净与准确,基于信号控制滤波技术,为每一个控制信号建立了专属的滤波单元,在此基础上,为了更好地整合与利用这些信号,对滤波后的全局参量进行了细致的综合化处理。建立一个全面、高效且精准的综采滤波模型。该模型不仅囊括了上述所有步骤,还融入了更多的优化措施和技术细节。具体如下。

将综采设备地面检修工作面综合控制损耗指标范围设定为 S_e 。假设 h_1 与 h_2 分别代表综采设备地面检修工作面工作过程中各控制单元分量之间的最小控制量和最大控制量。 h_{max} 代表单向控制最大实际分布系数, t_m 代表分布位置间的距离,其函数关系式可以描述为

$$h_1 = \frac{H_e t_e}{\pi D \tan \varphi} \quad (9)$$

$$h_2 = \frac{H_e t}{\pi D} \left(\frac{mn \times mh_{max}}{m \times v_q} - \frac{nt_e}{\tan \varphi} \right) \delta \quad (10)$$

式中, H_e 代表综采设备控制在单位周期内的数据控制量, D 代表综合控制参量类, φ 代表数据综合处理过程中信号滤波混合角度, m 代表每一控制单元所对应数据的滤波系数, n 代表滤波次数, v_q 代表综采设备地面检修工作面的综合控制量更新速度, δ 代表分布系数。

考虑到检修过程中综采设备的控制能量较低,此时工作面综合控制能耗较低^[9-10],根据上述动力模型中信号特征,可得到综合控制信号滤波后的影响效果为

$$H_w = \frac{K_w A n m}{n m b + 1000 v_q \tan \varphi} \times 10^{-3} \quad (11)$$

式中, H_w 代表控制信号综合滤波能耗的数值; K_w 代表部分信号在滤波过程中的切削校正系数; A 代表综采设备地面检修工作面综合处理信号的功率值; b 代表部分信号滤波过程中切削作用下信号的边缘宽度。

综采设备地面检修工作面单位时间下的综合处理效率可通过式(12)计算得到。

$$Q = EHL\rho v_q \quad (12)$$

式中, Q 代表综采设备地面检修工作面单位时间下的综合处理效率; E 代表单位时间内滤波处理过程的常数量,根据总体经验,该量取值系数为 50^[11-12]; H 代表控制信号综合处理过程中低通滤波尺度; L_e 代表扰动噪声信号滤波过程中的切割深度; ρ 代表信号综合处理后的信号密度。

定义综采设备地面检修工作面综合控制信号处理峰值上限为 $D_{Y,max}$, 下限为 $D_{Y,min}$, 均值为 $D_{Y,data}$ 。

定义综合控制信号低通滤波过程中的偏差上限为 G_{max} , 下限为 G_{min} , 均值为 G_{data} 。最后输出综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型,其流程如图 1 所示。

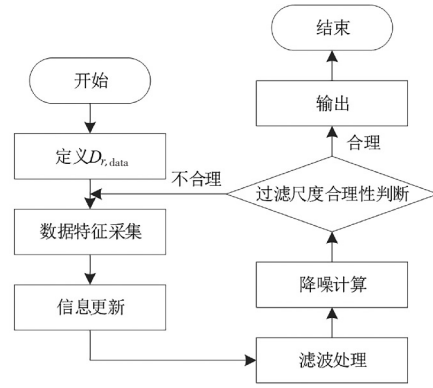


图 1 综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型流程图

Fig. 1 Flowchart of integrated control filtering model of fully mechanized mining equipment ground maintenance working face

1.3 信号的特征提取与参数优化

鉴于综合控制过程中各控制参量之间特性独立,实则涉及对多组件特征进行平衡关联的调控过程。在此过程中,各类属性参量均呈变量状态,并遵循特定关联规则排列。基于上述特性,可将综合控制下的变量依据自动化控制算法,视为控制特征算子。进而运用 SIFT(尺度不变特征变换)匹配算法,对控制目标区域进行检测^[13-14]。

通过在 SIFT 中使用 DoG 对 LoG 进行近似。其中 DoG 为自动化控制信号的高斯函数差分结果,LoG 为综合信号滤波后高斯函数的拉普拉斯变换。在综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型中使用盒子滤波器对 LoG 进行近似,得到积分信号特征。在综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型中,采用 Hessian 矩阵以提取自动化控制特征样本。首先,在综采工作面构建 Hessian 矩阵,以获得稳定的边缘控制样本量。设一组样本特征描述为 $f(x, y)$, 则该样本特征中某个控制点的 Hessian 矩阵可表示为

$$H(f(x, y)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Hessian 矩阵构建前需模型中样本进行高斯滤波,以此提升前者低通滤波后的信号维度,经过高斯滤波后得到 Hessian 矩阵式为

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{yx}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (14)$$

为了实现信号平滑的目标,综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型对信号处理过程进行了深入研究。首先,通过特定的矩阵运算,综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型获取到了一个多信号综合过滤器处理的信号。这并非传统的高斯滤波器优化结果,两者之间存在显著差异。多信号综合过滤器处理后的信号中,多出了一组高斯信号,这在处理复杂信号时可能会导致非预期的结果^[15]。

在综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型的深入分析中,综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型发现这组额外的高斯信号在信号中显得尤为突出,这无疑增加了信号处理的复杂性。为了消除这种影响,综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型决定采用高斯方差计算的方法来对信号进行进一步的调整和处理。通过精确计算和调整高斯方差,综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型可以确保信号的平滑度,达到理想的处理效果。高斯方差计算公式为

$$h(a) = k^{-1}(a) \iint_{-\infty}^{\infty} f(\xi) c(\xi, a) s(f(\xi), f(a)) d\xi \quad (15)$$

其中, $f(a)$ 代表输入信号矩阵数据, $h(a)$ 代表输出信号数据, $s(f(\xi), f(a))$ 代表高斯过滤半径为 a 与其相邻关联信号的特征相似度, $c(\xi, a)$ 代表高斯过滤半径为 a 与其相邻信号特征为 ξ 单元信号分量的特征相似度。 k^{-1} 代表归一化处理系数,与目标信号矩阵 f 呈正相关^[16]。

按照上述优化参量配置,综采设备地面检修工作面综合控制滤波模型采用多信号综合过滤器,并用 D_{xx}^s 、 D_{yy}^s 与 D_{xy}^s 替换原始 Hessian 矩阵中的 L_{xx} 、 L_{yy} 与 L_{xy} , 则可实现对 Hessian 矩阵判别式的简化,简化后的关系式为

$$\text{Det } H_{\text{approx}} = D_{xx}^s D_{yy}^s - (\omega D_{xy}^s)^2 \quad (16)$$

其中, ω 代表空项补位矢量,在提出计算中,采用交叉验证方法确定 ω 的具体系数值。

鉴于滤波后的信号在自动化控制空间维度上的提升,随着更高维度信号空间的拓展,自动化综合控制信号偏差的产生概率相应增大。为确保控制精度,需对综合自动化控制的精准度加以限制。根据综合控制信号的非极大值抑制法,将已知的控制信号分量与高维度信号空间中邻域的 6 个信号特征点进行比较,接着与原始维度信号空间的各自 7 个信号特征点进行比较,如图 2 所示。最后,针对平衡特征点对应的信号分量,进行 3 次线性插值计算,从而获得稳定的综合自动化控制信号优化参数。

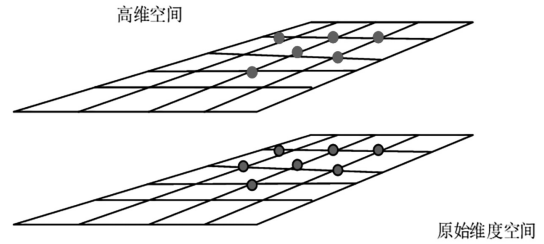


图 2 信号分量特征点比较

Fig. 2 Comparison of characteristic points of signal components

1.4 综合控制

应根据上述计算所得的综合控制信号处理峰值和自动化控制分量数据,运用自动化控制技术,对综采设备地面检修工作面的精准度进行动态优化。基本的优化规则如下:

- 1) 若采集到的综合控制信号处理峰值低于规定的最小限值,则表明综合控制信号处理峰值较低,自动化控制程度较高,此时可以保持综采设备地面检修工作面当前控制参量的精准度。
- 2) 若得到的自动化控制分量值低于规定的限值,则说明当前自动化控制分量超过限值,应提高综采设备地面检修工作面的自动化控制精准度或抑制综采设备地面检修工作面的自动化控制参量。
- 3) 若得到的自动化控制分量值超过最小限度,则应提高综采设备地面检修工作面当前控制参量的精准度。
- 4) 若得到的自动化控制分量值为 $[G_{\min}, G_{\max}]$,则可以保持综采设备地面检修工作面当前控制参量的精准度。

基于动力信息与自动化控制分量计算所得的综合数据,综采设备地面检修工作面的精准度控制效果如表 1 所示。

基于上述研究成果,对煤矿综采设备地面检修工作面的自动化控制精度参数进行了更新,并将全工况综合控制信号处理结果与自动化控制分量数据传输至终极液压信号自动化控制器,从而实现了煤矿综采设备地面检修工作面的综合自动化控制。

表 1 综采设备地面检修工作面综合自动化控制参量

Tab. 1 Comprehensive automation control parameters of fully mechanized mining equipment ground maintenance working face

编号	综合控制信号处理峰值	自动化控制分量	综合控制精准度
1		$G_{\text{data}} \geq G_{\text{max}}$	降低/终止
2	$D_{Y, \text{data}} > D_{Y, \text{max}}$	$G_{\text{data}} \leq G_{\text{min}}$	降低
3		$G_{\text{max}} \leq G_{\text{data}} \leq G_{\text{min}}$	降低
4		$G_{\text{data}} \geq G_{\text{max}}$	降低/终止
5	$D_{Y, \text{data}} < D_{Y, \text{min}}$	$G_{\text{data}} \leq G_{\text{min}}$	提升
6		$G_{\text{max}} \leq G_{\text{data}} \leq G_{\text{min}}$	无变化
7		$G_{\text{data}} \geq G_{\text{max}}$	降低/终止
8	$D_{Y, \text{max}} \leq D_{Y, \text{data}} \leq D_{Y, \text{min}}$	$G_{\text{data}} \leq G_{\text{min}}$	无变化
9		$G_{\text{max}} \leq G_{\text{data}} \leq G_{\text{min}}$	无变化

2 应用测试

为了全面验证本文研究控制技术的应用性能,以文献[1]中的数字孪生驱动的综采装备虚拟生产关键技术和文献[4]中的煤矿机械化采面自动控制技术作为比对控制技术,分别记作比对控制技术 A 与比对控制技术 B,在设置的准确性与稳定性样本环境下,设计性能对比实验,以检验其控制效果的准确性与稳定性。

2.1 测试前准备

设定测试条件,采用处理器为 Intel Core i7-11800H、内存大小为 16 GB DDR4 RAM、存储设备为 Samsung 980 Pro 1TB 搭建硬件测试服务平台,测试系统选择了外部因素干扰较少的 Windows 10 Pro 64 位;测试仿真工具为 Python 3.9。测试数据采用历年数据库中公开信息资源作为样本集,并对选定的数据集进行数据清洗以确保输入到控制算法中的数据质量一致。测试采用随机配置样本的测试方案,最大程度还原实际工况场景。测试场地示意图,如图 3 所示。



图 3 测试场地示意图

Fig. 3 Schematic diagram of test site

选取国家煤矿安全监察局数据库作为关键数据源,该数据库作为国家权威机构维护的官方平台,定期发布全国煤矿安全生产的详尽信息,内容涵盖了煤矿生产运营的各个方面,包括综采设备检修记录、故障报告以及维修措施等数据。本次应用测试前,从中提炼出与地面检修工作面直接相关的正常工况数据 3 500 组,再由仿真测试工具 Python 调用噪声模型 1.0 生成 1 500 组扰动数据,以随机分布的方式,掺杂在 3 500 组样本之间,形成 5 000 组数据规模的仿真测试包,构成本文研究的数据集,确保这些数据能够真实反映煤矿综采设备在实际运行中的状态与性能。

测试开始前,采用 EMD 和低通滤波技术对液压状态信号进行高精度采集与预处理,有效去除噪声干扰,提取清晰的动力学特征。综合控制滤波模型对预处理后的信号进行全局参量综合化处理,通过专属滤波单元设计,确保信号的纯净度与准确性。在自动化控制特征算子验证环节,利用 SIFT 匹配算法及 Hessian 矩阵构建,对控制信号进行多维度分析,结合高斯方差调整,优化信号处理的平滑度和控制精度。整个测试过程严格遵循预设流程,确保数据的真实性和测试的可重复性。

2.2 综合自动化控制准确性测试

为了全面剖析各控制在应对复杂工况时的偏差特性,本文选用控制偏差作为评估指标,深入分析偏差的变化趋势与稳定性。在测试平台环境下,分别由比对控制技术 A、比对控制技术 B 与本文研究技术对其进行控制效果测试,对各技术应用后的控制偏差情况进行统计,生成偏差变化趋势具体如图 4 所示。

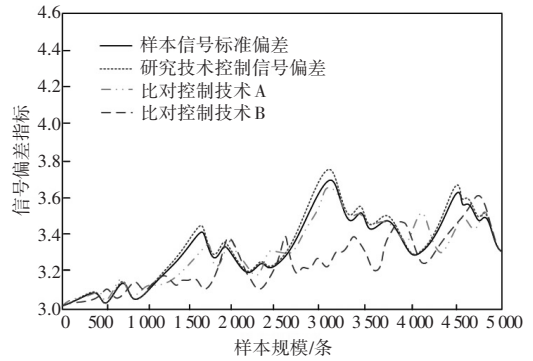


图 4 不同技术所得控制样本信号的偏差变化趋势

Fig. 4 Variation trend of deviation of control sample signals obtained by different technologies

图 4 直观对比了比对控制技术 A、比对控制技术 B 及本文研究技术的测试结果。结果显示,比对控制技术 A 与 B 的曲线与样本信号标准偏差曲线的吻合度较低,尤其是 B 技术,其曲线波动显著,显示出其在应对动态变化时的不足。而本文研究技术对应的曲线则与标准偏差曲线基本一致,充分本文研究技术具有较高的控制精度。这主要是因为本文技术的自适应调控机制,能够依据实时反馈灵活调整控制参数,确保控制过程的高稳定性与响应性。尽管在特定时段受到外部环境或设备特性的轻微影响,导致与标准偏差曲线略有偏离,但总体上,本文技术在控制精度与稳定性上均展现出明显优势,为控制策略与算法的创新提供了有力支持,具有重要的实际应用价值。

2.3 控制效果稳定性测试

为了进一步验证上述测试结果的稳定性,按照当前煤矿综采设备地面检修工作面配置要求,模拟工况样本 100 组,控制信号样本采用上述 5 000 组样本信号,生成控制信号规模为 5 000,单次测试时间为 8 h,总场景次数为 100 的测试项目,分别由比对控制技术 A、比对控制技术 B 以及本文研究技术对其进行控制处理,所得结果按照历史经验中可靠性权重均值 10 进行统计,生成表 2;根据生成数据进行分析,并得出结论。

根据表 2 中的测试结果可知,本文研究技术在所有 100 组模拟工况样本中的表现均显著优于比对控制技术 A 和比对控制技术 B。其中,本文研究技术的权重均值始终保持在 1.0~1.2 之间,远低于比对控制技术 A 和比对控制技术 B,两者的权重均值分别为 3.3 和 3.45。这一结果不仅验证了本文研究技术在控制精度上的优势,还进一步证实了其在复杂多变工况下的稳定表现,说明相比两种

比控制技术而言,本文研究技术具有较强的控制稳定性与可靠性。比控制技术 A 与 B 的权重波动虽在一定范围内,但相较于本文技术,其较高的权重值反映了控制效果的不足与潜在的不稳定性。

表 2 测试结果统计

Tab. 2 Statistics of test results

组别	权重		
	比控制技术 A	比控制技术 B	本文研究技术
1	3.2	3.4	1.0
2	3.2	3.4	1.0
3	3.2	3.6	1.0
4	3.4	3.2	1.2
5	3.4	3.6	1.1
6	3.4	3.6	1.0
7	3.6	3.6	1.0
8	3.2	3.3	1.2
9	3.6	3.3	1.2
10	3.1	3.1	1.1

综上所述,本文研究技术能够实现在煤矿综采设备地面检修中的高效稳定控制,能够为提升设备检修效率与安全性提供有力支持。

3 结论

本文研究了煤矿综采设备地面检修工作面的综合自动化控制技术,旨在提升检修过程的效率与安全性。研究内容包括动力信息采集、综合控制滤波模型建立、自动化控制特征算子提取及综合控制策略设计。通过构建高精度滤波模型与自适应控制算法,实现了对检修工作面的精准调控。通过综合自动化控制技术的深入研究与应用测试,验证了本文研究技术在煤矿综采设备地面检修工作面中的高控制精度与稳定性。该技术通过自适应调控机制,显著优于传统比控制技术,展现了其在复杂工况下的优越性能,对提升煤矿生产效率和安全性具有普适价值。但

是,全局量化控制高度依赖高精度传感器与数据处理系统,其精准性在一定程度上易受到系统故障或误差影响。所以未来将对本文研究技术进行持续的改进与优化,确保煤矿生产在高效运行的同时,以适应复杂多变的煤矿生产需求。

参考文献

- [1]朱怀森,杜文勇,李娟莉,等.数字孪生驱动的综合装备虚拟生产关键技术与系统[J].煤炭工程,2024,56(1):156-161.
- [2]何贵荣,王宁,张军.大倾角“三软”特厚煤层综放工作面圆弧段关键技术与系统[J].煤炭科学技术,2024,52(增刊2):10-20.
- [3]REN B, DING K, WANG L, et al. Research on an intelligent mining complete system of a fully mechanized mining face in thin coal seam [J]. Sensors, 2023, 23(22):9034.
- [4]ZHI Y, HUANLEI C, YAN C. Design and application of automatic control system for fully mechanized mining face in coal mine [J]. Advances in Multimedia, 2022, 2022(1):5024324.
- [5]付翔,李浩杰,张锦涛,等.综采液压支架中部跟机多模式人机协同控制系统[J].煤炭学报,2024,49(3):1717-1730.
- [6]尤秀松,葛世荣,郭一楠,等.智采工作面三机数字孪生驱动控制架构[J].煤炭学报,2024,49(7):3265-3275.
- [7]周忠国,卢运海,张孟军,等.急倾斜综采工作面断层超前治理技术[J].煤炭技术,2023,42(10):142-144.
- [8]高奎英,卢恒,冯志忠.大采高综采工作面回撤通道顶板稳定性及控制研究[J].煤炭工程,2023,55(9):53-59.
- [9]曹现刚,段雍,赵江滨,等.综采设备健康状态评估研究综述[J].工矿自动化,2023,49(9):23-35,97.
- [10]李建,任怀伟,巩师鑫.综采工作面液压支架状态感知与分析技术研究[J].工矿自动化,2023,49(10):1-7,103.
- [11]张晓海,田慕琴,张敏龙,等.智能工作面液压支架电液控制系统端头控制器设计[J].工矿自动化,2023,49(8):30-36.
- [12]张春升.抗随机性干扰的电网功率最优平衡控制方法[J].自动化技术与应用,2024,43(4):112-114,188.
- [13]蔡安江,张妍,任志刚.煤矿综采设备故障知识图谱构建[J].工矿自动化,2023,49(5):46-51.
- [14]朱凌,李国强,刘琦,等.基于多重形谱的交流输电线路运行故障识别方法[J].自动化技术与应用,2025,44(2):44-47,51.
- [15]李森,李重重,刘清.基于透明地质的综采工作面规划截割协同控制系统[J].煤炭科学技术,2023,51(4):175-184.
- [16]徐启,杨世品.基于PLC的综采设备状态监测研究与应用[J].煤炭技术,2022,41(8):187-189.