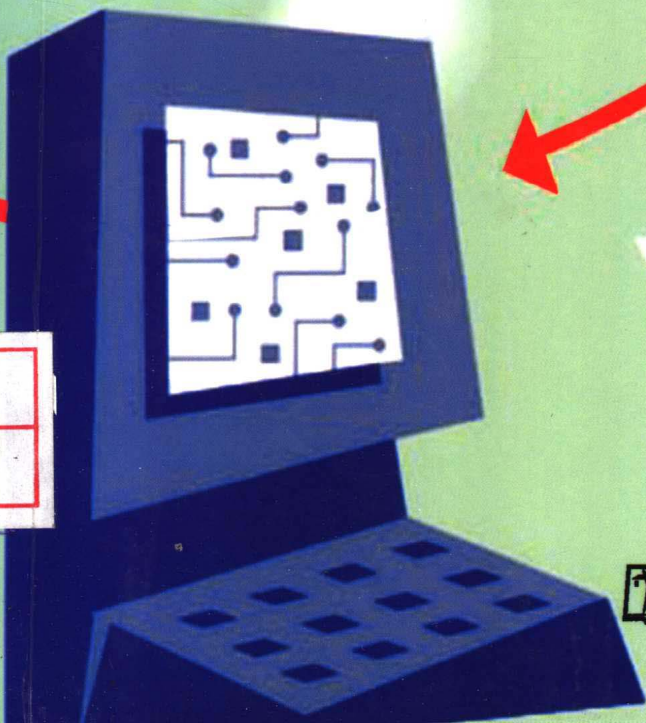


DIQUDIANWANG
DIAODU

ZIDONGHUAJISHU
YU YINGYONG

地区电网调度 自动化技术与应用

龚强 王津 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

DIQUDIANWANG
DIAODU

ZIDONGHUAJISHU
YU YINGYONG

地区电网调度

自动化技术与应用

龚强 王津 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书介绍了什么是电力调度自动化系统, 调度自动化系统的发展过程及其应用所包含的内容。

本书讲述了电力调度自动化系统的专业知识, 介绍了抗干扰编码、计算机等相关知识。为了适应变电站自动化系统的发展, 配合调度自动化系统和无人值班变电站的建设, 本书从实用角度出发, 重点讲述了地区调度自动化系统及变电站自动化系统在运行和维护中所需要做的工作以及调度自动化系统的开发利用等内容。因此, 本书适用于广大从事变电站建设的工人和工程技术人员及地、县级电力调度自动化系统的专业人员和管理人员。

图书在版编目 (CIP) 数据

地区电网调度自动化技术与应用/龚强, 王津编著.

北京: 中国电力出版社, 2005

ISBN 7-5083-2632-6

I. 地... II. ①龚... ②王... III. 电力系统
调度-自动化技术 IV. TM734

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 040005 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>)

冶林印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 7 月第一版 2005 年 7 月北京第一次印刷

850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 12 印张 316 千字

印数 0001—3000 册 定价 23.00 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)

前 言



随着电力系统的快速发展，调度自动化系统已在保证电力系统安全、可靠和经济运行中发挥着重要作用，逐步由电力系统中的一门辅助性的远动技术，发展为集系统性、专业性于一身的技术，并且成为电力系统安全稳定运行的三大支柱之一。调度自动化系统在广泛实用化后的今天，确实成为电力企业减人增效，实现科技进步的主力军。在美加大停电以后，各国都加强了电网管理，力图通过调度自动化系统的重要作用来提高电网的安全运行水平。

调度自动化专业是一个应用学科，它是由远动专业逐步发展而来的，掌握好这个专业需要了解许多与之相关的专业知识，如电力系统、通信和计算机技术等等。近几年来，随着计算机技术的飞速发展，远动专业取得了突飞猛进的进步。从常规远动到微机远动，从常规变送器到微机变送器，从直流采样技术到交流采样技术，从集中式 RTU 到分布式 RTU，无一不是计算机技术在远动专业中的深入应用而带来的变化，而这一发展却是在十年之内完成的。

对于调度自动化系统来讲，它可分为远动系统和计算机系统，从它们实现的基本功能上定义，称为 SCADA 系统，主要完成“四遥”功能（遥测、遥信、遥控、遥调），再加上高级应用功能如安全分析、状态估计、潮流计算分析、最优无功电压控制、自动发电控制、经济调度等功能，构成了一个完整的能量管理系统（Energy Management System）。由于调度自动化系统是为调度控制中心提供实时数据，实现对远方运行设备的监视和控制，因此它是电力系统中重要的组成部分。

调度自动化系统是为调度运行部门直接服务的。它可以进一

步提高调度员的调度能力和素质，大幅度减轻调度员的工作强度，使调度部门由经验型调度上升至科学分析型调度，更好地适应电网商业化运行。因此，在 SCADA 系统基础上继续开发应用能量管理系统（EMS）中高级应用软件（PAS）功能是调度自动化专业发展的必然阶段。

目前，计算机技术被应用于各行各业，软硬件水平的发展为调度自动化系统的开发和应用带来了新的契机，也同样给变电站二次监视控制系统带来了一场革命。变电站自动化自 20 世纪 90 年代以来一直是我国电力行业中的热点之一。从技术角度讲，变电站自动化技术也是计算机技术发展的产物，结合微机远动技术的日益完善和功能的不断发展，以及分布式 RTU 的出现，变电站自动化系统已经登上了历史舞台。

“变电站自动化”是指将变电站中的微机保护、微机监控等装置通过计算机网络和现代通信技术集成为一体化的自动化系统。它取消了传统的控制屏台、表计等常规设备，因而节省了控制电缆，缩小了控制室面积。传统的变电站二次回路部分是由继电保护、当地监控、远动装置、故障录波和测距、直流系统与绝缘监视及通信等各类装置组成的，以往它们各自采用独立的装置来完成自身的功能且均自成系统，由此不可避免地产生了各类装置之间功能相互覆盖，部件重复配置，耗用大量的连接线和电缆。随着对计算机技术、网络技术及通信技术的应用，根据变电站的实际情况，各类分散分布式变电站自动化系统纷纷研制成功并投入运行。它将各现场输入输出单元部件分别安装在中低压断路器柜或高压一次设备附近，现场单元部件可以是保护和监控功能的二合一装置，用以处理各开关单元的继电保护和监控功能，也可以使现场的微机保护和监控部件分别保持相对独立。在变电站控制室内设置计算机系统，对各现场单元部件进行通信联系，通信方式通常采用串行口，如 RS - 232C，RS - 422/485 和 LonWorks（Local Operation Network）或 CAN（Control Area Network）等现场总线型网络技术。变电站自动化的功能，则是将遥测、遥

信采集，处理遥控命令执行和继电保护功能等均由现场单元部件独立完成，并将这些信息通过网络送至远程通信控制单元和后台计算机系统，从而完成了传统的 RTU 和变电站当地综合系统的功能。

从变电站自动化系统的设计思想角度来看，对变电站测控的方法已实现了从局部到整体的转变。在目前的变电站自动化系统中，面向对象技术已成为一个十分流行的趋势，即不单纯考虑某一个量，而是为某一设备配备完备的保护和监控功能装置，来完成特定的功能，从而保证了系统的分布式及开放性。从技术发展的趋势看，将来的测控设备还将和一次设备完全融合在一起（从而带来一次设备的革命），即实现所谓的智能一次设备，每个对象均含有保护、监控、计费、操作、闭锁等一系列功能及信息库，面向自动化的仅是一对通信双绞线，该双绞线以网络方式和计算机相连。设计思想的发展导致了系统结构的发展，原来的自动化系统基本上只能集中配屏，但由于设计思想的深入以及一次设备的整体化设计，系统结构将由集中式向部分分散式或全分散式发展，变电站内可能将不再具有规模庞大的测控屏以及大量连接信号源和测控屏之间的铜芯电缆，全部测控装置下放在就地，实现所有功能，而在控制室，取而代之的是一台计算机显示器甚至仅为一台临时监视、操作使用的便携机。

在调度自动化系统中的，一度发生过计算机和远动两个专业的交叉，后来才在监视控制和管理系统 SCADA/EMS/DMS 的专业划分下，“远动”和“计算机”统一到“调度自动化”上来。但传统的继电保护和自动装置功能，仍然相对独立。现在，变电站自动化技术的发展，“保护”和“调度自动化”的关系日益密切。我国电力系统在发展的实践过程中，由“远动”和“计算机”统一到“调度自动化”，差不多经历了十年时间，目前，由变电站自动化带头，又提出了“保护”和“自动化”的关系问题，并提出了更多涉及行业内部的技术关系。

总之，调度自动化系统的内涵及外延是随着各类技术的发展

而发展，并逐步实现与变电站自动化技术逐步融合起来的。从其意义上讲，就要求调度自动化专业技术人员不但能掌握单一专业技术领域的内容，同时还要能适应专业技术飞速发展的形势，成为全方位的复合型人才。

由于水平有限，书中难免有错误和不当之处，请广大读者批评指正。

编者

目 录

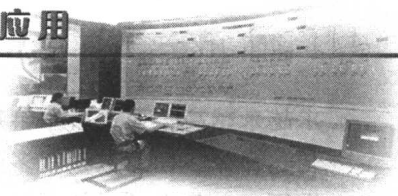


前言

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 调度自动化系统的发展	3
第三节 调度自动化系统的基本功能	10
第四节 调度自动化系统的组成	17
第五节 调度自动化系统的结构与要求	31
第六节 调度自动化系统信息传输的途径	37
第二章 远动信息传输的基本原理	44
第一节 信号波形与传输	44
第二节 数字信号的三种调制方式	49
第三节 串行通信	58
第四节 同步	77
第三章 抗干扰编码的基础知识	83
第一节 概述	83
第二节 差错控制方式	86
第三节 线性分组码	89
第四章 微机远动装置	95
第一节 概述	95
第二节 遥测采集过程及原理	102

第三节	遥信过程采集及原理	114
第四节	遥控及遥调过程	121
第五节	变电站当地监控系统	123
第六节	以太网下的电网 SCADA 系统	130
第七节	计算机常见接口介绍	144
第八节	厂站端信息的配置与发送	149
第九节	调度端远动信息的接收与处理	155
第十节	小波变换在电网中的应用	161
第十一节	远动装置常见故障调试与维护	168
第五章	远动通信传输规约	173
第一节	数制转换与表示	173
第二节	通信规约的种类和用途	184
第三节	部颁 CDT 规约介绍	189
第四节	变电站自动化系统传输规约与发展	222
第六章	计算机网络基础知识	225
第一节	概述	225
第二节	计算机网络的组成	228
第三节	计算机网络的种类介绍	238
第四节	电网调度实时信息与 MIS 系统的连接	247
第五节	计算机网络常见故障的处理	257
第七章	变送器	268
第一节	概述	268
第二节	常规变送器	270
第三节	微机交流采样变送器	274
第八章	调度主站端与计算机系统	284
第一节	调度端的组成及工作原理	284

第二节	调度端的计算机软件系统	296
第三节	调度模拟屏	308
第四节	系统的运行管理	314
第五节	系统的维护和调试	319
第六节	计算机实时网络安全及防护	321
第九章	变电站自动化及无人值班	326
第一节	概述	326
第二节	无人值班变电站的作用	327
第三节	无人值班变电站的建设	329
第四节	无人值班变电站的运行与管理	336
第十章	调度自动化系统的高级应用软件	338
第一节	高级应用软件的发展	338
第二节	地调 EMS 系统实例	340
第三节	网络拓扑	347
第四节	状态估计	352
第五节	调度员潮流	357
第六节	负荷预测	360
第七节	EMS 其他功能	364
参考文献		371



第一章

绪 论

第一节 概 述

随着我国经济建设的快速发展,电力建设突飞猛进,各级调度组织所控制管理的区域电网电压等级越来越高,变电站数量越来越多,电网结构越来越复杂。

电力系统是由发电厂、变电站及输电线路等组成。系统的安全、稳定、经济运行,大部分工作是由调度控制中心对全系统的运行进行统一管理来完成的。电力系统地域分布广,今后随着系统容量的不断增大,科学技术的不断发展,设备不断地更新换代,运行管理更趋复杂。为了保证供电的质量和系统运行的可靠性和经济性,系统的调度控制中心必须及时、准确地掌握全面的运行情况,并随时进行分析、做出正确的判断和科学的决策,必要时采取相应的措施,及时处理事故和异常情况,以保证电力系统安全、经济、可靠地运行。调度控制中心需要掌握的信息有各发电厂和变电站的机组出力、主变压器负荷、母线电压和线路潮流等主要参数,同时还要收集主要设备的运行状态,例如断路器的投入或退出以及各种预告及事故信号等。过去这些工作都要靠调度员接听电话来完成,每天由各厂、站的值班人员定时地轮流向调度中心报告相关参数,调度员参照这些资料,结合负荷预测情况,安排运行计划,检修计划及继电保护整定定值等,并用电话通知下属厂、站值班人员,以达到控制管理的目的。调度员通过电话所掌握的资料缺乏实时性,不能满足实时、安全、经济调度的要求。而且,随着电网规模的不断扩大,调度控制中心要采集和处理的实时运行参数和状态信息数量越来越多,实时性要

求越来越高，如仍沿用早期的调度方式，用电话通信采集数据，传达命令，面对数量众多的信息根本无法胜任。特别是在事故情况下，单靠电话通知下属厂、站值班人员，更是难以满足要求，已经不能达到控制管理的目的。因此，电力系统为了在正常的运行管理及事故处理情况下，提高调度效率，就必须采用远动技术。

远动系统中的遥测、遥信、遥控及遥调功能是调度自动化系统的基本内容，由于远动系统是为调度控制中心提供实时数据，实现对远方运行设备的监视和控制。因此，远动系统成为电力调度中心的耳目和手足。

远动系统是调度自动化系统的一个重要组成部分，目前已广泛使用计算机技术对电力系统进行监视和控制，并成为实现电网调度自动化的可靠手段。实现电网调度自动化，首先要采集实时数据，对电网进行监视和控制。SCADA 系统是 Supervisory Control and Data Acquisition 英文的缩写，其含义是监控和数据采集系统，它是美国 Bonneville 电力公司于 60 年代提出来的。系统的主要设备是设置在该系统中的远方数据终端，即 RTU (Remote Terminal Unit)，其主要功能是完成遥测、遥信、遥控、遥调任务。随着系统的完善和发展，在此基础上配以自动发电控制、经济调度以及其他如安全监视、安全分析等应用软件功能构成能量管理系统 EMS (Energy Management System)。因此，SCADA 系统是 EMS 系统的基础，在功能划分上可以认为，EMS 系统包括 SCADA、PAS 和 DTS 等功能。

计算机技术及应用软件的快速发展也为调度自动化系统的发展提出更高的要求。调度自动化系统将大量的电网信息采集到调度中心以后，调度员利用这些数据进行安全监视只是系统应用的一小部分功能，而 EMS 系统中的大量的应用软件将对这些数据进行加工分析，并推算出人脑及人工经验无法得到的结果。因此，应用软件的应用，对基础数据的采集提出了更高的要求，如遥测数据的精度、系统的实时性、自动化系统的运行率等指标均

提出了更高的要求。

近年来，随着无人值班变电站的建设和发展，以及实现电力生产经营中的“减人增效”原则，调度自动化专业已经成为十分引人瞩目的技术。无人值班变电站作为变电站运行管理的一种先进的管理模式，尤其需要电力系统加强调度自动化技术的发展及管理。

第二节 调度自动化系统的发展

电是一种特殊的产品，其特点是同一时刻发、供、用必须保持平衡和稳定。因此，作为生产指挥控制中心的调度首先必须掌握生产过程的实际情况，然后才能作出正确的判断，进行必要的干预，使生产过程尽可能地维持在最佳状态，所以采集实时数据对生产过程进行监视和控制是科学管理生产的基础。在生产过程中，如果控制对象分布的范围不广，相距不远，通常可采用就近监视和就近控制的办法，如变电站当地监控系统。但变电站大多距离调度指挥中心距离较远，要对各变电站生产过程进行实时监视和控制，就必须采取专门的措施来克服由于相距遥远所带来的困难。为了适应这种客观需要，逐步发展了远动技术。远动技术，就是应用远程通信技术，对远方的运行设备进行监视和控制，以实现远程测量、远程状态、远程控制和远程调节等各项功能。

我国电力系统远动技术的发展起步于 20 世纪 50 年代，伴随着电子技术和计算机技术的发展，远动装置经过了几代的更新，从最初的继电器连接的有触点式，发展成晶体管的无触点式；从分立元件发展到集成电路；从硬件布线逻辑式远动装置发展到软件式远动装置。他们分别通过遥测、遥信采集装置，将几十、几百公里以外的测量值和断路器位置信号及时地传送到调度中心，并在电力系统模拟屏上显示出来。这对于监视和控制变电站系统的运行是一个十分有利的工具。它是实现电力系统实时调度和进

一步实现调度管理自动化的基础。

我国远动技术就其发展过程来看，可归纳为四个时代：

第一代，以继电器为主要元件的时代。它的主要特点是采用有触点的继电器作为系统的主要部件，通过固定的逻辑来完成数据采集功能。典型的设备有 1956 年 CF-56 型到 1958 年的 SF-58 型遥控-遥信装置。由于它采用有触点的继电器装置，因此，维护量大，可靠性差。

第二代，以晶体管为主要元件的时代。20 世纪 60 年代初期，我国开始研制由晶体管构成的布线逻辑式远动装置，即电力系统曾广泛应用的 WYZ、SZY 型硬件式远动装置。由于采用无触点的晶体管作为系统的主要部件，可靠性较有触点的继电器装置有很大提高。此装置采用循环传送方式，同时简化了远动环节和保护电路。

第三代，以集成电路为主要元件的时代。到 20 世纪 70 年代初期，装置的电路逐步采用线路逻辑方式，并广泛采用了集成电路，出现了一批由集成电路构成的新型远动装置。如 WYZ-4 型远动装置，在远动的功能、容量、传输速度等指标方面都有所提高。

第四代，以微型计算机、大规模集成电路为主要元件的时代。

在 20 世纪 80 年代后期，随着计算机技术的发展，远动装置由传统的布线逻辑式远动装置向微型计算机型远动系统过渡。在厂、站端的设备大都采用了 8 位微型机作为远动装置，在调度端则采用 16 位或 32 位小型机作为前置机，收集多个厂、站的远动信息，进行预处理后再送给主计算机。其中一种比较流行的方案是，在调度端以 16 位微型计算机或小型机构成多机系统，既作远动功能用，又作调度自动化的主机用。在厂、站端采用的远动装置逐步微型机化、多功能及智能化。在功能方面已从传统的遥测、遥信、遥控及遥调功能扩展到更多的数据采集和处理功能，例如故障时的事件分析记录等。智能化远动装置具有某种判断的

功能，判断遥信变位，并优先传送；判断遥测的越死区传送，即遥测发生变化时，变化量超过一定范围时的传送；以及根据厂、站端的实际运行情况，对调度端发送的命令进行校验等。

虽然微机远动已得到广泛发展与应用，但远动系统的基本概念及原理不变，其中沿用多年的基本概念和术语仍然在使用，所以本书仍将阐述常规远动的基本概念和基本内容。

调度自动化系统从设备内容上分为厂、站端部分和主站端部分。厂站端部分的设备早期主要是由 RTU 和变送器 etc 常规设备组成，完成的功能是采集变电站的主要遥测、遥信信息和执行遥控命令，专业上主要是由远动专业来完成的。随着数字式保护设备的发展，保护设备中的数据采集单元和控制单元从功能上逐步具备了常规远动设备的功能，于是各保护装置采用数据总线连接起来的变电站自动化系统开始登上舞台，始称之为“综合自动化系统”。随着技术的发展和进步，系统的功能更加规范，内容更加丰富，并形成变电站自动化系统。主站端设备又称之为调度端设备，它包括前置机系统和计算机系统。

电网调度自动化系统自诞生至今，其内涵和外延一直在不断地发展。推动电网调度自动化系统不断发展的因素，主要可归纳为下列四方面：

- 1) 保证电网的安全运行和高质量供电；
- 2) 不断降低电能生产和电能传输费用；
- 3) 提高电网整体效益，使电网尽可能运行在其物理极限而又不发生危险的状态下，从而推迟新投资和降低造价；
- 4) 适应电力市场运营中不断出现的要求。

由于电网规模的不断扩大，接线方式日益复杂，对供电可靠性的要求不断提高，电力市场运营规则的不断修改，综合实现上述四方面要求的难度也在不断增大。这四项要求中，最重要的是第一项。由于电力网络巨大而广阔，任何一处故障都有可能导致大面积停电。近年来，国际上著名的大停电都是从一处故障发展成大面积停电。另一方面，由于现代化的生产和人民生活对供电

可靠性的依赖已越来越高，有些企业的生产更是不允许停电。1995 年日本已做到每户每年停电不超过 6min，九州电力公司已实现用户每年停电不超过 1min。我国国家电力公司已提出大中城市中心区的供电可靠率要从 1999 年的每户平均停电 12h 降低为每户每年停电不超过 53min，显然这是十分艰巨的任务。在现代化复杂电网的运行中要实现上述四方面的要求，除改善一次系统和一次设备、提高继电保护装置和其他自动化装置的性能外，还应不断发展调度自动化系统。因此，目前调度自动化系统已超出了传统能量管理系统的范畴。

现在从该领域动态发展过程以及电网调度自动化系统的功能和系统构成两方面的发展来加以分析。

1. 从数据采集和监视控制系统向能量管理系统的发展

上世纪 30 年代国外发达国家建立了调度中心，用固定模拟屏和电话凭经验进行调度，速度慢、同时性差；40 年代开始将电网上各厂、站数据模拟显示到模拟屏上，增强了感知力；到了 50 年代，为解决电网的工况监视和电网频率调整，电网远动技术和自动调频技术开始发展。当时主要注意力集中在通过电网自动调频装置维持电网频率恒定和实现电网经济运行上，但远动水平还不高，多为模拟远动，数量也不多；除信息收集外，对信息的监视、分析、决策、发令都是靠人。上世纪 60 年代中期，在美国东北部和加拿大部分地区大停电事故发生后，各国电力公司分析了这一事故造成的危害，感到多年的电网经济运行效益远抵不上一次大停电事故带来的损失，纷纷将注意力转到保证电网安全上。也就促使人们开始重视调度自动化问题，采取的关键措施，就是在 60 年代末和 70 年代初将计算机技术引入调度中心与远动技术相结合，出现了电网调度数据采集和监视控制（SCADA）系统，第一套 SCADA 系统出现在美国设在温哥华（Vancouver）的 Dittmer 控制中心。它是远动和计算机的结合，远动本身也计算机化（数字远动），增加了信息处理和分析功能，这是电网调度自动化技术的第一次飞跃。在 SCADA 系统出现后，

发电机组及传输线的有功功率和无功功率均已由 SCADA 系统采集，向各电厂发电机组发调节命令的功能也已由 SCADA 系统的遥控、遥调功能覆盖，原来由模拟计算机承担的电网自动调频和经济运行计算更可由 SCADA 系统主站的数字计算机代替。因而在 SCADA 系统出现后不久，电网自动调频和机组功率经济分配包括线损修正的主站端的 AGC（自动发电控制）功能就完全集成到 SCADA 系统中而形成 SCADA/AGC 系统，这一过程在 70 年代早期就已完成。

SCADA 系统给电网调度人员掌握电网实时运行工况及处理事故以极大的帮助，但不能告知电网发生扰动（断路器操作、事故跳闸）时的后果。为保证电网的安全运行，提出了将电网调度自动化系统从单纯的对电网运行的安全监视功能提高到对电网运行作安全预测的要求。

要实现电网运行安全预测，需要对电网实时运行状态不间断地进行潮流计算、功角及电压稳定性计算，分析电网在发生故障时稳定破坏的可能性。但要做到这一点并不像从远动系统到 SCADA/AGC 的发展那样简单。其一是由于电网实测数据因各种原因造成的误差，导致潮流计算不收敛；其二是功角和电压稳定计算还有快速算法未解决的问题。为解决这两个问题，各国电力系统的学者经历了长期的努力，开发了称为实时网络分析（NA）的高级应用软件（PAS），其中包括网络拓扑、外部网络等值、可观察性分析、状态估计等一系列基础算法，将实时采集到的生数据，变为可靠的熟数据，并开发了适用于不同类型电网参数的潮流计算方法，从而解决了实时潮流计算的难题，随后开发了电网 $n-1$ 静态安全分析的各种相关算法。使电网因正常操作及事故跳闸的后果可通过实时网络分析预计出来，调度员可据此来调整运行方式，以保证电网的安全运行。电网实时计算功能集成至电网调度自动化系统中，使得电网调度自动化系统由监视系统 SCADA/AGC 发展到能量管理系统（EMS）。电网调度也由单纯依靠调度人员的经验来保证电网安全运行的经验型调度提高到对电