

# 水动力特性对水力发电效率影响研究

王鹏坤 肖智伟

汉江水利水电(集团)有限责任公司 湖北 丹江口 442700

**摘要:** 水力发电作为一种利用水流动能产生电能的发电方式,其效率受多种水动力特性的影响。本文旨在探讨水流速度、水位高度、水面形状、压力差等因素对水力发电效率的影响,以期为水力发电站的设计、运行和优化提供参考。

**关键词:** 水动力特性;水力发电;效率;影响

## 引言

水力发电是一种清洁、可再生的能源利用方式,具有环保性和资源可持续性等优点。然而,水力发电效率受多种因素影响,其中水动力特性是关键因素之一。因此,研究水动力特性对水力发电效率的影响,对于提高水力发电效率、促进能源可持续发展具有重要意义。

## 1 水动力特性对水力发电效率的影响

### 1.1 水流速度

水流速度是影响水力发电站发电效能和整体效率的一个至关重要的水动力参数。在水力发电过程中,水流速度扮演着关键角色,其大小直接关联到水轮机叶轮的旋转速度以及机械能向电能的转换效率。具体来说,当水流速度增加时,水轮机叶轮所受的冲击力随之增强,从而驱动叶轮以更高的速度旋转。这种旋转速度的提升,直接促进了水轮机机械输出功率的增加,进而在发电机中将更多的机械能转换为电能,提升了水力发电站的发电量。然而,水流速度对水力发电效率的影响并非呈简单的线性关系<sup>[1]</sup>。当水流速度超出水轮机的设计极限时,会带来一系列负面效应。首先,过高的水流速度会对水轮机叶片产生极大的冲击力和摩擦力,这不仅会加速叶片的磨损,还会导致叶片表面出现疲劳裂纹,严重影响水轮机的运行稳定性和使用寿命。其次,过高的水流速度还可能诱发空化现象,即水流中的气泡在流经高压区域时迅速溃灭,产生强烈的冲击波和噪声,这种物理作用会对水轮机内部结构造成严重的侵蚀和破坏。因此,在水力发电站的实际运营中,必须综合考虑多种因素,以确定一个既能够最大化发电效率又能够确保水轮机长期稳定运行的水流速度范围。这通常涉及到对水力发电站所在地区的水文条件、水轮机类型及其性能参数进行深入分析,并借助先进的水力学计算和模拟技术,对水流速度进行优化设置。通过精细的调控和管理,可以确保水力发电站在保持高效运行的同时,减少设备磨

损和故障风险,延长整体使用寿命。

### 1.2 水位高度

水位高度是影响水力发电站发电能力和运行安全性的一个至关重要的参数。在水力发电的语境下,水位高度直接关联到水库的储水能力和通过水轮机的水流量,进而影响水轮机的转速和机械输出功率,最终决定水力发电站的发电量。具体而言,当水位高度增加时,水库的储水量会相应增大,这意味着有更多的水能被用来驱动水轮机旋转。随着水流量的增加,水轮机转速也会相应提升,进而使得水轮机的机械输出功率增加。在发电机中,这种增加的机械能被有效地转换为电能,从而提升了水力发电站的发电效率。因此,在合理的范围内提高水位高度,对于增加水力发电站的发电量具有显著效果。然而,水位高度的提升并非没有限制。过高的水位会带来一系列的安全风险和挑战。首先,过高的水位会增加水库大坝的静水压力和动水压力,对大坝的结构安全构成威胁。一旦水位超过大坝的设计极限,就可能导致大坝出现裂缝、渗漏甚至溃决等严重问题,进而引发洪水灾害,对下游地区的人民生命财产安全造成巨大威胁。其次,高水位还可能改变周边地区的地质条件,诱发泥石流、滑坡等地质灾害,进一步加剧安全风险。因此,在水力发电站的设计和运行过程中,必须对水位高度进行精确的控制和监测。

### 1.3 水面形状

水面形状在水力发电站运行中扮演着至关重要的角色,它直接影响着水力发电站的水力特性和发电效率。为了确保水流能够平稳、高效地流经水轮机,维持一个规则、平滑的水面形状是至关重要的。首先,规则的水面形状有助于减少水流中的湍流和涡旋现象。在自然环境中,水流往往受到地形、风速、水流速度等多种因素的影响,容易产生不规则的流动模式。这些不规则的流动模式不仅会增加水流阻力,降低水流的流动效率,还

会在水轮机进口处形成复杂的流速分布,导致部分水流无法有效冲击水轮机叶片,从而降低水轮机的转速和机械输出功率。通过精心设计和维护规则的水面形状,可以最大限度地减少这些不利因素,使得水流更加顺畅地进入水轮机,提高水轮机的进水效率和能量转换效率。其次,水面形状的变化还会直接影响水的流速和水轮机的转速。当水面形状不规则时,水流速度分布会变得不均匀,导致水轮机叶片受到不均匀的冲击力,进而引起水轮机的振动和噪音。这种振动和噪音不仅会影响水力发电站的运行环境,还会加速水轮机叶片的磨损和老化,缩短设备的使用寿命。此外,不规则的水面形状还可能导致水轮机转速的波动,使得发电效率变得不稳定。因此,在水力发电站的设计和运行过程中,必须高度重视水面形状的控制和管理。这包括在水库设计和建设过程中,采取一系列工程措施来确保水面形状的规则性。例如,可以设置导流墙来引导水流方向,减少湍流和涡旋的产生;同时,还可以利用河床平整技术来平滑河床表面,降低水流阻力。在水力发电站的运行过程中,还需要定期对水库进行维护和清理工作,及时清除杂物和沉积物,防止它们对水面形状造成不良影响。

#### 1.4 压力差

压力差在水力发电站的运行过程中是一个至关重要的参数,它直接影响着水轮机的性能、发电效率以及设备的安全运行。在水力发电过程中,压力差是指水流在进水口和出水口之间的压力差异,这种压力差是水轮机能够工作的基础动力之一。具体来说,当压力差增大时,水流通过水轮机时所携带的能量也会相应增加,这将直接提升水轮机工作时的水力功率。水力功率的增加意味着水轮机能够转换更多的水能为机械能,进而在发电机中转换为电能,从而提高水力发电站的发电量<sup>[2]</sup>。因此,在一定程度上,增大压力差有助于提高水力发电站的发电效率。然而,压力差并非越大越好。过大的压力差会对水轮机及其相关设备造成严重的负面影响。首先,过大的压力差会加剧水轮机叶片和轴承等关键部件的磨损,缩短设备的使用寿命。其次,过高的压力差还可能导致水轮机叶片的变形甚至破裂,引发设备故障,严重时甚至可能危及整个水力发电站的安全运行。此外,过大的压力差还会增加供水系统和出水系统的负担,对管道、阀门等设备造成额外的压力,增加维护成本和安全隐患。

#### 2 水动力特性与水力发电效率的关系模型

为了更深入地探究水动力特性与水力发电效率之间的内在联系,可以构建一个具体的关系模型来描述它们

之间的量化关系。这个模型可以表示为:

$$N = 9.81 \times Q \times H \times \eta$$

在这个模型中,N代表水轮机的出力,也就是水轮机转换水能为电能的功率大小。Q表示通过水轮机的水流量,它反映了单位时间内流经水轮机的水量多少。H则代表水头高度,也就是水流从高处流到低处时的落差,这个落差是水能转换为机械能的重要动力来源。最后, $\eta$ 表示水轮机的效率,它反映了水轮机在能量转换过程中的效率高低。这个模型清晰地揭示了水力发电效率与水流量Q、水头高度H以及水轮机效率 $\eta$ 之间的紧密关系。具体来说,当水流量Q增大时,意味着有更多的水能可以被水轮机捕获并转换为机械能,进而提升发电效率。同样地,水头高度H的增加也会使得水流具有更大的势能,从而在水轮机中转换为更多的机械能,提高发电效率。而水轮机效率 $\eta$ 则直接影响了能量转换的效率和发电量的多少。通过这个模型,可以更加直观地理解水动力特性如何影响水力发电效率,并且在实际应用中,可以通过调整这些参数来优化水力发电站的运行效率。例如,在水力发电站的设计和运行过程中,可以通过合理控制水库的水位高度来调节水头高度H;同时,也可以通过优化水轮机的设计和运行参数来提高其效率 $\eta$ 。这些措施都有助于提升水力发电站的发电效率 and 经济效益。

### 3 提高水力发电效率的策略

#### 3.1 优化水轮机设计

水轮机作为水力发电站的核心设备,其效率的高低直接影响着水力发电的整体效率。因此,优化水轮机设计是提高水力发电效率的重要策略之一。在优化水轮机设计的过程中,首先需要关注的是水轮机的叶片翼型。叶片翼型的设计直接关系到水轮机对水流的捕获能力和能量转换效率。通过采用先进的流体动力学理论和计算方法,可以对叶片翼型进行精确的优化设计,使得叶片能够更好地适应水流特性,提高水流的利用率和能量转换效率。例如,可以采用更加流线型的叶片设计,减少水流在叶片表面的阻力,提高水流的通过速度,从而增加水轮机的输出功率<sup>[3]</sup>。除了叶片翼型之外,提高水轮机材料的强度也是优化设计的另一个重要方面。水轮机在运行过程中需要承受巨大的水流冲击力和机械应力,因此材料的强度直接关系到水轮机的耐用性和可靠性。通过采用高强度、耐腐蚀的材料,可以延长水轮机的使用寿命,减少维修和更换的频率,从而降低水力发电站的运行成本。同时,高强度的材料还能够更好地承受水流冲击,保持水轮机的稳定运行,提高发电效率。此外,在优化水轮机设计时,还需要综合考虑水轮机的整体结

构、尺寸和重量等因素。通过合理的结构设计,可以使水轮机在运行过程中更加稳定、可靠,并且能够适应不同的水流条件和工作环境。同时,通过减轻水轮机的重量,还可以降低对支撑结构和驱动系统的要求,进一步提高水力发电站的整体效率。

### 3.2 合理控制水流条件

在水力发电站运行过程中,合理控制水流条件是提升发电效率的另一大关键策略。这涉及到对水流速度、水位高度、水面形状以及压力差等参数的精细调控,以确保水力发电站能够始终在最优状态下运行。水流速度是影响水轮机效率的重要因素。过高或过低的水流速度都可能导致水轮机效率下降。因此,需要根据水轮机的设计特性和实际运行需求,调整水库的放水流量,以维持适宜的水流速度。这可以通过设置调节阀、导流墙等工程措施来实现,从而确保水流平稳、高效地流经水轮机。水位高度的控制同样至关重要。水位过高可能导致水轮机承受过大的压力,而水位过低则会减少水流的势能,降低发电效率。因此,需要根据水库的蓄水量和水力发电站的需求,合理调节水位高度。这可以通过水库的蓄水和放水操作来实现,以确保水位始终保持在最佳范围内。水面形状和压力差的控制也不容忽视。不规则的水面形状和过大的压力差都可能导致水轮机运行不稳定,降低发电效率。因此,需要通过工程措施来保持水面形状的规则性,如设置导流设施、整平河床等。同时,还需要安装压力监测设备,实时监控水流中的压力变化,并根据监测结果调整供水系统和出水系统的运行状态,以确保压力差始终保持在安全合理的范围内。

### 3.3 加强运行维护和管理

水力发电站的运行维护和管理对于提高发电效率至关重要。这要求对水轮机、发电机等核心设备进行持续的监控与维护,确保其始终处于最佳工作状态。一方面,要建立健全的设备巡检制度。通过定期和不定期的巡检,及时发现设备存在的异常和潜在故障。巡检内容

应涵盖设备的外观、运行声音、振动情况、温度等多个方面,确保任何细微的异常都不被忽视。一旦发现异常情况,应立即进行详细的检查和诊断,确定问题所在,并采取相应的处理措施,防止故障进一步扩大,影响发电效率。另一方面,要加强设备的保养和维修工作。根据设备的使用情况和制造商的推荐,制定科学合理的保养计划,定期对设备进行必要的清洁、润滑和更换易损件等工作<sup>[4]</sup>。同时,对于已经出现故障的设备,应迅速组织专业的维修团队进行维修,确保设备尽快恢复正常运行。在维修过程中,要注重维修质量,确保维修后的设备性能达到或超过原设计标准。此外,还应加强设备的管理和更新改造工作。通过建立完善的设备档案,记录设备的使用情况、维修历史等信息,为设备的后续管理和更新改造提供依据。同时,要关注行业内的新技术、新设备发展情况,适时对老旧设备进行更新改造或升级换代,以提高设备的性能和发电效率。

### 结语

水动力特性对水力发电效率具有重要影响。通过优化水轮机设计、合理控制水流条件以及加强运行维护和管理等措施,可以有效提高水力发电效率。未来,随着科技的进步和研究的深入,相信水力发电将在能源领域发挥更加重要的作用。

### 参考文献

- [1]丁广佳,及春宁,徐晓黎,等.附加旋转圆柱的涡激振动发电装置水动力特性研究[J].中国港湾建设,2022,42(11):7-13.
- [2]李小超,徐伟,周熙林,等.涡激振动发电装置水动力及功率特性实验研究[J].浙江大学学报(工学版),2018,52(07):1370-1375.
- [3]许海威.摆动水翼波能装置水动力及发电特性研究[D].哈尔滨工程大学,2023.
- [4]卢炎.涡激振动发电振子水动力特性研究[D].大连海事大学,2023.