

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.009

# 多种能源联合运行控制系统的设计与应用

黄楚鸿<sup>1</sup>, 刘欣<sup>2</sup>

- (1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663;
2. 中国南方电网公司鼎信信息科技有限公司, 广州 510623)

**摘要:** [目的] 由于风电、光伏、小水电、煤层气发电等多种间歇性能源具备波动性、随机性等特点, 大规模接入电网后将给电网的安全稳定运行及控制带来很大的影响, 而传统的电网运行控制系统不能完全适应对大规模间歇性能源的运行控制, 因此需要开展含间歇性能源控制系统的研究, 以实现对间歇性能源的运行控制。[方法] 针对间歇性能源的特点, 设计了多种能源联合运行控制系统的系统架构、关键应用技术, 为间歇性能源的运行控制提供技术系统的支撑。[结果] 所设计的多种能源联合运行控制系统实现了间歇性能源参与电网的运行控制, 提高了系统应对间歇性能源波动的能力。[结论] 系统已在贵州电网获得落地应用, 验证了其对于间歇性能源运行控制的可行性。

**关键词:** 风光水气; 间歇性能源; 控制系统; 多种能源协调控制

中图分类号: TM7; TK89

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)03-0054-05

## Design and Application of Multi-energy Joint Operation Control System

HUANG Chuhong<sup>1</sup>, LIU Xin<sup>2</sup>

- (1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd, Guangzhou 510663, China;
2. Dingxin Information Technology Co., Ltd, Guangzhou 510623, China)

**Abstract:** [Introduction] Base on the wind power, photovoltaic, small hydropower, coal-bed methane power generation and other intermittent energy with volatility and randomness, large-scale intermittent energy will bring great influence on the power grid's safe and stable operation and control after connected to the power grid, and the traditional power grid operation control system can't completely adapt to the operation control for large-scale intermittent power. In order to realize the operation control of the intermittent energy, it is necessary to study the intermittent energy control system. [Method] In the paper, designed the system architecture, key application technology of multi-energy joint operation control system base on the characteristics of intermittent power, provided technology support for the control of the intermittent power. [Result] Multi-energy joint operation control system has realized the intermittent power to participate in power grid operation control, and improved the ability to deal with the intermittent power fluctuation. [Conclusion] The system has been applied in Guizhou power grid, and has been proved the feasibility of control of the intermittent power.

**Key words:** wind/photovoltaic/water/gas; intermittent energy; operation control system; multi-energy coordination control

随着风电、光伏、小水电、煤层气发电等间歇性能源不断接入电网, 间歇性能源在电网所占的比例也不断提高。由于间歇性能源具备不可控的特点, 其出力的随机性和波动性给电网的运行控制带来了严重的影响<sup>[1-3]</sup>, 对调度控制技术提出了更高

的要求。

传统的电网调度运行控制系统主要针对火电等可靠电源进行调度控制, 缺乏对大规模间歇性能源参与电网的优化协调控制<sup>[4-5]</sup>, 对于无法消纳的间歇性能源, 往往采取弃风弃电<sup>[6]</sup>的方式来保证电网的安全稳定运行, 由此造成了不同程度的能源浪费现象出现。因此需要在确保电网安全稳定运行的前提下, 采取适当的调度控制技术来实现间歇性能源的高效利用, 是亟需解决的问题。

收稿日期: 2018-11-06 修回日期: 2019-01-02

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目“规模化小水电群与风光气发电联合运行控制关键技术研究及示范”(2013BAA02B02)

本文提出了一种多种能源联合运行控制系统的设计思想, 采用间歇性能源功率预测<sup>[7]</sup>、发电计划编制及控制调节<sup>[8]</sup>等关键功能来实现风、光、水、气等多种间歇性能源参与电网的优化调度控制。

## 1 系统概述

多种能源联合运行控制系统的作用应体现在如下3个方面:

1) 在功率预测方面, 系统能够自动获取气象、设备运行状态等信息, 实现对间歇性能源的短期或超短期的功率预测。

2) 在发电计划编制方面, 在传统发电计划的基础上, 编制间歇性能源发电计划, 使间歇性能源参与电网的优化调度控制中。

3) 在控制调节方面, 对间歇性能源集中并网区域内的有功、无功进行快速协调控制, 实现间歇性能源的有效消纳与利用。

## 2 系统架构设计

### 2.1 系统总体架构

多种能源联合运行控制系统总体架构如图1所示, 系统采用省地站三级控制, 由省级主站系统、地级子站系统及厂站端构成, 实现省级电网、地区电网等多个层面上的能源互补优化运行, 提高风、光、水、气等多种间歇性能源的综合利用效率。

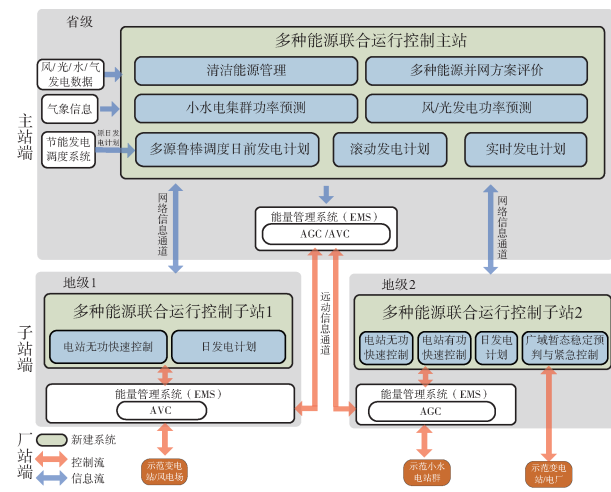


图1 系统总体架构

Fig. 1 Overall architecture of the system

#### 2.1.1 省级主站系统

在省级部署一套多种能源联合运行控制主站系统, 以实现多种能源参与调度计划的运行控制。其

具备清洁能源管理、小水电短期集群功率预测、风/光发电功率预测、多种能源并网方案评价、多源鲁棒调度日前计划、滚动发电计划、实时发电计划等功能模块。

#### 2.1.2 地级子站系统

在2个地级分别部署一套多种能源联合运行控制子站系统。其中, 地级子站1包含电站无功快速控制和日发电计划等功能模块, 在示范变电站/风电场实现无功的快速控制策略。地级子站2包含电站有功/无功快速控制、日发电计划及广域暂态稳定预判与紧急控制等功能模块, 在示范虚拟小水电群实现电站有功/无功的快速控制策略。

#### 2.1.3 厂站端

1) 在示范小水电站部署电站快速控制装置, 实现对小水电站的信息采集及有功、无功的快速控制。

2) 以某变电站为中心, 在示范区域实现多种能源接入系统的故障后暂态稳定在线预判与优化紧急控制策略的应用, 该系统作为现有电力系统第二道防线的后备, 与传统安全稳定控制系统有效配合, 确保多种能源接入系统的安全稳定运行。

### 2.2 系统数据流架构

多种能源联合运行控制系统数据流架构如图2所示, 对于省级调管的厂站数据流按照图中①→②→③→④→⑦的数据流向来实现对优化控制, 对于地级调管的厂站数据流按照图中①→②→③→④→⑤→⑥→⑦的数据流向来实现对多种能源的协调控制。具体描述如下:

1) 传统的节能发电调度系统将不含间歇性能源的日发电计划发送给多种能源联合运行控制主站系统发电计划模块; 多种能源联合运行控制主站系统的功率预测模块将间歇性能源的短期及超短期功率预测结果发送给多种能源联合运行控制主站系统发电计划模块。

2) 基于①获取的数据, 多种能源联合运行控制主站系统发电计划模块负责完成日前、滚动及实时等计划优化编制, 实现了“日—日内滚动—实时”发电计划的时序递进协调, 以确保含间歇性能源的调度计划制定的流畅性与连续性, 提高电网调度的安全裕度。

3) 为了保证远动控制通道的唯一性, 通过已有的远动通道来实现站端侧的控制。

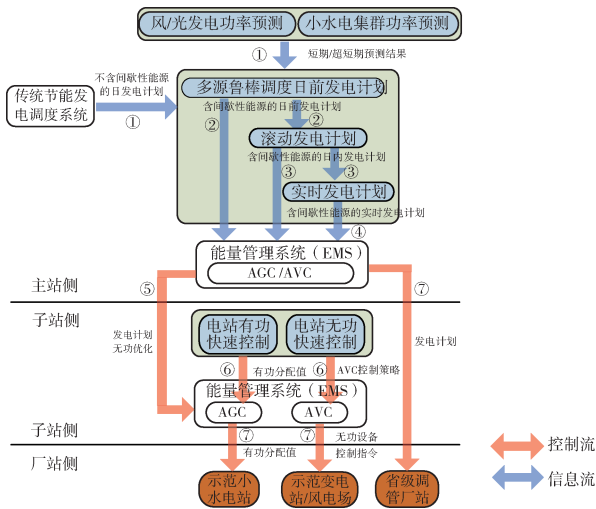


图2 系统数据流架构

Fig. 2 Architecture of the data flow

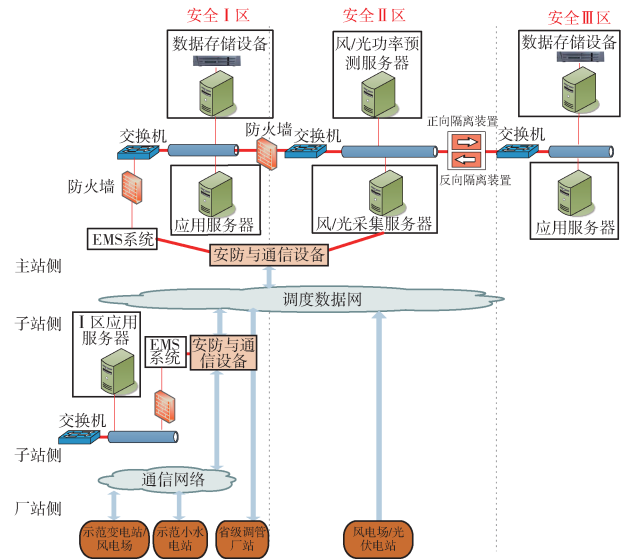


图3 系统硬件架构

Fig. 3 Hardware architecture of the system

(1)对于省级调管的厂站，多种能源联合运行控制主站系统通过省级EMS系统将优化的发电计划下发至厂站，实现省级厂站的控制。

(2)对于地级调管的厂站，省级EMS系统将优化的发电计划及无功优化需求发送至地级EMS系统，地级多种能源联合运行控制子站系统的电站有功/无功快速控制模块根据优化的发电计划及无功优化需求，计算出示范小水电站的有功分配值及示范变电站/风电场的AVC控制策略，并最终通过地级EMS系统将相关控制指令下发至厂站端，实现对地级厂站的控制。

### 2.3 系统硬件架构

多种能源联合运行控制系统硬件架构如图3所示。多种能源联合运行控制系统划分为安全I区、安全II区和安全III区，安全I区和安全III区之间通过防火墙进行逻辑隔离，II区和III区之间通过物理隔离装置进行安全防护。

1)省级主站主要配置用于部署计划编制模块(安全I区)、功率预测模块(安全II区)、清洁能源管理模块(安全III区)等应用服务器及交换机、防火墙、磁盘阵列等相关设备；

2)地级子站主要配置用于部署计划编制模块(安全I区)、电站有功/无功快速控制模块等应用服务器及相关设备；

3)厂站端在示范小水电站部署电站快速控制终端。

### 2.4 系统信息集成与交互

多种能源联合运行控制系统主站系统信息集成交互如图4所示，主站系统通过统一的数据交换平台实现信息的集成与交互。数据交换平台存储各个功能模块之间需要交互的数据及与外部系统交互的数据，实现不同功能模块及不同业务系统的信息集成及数据共享。与外部系统的数据交互主要包括气象信息、风/光/水/气发电数据、节能发电调度系统发电计划及EMS系统数据等。

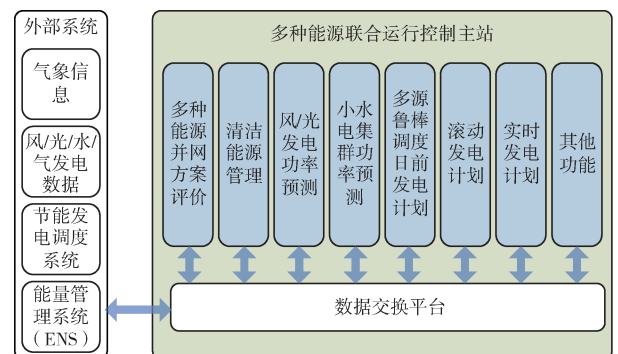


图4 系统信息集成与交互

Fig. 4 Information integration and interaction of the system

由于多种能源联合运行控制子站系统与外部接口相对较少，不建设统一的数据交换平台，横向系统之间通过防火墙的逻辑隔离后进行数据交互。

省级主站和地级子站之间通过已有的调度数据网和安全防护设备进行数据交互。地级子站与厂站

端之间, 对于具备 2M 专线的厂站, 通过 2M 专线进行数据交互; 对于不具备电网通信资源的厂站, 通过运营商无线通信方式进行数据交互, 无线通信需要在子站侧部署安全接入区, 保证无线接入的安全防护。

### 3 系统关键技术

#### 3.1 清洁能源管理

清洁能源管理核心实现风、光、水、气发电数据的采集和管理, 为系统提供基础数据支撑, 特别为小水电短期集群功率预测模块、多种能源并网方案评价模块提供其所需要的数据。针对间歇性能源点多面广、分散调度的特点, 清洁能源管理采用分层分级的管理模式, 并采用高并发访问技术来解决用户群大、管理关系复杂、并发访问突出等问题。

#### 3.2 功率预测

功率预测包括小水电短期集群功率预测和风电功率预测。

##### 3.2.1 小水电集群功率预测

小水电集群功率预测模块实现对小水电群的短期功率预测。小水电短期集群功率预测模块根据历史小水电站的出力数据、气象信息, 给出各小水电群出力预测曲线, 从而为含间歇性能源的发电计划编制提供所需要的小水电群预测值。

##### 3.2.2 风/光功率预测

风/光功率预测模块实现对风电场/光伏电站的短期、超短期功率预测。风/光功率预测模块根据风电场功率预测子系统、光伏电站功率预测子系统上送的测风塔/气象站等相关数据, 给出风电场/光伏电站的短期、超短期功率预测曲线, 从而为含间歇性能源的提供所需要的风电场/光伏电站预测结果。

#### 3.3 发电计划

发电计划编制模块实现含间歇性能源的“日—日内滚动—实时”的发电计划编制, 为多能源发电互补特性的电网提供优化调度策略, 以最大限度的消纳间歇性能源。日前发电计划模块以小水电短期集群功率预测模块和风电功率预测模块的短期功率预测结果、传统节能发电调度系统的日发电计划为基础, 编制出日前发电计划; 日内滚动发电计划模块以小水电站及风/光的超短期功率预测结果为基础, 编制出滚动发电计划; 实时发电计划模

块以实时运行数据为基础, 编制出实时发电计划。

#### 3.4 电站快速控制

电站快速控制模块包括电站有功快速控制、电站无功快速控制。

##### 3.4.1 电站有功快速控制

电站有功快速控制模块实现对小水电群的有功调节量的优化分配。电站有功快速控制采用虚拟小水电群的控制模式, 将多个小水电站等效为一个虚拟机组, 通过给小水电群下发有功分配值来实现小水电的集群控制, 使小水电群作为整体参与系统的 AGC 调节, 以减少间歇性电源引起系统的短时间尺度的有功功率波动。

##### 3.4.2 电站无功快速控制

电站无功快速控制模块对间歇性能源集中并网区域提供无功协调控制策略。电站无功快速控制以小水电群、光伏、煤层气等分布式能源集中并网变电站及风电场升压变配置无功补偿装置为辅, 将多能源集中接入区域以站点的形式参与 AVC 三级电压控制, 平抑因间歇性电源并网引起的电网无功电压波动, 提高区域整体无功电压调控能力。

#### 3.5 广域暂态稳定预判与紧急控制

广域暂态稳定预判与紧急控制作为现有电力系统第二道防线的后备, 与传统安全稳定控制系统有效配合, 确保多种能源接入系统的安全稳定运行。广域暂态稳定预判与紧急控制根据电网扰动后各个站点采集的数据, 在线预判示范站点组成的区域电网暂态稳定情况, 在预判发生暂态失稳的情况下, 根据区域电网的实时运行方式采取优化控制措施, 计算出最优控制策略, 并把切机或切线命令下发给各示范站点的子站终端, 从而实现各示范电站的切机或切线控制, 以保证电网的安全稳定。

#### 3.6 多种能源并网方案评价

多种能源并网方案评价模块核心实现现有电网架构的评价、新能源接入电网前的评价。多种能源并网方案评价模块在元件发电、可靠性模型和负荷模型的基础上, 通过考虑风险的风电多点并网的综合评价指标体系, 为电网规划方案的整体评价以及多方案进行优选。

多种能源并网方案评价模块采用内嵌 BPA 的构架, 通过快速可靠性和风险评价的方法来解决南方电网大电网联合计算带来的计算效率问题, 实现考虑电网运行的风电并网规划。



### 3.7 示范应用

系统已在贵州电网投入运行,投运以来的实际运行结果表明,系统支持现有小水电群及风电场的联合优化调度,提高了系统应对间歇性电源波动的能力,实现了间歇性电源的消纳。

系统已接入1 226座径流式小水电站及10座风电场,实现了以各县为集群的全省径流式小水电日前功率预测及风电场短期、超短期功率预测。

在六盘水地区选定5个小水电站作为电站有功快速调节的示范应用,现场试验表明小水电群能准确响应AGC调节指令,及时合理地将需要调整的有功功率分配到5个小水电站执行,具备了参与区域电网AGC远程、协调、闭环控制的能力。

在毕节地区选定220 kV赫章变、110 kV可乐变及大韭菜坪风电场作为电站无功快速调节的示范应用,系统投运后赫章变220 kV侧母线电压合格率得到显著提高,改善了间歇性电源集中接入区域的电压质量。

广域暂态稳定预判与紧急控制在选定示范区域中,由1个控制主站,5个执行子站,4个信息采集站构成。经现场调试和故障录波回放测试,系统可准确预判电网暂态失稳情况,达到预期效果。

## 4 应用效果

本系统投入运行以来,运行状态良好,并取得了良好的应用效果,如下:

1)风/光功率预测系统的实施使得中调能够准确预测风电场/光伏电站的发电能力,从而制定更加合理的调度计划,改变了过去依赖站端预测上报且预测精度较低、及时率不高的局面。小水电集群功率预测使省级和地县能够准确预测各地区小水电群的发电能力,从而制定更加合理的调度计划,改变了径流式小水电只能看作负荷,完全不可见的情况。

2)电站快速控制合理地将需要调整的有功功率分配到示范小水电群执行,具备了参与区域电网AGC远程、协调、闭环控制的能力。

3)将多种间歇性电源接入局部电网,整体以站点的形式参与省、地、站AVC三级电压控制,实现局部电网无功电压的快速控制,显著改善了多种间歇性电源集中接入区域的电压质量。

4)小水电群及风电场等间歇能源与传统电源的联合优化调度,提高了系统应对间歇性电源波动的

能力,实现了间歇性电源的消纳。

## 5 结论

本文设计了含间歇性电源的多种能源联合运行控制系统,其具备清洁能源管理、间歇性电源功率预测、含间歇性电源的发电计划编制及电站快速控制等功能。所设计的系统具有以下几个方面的意义:

1)实现省地两级电网在多个层面上能源互补的经济优化运行,提高了间歇性电源的综合利用效率。

2)通过优化调度来消纳间歇性电源,降低间歇性电源波动对电网的影响,改善区域电网的电能质量,显著提高电网运行的稳定性。

3)提高电网接纳间歇性电源的能力,减少弃风弃电等能源的浪费。

4)为大规模间歇性电源参与电网的运行控制提供技术系统的支撑。

### 参考文献:

- [1] 张丽英,叶廷路,辛耀中,等.大规模风电接入电网的相关问题及措施[J].中国电机工程学报,2010,30(25):1-9.
- [2] 袁小明.大规模风电并网问题基本框架[J].电力科学与技术学报,2012,27(1):16-18.
- [3] 赵争鸣,雷一,贺凡波,等.大容量并网光伏电站技术综述[J].电力系统自动化,2011,35(12):101-107.
- [4] 罗剑波,陈永华,刘强.大规模间歇性新能源并网控制技术综述[J].电力系统保护与控制,2014,42(22):140-146.
- [5] 刘吉臻,王海东,李明扬.含风电的电力系统机组组合问题研究综述[J].电力建设,2014,35(12):38-45.
- [6] 王丙乾,董剑敏,关前锋.基于调峰能力分析的电网弃风评估方法及风电弃风影响因素研究[J].南方能源建设,2018,5(2):71-76.
- [7] 陈东,雷金勇.南方电网风电功率预测系统应用扩展研究[J].南方能源建设,2015,2(3):28-33.
- [8] 徐秋实,邓长虹,赵维兴,等.含风电电力系统的多场景鲁棒调度方法[J].电网技术,2014,38(3):653-661.

### 作者简介:



HUANG C H

黄楚鸿(通信作者)

1986-,男,广东台山人,中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司工程师,硕士,主要从事电网调度运行及研究工作(e-mail)hchl96@163.com。