



普通高等教育“十二五”规划教材

电气工程及其自动化专业

# 电力系统控制与调度自动化 (第二版)

王士政 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

# 电力系统控制与调度自动化 (第二版)

王士政 编著

唐国庆 主审



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

全书共九章，主要内容包括电力系统控制及其自动化概论，SCADA/EMS 系统，数据通信与通信规约，电力系统频率控制，电力系统电压控制，电力系统安全控制，电力系统运行成本控制，电力自动化系统高级应用软件，配电自动化技术。本书紧密跟踪当代电力系统控制及其自动化技术的发展脚步，反映以电网调度自动化为总纲的电力系统控制及其自动化技术的最新进展，具有系统完整，取舍适当，简单扼要，循序渐进，通顺易懂，注重理论联系实际等特点。

本书可作为电气类专业及其他相近专业本科高年级教材或研究生教材，亦可作为相关岗位人员的培训教材或参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统控制与调度自动化/王士政编著. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2012. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-3393-2

I. ①电… II. ①王… III. ①电力系统—自动控制—高等学校—教材②电力系统调度—自动化技术—高等学校—教材  
IV. ①TM761②TM734

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 184259 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2008 年 3 月第一版

2012 年 9 月第二版 2012 年 9 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.5 印张 595 千字

定价 44.00 元

### 敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪  
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

# 前 言

自本书第一版《普通高等教育“十一五”规划教材 电力系统控制与调度自动化》出版以来，已被许多高校选用，多次加印。本次修订再版，总体框架未变，除了更正原书几处图文错误外，还对原书某些较为繁琐的内容和叙述方式，进行了较大幅度的整合和精简，使全书更趋简炼和顺畅。现作为普通高等教育“十二五”规划教材出版，敬请各位同行、读者交流、指正。

作 者

2012年7月

# 第一版前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

现代电力系统已被公认为是一种最典型的具有多输入、多输出的超级大系统。要想驾驭这样一种超级大系统，并且实现安全、优质、经济、环保等多目标的综合优化运行控制，其运行控制的复杂性及其实现控制自动化的困难程度，远远超过人们想象。

电力系统控制及其自动化所涉及的知识面极宽，包括电力系统运行控制基本理论、现代通信技术、计算机控制及网络技术、电网调度自动化技术等许多基本理论和高新技术。而电网调度自动化（包括配网自动化）已经成为电力系统控制自动化的总纲，是电力系统自动化的最主要部分和核心内容。

作者长期从事电网调度自动化及电力系统运行控制等方面的教学，深切地了解这些高新技术在电力工业中的重要地位；同时也知道，大多数本专业的本科毕业生甚至研究生，对电力系统的运行控制并没有一个完整的知识架构，所学到的知识是有限且相互割裂的，特别是对近年飞速发展的以电网调度自动化为总纲的电力系统运行控制新技术，更是不甚了解。

作者在河海大学和三江大学电气与自动化工程学院授课时，增添了一些电力系统运行控制等方面综合性的内容，学生们很感兴趣。有的学生在就业面试时被问及这方面的知识，因回答较好而被录用到电网调度部门工作，这种先例更使学生们修学这门课程的热度激增。

此前电力专业教材一般分为电力系统稳态分析、电力系统暂态分析、发电厂电气部分、电力系统继电保护、电网调度自动化等几门课程，对电力系统运行控制及其自动化等内容，在几门课程中多处均有涉及，但从来没有综合的汇总。

为适应高校电气类专业课程体系创新、课程内容更新和紧密跟踪新技术的需要，作为中国电力教育协会组织的高等教育“十一五”规划系列教材，《电力系统控制与调度自动化》是一部全新的系统性教材。与以往分割式讲述方式不同，本教材试图建立一种新的知识体系，即构建一个关于电力系统运行控制及其自动化的较为完整的宏观知识框架，包括电力系统的频率控制，电力系统的电压控制，电力系统的负荷控制，电力系统运行成本控制，电力系统电力电量交易控制，电力系统安全控制等，而这些内容又都与电网调度自动化技术密不可分。

本教材紧密跟踪当代电力系统控制及其自动化技术的发展脚步，反映以电网调度自动化为总纲的电力系统控制及其自动化技术的最新进展，努力做到系统完整、取舍适当、深浅适度、简单扼要、由浅入深、循序渐进、通顺易懂，注重理论联系实际。本教材既有作为教材必需的许多入门知识，也概要介绍本领域的发展方向和最新动态。

通过对本教材的学习，电气工程类专业本科高年级学生及研究生，能对该领域知识有

一个全景式的了解，有利于提高他们在就业市场上的竞争力以及后续的学习和研究；同时，对广大电力系统中的技术人员来说，了解电力系统运行控制与电网调度自动化等高新技术，对提高自身业务素质，做好本岗位工作也是十分有益的；而对专门从事电力系统运行控制及自动化技术的工程技术人员，亦有很好的参考价值。

在编著过程中，参考了多种相关的著作。三江大学电气与自动化工程学院杨正理老师、黄其新老师分别参与了第五章、第九章和第四章、第六章的讨论和修改，河海大学孙黎霞老师、史林军老师也参与了第一章、第五章、第六章、第九章的讨论和修改，南京工程学院李升老师、河海大学严登俊老师分别对第五章和第六章部分内容提出了修改意见，河海大学博士鲁华永同学在收集资料、整理文稿等方面也做了许多工作。此外，三江大学领导也给予作者许多支持和帮助，在此一并表示感谢。

本书由本领域知名专家东南大学唐国庆教授主审。唐国庆教授审阅书稿后，提出了许多中肯意见，作者要特别向唐国庆教授表示衷心感谢。

由于这样一种高新技术仍在快速发展之中，本书不可能完全跟上技术发展的脚步，某些方面可能未涉及，或者某一点内容已经落后了，这是无法避免的，请读者见谅。

也借此机会，对当面或来信与作者进行交流探讨的各位同行，表示衷心的感谢！敬请各位读者继续来信交流，不吝赐教。

作 者

2007年9月

## 目 录

前言	
第一版前言	
<b>第一章 电力系统控制及其自动化概论</b> .....	1
第一节 现代电力系统及其运行控制的复杂性.....	1
第二节 电力系统运行控制的目标及分级控制体制.....	6
第三节 电网调度自动化系统与配电自动化系统.....	17
第四节 电网调度自动化技术的发展历程及展望.....	20
思考题.....	28
<b>第二章 SCADA/EMS 系统</b> .....	29
第一节 概述.....	29
第二节 支撑系统.....	31
第三节 前置机系统.....	33
第四节 画面调用图形操作及浏览器功能.....	34
第五节 Open-2000 系统 SCADA 功能及其技术指标.....	37
第六节 远方终端.....	43
第七节 直流采样及电量变送器.....	45
第八节 交流采样.....	54
第九节 模拟量的采集与处理.....	58
第十节 开关量、数字量和脉冲量的采集.....	72
思考题.....	74
<b>第三章 数据通信与通信规约</b> .....	76
第一节 电力系统通信基本知识.....	76
第二节 差错控制措施.....	83
第三节 电网调度自动化主要通信方式.....	91
第四节 电网调度自动化系统通信规约.....	96
第五节 电网调度自动化系统的通信信道.....	107
习题与思考题.....	118
<b>第四章 电力系统频率控制</b> .....	119
第一节 电力系统频率控制的意義和基本方法.....	119
第二节 电力系统的频率特性.....	120
第三节 电力系统的频率调整.....	122

第四节	电力系统的自动调频方法	126
第五节	编制日发电计划和频率稳定的关系	134
第六节	正常运行中的自动发电控制 (AGC/EDC)	139
第七节	电力系统故障时的频率异常控制	148
	习题与思考题	157
<b>第五章</b>	<b>电力系统电压控制</b>	<b>159</b>
第一节	电力系统电压控制的意义	159
第二节	电力系统中的无功电源	161
第三节	电力系统中的无功负荷	167
第四节	电力系统的无功补偿	168
第五节	电力系统的电压管理	171
第六节	电力系统的电压调节方法	172
第七节	同步发电机自动励磁调节	182
第八节	电压/无功优化自动控制 (AVC)	186
第九节	电压稳定性及其控制	195
第十节	湖南电网电压/无功优化自动控制	207
	习题与思考题	214
<b>第六章</b>	<b>电力系统安全控制</b>	<b>215</b>
第一节	概述	215
第二节	电力系统运行状态及其安全稳定控制	220
第三节	电力系统静态安全分析	223
第四节	电力系统动态安全分析	226
第五节	各种运行状态的安全控制	227
第六节	电力系统安全调度功能总框图	237
第七节	电力系统区域稳定安全控制	239
第八节	电网自动稳定控制系统实例	241
第九节	电力市场环境下的安全稳定控制	247
第十节	电力系统广域同步相量测量 (PMU)	249
	思考题	254
<b>第七章</b>	<b>电力系统运行成本控制</b>	<b>256</b>
第一节	概述	256
第二节	电力系统有功负荷的经济分配	258
第三节	电力系统无功负荷的经济分配	264
第四节	电力系统计算机离线和在线经济调度	265
第五节	电力系统经济运行	269
	思考题	274



<b>第八章 电力自动化系统高级应用软件</b> .....	275
第一节 网络拓扑分析.....	275
第二节 电力系统状态估计.....	276
第三节 电力系统的负荷预测.....	288
第四节 潮流分析及调度员潮流.....	296
第五节 调度员培训仿真系统.....	298
第六节 电力市场及其技术支持系统.....	300
第七节 专家系统及其在电力系统自动化中的应用.....	308
思考题.....	315
<b>第九章 配电自动化技术</b> .....	316
第一节 配电管理系统概述.....	316
第二节 馈线自动化技术.....	320
第三节 变电站综合自动化.....	343
第四节 现代电网负荷管理技术.....	354
第五节 配电网地理信息系统.....	365
第六节 远程自动抄表系统.....	370
思考题.....	374
总复习思考题.....	375
参考文献.....	377
作者简介	

## 第一章 电力系统控制及其自动化概论

### 第一节 现代电力系统及其运行控制的复杂性

#### 一、现代电力系统概况

##### (一) 现代电力系统的构成

20世纪中叶以来出现的巨型电力系统,是有史以来规模最大、层次最复杂、资金和技术最密集的复合工业系统。这种现代巨型电力系统,可以看成是由三个基本系统组成的。

一是物流系统,即指动态的电力系统,是实现能量变换、传输、分配和使用的一次系统(电能的发、输、变、配、用)。对于物流系统,我们侧重研究能量转化和变换、电能传输和分配,以及电力系统可靠、稳定、安全、经济运行的规律。

二是信息流系统,即指电力信息系统,由监视、测量、保护、控制、电网调度自动化等组成的能量管理系统,其作用是保障电力系统可靠、稳定、安全和经济运行。对信息流系统,主要研究如何获得物流系统各种状态的特征信息,研究这些信息的传输、处理和应用。这个系统主要由传感器、通信网络、计算机和各种复杂的程序构成,是电力系统自动化的核心。

三是货币流系统,即电力交易系统。对货币流系统,主要研究电能这种特殊商品如何通过市场进行交易,电能如何定价,在市场运营下如何保障电力系统可靠、稳定、安全和经济运行。

现代电力系统示意图如图1-1所示。

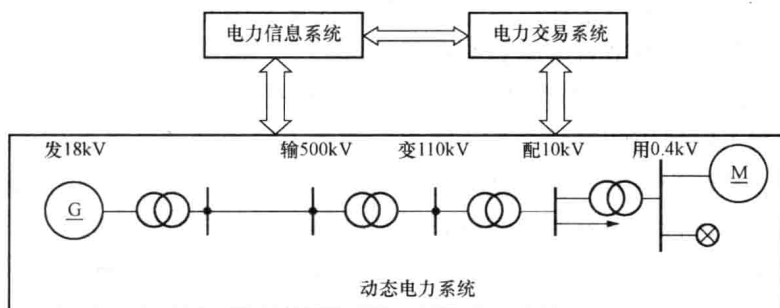


图 1-1 现代电力系统示意图

##### (二) 现代电力系统的特点

电力系统的特点是由电能的特点决定的。电能的生产、传输和使用具有鲜明的系统性。电能以光速传播,迄今为止人类还未能实现大容量的电能存储,因此电能的生产与消费几乎是在同一瞬间完成的。发电、输电、变电、配电和用电等环环相扣,组成了密不可分的整体,始终处于连续工作和动态平衡之中。电能供应系统和用户又相互影响、相互制约。电能供应系统要适应用户对电能需求的随机变化,向用户连续不断地提供质量合格、价格便宜的电能。用户(负荷)的特性和随机变化又反过来影响和冲击着电能供应系统。在各个环节和

不同层次都要有先进的信息与控制系统,对电能的生产、传输、使用的全过程进行监测、控制、调节、保护和协调调度,以保证电力系统的正常运行,使用户获得安全可靠、优质、廉价的电能。

### (三) 现代电力系统的发展方向

现代电力系统正向两个不同的方向发展:一个方向是电网互联,这将导致电网规模越来越大;另一个方向则是向电网内分布式发电及微型电网发展。

#### 1. 互联大电网的优越性及其引出的新问题

现代电力系统发展的一个方向是邻近电网的互联。从运行安全性和经济性看,电网互联带来了巨大的效益。以大电厂、大机组、高参数、大电网、高电压、远距离及高度自动化为特征的大电力系统,具有许多突出的优点。

##### (1) 互联大电网的优越性:

1) 有利于在更大范围内优化资源配置和一次能源利用。例如在一次能源集中地区建电厂,通过超高压、大电网、长距离输电到负荷中心;变输煤为输电,有利于低质煤的利用和我国西南地区优质水能资源的开发,实现水、火电资源优势互补,也更有利于环保。

2) 大电网可以安装高效能的大机组,有利于降低造价、节约能源、降低系统发电成本。

3) 大电网能承受如轧钢机等较大的冲击负荷,从而可以改善电能质量,提高供电可靠性。各地区各类电源互为备用,事故情况下可相互支援,增强了电网抵抗事故的能力,也减少了事故备用容量,提高了电网运行的经济性。例如,1999年7月20日8时58分,新店变电站事故造成某省境内合计铭牌容量3300MW的9台机组跳闸,但由于华北电网容量较大,且电网正处在负荷“爬坡”阶段,系统旋转备用相对较多,使得该省电网避免了一起全网崩溃瓦解的恶性电网事故。

4) 利用不同地区的时差,错开高峰负荷,减少了系统备用机组容量。例如西北与华东由于经度时差,南方和北方由于纬度温差,使各地区夏冬季的高峰负荷不同时,电网互联可以降低用电高峰负荷,最终节省全网装机容量。

5) 利用水、火、核电之间的互补调节,实现系统水、火、核电的经济调度。水电可以跨流域调节,利用不同河流的流域效益,即由于纬度不同而造成的各条河流的丰水期不同,如红水河为5月、长江为6月、黄河为7月、东北的河流则为8月,从而有效利用天然资源,并在更大范围内进行水火电联合经济调度,提高全网运行的经济性。

由于电网互联可以获得显著的技术经济效益,使得现代电网越来越大,不仅突破了市界、省界,而且还形成了许多跨区甚至跨国电网;网内装机容量也越来越大,在输电电压等级上,出现了330、500kV及更高电压等级的750、1000kV超高压电网。目前,仅我国装机容量超过20GW的电网就有华东、东北、华中、华北、南方电网等5个跨省大区域电网。同时全国联网的工作也正在进行,除华中与华东电网经500kV直流输电线相连外,华北和东北电网也已互联,预计三峡电站全部投产后,即将实现全国联网。

(2) 互联大电网引出的新问题。大电网互联要依赖远距离高压交流输电,这使大电力系统的运行更为复杂,其突出问题是调度复杂,系统稳定(角度稳定、频率稳定和电压稳定)问题更突出,故障会波及相邻电网,若处理不当,严重情况下会导致大面积停电;电网短路容量也会增加,造成运行中的断路器等设备因容量不够而需增加投资等。

人们又想到了直流输电。直流输电因为没有电抗,没有无功损耗,没有交流输电那样的

角度稳定问题,加上直流线路具有造价比交流线路低、电晕损耗和无线电干扰小、调节快速、运行可靠等优点,特别适合于长距离、大功率传输和用来连接两个大电网或频率不同的两个电网。所以现代大电力系统往往是交一直流混合输电系统。

巨大的交一直流混合输电系统的运行控制更加复杂,所有这些问题都要求采取相应的技术措施,如加强电网结构、提高电网自动化控制水平等,只有如此才能充分发挥互联电网的作用和优越性。

随着电网互联区域增大和容量的增加,在电网运行中暴露出许多系统性技术问题,如系统大停电事故、大机组的运行、电网结构、电力系统稳定、电力系统短路电流水平配合、高压电网运行过电压、无功补偿和电压调节等问题。从几十年运行实践看,这些都不是孤立的技术问题,而是互有关联的系统性技术问题,必须从整个电力系统的角度来观察、研究和解决。例如大电网稳定破坏、电压崩溃、系统瓦解等事故,与电网结构的强与弱、有功和无功备用容量是否足够等都有关系。为防止此类事故,除要加强电网结构,特别是受端电网结构外,还要综合地采用快速励磁、按频率和电压降低自动减负荷、远方切机以及 PSS 等自动装置来解决。发生事故后要分清主次,确保主要地区供电,只有保住了主要地区,才能使整个电网恢复更加容易。同样,短路电流问题,也不仅是某处要采用大容量断路器,或采用某种限流措施的个别问题,而是要考虑各层电网之间短路电流水平的配合,从电网整体上来安排。至于无功补偿、电压调节和运行过电压问题,则更需从电网的整体来观察和研究。

现代大电网涉及的系统性技术问题,还包括采用标准电厂、标准机组、标准线号、标准变电容量、标准变电站接线方式,以及各种动力资源特别是各种新能源的开发与整合、各级电网结构的配合等。这些都要将电网看作一个整体来观察、研究和安排,需要创立现代电网发展的新理论。电力系统越来越大是电力工业发展的必然趋势,我国正在实行全国联网和西电东送的战略,这是国民经济持续发展的需要。

随着现代电网的结构日益复杂,一些关系到电网运行稳定的问题必须更加引起关注:

1) 受经济和环境条件的制约,建成了一大批远离负荷中心的坑口电站及水电站,出现了长距离重负荷的输电网络,大大增加了维持系统正常运行电压的难度;系统元件的故障或检修,在弱联系的电网中往往会发生系统输送功率的大面积转移,造成潮流的极不合理分布,并导致受端系统功率的更大缺额,结果使网架很弱而输送功率又很大的超高压系统,不仅容易发生静态角度不稳定,而且更容易发生电压不稳定事故。

2) 发电机单机容量越来越大,功率因数越来越高,发电机标么电抗增大,惯性时间常数减小,无功出力的相对降低,这些都对系统稳定造成不利的影响。

3) 超高压直流输电并网运行的容量,在整个系统中所占的比例越来越大,而交流系统则变得相对较弱,这对直流系统的控制器构成了严峻的考验。与超高压直流输电相连的弱交流系统电压稳定性问题,是一个必须引起格外关注的重要问题。

## 2. 分布式发电和微型电网的新发展

分布式发电(Distributed Power Generation)是指功率为数千瓦至 50MW 小型的与环境友好的独立电源。微型电网(Micro-Grids)是一些电气上孤立的发电机组形成的独立电网,它们有些与主电网相连,而许多是不与主电网相连的。

分布式发电一般采用光伏电池、风力发电、太阳能发电、微型水电、燃料电池、小型燃

气轮机等发电装置,它们靠近电力用户,对环境无污染或少污染。分布式发电的发展可以推迟大电力系统发电容量投资,减少备用容量,加速投资回收,节省输电线路投资,减少网损;与大电网配合可以大大提高供电可靠性,在大电网崩溃或由地震、暴风雪、人为破坏等引起大面积停电情况下,保持重要用户的供电;在山区、海岛、牧场等超高压、远距离输电系统鞭长莫及的地方,分布式发电技术可发挥巨大的威力。21世纪分布式发电在国内外都将有大的发展,但是,与电网相连的分布式发电也会对电网频率、电压等造成各种冲击。因此,不仅需要研究各种分布的发电方式,而且要研究它们接入电力系统的各种相关技术。

## 二、现代电力系统运行控制的复杂性

现代社会里各种各样的工业生产系统,没有哪一种系统能像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,连接着广大城乡的每一个厂矿、机关、学校和千家万户。几十万公里的高低电压输配电线路像蜘蛛网一样纵横交错,各种规模的火电厂、水电厂和核电厂及变电站星罗棋布,系统的各种运行参数互相影响,瞬息万变……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,与其他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。电能不能像其他工业产品那样可以储存以调剂余缺,而绝对是“以销定产”,“零库存销售”,即用即发,需用多少就只能发多少。然而,大大小小的工厂和千家万户的用电设备的开开停停,却是自由而随机的。因此,电力系统的用电负荷时时刻刻都在变化着,发电、输电、变电及配电各环节,必须随时跟踪用户用电负荷的变化,不断进行控制和调整。

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,因此随时都有可能发生故障,风、雪、雷、雹等无法抗拒的自然灾害,更增加了发生故障的概率。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。可以想象,现代电力系统这种运行控制任务有多么复杂和繁重。

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的,能够保证电力系统安全经济运行的指挥控制中心,即电力系统的调度中心。

## 三、现代电力系统的可调可控点

对一辆汽车,只需一个驾驶员用双手双脚就可以开走了,因为汽车的调控点仅有方向盘、离合器、油门和刹车闸等少数几个。而对巨大复杂的电力系统,就绝不是一个人或几个人可以控制、驾驭的。实际上,在这个巨大电力系统当中,不仅有各级调度中心(所)的调度人员,还有遍布各地的发电厂和变电站的值班运行人员,他们必须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,才能共同完成对电力系统的指挥控制。那么,电力系统有多少可调可控点呢?这里先简要介绍以下几点:

- (1) 发电机组调速器(调节原动机的进汽量或进水量)——调节发电机有功功率 $P$ ;
- (2) 发电机励磁调节器(调节发电机的转子励磁电流)——调节发电机无功功率 $Q$ ;
- (3) 变压器档位调节开关(改变变压器绕组的匝数比和电压比)——调节变压器二次侧线电压;

- (4) 断路器(控制电路的通/断)——投入/切除发电机、变压器、线路、负荷、电容器、电抗器、制动电阻,以及电网的解列/并网;
- (5) 调相机励磁调节器(调节调相机的转子励磁电流)——调节调相机无功功率 $Q$ ;
- (6) 静止补偿器(调节晶闸管的导通角)——调节其无功功率 $Q$ ;
- (7) 汽轮机组快关汽门——快速减少发电机有功功率 $P$ ;
- (8) 发电机灭磁开关——快速减少发电机定子电压。

在一个大型电力系统中,发电机会几百台,变压器会有上万台,而断路器则有几万台。因此,大型电力系统的可调可控点一定是数以万计,甚至有几十万个。电力系统是一个紧密联系在一起的大系统,所以对其中每一点的调控都会“牵一发而动全身”,必须预先经过精密计算,相互协调配合,才能达到最优的控制效果,这实在是一件非常不容易的事。只有通过现代电网调度自动化系统,综合运用计算机控制技术、现代通信技术和现代电力系统运行控制理论,才能完成这么复杂的优化控制任务。

#### 四、现代电网三大自动控制系统的的发展

自动发电控制(Automatic Generation Control, AGC)、自动电压控制(Automatic Voltage Control, AVC)和自动稳定控制(Automatic Stability Control, ASC)被总称为现代电网三大自动控制系统,也可简称为“3A系统”。

3A系统是在我国电网调度自动化系统功能不断扩充和发展中自然形成的。20世纪80年代,随着四大电网和部分省网SCADA/AGC/EMS系统的引进,AGC在国内电网的应用水平不断提高。自1989年9月湖南电网AGC在国内首次实现闭环控制以来,经过多年的经验积累,全国省级及以上电网中都已投入了AGC功能,在确保跨大区电网和网、省级电网安全、优质、经济运行方面发挥了重要的作用。

ASC在我国电网中的应用可以追溯到更早。20世纪50年代起就普遍应用低频减载和稳定控制装置。20世纪80年代后期起,一些科研单位陆续开发了以微型计算机(PC)为基础的ASC。到1997年年底全国已有约一百套较复杂的稳定控制装置投入运行,其中有东北电网的稳定控制切机、切电抗器、快关汽门,华北电网的切机、减出力和控制解列,华东电网的切机、远切开关、切负荷及频率控制,华中、华南、西南、西北电网的切机、切负荷和解列等。最近几年来,在安全稳定控制的技术和装置方面,在巩固就地型控制装置(切机、切负荷、低频/低压减载装置等)的基础上,远程区域型控制装置有了新的发展。其中,国电自动化研究院开发的在线预决策稳定控制系统,已在国内部分电网投运;湖南电网自主开发了利用SCADA/EMS信息资源,由SCADA/EMS统一集中控制的自动稳定控制系统。

AVC的概念既老又新。自电网出现以来,无功电压问题一直困扰着电力部门,探讨无功电压的论文也不少。但直到2001年第27届中国电网调度运行会议上,国调中心正式提出AVC研究方向后,自动电压控制才作为调度自动化领域的一个发展目标。湖南省调2000年立项,2003年4月完成了湖南电网AVC主体框架建设,建成了省调中心AVC主控系统和4个AVC子站。AVC投运后在提高电压质量方面取得了立竿见影的效果,以湘西的怀化阳塘变电站为例,投运后6个月内电压不合格点数同比减少了243个。与此同时,华东电网的安徽、福建、江苏等的省调也在最近几年开展了AVC方案研究、系统设计、软件开发和工程实施,已取得了初步应用成果。

在地区电网和配电网的 AVC 应用方面，江苏泰州、福建厦门、江西九江、重庆杨家坪电网等的无功电压控制系统亦各具特色。与各级电网 AVC 系统相配套，发电厂、变电站的无功电压控制装置的研制和使用也上了一个新的台阶，在提高电压质量和电网运行水平方面取得了较好的效果。

## 第二节 电力系统运行控制的目标及分级控制体制

### 一、电力系统运行控制的目标及控制自动化

电力系统运行控制的目标，就是始终保持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；另外，还要使电力生产符合环境保护的要求。

简单地说，电力系统运行控制的目标可以概括为八个字：安全、优质、经济、环保。对于越来越大的现代电力系统，如果没有以现代高新技术武装起来的、集成了多种自动化手段的各级电网调度中心，要实现这八字目标几乎是不可能的。

#### （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，使成千上万的用户失去供电，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，保证电力系统的安全运行，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、冰雪和地震等自然灾害；内因则是电力系统本身存在着薄弱环节，如设备有隐患，或者运行人员技术水平差、操作失误等多方面因素。一般地说，多数电力系统的事故是由外因引起，又由于内部的薄弱环节或人员调控不当而扩大。

要想完全避免发生任何事故是不可能的，但在发生事故后迅速而正确地予以处理，使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，各种安全和自动装置非常灵敏可靠，使电力系统自身具有抵抗各种事故的能力；另一方面，也与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。

这里所述的调度技术水平有两层含义：一是指调度人员本身的知识和技术水平，二是指调度中心拥有的调度装备的自动化程度。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技术手段也是不行的。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和设备装备起来的电网调度自动化系统，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。

影响电力系统安全运行的因素很多，除了电网结构单薄，后备不足等属于投资和规划设计方面原因，以及设备质量缺陷、维修不力等原因外，运行管理与调度指挥方面的问题也是

不可忽视的。

在电力系统的实际运行中，事故的发生和发展往往与系统的运行方式有很大关系。根据我国近年来对电网稳定破坏事故的统计，其中与运行管理有关的约占72%，见表1-1。

表 1-1 与运行管理有关的电网稳定破坏事故统计

分类	运行管理方面的问题	占事故总数的百分数 (%)
静态稳定破坏	对正常或检修运行方式未进行应有的稳定计算分析，在负荷增长或受电侧发电厂减少输出功率时未能控制潮流	16.6
	由于无功不足、线路长、负荷重，或将发电机自动调整励磁装置退出运行，或误减励磁造成运行电压大大下降，导致电压崩溃	10.5
动态稳定破坏	对发电机失磁是否会起稳定破坏未做出分析计算，未采取预防措施	15.7
	高低压环网运行方式考虑不当，或环网运行时未采取相应的解列措施	14.8
	未考虑严重的故障（主要是三相短路），又未能采取有效措施	5.7
	未考虑低压电网故障对稳定的影响	8.6
合 计		71.9

可见，为了保证系统安全运行，必须未雨绸缪，对运行中的系统结构和运行方式进行定期的运行预想分析，并结合安全稳定导则的规定和运行经验及具体环境条件，进行各种事故预想，并定出一系列事故处理方法。在运行方式的安排上，应考虑足够的旋转备用和冷备用，并且要合理分布于系统之中。除了继电保护的配置和整定外，对用于事故后防止大面积停电的各种安全自动装置，也应详细考虑它们之间的配置和协调。

许多事故实例表明，调度运行人员的操作失误往往是使事故扩大或延续较长时间的原因之一。虽然电力系统的自动化水平越来越高，许多厂、站还实现了无人控制，但是并没有减弱系统调度运行人员在整个电力系统运行控制中的主导作用。高度自动化的监控系统，也需有相应文化和技术水平的运行人员去正确熟练地使用，才能充分发挥作用。在事故情况下，要求调度人员能够应付未曾预测而突然来临的严重状态，及时采取正确的操作步骤和控制措施，难度是相当大的。为了避免调度运行人员操作失误造成系统事故，应定期对调度运行人员进行培训，特别是应采用电网调度自动化系统中的调度员仿真培训功能，对调度运行人员进行全方位、多角度的“实战”培训。

## （二）保证电能符合质量标准

和其他任何产品一样，电能也有严格的质量标准，即波形、频率和电压三项指标。

### 1. 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。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，对通信线路也会造成干扰，还会降低电动机的效率，导致异常发热并影响正常运行，甚至还可能使电力系统发生危险的高次谐波谐振，使电气设备遭到严重破坏。现代电力系统中加入了许多大功率电力电子设备（如整流、逆变等环节），都会使波形发生畸变，是产生谐波的“污染源”。为此，要加强对波形的自动监测，并采取有效的自动化措施，来消除谐波污染。



## 2. 频率

频率是电能质量标准中要求最严格的一项，其允许的波动范围在我国是  $50\text{Hz} \pm 0.2\text{Hz}$ ，在 AGC 投运情况下，互联电网频率按  $50\text{Hz} \pm 0.1\text{Hz}$  控制。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刻都要平衡。负荷是随时变动的，这就要求发电厂发出的有功功率时刻跟踪负荷的有功功率，随其变动而变动。当调频电厂值班员看到频率表指示下降后，手按增负荷按钮来增加发电机有功功率的时代早已过去了，现在电力系统调频过程是自动进行的。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，系统全部旋转备用的容量都已用上还不够时，频率仍会下降，这时就只好切除部分负荷。为此，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。负荷预测准不准，日发电计划安排得合不合适，对系统频率能否稳定有决定性的影响。总之，要始终保持系统频率合格，必须依赖一整套严密的运行机制和自动化的闭环频率调节控制系统。

## 3. 电压

电压允许变动的范围一般是额定电压的  $\pm 5\%$  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局部就地平衡，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和并联补偿电容器组的投切等。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。现代电力系统也必须有一整套自动化的无功/电压调控系统，才能满足各行各业对电压稳定越来越高的要求。

### （三）保证电力系统运行的经济性

电力系统运行控制的目标，除了首要关注的安全问题和电能质量问题外，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，其运行经济性完全取决于系统的调度方案。要在保证系统必要安全水平的前提下，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厂的蓄水水位情况，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优的调度方案。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。但此最优方案并不能一劳永逸，因为它是根据某一时刻的负荷分布计算出来的，而负荷又随时处在变化之中，所以每隔几分钟就需要重新计算新的最优方案，这样才能使系统始终处于最优状态。某时刻负荷分布的计算实时性强，涉及的因素多，计算量很大，人工计算是无法胜任的，必须依靠功能强大的计算机系统。

### （四）保证符合环境保护要求

能源和环境是人类赖以生存和发展的最基本条件。电力是现代社会不可或缺的最重要能源，同时，电力的生产又对环境产生很大的影响。目前全球性的四大公害——大气烟尘、酸雨、气候变暖（温室效应）、臭氧层破坏，都与能源生产利用方式直接相关，当然也与电力生产过程密切相关。因此，符合环境保护的要求，也应是电力系统运行控制的目标之一。1997 年我国年排放烟尘达 1873 万 t，其中燃煤占 70%。酸雨的成因——大气中的二氧化硫（ $\text{SO}_2$ ）87% 来自于煤的燃烧。在引起温室效应的主要因素——二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）的排放量中，燃煤排放的占 75% 左右。此外，燃煤排放物中还有微量的多环芳香烃、二恶英等致癌物质。