

电网调度自动化系统发展趋势展望

姚建国, 杨胜春, 高宗和, 杨志宏

(国网南京自动化研究院/南京南瑞集团公司, 江苏省南京市 210003)

摘要: 电网朝着超/特高压、互联大电网的方向发展,而调度自动化系统则朝着“数字化、集成化、网格化、标准化、市场化、智能化”的方向发展。数字化是指电网设备、采集、控制及管理的信息化;集成化强调的是调度中心内部不同系统间的共享和整合;网格化是指在分层分布的调度管理体制下的各级调度中心之间信息的“需则可知”和分解协调控制;标准化包括遵循标准和制定新标准,强调的是通过遵循标准达到系统的高度开放,理想的目标是实现完全的即插即用;市场化是指在电力市场交易环境下的监控分析和控制;智能化强调的是在数据集成化的基础上将电网的分析和监控提升到完全自动和智能的高度。

关键词: 调度自动化系统; 能量管理系统; 智能调度; 电力网络

中图分类号: TM734

0 引言

电网调度自动化系统对电力系统的安全经济运行起着不可或缺的作用。到目前为止,电网调度自动化系统的发展已经历了 4 代。第 1 代系统为 20 世纪 70 年代基于专用机和专用操作系统的监控与数据采集(SCADA)系统,全部功能在单机上实现。80 年代,出现了调度主机双机热备用系统,即第 2 代系统,特点是基于通用计算机和集中式的 SCADA/能量管理系统(EMS),部分 EMS 应用软件开始实用化。90 年代,基于精简指令集计算机(RISC)/UNIX 的开放分布式 EMS 属于第 3 代产品,采用商用关系型数据库和先进的图形显示技术,EMS 应用软件更加丰富和完善,其主要特征是基于 RISC 图形工作站的统一支持平台的功能分布式系统。目前已开发出第 4 代电网调度自动化系统,它是一套支持 EMS、配电网管理系统(DMS)、广域监测预警系统(WAMS)和公共信息平台等应用的电网调度集成系统,为调度自动化提供了一揽子的集成方案。第 4 代系统满足安全分区和安全防护的要求,按照基于公共对象请求代理体系结构(CORBA)开放分布式的设计思想,遵循 IEC 61970 的公共信息模型(CIM)/组件接口规范(CIS)和可缩放矢量图形(SVG)标准^[1],面向电力市场进行了应用软件功能的扩展,并满足 EMS 网上浏览、操作和远程维护要求,为电力市场环境下的网省级 EMS 用户和其他自动化系统提供了一套先进、开放、可扩展、稳定可靠、面向对象的电力企业自动化系统支撑平台和

丰富的电网分析应用软件运行平台^[2-3]。

总结电网调度自动化系统的发展历程,每一次升级换代无不伴随着信息技术的日新月异,并且有以下 3 个特点:①硬件从专用型向通用型方向发展;②功能从数据采集和监视控制向 EMS 方向发展^[4-6];③系统结构从集中式向分布式方向发展。值得一提的是国际领先的“图模库一体化”建模技术是中国率先实现的^[7]。

随着计算机技术、网络和通信技术、数据库技术等飞速发展和电力市场的要求以及国际标准的成熟完善,调度自动化系统正在朝着数字化、集成化、网格化、标准化、市场化、智能化的方向发展。

1 电网调度自动化系统的新需求

中国电网将形成跨区域、远距离传输的超/特高压交直流混合输电系统,如何保证该系统的安全稳定运行是一个重大而迫切的研究课题^[8-10]。具体表现在以下 4 个方面:①西电东送、全国联网、电力市场化对电力系统的安全稳定运行和基础研究提出了新的挑战;②世界上大电力系统相继发生的大面积停电事故已暴露出电力系统安全防护问题的严重隐患;③大电网的大面积停电不仅造成巨大经济损失,同时造成严重的社会混乱;④电力系统的安全性已纳入国家的安全防御体系。

从调度自动化监控和分析的角度来看,现代电网是多层次、多尺度、多对象的复杂统一体,对调度自动化系统提出了以下需求:

1) 大容量

调度自动化需要从全局的角度来考虑,需要处

理海量的信息。表现在以下 4 个方面:①随着电网规模的快速扩充和电网互联的增强,对电网大模型的统一分析越来越成为需要;②传统 EMS 中只需要处理一次系统的信息,但未来调度自动化系统需要实现一、二次系统的同步建模、采集与分析;③传统 EMS 是电网稳态水平上的监控分析,未来需要扩展到静态、动态、暂态三位一体的信息处理与分析;④未来调度自动化系统需要综合处理电网、市场和电量信息。

2) 高实时性

为了实现闭环控制,高密度采集的相量测量单元(PMU)对高速实时通信提出了更高的要求,对分析和决策软件的实时性要求也更为苛刻。

3) 统一性

未来的电力系统需要加强监控和分析的统一性。在时间尺度上,需要静态、动态、暂态相结合;在空间尺度上,需要各级调度的统一协调;从对象维上讲,既要考虑输电网与配电网相结合,又要考虑经济稳定性(电力市场的影响)与物理稳定性的交织作用。

4) 综合性

随着电网规模的扩大,电力系统的动态行为更加复杂,掌握系统各种运行动态、实施先进的保护和控制,对确保电力系统的安全稳定运行越来越重要。作为承担电网静态监测、分析和控制功能的传统 EMS 已经不能完全满足电网发展和安全运行的要求。例如,在电力系统受到扰动的动态过程中,特别是发生低频振荡等长周期动态过程时,EMS 通常无法做出反应。因此,需要将功能从传统的监视、分析和控制进一步延伸到广域保护和协调防御。此外,综合性还包括信息的综合和应用的综合。

因此,未来调度自动化系统将不再是 EMS, WAMS 等具备单一功能的系统,而是综合型平台化的复合大系统。

2 调度自动化系统的发展趋势

为了适应特高压和全国互联大电网的发展需要,新一代调度自动化系统在现有技术的基础上,应具备以下特征:数字化、集成化、网格化、标准化、智能化和市场化。数字化的实质就是电力信息化,是未来发展的主流方向;集成化针对的是调度中心内部不同系统之间数据、功能的共享和整合;网格化是为了调度中心之间信息的“需则可知”;标准化包括执行标准和制定新标准;实现调度智能化是调度自动化系统的最终目标;市场化是电力体制改革的必然选择。

2.1 数字化

随着信息化的普及和深入,越来越多的目光投向了数字化变电站和数字化电网的研究开发。电网的数字化包括信息数字化、通信数字化、决策数字化和管理数字化 4 个方面。

1) 信息数字化:是指电网信息源的数字化,实现所有信息(包括测量信息、管理信息、控制信息和市场信息等)从模拟信号到数字信号的转换,以及对所有电网设备(包括一次设备、二次保护及自动装置以及采集、监视、控制及自动化设备)的智能化和数字化。电网具有很强的时空特性,需要采集、监视和控制设备的二维及三维时变信息。信息数字化的目标是数据集成、信息共享,主要以数字化变电站为主体。

2) 通信数字化:是指数字化变电站与调度自动化主站或集控中心之间通信的数字化。畅通、快速、安全的网络环境和实时、准确、有效运行信息的无阻塞传递是数字化电网监控分析决策的重要前提。

3) 决策数字化:电网安全、稳定、经济、优质运行是电网数字化的根本目的,必须具备强大的分析和决策功能,实施经济调度、稳定控制和紧急控制的在线闭环,达到安全、稳定、经济、优质运行的目的。

4) 管理数字化:包括设备生产、运行等大量基础数据在内的各种应用系统的建设,实现从电网规划、勘测、设计、管理、运行、维护等各个环节的全流程的信息化。

调度自动化系统是数字电网的重要组成部分。自 1998 年 1 月戈尔提出数字地球的概念以来,在各个国家和专家学者中引起了强烈反响,掀起了全球数字化浪潮。2000 年,卢强院士提出了数字电力系统的概念^[1]。数字化电网的核心是电力信息化。电力调度自动化的数字化将会给调度的视角带来新的变化,许多新兴技术,如遥视技术、虚拟现实技术、可视化技术、全球定位系统(GPS)技术、遥感技术、地理信息系统(GIS)技术将会在未来调度自动化系统中得到广泛深入的应用。

数字化的目标是利用电网运行数据采集、处理、通信和信息综合利用的框架建立分区、分层和分类的数字化电网调度体系,实现电网监控分析的数据统一和规范化管理以及信息挖掘和信息增值利用,实现电力信息化和可视化、智能化调度,提高决策效率和电力系统的安全、稳定、经济运行水平。

2.2 集成化

集成化是指要形成互联大电网调度大二次系统,这种系统需要综合利用多角度、多尺度、广域大范围的电网信息以及目前分离的各系统内存在的各种数据。调度数据集成化就是要实现调度数据的整

合,实现数据和应用的标准化,实现相关应用系统的资源整合和数据共享,实现电网调度信息化和管理现代化,从而为实现调度智能化服务。

因此,调度自动化系统应统筹考虑电力调度中心各自动化系统的数据及应用需求,以面向服务的体系结构^[12],按照应用和数据集成的理念,构造统一支撑的数据平台和应用服务总线,实现数据整合和应用功能整合,达到数据一致、数据共享、应用功能增值的目的,并为调度自动化的运行和开发提供功能强大、方便易用的集成支撑环境。

采用数据通用集成总线(UIB)和 CORBA、企业 Java 级(EJB)、分布式组件对象模型(DCOM)和 Web Services 等组件模型构造集成总线^[13]。通过 UIB 将各种信息有机地整合在一起,如图 1 所示。

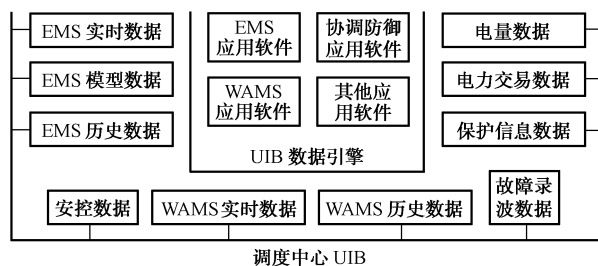


图 1 信息的集成整合
Fig. 1 Integration of information

因此,不论是什么应用,都可以很方便地对数据进行各种操作,屏蔽了数据的分布性。通过 UIB 将各种应用系统整合在一起,如图 2 所示。

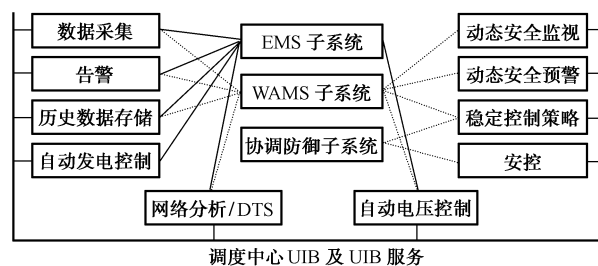


图 2 应用系统的集成整合
Fig. 2 Integration of application systems

具体说来,支撑平台需要研究面向服务的体系架构、数字化电网建模技术、广义数据集成、信息共享技术、面向主题的数据挖掘与展现技术、大信息量和高速数字实时通信以及实时数据处理技术;从应用的角度需要研究传统应用的集成和增值、交叉型和边缘型的新应用功能创新以及大规模电网分布式建模和静态、动态在线一体化协同仿真分析与计算等,从而达到在集成的基础上进一步创新。

2.3 网格化

网格化是实现调度中心之间广域资源共享和协

作,是一种在物理网络互联基础上的应用和功能意义上的系统级联网。包括数据网格和计算网格。

长期以来,中国电网形成了分级分布的调度管理体系。电网是互联的,但却按照分级分块调度运行。虽然电力系统是一个瞬息万变的整体,每级电网实时分析时都需要涉及互联的相邻电网和上级电网的影响,但由于资源的专用,在进行本电网的分析计算时只能对其他电网的影响采用假设条件或者等值方式,这显然是不准确的。因此,互联大电网对传统的分析仿真方法带来了挑战。

网格技术是近年来国际上兴起的一种重要信息技术。网格技术对于网络上各种资源具有巨大的整合能力,如果将其应用到电力系统中,可以为不同调度系统之间信息和资源的共享带来方便,并最终成为支撑广域电网分布式电力系统计算和仿真的支撑平台。将网格技术作为技术支撑平台,并在此基础上构建未来互联大电网监控系统——广域分布式 EMS,实现各级电网调度自动化系统和调度员培训仿真(DTS)系统动态形成虚拟的大 EMS,共享资源和协同分析,保证电网的安全稳定运行和控制。引入网格技术作为解决电力系统分析问题的工具,对于解决中国电力系统超大规模电网的数据共享和计算分析问题具有非常重要的意义。

调度数据综合平台、电网运行动态数据交换和分布式建模及模型拼接是目前所采取的信息共享方案,虽然取得了很好的效果,但是在系统平台底层缺乏有效的支撑,对维护的工作要求很高,是一种“需则共享”的方式^[14]。利用网格技术可以动态地建立包括计算、数据、存储等在内的广泛的资源共享,而无需事先定义和维护需要共享的数据,将会使目前的信息“需则共享”的模式转变为“需则可知”的模式,大大加强电力信息化的程度,从而使信息共享的紧密耦合走向松散耦合。

2.4 标准化

标准化包括遵循标准和制定新标准 2 个方面的含义。遵循标准并不是目的,而是一种技术手段,只有标准化才能实现真正意义上的开放。目前与调度自动化系统相关的最重要的国际标准包括 IEC 61970,IEC 61968 和 IEC 61850 等,在国调中心的领导与组织下,国内相关厂家均对这些标准给予了高度的重视^[15]。随着对这些标准的研究理解、互操作实验及实际应用的不断深入,标准化的目标已经渐行渐近了。

然而,标准化也不是一蹴而就的事情,目前的应用还主要以接口标准为主,主要是为了解决异构系统之间的互操作问题。国内主要相关厂家的自动化产品都已经不同程度地支持这样的接口标准。值得

一提的是,基于标准化平台的电网调度自动化集成系统 OPEN-3000 则是率先将 IEC 61970 标准作为系统内标准来实施,从而达到不仅系统接口遵循标准,而且系统内部也遵循标准^[13,16]。从标准化的发展进程来看,这种从内到外的标准化是大势所趋。

标准化的终极目标是实现应用程序的即插即用,从而实现完全的开放。对于这一目标的探索已经取得了一些进展,在 OPEN-3000 系统上已经成功地实现了对于第三方应用模块的接入,相关厂家在应用程序的即插即用上也积累了不少经验。虽然从实际应用的程度来看,实现即插即用这一目标还有一段很长的路要走,但未来随着组件技术和相关计算机技术的成熟,对于应用程序能够向硬件那样即插即用将不是梦想。

标准化的另一个方面就是要制定新的标准,例如,针对数字化所带来的各种信息的采集、处理要制定新的规范和标准,针对厂站端和主站端的电网模型共享也需要制定新标准等。

2.5 市场化

电力市场化改革也给电力系统运行和控制带来一系列新问题。例如:电网的传输容量逐步逼近极限容量;电网堵塞现象日趋严重;负荷和网络潮流的不可预知性增加;大区电网运行相对保密,相关电网信息和数据不足;厂网分开后的调度权受到限制,以安全性为唯一目标的调度方法转向以安全性和经济性为综合目标的调度方法;市场机制不合理可能降低系统的安全性等。因此,需要未来的调度自动化系统和电力市场的运营系统更加紧密地结合在一起,在传统的 EMS 和 WAMS 应用中更多地融入市场的因素,包括研究电力市场环境下的电网安全风险理论,以及研究市场环境下的传统 EMS 分析功能,如面向电力市场的发电计划的安全校核功能、概率性的潮流及安全稳定计算分析、在线可用输电能力(ATC)的分析计算等。

2.6 智能化

智能调度是未来电网发展的必然趋势。智能调度技术采用调度数据集成技术,有效整合并综合利用电力系统的稳态、动态和暂态运行信息,实现电力系统正常运行的监测与优化、预警和动态预防控制、事故的智能辨识、事故后的故障分析处理和系统恢复,紧急状态下的协调控制,实现调度、运行和管理的智能化、电网调度可视化等高级应用功能,并兼备正常运行操作指导和事故状态的控制恢复,包括电力市场运营、电能质量在内的电网调整的优化和协调。

调度智能化的最终目标是建立一个基于广域同

步信息的网络保护和紧急控制一体化的新理论与新技术,协调电力系统元件保护和控制、区域稳定控制系统、紧急控制系统、解列控制系统和恢复控制系统等具有多道安全防线的综合防御体系。

智能化的关键技术包括:智能预警技术、优化调度技术、预防控制技术、事故处理和事故恢复技术(如电网故障智能化辨识及其恢复)、智能数据挖掘技术以及调度决策可视化技术等。智能化调度的核心是在线实时决策指挥,目标是灾变防治,实现大面积连锁故障的预防。智能化调度是对现有调度控制中心功能的重大扩展,对于有效地提高电网调度运行人员驾驭现代化大电网的能力,保障电网的安全、稳定、经济、优质运行,具有十分广阔的应用前景^[17]。

3 结语

电力一次系统的迅速发展是调度自动化系统发展的推动力,调度自动化系统正在朝着数字化、集成化、网格化、标准化、市场化、智能化的方向发展。数字化是自动化系统的基础,集成化、网格化和标准化是要采取的手段,智能化是最终要实现的目标,市场化是未来市场发展的需要。计算机、通信和人工智能等领域的新技术和新思想为电网调度自动化系统的发展提供了技术保障,特高压、电力体制改革等新形势对电网调度自动化系统既提出了新的挑战,也提供了前所未有的机遇。未来调度自动化技术及系统将会有更快更大的发展,但也需要付出艰辛的努力。

参考文献

- [1] 李亚平,姚建国,黄海峰,等. SVG 技术在电网调度自动化系统中的应用. 电力系统自动化, 2005, 29(23): 80-82.
LI Yaping, YAO Jianguo, HUANG Haifeng, et al. Application of SVG in the dispatching automation system of power network. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(23): 80-82.
- [2] 辛耀中. 新世纪电网调度自动化技术发展趋势. 电网技术, 2001, 25(12): 1-10.
XIN Yaozhong. Development trend of power system dispatching automation in 21st century. Power System Technology, 2001, 25(12): 1-10.
- [3] 姚建国,高宗和,杨志宏,等. EMS 应用软件支撑环境设计和功能整合. 电力系统自动化, 2006, 30(4): 49-53.
YAO Jianguo, GAO Zonghe, YANG Zhihong, et al. Supporting platform design and function integration for EMS application software. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(4): 49-53.
- [4] 蔡洋,王积荣,石俊杰,等. 我国电网调度自动化系统大发展的十年. 电力系统自动化, 1992, 16(6): 7-12.
CAI Yang, WANG Jirong, SHI Junjie, et al. Ten years' development for electrical power dispatching automation system.

- Automation of Electric Power Systems, 1992, 16(6): 7-12.
- [5] AZEVEDO G P, OLIVERIA FILHO A L. Control centers with open architectures. IEEE Computer Application in Power, 2001, 14(4): 27-32.
- [6] 金振东,刘觉. 90 年代电网自动化的发展方向. 电力系统自动化, 1995, 19(6): 5-10.
- JIN Zhendong, LIU Jue. The trend in development of EMS/DMS for control centers in the 90's. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(6): 5-10.
- [7] 姜彬,罗玉孙,叶周. 面向对象技术在 EMS 图像系统中的应用// 全国能量管理及其在地区电网中的应用会议论文集, 1996, 南昌.
- JIANG Bin, LUO Yusun, YE Zhou. The apply of object-oriented technology in EMS image system// Proceedings of State Energy Manage and It's Use in Regional Power System Conference Papers, 1996, Nanchang.
- [8] 周孝信. 面向 21 世纪的电力系统技术. 电气时代, 2000, 2(1): 6-8.
- ZHOU Xiaoxin. Power system technology looking to 21th century. Electric Age, 2000, 2(1): 6-8.
- [9] EDINGER R, KAUL S. Renewable resources for electric power. Westport, Connecticut, UK: Quorum Books, 2000.
- [10] BEGOVIC M, PREGELJ A, ROHATGI A, et al. Impact of renewable distributed generation on power systems// Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences, Jan 3-6, 2001, Maui, HI, USA. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2001: 47.
- [11] 卢强. 数字电力系统(DPS). 电力系统自动化, 2000, 34(9): 1-4.
- LU Qiang. Digital power system. Automation of Electric Power Systems, 2000, 34(9): 1-4.
- [12] 杨志宏,赵京虎,陈梅. 基于 SOA 的实时信息系统平台//2004 全国电力系统自动化年会论文集, 2004 年 10 月 28 日~11 月 1 日, 桂林.
- YANG Zhihong, ZHAO Jinhu, CHEN Mei. The real-time information platform based on SOA// Proceedings of the Academic Meeting of Power System Dispatch Automation in 2004, Oct 28-Nov 1, 2004, Guilin.
- [13] 黄海峰,曹阳,杨志宏. SVG 技术在调度自动化系统中的应用研究//2004 全国电力系统自动化年会论文集, 2004 年 10 月 28 日~11 月 1 日, 桂林.
- HUANG Haifeng, CAO Yang, YANG Zhihong. The apply and study of SVC in power dispatching automation system// Proceedings of the Academic Meeting of Power System Dispatch Automation in 2004, Oct 28-Nov 1, 2004, Guilin.
- [14] 杨胜春,姚建国,杨志宏,等. 网格技术在电力调度信息化中的应用的探讨. 电网技术, 2006, 30(增刊).
- YANG Shengchun, YAO Jianguo, YANG Zhihong, et al. Discussion of grid technology applying in informatization of power dispatching automation system. Power System Technology, 2006, 30 (Sup).
- [15] 张慎明,邵山. 国内第 4 次 EMS-API 互操作实验介绍. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 1-3, 7.
- ZHANG Shenming, SHAO Shan. Chinese 4th interoperability test based on IEC 61970. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(16): 1-3, 7.
- [16] 张慎明,黄海峰. 基于 IEC 61970 标准的电网调度自动化系统体系结构. 电力系统自动化, 2002, 26(10): 45-47, 72.
- ZHANG Shenming, HUANG Haifeng. Architecture of power dispatching automation system based on IEC 61970 standard. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(10): 45-47, 72.
- [17] 杨胜春,姚建国,高宗和,等. 基于调度大二次系统的智能化电网调度辅助决策的研究. 电网技术, 2006, 30(增刊).
- YANG Shengchun, YAO Jianguo, GAO Zonghe, et al. Intelligent dispatching decision-making system based on integration of power dispatching automation system. Power System Technology, 2006, 30(Sup).

姚建国(1963—),男,硕士,教授级高级工程师,主要从事电力系统分析和控制、WAMS、地铁综合监控系统的研究开发和管理。E-mail: yaojg@naritech.cn

杨胜春(1973—),男,硕士,高级工程师,主要从事电力系统仿真、电力系统分析与控制方面的研究开发和工程化工作。E-mail: yangshch@naritech.cn

高宗和(1963—),男,硕士,教授级高级工程师,主要从事电力系统分析和控制、WAMS 的研究开发和管理。E-mail: gaozh@naritech.cn

Development Trend Prospects of Power Dispatching Automation System

YAO Jianguo, YANG Shengchun, GAO Zonghe, YANG Zhihong
(Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: With the development of EHV and power network interconnection, the dispatching automation system trends with several features such as digitization, integration, grid technology, standardization, deregulation and intellectualization. The key of digitization technology is the realization of informatization in electric instruments, data acquisition, control and management. Integration technology emphasizes data sharing and data integration of different systems in dispatching automation system. Grid technology can be utilized to implement the incorporation of information saved dispersedly in hierarchical and distributing power dispatching management system. Standardization emphasizes plug-and-play. Deregulation refers to the supervisory control and analysis of trading in power market. Based on data integration technology, power system analysis and supervisory control can be raised to a completely automatic and intelligent level. The technological issues addressed on these features are analyzed in detail and the future development direction of the dispatching automation system is described.

Key words: dispatching automation system; energy management system (EMS); intelligent dispatching; power grid technology