

# 电网调度运行技术

主编 王世祯



NEUPRESS

东北大学出版社

ISBN 7-81054-232-X



9 787810 542326 >

ISBN 7-81054-232-X

TM · 5 定价: 58.00元

# 电网调度运行技术

主 编 王世祯

东北大学出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

电网调度运行技术/王世祯主编. —沈阳: 东北  
大学出版社, 1997.7

ISBN 7-81054-232-X

I. 电… II. 王… III. 电网-调度-管理 IV. TM73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 13825 号

东北大学出版社出版

(沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号 邮政编码 110006)

康平县校办企业公司印刷厂印刷 东北大学出版社发行

---

开本: 787×1092 毫米 1/16 字数: 736 千字 印张: 29.5

印数: 11001~12000 册

1997 年 7 月第 1 版

2000 年 2 月第 4 次印刷

---

责任编辑: 冯淑琴 刘淑芳

责任校对: 米 戎

封面设计: 唐敏智

版式设计: 杨华宁

---

定价: 58.00 元

## 《电网调度运行技术》编委会

**主任** 黄万永

**副主任** 王世祯 朱万国 舒印彪

**委员** 黄万永 王世祯 朱万国 舒印彪 洪 军

王芝茗 黄英矩 潘明惠 王 刚 赵玉柱

全成浩 冯松起 刘家庆 邵广惠

**主编** 王世祯

**副主编** 朱万国 冯松起 刘家庆

**主审** 黄万永 黄英矩

**编写人员** 冯松起 刘家庆 邵广惠 崔海春 张忠林

王德生 马 新 苏安龙 王 漪 陈国平

周 莹 邱金辉 孟志宏 孙 刚 高家芬

张国威 柯家陶 王家宏 许慕良 贺兰波

## 序 言

改革开放以来，在国务院“政企分开，省为实体，联合电网，统一调度，集资办电”和“因地、因网制宜”方针的指引下，电力工业实行了全面的管理体制改革，进行了一系列深刻的重大制度创新，给电力工业注入了新的活力，从而调动了各方面办电的积极性，形成了多家办电，多渠道筹资办电的新局面，大大促进了电源的建设，我国的电力工业因此得到了空前的发展，迈进了大电网、大电厂、大机组、高电压输电、高自动化控制的新的时期。截止1996年底，我国的发电装机总容量达23654万千瓦，年发电量达10793亿千瓦时，均跃居世界第二位，并发展和形成了6个跨省电网和6个独立省电网。随着长江三峡工程的建设和其他能源基地大型电厂的开发建设，全国联网的格局将逐步形成，到下个世纪初，我国的电力工业必将进入一个崭新的时代。

电网调度作为电力生产的组织和指挥环节，长期以来，一直受到党中央、国务院和地方各级人民政府的关心和重视。随着电网的不断发展和科技水平的迅速提高；随着《电网调度管理条例》的发布施行，经过无数人的不懈努力，我们已初步形成了比较完整的五级电网调度体系，并开始了依法治网、依法调度的伟大实践。电网调度在维系电网整体性中的纽带作用和保障电网安全、优质、经济运行中的作用已日益展现出来。

面临世纪之交和市场经济的大潮，电网调度管理工作如何跃上新的台阶，跟上时代的步伐，以保障电力事业的稳步健康发展，无疑是一个紧迫的课题。面对“多家办电厂，国家管电网”新格局下的发电主体利益多元化；面对伴随电网自身的不断发展而来的运行控制的复杂化；面对当今科学技术日新月异发展促成的电网现代化，电网调度必须主动适应新形势的要求，大胆探索，勇于实践，在积极解决电网运营的难点和重点问题中，逐步深化对电网调度符合社会主义市场经济的要求和电网运行的客观规律的认识，不断提高驾驭电网的能力。

调度系统的值班人员，管理控制着现代化大电网的运营，其工作直接关系到电网的安全、优质、经济运行，直接影响电网的整体安全和正常运行秩序；直接关系到各行各业和社会用电的连续性和可靠性，甚至直接影响到社会的公共安全；直接关系到电网的整体利益和有关投资者及电力用户合法权益的实现。电网调度工作的这种重要性和特殊性，决定了调度系统的值班人员必须具有较高的政治素养、技术素质、工作能力和职业道德，必须具备法定的资格才能履行《电网调度管理条例》赋予的职权。

调度系统值班人员的培训，是使调度系统已经上岗和即将上岗的值班人员达

到法定要求的素质和能力的一条必经途径。《电网调度管理条例》把调度系统值班人员的培训、考核和颁证作为一项法律制度固定下来，体现了对国家和电网各有关利益主体高度负责的精神，是必须严格遵照执行的。电力工业部为此颁布了一系列相应的配套文件，对调度系统值班人员的培训、考核和颁证工作做了明确规定。古人云：大智者治人，睿智者治法。我们必须按纲施训，依法治训。

为了满足电网调度系统值班人员培训的需要，受国家电力调度通信中心委托，东北电网调度通信中心根据部颁《电网调度系统值班人员培训大纲》组织编写了《电网调度运行技术》一书，并组织专家进行讨论和修改。该书是全国电力系统，尤其是电网调度系统广大工作者智慧和经验的结晶。它作为调度系统各级调度运行人员培训的教材，同时也适合电力系统各级领导、发供电企业领导和值班长以及社会各界有关人员了解和掌握电网调度运行技术之用。《电网调度运行技术》一书的出版，必将有助于规范电网调度系统值班人员培训；有助于提高调度运行人员素质和能力；有助于提高电网调度管理的整体水平。

刘振鹏

1997年7月

# 前 言

建国四十多年来，我国电力工业发展很快，全国装机容量由1987年的100GW增加到1996年底的236.54GW。已形成6个跨省电网，其中四个电网装机已接近或超过30GW。随着三峡工程的建设，全国性联网将逐步形成。《电力法》明确规定“电网运行实行统一调度、分级管理”。史大桢部长曾指出：实行电网统一调度是电力工业改革、发展、稳定的内在要求，它是与我国的所有制形式和市场经济模式相适应的电网运行管理制度。调度机构是保证电网安全、优质、经济运行工作的重要部门，随着社会的发展，人民生活水平的不断提高，社会对电力的依赖程度越来越大，电网的调度责任也越来越重，为此电网调度系统必须要有一支高素质的干部队伍和技术队伍。电力部（电人教603号）文件对电网调度人员的业务素质提出了明确的要求和培训考核规定，要持证上岗。为了做好培训工作，国家电力调度通信中心组织有关专家和电网调度人员编写了这本教材。

本教材反映了全国电网的实践经验，并吸取了国际上有关电网的经验。是一本电网理论联系实际教材。是供网、省调调度机构调度值班人员上岗培训的专用教材。同时可供地区调度和发电厂、变电站的运行与技术人员使用。还可供电网专业领导和有关技术人员以及大专院校参考。

本教材编写人员：第一章、第十五章 王德生；第二章、第五章 邵广惠；第四章、第六章 刘家庆；第三章 刘家庆、邵广惠；第八章 第十六章 崔海春；第七章 马新；第九章 邱金辉、孟志宏、孙刚；第十章 王漪、陈国平、周莹；第十一章 高家芬、张国威；第十二章 苏安龙；第十三章 张忠林；第十四章 张忠林、冯松起；第十七章 柯家陶；第十八章 王家宏、许慕良；第十九章 贺兰波。

本教材的编写工作得到了国家电力调度通信中心领导及东北电管局领导的大力支持，国家电力调度通信中心主任刘振鹏为该书作序，东北电网调度通信中心和华东电管局调度局有关技术人员参加了编写工作。1997年4月在国家电力调度通信中心的组织下，有关电网调度运行专家和工程技术人员黄万永、尹其云、舒印彪、张国威、许有方、高家芬、辛绍平、李小彬、蒋小林、李锐、赵兴康、潘明惠、杨铁忠、王凤礼等对本教材进行了评审，提出了许多宝贵意见，认为该教材从结构到内容都是合适的。东北电网调度通信中心负责组织本教材出版的具体工作，有关领导和技术人员对出版工作给予了很大支持，对以上支持和关心本教材的单位、各位专家以及为编写和出版工作做出贡献的同志们致谢。

由于时间和水平有限，缺点和错误在所难免，希望广大读者批评指正。

国家电力调度通信中心

1997年6月



# 目 录

## 第一章 现代电网的运行和管理

第一节 现代电网的主要特征	1
第二节 对现代电网的基本要求	4
第三节 电网调度的任务、地位和作用	6
第四节 电网运行的调度管理	7

## 第二章 大型热力发电厂动力设备及运行

第一节 热力发电厂的类型及生产过程	13
第二节 现代大型汽轮机设备及运行	15
第三节 现代大型锅炉设备及运行	26
第四节 大型热力发电厂的典型热力系统	33
第五节 大型火力发电机组的运行	36
第六节 大型机组的主要自动控制系统	45
第七节 循环流化床锅炉简介	50
第八节 燃汽轮机发电简介	52

## 第三章 水力发电设备与运行

第一节 水力发电概述	58
第二节 大型水电站的建筑物和设备	59
第三节 抽水蓄能电站设备及运行	64
第四节 水电站调度运行	74
第五节 合理利用水能资源	78

## 第四章 核电站及其运行

第一节 概述	81
第二节 压水反应堆的原理与结构	83
第三节 反应堆的运行与控制	86
第四节 核事故与安全防护	91

## 第五章 同步发电机及变压器的运行

第一节 大型同步发电机的结构特点及性能	96
第二节 发电机的励磁系统	101
第三节 同步发电机的运行	107

第四节	大机组与大电网的运行协调	127
第五节	大型变压器的结构特点及性能	132
第六节	变压器的运行	141
<b>第六章</b>	<b>电网结构分析</b>	
第一节	概述	154
第二节	电网结构的可靠性要求	155
第三节	电网结构与安全稳定的关系	159
第四节	国内外几次典型的大停电事故分析	167
第五节	电网运行中的几个问题	173
<b>第七章</b>	<b>电力系统的潮流计算</b>	
第一节	标么值与标么制	177
第二节	网络变换与负荷转移	179
第三节	电网元件的等值电路及电气计算	181
第四节	关于超高压线路充电容量的估算	189
第五节	简单电力系统的潮流计算	193
第六节	复杂电网潮流电压计算机分析方法	203
<b>第八章</b>	<b>电力系统故障分析和计算</b>	
第一节	概述	207
第二节	电力系统三相短路的实用计算	208
第三节	不对称故障分析	214
第四节	不对称故障计算举例	222
<b>第九章</b>	<b>电力系统继电保护</b>	
第一节	继电保护的主要任务、基本原理及要求	230
第二节	220~500kV 电网线路的主要保护	231
第三节	继电保护整定计算	240
第四节	微机继电保护	243
第五节	元件保护	251
<b>第十章</b>	<b>电力系统稳定</b>	
第一节	电力系统稳定的概念	268
第二节	电力系统的静态稳定	269
第三节	电力系统的暂态稳定	272
第四节	电力系统的动态稳定	276
第五节	保证和提高静态稳定性的措施	279
第六节	提高暂态稳定性的措施	281

第七节	电网稳定控制的原则	287
第八节	电压稳定性分析	289
第九节	频率稳定性分析	303
<b>第十一章 直流输电</b>		
第一节	直流输电概述	310
第二节	换流器的工作原理	312
第三节	直流系统的结线与主要设备	322
第四节	直流输电系统的控制	329
第五节	直流系统的故障与保护	337
<b>第十二章 频率及其调整</b>		
第一节	电力系统的频率静态特性	344
第二节	电力系统调峰及调频	347
第三节	自动发电控制 (AGC) 在电网运行中的应用	354
<b>第十三章 电压及其调整</b>		
第一节	负荷的电压静态特性	356
第二节	电压中枢点和监测点的选择与电压调整方法	357
第三节	发电机调压	359
第四节	利用变压器分接头进行调压	360
第五节	利用调压变压器调压	363
第六节	其他调压措施	365
第七节	电力系统调压的相互配合及人工调压	369
第八节	电力系统无功功率平衡	371
第九节	频率调整与电压调整的相互影响	372
<b>第十四章 电力系统内部过电压</b>		
第一节	工频过电压	373
第二节	操作过电压	376
第三节	谐振过电压	380
第四节	限制过电压的措施	384
<b>第十五章 电力系统运行操作</b>		
第一节	操作原则和制度	387
第二节	电力系统操作	389
第三节	环网并解列与系统之间并解列	395
第四节	发电机向空载线路的从零起加压	399

## 第十六章 电力系统异常与事故处理

第一节	事故处理的一般要求	401
第二节	输电线路及变压器跳闸处理	402
第三节	线路过负荷的处理	403
第四节	母线故障及全厂、全所停电	404
第五节	高压开关异常的处理	405
第六节	系统振荡处理	406
第七节	频率突然下降处理	411
第八节	电压下降	413
第九节	系统解列处理	414
第十节	系统瓦解事故的恢复处理	415

## 第十七章 电力系统经济调度

第一节	概述	417
第二节	负荷预测	417
第三节	合理进行年度煤、水、电综合平衡	418
第四节	水库调度	421
第五节	火电厂的经济特性	423
第六节	等微增率经济负荷分配的基本概念	425
第七节	计及线损修正的电厂间经济功率分配	428
第八节	水、火电厂联合系统的经济调度	429
第九节	机组最优投入	429
第十节	联合电力系统的经济运行	431
第十一节	降低网损提高电网运行的经济性	432
第十二节	优化潮流概念简介	434

## 第十八章 电网调度自动化系统

第一节	电网调度自动化系统的基本构成	436
第二节	调度自动化系统的应用软件	437
第三节	高级应用软件	439

## 第十九章 电力系统通信

第一节	电力通信网的主要功能	448
第二节	电力系统通信网的特点	450
第三节	电力系统采用的主要通信方式	450

## 参考文献

# 第一章 现代电网的运行和管理

现代电网的作用，是向国民经济各部门及城乡居民提供合格的电能。因为大电网的优越性是显而易见的，所以现代电网发展越来越大，不仅突破了市界、省界，而且世界上还形成了许多跨区、跨国电网。但是大电网一旦发生事故，如不能迅速消除，其后果也是相当严重的。在大电网运行中，任何不规范的行为，都可能影响其优越性的发挥，甚至造成严重损失。因此，客观上就要求电网运行必须严格管理，使电网管理规范化、制度化、法律化。统一调度、分级管理，是我国电网调度管理的重要原则。电网的安全要靠统一调度来保障，电能质量要靠统一调度来保证，电网经济效益和社会效益要靠统一调度来完成；在分级管理的基础上实行统一调度，才能有效地保证整个电网的安全、优质、经济运行。

在现代电网的调度运行管理工作中，必须认真贯彻执行《电力法》和《电网调度管理条例》。在改革开放的新形势下，出现了一系列的新情况和新矛盾，要求在电网调度运行管理工作中，不仅要采取技术的、经济的、行政的办法，而且必须依法进行调度管理。也就是要依照《电力法》和《电网调度管理条例》等法律、法规加强调度运行管理工作。

## 第一节 现代电网的主要特征

改革开放以来，我国电力工业的发展取得了令人瞩目的成就。到1995年底，全国电力装机容量达2.1亿千瓦，年发电量已居世界第二位。但是作为重要的基础产业和国民经济的先行官，为了适应国民经济和社会发展的需要，电力工业必须适当超前发展。

电力工业的特点是发电、输电、变电、用电同时完成。这些发电、输电、变电、配电、用电设备以及继电保护、调度通信、远动和自动调控设备等所谓二次系统的种种设备统称为电力系统，在我国俗称电网。

建设现代化电网是为了适应和促进国民经济发展和人民生活水平提高的需要，是我国实现“四化”，特别是工业现代化的重要组成部分。

### 一、电力工业生产的主要特点

电力工业生产过程由于其本身的特性与其他工业部门有很大的差别，主要表现在：

#### 1. 电力生产的同时性

发电、输备、供电是同时完成的，电能不能储存，必须用多少，发多少。

#### 2. 电力生产的整体性

发电厂、变压器、高压输电线路、配电线路和用电设备在电网中形成一个不可分割的整体，缺少任一环节，电力生产都不可能完成；相反，任何设备脱离电网都将失去意义。

#### 3. 电力生产的快速性

电能输送过程迅速，其传输速度与光速相同，每秒达到30万公里，即使相距几万公里，发、供、用都是在一瞬间实现。

#### 4. 电力生产的连续性

电能的质量需要实时、连续的监视与调整。

#### 5. 电力生产的实时性

电网事故发展迅速，涉及面大，需要实时安全监视。

## 二、现代电网的主要特征

### 1. 现代电网应该是一个坚强的电超高压等级系统构成主网架的大电网

目前我国已形成几个大的跨省电网和独立省网，并逐步进行互联，这些电网大都出现500kV电压等级网络结构，但是作为现代化电网，仅有这些是不够的，有些500kV系统还是一个简单的非常薄弱的系统，甚至是一条龙，一条500kV线路停电检修就会给系统运行带来很大困难。

电力工业生产水平的提高必然要发展大电网，因为大电网具有十分显著的优越性。为了适应全国联网，目前各电网必须加速500kV网架建设，逐步形成坚强的500kV网架。

(1) 发展大电网可以合理利用能源，有利于水力资源开发和低质煤的利用。

(2) 大电网可以安装大容量、高效能火电机组、水电机组和核电机组，有利于降低造价，节约能源，加快电力建设速度。

(3) 大电网可以利用时间差，错开用电高峰，各地区用电的不同时性削减了尖峰负荷，因而可以降低用电高峰负荷，减少备用容量，从而节省全网装机容量。

(4) 大电网可以在各地区之间互供电力，互通有无，互为备用，增强抵抗事故能力，提高电网安全水平，提高供电可靠性。

(5) 大电网能承受较大的冲击负荷，有利于改善电能质量。

(6) 水电可以跨流域调节，并在更大范围内进行水火电联合经济调度。

### 2. 现代电网的各个电网之间应具有较强的联系

现代电网中各个电网间具有较强的联系，可以充分发挥大电网的优越性，合理利用能源，提高电网运行的经济性，实现事故情况下互相支援。

### 3. 现代电网应简化电力系统的电压等级和提高供电电压

我国目前各电网的电压等级比较多，例如，东北电网除有500kV、220kV、66kV外，还有110、35kV。随着电网的发展，为了便于设备生产、电网管理和提高运行的经济性，减少变压次数，各国正在进行电压等级的整理、简化和统一。

随着城市用电的增长，城市中高层建筑的增多，负荷密度的增高，城市供电电压也有增高的趋势。我国城市供电电压确定为10kV，适应不了现代化大城市发展的需要。因此应加强城市电网的建设，实行电压深入供电方式，中心城市应形成500kV外环供电电网，完善分区的220kV供电网络，以适应现代化大城市发展的需要。

### 4. 现代电网应具有足够的调峰容量，能够实现自动发电控制（AGC）

随着人民生活水平的提高，生活用电量在逐步增加，用电负荷率在逐步降低，电网的峰谷差也在逐渐加大。

峰谷差的增大，给电网的调峰带来相当大的困难。为了满足电网的调峰，有条件的地方要优先开发水电以满足调峰的需要。在规划大型火电机组时，需考虑具有较好调峰性能的机组。另外，建设抽水蓄能电站调峰填谷，以提高系统运行的经济性和可靠性，这在许多发达

国家已获得巨大的经济效益。还有就是加强对地方、企业自备电厂调峰工作的管理，避免出现负荷高峰时受电，低谷时向系统送电的逆调峰现象出现，增加电网的调峰困难。

现代电网应实现自动发电控制（AGC）。目前我国电网 AGC 还处于起步阶段，但进展较快，如东北电网 AGC 投入率已达 90% 以上。其他电网也都有较快的发展。

#### 5. 现代电网应具有较高的供电可靠性

现代电网应具有足够的发电容量，电网备用容量应保持在最大负荷的 20%~30%，其中旋转备用容量一般等于尖峰负荷的 5% 或最大的运行单机容量以满足供电可靠性的要求。例如，美国大部分电力公司规定电力不足概率为 10 年中有一天缺电；法国电网全年断电时间要求小于 50min，即损失电量与全年供电量之比小于万分之一；日本早在 1975 年的供电可靠性就已达使人们在正常生活中觉察不到还有停电事故发生的地步。

为了提高对现代化大城市供电的可靠性，超高压电网已进入城区，并以多重环形网向城市供电。例如英国伦敦是由 275kV 和 400kV 环网供电的；日本东京是由两个 500kV 环网供电的。我国也将逐步实现这样的电网结构。

#### 6. 现代电网应具有电能量自动计量系统

电能量自动计量系统是实施电网现代化运营的主要手段之一。随着我国经济体制改革的深化，电力市场的建设，电网步入商业化运营，多种上网电价，不同电量分配，要按电网最佳经济效益运行。合理的购电与再分配，要求电网必须采用相应的电能量自动计量系统，以达到分时分类计费，实现电网的经济效益和社会效益。

电能量自动计量系统还可以为电网企业掌握潮流分布和电网的损耗提供数据，为电力负荷预测及管理，为电网规划、费率研究提供科学依据。

电能量自动计量系统应具备的主要功能为：

(1) 厂站端具有精确测量和预处理功能。

(2) 主站端应将收集到的数据进行综合分析处理、存档，并进行屏幕显示和打印制表（计费单）。

(3) 具有将电能量分类分时功能，即具有同一时钟系统。

(4) 人机界面友好，方便特权用户，并能保存一定时间。

(5) 该系统应有定期自检，自诊断功能，保证可靠。

#### 7. 现代电网应具有相应的安全稳定控制系统

为确保安全、稳定、优质、经济运行，提高供电可靠性，现代电网应具有相应的安全稳定控制系统。

#### 8. 现代电网应具有高度自动化的监控系统

电网调度自动化是电力系统调度实现电网安全经济运行的一项重要技术措施，它能够收集运行信息，进行安全监视，随时正确地判断电网运行状况，及时调整有功、无功负荷。当发生事故时，调度员通过自动装置能及时掌握运行情况，迅速进行处理，防止扩大事故，减少停电损失，稳、准、快地处理异常情况和事故。

随着科学技术的进一步发展，电网调度自动化系统可以代替调度员做更多的工作，如自动调整电网的频率、电压；自动处理电网出现的各种异常和事故；通过最优经济调度自动调整电厂机组的出力，最大限度地降低网损和煤耗；自动统计各种发电、用电量及各种统计数据等。

因此，电网调度自动化是促进和发展电力生产的重要工作，是电力生产中不可缺少的组成部分。

#### 9. 现代电网应具有高度现代化的通信系统

电网通信是电力调度指挥电网运行、电网自动化和现代电网管理的重要组成部分。它要求迅速、准确、清晰、可靠。要建立以数字微波为主，包括电力载波、卫星通讯、光纤通讯、移动电话等的电网通讯体系，形成电话、数据、传真和图象信息的综合数字通讯网络，全面完成管理信息系统的现代化建设。

#### 10. 现代电网必须具有高素质的职工队伍

现代电网应有一支技术力量雄厚，有丰富理论和实践经验、素质较高，善于应用电子计算机系统工程理论来研究、分析、管理、指挥这个巨型复杂系统的科研、技术专业人才队伍。

总之，只有认识和理解现代电网的主要特征，才能做到有的放矢，有目标地去研究、分析、指挥和管理我国电网的运行，做好电网的运行管理工作。

## 第二节 对现代电网的基本要求

随着社会的发展和科学技术的进步，电能与人类的生存和发展息息相关，而且越来越密切。与此同时，对供电可靠性和电能质量的要求也越来越高。

### 一、现代电网是适应社会发展的需要而产生，并为其服务的

根据电能产、供、销同时进行的特点，电能质量要求高，电网故障影响大的特点，现代电网必须保障电网安全，适应经济建设和人民生活用电的需要。

### 二、保证良好的电能质量

电压和频率以及谐波分量等，不仅直接影响电力用户产品的质量，而且直接关系电网本身的安全。

频率反映了电力系统有功功率供需平衡的基本状态。在电网正常运行时，电网各点都处在基本上同一运行频率下。当电力系统中有功功率的总供给，即各发电厂的总有功出力满足了全网电力负荷的总需求，并能随负荷的变化而及时调整时，电网的运行频率将保持为额定值。如果电力系统的有功功率供大于求，电网的运行频率将高于额定值；反之，则将低于额定值。

电力系统运行频率偏离额定值过多，会给电力用户带来不良影响。对汽轮发电机组，非额定运行频率能给汽轮机叶片带来损伤。同时，当供电频率下降时，驱动厂用电电动机的功率迅速下降，减少了发电机组的机械输入功率，从而使发电机输出的电功率减少，更加剧了供需间的不平衡，进一步促使频率下降，终至造成全厂全停。对于核能电厂，它的反应堆冷却剂泵对供电频率有严格要求，如果不能满足，这些泵将自动断开，使反应堆停止运行。

为了防止电力系统频率过低及崩溃事故，造成电力系统全停，各电网都配置了低频减负荷装置。当电网出现故障而引起有功功率缺额时，分级快速切除部分次要负荷，以防止造成频率崩溃而使全网停电。

电压是电力系统无功功率供需平衡的具体表现，无功功率的传输不但产生很大的损耗而



且沿传输途径有很大的电压降落，因而系统中各中枢点的电压特性更具有地区性质。由于无功功率供需分布关系的不同，同一时刻不同点的电压也不同，无功功率主要靠就地实现平衡。

电压过高或过低均能造成用电设备的损坏，并能降低产品的质量和生产效率，甚至使某些设备不能工作。随着电网的产生和发展，电压已不单是一个供电质量问题，而且还关系到电网的安全运行和经济运行。

为了实现电网的电压控制和调整，除发电机调整所发无功外，必须在电网的适当地点装设一定数量的调相机、电容器和电抗器等无功补偿设备，满足和适应电网电压控制和调整的要求，并保证事故后系统最低电压大于规定值，防止出现电压崩溃事故和稳定破坏事故。

我国电网频率正常是 50Hz，偏差不得超过  $\pm 0.2\text{Hz}$ ；各监测点电压偏差不得超过电压正常值的  $\pm (5\% \sim 10\%)$ 。国外的大电网电能质量都很高，如西欧联合电网允许频率差为  $\pm 0.2\text{Hz}$ ，实际运行均在  $\pm 0.1\text{Hz}$  以内，电钟与标准钟的误差规定在  $\pm 20\text{s}$ ，实际在  $\pm 2\text{s}$  之内。英国电网，系统频率规定运行偏差为  $\pm 0.2\text{Hz}$ ，实际运行均在  $0.02\text{Hz}$  以内，电钟与标准钟误差实际在  $\pm 10\text{s}$  以内，电压运行波动在  $\pm 5\%$  以内。

### 三、提高电网运行的经济性

电力工业的生产要消耗大量的一次能源。火电厂用煤、油、核能、天然气等做燃料发电，水电厂利用水力资源。高温高压的大型火电机组煤耗低，小机组煤耗高，水电机组发电耗水量是由水位决定的。随着用电负荷的变化，经济合理地调整这些机组的发电，是节约能源的关键。

改革开放以来，为了加快电力工业的建设，采取多方投资办电，就目前国内几大电网来看，除了电力部属机组外，还有华能、合资、地方、企业自备和退役等各类发电机组。在电源优化经济调度上，既要考虑经济性，还要考虑各类电厂自身的经济效益，这就给整体电网的经济调度造成一定的难度。此外，经济调度还要考虑电网的最优潮流控制，尽量减少窜动功率来降低电能 in 电网中的损耗。

作为现代化大电网，应根据电网的装机容量，适当建设大机组，逐渐淘汰煤耗高的小机组，不断增加装机容量，满足用电负荷增长的需要；打破各类机组间的界线，并加强电网结构的建设。运用现代的科学技术和手段，真正做到电力系统的最优经济调度。

### 四、现代电网必须实行统一调度，分级管理

电网是一个庞大的产、供、销电能的整体。根据电力生产的特点，电网中的每一环节都必须在调度机构的统一领导下，随用电负荷的变化协调运行。就目前国内几大电网中所属各类机组来看，如果没有统一的组织、指挥和协调管理，电网就难于维持正常的运行。因此，现代电网必须实行统一调度，分级管理的原则。

所谓统一调度，其内容一般包括：

(1) 由电网调度机构统一组织全网调度计划（或称电网运行方式）的编制执行，其中包括统一平衡和实施全网发电、供电调度计划，统一平衡和安排全网主要发电、供电设备的检修进度，统一安排全网的主结线方式，统一布置和落实全网安全稳定措施等；

(2) 统一指挥全网的运行操作和事故处理；

(3) 统一布置和指挥全网的调峰、调频和调压；