

电力试验技术丛书

丛书主编 文伯瑜 姜龙华

现代水电厂 计算机监控技术与试验

4546521.576232123223152

002455026

方辉钦 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

T0736
F200



TV736
F200

电力试验技术丛书

丛书主编 文伯瑜 姜龙华

现代水电厂 计算机监控技术与试验

方辉钦 主编
施 冲 主审



2009/12/29

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

3

953304

内容提要

为了总结多年来我国电力试验的经验,促进我国电力试验水平的提高,中国电力企业联合会电力试验研究分会和中国电力出版社组织编写了《电力试验技术丛书》。本丛书是根据国家电力公司电安生[1996]430号文《关于电力工业技术监督工作规定》的要求而编写的,具有科学性、实用性、先进性、权威性。

《现代水电厂计算机监控技术与试验》是本丛书之一,是一本全面反映我国水电厂自动化行业迅速发展和最新成果的专著,全书分基础篇、应用篇、扩展篇、试验篇四篇,共21章。本书内容丰富,涵盖了水电厂监控系统使用的各种新技术,概括了我国水电厂监控技术发展的全过程。在理论方面,对分布系统(包括按对象分布、按功能分布等)、分层控制、开放系统、面向对象、跨平台系统等都进行了讨论。在工程实践方面,除常规水电厂外,还对梯级水电厂监控和抽水蓄能水电厂监控技术进行了探讨,并对软件可靠性与软件测试以及监控系统软件开发环境等软硬件试验进行了讨论。在关于监控系统环境的讨论中,除了对气候、机械影响因素、电磁兼容性外,还专门讨论了监控系统的防雷、监控系统抗地震要求等以前很少在本专业领域见书的问题。此外还全面地讨论了与之有关的调速器系统、通信规约等技术。

另外,本书摘录了《水电厂无人值班的若干规定》(试行)、《水电厂计算机监控系统试验验收规程》、《水电厂开展设备状态检修工作的指导意见》等7个最新发布国标和国家电力公司有关规定中与水电厂密切相关的内容,以便读者参考。

本书可供水电厂自动化、泵站自动化、水利工程自动化、工业过程控制等专业技术人员、教师、研究生和学生参考使用,也可作为相关专业的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代水电厂计算机监控技术与试验/方辉钦主编. 北京:中国电力出版社,2004

(电力试验技术丛书/文伯瑜,姜龙华丛书主编)

ISBN 7-5083-1942-7

I. 现... II. 方... III. 水力发电站-计算机控制 IV. TV736

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第122217号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷厂印刷

各地新华书店经售

2004年3月第一版 2004年3月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 27印张 609千字

印数0001—3000册 定价50.00元

版权所有 翻印必究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

谨以此书献给

为我国电力事业发展而
战斗在电力试验一线的同任

中国电力出版社





1998年作者于三峡大坝基坑工程工地

作者简介

方辉钦，教授级高级工程师，1962年毕业于华中工学院（现华中科技大学），1965年同校研究生毕业。曾在中国水利水电科学研究院、水电部第十二工程局设计院、国电自动化研究院工作，先后担任能源部南京自动化研究所学术委员会委员，自动控制研究所副总工程师，江苏省微电脑应用协会工业控制专委会主任，《水电厂自动化》网刊主编，国家电力公司发输电运营部发电设备改造咨询专家组专家、水电厂“无人值班”（少人值守）验收专家组专家等职，现为中国水力发电工程学会理事，江苏省微电脑应用协会理事，中国电机工程学会高级会员，1981年被评为南京市先进工作者，1993年开始享受中华人民共和国国务院颁发的政府特殊津贴。

主持或作为课题负责人完成了有关葛洲坝、三峡等多个国控和部控重大科研项目，全国试点工程和中外合作项目，已合作编写了《现代水电厂自动化》、《中国水力发电工程——机电卷》、《水电厂近代技术》三本书，在国家核心期刊、重点专业期刊和国际、全国学术会议上发表中、英文学术论文50多篇，其中部分被英、俄文文摘收录。参与的项目或图书曾获得部信息成果一等奖、部科技成果二等奖、科技进步奖（科技著作）一等奖和第五届国家图书奖等。

电力试验技术丛书 编委会

主任 赵 鹏

主 编 文伯瑜

副主编 姜龙华

委 员 (按姓氏笔画为序)

毛兴其 王启全 王海林 白云庆 白立江 冯亚民

史更林 朱国俊 巩学海 刘韶林 张大国 张 方

祁太元 宋志毅 张怡荣 张俊生 张勇刚 李建勋

李 晨 余维平 苑立国 杨 华 陈 坚 林 韩

施 冲 赵 伟 赵庆波 郑 松 赵炳松 袁日秋

贾玉堂 顾南峰 徐润生 康 健 傅 伟 潘言敏



电力试验研究是经济建设尤其是电力工业发展中一项不可或缺的事业。中外电力事业的发展，均离不开电力试验研究人员的智慧和辛勤工作。新中国成立后，尤其是改革开放以来，随着电力工业的发展，我国电力试验研究事业取得了长足的进步，电力试验研究队伍不断扩大，试验研究成果层出不穷，极大地推动了电力工业的快速发展。

目前我国各地区均拥有自己的电力试验研究机构，从事电力试验研究的工程技术人员超过 10000 人。这支队伍的文化层次也从解放初期的以中专、大专毕业生为主，提高到今天的以大学毕业生、硕士生和博士生为主。更重要的是，这是一群热爱自己的事业、勤于钻研、勇于实践的勤奋劳动者。前后几辈人相互学习，长期工作实践，积累了大量试验研究工作经验。这是他们用汗水、心血以至生命换来的、值得用文字记录并传之于后世的宝贵经验。

随着电力体制改革的不断深化，使电力试验研究事业进入了竞争激烈同时又是历史上最好的发展时期。电力试验研究同行们愿意把自己的经验无私地奉献给广大读者，就是为了促进我国电力试验研究事业的进步与飞跃，促进我国电力工业的发展与兴旺，进而促进我国国民经济的增长与繁荣。

本着各取所长、共同提高的初衷，我们经过长时间的准备，编辑出版《电力试验技术丛书》，相信它一定会给读者带来启发、思考和收益。

华北电力科学研究院有限责任公司总经理
中国电力企业联合会电力试验研究分会会长

2003 年 12 月

前 言

我国目前装机总容量为 3.5 亿 kW，居世界第二。随着三峡电站机组的分批投入运行和西电东送工程的推进，到 2010 年全国性的大电网将初步形成。全国性电力系统运行的动态品质、安全稳定和经济性的改善与提高成为电力科技工作者肩负的重要责任。

为了总结多年来我国电力试验的经验，促进我国电力试验水平的提高，中国电力企业联合会电力试验研究分会和中国电力出版社决定组织编写一套《电力试验技术丛书》，以满足国内各电力试验研究院（所）、电厂、供用电企业、电力基建单位及大专院校、科研院所对专业技术书籍的迫切需要。

本系列丛书的内容主要是根据原国家电力公司电安生 [1996] 430 号文《关于电力工业技术监督工作规定》的要求而确定的。该文中规定，“电力技术监督工作应以质量为中心、以标准为依据、以计量为手段，建立质量、标准、计量三位一体的技术监督体系，依靠科学进步，采用和推广成熟、行之有效的新技术、新方法，不断提高技术监督的专业水平”。因此，本套丛书涵盖的内容应包括电能质量、金属、化学、绝缘、热工、电测、环保、继电保护、节能等，并对设备的健康水平及其安全、经济运行方面的重要参数、性能与指标进行监督、审查、调整和评价。本丛书共分 15 册。

丛书具有科学性、实用性、先进性、权威性。作者在写作过程中树立了精品意识和创优信念。

特别感谢中国电力企业联合会电力试验研究分会，全国三十二个试验研究院（所、技术中心）的领导，我们的分册主编主要由这些单位的技术专家担任。

特别感谢中国电机工程学会在组织编写中给予的大力支持。

丛书主 编

文伯瑜

丛书副主编

姜岩峰

2003 年 12 月 1 日

本书序

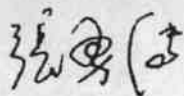
本书作者在一年前就告诉我正在写一本关于水电厂计算机监控技术方面的书，我当即就表示支持并给予肯定。现在他又希望我为此书写一序，我也欣然同意。方辉钦同志原是我校（原华中工学院，现名华中科技大学）20世纪60年代为数不多的研究生之一，当时按原苏联副博士的教学要求培养，打下了良好的专业基础。三十多年来一直在水电厂自动化领域的第一线从事科研和试制工作，经历了我国水电厂计算机监控技术走向成熟的过程。曾经参加了获得中国第五届图书奖的《中国水力发电工程》之第六卷（机电卷）等三本书的编写工作，在20世纪80年代与王金生合著的《现代水电厂自动化》一书成为我国水电厂计算机监控技术的第一本专业性高级科普读物。现在本书即将出版，我为这本全面反映我国水电厂自动化行业的迅速发展和最新成果的专著的问世表示祝贺和欣慰。

该书的主要特点是内容丰富，涵盖了水电厂监控使用的各种新技术，对我国水电厂监控技术发展的主要过程、不同时期各种技术发展的情况、代表产品和现状全面地进行了介绍。除常规电站外，涉及梯级、蓄能、无人值班、综合自动化、状态检修等各个方面。

作者在理论研究方面作了大量工作。书中对分布系统（包括按对象分布、按功能分布等）、分层控制、开放系统、面向对象、跨平台系统等在理论上都进行了探讨，并对监控系统内部通信、外部通信、现场总线以及Web浏览等都进行了讨论，同时概括了各种常用的通信规约和多种现场总线协议及应用情况，还总结了丰富的工程实践经验，理论结合实际，对软硬件试验也进行了讨论，如软件可靠性与软件测试，监控系统环境，监控系统的试验、验收及远方诊断，以及监控系统软件开发环境等。

可见，这是一本兼顾学术性、工程性、系统性、实用性和前瞻性于一体的一本不可多得的好书。21世纪待建的水电工程最多的是在中国，该书的出版为总结完善中国的水电厂监控技术作了一份有益的工作。

中国工程院院士



2003年5月

本书前言

我国水电厂计算机监控技术的发展，走过了一条曲折而不平坦的道路。新中国成立后虽然我国的水电事业有了突飞猛进的发展，水电厂自动化技术的发展仍然缓慢。我国执行改革开放政策以后，1979年“全国水电站自动化技术经验交流会”的召开，对我国水电厂自动化技术的发展起到了很好的动员和推动作用。正如本书所总结的，我国水电厂计算机监控技术的发展大体上经过了探索、试点、推广、提高四个阶段。

在这次会议以前的探索阶段，当时虽进行了“巡回检测”、“成组调节”、“四遥”等装置以及计算机控制技术的研究，但由于主计算机可靠性低、系统抗干扰等问题难以解决，以及监控系统功能设计、设备选配、软件组织等问题而成果甚微。

水电厂自动化科学技术发展七年规划（1979~1985年）的制定开始了我国水电厂监控技术发展的试点阶段。随后四个试点工程——葛洲坝、富春江、浑江梯级和永定河梯级的科研工作开始启动。

在试点工作取得成功以后，1987年在南京召开的“全国水电厂自动化技术总结和规划落实工作会议”和1993年在成都召开的“全国水电厂计算机监控系统工作会议”启动和落实了推广工作，分别安排了“七五”期间14个新建水电厂和12个已运行电厂启动或实现计算机监控系统的研制工作，规定“八五”期间应有40个左右大型电厂（群）实现计算机自动经济运行及安全监视，并规划到2000年大型水电厂和集中管理的梯级电站（群）都应实现不同程度的计算机监控，预期21世纪初全国大中型水电厂总装机容量的70%左右实现不同程度的计算机监控。根据2002年的统计，全国实现计算机监控的水电厂已达300座左右。

原电力部安生司主持召开的1994年太平洋湾会议和1996年湖南会议在推广的基础上开始了“提高”的进程，提出了水电厂实现“无人值班”（少人值守）的目标。在全国水电厂和调度中心（局）的大力支持下，截止到2002年上半年，我国已有30座水电厂通过了电力工业部或国家电力公司组织的正式验收，总装机2192万kW，约占全国水电总装机的30%。

在水电厂计算机监控技术的发展中，国电自动化研究院、中国水利水电科学研究院以及其他一些教学、科研、制造单位都发挥了重要的作用。

方辉钦同志20世纪60年代起从事水电厂自动化领域的研究工作，曾参加电力系统水电厂经济调度计算机系统的研制和富春江水电厂综合自动化方案的制定，来院后是我院筹建时期自动控制小组七人成员之一。他参加了水电部为制定我国20世纪70年代水电厂自

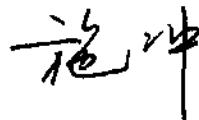
自动化规划而组织的全国调查，出席了1979年在福建古田召开的组织和动员我国水电厂自动化工作的“全国水电厂自动化技术经验交流会”。

20世纪80年代方辉钦同志主持了我国四个试点工程之一的葛洲坝水电厂自动化系统的研制，并担任我院第一套应用微型计算机的电力监测设备——SXJ-1型事故顺序显示记录成套装置（1981年投运）和我院第一套用于水电厂全厂监控的计算机监控系统——葛洲坝二江电厂计算机监控系统（1987年出厂）的课题负责人。主持或作为课（子）题负责人完成了多项国控和部控重大科研项目，如葛洲坝水电厂全厂计算机监控系统总体方案的研究，国家科委和水电部下发的“八五”攻关项目“三峡电站综合自动化系统方案的研究”，国家重点科技（攻关）项目“三峡电站和梯级调度综合自动化系统实施方案的研究”，其中SXJ-1和葛洲坝二江系统均获水电部科技成果奖二等奖。主编的《水电厂自动化》网刊获1996年水利部信息成果奖一等奖，合著的《现代水电厂自动化》一书获1992年全国优秀电力科技图书一等奖，参与编写的《水电厂近代技术》一书被评为全国电力系统继续教育优秀教材，参与编写的《中国水力发电工程》为“九五”国家重点图书，由潘家铮、何璟主编，获科技进步奖（科技著作）一等奖，并于2001年10月获第五届国家图书奖。

方辉钦同志在水力发电学报、中美双边自动化论文集（英）、电力系统自动化、中国三峡建设、水电自动化和大坝监测、Electricity（英）等核心期刊及国际、全国学术会议上发表中、英文论文50多篇。近几年以国家电力公司发输电运营部“无人值班”（少人值守）验收专家组专家和国家电力公司发输电部《水电厂无人值班若干规定》编写小组成员的身分，参加了二十多个“无人值班”（少人值守）水电厂和两个无人值班水电厂的验收工作。至今仍在水电厂自动化领域默默耕耘，积累了丰富的工程经验和大量的技术资料，并在建立水电厂计算机监控理论和科研创新上作出了一定的成绩。

本书除汇集了我国、我院的科研成果外，其个人潜心进行研究的成果也都已反映在本书中。在编写风格上，充分考虑了为广大水电厂自动化业界人员服务的思想，并且特别注意了使该书具有良好的可读性、参考性、收藏性。

国电自动化研究院自动控制研究所所长



2003年5月

编者的话

一进大学校门，就听取了留美博士、华中工学院水电系主任黎献勇教授的专业介绍，从此走上了水电工作的道路。大学毕业后，我先后在水利水电科学研究院机电所、水电部第十二工程局设计院工作，后调到国电自动化研究院。这时，我国的开放政策和研究院良好的工作条件使技术人员如鱼得水，特别是1979年召开的全国水电站自动化技术经验交流会后，我国的水电厂自动化工作日新月异、成果卓著，包括两个主要科研基地在内的全国各有关单位都研制出高水平的产品。本书的编写目的就是要总结成绩、交流经验，系统地总结水电厂监控这门科学。

本书共计四篇21章，除第八章由陈仲华编写，第十章由涂光瑜编写，第十三、十四章由霍宁编写，第二十章由郭懋铤编写外，其他章节均由方辉钦编写。参加编写的还有朱辰（第七章、第十五章），徐洁（第七章、第二十一章），吴正义（第九章、第十章、第十六章），彭永（第十一章），张启明、贺小明、韩兵（第十二章），汪军（第十七章），方艺（第十九章），武尚德（第二十章），张在德（第二十一章）。负责审校工作的有郭懋铤（第一~第六章，第二十一章），庞敏（第七章、第十四章、第十六章），曾纪伦（第八章），余杏林（第九章、第十章），朱辰（第十一章、第十八章、第十九章），徐洁（第十二章），王善永（第十三章），魏敏文（第十四章），何云（第十五章），曾庚运（第十七章），张在德（第二十章）。参加审校工作的有霍宁（第三章），陈思宁（第四章），吴正义（第五、第六章），彭永（第七章），方辉钦（第十章、第二十章），方艺（第十一章），黄国祯（第十七章），徐洁（第十九章），王晓航（第二十一章）。最后全书由方辉钦统稿，施冲主审。

这里要特别感谢中国工程院院士、我院总工程师薛禹胜博士，由于他的信任和推荐，我才有信心和决心在眼疾的困扰下承担此书的编写任务。同时要特别感谢我院自动控制研究所所长施冲，正是由于他鼎力支持，为我在编写过程中提供了全方位的帮助和良好的写作环境。要特别感谢杨金栋、顾景芳、周志清、叶钟黎、龚世龙这些知名的老专家，在他们的引导和帮助下，使我能够深入进行研究并掌握了大量的素材，顺利地开展写作；感谢黄国祯、曾庚运、魏敏文，他们百忙之中进行了审稿，提出了许多宝贵的修改意见，感谢水电学会和信息网的邢凤山、毕亚雄、林礼清、王德宽、苏伯林等领导，使本书在一年零五个月完成全部编审工作；感谢部、院、所各级领导和同事们，特别是余卫国、方培丰、欧阳辉、黄立军同志，还有谢邦泽、李朝安，他们都曾给予我很大的帮助。要感谢我的导师黎献勇博士和院士张勇传以及其他的老师们，教授给我的丰富专业知识、严谨的治学作风和行之有效的

学习方法使我终生受益。

由于编者水平和时间所限，文中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

方静欣

2003年5月



序	.....	1
前言	.....	2
本书序	.....	3
本书前言	.....	4
编者的话	.....	5

第一篇
基础篇

第一章 概论	3
第一节 水电厂监控技术发展的历史回顾	3
第二节 水电厂“无人值班”(少人值守)	8
第三节 水电厂综合自动化	12
第四节 关于水电厂状态检修	13
第五节 小型水电厂监控	14
第二章 水电厂发电设备监控要求	16
第一节 水轮机高效率区控制	16
第二节 发电机合理运行区控制	17
第三节 电网对水轮发电机组控制的要求	18
第四节 水轮发电机组控制的特殊性	20
第三章 水电厂监控基础	22
第一节 水电厂监控方式的发展	22
第二节 电子数字计算机在水电厂的应用	22
第三节 两种类型的水电厂计算机监控系统	24
第四节 水电厂计算机监控系统的基本结构	27
第五节 水电厂计算机监控系统的分类	35
第四章 水电厂计算机监控系统模式和配置	38
第一节 水电厂计算机监控系统的功能	38

第二节	关于若干功能的讨论	44
第三节	监控系统配置的影响因素	45
第四节	监控系统的配置	47

第二篇
应用篇

第五章	水电厂上位机控制系统	51
第一节	概述	51
第二节	上位机控制系统概况	51
第三节	上位机系统配置特点	53
第六章	监控系统人机界面	55
第一节	概述	55
第二节	以 X—Window/Motif 为基础的人机界面	56
第三节	适用于 NC2000 平台的图形界面	58
第四节	新型顺序控制流程	60
第五节	多媒体技术在人机界面中的应用	64
第七章	监控系统软件	70
第一节	概述	70
第二节	系统软件	72
第三节	应用软件的编制和组成	73
第四节	几种应用软件	75
第五节	监控系统软件开发环境	85
第八章	现代水轮机调速器	90
第一节	水轮机调速器概况	90
第二节	现代水轮机调速器的功能与用途	92
第三节	现代水轮机调速器模式	96
第四节	调速器性能指标与系统结构模式的关系	103
第五节	现代调速器的快速性与可靠性	107
第六节	微机调速器工作原理简介	109
第七节	微机调速器的主要技术性能指标	119
第八节	微机调速器试验检查项目	121
第九章	水电厂自动发电控制和经济运行	124
第一节	概述	124
第二节	基本特性曲线	125

第三节	水电厂 AGC 基础	127
第四节	水电厂 AGC 的工程问题	139
第十章	自动电压控制	144
第一节	概述	144
第二节	水电厂 AVC 基础	146
第三节	水电厂 AVC 的实现	155
第十一章	数据库系统	158
第一节	概述	158
第二节	数据库系统的基本概念	159
第三节	实时数据库基础	160
第四节	工程应用实例	161
第十二章	生产管理信息系统	166
第一节	历史数据库	166
第二节	生产运行管理系统	171
第三节	综合自动化报警系统	174
第十三章	监控系统内部数据通信及现场总线	178
第一节	概述	178
第二节	基本概念	178
第三节	主干网通信	180
第四节	多层网络的应用	184
第五节	现场总线	187
第六节	现场总线的应用	196
第十四章	监控系统外部通信	204
第一节	概述	204
第二节	基本概念	204
第三节	通信模式	206
第四节	运动通信规约	207
第五节	评价规约的标准	214
第六节	“无人值班”(少人值守)对水电厂数据通信的要求	218
第七节	发展趋势和展望	218
第十五章	水电厂下位机控制系统	221
第一节	概述	221
第二节	LCU 的分类	222

第三节	LCU 的冗余结构	228
第四节	几种典型 LCU	229

第五章 扩展篇

第十六章	梯级水电厂监控技术	241
-------------	------------------------	------------

第一节	概述	241
第二节	梯级水电厂控制的特点	244
第三节	梯级控制基础	247
第四节	梯级水电厂 AGC	250
第五节	工程实例	254

第十七章	抽水蓄能电厂监控技术	260
-------------	-------------------------	------------

第一节	概述	260
第二节	抽水蓄能电厂的分类和运行方式	263
第三节	抽水蓄能电厂的特殊控制要求	264
第四节	抽水蓄能机组水泵工况启动	266
第五节	抽水蓄能电厂机组的联合控制	274
第六节	国内抽水蓄能电厂监控系统例	275
第七节	引进和国产蓄能电站监控系统简评	276

第十八章	引进系统与技术评析	278
-------------	------------------------	------------

第一节	概述	278
第二节	天荒坪抽水蓄能电站计算机系统	279
第三节	广州蓄能水电厂二期工程计算机监控系统	283
第四节	二滩水电厂计算机监控系统	287
第五节	国产和引进监控系统技术评析	289

第六章 试验篇

第十九章	软件可靠性与软件测试	297
-------------	-------------------------	------------

第一节	概述	297
第二节	影响软件可靠性的因素及提高可靠性的方法	298
第三节	软件测试	301
第四节	软件成熟度模型	302

第二十章	监控系统环境	304
-------------	---------------------	------------

第一节	监控系统对气候与机械影响因素的要求	304
-----	-------------------------	-----