

## 水电站电能质量管理与运行优化技术研究

岳永卫

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂（陇东南分公司），甘肃 陇南 746412

**[摘要]**水电站在全球能源转型中发挥着至关重要的作用，随着电力系统日益复杂，电能质量问题变得愈加突出。频率波动、电压不稳定及谐波污染等问题，不仅威胁到系统安全还加重了设备的负荷，导致了运行成本的上升。通过采用自动发电控制（AGC）技术、电压调节与无功功率优化、谐波治理等先进手段，电能质量能够得到有效改善，系统的稳定性得以保障。随着数字化与智能化技术的迅猛发展，数字化监控系统及优化控制策略为电能质量管理提供了全新的解决方案，进一步促进了电力系统的高效与绿色发展。

**[关键词]**水电站；电能质量；优化技术

DOI: 10.33142/ucp.v1i6.15196

中图分类号: TM732

文献标识码: A

### Research on Power Quality Management and Operation Optimization Technology for Hydropower Stations

YUE Yongwei

Longdongnan Branch, Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

**Abstract:** Hydropower stations play a crucial role in the global energy transition, and with the increasing complexity of the power system, power quality issues have become more prominent. Frequency fluctuations, unstable voltage, and harmonic pollution not only threaten system safety but also increase equipment load, leading to an increase in operating costs. By adopting advanced methods such as automatic generation control (AGC) technology, voltage regulation and reactive power optimization, harmonic control, etc., the power quality can be effectively improved and the stability of the system can be guaranteed. With the rapid development of digital and intelligent technologies, digital monitoring systems and optimized control strategies provide new solutions for power quality management, further promoting the efficient and green development of the power system.

**Keywords:** hydropower stations; power quality; optimization technology

#### 引言

随着全球能源结构的转型，作为重要可再生能源来源的水电站正面临电能质量与运行优化的双重挑战。频率波动、电压波动及谐波污染等电能质量问题，严重影响了电网的稳定性及设备的运行效率，提高水电站电能质量，优化其运行模式不仅有助于确保系统的稳定性，还能显著降低运行成本提升经济效益。因此，将探讨电能质量管理与运行优化的相关技术，结合 AGC 控制、电压调节、谐波治理等先进技术，提供切实可行的解决方案，从而推动水电站实现高效与稳定的运行。

#### 1 电能质量管理的基础理论

电能质量管理的基础理论侧重于研究电力系统运行过程中各种因素对电能质量的影响并提出相应的控制方法，确保电力设备高效运作并稳定地满足用户的用电需求。电能质量主要包括电压、频率及波形的稳定性，关键指标涵盖了电压偏差、频率偏差、谐波含量以及三相不平衡度，这些指标不仅反映了电能传输的技术水平，也直接影响电力设备的使用寿命与运行效率。在水电站的运行过程中，电能质量问题尤为突出，原因在于负荷波动、发电机组调节能力的差异以及电网系统特性的复杂性等多种因素，通

过建立完善的监控机制与指标体系，结合先进的控制算法与优化技术，电能质量得以有效提升，用户端的影响得以减少，从而增强了电力系统的稳定性与经济性。

#### 2 水电站电能质量管理关键技术

##### 2.1 电压调节与无功功率优化技术

自动电压控制（AVC, Automatic Voltage Control）在电力系统中的作用至关重要，能够通过自动调节发电机励磁、电网无功补偿装置的输出及变压器分接头等设施保持电网电压的稳定性。AVC 系统依托闭环调节过程逐步优化电网中的无功功率，最终实现无功电压潮流的优化，该技术依赖于自动设备及电压设定值的约束条件，实时调整电网电压以确保系统的平衡与稳定运行，避免电压波动过大，从而保障电力系统的安全性。在电厂中，AVC 系统的投入与退出受到严格控制，全厂 AVC 系统的投入前提是至少一台机组的自动发电控制（AGC）功能已启动。AVC 控制权的分配可由电厂本地或远程调度控制，具体取决于调度命令。在远程调度模式下，系统根据调度指令进行电压调节；而在本地控制模式下，电压设定值由电厂自行决定，无论控制模式为何种形式，AVC 装置的操作均必须严格遵循省调指令以确保调节过程与电网需求保持一致。AVC 系

统的主要技术参数包括母线电压的正常调压系数、紧急调压系数、电压设定值的上下限以及无功功率的调节范围等,具体参数配置涵盖了机组无功功率的最大值、最小值、调节死区以及电压调整的上限与下限等,以确保电压调节过程的精确性。为了保证 AVC 系统的有效运行,机组间的无功调节必须协调一致,避免发生逆向调节的情况。在 AVC 系统的日常运行中,必须确保机组之间的无功调节协调一致,以保持电压调节的稳定性。如果发生设备故障或其他异常情况,必须及时向省调报告并执行电压调整控制,通常 AVC 装置采用闭环控制模式,一旦进入该模式,除非特殊情况出现,否则不能随意退出。如果发生通讯中断或设备故障,AVC 系统将自动切换至预设的电压曲线进行调节,直到恢复正常操作。

## 2.2 谐波治理与滤波技术的应用

谐波治理与滤波技术在水电站电能质量管理中发挥着至关重要的作用。电网电压波形的畸变往往是由谐波的出现引起的,它不仅增加了设备的损耗,还可能导致系统共振,危及电力系统的安全与稳定。为有效解决这一问题通常采用谐波治理与滤波技术,在这些技术中无源滤波器(Passive Filters)因其结构简单、成本较低广泛用于特定频率谐波的抑制。与之相比有源滤波器(Active Filters)凭借其动态补偿能力及对多次谐波的高效控制,已成为现代谐波治理中不可或缺的工具。混合滤波技术则结合了无源与有源滤波器的优势,在复杂电网环境中展现了更强的适应性与经济性。

## 2.3 自动发电控制(AGC)技术

自动发电控制(AGC)技术在电力系统中扮演着至关重要的角色,主要目标是通过实时调节发电机组的输出功率,确保有功功率与无功功率与负荷需求匹配,从而实现频率的稳定与电压的控制。基于先进的监控设备与通信系统,AGC 技术实时采集诸如频率偏差、联络线潮流等关键参数,利用控制算法生成调节指令,并将其分配给各机组执行。水电站由于具备快速响应与强大调节能力,成为实施 AGC 技术的理想场所,在实际应用中通过优化 AGC 参数与协调多机组的运行,结合经济调度策略,电网的动态响应能力得以显著提升,同时运营成本得以降低,从而为电网的稳定与高效运行提供了有力的技术保障。

## 2.4 水电站机组调节能力的评估与提升

水电站机组调节能力的评估与提升是确保电能质量的核心环节。评估内容主要包括调频性能、调压能力及响应速度等方面,通常通过动态性能测试、运行数据分析与仿真模型验证等手段来进行,在评估过程中重点关注的是机组在不同负荷条件下的动态特性与稳定性,进而判断其在复杂工况下的调节潜力。为了提升机组的调节能力,优化措施需从多个方面进行,这包括提升调速器与励磁系统的性能、更新控制算法,及加强关键部件的维护与检修。现代技术,如数字化仿真与在线监测,已能更精确地识别影响调节能力的瓶颈,进而采取针对性的改进措施。

## 3 水电站运行优化技术研究

### 3.1 AGC 运行原理与优化策略

AGC(自动发电控制)技术的运行原理依赖于实时调节发电机组的有功与无功功率输出,以确保电网频率的稳定并满足负荷需求。核心机制是通过与电网调度信号的交互,结合机组调速器与励磁系统的联动,动态优化发电机组的出力。优化策略的设计需要综合考虑电网频率波动、负荷分配原则以及机组的调节能力,常见的优化方法包括提高控制算法的响应速度,合理调整负荷分配以缩短振荡区的运行时间,此外,还需增强系统对突发负荷变化的适应性,通过利用现代智能技术,如人工智能与大数据分析,AGC 参数能够实时优化从而减少不必要的调节动作并延长设备寿命。

### 3.2 全厂 AGC 投入、负荷分配与联合振动区优化

全厂 AGC 的实施目的是优化机组间的协调运行,合理调整负荷分配以提升电力生产效率并确保电网的稳定。负荷分配应根据每台机组的调节能力、出力特性以及当前运行工况进行动态调整,最大限度地减少机组在低效状态下的运转时间。联合振动区的优化是 AGC 系统中的关键环节,目的是减少机组间振动频率叠加的时段,从而降低机械磨损与系统稳定性风险。为实现这一目标先进的优化算法与实时监测技术被广泛应用,结合振动频谱与负荷波动规律,负荷分配策略可以得到动态调整。智能化监控系统的引入使振动异常能够被实时监测,并进行精准的参数调整,从而进一步提升水电站的运行可靠性与经济效益。

### 3.3 运行中 AGC 参数调整与优化策略

在水电站的运行中 AGC(自动发电控制)参数的适时调整与优化,对于维持系统的稳定性与高效性至关重要,通过自动调节机组的输出功率,AGC 系统能够应对电网频率波动及负荷需求变化,从而确保电网的平衡。但负荷波动、设备老化以及环境因素的变化,常常使原有的 AGC 参数无法适应新的运行条件。因此,及时对其进行调整显得尤为必要。优化 AGC 参数的策略应以实时数据监测为基础,对负荷变化、频率波动等关键因素进行动态评估,这些数据为参数调整提供了可靠依据。例如,在电网负荷发生大幅波动时,AGC 的响应灵敏度可被提升,使机组能够迅速进行调整;而在负荷变化较为平稳时则可降低响应速度,从而避免不必要的调节减少机械负担。在调整 AGC 参数时,机组的调节能力与特性也应被综合考虑,避免过度调度或不合理的负荷分配,从而确保水电站整体运行效率的优化。随着智能控制技术的进步,AGC 参数的优化已经不再仅仅依赖于人工经验或历史数据积累,更多的是借助自适应算法与机器学习来实现自动化调整,这些技术能够根据实时数据自我调整参数,既提升了系统的响应速度与稳定性,也减少了人为干预可能带来的误差。因此,精细化的 AGC 参数调整与智能化优化策略,已成为水电站高效、稳定运行的重要保障。

### 3.4 频率与负荷动态响应优化技术

频率与负荷的动态响应优化技术,在水电站的运行中

发挥着至关重要的作用,直接影响电网的稳定性及电能质量。发生负荷波动或突发事件时,频率调整必须迅速,以确保电网系统不会受到不良影响。优化技术的核心目标是通过精准预测负荷变化合理调节水电机组的出力,确保电网供需平衡从而抑制频率波动,常见的优化策略包括动态调整机组出力以应对负荷变化,以及利用储能系统或智能控制技术,实现对频率波动的快速响应。在实际操作中,结合实时监控与数据分析系统能够有效捕捉负荷变化趋势,从而提前做出相应调整优化机组的调度策略。此外,通过采用多机组协同调度方法,可在负荷与频率之间实现双向优化,增强系统在突发状况下的适应能力,避免单机调节失误导致的频率不稳定。

#### 4 水电站电能质量与运行优化技术的综合应用

##### 4.1 数字化监控系统对电能质量管理的支撑

数字化监控系统在水电站电能质量管理中的重要性不可小觑。随着智能化技术的不断进步,传统的人工巡检与手动调度方式逐步被淘汰,取而代之的是基于数字化监控系统的实时数据采集、处理与分析,这使电能质量的监测与优化变得更加高效与精准,通过这些系统运维人员能够实时获取关键指标,如电压、频率、无功功率等,从而及时识别电能质量问题,如电压波动或谐波干扰,并采取相应的纠正措施<sup>[1]</sup>。此外,数字化监控系统还通过数据分析与预测模型,对潜在的电能质量异常进行提前预警,进而优化机组调度提升响应速度。在出现故障或电力波动时,系统能够自动调整机组的运行参数,有效保障电网的稳定性。更为关键的是数字化系统的引入使电能质量管理不仅局限于现场监控,而是实现了远程实时管理。

##### 4.2 电能质量与经济运行的协同优化路径

电能质量与经济运行的协同优化是水电站管理中的关键挑战之一。在确保电能质量的前提下提升经济效益,要求在运营过程中充分平衡电能质量需求与成本控制之间的关系。优化电能质量应以系统的稳定性与可靠性为核心,避免设备故障或电网波动造成生产中断,这不仅会影响电力供应的稳定性,还可能导致较大的经济损失<sup>[2]</sup>。借助先进的自动发电控制(AGC)系统和智能调度技术,能够根据实时负荷变化精准调整机组输出,从而优化电能生产与消耗的匹配,降低无功功率损失并减少频繁调度对机组的负担,这有助于提升水电站的经济效益。与此同时,改善电能质量的措施应与水电站的经济运行模式紧密结合。例如,在应对谐波污染或电压波动等问题时,采用谐波滤波器与动态电压调节装置,尽管这些设备在初期需要较大的投资,但从长期来看它们能够显著降低设备维护成本,减少故障停机时间,进而保障发电效率,这样的措施不仅有效改善了电网的电能质量,也避免了因电能质量问题而产生的额外运营成本。为实现电能质量与经济运行的最佳协调,水电站还应依托全面的数字化管理系统,通过大数据分析、预测算法与实时监控能够精准调整运营策略,使水电站在保障电能质量的同时最大限度降低运营成本,提升整体经济效益,这种协同优化不仅增强了水

电站的竞争力,还促进了其可持续发展。

#### 4.3 技术发展趋势与未来研究方向

随着能源需求的持续增长与技术的不断进步,水电站在电能质量与运行优化方面的技术正在不断演变。未来,数字化、智能化以及大数据技术将成为电能质量管理与优化运行的关键推动力,基于物联网(IoT)与人工智能(AI)技术的智能监控与预测系统将逐渐得到广泛应用,这些系统使水电站能够实时监测电能质量、设备运行状况及效率,借助数据分析提前识别潜在问题,从而有效避免系统故障或设备损坏,增强了运行的可靠性与经济性。随着新能源的大规模接入,电网波动性随之增加,电能质量管理面临着新的挑战,未来的研究将更加聚焦于如何实现各类发电方式与水电站的协调运行,优化电网负荷分配并平衡传统能源与可再生能源的电力输出<sup>[3]</sup>。在这一过程中能源存储技术的进展将发挥关键作用,结合储能系统可以实现电力供应的平衡与电网稳定,从而进一步提升电能质量。在技术研发领域,针对传统问题如频率控制、无功补偿与谐波治理,研究人员将更加关注多维度的解决方案。结合电网自愈能力与智能调度优化技术,将显著提升电站的自适应能力与应急响应效率。与此同时,AGC系统的优化研究将持续深入,探索更精确、高效的算法与控制策略,以应对日益复杂的电力需求变化。

#### 5 结语

水电站作为一种重要的可再生能源发电方式,电能质量管理与运行优化技术对于提升电力系统的稳定性、可靠性以及经济性至关重要。本文分析了水电站电能质量管理的基本理论与核心技术,探讨了电压调节、无功功率优化、谐波治理、AGC控制等技术在实际操作中的应用效果。结合AGC系统的运行优化、负荷分配与频率响应技术提出了多种提升水电站运行效率的策略。同时,展望了数字化监控系统与技术发展的趋势,阐明了未来电能质量管理与运行优化的研究方向。随着技术的快速发展,智能化与数字化手段将在水电站电能质量管理与运行优化中发挥日益重要的作用。综合优化技术的应用,将为水电站提供更加灵活且高效的解决方案,不仅有效提升电站的经济效益,还推动电力系统向绿色、低碳的方向发展。未来,在水电站电能质量管理与运行优化领域的研究,将更加注重跨学科的融合与创新,从而促进更高效、更可靠的能源利用。

#### [参考文献]

- [1] 邓家平. 水电站运行管理节能措施及运用效果分析[J]. 小水电, 2024(5): 38-40.
  - [2] 杨仕元. 一种典型的水电站电能表通信接入实例分析[J]. 云南水力发电, 2023, 39(6): 191-194.
  - [3] 谭渊智. 二滩水电站电能管理综合评价系统的设计与实现[D]. 四川: 电子科技大学, 2019.
- 作者简介: 岳永卫(1989.3—), 男, 毕业于兰州工业学院自动化专业, 当前就职于大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂(陇东南分公司), 职务: 主值班员, 职称: 助理工程师。