

# 智能电网调度一体化设计与研究

杜贵和, 王正风

(安徽省电力公司, 安徽 合肥 230022)

**摘要:** 在国家电网调度中心提出了智能电网调度技术支持系统框架的基础上, 提出如何在目前调度系统实现智能电网调度技术支持系统框架的功能目标。指出可改造 PMU 使其具有遥信和遥调功能, 具备与 SCADA 和故障录波系统的功能, 因此完全取代二者, 实现电网数据采集的统一; 指出以 PI 数据库+ Oracle 数据库作为调度统一数据平台的数据库, 以 PI 数据库存储电网动态数据, 以 Oracle 数据库存储电网模型和结构, 实现电网信息的有效处理。在分析了 EMS 系统、WAMS 系统、动态预警系统、发电计划安全校核系统、负荷预测系统的功能基础上, 指出可以将上述应用系统实现一体化, 在一体化系统中实现上述所有功能, 并指出为了实现智能电网应该新开发电网运行方式预安排、电网运行经济分析、在线断面极限功率计算、电网供电能力评估等应用功能。

**关键词:** 智能电网; 调度; 数据库; 平台; 一体化; 动态数据; 功能

## Design and research on power network dispatching integration of smart grid

DU Gui-he, WANG Zheng-feng

(Anhui Electrical Power Company, Hefei 230022, China)

**Abstract:** Based on the smart grid plan of dispatching technical support system which is put forward by State Grid Electrical Power Dispatching & Communication center, this paper proposes the functional objective about how to realize the smart grid dispatching technical support system plan in the present dispatching system. At first, this paper points out that the PMU can be rebuilt to make it have regulating and control function. So, the SCADA and fault recorder can be replaced by PMU completely to make the data acquisition integrated. Then, the Oracle database and PI database which can be used as uniform platform of dispatching department are indexed. The PI database can be employed for storing dynamic data. The Oracle database can be used for storing electrical power network model and structure. So, power network information can be effectively managed. Finally, based on the analysis of EMS system, WAMS system, dynamic preventive alarm and auxiliary decision system, generator plan security checkout system and power load forecast system, integrating these application system can come true. All function can be realized by the integration system. Also, the new functions such as predicted operation mode of power system, economical analysis of power system operation, on-line section margin power calculating, power supply ability evaluation, etc are indicated.

**Key words:** smart grid; dispatching; database; platform; integration; dynamic data; function

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)15-0127-05

## 0 引言

进入二十一世纪以来, 节约能源、降低损耗和低碳排放, 建立可持续发展的机制是当今世界各国发展面临的重要问题和关注的重要焦点。以可再生能源和绿色能源逐步替代化石能源和煤炭能源, 建造新的能源使用体系, 同时以信息技术彻底改造现有的能源利用体系, 采用先进的控制技术最大限度地开发电网体系的能源效率是智能电网理念产生的源泉<sup>[1-4]</sup>。目前国内外对智能电网还没有一个明确的

概念, 虽然世界各国以及相关国际知名的企业如 IBM、SIMES 和 GOOGLE 从各自的特点出发都分别对智能电网进行了定义, 但都存在着自身的“局限性”。概括起来, 智能电网可这样描述, 即以一个数字化信息网络系统将绿色能源和新能源开发、输送、存储、转换(发电)、输电、配电、供电、售电、服务以及蓄能与能源终端用户的各种电气设备和其它用能设施连接在一起, 通过智能化控制实现电网的安全稳定运行、提供高效优质清洁的电力供应<sup>[5]</sup>。

智能电网是电力工业的一场巨大变革, 将引起

电力工业在各个领域的革新。作为电网运行的直接生产单位——电力调度通信中心面临的变革最为紧迫。为此，国家电网电力调度通信中心构建了《智能电网调度技术支持系统建设框架》，指导各网省公司建设智能电网技术支持系统。本文根据国调中心《智能电网调度技术支持系统建设框架》的目标，结合目前电力调度生产基础上实现智能化，研究了如何在实现智能电网调度技术支持系统的实现问题。

## 1 电网调度功能

由于电能的特点决定了电能必须实时平衡，即发电和用电必须实时平衡，因此作为电网安全稳定的直接生产单位，各网省调必须实时获得电网的相关运行数据并进行合理的电网运行方式安排和事故处理以确保电网的安全稳定运行。

传统 SCADA/EMS 系统作为电力调度最核心的系统，实现对电力系统运行状况的监测和控制。SCADA 通过采集各发电厂（站）、变电站电气设备的电气量、开关量以及通过 AGC、AVC 等对电气设备进行控制和调节，实现“四遥”功能；故障录波系统和故障测距定位系统实现对电网事故数据的有效保存；电网安全校核系统和母线负荷预测系统实现对发电计划的有效安排；广域测量系统和电网动态预警系统实现对电网的动态监测和预警<sup>[6]</sup>；电能采集系统实现对电量采集；上述这些调度的主要系统共同保证着电网安全经济运行。

智能电网应在上述系统实现的基础上实现有效的资源整合和创新，实现国家电力调度通信中心提出的智能电网调度技术支持系统建设框架目标。

## 2 数据一体化

实时传送电网动态数据并进行及时有效的分析是智能电网的最基本要求。网省级调度部门作为电网运行的直接管理部门需要实时了解系统运行情况并针对电网出现的问题及时处理。而电网运行数据的快速获得是调度运行人员了解电网运行状况并进行有效处理的前提和基础。SCADA/EMS 系统是目前电力系统运行的支持系统，是调度运行人员获得电网运行数据的直接工具。但是由于 SCADA/EMS 系统主要采集电力系统稳态数据，不能采集动态数据，因此其不能满足智能电网的要求。而基于同步相量测量单元设备 PMU 的出现较好地解决了此问题。由于 PMU 能够采集模拟量和数字量，因此其具备了 SCADA 的数据采集功能，同时由于 PMU 在电网发生扰动时，自动保存每秒 9600 点或 10000

点的瞬时数据（非向量），因此具备了保护录波仪的功能，故 PMU 基本具备了 SCADA 和故障录波仪的功能。

但 PMU 完全取代 SCADA 和故障录波仪，目前还存在以下三个方面问题：

1) 由于 PMU 通常接入测量 CT（PMU 主要是为了保存电网低频振荡的数据），因此在电网发生大扰动时，由于电磁式测量 CT 存在磁饱和，其保存的电网暂态数据精度不高。但是随着数字化变电站和智能变电站的建设与推广，光电式 CT 将完全取代电磁式 CT，因此由于电磁式测量 CT 存在磁饱和问题造成的电网暂态数据精度不高的问题将不再出现<sup>[7]</sup>。

2) 对于目前 PMU 不具备的遥调和遥控功能，可对其进行改造，实现对遥调和遥控量的采集。

3) 数据传输。由于目前 PMU 上传 WAMS 主站的速度为 50 帧/s，因此当 PMU 完全取代 SCADA 系统时，海量动态数据的传输将会造成数据网的重载或阻塞，同时也会造成主站磁盘存储的浪费；此外，在电网稳态运行时，每个 PMU 子站这样大规模的传输海量数据也是没有必要的。因此在电网稳态时，可以适当降低 PMU 上传主站的动态数据。

综上，改造后的 PMU 完全具备了稳态数据、动态数据和暂态数据的采集与传输，完全可以取代 SCADA 和故障录波仪，大幅度降低设备的投资以及运行维护人员的工作量；此外，PMU 还具有能直接测量发电机功角和利用 GPS 给每个数据打上时标，获取同一时间断面上的数据等功能，因此其比 SCADA 和故障录波仪的数据更具有有效性。

## 3 数据平台一体化

根据国家电网公司的要求，智能电网的基础数据平台应能满足向各类应用提供数据支持和信息服务，主要功能包括数据库管理与访问、数据交换机制、人机环境和系统管理等基本功能。基础平台需要全面支撑电网实时监控、调度计划、安全校核和调度管理等四大类核心应用，支持构建分布式一体化的调度技术支撑体系。

### 3.1 数据库

目前在国内调度系统的 SCADA/EMS 系统中，通常采用 ORACLE 的关系数据库来存储电网模型及历史数据（SCADA 采集的数据量少）。但随着 PMU 代替 SCADA 以及其功能的进一步完善，采用 ORACLE 的关系数据库来存储电网海量动态数据已不能满足存储及实时读取要求。

PI 数据库<sup>[8]</sup>和 eDNA 数据库均是动态数据库比

较成熟的两种, 其最大优点是按照时间序列存储和压缩能力, 因此对于密集的海量的 PMU 动态历史数据而言具有可以长时间连续存储的能力, 这对于事故后分析具有非常重要的作用; 另一方面, 对于海量的历史数据的查询访问, 传统的关系型数据库难以满足查询速度和性能的要求, 而以时间序列为主要特征的 PI 数据库和 eDNA 数据库则能很好地满足需求; 最后也是最重要的, PI 数据库和 eDNA 数据库通过合理门槛值的设定, 其完全具备了在电网扰动情况下保存电网动态数据, 而在稳态时由于其有效的压缩, 大幅度降低了对存储空间的要求。

PI 数据库和 eDNA 数据库虽然提供了历史数据的高速缓冲区, 但本质上是一种纯文件系统的存储方式。ORACLE 商用数据库在存储、查询、分布式访问、管理上均好于纯文件系统。另一方面, PI 数据库和 eDNA 数据库主要是面向数据的, 点与点之间没有关系, 本身对电网模型和结构的描述的支持很弱, 而 ORACLE 数据库用于描述电网模型等方面的技术非常成熟。

因此可综合采用 ORACLE 数据库和动态数据库的优点, 根据电力调度已有系统的特点, 采取 ORACLE+PI 数据库或 ORACLE+eDNA 数据库的方案。

### 3.2 一体化平台方案

目前国内不少电力公司 EMS 系统、WAMS 系统、动态预警系统、负荷预测系统和发电计划安全校核等系统都是各自独立的系统, 这一方面是因为人们对新技术和新事物的认识和深入了解需要一个过程, 另一方面是因为 WAMS 系统和动态预警系统为新的系统, 可能存在着运行不稳定, 因此若将 WAMS 系统和动态预警系统与 EMS 系统同一平台运行, 可能会对 EMS 系统运行的可靠性造成影响。但随着国内 WAMS 系统和动态预警系统的成功运行, 这些新系统运行已具备了与 EMS 系统相近的运行可靠性, 为与 EMS 同一平台提供了基础; 此外, 同一平台不仅可以大幅度降低电网模型等相关的维护工作, 降低自动化相关人员的维护工作量, 而且可以方便调度员对电网的监测与有效控制。

可以在同一数据平台下, 实现上述系统的一体化平台方案。系统可以共用历史数据库存储电网模型、设备参数和各自的历史数据, 实时数据显示和历史数据保存采用统一的机制, 在同一幅厂站画面上显示 EMS、WAMS 和动态预警等系统的数据。统一的支撑平台有如下几个方面的优势:

1) 集成各种量测数据, 简化接口设计: 在一体化平台支撑下, 数据库管理系统统一存储和管理

PMU 采集的数据, 避免了各系统之间的大量数据交互。同时实现数据共享, 方便各种高级应用功能的顺利实施。

2) 实现一体化维护, 减轻维护工作量。随着电网建设的不断发展, 各系统电网模型维护, 包括电网的拓扑结构、设备参数和厂站接线图等, 给运行维护人员带来沉重的负担。在一体化平台支撑下, 可以统一建立、存储和管理电网模型和图形, 避免了各系统之间的模型和图形的交互。模型和图形的维护在统一平台上进行, 可以方便地实现对历史、实时和未来电网模型和图形支持, 以满足不同应用的需求。此外, 在一体化平台支撑下, 各系统具有统一的数据库维护界面、报警定义界面等, 极大地提高了维护的方便性。

3) 实现一体化监视与操作, 方便使用。在一体化平台支撑下, 具有相同风格的人机交互界面, 在同一台人机工作站上实现对各系统的监视和操作, 在同一幅画面上可以对电网的稳态、动态和暂态行为进行监视, 极大地提高了使用的方便性。

4) 共享硬件资源, 减少硬件投资。在一体化平台支撑下, 可以最大限度地实现硬件资源共享, 如历史数据库服务器、Web 服务器和人机工作站, 从而减少硬件投资。

## 4 功能一体化设想

### 4.1 基本功能的一体化

WAMS 系统与动态预警系统的高级应用功能诸如在线状态估计、在线静态安全分析、在线暂态功角计算分析(包括功角稳定、电压稳定和频率稳定)、在线动态稳定计算分析以及与之相适应的预防辅助控制策略等都可以在 EMS 系统上实现, 而区别仅在于在线稳定计算同传统的基于 EMS/SCADA 进行在线稳定计算的区别就是在于其状态估计精度的提高。但随着改进后的 PMU 代替 SCADA 和故障录波仪时, 将 EMS、故障录波系统、WAMS 和动态预警系统可以实现一体化。实现对电网的动态监测、在线低频振荡监测、在线稳定计算分析与预警, 而调度运行中的其它系统可以作为功能应用一体化系统的高级子应用功能, 并进一步推广应用新的高级应用功能。

### 4.2 新应用功能推广实现智能化

#### 4.2.1 电网运行方式的预安排

目前国内很多在建或已建成的电网动态监测预警与辅助决策系统最主要的功能是为调度运行人员提供电网实时动态监测信息、预想故障下的系统稳定性以及辅助决策。

为了实现智能电网的目的,可进一步利用电网动态预警系统与辅助决策系统的功能,将电网动态监测预警与辅助决策系统的功能推广应用至电网的运行方式安排上。在统一数据平台的基础上,根据当前系统的电网结构、负荷预测系统提供的明日96点负荷预测、发电机计划安排以及调度工作票系统提供的电网检修计划进行明日电网96点安全稳定计算以及发电计划校核,利用动态预警与辅助决策系统强大的计算功能及辅助决策信息实现对明日电网运行方式安排的有效安排和校核,实现国调中心提出的调度计划应用及安全校核功能。该功能将发电安全校核系统(负荷预测系统)的功能融入动态预警系统,实现发电安全校核系统同动态预警与辅助决策系统一体化。

#### 4.2.2 电网经济运行分析

电网调度运行部门目前最关注的是电网的安全性,这是因为发电计划通常不是由调度部门掌握的,因此很难实现经济调度。但随着智能电网的建设,电网的经济分析将是其必不可少的功能。

1) 进行电量统计分析:由于PMU能够动态测量数据,因此可以进行电量分析计算,实现对电量采集装置的校核。

2) 网损统计分析:离线的网损计算不能正确反映实际网损,这是因为电网运行的状态是经常变化的,表现在电气设备的检修、电网的建设和电源的建设等都会对网损造成影响。由于动态测量装置能实时地传送数据,因此可以进行实时网损在线计算分析,这样校核实际统计网损,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。

3) AGC的经济调控:目前AGC的调控是根据发电机的特性进行调控的,但随着智能电网的运行,AGC应该实现经济调控,在电网出现功率波动时,AGC优先调节上网电价低的有效机组。

4) 经济调度的使用。当发电计划与实际出现差别时,采用经济调度。虽然最优潮流在理论上是可行的,但在电网实际的调度生产运行中,其适用性不大。这是因为电网规模的扩大使最优潮流难以收敛。因此在电网实际的调度运行中,采用灵敏度方法是一种实用的方法,通过在线计算电网一些经济运行指标,如网损、购电费用对机组的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,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。

#### 4.2.3 提高断面极限功率

在电力系统调度部门,人们通常用断面极限功

率的概念来控制潮流,这种概念是建立在负荷变化的基础上,是为调度运行部门进行灵活调节发电机组的出力而建立的。断面极限功率的获得是假定发电机组功率一定(通常是满发)的情况下,通过调节负荷变化进行仿真计算获得的。这种结论较保守,该方法获得的极限功率较采用在负荷一定时,调节发电机组的出力所得的极限功率小,表1给出了某地区采用这两种调节方式获得的断面极限功率<sup>[9]</sup>。

表1 某地区断面极限功率

Tab.1 Section limit power of some district

检修方式	控制断面	极限功率	
		发电机组满发时调节负荷的功率/MW	典型高峰负荷时,调节发电机组的出力/MW
淮北二厂至高湖单线	(淮北电厂-焦楼、淮北电厂-	560	1 240
淮北电厂至涡阳线路	涡阳、杨柳-蒙城、南坪-蒙城	410	1 250
杨柳变至蒙城变单线	双线、淮北二电厂-高湖双线和	550	1 260
南坪变至蒙城变单线	500 kV 濉溪主变上送)	700	1 260

由表1可见,采用调节负荷获得的断面极限功率较采用调节发电机组的断面极限功率小,并且幅度较大。造成这种结果的缘由是调节发电机组的出力,减少了原动机的机械输入功率,也减少了发电机的初始功角,二者都是有利于加速面积的减小和减速面积的增加,因此在负荷一定的前提下仿真计算所得的断面极限功率较在机组出力一定的情况下仿真计算所得的断面极限功率大。对于电力系统调度运行部门来说,最主要关注的是电力系统的稳定性,因此通常采用机组出力一定的情况下获得的仿真结果。虽然该方法的结果比较保守,但这是离线稳定计算带来的必然结果。

随着智能电网的建设,由于其具备的实时数据的上传,可以对断面极限功率进行全新的释义——由于电网负荷实时大幅度的波动可能性很小(事实上,每个省网的负荷曲线变化在短时都是比较平稳的),因此我们可以利用实时获得电网的负荷水平,根据获得的实时负荷水平在线求出发电机的极限功率,通过表1及分析可见,在线计算可较大幅度地提高电网的输送能力。

#### 4.2.4 电网供电能力评估

目前各网省公司制定的年度稳定规定,主要针对的是电网的稳定问题,而电网公司的供电可靠性

问题都提及较少。随着电网公司承担社会责任的增大, 保障对社会和用户的供电可靠性已愈加重要。因此智能电网不仅需要保证电网的稳定运行, 还需要保障对社会和用户的供电。即电网在遭受扰动并采取措施后, 在保证电网安全稳定的前提下, 能否保证对社会和用户的持久供电至关重要(电网安全稳定标准的第一级安全稳定标准, 通常为 N-1 故障)。因此必须对社会和用户的供电能力进行评估, 为电网方式安排和电网规划提供参考依据。

## 5 结语

本文针对国家电力调度中心构建的智能电网调度技术支持系统建设框架目标, 结合了目前网省公司电力调度通信中心实际的生产运行系统, 将二者相结合, 提出了构建的智能电网调度支持系统建设的数据一体化、平台一体化和功能一体化的实现方法。智能电网的建设与应用还需要在运行实践中进一步探索, 同时智能电网也是随着新技术的开发与应用而逐步发展的。

## 参考文献

- [1] 谢开, 刘永奇, 朱治中, 等. 面向未来的智能电网[J]. 中国电力, 2008, 41 (6): 19-22.  
XIE Kai, LIU Yong-qi, ZHU Zhi-zhong, et al. The vision of future smart grid[J]. Electric Power, 2008, 41 (6): 19-22.
- [2] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25 (1): 7-11.  
YU Yi-xin, LUAN Wen-peng. Smart grid[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25 (1): 7-11.
- [3] 余贻鑫. 面向 21 世纪的智能配电网[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2 (6): 14-16.  
YU Yi-xin. Intelli-D-grid for the 21st century[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2 (6): 14-16.
- [4] 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.  
HU Xue-hao. Smart grid—a development trend of future power grid[J]. Power System Technology, 2009, 33 (14): 1-5.
- [5] 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.  
CHEN Shu-yong, SONG Shu-fang, LI Lan-xin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33 (8): 1-8.
- [6] 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.  
WANG Zheng-feng, HUANG Tai-gui, WU Di, et al. Application of wide-area measurement system to power systems[J]. East China Electric Power, 2007, 35 (5): 44-48.
- [7] 王正风, 胡晓飞, 黄太贵. 广域测量技术在电力系统应用中关键技术问题[J]. 东北电力技术, 2008, 28 (8): 1-3.  
WANG Zheng-feng, HU Xiao-fei, HUANG Tai-gui. Key technical matters existed in application of wide area measurement system to power system[J]. Northeast Electric Power Technology, 2008, 28 (8): 1-3.
- [8] 王正风, 黄太贵, 等. PI 数据库在广域测量系统中的应用[J]. 电气应用, 2008, 27 (5): 66-67.  
WANG Zheng-feng, HUANG Tai-gui, et al. Application of PI database in wide-area measure system[J]. Electrotechnical Application, 2008, 27 (5): 66-67.
- [9] 王正风, 葛斐, 戴长春. 安徽淮北电网稳定问题及对策研究[J]. 电气应用, 2009, 28 (16): 12-15.  
WANG Zheng-feng, GE Fei, DAI Chang-chun. Research on Huai-bei power system network stability and measurement of Anhui Province[J]. Electrotechnical Application, 2009, 28 (16): 12-15.

收稿日期: 2010-02-01; 修回日期: 2010-05-24

### 作者简介:

杜贵和 (1965-), 男, 总工程师, 高级工程师, 从事电力系统运行管理工作;

王正风 (1976-), 男, 高级工程师, 博士, 从事电力系统调度运行工作. E-mail: wzhengf@163.com

(上接第 99 页 continued from page 99)

- [7] DUAN Jian-dong, ZHANG Bao-hui, HA Heng-xu. A novel approach to faulted-phase selection using current traveling waves and wavelet analysis[C].//IEEE Power Conference. Kunming(China): 2002.
- [8] 许庆强, 索南加乐, 宋国兵, 等. 一种电流故障分量高压线路保护选相元件[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (7): 50-54.  
XU Qing-qiang, SUONAN Jia-le, SONG Guo-bing, et al. A fault phase selector for transmission line protective relaying using current fault components[J]. Automation

of Electric Power Systems, 2003, 27 (7): 50-54.

收稿日期: 2009-09-03; 修回日期: 2009-10-13

### 作者简介:

梁景芳 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: liangjif0503@mail.sdu.edu.cn

高厚磊 (1963-), 男, 通信作者, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统继电保护, 广域同步测量, 数字化变电站等; E-mail: houleig@sdu.edu.cn

苏文博 (1959-), 男, 教授, 高工, 主要研究方向为电力系统继电保护, 发电机并网技术等。