

新编全国小水电培训教材

小型水电站计算机监控技术

主编 孙 力 徐国君

中国计划出版社

1999 北京

发展小水电的关键
是培训人才

钱正英
一九九一年十一月廿日

全国政协副主席、原水利电力部部长钱正英同志为《小水电培训教材》题词

加強專業培訓
提高職工素質

楊振懷

原水利部部长杨振怀同志为《小水电培训教材》题词

《新编全国小水电培训教材》编委会

主 审 童建栋

主 编 周仲钺

副主编 徐 萍 朱留溪 徐招才 虞 放

编 委 (按姓氏笔划为序)

王万治 孔昭年 白 林 孙 力

孙 银 刘自箴 李永国 陈大卫

陈国华 陈建农 陈琦英 严亚芳

何志成 吴俊燕 孟天启 罗云霞

骆江潮 郭连庄 唐文品 钱建明

韩国平 程泾川 薛培鑫

序

我国幅员辽阔、山峦起伏、河流纵横、水力资源十分丰富，可开发利用的水能蕴藏量为 3.7 亿千瓦，居世界首位。建国 50 年来，我国农村水电事业取得了举世瞩目的巨大成绩。到 1998 年底，全国已有小水电站 44,273 座，总装机 2,202 万千瓦，年发电量达到 713 亿千瓦时，全国小水电职工人数已逾百万之众。与此同时，建成了具有相当规模的配套电网，拥有 110 千伏及以下电压等级的高、低压输电线路 217 万公里，变电设备容量 36,920 兆伏安。为我国广大农村，特别是老、少、边地区提供了清洁、廉价的能源。有力地促进了这些地区的经济发展和两个文明建设，对我国广大农村地区的发展有着十分重要的作用。

全国政协副主席钱正英曾经指出：“发展小水电的关键是培训人才”。除了新建水电站外，如何把已建水电工程和机电设备管好用好，使其充分发挥作用，这是摆在我国农村水电战线上 100 余万职工面前的一项迫切而艰巨的任务。突出的问题仍然是如何加强对小水电运行管理人员的培训，以便适应小水电技术发展的需要。为此，在联合国国际小水电中心的直接关注下，由本书编委会组织了全国小水电行业的专家，历经 3 年艰辛，编写和审定了这套全国小水电培训教材共 9 本，由国家发展计划委员会中国计划出版社出版，这是世纪之交献给广大小水电职工的一份珍贵的礼物。

这套培训教材内容简明扼要、图文并茂、实用性强，并按照我国当前执行的最新规程、规范、标准和名词术语编写，充分反映了我国小水电发展的新技术和新水平，可以作为我国农村小水电职工学习基本知识和进行岗位培训的教材，对提高我国广大小水电职工的技术素质和岗位生产工作能力必将发挥积极的促进作用。同时，广大小水电职工在学习和实践过程中得到的新经验，也将成为新的宝贵资料，促进这套教材在不断地使用和修订中更趋完善。

童建栋

1999.8.12

前 言

建国 50 年来，特别是改革开放以来，我国小水电事业得到了迅速发展，极大地改变了农村和边远山区的落后状况，改善了农村生态环境和流域水土条件，美化了农村，发展了经济，促进了农村精神文明和物质文明建设。

新世纪即将来临，为激励农村和边远山区的进一步发展，国家对小水电事业必将给予更多的关注。飞速发展的社会主义市场经济形势必将使小水电事业面临新的发展机遇和挑战。然而，我们必须清醒地看到，我国许多小水电站工作人员的文化素质和技术水平普遍不高，影响了小水电效益的进一步发挥。除新建电站外，如何管好用好已建小水电站的工程设施和机电设备，使其充分发挥综合效益，是摆在全国 100 余万小水电职工面前的一项艰巨而光荣的任务。“百年大计，教育为本”，发展小水电的关键是培训人才，从速强化小水电职工的技术培训是当务之急。一套高质量、高水平的培训教材，则是做好培训工作的前提，《新编全国小水电培训教材》正是为了满足这一需要而组织编写的。

在联合国国际小水电中心的直接关注下，培训教材编委会从 1996 年开始，以 1991 年由水利部指定的全国小水电职工统一培训教材第一版（一套 6 本）为基础，重新策划编写了这套适用于今后 10 年内全国小水电职工培训的教材，全套 9 本。值得指出的是，1991 年由河海大学出版社出版的小水电培训教材第一版，曾得到全国政协副主席、原水利电力部部长钱正英及原水利部部长杨振怀的充分肯定，并分别为该培训教材题了词。当时，水利部农电司指定该教材为全国小水电职工培训统编教材和考核命题的依据。水利部农电司并专函向全国各省、市、自治区水电部门推荐，并决定由原水利电力出版社为这套培训教材配套摄制了音像教材。第一版教材出版后深受全国小水电职工的欢迎，先后多次重印。但是，由于小水电事业的发展和技术进步，特别是规程、规范和标准的更新，第一版培训教材现已过时，不能再用。为此，本书编委会决定重新编写新的培训教材，组织全国资深的小水电专家和编者一起反复讨论审定编写大纲，反复修改书稿，几次召开全国性的审稿会议，然后定稿。本套新教材由联合国国际小水电中心主任童建栋教授担任主审，邀请国内知名的小水电专家白林、刘自箴、孔昭年、严亚芳、薛培鑫、钱建明、陈大卫等参与审稿。科技

出版界资深的教授级编审陈国华、王万治、陈琦英、孙银等担任该教材特邀编辑。经过3年的艰苦努力，并在中国计划出版社的大力支持下正式出版。

新编培训教材的特点是：按现行最新规程、规范、标准（包括制图标准）和名词术语编写，技术先进，内容新颖，系统全面。教材充分反映了当前小水电发展的新技术和新水平，文字通俗易懂，叙述深入浅出，理论联系实际，图文并茂，具有很强的实用性。该教材适用于全国小水电系统中具有初、高中毕业文化程度的初、中级机电运行、检修工的培训，并兼顾高级工培训需要，定位恰当。全套培训教材共9本：（1）水轮发电机组运行与维修；（2）水轮发电机组辅助设备及自动化；（3）调速器调试与故障处理；（4）电气一次设备维护与检修；（5）电气二次回路运行与维护；（6）小型水电站计算机监控技术；（7）小型水电站设备管理办法；（8）小型水电站设备运行与操作规程；（9）低压水轮发电机组运行与维修。其中第（1）至第（6）本适用高压机组水电站；第（9）本适用低压机组水电站；第（6）至第（8）本则高低压机组通用。

这套培训教材编写过程中，始终得到杭州钱江科技书社、杭州市西湖科技图书公司在各方面的全力支持，同时得到联合国国际小水电中心、中国水利地电企协、水利部农村电气化研究所、中国水利水电出版社、中国水利水电科学研究院、浙江省临安市水电局等单位的大力支持，特在此一并表示衷心感谢。

《新编全国小水电培训教材》由国家发展计划委员会中国计划出版社正式出版发行。为使培训教材迅速、安全地送达全国各地，特别是边远山区的小水电职工手中，该书出版后3年内，中国计划出版社全权委托信誉高、实力强的杭州钱江科技书社独家发行。

这套教材在编写过程中，各位编审人员竭尽心血，付出了艰辛的劳动，使教材具有相当好的质量与较高的水平，在国内具有一定的权威性。但由于工作量大，专业范围广，仍然难免存在一些疏漏与不足之处，热忱欢迎广大读者批评指正。

《新编全国小水电培训教材》编委会

1999年9月

目 录

第一章 水电站计算机监控的意义	(1)
第一节 水电站自动控制系统的划分	(1)
第二节 水电站自动控制系统的发展	(12)
第三节 水电站计算机监控的意义和内容	(19)
复习思考题	(29)
第二章 水电站计算机监控的基本概念	(30)
第一节 数制	(30)
第二节 逻辑代数与数字电路	(34)
第三节 计算机监控基本概念	(43)
第四节 计算机监控系统典型结构	(61)
复习思考题	(76)
第三章 水轮发电机组计算机监控系统	(77)
第一节 计算机监控系统原理	(77)
第二节 计算机监控系统调试与维护	(92)
复习思考题	(101)
第四章 辅助设备计算机监控系统	(102)
第一节 主阀计算机监控系统	(102)
第二节 辅助设备计算机监控系统	(110)
复习思考题	(122)
第五章 水电站计算机测量	(123)
第一节 电气量测量	(123)
第二节 非电气量测量	(129)
复习思考题	(138)
第六章 中央音响信号系统与断路器的计算机监控	(140)
第一节 计算机监控原理	(140)
第二节 计算机监控的调试与维护	(150)

复习思考题	(153)
第七章 水电站计算机监控系统的上位机	(154)
第一节 上位机的功能	(154)
第二节 上位机的操作	(159)
第三节 上位机的维护	(166)
复习思考题	(185)
第八章 水电站计算机监控系统的通信	(187)
第一节 通信方式	(187)
第二节 通信的调试与维护	(196)
复习思考题	(201)
第九章 水电站计算机监控系统的可靠性和干扰问题	(202)
第一节 监控系统的可靠性	(202)
第二节 监控系统干扰的主要来源和干扰的后果	(205)
第三节 提高可靠性和抗干扰能力的措施	(207)
复习思考题	(215)
第十章 水电站计算机保护	(216)
第一节 计算机保护的构成	(216)
第二节 计算机保护的调试与维护	(220)
复习思考题	(222)
第十一章 水电站计算机监控系统发展趋势	(223)
第一节 监控系统技术发展趋势	(223)
第二节 监控系统设备发展趋势	(227)
复习思考题	(233)
附录一 常用电气图形符号示例	(235)
附录二 常用电气文字符号示例	(239)
参考答案	(240)
参考文献	(241)

第一章 水电站计算机监控的意义

教学要求：通过本章学习，要求初级工、中级工了解，高级工熟悉水电站自动控制系统

的划分、水电站自动控制系统的发展、水电站计算机监控的意义和内容。

第一节 水电站自动控制系统的划分

一、水电站自动控制的目的

中小水电站自动控制的目的就是要保证水电站水轮发电机组可靠、稳定、安全运行，保证水轮发电机组发出的电能的质量，维持水电站所在区域电网及地区电网运行的稳定性及安全性，加快水电站机组调节速度及整个电站反事故速度，实现水电站优化运行，提高劳动生产率，减少运行人员，降低电站运行费用，减轻运行人员劳动强度，使水电站实现远方控制，实现无人值班或少人值班。

（一）提高水电站设备运行的可靠性

水电站设备在运行过程中出现的不正常状态及事故情况往往具有突发性，运行人员若发现不及时或处置不当，会造成设备损坏或事故扩大，若运行人员在处理事故的紧急关头，发生误操作，则危害更大。而在水电站中采用自动控制系统，电站设备的控制、监测、保护由自动装置完成，则可避免上述情况。

水电站自动控制系统能准确而又迅速地反映水电站各设备运行状态及参数。当水电站设备的运行状态及参数出现不正常情况时，控制系统自动发出告警信号，引起运行人员注意或由运行人员处理；当水电站设备出现事故时，电站自动控制系统能及时作用于停机，避免水电站设备损坏或事故扩大，保证了水电站设备运行的可靠性，从而也保证了电网运行的可靠性。

水电站采用自动控制后，由运行人员直接操作的设备大为减少，操作步骤也大大减少，发生误操作的可能性也大大降低，避免了因人为因素而降低设备运行的可靠性。因此，在水电站中采用自动控制，可大大提高水电站设备运行的可靠性。

（二）提高水电站发出的电能质量和电网运行的稳定性

众所周知，在广大山区、农村和边远地区，有相当多的地方大电网延伸不到，而绝大多数的中小水电站也主要集中在山区、农村和边远地区，因此产生了由中小水电站形成的相对独立的区域供电电网或地区供电电网。在这些电网中，水电站在提供电力方面起了主要作用。随着山区和农村工农业的发展及农村电气化实现，人民生活水平的不断提高和家用电器的不断增加，早期对电的低层次的需求——如照明、农副产品的粗加工等也在悄悄地发生变化，逐渐提高了对电的需求的层次，由此，对水电站发出的电能的质量和电网运行的稳定性

提出了较高的要求。

对于孤立运行的水电站、机组或在区域电网中担任调频任务的水电站、机组,在频率和电压调节过程中,对频率和电压的偏差有较高的要求,允许的偏差很小,若靠人工调节,不仅运行人员的劳动强度大,而且调节质量差,难以达到频率调节和电压调节的质量要求,不能保证频率和电压的恒定,因此只有依靠自动控制设备才能完成。在电网中担任基荷任务的水电站、机组须根据水电站来水情况或不同时刻的调度指令,按给定的有功功率和无功功率(或功率因数)运行,依靠人工控制,往往有调节滞后现象,采用自动控制即可解决这个问题。当区域电网或地区电网在运行过程中,某一电站或机组出现事故,造成电力电量发、供、用失去平衡,电网的频率、电压将下降,影响电网的稳定运行。在这种情况下,电网中其他水电站的自动控制系统将迅速进行调节或启动备用机组,以维持电力电量发供用平衡,使电网的频率、电压迅速恢复到稳定值,从而达到保证电网稳定运行的目的,而采用人工控制是难以保证的。因此,水电站自动控制系统能提高水电站发出的电能质量和电网运行的稳定性。

(三) 加快速水电站控制调节过程

水电站采用自动控制系统可加快速水电站、机组的控制调节过程。自动控制系统可按预定的逻辑控制顺序或调节规律,依次完成水电站、机组的控制调节,控制调节操作紧凑,免去人工操作在各个操作过程中的时间间隔,还免去了人工操作过程中的检查复核时间,由自动控制系统快速完成各个环节的检查复核,大大加快控制调节过程。

水电站自动控制系统的逻辑顺序控制和调节规律可由继电器或集成电路等纯硬件构成,也可由计算机硬件和软件构成。例如机组开机过程,采用人工操作,光是机组并网这一环节,有的机组经十多分钟都并不上网,运行操作人员精神高度集中紧张,弄不好还可能发生非同期合闸,给电网和机组带来冲击。采用自动控制系统、自动控制设备并网,机组的频率、电压自动迅速跟踪电网的频率、电压,当频率、电压、相位差满足并网合闸要求后,机组自动并网,并网时间很短,一般只需一、二分钟即可解决问题,时间短的只需半分钟就可并上网,机组能够很快地带上负荷运行,这不仅大大加快了操作速度,而且还减少了机组空载时的水量浪费。尤其是对于在区域电网和地区电网中担负事故备用的机组,能够快速地启动带上负荷进行调节是非常重要的,当区域电网或地区电网出现事故时,事故备用机组必须能快速地启动、并入电网,带上负荷进行调节运行。

(四) 实现水电站优化运行

水电站自动控制系统与机组自动控制系统相结合,使电站自动控制系统能按优化运行方案给机组分配有功功率和无功功率,让机组运行在高效率区。

根据国内外资料表明,在水电站实行优化运行,可最大限度地利用水能,水能利用率能提高4%~5%,如果从机组的角度来看,就相当于机组的效率提高了4%~5%。然而这对于现代水轮发电机组来讲,机组本身的效率已很高,要提高机组的效率,哪怕是0.5%~1%,都要利用现代高新技术,技术难度可想而知。而利用优化运行,同样多的水可发出更多的电能,比通过提高机组本身的效率来增加电能要容易得多;对于径流式电站,由于没有水库,属于来多少水发多少电的电站,是完全靠天吃饭的电站,利用水电站控制系统和机组控制系统可使机组按上游水位运行,防止因来水过多造成弃水或因上游水位过低造成机组运行效率大大下降或造成转轮空化。由此可见,机组自动控制系统提高水能利用率的潜力是很

大的，自动控制系统实现水电站优化运行的作用是很大的。

(五) 减轻运行人员劳动强度，减少运行人员

水电站自动控制系统取代了运行操作人员对水电站设备的控制调节操作，水电站运行人员对设备的操作工作量大大减少，可大大减轻运行人员的劳动强度，减少电站的运行人员，使水电站实现少人值班或者无人值班。由于运行人员减少，电站生活设施等基础设施也可以相应地减少、简化，降低了电站的造价；水电站运行人员减少的同时，也减少水电站的运行费用及发电成本。

二、水电站自动控制系统的划分

水电站自动控制系统，可以按下面几种情况划分：按被控制调节对象划分、按自动化程度划分、按自动控制系统的设备构成划分、按自动控制调节规律划分、按控制反馈方式划分、按控制距离的远近划分。

下面分别讲述这几种情况。

(一) 按被控制调节对象划分

水电站内设备众多，若用一个集中的自动控制系统来完成整个水电站的控制、调节、保护是很困难的，无论这个控制系统是常规的自动控制系统，还是计算机数字式自动控制系统都是困难的，控制系统的性能是难以满足整个小水电站所有设备的自动控制的要求。因此，水电站的控制系统是针对不同的被控制调节对象而组成分层次的分布式控制系统，低层次的控制系统由高一层次或更高层次的控制系统控制管理，水电站控制系统按被控制调节对象可划分为电网层、电站层、机组层及功能单元层等几个层次的控制系统，各层次控制系统可以完成各自的控制、调节等功能，又能有机组成一个整体，完成水电站控制，水电站控制系统层次划分示意图见图 1-1。

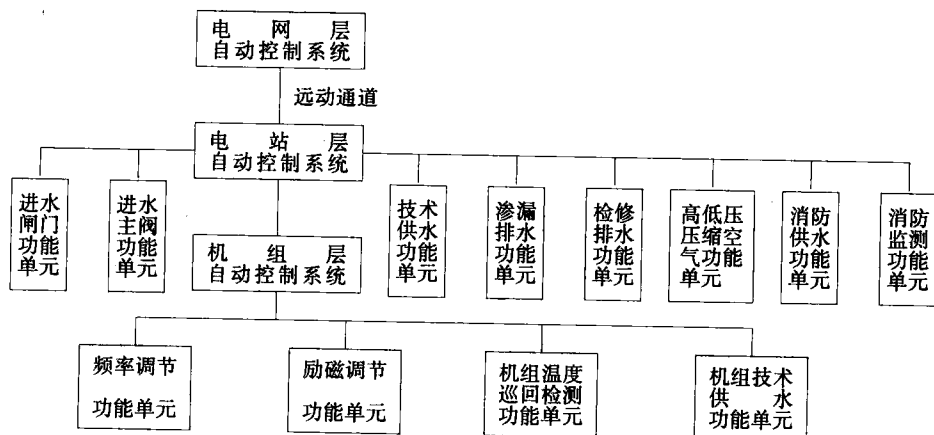


图 1-1 水电站控制系统层次划分示意

1. 电网层控制系统

水电站电网层自动控制系统主要是指调度自动化系统，调度自动化的作用就是对电网的发、供、用进行调度、控制，平衡发、供、用电量，控制电网的频率与电压，保证电网的稳定运行。调度层的控制系统一般是由计算机调度自动化系统来完成，调度端的计算机通过远

动通道（如电力载波、无线、光纤、邮电专线等），实现对各水电站、变电站进行遥控、遥测、遥调、遥信，采集各水电站和变电站的运行情况、运行参数、断路器分合情况、事故情况等，根据调度端计算机中预定的调度方案及电网的频率、电压，对各水电站、变电站进行控制调节。水电站电网层控制系统还根据电网的潮流及发、供、用电情况对水电站、变电站进行优化调度，实现电网的优化运行。

2. 电站层控制系统

水电站电站层自动控制系统主要是水电站监控系统。若是常规自动控制系统，即为中央控制室的中控台或集控台加动态模拟返回屏（若有的话）；若是计算机数字式控制系统，则就是中央控制室的计算机监控系统，如果水电站需要的话，还可配上计算机控制的动态模拟返回屏。

对于并入电网运行的水电站，常规自动控制系统和水电站计算机监控系统一样，将完成水电站所有机组、所有设备的控制调节。但水电站计算机监控系统还将实现水电站站内优化运行，确定水电站站内机组起停台数，合理分配各机组间负荷，记录打印水电站运行情况、运行参数，通过远动通道，向调度端计算机发送电站运行参数及运行情况，接收调度端计算机发出的控制、调节指令，调整水电站运行情况及运行参数。在电网中担负调频任务的水电站，其计算机监控系统将和调度自动化系统中调度端的计算机一起，通过调节水电站站内机组的运行，保证电网的频率和电压。孤立运行的水电站计算机监控系统，作用类似于在电网中担负调频任务的水电站计算机监控系统，但孤立运行的水电站计算机监控系统，没有电网的调度端计算机，因而也就不需要向调度端计算机发送水电站运行情况、运行参数及接收调度端计算机控制调节指令。

3. 机组层控制系统

机组层控制系统主要是指水轮发电机组自动控制系统。

常规机组自动控制系统主要完成机组开停机顺序控制及机组的频率（有功功率）、电压（无功功率）调节，受控于水电站中控室的中控台或集控台，或由运行操作人员在机组自动控制屏上直接操作，机组的保护、运行参数的指示测量，则由其他的屏柜完成。

机组计算机控制系统功能则要比常规机组自动控制系统强。常规自动控制系统具有的功能，计算机控制系统均具有，象机组的开停机顺序控制，机组的频率（有功功率）、电压（无功功率）的调节，可由电站运行人员在水电站计算机监控系统的机组就地控制屏上直接操作，也可受控于水电站中控室常规的中控台或水电站计算机监控系统电站层的计算机。机组计算机控制系统可与电站层计算机监控系统直接进行数据通信，机组计算机控制系统向电站层计算机监控系统发送机组的运行情况及运行参数，并接收电站层计算机监控系统的控制调节指令。机组计算机控制系统往往同时还具有测量、保护功能，这与常规自动控制系统不同，把测量、保护集于一体。巡回测量值用数字进行显示，当机组计算机控制系统检测到机组出现电气事故或机械事故，机组计算机控制系统自动处理机组的事故，分发电机出口断路器，停机并进行报警，如若需要，机组计算机控制系统还可配置打印机，用于打印机组运行情况、机组运行参数及机组事故记录。

4. 功能单元层控制系统

水电站自动控制系统除电网层、电站层、机组层外，还有一些特定的功能单元层控制系

统。功能单元层控制系统是针对上述三种层次的综合自动控制系统而言，综合自动控制系统完成控制、调节、保护等综合功能。功能单元层主要完成某一功能设备的控制、调节、保护，功能单元层受控于电网层、电站层、机组层，是这些层次控制系统的子系统及基础自动化系统，也是对这些层次控制系统的功能的强化。

水电站功能单元层控制系统主要是水电站附属设备的控制系统，有水轮发电机组的频率控制调节系统、发电机的励磁控制调节系统、机组技术供水控制系统、机组有关部位温度巡回检测系统、渗漏排水控制系统、检修排水控制系统、高低压压缩空气控制系统、主阀启闭控制系统、进水闸门启闭控制系统、消防供水控制系统及消防监测控制系统等。机组频率控制调节由机组调速系统完成，调速系统可以是机械液压调速器、电气液压调速器或微机液压调速器；发电机的励磁控制调节系统可以是电磁型、静态集成电路型或微机型；机组有关部位温度巡回检测系统及消防监测控制系统，目前一般为微机型，其余的功能单元层控制系统可以是常规自动控制系统，也可以是计算机控制系统。

(二) 按自动化程度划分

水电站自动控制系统按自动化程度可划分为全自动控制系统、半自动控制系统和人工控制。

1. 全自动控制系统

1) 电网层全自动控制系统

电网层全自动控制系统目前一般就是由计算机监控系统构成的调度自动化系统。

要在电网层实现调度自动化，不仅要求在调度端配置计算机，同时要求在被调度的水电站、变电站也配有计算机监控系统。采用常规自动控制系统的水电站、变电站要求配有远方终端 RTU，实时采集水电站、变电站运行情况、运行参数，通过远动通道发送给调度端计算机，调度端计算机对水电站、变电站发出的控制、调节指令也通过远动通道发送给水电站、变电站的计算机监控系统或常规电站的 RTU。通过这样的调度自动化系统，调度端的计算机就可以对水电站、变电站进行遥测、遥信、遥控、遥调，对水电站、变电站实现“四遥”，进行远方控制操作。电网的调度指令可由调度员在调度端计算机上进行操作发出，也可由调度端计算机根据预定的优化调度软件及电网反事故方案，对水电站、变电站发出调度指令。电网层全自动控制系统对电网运行、调度、优化调度进行自动控制管理，实现整个电网遥信、遥控、遥测、遥调。

2) 电站层全自动控制系统

电站层全自动控制系统按采用的控制设备的种类可分为二类，即常规自动控制系统和水电站计算机监控系统。

目前水电站普遍采用的是常规自动控制系统，水电站运行操作人员在中控室的集控台上可对水电站机组进行开停机操作、调节，对电站设备的运行进行监视。水电站常规自动控制系统的缺点就是不能自动进行水电站的优化运行，不能自动记录水电站的运行情况、运行参数，难以和电网调度自动化系统连接，若要与调度自动化系统相连，就需增加远方终端 RTU、变送器、传感器等设备，增加了设备数量，有些设备还产生了重复设置（如增加的脉冲电度表与原普通电度表重复），增加了投资费用，同时常规自动控制系统分立元器件多，占地面积大，但常规自动控制系统的优点就是使用较普遍，运行经验较多。

另一类电站层自动控制系统就是先进的水电站计算机监控系统，不仅具有常规水电站自动控制系统的功能，还弥补了其缺点。水电站计算机监控系统不仅能对水电站机组进行开停机操作、调节，监视水电站设备的运行情况，还能自动记录水电站设备的运行情况、运行参数及事故情况，能自动根据中长期洪水预报及实时雨量检测，进行水电站的优化运行。水电站计算机监控系统可直接作为调度自动化系统的厂站端，取代常规自动控制电站中需增加的RTU，通过远动通道向调度端计算机发送电站运行参数，接收调度指令，也避免了在水电站实现调度自动化时设备的重复设置和二次投资；并且具有设备结构紧凑，占地面积小，减少厂房土建投资，能够实现水电站无人值班或少人值班。由于水电站计算机监控系统具有上述优点，且逐步被人们所认识，因此，许多新建的水电站及老电站的技术改造，开始采用计算机控制技术或局部采用计算机控制技术。

3) 机组层全自动控制系统

机组自动控制系统也分为二类，机组常规自动控制系统和机组计算机监控系统。

机组常规自动控制系统受电站自动控制系统控制，完成机组开停机、调节。常规的机组自动控制系统不能自动完成机组的调节，一般需配上常规测量仪表和保护装置才能完成机组测量、保护。

机组计算机监控系统则把机组的控制、调节、测量、保护有机地结合在一起，除受电站控制系统控制完成机组开停机、调节，还能独立完成机组的控制、调节。在需要的情况下，机组计算机监控系统还可配上打印设备，打印机组运行情况、运行参数、事故情况。当电站层具有计算机监控系统，机组计算机监控系统可直接与电站层计算机监控系统进行数据通信，把机组的运行情况、运行参数发送到电站层计算机监控系统，接收电站层计算机监控系统控制、调节指令。当水电站电站层控制系统为常规控制系统，机组计算机监控系统可通过外部接点与集控台相连，并可直接通过远动通道与调度自动化系统的调度端计算机连接，向调度端计算机发送机组运行情况、运行参数，接收调度控制、调节指令。由此可见，机组计算机监控系统可实现机组无人值班或少人值班。

2. 半自动控制系统

1) 电网层半自动控制系统

电网层半自动控制系统在调度端配置电网监测计算机系统，通过远动通道，电网监测计算机采集电网运行情况、运行参数，自动记录电网运行情况、运行参数，对水电站、变电站进行遥测、遥信，完成“二遥”功能。电网监测计算机不能通过远动通道对水电站、变电站发出调度指令，进行遥控、遥调，电网的调度指令要由调度端的调度员通过调度电话向水电站、变电站运行操作人员发出，水电站、变电站运行操作人员根据调度指令对水电站、变电站设备进行控制调节。电网的优化调度也是由调度端的调度员人工进行的，电网层半自动控制系统不能自动进行优化调度。

2) 电站层半自动控制系统

对于采用常规自动控制系统的水电站来讲，在某种意义上也属于半自动控制系统，因其不能自动记录电站运行情况、运行参数。对于上层电网层控制系统来讲，需借助远方终端RTU才能与电网调度端计算机构成调度自动化系统。

在采用水电站计算机监控系统的水电站，若电网未建立调度自动化系统，则电网对水电站

的调度就不能实现自动；再若电站一些设备的基础自动化水平低，基础自动化水平差的设备则需由电站运行人员进行控制操作，水电站计算机监控系统也就不能实现全自动控制。水电站计算机监控系统如果没有配置优化运行软件，也就不能自动进行水电站优化运行。

3) 机组层半自动控制系统

机组层半自动控制系统或计算机监控系统构成的机组层半自动控制系统，通常只能完成机组的部分自动控制、调节功能，如机组的开停机控制操作，机组的频率（有功功率）、电压（无功功率）调节等，其余的由电站运行人员操作，如开机时机组的技术供水控制，停机时机组的制动控制。

3. 人工控制

人工控制较简单，顾名思义，电网、电站、机组所有的控制调节均由人工进行。

1) 电网层人工控制

电网层人工控制即电网的调度、监测均由人工进行。电网调度端调度员通过调度电话向电站、变电站运行操作人员发出调度指令，对电网的运行进行控制调节，进行电网优化运行。水电站、变电站运行人员通过调度电话向调度员报告电站、变电站运行情况、运行参数。

2) 电站层人工控制

电站层人工控制由电站运行人员控制电站所有运行参数，并对设备进行操作，这在容量较小的水电站较多见。

3) 机组层人工控制

机组层人工控制即由电站运行人员对机组的所有运行参数及操作进行人工控制，这在容量较小的水电站较多见。

（三）按自动控制系统的设备构成划分

按自动控制系统的设备构成可划分为常规自动控制系统、静态集成电路控制系统及计算机数字控制系统。

1. 常规自动控制系统

常规自动控制系统是属于传统的电磁式控制系统，由继电器构成控制系统，主要完成逻辑顺序控制，例如机组的开停机顺序控制，还有一些功能单元控制，如技术供水控制系统，渗漏排水控制系统。目前，水电站普遍采用常规自动控制系统，但常规自动控制系统难以实现水电站的自动调节。

2. 静态集成电路控制系统

由于水电站常规自动控制系统不能实现水电站自动调节，静态集成电路控制系统的产生，弥补了常规自动控制系统不能调节的缺点。静态集成电路控制系统由硬件电路构成水电站的自动控制调节回路，可实现水电站的闭环控制。已运行的水电站一般是由常规自动控制系统和静态集成电路控制系统相配合完成水电站的自动控制调节。静态集成电路还可构成水电站的自动保护装置，利用静态集成电路保护装置可取代保护继电器构成的保护装置，具有保护动作灵敏的特点。

3. 计算机数字控制系统

计算机数字控制系统即利用计算机硬件、软件构成的控制系统。计算机数字控制系统利

用计算机硬件和软件相结合的控制技术,完成水电站自动控制、调节、测量、保护、参数记录等功能,功能完善,技术先进,是水电站自动控制系统未来发展方向。

(四) 按自动控制调节规律划分

按自动控制调节规律划分,也即按控制系统的控制输出划分,自动控制系统可分为双位控制、比例控制(P)、积分控制(I)、比例积分控制(PI)、比例微分控制(PD)及比例积分微分控制(PID),在水电站自动控制中,应用最多的调节规律为双位控制、比例控制(P)、比例积分微分控制(PID)。这里,对上述六种控制调节规律作一简单介绍。

1. 双位控制

在双位控制中,控制输出不是通就是断,类似于继电器输出的通和断,因此也称为继电器型控制,双位控制的控制规律很简单,但是应用非常广泛。

双位控制的输出只有二种状态,用逻辑代数的0和1可表示这二种状态,0相当于继电器的断,1相当于继电器的通。双位控制的输入信号 $x(t)$ 与某一参数 C 进行比较(参数 C 通常情况下为一常数),根据比较的结果来确定双位控制的输出信号 $y(t)$,双位控制函数关系为:

$$y(t) = \begin{cases} 1, & x(t) \geq C \\ 0, & x(t) < C \end{cases} \quad (1-1)$$

或

$$y(t) = \begin{cases} 1, & x(t) \leq C \\ 0, & x(t) > C \end{cases} \quad (1-2)$$

式中 $y(t)$ —— 随时间变化的输出变量,输出状态为0或1;

$x(t)$ —— 随时间变化的输入变量;

C —— 输入变量与之比较的常数。

水电站的过电流、过电压保护即为式(1-1)双位控制的函数关系。当电站机组发生过电流或过电压时,有 $I(t) \geq I_{\text{整定}}, U(t) \geq U_{\text{整定}}$,过电流、过电压继电器动作,接通相应的保护动作回路和报警回路,有 $y(t) = 1$;当机组运行正常时, $I(t) < I_{\text{整定}}, U(t) < U_{\text{整定}}$,过电流、过电压继电器不动作, $y(t) = 0$ 。水电站机组的欠电压、低频保护即为式(1-2)双位控制的函数关系。当机组发生欠电压、低频时, $U(t) \leq U_{\text{整定}}, f(t) \leq f_{\text{整定}}$,欠电压、低频保护动作,接通相应的保护和报警回路,有 $y(t) = 1$;当机组运行正常时, $U(t) > U_{\text{整定}}, f(t) > f_{\text{整定}}$,欠电压、低频保护不动作, $y(t) = 0$ 。

2. 比例控制(P控制)

比例控制(P)就是控制的输出信号 $y(t)$ 与输入信号 $x(t)$ 成比例,函数关系为比例关系:

$$y(t) = K_p x(t) \quad (1-3)$$

式中 $y(t)$ —— 随时间变化的输出变量;

K_p —— 可调比例常数,称比例灵敏度或增益;

$x(t)$ —— 随时间变化的输入变量。

比例控制关系在水电站自动控制系统中也较常见,例如水轮发电机组机械调速器中针阀的开口大小就是与机组的频率变化存在比例关系,针阀的开口 $\delta(t) = K_p \cdot \Delta f(t)$ 。