

智能水电厂自动化系统总体构想初探

王德宽, 张毅, 刘晓波, 何飞跃, 余江城, 段振国

(中国水利水电科学研究院, 北京市 100038)

摘要: 智能水电厂的总体目标应该是通过智能化改造, 进一步提高水电厂生产及管理的自动化水平, 提高设备的安全运行水平, 提高全厂经济效益, 为实现状态检修创造条件。建设智能水电厂, 目的是提升水电厂的安全和经济运行水平, 进一步提高机组的可观性、可控性和可调性, 提升网厂之间的智能协调水平。由于国内在智能水电厂方面刚刚起步研究, 加强智能水电厂的概念、目标、功能、系统配置及系统间互动的研究, 有利于推动计算机监控系统、机组状态检修、水电厂经济运行等方面研究的展开。

关键词: 智能水电厂; 自动化系统; 监控系统; 总体构想

0 引言

经过多年的不懈努力和科技进步, 中国水电厂已普遍装备了计算机监控、水情水调、继电保护等系统, 机组状态监测、大坝监测、计量等自动化系统也初具规模。但各系统发展水平不平衡, 由于没有统一的接口标准和规范, 各个系统间数据共享困难, 未能有效发挥系统功能, 距智能水电厂信息化、自动化、互动化的目标有较大的差距。

国际电工委员会第 57 技术委员会(IECTC 57)制定了有关自动化系统实时通信的国际标准 IEC 61850, 可以将当前众多的通信协议规范化, 代表了自动化技术的发展方向。目前, 已正式出版了水电厂监控通信标准 IEC 61850-7-410。

通过智能水电厂建设, 实现一次设备智能化, 二次设备网络化、数字化, 数据的采集和传输光纤化, 全厂数据共享互动化, 各信息系统之间有机配合与互操作, 减少设备重复建设, 节约大量二次电缆, 解决电站抗干扰问题, 提高设备及系统的可靠性和实时性, 最终减少电站投资。

建设智能水电厂, 目的是提升水电厂的安全和经济运行水平, 进一步提高机组的可观性、可控性和可调性, 提升网厂之间的智能协调水平。由于国内在智能水电厂方面刚刚起步研究, 加强智能水电厂的概念、目标、功能、系统配置及系统间互动的研究, 有利于推动计算机监控系统、机组状态检修、水电厂经济运行等方面研究的展开。

1 智能水电厂的总目标

智能水电厂是智能电网的重要组成部分, 但又与智能电网关注的重点有本质的不同, 应注重水电厂的安全和效益。

智能水电厂的总体目标应该是通过智能化改造, 进一步提高水电厂生产及管理的自动化水平, 提高设备的安全运行水平, 提高全厂经济效益, 为实现状态检修创造条件。具体目标如下。

1) 生产过程控制的智能化: 通过对通信传输和计算机网络系统的改造, 完成水电厂计算机监控系统的智能化升级。

2) 运行调度决策的智能化: 完成水情、气象、水调和防汛决策支持等系统的智能化改造, 实现水库智能化调度, 提高全厂经济运行水平。

3) 设备检修决策、大坝安全监测、设备运行管理的智能化: 实现对水轮发电机组、变压器、断路器等主要设备及水工建筑物的在线状态监测和诊断, 提高设备故障诊断水平, 降低运行维护及检修成本。

4) 数据信息平台的一体化: 建设数据信息统一平台, 实现各自动化系统之间、系统与数据采集之间的 IEC 61850 互连, 实现各生产自动化系统、管理信息化系统的数据共享与综合应用。

5) 全厂经济效益的最大化: 提高设备安全运行水平, 全面提升经济效益, 提高全员劳动生产率, 降低劳动强度。

2 智能水电厂建设的总原则

1) 安全可靠。智能化改造首先必须遵守安全、可靠性的原则。应采用成熟可靠的技术和产品, 确保改造后的系统能安全、稳定、可靠运行。

2)开放性。广泛采用国际标准、国家标准、行业标准和规范,如 IEC 61850,提高系统的开放性。选用国际知名厂商的标准化产品,以方便备品备件及后续升级。

3)先进性。追求技术先进和一定的超前性,但不盲目追求先进而损害安全可靠。已建电站智能化改造时改动一次设备难度大并存在风险,应在二次设备、故障诊断与状态检修、水库优化调度和水能最佳利用等方面下功夫,充分考虑技术的先进性与生产的安全性的平衡。

4)经济性。在确保智能化目标的前提下,原有设备通过局部升级改造时,尽量进行局部改造,避免投资浪费。

5)积极稳妥抓重点。由于智能水电厂是一个新生事物,没有先例可鉴,工作量大,涉及面广,应以提高决策智能化、安全性、可靠性及经济性等为重点,以影响上述因素最突出的设备为突破口,积极稳妥,

逐步展开,取得实效。

3 系统总体设计

3.1 智能水电厂自动化系统总体构成

智能水电厂具体体现在一系列高度智能化的生产过程控制、运行决策和生产辅助管理自动化系统中。这些系统相对独立、功能明确、界限清晰,完成各自的特定功能,相互之间又有有机联系,实现数据共享互动配合,完成全厂智能化的目标。

3.1.1 智能化系统的构成

智能水电厂自动化系统总体构成可以概括为具有特定功能的一系列智能化应用自动化系统的有机集成。这些系统分属三大安全区域,通过全厂统一数据信息平台实现互动,实现水电厂生产过程控制、运行决策与生产管理的智能化,使水电厂效益最大化。智能水电厂自动化系统总体结构如图 1 所示。

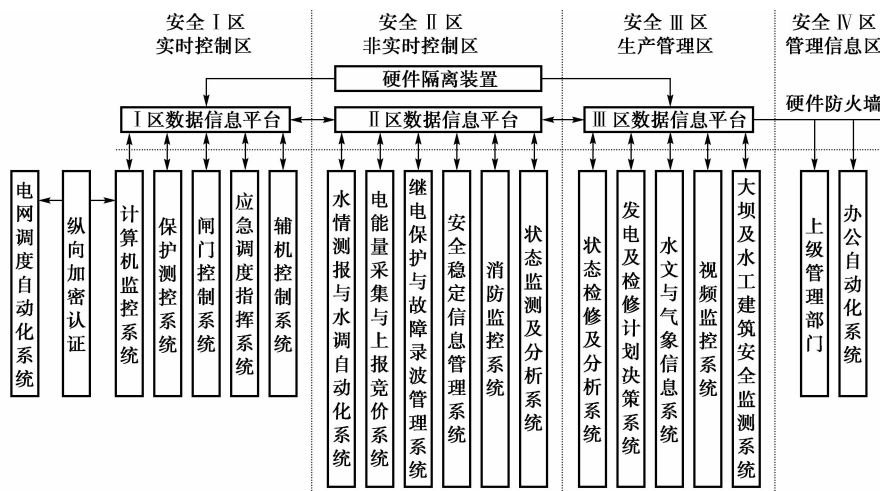


图 1 智能水电厂自动化系统总体结构

3.1.2 系统间的互联

三大安全区域各有一个数据共享平台,负责整合本区各自动化系统,实现数据互联、共享和互动。

系统间互联初期可在具备条件的系统间采用 IEC 61850 协议,后期应逐步推广采用 IEC 61850 协议。

三大安全区域之间的互联应按国家电力监管委员会等部门的有关规定,采取必要的安全防护措施。

由于水电厂的办公自动化(OA)系统及其他属于安全 IV 区的系统与生产直接关系不十分密切,本文没有将这些系统纳入智能水电厂建设体系中来。

3.1.3 各自动化系统与传感器、执行元件的连接

常规的传感器、执行元件等二次设备,如继电保护装置、防误闭锁装置、测量控制装置、远动装置、故

障录波装置、电压无功控制、同期操作装置以及在线状态监测装置等全部基于标准化、模块化的微处理机设计制造,设备之间的连接全部采用高速的网络通信,二次设备不再出现常规功能装置重复的 I/O 现场接口,通过网络真正实现数据共享、资源其享,常规的功能装置在这里变成了逻辑的功能模块。

由于目前符合 IEC 61850 标准的二次设备、仪器、仪表及智能电子设备(IED)并不很多,只能逐步向标准靠近,使系统具备接入支持 IEC 61850 的 IED 的能力。

具体而言,如电站监控系统现地控制单元(LCU)应具备接入支持 IEC 61850 的 IED 的能力,如调速器、励磁、保护、合并测控单元、同期等,也可接入常规硬布线信号,并继续支持其他通信协议。

3.2 智能化建设规划

智能水电厂建设涉及生产、运行、维护管理等各个方面,规模大,内容多,结构复杂,技术难度高,建设周期长,是一项巨大的系统工程。为了保证智能化建设的高起点和高水平,实现全厂各系统的统一有效管理和互动,避免重复建设,必须按照“统一规划、分步实施”的原则进行总体规划。

智能化建设规划应根据进度要求、现场实际需求、具备的技术条件等,对包括基础设施、应用支撑平台、电站各应用系统等建设内容,以及相应的组织管理和技术保障等方面,按照系统总体层次架构进行规划设计,通过多学科、多技术的相互支撑,整合各子系统,分阶段、分层次开发建设,以实现各系统的有序耦合。

基础设施是完成各类信息在数据采集、传输、处理、存储和展示全过程的软硬件设备及所需的实体环境,是智能水电厂建设的基础,包括数据采集系统、通信系统、计算机网络系统、数据储存与管理系统等。

计算机网络系统是各类自动化系统的连接交换平台,应根据各个应用系统对网络实时性、安全可靠性和带宽要求建设计算机网络。为了提高网络安全性和可扩展性,计算机网络采用层次化结构,划分为控制专网、业务内网和业务外网。

统一信息平台为智能水电厂提供统一的信息支撑管理应用环境,实现全厂跨安全分区的各应用系统之间的数据统一交换与存储共享。

应用系统是与水电厂运行维护管理直接相关的各业务子系统,主要包括计算机监控、水情水调自动化、在线监测与状态检修、大坝安全监测以及保护量测等系统,是智能化建设的主要内容。

4 电站自动化系统智能化

目前,电站自动化系统越来越多,变送器重复设置,信号重复采集,结构繁杂,信息源多,易受到电磁干扰,同时由于缺少统一的接口标准和数据结构模型,没有从根本上解决信息化孤岛问题,各自动化设备与系统间接口复杂,难以相互兼容和互操作,不同厂家设备间的互操作性更难以实现,制约了水电厂生产管理和自动化技术的进一步提高。

智能水电厂通过采用先进的传感器、电子、信息、通信、控制、智能分析软件等技术,建立全站所有信息采集、传输、分析、处理的数字化统一应用平台,实现了自动化功能的整合,简化了现有的水电厂监测设备,系统更为经济、可靠。仅用一套间隔层测控装置实现保护、测控、录波、测距、选线等自动化功

能,减少和简化了现场设备,显著降低了一次设备成本和运行维护成本;同时由于装置减少和消除了复杂的电缆接线,提高了整个系统的可靠性。

鉴于目前数字化传感器和智能开关组件尚不成熟和稳定,水电厂智能化改造并不意味着更换一次设备,仍可采用传统开关和传统电压互感器或电流互感器,但智能水电厂计算机监控系统应具备接入合并单元、开关控制器等 IEC 61850 智能设备的能力,实现 IEC 61850-9-1、或者 IEC 61850-9-2 采样值接收以及面向通用对象的变电站事件(GOOSE)跳闸报文的发送。

4.1 智能水电厂系统结构

智能水电厂自动化系统的物理结构可分为智能化的一次设备和网络化的二次设备 2 类。根据 IEC 61850 通信协议定义,逻辑结构可分为过程层、间隔层、站控层 3 个层次,各层次内部及层次之间采用高速网络通信。其中:站控层与间隔层网络采用交换式以太网,介质可选双绞线;间隔层与过程层的网络也采用交换式以太网,介质应采用光纤。其系统结构如图 2 所示。

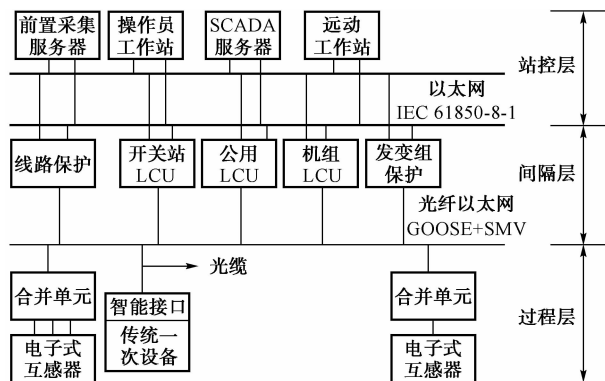


图 2 智能水电厂结构

4.1.1 过程层

过程层是一次设备与二次设备的结合面,或者说是指智能化电气设备的智能化部分。过程层的主要功能分为以下 3 类。

1) 实时电气量检测

与传统的功能一样,主要是电流、电压、相位以及谐波分量的检测,其他电气量如有功、无功、电能量可通过间隔层的设备运算得出。

2) 状态参数在线检测与统计

水电厂需要进行状态参数检测的设备主要有变压器、断路器、刀闸、母线、电容器、电抗器以及直流电源系统。在线检测的内容主要有温度、压力、密度、绝缘、机械特性以及工作状态等数据。

3) 操作控制的执行与驱动

操作控制的执行与驱动包括:变压器分接头调节控制,电容器和电抗器投、切控制,断路器和刀闸的合、分控制,直流电源充、放电控制。

4.1.2 间隔层

间隔层设备的主要功能是:①汇总本间隔过程层实时数据信息;②实施对一次设备保护控制功能;③实施本间隔操作闭锁功能;④实施操作同期及其他控制功能;⑤对数据采集、统计运算及控制命令的发出,具有优先级别的控制;⑥承上启下的通信功能,即同时高速完成与过程层及站控层的网络通信功能。

4.1.3 站控层

通过2级高速网络汇总全站的实时数据信息,刷新实时数据库,实现全厂集中监控及人机联系功能。按标准协议,将有关数据信息送往调度或控制中心,并接收调度或集控中心有关控制命令,转间隔层、过程层执行;具有对间隔层、过程层诸设备的在线维护、在线组态、在线修改参数的功能。

4.2 计算机监控系统改造方案

由于目前智能水电厂一次设备一般不进行更换,仍采用传统电压互感器或电流互感器,水电厂计算机监控系统智能化改造的主要目标是进一步提高系统的安全性、可靠性、经济性、开放性和人机联系的友好度。智能水电厂监控系统改造目前可按以下2个阶段进行。

1) 监控智能化改造阶段 1

对现有水电厂计算机监控系统进行软件升级改造,在站控层和间隔层增加 IEC 61850 通信接口,实现 IEC 61850 的 IED 接入,同时保留各种常规通信接口,保留主要计算机设备和可编程逻辑控制器(PLC),进行软件和少量硬件升级,可显著提升系统的智能化水平,优化系统性能。对于现地层智能设备数据通信,优先采用 IEC 61850 通信协议和现场总线方式实现设备间数据交换,其他数据可通过常规方式实现接入。

在这个阶段,系统采用2层结构设计,即一次设备仍采用传统的电压互感器或电流互感器,机组 LCU、开关站 LCU、公用 LCU 的 PLC 不更换,数据采集及控制以硬接线为主的形式实现。站控层与 LCU 通信仍采用 PLC 厂家的网络协议。

在 LCU 的 PLC 中配置相应的 IEC 61850 通信接口模块,实现间隔层 IEC 61850-8-1 通信的 IED 设备接入。

在监控系统站控层增加 IEC 61850 网关,完成 IEC 61850 标准接口开发,支持 IEC 61850 的有关系统和 IED 接入,网关将从 IED 接收的实时数据放

入监控系统实时库,监控系统通过网关实现对 IEC 61850 有关设备的控制。

2) 监控智能化改造阶段 2

实现计算机监控系统对 IEC 61850 标准的全面支持,系统采用2层结构,站控层和间隔层采用 IEC61850-8-1 通信。一次设备仍可采用传统的电压互感器或电流互感器。PLC 更换为支持 IEC 61850 的 PLC,具有接入非常规电压互感器或电流互感器和开关控制器的能力,LCU 与站控层通信采用 IEC 61850-8-1 通信协议。

间隔层设备(包括机组 LCU、开关站 LCU、公用 LCU)的数据来自合并单元,合并单元可以 IEC 61850-9-1,IEC 61850-9-2 发送采样值(SMV)。间隔层设备对开关量的控制可通过向开关控制器发送 GOOSE 报文实现。

5 状态检修系统智能化

实施机组状态检修决策系统是建设智能水电厂的主要目标之一。

近年来,状态监测与故障诊断技术在国外发展迅速,特别是在线监测、网络技术与远程访问等方面进步明显。但由于故障诊断、设备状态评估等技术还存在一些不确定性,还需要在实践中不断完善。从水电行业发展来看,设备状态检修代替定期检修是发展的必然趋势,需经历一个过程。在这个过程中,状态检修还不能完全取代定期检修方式,而是形成一套融故障检修、定期检修和状态检修为一体的、优化的检修方式。要做到真正的状态检修,仅有技术支持系统是不够的,还需要水电厂整体水平的提升,如高素质的管理人员、健全的设备管理体制、先进的配套设备与技术等。

由于状态监测与故障诊断系统涉及的设备及子系统众多,且来自不同的厂家,通过智能化建设,采用开放的通信协议、统一的技术标准与数据模型,使系统各个部分之间能够实现网络化的无缝通信,最终实现“即插即用”的环境。

智能水电厂状态检修决策系统结构采用分层分布式结构,由电站监测层、中心诊断层、用户访问层组成。

电站监测层由站级数据服务器和机组监测设备组成。站级数据服务器用于监测、存储各电站机组的状态数据,并向中心诊断层发送设备状态数据。其中机组监测设备包括在线监测设备和离线设备。在线监测设备由多个监测模块组成,其监测范围涵盖机组振动与摆度、压力脉动、噪声、空化、机组效率、发电机气隙、发电机局部放电、变压器油色谱、地

理信息系统(GIS)局部放电等。

中心诊断层是系统的核心,主要负责监测设备日常维护、日常监测与报告,简单故障分析等,进行故障诊断、机组维修建议、组织各个领域专家会诊疑难故障,以及系统维护和升级等。主要由中心数据服务器、通信服务器、Web 服务器、故障诊断服务器以及中心工作站等组成。

用户访问层包括电站内部用户和 Internet 授权用户等,如电网内部用户、经过授权的高等院校、科研院所的诊断专家等。这些用户可以远程对设备运行状态进行监测、诊断和维护。对于设备疑难故障,可组织不同专业的专家进行网上会诊。

6 信息统一平台智能化

建设信息统一数据平台,按照 IEC 61850 标准统一规范全厂各应用系统的通信接口与数据模型,实现电站各相关应用系统数据共享、集中管理,为全厂各种高级应用提供一体化的支撑平台。

水电厂统一信息平台由全厂 3 级安全区域的数据平台组成。可结合计算机监控系统的智能化升级改造,建设安全 I 区的数据平台;结合水情水调系统的智能化升级改造,建设安全 II 区的数据平台;结合 Web 发布功能和门户网站的建设,建设安全 III 区的数据平台。通过网络安全防护设备,实现全厂 3 级安全区域数据平台间的数据交换和共享。

统一信息平台建设,需重新梳理各应用系统及其之间的关系,统一规划 3 级安全区域,形成水电厂生产数据中心。

在建成计算机通信网络系统、统一信息平台运行实体环境等支撑系统的基础上,建设全厂数据交换和中心存储设备,通过统一规范的传输协议和网

络接口,进行全厂各应用系统升级改造,整合离散各个子系统,建立满足全厂二次安全防护要求的信息统一平台,形成全厂数据信息中心,实现跨安全分区的各应用系统之间的数据统一交换与存储共享,消灭信息孤岛,并根据智能水电厂对数据交换、存储管理、数据挖掘、综合应用、展现、发布等要求,进行统一信息平台高级应用软件的开发和功能扩展。为智能水电厂提供统一的信息支撑管理应用环境,满足各应用系统的需求,提升电站自动化运行管理水平和综合经济效益。

7 经济运行与智能调度

通过智能水电厂建设,实现水电厂机组之间的优化运行,提升电网与水电厂智能协调控制及电站优化运行的智能化决策水平。根据水电厂的特点,可开展以下 2 个方面实用化研究。

1)智能调度实用化数学模型及求解算法

考虑水轮发电机组工况、水库入库流量与水量情况、电站运行约束,以及智能电网运行的要求,实现水电厂智能化最佳运行。

2)水电厂优化调度与电网联合智能协调控制技术

研究水电厂优化调度与电网联合智能协调控制技术,水电厂自动发电控制(AGC)与能源管理系统(EMS)的 AGC 功能实施合理信息交互,提高远方负荷控制精度和自动化程度,实现更智能化的协调互动调度、控制。

王德宽(1960—),男,通信作者,教授级高级工程师,主要研究方向:水电厂自动化、计算机监控与仿真技术研究与应用。E-mail: wdk@iwhr.com

The Overall Idea of Smart Hydropower Plant Automated System

WANG Dekuan, ZHANG Yi, LIU Xiaobo, HE Feiyue, YU Jiangcheng, DUAN Zhenguo
(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: The overall goal of smart hydroelectric power plants (SHPP) should raise the automation levels of production and management of power plants through the intelligent modernization. It should improved economic benefits and safety operation level of equipments in order to meet the need of status-based repairing. The purpose of building SHPP is to promote security and economical operation level, to further improve the considerable-ness, controllability and adjustability of the units, to raise the intelligence coordinate level between the network and power plants. It has just started to study the technology of SHPP in our country, strengthened study on the concept, goal, function, system configuration and interaction among systems for SHPP is needed. It is in favor of development such as computer monitoring system, status-based repairing of units, and economical operation, etc.

Key words: smart hydroelectric power plant (SHPP); automated system; monitoring system; overall idea