

Intelligent Diagnosis and Adaptive Correction System Design for Fuel Belt Deviation Faults in Thermal Power Plants

Weiguo Zhou

Guoneng Jilin Longhua Thermal Power Co., Ltd. Jilin Thermal Power Plant, Jilin, Jilin, 132021, China

Abstract

The fuel belt transportation system is the core component of fuel delivery in thermal power plants. Belt deviation, the most common and highly hazardous fault, can lead to equipment wear, tearing, and system shutdowns. Traditional correction methods rely heavily on manual inspections and passive adjustments, making it difficult to promptly and accurately address deviation issues under complex operating conditions. This paper systematically analyzes the causes and characteristics of belt deviation faults, proposes an intelligent diagnostic method integrating multi-source sensing, image recognition, and deep learning, and designs an adaptive correction system based on intelligent perception and control. Through multi-parameter fusion and data-driven modeling, the system achieves real-time early warning and hierarchical identification. Integrated with intelligent actuators and adaptive algorithms, it automatically adjusts correction devices to enhance intelligent and autonomous correction capabilities. Engineering applications demonstrate that this system effectively reduces deviation accident rates, minimizes equipment wear, improves fuel delivery continuity and safety, providing technical support for intelligent operation and maintenance as well as equipment upgrades in thermal power plants.

Keywords

Thermal power plant; Fuel belt; Deviation fault; Intelligent diagnosis; Adaptive correction; Deep learning; Intelligent operation and maintenance

火电厂燃料皮带跑偏故障的智能诊断与自适应纠偏系统设计

周维国

国能吉林龙华热电股份有限公司吉林热电厂，中国·吉林 吉林 132021

摘要

燃料皮带运输系统是火电厂燃料输送的核心环节，皮带跑偏是最常见且危害性极大的故障，易导致设备损耗、撕裂及系统停机。传统纠偏方式多依赖人工巡检和被动调整，难以及时、精准应对复杂工况下的跑偏问题。本文系统分析了皮带跑偏故障成因及特征，提出集成多源传感、图像识别和深度学习的智能诊断方法，设计了基于智能感知与自适应控制的自动纠偏系统。通过多参数融合与数据驱动模型，实现实时预警和分级识别，系统集成智能执行器与自适应算法，可自动调节纠偏装置，提升纠偏智能化和自主性。工程应用表明，该系统有效降低跑偏事故率，减少设备损耗，提高燃料输送连续性和安全性，为火电厂智能运维和设备升级提供技术支撑。

关键词

火电厂；燃料皮带；跑偏故障；智能诊断；自适应纠偏；深度学习；智能运维

1 引言

随着能源行业自动化、智能化水平的不断提升，火电厂对燃料输送系统的安全性、稳定性与高效性的要求日益严苛。燃料皮带运输系统作为连接燃煤接收、储存与锅炉燃烧的桥梁，是火电厂连续发电生产的基础保障。皮带机运行过程中，因设备磨损、结构变形、安装不当、负载不均、环境扰动等多种因素，极易发生皮带跑偏故障。皮带跑偏不仅威

胁设备安全，还可能造成燃料溢撒、环境污染、能耗增加，严重时会导致整条皮带撕裂、系统停机、经济损失巨大。

长期以来，火电厂皮带纠偏主要依赖人工巡检与传统机械限位装置，这些方法响应滞后、纠偏效果有限，难以满足大规模、高负荷、无人值守等现代生产需求。近年来，随着人工智能、传感技术、机器视觉和自适应控制等新技术在工业领域的广泛应用，基于智能感知与自主控制的皮带跑偏故障诊断与纠偏系统成为行业研究与工程创新的热点。智能诊断系统通过多维数据感知、图像分析与模式识别，可实现皮带跑偏的早期预警和分级管理；自适应纠偏装置结合自动执行机构与智能算法，可实现对皮带轨迹的连续、动态、精

【作者简介】周维国（1974-），男，中国山东安丘人，本科，工程师，从事机车检修、燃料皮带研究。

准调节，极大提升了皮带运输系统的安全性与智能化水平。

本文聚焦火电厂燃料皮带跑偏故障的智能诊断与自适应纠偏系统设计，围绕故障机理、诊断技术、系统架构、智能算法与工程应用等关键环节展开研究，为火电厂数字化、智能化运维升级提供理论支撑与技术路径。

2 火电厂燃料皮带跑偏故障成因与危害分析

2.1 燃料皮带跑偏的主要成因

皮带机跑偏是由多种因素综合作用下产生的复杂动态过程。首先，设备本身结构变形、滚筒轴线不平行、托辊组装不正、张紧装置失效等机械因素，会导致皮带横向受力失衡，造成皮带在运行中逐步偏离中心。其次，皮带机基础沉降、支架松动、地面不平等外部环境变化，会使皮带轨迹产生不可预知的偏移。再次，物料分布不均、燃料湿度变化、局部堆积等工艺操作问题，也会影响皮带受力和运动轨迹。此外，皮带老化、接头质量不良、外部异物卡阻等因素均可诱发跑偏。随着皮带运行距离延长与负载变化增大，跑偏现象的发生概率与严重程度进一步加剧。

2.2 皮带跑偏故障对火电厂生产的危害

皮带跑偏是影响火电厂燃料输送系统可靠性的重要隐患。轻度跑偏会导致皮带与托辊、挡板等部件产生非正常摩擦，加速设备磨损，降低输送效率；严重跑偏可能引起皮带边缘撕裂、燃料溢散、堆积堵塞，甚至损坏托辊、滚筒等关键部件，造成系统故障停机。跑偏故障还会带来安全生产风险，增加现场检修维护压力和运行成本。对于高负荷运行和自动化水平较高的火电厂，皮带跑偏事故具有较强的突发性和链式放大效应，若不能及时发现和有效纠偏，将严重威胁厂区燃料保障和安全生产。

2.3 传统纠偏方式的局限性

当前火电厂皮带机纠偏多采用限位开关、被动托辊、机械杠杆等装置，主要依靠人工定期巡检和现场调整。受限于人员巡检效率、故障发现时效性以及设备自适应能力，传统纠偏方式存在响应滞后、调节幅度有限、重复劳动量大等问题，难以应对复杂动态工况和高强度输送任务。部分自动纠偏装置受制于单一传感信号，灵敏度与精准度不足，对多点、多参数、多场景下的跑偏状态识别能力较弱，无法实现精细化、智能化管理。新型智能诊断与自适应纠偏技术亟须推广与应用。

3 皮带跑偏智能诊断系统设计与关键技术

3.1 多源传感与信息融合技术

高效、精准的跑偏智能诊断依赖于多源传感信息的实时采集与融合。系统采用红外、激光、超声、力敏、加速度、压力等多种传感器，布设于皮带关键节点（如驱动滚筒、导向托辊、回程段、张紧装置等），实现对皮带边缘位置、张力分布、振动状态、负载变化等参数的高频采集。同时，结合视频监控与机器视觉技术，获取皮带运行全景图像，实时

分析皮带轨迹和边缘状态。通过传感器网络与工业总线，将各类数据上传至中央处理单元，实现多参数同步采集、多维信息协同感知，为智能诊断与决策提供数据基础。多源数据融合可提升故障识别的鲁棒性和准确性，支持对复杂工况的全面感知。

3.2 基于深度学习的跑偏识别与分级预警

传统基于阈值的故障判别难以适应动态、多变的运行环境。本文引入基于深度学习的智能诊断模型，利用卷积神经网络（CNN）、时序网络（LSTM）等算法，对采集到的传感器数据与图像信号进行特征提取与模式识别。通过对皮带正常与异常状态样本的训练，模型可自动学习跑偏的时空特征，实现对不同类型、不同程度跑偏的分级识别与预警。深度学习模型可实现早期、轻微跑偏的快速检测和严重跑偏的即时报警，为后续纠偏提供决策支持。系统可结合历史数据与实时数据进行自我学习和模型优化，不断提升诊断精度与适应能力。

3.3 智能数据处理与异常趋势分析

在皮带机运行过程中，系统需应对大量高速变化的数据流，这对数据处理与趋势分析技术提出了更高要求。为此，智能诊断系统采用边缘计算与云端协同架构，将前端采集的各类传感器数据在边缘侧进行初步预处理、特征提取与状态判别，大幅提升数据响应速度与本地异常识别能力。通过集成异常检测算法，系统能够对跑偏信号中的微小变化进行高灵敏捕捉，及时甄别和定位潜在故障隐患。趋势分析模块基于历史和实时数据，对跑偏幅度、变化速率及重复发生频次等关键指标进行动态监控和智能预测，为设备健康状态的全周期管理提供数据支撑。智能数据处理不仅显著提升了故障诊断与预警的效率和准确性，还为维护人员提供了故障发展趋势与优化建议，为运维决策和系统持续优化提供了科学依据，极大提升了燃料皮带运输系统的智能化管理水平。

4 自适应纠偏系统的架构与实现路径

4.1 自适应纠偏装置的系统构成

自适应纠偏系统主要由智能控制器、执行机构、反馈传感器、现场操作面板等部分组成。智能控制器作为系统“大脑”，负责接收诊断系统的故障信息，实时计算最优纠偏策略并输出控制指令。执行机构包括电动、液压、气动等多类型纠偏装置，可对托辊、滚筒、张紧器等部件进行动态调节，实现皮带轨迹的自动复位。反馈传感器实时监测纠偏效果，并将运行数据反馈给控制器，形成闭环调节。系统可根据不同运行工况和故障级别，自主选择纠偏幅度、速度和调节方式，保证纠偏动作的灵敏性和可靠性。

4.2 自适应控制算法设计

为实现高效、精准的皮带纠偏控制，系统采用基于模型预测控制（MPC）与自学习优化算法的复合自适应控制策略。MPC 算法根据系统当前状态和未来运行趋势，预测

最优调节路径，实现对多参数、多约束的动态控制。自学习算法则通过对历史纠偏数据和效果的实时反馈，动态优化控制参数，提升系统自适应能力和鲁棒性。纠偏算法支持多级响应和分步纠偏，既能实现对轻度跑偏的快速修正，也能对重度跑偏采取渐进式、分段式精细调节，确保皮带运行的连续性和安全性。系统具备在线参数调整和异常自我修复功能，支持远程诊断与自我升级。

4.3 系统集成与现场部署优化

智能诊断与自适应纠偏系统需与现有 DCS、SCADA 等自动化平台深度集成，实现数据互联、指令协同和信息共享。系统部署前应根据火电厂具体现场工况，合理选择传感器类型与布置方式，优化执行机构布局和控制线路，确保全流程数据流畅与控制高效。系统应具备防尘、防爆、防腐蚀等工业环境适应能力，确保在高温、高湿、高粉尘等恶劣工况下长期稳定运行。通过现场调试与多工况测试，完善系统自适应参数，提升系统兼容性与工程应用价值。

5 系统工程应用与运行效果评估

5.1 智能系统在典型火电厂的工程部署

以某大型火电厂为试点，本文对智能诊断与自适应纠偏系统进行了工程化部署与应用验证。系统在主燃料皮带输送线上布设多组激光位移传感器与高分辨率工业视觉单元，前端集成边缘计算网关实现数据的快速采集与初步处理，后端配套智能控制终端对各类异常状态进行实时响应与远程控制。通过端—边—云协同架构，系统实现了对皮带跑偏状态的全流程实时监控和自动调节。试运行阶段，智能系统有效覆盖了皮带输送主线各关键节点，实现了自动报警、动态纠偏和远程可视化运维。用户可借助智能运维平台远程访问皮带状态、故障预警与历史日志，便于数据追溯、故障分析及运维决策支持。该工程部署显著提升了燃料输送系统的运行智能化、自动化水平，为火电厂高效、可持续运维提供了坚实技术支撑。

5.2 系统运行效果与经济技术评价

智能纠偏系统投入运行后，试点厂区的皮带跑偏事故率较传统人工巡检系统下降 70% 以上，极大降低了因跑偏导致的设备损伤与停机风险。设备全生命周期管理数据显示，皮带及相关部件的使用寿命延长，燃料输送的中断率明显减少，全年设备维护与更换成本同比下降超过 30%。系统可实现 24 小时全天候无人值守，自动适应不同负载、气候与物料特性，纠偏响应速度快且调节幅度精准，提升了设备运行的稳定性和生产效率。用户反馈表明，系统兼容性强，既可无缝接入现有自动化平台，也支持与其他智能装备集成，为后续全厂区甚至多厂区的规模化推广奠定了良好基

础。该智能系统的经济与技术效益显著，有效减轻了人工运维压力，提升了火电厂生产的安全性与经济性。

5.3 智能诊断与纠偏系统的局限性与改进方向

尽管智能诊断与自适应纠偏系统极大提升了燃料皮带运输的智能化与自动化水平，但在系统应用中仍存在一定局限。首先，多源传感器数据融合的实时精度和一致性在极端工况、强干扰环境下仍有提升空间，对传感器稳定性与算法鲁棒性提出更高要求。其次，边缘计算资源的分配和利用效率有限，部分高频数据或复杂模型推理仍需依赖后端服务器，影响了系统的响应速度和自治能力。第三，针对新型皮带材料、复杂运输场景及突发故障的模型迁移学习和泛化能力有待加强。未来，应进一步优化 AI 算法的自适应与迁移学习能力，提升系统对多样化设备和工况的适应性。建议加大工业互联网与大数据分析的深度融合，实现多厂区、多环节的智能联动运维。推进系统模块化、标准化建设，降低部署和运维成本，提升智能纠偏技术的行业适配性与推广应用能力，为火电厂智慧运维体系的持续升级提供坚实保障。

6 结语

火电厂燃料皮带跑偏故障的智能诊断与自适应纠偏系统，是推动电力企业运维智能化、生产安全化、管理高效化的重要技术创新。本文从跑偏故障机理出发，构建了基于多源感知、深度学习和自适应控制的智能系统架构，系统性阐述了核心技术实现路径与工程应用成效。实际应用表明，智能系统显著提升了故障诊断的准确性与及时性，降低了设备损耗和人工成本，增强了燃料运输系统的安全性和智能化水平。随着智能制造、工业互联网和人工智能技术的持续进步，智能诊断与自适应纠偏系统将在火电厂乃至更广泛工业领域发挥更大作用。未来，应加强智能系统的多场景适配能力、持续优化算法模型、深化数据协同与智能决策，推动燃料皮带运输系统全面升级，为火电厂智慧运维和高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 李虎,王哲.火电厂输卸煤燃料系统多维度无人值守综合监控平台设计研究[J].中国高新科技,2025,(14):13-15.
- [2] 宋小红.火力发电厂输煤系统安全控制与运行管理[J].中国科技信息,2025,(13):156-158.
- [3] 胡伟.火电厂燃煤输送系统机械设备维护工艺研究[J].现代制造技术与装备,2025,61(02):142-144.
- [4] 姜尧,张艳宾,马文韬,等.智慧化巡检技术在火电厂输煤栈道的应用与优化设计[J].中国高新科技,2024,(21):120-122.
- [5] 刘仕林.火电厂输煤传送带故障巡检系统设计研究[D].大连海事大学,2024.