



电网**新技术**丛书

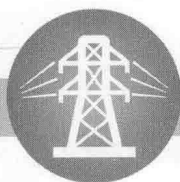
智能电网调度技术

ZHINENG DIANWANG DIAODU JISHU

李 强 潘 毅 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



电网新技术丛书

中国电力科学研究院
出版基金资助

智能电网调度技术

ZHINENG DIANWANG DIAODU JISHU

李强 潘毅 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

电力系统运行与控制中,调度环节负责保证电力系统安全稳定经济运行。为了帮助读者对我国的电网调度自动化技术发展情况有一个全面的了解,编写人员以多年以来积累的培训讲义为基础,编撰了本书。

本书共十一章,包括电网调度相关知识、支撑平台、数据采集、电网控制技术、网络分析、预测技术、调度计划技术、安全校核、在线安全稳定分析、调度员培训模拟、智能电网调度相关标准体系。

本书为科普类图书,是系列图书之一。可供从事电力规划、设计、生产、调度、维护等工作的各类电力人员使用,各大专院校教师和学生亦可参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

智能电网调度技术/李强,潘毅主编. —北京:中国电力出版社,2017.5

(电网新技术丛书)

ISBN 978-7-5123-8710-2

I. ①智… II. ①李… ②潘… III. ①智能控制-电力系统调度 IV. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第219529号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:胡 晗

责任校对:太兴华

装帧设计:张俊霞 赵姗姗

责任印制:邹树群

印 刷:汇鑫印务有限公司

版 次:2017年5月第一版

印 次:2017年5月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:18.25

字 数:399千字

印 数:0001—1000册

定 价:72.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

编 委 会

主 编 李 强 潘 毅

编写组成员 郎燕生 戴 赛 狄方春 崔 晖

于 汀 李 刚 谢 昶 丁 强

黄运豪 张传成 赵 昆 李时光

梁 威



前 言

电力系统由发电、变电、输电、配电、用电、调度和通信七个环节构成。其中，调度在电力系统运行与控制中的作用类似大脑的角色，负责保证电力系统安全、稳定、经济运行的任务。

我国已形成特高压交直流混合运行的特大电网，三华同步电网已成为世界上最大的同步电网。特大电网的运行与控制，以及节能环保和大规模新能源并网发电的要求，使得电网调度运行工作面临巨大的挑战，需要电网调度自动化技术的有力支撑。

中国电力科学研究院在 20 世纪 60 年代便开始了电力系统调度自动化技术的研究开发工作。在于尔铿、周京阳教授级高级工程师的带领下，在电力系统经济调度、状态估计、电力市场等方面取得了开拓性的成果，多次获国家科技进步奖，并出版了《电力系统状态估计》、《能量管理系统（EMS）》等多部专著。

本书编写人员均为长期从事电力系统调度自动化工作的科研工作者，具有长期的科研开发和工程实施经验，并长期从事智能电网调度技术的培训工作。希望通过本书的介绍，让广大读者对我国电网调度自动化技术发展情况有一个全面的了解。

本书分为十一章，各章编写人员及主要内容如下：

第一章由李强负责编写，介绍了当前和未来电网的发展情况，智能电网调度的概念、发展过程和国产化历程，智能电网调度控制系统的建设思路、总体框架和四大类应用的基本情况，最后介绍了智能电网调度技术的最新研究情况。

第二章由狄方春负责编写，介绍了典型调度自动化系统的软硬件部署和关键技术，较为详细地介绍了先进支撑平台的架构、技术要求和功能模块，最后介绍支撑平台技术的研究情况和发展趋势。

第三章由黄运豪和狄方春负责编写，介绍了实时数据采集与处理的基本情况，实时数据采集及交换的作用、功能和技术特点，稳态监控的作用、功能和技术特点。

第四章由于汀和李时光负责编写，概要介绍了电网控制应用的基本情况，自动发电控制的基本功能和技术特点，省级电网自动电压控制的要求、功能和技术特点，与上下级 AVC 的协调控制，地区电网自动电压控制的要求、功能和技术特点，与省级 AVC 的协调控制。

第五章由郎燕生、李强、戴赛和赵昆负责编写，概述了网络分析的基本情况，介绍了电力系统状态估计、调度员潮流、静态安全分析、灵敏度分析、短路电流计算、可用输电能力、在线外网等值、安全约束调度等应用功能的作用、基本功能、常用算法和技术特点。

第六章由崔晖和丁强负责编写。介绍了电力负荷预测使用的数学模型，电力负荷预测使用的基本算法情况和技术特点，超短期负荷预测、短期负荷预测、中长期负荷预测、母线负荷预测的作用、基本功能和技术特点。

第七章由崔晖和丁强负责编写，介绍了调度计划的基本情况，安全约束发电计划、多周期滚动发电计划、多级协调发电计划、新能源接入下的发电计划、申报发布、计划分析与评估、检修计划、并网电厂考核、辅助服务补偿、结算管理模块的作用、基本功能和技术特点。

第八章由戴赛和张传成负责编写，介绍了静态安全校核、稳定计算校核、稳定裕度评估等应用的基本概念，及其模块构成和功能特点，并以三华电网联合静态安全校核为实例，使读者有一个更为形象的了解。

第九章由李刚和谢昶负责编写，对在线安全稳定分析应用进行概要阐述，使读者对在线安全稳定分析应用有一个全面的认识，对在线数据整合、并行计算、在线安全稳定分析、稳定裕度评估、调度辅助决策功能的作用、原理、方法和特点进行介绍。

第十章由潘毅负责编写，介绍了调度员培训仿真的功能定位，电力系统仿真、控制中心仿真和教员台控制等三大部分的构成、原理、特点和实现方法。

第十一章由李强、潘毅和梁威负责编写，介绍了智能电网调度的标准体系情况，电网调度相关国际标准、国家和行业标准、企业标准的工作组织及标准制修订情况。

本书为电网调度自动化技术的普及类图书，可供从事电力规划、设计、生产、调度、维护等工作的电力专业人员及相关院校的师生阅读。本书是在培训讲义的基础上编撰而成，虽经多次修改，但由于编者水平有限，难免有错误和内容编排不合理之处，欢迎广大读者批评指正。

编者

2017年3月



目 录

前言	
第一章 电网调度相关知识	1
第一节 电网特点	1
第二节 智能电网调度	5
第三节 智能电网调度控制系统	11
参考文献	19
第二章 支撑平台	20
第一节 支撑平台典型硬件、软件部署	20
第二节 支撑平台架构	22
第三节 支撑平台功能	23
第四节 总结与展望	34
参考文献	35
第三章 数据采集	38
第一节 远方终端	38
第二节 数据采集功能	41
第三节 通信规约基础知识	44
第四节 数据处理功能	46
第五节 系统监视功能	48
第六节 告警功能	49
第七节 其他功能	50
第八节 总结与展望	51
参考文献	51
第四章 电网控制技术	52
第一节 自动发电控制	52
第二节 省级电网自动电压控制	60
第三节 地区电网自动电压控制	66
第四节 总结与展望	73
参考文献	74
第五章 网络分析	75
第一节 网络拓扑分析	76

第二节	状态估计	79
第三节	调度员潮流	86
第四节	静态安全分析	90
第五节	灵敏度分析	98
第六节	短路电流计算	100
第七节	可用输电能力	103
第八节	在线外网等值	105
第九节	安全约束调度	108
第十节	总结与展望	110
	参考文献	111
第六章	预测技术	112
第一节	预测技术分类	112
第二节	新能源发电能力预测	113
第三节	负荷预测基本概念与发展历程	117
第四节	系统负荷预测	120
第五节	母线负荷预测	127
第六节	总结与展望	136
	参考文献	136
第七章	调度计划技术	138
第一节	调度计划概述	138
第二节	发电计划发展过程	143
第三节	安全约束经济调度	146
第四节	安全约束机组组合	156
第五节	多级多周期发电计划	164
第六节	大规模新能源接入下的发电计划	167
第七节	总结与展望	171
	参考文献	171
第八章	安全校核	173
第一节	概述	173
第二节	智能断面生成	174
第三节	静态安全校核功能	180
第四节	稳定分析校核	188
第五节	考虑间歇性能源随机性的输电裕度控制	192
第六节	总结与展望	195
	参考文献	196
第九章	在线安全稳定分析	198
第一节	概述	198

第二节	数据整合	201
第三节	分布式并行计算	206
第四节	在线安全稳定分析	209
第五节	稳定裕度评估	218
第六节	预防控制辅助决策	225
第七节	总结与展望	234
	参考文献	235
第十章	调度员培训模拟	237
第一节	概述	237
第二节	电力系统仿真	242
第三节	控制中心仿真	248
第四节	教员台控制	249
第五节	调度员培训模拟的应用	253
第六节	总结与展望	258
	参考文献	259
第十一章	智能电网调度相关标准体系	260
第一节	概述	260
第二节	相关国际标准	267
第三节	相关国家和行业标准	275
第四节	相关企业标准	278
第五节	总结与展望	280
	参考文献	281

第一章

电网调度相关知识

第一节 电网特点

一、智能电网概念

电力系统是由发电、输电、变电、配电、用电等环节组成的电能生产、传输、分配和消费的系统。电网是电力系统的重要组成部分，包括输电、变电、配电和用电环节，用于联系发电厂和电力用户。本书中“电网”的含义是广义的，指包括发电、输电、变电、配电和用电在内的电力系统。

1875年，法国巴黎建成了世界上第一座火力发电厂，标志着电力时代的到来。1882年，爱迪生在纽约建成世界上第一座商用发电厂，标志着电力成为一种商品。

目前，中国形成了华北—华中、华东、东北、西北、南方、西藏六个同步电网，并通过直流互联，实现了除台湾外的全国联网。

智能电网是近年兴起的新概念，目前世界各国对于智能电网的发展思路、核心内容、发展趋势等问题尚未形成共识。基于各自的国情，欧洲、美国和日本等国家对于智能电网的理解和发展的侧重点也有较明显的区别。从技术发展和应用的角度看，世界各国的专家、学者普遍认同以下观点：智能电网是将先进的传感量测技术、信息通信技术、分析决策技术、自动控制技术和能源电力技术相结合，并与电网基础设施高度集成而形成的新型现代化电网。

中国的智能电网是以特高压电网为骨干网架、各电压等级电网协调发展的坚强电网为基础，将现代先进的传感测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术和控制技术与物理电网高度集成而形成的新型电网。它以充分满足用户对电力的需求和优化资源配置、确保电力供应的安全性、可靠性和经济性、满足环保约束、保证电能质量、适应电力市场化发展等为目的，实现对用户可靠、经济、清洁、互动的电力供应和增值服务。

与现有电网相比，智能电网体现出电力流、信息流和业务流高度融合的显著特点，



其先进性和优势主要表现在：

(1) 具有坚强的电网基础体系和技术支撑体系，能够抵御各类外部干扰和攻击，能够适应大规模清洁能源和可再生能源的接入，电网的坚强性得到巩固和提升。

(2) 信息技术、传感器技术、自动控制技术与电网基础设施有机融合，可获取电网的全景信息，及时发现、预见可能发生的故障。故障发生时，电网可以快速隔离故障，实现自我恢复，从而避免大面积停电的发生。

(3) 柔性交直流输电、网厂协调、智能调度、电力储能、配电自动化等技术的广泛应用，使电网运行控制更加灵活、经济，并能适应大量分布式电源、微电网及电动汽车充放电设施的接入。

(4) 通信、信息和现代管理技术的综合运用，将大大提高电力设备使用效率，降低电能损耗，使电网运行更加经济和高效。

(5) 实现实时和非实时信息的高度集成、共享与利用，为运行管理展示全面、完整和精细的电网运营状态，同时能够提供相应的辅助决策支持、控制实施方案和应对预案。

(6) 建立双向互动的服务模式，用户可以实时了解供电能力、电能质量、电价状况和停电信息，合理安排电器使用；电力企业可以获取用户的详细用电信息，为其提供更多的增值服务。

二、新能源革命和三代电网

(一) 新能源革命

能源革命主要是指在能源开发利用和加工转换的过程中取得的重大突破。能源发展历史上一共发生了四次能源革命，推动着人类能源利用水平的不断进步，人类所能利用的能源种类也越来越多。

第一次能源革命，以钻石取火为标志，导致了以柴薪作为主要能源的时代的到来，第二次能源革命，以蒸汽机的发明为标志，导致人类的主要能源由柴薪能源转化为化石能源，第三次能源革命，以核反应堆的发明为标志，促使核能在许多经济发达国家成为常规能源。

人类对化石能源短缺和枯竭的预期，以及全球气候变化的现实威胁，促使以太阳能、风能、生物质能、海洋能、地热能 and 氢能等为代表的新能源和可再生能源成为世界能源体系的生力军和未来能源发展的战略方向。开发利用新能源和可再生能源是人类发展的必然选择。许多国家将发展新能源与可再生能源作为缓解能源供应矛盾、应对气候变化的重要措施。这个发展过程就是第四次能源革命，或称为新能源革命。

我国电力行业的专家认为：新能源革命的目标是建设可持续发展的未来能源体系，具有两个显著特征：①电网在能源供应和输送体系中的作用将日益凸显；②能源系统智能化。

(二) 三代电网理论^[1]

1. 第一代电网

第一代电网的主要特点是交流输电占主导，输电电压较低，达到 220kV 等级；电网规模小（属于城市电网、孤立电网和小型电网）；发电单机容量不超多 10 万~20 万 kW。

第一代电网发展历程中的标志性事件有：

(1) 1882 年，爱迪生在纽约建成世界上第一座商用发电厂（660kW，110V 直流电缆送电，1.6km）；1885~1886 年，威斯汀豪斯威建成第一个交流输电系统；1895 年，建成尼亚加拉大瀑布电厂（3 台 3675kW 水电机组）至布法罗 35 km 的输电线路，交流输电确定了主导地位。

(2) 1916 年，美国建成第一条 132kV 线路，1923 年开始使用 230kV 线路，1937 年建成 287kV 线路。

(3) 1918 年，美国制造了第一台容量 6kW 汽轮发电机。

(4) 1929 年，美国制造了第一台容量 20kW 汽轮发电机。

(5) 1932 年，苏联第聂伯水电站的单机容量为 6.2 万 kW，美国 1935 年胡佛水电站单机容量为 8.2kW，1934 年大古力水电站单机容量 10.8 万 kW。

2. 第二代电网

第二代电网从开始过渡到技术成熟的时间跨度大体上是从 20 世纪中期到 20 世纪末。在此期间，电网规模不断扩大，形成了大型互联电网；发电机组单机容量达到 30 万~100 万 kW；建立了 330kV 及以上电压等级的超高压交流、直流输电系统。

第二代电网发展历程中的标志性事件包括：

(1) 1952 年，瑞典首先建成 380kV 超高压输电线路，全长 620km，输送功率 45 万 kW。

(2) 1954 年，美国建成 345kV 电压等级线路。

(3) 1956 年，苏联从古比雪夫到莫斯科的 400kV 输电线路投入运行，全长 1000km，并于 1959 年升至 500kV，首次使用 500kV 输电。

(4) 1965 年，加拿大首先建成 735kV 的输电线路。

(5) 1967 年，苏联建成了 750kV 试验线路，1984 年建成从苏联到波兰的 750kV 输电线路。

(6) 1969 年，美国实现 765kV 的超高压输电。

(7) 1985 年，苏联建成 1150kV 特高压输电线路。

中国现代电力工业始于 1882 年（上海），到 1949 年全国发电设备容量为 185 万 kW，年发电量 43.1kWh。1971 年，刘家峡水电站及刘家峡—关中 330kV 线路（535km，送电 42 万 kW）建成，中国第一个跨省区域电网（甘肃、陕西、青海）形成，拉开了中国第二代电网建设的序幕。1981 年，建成第一条 500kV 线路（平顶山—武汉），开始以 500kV 输电线为骨干的大区电网建设。世纪之交推动全国电网互联。2005 年，西北电网 750kV 线路投入运行。2009 年 1 月，中国第一条 1000kV 特高压输电线

路投入运行。

至 21 世纪初, 结合超/特高压输电系统建设以及大区电网/全国联网实践, 中国通过研究开发和工程实践, 从一次设备和系统, 到二次控制、保护, 以及安全稳定运行技术、仿真分析技术都得到迅速的发展, 全面掌握了第二代电网技术, 总体达到国际先进水平, 部分技术(如特高压输电)水平居国际前列。

3. 第三代电网

自 20 世纪末以来, 新能源革命在世界范围内悄然兴起, 世界各国能源和电力的发展都面临空前的应对和转型挑战。以接纳大规模可再生能源电力和智能化为主要特征的下一代电网, 即第三代电网, 成为未来电网发展的趋势和方向。第三代电网就是现代电网(modern power grid)、广义的智能电网, 是 100 多年来一、二代电网在新形势下的传承和发展。

第三代电网的主要特征是: 电源组成方面, 以非化石能源为主的清洁能源发电应占较大份额(如中国应力求达到 50% 以上), 大型骨干电源与分布式电源相结合; 电网结构方面, 国家级(或更大范围)主干输电网与地方电网、微电网协调发展; 采用大容量、低损耗、环境友好的输电方式(如特高压架空输电、超导电缆输电、气体绝缘管道输电等); 智能化的电网调度、控制和保护; 双向互动的智能化配用电系统等。

4. 第三代电网的新使命

新能源革命中, 第三代电网具有四个新的使命:

(1) 接收大规模集中式和分布式可再生能源电力, 成为新能源电力的输送和分配网络。

(2) 实现分布式电源、储能装置、能源综合高效利用系统与电网有机融合、双向互动, 提高终端能源利用效率, 成为灵活、高效的智能能源网络。

(3) 具有极高的供电可靠性, 基本排除大面积停电风险, 成为安全、可靠的能源配置和供应系统。

(4) 与通信信息系统广泛结合, 成为覆盖城乡的物联网和能源、电力、信息综合服务体系。

可再生能源的大规模利用和智能化是第三代电网的两个显著特征。第一代电网和第二代电网的发展都经过了大约 50 年的时间, 初步推测第三代电网目标的实现也需要 50 年。与国际电网的发展趋势同步, 未来 40 年中国电网发展总体上要完成第二代电网向第三代电网的过渡。期望可再生能源、核电、天然气等清洁能源电力比重达到 40%~50%, 并力争超过 50%。逐步实现大型骨干电源与分布式电源相结合, 主干输电网与地方电网、微电网协调发展。

三、我国未来电力流格局

展望未来, 至 2050 年, 我国电力负荷将呈现从高速增长向相对缓慢增长过渡、负荷中心“西移北扩”两大特点, 但总体上负荷中心仍主要分布在中东部地区, 而电源分

布将为中东部装机容量略大于西部、北部。

随着新能源与可再生能源的大力开发，我国能源资源与负荷需求之间的地域矛盾进一步加深，电网在全国范围内综合优化能源资源配置的作用得到进一步提升。

在可预见的将来，我国将始终存在大容量远距离输送电力的基本需求。我国西部水电、西部和北部超大规模荒漠太阳能电站、北部西北部大规模风电等将有很大发展。未来“西电东送”“北电南送”的电力流格局没有改变，西电东送输电网将由目前满足水电和煤电的大容量远距离外送为主，逐步转变为水电、煤电、大规模风电和荒漠太阳能电力外送并重，输电网的功能将由单纯输送电能转变为输送电能与实现各种电源相互补偿调节相结合。

我国未来第三代电网的构成将遵循国家主干输电网与地方输配电网、微电网相结合的模式。主干输电网能适应风能、太阳能等大规模可再生能源电力和水电、清洁煤电等大型常规能源基地的大容量远距离电力输送、大范围优化配置和间歇性功率相互补偿等需要，实现输电网的安全、高效运行。配电网能适应中小型分布式电源的开放接入和电力需求侧互动管理的需求，配电网终端将普遍采用微网结构，可实现潮流的双向控制，提高供电可靠性和终端能源利用效率，并形成多网合一的能源信息综合服务体系。

未来国家主干输电网的具体技术方案（或模式）可分为中期、远期两个阶段进行分析。从现在至2030年的中期阶段，我国输电网将延续目前发展的基本形态，将保持超/特高压交直流输电网模式，但规模将进一步扩大，技术性能将不断提高，若干新技术如灵活交流输电技术、多端直流输电技术、基于新型电力电子器件的电压源直流输电技术等取得新的突破并逐渐得到推广应用。2031~2050年的远期阶段，技术发展的积累和突破对输电网模式将有可能产生较大的影响，有望实现向多端高压直流输电网（超导或常规导体）模式的转型。

未来的智能配电系统将是大量高新技术的集成体。未来的配电网将采用交、直流并存的多样化配电模式，与通信信息技术广泛结合，逐步形成适宜接纳大规模分布式能源、能够向用户提供差异化服务（电能质量差异化、电压等级差异化、交直流供电模式差异化、供电可靠性差异化等）的主动智能配电网；便于集成数量众多、模式各异的电动汽车充放电设施；实现与终端用户能源高效利用系统结合，提高能源利用效率。

第二节 智能电网调度

一、电力调度

1. 电力调度的主要任务

《中华人民共和国电力法》规定，电网运行实行统一调度、分级管理；各级调度机

构对各自管辖范围内的电网进行调度，依靠法律、经济、技术并辅以必要的行政手段，指挥和保证电网安全稳定经济运行，维护国家安全和各利益主体的利益。

- (1) 保证系统运行的安全水平；
- (2) 保证供电质量（系统频率、波形和母线电压水平）；
- (3) 保证系统运行的经济性；
- (4) 保证提供有效的事故后恢复措施。

2. 各级调度机构的职能

我国的电网运行实行统一调度、分级管理的原则。《电网调度管理条例》根据电压等级和行政划分，把电网调度机构分为5级，即国家调度机构，跨省、自治区、直辖市调度机构，省、自治区、直辖市级调度机构，地区级调度机构，县级调度机构。目前我国已建立了较为完备的5级调度体系，分别是：国家电力调度控制中心和南方电网调度中心；东北、华北、华东、华中、西北和西南调度控制中心，简称分中心（原简称网调）；各省（直辖市、自治区）电力公司电力调度控制中心，简称省调；此外，还有310多个地调和2000多个县调。

(1) 国家级调度控制中心。是我国电网调度的最高级。在该中心，通过计算机数据通信与各大区的控制中心相连接，协调确定特高压线路、各大区网间的联络线潮流和运行方式，监视、统计和分析全国所属区域的电网运行情况。

- 1) 在线收集各大区网和有关省网的重要测点工况和全国电网运行状况，作统计分析、生产报表，提供电能情况；
- 2) 进行大区互联系统的潮流、稳定、短路电流及经济运行计算，并向下一级传送；
- 3) 作中长期电网安全、经济运行分析，并提出对策。

(2) 网级调度控制中心。分中心（原称网调）负责高压电网的安全运行并按照规定的发供电计划和监控原则进行管理，提高电能质量和经济运行水平。

- 1) 实现电网的数据收集和监控、经济调度和安全分析；
- 2) 进行负荷预测，制定开停机计划、水火电经济调度日分配计划，实施闭环自动发电控制、闭环或开环自动无功电压控制；
- 3) 省（市）间和有关大区网的供受电量的计划编制和分析；
- 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，并上报下传。

(3) 省级调度控制中心。省调负责省网的安全运行，并按规定的发供电计划和监控原则进行管理，提高电能质量和经济运行水平。

1) 实现电网的数据收集和监控。需对电网中的开关状态、电压水平、功率进行采集计算，进行控制和经济调度；

2) 进行负荷预测，制定开停机计划、水火电经济调度日分配计划，编制地区间和省间有关网的供受电量的计划，进行闭环自动发电控制、闭环或开环自动无功电压控制；

3) 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，并上报下传；

4) 进行记录,如功率总加、开关变位、存档和制表打印;
5) 进行直调站点(集控站点)的远方操作,变压器分接头调节,电容/电抗器的投切等。

(4) 地区调度控制中心。

1) 采集当地网的各种信息,进行安全监控;
2) 进行有关站点(集控站点)的远方操作,变压器分接头调节,电容/电抗器的投切等;
3) 制定并上报本辖区设备的检修计划及其实施;
4) 用电负荷的管理。

二、电网调度自动化系统

电网调度自动化系统是对电力调度运行工作提供有力支撑的一个高度信息化和自动化的信息系统,是一个提供电力数据采集、控制、通信和分析决策等综合功能的计算机系统,是调度员眼、手和脑的延伸。

电网调度自动化系统的基本结构包括控制中心主站系统、厂站自动化系统和信息通道三大部分。根据所完成功能的不同,可以将此系统分为信息采集和执行子系统、信息传输子系统、信息处理子系统、人机联系子系统。

信息采集和执行子系统的基本功能是在各发电厂、变电站采集各种表征电力系统运行状态的实时信息,负责接收和执行上级调度控制中心发出的操作、调节或控制命令。

信息传输子系统为信息采集和执行子系统和调度控制中心提供了信息交换的桥梁,其核心是数据通道,它经调制解调器与厂站自动化系统及主站前置机相连。

信息处理子系统是整个调度自动化系统的核心,以电子计算机为主要组成部分。该子系统包含大量的直接面向电网调度、运行人员的计算机应用软件,完成对采集到的信息各种处理及分析计算,乃至实现对电力设备的自动控制与操作。

人机联系子系统将传输到调度控制中心的各类信息进行加工处理,通过各种显示设备、打印设备和其他输出设备,为调度人员提供完整实用的电力系统实时信息。调度人员发出的遥控、遥调指令也通过此系统输入,传送给执行机构。

能量管理系统(EMS)是现代电网调度自动化系统(含硬、软件)总称,是以计算机为基础的现代电力系统的综合自动化系统,是对数据采集与监视(SCADA)、自动发电控制(AGC)和网络分析等子系统的管理,是预测、计划、控制和培训的工具,主要针对发电和输电系统。

三、我国调度自动化系统发展历程

电网调度是保障电力系统安全稳定运行和电力可靠供应的重要环节。电网调度自动化系统是电网调度运行强有力的技术支撑,是进行电网调度工作的技术保障。

我国电网调度自动化技术的发展已有 40 多年的历史，经历了早期探索、引进消化、自主研发和全面超越四个阶段，如图 1-1 所示。

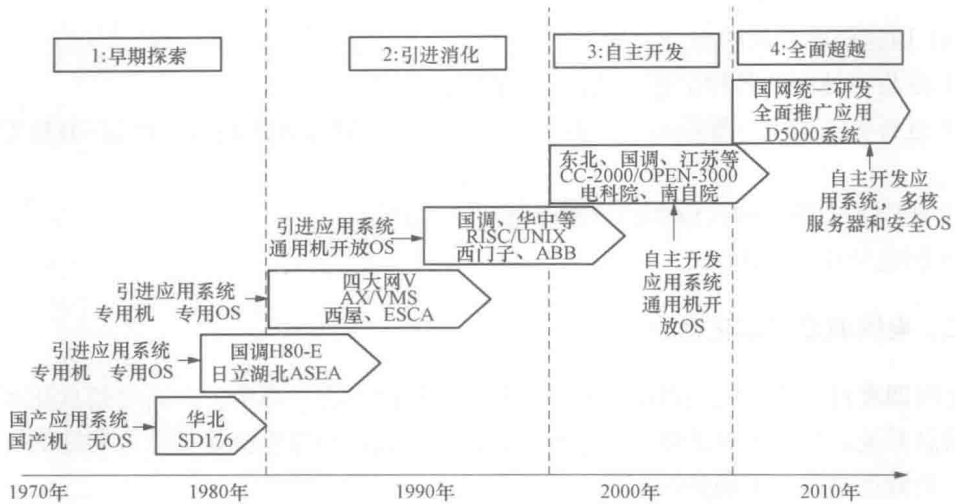


图 1-1 我国电网调度自动化技术的发展过程

电网调度自动化系统与电力系统的安全运行紧密关联，是电力系统安全的重要组成部分，2003 年 8 月 14 日发生的震惊世界的美国加拿大停电事故即为例证，据事后分析，电网控制中心自动化系统部分功能、数据异常是导致其事故扩大的一个重要原因。

为了保障我国电网调度安全，我国在电网调度自动化领域长期坚持实施国产化战略，从主要采用国外基础软硬件逐步发展为全面采用国产基础软硬件和应用软件。

1. 应用软件发展

20 世纪 80 年代后半期，我国进行了四大网（华北、东北、华东和华中）调度自动化系统引进工作，随后又有许多电网由国外引进了调度自动化系统。

通过对国外技术的学习和自主研究，我国于 1995 年独立开发完成了第一套完整的 EMS 应用软件，成功应用于华中、华北和华东三大电网，1997 年获国家科技进步二等奖。

20 世纪 90 年代，电力工业部组织中国电力科学研究院和东北电力集团联合开发了 CC-2000 EMS 系统，成功研发了自主知识产权的 CC-2000 电网调度技术支撑平台，并基于该平台实现了应用软件的全面国产化，该系统获国家科技进步一等奖。随着 CC-2000 EMS 系统及后续 OPEN-3000 EMS 系统等国产系统的研发与推广应用，我国在电网调度自动化领域逐步摆脱了对国外 EMS 系统的依赖。至 2007 年，国外 EMS 系统已逐步退出我国电网调度自动化领域。但这一时期，计算机硬件、网络设备、操作系统、关系数据库等基础软硬件仍然采用国外产品。

主要应用软件的国产化情况如下：