

# 物联网技术在流域及梯级水电站集控系统的应用研究

寇菁悦

(西南大学工程技术学院, 重庆 400715)

**摘 要:** 本文根据中小河流流域生态环保及梯级水电站的优化发电和无人值班或无人值守的运行管理要求, 研究了河流流域及梯级水电站集控系统智能传感、物联网和梯级集控的关键技术, 提出了河流流域和梯级水电站不同设备或环境设施的远程在线监测及集控系统的应用设计, 采用物联网新技术来满足流域梯级水电站集控系统一体化建设和水电站升级改造技术要求, 通过物联网新技术产品研制和设计应用带动流域梯级集控及水电站运行管理的网络化和智能化, 实现河道流域及梯级水电站的安全可靠、绿色生态环保和智能化发展。

**关键词:** 物联网; 智能传感; 在线监测; 集控; 梯级水电站

DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2019.08.042

## Research on the Application of IOT Technology in Centralized Control System of River Basin and Cascade Hydropower Stations

KOU Jingyue

(College of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** According to the requirements of ecological environment protection in small and medium river basins and the management requirements for optimized power generation and unattended operation in cascade hydropower stations, this paper studies the key technologies of intelligent sensing, Internet of Things and cascade centralized control in centralized control system of river basins and cascade hydropower stations. It also puts forward the application design of remote on-line monitoring and centralized control systems for different equipments or environmental facilities in river basins and cascade hydropower stations. The new technology of Internet of Things is adopted to meet the technical requirements of integrated construction of centralized control system of cascade hydropower stations in river basin and the upgrading of hydropower stations. Through the development and design application of new technology products of Internet of things, the networking and intellectualization of cascade centralized control in river basin and operation management of hydropower station are promoted, to realize the realize the safety, reliability, environmental protection and intelligent development of river basin and cascade hydropower stations.

**Key words:** Internet of Things; intelligent sensing; on-line monitoring; centralized control; cascade hydropower station

## 0 引言

近年来, 随着经济的发展和物联网、人工智能、云计算、智慧水利、智能电网等科技的进步, 人们对河流生态环保和水电站经济运行管理的要求越来越高, 建设具有高度智能化、信息化、集约化特点的河流流域生态监测和梯级水电站一体化智能集控系统意义重大、需求迫切。目前, 全国中小型水电站 4.7 万多座, 容量小、数量多, 地处边远山区, 早期建设的小水电站设备陈旧老化、监测数据极少, 多数电站存在设备可靠性、智能化、信息化程度较低, 一些水电站河流流域没有生态环境监测和环保管理, 严重制约了水电厂的安全生产、经济发展和环保建

设。4G 及 NB-IOT、LoRa、RFID、BLE、WiFi 等物联网新技术、智能传感技术和计算机技术的高度和广泛应用, 为流域水利和梯级水电站的技术升级改造和远程集控系统建设提供了关键技术基础, 采用智能传感、物联网、大数据等新技术、新装备, 能够满足梯级水电站无人值班或无人值守管理, 以及流域水情的安全、环保监测和远程集控系统的运维管理要求。

物联网技术是智慧水利和梯级水电站智能化、信息化的重要支撑技术, 本文提出把智能传感、物联网技术设计应用于流域梯级小水电站及集控系统中。通过现场各种智能传感器、智能终端、智能保护、自动化装置、智能网关及智能监控系统等设备集成, 来实现水电站的自动发电、优化运行、设备状态监测及故障诊断、水雨情自动预测预报及生态流量监控、大坝闸门自动监测和无人值守的远方

集控中心智能监控管理的一体化解决方案，其建设和应用对提升中小型水电站的智能化、信息化和实现流域生态环保、防汛减灾的安全运行和创新管理具有重大意义和经济价值，并对我国及世界流域梯级小水电的技术进步和行业发展具有巨大推动作用。

1 物联网

采用无线路由技术、智能传感技术、自适应通信技术与智能控制设备等进行技术研究和系统设计，提出了物联网技术在流域及梯级水电站集控系统的设计结构及其应用指导，实现河流流域、梯级水电站各设备状态及河流水利信息的远程集控一体化系统的集中展示、预警、分析、控制、评估和预测功能，全方位提高河流流域及梯级水电站各个环节的信息感知深度和广度。利用 RFID、红外感应器、信息编码等信息传感设备和无线通信等技术，构造一个河流流域的水情测报、梯级水电站在线监测系统，使河流水雨情、水电站前池、大坝、闸门、机房、主控室、开关场、生活区等各环节设备及环境监测数据互联共享，以实现河流流域及梯级水电站的一体化监视、测量、控制，以及水资源优化利用和绿色经济发电、优化运维管理的一种物联网。

物联网从技术架构上可分为感知层、网络层和应用层，如图 1 所示。感知层由各种传感器以及传感器网关构成，主要功能是采集流域水雨情、环境及电站设备设施信息，识别物件。网络层由各种现地网络、互联网、有线和无线通信网、网络管理系统和云计算平台等组成，负责传递和处理感知层获取的数据、信息。应用层是物联网和河流流域水雨情、梯级水电站、集控系统用户的接口，与用户需求结合，实现物联网技术在河流流域、梯级水电站及集控系统智能应用。

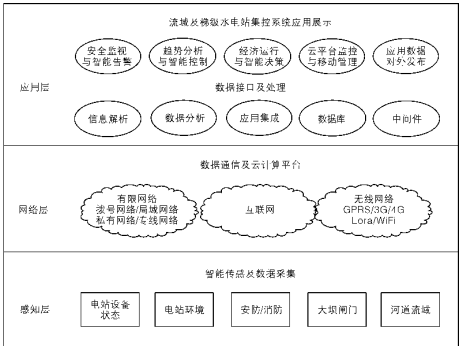


图 1 物联网在河流流域及梯级水电站集控技术架构  
Fig. 1 Technical framework of centralized control of Internet of Things in river basin and cascade hydropower stations

2 关键技术

2.1 智能传感

智能传感器有微处理器驱动的传感器、处理器及无线

射频模块，其具有板载诊断、设备或环境信息感知、数据采集、转换处理、分析、告警和通信等功能，为河流流域、水电站系统及集控系统提供相关数据、图像信息。

智能传感器设计由传感元件、信号调理电路、A/D 转换器、微处理器 CPU、传感器、电子数据表存储芯片、驱动电路、4G/LoRa 等网络接口、电源、无线射频等模块组成。将其设计于数据采集智能模块中，形成各类智能传感器，实现对河流流域及梯级水电站全景数据的分布式采集、故障特征数据的提取和现地处理功能。

2.2 物联网通信

系统采用有线和无线通信相结合的方式，有线通信技术采用电/光以太网、RS-485 通信网络设计，无线通信技术采用微功率无线、GPRS、3G、4G、LoRa、WiFi 等。各种无线通信技术性能如表 1 所示。

表 1 物联网通信技术性能比较表  
Tab. 1 Performance comparison of Internet of Things communication technologies

|      | GPRS                  | 3G                                     | 4G                                  | LoRa                      | WiFi                    |
|------|-----------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 传输速率 | 传输速度低，上行约 20~100 kb/s | 下行速度峰值理论可达 3.6 Mb/s，上行速度峰值也可达 384 kb/s | 下行速度峰值理论可达 10 Mb/s，上行速度峰值也可达 3 Mb/s | 传输速率较高，速度峰值理论可达 37.5 kb/s | 传输速率较高，速度峰值理论可达 54 Mb/s |
| 传输距离 | 较远                    | 较远                                     | 较远                                  | 较近                        | 较近                      |
| 成本   | 低                     | 较低                                     | 较高                                  | 一般                        | 一般                      |
| 可靠性  | 较高                    | 较高                                     | 较高                                  | 高                         | 高                       |
| 实时性  | 一般                    | 好                                      | 好                                   | 一般                        | 好                       |
| 安全性  | 弱                     | 较弱                                     | 好                                   | 好                         | 好                       |
| 成熟度  | 成熟                    | 成熟                                     | 成熟                                  | 成熟                        | 成熟                      |

河流流域及水电站系统设计的各智能传感器通过电站区域内的有线和无线通信网络，实现各智能传感器与其物联网智能网关或智能终端之间的互相通信，再通过智能网关或工业互联网，实现与流域梯级水电站集控中心系统通信，从而将流域河流水位、流量、雨情、生态流量、水质及各水电站的水库、饮水渠道、大坝、闸门、水机、升压站、高压室、厂用电、辅机系统、厂房环境、尾水等现场设备及环境信息通过物联网自组网通信进行数据信息汇集、运算处理、统计分析后，通过工业互联网或 4G、GPRS、LoRa 等通信网络，接入到流域梯级水电站集控中心系统，从而构成了完整的河流流域及梯级水电站系统的全景监视和远程监控和集中运维管理。

2.3 梯级水电站 AGC 关键技术

梯级水电站群的经济运行是在满足调度日负荷计划的情况下考虑站间电力平衡、水量平衡、区间径流、流达时间、尾水衔接、以及厂内相关约束条件，以整个流域梯级水电站经济发电效益最大化为目标，确定流域内梯级各水电站最佳运行的机组台数、最佳机组的组合方式和机组间最佳有功功率分配。

针对梯级水电站群采用梯级分配算法,其基本任务是给定梯级水电系统的总出力,根据采集的各种数据,包括水情数据、机组信息、系统频率、运行方式、负荷情况等,求出各水电站的发电出力,使得控制期末水库总蓄能最大,以获得尽可能大的运行效益,使水电站及其水库的设备能力得到充分的发挥,使水能源得到充分合理的利用。

采用梯级动态规划算法进行建模并求解,实现最优发电。总蓄能最大数学模型公式为:

$$F = \max \left\{ \sum_{t=1}^T F_t(z_{1,t}, z_{2,t}, \dots, z_{J,t}) = \max_{Q_{1,t}, Q_{2,t}, \dots, Q_{J,t}} \left\{ \begin{aligned} & (H_{1,t} + H_{2,t+\tau_1} + \dots + H_{J,t+\tau_1+\dots+\tau_{j-1}})(Q_{m1,t} - Q_{1,t}) + \\ & (H_{2,t} + H_{3,t+\tau_1} + \dots + H_{J,t+\tau_2+\dots+\tau_{j-1}})(Q_{m2,t} + Q_{1,t-\tau_1} - Q_{2,t}) + \dots + \\ & H_{J,t}(Q_{mJ,t} + Q_{J-1,t-\tau_{j-1}} - Q_{J,t}) \end{aligned} \right\} \right\}$$

式中, $J$ 为从上游到下游所有参加梯级 AGC 的水电厂数目; $j$ 为各水电厂的编号; $T$ 表示总时段的数目; $t$ 表示时段序号; $z_{j,t}$ 为 $t$ 时段第 $j$ 个电厂的水库水位; $H_{j,t}$ 为 $t$ 时段第 $j$ 个电厂的平均水头(可以认为时段内水头变化很小,初始水头即为平均水头); $Q_{j,t}$ 为 $t$ 时段第 $j$ 个电厂的发电流量; $Q_{mj,t}$ 为 $t$ 时段第 $j$ 个电厂的自然流入量; $\tau_{j-1}$ 为第 $j-1$ 个电厂发电流量流至第 $j$ 个电厂水库所需时间,即水流时滞。

### 3 物联网技术在流域梯级水电集控系统的设计应用

本文利用物联网技术研制了针对中小河流流域和梯级水电站及其远程集控系统,选择实际流域梯级水电站系统进行系统设计。该河流域全长 25 km,流域建设有 5 个水电站,分别为坝后水电站( $3 \times 8500$  kW,引水式)、者溢水电站( $3 \times 2000$  kW,河床式)、泥浪水电站( $3 \times 1500$  kW +  $2 \times 2750$  kW,坝后式)、冷水水电站( $3 \times 1000$  kW,坝后式)、留驾水电站( $2 \times 9750$  kW,引水式)。根据该河道流域情况、各水电站设备、设施分布,以及梯级调度和集控中心的运行管理要求,采用有线专网+物联网无线通信技术,进行河流域水雨情、水质环境及梯级水电站远程集中智能监控系统设计,实现流域河流及梯级水电站的一体化监测和远程集中监控运行管理。

#### 3.1 河流域生态环保在线监测系统设计

该河流域设计有流域生态环保在线监测系统,在关键河段位置装设的水位站、雨量站、流量站、水质站等,通过智能传感器采集测点水位、雨量、流量、水质等关键数据及气象信息和视频图像信息,再通过 4G/GPRS 及 LoRa 等物联网通信接入梯级水电站的河流生态在线监测系统和远程集控中心系统进行河流域生态的在线监测、异常告警、防洪预报预警。将其流域水雨情及气象数据等接入梯级水电站的监控系统,实现梯级水电站的水电联合协调控制和最优发电控制功能。

#### 3.2 梯级水电站在线监控系统设计

该流域设计有五个水电站的在线监控系统,在原有水电站系统设备基础上进行面向无人值班或无人值守管理的

智能化、信息化技术改造,主要改造或增加有水位、流量、压力、位置、温度、机组振动、摆度等智能传感器及其在线监测智能终端,以及电站保护监控系统、闸门监控、厂用电及电源监控、安防系统、消防系统及远动通信系统等。通过对这些设备技术改造升级后,梯级水电站各种现场数据及视频图像信息,通过专网和 4G/GPRS 及 LoRa 等物联网通信接入上下游水电站的在线监测系统和远程集控中心系统,实现水电站的最优发电控制和梯级水电站之间的联合协调控制功能。

#### 3.3 远程集控中心系统设计

该流域梯级水电站远程集控中心系统设计有计算机监控系统、流域生态环保监测系统和设备在线监测及故障诊断系统、远程安防监控系统、远程消防监控系统等。集控系统与各水电站监控系统之间采用专网双通道通信连接和无线公网连接,集控系统与流域生态环保监测系统之间采用双通道无线公网连接,实现高可靠的系统通信和远程监控和远程一体化管理。其流域梯级水电站集控系统关键功能有:

(1)安全监视与智能告警。采用工业互联网专网和物联网技术实现对流域河道、渠道、管道、进水阀、水轮机、发电机、变压器、开关柜、励磁、调速器等设备状态安全监测,以及实现对水电站的安防、消防、闸门、水雨情等进行安全监测及异常信息智能告警,系统能自动和人工结合按时域和频域辅助分析算法进行数据分析、图表展示和智能告警。

(2)趋势分析与智能控制。通过对流域水雨情、水文信息及梯级电站运行的大数据进行计算统计和趋势分析,融合设备及终端系统的相关设计参量,与系统设计参数、历史数据进行比较分析,利用综合分析法对历史数据统计分析,生成流域及水电站设备运行状态的趋势分析曲线。通过趋势分析曲线,制定流域生态环保和梯级水电站水电联合孔子策略,实现梯级水电站各机组按流域水位、流量等情况自动开机、自动停机和自动发电等智能控制功能。

(3)经济运行与智能决策。系统根据流域水资源数据、水电站监测及运行参数,以及设备信息管理及故障检修状态,集成专家分析系统,并进行机组效率分析和故障诊断分析,结合人工分析结果,提出流域及梯级水电站的经济运行方案,提供给电站的用户决策和高效安全管理,降低运维成本,实现客户运行管理效益的最大化。

(4)云平台监控与移动管理。该流域和梯级水电站的各在线监测数据、图像信息、设备信息和管理信息等通过工业互联网及 4G/GPRS 等物联网通信方式,接入多流域梯级水电站系统云平台,用户可通过计算机终端和移动手机 APP 等进行访问、浏览、操作等全面应用,实现流域地理信息展示、智能巡检及梯级水电站系统的远程移动监视和移动办公管理,可大大提高流域生态环保及梯级水电站的运行管理效率和安全管理水平,让用户及主管部门随时随地进行有效监管。

#### 3.3 流域梯级水电站集控系统应用

该系统已在中小河流流域及梯级 5 个水电站系统和远

程集控系统中投运,系统运行可靠,功能强大、操作简便,运行管理更加高效。

该流域梯级水电站的值班人员由原来的 45 人减少为 10 人,并且值班人员每天巡查次数由 6 次减少为 2 次。在该河流域实施了智能巡检和防洪预报预警系统,未发生重大安全事故。由于流域在线监测、设备状态监测、集控管理信息化和移动 APP 的移动管理,流域环保、生态监测管理和梯级水电站安全管理效率有明显的提升,机组增加了正常发电运行时间,减少了停机次数,流域水资源得到了优化利用,提高了发电经济效益。

#### 4 结语

本文运用智能传感技术、物联网技术、智能控制技术和计算机技术,对河流域及梯级水电站集控系统进行设计,实现了流域及水电站系统的在线监测及智能控制、生态环境安全监测和设备信息化,以及设备移动管理,提升了流域及

(上接第 47 页)

寻人员行走的方向,并根据标准路径的方向,指导找寻人员转向正确的方向。

(12)找寻人员按照标准路径的指导多次直行、转向、直行、转向……,装置显示标准路径,实时采集设备找寻人员的步幅数据,根据步幅数据实时显示找寻人员的行走轨迹。

(13)到达要转向的第  $N$  个节点时,装置判断并显示找寻人员行走的方向,并根据标准路径的方向,指导找寻人员转向正确的方向。

(14)装置实时采取设备找寻人员的步幅数据,根据步幅数据实时显示找寻人员的行走轨迹,找寻人员标准路径到达设备位置;本次找寻记录上报后台支撑系统。

(上接第 100 页)

#### 4 结语

输电铁塔的节点一般为螺栓连接,而螺栓连接为非紧密连接节点,构件相互接触表面之间,极易存在汽水交替界面。铁塔节点的腐蚀速率高,其腐蚀厚度对铁塔力学性能影响大。本文从耐蚀钢新型节点结构设计和耐蚀钢节点涂刷防腐材料的角度出发,提出了两种节点防腐方案。目前,耐蚀钢在我国输电线路铁塔中还没有得到实际推广,其铁塔节点的腐蚀性能和防腐措施亟待进一步研究。

##### 参考文献

[1]杨风利,韩军科,杨靖波,等.输电铁塔用耐候钢节点耐腐蚀

梯级水电站系统的智能化、信息化和集约化管理水平,符合河流域生态监测、环保管理以及梯级水电站、集控系统、云平台、移动终端之间的互联网化、智能化、信息化的发展要求。随着 5G 技术在物联网新技术研发和新产品的推广应用,必将推动物联网新技术在智慧河流域及梯级水电站及集控中心系统中的广泛应用。

##### 参考文献

- [1]刘利国.我国农村小水电自动化设备运行现状及建议[J].中国农村水利水电,2007(05):111-113.
- [2]李勋,龚庆武,乔卉.物联网在电力系统的应用展望[J].电力系统保护与控制,2010(22):232-236.
- [3]杜传利.物联网等新技术在现代化电站中的应用展望[J].四川水力发电,2010(12):101-102.
- [4]孙小江,李键,朱勇,等.物联网技术在小水电站在线监测及故障诊断的应用[J].电工技术,2017(10):61-62,88.

#### 4 结语

室内设备位置找寻系统解决了在找寻室内设备时,因 GPS/GLONASS/北斗信号弱不能准确定位和导航的问题。该系统的前置找寻终端体积小、重量轻,方便施工作业人员携带,提高了施工现场的维护工作效率。

##### 参考文献

- [1]韩盈党.基于 MEMS 传感器室内导航的系统设计[D].西安:西安邮电大学,2014.
- [2]程庆,赵伟,戴陈靓,等.室内微型组合导航计算机设计[J].电子测量技术,2013(02).

性能试验研究[J].电力建设,2008(09):23-28.

- [2]黄士君.输电铁塔受腐蚀节点残余力学性能的有限元分析[J].常州大学学报(自然科学版),2015(07):35-38.
- [3]葛兆军,张强,黄耀,等.输电铁塔耐候钢在不同大气环境下的腐蚀行为[J].中国电力,2016,49(12):8-14.
- [4]陈云,徐利民,药宁娜,等.输变电钢构件的大气腐蚀与防护[J].华北电力技术,2014(12):10-14.
- [5]王向红,张楷,吴晓锋,等.耐候钢在输电铁塔中应用的全寿命分析[J].山东工业技术,2013(13):31-32.
- [6]李茂华,杨靖波,刘思远.输电杆塔结构用材料最新进展[J].武汉大学学报(工学版),2011(S1):191-195.
- [7]李正,冯卫民,赵金飞,等.耐候冷弯型钢在 220kV 输电线路中的应用[J].电力建设,2010(07):101-104.