



电力新技术丛书

ELECTRIC POWER NEW TECHNOLOGY SERIES

电网调度员培训模拟 (DTS)

张力平 编著



中国电力出版社

TM73

Z134

丛书

电网调度员培训模拟

(D T S)

张力平 编著

中国电力出版社

内 容 提 要

本书从电力系统生产运行的角度出发,较完整地介绍了电网调度员培训模拟(DTS)领域的基本内容和一些新的发展。

全书共分八章。第一、二章介绍DTS的发展史和对DTS的要求。第三、四、五、六章讲述了DTS各组成部分,包括计算机系统、支持系统、电力系统模拟、教员系统。第七、八章介绍了DTS应用及国内外的实际经验。附录A介绍了纽约大停电及陡河事故。附录B介绍了当前计算机发展趋势。附录C介绍了美国SC公司DTS概况。附录D给出了几个典型DTS平面布置图。全书注重物理概念及应用,对模型、公式推导从简,力求做到深入浅出,使读者对DTS全貌有一个一般性了解。

本书可作为电网调度、运行、自动化专业人员的参考材料,也可供高等学校、科研单位有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电网调度员培训模拟(DTS)/张力平编著. —北京:中国电力出版社,1998.10

(电力新技术丛书)

ISBN 7-80125-860-6

I. 电… II. 张… III. 电力系统调度技术培训 N. TM73

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第3351号

中国电力出版社出版 发行

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

列电印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999年1月第一版 1999年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 7.5印张 163千字

印数 0001—3000册 定价 13.50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)

《电力新技术丛书》出版说明

我国电力工业的发展取得了举世瞩目的成就,从1978年到1997年的19年中装机容量及发电容量连续上两个台阶(1987年装机容量达1亿kW及1995年装机容量达2亿kW),到1996年底已居于世界第2位。电力工业的领导者向我们提出了建“一流电网”的号召,针对当前两个根本性转变的关键时刻,提出要进行由计划经济体制向具有中国特色的社会主义市场经济体制转变的第二次创业。其目标就是要保持电力工业持续、快速、健康地发展和电力供给与需求的平衡,从而保证国民经济的发展和社会的进步以及人民生活水平的日益提高。为达到建成“一流电网”的目的,必须有一流的人才,用一流的技术,并且得到各行业的关心、支持和理解。本套《电力新技术丛书》即是用深入浅出的叙述方法介绍有关一流电网的新技术。希望关心这些问题的有关人员可以用较短的时间理解这些问题的概要,加深对这些问题的关注和支持。

本丛书的作者们都是从事所写专题多年的工作者,并在该专题领域有开拓性的贡献。他们出于“甘为人梯”的想法,把自己的体会及资料尽可能深入浅出地写出,希望读者能用最少的投入,掌握作者的所知所得。

本丛书包括一些具有现实意义和广阔应用前景,并在国际上或国内处于前沿地位的高新技术。例如微机继电保护、电力网中的谐波、电网调度员培训模拟(DTS)、人工神经网络原理及其应用、配电系统自动化及其发展、面向对象设计的

ABD92/01

开放式能量管理系统、模糊数学在电力系统中的应用、电力电子学在电力系统中的应用——灵活交流输电系统、直接法稳定分析、无功补偿的矢量控制等，读者可以根据需要与可能选用。

本丛书的宗旨是用读者容易理解的体系和叙述方法，深入浅出、循序渐进地就各专题题目的引出，专题的基本原理和理论及对电力系统的影响进行简要论述，并对专题的应用领域和前景及可能产生的效益作出评述。

本丛书的读者对象为：科研、教学、生产第一线的电力工程技术人员，特别是工作五年左右的年轻工程师及大、中专院校有关专业的学生。由于科学技术的飞速发展以及我们的水平有限，丛书肯定会存在许多不足，丛书的书目和内容也应当不断发展和更新。我们热诚地希望得到社会各界和广大读者的批评指正。

王平洋 周孝信

前 言

电网调度员培训模拟自 70 年代末在美国出现以来,以其在培训、电网研究、事故分析等各方面的卓越功能在全世界电力行业中得到了广泛应用。自 90 年代初开始,这一高新技术先后在我国东北、华北、浙江等地电网的运行生产中得到实际使用。

电网调度员培训模拟(DTS)是计算机软硬件技术和现代电力系统分析技术相结合的产物。它应用了计算机工业发展的最新成就,如开放式系统、RISC 工作站、全图形技术、数据库等。传统的电力系统分析技术侧重描述电网的一次设备,侧重描述电力系统的稳定和暂态过程。而 DTS 要求全面模拟电力系统及其保护、自动装置;要求模拟电力系统暂态、中期和长期过程。学员要能随时干预、控制电网进程。它涉及的技术领域比较宽、难度比较高。

本书不是一本专著,而是电力系统科普丛书中的一本。本书从电力系统生产运行的角度出发,较完整地介绍了这个领域的基本内容和一些新的发展。全书注重物理概念和应用,对技术细节、数学公式的推导尽量从简,力求深入浅出,尽量使读者对 DTS 全貌有一般性的了解。本书尽量较客观的反映国内外 DTS 各学派的学术观点、方法、途径和系统实例,供读者参考。

本书承蒙原国家电力调度通讯局蔡洋副局长仔细审阅,并提出了不少宝贵意见,在此表示深切的谢意。

由于水平有限，缺点、错误在所难免。敬请批评指正。

张力平

1994 年 4 月于电力科学研究院

目 录

《电力新技术丛书》出版说明

前言

1 电网调度员培训模拟 (DTS) 系统及其发展	1
1.1 模拟训练技术概述	1
1.2 电力工业与模拟训练技术	2
1.3 调度员培训模拟的起源与发展	4
1.4 混合型调度员培训模拟	6
1.5 CDC 数字仿真调度员培训模拟	10
1.6 混合型培训模拟器与纯数字模拟器的比较	12
1.7 国内外 DTS 的发展	14
1.8 我国电网需要培训模拟器 DTS 的原因	18
2 对电网调度员培训模拟 (DTS) 的基本	
要求	20
2.1 电网调度员的任务与职责	20
2.2 对 DTS 的基本要求	20
2.3 对电力系统模拟的具体要求	21
2.4 对控制中心模拟的具体要求	26
2.5 DTS 的组成	27
3 支持系统	32
3.1 数据库支持系统	32
3.2 电力系统用层次型数据库	33
3.3 商用关系数据库在电力系统中的应用	35

3.4	关系数据库与层次数据库的差别	42
3.5	图形支持系统	43
3.6	全图形人机界面	45
3.7	支持系统的总体结构	47
4	调度员培训模拟计算机系统	50
4.1	基于实时备用机的 DTS 系统	51
4.2	独立 DTS 系统 (Stand-alone DTS)	57
4.3	开放式的 DTS 系统	66
4.4	对 DTS 硬件系统设计的建议	74
5	电力系统模拟	77
5.1	电力系统分析基本方法与技巧	78
5.2	DTS 初始方式潮流	85
5.3	外部网络	90
5.4	网络拓扑	100
5.5	动态潮流算法	100
5.6	电力系统中长期过程动态仿真	109
5.7	离线稳定程序与长过程的结合	123
5.8	全过程仿真	129
5.9	电力系统模拟的其它几个问题	141
5.10	继电保护与自动装置	144
5.11	倒闸操作	145
5.12	事故详细模拟与分析	148
6	教员与学员系统	149
6.1	教员在 DTS 中的职责	149
6.2	初始方式的建立	151
6.3	潮流计算	153
6.4	教员子系统	155

6.5 学员系统	162
7 DTS 的应用	164
7.1 电网调度员基本技能的训练	164
7.2 倒闸操作训练	166
7.3 经济调度的基本训练	168
7.4 在 DTS 上学习使用 EMS 软件	169
7.5 紧急控制与事故处理的训练	170
7.6 恢复操作的训练	172
7.7 电力系统物理特性的学习与掌握	173
7.8 用 DTS 作运行方式安排的研究	174
7.9 电力系统模型、软件的校核	177
7.10 DTS 用于离线研究和规划	177
8 用调度员培训模拟装置 (DTS) 进行培训的 实际经验	180
8.1 香港中华电力公司的 DTS 培训	180
8.2 法国 EDF 的经验	181
8.3 日本中部电力系统的做法	182
8.4 东北电网 DTS 使用情况	186
8.5 华北电网 DTS 应用实例	189
附录 A 纽约大停电和陡河事故	199
附录 B 计算机当前发展的趋势	208
附录 C 美国 SC 公司 DTS 简介	214
附录 D 典型的 DTS 培训室平面布置图	224
参考文献	227

1 电网调度员培训模拟 (DTS) 系统及其发展

1.1 模拟训练技术概述

早在第二次世界大战后，在美国就出现了飞机驾驶模拟器。这种模拟器实际上是飞机驾驶舱的物理模拟，它的机头、驾驶座、仪表、驾驶盘、舷窗与飞机实物完全一致。驾驶盘的动作控制着液压传动设备，使机头产生相应的运动，由计算机控制的舷窗外的空中、陆上图像也随之而变，各仪表、信号灯都随驾驶员操作而变化。这种完全在陆地上进行的驾驶员的训练，真实地模拟了驾驶操作环境，逼真地反映了操作后果。这种训练使驾驶员熟悉飞机设备及性能，学会了如何驾驶飞机，积累了事故处理的经验，节省了燃料费，也避免了可能出现的机毁人亡的事故，在经济、技术上都显示出极大的优越性。

在航天、空中交通管理、导弹发射、火炮控制、坦克及核潜艇驾驶、宇航员培训等各个领域，模拟训练技术都逐步得到了广泛的应用，其原因是：

(1) 安全性。模拟训练不会对学员及设备造成任何损害，允许学员从自己的错误中学习、总结经验。而在实际训练中，一旦犯错误，就会造成人身事故或经济上的巨大损失。

(2) 经济性。任何一个实际的训练，都要动用大量设备和人力，要支付很大的费用。如火炮控制训练，不仅炮弹价

格昂贵，且会造成地面环境的巨大破坏。而模拟训练则不需动员大量设备与人力，甚至可在室内训练。发射的炮弹与被炸毁的“敌方阵地”都只是计算机屏幕上的图像。

(3) 重复性。在实际训练中，要达到和重现最佳状态是十分困难的。而在模拟训练中，借助计算技术的帮助，可以多次再现这种最佳状态的环境。

(4) 易于分析。在实际训练中，很难控制象导弹、火炮发射后的过程。在训练模拟系统中有十分方便、有效的教员指令系统，可以控制训练的全过程，如开始、暂停、继续、停止和重演过程，使学员理解实际过程。

(5) 便于对单个因素进行研究。在实际过程中，一个后果是由许多因素综合作用的结果，要单独把某个因素的作用“孤立”起来是不容易的。在模拟培训的人造环境中增强、减弱某因素，观察其效果则是可能的。研究不同风速对火炮发射命中率的影响时，如在炮弹运动轨迹方程中加上详细的气象条件仿真模拟后，则可在模拟器上看到不同气象条件下的发射效果。

(6) 模拟培训可在任何时间、地点进行，不受限制。而实际训练则要受许多条件制约。例如气象条件就是飞机试飞的限制因素之一。

1.2 电力工业与模拟训练技术

模拟训练技术在电力工业中的应用要比其它工业晚得多。直到 70 年代初，电力工业才开始吸取航空、航天以及军事等工业采用模拟训练技术的成功经验，逐步采用了这项技术。目前，模拟训练技术在电力系统的主要应用是：

(1) 火电机组仿真模拟。主要是模拟火电机组的热力过程,包括锅炉、风机、水泵、汽机、调速器、发电机模拟。电气模拟是简化了的,不模拟电力系统。其特点是要求模拟机组控制的全部盘台、仪表以及机组特性,并要求训练环境与现场机组控制一致,主要是培训机组操作人员和值班人员。工控技术与数字仿真是机组仿真的两个关键技术。

(2) 水电机组仿真模拟。与火电机组模拟相似,但较为简单。原因是原动机为水轮机,其附属设备要比火电机组少得多。

(3) 核电机组仿真模拟。与火电机组仿真模拟相似,有汽轮机、调速器、机组模拟。用压水式核反应堆或沸水式核反应堆及蒸汽发生器、水泵等附属设备详细地模拟了核反应堆的运行工况。我国的大亚湾核电站和秦山核电站都在建造核电培训模拟器。

(4) 电网调度员培训模拟。它是电网运行的仿真模拟,描述了全电网各种元件的特性,模拟了锅炉或核反应堆、汽轮机或水轮机以及调速器、发电机、变压器、断路器、隔离开关、输电线、负荷等一次设备及保护、安全自动装置等二次设备和电网控制中心、数据收集及监控系统。它在数学模拟的复杂性上远超过火电,核电机组模拟,但没有工控部分,一般采用纯数字模拟。

(5) 变电站值班员培训模拟。要真实模拟变电站主控制室的实际环境,如控制屏、保护屏、中央信号盘、光字牌、仪表等。值班员在盘上进行操作,用仪表指示、光字、音响、画面等反映变电站不同的运行状态,可以进行各种正常操作与事故处理的训练。

在许多国家和地区——如美国、日本、俄罗斯、韩国、香

港等的电力系统中都已广泛采用了模拟培训技术作为培训在职职工的重要工具。法国国家电力局以模拟培训设备为中心建立了职业培训中心，学员在取得培训中心的合格证书后才有资格申请电力系统的工作。在我国，自 80 年代中期以来，已先后引进了模拟山东石横电厂 30 万 kW 火电机组的仿真机，模拟大连电厂 30 万 kW 的日本火电机组的仿真机，后又自主开发了宁夏大坝、河南焦作等火电培训仿真系统。在电网方面，于 1990 年和 1991 年投运了清华大学和东北总调合作开发的东北电网仿真系统和电科院与华北总调协作研制的华北电网调度员培训模拟系统。基于工作站的浙江 DTS 已于 1994 年 3 月投运。在变电培训方面，我国于 1991 年后陆续投运了天津大学开发的大庆油田变电站值班员培训模拟系统和西安电力职大、南京电校的系统。电科院研制的大连电业局、广州供电局、河北电力职工大学的变电培训系统于 1995 年陆续交付使用。电力部及各电力局都十分重视模拟培训技术在我国电力工业中的应用，其前景是十分广阔的。本书着重讨论电网调度员培训模拟系统。

1.3 调度员培训模拟的起源与发展

电网调度员培训模拟 (Dispatcher Training Simulator, 简称 DTS) 的概念早在 1972~1973 年美国威思康星 (Wissconsin) 电力公司能量管理系统 (EMS) 的设计中就形成了。这时，电力系统电子模拟计算机、数字计算机及电力系统实时监控系亦已有了坚实的基础。以美国控制数据公司 (CDC) 为代表的一派致力于以数字模拟计算机为基础的 DTS 系统的研究，而以普渡大学、密苏里大学罗拉分校及哥

伦比亚分校、EAI 公司为代表的另一派则致力于以电子模拟计算机和数字计算机混合系统为基础的 DTS 系统的研究。1976 年 J. Latimer 和 R. Masiello 在美国明尼苏达电力系统会上发表了名为《调度员培训模拟系统》的文章, 1977 年他们又在加拿大多伦多举行的电力工业计算机应用 (PICA) 会议上发表了名为《调度员培训模拟器设计》的文章, 首次在电力工业中提出了“调度员培训模拟”的概念, 引起美国电力工业界的重视。后来这一电网模拟培训系统又被有的文章称为“值班员培训模拟” (Operator Training Simulator), 但其具体含义是相同的。这时美国各电力公司对 DTS 这一新生事物还在采取观望态度。

1977 年 7 月 13 日发生了世界闻名的纽约大停电, 美国能源部 (DOE) 估计纽约市的经济损失约为 35 亿 5 千万美元 (不完全统计)。而为纽约市供电的联合爱迪生公司 (Consolidated Edison) 的停电损失及恢复费用为 1200 万美元, 为预防未来事故而花去的设备增加及安装费为 6500 万美元。此外 118 件法庭诉讼要求联合爱迪生公司赔偿的数额超过 10 亿美元 (最后法院裁定的具体赔款数字不详)。事故开始于 1977 年 7 月 13 日晚 8 时 37 分, 59min 后, 即 9 时 36 分纽约城全部停电。停电持续了 25h, 影响了 900 万人的工作与生活。其间发生了 1037 起火灾, 1809 起暴力事件, 造成 2 人死亡, 436 名警察、204 名市民, 80 名救火人员受伤, 3000 人被捕。全市交通全部中断, 纽约市机场滞留的旅客超过 15000 人。此次大停电发生在一直被认为“不可能发生大面积长期停电”的纽约, 震惊了美国及全世界的电力工业界。纽约大停电的过程详见附录 A。

在同一年, 美国又发生了佛罗里达大停电事故。电力系

统事故的灾难性后果引起了人们对反事故措施研究及调度员培训的高度重视。各公司都不约而同地在思考，寻找一种装置，用于发现系统存在的缺陷，培训调度人员，使他们有足够的经验，在系统事故的紧急关头能正确判断、处理事故，挽救系统。

1978 年春，美国电力科学研究院 (EPRI) 组织了第一次电力系统调度员培训模拟研讨会。会上除了对 DTS 的要求、性能规范的讨论之外，调度员培训模拟 (DTS) 的两个流派还分别介绍了各自的产品。普渡大学，密苏里大学罗拉分校、哥伦比亚分校等介绍了他们的混合型 DTS。而 CDC、美国电力技术公司 (PTI)、系统控制公司 (SCI) 等介绍了他们的纯数字型 DTS。会上，受纽约大停电影响最大的联合爱迪生公司 (Con. ED)、佛罗里达大停电的主要受害者佛罗里达电灯公司 (FPL)、通用公共电力公司 (GPU)、Delmarva 电力电灯公司都决定采用 CDC 的调度员培训模拟系统，宾夕法尼亚电力电灯公司除采用 CDC 模拟器外还采用以直流潮流为主的模拟器。正如美国 T. E. Dyliaacco 指出的：“1965 年大停电促使电力工业产生建立能量控制中心的冲动，而 1977 年纽约大停电则迫使各电力公司重新衡量改进值班员培训的需要。”

在下述几节中，我们就简要介绍一下 DTS 在 70 年代末期的两个流派。

1.4 混合型调度员培训模拟

这种混合系统的典型代表产品是：EAI (Electronic Associates, Inc.) 混合系统、普渡 (Purdue) 大学模拟器，密苏里—哥伦比亚 (Missouri-Columbia) 大学培训模拟装置。

密苏里—哥伦比亚大学电网培训模拟器见图 1.1，这种模拟装置实际上是一种单相、可变频率的交流模拟模型，其基准频率可达 1200Hz。采用了许多运算放大器，除了锅炉的缓慢的非线性特性与 AGC 之外，整个电力系统全是由电子模拟回路来描述的。对电力系统模型的数字控制是通过一台德州仪器公司（Texas Instruments Inc.）的 980A 小型机来实现的。系统的规模为 16 台发电机、72 条母线、87 条输电线、24 台变压器和 34 个负荷。小型机 980A 的任务是：

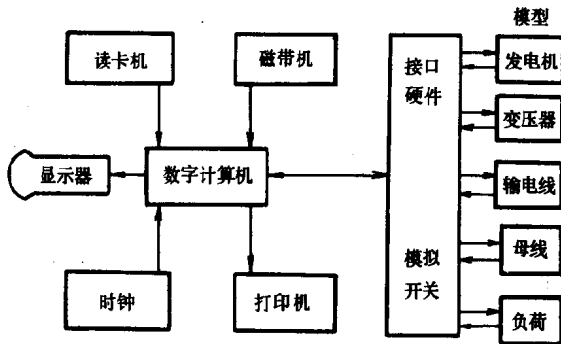


图 1.1 密苏里—哥伦比亚大学电网培训模拟器

- 1) 启动和控制模拟装置的所有操作；
- 2) 控制模拟装置的所有数据；
- 3) 进行各种监视和控制操作；
- 4) 模拟锅炉慢速非线性函数；
- 5) 提供模拟操作记录。

图 1.2 为普渡大学模拟器示意图。图 1.3 为它的发电机模块示意图。图 1.4 为其输电线模拟 EAI680 为电子模拟计算机，CDC1700 为 CDC 公司数字计算机。EAI680 中有积分器、加法器、乘法器、放大器等。图中 1 为 16 路 AD（模