

源网荷储互动的主配一体调度控制系统研究

黄天意,李晨昕,刘玥伶,刘登伟,李健华,刘治凡,胡悦

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司,四川成都 610021)

摘要:在建立以新能源为主体的新型电力系统背景下,为适应新型电力系统的发展需求,文中提出一种主配一体调度控制系统建设方案。通过建立适应广域范围内分布式电源、可控负荷参与的调度控制系统架构,采用云端控制和本地控制相结合的方法,把主网和配电网监视和控制功能有机结合,有效提升了源网荷储间的协调能力和清洁能源的消纳水平。

关键词:源网荷储;主配一体;协同控制

中图分类号:TM 727 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2022)04-0007-04

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20220402

Research on Main Distribution Integrated Dispatching and Control System Based on Source-Grid-Load-Storage Interaction

HUANG Tianyi, LI Chenxin, LIU Yueling, LIU Dengwei, LI Jianhua, LIU Zhifan, HU Yue

(Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Chengdu 610021, Sichuan, China)

Abstract: Under the background of establishing a new power system with new energy as the main body, and in order to meet the development needs of new power system, a construction scheme of main distribution integrated dispatching and control system is proposed. By establishing a dispatching and control platform suitable for the participation of distributed generation and controllable load in a wide area, the method of combining cloud control and local control is adopted. The monitoring and control functions of the main power grid and distribution network are organically combined, which will effectively improve the coordination ability of source-grid-load-storage and the consumption level of clean energy.

Key words: source-grid-load-storage; main distribution integration; collaborative control

0 引言

由“源随荷动”的调度模式,向源网荷储协同控制模式转变,是构建新型电力系统的理论基础。随着高比例分布式电源、柔性负荷、储能系统的接入,传统无源配电网逐渐过渡到有源配电网,其功率优化特性发生了变化。主网的功率优化计算需要计及配电网的有功、无功功率支撑,配电网的功率优化也需要主网提供支持,因此传统的主配网相对独立的调度控制模式不再适用。为充分体现主配网的相互作用,亟需开展主配一体调度控制系统,支撑主配网广域范围内的源网荷储友好互动,从而实现新能源的大规模消纳,助力“双碳”目标的实现。

目前,国内外学者对主配一体调度控制系统的架构进行了大量的研究,文献[1]对传统地区调度控制系统的架构及功能进行分析。文献[2-4]对分布式电源接入的源网荷储优化控制方法及调度体系进行概述。文献[5]对集中式、分布式和离散式等不同的主配一体调控系统进行了介绍,并说明不同模式的优劣势。文献[6]研究了一种平台和模型统一的主配一体调控系统,其应用功能采用分布式和一体式结合的方式,但未对应用功能的适用场景进行分析。文献[7]研究了统一支撑平台的强耦合主配一体调度控制系统,对于功能在云端与就地部署的模式未进行详细分析。文献[8]提到了云端部署的主配协同调度控制系统,但缺乏对于源网荷储互动及场景的研究。

下面提出了考虑源网荷储友好互动的主配一体调度控制系统建设方案。首先,介绍了两种常见的主配一体调度控制系统建设模式,并说明其对源网荷储接入的适用性;在此基础上,提出一种云端与就地部署结合的主配一体调控系统技术架构,说明调度生产系统相关应用的部署形态(云端或就地);最后提出主配一体化系统的实施路径,分析主配一体系统在源网荷储应用场景下的技术支撑作用。

1 主配一体运行模式

1.1 松耦合模式

松耦合模式是主配一体系统最常见的运行模式,主网和配电网采用相互独立的两套调度控制系统,服务器、存储等资源独立配置,基于各自的支撑平台完成主网和配电网的运行监视和状态管控。配电网系统采用 CIM/E/CIM/G 数据格式向主网系统转发图模信息,再由主网系统实现主配一体的全网模型拼接。主网系统通过前置服务器采集主网变电站、发电厂的量测及状态信息,配电网中压侧馈线及站房数据由配电网系统转发,配电网低压侧配电变压器及点表数据由用电采集主站转发。主网系统向配电网系统转发主网的端口阻抗、潮流等计算结果,对配电网解合环计算等分析应用提供支撑。基于主网系统转发出口电压、用户负荷功率等数据,准确计算配电网开关站、环网柜母线节点电压以及配电分支线路电流、功率分布,从而实现主配一体调控。

这种模式下,主配网系统之间存在图模、遥信、遥测以及分析计算结果等大量数据的转发。在分布式电源、可调负荷、电动汽车等源网荷储资源大规模接入系统的情况下,基于主配网数据实现的分析校核类应用存在较大的延时,难以支撑运行监视和自动控制等实时性业务的需求。除此之外,系统间的模型维护工作较复杂,为调度运行人员的日常操作带来不便。

1.2 紧耦合模式

紧耦合模式下,主网和配电网应用功能建设在同一个主站系统,硬件资源统一部署,主网和配电网量测及状态数据均采用前置直采方式;主网与配电网的模型数据、运行数据、分析计算数据均可在本地数据库实现共享,调度运行人员基于同一个操作界面完成日常调度任务。

紧耦合模式有分离式和集中式两种部署形态。集中式主配网的实时监视、自动控制和

分析校核采用同一个全网模型,并作为同一个功能模块来实现,主配一体调度达到了高度统一,主网和配电网的业务完全融合。分离式模式下主配网实时监视、自动控制和

分析校核相对独立,主配网数据独立采集,一方面通过模型拼接技术完成电网全模型的监视;另一方面通过功能模块的分析计算数据交互,实现主配一体化调度。

集中式应用模式适用于规模较小、量测及运行数据较少、分析计算难度小的电力系统。在大规模的源网荷储资源纳入调控范围后,遥测、遥信呈现数量级的增长趋势,集中式模式调控系统的实时数据处理能力面临极大的挑战,分析计算工作大幅度增加。分离式应用模式很好地解决了集中式主配一体调度控制系统实时性能低、吞吐能力不足、可扩展性差的问题,对于分布式电源、可控负荷等源网荷储资源规模庞大、数据海量、自动化程度高的系统具有很好的适应性。因此,所提到的紧耦合模式均采用分离式应用部署的方式。

目前,主配一体均在地区范围内实现,同级调度之间的联系较薄弱,上下级调度机构也缺乏协同调度手段,不利于广域范围内源网荷储友好互动,难以实现全省范围内的新能源大规模消纳。

2 云端与就地结合的主配一体系统建设方案

下面提出云端与就地结合的主配一体系统建设方案,在地调采用紧耦合运行模式,就地部署实时监控、自动控制、网络分析等实时性要求高的主配一体化应用,省调云端部署检修计划、运行评估、调度管理等实时性要求较低的省地配一体化应用。

省调搭建电网全景模型,准确地计及省级电网和地级电网的源网荷储资源的相互影响,可有效提高分析决策的准确性,有利于在广域范围内实现源网荷储友好互动。

2.1 技术架构

云端与就地结合的主配一体化系统架构如图 1 所示。地调本地基于统一支撑平台,在确保主配电网模型、图形、数据一体化的基础上降低主配应用之间的耦合度,保证主配网整体模型完整、不重复、边界不泄露。结合云端功能建设,实现省、地、配电网之间的信息安全交互桥梁,实现信息融合与共享,解决主配网监控信息孤立、模型数据冗余、业务无法协同等问题。

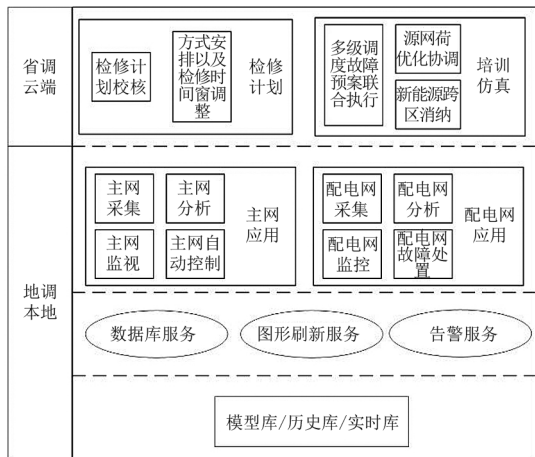


图 1 主配一体调控系统架构

本地的主网采集实现对主网范围内的稳态、动态、暂态数据以及非电量数据、保护数据和烟气、气象等数据的采集与处理。主网监控实现对主电网一、二次设备全面监视,融合各类分析计算结果,向全系统自动推送系统级故障告警及处置策略,协同全网多级调度联合开展故障处置。主网分析主要包括模型验证、状态估计、潮流计算、灵敏度分析、可用输电能力分析、安全约束调度、无功电压优化、静态安全分析、短路电流计算、短路比分析、负荷聚合及可调节能力评估等功能。主网自动控制通过全局优化分析结果闭环控制,实现对电网频率、电压和潮流的优化自动控制。

本地的配电网采集实现对配电网范围内的馈线

段、母线、断路器的一、二次设备等数据的采集与处理。配电网监控实现对配电网的状态监视、远方控制防误闭锁、拓扑着色、操作票等功能。配电网分析实现配电网状态估计、潮流计算、解合环分析、负荷转供分析、供电风险分析、网络重构及保供电分析。配电网故障处置实现馈线自动化、单相接地故障分析、配电网故障智能告警及配电网仿真测试。

在省调云端部署检修计划和培训仿真主配一体化应用功能,检修计划可实现主配一体的检修计划校核、方式安排以及检修时间窗调整等功能。培训仿真可实现多级电网调控运行人员开展电网协同监视、跨区故障协同处置、多级调度故障预案联合执行、源网荷优化协调、省地负荷协同控制、新能源跨区消纳等仿真模拟。

2.2 主配一体化系统的实施路径

在地调本地,主网应用和配电网应用基于同一的数据库和支撑平台进行快速和大量的主配网数据交互,并结合省调云端部署的检修计划数据,实现主配一体化监视、一体化分析以及一体化控制。

如图 2 所示,主网监视模块向配电网监视应用发送主网量测及事故信号,配电网监视依据主配一体的电网拓扑分析和主配一体方式计划运行数据,实现主配一体的供电范围、供电路径以及线路合环着色。配电网分析依据实时运行数据,进行主配一体转供路径分析,对存在负荷失电风险的母线及相关路线发出警告,同时提供一体化调控策略和分析

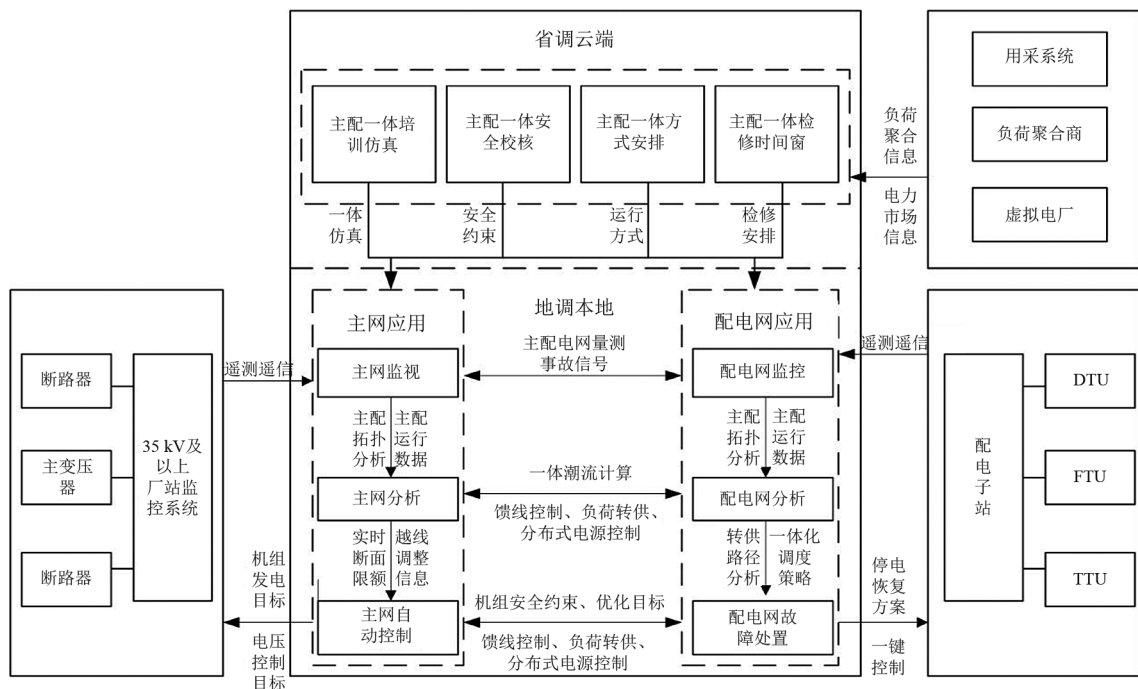


图 2 主配一体调控系统数据流

结果,并将命令传输至故障处置应用执行。配电网故障处置应用利用主配一体的潮流计算和负荷转供功能,自动分析设备故障后的故障诊断分析结果,并提供停电恢复方案,实现输配协同的故障预案在线编制、预演校核、事件匹配推送和断路器操作序列的一键控制。

主网分析依据配电网量测、转供策略、事故信息以及云端检修计划的相关数据,实现主配一体的潮流计算、灵敏度分析、可用输电能力分析、安全约束调度,为充分考虑配电网源网荷储对主网调度运行决策的影响。主网自动控制基于馈线控制、分布式电源控制等数据,并获取实时断面限额、灵敏度、优化信息和越线调整信息计算常规机组发电和电压控制目标,并优化新能源有功功率自动控制目标和网源荷储有功功率协同控目标。

省调云端部署的检修计划应用,通过主网检修数据以及自动发电控制系统(automatic generation control, AGC)控制目标等计算配电网设备停电及供电电源变化的分析校核结果,并依据配电网检修计划结果计算主网设备过载的分析校核结果。基于主配网一体化负荷转供,自动生成检修设备的转供方案,并考虑制定时间段的主配网多个检修计划的互斥、重复停电等影响,结合主配一体的网络分析,优化主配网检修时间安排。实现与调度管理、供电服务指挥等业务贯通,向营销等专业推送计划停电、运行风险和实时停电等信息。

省调云端部署的培训仿真应用基于主配一体的潮流计算、仿真过程控制和教案制作,实现主网设备故障情况下主配网告警信号、失电范围、负荷转移和配电网自动化的协同仿真,支撑主配人员的培训演练,实现省、地、配一体化的多级、多用户联合仿真,

满足多点、多场景联合仿真的需求。

3 源网荷储互动的应用场景研究

所提出的主配一体系统架构可基于省调云端部署的大数据和聚类分析等高级应用,全面感知分布式电源、储能、电动汽车等可调节负荷的时空特性、响应特性,对重要用户完整供电路径进行识别,分析各电压等级电源点冗余程度,评估供电可靠性及风险,从而构建源网荷储协同互动的支撑功能,其应用场景如图 3 所示。

利用省调云端部署的源网荷储有功协同控制应用,获取省调现货市场系统中电力市场、电网调峰、内部断面过载等控制需求,通过全网内风光水、储能和可调节负荷等新型调节资源的有功功率控制,实现电网频率和内部断面的安全稳定运行以及市场出清结果的顺利执行。再基于主配一体 AGC 控制目标和主配网检修数据计算源网荷储的调节策略和调节计划,并将这些优化控制目标下发至各个地调控系统。根据系统运行需求、电力市场交易品种及通信资源,制定不同时间尺度上的控制目标,可涵盖超短期(未来 5 min 至多个小时,5 min 颗粒度)、短期(未来 1~8 天,15 min 颗粒度)和中长期(未来 1 月至 1 年,1 h 颗粒度)。

地调主网应用根据云端数据进行负荷辅助决策分析并由负荷控制实现地方电厂、电源侧储能、工业大用户等可调容量调节策略的下发,与配电网应用模块交互可调资源控制策略等信息。结合配电网应用提供的源网荷储各类聚合资源,根据电网当前及未来运行状态,对电网运行方式进行优化,并将计算出来的策略下发给配电网应用,由配电网应用进行控制。

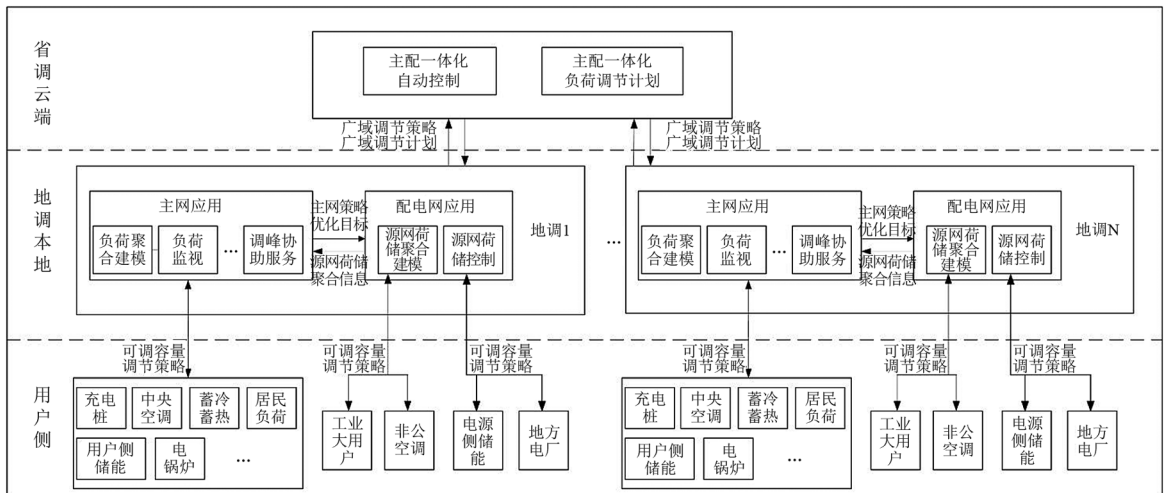


图 3 源网荷储互动应用场景

(下转第 50 页)

基础,应适当加大地脚螺栓孔径和出露长度,以便后期调节塔脚板高度,抵消偏移和不均匀沉降对铁塔的不利影响;

6)各腿基础不均匀沉降加大后可能首先导致腿部以上隔面斜材和螺栓失稳破坏,对可能出现不均匀沉降塔位的上述杆件和螺栓应进行适当加强处理;

7)施工期间应定期进行基础偏移、沉降观测,尤其是基坑回填前必须采集相关数据,一旦发现问题及时处理,消除隐患。

参考文献

- [1] 季善浩,李勃.煤矿采空区 220 kV 输电线路转角塔基础沉降及处理[J].山东电力技术,2011(2):30-33.
- [2] 毛吉贵.输电线路运行直线塔微倾治理技术探索与实践[J].水电能源科学,2010(11):140-142.
- [3] 熊卫红,刘先珊,李正良,等.500 kV 输电线路基础沉降铁塔的可靠度分析[J].电力建设,2015,36(2):41-47.
- [4] 李志宏,汪春风.750 kV 线路直线铁塔基础沉降安全评估[J].城市建设理论研究:电子版,2015,5(10):25-26.
- [5] 麻坚,袁建国,应健,等.山区输电线路转角塔压力型锚

索承台基础研究[J].浙江电力,2019,38(7):53-57.

- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑地基基础工程施工规范:GB 51004—2015[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [8] 陆国智,王彤,李从刚.大板式基础不均匀沉降原因分析及控制措施[J].吉林电力,2013,41(1):46-48.
- [9] 国家能源局.±800 kV 及以下直流架空输电线路工程施工及验收规程:DL/T 5232—2010[S].北京:中国电力出版社,2010.
- [10] 中国电力企业联合会.电力建设施工技术规范 第一部分:土建结构工程:DL 5190.1—2012[S].北京:中国电力出版社,2012.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑变形测量规范:JGJ 8—2016[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.

作者简介:

辜良雨(1979),男,高级工程师,主要研究方向为输电线路结构设计。(收稿日期:2021-11-12)

(上接第 10 页)

地调配电网应用,建设负荷侧资源聚合建模、监视、控制等功能,实现分布式电源、充电桩、可控负荷等设备的监视、分析和控制功能。配电网应用对不同区域、不同区域的可调节负荷资源进行汇集和优化控制,解决可调节负荷资源数量多、种类多、部分单体容量偏小的问题。最后,基于云端和本地的主配网一体优化控制目标和策略,完成源网荷储协同优化、柔性控制,从而实现了广域区域主配一体化控制。

4 结 论

前面立足于“双碳”战略和建设新型电力系统的背景,针对源网荷储协调优化问题,提出一种主配一体调度控制系统建设方案,以云端部署和本地部署相结合的形式,在广域范围内实现源网荷储协同优化互动,有效提升源网荷储间的协调能力和清洁能源的消纳水平。

参考文献

- [1] 彭自友,钟苏帆,潘大恩,等.地区智能电网调度控制系统研究[J].电气开关,2021,59(6):25-29.
- [2] 张振伟,赵晋泉,韩佳兵,等.考虑大量分布式电源接

入的主配网协同优化控制[J].电网与清洁能源,2017,33(7):110-115.

- [3] 罗金满,刘丽媛,刘飘,等.考虑源网荷储协调的主动配电网优化调度方法研究[J].电力系统保护与控制,2022,50(1):167-173.
- [4] 游大宁,刘航航,鲍冠南,等.源网荷储多元协同调度体系研究与实践[J].浙江电力,2021,40(12):20-26.
- [5] 嵇文路,徐春雷,余璟,等.调配一体化电网调度控制系统建设模式及方案研究[J].电力工程技术,2018,37(3):61-66.
- [6] 肖贤.电网调度控制系统主配网一体化建设模式研究[J].通信电源技术,2019,36(1):54-55.
- [7] 史清芳,唐卫华,刘胜利,等.强耦合主配一体化智能调度控制系统建设方案适应性分析[J].电工技术,2021(19):11-13.
- [8] 贾亚飞,刘海峰,杨立波,等.省地协同主配一体化调度技术支持系统的研究[J].河北电力技术,2021,40(3):67-71.

作者简介:

黄天意(1990),女,硕士,工程师,从事电力调度自动化系统设计工作;

李晨昕(1992),女,助理工程师,从事电力调度自动化系统设计工作;

刘玥伶(1992),女,硕士,助理工程师,从事电力调度自动化系统设计工作。(收稿日期:2022-03-10)