



水电厂检修技术丛书

水电厂电气 二次设备检修

张 诚 陈国庆 主编



 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



检修技术丛书

水电厂电气 二次设备检修

张 诚 陈国庆 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以水电厂设备 A 修（或全检）为主线，详细讲解了电气二次设备的检修与维护作业流程、工艺要求、质量控制标准、常见故障诊断及处理方法，以及检修管理模式创新等。全书共五篇，主要内容包括：水电厂电气二次设备及检修简介，继电保护及安全自动装置检验，计算机监控系统检修，发电机励磁系统检修，电气测量系统检修。

本书重点针对现场实际操作，内容丰富、易懂、实用，适合于水电厂检修维护人员、管理者学习参考，也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

水电厂电气二次设备检修/张诚，陈国庆主编. —北京：
中国电力出版社，2011.5

(水电厂检修技术丛书)

ISBN 978-7-5123-1705-5

I. ①水… II. ①张… ②陈… III. ①水力发电厂-二次
设备-检修 IV. ①TV734

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 097705 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 4 月第一版 2012 年 4 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 32.25 印张 604 千字

印数 0001—3000 册 定价 85.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《水电厂检修技术丛书》编委会

编委会主任 张 诚

编委会副主任 陈国庆

编委会成员 王 宏 杨兴斌 罗仁彩 鲁结根

肖 荣 卢进玉 周江余 张亚明

吴丹清

《水电厂电气二次设备检修》 编 写 人 员

统 稿 人 张亚明

编 写 人 员 曾 涛 曾 建 陈 虹 肖江滔

陈 琼 朱宏丹 刘晓辉 肖 勇

朱华伟 李 炜 汪光灿 孙 钢

毛海伟 周劲峰 潘苗苗 陈小明

彭炜东 王保平 李长华

审 查 人 张光友

前 言

近年来，我国水电开发迎来了历史性的发展机遇，水电机组单机容量和装机规模不断扩大，水电工程机电设计、制造和安装技术已赶上和达到世界一流水平。随着全球低碳经济的发展，作为大规模可再生清洁能源的水力发电必将得到越来越充分的开发和应用。

水电工程的性能和效益的发挥最终都要通过运行来实现。在水电工程全生命周期管理过程中，优质的建设、优化的运行和优良的检修维护对于充分发挥水电工程的效益都十分重要。得益于计算机、自动化、信息化、网络技术，新材料、新工艺的高速发展，以及现代管理理念和方法的应用，水电厂检修技术也得到不断更新和提高。但一直以来，鲜有全面、完整地介绍水电厂检修技术的书籍面市，使水电厂检修技术的学习、交流和推广受到限制。为了与水电厂同行进行技术交流，探讨推广标准化、规范化的水电厂检修方法，推动水电厂检修技术的不断进步，为从事水电厂检修工作的技术和管理人员提供参考和借鉴，中国长江电力股份有限公司在认真总结三峡水电厂和葛洲坝水电厂多年的检修经验的基础上，精心组织编写了一套《水电厂检修技术丛书》。

《水电厂检修技术丛书》由《水轮发电机组检修》、《水电厂辅助设备及公用系统检修》、《水电厂电气一次设备检修》、《水电厂电气二次设备检修》、《水工建筑物与闸坝机电设备检修》五个分册组成。

本丛书是国内第一套专门针对大中型水电厂的检修技术丛书，力求全面、系统、实用，强调指导性和可操作性。

由于不同形式水轮发电机组的检修方法与工艺有很大差别，因此本丛书检修实例均以国内大型混流式和轴流转桨式水轮发电机组及常见的大型输变电、自动控制和保护设备为主。

《水电厂检修技术丛书》凝聚着中国长江电力股份有限公司广大生产技术人员智慧和心血，丛书编写历时两年，先后有 100 余人参与其中。公司成立了编写组，总经理张诚亲自组织编写工作，总工程师陈国庆组织了多次编审会议，公司所

属三峡水电厂、葛洲坝水电厂和检修厂组织了一大批技术骨干，利用业余时间编写，为《水电厂检修技术丛书》的顺利完成作出了宝贵的贡献。

本书为《水电厂电气二次设备检修》分册，共五篇十九章。第一篇为水电厂电气二次设备及检修简介，第二篇介绍继电保护及安全自动装置检验，第三篇介绍计算机监控系统检修，第四篇介绍发电机励磁系统检修，第五篇介绍电气测量系统检修。全书以水电厂设备 A 修（或全检）为主线，详细讲解了电气二次设备的检修与维护作业流程、工艺要求、质量控制标准、常见故障诊断及处理方法，以及检修管理模式的创新（如检修作业文件包、关键作业点控制卡等）。

本书第一篇由曾涛、曾建编写；第二篇第三章、第四章由陈虹编写，第五章由肖江滔、陈琼编写，第六章由李炜、刘晓辉编写，第七章由朱宏丹、朱华伟编写，第八章由肖勇、汪光灿编写；第三篇第九章由孙钢编写，第十章由潘苗苗编写，第十一章由周劲峰编写，第十二章由毛海伟编写；第四篇由陈小明、彭炜东编写；第五篇第十七章、第十八章由王保平编写，第十九章由李长华编写。全书由张光友审核，由张亚明统稿。

该书是大中型水电厂检修技术人员几十年经验的积累与总结，内容丰富、易懂、实用，可作为我国水电厂检修维护人员、管理者以及高校相关专业师生的参考书。

由于水电厂检修技术创新日新月异，加之编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见。

编者

2011年5月

目 录

前言

第一篇 水电厂电气二次设备及检修简介	1
第一章 水电厂电气二次系统的组成及作用	1
第一节 继电保护系统	1
第二节 计算机监控系统	2
第三节 发电机励磁系统	4
第四节 计量及测量系统	4
第五节 水轮机调速系统	5
第二章 电气二次设备检修的策略与管理	7
第一节 设备的检修策略	7
第二节 设备的检修管理	9
第三节 电气二次设备常用元器件检修技术	13
第二篇 继电保护及安全自动装置检验	16
第三章 继电保护及安全自动装置检验概述	16
第一节 继电保护的任务和基本要求	16
第二节 继电保护检验种类及周期	17
第四章 继电保护一般检验流程及内容	19
第一节 继电保护检验流程及工艺要求	19
第二节 继电保护检验项目及要​​求	23
第三节 二次回路检验	25
第四节 继电器的检验与调试	27
第五章 发电机保护和变压器保护检验	30
第一节 发电机保护检验.....	30
第二节 变压器保护检修.....	48

第六章	线路保护检验	80
第一节	光纤差动保护检验	80
第二节	高频保护检修	111
第七章	母线保护和重合闸装置检验	126
第一节	母线保护检验	126
第二节	重合闸及断路器辅助保护检验	139
第八章	安全自动装置检验	151
第一节	稳定控制装置检验	151
第二节	故障录波装置检验	168
第三篇	计算机监控系统检修	180
第九章	计算机监控系统检修概述	180
第一节	监控系统组成及作用	180
第二节	机组现地控制单元的分类	187
第三节	机组现地控制单元的几种常见类型	195
第十章	监控系统上位机检修与维护	205
第一节	监控系统上位机硬件维护	206
第二节	监控系统上位机软件维护	215
第三节	自动发电/电压控制维护与实验	226
第十一章	计算机现地控制单元检修	244
第一节	一般检修项目与工艺要求	244
第二节	可编程序控制器系统的组成	253
第三节	可编程序控制器装置检修	272
第四节	自动化元件检修、试验	277
第五节	同期装置的检修	281
第六节	测速装置检修	284
第七节	现地控制单元装置现场试验	287
第十二章	现地控制单元维护及常见故障处理	294
第一节	现地控制单元维护	294
第二节	现地控制单元常见故障处理	295
第四篇	发电机励磁系统检修	302
第十三章	发电机励磁系统检修概述	302
第一节	发电机励磁系统的分类	302

第二节	发电机励磁系统的组成	312
第十四章	发电机励磁系统检修	323
第一节	检修项目与工艺要求	323
第二节	励磁调节器检修	330
第三节	励磁整流柜检修	344
第四节	灭磁设备检修	353
第十五章	发电机励磁系统现场试验	363
第一节	励磁系统静态试验	363
第二节	励磁系统空载试验	373
第三节	励磁系统负载试验	380
第十六章	励磁系统维护及常见故障处理	387
第一节	励磁系统运行与维护	387
第二节	励磁系统常见故障处理	392
第五篇	电气测量系统检修	419
第十七章	电气测量系统检修概述	419
第一节	电气测量系统作用	419
第二节	发电厂主要电路的电气测量仪表的配置与选用	420
第十八章	电气测量系统检修	424
第一节	一般检修项目与工艺要求	424
第二节	电气测量元器件的检验	431
第三节	电气测量系统回路检查	450
第四节	测温回路检查	451
第五节	整体通电试验	452
第六节	检修总结及检修报告	452
第十九章	电气测量系统维护与常见故障处理	455
第一节	电测量系统的维护	455
第二节	智能抄表系统的维护	460
第三节	常见故障处理	471
附录 A	几个大型水力发电厂的继电保护配置	479
附录 B	励磁系统检修试验实例	486
参考文献	506



第一篇

水电厂电气二次设备及检修简介

第一章 水电厂电气二次系统的组成及作用

水电厂电气二次设备的检修是依据最新的《发电企业设备检修导则》，根据企业自身特点，采取个性化的检修策略，为保持或恢复设备实现规定功能的能力和状态而对所有电气二次设备采取的相应生产技术活动。

二次设备是指对一次（主）设备的工作进行控制、保护、监察和测量的设备，如测量仪表、继电器、操作开关、按钮、自动控制设备、计算机系统、人机接口设备、信号设备、控制电缆以及提供这些设备能源的一些供电装置（如蓄电池、硅整流器、高频开关电源等）。水电厂二次设备主要由继电保系统、计算机监控系统、发电机励磁系统、计量及测量系统、水轮机调速系统等组成。

第一节 继电保护系统

电力系统继电保护装置是用以保证电力系统和发供电设备的安全运行，当系统发生短路等故障时，切除故障线路及设备，防止出现系统振荡、失步解列、全网性频率崩溃和电压崩溃等灾害性事故的装置。

电力系统继电保护的基本任务是：当电力系统发生事故或异常工况时，在可能实现的最短时间和最小区域内自动将故障设备从系统中切除，或者给出信号由值班人员消除异常工况的根源，以减轻或避免设备的损坏和对相邻地区供电的影响。

一、继电保护的基本性能

继电保护的正常工作不仅有力地提高电力系统运行的安全可靠性和正确使用继电保护技术和装置，还可能在满足系统技术条件的前提下降低一次设备的投资。继电保护装置必须具备以下四个基本性能：

(1) 可靠性。可靠性是指保护该动作时应可靠动作，即不应发生拒动作现象；



不该动作时应可靠不动作，即不应发生误动作现象。可靠性是对继电保护装置性能的最根本的要求。

(2) 快速性。继电保护装置应能以最短时限将故障部分或异常工况从系统中切除或消除。其目的是提高系统稳定性，减轻故障设备和线路的损坏程度，缩小故障波及范围，提高自动重合闸和备用电源或备用设备自动投入的效果等。

(3) 选择性。继电保护装置应在可能的最小区间将故障部分从系统中切除，以保证最大限度地向无故障部分继续供电。

(4) 灵敏性。灵敏性是指继电保护装置对故障和异常工作状况的反应能力。在保护装置的保护范围内，不管短路点的位置如何、不论短路的性质怎样，保护装置均不应产生拒绝动作；但在保护区外发生故障时，又不应该产生错误动作。

继电保护须具备的四个基本性能彼此紧密联系。在选择保护方案时，还应注意经济性。所谓经济性，不仅指保护装置的设备投资和运行维护费，还必须考虑由于保护装置不完善而发生误动或拒动时对国民经济所造成的损失。

二、继电保护的分类

(1) 按被保护对象分类，有输电线路保护和主设备保护（如发电机、变压器、母线、电抗器、电容器等保护）。

(2) 按保护功能分类，有短路故障保护和异常运行保护。前者又可分为主保护、后备保护和辅助保护；后者又可分为过负荷保护、失磁保护、失步保护、失灵保护、低频保护、非全相运行保护、故障录波和安全稳定装置等。

(3) 按保护装置进行比较和运算处理的信号量分类，有模拟式保护和数字式保护。一切机电型、整流型、晶体管型和集成电路型（运算放大器）保护装置，它们直接反应输入信号的连续模拟量，均属模拟式保护；采用微处理机和微型计算机的保护装置，它们是将模拟量经采样和模/数转换、数字处理、运算后得出正确的成果，属数字式保护。

(4) 按保护动作原理分类，有过电流保护、低电压保护、过电压保护、负序保护、零序保护、功率方向保护、行波保护、阻抗保护、距离保护、差动保护、高频方向（载波、微波、光纤）保护等。

第二节 计算机监控系统

计算机监控系统在水电厂的广泛应用，为水轮发电机组的安全、经济、可靠运行提供了保证。

计算机监控系统一般采用开放式分层分布系统、全分布数据库，结构分为上位



机层、网络层、现地控制层，可实现了无人监控、少人值班的高自动化水平，减轻了操作人员工作强度，提高了电厂运行的安全可靠。

一、计算机监控系统的硬件部分

- (1) 电厂级主计算机系统。
- (2) 人机联系设备。
- (3) 现地控制单元。
- (4) 网络设备（网卡、路由器、光纤）。
- (5) 通信设备。
- (6) 电源及其他设备。

二、计算机监控系统的软件部分

- (1) 操作系统，系统支持软件，监控软件。
- (2) 开发系统，编辑软件。
- (3) 应用软件包：
 - 1) 商用关系型数据库管理系统，数据生成源文件，实时数据库，历史数据库。
 - 2) 控制操作流程软件。
 - 3) 用户程序，如 AGC、AVC。
 - 4) 丰富的人机接口基本软件，如报告、报警、画面显示。
- (4) 网络管理软件。
- (5) 数据库、数据采集及处理软件。

三、计算机监控系统的主要功能

- (1) 数据采集与处理。
- (2) 运行安全监视。
- (3) 设备操作监视。
- (4) 控制权限。
- (5) 自动发电控制（AGC）。自动发电控制的主要任务是在满足各种安全发电的约束下，以迅速、经济的方式控制整个电厂的有功功率，以满足电力系统多方面的要求。
- (6) 自动发电控制（AVC）。自动发电控制是在满足电站及机组的各种安全约束条件下，根据不同的运行方式和运行工况，对全厂的机组作出实时的控制决策，以自动维持母线电压或全厂无功功率为当时的设定值，并合理分配厂内各机组的无功功率，提高电厂的整体自动运行水平。
- (7) 运行日志和报表（画面、报告、记录、棒图、趋势、累计）。
- (8) 事件记录（告警显示）。
- (9) 数据通信。



- (10) 人机界面。
- (11) 多媒体功能。
- (12) 自诊断与远方诊断，实现电站的实时监控。
- (13) 遥控和遥调功能。

第三节 发电机励磁系统

发电机励磁是指利用电磁感应原理使发电机转子形成磁场的过程。励磁系统是向同步发电机的磁场线圈提供直流励磁电流的系统及装置，是同步发电机的的重要组成部分。

励磁系统一般由励磁变压器、励磁调节器、励磁整流装置和灭磁及过电压保护装置等组成。

一、励磁分类

- (1) 按整流方式可分为旋转式励磁和静止半导体励磁两大类。
- (2) 按供电方式可分为：

1) 由与发电机同轴的交流励磁机供电，称为交流励磁（他励）系统。此系统又可分为四种方式：①交流励磁机（磁场旋转）加静止硅整流器（有刷）；②交流励磁机（磁场旋转）加静止晶闸管整流器（有刷）；③交流励磁机（电枢旋转）加硅整流器（无刷）；④交流励磁机（电枢旋转）加晶闸管整流器（无刷）。

2) 采用励磁变压器供电，称为全静态励磁（自励）系统。当励磁变压器接在发电机的机端或接在单元式发电机组的厂用电母线上，称为自并励励磁方式，把机端励磁变压器与发电机定子串联的励磁变流器结合起来向发电机转子供电的称为自复励方式。结合方法有直流侧并联、直流侧串联、交流侧并联、交流侧串联四种。

由于励磁系统的种类和方式很多，目前还没有哪种分类方法能把所有的励磁方式包括在内。自并励静止励磁系统是目前应用最广泛的励磁系统。

二、励磁系统的主要作用

- (1) 维持发电机端电压在给定值。当发电机负荷发生变化时，通过调节磁场的强弱（即发电机转子电流）来调节机端电压。
- (2) 合理分配并列运行机组之间的无功功率。
- (3) 提高电力系统的稳定性，包括静态稳定性、暂态稳定性及动态稳定性。

第四节 计量及测量系统

电气测量是以电磁规律为基础的测量技术，它不仅具有准确、灵敏、操作简



单、反应迅速及容易进行遥测等优点，还可以进行非电量的测量，因而在日益发展的电力系统中，电能的生产、传输、分配和使用都离不开电气测量，电力系统的正常运行和电气测量密切相关。

发电厂装设各种测量设备对电能等各种参数进行全面测量，主要作用有以下几个方面：

- (1) 监视输出电能的质量（电压和频率）。
- (2) 计量发电厂（站）发出的电能、厂用电消耗的电能以及变电站输送给用户的电能。
- (3) 检测各回路的负载情况，以防过载。
- (4) 监测各发电机和变压器间有功功率和无功功率的分配。
- (5) 监视控制回路、继电保护和自动装置的交直流电源，以保证控制回路和保护装置可靠工作。
- (6) 监视电力网或直流系统绝缘或接地故障。

第五节 水轮机调速系统

水轮机调节系统是根据机组转速（频率）的变化不断地改变水轮机过流量来实现水轮机输出功率的调节，该系统是由调速系统和调节对象组成的闭环系统。其中调速系统包括调速器电气部分、电液随动部分以及油压系统，调节对象包括水轮机及其有压过水系统、发电机及电网。水轮机调节系统是水电厂运行的重要组成部分之一，是具有开机、调速、停机、并网等机组控制和转速、功率等调节功能的机电一体化系统。它的可靠运行直接关系到电厂甚至电网的生产质量、安全和经济指标。

水轮机调速器的分类方法较多，按调节规律可分为 PI 和 PID 调速器；按系统构成分为机械式器（机械飞摆式）、电液式及微机调速器；按水轮机调速器型谱以及行业规范，水轮机调速器分为中、小型调速器，冲击式调速器，大型调速器等。中、小型调速器以调速功率大小来区分，冲击式调速器以喷嘴及折向器数目来区分，大型调速器以主配压阀名义直径来区分。

水轮机调速器的基本任务是维持进入水轮机的水能与发电机输出的电能平衡，或者是维持水轮发电机输出的电能频率恒定，即在电网中参与一次调频。

水轮机调速器的基本作用是：

- (1) 能自动调节水轮发电机组的转速，使其保持在额定转速允许偏差内运转，以满足电网对频率质量的要求。



(2) 能使水轮发电机组自动或手动快速启动，适应电网负荷的增减、正常停机或紧急停机的需要。

(3) 当水轮发电机组在电力系统中并列运行时，调速器能自动承担预定的负荷分配，使各机组能实现经济运行。

(4) 能满足转桨式、冲击式水轮机双重协联调节的需要。

(5) 能满足抽水、发电的自动控制需要。



第二章 电气二次设备检修的策略与管理

第一节 设备的检修策略

一、故障后检修

最初电力企业中，设备的操作人员可以兼做检修人员，后来随着设备的复杂化和检修技术含量的提高，检修人员逐渐专业化。有了检修人员和操作人员的分工，而且检修人员逐渐增多，操作人员逐渐减少。此时的设备检修的主要特点是设备坏了才修，不坏不予修理。这种检修特点在现在的有些企业中还存在。

二、预防性检修管理

预防性检修管理是企业近几十年来主要的设备管理模式，它以摩擦学理论为基础，旨在通过出厂后运行设备的检查分析制订计划，对设备进行周期性的检修，通过对不同设备和不同使用周期的分析，进而制订出设备大修、中修和小修一类周期性的检修计划。可以说，几十年来国内企业的设备基本上一出厂，其检修周期就确定下来了。这种检修体制的优点是可以减少非计划（故障）停机，把事故消除在萌芽阶段；缺点是检修费用浪费较大，设备基础保养考虑欠佳，且由于计划固定，较少考虑设备的实际使用和运行情况，很自然地产生检修过剩或检修不足。

三、预知性检修管理和诊断技术

预知性检修产生于计划预防维修之后，是最早依赖计算机系统和软件来记录故障、评估系统和制订维修策略的方法。由于当时的计算机硬件环境尚为落后，缺乏完整、连续的数据采集系统常使设备系统的预测不准确，因而影响了预知检修的有效性。但这一管理模式毕竟向传统的以时间为基础的预防维修体制提出了挑战。

四、状态检修

随着检测手段的进步和计算机的发展，20世纪80年代形成了更为完善的体制，即以状态为基础的维修体制，又称状态检修。所谓以状态为基础的维修体制是相对事后故障维修和以时间为基础的预防检修而提出的。其定义为在设备出现了明显的劣化后实施的检修策略，而状态的劣化是由被检测的机器状态参数的变化反映出来的。状态检修要求对设备进行各种参数测量，随时反映设备实际状态，测量的参数可以在足够的提前时间发出警报，以便采取适当的检修措施。

电力系统二次设备状态检修是通过设备状态监测技术和设备自诊断技术，结合



二次设备运行和检修历史资料，对二次设备作出正确评价，根据状态评价结果科学安排检修时间和检修项目。电力系统二次设备主要包括继电保护、自动装置、故障录波、实时监测、就地监控及远动，它的可靠运行是确保电网稳定和电力设备安全的基本要求。

二次设备的状态监测是状态检修的基础。要监测二次设备工作的可靠性，进行寿命估计。二次设备状态监测对象主要包括交流测量系统、直流控制及信号系统、逻辑判断系统、通信管理系统、控制电缆屏蔽接地系统和微机装置的自检等。

五、主动性设备检修管理思想

主动性设备管理策略与以往检修策略所不同的是，它着重强调对设备易发生故障的根源进行分析、掌握以及最终予以及时纠正，进而延长设备的使用寿命。在欧美实验室的多项研究已经证明，不稳定及非规范性运行和检修操作是引起设备故障和磨损的最主要因素。研究表明，有些精密部件即使发生轻微的磨损都会导致设备的停运。正是基于这一理论，主动性设备检修策略应运而生，它完全着眼于易引发设备故障的原因分析，而不是着眼于损坏设备的症状。因此，主动性设备检修策略完全不同于预知性检修概念采用探测设备故障的初期报警信号，以防止事故发生或扩大；同时，它也完全不同于预防性检修思想采用周期性时间检修，而忽视设备的本身状态。主动性检修正是具有这种优越性才把它当作最重要的节约检修费用的唯一策略，而广泛地被世界上许多优秀企业所接受。

六、以可靠性分析为中心的检修法

可靠性分析为中心的检修方法不同于以往的检修模式，它是通过优化设备的使用、维修、改进、更新等各个环节，以最低的费用实现设备的期望值，它是对传统的维修思维方式和维修行为方式的挑战。其检修策略是建立在故障模式、故障影响和故障后果上，是一种将预防检修、预知检修和主动检修等结合起来的总体检修模式。

七、故障原因分析方法

在著名的菲利普·莫理斯公司从事制造管理、后在美国可靠性中心出任副主席的马克·拉蒂诺就曾提出一个完美的公式：故障原因分析方法加以可靠性分析为中心的检修法等于成功的检修模式。也就是说，故障原因分析方法加上以可靠性分析为中心的检修法就是目前提高设备管理、改善设备性能最成功的途径。故障原因分析方法其实就是找出可靠性设计时各个阶段的缺点和潜在缺陷，进而提出改进措施的一种定性的故障前分析方法。它也可以作为可靠性、安全性分析的一种很好的方法。