

起重机械金属结构振动与故障诊断思考

吕媛媛 孙 博

西安特种设备检验检测院 陕西西安 710065

【摘要】起重机械金属结构振动与故障诊断的研究背景与工程安全和可靠性密切相关。起重机械在工业和建筑领域中扮演着重要的作用，但长期使用和重负荷操作可能导致金属结构产生疲劳、腐蚀、裂纹等问题，进而影响机械性能和安全。安全问题、金属疲劳和应力分析、非破坏性检测（NDT）、振动监测、故障诊断、维护和预防性维修、智能化和数据分析等。综合考虑这些因素，起重机械金属结构振动与故障诊断的研究旨在提高工业设备的安全性、可靠性和效率，以满足不断增长的工业需求。这一领域的研究促进了工程安全和维护领域的创新，并为预防事故和减少停机时间做出了重要贡献。

【关键词】起重机械；金属结构；振动；故障诊断

1 起重机械金属结构振动故障分析

首先，必须定期监测起重机械的振动，使用振动传感器和数据采集系统记录振动信号。这些数据包括振动速度、加速度和位移。对振动数据进行频谱分析，以确定振动的频率成分。正常运行时的频谱应该是稳定的，而故障可能会导致不同的频谱特征。特别关注频谱中的异常峰值。观察振动信号的时间域特征，包括波形和振幅。异常振动通常会在时间域中表现出来，如冲击、脉冲或不规则振动。将当前的频谱与正常基线频谱进行比较，以检测任何频率成分的异常增加。这可能表明某个部件出现问题。进行振动模态分析，以确定结构的自然频率和振型。变化的自然频率或振型可能表明结构存在问题。使用计算机辅助的专家系统，根据振动分析数据，自动识别可能的故障模式。这些系统可以提供有关可能原因的建议。如果振动分析表明可能存在问题，可以使用NDE技术，如超声波、磁粉检测或涡流检测，来验证和定位故障。建立机械模型，以模拟金属结构的振动行为。通过模型分析，可以理解振动特征和异常，并进一步诊断故障。将振动分析、NDE结果和结构模型的信息进行综合分析，以确定故障的类型和严重程度。一旦确定了故障，采取适当的维修措施，修复或更换受损部件。制定预防性维护计划，以减少故障的发生。确保记录振动分析、NDE结果和维修措施，以便以后的参考和分析。

2 起重机械金属结构疲劳评价模型

起重机械金属结构的疲劳评价模型是用来评估金属结构在连续或交替加载下的疲劳寿命和可靠性的工具。这些模型通常基于材料性能、结构几何、加载历史和应力分布等因素，以帮助工程师了解结构在实际使用中的疲劳性能。

线性疲劳寿命模型（S-N曲线）：这是最常见的疲劳评价模型，描述了应力和循环寿命之间的关系。S-N曲线显示了在不同应力水平下的疲劳寿命。工程师可以使用这些曲线来估计结构在给定应力下的寿命。

应力幅值法：应力幅值法将应力历史分解为不同幅值的应力，并使用每个幅值的S-N曲线来估计寿命。这可以更准确地考虑不同幅值下的疲劳特性。

双向循环疲劳模型：对于周期性双向加载，此模型考虑了拉伸和压缩加载的影响，并根据不同应力方向的S-N曲线来估计疲劳寿命。

裂纹扩展模型：裂纹扩展模型用于评估已存在的裂纹在疲劳加载下的扩展速率和寿命。这对于评估结构中已有缺陷的情况非常重要。

有限元分析：有限元分析结合了结构几何、材料性能和加载历史，用于模拟金属结构的应力分布。这可以用来识别疲劳敏感区域和估计疲劳寿命。

3 当前起重机械金属结构振动与故障诊断存在的问题

起重机械的振动数据通常非常复杂，受多种因素影响。分析这些数据需要高度专业的知识和工程背景，因此在某些情况下可能存在分析的复杂性。一些起重机械可能缺乏足够的振动传感器和监测系统，导致振动数据的获取和监测不足。这可能会导致无法及时检测到潜在的故障。起重机械的金属结构通常非常复杂，包括各种连接部件和焊缝。这使得难以定位和评估潜在的问题。振动与温度之间存在相互关系，温度的变化可能影响金属结构的振动行为。因此，需要同时考虑振动和温度数据。非破坏性检测（NDE）技术在检测裂纹和缺陷方面非常有用，但它们也可能受到限制，例如，对于隐蔽部分的检测可能不够灵敏。

一些起重机械可能缺乏综合性的维护计划，以根据振动分析和故障诊断的结果执行预防性维护。

4 起重机械金属结构振动与故障诊断应用分析

4.1 建立机械模型，模拟金属结构的振动行为

首先，确定要建立的机械模型的类型。通常可以选择简单的模型，如弹簧质点模型，或更复杂的有限元模型，具体取决于所要模拟的结构复杂性和问题复杂性。为了建立机械模型，需要首先创建结构的几何模型。这包括定义结构的尺寸、形状、连接部件、支撑和受力点等。在有限元模型中，这通常通过绘制几何模型并划分为有限元网格来实现。为模型选择适当的材料性质，包括弹性模量、泊松比、密度等。这些参数对于准确模拟结构的振动响应至关重要。在模型中定义支撑条件和加载条件，以模拟实际工作中的应力和振动。这包括确定支撑点的位置和类型，以及模拟外部载荷和振动激励。对于有限元模型，将结构划分为离散的有限元。每个有限元代表结构的一个部分，并具有特定的几何和材料性质。基于结构的几何、材料和加载条件，建立模型的方程。这些方程通常是差分方程或微分方程，描述了结构的振动行为。使用数值求解方法，如有限元分析软件或数值求解器，求解模型的方程。这将产生结构的模态振动响应。分析模态振动响应，包括自然频率、振型和阻尼比。这有助于理解结构的振动特性。使用外部载荷或振动激励对结构进行动力响应分析，以模拟实际工况下的振动。分析模拟的振动数据以检测异常振动模式或频谱特征，以诊断潜在的故障或问题。根据模型分析的结果，可以对结构进行优化或改进，以减轻振动或延长使用寿命。

4.2 何利用大数据和机器学习技术

利用大数据和机器学习技术来进行起重机械金属结构振动与故障诊断是一种先进的方法，它可以提高诊断的精度和效率。首先，需要安装振动传感器和其他传感器以收集起重机械金属结构的振动数据、温度数据、应力数据等。这些数据将作为大数据的基础。数据必须被有效地存储，以便后续分析。大数据通常包含噪声和异常值。在进行机器学习之前，需要对数据进行清洗和预处理，以去除无效数据点、校正数据偏移并确保数据质量。从振动数据中提取特征，这些特征可以包括频谱分量、时域特征、统计特征等。特征提取有助于减少数据的维度，并捕捉关键信息。基于振动数据和其他特征，建立机器学习模型来识别异常振动模式和故障特征。常见的机器学习算法包括支持向量机、随机森林、神经网络等。使用历史数据训练机器学习模型，并使用验证数据集来评估模型的性能。模型需要能够识别不同类型的振动故障，如裂纹、磨损、失调等。部署训练好的机器学习模型到实际监测系统中，实

时监测起重机械的振动数据。当模型检测到异常振动时，会触发警报或诊断结果。机器学习系统可以生成可视化报告，以帮助工程师理解振动数据和诊断结果。这有助于及时采取维修措施。通过不断收集数据和反馈，可以改进机器学习模型的性能。模型可以逐步适应不同的工况和结构变化。这种方法可以应用于多个起重机械，因为它可以在不同设备之间进行知识迁移和共享。

4.3 严格控制诊断误差

诊断的准确性始于数据的质量。确保振动传感器和其他传感器的精度和校准是非常重要的。采集的数据应具有足够的分辨率和采样频率以捕获细微的振动特征。在进行诊断之前，进行数据预处理以去除噪声、校正基线漂移和处理异常值。这有助于确保分析的数据是可靠和干净的。提取有代表性的振动特征是关键。特征工程可以帮助减少数据的维度，同时保留有关结构状态的关键信息。确保选择合适的特征并进行适当的标准化。选择合适的机器学习算法是关键。不同的算法对不同类型的问题和数据具有不同的适应性。根据具体情况选择合适的算法，例如支持向量机、随机森林或深度学习模型。训练机器学习模型时，使用大量的标记数据来确保模型学习了结构的正常和异常振动模式。然后，使用验证数据集来评估模型的性能，以防止过拟合。在实际运行中，不断监测起重机械的振动，并根据模型输出的结果进行实时反馈。这有助于检测问题并提前采取维修措施。在训练数据集中，包括各种类型的已知故障样本，以帮助模型学会识别各种异常振动模式。监督模型的性能，并定期对模型进行维护和重新训练。结构的状态可能会随时间而变化，需要及时更新模型以适应新的情况。

5 结语

振动与故障诊断对于起重机械金属结构的安全和可靠运行至关重要。利用先进的技术，如大数据分析和机器学习，能够实现更准确的监测和诊断，减少停机时间，降低维修成本，并提高整体效率。然而，诊断的成功不仅仅依赖于技术，还需要合适的管理、模型选择和领域专业知识的结合。随着技术的不断进步和实践经验的积累，将能够更好地保护起重机械金属结构，确保其长期稳定的运行，以应对复杂工业环境的挑战。

参考文献：

- [1] 谢文昕, 马伟, 杜雪雪, 倪佳敏, 殷晨波. 起重机械金属结构缺陷的热成像技术研究[J]. 红外技术, 2022, 44 (07).
- [2] 张圣. 起重机械故障诊断与检验检测研究[J]. 中国设备工程, 2021 (20).
- [3] 戴建芯, 严明锋. 基于低压供电系统防护特性的起重机械接地要求探讨[J]. 中国特种设备安全, 2021, 37 (08).