

TM7/56

2007

# 多Agent系统 及其在电力系统中的应用

---

盛万兴 杨旭升 编著



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

# 前 言

本书是国家重点基础研究专项经费资助项目（简称 973 项目）“复杂工业过程控制与高性能软件研究——电力信息系统的关键技术与高性能算法”（项目编号：G1998030416/05）研究成果之一。现代电网调度自动化系统是大规模的复杂信息系统，它使用电力系统的理论、方法和信息技术，对电力系统的运行状态进行实时数据采集、监控、分析、决策和优化，是保证电力系统安全稳定运行的重要支柱，在大规模复杂电力系统的运行和控制中处于核心和决定性的重要位置。当前基于面向对象思想设计的主流 EMS、DMS 系统自动化和智能化水平仍然不高，难以满足在新的电力市场环境下更为复杂和苛刻的要求。电力系统垄断经营时期，调度员所面对的是数据和算法都比较精确的电力系统，但在市场环境下，除最大限度开展的电力市场可能导致安全裕度缩小外，还增加了一些市场带来的多变和不确定因素，因此对电网的安全控制提出了较高的自适应要求。另外由监管、发电、输电、配电、用户等组成、参与各方相互影响相互制约的电力市场，是一个具有博弈性质的复杂的自适应系统，再加上具有重复交易、供需波动、电力无存储能力等复杂因素，很难用传统的博弈理论技术来模拟，更不用说传统的精确解了。因此往往耗费巨资和时间，通过实际的电力市场试点运行来开展工作。

为了促进调度和交易的高度协调、发现电力系统安全薄弱环节寻求安全对策，缩短电力市场试点周期节约试点费用，构建具有复杂自适应能力的电力市场仿真决策支持系统无疑具有重要的意义。智能 Agent 是一种技术，但更重要的是一种方法论，它为大规模的、分布式的和具有适应性的复杂软件系统的实现提供了一种全新的途径。目前智能 Agent 技术在电力系统中的应用研究已经成为国内外研究热点，本书作者也正在基于 Agent

的电力市场仿真决策支持系统的研究工作，鉴于时间和篇幅的限制，对此部分没有展开论述。书中主要结合作者前期研究工作，对 Agent 技术在电网运行决策支持系统中的应用研究进行了整理和总结，以期抛砖引玉，给相关科研和技术人员提供参考，共同促进进一步的研究。多 Agent 系统是正在发展中的新技术、新学科，本书仅是在阐述、介绍多 Agent 系统及其在电力系统中的应用方面做出的初步尝试，由于水平和经验所限，不妥之处，恳请读者批评指正。

**编著者**

2007 年 11 月

## 目 录

## 前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 现代电力系统运行调度现状及发展趋势	2
1.3 国内外研究现状	10
第 2 章 智能 Agent 研究	16
2.1 分布式人工智能与 Agent 研究	16
2.2 多 Agent 系统研究	25
2.3 本章小结	36
第 3 章 Agent 协作原理	37
3.1 引言	37
3.2 协作的基本概念	38
3.3 实用的协作方法	45
3.4 多 Agent 协作问题求解模型	51
3.5 本章小结	65
第 4 章 Agent 通信与交互	66
4.1 引言	66
4.2 多 Agent 通信与交互模型	67
4.3 多 Agent 通信及通信协议	68
4.4 多 Agent 交互及交互协议	82
4.5 本章小结	92
第 5 章 多 Agent 电网运行决策支持系统	93
5.1 引言	93
5.2 电网运行状态分析	94

5.3	构建电网运行决策支持系统亟需解决的一些 关键技术研究	98
5.4	多 Agent 电网运行决策支持系统体系结构	106
5.5	系统决策过程	121
5.6	本章小结	122
<b>第 6 章</b>	<b>多 Agent 配电网快速故障恢复决策支持系统</b>	<b>123</b>
6.1	引言	123
6.2	配电网故障恢复系统的发展历程	124
6.3	配电网故障恢复研究综述	125
6.4	配电网的多 Agent 建模	128
6.5	多 Agent 配电网故障快速恢复智能决策支持 系统体系结构	130
6.6	系统中各个 Agent 的结构和功能设计	132
6.7	本章小结	144
<b>第 7 章</b>	<b>多 Agent 系统设计与实现</b>	<b>146</b>
7.1	引言	146
7.2	面向 Agent 的软件工程	146
7.3	多 Agent 开发环境 MADE	149
7.4	多 Agent 配电网故障快速恢复决策支持系统 开发实现	161
7.5	本章小结	181
	参考文献	182



## 绪 论

### 1.1 引言

跨入 21 世纪的中国电力工业已经步入了大电网、大机组、高参数、特高压和自动化、信息化的新阶段,电力已经成为经济发展和人民生活不可或缺的生产资料和生活资料,保证安全可靠的电力供应至关重要。然而,由于受到电力系统自身原因和外部干扰的影响,电网事故时有发生,这不但使电力经营企业遭受巨大的经济损失,而且对电力用户和整个社会都将造成非常严重的影响。自 20 世纪 60 年代以来,世界各国均发生过因电力系统稳定破坏而导致的大面积停电事故。1996 年 7~8 月美国西部接连发生两次大停电事故,美国总统认为停电事故已经“危及国家安全”。2003 年下半年在北美和加拿大、英国伦敦、瑞典、丹麦、意大利都先后发生了大面积停电事故,震惊世界。特别是 2003 年 8 月 14 日美加大停电波及 5000 万人口的供电范围,造成数十亿美元的重大经济损失,是美国历史上最严重的停电事故。

近 20 年来,在我国各大电网发生的大停电事故有 100 余起。当前随着国民经济的快速持续稳定发展,用电需求不断急剧攀升,严重的缺电局面和电网重载在短期内无法得到有效解决,我国电网的安全运行面临严峻考验,大面积停电的威胁加剧。“十一五”期间,我国将建成一个远距离、大容量的实现“西电东送、南北互供”的全国联网的巨型电力系统。如果出现电力系统重大事故,其规模和造成的损失有可能大幅度增加。因此,保证大规模互联电力系统的安全、稳定和经济运行是一个重大而迫切的问题,必须作为一个重大战略问题来解决。

自 20 世纪 80 年代以来,世界各国的电力工业掀起了市场化

改革的浪潮。电力工业正在由传统的垄断管制型向竞争监管型转变。改革的内容包括放松对电力企业的管制；产业重构；将传统垂直一体化运行的电力工业分解为发电、输电、配电三个环节，在具有竞争潜质的环节引入市场机制形成可竞争市场。电力工业的这一巨大改革就是要将电力工业纳入市场经济框架，通过市场竞争来实现资源的优化配置，提高效率，降低成本，优质服务，合理规划，促进电力工业长期持续稳定发展。

世界范围内的电力工业改革和互联电网的发展对电力系统的可靠性和经济性提出了更高的要求。一方面，由于经济、政治和生态的原因，电力系统将运行在更接近安全稳定极限的条件下，输电系统的开放、新技术（如 FACTS 技术）的引入也增加了运行的复杂性；另一方面，电力系统控制中心在承担了传统的经济和技术任务以外，还增加了很多与电力市场和交易有关的工作，其在运行和控制中所担当的角色和任务变得更加复杂和繁重。电网运行控制系统和调度都面临着更大的压力和更少的选择性，因此，先进的电网运行控制系统和调度员的知识、技术、经验以及主动性成为决定电力系统性能的重要因素。

据统计，由于调度员业务不精，责任心不强造成电能质量下降、事故范围扩大、排除故障时间延长，甚至误操作等系统事故占有相当比例。为此，一方面需要不断加强调度员业务培训及管理工作，不断提高调度员的业务水平和责任心；另一方面，则需要应用计算机技术和人工智能技术，采用综合集成的方法研制和开发智能化的电网运行决策支持系统，帮助调度员更快更正确地作出运行决策和控制决策。

## 1.2 现代电力系统运行调度现状及发展趋势

### 1.2.1 现代电力系统运行特点

由不同容量发电机、不同电压等级和长度的输配电线路以及不同容量和特性负荷组成的电力系统是一个典型的复杂大系统，

呈现高维、非线性、时变、信息的不完全性、广域（大范围跨越时空）互联性和微分代数的复杂特性。这个大系统的时空运行历来就是一个非常困难的学术和工程问题。这种复杂性不仅表现在系统本身难以用精确的数学模型描述上，还体现在运行环境以及系统要实现目标的复杂性上。

随着现代通信技术和信息技术的发展，为了保障大电网的安全经济运行，各种信息系统，如调度自动化系统（SCADA/EMS）、配电网自动化系统（DA）和变电站综合自动化系统（SA）、电力市场技术支持系统等在电力系统领域里得到了广泛应用。图 1-1 给出了现代电力系统的整体构架。由图可见，电力系统与信息系统、通信系统已经融合成为高度集成的混杂系统，电力系统的监测和控制越来越依赖于信息系统和通信系统的可靠运行。信息系统中的计算机系统是核心，计算机系统的维护不当是“8.14”美加大停电的基本原因之一。一个关键通信系统发生故障会使整个系统陷于瘫痪，进而失去可控性和可观测性。

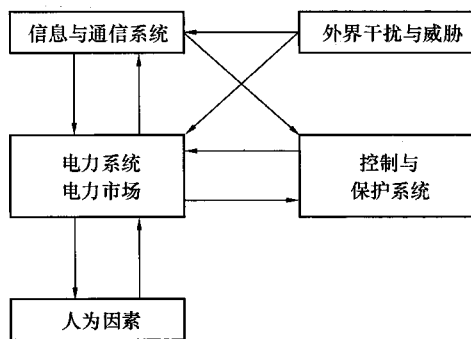


图 1-1 现代电力系统整体框架

### 1.2.2 我国现行电网运行管理体制

根据电力体制改革方案，我国电力体制已实现厂网分开，成立了国家电网公司和南方电网公司。国家电网公司管辖五个大电网（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（例如三峡电厂和葛洲坝电厂到上海的 500kV 直流输电线将华东和华中两大电网联系起来）。南方电网公司目前直接管辖广东、广西、云南、贵州等省电网。另外按照各省、市行政体制的划分，电网的运行管理本身也是分层次的，各大区电网公司，各省（区）电网公司，各市、各县分公司都有其管辖范围，其运行方式和出力、负荷的分配受其母公司管理，同时又要管理其分公司，以保证整个电力系统能够安全、优质、经济地运行。

在实行厂网分开后的电力体制下，发电厂与电网公司实现了产权分离，发电企业不再由电网（电力）公司管理，而分属于新成立的大唐、华能、华电、中电投等发电公司管理。但发电厂仍必须遵守统一调度的原则，所有并网发电厂必须与相应的电网调度中心签订并网调度协议，以确保整个电网的安全、优质、经济运行。

我国现行电网运行、管理体制是五级分级调度管理。以国家电网公司系统而论，五级调度分别是国家电网调度中心、大区电网调度中心、省级电网调度中心、地区（市）电网调度中心、县级电网调度中心。图 1-2 是电网分级调度体系示意图。

电网调度管理实行分级管理的体系，奠定了电网分层控制的模式，各级调度中心就是各级电网控制中心，调度自动化系统的配置也必须与之相适应，信息分层采集，逐级传送，命令也按层次逐级下达。为了保证电力系统的安全、优质、经济运行，对各级调度都规定了一定的职责。这种分层采集信息和分层控制使系统结构简化，通道需要量减少，信息传输量减少，信息实时性明显提高。

### 1.2.3 电网调度自动化系统组成

电力系统运行的可靠性及其电能的质量，与自动化系统的水平有着密切的联系。电力系统是一个复杂的大系统，电能的生产、输送及分配是在一个辽阔的区域内进行的，加上电磁过程本身的快速性，所以对电力系统运行控制的自动化系统提出了非常

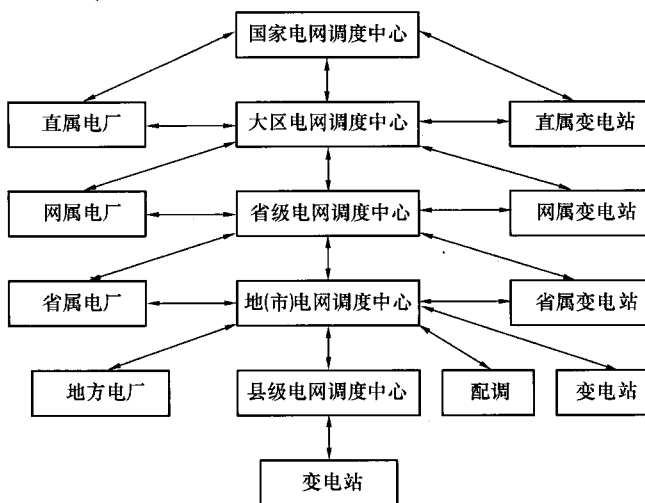


图 1-2 电网分级调度体系图

高的要求。近几年来，随着计算机硬、软件技术及自动控制技术的飞速发展，电网调度自动化系统的概念和内涵已从 20 世纪 90 年代的电网安全监控系统拓展到包括以下子系统的广义的电网调度自动化系统，下面以某省电网调度自动化系统结构为例予以介绍。

- (1) 数据采集和安全监控 (SCADA) 系统；
- (2) 能量管理系统 (EMS)；
- (3) 自动稳定控制系统 (ASC)；
- (4) 自动发电控制系统 (AGC)；
- (5) 自动电压控制系统 (AVC)；
- (6) 继电保护故障信息系统；
- (7) 电能量计量系统 (TMR)；
- (8) 电力市场运营系统 (PMOS)；
- (9) 水库调度自动化系统；
- (10) 调度生产管理信息系统 (DMIS)；
- (11) 电力调度数据网络；

- (12) 火电厂分散管理系统 (DCS);
- (13) 水电厂综合自动化系统;
- (14) 变电站 (和变电站自动化系统);
- (15) 配电网自动化系统。

图 1-3 表示了某省电网调度自动化系统的结构框图。图中大部分子系统由于实时性强、安全防护要求高, 必须通过电力调度数据网的上下行通道实现实时数据采集和向厂(站) 传送实时控制信息。调度生产管理信息系统是非实时系统, 其数据通道由广域网提供。调度员培训模拟系统通过电力调度数据网络与调度对象联通, 便于开展全电网的联合反事故演习。

必须说明, 图 1-3 的框图中对各子系统的分块并不是十分严

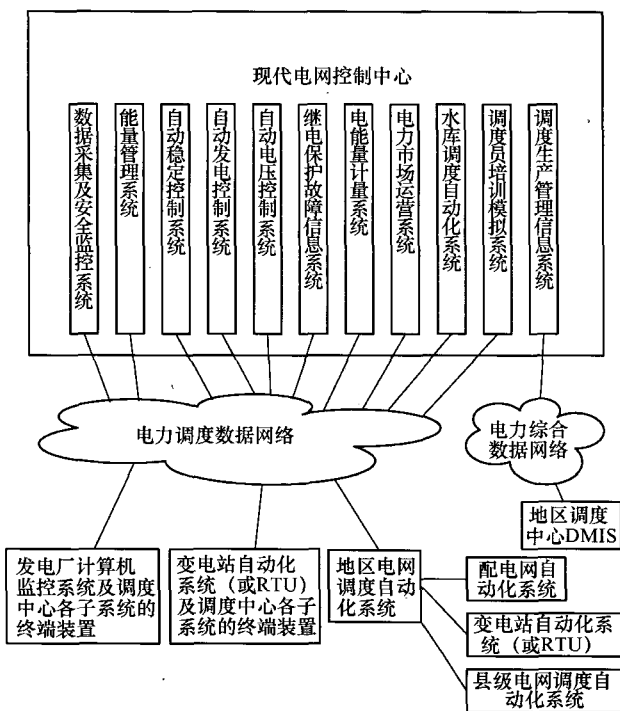


图 1-3 某省电网调度自动化系统结构

格的。例如数据采集和安全监控、自动稳定控制、自动发电控制、自动电压控制等系统也可以被包括在能量管理系统中,电能计量系统、能量管理系统又可以全部被包含在电力市场运营系统之中。之所以采用图 1-3 的分块模型,是便于从功能分块上来说明问题。

值得注意的是,调度自动化系统虽然是以计算机为核心,但仍是在人的干预作用下进行工作的。在电力系统的运行工作中,调度控制中心值班人员的经验在相当长的一段时间内是不可能全用计算机来代替的。一个运行数据是否正确,值班人员一看便知,而计算机要判断出是否正确,则需要复杂的程序。系统的操作、接线图的改变和事故的处理都必须在人的控制下,用计算机辅助进行。

#### 1.2.4 电网调度自动化系统发展进程

1965 年的北美大停电引起了人们对调度自动化系统的重视,被称为国际上调度自动化之父的美国的 T. E. Dy-Liacco 博士 1967 年提出了电力系统安全运行的框架结构,使调度控制中心功能从初期的系统监控和数据采集(SCADA)发展为能量管理系统(EMS),使“经验型”调度提高到“分析型”调度。调度员可以利用 EMS 提供的调度员潮流、静态安全分析等高级分析工具,对电网实时运行状况进行研究和分析,属人工“分析型”调度。

我国电网调度自动化系统发展迄今已经历三代:20 世纪 70 年代基于专用计算机和专用操作系统 SCADA 系统为第一代,如电力自动化研究院为华北电网开发的 SD176 系统;80 年代基于通用计算机的 EMS 系统为第二代,如四大电网、南方、广西、贵州、四川、云南等单位采用 VAX/VMS 的 SCADA/EMS 系统;90 年代基于 RISC/UNIX 的开放式分布式 EMS/DMS 为第三代,如国家电力调度通信中心、福建、山东、西北、宁夏、湖北、湖南、安徽等省调度单位引进的 SCADA/EMS,中国电力科学研究院和东北电力集团公司合作开发的 CC-2000 系统,南

京电力自动化研究院开发的 RD-800 系统、OPEN-2000 系统、SD-6000 系统等。从这个发展过程可以看到, 电网调度自动化系统的发展主要基于计算机技术和电力系统应用软件技术两个方面。作为保证电网安全运行的重要支柱, 传统的电网调度自动化系统在电力系统运行调度中发挥了不可替代的作用。传统的调度自动化系统初期为监视控制和数据收集 (SCADA) 系统, 其功能主要是监视和控制, 起到调度人员的眼、耳、手、足的作用。后来逐渐增加了发电控制、经济调度和安全分析等能量管理系统 (EMS) 应用软件和电网仿真系统 (DTS), 加强了调度人员的脑力运用, 提高了他们进行决策分析的能力。计算机网络技术的引入, 使 EMS 的体系结构有了很大的发展, 传统的调度中心发展成为开放的分布式现代能量控制中心。

1997 年 T. E. Dy-Liacco 博士提出了智能机器调度员 AO (Automatic Operator) 的概念, 为调度中心的未来发展指明了方向。用计算机实现的 AO 每 15min 在线运行一次, 采用模式识别和决策树方法不间断地产生训练集, 自动学习电力系统的运行情况, 像人类调度员一样。最后, AO 将逐渐变成有经验的调度员。可以设想, 如果计算机能够和人类一样智能地感觉电力系统, 又能比人类更机敏地应对电力系统出现的问题, 现代能量控制中心将会发生巨大的实质性的变化。

### 1.2.5 电网运行决策支持系统的提出

现代电网调度自动化系统是大规模的复杂信息系统, 它使用电力系统的理论、方法和信息技术, 对电力系统的运行状态进行实时数据采集、监控、分析、决策和优化, 是保证电力系统安全稳定运行的重要支柱, 在大规模复杂电力系统的运行和控制中处于核心和决定性的重要位置。

随着电网的发展, “厂网分开, 竞价上网” 电力体制改革的不断深入和全面实施, 电网管理水平的不断提高, 电力系统运行调度涉及的业务范围将不断扩大, 业务量也不断增加, 电网运行的调度控制与运行管理的关联越来越紧密。小到对一个设备的保

护和控制，大到对电力系统的生产、计划、规划，这些都是相互关联的。调度部门内部的各个职能部门间的信息相互关联，互通互动；实时信息与离线信息、动态信息与静态信息、运行信息与管理信息、技术信息与经济信息等都相互关联；调度人员既直接对电网运行实施调度控制职能，也需要其他职能部门的支持和配合，需要信息互通。现代能量控制中心已经不是一个简单的电网运行监控中心，不但负责安全和运行，而且负责交易和经营，是代表整个电力企业对电力系统实现电力调度、管理和运营的一个高度信息化、智能化、集成化和自动化的指挥决策中心。

时至今日，虽然经历了 30 多年的发展历史，电网运行调度控制系统的功能框架基本未变，自动化和智能化水平仍然不高。

现有调度控制中心至少存在以下几个问题：

(1) 监视信息量大大增加，调度员需要对大量数据进行人工分析和处理，从而使调度员的工作量加大。为了完成更复杂的任务，需要提高调度员的水平，在紧急状态下可能增加调度员的紧张感。

(2) 现代电网规模大，运行方式和事故模式多，由于组合爆炸，预想事故分析完备性的苛求不可能实现。

(3) 当事故发生时，大量 SCADA 报警信息涌入调度控制中心，调度员被大量数据淹没，很难决策，错失处理事故的良机。

(4) 在事故逐步恶化过程中，调度员面对不断出现的陌生运行方式，由于无法胜任繁重的分析和研究任务，因此无法实时跟踪和确定电网的安全级别，各种高级分析工具形同虚设，无法实用化。

(5) 为了满足特定的需要，SCADA、EMS、DMS 等都是不同计算机系统运行的独立的应用软件系统。这些系统关心电力对象的不同方面，对电力对象有自己专门的建模方法，相互之间很少设计成能够进行信息的自由交换。于是，这些有着不同功能目标和网络结构形式的应用系统在信息上成为独立的“自动化岛”，不易与其他功能区域交换数据或在企业范围内实现集成。

少数涉及某些网络分析软件的方法共享,但是很少进入到基于知识系统的综合决策范畴。因为电网运行中还包括其他一些有关的信息和知识,如天气预报、雷电观测、离线计算、历史事件、专家知识以及电网运行规程和调度员经验等。

目前,据统计数据显示,人为因素是造成继电保护和控制装置不正确动作从而引起停电事故的重要原因。为此,为了减少人为因素造成的电力系统事故的发生,尽可能减少停电时间和空间,减轻调度员在恢复系统时的精神压力和负担,以及可能出现的错误,这需要对现有的调度控制中心功能进行实质性的变革。如何把有关电网运行的各种信息和知识组成一个自学习自适应的智能决策支持系统,用以提高电网运行的可靠性、调度效率和管理水平,是电网运行信息化所面临的一个重大挑战。

该系统应该具有智能的安全预警功能,随时自动跟踪电网的运行状态,能够及时、准确地发现电力系统当前及潜在的危险,一旦遇到紧急情况立即报警,以便调度人员把事故处理在萌芽之中,避免后续的连锁故障的发生。同时能够及时给调度员提出相应的操作建议,能够帮助调度员以较小的控制代价使电力系统脱离危险,达到一个安全合理的运行状态;一旦事故发生,该系统能够及时给出正确的恢复控制措施,帮助调度员使电力系统在最短的时间内得以恢复。

### 1.3 国内外研究现状

20世纪90年代初期,美国太平洋煤气电力公司(PG&E)在不同硬件平台、不同数据库、不同用户界面和不同通信协议的各种自动化系统(SCADA/AGC/EMS/DTS)以及安全补救系统、雷电观测系统、水火电优化工具、运行计划工具等技术决策之上,建立了一个称之为“拱顶”(OverArching)的界面统一、信息共享的电网运行综合支持系统(Integrated Support System,缩写为ISS),在提高电网运行的调度效率和管理水平,

协调各部门之间的工作关系,便于人员培训、改善用户关系等方面取得了显著的效果。1991年,在OaklandHills大火灾难期间,该系统监视整个电网的恢复过程,为尽量减少对用户的影响做出了贡献。

随后,英国初步提出了决策支持系统的概念,在SCADA数据的基础上初步判别事故信息,再请求必要的数据,逐步细化。取得的结论可以指导如何应用、配置现代保护和控制系统,监视装置的功能是否完善,确定何时开展检修工作。但是没有开发出相应的实际系统,也没有介绍其体系结构和实现方法。日本关西电力公司基于SCADA和优化技术,也开发了一套运行支持系统软件,在线应用于275kV电网和主力电厂的故障恢复和离线故障恢复训练。他们的经验认为,这种运行支持系统可缩短故障处理时间,减少系统开发和维护的费用。

中国电力科学研究院也曾提出了基于范例的电力系统综合决策支持系统的设想,但是没有具体实现。

作为电力调度自动化系统的未来发展趋势,决策支持系统无疑是EMS、DMS等系统的升华。它是比EMS、DMS更为复杂庞大的智能信息系统,它的开发无疑将是一项更为巨大的系统工程,必然要借鉴EMS系统开发的成功经验。它同时应该能够很好地移植SCADA、EMS、DMS当中稳定可靠的应用模块,最大可能地减少开发工作量,保护用户前期投入大量金钱、时间和精力获得的资源,同时应该具有更好的灵活性和开放性,以利于系统功能的扩展。

当前主流的EMS系统都是基于面向对象思想设计的,面向对象技术的封装性、继承性和多态性等特性,为建立复杂开放的EMS系统带来了不少好处,是目前世界各国研究的热点。为了方便第三方厂商软件的应用,降低系统集成的成本和保护用户资源,使EMS的应用软件组件化和开放化,能即插即用和互联互通,国际电工技术委员会(IEC)负责电力系统控制及其通信的相关标准的第57技术委员会(IEC TC 57)制定了一系列标准,



其中第 13 工作组 (WG 13) 负责制定了 IEC 61970 标准。IEC 61970 标准系列分导则、术语、公共信息模型 CIM (Common Interface Model) 和两种级别的组件接口规范 CIS (Component Interface Specification) 共五个部分。CIM 定义了覆盖各个应用的面向对象的电力系统模型, 是 IEC 61970 标准的灵魂。目前, CIM 已经被 ABB, ALSTOM, SIEMENS, SISCO 和 ICL 等 20 多个开发商用于 SCADA 等 30 多种应用; 北美可靠性委员会 NERC, 加利福尼亚 ISO 等 30 多个电力企业接受 CIM。在国内, 南京电力自动化研究院、中国电力科学研究院、清华大学和鲁能积成电子公司等主要 EMS 开发单位正在抓紧研制基于 CIM 的调度自动化系统。

电网运行决策支持系统是比较 EMS 更为复杂庞大的智能信息系统, 面向对象技术已经不能提供足够的概念和机制来建立一个复杂系统。因此, 必须借助于计算机技术、信息技术和人工智能技术等的最新研究成果, 探索构建这样一个大型复杂系统的新方法和途径。

当前计算机科学发展的一个显著趋势就是计算范型从以算法为中心转移到以交互为中心。智能 Agent 技术就是这一个潮流之下的产物。Agent 是一类粒度大、智能度高、具有一定自主的理性行为的实体, 多 Agent 系统 (Multi-Agent System, MAS) 就是由这样一组彼此间存在着协调、协作或竞争关系的 Agent 组成的系统。MAS 系统试图用 Agent 来模拟人的理性行为, 通过描述 Agent 之间理性交互而不是事先给定的算法来刻画一个系统。智能 Agent 是一种技术, 但更重要的是一种方法论, 它为大规模的、分布式的和具有适应性的复杂软件系统的实现提供了一种全新的途径。MAS 系统具有很强的伸缩性, 而且允许遗留系统之间实现互联和互操作, 从而可以最大限度的保护用户资源。目前 MAS 系统是人工智能非常活跃的研究方向, 并且在广泛的领域具有非常高的应用前景。

智能 Agent 的上述优点自然引起了国内外专家、学者对其