

# 智能电网经济调度运行研究

王正风, 黄太贵

(安徽省电力公司 安徽电力调度通信中心, 合肥 230022)

**摘要:**智能电网利用电网实时动态监测系统的动态监测和高级计算功能,可进一步实现经济调度。利用 PMU 具备的动态测量电压、电流和相角的特点,可实现电量的测量;利用电网实时动态监测系统强大计算功能,采用灵敏度方法在线进行电网经济运行分析,可实现电网的经济调度;利用电网实时动态监测系统,可实现电网网损的在线计算分析和网损电量的统计,从而为电网运行管理人员提供电网经济运行的有益信息和指导;利用电网实时动态监测系统实现 AGC 和 AVC 的经济优化调控,以提高电网运行的经济性。

**关键词:**经济调度;动态监测;在线计算;网损;自动发电控制;自动电压控制

**作者简介:**王正风(1976-),男,博士,从事电力系统调度运行工作。

**中图分类号:** TM711 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-9529(2010)06-0804-04

## Study on Economical Dispatching and Operation of Smart Grid

WANG Zheng-feng, HUANG Tai-gui

(Anhui Electric Power Dispatching & Communication Center, Anhui Electric Power Company, Hefei 230022, China)

**Abstract:** Smart grid can make more economical dispatching by using the dynamic monitoring and advanced computing function of the grid real time dynamic monitoring system: the electricity quantity can be measured by taking advantage of the features of PMU dynamically measuring the voltage, electricity current and phase angle; economical dispatching can be realized by applying the sensitivity method to online analyzes the economical operation of the grid based on the powerful function of the grid real time dynamic monitoring system; the operation and management personnel can be supplied with useful information and guidances by using the real time dynamic monitoring system to perform the online computation analysis of the net loss and the statistics of the lost electricity quantity; the more economical dispatching of AGC and AVC can be realized by using the grid real time dynamic monitoring system, to improve the economical efficiency of the grid operation

**Key words:** economic dispatching; dynamic monitoring; online computation; grid loss; automatic generation control; automatic voltage control

目前,智能电网还没有一个明确的概念,世界各国以及相关知名的企业均依据自身的特点进行

运算需求打散分配到决策路径上面的多台服务器,转换成可解决的小规模计算问题,从而通过这种层次化的计算体系解决海量数据高速计算处理问题。

云计算平台的集成计算引擎将赋予支持系统强大的计算处理能力,特别是时间要求高、计算量大的应用,能给调度业务相关人员提供足够的时间来响应紧急问题并将数据转化成信息用于快速决策,从而更有效地确定现有的、正在发展的和潜在问题的解决方案,并提交给系统管理人员进行判断。

## 4 结语

综上所述,云计算相关技术的运用能够在解决支持系统核心基础平台的建设中遇到的海量数据存储和处理、系统统一调度和管理以及集成计算能力和协同工作机制等难点问题上发挥重要的和不可替代的作用,从而极大地提高未来支持系统的分布式数据处理能力、资源优化配置能力、科学决策管理能力和灵活高效调控能力。

收稿日期: 2010-04-09

本文编辑:邵振华

阐述。概括来说,智能电网就是利用新能源,并通过先进的控制技术提高电网运行的稳定性、经济性以及供电的可靠性<sup>[1,2]</sup>。电网运行的稳定性和供电的可靠性相对电网运行的经济性更受到电网调度运行管理人员的关注,其一,是因为电网调度运行管理者的最重要职责就是不能出现任何的电网安全事故;其二,是每年机组的发电计划都是在政府的监督和指导下,由发电企业和电力公司签订的,而电网调度部门只能在满足年度发电合同的范围内进行调度,因此,很难实现经济调度。但随着广域测量系统(Wide Area Measurement System,简称 WAMS)建成以及高级应用功能的开发<sup>[3]</sup>,已为电网经济运行和经济调度提供了基础。由于电网广域测量系统能每 20 ms 上传一次电网动态数据,因此又称为电网实时动态监测系统。实现电网的经济调度和经济运行不仅可以提高网省公司运行的经济性,而且是实现智能电网建设的重要内容。国家电网公司积极推动的特高压建设以及智能电网建设的目标之一也是提高电网运行的经济性。

## 1 电网实时动态监测系统

《电力系统安全稳定导则》规定电力系统  $n-1$  故障下的安全性是第一级安全稳定标准,必须遵循,为此调度运行部门每年编制《年度稳定运行规定》,包括正常方式和检修方式。检修方式下的  $n-1$  故障相当于系统全接线全保护方式下的  $n-2$  稳定计算分析,这也是离线稳定计算所能考虑的最多方式,为此,电网调度运行技术人员每年都花费大量的时间进行计算分析。在电网实际运行时,当电力系统元件检修或遇到相继故障时,很可能还要出现  $n-3, n-4, \dots, n-m$  等情况,这种情况下的计算工作量将达到了  $n(n-1)(n-2)\dots(n-m)$  次,计算量异常庞大,离线难以实现。

WAMS 系统采集的数据不仅包括了 EMS/SCADA 的静态数据,而且包括了 PMU 的动态数据以及故障保护系统的暂态数据。WAMS 系统实现了数据的实时获取,并在线进行  $n-1$  稳定计算,可以避免离线计算无法实现的多重相继故障带来的庞大计算工作量。WAMS 系统的主要功能有:电网实时动态监测、在线状态估计、在线低频振荡在线分析、在线静态安全分析、在线功角稳

定计算分析、在线热稳定计算分析、在线电压稳定计算分析以及与之相适应的预防控制辅助决策。WAMS 系统显著的特点是实现对电网的动态监测,并实现从离线分析计算向在线分析计算的重大飞跃,这是智能电网的重要内容之一。

WAMS 系统不仅将在电网安全稳定中发挥重要作用,还可以利用 WAMS 实现对电网的经济运行在线分析和调控,从而实现电网运行的经济调度,进一步发挥其在智能电网中的应用。

## 2 电网经济运行及经济调度

随着智能电网的建设以及电网公司自身运行的经济性,电网调度运行管理人员将密切关注电网运行经济性,可以利用 WAMS 系统对电网的经济运行在线分析和在线调控,实现电网运行的经济调度。

### 2.1 电量测量与分析

同步相量测量单元(Phasor Measurement Unit,简称 PMU)的出现解决了电网不能动态监测和存储动态数据的问题,各网省公司建设完成的 WAMS 系统还可利用 PMU 进行电量统计。PMU 能每 20 ms 的精确测量机组和线路的电压、电流以及相位,并且利用 GPS 给每个数据打上时标,因此利用 PMU 可以计算获得精确的有功功率和无功功率,再乘以相应时间间隔,即可以获得该时间间隔的发电机发电量和负荷的用电量,对电量进行累加,可实现对日、月和年发电机和负荷的电量;这样,可利用 PMU 测量获得的发电机发电量和负荷的用电量与电能量采集装置采集电量的校核,并将 PMU 作为电能量采集装置的后备,确保在电能量表出现不正常工作状态时,能向电网运行管理人员提供正确的发电机发电量和负荷的用电量。

### 2.2 网损在线计算分析及统计

目前电网调度部门的网损统计(包括 500 kV 和 220 kV 电网),都是采取上网关口电量减去下网关口电量获得的,因此,电能量采集的准确性对网损统计以及电量统计至关重要,若电能量表的电量采集在某时刻出现问题,电网运行和管理人员将得不到正确的电量数据,从而影响到电力公司运营的经济性。

此外,目前电网公司对网损的计算分析都是离线进行的,工程实际中进行离线网损计算时通

常采用以下两种计算方法进行年电能损耗量的计算<sup>[4]</sup>。

方法 1:

$$W_z = P_{\max} \times \text{年负荷损耗率} \times 8\ 760 \quad (1)$$

方法 2:

$$W_z = P_{\max} \times t_{\max} \quad (2)$$

式中  $P_{\max}$  ——最大高峰负荷时的网损;  
 $t_{\max}$  ——最大负荷损耗小时数。

上述两种方法都是经验计算,是依据网损统计分析后得出的一种经验计算方法,例如,  $t_{\max}$ 和年负荷损耗率都是统计结果,因此,不能进行精确的网损分析。

由于电网实际运行状态的经常变化,电气设备的检修、发电机组出力的变化、负荷的变化、电网的建设和电源的建设等电网运行方式的变化都会对网损造成影响,精确的网损计算分析不能采用上述的两种离线方法,此外,这两种离线统计方法也不能为电网调度运行管理人员提供非常有价值的网损信息和控制方法。

WAMS系统的高级计算功能为在线网损计算及网损电量统计提供了基础。由于 PMU 能实时传送数据,可以进行网损在线计算分析,这就可找出造成网损大的因素,寻找控制措施,提高电网运行经济性;另一方面,可以校核实际统计网损,提高网损管理的有效性。其实现方法也简单,仅需要在 WAMS系统对其潮流计算程序进行简单改造即可实现。步骤如下:

(1) 根据 SCADA/EMS和 PMU 上传的采集数据,进行电网潮流计算并统计每条 500 kV 线路和 500 kV 变压器的损耗,即可得出 500 kV 的网损;计算统计每条 220 kV 线路和 220 kV 变压器的损耗,即可得出 220 kV 的网损。这种在线计算获得的网损比离线计算网损具有更高的精度,能为电网运行人员和管理人员提高电网运行经济性提供有益的指导。

(2) 根据潮流计算获得的 500 kV 的网损和 220 kV 网损和潮流计算的周期(1 min 或更短周期),获得网损电量。

(3) 在 WAMS系统中自动实现每隔 1 min (或更短周期)一次的潮流计算,并将获得的网损电量进行累加,获得 1 d、1 个月乃至 1 a 的网损电量。

(4) 根据 WAMS系统计算统计获得的网损

电量作为实际电流量采集电量的后备,防止电流量采集表出误。当发现二者存在较大误差时,通过 WAMS系统向电网运行人员和管理人员报警,以便电网运行人员和管理人员及时处理电流量表可能存在的问题。

### 2.3 经济调度

经典的经济调度理论基础是最优潮流,尽管最优潮流在上个世纪 70 年代就趋于成熟,并且随着内点法等优化算法的出现,最优潮流的收敛性也取得了较大的进步,但最优潮流仍不能用于电力系统的经济调度和在线计算。这是因为:

(1) 随着现代大电网的发展以及互联,区域电网内的计算节点数已异常庞大,最优潮流不能保证大电网在线计算的实时收敛性,因此不能为调度运行人员提供指导。

(2) 目前基于最优潮流计算的数据基础——状态估计结果的正确性可靠性还无法满足实时控制的要求。采用 EMS/SCADA 进行状态估计的不足主要表现在 SCADA 数据的不同时性和错误、通道状态都给状态估计结果带来误差,在此基础上进行优化控制会给电网带来很大的安全风险;虽然可以利用 PMU 传输数据的同时性纠正 SCADA 数据传输的不精确性,同时利用 PMU 测量的相角实现与 SCADA 数据进行混合状态估计,从理论上提高状态估计的精度,但需要 PMU 的布点数达一定的规模。因此,经典的最优潮流很难运用于电网的经济调度。

(3) 由于发电机组的年度发电计划和月度发电计划通常都是由电力交易等部门根据发电合同安排,因此电网调度运行管理部门在实际电网运行方式安排时已经没有多大操作空间实现经济调度,也就是说即使最优潮流能够收敛,并且准确,但由于机组不能完全按照理论上的最优经济调控,因而,按照最优潮流的经济调度也不能实现。

在电网实际的调度运行中,当发电计划与实际负荷需求出现差别时,可采用经济调度,此时采用灵敏度方法是一种较实用的做法。通过在线计算电网的经济运行指标,如网损、购电费用对机组的灵敏度,按灵敏度大小对机组进行排序,然后在满足电网稳定运行的前提下(包括各种稳定运行限额),对灵敏度小的机组优先考虑满出力,实时实现电网的“次优”运行状态,以提高电网的安全经济运行水平。事实上,只要每隔 5 ~ 15 min 对

电网进行一次经济调度的灵敏度计算,根据灵敏度计算结果进行适当的调节,即可保证系统运行在“次优”运行状态。这样,不仅计算简单快速,而且易于调度运行人员实时控制。

#### 2.4 AGC的经济调控

为了达到电网实时有功功率的平衡,保证系统的安全稳定性,电网公司对并网运行的发电机组的AGC功能都提出应具体要求,并建立了严格的考核标准,这些考核指标包括AGC功能投运率、AGC指令平均响应速率和平均调节精度等。可以通过WAMS系统实现对机组AGC功能的经济调控。包括两个方面:

(1) 通过PMU能动态精确地采集发电机组的有功功率,并且能附上时标的功能,实现对发电机组AGC的精确考核,如AGC指令平均响应速率和平均调节精度。

(2) 根据发电机组的上网电价,建立以电网公司购电成本费用最小为目标函数的优化模型,采用在线灵敏度方法进行机组AGC的功能调控。即在AGC功能调控发电机组出力时,在满足系统调频需要的前提下,对上网价格低的发电机组赋予较大权重,对上网价格高的发电机组赋予较小权重,从而实现发电机组AGC的经济调控。

#### 2.5 AVC的经济调控

随着大机组、超高压电网的形成,电压不仅是电网电能质量的一项重要指标,而且是保证大电网安全稳定运行和经济运行的重要因素,为此,电压指标是网省公司对电网运行管理的重要指标之一。网省公司对上网的电厂按季下达母线电压曲线和发电功率因数调节范围。发电厂电压曲线和变电所的母线电压曲线全天按96个点进行考核,每天24h划分为高峰、腰荷、低谷3个时段。虽然经典的无功功率优化既能保证电压合格,又能降低网损,但电力系统的无功优化问题是一个多目标、多变量、多约束的混合非线性规划问题,其优化变量既有连续变量如节点电压,又有离散变量如变压器档位、无功补偿装置组数等,使整个优化过程十分复杂,特别是优化过程中离散变量的

处理更增加了优化问题的难度,因此,在线无功优化计算同前述的在线最优潮流一样,由于收敛性和操作性的问题,无法实用化。但无功优化又不同于前述的最优潮流,有其实用性的一面,因为无功优化仅牵涉到无功电源、无功补偿设备以及变压器等设备调节,不牵涉到具有计划性的有功功率调节,因此,不牵涉到发电厂与电网公司签订的发电合同。这样,可以利用AVC实现电压质量合格,并且可提高电网经济运行性能。

通过WAMS系统实现自动电压控制(AVC)控制,对发电机无功功率、并联补偿设备和变压器有载分接头的自动调节,以电网分层分区之间的无功流动最小为目标函数,以电网电压合格的约束条件,通过多智能体协调的计算方法实现AVC的在线调控<sup>[5]</sup>,可使电网到达运行在“次优”状态,以提高电网运行的经济性。

### 3 结语

随着智能电网的建设工作的推进,提高电网运行的经济性是电网公司运行管理人员着重研究的方向之一。利用WAMS系统的动态监测以及强大的计算功能,可以进一步推广至电网的经济运行在线分析计算及控制,提高电网运行的经济性,实现经济调度,包括电量统计分析、在线网损计算分析、经济调度、AGC和AVC的经济控制等,从而提高电网公司运行的经济性和运行效益。

#### 参考文献:

- [1] 陈树勇,宋书芳,李兰欣,等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术,2009,33(8):1-8.
- [2] 胡学浩. 智能电网——未来电网的发展态势[J]. 电网技术,2009,33(14):1-5.
- [3] 王正风,黄太贵,吴迪,等. 电网实时动态监测技术在电力系统中的应用[J]. 华东电力,2007,35(5):44-48.
- [4] 陈珩. 电力系统稳态分析[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [5] 吴迪,李端超,董瑞,等. 安徽电网自动电压控制系统的实施与效果[J]. 电力设备,2005,6(5):63-67.

收稿日期:2010-04-08

本文编辑:王志胜

## 建设坚强智能电网 实现资源优化配置