

普通高等教育



“十五”

PUTONG  
GAODENG JIAOYU  
SHIWU  
GUIHUA JIAOCAI

规划教材

# 电网监控与调度自动化

张永健 主编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

华北水利水电学院图书馆



209182560

TM734

Z232

普通高等教育



“十五”

规划教材

PUTONG  
GAODENG JIAOYU  
SHIWU  
GUIHUA JIAOCAI

# 电网监控与调度自动化

主编 张永健  
编写 张永健 应敏华  
高亮 王鹏  
主审 辛耀中



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

918256

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十五”规划教材。

全书内容共分七章。第一章介绍电力系统运行与监控与调度自动化的关系、监控与调度自动化系统的结构与功能。第二章介绍各类电量的模拟式和微机型变送器的的工作原理、数据的预处理及标度变换。第三章介绍远动终端的功能、软硬件配置、遥测信息和遥信信息的采集电路原理、遥控和遥调的输入与输出、远动终端故障检测与诊断。第四章介绍变电站自动化的基本功能和结构形式、变电站内通信、无功-电压控制、不直接接地系统接地选线、故障录波方法、低频减载和备用电源自投控制。第五章介绍配电自动化功能与构成、馈线自动化原理、配电管理系统和需方用电管理系统构成、配电网重构。第六章介绍电网数据通信系统构成、数据传输的差错控制、电网数据通信方式和通信规约。第七章介绍能量管理系统的硬件软件配置及系统构成、电力系统状态估计、安全分析、经济调度、发电控制、与电力市场关系等。

本书主要作为普通高等学校电气工程及其自动化、电力系统及其自动化及相关专业的教材，也可作为专科、高职及函授教材和专业工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电网监控与调度自动化/张永健主编. —北京: 中国  
电力出版社, 2004

普通高等教育“十五”规划教材

ISBN 7-5083-2022-0

I. 电... II. 张... III. ①电力系统-监视控制-  
自动化-高等学校-教材 ②电力系统调度-自动化-高等学  
校-教材 IV. TM734

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 022609 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2004 年 6 月第一版 2004 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 19 印张 440 千字

印数 0001—6000 册 定价 29.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

# 序

由中国电力教育协会组织的普通高等教育“十五”规划教材，经过各方的努力与协作，现在陆续出版发行了。这些教材既是有关高等院校教学改革成果的体现，也是各位专家教授丰富的教学经验的结晶。这些教材的出版，必将对培养和造就我国 21 世纪高级专门人才发挥十分重要的作用。

自 1978 年以来，原水利电力部、原能源部、原电力工业部相继规划了一至四轮统编教材，共计出版了各类教材 1000 余种。这些教材在改革开放以来的社会主义经济建设中，为深化教育教学改革，全面推进素质教育，为培养一批批优秀的专业人才，提供了重要保证。原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会在此间的教材建设工作中，发挥了极其重要的历史性作用。

特别需要指出的是，“九五”期间出版的很多高等学校教材，经过多年的教学实践检验，现在已经成为广泛使用的精品教材。这批教材的出版，对于高等教育教材建设起到了很好的指导和推动作用。同时，我们也应该看到，现用教材中有不少内容陈旧，未能反映当前科技发展的最新成果，不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要，而且一些课程的教材可供选择的品种太少。此外，随着电力体制的改革和电力工业的快速发展，对于高级专门人才的需求格局和素质要求也发生了很大变化，新的学科门类也在不断发展。所有这些，都要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进，开拓创新，要求我们尽快出版一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上、出版质量上有突破的高水平教材。

根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，“十五”期间普通高等教育教材建设的工作任务就是通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系。为此，中国电力教育协会在充分发挥各有关高校学科优势的基础上，组织制订了反映电力行业特点的“十五”教材规划。“十五”规划教材包括修订教材和新编教材。对于原能源部、电力工业部组织原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会编写出版的第一至四轮全国统编教材、“九五”国家重点教材和其它已出版各类教材，根据教学需要进行修订。对于新编教材，要求体现电力及相关行业发展对人才素质的要求，反映相关专业科技发展的最新成就和教学内容、课程体系的改革成果，在教材内容和编写体系的选择上不仅要有本学科（专业）的特色，而且注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。考虑到各校办学特色和培养目标不同，同一门课程可以有多种教材供选择使用。上述教材经中国电力教育协会电气工程学科教学委员会、能源动力工程学科教学委员会、电力经济管理学科教学委员会的有关专家评审，推

荐作为高等学校教材。

在“十五”教材规划的组织实施过程中，得到了教育部、国家经贸委、国家电力公司、中国电力企业联合会、有关高等院校和广大教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务，不可能一蹴而就，需要不断完善。因此，在教材的使用过程中，请大家随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。（联系方式：100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416222）

**中国电力教育协会**

# 前 言

本书为普通高等教育“十五”教材，编写大纲经中国电力教育协会组织专家审定。

编写本书的出发点与目的是根据当前高等教育注重多方面综合、宽口径发展的教学需要，从教学角度出发，紧密结合电力系统对安全、可靠、经济运行的要求，以基本原理的分析与应用为主，介绍计算机技术、电子技术、数学工具等在监控与调度自动化各个方面的运用。

全书内容在介绍了监控与调度自动化的基本概念之后，从监控与调度自动化的最低层开始，讲述各种电气量的采集方法、适应于各种需要的对数据的变换及处理过程，继而是远动终端这种基本工作单元的功能及其实现。作为监控与调度自动化的中间层次，变电站自动化和配电自动化承担了承上启下的作用，本书相应介绍了变电站自动化和配电自动化的构成、功能和各种自动化控制设备的原理。电网数据通信系统是构成监控与调度自动化系统重要的一环。各种通信系统的构成，信息传输过程中所需要的数据处理及通信规约组成了有关章节的内容。能量管理系统章节的叙述则围绕调度端的系统构成、分析软件的运用，监控与电力市场关系等各方面展开。综上所述，本书涵盖了监控与调度自动化各个方面及过程，以介绍基础知识为主，使读者能够对监控与调度自动化有完整的、系统的了解与认识。

本书由上海电力学院张永健主编，第一章、第二章（部分）、第五章（部分）、第六章由张永健编写，第二章（部分）、第三章由上海电力学院应敏华编写，第四章、第五章（部分）由上海电力学院高亮编写，第七章由华北电力大学王鹏编写。国家电力调度通信中心辛耀中总工程师主审了本书并提出了宝贵的意见与建议，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中存在的错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2004年1月

# 目 录

序

前言

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第一章 概述</b> .....             | 1   |
| 第一节 电力系统运行及监控与调度自动化 .....       | 1   |
| 第二节 电网监控与调度自动化系统的结构及功能 .....    | 10  |
| 思考题 .....                       | 14  |
| <b>第二章 交流数据采集与处理</b> .....      | 15  |
| 第一节 电量变送器 .....                 | 15  |
| 第二节 模拟交流量的变换 .....              | 15  |
| 第三节 微机变送器与交流采样 .....            | 24  |
| 第四节 电力系统数据预处理 .....             | 31  |
| 第五节 标度变换 .....                  | 36  |
| 思考题 .....                       | 38  |
| <b>第三章 远动终端 RTU</b> .....       | 39  |
| 第一节 远动终端的功能 .....               | 39  |
| 第二节 远动终端硬件与软件配置 .....           | 41  |
| 第三节 遥测信息采集电路 .....              | 44  |
| 第四节 遥信信息采集原理 .....              | 53  |
| 第五节 遥控输入与输出 .....               | 61  |
| 第六节 遥调输入与输出 .....               | 64  |
| 第七节 RTU 故障检测与诊断 .....           | 65  |
| 思考题 .....                       | 68  |
| <b>第四章 变电站自动化</b> .....         | 69  |
| 第一节 变电站自动化概述 .....              | 69  |
| 第二节 变电站自动化的基本功能 .....           | 74  |
| 第三节 变电站自动化系统的结构形式 .....         | 81  |
| 第四节 变电站自动化系统的通信技术 .....         | 89  |
| 第五节 变电站无人值班 .....               | 94  |
| 第六节 变电站的无功—电压综合控制 .....         | 98  |
| 第七节 不直接接地系统单相接地选线与测距 .....      | 106 |
| 第八节 故障录波 .....                  | 111 |
| 第九节 电力系统的低频减负荷控制与备用电源自投控制 ..... | 113 |
| 第十节 电力系统同步相量测量 PMU .....        | 116 |
| 思考题 .....                       | 118 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>第五章 配电网自动化</b> .....     | 119 |
| 第一节 配电自动化概述 .....           | 119 |
| 第二节 馈线自动化 .....             | 125 |
| 第三节 DMS 的 SCADA/LM 功能 ..... | 138 |
| 第四节 配电网图资系统 AM/FM/GIS ..... | 149 |
| 第五节 需方用电管理 DSM .....        | 155 |
| 第六节 配电网网络重构 .....           | 162 |
| 思考题 .....                   | 165 |
| <b>第六章 数据通信系统</b> .....     | 166 |
| 第一节 数据通信系统构成 .....          | 166 |
| 第二节 数据传输的差错控制 .....         | 181 |
| 第三节 通信方式 .....              | 190 |
| 第四节 数据传输规约 .....            | 196 |
| 第五节 局域网 LAN .....           | 212 |
| 第六节 调度数据网络 .....            | 217 |
| 第七节 数据网络的安全防护 .....         | 223 |
| 思考题 .....                   | 225 |
| <b>第七章 EMS 能量管理系统</b> ..... | 226 |
| 第一节 概述 .....                | 226 |
| 第二节 调度自动化主站系统的体系结构 .....    | 227 |
| 第三节 主站系统的主要子系统 .....        | 232 |
| 第四节 电力系统状态估计 .....          | 246 |
| 第五节 电力系统静态安全分析 .....        | 253 |
| 第六节 电力系统经济调度 .....          | 261 |
| 第七节 电力系统发电控制 .....          | 274 |
| 第八节 调度员培训模拟系统 .....         | 281 |
| 第九节 EMS 系统相关技术的最新进展 .....   | 284 |
| 思考题 .....                   | 292 |
| <b>参考文献</b> .....           | 293 |



# 第一章 概 述

## 第一节 电力系统运行及监控与调度自动化

### 一、电力系统运行状态

电力系统由发电厂、输变电系统、配电系统和各种不同类型的负荷等组成，由各级调度中心对系统的运行进行控制和管理。电力系统是一个大系统，而电能的生产、输送及分配是在一个地域广阔、涉及各行各业区域内进行的，加上电磁过程快速性的特点，因此对电力系统运行控制的有效性提出了非常高的要求。对电力系统运行的基本要求是：①保证安全可靠地发供电；②要有合格的电能质量；③要有良好的经济性。

由于电力负荷始终是变动的，加上系统故障的不可预见性，电力系统有多种运行状态，要求电力系统的运行监视及调度控制系统能够进行快速、有效的判别和处理，以实现电力系统运行的基本要求。

电力系统各种运行状态及其相互间的转变关系如图 1-1 所示。

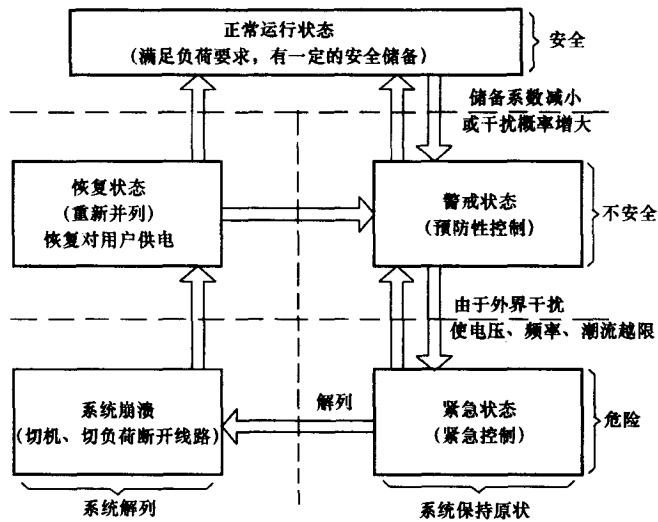


图 1-1 电力系统的运行状态

#### 1. 正常运行状态

电力系统是由许多发电机、变压器、线路、开关等发供电设备组成的庞大网络。在任何时刻用户所用电量，即负荷的有功、无功（包括线路损耗）一定与发电机发出的电能相等，这是电能平衡所决定的正常运行状态。在正常运行状态下，电力系统的频率和各母线电压均在正常运行允许的范围内；各电源设备和输变电设备又均在额定范围内运行；系统内的发电

设备和输变电设备均有足够的备用容量。此时，系统不仅能以电压和频率均合格的电能满足负荷用电的需求，而且还具有适当的安全储备，能承受系统的正常干扰（如断开一条线路或停止一台发电机组）而不致造成不良后果（如设备过载等），使系统迅速过渡到新的正常运行状态。电力系统运行管理的目的就是尽量维持它的正常运行，为用户提供高质量的电能，并使发电成本最经济。

### 2. 警戒状态

由于负荷或系统运行结构的变动以及一系列非大干扰的积累造成某段时间内的单向自动调节，使系统中发电机所发出的功率虽然与用户相等，电压、频率仍在允许范围内，但安全储备系数大为减少，且对外界的抗干扰能力下降了，系统由正常运行状态进入警戒状态。如果再有一个新的干扰，有可能使某些条件越限（如设备过载等），就会使系统的安全运行受到威胁或遭到破坏。

电网调度中心要随时监测系统的运行情况，并通过静态安全分析、动态安全分析对系统的安全水平作出评价。当发现系统处于警戒状态时，调度人员应及时采取预防性控制措施（如增加发电机的输出功率、调整负荷、改变运行方式等），使系统尽快地恢复到正常状态。

### 3. 紧急状态

当系统处于警戒状态且又发生一个相当严重的干扰（如发生短路故障或一台大容量发电机组退出运行等），使电力系统的某些参数越限（如变压器过负荷、系统的电压或频率超过或低于允许值）。这时电网监控与调度自动化系统就担负着特别重要的任务，它向调度人员发出一系列的报警信号。调度人员根据监视器屏幕或调度模拟屏的显示，掌握系统的全局运行情况，及时采取正确而且有效的紧急控制措施，仍有可能使系统恢复到警戒状态，进而再恢复到正常状态。

### 4. 系统崩溃

在紧急状态下，如果不及时采取措施，或采取措施不当或不够有力，或者采取了错误的措施，那么整个系统就会失去稳定运行，造成系统瓦解，形成几个子系统。此时，由于发电机的输出功率与负荷之间功率不平衡，不得不大量切除负荷及发电机，从而导致整个电力系统的崩溃。系统的平衡条件及参数的约束条件，均遭到破坏。使用电力系统监控与调度自动化系统的目的之一就是尽可能避免这种状态的出现。万一出现了紧急状态，应尽可能采取正确而有力的措施，不使系统瓦解。一旦系统瓦解，控制系统应尽量维持各子系统的功率供求平衡，维持部分供电，避免整个系统崩溃。

### 5. 恢复状态

在紧急状态或者系统瓦解之后，待电力系统大体上稳定下来，系统转入恢复状态。这时运行人员应采取各种措施，迅速而平稳地恢复对用户的供电，使停运的机组投入运行，使并列的小系统逐步并列运行，并使系统恢复到正常状态。在这个过程中，监控与调度自动化系统也是调度人员恢复电力系统运行的重要手段。

## 二、电网监控与调度自动化在电力系统中的地位与作用

电力系统运行的可靠性及其电能的质量与电力系统的自动化水平有密切的联系。从以上讨论的电力系统的运行状态来看，为了使电力系统安全经济运行，各种继电保护和自动装置

组成了信息就地处理的自动化系统。信息就地处理的自动化系统的特点是能对电力系统的情况能作出快速反应。如高压输电线上发生短路故障时，继电保护能够快速而及时地切除故障，保证系统稳定；而同步发电机的励磁自动调节系统，在电力系统正常运行时可以保护系统的电压质量和无功功率的平衡，在故障时可以提高系统的稳定水平；按频率自动减负荷装置能在电力系统出现严重的有功缺额时，快速切除一些较为次要的负荷，以免造成系统的频率崩溃。但由于信息就地处理的自动化系统获得的信息有局限性，因而不能从全局的角度来处理问题。如频率及有功功率自动调节装置，虽然可以跟踪负荷的变化，但不能实现有功出力的经济分配。另外，信息就地处理自动装置一般只能“事后”处理出现的事件，因不能“事先”从全局的角度对系统的安全性作出全面而精确的评价，所以有其局限性。

以现代电力系统的运行要求来看，仅依靠信息就地处理的自动化系统还不能保证电力系统的安全、优质、经济运行，因为这些装置往往都是根据局部的、事后的信息来处理电力系统的故障，而不能以全局的、事先的信息来预测、分析系统的运行情况和处理系统中出现的各种情况，所以电网监控与调度自动化系统有着它独特的、不可取代的作用。电网监控与调度自动化系统又称信息集中处理的自动化系统，可以通过设置在各发电厂和变电站的远动终端（RTU）采集电网运行的实时信息，通过信道传输到设置在调度中心的主站上（MS），主站根据收集到的全局信息，对电网的运行状态进行安全性分析、负荷预测以及自动发电控制、经济调度控制等。当系统发生故障，继电保护装置动作切除故障线路后，调度自动化系统便可将继电保护和断路器的动作状态采集后送到调度员的监视器屏幕和调度模拟屏显示器上。调度员在掌握这些信息后可以分析故障的原因，并采取相应的措施使电网恢复供电。但是由于信息的采集、传输需要一定时间，所以目前在发生系统故障时还不可能依靠信息集中处理系统来切除故障。

信息就地处理系统和信息集中处理系统各自有其特点，互相补充而不能替代，但以往这两个系统的联系不够紧密。随着微机保护、变电站综合自动化等技术的发展，两个信息处理系统之间的相互联系必然会更加紧密。如微机保护的定值可以远方设置，并随着系统运行状态的改变，可以使保护的整定值总是处于最佳状态。可以预料，随着计算机技术和通信技术的发展，电力系统的自动化技术将发展到一个新的水平。

继电保护、安全自动装置、安全稳定控制系统、电网调度自动化系统、电力专用通信网系统、电力市场技术支持系统等现代化技术手段，是保证电力系统在进入电力市场时代后安全、优质、经济运行的支柱，是现代电力系统运行必不可少的手段。

### 三、电力系统的分层控制

电能的产、输、配和用均在一个电力系统中进行的，我国目前已建成五个大电网（华北、东北、华东、华中、西北电网）以及一些省网，并且在大网之间通过联络线进行能量交换（如三峡、葛洲坝到上海的500kV输电线将华东和华中两大电网联系起来）。受现行电网运行、管理体制的制约，我国电网实行五级分层调度管理；国家调度控制中心，大区电网调度控制中心，省电网调度控制中心及地、县电网调度控制中心。

电网调度管理实行分层管理，因而调度自动化系统的配置也与之相适应，信息分层采集，逐级传送，命令也按层次逐级下达。为了保证电力系统能安全、经济、高质量的运行，

对各级调度都规定了一定的职责与功能。

根据发展,我国电网调度机构目前分为五级(图1-2):国家调度机构(简称国调),跨省、自治区、直辖市调度机构(简称网调),省、自治区、直辖市级调度机构(简称省调),省辖市级调度机构(简称地调),县级调度机构(简称县调)。

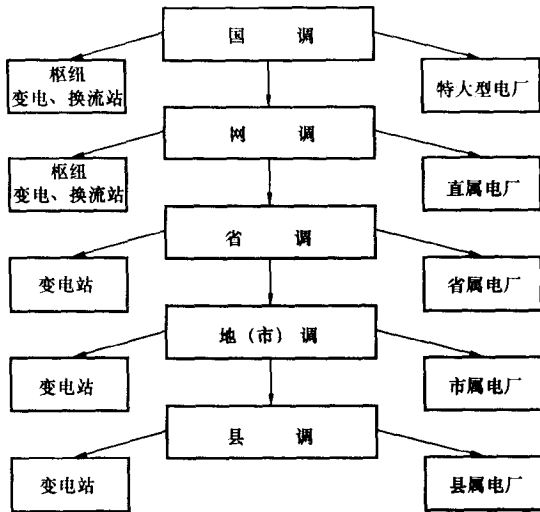


图1-2 电网分层控制示意图

准确性,并向下传达。

(3) 处理有关信息,参与电网规划及各种技术经济指标制定和审查,作中期、长期安全经济运行分析。

## 2. 网调(大区级调度)

网调按统一调度、分级管理的原则,负责跨省大电网的超高压线路的安全运行,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,闭环或开环的自动发电控制。

(3) 省(市)间和有关大区电网的供/受电量计划编制和分析。

(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结果的正确性并上报、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。

## 3. 省级调度

### 1. 国家调度机构

国家调度(国调)机构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,并根据系统运行情况,对所辖枢纽变电、换流站和特大型电厂进行监视控制。其主要任务包括:

(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监测点工况及全国电网运行概况,并做统计分析和生产报表。

(2) 进行大区互连系统的潮流、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

省级调度按统一调度、分级管理的原则，负责省内电网的安全运行监控、操作、事故处理和无功/电压调整，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) 进行负荷预测，负责省网的安全运行，编制省网的运行方式，制定开停机计划和水火电经济调度的日分配计划和设备检修计划并下发，闭环或开环的指导自动发电控制。

(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结果的正确性并上报、下传。

#### 4. 地区调度

负责区内运行监视，遥控、遥调操作、事故处理和无功/电压调整，与省调和县调交换实时信息。负责所辖地区的用电负荷管理及负荷控制。

#### 5. 县级调度

县级调度（县调）主要监控 110kV 及以下农村电网的运行，其主要任务有以下几点：

(1) 指挥系统的运行和倒闸操作。

(2) 充分发挥本系统的发供电设备能力，保证系统的安全运行和对用户连续供电。

(3) 合理安排运行方式，在保证电能质量的前提下，使本系统在最佳方式下运行。

随着我国社会经济的发展和文化的进步，我国的电网调度取得了前所未有的发展，以《中华人民共和国电力法》（以下简称《电力法》）和《电网调度管理条例》的发布施行为标志，我国的电网调度进入了依法调度的新时期。我国电网调度的基本原则是统一调度、分级管理、分层控制。

#### 1. 统一调度

统一调度的涵义和内容主要是指：

(1) 电网调度机构统一组织全网调度计划（或称电网运行方式）的编制和执行，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，统一安排全网的主接线方式，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。

(4) 统一协调和规定全网继电保护、安全自动装置、调度自动化系统和调度通信系统的运行。

(5) 统一协调水电厂水库的合理运用。

(6) 按照规章制度统一协调有关电网运行的各种关系。

在形式上，统一调度表现为在调度业务上，下级调度必须服从上级调度的指挥。

#### 2. 分级管理

分级管理是指根据电网分层的特点，为了明确各级调度机构的责任和权限，有效地实施统一调度，由各级电网调度机构在其调度管理范围内具体实施电网调度管理的分工。

电网运行的统一调度、分级管理是一个整体，统一调度以分级管理为基础，分级管理是

为了有效地实施统一调度。统一调度、分级管理的目的是为了有效地保证电网安全、优质、经济的运行，最终目的是为了维护社会的公共利益。

(1) 从电力系统调度控制的角度来看，信息可以分层采集，只需把采集处理成一些必要的信息转发给上一级调度部门。上一级调度只向下一级调度发出总指标，由下一级调度进行控制。这样做既减轻了上级调度的负担，又加速了控制过程。

(2) 在分层控制的电力系统中，若局部的控制系统发生故障，一般不会严重影响电力系统的其它控制部分，并且各分层间可以部分地互为备用，从而提高了电力系统运行的可靠性。在电力系统中，即使在紧急状态下部分电网与系统解列，也可以分别地独立运行。因为局部地区也有相应的调度自动化系统，可以对电网实现监控。

(3) 实现分层控制以后，可以大大地降低信息流量，因而减少了对通信系统的投资。同样，分层以后减轻了计算机的负荷，投资也相应地下降。

(4) 分层控制的自动化系统结构灵活，可适应电力系统变更或扩大的需要。

### 3. 分层控制

(1) 电力系统调度组织结构一般都是分层的。如国际电工委员会标准(IEC-870-1-1)提出典型分层结构中就将电力系统调度中心分为主调度中心、区域调度中心及地区调度中心。分层控制和调度组织结构是相适应的，尤其是调度控制任务有全网性的亦有局部性的。大量的局部性的调度控制任务可以由下层相应的调度机构来完成，而全网性或跨地区性的调度可以由上层相应调度机构来完成，这样便于协调和平衡。同时电力系统不断扩大，运行信息大量增加，分层控制方式亦使运行信息的采集分散化，各层次根据各自分担的调度控制任务采集运行信息，大大压缩了信息量的传输和处理，提高了调度效能。

(2) 系统可靠性提高。采用调度分层控制方式后，调度自动化系统亦相应分层设立，因而当某一层自动化系统停运或故障时，不致影响全系统调度自动化功能的实现，而且相应层次的自动化系统还有备用和互补作用，从而提高了整个系统的可靠性。

(3) 系统响应改善。在电力系统调度中实时性很重要，事故处理、负荷调度、不正常运行状态的改善和消除都必须在一定的时间内完成。采用调度分层控制方式，使不少调度控制任务可以由不同层次调度自动化系统并进行处理，从而加快了处理速度，亦改善了整个系统的响应时间。此外，采用调度分层控制还便于调度自动化系统的功能扩充、系统升级和分期投资。

## 四、电力系统调度自动化系统的发展

随着电力系统的发展，装机容量不断的增加，输电电压等级的不断升高和电网的覆盖范围的不断扩大，对电网运行管理的要求愈来愈高，电网监控与调度控制技术也随着电网的发展而发展。

### 1. 早期阶段

电力系统运行的初期阶段，由于通信设备的限制，调度人员要花很长的时间才能掌握有限的信息。信息来源主要靠一些自动装置、电话以及运行人员的经验来调度和操作，因此不能有效地管理电网。由于实时性差，有时会使故障得不到及时的处理而扩展，以致造成较大的经济损失。

## 2. 远动技术的应用

我国最早的遥测装置是电子管和继电器逻辑的遥测、遥信、遥控装置。由于设备容量小，精度低，不能满足电网发展的需要。

随着电子元器件和数字逻辑技术的发展，我国在 20 世纪 60 年代中期的晶体管数字综合远动装置。采用了模/数转换技术，实现了数字遥测，遥测精度大为提高；采用了时分多路复用技术，遥测的路数也增多了；采用了抗干扰编码技术，使传输的可靠性也得到了提高。总之，在数字综合远动装置中，将数据通信、计算机技术引进了远动技术领域，使远动技术在原理上有了个飞跃，这些技术原理即使在现在的微机远动中仍被继续采用。

随着集成电路技术的发展，在数字综合远动装置中也广泛采用集成电路技术，但从晶体管到集成电路数字综合远动装置只是器件上的更新替代，原理上没有发生实质性的变化。

远动技术和通信技术的发展，使电力系统的实时信息直接进入调度控制中心成为可能，调度人员可根据这些信息迅速掌握电力系统的运行状态，及时发现和处理事故。20 世纪 60 年代系统内开始采用数字式远动设备，使信息的收集和传输在精度、速度和可靠性上都有很大的提高。电子计算机和图像显示技术在电力系统调度控制中心的应用，使自动化程度达到一个新的水平。在这一阶段，计算机与相应的远动装置及通信设备组成的系统，主要用来完成电力系统运行状态的监视（包括信息的收集、处理和显示）、远距离开关操作以及制表记录和统计等功能，一般称为数据采集与监视控制（Supervisory Control And Data Acquisition，简称 SCADA）。

## 3. 以计算机技术为基础的调度自动化技术的应用

将微机技术应用于远动技术后，远动技术发生了重大的变化，原来许多不易实现的功能，采用微机技术后便迎刃而解。与常规远动相比，微机远动功能强、体积小、可靠性高。如在微机远动终端上，可以方便地完成事件顺序记录、主站与远动终端对时以及当地打印制表等功能，在主站可以方便地实现 1:N 的接收以及转发等功能。

20 世纪 60 年代后期，国际上出现多起大面积停电事故以后，电力系统加强了全网的安全监视、分析和控制。这种控制系统不仅能完整地了解全系统的实时状态，而且可在计算机及其外围设备的帮助下，对电网正常和事故情况及时而正确地做出控制决策。这种包括 SCADA 功能、自动发电控制与经济运行、网络分析功能、调度管理和计划功能的系统称为能量管理系统（Energy Management System，简称 EMS）。利用这种先进的自动化系统，运行人员从过去以监视记录为主的状况转变为较多地进行分析、判断和决策，而日常的记录事务则由计算机取代。现在我们常讲的电力系统调度自动化系统基本上基于当时的概念展开并有所发展。

## 4. 调度自动化系统数据网络的建立

由于计算机网络技术的普及和市场化的需要，开放、互连、标准化已成为电力工业中业务系统发展的必然趋势，数据网络在电力系统中的应用日益广泛，已经成为不可缺少的基础设施。我国国家电力信息网作为电力工业市场化运作所必需的网络基础设施已建设成为基于 IP 交换技术的四级网络。网上开通的业务主要有调度自动化系统、电子邮件服务、WWW 服务、域名解析服务、办公自动化系统、管理信息系统、视频点播系统等，同时承载着实

时、准实时生产控制业务和管理信息业务。

#### 5. 世界上典型的调度管理模式

根据电网管理形式的不同,世界上典型的调度管理模式大致可分为三种:

(1) 统一电网、统一调度。该模式是当今世界调度管理的主流模式,它包括两个层次的统一。

1) 局部电网的统一管理、统一调度,这是电网运行的基本组织形式,几乎所有局部电网都采用这一模式。

2) 国家电网的统一管理、统一调度,这是电网运行的先进组织形式,是生产力与生产关系相适应的合理选择,世界上大多数发达国家,如西欧、北欧、东欧的绝大部分国家以及已经形成国家电网的大部分亚洲国家、南美洲国家都采用这一调度管理模式。

(2) 联合电网、统一调度。这是一种由于不同所有权属的电网逐步互连而出现的调度模式。由局部电网联合而实施的统一调度是电网所有权与调度权分离的电网运行组织形式,例如美国的 PJM 电网,它是由包括宾州、新泽西州、马里兰州等 6 个州 11 个公司所有的电网共同成立了一个调度机构,来实现 PJM 联合电网的统一调度。

(3) 联合电网、联合调度。这种模式世界上采用的国家为数不多,它的特点就是无专设调度机构或只有形同虚设的调度机构,北美电网(包括美国、加拿大和墨西哥一部分)就是典型例子。西欧、东欧电网(UCPE)、北欧电网(NORDEL)也可以归类于这一调度管理模式。北美电网目前设若干个控制区,整个电网分区按协议运行,每个控制区是平等协作关系,每个控制区都由其控制中心对所辖电网实施统一调度,各个控制区之间缺乏协调。这种联合电网联合调度的最大弊端就是抵御事故的能力较差,美国近年来连续几次发生的波及面颇大的电网事故都在一定程度上证明了这一点。

随着计算机技术的发展,微机远动从芯片级向板级、系统机级、网络级的方向不断地发展。远动终端已从单 CPU 向多 CPU 的方向发展,直接交流采样取代模拟变送器。开放分布式系统、数据库、数字图形技术以及计算机网络技术的应用使调度自动化展现出崭新的面貌,使电力系统的运行控制更迅速、有效。

#### 五、调度自动化系统与电力市场

随着我国电力系统市场化改革的深入,需要建立相应的电力市场技术支持系统,同时对调度自动化系统又提出了新的要求。电力市场技术支持系统是支持电力市场运营的计算机、数据网络与通信设备、各种技术标准和应用程序的有机组合。

国家电力监管委员会于 2003 年 8 月公布的《电力市场技术支持系统功能规范(试行)》中规定:电力市场技术支持系统必须对电力市场的数据申报、负荷预测、合同的分解与管理、交易计划的编制、安全校核、计划执行、辅助服务、市场信息发布、市场结算等运作环节提供技术支持;必须符合国家有关技术标准、行业标准和有关的国际标准;必须保证系统及其数据的安全,满足全国二次系统安全防护要求,采用适当的加密防护措施、数据备份措施、防病毒措施及防火墙技术,提供严格的用户认证和权限管理手段,并考虑信息保密的时效性;结构设计、系统配置、软件编制,必须满足对区域电力市场可靠运营的要求;必须保证整个交易数据的完整,确保各类数据的准确性及一致性,必须确保提供连续的服务;在保



证能量管理系统(EMS)实时性以及电能计量系统(TMR)连续性的同时,保证报价、交易、结算及信息发布的处理和数据传输的及时性;采用开放式体系结构和分布式系统设计,保证系统的开放性、可扩展性,能满足与未来电力监管系统接口的要求,适应电力市场发展、规则的变化、新技术发展和设备的升级换代;必须满足软件平台、硬件平台的兼容及各子系统间的互连的要求;系统的结构设计应注重系统的可维护性,并提供系统运营状态实时监视信息。

电力市场技术支持系统主要由以下子系统组成:

(1) 能量管理系统(EMS: Energy Management System): 用于保障电网的安全稳定运行,主要由数据采集和监视控制(SCADA)、自动发电控制(AGC)及高级应用软件等功能模块组成。在电力市场环境中,要充分利用现有的EMS系统功能和数据资源,实现信息资源的共享。

(2) 交易管理系统(TMS: Trade Management System): 依据市场主体的申报数据,根据负荷预测和系统约束条件,编制交易计划,通过安全校核后将计划结果传送给市场主体和相关系统。

(3) 电能计量系统(TMR: Tele Meter Reading System): 对电能数据自动采集、远传和存储、预处理、统计分析,以支持电力市场的运营、电费结算、辅助服务费用结算和经济补偿计算等。

(4) 结算系统(SBS: Settlement & Billing System): 根据电能计量系统提供的有效电能数据、交易管理系统的交易计划和交易价格数据、调度指令、EMS系统的相关运行数据、合同管理系统的相关数据,依据市场规则,对市场主体进行结算。

(5) 合同管理系统(CMS: Contract Management System): 对市场主体之间的中期合同和长期合同进行管理,以长期负荷预测的结果和市场未来供需状况及市场价格的预测为依据,进行未来合同的辅助决策。

(6) 报价处理系统(BPS: Bidding Process System): 接收注册和申报数据,并对申报数据进行预处理。

(7) 市场分析与预测系统(MAF: Market Analysis & Forecast System): 对电力市场运行情况进行信息采集和分析,从而使市场主体能够提前了解市场未来的发电预期目标、负荷预测、交易价格走势、输电网络可用传输能力及系统安全水平,便于交易决策。

(8) 交易信息系统(TIS: Trade Information System): 对系统运行数据和市场信息进行发布、存档、检索及处理,使所有市场主体能够及时地、平等地访问相关的市场信息,保证电力监管机构对市场交易信息的充分获取。系统运行数据和市场信息包括预测数据、计划数据、准实时数据、历史数据、报表数据等。

(9) 报价辅助决策系统(BSS: Bidding Support System): 根据市场分析与预测系统(MAF)和交易信息系统(TIS)发布的信息,结合市场主体本身的成本分析和市场规则,形成报价决策方案,进行电量及电价的数据申报。

## 六、调度自动化系统及数据网络的安全防护

目前数据网络在电力系统中的应用日益广泛,已经成为不可或缺的基础设施。国家电力