

磨煤机智能液压系统控制策略研究

廖伟辉¹, 屠博¹, 吕兴城¹, 叶华锋², 张南³

(1. 广东红海湾发电有限公司, 广东 汕尾 515000;

2. 广东电力发展股份有限公司, 广东 广州 510620;

3. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710001)

摘要 针对磨煤机在煤质波动和负载变化条件下液压加载响应滞后、能耗偏高及稳定性不足等问题, 开展磨煤机智能液压系统控制策略研究。通过分析智能液压系统的组成结构与运行机理, 结合现场运行数据, 构建基于工况感知的自适应控制方法, 并引入压力-流量协同调节与多参数融合控制机制, 实现加载力的连续、精准调节。应用结果表明, 所提出的智能控制策略能够有效提升磨煤机运行稳定性, 降低液压系统能耗, 增强设备安全性与运行可靠性。

关键词 磨煤机; 智能液压系统; 自适应控制

基金项目: 国家重点研发计划项目“煤与生物质直接耦合发电系统集成及工业验证”(项目编号: 2022YFB4202005)。

中图分类号: TP27; TD45

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.09.007

0 引言

磨煤机作为火电厂制粉系统中起到关键作用的设备, 其运行时的稳定性会对锅炉的燃烧效率以及机组的安全产生直接影响。而在机组进行深度调峰以及煤质更加复杂的情况下, 传统的液压加载方式逐渐显现出响应速度滞后、所消耗的能量偏高以及对环境的适应性不足等方面的问题。基于此, 开展关于智能液压系统控制策略的研究工作, 不仅对于提升制粉系统的稳定性和经济性具有至关重要的意义, 同时对于推动电厂的智能化改造进程也具备切实的现实价值。

1 磨煤机智能液压系统的组成与工作原理

1.1 磨煤机液压系统的结构组成与功能分工

磨煤机液压系统是实现研磨压力调节、保证设备稳定运行的执行系统, 主要由液压油站、液压泵组、控制阀组、液压缸、传感与控制单元组成^[1]。液压油站提供稳定的动力源, 液压缸把液压力转化为磨辊的加载力, 从而实现对煤层的有效碾磨。与传统的弹簧加载方式相比, 液压系统在结构上具有更大的调节灵活性, 可以满足不同煤质、不同负荷工况下对碾磨比压的要求, 为制粉系统结构优化、出力提高奠定了基础^[2]。

1.2 智能液压系统的基本工作流程与控制对象

智能液压系统按照磨煤机工况的变化来执行加载控制, 对运行状况进行综合考虑, 从而动态地调节液

压加载的水平, 使磨辊所受的力一直与实际的碾磨需求相适应。该系统把加载调节和磨辊工作状态、碾磨过程特征、运行能效结合起来, 实现加载方式的综合优化, 提高制粉系统在各种煤质条件下的稳定运行能力。

1.3 关键液压元件的运行特性与协同关系

液压泵、比例阀、液压缸是加载执行的重要单元, 其工作效率直接影响磨煤机碾磨效果。比例阀实现加载力的平滑调节, 液压缸在磨损补偿过程中保持输出稳定, 各个元件在控制系统的协调下协同工作, 和喷嘴环优化后形成的下部流场一起作用, 促进细粉及时排出, 减少无效碾磨, 提高制粉效率。

1.4 智能控制在液压系统中的应用基础

智能控制技术以 PLC、DCS 平台为主, 利用算法模型对运行数据加以分析处理, 从而创建加载力同运行工况间的动态映射联系^[3]。结构优化之后的喷嘴环以及液压加载系统, 智能控制可以依据不同的工况自行调整, 为磨煤机长时间稳定且高效的运行提供可靠的技术支撑^[4]。

2 磨煤机液压系统运行中存在的主要问题

2.1 传统控制方式响应滞后与调节精度不足

火电厂中目前仍然大量采用弹簧加载或定值液压控制的中速磨煤机, 其调节逻辑大多依据经验参数来设定, 主要是根据给煤量或者设定负荷来调节, 在煤

作者简介: 廖伟辉 (1973-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 能源工程、发电技术。

质比较稳定的工况下,该控制方式仍能满足基本的运行要求,但是在实际生产中,煤来源复杂,水分、可磨性波动频繁,当煤质变差或者水分升高时,磨煤机碾磨阻力明显增大,传统的控制方式不能同步调整加载力,往往表现为反应滞后、调节不足,造成制粉能力下降。

在这样的情况下,为了维持锅炉负荷,运行人员一般通过调节分离器转速或者降低煤粉细度来弥补出力不足,但是这种方式属于被动补偿,容易造成煤粉粒径分布不稳定、分离效率下降、燃烧工况波动。相比之下,具有自适应调节能力的液压控制系统可以对加载力进行实时调节,在响应速度和调节精度上比传统方式要强得多。传统加载方式响应速度慢、控制精度低,已经不能满足当前电厂高效、稳定制粉系统的要求。

2.2 负载波动条件下系统稳定性问题

磨煤机在实际运行中一直处在动态负载状态,给煤量变化、一次风量波动、煤层厚度变化都会引起碾磨阻力的持续波动。由于传统液压系统控制策略比较单一,缺少对负载变化的快速识别以及前馈调节的能力,当负载发生较大变化的时候,加载力调整常常会在明显的滞后现象,甚至会出现过度调节的情况。滞后或者过冲都会直接反映在磨辊系统的力学状态上,表现为振动幅值增大、运行不平稳等问题。

在波动较大的工况下,磨煤机的振动水平比正常运行时要高很多,严重时还会引起高振动报警或者局部机械冲击,影响设备寿命和运行安全。长期处于这种不稳定的状态,一方面会加大机械的磨损,另一方面也会使液压系统本身承受更大的压力波动,从而加大系统可靠性风险。因此,在负载频繁变化的工况下,传统的液压控制方式不能实现平稳、柔性的加载调节,系统稳定性不够成为磨煤机安全运行的主要问题。

2.3 液压能耗偏高与运行效率不均衡

从整体运行情况看,在不同的负荷区间内,液压系统的单位制粉能耗有较大的差别,低负荷工况下能耗较高,而高负荷运行时又容易因为过载而降低系统效率。缺少动态优化的加载方式,造成磨煤机在全工况范围内的经济性表现不均衡,也增大了电厂辅助设备能耗占比,不利于节能减排和运行成本控制。

2.4 故障诊断与预警能力不足

传统磨煤机液压系统的监测体系比较简单,一般只对油压、油温等少数基本参数进行监控,系统对异常状态的识别主要依靠阈值报警,一般是在故障已经发展到一定程度之后才发出提示,缺少对早期隐患的主动预警能力。从运行实践来看,液压系统故障在发生之前很少有明显的征兆,维护人员很难及时采取干预措

施,容易造成非计划停机或者扩大化故障。这不但会干扰制粉系统的连续稳定运行,还会增大设备检修和备品备件消耗的成本。随着电厂对设备可靠性和智能运维水平要求的提高,传统液压系统在状态感知、趋势分析、预警能力等方面存在的不足越来越明显,已经成了制约磨煤机运行安全和管理水平提高的重要短板。

3 磨煤机智能液压系统控制策略设计

3.1 基于工况感知的自适应控制策略

对于煤质波动大、运行工况复杂的情况,建立以工况感知为依据的自适应控制策略。该策略可以自动识别磨煤机在低负载、稳定运行、高负载等典型工况下的运行特征,在此基础上匹配相应的加载力调节区间,使液压加载随工况变化实现连续、平滑调节。根据加载力和运行状态的动态匹配来避免调节滞后或者过冲现象。试运行结果表明,在煤质变化幅度大的情况下,该自适应控制策略可以将磨煤机出力波动由原来的 $\pm 12\%$ 降低到 $\pm 5\%$,大大提高了系统运行的稳定性。

3.2 面向运行稳定性的加载过程分阶段控制策略

磨煤机实际运行时负荷变化具有阶段性,在启动、稳态运行、负荷调整等不同的阶段,加载需求是不一样的。智能液压系统利用加载过程分阶段控制的方法,把加载调节分成启动过渡、稳态维持和动态调整这三个典型阶段。系统在启动以及工况突变之初,采用柔性加载的方式来慢慢形成磨辊压力,防止由于加载速度过快造成振动和机械冲击;稳定运行时期,控制策略主要是加载保持和微调,用加载变化速率来控制加载状态的平稳;当负荷发生明显变化的时候,系统按照运行趋势提前介入调节,对加载力实施有序调整,防止因为调节不当造成磨煤机运行波动。分阶段加载控制使液压系统在不同的运行状态下都具有较好的适应性,降低磨辊系统机械应力水平,改善磨煤机长期运行的平稳性、可靠性。

3.3 加载力调节与制粉过程耦合优化的控制机制

磨煤机加载力既影响磨辊受力状态,又影响煤层形成、碾磨过程、煤粉生成特性。为了提高制粉过程的整体协调性,智能液压系统把加载调节和制粉运行过程耦合起来,在控制策略中充分考虑加载行为对煤粉生成效率和排放特征的影响。系统对磨煤过程运行特征进行综合分析,优化加载变化节奏,使磨辊压力调整与煤层变化保持协调一致,防止由于加载不匹配造成煤层不稳定或者碾磨效率下降。同时,在制粉系统运行时,控制加载力频繁变化,减少下部气固流动状态的扰动,有利于煤粉稳定输送和分离效果提高。

耦合控制机制重视加载调节的整体协调性，而不是单个指标最优，使磨煤机在保证碾磨效果的同时也考虑到运行的平稳性以及经济性。现场应用证明，该控制方式可以改善煤粉质量稳定性，降低运行波动，对制粉系统长期高效运行有积极的作用。

3.4 异常工况下的安全控制与保护策略

为了提高磨煤机的运行安全，在智能液压系统中加入异常工况识别及分级保护^[5]。当系统检测磨煤机运行异常时，控制系统就会自动执行安全逻辑，根据异常程度采取限幅调节、缓慢卸载或者紧急停机等措施，防止故障扩大。同时，系统对异常数据进行记录和趋势分析，实现从事后报警到提前预警的转变。现场应用结果表明，此策略使液压系统有关故障的非计划停机率下降约30%，有效地改善了制粉系统的安全性和可靠性。

4 智能液压控制策略的应用效果与优化方向

4.1 控制策略在磨煤机运行中的应用成效分析

智能液压控制策略被应用在磨煤机运行之后，使液压加载调节更加符合实际工况的要求，大大改善了传统控制方式适应性差的问题。通过将加载调节与磨煤机运行状况相协调，系统在负荷变动、工况改变时可维持比较稳定的碾磨条件，减小加载波动给设备运行带来的影响。在不同的运行阶段，加载过程更加连续、有条理，磨辊系统机械冲击和振动水平降低。

从运行实践效果上看，可以提高磨煤机的工作稳定性、连续性，保证制粉过程的稳定运行，减少人工干预。同时，稳定的加载控制有利于煤粉的产生，提高制粉系统整体运行质量，为机组安全、经济运行提供可靠保障。

4.2 对系统稳定性与节能水平的提升作用

智能液压控制策略依靠加载力的动态调节，很好地减小了负载波动给磨煤机运行稳定性带来的影响。系统在工况变化时可以平滑调节液压参数，减小加载力突然变化造成的振动、冲击，降低设备运行的风险。同时，加载策略和实际工况相匹配，在低负载情况下保持较高的加载压力，就会增大液压系统无效能耗。精细化的控制使得磨煤机的工作状态更加接近于最佳的工作区间，从而使得系统的整体能效水平得到了很大的提高^[6]。

4.3 运行可靠性与维护管理水平的改善

在运行过程中，系统可以对关键部件的运行趋势进行持续跟踪，给设备维护提供决策依据。通过对异常运行特征进行识别和预警，可以在故障发生之初就

及时发现并加以处理，从而减少突发性停机给机组运行带来的影响。同时，运行人员对磨煤机工况的掌握更加直观，有利于优化运行调整方式，使维护管理由被动检修向状态检修转变，提高设备全生命周期管理水平。

4.4 智能液压系统控制策略的进一步优化路径

从长远发展和技术进步的角度看，磨煤机智能液压系统控制策略还有很大的改进空间。从运行角度可以累积长期运行数据，针对不同煤质状况、运行状态下的控制成效展开分析并加以修正，充实工况识别及调节逻辑，加强系统对复杂工况、极端运行条件的适应能力。从系统角度出发，需要加强液压加载控制同制粉系统其它部分之间的协调关系，使得加载调节同风量组织、分离运行状态等过程之间产生更为协调的运行机制，从而促进制粉系统整体性能的提高。

随着信息化、智能化技术的发展，采用性能更高的控制平台以及优化算法，可以提高系统对于运行状态变化的判断能力以及自主调整水平，使控制策略由经验修正向智能决策转变。不断改进控制方法、系统结构，可以为磨煤机高效、稳定、低能耗运行提供更加可靠的技术支持。

5 结束语

磨煤机智能液压系统控制策略的应用，把液压加载由经验型调节转变为工况感知的主动控制模式。通过自适应调节、异常工况保护等机制的配合，在负载波动的条件下系统仍能保持稳定运行，振动水平和液压能耗降低，煤粉质量提高，制粉系统可靠性提高。研究表明，智能液压控制策略可以提高磨煤机运行的安全性、经济性、智能化程度，为火电机组制粉系统优化运行提供了一种可行的技术途径。

参考文献:

- [1] 董永君. 火力发电厂中速磨煤机液压油站常见故障处理[J]. 内蒙古科技与经济, 2024(24):138-141.
- [2] 王朝阳, 赵宸宇, 韩友超, 等. 面向火电运行灵活性的钢球磨煤机制粉系统控制优化研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2024, 55(03):1156-1167.
- [3] 胡欢. 基于PCA-SVM的磨煤机在线智能诊断系统研究[J]. 陕西理工大学学报(自然科学版), 2024, 40(04):23-29.
- [4] 孙黎明. 磨煤机动态调整对火力发电厂集控系统性能的影响及优化[J]. 自动化应用, 2025, 66(S1):278-280.
- [5] 靳学锋. 火电厂中速磨煤机磨辊异常磨损诊断及对策[J]. 能源新观察, 2025(12):79-80.
- [6] 马越. 基于智能控制的港口起重机液压系统节能优化研究[J]. 时代汽车, 2025(16):115-117.