

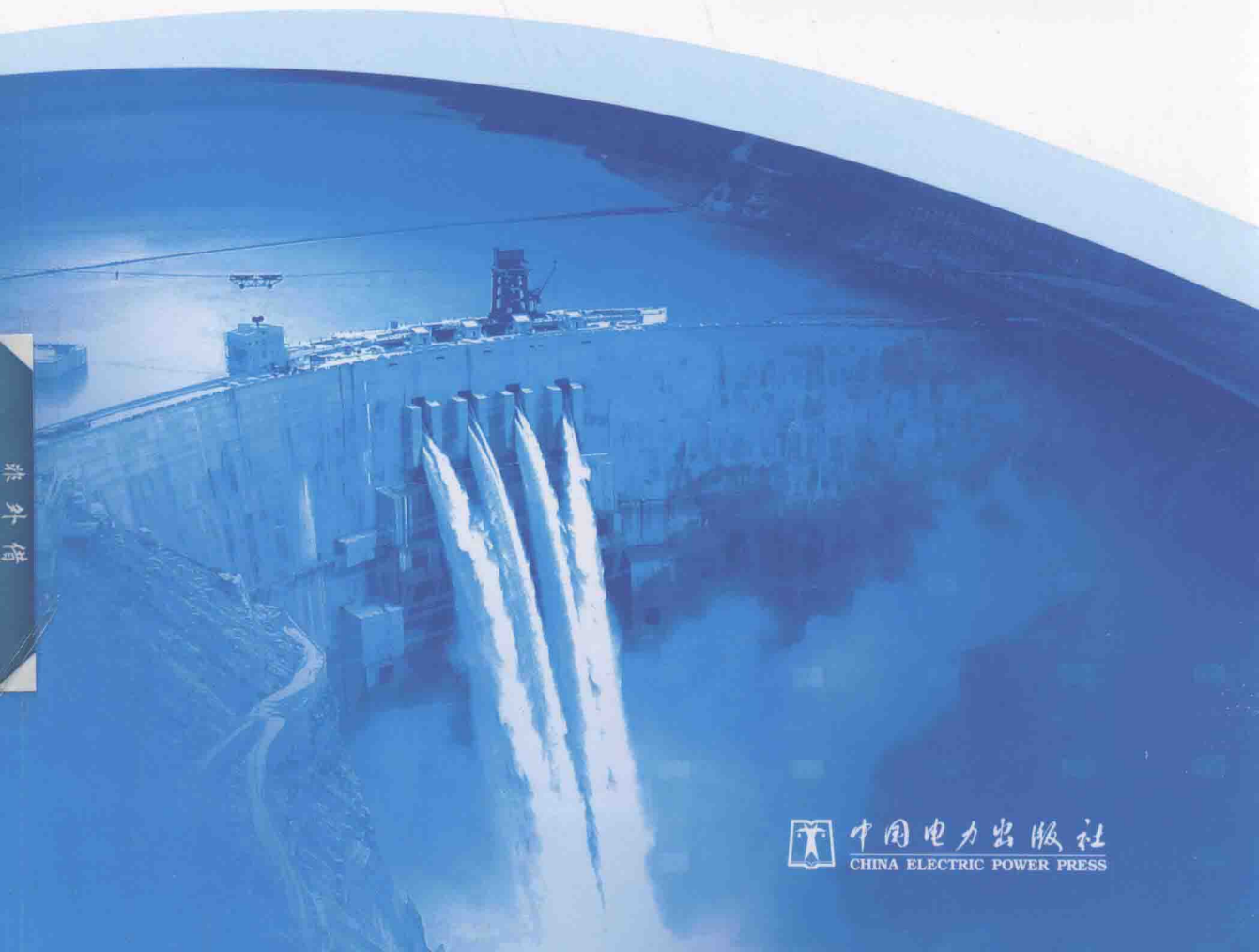
TECHNOLOGY AND APPLICATION
OF SMART HYDROELECTRIC POWER PLANT

智能水电厂

技术及应用

刘观标 主 编

徐 洁 芮 钧 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

TECHNOLOGY AND APPLICATION
OF SMART HYDROELECTRIC POWER PLANT

智能水电厂

技术及应用

刘观标 主 编

徐 洁 芮 钧 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

智能化是水电厂自动化的发展方向,能够有效提高水电厂运行的可靠性和经济性。在当前新技术广泛应用、人力成本与日俱增的形势下,利用智能化实现传统水电厂技术创新和管理变革,对于提升“中国水电”国家名片形象,落实“一带一路”国家战略具有重要意义。

本书全面介绍智能水电厂的背景、目标、体系架构、水电厂现地智能电子装置、一体化管控平台、各类智能应用组件、测试与验证技术、运行管理模式、工程实践情况以及今后发展展望。其中,现地智能电子装置包括合并单元、智能终端、智能监控装置、智能调速装置、智能励磁装置、智能保护装置、智能振摆保护装置、智能辅助装置;智能应用组件包括流域经济运行系统、设备状态检修决策支持、大坝安全分析评估决策支持、流域防汛决策支持、安全防护联动、生产数据综合分析、生产运行智能化报警、信息通信综合监管等。

本书理论与实践相结合,内容全面,通俗易懂,指导性强,可供各水电厂、流域水电开发公司的运行人员、维护人员、管理人员,设计单位相关设计人员,国内水电自动化系统及设备供应商技术人员使用,高等院校相关专业的师生亦可参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能水电厂技术及应用 / 刘观标主编. —北京: 中国电力出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-5198-1522-6

I. ①智… II. ①刘… III. ①智能技术—应用—水力发电站 IV. ①TV74-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 308366 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 韩世韬

责任校对: 郝军燕

装帧设计: 左 铭

责任印制: 蔺义舟

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

版 次: 2017 年 12 月第一版

印 次: 2017 年 12 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 15.5

字 数: 356 千字

印 数: 0001—1500 册

定 价: 68.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

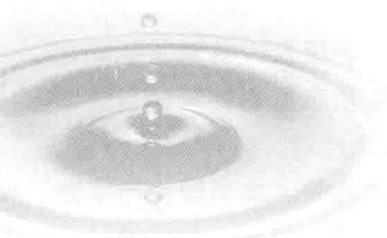
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

《智能水电厂技术及应用》 编写委员会

主 编 刘观标

副 主 编 徐 洁 芮 钧

编写人员 郑健兵 夏 洲 戎 刚 王亦宁 蔡卫江
许其品 胡 波 尤万方 赵 宇 徐 麟
孙延岭 华 涛 李春红 殷召生 郑慧娟
胡少英 潘伟峰 夏智娟 罗华煜 刘成俊
陈正平 王 坤 郝秀峰 徐方明 姜 晓
马军建 蔡 杰



前言

中国水能资源理论蕴藏量和技术可开发量均居世界第一。20 世纪初，我国水电建设开始起步，经过百余年的发展，已经成为名副其实的世界水电大国，在各流域建成了不同规模的水电站及水电站群，包括举世瞩目的三峡水电站。水电厂自动化系统是水电站安全、可靠、经济、高效运行的重要技术保障。我国水电自动化技术自 20 世纪 70 年代起步，在 40 余年的发展过程中，经历了“引进—消化—吸收—创新”四个阶段，逐步突破了国外的技术和产品垄断，达到了国际领先水平，不仅实现了水电厂自动化系统的国产化，产品还出口至五大洲。

近年来，各类新兴技术快速发展并广泛应用，明显改变着工业生产和人类生活。层出不穷的新技术以及由此引发的强烈创新意识，使得国内水电行业以全新的视角重新审视传统自动化系统，对其分析、评估、优化以及便捷性的要求达到了前所未有的高度。此外，包括我国在内的许多国家正在推行智能电网建设。水电作为智能电网的一部分，面临着提高智能化水平，满足智能电网安全可靠、经济高效、友好互动要求的挑战。为此，南瑞集团有限公司于 2009 年提出了“智能水电厂”理念，通过传统自动化系统技术体系的革新，全面提升水电站调度运行管理的水平。

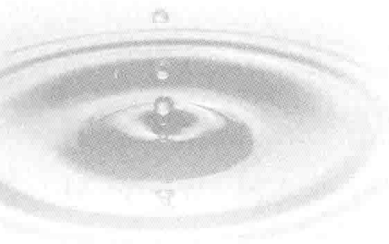
自该理念提出以后，国内相关单位联合开展了关键技术攻关、核心产品研发及试点工程应用，使得该理念被国内水电行业所熟知。2016 年 1 月，国家能源局发布了《智能水电厂技术导则》电力行业标准。2016 年 2 月，国家发展改革委、国家能源局、工业和信息化部联合发布了《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》。自此，智能水电厂进入了快速发展期，各发电企业积极开展了智能水电厂相关的技术研究和试点工程建设，参与了技术标准编制工作。2016 年 10 月，中国电力企业联合会发布了智能水电厂系列五项国家标准制定计划，目前正在编制中。通过多年的协同攻关，已经形成了较为完整的技术、产品和标准体系，实现了我国水电自动化技术的跨越式发展。智能水电厂代表水电自动化技术发展方向，已经成为国内水电行业的共识。此外，智能水电厂获得了国际水电领域的一致认可，南瑞集团有限公司正在牵头多个国家共同编制《智能水电厂技术导则》IEEE 国际标准。同时，IEC 与 IEEE 组织已就该标准成为 IEC/IEEE 双标国际标准达成协议，近期有望落地。

本书将全面介绍智能水电厂的背景、目标、体系架构、水电厂现地智能电子装置、一体化管控平台、各类智能应用组件、测试与验证技术、运行管理模式、工程实践情况以及

发展展望。其中，智能电子装置主要介绍了合并单元、智能终端、智能监控装置、智能调速装置、智能励磁装置、智能保护装置、智能振摆保护装置、智能状态监测装置和智能辅助装置；智能应用组件主要介绍了流域经济运行系统、主设备状态检修、大坝安全评估、防汛决策指挥、安全防护管理、生产数据综合分析和信息通信综合监管。本书理论与实践相结合，内容全面、通俗易懂、指导性强，可供发电企业运行、维护、管理人员，设计单位设计人员，自动化厂商技术人员以及高等院校相关专业的师生参考。

智能水电厂技术体系十分庞大，涉及多个学科。尽管我们在编写过程中做了很大努力，但由于问题的复杂性，以及时间的限制，难免有疏漏之处，敬请批评指正。

作 者
2017 年 12 月



目 录

前言

第一章 智能水电厂概述	1
第一节 发展背景	1
第二节 内涵特征	3
第三节 建设目标	3
第四节 体系设计	4
第五节 发展现状	6
第二章 相关基础知识	8
第一节 自动化系统架构	8
第二节 工业通信总线	11
第三节 IEC 61850 标准	16
第四节 IEC 61970 标准	18
第五节 SOA 软件架构	20
第六节 专家系统	22
第三章 智能水电厂体系架构	24
第一节 设计原则	24
第二节 逻辑结构	25
第三节 典型物理结构	29
第四章 基础支撑系统	31
第一节 一体化电源系统	31
第二节 统一对时系统	34
第三节 动力环境监控	37
第四节 安防类系统	40
第五节 网络建设	41

第五章 现地智能电子装置	43
第一节 概述	43
第一节 现地系统架构	44
第三节 典型智能电子装置	45
第四节 装置研制及应用现状	67
第六章 一体化管控平台	70
第一节 概述	70
第二节 软件结构	70
第三节 数据中心	71
第四节 基础服务	75
第五节 基础应用	82
第七章 流域经济运行系统	101
第一节 概述	101
第二节 总体架构	102
第三节 系统功能	106
第八章 主设备状态检修	150
第一节 概述	150
第二节 软件架构	151
第三节 软件功能	152
第九章 大坝安全分析评估	162
第一节 概述	162
第二节 软件架构	163
第三节 软件功能	164
第十章 防汛决策指挥	169
第一节 概述	169
第二节 软件架构	169
第三节 软件功能	170
第十一章 安全防护管理	179
第一节 概述	179
第二节 系统结构	179
第三节 基本功能	181

第四节 联动策略	181
第十二章 生产数据综合分析	187
第一节 概述	187
第二节 软件架构	187
第三节 软件功能	189
第十三章 信息通信综合监管	197
第一节 概述	197
第二节 软件架构	197
第三节 软件功能	199
第十四章 智能水电厂测试验证	206
第一节 概述	206
第二节 测试验证流程	206
第三节 测试验证关键技术内容	208
第四节 国内外认证机构	213
第十五章 智能水电厂运行管理模式	215
第一节 概述	215
第二节 组织结构	215
第三节 管理机制	216
第十六章 智能水电厂工程实践	218
第一节 工程应用概述	218
第二节 典型工程应用	218
第三节 应用前景	222
第十七章 智能水电厂发展展望	224
第一节 概述	224
第二节 智能传感技术	224
第三节 物联网技术	226
第四节 云计算技术	228
第五节 大数据技术	230
第六节 电力市场	233
参考文献	235



第一章

智能水电厂概述

第一节 发展背景

迄今为止，水电是全世界最主要、最成熟并且能效最高的可再生能源。20 世纪 80 年代后期，我国开始推行“流域、梯级、滚动、综合”水电开发政策，水电开发建设得到了快速发展。目前，我国水电机组单机容量及水电站装机容量实现巨型化，各大流域建成了举世瞩目的水电站群，水电装机容量和年发电量均居世界之首，在保障能源供应、优化能源结构、实现电力可持续发展、提高流域防洪能力、改善供水及通航条件、减少温室气体排放等多方面水电均发挥着重要作用。

流域水电站群工程投资大、社会影响广，运用自动化、信息化技术进行安全高效管控，是保障流域水电站群发挥预期设计功能，提高其经济效益和社会效益的重要手段。我国从 20 世纪 70 年代初开始进行水电自动化技术研究和产品开发，受到计算机、网络技术水平及系统规划、集成能力的限制，难以对水电站及流域水电站群自动化系统进行整体的规划。因此，采用了“分而治之”的思想，按照不同的业务划分为多个相对独立的子系统，从而有效降低了各个子系统的研制难度。由于当时水电厂自动化系统的数量十分有限，实际应用中大多注重完成基本的测量和控制功能，对数据挖掘、分析评估、决策支持等功能的需求并不强烈。因此，上述系统架构适应了当时技术发展水平和业务需求，是科学合理的。经过三十余年的发展，已经形成了以现地自动化、厂站计算机监控、流域远程集中监控、流域水情测报、流域水调自动化和大坝安全监测为主的水电自动化技术体系及产品系列，基本满足了水电厂“无人值班（少人值守）”的运行要求，在水电工程的运行管理中发挥了重要作用。

然而，近年来流域水电站群内外部环境均发生了显著变化，使得传统的水电厂自动化系统架构越来越难以满足新的发展形势。从外部环境来看，各个国家都不约而同地将目光集中于发展智能电网和各类新能源之上，以解决全球气候逐步恶化、温室效应加剧、传统能源日益短缺等问题，意图抢占未来经济及科技发展的制高点。我国也将发展智能电网上升为国家战略。智能电网及大规模间歇性新能源的快速发展，对主要承担调峰调频任务的水电机组可靠性及源网协调能力均提出了更高的要求。传统水电厂自动化系统缺少对水电厂主设备健康状态的在线监测和分析评估技术，现地测量信号线缆易受强电磁场干扰从而影响控制调节的可靠性，通过脉冲方式增减机组有功/无功的方式难以满足电网频率调节要求。云计算、大数据、物联网、移动终端、虚拟现实、人工智能等新兴技术逐渐成熟，正

引发水电厂自动化系统架构以及业务流程革新。从内部环境来看,随着水电企业新投产电站的日益增多,人力资源不足的问题日益突出,加之新电站建设成本、人力成本以及其他各类型成本的逐年上涨,使得水电企业普遍面临利润不断下降的严峻形势,需要通过精细化运行管理和集约化生产管理,实现降本增效,确保水电企业可持续健康发展。在此情况下,传统水电厂自动化系统逐渐显露出子系统体系架构各异、通信标准不统一、信息共享困难、业务协同能力不足等缺点,制约了各业务智能化的快速发展和应用,无法很好地满足水电厂进一步提升信息综合评估能力、深入实现信息集成与综合应用、提高运行管理水平与转变管理模式的客观需求。

具体而言,传统水电厂自动化技术主要存在如下不足:

(1) 流域水电站群按专业孤立管控,各专业测控功能冗杂。流域水电站群涉及自然环境、建筑工程、机电设备、输电网络,“水—机—电”三元因素特性差异巨大且交织影响,内部交互机理及外部响应特性极其复杂,缺乏规范化的功能划分与明确定义,以及实现相关功能之间互动的技术支撑。

(2) 流域水能资源高效利用与电力运行之间的协同不足。随着各流域梯级电站的滚动开发和建成投产,水电站之间的水力、电力耦合关系日益紧密,调度运行过程中既要考虑水电站间水力协同和电力协同问题,又要考虑各水电站自身的水力、电力协同问题,未能最大限度地实现发电、防洪、灌溉等综合利用要求之间的有效协同。

(3) 水电机组、水电站及站群源网协调能力不足。随着大规模新能源接入电网,其存在间歇性、随机性及强波动性等弱点,使得水电机组调峰/调频响应速度及精度,一次调频与二次调频协调控制,机组有/无功调节可用率,水电厂自动发电控制投运率、可用率、调节过程、调节精度,站群负荷转移规模等均无法很好地满足智能电网的要求。

(4) 水电主设备安全保障及可靠运行能力不足。水电厂水轮机、发电机、变压器等主设备耗资巨大,其运行性态直接决定着水电厂的安全性及调节能力。水轮发电机组集水机电于一体,既承受相对缓慢的复杂非恒定水力冲击,又承受快速瞬变交流电磁场影响,故障种类及机理十分复杂,水电主设备运行性态在线精确测量及健康状态评估能力不足。

综上所述,随着智能电网及流域水电站群建设的不断深入,对水电厂运行可靠性、源网协调能力及智能决策能力提出全新的要求,传统水电厂自动化技术越来越难以满足上述要求。因此,需要综合应用最新的理论成果和技术手段,研究能够适应和满足未来相当长时期内流域水电企业应用需求的新型水电自动化技术,研制新一代的水电厂自动化软硬件产品,对流域内各水电厂的运行情况进行更为全面透彻的感知,有效地实现各类设备、业务系统之间的协同互动,针对各类业务进行更加智能化的分析评估,提升水电厂源网协调能力及智能决策能力,保障流域水电站群安全、可靠、经济、高效运行。

为此,以南瑞集团有限公司(原南京南瑞集团公司)为代表的相关科研单位,于2009年前后提出了“智能水电厂”的新理念,并开展了智能水电厂技术体系及运行管理模式、水电标准通信总线、水电公共信息建模、流域经济运行、主设备状态检修等理论和应用技术研究,研制了一体化管控平台、流域经济运行、主设备状态检修决策支持智能应用组件,以及智能监控装置、智能调速装置、智能励磁装置等系列化现地智能电子装置,实现了水电厂自动化技术的整体升级,有效解决了水电厂信息孤岛和业务协同问题,提



高了数据挖掘和智能决策能力，提升了水资源综合优化利用水平。作为智能电网的六大环节之一，智能水电厂不仅促进了水电厂运行管理向一体化、智能化模式转变，也使得水电厂与电网之间建立了友好互动机制，提升了电网调峰调频能力，提高了电网接纳间歇性新能源的能力，有力地支撑了我国智能电网的发展。目前，“智能水电厂”理念已经获得了加拿大、美国、法国等国家许多水电自动化专家的高度认可。因此，智能水电厂建设在中国水电发展史上具有里程碑意义，将有力推动中国水电自动化技术的发展与进步，甚至引领世界水电自动化的发展方向。

第二节 内 涵 特 征

根据我国发布的电力行业标准 DL/T 1547—2016《智能水电厂技术导则》，智能水电厂是适应智能电网源网协调要求，以信息数字化、通信网络化、集成标准化、运管一体化、业务互动化、运行最优化、决策智能化为特征，采用智能电子装置（IED）及智能设备，自动完成采集、测量、控制、保护等基本功能，具备基于一体化平台的经济运行、在线分析评估决策支持、安全防护多系统联动等智能应用组件，建设生产运行安全可靠、经济高效、友好互动目标的水电厂。

智能水电厂的主要特征包括信息数字化、通信网络化、集成标准化、运管一体化、业务互动化、运行最优化、决策智能化。其中，信息数字化是指采用数字化测量方式取代传统模拟信号测量方式，建立标准的通信总线，实现测控信息数字化；通信网络化是指构建全厂统一的通信网络系统，采用国际开放的标准网络通信协议，实现各类传感器、装置及软件平台之间的高速可靠数据传输；集成标准化是指遵循“标准先行”的原则，制定统一的信息建模和命名规范，制定不同组件和系统之间的集成规范，实现全厂模型资源统一管理以及不同业务应用即插即用；运管一体化是指应构建统一的消息总线和服务总线，研制一体化管控平台，实现各类业务的统一集中管理；业务互动化是指应该加强各类业务应用之间的数据共享，规范化智能水电厂的业务流和信息流，实现各类业务之间的友好互动；运行最优化是指要充分运用系统工程理论，持续改进水库调度、负荷分配等优化模型和算法，不断提高智能水电厂的发电能力和运行效益；决策智能化是指应积极采用人工智能、专家系统、大数据分析等新兴技术手段，充分挖掘各类业务数据的潜在价值，建立并持续丰富水电企业专家知识库，不断提高系统的优化决策支持能力。

第三节 建 设 目 标

智能水电厂的建设目标是紧跟新兴技术发展步伐，持续优化自动化系统架构，不断改进系统功能和性能，提高水电厂主设备运行可靠性和流域水能利用率，提升电网安全稳定运行保障和新能源消纳能力，优化流域电站综合生产管理，提升水电厂安全管理能力和应急响应能力，实现水电站群集中运行管理的全景数据、业务协同、智能决策，推动水电企业管理创新和机制变革，促进水电行业向一体化、智能化的高效运行管理模式转变，引领中国乃至世界水电的技术发展方向。

一、提高电力生产的安全性和可靠性

通过各类先进软硬件技术及测试技术的应用,改进现地测控装置产品质量,提升设备的无故障连续运行时间;采用现地光纤通信取代信号线缆,消除现场电磁干扰带来的潜在安全隐患;通过智能监控装置的自诊断、自恢复等智能化技术,提高现地自动化系统的自愈能力;利用水电厂主设备状态监测技术,提前识别出主设备的缺陷和故障;量化识别水电厂运行中的各类风险,对风险进行提前预控;加强对气象、水质、工程与地质等要素的监测,提升各类自然灾害和突发事件的预测预警能力、应急响应能力和快速决策指挥能力。

二、实现电力生产的降本增效

在传统水电站群优化调度成果的基础上,改进发电、防洪及灌溉之间的协同优化能力,进一步细化优化调度和计划编排的对象,在风险可控的情况下,优化水电站群发电水头,实现发电、防洪、供水等综合效益的最大化;利用主设备状态检修技术,准确评估水电机组健康状态和风险水平,根据机组健康状态合理安排机组检修,提高水电厂主设备的可用率和利用率,降低设备检修成本;通过规范的对象化建模和通信总线,以及一体化管控平台等技术手段,提高工作效率,减少系统安装调试及后期运行维护阶段的人力成本。

三、提高设备及系统的友好互动能力

深化一次调频、电力系统稳定器(PSS)的控制和安全策略,加强 AGC/AVC 与调速/励磁系统协调控制,提高机组快速响应能力和源网协调能力,满足电网考核要求;梯级各水电厂之间在水力和电力方面能够有效地协调,均衡各自在枯汛交替期的弃水风险,通过有功负荷站间优化分配来确保下游电站高水头运行且库水位不越限;水电厂各系统/应用之间通过统一的接口,实现数据流和业务流的无缝衔接,提高业务效率且避免人工出错;现地各装置之间能够高效协同配合,实现数据一次采集、多处共享,减少系统调试及后期运维的成本。

第四节 体 系 设 计

一、智能水电厂体系架构设计

开展智能水电厂架构分层分区体系架构设计,分析各复杂测控功能之间的内在联系,基于 IEC 61850 标准水电厂信息建模原理,建立适用于我国流域水电站群运行特性及电网调度模式的信息模型,提出基于 IEC 61850、IEC 61970 标准的通信总线,设计智能水电厂过程层网和厂站层网,研究不同规模水电厂智能电子装置的典型配置和部署方案,提出一体化管控平台及各类智能应用组件的规范化接口,建立智能水电厂调试、运维及智能设备测试技术体系,提出实现流域水电站群一体化管控的运行管理模式。

二、水电厂现地智能电子装置

针对特高压直流换流站脱网形成孤岛情况,研究特高压直流孤岛模式识别方法及控制



参数优选方法,提出电网大负荷/频率波动、小负荷/频率波动下的水调机组调节方法,基于水电公共信息模型及标准通信总线,研究水电机组数字化调节方法,研究智能电子装置在线自诊断、自恢复方法。在此基础上,研制支持 IEC 61850 标准的智能监控装置、智能调速装置、智能励磁装置、智能保护装置等,提高水电机组调节响应速度和精度,提升水电厂源网协调能力。

三、流域水电站群经济运行技术

研究流域水电站群经济运行技术框架,提出水库调度与电力运行的耦合机制,针对人类活动对流域自然环境影响加剧的现状,开展无资料、少资料地区水文预报方法研究,研究考虑复杂电力运行条件的流域水电站群短期发电优化调度模型及解算方法,研究水电站群经济调度控制(EDC)模型及在线求解方法。在此基础上,基于一体化管控平台研制流域水电站群经济运行系统,实现了流域水电协同调度与控制。

四、水电主设备状态监测与状态检修决策支持

分析水电机组“水—机—电”耦合运行机理,梳理水电机组常见故障及原因,构建水电机组故障案例库和专家知识库,建立水电主设备状态评价和风险评估指标体系,提出水电机组故障诊断专家系统法、故障树法和案例诊断法,并结合 D-S 证据理论实现水电机组多元融合故障诊断,研究了稳态工况下的机组运行特征提取及在线修正方法,研制支持 IEC 61850 标准的水电主设备状态监测及状态检修决策支持系统,提高水电机组运行安全性、可靠性和利用率。

五、大坝安全分析评估决策支持

梳理流域水电站群大坝常见异常性态及产生原因,研究大体积混凝土结构体实测应力应变及自身体积变形的快速分解方法,建立大坝安全监测与分析评估模型库,对大坝安全监测数据进行分析处理,判定监测结果和巡视检查结果,诊断所有监测或检查部位是否正常,综合评价整个大坝的安全稳定状况,并通过智能分析评估给出决策建议。

六、防汛应急决策指挥支持

综合应用水文、水力学、水资源调度等专业数学模型及地理信息、三维仿真、预测预警等技术,研究基于 GIS 的防汛形势综合评价及防汛损失预估方法,提出基于 GIS 的防汛人员、物资调配方案及路径优化方法,建立覆盖汛前检查、汛中指挥、汛后总结的防汛业务流程及协同互动机制,研制基于工作流的可视化防汛应急指挥平台,实现防汛信息整合、智能报警及应急指挥功能,提高流域水电站群防汛应急指挥与调度管理水平。

七、安全防护多系统联动

分析水电厂、流域水电集控中心各安全防护相关设备及系统内在的业务逻辑关系,研究相关设备及系统的联动模式及联动策略,统一安全防护多系统联动接口,研制基于一体化管控平台的联动策略管理智能应用组件,实现计算机监控、工业电视、巡检、五防、门



禁、消防、生产管理等多系统的联动功能,提高流域水电站群运行的安全性和可靠性,提高运维人员工作效率。

八、其他领域业务智能应用组件

重点围绕物联网、云计算、大数据、移动互联、人工智能等新兴技术开展在水电厂中的应用研究,深化研究并应用数值分析、数据挖掘、商业智能、专家系统等传统分析评估技术,持续完善智能水电厂业务应用体系,现阶段以生产数据分析、生产运行智能化报警为突破点,研究标准化、开放的智能应用组件接口,支持第三方智能应用组件的无缝集成。

第五节 发展现状

当前,智能水电厂已经成为国内水电厂自动化的研究热点,南瑞集团有限公司、北京中水科水电科技开发有限公司等产业单位已经研制出或正在研制一体化管控平台、智能电子装置等产品,西门子、施耐德等 PLC 厂商推出了支持 IEC 61850 标准的新型 PLC 产品,西北电力勘测设计院等设计单位围绕智能水电厂设计开展了相关研究,提出了智能水电厂典型设计方案。其中,南瑞集团有限公司开展了智能水电厂技术体系及运行管理模式研究,掌握了一体化管控平台、智能电子装置、流域经济运行、主设备状态检修等关键技术,形成了智能水电厂整体解决方案,可应用于新建或改造水电厂、流域水电集控自动化系统。2010 年起依托试点工程进行了成果应用实践,构建了 IEC 61850 标准 MMS 通信网络,使用一体化管控平台替代了原来的计算机监控、水调自动化等孤立软件平台。首批试点工程于 2012 年投入试运行,试点效果明显。解决了水电厂信息孤岛和业务协同问题,提高了数据挖掘和智能决策能力,提升了水资源优化利用水平,促进了运行管理向一体化、智能化模式转变。此外,南瑞集团有限公司还将智能水电厂的部分成果分别应用于全国多个水电站群集控中心,取得了显著的工程应用成果,验证了智能水电厂技术成果体系的可行性和重大意义,实现了智能水电厂科研成果的产业化应用。目前,国家电网公司、中国南方电网有限责任公司、中国长江三峡集团公司,以及其他各大发电集团均在大力推行水电智能化建设工作。

在技术标准方面,南瑞集团有限公司、国网新源控股有限公司、国家电网公司、中国长江电力股份有限公司、中国水利水电科学研究院、中国水电顾问集团(现中国电力建设集团有限公司)、华中科技大学共同编写了国内首个智能水电厂相关的电力行业标准 DL/T 1547—2016《智能水电厂技术导则》。南瑞集团有限公司还负责编写了《电力自动化通信网络和系统 第 7-410 部分:基本通信结构 水力发电厂监视与控制用通信》(DL/T 860.7410—2016,等同采用 IEC 61850-7-410:2012 标准)和《电力自动化通信网络和系统 第 7-510 部分:基本通信结构 水力发电厂建模原理与应用指南》(DL/T 860.7510—2016,等同采用 IEC 61850-7-510:2012 标准)两项电力行业技术标准。

目前,南瑞集团有限公司、国网新源控股有限公司、中国长江三峡集团公司等单位正在编写《智能水电厂公共信息模型技术规范》、《智能水电厂一体化管控平台技术规范》、《智能水电厂设备状态检修决策支持系统技术导则》、《智能水电厂智能电子装置技术导则》、



《智能水电厂防汛决策支持系统技术规范》和《智能水电厂安全防范系统联动技术规范》六项智能水电厂系列国家标准。此外，南瑞集团有限公司向 IEEE（美国电气和电子工程师协会）国际标准组织提交的“Technical Guide for Smart Hydroelectric Power Plant”国际标准 PAR（项目授权请求），已经于 2016 年年底正式立项，成立了 IEEE 智能水电工作组（P2775）。目前，来自中国的多家 IEEE 会员单位，以及美国 GE 公司、法国施耐德公司、加拿大魁北克水电公司等国外单位均参加了该国际标准的编写。

总体来看，智能水电厂已经成为我国水电自动化的明确发展方向，智能水电厂的必要性、内涵和目标已经在行业内取得了普遍共识，相关的国家和行业技术标准近年内就能正式发布，部分设备制造商和系统集成商已经研制了相应的智能电子装置产品，提出了完整的智能水电厂方案新建和改造方案，并在三峡及各大发电集团中得到了良好的工程应用。

值得注意的是，智能化本身是一个持续创新的过程，智能水电厂亦不例外。国内现有的技术、产品经过工程实践的检验证明其仍然属于起步阶段，水电工程特性各异，运行管理模式和需求不同，业界对智能水电厂还未形成完全统一的认知，对智能水电厂发展过程中无法避免的阶段性问题存在着各种片面的看法，尚未形成涵盖智能水电厂规划、设计、建设、运行、维护的完整技术体系和产品系列。此外，云计算、大数据、物联网、移动应用、人工智能等新兴技术飞速发展，一方面会影响水电厂自动化系统的架构体系，另一方面也将进一步提升水电厂的智能化水平。因此，智能水电厂的理念、内涵及技术内容也将伴随各类新技术发展而持续演进。

第二章

相关基础知识

第一节 自动化系统架构

一、概述

工业自动化根据生产过程的特点，主要分为以过程（流体运动）控制技术支撑的流程自动化（PA）和以运动控制技术为支撑的工厂自动化（FA 或离散型生产自动化）。工业过程控制是指以温度、压力、流量、液位和成分等工艺参数作为被控变量的自动控制，涉及的流程行业包括石油、化工、冶金、电力、轻工、纺织、医药、建材、食品等；运动控制主要指对工作对象的位置、速度及加速度所做的控制，涉及的离散制造行业主要包括机械制造、航空制造、汽车制造、电子电器等行业。

在工业过程控制自动化中主要应用了三大控制系统，分别是：采用计算机或可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller, PLC）形成的集中式控制系统、分布式控制系统（Distributed Control System, DCS）和现场总线控制系统（Fieldbus Control System, FCS）。其中，传统的 PLC 属于集中控制、集中管理的控制装置，但随着通信技术与网络技术的发展，性能不断完善新型 PLC 和远程带通信功能的智能 I/O 组件为控制系统的分布、分散处理成为发展趋势，新型 PLC 满足了数字化、模块化和网络化的发展需要，既能形成性能优异的 DCS，又能构建灵活善变的 PLC 控制系统。后来，随着现场总线技术的发展以及具备现场总线的智能数字化设备的研制应用，在 DCS 的基础上发展出 FCS 系统。FCS 将 DCS 和 PLC 控制系统中分散在现场的控制器（控制站）和 I/O 组件的数字通信功能延伸到现场的测量控制仪表及执行器上，实现了控制功能的彻底分散。目前，在一个大型复杂的过程控制系统中，PLC 控制系统、DCS、FCS 可能同时存在，以满足系统中传统仪表和数字化仪表混合使用的实际需求。

上述三大控制系统，主要面向的是工业现地自动化应用；此外，数据采集与监视控制（Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA）系统，是一种使用计算机、网络数据通信和图形用户界面进行高级过程监控管理的控制系统架构，是一种面向厂站自动化应用的生产过程控制与调度自动化系统。SCADA 系统可以对现场的运行设备进行监视和控制，以实现数据采集、设备控制、测量、参数调节以及各类信号报警等各项功能。SCADA 系统可以应用于电力、冶金、石油、化工等诸多领域，其中在电力系统自动化中的应用尤为广泛，技术发展也较为成熟。