

# 水轮发电机组机械故障的电气信号特征分析

韦昌明

海南华建工程监理咨询有限公司

DOI:10.12238/hwr.v8i9.5691

**[摘要]** 水轮发电机组的故障诊断是水机组维护管理中的重要环节,对提升水电站安全、稳定运行有重要作用。本文首先分析了电气信号特征在水轮发电机组机械故障诊断中研究的意义,并针对应用电气信号特征诊断水轮发电机组机械故障中存在的难点,提出了相应的优化策略,期望能为水轮发电机组机械故障的诊断做出帮助。

**[关键词]** 水轮发电机; 机械故障; 电气信号特征

**中图分类号:** TB857+.3 **文献标识码:** A

Analysis of electrical signal characteristics of mechanical failure of hydrogenerator set

Changming Wei

Hainan Huajian Engineering Supervision and Consulting Co., LTD

**[Abstract]** The fault diagnosis of hydro-generator set is an important link in the maintenance and management of hydro-generator set, which plays an important role in improving the safe and stable operation of hydropower station. In this paper, the significance of electrical signal characteristics in the fault diagnosis of hydrogenerator units is analyzed, and the corresponding optimization strategy is proposed in view of the difficulties in the diagnosis of mechanical faults of hydrogenerator units by using electrical signal characteristics, hoping to help the diagnosis of mechanical faults of hydrogenerator units.

**[Key words]** hydrogenerator; Mechanical failure; Electrical signal feature

## 引言

目前,我国的水电行业正处于高速发展阶段,机组规模、运行管理和安全保障等都在不断提高。为了保证机组的稳定与安全运行,应建立一套完整的故障诊断体系。水轮发电机组是水电站的重要组成部分,其故障诊断也是水电设备维护管理工作中十分重要的一个环节。由于故障类型复杂多样,所以需要采用科学的诊断方法来进行诊断。电气信号可以反映出水轮发电机组机械故障的特征,因此研究电气信号特征在水轮发电机组故障诊断中的应用具有较高的意义。

## 1 电气信号特征在水轮发电机组机械故障诊断中研究的意义

### 1.1 电气信号的频率分析与故障检测

发电机中的电气信号与机械故障、轴承故障以及汽轮机故障等密切相关,一般情况下,对于某一故障而言,其频率都会呈现出一定的规律性变化,而这种规律性变化则主要体现在信号的频率上。因此,通过对电气信号进行频率分析,可以有效地判断水轮发电机组是否发生了故障。由于水轮发电机组存在着较多的故障类型,因此,在实际的故障诊断过程当中,不仅要通过电气信号的频率分析来判断机组是否发生了故障,而且还要结

合其他诊断方法综合分析故障原因。

### 1.2 电压和电流波形异常在故障诊断中的应用

根据水轮发电机组的工作原理,机组在运行过程中产生大量的电压和电流信号。这些信号主要来自于电机、发电机和水轮机等部门。电压波形可以反映出设备运行状态,如正常状态下,电压为380V左右,当出现故障时,电压会急剧下降甚至接近零点;电流波形则可以反映出设备运行状态,如正常情况下电流为5A~6A,而在启动、停机和特殊工况下电流可能会高达数十A以上,并且还存在着波动现象。通过对电压波形和电流波形进行分析,能够很好地判断出机组是否发生故障。例如,当机组出现轴承故障时,由于轴承损坏导致水润滑失效,此时就会造成发电机端电压异常升高,同时发电机端电流也会随之增加;另外,当机组出现汽蚀故障时,由于动静之间发生摩擦,在摩擦区域内将产生大量热量,从而引起发电机端电压升高和电流增大。因此,通过对电压和电流波形的分析,能够有效诊断出机组的运行状态,进而采取相应措施来解决故障问题<sup>[1]</sup>。

### 1.3 电气信号时域分析在机组状态监测中的重要性

电气监测信号在时域内的特征与机组故障密切相关。如果不能对其进行有效地分析和研究,就无法正确判断出机组是否

出现了故障。对于水轮发电机组而言,通过电气信号的变化能够及时发现异常情况并采取相应的措施,进而降低机组运行事故的发生概率,提高机组的安全性和经济性。因此,需要进一步加强对于水轮机电气信号特征的分析研究,以便于更好地了解机组的运行状态。

#### 1.4 电气信号特征与水轮发电机组振动分析的关联

电气信号特征在水轮发电机组故障诊断中具有重要的研究意义。首先,电气信号能够实时反映机组的运行状态,通过分析这些信号,可以及时发现设备的异常情况,从而避免突发性故障的发生。其次,电气信号特征分析可以为故障诊断提供定量的依据,通过对比正常运行状态下的信号特征与异常状态下的信号特征,可以准确地定位故障源,提高维修效率。此外,电气信号特征分析还能够辅助预测性维护,通过对信号特征的长期监测和分析,可以预测设备可能出现的故障,从而实现提前维护,减少停机时间,提高发电效率。电气信号特征与水轮发电机组振动分析之间存在着紧密的关联。振动是水轮发电机组运行中常见的现象,它可能是由多种因素引起的,包括机械不平衡、轴承磨损、叶片损伤等。电气信号特征能够与振动信号相互印证,通过分析电气信号的变化,可以辅助判断振动的来源和性质。例如,当电气信号出现异常波动时,可能与机械部件的振动有关;而振动信号的频率和幅度变化,也可以在电气信号中找到相应的反映。因此,将电气信号特征与振动分析相结合,可以更全面地诊断机组的健康状况,为故障的精确定位和维修决策提供科学依据<sup>[2]</sup>。

### 2 应用电气信号特征诊断水轮发电机组机械故障中存在的难点

#### 2.1 信号噪声干扰与故障特征提取的挑战

水轮发电机组的电气设备通常由大量的电子元器件组成,其产生的信号多为脉冲形式,并且其中还存在着较强的干扰噪声。为了便于后续分析与诊断,需要将这些信号从噪声中提取出来,但这一过程涉及到许多技术难点。由于信号本身是不规则的脉冲形式,导致在提取时难以保持信号原有的形态,且信号受到其他因素影响严重,容易发生失真现象,此外采集设备、仪器等硬件不稳定,也会对信号特征造成破坏。

#### 2.2 诊断模型的泛化能力与实际工况适应性问题

传统的诊断方法是建立在有限的工况条件下,为了获取较高的诊断精度,通常会选择那些不容易发生故障的设备进行测试。而实际运行中,受各种因素影响,很多设备都会出现故障,通过这些设备采集到的数据往往是异常样本占大多数,所以对正常样本的拟合能力会降低,这就造成了诊断模型的泛化能力和实际工况适应性较差的问题。

#### 2.3 多故障模式共存下的信号分离难题

水轮发电机组是一个由多个组件构成的系统,任何一个组件发生故障都会产生一套甚至多套电信号,要想对其进行分析,必须先从各种故障模式中分离出电信号的特征。对于存在于不同部位、具有相同故障特征的信号来说,这样的信号分离是比较容易实现的,但对于多种故障共存的情况下,想要准确地提取故

障特征信息就比较困难了。此外,由于发电机运行环境的复杂性和多样性,使得其实际工作过程中会产生大量的振动信号,这些信号也可能与故障信号相互交织在一起,从而导致传统的基于信号特征的诊断方法无法有效应用<sup>[3]</sup>。

#### 2.4 实时监测系统中数据处理与分析的效率问题

在实际的水轮发电机组故障诊断过程中,对电气信号进行有效的监测与处理需要耗费较长时间。由于发电机组运行状态处于动态变化过程之中,因此会受到各种因素的影响,导致电气设备的参数也在不断发生变化,这就使得其运行状态变得更加复杂多变。在这种情况下,针对电气信号的处理难度进一步加大,要想提高实时监测系统的效率就必须降低数据处理的难度,所以需要借助先进技术手段来提升信号分析的准确性,从而为故障诊断提供可靠依据。

#### 2.5 诊断技术在不同水轮发电机组间的兼容性与标准化问题

由于水轮发电机组结构与功能的复杂性,导致对其故障诊断也存在一定困难。例如:不同类型、不同机型、不同参数和运行状态的机组故障机理存在很大差异,导致故障诊断技术无法进行标准化、通用化研究。再如:目前国内运行的机组中,汽轮机采用了多种形式,包括亚临界、超临界、超超临界等,而水轮机则分为贯流式、混流式、轴流式等,且多数机组都采用了多个厂家生产的设备,造成各机组电气、机械部件及其控制系统差异较大,给机组在线监测和故障诊断带来了较大困难。

### 3 应用电气信号特征诊断水轮发电机组机械故障的优化策略

#### 3.1 应用迁移学习技术

在采用传统机器学习方法进行故障诊断时,通常是先收集大量的样本数据,然后将这些样本输入到训练好的模型中进行学习。然而,由于水轮发电机组的运行环境、工况条件等因素都具有较大的不确定性,导致实际采集到的样本数据与训练样本数据存在差异,进而影响了训练模型的性能。为了解决这一问题,可应用迁移学习技术对所采集的样本数据进行预处理和特征提取。具体而言,首先需要从原始信号中抽取多个有代表性的特征向量,然后利用迁移学习方法对这些特征向量进行规范化处理,最后将其作为分类的标签用于后续的训练过程<sup>[4]</sup>。

#### 3.2 开发多任务学习模型,进行有效的信号分离

为了提高水轮发电机组故障诊断的准确性,开发多任务学习模型是关键。多任务学习模型能够同时处理多个相关任务,通过共享表示学习来提高泛化能力。在水轮发电机组的故障诊断中,可以设计一个多任务学习模型,该模型同时执行信号分离和故障特征提取两个任务。首先,模型需要对采集到的混合信号进行有效的分离,将水轮机和发电机的信号区分开来。这可以通过深度学习中的自编码器结构来实现,自编码器能够学习到输入信号的压缩表示,并能够重构出与原始信号尽可能接近的输出。通过训练自编码器对混合信号进行解码,可以得到分离后的纯净信号。其次,分离后的信号将被用于提取故障特征。这一步

骤可以通过卷积神经网络 (CNN) 来完成, CNN在图像识别和信号处理领域表现出色, 能够自动提取信号中的空间和时间特征。通过训练CNN识别不同故障状态下的信号特征, 可以进一步提高故障诊断的准确性。

### 3.3 优化算法和数据结构, 减少计算复杂度

为进一步提高故障诊断的准确性, 需要对所收集到的信息进行预分析。但是, 在实际应用中, 由于信号复杂、干扰等原因, 很难用手工方法进行有效的辨识。为此, 需要对故障检测算法进行优化, 以减少计算量。例如, 可以利用神经网络和遗传算法等技术, 对原始数据进行处理, 以提高诊断准确率。同时, 还可以通过建立相应的数据库来存储不同类型的故障特征, 以便后续使用时能够快速获取所需信息, 从而更好地完成故障诊断工作。

### 3.4 制定统一的数据采集和处理标准

水机组在运行过程中, 常常会遇到一些设备失效与故障等问题, 而如何处理这些问题, 则需要专业人士进行深入研究。建立一套统一的数据采集与处理标准, 并根据该标准进行相应的分析工作, 以提升水机组的机械故障诊断水平。并在此基础上, 结合具体工作情况, 选用最合适的方法。另外, 也可以通过引入计算机技术, 将收集到的数据资料转化为信息, 再利用这些数据对故障进行诊断, 从而达到更高的诊断精度<sup>[5]</sup>。

### 3.5 进行信号预处理, 分离信号中的有效信息

对于水轮机振动信号和电气信号来说, 它们包含的信息量较大, 并且其中也掺杂了很多噪音信息, 因此需要对其进行预处理, 这样才能够确保其有效性。通过对水轮机振动信号和电气信号中不同信息的分离, 可以发现故障特征信号与正常工作时的信号特征之间存在着明显的差异。在此过程中, 首先要使用FFT对信号进行预处理, 然后将得到的第一个视频图像作为诊断对

象。利用这种方法来分析水轮发电机组的运行情况, 能够提高其运行质量。

## 4 结语

综上所述, 水轮发电机组的故障诊断是一个复杂而多变的过程, 涉及多种技术和方法的综合应用。通过采用迁移学习技术、开发多任务学习模型、优化算法和数据结构、制定统一的数据采集和处理标准以及进行信号预处理等策略, 可以显著提高故障诊断的准确性和效率。未来, 随着人工智能、大数据分析 and 物联网技术的进一步发展, 水轮发电机组的故障诊断技术将更加智能化、自动化, 为保障电力系统的稳定运行提供强有力的技术支持。同时, 跨学科的深入研究和合作, 将为解决水轮发电机组故障诊断中的各种挑战提供新的思路和方法。

## [参考文献]

- [1]李睿智,李家贤.水轮发电机组机械故障的电气信号特征分析[J].科学技术创新,2022,(09):193-196.
- [2]刘攀.混流式水轮发电机组振动信号降噪与特征提取方法研究[D].华北水利水电大学,2022.
- [3]杨辉斌.斗晏电站水轮发电机定子电磁振动特性分析及改造研究[J].小水电,2024,(04):64-66+70.
- [4]陈嵩,赵栋栋,张玺,等.一管多机水电站机组负荷振荡原因分析及预防措施[J].水电站机电技术,2024,47(08):18-20.
- [5]张新.水轮发电机组顶盖振动及运行稳定范围探究[J].石化技术,2024,31(07):210-212.

## 作者简介:

韦昌明(1971--),男,汉族,海南省海口市人,大学本科,职称:高级工程师,研究方向:水利水电工程。