

## 燃气轮机喘振故障诊断方法研究

单汉生

华润电力(常州)有限公司, 江苏 常州 213000

[摘要] 随着工业生产的发展和能源需求的增长, 燃气轮机的应用范围和数量不断扩大。燃气轮机的喘振问题长期以来一直是困扰着工程技术人员的难题。喘振不仅会导致设备损坏和停机维修, 还可能给生产安全和环境保护带来严重影响。因此, 开展燃气轮机喘振故障诊断方法的研究, 具有重要的工程实践和理论意义。

[关键词] 燃气轮机; 喘振; 振动特征; 诊断方法

DOI: 10.33142/ect.v2i7.12734

中图分类号: TK471

文献标识码: A

## Research on Diagnostic Methods for Gas Turbine Surge Faults

SHAN Hansheng

China Resources Power (Changzhou) Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213000, China

**Abstract:** With the development of industrial production and the growth of energy demand, the application scope and quantity of gas turbines are constantly expanding. The problem of gas turbine surge has long been a difficult problem for engineering and technical personnel. Surge not only causes equipment damage and downtime for maintenance, but also may have serious impacts on production safety and environmental protection. Therefore, conducting research on gas turbine surge faults diagnosis methods has important engineering practice and theoretical significance.

**Keywords:** gas turbine; surge; vibration characteristics; diagnostic methods

### 引言

燃气轮机作为一种重要的动力装置, 在工业生产和能源领域扮演着关键角色。然而, 燃气轮机在运行过程中可能会出现喘振现象, 这是一种严重的振动问题, 不仅会影响设备的安全稳定运行, 还可能导致设备损坏甚至事故发生。因此, 对燃气轮机喘振故障进行及时准确的诊断和预防具有重要意义。

### 1 燃气轮机喘振故障诊断的重要性

燃气轮机作为重要的能源转换设备, 在现代工业生产中发挥着至关重要的作用。随着其规模和复杂性的不断增加, 燃气轮机的故障诊断和预防变得越来越关键。其中, 喘振故障作为一种严重的振动问题, 对燃气轮机的安全运行和稳定性产生了直接而严重的影响。首先, 喘振故障可能导致燃气轮机的损坏和停机。喘振会引起燃气轮机各部件的过度振动和应力集中, 导致叶片、轴承、密封等关键部件的疲劳破坏, 甚至造成机组的严重损坏, 进而导致停机维修给生产带来严重影响。其次, 喘振故障可能导致安全事故和环境污染。燃气轮机的喘振不仅会损坏设备本身, 还可能导致周围设备和管道的损坏, 甚至引发火灾、爆炸等严重安全事故, 对人员生命财产安全构成威胁; 同时, 喘振还可能导致燃气轮机排放的气体污染增加, 对环境造成不良影响。此外, 喘振故障可能导致能源浪费和经济损失。燃气轮机的喘振会导致能源转换效率降低, 燃料消耗增加从而造成能源资源的浪费; 同时, 停机维修和设备更

换等成本也将导致企业经济损失的增加, 降低企业的竞争力和盈利能力。因此, 开展喘振故障诊断研究具有重要的理论和实践意义, 能够提高燃气轮机的运行可靠性和经济性, 促进工业生产的持续健康发展。

### 2 燃气轮机喘振特征分析

燃气轮机喘振特征分析是一项关键的工作, 旨在深入研究和理解燃气轮机内部振动现象, 识别喘振事件的特征, 并从中获取有助于诊断和预防喘振故障的关键信息。这一过程主要涉及到参数特征、振动特征和其他特征三个方面。首先, 参数特征是燃气轮机运行参数的监测和分析。这些参数包括燃气轮机的转速、负荷、温度、压力等, 它们能够直接反映出燃气轮机内部运行状态的基本特征。通过对这些参数的分析, 可以发现喘振事件可能与燃气轮机的运行参数变化相关联, 从而提供重要线索用于喘振故障的诊断。其次, 振动特征是燃气轮机喘振特征分析的核心内容之一。这些特征主要包括振动信号的频率、幅值、相位、谱特性等。通过对振动信号的时域和频域分析, 可以揭示喘振事件的振动特征和规律, 进而识别喘振的发生和发展趋势。振动特征的分析对于深入理解喘振现象的本质和机理至关重要。除了参数特征和振动特征外, 其他特征也具有重要意义, 如流场特征、声学特性、结构特性等。这些特征涉及到燃气轮机内部流动、声场分布、机械结构等方面的特征。通过对这些特征的分析, 可以更深入地理解喘振事件的形成机理和规律, 为喘振故障的诊断和预防提供更全面的依据。

### 3 喘振形成机理

#### 3.1 流体动力学基础

喘振是燃气轮机运行中一种严重的振动现象,形成机理涉及多个方面,其中流体动力学是其中重要的一部分。流体动力学基础为理解和解释喘振的发生提供了重要的理论基础。在燃气轮机内部,气体通过叶片和导向器等部件时,会形成复杂的流场。这个流场受到机械运动、气动载荷,以及管道结构等多种因素的影响。在某些条件下,这些影响可能导致气体流动产生不稳定性,从而引发振荡现象即喘振。流体动力学基础主要涉及两个方面:一是流场动态特性,二是压力脉动和涡旋结构。首先,流场动态特性指的是流场中气体流动的动态变化。当流场中存在速度梯度、压力梯度和温度梯度时,会产生不稳定性,从而引发振荡。这种不稳定性可能是由于惯性力、离心力、黏性力等因素引起的。其次,压力脉动和涡旋结构是流场中的另一个重要特征。在燃气轮机内部,气体流动通常会形成压力脉动和涡旋结构,这些结构可能会与机械结构共振从而引发振荡。此外,流体动力学基础还涉及到气体流动的稳定性分析和流动控制理论。通过对流场稳定性的分析,可以揭示喘振事件的发生机理和规律。同时,流动控制理论可以帮助理解和预测流场中的振荡现象,为喘振故障的诊断和预防提供理论支持。

#### 3.2 声学理论分析

声学理论分析在燃气轮机喘振形成机理的解释中扮演着重要角色。声学理论涉及到气体在燃气轮机内部流动时所产生的声波以及声学波动与流体动力学的相互作用。首先,声学理论分析可以帮助理解声波在燃气轮机内部的传播和反射。在燃气轮机内部,气体流动和机械运动会产生声波,这些声波在管道、叶片和其他结构中传播并发生反射。当声波传播和反射达到一定条件时,可能会产生共振现象,进而引发喘振事件。其次,声学理论分析还可以研究声波与气体流动之间的相互作用。在燃气轮机内部,气体流动会受到声波的影响,反之亦然。当声波和气体流动之间存在共振条件时,可能会产生不稳定性,导致喘振事件的发生。通过对声波和气体流动之间相互作用的分析,可以揭示喘振事件的发生机理和规律。此外,声学理论还可以研究声学波动的频率、幅值和相位等特征。在燃气轮机内部,声学波动的频率和幅值通常会随着喘振事件的发生和发展而发生变化。通过对声学波动的特征参数进行监测和分析,可以揭示喘振事件的发生机理和演化规律,为喘振故障的诊断和预防提供重要依据。

#### 3.3 喘振模态分析

喘振模态分析是对燃气轮机内部振动特性进行研究和分析的重要手段之一。通过喘振模态分析,可以揭示燃气轮机内部振动的模态特征,包括频率、振幅和振型等,从而深入理解喘振现象的本质<sup>[1]</sup>。首先,喘振模态分析通

常涉及到结构动力学和振动理论的知识,燃气轮机内部的各个部件和结构在运行过程中会受到各种外部和内部力的作用,从而产生振动。通过结构动力学和振动理论的分析,可以建立燃气轮机的振动模型,进而研究和分析其振动特性。其次,喘振模态分析还涉及到模态识别和模态分解技术。在燃气轮机内部振动信号中,通常存在多个振动模态,这些模态可能对应于不同的结构振动特性。通过模态识别和模态分解技术,可以将振动信号分解为不同的模态成分,并进一步分析每个模态的频率、振幅和振型等特征。此外,喘振模态分析还可以结合实验测试和数值仿真方法进行。通过实验测试,可以获取燃气轮机内部振动信号的实际数据,从而验证和优化模态分析结果;通过数值仿真,可以模拟燃气轮机内部的振动行为,进一步深入理解喘振现象的机理和规律。最后,喘振模态分析的结果对于喘振故障的诊断和预防具有重要意义。通过分析燃气轮机内部振动的模态特性,可以识别出与喘振相关的振动模态,进而采取相应的措施进行故障诊断和预防,从而保障燃气轮机的安全稳定运行。

### 4 燃气轮机喘振故障诊断方法

#### 4.1 模型驱动的诊断方法

模型驱动的诊断方法是一种基于建立数学或物理模型的方式来诊断燃气轮机喘振故障的方法。这种方法依赖于对燃气轮机内部流场、结构振动以及控制系统等方面的深入理解,通过建立相应的模型来模拟和分析燃气轮机的运行状态,从而诊断喘振故障。首先,模型驱动的诊断方法通常涉及建立燃气轮机的数学模型或物理模型。数学模型可以基于流体动力学、结构动力学、控制理论等方面的知识,通过建立微分方程组或状态空间方程来描述燃气轮机的运行过程。物理模型则可以基于实验测试和数值仿真等方法,通过建立几何结构、材料特性和边界条件等方面的模型来模拟燃气轮机的运行行为。其次,模型驱动的诊断方法还涉及到模型参数的识别和校准。在建立燃气轮机模型的过程中,需要识别和确定模型中的各种参数,包括流体动力学参数、结构参数以及控制参数等。通过与实际运行数据进行比较和校准,可以提高模型的准确性和可靠性,进而提高诊断的精度和可信度。此外,模型驱动的诊断方法还可以结合优化算法和参数辨识技术等方法进行研究。通过对模型进行优化和参数辨识,可以提高模型的适应性和泛化能力,从而更准确地模拟和预测燃气轮机的运行状态,进一步提高诊断的效果和效率。最后,模型驱动的诊断方法的实施需要综合考虑模型的复杂性、计算成本以及实际应用的可行性等因素。针对不同类型和规模的燃气轮机,可以选择合适的模型类型和诊断策略,以实现有效的喘振故障诊断和预防。

#### 4.2 信号处理技术在诊断中的应用

信号处理技术在燃气轮机喘振故障诊断中的应用是

一种基于对振动信号进行采集、处理和分析的方法,通过对振动信号的特征提取和分析,实现对燃气轮机运行状态的监测和故障诊断。首先,信号处理技术可以应用于振动传感器的数据采集和信号预处理。通过在燃气轮机关键部位安装振动传感器,可以实时采集到振动信号数据。然后,利用信号处理技术对采集到的信号进行预处理,包括滤波、降噪、去趋势等操作,以提高信号质量和准确性。其次,信号处理技术可以用于特征提取和特征分析<sup>[2]</sup>。通过采用时域分析、频域分析、小波分析等方法,可以从振动信号中提取出各种特征参数,如频率、幅值、相位、谱特性等。这些特征参数能够反映出燃气轮机内部的振动状态和运行特性,从而为故障诊断提供重要依据。此外,信号处理技术还可以应用于异常检测和故障诊断算法的设计。通过采用机器学习、模式识别、人工智能等方法,可以建立振动信号的异常模型和故障诊断模型,实现对燃气轮机运行状态的实时监测和故障诊断。这些算法能够快速准确地识别出燃气轮机运行中的异常情况和故障原因,为及时采取相应措施提供重要支持。最后,信号处理技术的应用还可以结合数据融合和多源信息融合的方法,实现对燃气轮机多个方面的监测和诊断。通过综合考虑振动信号、温度信号、压力信号等多个传感器的数据,可以更全面地了解燃气轮机的运行状态,提高故障诊断的准确性和可靠性。

#### 4.3 机器学习在喘振故障诊断中的应用

机器学习在燃气轮机喘振故障诊断中的应用是一种基于数据驱动的方法,通过对大量振动信号数据进行训练和学习,建立模型来自动识别和预测喘振故障的发生和发展。核心思想是从数据中学习规律和模式,实现对燃气轮机运行状态的智能监测和故障诊断。首先,机器学习技术可以用于特征工程和特征选择。通过对振动信号数据进行特征提取和降维处理,可以从大量的原始数据中提取出具有代表性和区分度的特征参数,如频域特征、时域特征、小波特征等。这些特征能够反映出燃气轮机内部振动的状态和特性,为后续的模型建立和故障诊断提供重要的输入<sup>[3]</sup>。其次,机器学习技术可以用于建立分类器或回归模型。通过选择合适的机器学习算法,如支持向量机、随机森林、神经网络等,可以建立针对燃气轮机喘振故障的

分类模型或回归模型。这些模型可以利用振动信号的特征参数作为输入,自动学习和训练,实现对燃气轮机运行状态的智能识别和预测。此外,机器学习技术还可以结合监督学习、无监督学习和半监督学习等方法进行研究。通过监督学习,可以利用带有标签的振动信号数据进行模型训练,实现对燃气轮机喘振故障的监督式诊断。无监督学习则可以通过挖掘数据中的潜在规律和模式,实现对燃气轮机运行状态的无监督式监测和故障诊断。半监督学习则可以结合有监督学习和无监督学习的优势,实现更加全面和精确的故障诊断。最后,机器学习技术的应用还可以结合深度学习和迁移学习等高级方法。通过利用神经网络等模型的强大学习能力和表征能力,可以实现对振动信号数据的端到端学习和自动特征提取,进一步提高故障诊断的准确性和可靠性。迁移学习则可以利用已有模型的知识,加速对新问题的解决,为燃气轮机喘振故障诊断提供更快、更有效的方法。

#### 5 结语

在燃气轮机喘振故障诊断方法的研究中,我们深入探讨了喘振现象的特征、形成机理以及不同的诊断方法。通过对参数特征、振动特征和其他特征的分析,我们能够更加全面地理解喘振事件的发生和发展规律。模型驱动的诊断方法、信号处理技术以及机器学习方法等先进技术的应用,为喘振故障的诊断和预防提供了新的思路和方法。在未来的工程实践中,我们将进一步探索这些方法的有效性和可行性,不断提升燃气轮机的安全性、稳定性和可靠性,以满足工业生产的需求,推动行业的发展。

#### [参考文献]

- [1]徐博超. 燃气轮机喘振故障研究与应对措施[J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2023, 28(1): 98-104.
- [2]郑健, 田鑫, 韩苗苗, 等. 分布式航改型燃气轮机典型故障分析及应对措施[J]. 分布式能源, 2020, 5(2): 39-45.
- [3]张艾森. 燃气轮机启动过程故障诊断方法研究[J]. 自动化仪表, 2022, 43(11): 33-38.

作者简介: 单汉生(1984.12—), 毕业院校: 南京大学, 专业: 工商管理硕士, 职称: 工程师, 职位: 设备管理部副部长。