

• 智能电网技术专栏 •

智能电网调度关键技术

严 胜, 姚建国, 杨志宏, 高宗和

(国网电力科学研究院, 南京市, 210003)

[摘 要] 智能调度是建设统一坚强智能电网的关键内容, 是智能输电网的神经中枢, 是维系电力生产过程的基础和保障电网运行发展的重要手段。在建设统一坚强智能电网的背景下, 分析了建设智能调度的意义、目的, 阐明了国内外研究现状, 描述了智能调度的内涵、特征、体系架构, 剖析了建设中国智能调度所需的关键技术, 分析了在建设智能电网调度方面已经具备的技术基础。

[关键词] 智能调度; 智能电网; 智能输电网

中图分类号: TM 76 文献标志码: A 文章编号: 1000-7229(2009)09-0001-04

0 引言

智能电网^[1]是国际电力工业的共同选择, 国内外都给予了极大的关注。国家电网公司提出了立足自主创新, 加快建设以特高压电网为骨干网架, 各级电网协调发展, 具有信息化、自动化、互动化特征的统一的坚强智能电网的发展目标。智能调度是建设统一坚强智能电网的关键内容, 是智能输电网的神经中枢, 是维系电力生产过程的基础, 是保障智能电网运行和发展的重要手段。电网的快速发展要求电网运行更加智能化, 传统的经验型的电网调度模式已经不能适应新的要求, 必须结合科技信息技术的进步, 打造电网调度的智能化^[2]。

智能电网调度(以下简称智能调度)服务于以特高压电网为骨干网架, 各级电网协调发展的坚强的输电网, 满足特大电网安全稳定运行的需要, 为大电网可靠运行提供技术支撑; 智能调度服务于智能的输电网, 它能够敏锐地对电网进行监控, 预先感知电网的状态, 达到风险最小化, 能够对电网控制实现实时自愈; 智能调度服务于灵活的能源接入, 实现电网经济运行, 支持电网灵活接入各种可再生能源^[3]与分布式能源, 促进节能减排, 服务和谐社会。

1 国内外研究进展

目前, 国外的智能调度尚未形成体系, 1997 年 Dylacoo 博士提出了面向调度值班的电网调度智能机器人^[4](Automatic Operator)的概念。2008 年 P.M

提出了理想调度(Perfect Dispatch)的概念, 主要侧重于有功调度, 进行各种时间维度计划的协调、实时计划与 AGC 的配合。P.M 认为广域测量技术是保证大电网安全的重要手段, 也是实现智能输电网的基础, 因此 P.M 目前主要从同步相量技术和先进控制中心(AG2)的研究建设着手开展智能调度的工作。

国内对智能调度进行了许多有益的研究和探索。狭义上的智能调度是指辅助调度员值班的调度辅助决策功能^[5], 目前已经成功应用于部分调度中心。广义上的智能调度涵盖了调度中心全专业的智能化, 通过智能化的手段服务于坚强的输电网。目前, 少数网省公司进行了有益的尝试^[6], 但已有成果无论从广度还是深度方面都与真正的智能调度存在较大差距。此外, 国家电网公司组织开展了广域全景分布式一体化调度技术支持系统研究、大电网安全关键技术研究、数字化电网和数字化变电站关键技术研究、特高压电网安全稳定运行关键技术研究等相关实践工作, 为建设中国特色的智能调度奠定了坚实的基础。

2 智能调度内涵与架构

智能调度面向输电网, 综合运用各种先进科技和智能化手段, 对输电网进行主动式^[7]、智能化的监视、分析、预警、辅助决策和自愈控制^[8]; 面向调度中心运行方式、继保、调度、计划、自动化等全业务专业, 提供智能化的业务支撑手段, 为坚强可靠、高

基金资助项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAA13B06)

收稿日期: 2009-06-09

作者简介: 严胜(1979-), 男, 硕士, 工程师, 从事智能电网及调度自动化技术研究工作。

效经济、清洁环保的智能输电网提供强有力的技术支撑。

从自动化技术支持实现的角度看,智能调度需要具备自主学习程度高、自动化程度高、感知能力强、告警与预警能力强、抗风险能力强、运行经济性好、精细化程度高、流程化程度高等特征。从电网的应用实现效果上说,智能调度监视电网是敏锐的、感知电网是前瞻的、控制电网是自愈的、调整电网是优质的、运行电网是经济的。

面向调度中心内部,智能调度通过智能化的手段为调度中心各专业提供精益化的服务,调度的各个环节都要智能化,包括量测处理、建模、分析、计算、计划、管理、决策、控制等各个环节。其中,面向各专业需求的若干智能化应用是智能调度建设的关键,可视化是智能调度人机展现的主要特征,智能电网调度技术支持系统^[9]是建设智能调度的关键和基础。

面向输电网,智能调度是智能输电网的大脑中枢。它能够增强输电网作为能源资源优化配置的载体能力,为“一特四大(特高压、大煤电、大水电、大核电、大可再生能源)”、陆上“风电三峡”绿色清洁能源的接入提高技术支撑;能够增强电网运行监控能力,信息自由交换和按需访问的能力,增强特大电网的驾驭能力;能够提高大电网测控和参数辨识能力,挖掘电网输电能力;能够前瞻性主动安全防御,多周期、多防线安全防御,进行超实时电网仿真分析,基于能量平衡的自适应系统解列保护;能够增强输电网在线可靠性、安全性和风险评估。

3 智能调度的关键技术

智能调度的建设体现了智能电网安全可靠、高效经济、清洁环保、友好开放等多方面特征,需要开展多方面的关键技术研究。

其中,一体化智能应用支撑关键技术包括一体化模型管理技术、海量信息处理技术、可视化展现技术、地理信息接入技术等。这些关键技术为调度智能化应用提供着模型、数据库、图形和数据等公共服务,是智能调度应用功能建设的基础。特大电网智能运行控制方面的关键技术包括稳态、动态、暂态预警,安全防御,自愈控制,功率和频率控制,无功和电压控制等。这些关键技术体现了智能电网坚强可靠的特征,为大电网的安全稳定运行提供技术保障。一体化调度计划运作平台和大型可再生及分布式能源接入控制技术体现了智能电网的经济性与灵活性,服务于资源的大规模优化配置,服务于国家节能

减排政策,为灵活的大规模可再生与分布式能源的接入提供技术支撑。一体化调度管理技术体现了智能化调度中心高效和规范运转。

3.1 一体化智能应用支撑方面

在智能调度建设过程中,需要研究一体化智能应用支撑方面的关键技术。

(1)研究一体化模型与数据管理技术,为智能调度提供完整、一致、准确、及时、可靠的一体化模型与数据基础,满足“横向集成、纵向贯通”和智能调度新型业务需要。

(2)研究海量信息存储管理与应用技术,解决特高压互联后,大电网在空间、时间域的海量信息处理、存储、读取速度问题,研究稳态、暂态、动态海量精确时标量测的存储、拟合读取与使用方法,为智能化应用提供更为精确有效的基础数据。

(3)研究智能可视化展示技术,它是智能化调度的主要人机展示方式,可视化的对象将不再局限于传统的电网运行信息,使用者不再局限于调度员,可视化是调度中心全专业的人机界面。

(4)研究地理信息接入技术,为提升智能电网的抗风险能力、研究外部灾害下调度防御、分布式能源的接入与展示提供基于地理信息图的展示方法。

3.2 特大电网智能运行控制方面

特大电网智能运行控制技术体现了智能电网坚强可靠的重要特征,目标是建成智能电网安全防御系统,将通过广域、迅捷、同步、精确的量测感知,自适应智能决策,基于决策指令和应对动态响应相协调的控制执行,形成具备自我感知、自我诊断、自我预防、自我愈合的大电网智能安全控制能力。

实现电网正常运行状态下的优化调度,经济运行,并通过提高输电容量,降低电网运行成本,实现电网运行、维护、建设的节能增效;实现电网警戒状态下对故障隐患及时发现、诊断和消除,避免事故发生,降低电网运行风险;实现电网故障状态下,通过及时告警、提供辅助决策方案,避免系统偶发故障扩大,减小事故影响和损失。进一步通过故障隔离、清除,实施优化控制,平息事故,避免大停电事故的发生。

3.3 一体化调度计划运作平台方面

一体化调度计划运作平台体现了智能电网的经济特征。一体化调度计划运作平台研究以节能减排为目标的安全经济一体化调度计划优化模型和算法;研究满足多时段能量计划与辅助服务计划一体化优化模型和算法;研究多层次安全核校模型和算法;研究先进实用的调度计划评估分析理论和技术;

研究日前、日内、实时多周期调度计划间的协调优化技术,以及与自动发电控制系统间的协调运作理论和技术;开发先进、实用、可扩展、易维护的调度计划应用平台。

通过一体化调度计划运作平台研究,实现智能电网和所有并网运行发电机组的安全、节能和经济运行,以信息化手段提高电力生产管理现代化水平,为特高压大电网安全稳定运行和实现资源优化配置提供坚强技术支撑。

3.4 大型可再生及分布式能源接入控制方面

研究大型可再生能源和分布式能源数据采集和监视相关技术,研究适应风电场等新能源特性的电网频率、联络线功率、电压无功的控制技术。

通过研究计及风电场等可再生能源的电力系统运行与控制的相关技术,在智能调度技术支持系统平台上实现计及大型可再生能源及分布式能源的电网调度控制,充分发挥可再生能源、分布式能源在电力系统安全、稳定、优质和经济运行中的作用。

3.5 一体化调度管理方面

一体化调度管理着重体现智能电网的高效,它涉及调度中心的规范化和专业化管理、精益化和指标化管理以及调度中心的纵向互联,是调度中心对外提供各类功能和数据服务的窗口。调度管理类功能包括调度门户功能、统计分析报表功能、专业管理功能、生产控制管理功能、业务流程处理功能、运行值班管理功能等。

4 智能调度已有技术实践和基础

智能调度的建设是在现有研究基础上的进一步提升。近年来,在新一代调度技术支持系统^[9]、调度 4 大应用平台、在线预警和安全协调防御技术、一体化模型管理技术智能可视化技术、极端外部灾害下的调度防御技术等方面开展了大量的研究和应用,为不断提升调度的智能化水平打下了基础。

4.1 新一代调度技术支持系统的开发

自 2008 年 2 月起,国家电网公司开展了广域全景分布式一体化电网调度技术支持系统建设框架的研究,该系统紧密结合大电网安全稳定运行、节能发电调度、调度管理和备用调度实际需求,将电网实时监视和控制、分析预警和辅助决策、节能安全经济协调优化的调度计划、不同时序和空间的信息集成等强大的智能化应用功能集成在一起,可以大大提高特大电网安全稳定控制水平和电网经济运行水平,提升电网管理和决策水平,为智能调度建设打下良好技术基础。

4.2 调度 4 大应用开发

为了更好地服务于电网的调度运行,国家电网公司开展了实时监控与预警、调度计划、安全校核、调度管理 4 大应用的开发工作,促进调度应用功能的智能化,实现驾驭大电网能力的显著增强,调度计划安全性和经济性的完美统一,电网管理和决策水平的大幅提升。

实时监控与预警应用的研究体现了智能电网的安全可靠性,能够实现对国家电网各级调度一体化的实时监控、动态监测、在线稳定分析、安全稳定预警、调度辅助决策、安全裕度评估等功能。

调度计划应用研究面向国家电网统一优化资源配置,进行发电调度计划、检修计划制定,满足统筹检修管理、优化资源配置的需要,并将调度计划由日前扩展到实时,进一步提高智能电网运行的经济性。

安全校核应用全面综合考虑电力系统的经济特性与电网安全,将调度计划与静态和动态安全校核有机结合,实现电网运行经济与安全性的协调统一,为保证智能电网的安全稳定和经济运行、实现资源优化配置提供可靠性保证。

调度管理应用的开发满足调度中心的规范化和专业化管理、精益化和指标化管理以及调度中心的纵向互联的需要,为调度中心对外提供各类功能和数据服务。

4.3 在线预警和安全防御

在线预警和安全防御体现了中国特色智能电网的坚强特征。

目前,基于一体化支撑平台的华东广域动态信息监测分析保护控制系统 WAMAP 和江苏电网安全稳定实时预警及协调防御系统 EACCS 已投入实际运行。实现了电网安全稳定领域的重大突破^[10-13],对特高压输电线路投运以及大区电网互联后的电网安全稳定运行,提高战时电网抗打击能力,进一步提升构建避免大面积停电的坚强防御体系具有重要作用。

该技术能够实现电网安全稳定实时预警,能够实现在线智能辅助决策及预防控制,能够实现协调控制与防御,能够处理输电网的多重故障及不同厂站同时故障、相继故障的电网紧急控制;在电网现有安全自动装置控制措施不足时,从全网角度实现电网安全稳定的追加控制,弥补区域和就地紧急控制措施的不足。

4.4 一体化模型管理技术

通过一体化模型管理技术的研究,为智能分析、决策应用提供一体化模型基础。解决因模型不完整而导致的稳态、动态、暂态分析预警结果不正确问题。

基于模型拼接技术,实现电网模、图、数在上下级调度间的“源端维护、全网共享”,实现调度中心基于全电网模型的分析、计算、预警和辅助决策。

此外,一体化模型管理还可以进一步扩充整合其他类型的模型,例如:计划模型、经济模型、安全约束模型等。一体化网络模型管理平台提供了数据交换服务,可以获取完整的电网图形数据和实时断面数据,为智能调度各类应用功能提供准确完整的信息来源。

4.5 智能可视化技术

智能可视化技术实现了可视化技术从电网运行信息展示层面向电网分析结果和电网辅助决策结果可视化层面的飞跃。

在传统的被动式 2D 图形监视模式中,越限和事故信息往往通过告警和事故画面等方式进行展现,调度员基于厂站图、地理接线图、图表、告警窗方式进行电网运行状态的监视。信息源零散、监视方式被动,无辅助决策,容易延误战机。

在智能可视化模式中,构建了智能可视化支撑平台,实现了智能可视化^[14]的监视、分析、预警、辅助决策;颠覆传统的监视模式,实现电网正常运行时的全方位可视化薄弱环节预警及预案;实现事故中的可视化故障定位,直观提醒事故的发生;实现事故后的可视化事故恢复方案;涵盖了调度员值班全过程的人机界面可视化。

4.6 极端外部灾害下的调度防御技术

研究了外部灾害信息的接入、建模、展现、分析、仿真、预警和协调防御方法。通过预测信息,可以提前感知外部灾害信息,针对有可能发生的电网故障提前作出预案,在灾害面前化被动为主动,可以大大增强智能电网的抗击外部灾害风险的能力。

在极端外部灾害情况下,通过全局优化整定的控制策略和分布式控制装置,实施有序的主动减载、切机、解列等手段,避免电网无序崩溃,保障重要负荷供电,减小停电范围,并为电网后续的恢复控制、黑启动

提供条件和执行策略。同时研究极端外部灾害下电网群发性相继故障风险预警与评估技术,电网安全预防控制和应急控制辅助决策技术等^[15-16]。

5 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
- [2] 姚建国,杨胜春,高宗和,等.电网调度自动化系统发展趋势展望[J].电力系统自动化,2007 31(13):7-11
- [3] 刘振亚.加快建设坚强国家电网促进中国能源可持续发展[J].电力建设,2006,27(10):1-3
- [4] 孙宏斌,谢开,蒋维勇,等.智能机器调度员的原理和原型系统[J].电力系统自动化,2007,31(16):1-6
- [5] 吴琼,刘文颖,杨以涵.智能型电网调度决策支持系统的开发与实现[J].电力系统自动化,2006 30(12):79-83
- [6] 华东电网有限公司启动高级调度中心项目建设[J].华东电力,2008(4).
- [7] 张伯明,孙宏斌,吴文传.3维协调的新一代电网能量管理系统[J].电力系统自动化,2007,31(13):1-6
- [8] 郭志忠.电网自愈控制方案[J].电力系统自动化,2005 29(10):85-91
- [9] 国家电力调度中心.智能电网调度技术支持系统建设框架[S].2008
- [10] 薛禹胜.时空协调的大停电防御框架:(一)从孤立防御到综合防御[J].电力系统自动化,2006,30(1):8-16
- [11] 薛禹胜.时空协调的大停电防御框架:(二)广域信息、在线量化分析和自适应优化控制[J].电力系统自动化,2006,30(2):1-10
- [12] 薛禹胜.时空协调的大停电防御框架:(三)各道防线内部的优化和不同防线之间的协调[J].电力系统自动化,2006,30(3):1-11
- [13] 江苏电网安全稳定实时预警及协调防御系统实时预警子系统通过出厂验收[J].电力系统自动化,2006 30(22):80
- [14] 陈佳,孙宏斌,汤磊,等.电力系统控制中心三维可视化技术及其实时应用[J].电力系统自动化,2008 32(6):20-24
- [15] 费圣英,薛禹胜,卜凡强.极端外部灾害中的停电防御系统构思(一)新的挑战与反思[J].电力系统自动化,2008,32(9):1-6
- [16] 薛禹胜,卜凡强,费圣英.极端外部灾害中的停电防御系统构思(二)任务与展望[J].电力系统自动化,2008 32(10):1-5

Study on Key Technologies in Smart Grid Dispatching

YAN Sheng YAO Jian-guo YANG Zhi-hong GAO Zong-he
(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

[Abstract] As the nerve central of smart grid, intelligent dispatching is the key component of strong and smart grid with Chinese characteristics. Under background of unified strong grid construction, the paper analyses the construction significance of intelligent dispatching, illustrates both domestic and overseas research progress, describes content features and architecture of intelligent dispatching, analyses key technologies and existing technical foundations for intelligent grid dispatching construction in China.

[Keywords] smart dispatching smart grid smart transmission grid

(责任编辑:魏希辉)