

# 航电枢纽水力发电机组效率优化研究

徐智超

江西省港航建设投资集团有限公司 江西 南昌 330008

**摘要:** 水力发电作为绿色能源的代表,在全球能源布局中占有重要地位。航电枢纽,作为水力发电的关键节点,其发电机组的效率直接关系到能源的产出效率与经济效益。本文深入探讨了航电枢纽水力发电机组的效率优化途径,旨在为相关领域提供理论和实践指导,推动水力发电行业的持续进步。

**关键词:** 航电枢纽;水力发电机组;效率优化

## 引言

在全球能源转型的大背景下,水力发电以其清洁、可再生的特点受到了广泛关注。航电枢纽作为水力发电系统中的重要一环,承担着将水能转化为电能的重要任务。然而,随着技术的发展和能源需求的增长,传统的水力发电机组已难以满足高效、环保的要求。因此,本文将从机械和电气两大方面入手,系统探讨航电枢纽水力发电机组的效率优化策略。

## 1 机械部分效率优化具体策略

### 1.1 水轮机叶片优化

水轮机叶片的优化是提高水力发电机组效率的关键环节。在现代水力发电技术中,利用计算流体力学(CFD)技术对叶片进行精细化的流场分析和优化设计已经成为行业内的标准做法。CFD技术能够模拟水轮机内部复杂的水流动态,包括水流的速度分布、压力分布以及涡流和湍流的产生情况。通过对这些数据的深入分析,工程师可以精确地识别出叶片形状、角度和位置等因素对流场的影响。基于这些分析结果,可以对叶片进行针对性的优化设计,以减少涡流和湍流的形成,从而提高叶片的水能转换效率。这种优化不仅涉及叶片的整体形状,还包括叶片表面的细节设计,如翼型的选择、叶尖和叶根的处理等。除了利用CFD技术进行流场分析和优化设计外,采用高强度、轻质的复合材料来制造水轮机叶片也是提高效率的重要手段。传统的金属材料叶片虽然强度较高,但质量也相对较大,导致叶片在旋转过程中产生的惯性力较大,影响了机组的响应速度和动态性能。而高强度、轻质的复合材料不仅可以有效降低叶片的质量,还能保持足够的结构强度,从而提高叶片的耐用性和可靠性<sup>[1]</sup>。轻质复合材料叶片的采用,可以显著降低机组运行过程中的能耗和机械磨损,延长机组的使用寿命。同时,由于复合材料具有较好的抗腐蚀性,可以减少叶片在恶劣水环境下的腐蚀损伤,进一步

提高了机组的稳定性和可靠性。

### 1.2 轴承和密封系统改进

在水力发电机组中,轴承和密封系统的性能对于机械效率具有重要影响。为了提高机组的整体效率,必须对这两个关键部件进行细致的优化和改进。首先,轴承作为支撑旋转部件并减少摩擦的关键元件,其选择至关重要。传统轴承可能由于精度不高或摩擦系数较大而导致不必要的能量损失。因此,选用高精度、低摩擦的轴承成为提高效率的关键。这类轴承通常采用高级材料和精密制造工艺,确保在高速旋转时仍能保持低摩擦、低热量产生,并有效减少振动和噪音。这不仅延长了轴承的使用寿命,还显著降低了机械损失,进一步提高了机组的整体效率。其次,密封系统的改进同样不容忽视。在水力发电机组中,密封系统主要用于防止水或其他流体泄漏,确保机组内部部件的正常运行。然而,传统的水润滑密封往往存在泄漏问题,这不仅导致水能损失,还可能对机组内部造成损害。为了解决这个问题,可以引入先进的密封技术和材料,如使用高性能的密封环和弹性材料,以提高密封的可靠性和耐久性。同时,通过优化密封结构,如增加密封面的接触面积或使用多级密封设计,可以进一步降低水润滑密封的泄漏量。此外,对于密封系统的维护也至关重要。定期检查并更换磨损的密封件,保持密封面的清洁和光滑,可以确保密封系统的长期稳定运行。通过这些改进措施,不仅可以显著降低水能损失,还能提高机组的运行稳定性和可靠性。

### 1.3 机组振动控制

机组振动是水力发电机组运行中常见且需要严格控制的问题。振动不仅会影响机组的稳定性和寿命,还可能导致性能下降和安全隐患。因此,实施有效的机组振动控制策略至关重要。为了实时监测机组的振动情况,安装高精度的振动传感器成为首要步骤。这些传感器能够捕捉机组在运行过程中的微小振动信号,并将其转化

为电信号进行传输和处理。通过连续监测这些信号，可以及时发现机组振动异常，为后续的调整和维护提供准确数据支持。在监测到振动数据后，如何有效控制振动成为关键。动态平衡技术在这一环节中发挥着重要作用。转子的不平衡是导致机组振动的主要原因之一，而动态平衡技术正是通过调整转子的质量分布来达到减少振动的目的<sup>[2]</sup>。具体来说，该技术通过在转子上增加或减少质量块，使得转子在高速旋转时能够达到动态平衡状态。这样，机组在运行过程中的振动幅度和频率都能得到有效控制。实施动态平衡技术需要专业的设备和精确的计算。首先，需要使用专业的动平衡机对转子进行精确测量，确定不平衡的具体位置和大小。然后，根据测量结果，在转子的适当位置增加或减少质量块，以达到平衡状态。这一过程中，对质量块的选择和安装位置都有严格的要求，以确保调整后的转子能够在各种工况下都保持稳定运行。除了上述的振动控制策略外，定期的机组维护和检查也是减少振动的重要措施。通过定期检查机组的各个部件，及时发现并处理潜在的问题，可以有效预防振动异常的发生。

## 2 电气部分效率优化具体策略

### 2.1 励磁系统优化

励磁系统是水力发电机组中的核心组成部分，对于发电机的稳定运行和电能质量具有至关重要的作用。为了提升电气部分的效率，励磁系统的优化显得尤为重要。针对励磁系统的优化，首先要提及的是采用先进的数字式励磁控制器。这种控制器利用微处理器技术，能够实现励磁电流的精确控制。与传统的模拟控制器相比，数字式励磁控制器具有更高的控制精度和更快的响应速度。它可以根据发电机的实时运行状态，动态调整励磁电流，确保发电机在各种工况下都能保持稳定的输出电压和频率。这种精确控制不仅提高了发电机的运行效率，还有助于延长发电机的使用寿命。除了控制器的升级，励磁绕组的设计也是优化的关键一环。励磁绕组是产生磁场的关键部件，其设计的合理性直接影响到发电机的性能和效率。为了降低铜损和铁损，可以对励磁绕组进行精细化设计。一方面，通过优化绕组的线径、匝数和排列方式，可以减少电流的集肤效应和邻近效应，从而降低铜损；另一方面，选用高性能的硅钢片作为铁芯材料，可以有效减少铁损。这些措施共同作用下，可以显著提高发电机的效率。此外，对于励磁系统的冷却和散热也需要给予足够的重视。在发电机运行过程中，励磁系统会产生大量的热量，如果散热不良，会导致设备温度升高，进而影响设备的性能和寿命。因

此，在设计励磁系统时，应充分考虑冷却和散热的需求，采用合理的冷却方式和散热结构，确保励磁系统能够在良好的温度环境下稳定运行。

### 2.2 电力电子技术应用

在现代水力发电技术中，电力电子技术的应用对于提升电气效率起到了至关重要的作用。其中，引入变频器等先进的电力电子设备是实现发电机输出电能灵活调节的关键。变频器作为一种能够改变电源频率的电力电子设备，被广泛应用于水力发电机组中。通过变频器，可以实现对发电机输出电能频率的精确控制。这种设备不仅能够根据电网需求或负载变化，实时调整发电机的输出频率，使其与电网频率保持一致，还能在机组启动、停机或负载突变等情况下，提供平稳的频率过渡，从而保护发电机和电网的稳定运行。除了频率调节，电力电子技术还能实现电压的灵活控制。通过调整变频器的参数设置，可以方便地改变发电机的输出电压，以满足不同用电设备的需求。这种电压调节功能在提高电能质量的同时，也有助于减少因电压不匹配而造成的电能损耗<sup>[3]</sup>。此外，高效的整流和逆变技术在电能转换过程中发挥着重要作用。整流技术可以将交流电转换为直流电，而逆变技术则能将直流电转换为交流电。这两个过程在电力系统中是不可或缺的，但传统的转换方法往往伴随着较大的能量损失。为了提高转换效率，现代水力发电机组普遍采用高效的整流和逆变器件，如IGBT（绝缘栅双极型晶体管）等。这些器件具有导通电阻小、开关速度快等优点，能够显著降低电能转换过程中的损耗，提高电能利用率。

### 2.3 智能保护与监控系统

在提升水力发电机组电气效率的同时，确保其安全稳定运行同样至关重要。为此，安装智能保护装置成为了一项不可或缺的措施。这些智能保护装置能够实时监测发电机组的各项运行状态，包括电压、电流、温度、振动等多个关键参数。一旦监测到异常数据，如过流、过压或温度过高，保护装置会立即作出反应，及时切断故障部分，从而有效防止故障扩大，保护发电机组免受进一步损害。除了本地的智能保护，利用物联网技术实现的远程监控和数据分析也在现代水力发电中扮演着越来越重要的角色。物联网技术的引入，使得发电机组的运行状态数据能够实时传输到远程监控中心。在这里，专业的数据分析软件会对这些数据进行深入挖掘和分析，帮助运维人员准确掌握发电机组的运行状况，及时发现潜在的故障隐患。此外，基于大数据分析的优化运行策略也正在成为水力发电行业的新趋势。通过对历史

运行数据和实时数据的综合分析,可以找出发电机组在不同工况下的最优运行参数,从而制定出更为精细的运行策略。这不仅有助于提高发电机组的运行效率,还能延长设备的使用寿命,减少不必要的维护成本。智能保护与监控系统的结合使用,不仅提升了水力发电机组的安全性和可靠性,还为其高效运行提供了强有力的技术支持。

### 3 运行与管理优化策略

#### 3.1 智能调度与负荷管理

在电力系统中,智能调度与负荷管理是确保电网稳定运行、优化资源配置的关键环节。为了更有效地管理电网负荷和发电机组的出力,构建智能电网调度系统显得尤为重要。这一系统能够实时收集并分析电网的负荷数据、电价信息以及发电机组的运行状态,从而进行精准的调度决策。智能电网调度系统的核心在于其强大的数据处理和分析能力。系统能够根据电网的实时负荷情况,自动调整发电机组的出力,确保电网的供需平衡。同时,系统还能根据电价信息,优化发电机组的运行方式,以降低运行成本,提高经济效益。此外,利用大数据和人工智能技术,我们可以对电网负荷变化进行更为精准的预测。通过对历史负荷数据的深入挖掘和分析,结合天气、节假日、经济活动等多维度信息,构建出负荷预测模型。这一模型能够提前预测未来一段时间内的电网负荷走势,为机组的运行策略调整提供有力支持。有了负荷预测的结果,电网运营者便可以提前调整发电机组的运行策略。例如,在负荷高峰来临前,可以增加机组的出力,确保电网的稳定供应;在负荷低谷时,则可以适当降低机组的出力,以节约能源和降低成本。

#### 3.2 维护与检修策略优化

为确保水力发电机组的持续稳定运行,科学的维护和检修计划显得至关重要。通过制定细致的维护和检修日程,可以最大限度地减少非计划停机时间,从而提升机组的整体运行效率。这种计划不仅应涵盖定期的常规检查,还应包括针对特定部件的深入维护和必要的零部件更换。在实施维护和检修计划时,状态监测技术发挥着举足轻重的作用。这项技术能够对发电机组的关键部

件进行实时健康评估,及时发现并预警潜在的故障点。例如,通过对轴承温度、振动频率等关键指标的持续监测,可以准确判断部件的工作状态,从而在故障发生前采取预防措施。状态监测技术的引入,不仅提高了故障预警的准确性,还使得维护和检修工作更具针对性和效率。维修人员可以根据监测数据,精确定位需要维护或更换的部件,避免了不必要的全面检查和停机时间。这种精准维护的策略,不仅延长了发电机组的使用寿命,也显著提升了运行效率<sup>[4]</sup>。此外,随着技术的不断进步,状态监测正逐渐与大数据分析、云计算等先进技术融合,为发电机组的健康管理提供了更为强大的支持。通过这些技术的综合运用,可以更深入地了解机组的运行状况,发现隐藏在数据背后的故障模式,从而制定出更为精准的维护和检修策略。

### 结语

本文通过对航电枢纽水力发电机组的机械和电气部分进行深入研究,提出了一套全面的效率优化方案。这些策略的实施将有助于提高水力发电机组的整体效率和经济性,为航电枢纽的可持续发展提供有力支持。展望未来,随着科技的不断进步和创新应用的不断涌现,我们相信水力发电行业将迎来更加广阔的发展空间和更加美好的未来。

### 参考文献

- [1]苏立,毛成,文贤旭,等.变速水力发电机组低电压穿越中机组转速上升率的计算及其影响分析[J].电网与清洁能源,2024,40(02):149-154.
- [2]沈家同.浮管式水力发电机的效率形成机理[C]//中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会.2020年教育信息化与教育技术创新学术论坛(昆明会场)论文集(上).[出版者不详],2020:6.
- [3]皮俊科,杨珊华,吴永鑫.井冈山航电枢纽水力发电机组EXC 9100励磁系统选型优化与应用[J].电力设备管理,2021(06):85-87+107.
- [4]郭怡轩.水力发电机组突增负荷暂态特性分析与参数优化[D].西北农林科技大学,2022.DOI:10.27409/d.cnki.gxbnu.2022.000711.