

基于各电网子公司职能的智能电网三层空间架构探讨

徐宏雷¹, 郑伟¹, 王维洲¹, 李学仕², 姚天亮³

(1. 甘肃电力科学研究院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州城市学院, 甘肃 兰州 730070;
3. 甘肃电力设计院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 提出了一种将智能电网分为三层空间架构的设想, 充分考虑了当前电网建设完成情况及各电网子公司职能分工。第一层为智能控制中心, 执行电网大区智能调度的职能; 第二层为智能输电网控制层, 执行智能输电职能; 第三层为智能配电网和智能控制终端。将各电网子公司按空间分层能够缩小不同子公司间智能电网建设中不同步带来的不利影响, 避免设备功能上的重复, 能够降低各电网子公司采用不同厂家设备带来的不便, 加快智能电网的建设进度, 使当前电网向智能电网发展的过程中避免浪费资源。

关键词: 智能电网; 空间架构; 运行职能; 控制策略

Study for three tiers space of smart grid based on function of grid subsidiary company

XU Hong-lei¹, ZHENG Wei¹, WANG Wei-zhou¹, LI Xue-shi², YAO Tian-liang³

(1. Gansu Electric Power Research Institute, Lanzhou 730050, China; 2. Lanzhou City University, Lanzhou 730070, China;
3. Gansu Electric Power Design Institute, Lanzhou 730050, China)

Abstract: This paper provides an assumption of three tiers space of smart grid. The assumption considers the situation of grid construction and functions of grid subsidiaries, and proposes that the smart grid should be divided into three tiers. The first tier should be intelligence control centre, executing the function of big grid district dispatch. The second should be intelligence transmission control tier, which executes function of intelligence transmission. The third should be intelligence distribution network and the terminal of intelligence control. This assumption of space tiers based on function of grid subsidiary can minimize the disadvantage of unsynchronization during smart grid construction, and avoid repetition of function of device. It can reduce disharmony between devices produced by various manufactories and accelerate smart grid construction. It also can avoid wasting resource during development from current grid to intelligence grid.

Key words: smart grid; construction of space; function of running; control strategy

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)21-0091-05

0 引言

随着我国经济的快速发展与科学技术的进步, 电力需求数量与电力需求质量越来越高。为了应对未来电力使用需求的挑战, 许多学者进行了一系列智能电网相关课题的研究^[1-9]。目前, 学者对智能电网的研究大多集中在对智能电网架构的定义和展望^[10-18], 从理想建设条件出发, 未考虑当前电网建设现状。从现有电网设备情况来看, 达到完全智能化的电网还需较长的一段时间^[19-21]。如何能够实现从目前运行电网到智能电网有计划、有步骤的平稳过渡, 并且在向智能电网过渡的过程中避免建设资源浪费, 需要从当前运行电网的情况及当前电网采

用的装置和设备出发, 有条理地逐步改造, 将当前电网逐渐智能化, 最终形成具有中国特色的智能电网。本文在当前电网建设情况的基础上, 结合电网安全稳定运行控制要求, 基于各电网子公司职能, 提出了一种智能电网三层空间架构设想。

1 智能电网控制三层空间架构

当前, 中国的电网正在向“一特四大”的目标逐步迈进。特高压骨干网架、大煤电、大水电、大核电、大可再生能源基地正在加紧施工建设。以特高压交直流系统互连为骨干网架的电能交换大通道正在我国逐渐形成。结合中国电网建设发展现状, 适用于未来智能电网的结构体系将是由智能输电

网、智能配电网、智能检测控制终端及智能控制中心四部分构成。最终的智能电网输电网结构体系是由特高压交直流主干网架为基础，各电网大区互联的主干网架构成。智能配电网将以各特高压输电网节点为中心，向四周呈发散状，构成一回或多回以链式或环式的结构，将电网中各节点联接起来。

本文提出一种基于各电网子公司职能的智能电网三层空间控制体系。该体系将根据智能电网中各子公司在电力生产过程中职能作用的不同，将智能电网控制分为三层。每一层都存在独立的智能服务器计算分析系统，这样就将需要由智能调度中心处理的海量信息进行分流，降低智能调度中心服务器信息处理量的同时也降低了传输信息所需的通道数量。同时也能够缩小不同子公司间在智能电网建设中不同步带来不利影响，加快智能电网建设。

由图1所示，第一层为智能电网智能控制中心，由各电网大区调度中心执行智能调度的职能。第二层为智能输电网，由各电网大区的超高压运行公司执行智能输电职能。第三层为智能配电网和智能控制终端，由各地市供电公司执行智能配电及智能售电职能。

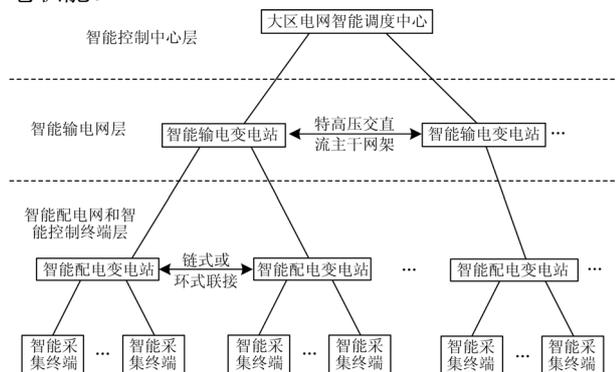


图1 智能电网三级空间结构图

Fig.1 The construction of smart grid with third class space

智能电网中上网发电机组出力调度可按照其装机容量不同和接入变电站电压等级的不同而将各发电机出力控制分别交由智能控制中心控制或由智能输电层及智能配电层中变电站自动控制。对于由变电站自动控制的发电机组，正常运行时发电机出力由变电站中服务器智能控制，由智能服务器中各种不同的控制策略来保证其上网发电的可靠性和经济性；当电网发生故障时，发电机控制交由智能调度中心控制，由调度中心调度员进行调度，保证电网的可靠运行。

2 智能电网各层职能分工

在智能电网中，为保证各部分功能能够协调、

稳定运行，必须明确智能电网中各部分的功能和控制策略。本文提出的智能电网三层控制体系，每层在智能电网中的职能侧重点皆有所区别，各层根据自身的职能起到相关的作用。

第一层为智能控制中心层。通过获取智能输电网实时运行信息，将采集到的数据送到高速计算机中，根据不同电网接线结构在相应的故障集中进行计算分析，得到各种故障条件下的电网动作预案，一旦电网发生故障，及时向调度员发出预警信息，并能够通过光纤网络向远方发出相应的稳控动作指令，实现电网稳定性在线分析，实时预警。

通过把采集到的电网运行信息分类存储，以一定时间段为界限进行经济性运行分析，并把运行分析得到最优潮流分布及控制策略提供给调度员，由调度运行人员决定经济运行控制方法，进行智能调度。

第二层为智能输电网控制层，其作用是起到能够将智能调度中心以及智能配电网和大型用电客户有效地连接起来，一方面保证电网的安全可靠运行，另一方面通过完善的电力市场交易制度保证电力交易的顺利进行和各种清洁能源充分上网。

智能输电网主要由交直流特高压、超高压输电线路、变电站、换流站等构成。智能变电站一方面将各自站点的运行情况信息送往智能调度中心，另一方面，将智能配电网和大型用电客户相连站点信息收集起来，由智能输电网中变电站一台或多台智能服务器及时将收集到的信息进行稳定性和经济性计算分析，将分析结果按重要等级分类，并给分析结论打上重要程度标识，将重要程度标识高的信息经数据优先级控制系统优先送往智能调度中心。这样就可以将智能调度中心所需处理的海量信息分流，在智能输电网中完成部分信息计算分析工作，将较为重要的电网运行信息优先送往调度中心进行处理，降低智能调度中心的信息处理量，提高智能调度中心的信息处理速度。

第三层为智能配电网层和智能控制终端层。该层直接与用电客户相联系，收集用电客户信息，保证用电客户的供电可靠性和较高的电能质量，是售电行为的主要执行部分。智能配电网由各地市供电公司配电变电站及各用电用户终端组成，在物理上表现为智能配电网层中变电站服务器和各用电用户计量终端及信息交换系统。

智能配电网层的主要职能表现为：将各智能控制终端的用电量及用电时段进行统计，按照不同用电时段计算出各用户应缴纳的用电费用，并将计算结果通过网络通知用户；智能配电网中变电站节点

的计算服务器每天对其下所带负荷按各不同时段进行统计,并与历史同期用电负荷进行对比,给出第二天负荷预测,并将预测结果送往智能输电网层;由智能配电网中计算服务器按照配电网网架结构,根据电网运行状态指标,进行给定故障集下的潮流计算和稳定计算,当配电网中发生故障时,服务器按照不同网架条件及不同故障情况下,自动发出开关动作指令或给配电网调度发出开关动作建议。

3 智能电网信息传输体系结构

当智能电网建设完成后,整个电网将形成一个规模庞大的信息传输系统。如果不按照一定原则和方法将采集到信息加以分级控制和信息整理,则整个电网采集到的海量信息将对电网中智能控制的服务器造成极大压力,使其必须在海量信息中将有用的信息和无用的区分开来,从而造成计算上的延时,无法在最短时间内对电网中存在问题做出判断。

目前电网采集到的信息主要来自于各变电站信息采集装置,由于变电站自动化系统在信息采集体系及信息传输体系一直没有明确、统一的标准及规范,不同厂家的自动化测控装置不但在硬件功能上有差异,软件上采用的数字算法、信息模型和通信协议也不尽相同^[18],导致不同变电站采集到的电网状态信息需要协议转换系统来实现不同采集装置得到信息的交互。这样,会造成电网调度中心无法在最短时间内根据电网变电站运行状态做出最快速的反应。

按照本文提出的方法,结合目前我国电网公司各子公司的职能,以各层电网的分工作用不同将智能电网分为三层。每层为一个信息处理的独立层,实际电力生产中同一地区变电站采用的设备厂家大体相同,采用的数字算法及通信协议也区别不大。各层变电站信息处理服务器将采集到的信息在本层就地计算分析处理,通过给计算结果打上重要程度标识,经数据优先级控制系统,将较为重要的信息上传至上一层,降低了调度中心的信息选取压力和计算压力,提高了重要电网运行状态信息的筛选速度,提升了信息处理效率,更可以使电网公司内各子公司执行不同职能来实现不同层的功能,职责分工明确,易于智能电网的建设和功能的实现。智能电网信息传输系统如图2所示。

当智能配电网处于稳态运行时,整个智能配电网层将采集到海量的电网运行信息,采集到信息里面多为电网稳态运行情况,不需要将采集的全部数据送到调度中心服务器进行计算,只需由智能配电网变电站系统进行数据存储和计算,将计算后的结果送往智能输电网层即可。

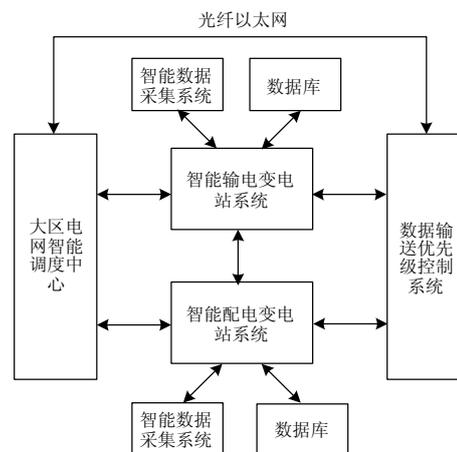


图2 智能电网信息传输系统结构图

Fig.2 The construction of information transmit system of smart grid

当智能输电网层处于稳态运行时,其采集到的数据一方面送往智能输电变电站系统进行数据存储和计算,另一方面经高速光纤以太网送往大区电网智能调度中心。智能输电变电站控制系统的数据计算主要侧重于其变电站内部电力设备运行的状态、变电站运行过程中产生的损耗、电能质量的监控等,大区电网智能调度中心的数据处理和计算主要侧重于整个电网的运行稳定性、故障条件下安稳装置的动作策略及网损计算等。数据优先级控制系统处于空闲状态,不参与稳态运行条件下的数据传输工作。

当智能配电网发生故障时,在变电站的保护装置动作的同时,数据优先级控制系统按照故障的类型及故障的严重程度不同,结合当前电网的运行状态,决定其动作信息是否需要送到智能输电网层进行数据处理。若故障为一般故障且继电保护装置正确动作后能够使其所带负载正常运行,则只需对故障进行记录,不需送往智能输电网层;若故障为严重故障,则其故障信息将被数据优先级控制系统允许并优先送往智能输电网,由智能输电网根据当前运行状态及网络拓扑结构,对由于智能配电网故障造成电网的扰动进行分析计算,决定是否改变智能配电网网络拓扑结构。

当智能输电网发生故障时,其保护装置的动作情况及故障波形数据均由数据优先级控制系统根据故障程度的不同给电网故障信息打上优先级标签后送往调度中心,调度中心根据优先程度的不同优先对严重故障进行计算分析,并根据数据库中已经计算好的不同故障情况下的控制策略,在最短的时间内向智能输电变电站发出动作指令。动作指令也将

通过数据优先级系统优先送往需要发生操作的变电站, 实现快速动作。

4 智能电网建设顺序

从目前已经建成的电网结构和基础来看, 多数变电站用以采集电网运行信息的设备大多为电磁结构的电力设备。由于电磁设备本身的特点, 其自身在运行的过程中存在一定的磁饱和效应, 不能够适应未来智能电网运行的需要, 若要在短时间内大批地淘汰电磁结构采集设备则会造成严重的投资浪费。因此, 在我国电网现有情况的基础上建设智能电网必需对一些不适用于未来智能电网的设备逐渐淘汰。在这个逐渐向智能电网转化的过程中, 需要结合不同地区电网的建成时间和建设规模等具体情况, 构建一套既适用于向智能电网转变过程、又能够适用于未来智能电网应用的智能控制系统。

智能电网中首先应该建设完成的是智能控制中心层和智能输电网控制层, 因为智能输电网的安全稳定运行是整个电网能否正常运转的关键, 其建设周期长, 投资大, 并且需要大量的运行经验来对系统中可能存在的问题不断修正。目前, 我国正在大力开展特高压交直流系统的建设, 在建设过程中, 应该注重智能化建设, 积极采用能够适应于未来智能电网的智能设备, 避免重复性投资, 并且应该为未来智能电网预留出充足的可以在功能上升级的空间和接口。

智能配电网建设可以与智能输电网建设同时进行或在智能输电网建成后进行。我国的配电网变电站数量多, 结构复杂, 在智能输电网变电站站址选定或变电站建成后, 以超高压变电站或特高压变电站为中心, 将配电网变电站接入。智能配电网应采用与智能输电网相同的通信协议与控制策略, 以实现智能配电网与智能输电网之间的通信流畅且装置动作时间短。

5 结语

智能电网是我国电网发展建设的必然选择, 是保证我国经济快速、持续发展的基本条件。智能电网建设过程中, 必然会出现一些挫折和失败。如何在我国电网现有的基础上又快又好地实现智能电网, 最大程度减少不必要的投资浪费是电力决策者们现阶段最需要考虑的主要问题。本文基于电网建设现状, 提出了基于各电网子公司职能的三层空间架构的设想, 按照我国目前电网各子公司职能分工的不同而分层, 各层间在信息传输协议、设备采用厂家等方面可以有所区别, 适应当前电网建设的实

际, 具有一定的现实参考意义。

参考文献

- [1] 董雪源, 王晓茹. intelligrid体系结构中流控传输协议[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(5): 61-64.
DONG Xue-yuan, WANG Xiao-ru. Study on SCTP recommended in the telligrid architecture[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(5): 61-64.
- [2] 林振智, 文福拴, 薛禹胜, 等. 基于多属性群决策特征根法的智能电网黑启动决策[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(5): 18-23.
LIN Zhen-zhi, WEN Fu-shuan, XUE Yu-sheng, et al. Black-start decision-making in smart grids using multi-attribute group eigenvalue method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(5): 18-23.
- [3] 倪敬敏, 何光宇, 沈沉, 等. 美国智能电网评估综述[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(8): 9-13.
NI Jing-min, HE Guang-yu, SHEN Chen, et al. A review of assessment of smart grid in America[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(8): 9-13.
- [4] 李斌, 薄志谦. 面向智能电网的保护控制系统[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(20): 7-11.
LI Bin, BO Zhi-qian. Investigation on protection and control of smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(20): 7-11.
- [5] 熊小伏, 陈星田, 夏莹, 等. 面向智能电网的继电保护系统重构[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 33-37.
XIONG Xiao-fu, CHEN Xing-tian, XIA Ying, et al. Study on reconstruction of relay protection system for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 33-37.
- [6] 梁旭明, 常乃超. 数字化智能换流站[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(24): 98-102.
LIANG Xu-ming, CHANG Nai-chao. Digital smart converter substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(24): 98-102.
- [7] 张钦, 王锡凡, 付敏, 等. 需求响应视角下的智能电网[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 49-54.
ZHANG Qin, WANG Xi-fan, FU Min, et al. Smart grid from the perspective of demand response[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 49-54.
- [8] 姚建国, 赖业宁. 智能电网的本质动因和技术需求[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(2): 1-4.
YAO Jian-guo, LAI Ye-ning. The essential cause and technical requirements of the smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(2): 1-4.

- [9] 蔡声霞, 王守相, 王成山, 等. 智能电网的经济学视角思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (20) : 13-16.
CAI Sheng-xia, WANG Shou-xiang, WANG Cheng-shan, et al. Considerations of smart grid in the perspective of economics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (20) : 13-16.
- [10] 罗毅, 王英英, 王安斯, 等. 智能电网的一种分层协同式“系统的系统”概念模型[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (17) : 6-9.
LUO Yi, WANG Ying-ying, WANG An-si, et al. A conceptual layered cooperative system of systems model for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (17) : 6-9.
- [11] 张粒子, 黄仁辉. 智能电网对电力市场发展模式的影响与展望[J]. 电力系统自动化, 2010, 34 (8) : 5-8.
ZHANG Li-zi, HUANG Ren-hui. Effects of smart grid on electricity market development and prospects[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34 (8) : 5-8.
- [12] 李威, 丁杰, 姚建国. 智能电网发展形态探讨[J]. 电力系统自动化, 2010, 34 (2) : 24-27.
LI Wei, DING Jie, YAO Jian-guo. Views on smart grid evolution[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34 (2) : 24-27.
- [13] 张伯明, 孙宏斌, 吴文传, 等. 智能电网控制中心技术的未来发展[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (17) : 21-28.
ZHANG Bo-ming, SUN Hong-bin, WU Wen-chuan, et al. Future development of control center technologies for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (17) : 21-28.
- [14] 王蓓蓓, 李扬, 高赐威. 智能电网框架下的需求侧管理展望与思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (20) : 17-22.
WANG Bei-bei, LI Yang, GAO Ci-wei. Demand side management outlook under smart grid infrastructure[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (20) : 17-22.
- [15] 傅书邈. 中国智能电网发展建议[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (20) : 23-26.
FU Shu-ti. Proposed development of smart grid in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (20) : 23-26.
- [16] 常康, 薛峰, 杨卫东. 中国智能电网基本特征及其技术进展评述[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (17) : 10-15.
CHANG Kang, XUE Feng, YANG Wei-dong. Review on the basic characteristics and its technical progress of smart grid in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (17) : 10-15.
- [17] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (9) : 1-4.
XIAO Shi-jie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (9) : 1-4.
- [18] 江道灼, 申屠刚, 李海翔, 等. 基础信息的标准化和规范化在智能电网建设中的作用与意义[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (20) : 1-6.
JIANG Dao-zhuo, SHEN Tu-gang, LI Hai-xiang, et al. Significance and roles of standardized basic information in developing smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (20) : 1-6.
- [19] 李兴源, 魏巍, 王渝红, 等. 坚强智能电网发展技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (17) : 1-7.
LI Xing-yuan, WEI Wei, WANG Yu-hong, et al. Study on the development and technology of strong smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (17) : 1-7.
- [20] 施婕, 艾芊. 智能电网实现的若干关键技术问题研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (19) : 1-4.
SHI Jie, AI Qian. Research on several key technical problems in realization of smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (19) : 1-4.
- [21] 张文亮, 汤广福, 查鲲鹏, 等. 先进电力电子技术在智能电网中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30 (4) : 1-7.
ZHANG Wen-liang, TANG Guang-fu, ZHA Kun-peng, et al. Application of advanced power electronics in smart grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30 (4) : 1-7.

收稿日期: 2010-04-10; 修回日期: 2010-08-26

作者简介:

徐宏雷 (1979-), 男, 硕士, 主要从事电力系统规划方面的研究; E-mail: angle_xhl@126.com

郑伟 (1973-), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统稳定计算, 电力系统继电保护方面的研究;

王维洲 (1967-) 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统分析与控制方面的研究。