

水闸自动化控制系统的设计与应用研究

张世元

景德镇市水利规划设计院, 江西 景德镇 333000

摘要 : 随着现代科技的不断进步, 水资源管理、防洪减灾以及交通运输安全等领域对水利工程的要求越来越高。水闸作为水利工程中的重要设施, 其对于水利工程的正常运行具有十分重要的影响, 本文分别从系统架构与组成、控制策略选择以及用户界面设计等方面探讨了水闸自动化控制系统设计, 在此基础上, 进一步探讨了水闸自动化控制系统的具体应用。

关键词 : 水闸; 自动化; 控制系统

Research on the Design and Application of Sluice Gate Automation Control System

Zhang Shiyuan

Jingdezhen Water Resources Planning and Design Institute, Jiangxi, Jingdezhen 333000

Abstract : With the continuous progress of modern science and technology, water resources management, flood control and disaster reduction, and transportation safety and other fields have higher and higher requirements for water conservancy projects. As an important facility in water conservancy project, sluice has a very important impact on the normal operation of water conservancy project. This paper discusses the design of sluice gate automation control system from the aspects of system architecture and composition, control strategy selection and user interface design. On this basis, the concrete application of sluice gate automation control system is further discussed.

Key words : sluice gate; automation; control system

一、前言

随着工业化和城市化的不断发展, 水资源管理、防洪减灾以及交通运输安全等问题日益凸显, 水利工程的安全和高效运行成为社会发展的迫切需求。传统的水闸控制方式往往受制于人工操作和受限于气候变化, 难以满足多变的实际需求。在这一背景下, 水闸自动化控制系统应运而生, 成为提高水闸运行效率、精确控制水位流量以及应对极端气候事件的重要手段。

二、水闸自动化控制系统设计

(一) 系统架构与组成

(1) 控制单元

控制单元作为系统的核心组成部分, 负责接收传感器数据、执行控制策略并与外部设备进行通信, 发挥着决策和控制的关键作用。

控制单元通常由嵌入式系统构成, 它集成了处理器、存储器、通信接口等组件, 以满足复杂的计算和通信需求。其主要功能包括数据采集、数据处理、决策制定和指令输出。在数据采集方面, 控制单元通过连接各类传感器, 如水位传感器、流量传感器等, 实时获取水闸运行所需的各种数据。随后, 通过数据处理算法, 控制单元对采集到的数据进行分析、计算, 从中提取出有关水流状态和环境变化的信息。在决策制定环节, 控制单元根据

预设的控制策略, 结合传感数据分析结果, 生成相应的控制命令。最后, 通过通信接口, 控制单元将命令传送给执行器, 如液压装置、电动机等, 实现闸门的精确控制。

(2) 传感子系统

传感子系统集成了多种传感器, 可以实时获取水位、流量、温度、压力等关键参数的变化情况, 从而为控制单元提供准确的输入数据, 支持系统的智能决策和精确控制。在水闸自动化控制系统中, 传感子系统涵盖了多种传感器类型, 主要有: 水位传感器、流量传感器、温度传感器、压力传感器。

传感子系统的关键任务是将传感器采集到的模拟信号转换成数字信号, 并通过通信接口传送给控制单元进行进一步处理。为确保传感数据的精确性和可靠性, 传感子系统还需要进行校准和定期维护, 以适应不同环境条件下的工作^[1]。

(3) 执行子系统

执行子系统负责根据控制单元的指令, 实现闸门、阀门等设备的精确控制。该子系统结合了各类执行器, 如液压装置、电动机等, 以实现水闸的开闭、调节等操作。

液压装置通常被广泛应用于水闸控制系统中, 它能够通过液体传递力和能量, 实现闸门的平稳运动和精确控制。在液压执行子系统中, 液压泵负责产生液压能量, 液压缸则将液压能量转化为机械能, 推动闸门的运动。控制单元通过对液压泵和缸的控制, 可以精确控制闸门的开度和位置, 实现对水位和流量的调节。电动执行子系统则是另一种常见的选择, 它利用电动机和传

动机构，通过电能转化为机械能，实现闸门的运动。电动执行子系统的优势在于其对电能的依赖，适用于各种环境条件下的水闸控制。控制单元通过对电动机的控制，可以实现闸门的迅速响应和精确调节^[2]。

（二）控制策略选择

（1）基于位置的控制策略

基于位置的控制策略通过控制闸门的具体位置来实现对水位和流量的调节。这种策略基于系统的几何结构，通过测量闸门的实际位置并与预设目标位置进行比较，控制闸门的开度，从而实现所需的水流控制^[3]。

在基于位置的控制策略中，控制单元首先根据目标水位或流量，计算出对应的闸门位置。通过与传感子系统获得的实际水位数据进行比较，控制单元可以确定当前的偏差，并据此生成控制命令。这些命令将被传送到执行子系统，液压装置或电动机将被调整以使闸门达到目标位置。通过反复的位置测量和调整，系统可以保持水位稳定，并根据需要进行调节。基于位置的控制策略的优点在于其简单性和稳定性。它适用于水位变化较为缓慢的情况，能够实现较为精确的水位和流量控制。然而，该策略对于水流波动较大或需要快速响应的情况可能不够灵活，因此在实际应用中需要结合水闸的特点和控制需求，选择合适的控制策略^[4]。

（2）基于压力的控制策略

在基于压力的控制策略中，控制单元通过压力传感器获取水流中的压力数据。这些压力数据反映了水流的流速和流量变化情况。控制单元会根据预设的压力阈值或变化率，判断水流的状态，从而决定是否需要调整闸门的开度。当水流压力超过或低于阈值时，控制单元会发出相应的控制命令，执行子系统将根据命令调整闸门的位置，以稳定水位和流量。

基于压力的控制策略具有较高的灵活性和实时性。它能够更迅速地响应水流的变化，适用于需要频繁调节的情况，如涌浪、暴雨等引起的水流波动。然而，基于压力的控制策略在某些情况下可能会受到水流压力传感器的准确性和噪声干扰的影响，因此在设计和实施时需要充分考虑传感器的精度和稳定性^[5]。

（三）用户界面设计

（1）监控与操作界面

监控与操作界面是水闸自动化控制系统中的重要部分，它作为操作人员与系统之间的纽带，提供了实时监测、控制和管理水闸运行的能力。界面设计的优良性直接影响着系统的易用性、操作效率和安全性。在监控与操作界面的设计中，应考虑以下要点：

首先是实时数据显示。界面应该能够以直观的方式显示水位、流量、压力等关键参数的实时数据，帮助操作人员了解水流状态。其次是状态指示。通过颜色、图标等方式，清晰地显示系统各部分的工作状态，以便操作人员及时发现异常情况。第三是报警与通知。界面应能够实时监测系统状态，当出现异常情况时能够发出警报或通知，帮助操作人员迅速采取应对措施。第四是参数调节。界面需要提供对系统参数的调节和设定功能，以满足不同情况下的控制需求。最后是数据记录与分析。界面可以提供历史数据的记录和分析功能，帮助操作人员了解系统的运行趋势和性能。

为了确保操作人员能够轻松掌握界面操作，界面设计应简洁明了、直观友好。合理的布局和可操作性有助于减少操作错误和提高操作效率。此外，界面的安全性也至关重要，需要考虑访问控制、数据加密等手段，防止未经授权人员对系统进行干扰^[6]。

（2）远程监控与控制

远程监控与控制是水闸自动化控制系统中的重要功能之一，它使操作人员能够通过网络远程访问系统，实现对水闸的监测和控制。这种功能极大地提升了系统的灵活性和响应速度，使操作人员能够及时、准确地进行远程决策和干预。在远程监控与控制界面设计中，需考虑以下方面：

首先是实时数据传输。界面应能够实时传输水位、流量、压力等数据，保持操作人员对水流状态的准确把握。其次是远程操作。操作人员可以远程控制闸门的开闭、调节等操作，从而实现对水位和流量的实时调控。再次是报警与通知。当系统发生异常情况时，远程界面应及时通知操作人员，以便他们能够迅速采取措施。最后是数据记录与分析。远程界面可以提供历史数据记录和分析功能，帮助操作人员了解系统的运行历史和趋势。

远程监控与控制的实现需要建立安全可靠的网络连接，确保数据的传输和操作的安全性。采用加密技术、身份验证等手段可以有效防止未授权的访问和操作。同时，系统应具备断电自动恢复等功能，以保证远程控制的可靠性和稳定性^[7]。

三、水闸自动化控制系统的具体应用

（一）自动化控制在水闸运行中的角色

（1）实时监测水位与流量

水位和流量是水闸运行的重要参数，直接关系到水流调控的准确性和安全性。通过水位传感器和流量传感器，水闸自动化控制系统能够实时获取水位和流量的数据，而不受天气、时间等因素的限制。

在实时监测水位方面，水位传感器会不断采集水位数据，将其传送给控制单元。控制单元分析这些数据，判断水位是否在安全范围内，以及是否需要调节。当水位接近或超过预设的警戒水位时，控制单元可以发出警报并采取相应措施，如开始启动液压装置或电动机，逐步关闭闸门，从而防止水位过高引发洪水灾害。与此同时，实时监测流量也是自动化控制的重要任务之一。流量的变化直接影响水流速度和水负荷，因此掌握实时流量数据对于防止水闸过载和安全运行至关重要。水闸自动化控制系统可以通过流量传感器采集水流速度和流量数据，并结合之前的水位数据，判断当前水流状态。当流量突然增大或减小时，系统可以迅速做出反应，调整闸门开度，以确保系统稳定运行。

（2）自动调节闸门位置与开度

控制单元通过与传感子系统获得的水位和流量数据进行比较，以及基于预设的控制策略，判断是否需要调整闸门的位置和开度。当系统监测到水位或流量变化超出预设范围时，控制单元可以迅速生成相应的控制命令，通过执行子系统将闸门调整到适当的位置，以确保水流达到预期的调控效果。例如，当水位上升

且接近警戒水位时,控制单元可以根据预设的调节方案,自动下降闸门,减小水流通过的通道,从而减缓水位上升速度,降低洪水风险。同样,当水位下降,需要提高水流通量时,系统可以自动抬高闸门,扩大水流通道,以保障水位在合理范围内波动^[9]。

(二) 水闸自动化控制系统的关键功能

(1) 水位调节与泄洪

水位调节与泄洪是水闸自动化控制系统的关键功能之一,它在不同情况下起到了平衡水位、保护下游地区安全的重要作用。通过自动化控制系统,水闸可以实现准确的水位调节和控制,以及合理的泄洪策略的制定和执行。

当降雨或融雪引发水位上升时,水闸自动化控制系统可以自动响应,根据预设的调节策略,逐步降低闸门开度,减缓水流速度,从而有效控制水位上涨速度,减少洪水威胁。相反,当水位下降时,系统可以自动增大闸门开度,以保障水流通畅,防止河道水位过低影响下游用水和生态环境^[9]。

(2) 导航通行控制

许多水闸位于内陆水道、河流交汇处或海港口岸,需要保障船舶的安全通行。通过自动化控制,系统能够实现对闸门的迅速调整,为船舶提供安全畅通的通道,同时确保水位和流量的稳定。

在船舶通行时,水闸自动化控制系统会根据船舶的大小、形状以及所需通行的水位,自动计算闸门的开度和位置。一旦控制单元接收到通行请求,系统会根据预设的通行策略,自动协调闸门的开闭,以确保船舶的顺利通过。通过自动控制,船舶不再需要等待人工操作,大大提高了通行的效率和安全性。

在导航通行过程中,水闸自动化控制系统还可以监测船舶的实时位置和状态,以及水位、流量等参数的变化情况。如果系统检测到通行中可能出现的危险情况,如水流过大、水位变化剧烈等,它可以迅速发出警报,甚至中断通行以保障船舶和人员的安全。

(3) 防洪与安全保障

在防洪方面,水闸自动化控制系统通过实时监测水位、流量和降雨情况,能够预测洪水的可能性和程度。一旦系统检测到可能引发洪水的条件,它可以自动采取控制策略,提前降低闸门开度、控制水位,以减缓洪峰的到来,从而降低洪水的冲击力和风险。此外,水闸自动化控制系统还能够洪水发生时,快速实施泄洪措施,通过自动控制闸门开度,控制洪水的流量和流速,以减轻洪水对下游地区的影响。通过精确的防洪控制,系统能够最大限度地减少洪水造成的损失,保护人员生命财产的安全^[10]。

(三) 应用案例

(1) 项目概况

景德镇水利枢纽工程为昌江干流梯级开发的第3级,是一座以水生态景观为主,兼顾航运、发电等综合利用的水利枢纽工程。景德镇水利枢纽工程由电站厂房、泄洪冲沙闸、挡泄水闸坝、鱼道和船闸等建筑物组成,不承担防洪任务,对洪水无调节,洪水期间坝开启泄流。景德镇水利枢纽工程正常蓄水位26.50m,相应库容为2840×104m³,电站采用河床式厂房,装机容量为6MW,工程等别为Ⅲ等工程,工程规模为中型。

(2) 应用情况

首先,水闸自动化控制系统在景德镇水利枢纽工程中实现了对挡泄水闸坝和船闸等建筑物的远程监控和控制。通过传感器、数据采集装置以及远程通信技术,工作人员可以实时获取水位、流量、闸门开启情况等信息,保障了对水闸运行状态的全面掌握。这种远程监控不仅提高了工作效率,还大大减少了人力资源的浪费。其次,水闸自动化控制系统在景德镇水利枢纽工程中优化了闸门操作过程。系统可以根据实时监测数据和预设参数,自动判断何时开启或关闭闸门,以达到调节水流、保障航运、维护生态平衡的目标。这种智能化的闸门操作不仅提高了操作精度,还降低了操作人员的工作难度,减少了人为误操作的风险。最后,水闸自动化控制系统在景德镇水利枢纽工程中实现了对水闸工程的整体协调和优化。系统可以根据不同的需求,调配不同的水流分配方案,兼顾了航运需要、生态保护和发电利用等多方面的要求。这种协调性和灵活性使得水闸的运行更加稳定,能够更好地适应不同的水文条件和环境变化。

总之,水闸自动化控制系统的应用为工程的运行和管理带来了显著的好处。通过远程监控、智能操作和协调优化,该系统保障了水利枢纽工程在满足多重需求的同时保持稳定和高效运行,体现了数字化技术在水利工程领域的创新应用和积极影响。

四、结语

综上所述,水闸自动化控制系统的设计与应用研究在水利工程领域具有重要意义。通过合理的系统设计和科学的控制策略选择,自动化控制系统能够实现对水流的精确监测和调控,为水资源管理、防洪减灾以及航运安全等方面带来了显著的改善和创新。未来,应进一步深化研究,探索更多先进技术的应用,不断提升水闸自动化控制系统的性能和效能,为水利工程的可持续发展做出更大贡献。

参考文献:

- [1]何立军. 基于物联网技术的水闸自动化远程控制方法[J]. 农业科技与信息, 2022,(18):88-91.
- [2]周杰. 水闸自动化控制设施维护养护分析浅谈[J]. 内蒙古水利, 2022,(09):61-62.
- [3]李胜. 提升水闸自动化监控系统本质安全水平的途径[J]. 中国水能及电气化, 2022,(04):10-13+19.
- [4]刘灿. 水闸自动化监控系统设计与应用探讨[J]. 江淮水利科技, 2021,(06):47-48.
- [5]薄又凡. 自动化防洪控制系统在水闸泵站中的应用措施研究[J]. 中国设备工程, 2021,(16):176-177.
- [6]张龙. 基于遗传程序的大中型水闸综合自动化控制系统设计[J]. 水利科技与经济, 2021,27(03):99-104.
- [7]张祯, 汪露, 张志来. 水闸自动化监控系统的维护与管理措施[J]. 珠江水运, 2020,(23):96-97.
- [8]郭子君. 拦河坝水闸远程启闭自动化控制系统研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2018,(08):47-50.
- [9]朱宁, 孙衍, 杨兴丽. 自动化控制系统在防洪泵站水闸中的应用研究[J]. 治淮, 2018,(03):28-29.
- [10]杨栋梁. 水闸自动化控制系统[J]. 中国仪器仪表, 2009,(02):82-84+88.