



王定一 等 编著

水电厂计算机 监视与控制

中国电力出版社

201167

TV736
W158



水 电 厂 计 算 机 监 视 与 控 制

王定一 等 编著

赠 阅

电力科技专著出版资金资助项目



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书系电力科技专著,全面和系统地反映了国内外在水电厂计算机监视和控制方面的科研成果和技术成就。

全书分十五章:绪论、水电厂计算机监控系统的结构和性能指标、数据采集和处理、微机调速器、微机励磁调节器、计算机同步装置、机组的顺序操作、现地控制单元、人机联系、自动发电控制和自动电压控制、通信技术、电厂控制级、抽水蓄能电厂的控制、梯级水电厂的控制和水电厂计算机监控系统实例。

本书是为从事水电厂设计、运行的专业人员编写的,亦可作为高等院校有关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水电厂计算机监视与控制/王定一等编著. -北京:
中国电力出版社, 2001
ISBN 7-5083-0584-1

I. 水… II. 王… III. 水力发电站-计算机监控
IV. TV736

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 20982 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>)

北京市地矿印刷厂

各地新华书店经售

*

2001 年 8 月第一版 2001 年 8 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.5 印张 508 千字
印数 0001—3000 册 定价 46.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言



这些年来,水电厂计算机监控技术得到了很大的发展。它经历了一段从低级到高级的发展过程:从单纯的监视到实现控制;从顺序控制到闭环调节控制;从局部控制到全厂控制;从单个电厂的控制到整个梯级和流域的控制;从单纯电能生产领域扩展到水工建筑物监控、航运管理控制和水情测报等各个方面。出现了一批用微机构成的调速器、励磁调节器、同步装置和继电保护装置。有些水电厂实现了“无人值班”(少人值守)。

由于我国广大科技人员的不懈努力,国内已有约 40 座大型水电厂实现或部分实现了计算机监控,今后还将有更多的水电厂采用计算机监控。计算机监控已经成为水电厂自动化的主流。

总结这些年来水电厂计算机监控方面取得的成就和经验,对今后的工作无疑有重要的意义。

我们根据多年来从事水电厂计算机监控领域的科研、设计、生产和运行的实践,总结了这些年来国内外水电厂计算机监控理论和实践方面取得的成就和经验,编写了本书。

本书是为从事水电厂设计、运行的专业人员编写的,亦可作为高等学校有关专业的教学参考书。

参加本书编写的有,华中理工大学的王定一(第一、二、六、十章)、伍永刚(第十四、十五章)、孙扬声(第十一章)、温增银(第九章),长江控制设备研究所的吴应文、王党生、潘熙和(第四章)、张祖贵(第五章),长江水利委员会设计院的梁建行(第八章)、胡家驹(第三章)、宋远超(第八章)、陈红君(第七章),北京勘测设计研究院的梁见诚(第十三章)。王定一担任主编。

水电水利规划设计总院的叶钟黎、张德平审阅了全书,并提出了许多宝贵的修改意见。本书的出版得到了长江控制设备研究所和电力科技专著出版基金的共同资助。在此,我们一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,书中一定存在缺点和错误,恳切希望读者批评和指正。

编 者

1999 年 7 月

目 录



前言

第一章 绪论	1
第一节 国内外水电厂计算机监控系统发展概况	1
第二节 水电厂计算机监控方式的演变	5
第三节 水电厂计算机监控系统的功能	7
第四节 实现计算机监控可取得的效益	10
第五节 少人值班和“无人值班”(少人值守)问题	11
参考文献	13
第二章 水电厂计算机监控系统的结构和性能指标	14
第一节 水电厂计算机监控系统结构的演变	14
第二节 水电厂的分层分布式监控系统	18
第三节 水电厂计算机监控系统的几种实用模式	24
第四节 水电厂计算机监控系统的基本要求和主要性能指标	32
参考文献	35
第三章 数据采集和处理	36
第一节 数据采集中的数据分类	36
第二节 水电厂信息源及其特性	37
第三节 水电厂数据采集要求	39
第四节 数据处理要求	40
第五节 传感器、变送器	42
第六节 数据采集的实现	44
第七节 水电厂计算机监控系统中的数据库	51
参考文献	55
第四章 微机调速器	56
第一节 概述	56
第二节 微机调速器的工作原理	61
第三节 典型的微机调速器	69

参考文献	95
第五章 微机励磁调节器	96
第一节 概述	96
第二节 微机励磁调节器的工作原理	99
第三节 典型的微机励磁调节器	113
参考文献	121
第六章 计算机同步装置	122
第一节 采用计算机同步装置的必要性	122
第二节 计算机同步装置的基本原理	123
第三节 与同步有关的几个问题	132
第四节 计算机同步装置实例	134
参考文献	139
第七章 机组的顺序操作	140
第一节 概述	140
第二节 机组及其辅助设备的自动化要求	140
第三节 机组自动操作	145
参考文献	154
第八章 现地控制单元	155
第一节 概述	155
第二节 功能	156
第三节 结构类型	159
第四节 典型实例	164
第五节 现地控制单元软件	174
第九章 人机联系	175
第一节 基本概念	175
第二节 值班操作人员的人机联系	177
第三节 开放式监控系统专职人员的人机联系	185
第四节 水电厂人机界面的显示设备	188
参考文献	188
第十章 自动发电控制和自动电压控制	189
第一节 电力系统的自动发电控制	189

第二节	水电厂的自动发电控制	196
第三节	水电厂自动发电控制的实施	204
第四节	采用自动发电控制后可取得的经济效益	212
第五节	电力系统的自动电压控制	213
第六节	水电厂的自动电压控制	214
参考文献		217
第十一章	通信技术	218
第一节	概述	218
第二节	串行通信技术	223
第三节	通信中的差错控制	227
第四节	计算机点到点远程通信	229
第五节	计算机局域网	232
参考文献		237
第十二章	电厂控制级	238
第一节	电厂控制级的功能	238
第二节	电厂控制级的结构	239
第三节	电厂控制级硬件和软件的配置	242
第四节	电厂控制级的电源	255
第五节	电厂控制级设备布置和场地环境条件	257
第六节	应用举例	259
参考文献		260
第十三章	抽水蓄能电厂的控制	261
第一节	抽水蓄能电厂运行特点及其对自动化的要求	261
第二节	抽水蓄能电厂计算机监控技术的发展	264
第三节	抽水蓄能机组控制的特点	265
第四节	抽水蓄能电厂计算机监控系统的结构和配置	270
第五节	抽水蓄能电厂计算机监控系统实例	275
参考文献		285
第十四章	梯级水电厂的控制	286
第一节	国内外梯级水电厂计算机监控概况	286
第二节	梯级水电厂监控的特点	289
第三节	梯级水电厂计算机监控系统的功能、结构和配置	290
第四节	梯级水电厂的经济运行	293

第五节 水情自动测报系统	302
第六节 梯级水电厂计算机监控系统实例	304
参考文献	312

第十五章 水电厂计算机监控系统实例 313

第一节 更新后的葛洲坝水电厂二江电厂计算机监控系统	313
第二节 隔河岩水电厂计算机监控系统	320
第三节 HPC 水电厂控制系统在我国的应用	329
第四节 H9000 水电厂计算机监控系统简介	339
第五节 PROKON-LSX 水电厂监控系统	341
参考文献	351

绪 论

第一节 国内外水电厂计算机监控系统发展概况

水电厂最根本的任务是实现安全经济运行。随着国民经济的持续发展,兴建的水电厂越来越多,其容量也越来越大,如正在建设的三峡水电厂,总装机容量高达 18200MW。为了实现安全发供电,需要经常监测的量成千上万,需要实现的控制功能也越来越复杂。特别是抽水蓄能电厂的出现,机组的工况不仅有发电、调相,而且还有抽水,各种工况之间的相互转换,使控制功能进一步复杂。为了实现水电厂的经济运行,需要进行大量复杂的计算。随着水电厂梯级的形成,协调这些电厂的运行以期达到整体的经济运行,需要进行的计算更为复杂。以上一切使原先在水电厂上广泛使用的布线逻辑型自动装置越来越难以胜任这些复杂的工作,需要采用更为先进的技术。

与此同时,计算机技术这些年来有着迅猛的发展,其性能日趋完善,而价格日益下降,这为取代常规的布线逻辑型自动装置提供了良好的物质基础。

早在 70 年代,计算机已开始应用于水电厂,起先用于各项离线计算和工况的监测,后来,逐渐进入到控制领域。它经历了一段从低级到高级,从顺序控制到闭环调节控制,从局部控制到全厂控制,从电能生产领域扩展到水情测报、水工建筑物的监控、航运管理控制等各个方面,从监控到实现经济运行,从个别电厂监控到整个梯级和流域监控的发展过程。出现了一批用微机构成的调速器、励磁调节器、同步并列装置、继电保护装置。多媒体技术应用使电厂中控室的设计发生了巨大的变化。巨大的模拟显示屏正在逐渐被计算机显示器所代替;常规操作盘基本上已被计算机监控系统的值班员控制台所取代;运行人员的操作已从过去的扭把手、按开关转为计算机键盘和鼠标操作。运行人员的工作性质也发生了质的变化,从过去的日常监盘和频繁操作转变为巡视,经常的监测和调节控制都由计算机系统去完成。运行人员的劳动强度大大减轻,人数也大大减少,甚至出现了无人值班或“无人值班”(少人值守)的电厂。采用计算机监控已成了水电厂自动化的主流。

一、国外发展概况

从 70 年代起,计算机监控在国外一些水电厂上取得了实质性的进展,出现了用计算机控制的水电厂。最初,由于计算机比较贵,全厂只用一台计算机实现对主要工况的监视和操作,通常不实现闭环调节控制。后来,随着计算机性能改善和价格下降,出现了采用

多台小型计算机实现闭环调节控制的水电厂，其代表是美国总装机容量达 6150MW 的大古力水电厂。随着高性能微机的出现，微机在水电厂监控系统中得到普遍的应用。现在，新投入的水电厂大都采用由多台计算机构成的计算机监控系统。世界各国的发展是不平衡的，目前还缺乏关于水电厂实现计算机监控的完整统计资料。就国家来说，美国、法国、日本和加拿大等国在这方面是比较领先的。

（一）法国

法国的水电资源开发比较好，大部分资源已得到利用。法国的电厂基本上是由法国电力公司（EDF）管辖。根据 80 年代初期的资料，它拥有水电厂 470 座，总装机容量为 22900MW。现在，只有 14 个场所还保留值班人员，其中 3 个在水电厂，其他在控制中心。大约有 360 台可编程控制器和 100 台左右计算机用于水电厂的机组控制和电厂监控。水电厂基本上实现了无经常值班人员，较大的水电厂采用在家值班的方式。很多河流上的梯级水电厂实现了集中监控。法国水电厂的特点是，装机容量不太大，很多是径流式电厂，需要实现的控制功能比较简单，一般只需在电厂设自动控制装置或一台计算机即可实现监控。只是在梯级控制中心、一些容量较大的水电厂和抽水蓄能电厂才设置较为复杂的计算机监控系统。法国梯级水电厂的联合调度搞得比较好，一些主要河流，如上、下罗纳河和杜朗斯河上的各梯级水电厂均用计算机实现了联合调度，取得了显著的经济效益。还有一个特点是，普遍采用国产计算机。

（二）日本

日本在水电厂计算机监控方面也搞得比较好。日本的水电厂大都是无人值班的。以东京电力公司为例，90 年代初它的总装机容量为 49000MW，其中水电厂为 7340MW，有水电厂 156 座，机组 280 台，其中 25MW 以下水电厂有 100 座。到 1990 年，无人化已达 98% 以上。日本水电厂的特点是，除抽水蓄能电厂外，容量都比较小，而且有不少电厂只装一台机组。这是因为日本没有什么大的河流，而水电资源的开发又搞得比较好。除抽水蓄能电厂外，电厂一般不设带处理功能的计算机系统，而仅设一些用微机构成的自动控制装置。电厂的监控操作都是在远离电厂的地区控制所内实现的，地区控制所内设有规模较大的计算机系统。它通过远动装置与电厂的远方终端连接，从而实现监控。抽水蓄能电厂均设置复杂的计算机监控系统。

（三）美国

美国地域辽阔，有许多大河，水电资源开发也较好，已建成许多大小不等的水电厂和大型抽水蓄能电厂，如装机容量高达 6150MW 的大古力水电厂，2100MW 的巴斯康提抽水蓄能电厂，哥伦比亚河上兴建了一批容量超过 1000MW 的水电厂。这些大型水电厂均采用庞大的功能复杂的计算机监控系统，采用的技术在世界上是领先的。早在 70 年代末，大古力水电厂就装设了由几十台小型机构成的计算机监控系统，采用了分层分布系统。经常监视的开关量有 11000 个、模拟量有 3500 个，各种控制和指示用的控制输出量有 2000 个；实现了自动发电控制和自动电压控制；记录各项事件（包括事故）装置的分辨率为 1ms，用多台 CRT 屏幕显示器取代了常规的返回屏；监控系统的可利用率超过 99.8%。这些性能和指标在当时是最先进的，对后来水电厂计算机监控系统产生了深远的影响。80

年代末，大古力水电厂又更新了它的计算机监控系统，采用了广泛使用微机的监控系统。美国的大型水电厂由于控制功能复杂，在电力系统中的地位比较重要，都保留了少量的值班人员。

(四) 加拿大

加拿大水电资源丰富，开发得比较好，水电装机容量在世界上处于前列。它的特点是，水电厂装机容量一般都比较小，气候环境条件恶劣，人口密度低，技术人员相对来说比较缺乏，因此，要求水电厂有较高的自动化水平。水电厂，特别是新建的水电厂，多设置了计算机监控系统。著名的有邱吉尔瀑布水电厂（5225MW）、拉格朗梯级水电厂（8个电厂，总装机 15263MW）等。

近年来，一些发展中国家，如巴西、委内瑞拉、阿根廷等，兴建了一批装机容量很大的水电厂，如巴西与巴拉圭合建的伊泰普水电厂（12600MW）、委内瑞拉的古里水电厂（10000MW）、阿根廷的 Yacyreta 水电厂（2700MW）。它们都采用了复杂的计算机监控系统。

特别需要指出，抽水蓄能电厂几乎全都采用了计算机监控系统。

国外研制水电厂计算机监控系统有许多公司，其中比较著名的有，加拿大的 CAE 公司、瑞士和德国的 ABB 公司、德国的西门子公司、法国的 ALSTOM 公司（原 CEGELEC 公司）、日本的日立公司和东芝公司、美国和加拿大的贝利公司、奥地利的依林（ELIN）公司等。它们都推出自己的系列产品，在世界各地得到了广泛的应用。我国也引进了它们的部分产品。

二、国内发展概况

我国水电厂计算机监控系统的研制工作起步不晚。早在 70 年代末，原水电部就组织了南京自动化研究所（现改为电力自动化研究院）、长江流域规划办公室（现改为长江水利委员会）和华中工学院（现改为华中科技大学）研究葛洲坝水电厂采用计算机监控系统问题。随后，中国水利水电科学研究院（简称水科院）自动化研究所开始了富春江水电厂计算机监控系统的研制工作。天津电气传动设计研究所（简称天传所）也开始了永定河梯级水电厂计算机监控系统的研制工作。这些监控系统于 80 年代中先后投入运行。

与此同时，也引进了一些国外研制的监控系统。采用 GAE 公司产品的有葛洲坝大江电厂、隔河岩水电厂和龚嘴梯调；采用西门子公司产品的有鲁布格水电厂、广州抽水蓄能电厂 C 二期、龚嘴水电厂；采用 ABB 公司产品的有潘家口、天生桥二级、溪口、宝兴河梯级和二滩等水电厂；采用贝利公司产品的有十三陵抽水蓄能电厂和天荒坪抽水蓄能电厂；采用法国 CEGELEC 公司产品的有广州抽水蓄能电厂（一期）、高坝洲水电厂；采用依林公司产品的有小浪底水电厂。要指出，有些引进是与国外贷款紧密联系的。

十多年来，国内的研制单位也取得了很大的成就。已投运的几十个计算机监控系统中绝大多数是由国内单位研制的。技术水平也有了很大的提高，达到了国外 90 年代的水平。许多新技术，如分层分布处理、分布式数据库、开放式系统、网络结构、多媒体、专家系统等，都得到了相应的应用。电力自动化研究院和水科院自动化研究所还推出了自己的系

列产品，不仅在国内水电厂得到广泛应用，甚至还出口到国外。

据不完全统计，目前已有约 40 座大型水电厂实现了计算机监控，详见表 1-1。根据 DL/T5065—1996《水力发电厂计算机监控系统设计规定》，今后设计的“总装机容量为 250MW 及以上的大型水电厂应采用计算机监控系统，有条件按集中控制设计的梯级水电厂或水电厂群宜采用计算机监控系统。”

根据近年来的实践，新建中的中型水电厂已基本上采用计算机监控系统，不采用的已是少数。

表 1-1 我国大型水电厂 (250MW 以上) 计算机监控系统投运情况表

序号	电厂名称	装机容量 (MW)	供货单位	投运年份
1	二滩水电厂	$6 \times 550 = 3300$	ABB 公司	1998
2	李家峡水电厂	$5 \times 400 = 2000$	电力自动化研究院	1996
3	天荒坪抽水蓄能电厂	$6 \times 300 = 1800$	Baily (贝利) 公司	已投运
4	葛洲坝大江水电厂 一期 二期	$14 \times 125 = 1750$	CAE 公司 电力自动化研究院	1992 1998
5	白山水电厂	$5 \times 300 = 1500$	中国水利水电科学研究院	1997
6	水口水电厂	$7 \times 200 = 1400$	SI 公司、电力自动化研究院	1997
7	天生桥二级水电厂	$6 \times 220 = 1320$	ABB (SC) 公司	已投运
8	龙羊峡水电厂 一期 二期	$4 \times 320 = 1280$	中国水利水电科学研究院	1992 1996
9	五强溪水电厂	$5 \times 250 = 1250$	Landis&Gyr 公司	1994
10	漫湾水电厂	$5 \times 250 = 1250$	电力自动化研究院	1993
11	刘家峡水电厂	$3 \times 225 + 1 \times 300 + 1 \times 250 = 1225$	哈尔滨电力自动化所	已投运
12	隔河岩水电厂	$4 \times 300 = 1200$	CAE 公司	1994
13	天生桥一级水电厂	$4 \times 300 = 1200$	电力自动化研究院	1997
14	岩滩水电厂	$4 \times 300 = 1200$	电力自动化研究院	1997
15	广州抽水蓄能电厂 (一期)	$4 \times 300 = 1200$	CEGELEC 公司	1995
16	万家寨水电厂	$6 \times 180 = 1080$	电力自动化研究院	1998
17	葛洲坝二江电厂 一期 二期	$2 \times 170 + 5 \times 125 = 965$	电力自动化研究院	1989 1994
18	丹江口水电厂	$6 \times 150 = 900$	电力自动化研究院	1990
19	丰满水电厂	约 800 (10 台)	东北勘测设计研究院	1995
20	安康水电厂 (二期)	$4 \times 200 = 800$	中国水利水电科学研究院	1999
21	新安江水电厂	约 800	华东电力试验研究院	1992
22	十三陵抽水蓄能电厂	$4 \times 200 = 800$	Baily (贝利) 公司	1997
23	乌江渡水电厂	$3 \times 210 = 630$	电力自动化研究院	1993
24	鲁布革水电厂 一期 二期	$4 \times 150 = 600$	西门子公司 电力自动化研究院	1990 1998
25	铜街子水电厂 一期 二期	$4 \times 150 = 600$	电力自动化研究院	1992 1997
26	莲花水电厂	$4 \times 130 = 520$	电力自动化研究院	1996

续表 1-1

序号	电厂名称	装机容量 (MW)	供货单位	投运年份
27	柘溪水电厂	447.5	华中理工大学	1988
28	潘家口水电厂	$1 \times 150 + 3 \times 90 = 420$	ABB 公司、电力自动化研究院	1998
29	凤滩水电厂	$4 \times 100 = 400$	中国水利水电科学研究院	1994
30	大东江水电厂	$4 \times 100 = 400$	中国水利水电科学研究院	1997
31	三门峡水电厂	$2 \times 75 + 5 \times 50 = 400$	电力自动化研究院	1995
32	万安水电厂	$4 \times 100 = 400$	电力自动化研究院	1997
33	大峡水电厂	$4 \times 75 + 24 = 324$	电力自动化研究院	1996
34	新丰江水电厂	$2 \times 85 + 2 \times 75 = 320$	电力自动化研究院	1994
35	沙溪口水电厂	$4 \times 75 = 300$	电力自动化研究院	1992
36	江垭水电厂	$3 \times 100 = 300$	电力自动化研究院	1998
37	宝珠寺水电厂	$4 \times 75 = 300$	中国水利水电科学研究院	1996
38	富春江水电厂 一期	$5 \times 60 = 300$	中国水利水电科学研究院	1984
	二期		中国水利水电科学研究院	1990
	三期		电力自动化研究院	1998
39	紧水滩水电厂	$6 \times 50 = 300$	中国水利水电科学研究院	1997
40	太平驿水电厂	$4 \times 65 = 260$	电力自动化研究院	1997

第二节 水电厂计算机监控方式的演变

由于计算机监控设备在水电厂的推广应用，水电厂监控系统的监控方式也发生了变化。随着计算机技术的发展，计算机系统在水电厂监控系统中的作用及其与常规设备的关系也发生了变化，其演变过程大致如下。

一、以常规控制装置为主、计算机为辅的监控方式 (Computer-Aided Supervisory Control, 简称 CASC)

早期由于计算机价格比较贵，而且人们对它的可靠性不信任，因此，水电厂的直接控制功能仍由常规控制装置来完成，计算机只起监视、记录打印、经济运行计算、运行指导等作用。采用此方式时，对计算机可靠性的要求不是很高，即使计算机部分发生故障，水电厂的正常运行仍能维持，只是性能方面有所降低。采用这种控制方式的典型例子是伊泰普水电厂运行的初期（80 年代上半期）。当时采用这种控制方式的理由是，根据巴西和巴拉圭的国情，认为采用计算机监控系统的经验还不够成熟，缺乏相应的技术力量，故而先采用能实现数据采集和监视记录等功能的计算机系统，而水电厂的控制仍由常规设备来完成。这样，可以为将来采用实现控制功能的系统作准备，同时可以减少前期的投资。后来，依泰普水电厂还是将它更新为具有复杂控制功能的、比较完善的计算机监控系统。

国内采用这种控制方式的典型例子是富春江水电厂综合自动化的一期工程（80年代上半期）。一期工程是一个实时监测系统，实现数据的采集和处理、提供机组经济运行指导和全厂运行状态的监视记录，计算机不直接作用于生产过程的控制。这在当时是合适的，后来已更新为能实现控制功能的比较完善的计算机监控系统。

这种控制方式的缺点是，功能和性能都比较低，并对整个水电厂自动化水平的提高有一定的限制，新建水电厂目前已很少采用。

对已运行的水电厂，在常规监控系统的基础上，加一点专用功能的全厂自动化装置，如自动巡回检测和数据采集装置，按水流或负荷调节经济运行装置等，也可取得很好的技术经济效益，投资也不大，不要求很高的运行管理水平，这种 CASC 方式还是可以采用的。国外有不少这样的实例。

二、计算机与常规控制装置双重监控方式 (Computer-Conventional Supervisory Control, 简称 CCSC)

随着计算机系统可靠性的提高和价格的下降以及人们对计算机实现监控的信任度的提高，让计算机直接参加控制已容易被人们所接受，但对它还是不够放心，所以出现了计算机与常规控制装置双重监控的方式。此时，水电厂要设置两套完整的控制系统，一套是以常规控制装置构成的系统，一套是以计计算机构成的系统，相互之间基本上是独立的。两套控制系统之间可以切换，互为备用，可靠性是有保证的。采用这种方式的原因是：

(1) 有些用户，特别是大型水电厂，对计算机系统的可靠性仍有较大的顾虑，总觉得计算机系统没有常规系统可靠，心理上有障碍，要设一套常规系统作后备。

(2) 原来的水电厂运行值班人员习惯于常规设备的操作，不熟悉计算机系统的操作，要有一段适应过程。

(3) 计算机系统检修时，常规系统可以投入运行，不影响电厂的正常运行。

(4) 如果水电厂已有常规系统，加设计算机监控系统可以减少干扰，不影响电厂的正常运行。这一点对已运行水电厂的改造是有现实意义的。

国外采用这种方式的典型例子是美国邦纳维尔第二电厂（558MW）和巴斯康提抽水蓄能电厂（2100MW）。国内采用这种控制方式的典型例子是葛洲坝大江电厂（1750MW）和龙羊峡水电厂（1280MW）。

采用这种方式的缺点是：①由于需要设置两套完整的控制系统，投资比较大；②由于两套系统并存，相互之间要切换，二次接线复杂，可靠性反而有所降低。目前新建水电厂已很少采用这种控制方式。

三、以计算机为基础的监控方式 (Computer-Based Supervisory Control, 简称 CBSC)

随着计算机系统的可靠性进一步提高和价格的进一步下降，出现了以计算机为基础的监控系统。采用此方式时，常规控制部分可以大大简化，平时都采用计算机控制。因此，对计算机系统的可靠性要求就比较高，这可以采用冗余技术来解决，要保证系统某一单元

或某局部环节发生故障时，整个系统和电厂运行还能继续进行。

采用此种方式时，中控室仅设置计算机监控系统的值班员控制台，模拟屏已成为辅助监控手段，可以简化甚至取消。

国外采用这种方式的典型例子是美国的大古力水电厂、委内瑞拉的古里水电厂、法国的孟德齐克抽水蓄能电厂（920MW）等。国内采用这种方式的典型例子是漫湾水电厂（1250MW）。

这种控制方式是目前国内外水电厂采用的主要计算机控制方式。

四、取消常规设备的全计算机控制方式

随着计算机技术的进一步发展和水电厂计算机监控系统运行经验的累积，出现了以计算机为唯一监控设备的全计算机控制方式，实际上它是 CBSC 方式的延伸。此时，取消了中控室常规的集中控制设备，机旁也取消了自动操作盘。中控室还保留模拟显示屏，但其信息取自计算机系统，不考虑在机组控制单元（计算机型的）发生故障时进行机旁的自动操作。此时，对计算机系统的可靠性提出更高的要求，冗余度进一步要求提高。

采用这种方式的典型例子是我国隔河岩水电厂（1200MW），采用 CAE 公司的产品。这种方式投资比较大，但它有良好的应用前景。

第三节 水电厂计算机监控系统的功能

水电厂计算机监控系统需要实现的功能与水电厂的装机容量、机组台数、在电力系统中的重要性及承担任务的复杂性（如发电、航运、防洪、灌溉等）等因素有关。以下介绍它可能实现的功能，具体需要的功能要根据上述因素来确定，不能一概而定。

1. 数据的采集和处理

水电厂各运行设备的参数需要经常进行巡回检测，校核它们是否异常（越限），还要对数据库进行更新。这些参数有电量和非电量之分。电量包括 SDJ9—87《电测量仪表装置设计技术规程》中规定的应在中控室监视的参数；非电量包括机组各轴承的油温及部分瓦温，机组的部分定子绕组和铁芯温度，机组冷却器的部分冷风和热风温度，机组的流量、振动、摆度，主变压器油温，上、下游水位和需监视启闭过程或位置的闸门开度等。

2. 开关量监视记录和事件顺序记录（Sequence Of Events, SOE）

监控系统需要监视记录的开关量有机组运行工况（停机、发电、调相、抽水等）、各断路器和隔离开关的位置信号、主要设备的事故和故障信号、监控系统的故障信号。事故、故障信号及重要位置状态信号一般采用带中断的输入，一旦这些信号发生变化，立即进行采集处理，并对断路器的位置信号、继电保护和安全自动装置的动作进行顺序记录，以便事后对事故进行分析。

3. 事故追忆和故障录波

发生事故时，对一些与事故有关的参数的历史值和事故期间的采样值进行显示和打

印，主要有重要线路的电压、电流、频率和机组的电压、电流等。

4. 正常的控制 and 操作

对全厂主要机电设备和风、水、油、厂用电等辅助系统的各种设备进行控制和操作。它们是机组工况的转换（如开机、停机、发电转调相、调相转发电、发电转抽水、抽水转发电等）、机组的同步并列、断路器和隔离开关的分合、机组辅助设备的操作、机组有功功率和无功功率的调整、变压器分接头有载调节等。

5. 紧急控制和恢复控制

机组发生事故和故障时应能自动跳闸和紧急停机。电力系统发生故障或失去大量负荷时（如频率过低或过高），能迅速采取校正措施和提高稳定措施，如增加机组出力，投入备用机组，将机组转入调相运行，切除机组等，使电力系统及时回到安全状态。当系统稳定后，进行恢复控制，使电厂恢复到事故前的运行工况。

6. 自动发电控制（Automatic Generation Control，简称 AGC）

水电厂自动发电控制的任务是，在满足各项限制条件的前提下，以迅速、经济的方式控制整个水电厂的有功功率来满足电力系统的需要。控制整个水电厂的有功功率应包括机组的合理启停，它包含了实现水电厂的经济运行。其主要内容如下：

（1）根据给定的水电厂需发功率，考虑调频和备用容量的需要，计算当前水头下水电厂的最佳运行机组数和组合；

（2）根据水电厂供电的可靠性、设备（特别是机组）的实际安全和经济状况确定应运行机组的台号；

（3）在应运行机组间实现负荷的经济分配；

（4）校核各项限制条件，如机组空蚀振动区、下游最小流量、下游水位变化等，不满足时进行各种修正。

7. 自动电压控制（Automatic Voltage Control，简称 AVC）

自动电压控制是在满足水电厂和机组各种安全约束条件下，比较高压母线电压实测值和设定值，根据不同运行工况对全厂的机组作出实时决策（改变励磁），或改变联络变压器分接头有载调节位置，以维持高压母线电压的设定值，并合理分配厂内各机组的无功功率，尽量减少水电厂的功率消耗。

8. 人机接口

人机接口是运行人员对全厂生产过程进行安全监控，维修人员对监控系统进行管理、维修、开发的必需手段。它包括以下内容：

- （1）系统控制权的设置和切换；
- （2）机组及重要设备的状态设置；
- （3）测点和设备的投运；
- （4）参数整定值和限值的修改；
- （5）电厂运行方式的设置和切换；
- （6）调各种画面；
- （7）各类打印和报表；

- (8) 操作票显示和在线修改;
- (9) 机组启停和工况转换操作;
- (10) 断路器及隔离开关的开断、关合操作;
- (11) 机组有功功率和无功功率的调整;
- (12) AGC 和 AVC 功能设置和参数设定;
- (13) 故障和事件报警处理。

9. 通信

监控系统应能与网调、梯调、水情测报系统、溢洪闸门控制系统、大坝安全监测系统、航运管理系统、厂内技术管理系统等实现通信。

监控系统内部通信,包括水电厂级与现地控制单元级之间及现地控制单元与调速器、励磁调节器、同步并列装置之间的通信。

10. 自诊断

应具备完善的自诊断能力,及时发现自身故障,并指出故障部位。还应具备自恢复功能,即当监控系统出现程序死锁或失控时,能自动恢复到原来正常运行状态。

11. 仿真培训

正常情况下,水电厂均由计算机监控系统进行监控,运行人员根本不进行什么操作,久而久之,他们对操作变得生疏,一旦需要,如监控系统发生故障,往往会不知所措,因此需要定期进行仿真培训,新来人员更是需要。

仿真培训功能是在不涉及水电厂生产设备的情况下,对水电厂运行和检修人员进行基本知识技能、模拟操作和事故处理等方面的培训,以提高水电厂人员的素质,保证水电厂安全运行。利用计算机仿真技术作为培训手段在水电厂日益获得重视,在不少水电厂上得到应用,如委内瑞拉的古里水电厂、我国的葛洲坝水电厂等。

12. 自动处理水电厂事故

这是一项难度极大、目前尚处于研究探讨阶段、但潜在意义极大的功能。

水电厂发生事故后往往需要在极短时间(几秒或几十秒)内对事故情况作出正确判断,及时采取有效措施,防止事故扩大,并转入安全工况运行。目前,这些均由运行人员进行人工处理。人的反应能力有一定的局限性,不可能在这么短的时间内掌握并处理大量信息,并对事故情况作出正确的判断,更谈不上采取及时有效的处理对策了。而事故处理的好坏在很大程度上又取决于运行人员的经验和临场处置的能力。特别在发生重大事故时,运行人员处于高度紧张的状态下,很容易发生失态现象,结果导致事故的进一步扩大,造成极其严重的后果。许多事例说明了这一问题的严重性。即使不发生失态,运行人员采取各项措施不一定都是最合适的。因此,需要建立一套科学的自动处理事故的手段,它是以科学规则和准则为基础的,自动寻找最佳的处置策略,以期达到最佳的效果。这样的手段无疑是水电厂广大人员极其欢迎的。

计算机的人工智能专家系统正是解决这类问题的良好帮手。它可以迅速地对收集到的每一个报警信息,根据其对事故的重要性和紧急程度进行相关处理和排除,把一些无关重要的信息屏蔽掉,再对剩下的信息进行综合分析。根据存在计算机内的操作规程、事故处