

输煤碎煤机振动与噪声的机电联合抑制技术开发

罗 勇

新疆中泰矿冶有限公司 新疆昌吉

【摘要】针对碎煤机在输煤系统中运行过程中的高频振动与强噪声问题，提出一种融合机械结构优化与电气控制技术的机电联合抑制方案。本文从碎煤机振动和噪声的根源出发，系统分析设备运行过程中产生共振和声波辐射的机制，建立传动系统多物理耦合模型，并引入智能电机调速与阻尼吸振结构协同控制策略。通过实验验证，该联合抑制技术能显著降低系统整体振动幅度与声压级，提升输煤设备运行的可靠性与环境友好性，为类似高噪声高振动工业设备的改造提供了新思路 and 实证依据。

【关键词】碎煤机；振动抑制；噪声控制；机电一体化；联合优化

【收稿日期】2025 年 4 月 17 日

【出刊日期】2025 年 5 月 19 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250194

Development of mechatronic joint suppression technology for vibration and noise of coal convey or coal crusher

Yong Luo

Zhongtai Chemical, Changji, Xinjiang

【Abstract】 Aiming at the problems of high-frequency vibration and strong noise in the operation of coal crusher in the coal handling system, an electromechanical joint suppression scheme combining mechanical structure optimization and electrical control technology is proposed. Starting from the source of vibration and noise of coal crusher, this paper systematically analyzes the mechanism of resonance and acoustic radiation in the process of equipment operation, establishes the multi physical coupling model of transmission system, and introduces the coordinated control strategy of intelligent motor speed regulation and damping vibration absorption structure. Through experimental verification, the combined suppression technology can significantly reduce the overall vibration amplitude and sound pressure level of the system, improve the reliability and environmental friendliness of coal handling equipment, and provide new ideas and empirical basis for the transformation of similar high noise and high vibration industrial equipment.

【Keywords】 Coal crusher; Vibration suppression; Noise control; Mechatronics; Joint optimization

引言

碎煤机作为火力发电厂输煤系统中的核心设备，其运行稳定性与作业环境质量直接影响煤炭输送效率与运维安全。然而，碎煤机在运行过程中常伴随剧烈的机械振动与高强度噪声，这不仅降低了设备寿命，还对操作人员健康和厂区噪声管理提出挑战。现有的振动或噪声控制技术往往侧重于单一维度，无法实现根本抑制。本文聚焦于振动与噪声协同治理的思路，探索机电系统协同设计与优化路径，以期开发出更具适应性和实效性的抑制技术，提升碎煤机整体运行性能。

1 碎煤机振动与噪声问题的成因分析

碎煤机作为输煤系统中的关键破碎设备，其在运行过程中经常出现剧烈的机械振动与噪声辐射问题。

该现象的根源主要体现在设备自身结构设计方面的不合理，例如机体支撑刚度分布不均、转子质量不平衡、动静部件之间间隙控制不足等，这些因素会引发运转时的强烈激振^[1]。特别是在碎煤过程中，大块煤炭不均匀进入破碎腔，导致冲击载荷剧增，进一步引起转子系统的非对称振动。联轴器间装配误差、基础座不牢固等问题也常常诱发共振现象，使整机在低频段发生结构共振，表现为剧烈的周期性振动并伴有低频轰鸣声。这类由结构性缺陷引起的振动噪声问题，不仅损害设备寿命，也对周边作业环境带来不良影响。

在碎煤机电气系统层面，控制回路中变频器、电机驱动器等部件的谐波干扰也不可忽视。碎煤机多采用鼠笼型异步电动机驱动，若缺乏有效的电气滤波与控

制策略,则极易出现由电源谐波引起的电磁力波动。这种波动会对定子和转子之间的磁场分布产生扰动,导致电磁激励频率与结构固有频率耦合,进而引发机械共振并叠加噪声辐射。尤其在低速运行或频繁启停状态下,电机输出转矩波动更加显著,使得转动系统形成不稳定的扭转振动。这种由电磁干扰引发的振动往往周期性,频率高,对机械结构产生疲劳效应,甚至导致局部结构早期损坏。

工况环境的复杂性也是碎煤机振动噪声问题的重要诱因。煤质的水分、硬度、颗粒分布等参数变化频繁,在长时间高负荷运行中,原煤夹杂异物(金属块、石块)更是对设备冲击剧烈,易导致锤头脱焊、筛条弯曲等故障。与此同时,恶劣环境下粉尘附着、电机散热不足、润滑系统维护不到位也会加剧运动部件磨损,使机械间隙变大,运转过程中动态不平衡愈发严重。综合以上因素,碎煤机运行的高噪声和振动问题呈现出结构、电磁、冲击和环境因素耦合叠加的复杂特征,必须通过机电系统联合优化才能实现有效抑制。

2 多源耦合振动与噪声特性的建模研究

为深入理解碎煤机在运行过程中的振动与噪声耦合机理,有必要构建覆盖结构、电磁、流固耦合等多源物理机制的联合模型。首先在机械系统建模方面,采用有限元法对碎煤机关键部件如转子、轴承座、机壳进行模态分析,提取其一阶至高阶固有频率与振型分布,明确共振频段与振动主控方向。在模型中引入非线性接触关系与非对称激励项,以模拟煤炭冲击下的非恒定负载条件。通过刚柔耦合建模方法,将驱动电机、联轴器、传动轴视为弹性多体系统,模拟其在运行过程中的动力响应,结合阻尼边界条件,可逼近实际振动幅值变化规律。

在电磁系统建模方面,建立基于有限元电磁场的三维模型,聚焦于电动机内部磁通密度分布、电磁力波动以及电流谐波特性。将电动机作为主要激励源,其产生的交变磁力施加于转轴与定子铁心之间,通过电-机械耦合界面施加磁致力与扭矩输入,与结构系统形成闭环耦合^[2]。在这一框架下,可清晰捕捉电机工作状态下由电流谐波、载波干扰等引起的振动噪声机制,并借助傅里叶变换分析其主频成分。该模型为后续优化控制策略提供理论依据,尤其在变频调速运行条件下,电磁振动特征的可控性更为突出。

针对噪声传播特性,引入声场分析模块,构建声学有限元模型与边界元模型联合分析体系。在结构激励模拟完成后,将振动边界条件施加于机壳外表面,分析

声波在空气介质中的传播特性,捕捉噪声源位置、声压级分布及远场声场指向性等参数。为模拟环境中的声反射、绕射效应,考虑输煤通道的有限封闭结构特性,通过多源激励及声学叠加原理获取整体噪声场。同时,将结构振动能量转换为声能率指标,建立振声耦合模型,从而揭示机械振动如何通过结构-空气界面辐射为可听噪声,形成完整的“电-机-结构-声”耦合传播路径,为精准抑制提供精细化建模支撑。

3 机电联合抑制技术的系统设计与实施路径

在深入分析碎煤机振动与噪声耦合机理的基础上,构建以“机械结构优化+电控智能调节”为核心的机电联合抑制技术系统。首先从机械角度出发,对碎煤机结构进行定向减振设计,重点在于提升关键部位的刚度匹配与模态离散。通过采用高阻尼合金材料制备隔振支座,在支撑点处引入多级橡胶复合减震垫,可有效衰减激振源向基础传播的能量。同时在筛体与机壳之间设置柔性连接组件,避免刚性联结产生谐振通道,形成结构性低通滤波效果。针对锤头与衬板等冲击部件,优化其质量与布置参数,确保冲击载荷分布更加均匀,抑制高频结构振动传播。

电气系统方面,通过引入基于自适应算法的变频调速控制技术,能够精准调节电机在不同工况下的动态响应特性,实现软启动、平稳过渡与持续稳定运行的目标。控制系统内部集成了高精度PID控制器,并结合模糊神经网络算法,根据负载变化、速度波动与输出转矩实时进行参数自整定,以有效抑制因转矩脉动产生的扭转振动问题,提升整机运行的动态稳定性^[3-7]。在电力质量优化方面,配置同步跟踪滤波器与动态谐波补偿模块,可对电网侧高次谐波进行快速检测并生成反向补偿信号,降低电机受电磁干扰的敏感度,避免电磁激励频率与结构模态频率重合而引发的次生共振现象。在电机本体设计上采用非对称斜槽绕组结构,有效分散电磁力主频,使磁力波更加均匀分布,从源头降低低频噪声的形成可能,为碎煤机运行环境的安静化与设备的电磁兼容性提供了有力支撑。

为实现整套系统的高效协同运行,构建了基于PLC与上位机协同控制的嵌入式集成机电控制模块,通过软硬件协同优化,提高控制响应的实时性与稳定性。系统设定多通道、高分辨率传感器网络,全面覆盖设备的关键监测点,能够同步采集振动加速度、声压级、电流波动、温升状态等关键运行参数,并借助数据融合与边缘计算算法进行状态识别与趋势预测。一旦检测到潜在异常或工况变化,系统便能智能联动调节减振

器的阻尼系数、电机控制参数及滤波补偿策略,实现主动与被动控制技术的动态组合应用。在设备部署层面,采用模块化与分区式安装方案,将抑制装置科学布设于驱动端、基础支撑及壳体连接等关键区域,使控制单元与被控部件实现高效匹配。此种设计不仅最大限度避免原结构的破坏,还显著缩短安装与调试周期,提升了技术改造的可行性、灵活性及成本控制能力,适应复杂工业现场的实际需求。

4 试验验证与工业应用效果评估

为检验机电联合抑制技术的有效性,在典型煤电厂碎煤系统中搭建了具备工业工况仿真能力的试验平台,针对运行中常见的振动与噪声问题展开系统测试。选用锤式碎煤机作为研究对象,并设置对比组与试验组,以评估结构改造与控制策略在实际运行中的表现差异。平台布设了多点传感系统,覆盖关键振动源与声能传播路径,通过多工况测试采集设备在不同运行模式下的动态响应数据,结合频域分析方法掌握其振动变化趋势与声压分布规律。测试过程中尤其注重设备在启停、负载波动及稳态运行下的表现,以全面掌握技术实施对系统稳定性的综合影响。

在实际工业应用验证阶段,依托现场两台工况相同的碎煤机进行对照监测,为期三个月的运行记录提供了详实的实证基础。试验组设备在进行结构强化、电控优化及智能调节模块集成后,运行过程中展现出更好的稳定性与一致性表现。尤其是在设备频繁启停及高负荷波动时,系统表现出较好的抗扰动能力与快速恢复特性。运维数据反馈显示,设备运行环境得到了改善,作业人员的工作舒适度提升,设备故障率明显下降。维护人员对设备状态评估结果更加积极,指出改造后的运行状态在热负荷、电机平稳性及润滑系统负担等方面均表现良好。

在应用推广与经济评估层面,技术团队对机电联合抑制系统的构成成本、投入产出比和维护周期等多个维度进行了系统分析,发现该技术在生命周期内展现出良好的经济与技术效益。其在解决碎煤机长期高振动、高噪声运行痛点的同时,提升了设备的整体稳定性与运行可靠性,为减少故障频率、降低运维负担提供了有力保障^[8]。该系统在不同型号或结构的碎煤机上具备较强的兼容性,通过简单调整参数模型与控制算法即可实现快速适配和部署,极大提高了推广效率。模块

化结构设计降低了现场改造复杂性,也避免了大规模停产造成的经济损失。该系统兼顾节能降耗、噪声治理与智能监控等多重功能,能够为煤电企业实现绿色环保、智能化转型及高效运营提供成熟的解决方案和广阔的应用前景。

5 结语

输煤碎煤机在高强度运行环境下产生的振动与噪声问题,不仅影响设备寿命,还制约作业环境的安全与舒适性。本文提出的机电联合抑制技术,通过结构优化与电控策略协同配合,显著改善了设备的运行稳定性和环境性能。实验与工业应用验证了该技术的可行性和推广价值,为煤电行业实现绿色、安全、高效运行提供了切实可行的技术路径,也为其他高噪声、高振动设备的改造提供了有益借鉴与参考。

参考文献

- [1] 崔富忠.碎煤加压气化炉长周期运行问题及处理措施析[J].煤化工,2025,53(03):68-71+77.
- [2] 赵杰伟.深井软碎煤体巷道密集钻孔卸压控制技术研究[J].煤,2025,34(06):37-42+59.
- [3] 赵梓豪.采动应力下碎煤导通孔隙特征与氧化关联机制研究[D].华北科技学院,2025.D
- [4] 温育晶,余勇,张秀杰.新型环保材料在火力发电厂碎煤机轴端密封装置中的应用研究[J].电力设备管理,2025,(07): 282-284.
- [5] 王育玺,李帅,李树林,等.碎煤加压气化废水酚氨回收系统运行问题及优化改进[J].中氮肥,2025,(02):23-26+61.
- [6] 惠贵鹏,张永锋,翟勇.碎煤加压气化回收装置副产品问题分析和品质优化探讨[J].煤化工,2025,53(01):59-62.
- [7] 胡晓锋.碎煤加压气化炉优化改进小结[J].中氮肥,2025,(01):10-13+24.
- [8] 王颖.碎煤机筛板易损原因及补救改造[J].中国科技信息,2023,(18):77-80.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS