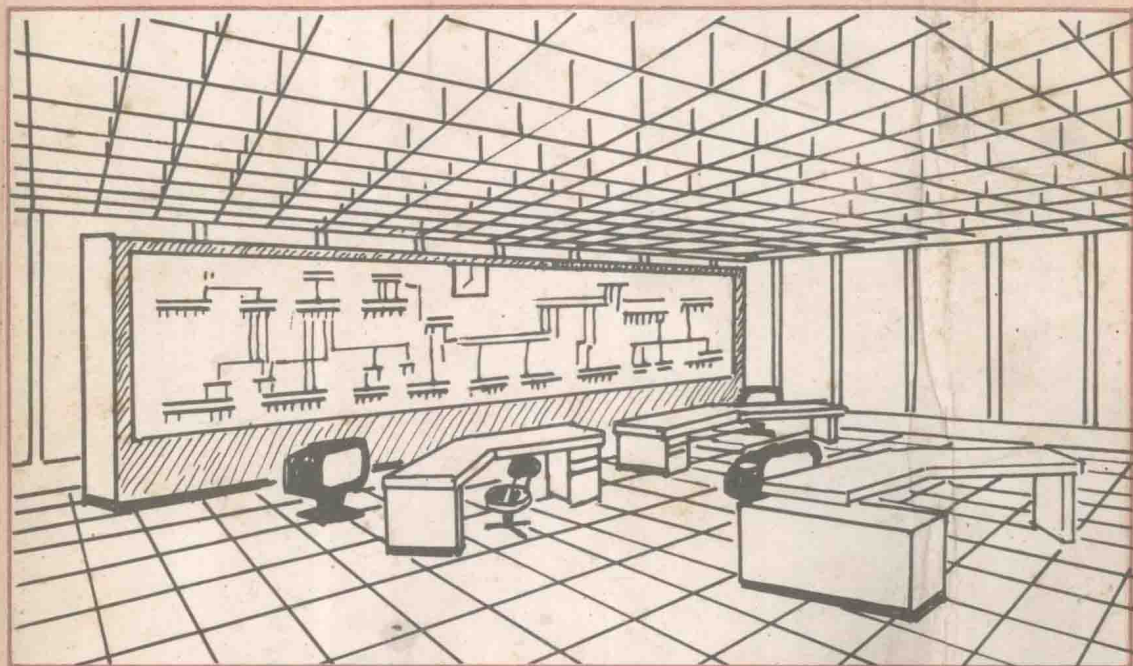


# 电力系统

## 运行控制与调度自动化

王士政 编



河海大学出版社

# 电力系统 运行控制与调度自动化

王士政 编

河海大学出版社

责任编辑：魏 连

封面设计：张五力

电力系统运行控制与调度自动化

王士政 编

※

河海大学出版社出版

(江苏南京市西康路1号)

江苏省新华书店发行

南京展望电脑信息公司电脑排版

南京陆军指挥学院印刷厂印刷

※

开本：787×1092毫米 1/16 印张：23 字数：558千字

1990年8月第一版 1990年8月第一次印刷 印数：1-6000册

※

ISBN 7-5630-0219-7/TM.12

定价：7.80元

## 内容提要

本书系统地介绍了电力系统运行控制与调度自动化技术所涉及的各方面知识。内容包括调度计算机系统的硬件配置及软件系统，远方终端及信息传输，电力系统的频率控制、电压控制、安全控制、运行费用控制，供电网调度自动化特点及县调自动化，电力负荷控制技术。

本书可作为大专院校有关专业选修课教材或教学参考书。亦适合作为有关专业的专业证书班、培训班教材。同时，可供从事电力调度、电气运行及供用电管理工作的技术人员及各级电力企业领导干部参考。

## 前 言

电力工业在国民经济中的地位是人所共知的。随着国民经济的发展，近年来我国电力工业发展很快。全国装机容量已经超过一亿千瓦，许多大型骨干电站还在加紧建设之中。随着电网规模的不断扩大，电网结构也更加复杂，对电力系统运行控制所提出的要求也更高了。面对越来越多的电网实时信息，如果没有自动化监控手段的支持，电力系统安全、经济、优质的运行目标就难以实现。因此实现电网调度自动化已是当前电力工业发展的迫切需要。

我国现有大区网调、省调、地调近 300 个，而在不同程度上实现了数据采集和监视处理等自动化功能的调度中心只不过几十个。要在本世纪末完成近 300 个调度自动化工程，任务是很艰巨的。如果再在县调一级普遍建设调度自动化系统，难度更是可想而知了。

电力调度自动化是一门综合性技术。它涉及到电力系统运行控制理论、计算机技术和通信技术等各方面知识。虽然在这些领域都有许多专著，但是还缺少适合教学及各种层次培训使用的系统性综合性教材。本书是作为这样的一本教材而编写的，内容包括电力系统运行控制理论、电力系统通信基本知识、电网调度自动化系统功能、计算机系统硬件配置及其软件系统、供电网调度自动化的特点及县级调度自动化、电力负荷控制技术等。在最后一章介绍了调度自动化技术的未来发展、电力系统的综合自动化以及专家系统在电力调度自动化方面的应用。

这些内容几乎覆盖了电力系统运行控制与调度自动化的所有方面。要把如此广泛的内容编入在一本 50 多万字的书中，深感个人知识和概括能力的不足。所幸在编写过程中，作者得到了能源部南京自动化研究所、南京自动化设备厂和河海大学电力工程系许多同志的帮助，终于使本书能与读者见面。特别是南京自动化研究所王元林、李福生二位调度自动化方面的专家在繁忙的工作中抽出时间审阅书稿，并提许多宝贵意见，给作者很大帮助，谨在此表示由衷的感谢。此外，河海大学电力系洪佩孙教授、南京电力自动化设备厂严隽钰、蒋宝中高级工程师、南京自动化研究所陈维千高级工程师和张甲社工程师也帮助审阅了部分章节，南京自动化研究所钟卫丽、姚和平同志提供了部分资料，在此一并表示感谢。

由于自动化领域发展迅速，新技术新设备不断出现，加之作者水平所限，书中一定有不少陈旧和错误之处，恳请这一领域的专家和广大读者予以指正。

编 者

1990 年 8 月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章</b>	<b>电力系统运行控制与调度自动化概论</b> .....	(1)
第一节	电力系统运行控制的复杂性 .....	(1)
第二节	电力系统调度中心的任务 .....	(1)
第三节	电力系统的分级控制和各级调度中心的分工 .....	(3)
第四节	电力系统调度自动化的发展情况 .....	(5)
第五节	电网调度自动化系统功能简介 .....	(7)
第六节	电网调度自动化系统的设备构成 .....	(8)
<b>第二章</b>	<b>电力系统的信息传输</b> .....	(11)
第一节	信息传输的基本知识 .....	(11)
第二节	数字信号传输系统的构成 .....	(15)
第三节	调制与解调 .....	(17)
第四节	信息传输通道及通信方式 .....	(19)
第五节	串行通信的信息格式 .....	(24)
第六节	差错控制措施 .....	(25)
第七节	信息传输的同步问题 .....	(31)
第八节	循环式和问答式信息交换 .....	(32)
第九节	通信规程 .....	(35)
<b>第三章</b>	<b>电力系统信息的采集发送和接收</b> .....	(43)
第一节	电力系统控制所需的信息 .....	(43)
第二节	远方终端(RTU) .....	(44)
第三节	开关量的采集 .....	(50)
第四节	模拟量的采集 .....	(51)
第五节	数据的预处理 .....	(63)
第六节	数据的发送和接收 .....	(65)
<b>第四章</b>	<b>电力系统的频率控制</b> .....	(71)
第一节	电力系统频率控制的意義和方法 .....	(71)
第二节	电力系统的频率特性 .....	(72)
第三节	电力系统的频率调整 .....	(74)

第四节	电力系统的自动调频方法	( 80 )
第五节	日发电计划的编制	( 89 )
第六节	电力系统频率异常的控制	( 94 )
<b>第五章</b>	<b>电力系统的电压控制</b>	<b>( 101 )</b>
第一节	电力系统电压控制的意义	( 101 )
第二节	电力系统的无功平衡与系统电压水平	( 102 )
第三节	电力系统中的无功电源	( 106 )
第四节	电力系统中的无功负荷	( 110 )
第五节	电力系统的电压管理	( 111 )
第六节	电力系统的电压调节方法	( 114 )
第七节	电力系统电压的自动调节(自动励磁调节)	( 125 )
<b>第六章</b>	<b>电力系统的安全控制</b>	<b>( 141 )</b>
第一节	电力系统安全控制的意义	( 141 )
第二节	电力系统运行状态及其安全控制	( 143 )
第三节	正常状态(含警戒状态)的安全控制	( 146 )
第四节	紧急状态的安全控制	( 150 )
第五节	恢复状态的安全控制	( 162 )
第六节	电力系统安全控制的总框图	( 167 )
第七节	电力系统的静态安全分析	( 169 )
第八节	电力系统的动态安全分析	( 176 )
<b>第七章</b>	<b>电力系统的运行费用控制</b>	<b>( 179 )</b>
第一节	电力系统运行费用控制概述	( 179 )
第二节	电力系统的负荷预测	( 181 )
第三节	电力系统有功负荷的经济分配	( 184 )
第四节	电力系统无功负荷的经济分配	( 191 )
第五节	电力系统计算机离线和在线经济调度	( 191 )
<b>第八章</b>	<b>电力调度自动化的计算机系统</b>	<b>( 195 )</b>
第一节	电力调度自动化系统的计算机硬件设备	( 195 )
第二节	电力调度自动化系统的典型配置	( 203 )
第三节	电力调度自动化计算机系统的性能和特点	( 206 )
第四节	国内外几个电网调度自动化系统简介	( 210 )
<b>第九章</b>	<b>电力调度自动化的计算机软件系统</b>	<b>( 220 )</b>
第一节	系统软件	( 220 )
第二节	数据库系统	( 224 )

第三节	人机联系系统 .....	( 229 )
第四节	信息收集系统 .....	( 237 )
第五节	电力系统应用软件(PAS) .....	( 238 )
第六节	自动发电控制软件(AGC) .....	( 241 )
第七节	状态估计软件(SE) .....	( 248 )
第八节	在线安全分析软件包简介 .....	( 256 )
第九节	调度员培训仿真器 .....	( 261 )
<b>第十章</b>	<b>供电网调度自动化 .....</b>	<b>( 264 )</b>
第一节	概述 .....	( 264 )
第二节	国外配电自动化系统简介 .....	( 265 )
第三节	配电自动化系统的构成 .....	( 267 )
第四节	配电自动化的通信系统 .....	( 268 )
第五节	配电自动化系统的功能 .....	( 272 )
第六节	配电自动化系统的效益 .....	( 280 )
第七节	县级调度自动化系统 .....	( 284 )
第八节	几种适用于地县供电网的调度自动化系统和设备 .....	( 291 )
<b>第十一章</b>	<b>电力负荷控制技术 .....</b>	<b>( 310 )</b>
第一节	电力负荷控制的必要性及其经济效益 .....	( 310 )
第二节	分散控制的电力负荷监控装置 .....	( 311 )
第三节	工频负荷控制系统 .....	( 313 )
第四节	音频负荷控制系统 .....	( 318 )
第五节	电力线载波负荷控制系统 .....	( 325 )
第六节	无线电负荷控制系统 .....	( 327 )
第七节	电话网复用负荷控制系统 .....	( 334 )
第八节	各种负荷控制方式的比较 .....	( 339 )
<b>第十二章</b>	<b>电力系统综合自动化展望 .....</b>	<b>( 340 )</b>
第一节	未来的电力监控计算机系统 .....	( 340 )
第二节	电力系统的综合自动化 .....	( 343 )
第三节	专家系统在电力调度自动化中的应用 .....	( 347 )
<b>参考书目</b>	<b>.....</b>	<b>( 358 )</b>



# 第一章 电力系统运行控制与调度自动化概论

## 第一节 电力系统运行控制的复杂性

现代社会里存在着各种各样的工业生产系统，但是没有哪一种系统能象现代电力系统这样庞大和复杂！一个规模巨大的现代电力系统往往覆盖几十万甚至几百万平方公里的辽阔国土，联接着广大城乡的每一个厂矿、机关、学校以及千家万户，它的成千上万公里的高低电压输电线路象蜘蛛网一样纵横交错，各种规模的火力、水力发电厂和变电站遍布各地有如星罗棋布，系统的各种运行参数互相影响，瞬息万变……。因而，现代电力系统已被公认为是一种最典型的具有多输入，多输出的大系统。

现代电力系统的运行控制，与其它各种工业生产系统相比，更为集中统一，也更为复杂。各种发电、变电、输电配电和用电设备，在同一瞬间，按着同一节奏，遵循着统一的规律，有条不紊地运行着。各个环节环环相接，严密和谐，不能有半点差错。电能不能象其它工业产品那样，可以储存以调剂余缺，而是需用多少就发出多少。然而，大大小小的工厂和千家万户的用电设备的开开停停，却是随机的。电力系统的用电负荷时时刻刻都在变化着，发电及其它供电环节必须随时跟踪用电负荷的变化，不断进行控制和调整。可以想像到这种运行控制任务有多么复杂和繁重。不仅如此，由于电力生产设备是年复一年日复一日地连续运转，有些主要环节几年才能检修一次，因此它们随时都有可能发生故障。另外还存在着风雪雷电等无法抗拒的自然灾害，又增加了发生故障的概率。而电力系统一旦发生事故，就会在一瞬间影响到非常广大的地区，危害十分严重，必须及时地发现和排除。所有这一切，都决定了现代电力系统必须要有一个强有力的，拥有各种现代化手段，能够保证电力系统安全经济运行的指挥控制中心，这就是电力系统的调度中心。

控制指挥这样巨大复杂的电力系统，决不是一个人或几个人可以承担得了的。实际上，每时每刻控制驾驭着这个巨大系统的，是各级调度中心(所)的调度人员和遍布各地的发电厂、变电站值班运行人员。他们凭借各种各样的仪表和自动化监控设备，齐心协力，严密配合，共同完成对电力系统的运行控制。

## 第二节 电力系统调度中心的任务

电力系统调度中心的任务，简单地说，就是集中地控制指挥整个电力系统的正常运行，安全经济地向所有用户提供合乎质量的电能；在电力系统发生偶然事故的时候，迅速切除故障，防止事故扩大，尽早恢复电力系统的正常运行。

具体地说，电力系统调度中心的任务包含以下几个方面：

### 一、保证电力系统运行的安全

电力企业的职工都知道，电力生产中最常提的口号是“安全第一”。安全，就是不发生

事故，这是电力企业的头等大事。因为人们都了解，电力系统一旦发生事故，其危害是非常严重的，轻者导致电气设备的损坏，使少数用户停电，给生产造成一定的损失，重者则波及到系统的广大区域，甚至引起整个电力系统的瓦解，使成千上万的户失去供电，使生产设备受到大规模严重破坏，甚至造成人员的伤亡，使国民经济遭受极其巨大的损失。因此，努力保证电力系统的安全运行，不发生或少发生事故，即使发生事故也将其控制在局部的小范围内，并尽快使系统恢复正常运行，这是电力系统调度中心的首要任务。

电力系统发生事故既有外因也有内因。外因如狂风、暴雨、雷电、冰雪以及地震等自然灾害；内因则是电力系统本身存在着薄弱环节、设备隐患或运行人员技术水平差等多方面因素。一般地说，电力系统的事故多半是由外因引起，又由于内部的薄弱环节而扩大。要想完全避免任何事故的发生是不可能的，但在发生事故后迅速而正确地予以处理，使事故造成的损失降低到最低限度，这却是可以办到的。要做到这点，一方面需要电力系统本身更加“强大”，发电能力和相应的输电、变电设备都留有足够的裕度，各种安全保护和自动装置非常灵敏可靠，电力系统自身具有抵抗各种事故的能力；另一方面，也和肩负电力系统运行控制重大职责的各级调度中心的调度技术水平密切相关。这里说的调度技术水平有两层含义：一是指调度人员本身的技术水平，二是指调度中心拥有的调度设备的自动化程度。调度运行人员技术水平高，有着扎实而广博的理论知识，又有长期丰富的实践经验，在事故面前临危不乱，从容镇定，自然能够做出迅速而正确的判断和处理；但如果没有现代化的调度控制手段也是不行的。现代电力系统不断扩大，结构日趋复杂，监视控制所需的实时信息越来越多，仅凭人的知识、技术和经验是越来越难于应付了。只有采用由当代最新技术装备起来的调度自动化系统，才能使调度人员真正做到统观全局，科学决策，正确指挥，保证电力系统的安全运行。

## 二. 保证电能符合质量标准

电能和其它任何产品一样，也是有严格的质量标准的，这就是频率、电压和波形三项指标。

先说一下波形。发电机发出电压的波形是正弦波，由于电力系统中各种电气设备在设计时都已充分考虑了波形问题，在一般情况下，用户得到的电压波形也是正弦波。但是，系统中也有许多装置如整流设备等会使波形畸变，所以对波形要予以监测。如果波形不是正弦波，其中就会包含许多种高次谐波成分，这对许多电子设备会有很大的不良影响，对通讯线路也会造成干扰，还会降低电动机的效率，导致发热和影响正常运行，甚至还可能使电力系统发生高次谐波谐振，使电气设备遭到严重破坏。因此，运行时要严格遵照有关规程，对波形问题给予应有的重视。

频率是电能质量标准中要求最严格的一项。频率允许的波动范围是  $50\text{Hz} \pm 0.2\text{Hz}$  (有的国家是  $\pm 0.1\text{Hz}$ )。使频率稳定的关键是保证电力系统有功功率的供求数量时时刻刻都要平衡。前已说过，负荷是随时变动的，因此，只有让发电厂的有功出力时时刻刻跟踪负荷的有功功率并随其变动而变动。以往那种调度员看到频率表指示的频率下降之后再打电话命令发电厂增加发电机出力的时代早已过去了。现在调频过程是由自动装置自动进行的。但是负荷如果突然发生了大幅度的变化，超出了自动调频的可调范围，频率还会有较大变化。例如负荷突然增加许多，系统中全部旋转备用的容量都已用上还不够时，频率就会下

降。这时就要由调度员命令增开新的发电机组。因此，调度中心总是预先进行负荷预测，安排好第二天的开机计划和系统运行方式。以避免上述情况的发生。负荷预测得准不准，日发电计划安排得合适不合适，对系统频率是否稳定有直接的影响。

电压允许变动的范围是额定电压 $\pm 5\%$ 左右。使电压稳定的关键在于系统中无功功率的供需平衡，并且最好是在系统的各个部分就地平衡，以减少大量无功功率在线路上传输。具体的调压措施有发电机的励磁调节，调相机和静止补偿器的调节，有载调压变压器的分接头调节以及电容器组的投切等。现在这些调压措施有些已经是自动进行的，有些则是按调度人员的命令由各现场值班运行人员操作调节的。

### 三. 保证电力系统运行的经济性

电力系统调度中心的任务，除了首要关注的安全问题和供电质量问题外，还要尽可能地降低发电成本，减少网络传输损失，全面地提高整个电力系统运行的经济性。对于已经投入运行的电力系统，其经济性完全取决于系统的调度方案。要在保证系统必要的安全水平的前提下，合理地安排备用容量的组合和分布，综合考虑各发电机组的性能和效率，火电厂的燃料种类或水电站的水头情况，以及各发电厂距离负荷中心的远近等多方面因素，计算并选择出一个经济性能最好的调度方案。按着此最优方案运行，将会使全系统的燃料消耗(或者发电成本)最低。但是此最优方案并不是一劳永逸的，因为它是根据某一种负荷情况而计算出来的，而负荷又是随时处在变化之中，所以每隔一个短暂时间就需重新计算新的最优方案，这样才能使系统运行始终处于最优情况。这种计算实时性强，涉及的因素多，计算量很大。显而易见，采用人工计算是无法胜任的，必须依靠调度中心的计算机系统。

## 第三节 电力系统的分级控制和各级调度中心的分工安排

由于电力系统的庞大和分布地域的辽阔，仅靠一个中央调度中心来集中统一控制指挥是不行的。必须划分若干层次，分级控制和管理。

根据我国电力系统的实际情况，目前电网调度分级是分为国家级调度、大区电网调度、省级电网调度和地区级电网调度四级。近年来由于县以下农村电气化事业的迅速发展，在许多地方都建立了县级电网调度，现已明确增设县调一级。各级调度中心的分工情况如下：

### 一. 国家调度

国家调度通过计算机数据通信网与各大区电网控制中心相连，协调、确定大区电网间的联络线潮流和运行方式，监视、统计和分析全国电网运行情况。其具体的任务包括：

1. 在线收集各大区电网和有关省网的信息，监视大区电网的重要测点工况及全国电网运行概况，并作统计分析和生产报表。
2. 进行大区互联系统的潮流、稳定、短路电流及经济运行计算，通过计算机数据通信校核计算结果的正确性，并向下传送。
3. 处理有关信息，作中、长期安全经济运行分析，并提出对策。

## 二. 大区网调

大区网调按统一调度分级管理的原则，负责超高压电网的安全运行并按规定的发用电计划及监控原则进行管理，提高电能质量和经济运行水平。具体任务包括：

1. 实现电网的数据收集和监控、经济调度以及有实用效益的安全分析。
2. 进行负荷预计，制定开停机计划和水火电经济调度的日分配计划，闭环或开环地指导自动发电控制。
3. 省(市)间和有关大区电网的供受电量的计划编制和分析。
4. 进行潮流、稳定、短路电流及离线或在线的经济运行分析计算，通过计算机数据通信校核各种分析计算的正确性，并上报、下传。
5. 进行大区电网继电保护定值计算及其调整试验。
6. 大区电网中系统性事故的处理。
7. 大区电网系统性的检修计划安排。
8. 统计、报表及其它业务。

## 三. 省级调度

省级电网调度按统一调度，分级管理的原则，负责省网的安全运行并按照规定的发电计划及监控、原则进行管理，提高电能质量和经济运行水平。其具体任务包括：

1. 实现电网的数据收集和监控、经济调度以及有实用效益的安全分析。
2. 进行负荷预计，制定开停机计划和水火电经济调度的日分配计划，闭环或开环地指导自动发电控制。
3. 地区间和有关省网的供受电量计划的编制和分析。
4. 进行潮流、稳定、短路电流及离线或在线的经济运行分析计算，通过计算机数据通信校核各种分析计算的正确性，并上报，下传。

以上是独立省网和大区网内作为一个独立控制区域，与相邻省网实行联络线控制的省级调度功能。如果是在大区网内由大区网调统一调度的省级调度，就不需要自动发电控制功能。其余各项也基本与网调任务相似。

## 四. 地区调度

对容量大、地域广、站点多且分散的地区调度，除少量站点可直接监控外，宜采用由若干个集控站将周围站点信息汇集、处理后再送地区调度的方式，避免信息过于集中和处理困难，并有利于节省通道，简化远动制式，促进无人站的实施。地区调度的具体任务包括：

1. 实现所辖地区的安全监控。
2. 实施所辖有关站点(直接站点和集控站点)的开关远方操作、变压器分接头调节、电力电容器投切等。
3. 所辖地区的用电负荷管理及负荷控制。

## 五. 县级调度。

县级调度主要监控 110kV 及以下农村电网的运行，其工作任务与上述的几级调度相比较为简单，负荷控制将是其中的重要内容。

以上各级调度之间要实现计算机数据通信，并逐步联成网络，构成对电力系统的运行实行分层控制的调度自动化系统。图 1-1 为我国电网分级调度管理的示意图。

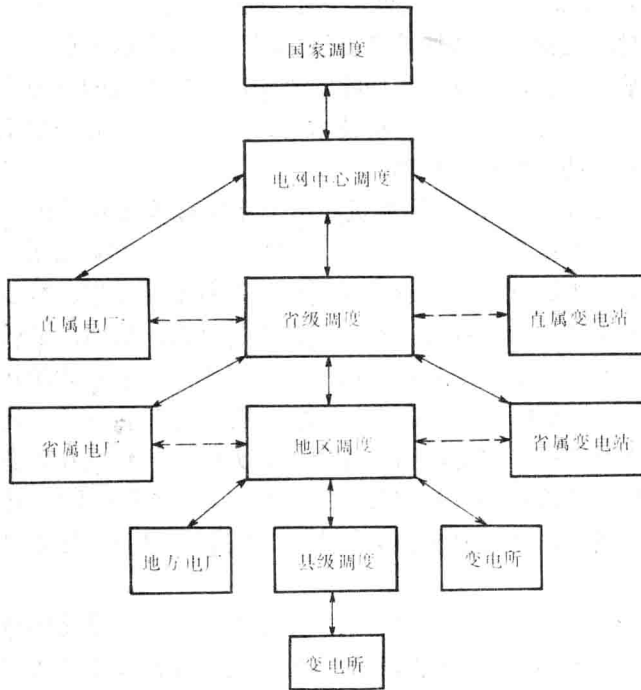


图 1-1 电网分级调度管理示意图

一个现代电力系统调度中心，是由多种专业人员组成的。在各级调度中心里，一般都设有调度科，运行方式科，继电保护科，通讯科和自动化科等业务部门。调度科全面负责所辖系统的调度运行，每天三班制轮流进行值班调度工作。运行方式科负责系统运行方式的计算编制，负荷预测，计划用电管理，电力电量平衡以及系统发展规划等。继电保护科负责全系统保护的设计配置，定值计算，运行管理，分级维护等。通讯科负责全系统远动和通讯规划及设备维护检修。自动化科负责计算机系统硬件的维护，各种应用软件的开发研制等。上述这些业务科室在统一领导下，密切配合，共同完成调度中心的各项工作。

## 第四节 电力系统调度自动化的发展

电力系统调度自动化经历了几个发展阶段。在早期，系统的调度中心没有办法及时地了解和监视各个电厂或线路的运行情况，更谈不上对各电厂和输电网络进行直接控制。线路的潮流、各节点电压、各厂各机组的出力以及出力的分配是否合理等情况调度中心都不能及时掌握。调度员和系统内各厂站的唯一联系就是电话。每天由各厂站值班人员定时打电话向调度员报告本厂站的机组出力、线路潮流、母线电压等数据，调度员需根据情况汇总、分析，花费很长的时间才能掌握电力系统运行状态的有限信息。严格说来，这些信息已经属于“历史”了。调度员只能根据事前通过大量人工手算得到的各种系统运行方式，结合这些有限的“历史”性的信息，加上个人的经验，选择一种运行方式，再用电话通知各厂站值班人员进行调整控制。一旦发生事故，也只能通过电话了解跳了哪些断路器，停了哪些线路，事故现场情况及事故损失情况，然后凭经验进行事故处理，这就需要较长的时间

才能恢复正常运行。显然，这种落后的状况与电力系统在国民经济发展中所占的重要地位是很不相称的，必须用现代化的先进设备装备调度中心，以适应经济发展的需要。

电力系统调度自动化的第二个发展阶段，是远动技术的采用。安装于各厂站的远动装置，采集各机组出力、各线路潮流和各母线电压等实时数据，以及各断路器开关的实时状态，然后通过远动通道传给调度中心并直接显示在调度台的仪表和系统模拟屏上。调度员可以随时看到这些运行参数和系统运行方式。还可以立刻“看到”断路器事故跳闸(模拟屏上相应的图形闪光)。遥测、遥信方式的采用等于给调度中心安装了“千里眼”，可以有效地对电力系统的运行状态进行实时的监视。远动技术还提供了遥控、遥调的手段，采用这些手段，可以在调度中心直接对某些开关进行投入和切除的操作，对发电机的出力进行调节，甚至一些不太重要的变电所可以实现无人化。远动技术已经成了调度中心非常重要的工具，而且也是实现电力系统调度自动化的重要基础。

电力系统调度自动化的第三个发展阶段，是电子计算机在电力系统调度工作中的应用。虽然远动技术使电力系统的实时信息直接进入了调度中心，调度员可以及时掌握系统的运行状态，及时发现电力系统的事故，为调度计划和运行控制提供了科学的依据，减少了调度的盲目性和失误，但是，现代电力系统的结构和运行方式越来越复杂，同时，现代工业和人民生活对电能质量及供电可靠性的要求越来越高，由于能源紧张，人们对系统运行的经济性也越来越重视，全面解决这些问题，就需要对大量数据进行复杂的计算。还有，调度人员面对着大量不断变动的实时数据，可能反而会弄得手足无措，特别是在紧急的事故情况下更是如此。这些情况表明，调度中心只是装备了“千里眼”甚至“千里手”，也还不能满足日益复杂的电力系统的实际需要，还需要装备类似人的“大脑”的设备，这就是电子计算机。

从六十年代开始，数字计算机首先用来实现电力系统的经济调度，取得了显著的效益。但是，在六十年代中期，美国、加拿大和其它一些国家的电力系统曾相继发生了大面积停电事故，在全世界引起很大震动。人们开始认识到，安全问题比经济调度更重要，一次大面积停电事故给国民经济造成的损失，远远超过许多年的节煤效益。因此，计算机系统应首先参与电力系统的安全监视和控制。这样，就出现了 SCADA 系统(Supervisory Control And Data Acquisition)，出现了电力系统安全分析(Security Analysis)等许多功能，调度中心装备了大型数字计算机，或者超级小型机系统，配置了黑白和彩色屏幕显示器(CRT)等人机联系手段。在厂站端则配置基于微机的远方终端(RTU)，使调度中心得到信息的数量和质量(可靠度和精度)都大大超过了旧式布线逻辑式远动装置。在 SCADA 系统基础上，又发展为包括许多高级功能的能管理系统 EMS(Energy Management System)。近来还研制了可以模拟电力系统各种事故状态用以培训高水平调度员的“调度员培训模拟装置”。目前，电力系统调度自动化发展很快，许多新领域，新方向都在研究之中。随着计算机—微机技术的飞速发展，调度自动化技术正日新月异，方兴未艾。

我国电网调度自动化研究工作起步较早，但以后停顿了十多年，与工业发达国家的距离就拉大了。1978年8月，我国第一套计算机监控的调度自动化系统在华北京津唐电网投入运行。在以后的几年中，又相继开发了几套新的系统。近些年从国外引进了一些先进的装备和若干套电网调度自动化系统，已相继投入了运行。应当说，我国的电力调度自动化工作已经有了相当的基础。但是，未来的工作还相当艰巨。因为我国网调，省调，地调三

级加起来就有近 300 个，其中大多数还处于电话调度阶段，连远动手段还没有配置。至于全国 2000 多个县级电网调度，其装备水平就更为简陋，更需要做出极大的努力去改善和发展。特别是在电力供应紧张的情况下，应当大力推行负荷控制技术。现在少数地县级调度已开展了这方面的工作，尽快推广到全国，是很有必要的。

## 第五节 电网调度自动化系统功能简介

电网调度自动化系统是一个总称，由于各个电网的具体情况不同，可以采用不同规格，不同档次，不同功能的电网调度自动化系统。其中最基本的一种称为监视控制与数据采集系统(SCADA)，而功能最完善的一种被称为能量管理系统(EMS)。也有的是在 SCADA 的基础上，增加了一些功能，如自动发电控制(AGC)，经济调度(EDC)，网络拓扑(NT)等。下面对各种功能作一简单介绍。

### 一. 监视控制与数据采集系统(SCADA)

SCADA 主要包括以下一些功能：

1. 数据采集；
2. 信息显示；
3. 监视控制；
4. 报警处理；
5. 信息的存贮及报告；
6. 事件顺序记录 SOE(Sequence of Events)；
7. 数据计算；
8. 具有当地控制功能的远方终端(RTU)的处理；
9. 事故追忆 DDR(Disturbance Data Recording)；  
PDR(Post Disturbance Review)

### 二. SCADA+AGC

自动发电控制(AGC)是为了实现下列目标：

1. 使全系统的发电出力紧紧跟踪系统负荷；
2. 将电力系统的频率误差调整到零。
3. 在所控制的区域内分配系统发电出力，保持与其它系统的联络线潮流为预定值。

目前有不少电网调度自动化系统实现了 SCADA+AGC 的功能。在技术上，SCADA+AGC 是完全成熟的。

### 三. SCADA+AGC / EDC

在上述功能的基础上又增加了经济调度功能(EDC)。EDC 的目标是：

在所控制的区域内向各发电机组分配出力，使本区域运行成本为最小。

在有的电网调度自动化系统中，AGC 的内容中已包括了经济调度功能，成为 AGC 的第 4 项目标。经济调度最初是利用计算机进行离线计算，而现在则成为几分钟就运算一次的在线程序了。

#### 四. 能量管理系统(EMS)

能量管理系统 EMS 主要包括 SCADA, AGC/EDC, 状态估计(SE), 网络拓扑, 网络化简, 偶然事故分析, 静态和动态安全分析, 在线潮流(OLF), 最佳潮流(OPF)以及调度员培训仿真(模拟)(DTS)等一系列功能。一般把状态估计及其后面的一些功能称为电网调度自动化系统的高级功能, 相应的这些程序被称为高级软件。能量管理系统 EMS 并没有一个确切的功能目录, 随着新技术新要求出现, 加入到这个系统中的功能还会不断增加。一般认为, 增加了状态估计功能之后系统才可能运行安全分析等高级软件, 也才可以称为能量管理系统。

现将调度自动化系统的一些功能列出如下:

1. SCADA—监视控制与数据采集
2. AGC—自动发电控制
3. EDC—经济调度
4. AVC—自动电压/无功控制
5. CE—偶然事故分析
6. SE—状态估计
7. SOE—事件顺序记录
8. DDR—事故追忆
9. SA—安全分析
10. HTS—水火电调度计划
11. NR—网络简化
12. NT—网络拓扑
13. OLF—在线潮流
14. OPF—最佳潮流
15. OSC—在线短路电流
16. STLF—短期负荷预报
17. UC—机组组合(开停机计划)
18. SM—安全监视
19. DAS—配电自动化系统
20. EMS—能量管理系统

### 第六节 电网调度自动化系统的设备构成

电网调度自动化系统的设备可以统称为硬件, 这是相对于各种功能程序—软件而言的。它的核心是计算机系统, 其典型的系统构成参见图 1-2 和图 1-3。

电网调度自动化系统本身必须非常可靠, 所以其中主要设备都是有备用的双重配置。

计算机主机现在多采用超级小型机。两台主机一台工作, 另一台备用, 由切换装置对它们进行监视, 一旦发现工作主机故障, 即进行自动切换。磁盘机磁带机是作为外存储设备配置的。此外, 还有作为人机联系手段的输入输出设备: 彩色屏幕显示器 (CRT)、键



盘、跟踪球等安放在调度控制台上；调度员对面墙上的大型动态电力系统模拟屏(盘)，可以显示实时的系统网络结构和实时潮流分布；另外还有打印机和记录型仪表等。

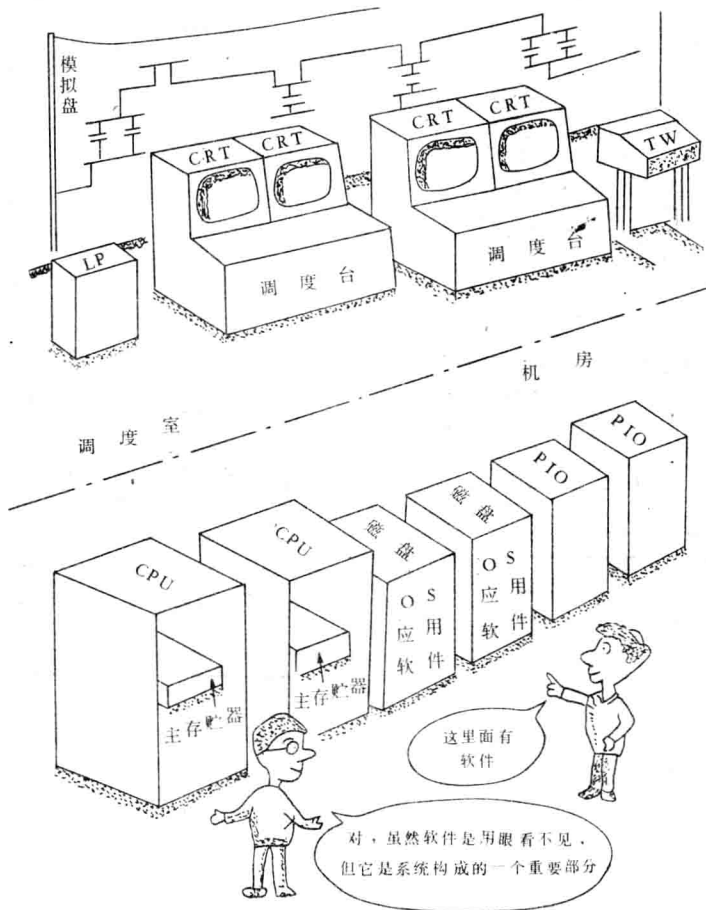


图 1-2 电网调度中心的配置

与各厂站的联系一般经由前置计算机进行。前置机可以采用低档超级小型机或微型机。它的作用是负责收集各厂站的远方终端(RTU)通过通信通道发来的数据信息，并做出简单处理后送给主机系统。主机向各厂站 RTU 发出的控制命令，也经由前置机处理后输出。前置机还能监视通信通道的工作状态。

配置在各厂站的远方终端 RTU 也是一套小型的微机系统(早期的运动装置不是基于微机的)，它负责将厂站的实时信息(包括运行参数和开关状态等)采集进来，经过编码等处理后再送到通道上传到调度中心，并执行调度中心发来的遥控或遥调命令。有的 RTU 还具有当地显示、报警、打印报表和键盘输入等当地功能。

由调制解调器和通信线路构成的通信通道(或称信道)也是电网调度自动化系统的重要组成部分。通信线路包括有线(电力线载波、专用电缆等)和无线(微波、卫星、甚高频无线电通信等)两大类。通信通道的建设费用很高，大大超过计算机系统设备本身的费用。