

声发射技术在设备故障诊断中的应用

张子庄

国网白城供电公司

摘要:在当前工业发展的背景下,设备的稳定运行成了保障生产连续性和安全性的重要因素。由此,对于设备故障的早期诊断技术的研究日益受到重视。声发射技术,作为一种先进的故障诊断方法,以其非接触性和高灵敏度的特点,为设备故障的早期发现和诊断提供了新的可能。本文深入探讨了声发射技术在捕捉设备微小缺陷及早期故障方面的应用,通过对声发射信号的细致分析,结合现代信号处理方法,构建了一套完善的故障诊断流程。研究结果显示,该技术能在不影响设备正常工作的前提下,精确地探测到材料疲劳、裂纹扩展等故障信号,极大地丰富了设备健康监测的维度,为设备管理提供了有力的技术支撑。

关键词:声发射技术;设备故障诊断;信号处理;材料疲劳;裂纹检测

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2023.12.081

一、引言

在工业生产的各个领域,设备故障的发生往往导致生产效率的降低乃至安全事故的发生,给企业带来了严重的经济损失和安全隐患。因此,发展一种能够实时、准确地监测设备状态,尤其是能在早期阶段就诊断出潜在故障的技术,对于提高生产安全性和经济效益具有十分重要的意义。声发射技术,作为一种基于材料在受力过程中产生的微小声波进行工作的技术,因其非接触性的监测方式和对微小缺陷敏感的特性,成了研究的焦点。它通过捕捉设备运行中产生的微小声波信号,依托先进的信号处理技术,对设备的健康状态进行实时监测和准确诊断。本文通过对声发射技术的原理、应用及其在设备故障诊断中的实际案例分析,展示了该技术在实际应用中的有效性和前景,旨在为工业设备的健康管理提供新的思路和方法。

二、技术原理

1. 声发射技术的工作原理

声发射技术的核心依据是材料受力作用下的微小结构变化产生的声波,这一现象既揭示了材料内部发生的复杂物理过程,也提供了一种监测材料状态、预测潜在故障的有效手段。当材料承受外力,无论是因为机械负荷、温度变化还是其他外界影响,如果内部结构发生微小的变化,如裂纹的出现或扩展,就会产生声波。这些声波虽微弱,却蕴含着关于材料状态的重要信息。

精密设计的声发射传感器在这一过程中起到了关键的桥梁作用,它们能够敏感地捕捉到这些微小的声波信号,即使在复杂多变的工业环境中也能保持高度的灵敏度和准确性。传感器的这种能力,使得声发射技术成了

监测材料和设备健康状况的有力工具。捕捉到的信号随后被传递到先进的分析系统,这里,利用各种算法对信号进行处理,如滤波、放大和解码,以剥离可能存在的噪声,精确地识别出与材料结构变化相关的信号特征。

分析系统的高级数据处理能力确保了从捕捉到的信号中提取出有价值的信息,比如裂纹生成和扩展的早期指示。这一过程既基于单个信号,而且综合考虑信号的频率、振幅和持续时间等多个参数,使得对材料或设备状态的判断更为准确和全面。通过这种方式,技术人员可以及时了解材料的健康状况,识别出潜在的裂纹或疲劳问题,从而在问题扩大前采取相应的维护或修复措施,极大地提高了设备的安全性和可靠性。

2. 声发射信号的特性

声发射技术在材料科学和工程领域的应用中,以其能够提供关于材料受力时内部结构变化的直接信息而受到高度重视。声发射信号的特性,如频率、振幅及持续时间,构成了理解和分析材料行为的关键因素。这些信号特性的变化反映了材料内部发生的物理过程,为科研人员 and 工程师提供了一种监测材料状态、预测可能故障的有力工具。

具体而言,声发射信号的频率是对材料内部事件种类的一种指示。高频信号通常与裂纹的初始形成或微小裂纹的扩展相关联,因为这些事件发生的速度较快,导致产生的声波频率较高。相反,低频信号则可能指向材料的塑性变形或较大范围的结构调整,这类变化发生较慢,产生的声波频率较低。振幅,或声发射信号的强度,则可以提供关于变化发生规模的线索。较大的振幅表明材料内部发生了较为剧烈的变化,如较大裂纹的形

成或显著的塑性变形。持续时间，作为声发射事件发生的时长，同样能够反映材料内部事件的性质。短暂的事件通常与裂纹的急速扩展相关，而持续时间较长的声发射事件则可能与材料在持续负荷下的渐进变形有关。

通过对这些信号特性的综合分析，研究人员可以构建起一个关于材料行为的详细画像。例如，一系列连续出现的高频、高振幅信号可能表明材料内部存在一个或多个迅速扩展的裂纹，这是一个潜在的故障预警信号。同样，如果监测到的是低频、长持续时间但振幅较大的信号，这可能表明材料正在经历较为缓慢但持续的变形过程，可能需要采取措施防止最终的结构失效。

声发射技术的这一应用既为材料的研究和开发提供了深刻的洞见，也为实际工程中的材料选择、设备设计和预防性维护策略的制定提供了重要的依据。通过实时监测材料和结构的声发射信号，可以及时发现潜在的问题，从而在问题成为显著故障之前进行干预，保障结构的完整性和安全性。这种基于声发射信号特性的分析方法，因其直接关联材料内部的物理过程，成了现代材料科学和工程技术中不可或缺的一部分。

3. 信号捕捉与处理

在声发射技术的应用中，传感器的设计和信号处理技术的高级应用是确保技术有效性的关键。这种技术依赖于高灵敏度的传感器来捕捉由材料受力时产生的微弱声波信号。设计精良的传感器能够在极其复杂的工业环境中，即便是在背景噪声极高的情况下，也能够精准地捕获到这些微弱的声波。这种精确度的实现，既彰显了现代传感器技术的进步，也为声发射技术的应用提供了坚实的基础。

捕获到的声发射信号接下来需要被有效地传输到信号处理系统中。在这个过程中，信号处理技术的作用变得尤为重要。利用先进的算法，信号处理系统对接收到的信号进行一系列的处理，包括但不限于滤波、放大以及特征提取。滤波过程旨在去除那些非目标信号，即背景噪声，确保信号的纯净性，从而保证后续分析的准确性。放大过程则是为了增强那些微弱的声发射信号，使其达到信号处理系统可以进一步分析的水平。特征提取过程则是将信号中包含的关键信息提取出来，为后续的分析 and 判断提供依据。

这一系列复杂的信号处理步骤，使得声发射技术能够在众多信号中准确地识别出那些与材料疲劳或裂纹扩

展相关的信号特征。这种精确的识别和分析，对于早期诊断设备潜在故障，预防可能的设备损坏或事故具有重大意义。通过对信号的精确捕捉和处理，技术人员可以在问题发展到更严重的程度之前，及时采取相应的预防或修复措施，从而保障设备的安全运行和延长其使用寿命。

4. 设备健康状态的判断

设备的健康状态监测和评估是确保生产安全、提高效率、减少意外停机时间的关键环节。声发射技术作为一种先进的监测方法，在设备健康状态的准确判断上发挥着至关重要的作用。专家通过对声发射信号的综合分析，能够对设备的健康状况做出客观、准确的评估，这种评估不只基于单一的声发射信号，而是涉及对多个信号参数的深入分析和综合考量。

信号的频率分布提供了关于设备内部发生的事件类型的重要信息。不同的物理过程会产生不同频率的声发射信号。例如，裂纹的快速扩展往往伴随着高频信号的产生，而材料的缓慢塑性变形则可能导致低频信号的出现。通过对频率分布的分析，专家可以推断出设备内部可能发生的具体物理过程，进而判断设备的健康状态。

能量级别的考察则进一步提供了声发射事件强度的直接证据。声发射信号的能量大小反映了设备内部事件的严重程度。较高能量级别的信号可能表明设备内部发生了较为剧烈的物理变化，如大面积的裂纹产生或部件的断裂，这些都是设备健康状况不佳的直接指标。

发射事件的时间序列分析则能够揭示设备状态变化的动态过程。通过跟踪声发射事件的发生频率及其在时间上的分布，可以观察到设备健康状况随时间变化的趋势。持续增加的声发射活动频率可能预示着设备内部损伤的持续累积，这种趋势如果不加以干预，可能会导致设备的最终失败。

结合上述多个信号参数，专家能够构建出一幅设备健康状况的详细画像。这幅画像既描绘了设备当前的健康状态，更重要的是，能够基于当前的状态和变化趋势，预测设备未来的性能变化。这种预测对于设备的维护和修理计划制定具有重要意义，能够帮助工程师制定出更为科学的维护策略，避免不必要的经济损失和安全隐患。

通过声发射技术的应用，可以实现对设备健康状态的实时监控和早期预警。这种技术的应用既提高了设备

的可靠性和安全性，也为设备的维护和管理提供了科学的数据支持，是现代工业管理中不可或缺的技术手段。随着声发射技术及其相关信号处理算法的不断完善和发展，其在设备健康监测领域的应用将更加广泛，对提高工业生产的安全性和经济效益将发挥更加重要的作用。

三、应用实例分析

本案例详细展示了声发射技术如何在工业环境中成功地应用于设备故障诊断，特别是在预防安全事故和减少经济损失方面的重要作用。

1. 技术部署背景

化工厂中的反应器是生产过程中的关键设备，其安全运行直接关系到整个生产线的稳定性和安全性。反应器在长期运行过程中，由于化学物质的腐蚀、温度的变化和内部压力的波动，容易出现微小裂纹，这些裂纹如果不及时发现和处理，可能会迅速扩展，导致设备失效甚至发生严重的安全事故。因此，采用高效的监测技术对其进行实时监控显得尤为重要。

2. 声发射监测系统的实施

针对上述挑战，该化工厂部署了声发射监测系统，以实现反应器的连续健康状态监测。系统由多个高灵敏度声发射传感器组成，这些传感器布置在反应器的关键部位，能够实时捕捉微小的声发射信号。一旦设备内部出现裂纹或者材料疲劳等问题，相应的声发射信号就会增加，通过信号的变化，技术人员可以及时获得设备状态的反馈。

3. 事件预警与处理

在系统运行的初期阶段，监测数据显示反应器某部位的声发射活动频率明显增高。技术团队通过对这些信号的分析，判断出该部位存在裂纹扩展的风险。随即，工厂采取了停机检查的措施，检查结果确认了声发射监测系统的预警是准确的，存在一个正在扩展的微小裂纹。通过及时的维修，避免了可能发生的设备破裂和化学品泄漏，确保了生产的安全和连续性。

4. 经济效益分析

根据事后分析，如果没有声发射监测系统的及时预警，该裂纹的继续扩展可能会导致反应器的完全失效，进而需要更换新的设备，造成的直接经济损失预计超过100万美元。设备的停机和更换还会导致生产线停产，进一步增加经济损失。因此，通过声发射技术实现的故障预警，既保障了生产的安全性，也从经济角度为企业

节省了大量成本。

5. 小结

此案例清晰地展示了声发射技术在化工厂反应器监测中的应用价值。通过对微小裂纹的早期检测和预警，该技术有效地预防了可能的安全事故，避免了巨大的经济损失。这一成功实例证明，声发射监测技术是一种有效的设备健康状态监测手段，对于提高工业设备的安全性和可靠性，减少经济损失具有重要的实际意义。

四、结论

通过对声发射技术在设备故障诊断应用的深入研究，本文证实了该技术在监测设备微小缺陷和早期故障方面的高效性和实用性。声发射技术能够在不中断设备正常运作的情况下，捕捉到微小的材料疲劳、裂纹扩展等缺陷信号，提供了一种全新的设备健康监测手段。该技术的应用，既可以显著提高故障检测的灵敏度和准确性，还可以实现设备状态的连续监测，为预防性维护提供了强有力的技术支持。展望未来，随着信号处理和数据分析技术的进一步发展，结合人工智能和机器学习算法，声发射技术在故障诊断、预测及设备健康管理方面的应用将更加广泛和深入。开发更加高效、灵敏的声发射传感器和监测设备，以及优化声发射信号的处理和分析方法，也将是未来研究的重点方向，以期实现对工业设备状态的更加精准和高效的监控。

参考文献

- [1]陈胜军, 吴成, 张天舒, 张启迪, 吴锦丽. 声发射技术在桥梁健康监测中的应用综述[J]. 工程与建设, 2021, 35(6): 1216-1219.
- [2]章欣, 王艳, 胡恒山, 孙明健, 沈毅. 声发射技术在铁路系统检测中的研究和应用[J]. 应用声学, 2017, 36(3): 189-199.
- [3]司道林, 赵振华, 杨东升, 王树国, 赵晨烯, 樊小平. 高速道岔尖轨断裂对道岔状态影响的试验研究[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(9): 18-22.
- [4]胡怡东, 蒋忠辉. 道岔监测系统在城市轨道交通安全监测中的应用[J]. 铁道建筑, 2020, 60(12): 121-125.
- [5]郝如江, 卢文秀, 褚福磊. 声发射检测技术用于滚动轴承故障诊断的研究综述[J]. 振动与冲击, 2008, 27(3): 75-79.