

# 水利发电机组设备老化管理与寿命预测研究

田琦

河北省水务中心石津灌区事务中心 河北 石家庄 050000

**摘要:** 随着水电事业的不断发展,水利发电机组在电力生产中发挥着至关重要的作用。然而,由于长期运行和各种环境因素的影响,水利发电机组设备不可避免地会出现老化现象。本文深入研究了水利发电机组设备老化的原因、表现形式以及对发电效率和安全性的影响。同时,详细探讨了设备老化管理的方法和策略,包括定期检测、维护保养、技术改造等。此外,还对水利发电机组设备的寿命预测方法进行了深入研究,如基于可靠性理论、统计分析和人工智能技术的寿命预测方法。

**关键词:** 水利发电机组;设备老化;老化管理;寿命预测

引言:水利发电机组作为水电能源转换的关键设备,其运行状态直接关系到电力系统的稳定和可靠供应。随着设备使用时间的延长,不可避免地会出现老化现象,这不仅会降低发电效率,还可能引发安全事故。因此,加强水利发电机组设备老化管理和寿命预测研究具有重要的现实意义。

## 1 水利发电机组设备老化的原因及表现形式

### 1.1 老化原因分析

(1) 长期运行磨损。水利发电机组在长期的运行过程中,各个部件之间不断地产生摩擦和振动。以水轮机为例,转轮与导叶之间的持续摩擦会使两者的表面逐渐磨损,影响水轮机的工作效率。发电机的轴承在高速旋转的过程中也会承受巨大的压力和摩擦力,长期下来容易出现磨损,进而影响发电机的正常运转。这种磨损是一个渐进的过程,随着时间的积累,设备的性能会逐渐下降。

(2) 环境因素影响。水利发电机组通常处于较为恶劣的环境中。潮湿的环境会使设备容易受潮,尤其是发电机的绕组,一旦受潮,其绝缘性能会下降,容易引发短路等故障。高温和高湿度的环境则会加速设备的腐蚀和氧化。例如,水轮机的过流部件长期接触水流,水流中的泥沙和腐蚀性物质会不断侵蚀过流部件,使其表面变得粗糙,影响水流的通过效率,同时也降低了设备的使用寿命。

(3) 电气因素影响。电气系统中的过电压、过电流和谐波等因素对发电机的绝缘系统危害极大。雷击是产生过电压的常见原因之一,当雷电击中电力线路或发电设备时,会产生极高的电压,瞬间对发电机的绝缘造成破坏。短路故障也会导致过电流的产生,强大的电流会使发电机的绕组发热,加速绝缘老化。此外,谐波的存

在会使电气设备产生额外的损耗,影响设备的性能和寿命。

(4) 操作与维护不当。操作人员如果不按照操作规程进行操作,可能会对设备造成严重的损害。例如,频繁启停机组会使设备在短时间内经历较大的温度变化和机械应力,加速设备的老化。维护保养不及时、不到位也是设备老化的一个重要原因。如果不及清理设备表面的污垢,污垢会影响设备的散热,导致设备温度升高,加速部件的老化。

### 1.2 表现形式解读

(1) 性能下降。设备老化后,最明显的表现就是性能下降。水轮机的效率降低是常见的现象之一。由于转轮和导叶等部件的磨损,水流的能量转换效率会下降,导致发电效率降低。发电机的输出功率也会变得不稳定,电压和频率可能会出现波动。这不仅会影响电力系统的稳定性,还会降低电力的质量,对用户的用电设备造成损害。

(2) 故障增多。老化的设备容易出现各种故障。水轮机的密封件老化后,可能会导致漏水问题,不仅会影响水轮机的工作效率,还可能对周围的设备造成损害。发电机的轴承磨损会使机组产生异常振动,严重时可能会导致设备损坏。此外,设备老化还可能导致温度升高,如发电机的绕组温度过高,可能会引发绝缘损坏,甚至引发火灾。

(3) 可靠性降低。随着设备的老化,其可靠性会逐渐降低。出现故障的概率会增加,这给电力系统的稳定运行带来了很大的风险。例如,发电机的绝缘老化可能导致短路故障,瞬间中断电力供应,对用户造成严重影响。水轮机的转轮磨损可能会导致机组停机,需要进行维修,这不仅会影响发电效率,还会增加维修成本。

## 2 水利发电机组设备老化对发电效率和安全性的影响

### 2.1 对发电效率的影响

设备老化首先会导致能量转换效率降低。水轮机作为将水流能量转化为机械能的关键设备，其转轮在长期运行过程中一旦磨损，水流的能量转换为机械能的效率便会大幅下降。原本汹涌的水流经过磨损的转轮，无法充分地将自身能量传递给机械部分，使得机械能的产生大打折扣。而发电机的绕组老化后，机械能转换为电能的效率也会显著降低<sup>[1]</sup>。就好像一个运转不畅的传动系统，每一个环节的效率下降最终导致整个发电过程的发电量减少。老化设备的损耗也会增加。轴承磨损会带来机械损耗的增加，使得设备在运行时需要消耗更多的能量来克服摩擦力，这部分额外的能量消耗降低了发电效率。绕组老化则会导致电气损耗上升，电流在老化的绕组中流动遇到更大的阻力，从而造成能量损失。这些损耗如同一个个“漏洞”，不断吞噬着本应转化为电能

### 2.2 对安全性的影响

在安全性方面，设备老化带来的隐患更是不容小觑。老化设备故障风险大幅增加，短路、接地、过热等问题随时可能出现。比如发电机绝缘老化可能引发短路故障，进而导致火灾；水轮机过流部件破裂则可能造成水淹厂房等严重事故。此外，设备老化后可靠性降低，故障概率上升，这对电力系统的稳定运行构成威胁。发电机的故障可能引起电力系统电压波动、频率不稳定，影响整个电网的安全，甚至可能导致大面积停电，给生产生活带来极大的不便和损失。

## 3 水利发电机组设备老化管理方法

### 3.1 定期检测

(1) 检测内容。定期对水利发电机组进行全面检测是老化管理的重要环节。机械部件、电气系统和控制系统都需要仔细检查。外观检查可以发现设备表面的腐蚀、磨损和变形等问题。尺寸测量有助于确保设备的安装精度和运行稳定性。对于机械部件，要重点关注磨损情况，如轴承的磨损、齿轮的啮合情况等。电气系统的检测则包括绝缘电阻的测量和电气参数的监测，以确保电气设备的正常运行。

(2) 检测方法。采用先进的检测技术和设备可以提高检测的准确性和效率。超声波检测可以检测设备内部的缺陷，如裂纹和空洞等。红外线检测可以发现设备的过热部位，提前预警潜在的故障。振动检测可以监测设备的运行状态，判断是否存在不平衡或松动等问题。同时传统的目视检查和测量方法也不能忽视，它们可以直

观地发现一些明显的问题。多种检测方法的结合使用，可以对设备进行全面、深入的检测。

(3) 检测周期。检测周期的制定应根据设备的使用情况和重要性来确定。对于关键设备和易损部件，如发电机的轴承和水轮机的转轮等，检测周期应适当缩短，以便及时发现问题并采取措施。对于一般设备，可以适当延长检测周期，以降低检测成本。还要根据设备的运行环境和负荷情况进行调整，确保检测的及时性和有效性。

### 3.2 维护保养

(1) 日常维护。日常维护是设备老化管理的基础。清洁设备表面的污垢和灰尘可以保持设备的散热性能，防止因过热而损坏设备。润滑轴承、齿轮等部件可以减少磨损，延长设备的使用寿命。紧固螺栓、螺母等可以防止设备松动，确保设备的运行稳定性。日常维护工作应定期进行，并做好记录，以便及时发现问题并进行处理。

(2) 定期保养。定期保养是对设备进行全面检修和维护的重要手段。根据设备的使用情况和维护手册，制定合理的定期保养计划。大修是对设备进行全面的检修和维护，更换磨损严重的部件，恢复设备的性能和可靠性。中修是对设备进行部分检修和维护，更换部分易损部件，确保设备的正常运行。小修是对设备进行日常维护和检修，处理一些小故障，保证设备的稳定运行。定期保养工作应由专业的技术人员进行，确保保养质量<sup>[2]</sup>。

### 3.3 技术改造

(1) 设备升级。对老化设备进行升级改造是提高设备性能和可靠性的有效途径。对于水轮机，可以采用高效的转轮和导叶，提高水轮机的效率。对于发电机，可以采用新型的绝缘材料和绕组结构，提高发电机的绝缘性能和可靠性。还可以对设备的控制系统进行升级，提高设备的自动化水平和运行效率。设备升级改造需要进行充分的技术论证和经济分析，确保改造的可行性和有效性。

(2) 自动化改造。对水利发电机组的控制系统进行自动化改造可以提高设备的运行效率和可靠性。采用自动化控制系统可以实现机组的自动启停、调节和保护，减少人为操作的失误。采用远程监控系统可以实现对机组的远程监测和控制，及时发现问题并采取措施。自动化改造需要投入一定的资金和技术力量，但可以带来显著的经济效益和社会效益。

## 4 水利发电机组设备寿命预测方法

### 4.1 基于可靠性理论的寿命预测方法

(1) 可靠性模型建立。可靠性理论是研究设备在规

发电机组设备,我们可以根据其故障数据和运行情况,建立可靠性模型。比如,采用指数分布模型时,假设设备的故障率为常数,适用于故障率稳定的设备;威布尔分布模型则更为灵活,可以描述不同阶段的设备寿命分布情况。通过对大量历史数据的分析和拟合,确定模型的参数,从而准确描述设备的寿命分布。

(2) 寿命预测。在建立可靠性模型后,我们可以利用该模型预测设备的寿命。平均寿命是指设备在正常运行条件下的平均使用时间;可靠寿命是指设备在给定可靠度下的寿命;中位寿命则是指设备寿命分布的中位数。这些指标可以从不同角度反映设备的寿命特征<sup>[3]</sup>。为了考虑寿命预测的不确定性,我们可以采用蒙特卡洛模拟等方法。蒙特卡洛模拟通过随机抽样的方式,模拟设备的寿命分布,从而得到寿命的概率分布和不确定性区间。这种方法可以帮助我们更好地了解设备寿命的不确定性,为决策提供更全面的信息。

#### 4.2 基于统计分析的寿命预测方法

(1) 数据收集与分析。统计分析是寿命预测的重要方法之一。我们先要收集水利发电机组设备的运行数据和故障数据,包括设备的运行时间、故障次数、维修时间等。然后对这些数据进行统计分析,了解设备的运行规律和故障模式。例如,通过分析故障次数与运行时间的关系,可以判断设备的故障率是否随时间变化;通过分析维修时间的分布,可以了解设备维修的难易程度和时间成本。

(2) 寿命预测模型建立。根据统计分析结果,我们可以建立寿命预测模型。回归分析是一种常用的方法,它可以建立设备的寿命与运行时间、故障次数等因素之间的线性或非线性关系。时间序列分析则适用于具有时间序列特征的数据,可以预测设备未来的寿命趋势。在建立模型时,我们需要选择合适的统计方法和模型参数,以提高模型的预测精度和可靠性。

(3) 寿命预测。利用建立好的寿命预测模型,我们可以对设备的寿命进行预测。预测区间和置信区间是常用的不确定性分析方法。预测区间表示在一定置信水平下,设备寿命的可能取值范围;置信区间则表示模型参数的不确定性范围。通过对寿命预测结果进行不确定性分析,我们可以更好地了解预测结果的可靠性,为决策提供更准确的依据。

#### 4.3 基于人工智能技术的寿命预测方法

(1) 数据采集与处理。人工智能技术在寿命预测中

具有很大的潜力。首先,我们需要采集水利发电机组设备的运行数据和故障数据,这些数据可以包括设备的温度、压力、振动等参数。然后,对数据进行处理,包括数据清洗、特征提取和数据归一化等。数据清洗可以去掉噪声和异常值,提高数据的质量;特征提取可以从原始数据中提取出与设备寿命相关的特征;数据归一化可以将不同量纲的数据转化为统一的标准,便于模型的训练和预测<sup>[4]</sup>。

(2) 模型建立与训练。采用人工智能技术,如神经网络、支持向量机、遗传算法等,建立寿命预测模型。神经网络具有强大的非线性拟合能力,可以自动学习数据中的复杂关系;支持向量机则适用于小样本数据的预测,具有较高的预测精度;遗传算法可以通过优化模型的参数,提高模型的泛化能力。通过大量的训练数据,对模型进行训练和优化,不断提高模型的预测精度和泛化能力。

(3) 寿命预测。根据训练好的寿命预测模型,我们可以对设备的寿命进行预测。实时预测和在线预测是人工智能技术的优势之一,可以实现对设备寿命的动态监测和预测。实时预测可以根据设备当前的运行状态,及时预测设备的寿命变化;在线预测则可以在设备运行过程中,不断更新模型,提高预测的准确性。

结束语:水利发电机组设备老化是一个不可避免的问题,对发电效率 and 安全性产生了重要影响。通过有效的老化管理和准确的寿命预测,可以提高水利发电机组的可靠性、安全性和经济性,为水电事业的可持续发展提供有力保障。在实际工作中,应根据设备的具体情况,综合运用定期检测、维护保养、技术改造等老化管理方法,以及基于可靠性理论、统计分析和人工智能技术的寿命预测方法,不断提高设备管理水平,确保水利发电机组的安全、稳定运行。

#### 参考文献

- [1]密云水.电站超期服役机组寿命评估研究及应用[J].2020,42(30):1-5.
- [2]潘罗平.基于健康评估和劣化趋势预测的水电机组故障诊断系统研究[D].2023.3-9
- [3]王杰.水力发电机组故障预测以及维护探讨[J].轻学电脑,2021,000(005):P.1-1.
- [4]李巧.水力发电机组故障预测及维护探讨[J].工业2024.09-23.