

探析旋转机械故障诊断技术在炼钢设备中的运用

肖昌龙 周上琪 桑轲

重庆钢铁股份有限公司，重庆市长寿区，401220；

摘要：随着现代工业的快速发展，炼钢生产对于社会经济的贡献日益显著，而旋转机械作为炼钢过程中的核心设备，其稳定运行对生产效率和安全至关重要。然而，炼钢设备在高温、高压、高粉尘等恶劣环境下运行，导致机械故障频发，不仅影响了生产节奏，还可能带来严重的安全事故。因此，研究旋转机械故障诊断技术在炼钢设备中的应用，具有显著的现实意义和理论价值。

关键词：旋转机械；故障诊断技术；炼钢设备；运用

DOI:10.69979/3041-0673.24.4.022

引言

在炼钢生产过程中，旋转机械的稳定运行是保障生产连续性和安全性的关键。由于炼钢设备经常在极端条件下工作，如高温、高压和高粉尘环境，这些条件加速了设备磨损，增加了故障发生的概率。因此，对旋转机械进行有效的故障诊断，及时发现并处理潜在问题，对于避免生产中断和安全事故发生至关重要。

1 故障诊断技术发展历史

旋转机械故障诊断技术的发展历程，如同工业技术的演进一样，经历了从简单到复杂，从人工判断到自动化、智能化的转变。早期的故障诊断主要依赖于操作人员的经验判断和定期的机械检查，这种方法具有主观性，且无法做到实时监控，容易错过故障发生的早期信号。

20世纪50年代，随着电子技术的发展，振动分析开始应用于故障诊断，通过安装振动传感器，采集设备运行时的振动信号，初步实现了对设备状态的定量分析。这种技术在当时主要用于识别设备的机械故障，如轴承故障、不平衡和共振等问题。

随着计算机技术的飞速进步，20世纪70年代，数据采集和信号处理技术得到了显著提升，故障诊断进入到了信号处理和特征提取阶段。这时，通过傅里叶变换等技术对振动信号进行频域分析，能更准确地识别出故障特征。此外，专家系统和知识库的引入，使得故障诊断开始具备一定的智能化。

进入21世纪，随着模式识别和机器学习算法的兴起，如人工神经网络、支持向量机等，故障诊断技术实现了从定性到定量的飞跃。这些算法能够处理大量复杂数据，识别出更深层次的故障模式，并通过在线学习持续优化诊断模型，提高了诊断的准确性和可靠性。

与此同时，物联网、大数据和云计算等新兴技术的融合，使得故障诊断能够实时获取大量设备数据，通过云端分析，实现远程监控和预测性维护。这些技术的发

展使得故障诊断从离线到在线，从孤立到网络化，进一步推进了设备管理的智能化。

当前，基于人工智能的故障诊断技术仍在不断发展，深度学习等前沿算法的应用，使得诊断模型具备更强的自我学习和适应能力，能够处理更加复杂和动态的工况，为炼钢设备提供更精细化、个性化的健康管理方案。

旋转机械故障诊断技术的发展历史，从早期的简单人工判断，到现在的智能诊断系统，体现了技术进步对设备管理效率和精度的提升。在这个过程中，我们见证了从信号采集、预处理、特征提取到模式识别、模型建立的逐步演进，这些技术的进步为炼钢设备的安全运行提供了有力保障，并将持续推动炼钢行业的智能化进程。

2 旋转机械故障诊断技术原理

旋转机械故障诊断技术的原理主要围绕设备状态的监测、信号处理、特征提取和故障模式识别四个核心环节。这些环节紧密相连，共同构成了故障诊断的完整流程，确保了设备的健康状态得以实时评估。

在设备状态的监测阶段，传感器扮演着至关重要的角色。它们被安装在旋转机械的关键部位，如轴承、轴、齿轮等，以捕捉设备运行过程中的信号。这些信号可以是机械振动、温度、压力、电流等物理量，它们的变化可能预示着设备的健康状况。例如，在振动分析中，即使是微小的振动变化，也可能揭示轴承磨损、不平衡等问题。

信号处理是将原始的传感器数据转化为有用信息的关键步骤。原始数据中往往包含大量的噪声和无用信息，这可能误导故障诊断。通过滤波、归一化、信号标准化等技术，可以去除噪声，使信号更具可比性和分析价值。对于复杂的信号，如非平稳信号，可能需要使用小波变换、经验模态分解等高级信号处理技术，以提取更深层次的特征。

特征提取是诊断技术中的核心环节，它涉及从处理

后的信号中提取与故障相关的有意义的参数。这些特征可以是频域中的特定频率成分、时间域中的冲击脉冲，或者通过统计分析得到的参数，如均值、方差、相关性等。特征提取的目标是将大量信号数据简化为一组能够反映设备状态的关键指标，这些指标对于后续的故障模式识别至关重要。

故障模式识别是基于特征提取结果，利用机器学习算法，如支持向量机、人工神经网络，或者传统的规则库和专家系统，来判断设备是否处于正常状态或存在某种类型的故障。这些算法通过学习正常设备和故障设备的特征差异，建立诊断模型，当新的特征数据输入模型时，模型可以预测设备的健康状态，甚至预测故障发生的可能性。

在炼钢设备中，故障诊断技术要考虑到特殊的工况和环境因素，如高温、高压、高粉尘等。因此，选择对环境变化不敏感的传感器、优化数据预处理方法以及开发适应性强的故障诊断模型，是提升诊断技术可靠性的关键。例如，使用高温传感器、改进的滤波算法，以及针对高温工况优化的诊断模型，可以帮助旋转机械在极端条件下保持有效的故障诊断能力。

旋转机械故障诊断技术的原理是通过持续的设备状态监测、信号处理、特征提取，以及高效的故障模式识别，实现对设备健康状态的实时评估和早期故障预警。这些技术的进步和创新，为炼钢设备的安全运行及预防性维护提供了科学依据，推动了炼钢行业向智能化和高效化迈进。

3 旋转机械故障诊断技术在炼钢设备中的应用

3.1 炼钢设备故障特点分析

炼钢设备，由于其在极端工况下的运行特点，其故障表现出独特的特征。首先，高温环境是炼钢设备运行的常态，这导致设备材料性能退化，加速了机械零部件的磨损，使得故障更容易发生。例如，高温会加剧轴承的热膨胀，可能导致轴系的失稳，引发振动异常。同时，高温还可能影响传感器的性能，如使热电偶的灵敏度降低，影响实时监测的准确性。

炼钢设备常处于高压环境，这可能造成密封系统的失效，导致润滑油泄漏或者进渣，加速轴承和齿轮的磨损，且可能引发火灾等安全隐患。此外，高压还可能使紧固件松动，影响机械结构的稳定性。

高粉尘环境是炼钢设备面临的另一大挑战。粉尘颗粒会渗透到润滑系统和机械部件之间，加剧磨损，甚至可能堵塞冷却系统，导致设备过热。同时，粉尘还可能影响传感器的清洁度，影响其信号读取的准确性。

炼钢设备的负荷变化频繁，工作循环复杂，这使得

设备在短时间内经历大范围的应力变化，容易产生疲劳裂纹，尤其是对于高速旋转的部件，如转子和叶片。这种疲劳裂纹往往在早期难以察觉，但一旦发展到一定程度，可能导致灾难性故障。

再者，炼钢设备的结构复杂性也是故障诊断的一大难点。设备内部的多个运动部件可能相互影响，故障模式并非总是孤立的，一个部件的故障可能引发连锁反应，导致其他组件的损坏。这种复杂性要求故障诊断技术能够深入理解和解析系统的整体行为，而非仅关注单一故障表现。

炼钢设备的故障特点表现为高温、高压、高粉尘环境下的频繁负荷变化和复杂结构带来的多因素、耦合性的故障模式。这使得传统的故障诊断方法难以有效应对，需要发展更为适应炼钢设备特性的诊断技术，如优化的传感器选择、数据预处理方法，以及更强大的故障诊断模型，以保障设备的稳定运行和生产安全。

3.2 故障诊断技术在炼钢设备中的实际应用

在炼钢设备的实际运营中，旋转机械故障诊断技术是确保设备稳定运行和生产安全的重要手段。这些技术的应用旨在通过实时监测和数据分析，识别设备潜在的故障模式，从而实现预防性维护，减少非计划停机时间，提升生产效率与质量。

振动分析作为核心诊断技术，在炼钢设备的应用中发挥了关键作用。振动传感器被安装在设备的关键部位，如轴承、轴和齿轮，以捕捉振动信号。这些信号包含了大量的设备健康信息。通过小波变换和经验模态分解等高级处理技术，研究人员能够从噪声中提取出与故障相关的特征，如频率成分、冲击脉冲和统计参数。这些特征随后被输入到支持向量机或人工神经网络等机器学习模型中，模型基于历史数据学习正常与故障状态的差异，从而实时评估设备的健康状态并发出预警。

为了适应炼钢设备的特殊环境，如高温、高压和高粉尘，故障诊断技术必须做出相应的调整。传感器的选择尤为重要，应选择能够抵抗高温、压力和粉尘侵蚀的高性能设备。数据预处理方法也需优化，如采用自适应滤波算法，能够有效应对高温环境下的信号干扰。此外，研究人员开发出适应炼钢设备特性的诊断模型，这些模型能够解析复杂工况下的故障模式，提高诊断的准确性和稳定性。

例如，某炼钢企业采用振动分析技术结合油液分析，形成综合诊断系统。振动信号被实时监测，同时定期采集润滑系统的油样进行化学和物理特性分析。当振动数据出现异常或油液分析揭示磨损迹象时，系统会发出警报，调度维护人员对设备进行详细检查。这种综合方法提高了故障发现的灵敏度，使得维护团队能够在设备完

全失效前进行干预，从而避免了生产中断和潜在的安全事故。

通过实例分析，旋转机械故障诊断技术在炼钢设备中的实际应用已经取得了显著的效果。故障诊断系统的引入，使得维护策略从传统的定期维护转变为基于数据的预防性维护，显著降低了故障停机时间。同时，通过早期发现和修复故障，设备的运行效率得到提升，产品质量得到保障，从而降低了总体运行成本，提高了企业的经济效益。

然而，尽管当前的技术已取得显著进步，但炼钢设备的复杂性和环境挑战仍需不断探索和创新。随着大数据、云计算等技术的融合，未来有可能实现更智能、实时的故障诊断，预测故障发生的趋势，并提供更精细的维护建议。这将对炼钢设备的健康管理产生深远影响，推动行业的绿色可持续发展。

旋转机械故障诊断技术在炼钢设备中的应用，是实现设备智能化管理的关键。无论是振动分析、油液分析，还是温度监测等，这些技术的综合应用有助于提升设备的可靠性与安全性，从而确保炼钢生产的稳定进行，为企业的经济效益和社会贡献奠定了坚实基础。随着科技的进步，我们期待故障诊断技术将在炼钢行业及其他工业领域中发挥更大的作用。

3.3 应用效果评估与优化建议

旋转机械故障诊断技术在炼钢设备中的应用，经过长期实践与验证，已展现出显著的效益，包括提升设备运行的可靠性、降低故障停机时间和维护成本，以及改善产品质量。然而，为了进一步提高这种技术的应用效果，应对其实施效果进行定期评估，并根据评估结果提出相应的优化建议。

评估方法通常包括故障诊断系统的精度、响应速度、可维护性以及经济性等指标。精度评估主要通过实际故障发生时诊断系统的正确识别率、漏检率和误报率来衡量。响应速度则关注系统从检测到异常到发出警报的时间，这直接影响到故障处理的及时性。可维护性则涉及到系统故障时的修复速度、所需资源以及操作复杂度。经济性则考虑系统初期投入、运行成本以及故障避免带来的间接经济效益。

优化建议可以从以下几个方面着手：

传感器优化：针对高温、高压、高粉尘等特殊环境，持续研发和使用更为耐受、精确的传感器，如高性能的振动传感器和抗污染的油液采样装置，以提高数据采集的准确性和可靠性。

数据预处理技术升级：随着数据量的增加，应用更先进的信号处理算法，如深度学习的自适应滤波，以更

有效去除噪声，提升信号质量，同时增强对复杂工况的适应性。

诊断模型的持续改进：通过深度学习、强化学习等前沿算法，提升诊断模型的自我学习能力，使其能更好地识别和适应炼钢设备的动态工况，提高诊断的准确性和预见性。

故障模式库的更新与完善：定期根据实际案例更新故障模式数据库，以反映设备运行的最新状态和可能出现的新故障模式，从而提高诊断模型的适用性和前瞻性。

人机交互设计优化：设计更加友好的用户界面，提供快速故障识别和分析的指导，降低维护人员的操作难度，提高故障处理效率。

远程监控与智能决策：结合物联网、云计算技术，实现故障诊断系统与云端数据分析的无缝对接，提供实时的远程监控和智能决策支持，降低现场操作压力，提升整体运维效率。

设备健康管理策略调整：根据诊断结果，优化设备的预防性维护策略，如调整维护周期、提前更换磨损部件，以减少意外停机时间。

跨部门协作：加强生产、维护与研发部门的横向沟通，确保故障诊断技术的最新成果能快速地应用到实际生产中，提高整体效益。

结语

在炼钢设备的健康管理中，故障诊断技术的持续创新和应用是确保生产安全、提高生产效率和降低运营成本的关键。随着技术的不断进步，未来故障诊断技术将更加智能化、实时化，能够实现故障的早期预测和精准定位，为炼钢企业的稳定生产提供强有力的技术支持。同时，随着大数据分析和云计算技术的进一步融合，故障诊断系统将能够处理更加复杂的数据，提供更加精确的维护建议，从而推动炼钢行业向绿色可持续发展的方向迈进。

参考文献

- [1] 张益沛. 旋转机械故障诊断技术在炼钢设备中的运用分析 [J]. 《冶金与材料》, 2023 年第 1 期 71-73, 共 3 页
- [2] 周永棕. 旋转机械故障诊断技术在炼钢设备中的应用研究 [J]. 《山西冶金》, 2020 年第 4 期 163-164, 189, 共 3 页
- [3] 孙凯. 旋转机械故障诊断技术在炼钢设备中的应用 [J]. 《内燃机与配件》, 2019 年第 17 期 174-175, 共 2 页。