

基于 D5000 系统的风电优先调度工作方案设计与应用

肖桂莲 宋明曙 郭小龙 张彦军

(国网新疆电力调度控制中心 新疆 乌鲁木齐 830006)

摘要:近年来由于风电迅猛发展,大幅度超前电网建设和社会用电负荷增长,受网架约束和电网调峰问题影响,风电出力受阻的情况时有发生,风电消纳已成为困扰电网和风电场的共同问题。依据《风电优先调度工作规范》,基于智能调度技术支持系统建设,设计新疆电网风电优先调度工作方案,有利于在保证电网安全稳定运行的前提下,实现新能源消纳最大化的目标。

关键词: 智能调度; 风电优先调度; 发电计划; 风电理论功率

Abstract: In recent years, the rapid development of wind power generation in Xinjiang is much faster than the development of grid construction and the increasing of customers' loads. And restricted by the grid structure and influenced by dispatching capability, the blocking of wind power output happens quite often, so wind power accommodation becomes the common problem obsessing the grid and wind farms. On the basis of "Wind Power Priority Dispatching Specification" and the construction of smart grid operation supporting system, the wind power priority dispatching plan is designed for Xinjiang, which can realize the accommodation maximization of new energy in the premise of ensuring the safe and stable operation of power grid.

Key words: intelligent dispatching; wind power priority dispatching; generation scheduling; theoretical wind power

中图分类号: TM734 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2014) 03 - 0024 - 05

自 2006 年中国《可再生能源法》颁布以来,新能源发电步入快速发展时期。新疆陆上风能资源十分丰富,仅次于内蒙古,随着疆电外送特高压交直流输电工程建设和投产,新疆丰富的风电成为大力开发的清洁能源之一,2013 年新疆电网风电装机年增长 136%,新疆俨然已成为风电产业发力的主战场。由于风电迅猛发展,大幅度超前电网建设和社会用电负荷增长。较强天气过程期间风电出力较大且同时率较高时,受局部地区网架结构、系统小负荷期间系统快速调节能力较弱、调峰困难等因素,以及 750 kV 哈敦双线送出极限的影响,新疆全网总体将面临部分地区部分时段控制出力的局面,风电消纳已成为困扰电网和风电场的共同问题。目前,各电网新能源调度手段和优化程度不一。依据《风电优先调度工作规范》^[1],设计提出基于智能调度技术支持系统的风电优先调度工作方案,有利于在保证电网安全稳定运行的前提下,实现新能源消纳最大化的目标。

1 方案提出的背景

新疆电力公司十分重视风电的发展,积极通过

技术创新、管理创新努力提高风电接纳水平,先后完成了风电功率预测、风电优化调度等技术支持系统建设。随着坚强智能电网建设工作的深入开展,新疆电网的网架结构和运行特性都发生着重大变化,这对电网调度驾驭大电网的能力以及电网调度一体化运行管理水平和信息化、自动化、互动化水平提出了新的更高的要求^[2]。为此新疆电网适时开展了智能电网调度技术支持系统建设即基于 D5000 的一体化平台及支撑横向互联和纵向接入的实时监控与预警、调度计划、安全校核、调度管理四大类应用。在此基础上,设计实施风电优先调度工作方案,将风电优先调度贯穿各工作环节,满足《风电优先调度工作规范要求》。

2 风电优先调度工作方案主要内容

《风电优先调度工作规范》主要是从“提供优质服务、预留充足空间、调整及时到位、持续评价改进”等方面实现规范调度行为,优先调度风电。这里基于智能电网调度支持系统,重点从“预留充足

西北部地区风电接纳能力 = MIN 西北部地区外送通道接纳能力, SUM(莲博州地区风电接纳能力, 塔城地区风电接纳能力, 阿勒泰地区接纳能力)。西北部地区外送通道接纳能力 = MIN(野石东线 + 野石西线 + 沙石西线 + 崇石西线) 接纳能力 (凤石西双线 + 凤石东双线) 接纳能力, 凤凰主变压器接纳能力, 凤乌线接纳能力。

博州地区接纳能力 = MIN 博州地区主变压器接纳能力, 博州地区联络线接纳能力。博州地区主变压器接纳能力 = SUM 博州地区集中并网风电接纳能力 + 博州地区分散接入风电并网容量。博州地区集中接入风电接纳能力 = 口岸变电站接纳能力。口岸变电站接纳能力 = MIN(口岸变电站主变压器容量 + 口岸变电站下网负荷), 口岸变电站风电并网容量。

博州地区分散式风电并网容量 = 0

博州地区联络线接纳能力 = MIN(岸博线 + 岸皇线) 接纳能力, (皇博线 + 岸皇线) 接纳能力, (皇炮线 + 奎皇线) 接纳能力。(岸博线 + 岸皇线) 接纳能力 = (岸博线 + 岸皇线) 极限 + 口岸变电站下网。(皇博线 + 岸皇线) 接纳能力 = (皇博线 + 岸皇线) 极限 + 博乐变电站下网 + 口岸变电站下网。(皇炮线 + 奎皇线) 接纳能力 = (皇炮线 + 奎皇线) 极限 + 皇宫变电站下网 + 博乐变电站下网 + 口岸变电站下网 - (吉林台 + 吉林台二级) 可调出力。

其余计算同理。

基于新疆电网网架结构和潮流分布进行的风电接纳能力评估, 优点是能够量化评估全网及各地区可接纳风电出力的最大能力。缺点是在应用中存在对系统运行方式变化的自适应能力较差的问题, 即在系统运行方式发生变化时, 需要及时调整计算公式, 否则计算结果与实际偏差较大。

为弥补当前算法存在的不足, 提出应用基于直流潮流的区域电网风电接纳能力算法, 与基于调峰约束、网架约束的全网风电接纳能力算法协同考虑, 对全网风电在线接纳能力进行准确评估。自 D5000 基础平台同步提取网络拓扑和常规机组最小技术出力、爬坡能力、启停状态及当前时刻实际出力等数据、综合考虑变电站母线负荷预测、相关联络线(断面) 极限、正负旋转备用约束以及风电场开机容量、风功率预测、接纳系数, 通过直流潮流计算, 分析系统负荷分布、风电场及常规电源的分布及其对全网风电上网功率的影响, 评估全网及地区实际风电接

纳能力; 在风电受限情况下, 能通过优化潮流实现该地区风电总体上网功率最大的目标。

目标函数: 考虑多时段地区接纳风电最大, 如式(1) 所示。

$$\text{Max} \sum_{i \in N_w} \sum_{t \in T} \rho_i \times W_i^t \quad (1)$$

式中 ρ_i 为风电场 i 的接纳系数; W_i^t 为风电场 i 在第 t 时刻允许接纳的风电。

约束条件:

1) 电力平衡约束

$$\sum_{i \in N_g} P_i^t = \sum_{i \in N_l} L_i^t + \sum_{i \in N_w} W_i^t \quad t \in T \quad (2)$$

式中 P_i^t 为常规机组 i 在第 t 时刻的出力计划; L_i^t 为负荷 i 在第 t 时刻的预测值。

2) 机组出力约束

$$\begin{cases} P_i^{\min} \leq P_i^t \leq P_i^{\max} & i \in N_g, t \in T \\ 0 \leq W_i^t \leq W_i^{\text{Pre}} & i \in N_w, t \in T \end{cases} \quad (3)$$

其中 P_i^{\min} 和 P_i^{\max} 分别为常规机组 i 的最小出力与最大出力; W_i^{Pre} 为风电场 i 在 t 时刻的预测值。

3) 机组爬坡率约束

$$-r_i^d \leq P_i^t - P_i^{t-1} \leq r_i^u \quad i \in N_g, t \in T \quad (4)$$

其中 r_i^d 和 r_i^u 分别为常规机组 i 的正负爬坡约束。

4) 上旋转备用约束

$$10\% \times \sum_{i \in N_g} L_i^t > \sum_{i \in N_g} (P_i^{\max} - P_i^{\min}) > 5\% \times \sum_{i \in N_g} L_i^t \quad t \in T \quad (5)$$

5) 下旋转备用约束

$$\sum_{i \in N_g} (P_i^t - P_i^{\min}) > 3\% \times \sum_{i \in N_l} L_i^t \quad t \in T \quad (6)$$

6) 线路直流潮流约束

$$|M \times P_x^t| < \text{Line}_{\text{lim}} \quad t \in T \quad (7)$$

其中 M 为线路直流潮流矩阵, 由线路的连接拓扑和线路参数计算获得; P_x^t 为节点功率输出矩阵, 由每个节点上的常规机组出力、风电和负荷值计算获得; Line_{lim} 为线路极限矩阵, 代表的是每条线路的最大允许潮流值。

2.2 风电发电计划编制和实时调整

将风电发电计划纳入全网日前电力电量平衡和日内计划滚动调整, 如图 2 所示。

根据全网负荷预测、开机计划以及风电发电预测结果, 考虑调峰约束、判断全网风电发电预测结果是否能够全部纳入全网平衡, 并按照新能源电站并网运行特性评价排序进行电站接纳能力的分配, 形成考虑全网调峰约束的风电发电计划。

基于 D5000 平台同步获取网络拓扑、日前计划

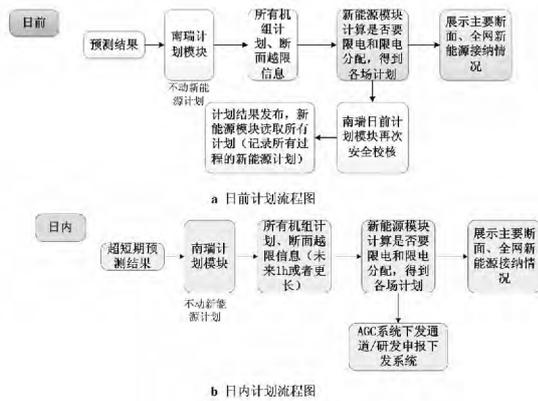


图 2 风电调度计划流程图

安全校核结果等相关信息,根据地区负荷预测、区域内开机计划、区域内各风电场风功率预测结果、区域内重要断面及外送断面热稳极限等,考虑网架、机组出力等约束,以区域内风电发电整体接纳能力最大为目标,运用直流潮流算法计算风电接纳空间,如无法实现全额消纳,根据新能源电站并网性能评价排序结果完成限电功率的优化分配,消除越限线路、断面,生成综合考虑全网调峰约束和网架约束的风电发电计划。

在日内实时调度时,风电接纳能力评估系统每 15 min 滚动分析电网 4 h 之内风电接纳能力及断面越限情况,对风电场发电计划进行必要的调整,以消除由风电出力过大引起的风险。日内风电计划直接发送至平台 AGC 模块下发风电场执行。同时为调度员提供人工设置控制风电功能。

2.3 风电理论功率计算

风电理论功率的计算是风电根据国家电网公司《风电受阻电量计算办法》、原国家电监办《风电弃风电量统计办法》要求,采用样板机法、测风数据外推法计算风电受阻时段的理论功率,从而为风电规划、调度运行提供准确的基础数据^[7-8]。要准确计算统计周期内风电理论电量,必须要实现弃风时段的准确统计。一般采用调度员手动记录或风电场定时上报的方法,对于如何自动准确计算风电受阻时段,此前并无切实可行的解决方案。

结合新疆电网已实现全网风电有功自动发电控制功能(AGC)的现状,提出采用风电场 AGC 目标曲线与实际功率曲线对比分析法,通过自动计算各采样点风电场实际功率曲线与省调下发 AGC 目标曲线的偏差来判定该时刻是否处于限电时段,即两者数值吻合度高偏差接近 0 的点为限电时段,两者数值吻合度低偏差绝对值较大的点为非限电时段。此法程序设计较易实现,能够自动准确统计各风电场发电出力受阻时段,使风电理论功率的计算误差最

小化。如图 3 所示为某风电场功率曲线。

2.4 风电优先调度评价

依据国家电网公司《风电优先调度工作规范》的要求,综合评价风电优先调度工作。基于智能电网调度技术支持系统,分别对风电功率预测、新能源调度计划、常规电源调度计划、风电理论功率、弃风情况及实时调度数据进行分析,综合各方面评价结果形成对各环节风电优先调度工作评价。通过分析评价结果,查找各环节风电优先调度工作存在的问题,以便于有针对性整改,不断促进风电最大化消纳。

通过面积堆积图,检查火电机组调峰力度和开机备用容量。根据火电机组开机容量及技术参数,计算当前全网火电机组最小技术出力,并与火电实际出力进行对比,检查限电时段火电机组是否达到最小技术出力。根据限电时段火电机组开机容量与负荷情况,检查系统备用容量是否满足相关要求。图 4 为某天全网电源出力曲线。

3 所提方案具备的优点

所提方案实现了全网及地区风电在线接纳能力评估量化计算。

在此前提下,所提方案实现了新疆电网对风电接纳从风电功率预测、风电接纳能力评估、风电日前发电计划、风电日内实时调整到在线风电场有功出力控制的闭环。即以短期风电功率预测为基础,以优先接纳风电为目标,将风电纳入电网调度计划编制流程,对日前常规机组组合方式和机组发电计划进行优化,实现风电、火电联合优化调度,减少了常规机组备用容量;通过超短期风功率预测、超短期负荷预测等,实现日前计划的再调整,通过滚动调整常规机组发电计划,实时控制部分常规机组出力,调整风电场发电曲线或在线控制风电场发电出力,使风电控制由日前计划推到日内,最大限度地接纳风电。

所提方案通过采用风电场 AGC 目标曲线与实际功率曲线对比分析法,有效解决了风电受阻时段自动统计难点问题,对风电理论功率计算、风功率预测准确率计算及风电优先调度评价等工作起到了至关重要的作用。

4 结论

所提方案以风电优先调度为目标,结合风功率预测及系统、母线负荷预测、机组计划,考虑网架断

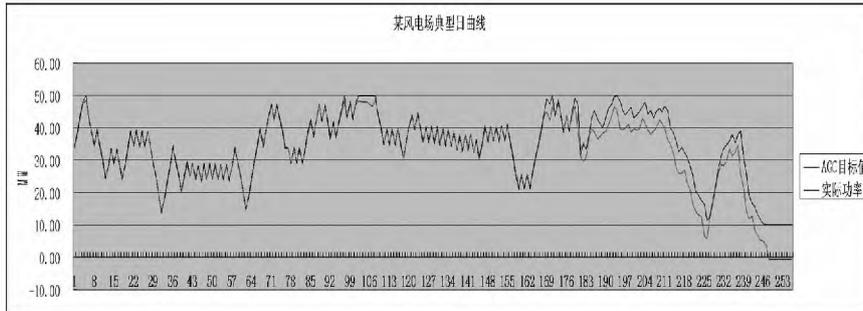


图 3 某风电场功率曲线

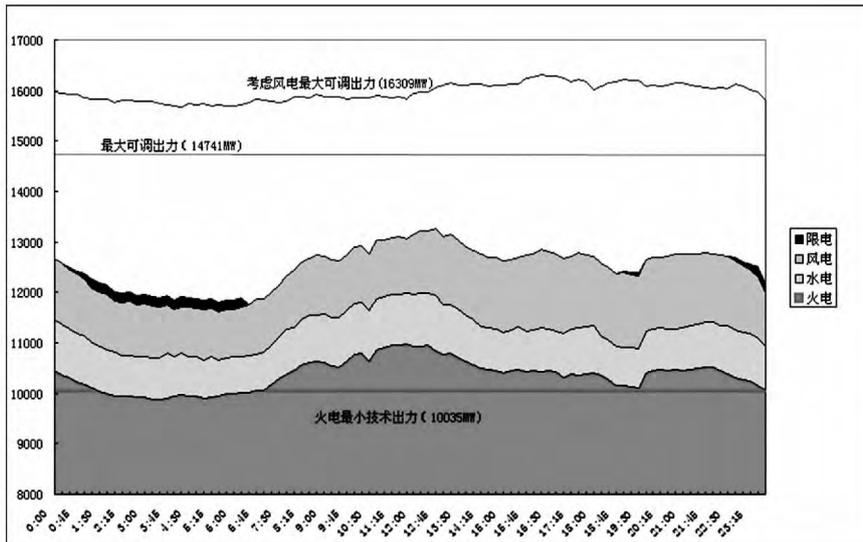


图 4 新疆全网电源出力情况

面约束,计算全网及分地区风电接纳空间;从日前调度计划编制着手,应用风电接纳空间的计算结果,合理安排常规机组计划,根据安全校核结果,调整常规电源出力计划,并通过新能源系统实现对风电发电计划的实时调整,实现了从调度日内滚动计划到风电场有功功率的闭环控制。通过对弃风时段的自动统计,实现了基于样板风机法、测风数据外推法风电理论功率计算,有利于对风电优先调度情况进行后评估,持续提升风电优先消纳工作。所提方案是新疆电力调度控制中心在进行智能电网调度技术支持系统建设过程中,结合新疆电网的实际情况,针对风电优先调度工作的难点问题所采取的解决方案,为风电优先调度工作模式作出了有益探索。

参考文献

[1] 风电优先调度工作规范,国家电网调(2012)1938号。
 [2] 智能电网调度技术支持系统系列标准,国家电网科(2011)2005号。
 [3] 王乾坤.国内外风电弃风现状及经验分析[J].华东电力,2012(3):378-381。
 [4] 白建华,辛颂旭,贾德香,等.中国风电开发消纳及输

送相关重大问题研究[J].电网与清洁能源,2010,26(1):14-17。
 [5] 刘新东,方科,陈焕远.利用合理弃风提高大规模风电消纳能力的理论研究[J].电力系统保护与控制,2012(6):35-39。
 [6] 张谦,李琥,高松.风电对调峰的影响及其合理利用模式研究[J].南方电网技术,2010(6):18-22。
 [7] 李丰,张粒子,舒隽,等.含风电与储能系统的调峰与经济弃风问题研究[J].华东电力,2012(10):1695-1700。
 [8] 吕朝阳,张丹庆,李怀玉.我国风电大规模外送协同运行方式研究[J].水电能源科学,2012(9):202-205。

作者简介:

肖桂莲(1974),大学本科,高级工程师,从事新能源调度及运行管理工作;
 宋明曙(1984),硕士研究生,工程师,从事电力系统调度运行及分析工作;
 郭小龙(1983),硕士研究生,工程师,从事电力系统调度运行及分析工作;
 张彦军(1980),硕士研究生,工程师,从事自动化系统建设工作。

(收稿日期:2014-03-20)