

现代能量控制中心概念的扩展与前景展望

张伯明

(清华大学电机系, 北京市 100084)

摘要: 随着电网互联和电力体制改革步伐的加快, 对电网运行的调度和控制提出了许多更新更高的要求, 传统的调度中心 EMS 的结构和功能将发生很大的变化。为适应这一变化, 文中认为现代能量控制中心的概念应当扩展, 特点是高度的信息化、智能化、集成化和自动化。其功能由安全发展为安全与经济的协调; 局部控制发展为全局分层控制; 离线分析发展为在线分析; 开环控制发展为闭环控制; 在线稳态分析发展为在线暂态分析。

关键词: 电力系统调度自动化; 控制中心; 信息理论; 能量管理系统; 电力系统运行

中图分类号: TM734

0 引言

电网互联是近年来国内外电力系统发展的总趋势。我国三峡电站及其输变电工程的建设, 促进了全国电网互联。“十五”期间, 我国将建成一个远距离、大容量的实现西电东送和南北互补的全国互联电网。与此同时, 随着“厂网分开, 竞价上网”电力体制改革的不断深入和全面实施, 将逐步形成新的电力调度管理格局。这一新形势给电力系统的安全、经济运行带来了新的挑战, 与之配套的二次电力信息系统的保护、控制、指挥调度及信息化、自动化系统必须适应全国联网的需要, 适应电力市场化改革的需要, 即在概念上、结构上、功能上都应适应一次电力系统发展变化的需要, 适应行政区划、管理体制变化的需要。因此, 电力调度自动化系统将迎来新的发展机遇。

纵观电力调度自动化系统的发展, 初期为监视控制和数据收集(SCADA)系统, 后来逐渐增加了发电控制、经济调度和安全分析等功能, 近些年又在系统设计和开发中引入了网络和通信技术、分布式计算机技术等现代信息技术的最新成果, 发展为今天的能量管理系统(EMS)。因此, 电力调度自动化系统的发展总是与一次电力系统运行、管理的需求相适应, 同时也伴随着信息技术的发展而不断升级和更新换代。

本文在分析当前全国电网互联和电力体制改革对电网调度控制提出新要求的基础上, 站在信息化的高度对电力调度自动化的发展前景进行了展望。

1 现代能量控制中心概念的扩展

1.1 调度控制思路的新要求

传统的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, 被认为是保证电网安全运行的三大支柱之一^[1]。但传统的调度自动化系统的功能主要是监视和控制, 起到调度人员的眼、耳、手、足的作用。后来发展了 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为开放的分布式现代能量控制中心^[2]。

随着电网的发展和电网管理水平的提高, 电力系统运行调度涉及的业务范围不断扩大, 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。因此, 我们的思路和概念需要扩展。

1.2 信息化

1.2.1 信息化的电力系统

我们面对的电力系统是一个庞大的一次能量系

统,负责电力的生产、传输、分配和使用。维持这种系统的正常运行,需要与之配套的保护、控制和指挥调度系统来保证。从广义的角度看,这个保证系统实际上是为电力系统服务的整个信息系统的一些具体环节。如果我们把电力的生产、传输、分配和使用看做一个能量的运动 and 变化过程的话,那么,对电力系统的保护、控制和指挥调度就可以看做电力信息的运动和变化过程。从运行的一次电力设备处采集信息,通过对信息的加工、处理,最后输出控制信息,并对一次电力设备实施控制。继电保护和安全自动装置实现的就是这样一个过程。对电力系统运行的指挥调度也是如此:远动装置采集了电力系统运行的实时数据,经调度主站 SCADA/EMS 加工处理,提供给调度员,经调度员分析决策后,变成调度命令下达,施效到电力系统,使电力系统运行在安全和经济的状态下。对电力系统的规划也是如此:规划人员收集历史上电力系统的有关数据,根据对历史数据的分析和对今后国民经济发展的预测,制定今后电力系统的发展规划,并施效于电力系统。

综上所述,不管涉及的时间长短、对象异同,从广义的概念来理解,这些都是信息运动和变化的过程,当然,信息有输入也有输出。由此可见信息的重要性。随着信息技术的发展,以物质和能量为中心的传统科学已经逐渐让位于以物质、能量和信息为中心的现代科学。因此,我们应该站在信息的高度重新认识现代能量控制中心的作用。

1.2.2 信息理论在电力调度辅助决策中的应用

1948 年,Shannon 在通信领域提出了信息理论^[3]。经过半个多世纪的发展,信息科学已经突破了最初的通信范畴而成为一门被许多学科引入的基础科学,为各学科领域的高级智能信息过程的研究提供了普遍性的方法和理论指导^[4]。钟义信先生提出的广义信息理论^[5],站在信息的高度认识已有的科学原理,例如:信息获取原理(识别论),信息传递原理(通信论),信息处理和再生原理(决策论),信息调节原理(控制论),信息组织原理(系统论),信息认知原理(智能论)。这些在现代能量控制中心的电力调度自动化系统中都有体现和应用。

应用并发展通信领域的信息理论,将电力调度自动化系统中发生的信息过程量化地表示出来,并进行定量的研究^[6],我们提出了电力系统信息学新的研究领域^[7],它可望在电力系统调度自动化领域有广阔的应用前景。例如在图 1 中,用信息理论描述电力调度自动化系统的信息过程。

调度员看到的信息有 2 类^[7]:一类是物理的电

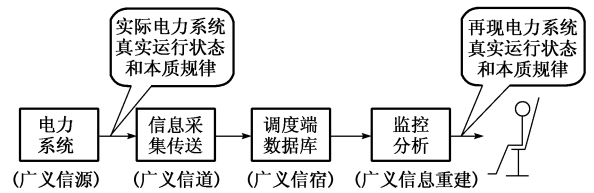


图 1 电力调度自动化系统的信息过程

Fig. 1 Information process in a power dispatching automation system

力系统真实运行状态的表征,叫第 1 类认识论意义上的电力信息;另一类信息是通过分析决策环节,再生出新的信息,例如计算出潮流雅可比矩阵的最小奇异值这个新信息,帮助决定是否要采取和怎样采取控制,避免电力系统发生电压崩溃,这是第 2 类认识论意义上的电力信息,这类信息用于信息施效(控制),改善电力系统的运行。

信息是可以量化、量度和运算的。电力系统的真实运行状态不可知,调度员看到的只是电力系统真实运行状态的表征信息,如何根据表征信息重建电力系统真实信息,可以利用信息理论中的信息量、信息熵等概念,采用定量的方法去描述图 1 中的各个信息环节信息量的变化,最后给调度员提供最能反映电力系统真实运行状态和本质规律的信息^[6]。

1.3 集成化

1.3.1 数据集成和数据挖掘

能量控制中心的数据集成是电网发展和信息技术发展的必然结果。几十年来,逐步发展起来的信息系统孤岛林立的现状阻碍了调度决策水平的进一步提高。电力公司中数据既冗余又不足,数据值有时也不一致。其特征表现为数据是海量的和表象的,数据不可靠,其综合性和智能性也不高,利用率低。能量控制中心的信息系统需要集成,需要从海量的数据中挖掘出更多、更有价值的信息^[8]。

如图 2 所示,对控制中心原有的数据库进行加工和提炼(数据服务),建立起控制中心的数据仓库,产生面向主题、集成、稳定、时间各异的数据集合,用于控制中心的决策支持。利用数据仓库中的数据,进行在线联机分析处理(OLAP),从大量、不完全、有噪声、模糊、随机的实际应用数据中,提取隐含在其中、人们事先不知道、但又是潜在有用的信息和知识,实现有效的数据挖掘(分析服务)。

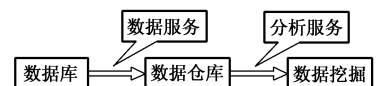


图 2 控制中心数据挖掘过程

Fig. 2 Data mining process in a control center

对电网中线路过负荷、电压越限与季节、温度、地区等诸多因素之间的关系进行 OLAP, 实现电网的安全性预警; 分析故障发生时的相关因素, 如温度、雨量、雷暴、负荷、台风等, 采用 OLAP 技术, 确定重要的影响因素和经常发生的故障模式, 得到科学的预想事故集; 也可用 OLAP 进行报警信息的处理, 分析经常发生报警的原因; 对历史上的大量运行数据进行 OLAP, 分析负荷的频率特性和负荷的电压特性等。

也可应用 OLAP 分析气象因素对负荷的影响, 以提高负荷预测的精度; 对用户的用电记录、季节、气候、电价等属性用 OLAP 进行聚类分析, 划分用户群模式, 提取电力用户的用电特征。

还可对远动数据的历史记录进行 OLAP, 估计远动数据质量, 为状态估计提供量测权重系数等。

1.3.2 数据集成中的标准化

数据集成需要标准化来保证, 控制中心应用程序接口 (CCAPI) 为我们提供了共同的规范。调度自动化应用软件的即插式应用是我们追求的目标。公共信息模型 (CIM) 为 EMS 的信息提供了一个物理方面的逻辑视图, 遵循 CIM, 以共同的标准描述电力系统对象, 上述即插式应用才有可能实现^[9]。

所有的努力为了 2 个目的: ①建立数据交换的共同语言, 以同样的标准理解数据和数据的含义; ②充分利用这些数据, 并深入挖掘数据背后隐含的信息, 甚至通过信息的挖掘产生知识。

1.3.3 EMS 软件应用范围的扩展

EMS 在控制中心的应用不应是单一的、局限的, 除了直接指导调度人员外, 其范围应该扩展。电力调度部门经常要对未来系统的发展进行分析, 以便评价规划中的电网在运行时的行为指标。例如: 几个月或一段时间后, 系统新增一个变电站、新架一条输电线、新增一个发电厂, 这时系统运行的安全情况如何, 系统能否承受这些变化, 会不会出现潜在的问题, 如果有潜在的问题时应该采取什么措施来解决等, 这也是调度部门关心的问题。EMS 应用软件的功能应该扩展到可以对规划中的电网进行分析, 提供灵活的工具对现有电网进行增删厂站和线路, 在变化后的规划系统上进行未来系统的分析。

1.4 智能化

1.4.1 智能化的实现

现代电力系统能量控制中心还应是高度智能化的。电力系统真实运行状态并非可以全部真实、准确地描述。信息具有不确定性, 本质信息往往隐藏在若干表面信息中。有经验的调度员可以纵观表面信息, 准确地判断目前电力系统是否危险, 是否会向

危险方向发展, 这种直觉有时不是计算分析所能得出的, 而是根据经验判断出来的, 很多情况下这个判断是准确的。因此, 建立一个智能化系统来辅助调度员决策相当重要。调度自动化系统智能化程度越高, 调度员使用起来就越得心应手。在控制中心实现智能化要做的工作很多, 例如:

a. 如何定量地描述电网的安全、经济运行状况, 选出合适的特征指标, 该指标应能特异地区分电力系统运行状态。如描述电压稳定的最小奇异值指标、描述电网稳态过负荷严重程度的自动故障选择算法的指标等。

b. 在注入空间上形象、直观地描述电力系统静态安全域; 用模式识别方法描述电力系统动态安全域。利用机器自动学习, 使计算机变成一个有经验的调度员, 让计算机帮助调度员判断电力系统是否存在潜在危机。

c. 利用人机工程原理, 用人类最容易认识的方式表达重建后的电力信息, 实现可视化表达, 甚至动用人类各种感官, 实现人和计算机的全面沟通。

d. 利用认知科学和人工智能原理, 实现智能报警和面向电网的操作票的自动生成。

1.4.2 智能机器调度员

电网调度自动化的奠基人, 美国的 T. E. Dy-Liacco 博士于 1997 年提出的智能机器调度员 (AO——automatic operator), 为调度中心的智能化描绘了一幅新颖的蓝图^[10]。用计算机实现的 AO 每 15 min 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。不难设想, 计算机如果能像人类一样, 智能地感觉电力系统, 又能比人类更机敏地对电力系统出现的问题做出反应, 现代能量控制中心将会发生巨大的实质性变化。

1.5 自动化

电力系统运行状态的变化很快, 每天需要正常调整和控制的操作很多, 异常和事故情况下的操作就更多。控制中心的调度自动化系统的主要特点就是自动化代替人工电话指挥调度。但这种自动化不仅限于常规的监控, 功能需要大大地扩展。

正常情况下, 自动发电控制 (AGC) 是闭环执行的; 电力市场环境, 日前交易和实时交易大部分也是自动进行的, 不需或少需人工干预; 无功电压的控制也是闭环的, 尽管采用分层控制、每层各司其职的策略, 但执行却是自动的。

预防控制和紧急控制的自动化程度也很高。预防控制策略可以在线自动计算出来, 作为正常调度

控制决策的补充;调度自动化系统自动在线计算紧急控制的决策表,能自动下发到厂站端,一遇紧急情况,厂站端控制系统按决策表立即控制。

上、下级控制中心之间以及平级控制中心之间的信息交换也是自动的,从而减少了人的工作量。

2 现代能量控制中心的发展前景

将来的能量控制中心在概念上将有很大的扩展,不再是单一的电力系统监控中心,而是信息化程度非常高、功能上高度综合、高度智能化和自动化的电力系统调度、决策、指挥控制中心。

2.1 由安全发展为安全与经济的协调

过去,调度中心的 EMS 主要用于电网的安全监控,有些也按等微增率原则进行经济调度计算和控制。自从将电力作为一种商品进行市场交易以来,对电力系统的调度及控制与以前相比已经大不相同,电网的调度部门既要组织电力交易,使电力市场有序进行,又要满足电网运行的技术约束,避免电网事故的发生。因此,电网调度控制中心在组织电力交易的过程中,要时刻监视网络的安全,进行有效的阻塞管理。在设计交易算法时,把避免阻塞、消除阻塞作为硬性约束加以考虑。各种辅助服务,包括旋转备用、无功支持、调频调压等都可以通过一定的经济杠杆在电力交易中考考虑,使为电网安全做出贡献者能得到应有的回报。

交易算法中,网络安全不但要计及稳态安全,还要计及动态安全,满足动态安全约束;不但要考虑单条线路的传输限约束,而且要考虑联络线族断面的传输限约束。这里,可用传输容量(ATC)是一个重要的概念。基态时,在负荷节点注入功率不变的情况下,ATC描述了给定联络线断面的不同系统之间最大的可用交换功率增量值,即告知断面还可以多送多少功率潮流^[11]。将 ATC 在电力市场即时信息发布系统(OASIS)上发布,供发电商参考以决定自己的竞争策略。有时,自己不发电而从外部电网买电可能更合算。ATC 不但要考虑当前的值,还要考虑 $N-1$ 情况下的值,它是描述电力系统安全裕度的重要指标。

调度员熟悉电网安全,但不熟悉市场,不熟悉交易;交易员熟悉市场,熟悉交易,但不熟悉电网,不熟悉安全。由于这两者紧密相关,必须交互,因此,今后调度员和交易员之间的交互会越来越多,需要可视化地表达电网安全情况。

2.2 由局部控制发展为全局分层分布控制

电力系统总发电和总负荷的不平衡会引起系统频率的升降。即使总发电和总负荷保持平衡,系统

频率能维持不变,但发电出力分配的不同将导致电网潮流的不同,甚至导致联络线过负荷。按无穷大容量电网假设所做的电力交易,放到实际电网中可能行不通。因此,有功交易必须从全局出发,既要考虑全局功率平衡,又要考虑局部分配合理,减轻电网传输功率的压力。

无功电压相对更具局部性。过去大多用变电站当地的控制器来控制无功电压,信息技术的发展使得无功电压的全局控制变成可能。利用无功电压的区域性特点,采用既分又合的控制策略,即分区设置中枢点,分区域控制中枢点电压,而中枢点的电压控制曲线又是通过全局潮流计算和无功优化计算给出的,这是一种实用的控制策略。采用软分区是一种可操作性很强的方案^[12]。

我们面对的电网是连在一起的,而管理体制决定了对电网的调度和控制是分层、分区的。在研究自己管辖区电网中的问题时,如何看电网的其他部分;电网的高层调度部门在研究全局电网时,如何看它的下层若干子区域的电网;同层各子区域电网在分析自己区域电网时,又如何看它的上层电网;在线运行时,上下层之间、同层各个区域之间如何交换信息,交换什么信息,交换多少信息,交换的频度是多少,才能使各自电网的分析计算正确和准确。这时,等值的概念和全局思维十分重要^[13]。高层电网在研究自己电网问题时,下一层的各个子网可以看做等值负荷(等值戴维南),这一等值负荷的内电势和内阻抗是变化的,随各子网内的运行方式变化而变化(见图 3(a))。下层各个子区域电网在研究自己区域电网的问题时,从它的边界向高层电网看过去,看到的是一个等值电源(等值戴维南),该等值电源的内电势和内阻抗也是变化的,随高层电网的运行方式的变化而变化(见图 3(b))。简单地切断外网,用一个没有互阻抗的等值电源代替外网,不能保证分析结果正确和准确。内网基态潮流计算误差可能不大,而一旦内网发生线路开断操作,就会产生很大的计算误差。

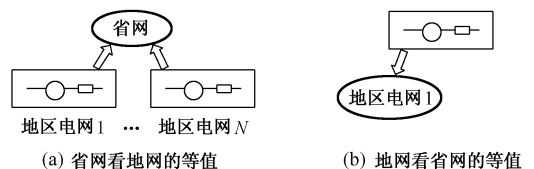


图3 分层分区的电网等值

Fig.3 Hierarchical and divided network equivalent

图3给出了省网和地区电网之间的分层分区等值。因此,可以在省级电网调度中心用软件自动计算每个地区电网的外网等值参数,通过计算机远程

通信系统自动下发到各个地区的电网调度中心,地区电网将这个外网等值贴到自己电网的边界处进行自己内部电网的安全分析计算。更高的目标是省网和地区电网互动,同时计算并交换计算中的中间数据,使全局电网的计算进行到底,这可以借助于计算机领域的网格(grid)计算来实现,其中电网分合的模式以及自动等值都是需要研究的问题。实际应用中,可以采用 CIM 模型来解决不同厂家 EMS 的数据接口问题。

2.3 由离线分析计算发展到实时在线计算

过去,许多为电网运行调度和控制服务的计算都是离线进行的,随着信息技术的发展,越来越多的计算可以在线进行。例如:过去最优潮流(OPF)大多用于离线计算,现在一些控制中心也可以在线计算最优潮流^[14],即使并不是直接利用计算结果下发控制命令,也可以作为调度人员调度决策的参考。动态安全分析的计算已经可以在线进行^[15],不但可对当前系统的安全水平做出评估,而且可以给出预防控制策略,辅助调度人员调整运行方式,提高电网的安全运行水平。同时,在线计算并随时更新厂站端的稳定控制决策表,也是动态安全分析可以完成的任务^[16]。为了加快在线计算的速度,研究采用平行计算技术提高动态仿真的计算速度^[17],或将大量的故障算例分配给多台计算机同时分别计算,可以加快事故筛选和故障排序的计算速度^[16]。

2.4 由开环控制发展到闭环控制

电力系统频率和联络线潮流控制在数年前就已经实现了在线闭环运行,大大减轻了调度员调频的工作量。将来的发展是,这些控制要和电力市场的实时交易综合起来考虑,在 AGC 之上多了一个附加控制环。

系统级的无功电压闭环控制在欧洲已经实施了多年^[18],在我国虽然已有不少地区采用了变电站级的就地无功电压控制,但到目前为止,在 EMS 状态估计计算基础上的无功电压闭环控制还处于开始阶段。当然,这与我国 EMS 应用软件的应用历史还不长、基础自动化条件不太好有关。近几年,这方面的工作已受到一些电网调度中心的重视,地区级无功电压闭环控制在一些电网已经得到应用^[19],省级电网的无功电压闭环控制的科研和开发工作也已经展开,估计很快就会取得实用的成果。

虽然,实现系统级的稳定控制还相当遥远,但实现在线动态安全分析,在系统级进行预防控制决策的分析和计算还是可能的。可以在稳态闭环控制中考虑动态安全约束,提高系统的动态安全裕度,使稳态闭环控制更合理,电力系统运行的抗扰性更强。

2.5 由在线稳态分析和控制发展到在线暂态分析和控制

基于 GPS 的广域相角测量装置(PMU)已经得到越来越广泛的应用。利用 PMU 可以不借助 EMS 实时状态估计就能实时监测到不同地方发电机的功角,为电网稳定性的安全监视提供了一个新手段。和电压幅值测量一样,PMU 测量的功角也可以作为稳态状态估计的测量量,以提高状态估计的量测冗余度;利用功角测量,可以实时监视和评估电网动态安全情况;在事故发生、发展期间,可以用 PMU 记录事故发展过程中的功角曲线,有利于事故后分析。应用 PMU 的扰动后记录,也可以进行发电机的参数辨识^[20],但将功角量测直接用于暂态稳定控制,一般比较困难,就目前的技术水平在短时间内很难达到。但是,信息技术的发展使得暂态稳定控制的应用水平已经有了很大的提高,暂态稳定控制已由过去的局部控制发展到区域稳定控制;作为区域稳定控制,其控制时使用的决策表,也由过去的离线计算发展到可以在线计算和更新^[16]。

作为 EMS 的在线分析,过去主要是稳态分析,今后的发展是可以进行在线动态安全分析^[15],而且引入了风险评估的概念,从确定型动态安全分析发展到考虑故障发生的概率(即基于风险)的在线动态安全评估^[21],这已经成为电力战略防御系统(SPID)的一个重要组成内容^[22]。因此,现代能量控制中心的作用还要进一步加强^[23]。

3 结语

信息技术正在以前所未有的速度发展,它为现代能量控制中心的发展提供了强有力的技术保障。技术发展了,功能扩展了,现代能量控制中心中许多传统的概念也应当扩展。我们应从信息的角度看问题,把对电力系统运行的控制、调度和管理都看成是一个信息运动的过程,要考虑信息之间的联系。现代能量控制中心的特点是高度信息化、智能化、集成化和自动化。其功能由安全功能发展为安全与经济的协调;由局部控制发展为全局分层控制;由离线分析发展为在线分析;由开环控制发展为闭环控制;由在线稳态分析发展为在线暂态分析。经过不断努力,人们向往的智能机器人调度自动化系统将会变成现实。

感谢孙宏斌、吴文传和清华大学调度自动化研究室的同志对本文的贡献。

参考文献

- 1 丁道齐(Ding Daoqi). 现代电网安全稳定运行的三大支柱(Tree Backbones of Modern Power System Stability). 南京:江苏科学

- 技术出版社(Nanjing:Jiangsu Press of Science and Technology), 1994
- 2 Dy-Liacco T E. Modern Control Centers and Computer Networking. IEEE Computer Applications in Power, 1994, 7(4): 17~22
 - 3 Shannon C E. A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technology, 1948, 27: 379~423, 623~656
 - 4 Verdu S. Fifty Years of Shannon Theory. IEEE Trans on Information Theory, 1998, 44(6): 2057~2078
 - 5 钟义信(Zhong Yixin). 信息科学原理(Principle of Information Science). 北京:北京邮电大学出版社(Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press), 1996
 - 6 汤磊(Tang Lei). 信息理论在电网调度决策中的应用:[博士学位论文](Application of Information Theory to Dispatch Decision Making, Doctoral Dissertation). 北京:清华大学(Beijing: Tsinghua University), 2003
 - 7 孙宏斌,张伯明(Sun Hongbin, Zhang Boming). 能量管理系统中的电力信息学(Electrical Informatics as Applied to Energy Management System). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(2): 1~4
 - 8 路广,张伯明,孙宏斌(Lu Guang, Zhang Boming, Sun Hongbin). 数据仓库和数据挖掘技术在电力系统中的应用(Application of Data Warehouse and Data Mining Techniques to Power Systems). 电网技术(Power System Technology), 2001, 25(8): 54~57
 - 9 Becker D, Falk H, Gillerman J, et al. Standards-based Approach Integrates Utility Applications. IEEE Computer Applications in Power, 2000, 13(4): 13~20
 - 10 Dy-Liacco T E. Enhancing Power System Security Control. IEEE Computer Applications in Power, 1997, 10(3): 38~41
 - 11 NERC. Available Transfer Capability Definitions and Determination. 1996
 - 12 孙宏斌,张伯明,郭庆来,等(Sun Hongbin, Zhang Boming, Guo Qinglai, et al). 基于软分区的全局电压优化控制系统设计(Design of Global Optimal Voltage Control System Based on Soft Division). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(8): 16~20
 - 13 张伯明,陈寿孙(Zhang Boming, Chen Shousun). 高等电力网络分析(Advanced Power System Network Analysis). 北京:清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 1996
 - 14 Momoh J A, Koessler R J, Bond M S, et al. Challenges to Optimal Power Flow. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(1): 444~455
 - 15 Ejebe G C, Jing C, Waight J G, et al. Online Dynamic Security Assessment in an EMS. IEEE Computer Applications in Power, 1998, 11(1): 43~47
 - 16 方勇杰,范文涛,陈永红,等(Fang Yongjie, Fan Wentao, Chen Yonghong, et al). 在线预决策的暂态稳定控制系统(An On-line Transient Stability Control System of Large Power Systems). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(1): 1~4
 - 17 Wu J Q, Bose A, Huang J A, et al. Parallel Implementation of Power System Transient Stability Analysis. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(3): 1226~1233
 - 18 Vu H, Pruvot P, Launay C, et al. An Improved Voltage Control on Large-scale Power Systems. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(3): 1295~1303
 - 19 郭庆来,吴越,张伯明,等(Guo Qinglai, Wu Yue, Zhang Boming, et al). 地区电网无功优化实时控制系统的研究与开发(Research and Development of Real-time Control System for Reactive Power Optimization). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(13): 66~69
 - 20 Burnett R O Jr, Butts M M, Sterlina P S. Power System Applications for Phasor Measurement Units. IEEE Computer Applications in Power, 1994, 7(1): 8~13
 - 21 Ni M, McCalley J D, Vittle V, et al. Online Risk-based Security Assessment. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(1): 258~265
 - 22 Liu C C, Jung J, Heydt G T, et al. The Strategic Power Infrastructure Defense (SPID) System: A Conceptual Design. IEEE Control System Magazine, 2000, 20(4): 40~52
 - 23 Dy-Liacco T E. Control Centers are Here to Stay. IEEE Computer Applications in Power, 2002, 15(4): 18~23

张伯明(1948—),男,教授,博士生导师,CSEE和IEEE高级会员,中国电机工程学会电力系统自动化专委会委员,主要从事电力系统分析和调度自动化的教学和科研工作。
E-mail: zhangbm@tsinghua.edu.cn

CONCEPT EXTENSION AND PROSPECTS FOR MODERN ENERGY CONTROL CENTERS

Zhang Boming

(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Interconnection of power network and restructuring in power industry are raising increasingly more new requirements on power system operation and dispatch. The energy management system (EMS) in a traditional dispatch center has been changed a lot in configuration and functions. To adapt the EMS to the change, a concept of modern energy control center is proposed in this paper, which features high-level information, intelligence, integration and automation. The functions of the EMS will be developed from security only to coordination of security with economy, from local control to global and hierarchical control, from mainly off-line analysis to on-line analysis, from open loop control to closed loop control, from on-line steady state analysis to on-line transient state analysis. This paper describes the function extension of the EMS in a modern energy control center and predicts its prospects for development.

Key words: dispatching automation of electric power systems; control center; information theory; energy management system (EMS); power system operation