

高等学校教材

水电站自动化

(第二版)

华北水利水电学院 刘忠源 合编
武汉水利电力学院 徐睦书

水利电力出版社

高等学校教材

水电站自动化

(第二版)

华北水利水电学院 刘忠源
武汉水利电力学院 徐睦书 合编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书专门阐述水电站自动化的基础理论知识和应用技术。全书共分六章,主要包括:水电站自动化的目的和内容,电子计算机在水电站的应用,水轮发电机的自动并列和励磁的自动调节,频率和有功功率的自动控制,辅助设备的自动控制以及水轮发电机组的自动操作等。本书取材以反映目前我国大中型水电站的自动化技术为主,同时也适当介绍国内外有关的先进技术和水电站自动化的发展方向。

本书为高等学校“水利水电动力工程”专业教材,也可作为有关专业的教学参考书及工程技术人员参考。

高等学校教材

水 电 站 自 动 化

(第二版)

华北水利水电学院 刘忠源 合编
武汉水利电力学院 徐睦书

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 16.5印张 374千字 3插页

1982年7月第一版

1986年11月第二版 1986年11月北京第二次印刷

印数5021—10540册 定价2.75元

书号 15143·6184

前 言

本书是根据高等学校水利水电类专业电类课程编审小组一九八三年三月扩大会议审订的《水电站自动化》教学大纲和一九八三年十月制订的高等学校《水电站自动化》教材编写大纲编写的，作为“水利水电动力工程”专业《水电站自动化》课程的教材，亦可作为相近专业的教学参考书，同时可供从事水电站设计、运行等工作的人员参考。

书中主要介绍大中型水电站自动化的基础理论知识和自动化的应用技术。取材以反映目前我国水电站自动化的基本情况为主，同时也适当介绍国内外的新成就和发展趋向。

本书由华北水利水电学院刘忠源、武汉水利电力学院徐睦书合编，参加编写的有：刘忠源（编写第一、二、三章）；徐睦书（编写第五、六章），华东水利学院黄宝南（编写第四章）。全书由刘忠源统稿，陕西机械学院张成乾主审。

在本书编写过程中，得到华北水利水电学院、武汉水利电力学院（特别是范华秀同志对第六章部分内容的编写给予了大力的帮助）和华东水利学院有关专业教研室和其它方面有关同志的大力支持和帮助，在此一并致以谢意。

对于书中的缺点和错误，诚恳地希望读者批评指正。

编 者

1985年

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 水电站自动化的目的和内容	1
第二节 电子计算机在水电站的应用	6
第二章 水轮发电机的自动并列	14
第一节 水轮发电机的并列方式	14
第二节 同期点选择和同期电压的引入	16
第三节 准同期条件分析	21
第四节 手动准同期	23
第五节 自动准同期	29
第六节 自动自同期	53
第三章 水轮发电机励磁的自动调节	62
第一节 水轮发电机的励磁方式	62
第二节 水轮发电机的有关特性和调节励磁电流的方法	66
第三节 自动调节励磁装置的任务和对调节装置的要求	74
第四节 继电强行励磁、强行减磁和自动灭磁	76
第五节 复式励磁	79
第六节 相位复式励磁	83
第七节 电压校正器	87
第八节 Q-K ₁ 型相位补偿式快速自动调节励磁装置	94
第九节 可控硅自动调节励磁装置	167
第四章 频率和有功功率的自动控制	109
第一节 概述	109
第二节 频率和有功功率自动调节的主要方法	111
第三节 频率和有功功率成组调节装置	124
第四节 并列运行机组的最优组合	142
第五章 辅助设备的自动控制	150
第一节 自动控制的信号元件	150
第二节 自动控制的执行元件	164
第三节 辅助设备的自动控制	174
第四节 进水口闸门和蝶阀的自动控制	186
第六章 水轮发电机组的自动程序控制	193
第一节 机组自动程序控制的任务和要求	193

第二节	机组润滑系统、冷却系统、制动系统及调相压水系统的自动化	197
第三节	机组自动程序控制原理接线与程序框图	201
第四节	机组保护及信号	216
第五节	可逆式机组的特点及其自动控制	221
第六节	机组有接点弱电选线控制	229
第七节	机组的无接点弱电选线控制	233
第八节	抽水蓄能机组的自动操作	247
第九节	机组低频自启动	253
参考文献		257

第一章 绪 论

自动化程度是水电站现代化水平的重要标志之一,同时,自动化技术又是水电站安全经济运行必不可少的技术手段。随着机组容量的不断增大,自动化技术对水电站的安全经济运行起着越来越重要的作用。水电站自动化包含着广泛的内容,综合了许多学科的有关内容。随着电子技术的发展,水电站自动化技术得到了迅速的发展,各种新型自动装置不断的被采用,从而使水电站的自动化水平得到了很大的提高。近年来,随着电子计算机的广泛应用,水电站自动化技术发展到了一个新的阶段。本章主要介绍水电站在电力系统中的作用,水电站自动化的目的和内容以及电子计算机在水电站的应用。至于目前我国水电站中常用的各种自动装置,将在以后各章中进行较详尽的论述。

第一节 水电站自动化的目的和内容

一、水电站在电力系统中的作用

电力系统中的发电站(厂),有火电厂、水电站、核电站以及地热、风力、潮汐和太阳能发电站等。我国电力系统目前以火电厂和水电站为主,同时正在兴建核电站。一九八〇年,我国水电站的发电量,约占总发电量的20%左右。

我国有十分丰富的水力资源。全国平均蕴藏量在10MW以上的河流有1598条,总蕴藏量在680000MW以上,可能开发的水电总容量有380000MW,年发电量可达19200GkW·h,居世界第一位。丰富的水力资源可为我国电力工业提供廉价的电力,节约大量的煤炭、石油和天然气等重要燃料,并有利于环境保护。建国以来,我国兴建了许多水电站。三十多年来,已建成水电站的总装机容量达20000余MW,但目前总的开发水平还很低。随着工业、农业、国防和科学技术现代化的加速实现,今后我国水电站的建设必将得到更快的发展。

水电站的生产过程比较简单。水轮发电机组起动快,开停机迅速,操作简便,并可迅速改变其发出的功率。例如,一台完全自动化的水轮发电机组,从停机状态起动到发出额定功率,一般只需要一分钟左右的时间。同时,水轮发电机组的频繁起动和停机,不会过多消耗很多能量,而且在较大的负荷变化范围内仍能保持较高的效率。

由于水电站具有上述特点,所以在电力系统中,它除了可以承担与其它类型电站一样的发电任务外,还适宜于担负下列的任务。

(一)担负系统的调频、调峰任务

目前,电能还不能大量储存,它的生产、输送、分配和消费必须在同一时间内完成。电力系统的负荷是随时间不断变化的。一年中随着季节的不同而变化,一昼夜间也有很大的变化,就是在较短的时间内,也会因一些用户的投入和切除而不断发生变化。这样,为了保持系统频率在规定的范围内,系统中就必须有一部分发电站或发电机组随负荷的变化

而改变出力，以维持系统内发出功率和消耗功率的平衡。不然的话，随着系统负荷的变动，系统频率可能偏移额定值过大。一般说来，对于变化幅度不大的负荷，频率的调整任务主要是由发电机组的调速装置来完成的。对于变化幅度较大、带有冲击性质的负荷，则需要有专门的电站或机组承担调整频率的任务。担负这一任务的电站或机组，即称为调频电站或调频机组，而它们所担负的这种任务，即称为调频任务（详见第四章）。

由于水电站具有上述特点，所以具有调节能力的水电站特别适宜于担负系统的调频任务，即作为系统的调频电站。此外，这种电站也适宜于担负系统的尖峰负荷，即担负调峰任务。

火电厂的汽轮发电机组从冷状态启动，往往需要几个小时到十几个小时。同时，频繁的启动和停机，将使汽轮发电机组多消耗大量的燃料，且易于损坏设备。此外，改变汽轮发电机组的出力，速度也不能太快。因此，火电厂（包括核电站）不适宜于担负剧烈变化的负荷，即不适宜于作为系统的调频、调峰电站。为了运行的经济和设备的安全，它们应在效率高的固定负荷下运行。可见，有水电站担负调频、调峰任务的系统，既可充分发挥水电站的特长，又可使火电厂在高效率区稳定、经济的运行，使各种动力资源得到合理的应用，从而使整个系统获得较高的经济效益。

当然，水电站的运行工况一般也不是固定不变的。不同的水电站，或同一个水电站在不同的季节，其运行工况可能是不同的。通常，没有调节水库而靠径流发电的水电站，只担负固定不变的负荷。一些有水库而具有调节能力的水电站，在洪水季节，为了不弃水，也担负固定不变的负荷（即基荷）。

对于缺乏水力资源的系统，为了解决调峰的需要，有条件时可兴建抽水蓄能水电站。这种电站在系统负荷处于低谷时，利用系统的剩余功率将水从低处的下游水库抽到高处的上游水库，转变为水位能的形式将能量储存起来。系统负荷出现高峰时，电站放水发电，供系统调峰之用。从能量利用的观点来看，这种电站消耗的能量大于发出的能量，效率只达70%左右。但由于高峰时电能的经济价值比低谷时高得多，且抽水蓄能电站具有与普通水电站一样的优点，所以修建这种电站在经济上还是合理的。抽水蓄能电站近年来在国外发展很快，且正向高水头、大容量方向发展。我国华北系统的一些水电站也装设了抽水蓄能机组，并已发挥了一定的作用。

（二）担负系统的事故备用容量

具有一定的备用容量，是电力系统进行频率调整和机组间负荷经济分配的前提。换言之，如果电力系统没有备用容量，则频率的调整和负荷的经济分配便无法实现。系统中各类型电站的发电机组，构成了电力系统的电源。由于所有发电机组不可能全部不间断地投入运行，而且投入运行的发电机组也不是都能按额定容量工作（如机组的定期检修、水电站因水头过分降低不能发出额定功率等），故系统中的电源容量并不一定等于所有发电机组额定容量的总和。实际上，系统的电源容量，只等于各发电站预计可投入的发电机组可发功率的总和。也就是说，只有这些可发功率，才是可供系统调度随时使用的系统电源容量。为了保证供电的可靠性和电能质量，系统的电源容量应大于包括网损和发电站自用电在内的系统总负荷，即发电负荷。系统电源容量大于发电负荷的部分，即称为备用容量。

电力系统的备用容量有热备用（旋转备用）和冷备用两种。前者是指运行中发电机组可发出的最大功率与发电负荷之差，后者则是指未运行发电机组可能发出的最大功率。进行检修的机组不属于冷备用，因为它们不能随时供调度使用。由于电力系统的负荷是不断变化的，从保证供电可靠性和电能质量出发，系统的热备用应该大些为好。然而，从系统运行经济性考虑，热备用又不宜太大。

按用途的不同，电力系统备用容量又可分为如下几种：

负荷备用。用于调整系统中短时的负荷波动，并满足计划外负荷增加的需要。这类备用容量应根据系统负荷的大小、运行经验和系统中各类用户的比重来确定，一般为系统最大负荷的2~5%。

事故备用。用于代替系统中发生事故的发设备的工作，以便维持系统的正常供电。事故备用容量与系统容量、发电机台数、单机容量，各类型发电站的比重和供电可靠性的要求等因素有关，一般约为系统最大负荷的5~10%，并不应小于系统中最大一台机组的容量。

检修备用。是为定期检修发电设备而设置的，与负荷性质、机组台数、检修时间长短及设备新旧程度等有关。通常只有在节假日或负荷低落季节无法安排所有设备检修时，才设置专门的检修备用容量。

此外，为满足负荷超计划增长设置的备用，称为国民经济备用。

可以肯定，以上四种备用容量均以热备用或冷备用这两种形式存在于系统中，而且，为了满足负荷变动和发生事故时的需要，热备用应包括全部负荷备用和一部分事故备用。很明显，由于水轮发电机组的优点，适宜担负系统的事故备用。至于负荷备用，一般就设置在调频电站内，亦适宜于由水电站来承担。此外，由于水轮发电机组发电和调相的工况转换非常方便，所以必要时可将担负事故备用的机组或其它闲置机组作调相机运行，以便向系统提供无功功率，改善电压质量。在一定条件下，这样做可使系统节约一部分专用的调相设备。

二、水电站自动化的目的和内容

水电站自动化，就是要使水电站生产过程的操作、控制和监视，能够在无人（或少人）直接参与的情况下，按预定的计划或程序自动地进行。由于水电站的生产过程比较简单，这就为水电站实现自动化提供了方便的条件。就电站本身的自动化而言，水电站要比火电厂容易一些，而水电站的自动化程度通常也要比火电厂高一些。另一方面，由于水电站在系统中担负前述的任务，因此要求水轮发电机组应能迅速的开停机、改变运行工况和调节出力，这些要求，也只有在水电站实现自动化以后才能更好地完成。

（一）水电站自动化的目的

水电站实现自动化的目的在于提高工作的可靠性和运行的经济性；保证电能质量（电压和频率符合要求）；提高劳动生产率、改善劳动条件和减少运行人员等。

1）提高工作的可靠性。大家知道，供电中断可能使生产停顿，生活混乱，甚至可能危及人身和设备的安全，造成十分严重的后果。因此，水电站的运行，首先要满足安全发电的要求。水电站实现自动化以后，通过各种自动装置能够快速、准确和及时地进行检

测、记录和报警。当出现不正常工作状态时，自动装置能发出相应的信号，以通知运行人员及时的加以处理或自动处理。发生事故时，自动装置能自动紧急停机或断开发生事故的设备，并可自动投入备用机组或设备。可见，实现自动化既可防止不正常工作状态发展成为事故，又可使发生事故的设备免遭更严重的损坏，从而提高了供电的可靠性。

另一方面，用各种自动装置来完成水电站的各项操作和控制（如开停机操作和并列），可以大大减少运行人员误操作的可能，从而也减少了发生事故的机会。此外，采用自动装置进行操作或控制，还可大大加快操作或控制的过程，这对于在发生事故的紧急情况下，保证系统的安全运行和对用户的供电，具有非常重要的意义。例如，水轮发电机组采用手动开机时，一般需要10~15min才能将机组并入系统；而采用自动装置开机时，通常只需要1min便可投入系统并带上负荷。

随着水电站机组容量的不断增大，设备越来越复杂，对运行可靠性的要求越来越高，因而对水电站自动化也提出了更高的要求。

2) 保证电能质量。电能质量用电压和频率两项基本指标衡量。良好的电能质量是指电压正常，偏移一般不超过额定值的 $\pm 5\%$ ；频率正常，偏移不超过 $\pm 0.2 \sim 0.5\text{Hz}$ 。电压或频率偏离额定值过大，将引起生产大量减产或产品报废，甚至可能造成大面积停电。

众所周知，电力系统的电压，主要取决于系统中无功功率的平衡；而频率则主要取决于系统中有功功率的平衡。既然系统的负荷是随时在变化的，那么要维持电压和频率在规定范围内，就必须迅速而又准确地调节有关发电机组发出的有功和无功功率。特别是在发生事故的情况下，快速的调节或控制对迅速恢复电能质量具有决定性的意义。这个任务的完成，靠运行人员手动进行，无论在速度方面还是在准确度方面都是难于实现的。因此，只能依靠自动装置来完成。一般说来，一个正常的电力系统，发生电能质量低劣的现象，往往是由于调度管理不当和运行调节不及时造成的。可见，提高水电站的自动化水平，是保证电力系统电能质量的重要措施之一。

3) 提高运行的经济性。所谓经济运行，就是要使水轮发电机组经常运行在最佳工况下（即高效率区）。对于多机组的电站而言，还要根据系统分配给电站的负荷和电站的具体条件，选择最佳的运行机组数，以使用较少的水生产较多的电能。一般说来，即使是同类型同容量的机组，由于制造工艺上的差异和运行时间长短的不同，它们的效率也不是完全相同的。而效率上的很小差异，则可能引起经济效益的很大差别，这一点对于大型机组更是如此。例如，一台100MW的机组，效率提高1%，按年运行3000小时计算，每年就可多发300万度电。水轮发电机组在不同的水头下运行具有不同的效率；即使在同一水头下，不同的导叶开度也具有不同的效率。因此，合理地进行调度，以保持高水头运行，并合理选择开机台数，使机组在高效率区运行，可获得很好的经济效益。对于梯级电站来说，如能实现各电站合理最优调度，避免不必要的弃水，亦可使水力资源得到更加充分的利用。

水电站通常是水力资源综合利用的一部分，要兼顾电力系统、航运、灌溉、防洪等多项要求，经济运行条件较复杂，很难用人工控制来实现。实现自动化以后，利用自动装置将有助于水电站经济运行任务的实现。例如，对于具有调节能力的水电站，应用电子计算机可大大提高运行的经济性，这里因为计算机不但可对水库来水进行预报计算，还可综合

水位、流量、系统负荷和各机组参数等参量，按经济运行程序进行自动控制的缘故。

4) 提高劳动生产率。自动化水电站的很多工作，都是由各种自动装置按一定的程序自动完成的，因此减少了运行人员直接参与操作、控制、监视、检查设备和记录等的工作量，改善了劳动条件，减轻了劳动强度，提高了运行管理水平。同时可减少运行人员，实现少人甚至无人值班，提高劳动生产率，降低运行费用和电能成本。此外，由于运行人员减少，可减少生活设施，因而也可减少水电站的投资。

(二) 水电站自动化的内容

水电站自动化的内容，与水电站的规模及其在电力系统中的地位和重要性、水电站的型式和运行方式、电气主接线和主要机电设备的型式和布置方式等有关。总的说来，水电站自动化包括如下内容：

1) 自动控制水轮发电机组的运行方式，实现开停机和并列、发电转调相和调相转发电等的自动化。通常只要发出一个脉冲，上述各项操作便可自动完成。工作机组发生事故或电力系统频率降低时，可自动启动并投入备用机组；系统频率过高时，则可自动切除部分机组。

2) 自动维持水轮发电机组的经济运行。如根据系统要求自动调节机组的有功和无功功率，按系统要求和电站具体条件自动选择最佳运行机组数，在机组间实现负荷的经济分配等。

3) 完成对水轮发电机组及其辅助设备运行工况的监视和对辅助设备的自动控制。如对发电机定子和转子回路各电量的监视，对发电机定子绕组和铁芯以及各部轴承温度的监视，对机组润滑和冷却系统工作的监视，对机组调速系统工作的监视等。出现不正常工作状态或发生事故时，迅速而自动地采取相应的保护措施，如发出信号或紧急停机。对辅助设备的自动控制则包括对各种油泵、水泵和空压机等的控制，并在发生事故时自动地投入备用的辅助设备。顺便指出，机组发生电气方面的不正常工作状态和事故时的保护，属于水电站继电保护的范畴，详见《水电站电气设备》一书，本书不再作介绍。

4) 完成对主要电气设备（如主变压器、母线及输电线路等）的控制、监视和保护。这部分内容亦包括在《水电站电气设备》一书中。

5) 完成对水工建筑物运行工况的控制和监视，如闸门工作状态的控制和监视，拦污栅是否堵塞的监视，上下游水位的测量监视，引水压力钢管的保护等。前面已经提到，水电站自动化的内容与该电站的型式等因素有关。例如，对河床式电站，通常不设置压力钢管的专门保护；而对于引水式电站，则除了在压力钢管上游侧设置能自动关闭的闸门外，还应在管道的下游侧设置随机组开停而启闭的阀门。

水电站自动化是通过各种自动装置来实现的，这些自动装置可分为基础自动装置和综合自动装置两类。凡每台机组均具有的自动装置，如用于保持和控制转速的机组调速装置，用于改变发电机发出的无功功率和维持电压在允许范围内的自动调节励磁装置等，均属于基础自动化的范围。这些自动装置，构成了水电站自动化的基础部分。其它属于全站性的自动装置，如频率和有功功率的成组调节装置，电压和无功功率的成组调节装置，自动巡回检测装置等，属于水电站综合自动化的内容。这些自动装置负责整个电站的自动控

制和调节以及检测和报警等，并通过基础自动装置实现对机组的自动控制和调节。

目前水电站采用的各种自动装置，主要用于实现顺序控制（如机组开停的操作）和定值控制（如频率和电压的控制）。这些自动装置的控制程序或控制规律是预先制定好的，在执行过程中是固定不变的，故又称为固定程序控制。这种控制的缺点是无法使控制程序或控制规律适应变化的情况，而水电站的负荷和机组的运行工况是不断变化的。随着机组容量的增大，为了提高运行的安全经济指标，提出了实现最佳控制的要求，即用最短的时间，自动寻找最合理的工作状态，从而使电站的生产过程达到最佳效益。显然，这种控制必须是实时的可变程序控制。电子计算机的广泛使用，为实现这种控制和其它方面的功能创造了条件，并将使水电站自动化发展到一个新的阶段。

第二节 电子计算机在水电站的应用

数字电子计算机具有计算速度快、精度高、记忆力强、存储量大、善于逻辑判断等一系列优点。六十年代初，电子计算机开始被用来控制工业生产过程。随着科学技术和生产的发展，目前计算机在电力、石油、化工、交通等部门已日益被广泛应用。

在电力系统中，计算机初期主要用于完成计算潮流分布、短路电流和系统稳定等任务。随着水电站规模和单机容量越来越大，对运行的安全可靠和经济效益提出了更高的要求；同时，对运行工况的监视和操作控制的要求也愈来愈严格；此外，需要监视的变量和为了确定不同的操作控制所需进行的数据处理也越来越多。所有这些复杂而繁重的任务，靠运行人员来完成已变得十分困难。在这种情况下，对于计算机在水电站的应用，很多国家都进行了大量的研究试验工作。目前，国外已有不少水电站采用了计算机控制，特别是在大型电站、水电站群、梯级电站和抽水蓄能电站中应用较多。在这方面，我国也进行了大量的研制试验工作，并有一些电站开始采用计算机控制。

一、电子计算机的任务

水电站应用电子计算机，一般可实现如下几方面的功能：

（一）自动检测

1）运行参数监视。对生产过程中的各种参数周期地进行巡回检查和测量监视。如发现异常（如越限）则立即报警、显示并作记录。运行人员可通过控制台检查某些参数，计算机可通过显示或打印报告检查结果。

2）打印制表。每天定期打印必要的运行参数，以供运行分析和指导使用，并代替运行人员抄表。

3）趋势分析和预报。除随时响应和处理被控制对象发生的异常现象外，还可对异常情况下的运行趋势进行分析并提出报告或采取相应措施。对重要参数还可作梯度计算，以判别变化趋势。

4）水文预报。定期对水库区水文测点进行遥测并作出预报。

（二）自动计算

1）水库调度计算。根据雨量和水位等水文资料，进行洪水预报和洪水及水库的调度

计算。

2) 闸门启闭计算。根据泄洪量和上游水位等计算闸门的开启数量、顺序和开度。

3) 机组最佳运行台数计算。根据电站具体条件, 通过一定的数学模型进行计算, 以确定最佳运行机组数, 使电站在最佳工况下运行。

4) 功率经济分配计算。根据电力系统的要求和电站的具体条件, 确定机组间有功和无功功率的经济分配, 以提高电站运行的效益。

5) 稳定计算、电量计算和水量平衡计算等。

(三) 自动控制

包括机组的自动开停和并列或解列以及运行工况的自动转换、机组有功和无功负荷的自动调节、闸门的启闭和开度的自动控制、梯级电站的经济调度管理和控制以及根据电力系统的命令进行自动控制等。此外, 还要完成对主要设备的操作, 并记录操作时间和内容。

(四) 自动处理事故

水电站在运行中出现事故时, 计算机将对各主要参数的变化和各種装置的动作情况进行记录和存貯, 并立即进行事故分析, 同时转而执行预先制订好的事故处理程序, 以对事故进行处理。

(五) 生产的经营管理、统计及其它

如根据系统调度命令和电站设备状况, 编制、执行和修改运行计划; 电站运行经济指标核算和分析; 水工建筑物观测资料的统计、计算和分析等。

显然, 以上这些任务只用一套没有软件功能的硬设备是无法实现的, 只有计算机才能胜任这些工作。为此, 必须预先为计算机编制一套程序(软件), 使其按程序有条不紊地工作。计算机的软件通常可分为应用程序、管理程序和自诊断程序三类。

为完成上述任务而专门编制的程序叫应用程序(又称目的程序)。

计算机的应用程序是很多的, 可能有几十个甚至上百个。在每一时刻应当执行哪一个程序, 是一个复杂的管理和调度问题。这个任务就由管理程序(又称操作系统)来承担。此外, 管理程序还包括如下内容: 外部、外围设备的管理; 中断管理; 时钟管理及人机联系程序等。

自诊断程序用来诊断计算机硬件的故障。计算机在这个程序的操纵下, 通过一系列诊断, 可找出发生故障的元件或部件所在的部位。

二、计算机控制系统的组成和对计算机的要求

为了完成上述任务, 计算机应具有相应的外围设备和外部设备。

水电站生产过程中的参数, 一般可归纳为两类, 即模拟量和开关量。前者是指连续变化的量, 如电流、电压、功率、流量、压力和温度等。后者是指仅有两个状态的变量, 如闸门的“开启”和“关闭”, 开关的“合闸”和“跳闸”等。计算机要实现对生产过程的监视和控制, 就必须将这些模拟量和开关量输入计算机, 经过计算、分析和判断后, 再输出相应的模拟量和开关量, 以对生产过程进行操作或控制。这些模拟量和开关量的输入和输出设备, 即称为外围设备, 又称为过程输入输出装置。外部设备则包括外存储器、穿孔

机、光电输入机、电传打字机、制表机和显示器等。通过这些设备，可以输入程序，存贮大量信息，以及进行人机联系等。

图1-1为计算机控制系统示意图。由计算机（又称中央处理机）、外围和外部设备及被控制对象构成。生产过程的有关参数，通过外围设备输入计算机，经计算、分析、判断后，再通过外围设备送到执行机构对生产过程进行控制，或送到外部设备打印、制表及显示等。

作为中央处理机的计算机，要按一定的调节规律或数字模型对生产过程的各种参数进行计算和分析，因此必须具有与通用数字计算机相似的运算功能。此外，还应满足如下要求：

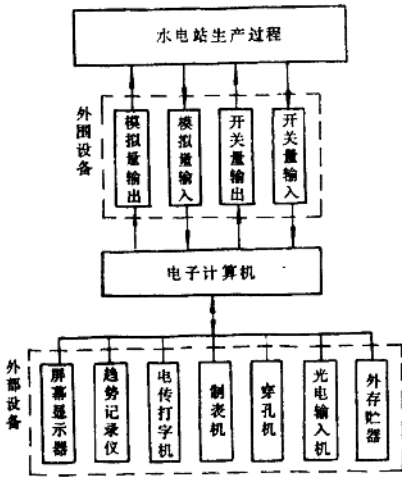


图 1-1 计算机控制系统示意图

（1）具有高度的可靠性。由于水电站的生产过程是连续而不间断的，故要求计算机能长期稳定地运行，必要时还要求双机运行。

（2）具有较灵活的中断系统。计算机控制是一种实时控制，即计算机能在瞬间采集生产过程的大量信息，以很高的速度进行计算、分析和判断，并在很短的时间内作出反应或进行控制。例如，当水电站生产过程出现紧急情况时，计算机控制系统的中断装置将立即申请中断。计算机响应中断后，将暂停执行原来的程序，并马上转而执行相应的中断处理程序，以对生产过程进行紧急处理。处理完毕后，计算机将自动返回中断点继续执行原来的程序。可见，中断系统是实实现实时控制不可缺少的。

由于水电站生产的连续性和供电的不间断性，

要求计算机具有较强的实时性能，故应具有较灵活的中断系统。

（3）具有实时时钟。在对水电站的生产过程进行监视和控制时，往往需要记下某些事件发生的时间，或按一定的时间表进行各种操作，或在发生某些事件后经过规定的时间进行某种操作等。因此，在计算机执行程序时，需要有一个时间参数，而这个时间参数就是依靠实时时钟来提供的。解决这个问题一般有两个办法：一是用一个实时时钟作为外部设备，可以是程序去读时间，也可以规定实时时钟定期申请中断。另一种办法是在计算机或外部设备中有一个基本的时标发生器，利用中断及软件配合产生各种时间间隔。

（4）具有可靠的外围设备。对水电站而言，特别应具有抗干扰能力强的模拟量和开关量的输入通道。

（5）便于操作和联系。外部设备要便于人机联系，并使运行人员能简单明了地操作计算机和了解计算机的输出。

三、电子计算机的控制方式

电子计算机对水电站的监视与控制是通过外围设备来实现的，因此，完成水电站机组

及其辅助设备的自动化、主要设备和闸门的远方集中控制等属于基础自动化的工作，是水电站应用电子计算机控制的基本条件。总的说来，计算机在水电站的应用目前还处于研究、试验和发展的阶段，大多数电站还只用于数据处理和开环控制，但也有部分电站用于闭环控制。

闭环控制是从被控制对象取得被控制量的信息，经过一些中间环节后，又将调节被控制量的作用送到被控制对象，并作用于被控制量自身，使其发生相应的变化。因此，闭环控制系统的信息传送途径是一个闭合的环路。用于水电站的一些自动装置，如根据系统要求自动调节机组有功功率和无功功率的调速装置和励磁调节装置，均属于闭环控制系统。闭环控制系统又称为反馈控制系统，它利用测量输出量与给定值的偏差来进行控制。控制系统的输出信号是反馈信号，而反馈的目的是要消除（或减少）被控制量与给定值之间的偏差。控制系统的输出可以是输出信号本身，也可以是输出信号的函数或导数。显然，闭环控制系统应当是负反馈控制系统。

反之，若控制系统信息传送途径不是一个闭合的环路，则称为开环控制系统。这种控制系统的输出信号不直接用于控制被控制对象。水电站机组开停的顺序控制系统，即属于这种系统。当计算机的输出信号不直接控制被控制对象而仅作运行指导时，亦属于开环控制系统。

电子计算机对水电站的控制，一般有如下几种方式：

（一）数据采集和处理

这是计算机在水电站的最简单应用，也是计算机控制系统的最基本功能。数据采集和处理除包括传统的测量、监视和报警外，还可对事件发生的顺序加以分辨，对运行情况进行记录和制表。同时，还可追忆事故发生前的运行数据，指出机组运行的发展趋势。此外，通过数据采集建立起来的数据库，还是进行自动操作和控制的依据。

图1-2为数据采集和处理的示意图。生产过程中需要收集的运行参数，首先通过外围设备变换成数字量并送入内存。然后计算机再将这些数据换算成用相应运行参数的工程单位表示的数值，并将计算结果通过外部设备输出，记录在外存贮器或直接打印出来。必要

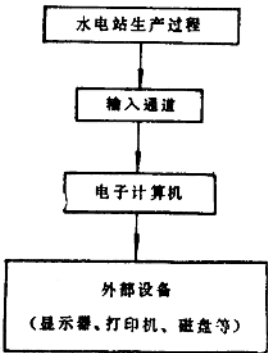


图 1-2 数据采集和处理示意图

时，计算机还可进行一些其它的数据处理。这种方式一般用于记录生产过程的历史资料，以及在各种不同情况下研究生产过程，还可用来建立或改善反应生产过程的数字模型。

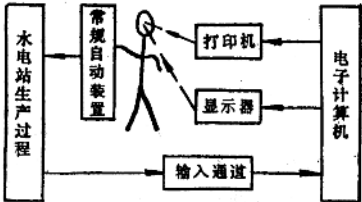


图 1-3 运行指导示意图

(二) 运行指导

这是一种开环的控制方式。此时, 计算机的输出不直接作用在被控制对象的控制元件(或执行机构)上, 而只是输出一些数据。然后, 由运行人员按这些数据的要求去完成相应的操作或控制。换言之, 完成操作或控制的是人而不是计算机。图1-3为运行指导控制方式示意图。

采用这种控制方式时, 反映生产过程的有关参数经一定时间就由外围设备送入计算机。计算机按一定要求计算出各种控制量合适的或最佳的数值, 并在屏幕显示器上显示出来, 或由打印机打印出来。然后, 由运行人员按照计算机输出的要求, 操作执行机构或改变有关控制(调节)装置的给定值, 以达到控制被控制对象的目的。例如, 当水电站的水头或负荷发生变化时, 计算机通过计算可给出在此工况下的最佳运行机组数及机组间的负荷经济分配。然后, 由运行人员去完成有关的操作, 以实现电站的经济运行。可见, 这种控制方式的计算机控制系统只起一种运行指导的作用。实际上, 越限或事故报警也是运行指导的一部分工作。用于这种控制方式的计算机, 同时要完成数据采集和处理等功能。

显而易见, 水电站的各种常规自动装置在这种控制方式中仍然是不可缺少的。这种控制方式的优点是比较灵活和保险。计算机给出的运行指导, 运行人员认为不合适的可以不采纳。因此, 这种控制方式一般用于设置计算机控制系统的初期阶段, 或用来调试新的控制程序和试验新的数学模型。对于一些已建成的老电站, 亦可以用这种控制方式实现经济运行。

(三) 监督控制

监督控制的控制方式与运行指导不同。此时, 计算机的输出将通过外围设备直接去改变控制(调节)装置的给定值, 或直接去完成操作, 因此又称为给定值控制方式。显然, 这是一种闭环控制系统。就自动化程度而言, 这种控制方式比运行指导方式提高了一步。

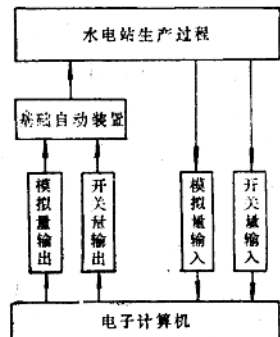
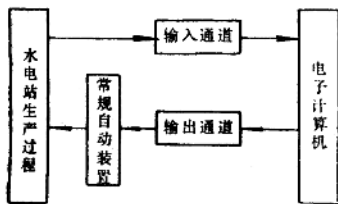
图1-4为监督控制方式的示意图。在计算机的输入方面, 监督控制与运行指导无大的差别, 计算机进行的控制计算也大致相似。但在计算机的输出方面, 却存在很大差别。由于计算机的输出要直接用于改变给定值或完成操作, 因此它的输出必须满足有关装置的要求。例如, 在改变给定值时, 若控制装置需输入电压, 则计算机就必须通过外围设备中的有关装置输出相应的电压量。

监督控制方式的计算机处于管理、监视和校正的地位, 一般它不取代常规的自动化装置, 但可使它们具有综合功能和自适应能力。计算机退出工作时, 常规的自动装置仍能独立地工作, 维持电站正常运行, 只是经济性、可靠性和调节动态品质方面的性能有所降低。这种控制方式的最大优点是避免了不同运行人员按各自的办法和经验进行操作时可能造成的误差, 从而使电站或机组始终在最佳状态下运行。

如前所述, 水电站常规的自动装置可分为基础自动装置和综合自动装置两类。采用监督控制方式后, 计算机与这些自动装置的关系目前主要有两种形式。一种是计算机直接控制电站的基础自动装置, 如机组的调速装置、励磁调节装置及自动操作回路等。其它属于全站性的综合自动装置, 如有功和无功功率成组调节装置等则不再保留, 它们的功能由计算机来实现。图1-5为这种直接控制的示意图。这种控制方式可充分发挥计算机的作用, 并

可节省常规综合自动装置的投资,但对计算机工作的可靠性要求较高。对于大型电站来说,计算机退出工作可能破坏电力系统的安全稳定运行。必要时,需考虑设置双机的方案。国外有些电站,就是采用了这种控制方式。

另一种形式是保留全站性的综合自动装置,计算机通过这些综合自动装置(如有功和无功功率的成组调节装置)控制电站的基础自动装置(如调速装置、励磁调节装置等)。这种控制方式称为分级控制,如图1-6所示。采用这种控制方式时,水电站的检测和调节任务一般由检测装置和成组调节装置担任,它们又称为计算机辅助控制系统。此时,计算机的主要任务是:按计划自动开停机组或自动转换运行工况;自动控制有功和无功功率成组调节装置的给定值;进行事故处理等。采用这种控制方式可减轻计算机故障造成的不良影响,但电站的投资要大些。分级控制常被用作过渡性的控制方式。



(四)直接数字控制

水电站采用的各种常规自动装置中,有一些属于模拟量调节装置,如机组的调速装置和励磁调节装置等。在水电站的生产过程中,这些模拟量调节装置各自按其给定值工作,以使电站的生产过程维持在一个正常的水平。模拟量调节装置的主要缺点,是无法使调节规律适应系统结构或运行方式的变化。如果要改变调节规律,则通常需重新设计,这样既花费时间,又增加投资,且难于实现实时控制。

近几年来,由于大规模集成电路技术的发展,使微型计算机得到了迅速的发展。微型计算机具有价格便宜、体积小、简单可靠、适合于单功能控制等优点,这样就为用微型计算机取代常规的分主自动化装置创造了条件。目前,国内外都在研究和试验用微型计算机代替一些常规的自动装置,如调速装置、励磁调节装置和同期装置等。采用微型计算机用软件构成的调节装置,其输出不是用于改变模拟量调节装置的给定值,而是直接去控制生产过程,故称为直接数字控制,相应的调节装置则称为数字式调节装置。这种调节装置可较方便地改变调节规律,此时,只需改变相应的程序即可。在输入方面,这种方式与监督控制一般并无多大差别。图1-7为这种控制方式的示意图。

采用直接数字控制时,计算机控制系统应有很高的可靠性。计算机发生故障时,应能安全地转入人工控制。同时,计算机故障排除后,从人工控制恢复到计算机控制时,对生产过程不应产生冲击现象。

值得注意的是,直接数字控制并不只是原有常规自动装置调节规律的数字化,即并不只