

DOI: 10.14044/j.1674-1757.pcrpc.2026.02.005

风电场一次调频装置原理及试验研究

王智高, 门宇玺, 张恩享, 王团结, 李南, 张少鹏, 宋晓辉

(西安热工研究院有限公司, 西安 710000)

摘要:近年来,西北电网新能源快速发展,外送规模不断扩大,当电网频率扰动时,新能源场站能够参与电网一次调频,提供频率支撑,其大送端、大枢纽的作用进一步凸显。本文结合青海省某200 MW风电场的实例,说明了风电场一次调频装置的工作机理和考核机制,以及西北电网风电场一次调频试验方法,包括频率阶跃扰动试验和自动发电量控制(automatic generation control, AGC)协调试验。结果表明,风电场可参与电网快速频率响应,响应特性符合要求,验证了该试验方法考核风电场一次调频能力的有效性,为类似试验提供了参考和借鉴作用。

关键词:风电场; 一次调频; 快速频率响应; 频率支撑; 试验

Principle and Experimental Study of Primary Frequency Regulation Device in Wind Farms

WANG Zhigao, MEN Yuxi, ZHANG Enxiang, WANG Tuanjie, LI Nan,
ZHANG Shaopeng, SONG Xiaohui

(Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710000, China)

Abstract: In recent years, new energy in the Northwest Power Grid in China has developed rapidly, and the scale of power transmission has continuously expanded. When the frequency of the power grid is disturbed, the new energy station can participate in the primary frequency regulation of the power grid and provide frequency support. The role of its large transmission terminal and major hub is further highlighted. Based on the example of a 200 MW wind farm in Qinghai Province of China, in this paper the working mechanism and assessment mechanism of the primary frequency regulation device of the wind farm, the primary frequency regulation test method of the wind farm in the Northwest power grid of China, including the frequency step disturbance test and AGC coordination test, are introduced. The results show that the wind farm can participate in the rapid frequency response of the power grid, and the response characteristics meet the requirements. The effectiveness of the test method for assessing the primary frequency regulation capacity of wind farms is verified, which has provided reference for similar tests.

Keywords: wind farm; primary frequency regulation; fast frequency response; frequency support; test

0 引言

在全球能源结构转型背景下,截至2024年底,西北电网新能源装机达3.05亿千瓦,占西北电网总装机容量的56%,其中风电装机1.27亿千瓦,光伏装机1.78亿千瓦。坐拥“水丰、光富、风好、地广”的天然优势,青海省清洁能源装机容量达6788.8万千瓦,占省内电力装机的94%,清洁能源占比居全国前列^[1]。截至2025年6月30日,西北电网外送直流通道总数达14条,外送规模超8600万千瓦,

其中特高压直流通道10条,超过全国特高压直流外送规模的一半,是我国外送规模最大的区域电网,其大送端、大枢纽作用进一步凸显。

风电、光伏等新能源机组的出力特性与传统同步发电机组不同,因其缺乏常规机组的转动惯量特性,导致系统惯性降低,增加了电网频率波动的风险^[2-7]。通过让新能源机组参与一次调频,可以减少对传统调频资源(如火电、水电)的依赖,降低调频成本,提升电网频率稳定性,减少频率波动,从而提高电网运行的可靠性^[6-7]。同时,通过优化调频策

收稿日期:2025-12-01; 修回日期:2025-12-22

基金项目:国家重点研发计划(2024YFB2408400)。

Project Supported by National Key R & D Program of China(2024YFB2408400)。

略,可以提高调频效率,减少调频旋转备用容量,从而降低运行成本,提高经济效益。此外,新能源机组参与调频还能减少污染物排放,具有良好的环境效益。为此,各国电网公司相继出台标准,如 GB/T 40595—2021、DL/T 1870—2018、IEEE 1547—2018 等,要求新能源场站具备一次调频能力。

当前,风电场配置的自动发电量控制(automatic generation control, AGC)系统可以通过调整发电功率实现调频功能,通过将专用的嵌入式调频装置与现有的 AGC 功率控制系统相结合,可以实现一次调频功能,满足电网对新能源场站更高的控制响应需求。现在新能源电站参与电网调频的研究较多^[8-14],文献[15-16]分别对华中电网和西北电网某机组进行了一次调频试验,验证了调频性能。文献[17]提出新能源一次调频的参数,并通过仿真进行验证。文献[18-19]通过模拟频率扰动的方法,验证了风电和光伏的一次调频能力。文献[20]介绍了新能源场站设置一次调频参数的方法。文献[21-22]介绍了西北、东北电网风电场参与电网一次调频的试验。文献[23]介绍了内蒙古电网一次调频试验相关内容。

本文介绍了青海某风电场的一次调频装置的工作机理,对比了现行规范对一次调频装置性能的要求,通过试验验证了装置功能的有效性。

1 一次调频装置工作原理

本研究所涉及的风电场位于青海省海西藏族自治州,共计安装 40 台 5 MW 风机,装机总容量为 200 MW,全站配置 1 个能量管理平台,采用单台 PCS-9726M 新能源快速功率控制装置的组网模式。

该一次调频装置基于高性能的通用型硬件平台,采用多个 32 位微处理器进行并行计算,具有强大的实时计算能力^[24],用于风电场的快速功率控制,其控制原理如图 1 所示。装置采集并网点的电压和电流数据,同时与站内的 AGC 系统进行信息交互与闭锁,获得调度主站下发的 AGC 目标值,并采用 IEC 104 规约或网络 Modbus 与最多 8 个风机能量管

理平台通信。每个能量管理平台可控制多台风机,因此单机模式即可满足本风电场的调频需求。当电网频率异常时,装置可以旁路原控制系统,通过控制风机的能量管理平台控制风机变流器,调整风电场功率输出,实现调频功能。主要参数见表 1。

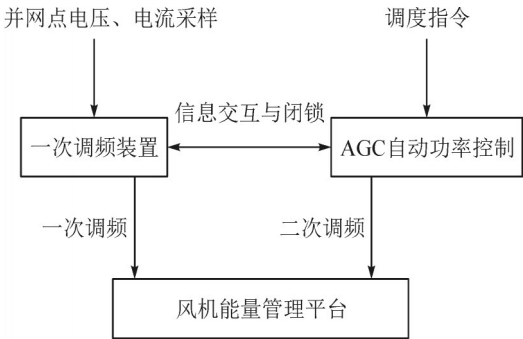


图1 一次调频装置工作原理
Fig. 1 Operation principle of primary frequency regulation device

表1 一次调频装置技术参数
Table 1 Technical parameter of primary frequency modulation device

参数	数值
交流额定相电压/V	50~120
交流电压额定频率/Hz	50
交流额定电流/A	1/5
直流电源额定电压/V	110, 220

2 一次调频装置考核指标

风电场输出有功功率 P 与电网频率 f 的关系公式为

$$P=P_0-P_n\times\frac{f-f_n}{f_n}\times\frac{1}{\delta\%}$$

式中: P 为调频后的有功输出功率; P_0 为风电场有功功率初始值; P_n 为风电场额定有功功率; f 为电网实际频率; f_d 为一次调频死区; f_n 为电网额定频率(50 Hz); $\delta\%$ 为风电场一次调频调差率。

现行标准或电网对一次调频的指标要求见表 2 所示,本次试验考核指标按照 GB/T 40595—2021 要求执行。

表2 一次调频功能考核指标
Table 2 Assessment index of primary frequency regulation function

序号	相关要求	响应滞后 时间/s	上升 时间/s	调节 时间/s	有功功率调节 允许偏差
1	GB/T 40595—2021 并网电源一次调频技术规定及试验导则 ^[25]	2	9	15	$\pm 1\%P_n$
2	GB/T 19963.1—2021 风电场接入电力系统技术规定第1部分:陆上风电 ^[26]	2	9	15	$\pm 1\%P_n$
3	GB/T 40600—2021 风电场功率控制系统调度功能技术要求 ^[27]	2	9	15	$\pm 2\%P_n$
4	NB/T 10317—2019 风电场功率控制系统技术要求及测试方法 ^[28]	3	—	—	$\pm 3\%P_n$
5	NB/T 31078—2022 风电场并网性能评价方法 ^[29]	2	9	15	$\pm 1\%P_n$
6	Q/GDW 10630—2023 风电场功率调节能力和电能质量测试规程 ^[30]	2	9	15	$\pm 1\%P_n$
7	西北区域电力并网运行管理实施细则 ^[31]	2	12	15	$\pm 5\%$ 理论调整幅度

3 试验前准备

3.1 测试方法

试验采用频率信号发生装置输出 0~130 V 电压,模拟场站并网点电压互感器(potential transformer, PT)的二次电压,将模拟电压/频率信号接入一次调频控制装置的测频单元和数据记录分析仪。数据记录分析仪同时采集并网点二次侧电压和电流信号,用于计算电站的实际有功功率,如图 2 所示。

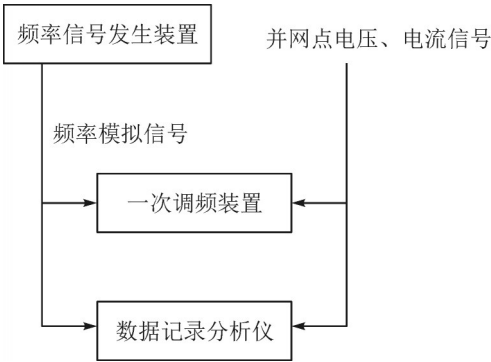


图2 试验接线图
Fig. 2 Test wiring diagram

3.2 测量参数设置

风电场一次调频参数设置见表 3。当电网频率未超出 50 ± 0.1 Hz 时,一次调频功能不动作;当电网频率超出 50 ± 0.1 Hz 时,一次调频装置下发功率目标值指令,风电场有功功率变化量达到 10% 额定功率时不再继续调节,同时该装置会闭锁 AGC 反向调节指令。

表3 一次调频装置参数设置
Table 3 Parameter setting of primary frequency regulation device

参数	数值
一次调频响应死区	±0.1 Hz
一次调频响应限幅	$10\%P_n$
调差率	2%

3.3 频率阶跃扰动试验步骤

风电场全部风电机组处于正常运行状态,风机投入运行容量不低于风电场装机容量的 95%,退出风电场 AGC 远控功能,退出一次调频装置的惯量响应功能。按照表 4 工况依次测试,测试结束后绘制频率、风电场有功功率实际值以及风电场有功功率指令值的对应曲线,记录测试结果。

表4 频率阶跃扰动试验
Table 4 Frequency step disturbance test

序号	频率扰动类型	风电场运行状态	图号
1	阶跃上扰 50 Hz→50.20 Hz,持续 20 s 恢复至 50 Hz	限功率,有功功率区间 $20\%\sim30\%P_n$	图 3(a)
2	阶跃上扰 50 Hz→50.20 Hz,持续 20 s 恢复至 50 Hz	不限功率,有功功率区间 $20\%\sim30\%P_n$	图 3(b)
3	阶跃上扰 50 Hz→50.20 Hz,持续 20 s 恢复至 50 Hz	限功率,有功功率区间 $50\%\sim90\%P_n$	图 3(c)
4	阶跃上扰 50 Hz→50.20 Hz,持续 20 s 恢复至 50 Hz	不限功率,有功功率区间 $50\%\sim90\%P_n$	图 3(d)
5	阶跃下扰 50 Hz→49.80 Hz,持续 20 s 恢复至 50 Hz	限功率,有功功率区间 $20\%\sim30\%P_n$	图 3(e)
6	阶跃下扰 50 Hz→49.80 Hz,持续 20 s 恢复至 50 Hz	限功率,有功功率区间 $50\%\sim90\%P_n$	图 3(f)

3.4 AGC 协调试验步骤

风电场全部风电机组处于正常运行状态,风机投入运行容量不低于风电场装机容量的 95%,有功功率处于 $50\%\sim90\% P_n$ 区间且限功率状态,退出风电场 AGC 远控功能,AGC 本地闭环模式运行,退出一次调频装置的惯量响应功能。按照表 5 工况依次测试,测试结束后绘制频率和风电场有功功率实际值对应曲线,记录测试结果。

值得注意的是,表格中指令叠加注意次序,例如序号 8“二次调频减 $10\% P_n$ + 阶跃下扰 49.80 Hz”表示:先进行 AGC 控制功率调减 $10\% P_n$,后进行目标值 49.80 Hz 的频率下扰。

表5 AGC 协调试验
Table 5 AGC coordination test

序号	指令叠加类型	图号
1	阶跃上扰 50.2 Hz+二次调频增 $10\%P_n$	图 4(a)
2	阶跃上扰 50.2 Hz+二次调频减 $10\%P_n$	图 4(b)
3	二次调频增 $10\%P_n$ +阶跃上扰 50.2 Hz	图 4(c)
4	二次调频减 $10\%P_n$ +阶跃上扰 50.2 Hz	图 4(d)
5	阶跃下扰 49.8 Hz+二次调频增 $10\%P_n$	图 4(e)
6	阶跃下扰 49.8 Hz+二次调频减 $10\%P_n$	图 4(f)
7	二次调频增 $10\%P_n$ +阶跃下扰 49.8 Hz	图 4(g)
8	二次调频减 $10\%P_n$ +阶跃下扰 49.8 Hz	图 4(h)

4 试验结果

4.1 频率阶跃扰动试验

频率阶跃扰动试验如图 3 所示,测试数据见表 6。

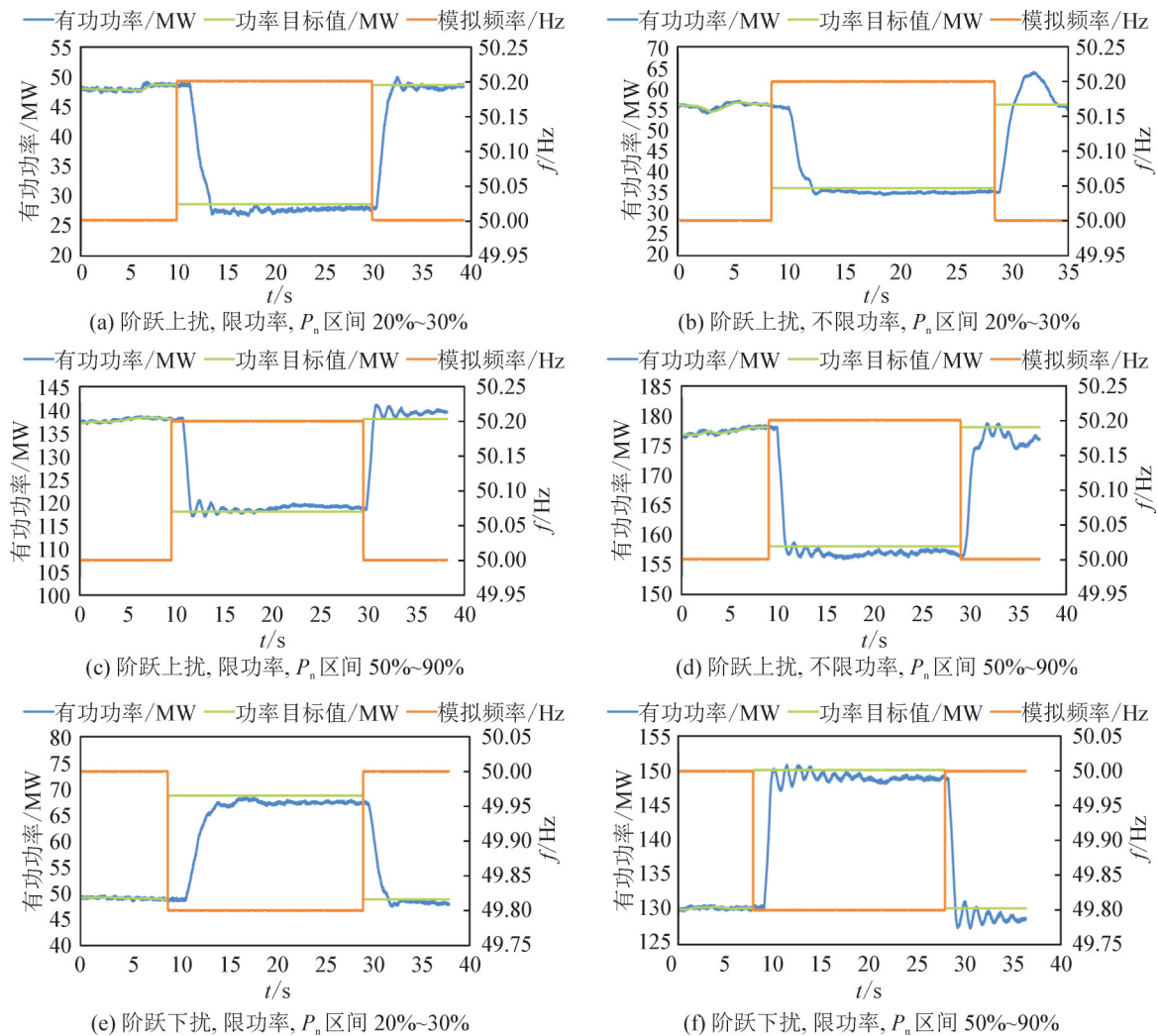


图3 频率阶跃扰动试验
Fig. 3 Frequency step disturbance test

表6 频率阶跃扰动试验测试数据
Table 6 Test data of frequency step disturbance test

序号	响应滞后时间/s	响应时间/s	调节时间/s	阶跃前有功/MW	阶跃后有功/MW	控制偏差/%	图号
1	1.515	3.325	7.325	48.74	28.04	0.347	图3(a)
2	1.705	3.520	3.415	56.38	35.47	0.455	图3(b)
3	1.290	1.890	4.110	138.21	119.18	0.489	图3(c)
4	0.960	1.660	8.285	178.23	157.40	0.412	图3(d)
5	1.770	4.470	6.655	49.05	67.68	0.631	图3(e)
6	1.240	1.820	4.175	130.33	148.99	0.617	图3(f)

如表6所示,频率阶跃扰动试验结果表明:响应滞后时间不大于2 s,响应时间不大于9 s,调节时间不大于15 s,有功功率调节控制偏差不大于1% P_n ,测试结果合格。

4.2 AGC协调试验

一次调频与AGC协调控制能力试验包含8个试验工况。如图4所示,AGC指令调节功率在前,有功功率由140 MW降低到120 MW左右,频率向下扰动在后,一次调频装置下发有功功率目标值指

令,使有功功率从120 MW增加到140 MW左右,动作正确。如图4(e)、图4(f)所示,频率下扰在前,有功功率调增,AGC指令调增在后,功率调节方向相同,AGC功率调增仍可实现;AGC指令调减在后,功率调节方向相反,AGC指令被闭锁,AGC功率调减无法实现。这也说明一次调频装置的优先级高于AGC控制系统。测试结果表明,该风电场一次调频功能能与调度端二次调频指令正确配合,满足要求。

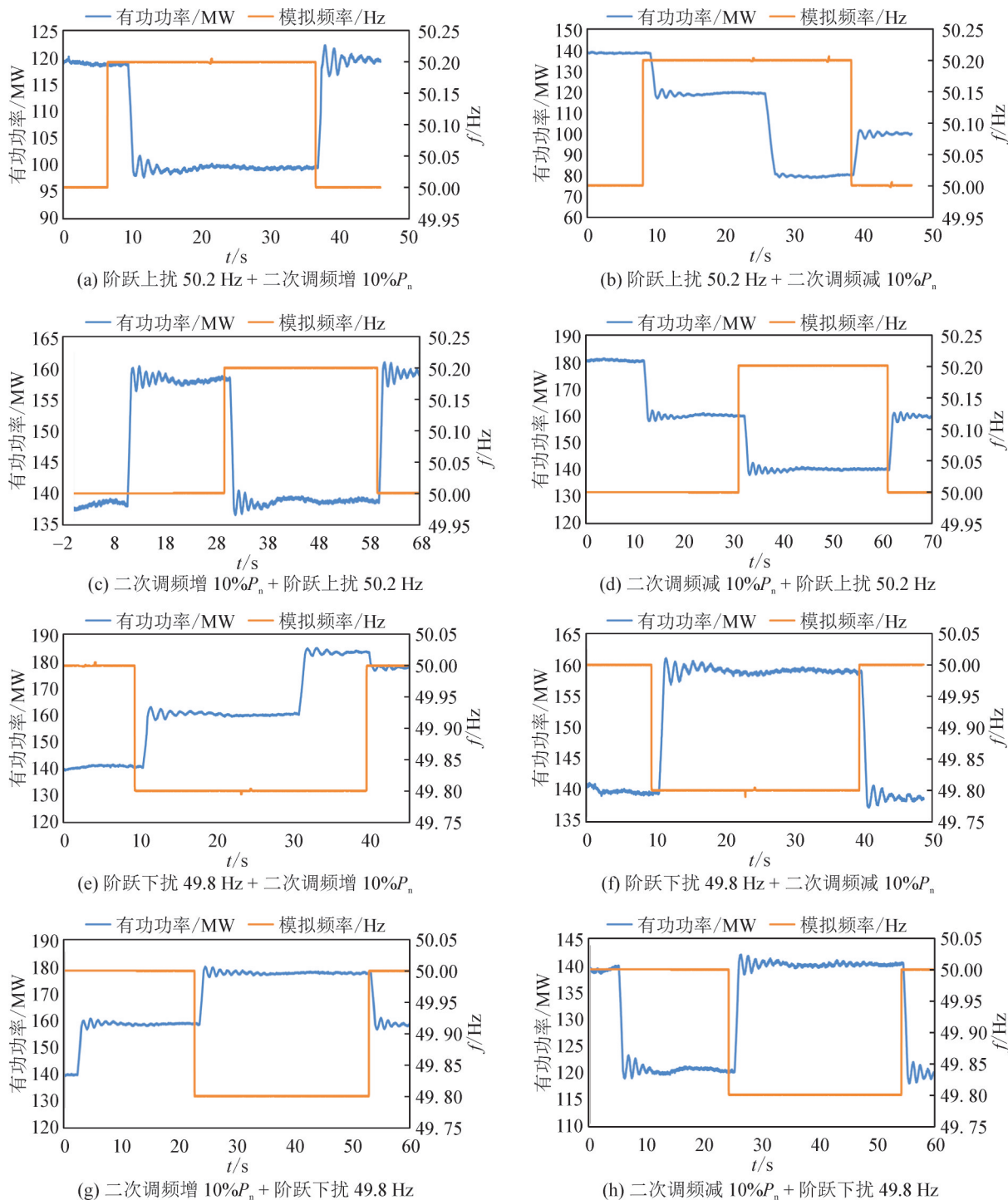


图4 AGC协调试验

Fig. 4 AGC coordination test

5 结语

本文介绍了风电场一次调频装置的工作机理,对比了相关标准和西北区域电网对调频性能的考核指标,介绍了一种适用于西北电网风电场的一次调频试验方法,包括频率阶跃扰动试验和 AGC 协调试验,引入响应滞后时间、响应时间、调节时间、有功功率控制偏差等指标对该功能进行考核,验证了

一次调频功能与调度端二次调频指令的配合逻辑。结果表明,风电场可参与电网快速频率响应,响应特性符合要求,也验证了该方法能够对风电场一次调频能力进行考核,为后续类似试验提供了参考和借鉴作用。

参考文献

- [1] 王菲菲. 2024年青海省新增清洁能源装机突破1 500万千瓦[N]. 青海日报, 2025-01-03.

- [2] 汝冬, 蔺红. 改善惯性响应与一次调频的风电全直流系统协调控制策略[J]. 电力工程技术, 2024, 43(3): 52-62.
RU Dong, LIN Hong. Coordinated control strategy for improving inertial response and primary frequency modulation in wind power full DC system[J]. Electric Power Engineering Technology, 2024, 43(3): 52-62.
- [3] 席云烽, 唐超, 黄云辉, 等. 风电接入弱送端柔直系统次同步振荡主导模式及参与因子分析[J]. 电测与仪表, 2024, 61(12): 125-132.
XI Yunfeng, TANG Chao, HUANG Yunhui, et al. Dominant mode and participation factor analysis of sub-synchronous oscillation of wind power connected to weak transmission end of the flexible HVDC system[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2024, 61(12): 125-132.
- [4] 蔡钰泽, 胡畔, 曹侃, 等. 考虑预留功率的无储能构网型光伏机组控制策略[J]. 浙江电力, 2024, 43(12): 77-85.
CAI Yuze, HU Pan, CAO Kan, et al. A control strategy for GFM photovoltaic units without energy storage considering reserved power[J]. Zhejiang Electric Power, 2024, 43(12): 77-85.
- [5] 杨葆鑫, 邢文奇, 刘鹏飞, 等. 基于直流电压前馈的构网型光伏稳定性优化控制策略[J]. 高压电器, 2024, 60(12): 213-222.
YANG Baoxin, XING Wenqi, LIU Pengfei, et al. Optimal control strategy of stability for grid-forming photovoltaic based on DC voltage feedforward[J]. High Voltage Apparatus, 2024, 60(12): 213-222.
- [6] 蔡阳, 刘子瑞, 黄颖茜, 等. 相变蓄热对光伏相变复合围护结构隔热及发电性能的影响[J]. 西安工程大学学报, 2024, 38(5): 117-125.
CAI Yang, LIU Zirui, HUANG Yingxi, et al. Effect of phase change heat storage on thermal insulation and power generation performance of photovoltaic phase change composite envelope structure[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2024, 38(5): 117-125.
- [7] 陈君, 王博士, 肖媛, 等. 基于Informer模型的短期光伏发电功率预测[J]. 西安工程大学学报, 2025, 39(4): 82-88.
CHEN Jun, WANG Boshi, XIAO Yuan, et al. Short-term photovoltaic power forecasting based on the informer model[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2025, 39(4): 82-88.
- [8] 蔡晖, 张文嘉, 彭竹羿, 等. 基于大规模风电机组的虚拟惯量控制技术对江苏电网频率稳定性的影响研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(4): 41-46.
CAI Hui, ZHANG Wenjia, PENG Zhuoyi, et al. Influence of large scale wind turbine-based virtual inertia control technology on frequency stability of Jiangsu power grid[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2021, 42(4): 41-46.
- [9] 朱瑛, 秦立宽, 颜全椿, 等. 考虑频率响应过程的风储联合调频策略及储能系统优化配置方法[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(10): 28-35.
ZHU Ying, QIN Likuan, YAN Quanchun, et al. Wind-storage combined frequency regulation strategy and optimal configuration method of energy storage system considering process of frequency response[J]. Electric Power Automation Equipment, 2021, 41(10): 28-35.
- [10] 董天翔, 翟保豫, 李星, 等. 风储联合系统参与频率响应的优化控制策略[J]. 电网技术, 2022, 46(10): 3980-3988.
DONG Tianxiang, ZHAI Baoyu, LI Xing, et al. Optimal control strategy for combined wind-storage system to participate in frequency response[J]. Power System Technology, 2022, 46(10): 3980-3988.
- [11] 孙广宇, 胡姝博, 谢赐戡, 等. 基于典型风电场景的风储协同频率支撑容量优化配置[J]. 电力电容器与无功补偿, 2024, 45(6): 108-118.
SUN Guangyu, HU Shubo, XIE Cijian, et al. Optimization configuration of wind storage collaborative frequency support capacity based on typical wind power scenarios[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2024, 45(6): 108-118.
- [12] 李俊, 任冲, 樊国旗, 等. 基于模糊控制的高占比风电系统自适应虚拟惯量及调频参数补偿策略研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(4): 55-61.
LI Jun, REN Chong, FAN Guoqi, et al. Study on adaptive virtual inertia and frequency modulation parameter compensation strategy of high proportion wind power system based on fuzzy control[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2021, 42(4): 55-61.
- [13] 刘刚, 张芳影, 李晓峰, 等. 提升新能源场站调节能力的储能优化配置策略[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(2): 62-72.
LIU Gang, ZHANG Fangying, LI Xiaofeng, et al. Energy storage optimization configuration strategy for enhancing regulation capacity of new energy stations[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2025, 46(2): 62-72.
- [14] 贾一凡, 安海舰, 周敏刚, 等. 电化学储能电站研究现状综述[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(3): 99-105.
JIA Yifan, AN Haijian, ZHOU Mingang, et al. Review of current research status for electrochemical energy storage power station[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2025, 46(3): 99-105.
- [15] 聂春元, 李锴. 2009年华中电网统调机组一次调频试验分析[J]. 华中电力, 2009, 22(6): 23-26.
NIE Chunyuan, LI Kai. Primary frequency regulation analysis for generators of central China power grid in 2009[J]. Central China Electric Power, 2009, 22(6): 23-26.
- [16] 孙晓强, 程松, 刘鑫, 等. 西北送端大电网频率特性试验

- 方法[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(2):148-153.
- SUN Xiaoqiang, CHENG Song, LIU Xin, et al. Test method for frequency characteristics of northwest sending-end power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(2):148-153.
- [17] 孙晓强, 刘鑫, 程林, 等. 基于多调频资源协调控制的西北送端大电网新能源快速频率响应参数设置方案[J]. 电网技术, 2019, 43(5):1760-1765.
- SUN Xiaoqiang, LIU Xin, CHENG Lin, et al. Parameter setting of rapid frequency response of renewable energy sources in northwest power grid based on coordinated control of multi-frequency regulation resources[J]. Power System Technology, 2019, 43(5):1760-1765.
- [18] 马晓伟, 徐海超, 刘鑫, 等. 适用于西北送端大电网新能源场站快速频率响应功能的入网试验方法[J]. 电网技术, 2020, 44(4):1384-1391.
- MA Xiaowei, XU Haichao, LIU Xin, et al. A test method for fast frequency response function of renewable energy stations in northwest power grid[J]. Power System Technology, 2020, 44(4):1384-1391.
- [19] 孙晓强, 刘鑫, 程松, 等. 光伏逆变器参与西北送端大电网快速频率响应能力实测分析[J]. 电网技术, 2017, 41(9):2792-2798.
- SUN Xiaoqiang, LIU Xin, CHENG Song, et al. Actual measurement and analysis of fast frequency response capability of PV-inverters in northwest power grid[J]. Power System Technology, 2017, 41(9):2792-2798.
- [20] 刘洋, 邵广惠, 张弘鹏, 等. 新能源参与系统一次调频分析及参数设置[J]. 电网技术, 2020, 44(2):683-688.
- LIU Yang, SHAO Guanghui, ZHANG Hongpeng, et al. Analysis of renewable energy participation in primary frequency regulation and parameter setting scheme of power grid[J]. Power System Technology, 2020, 44(2):683-688.
- [21] 孙晓强, 高敏, 刘鑫, 等. 风电场参与西北送端大电网频率调节的快速频率响应能力实测与分析[J]. 南方电网技术, 2018, 12(1):48-54.
- SUN Xiaoqiang, GAO Min, LIU Xin, et al. Measurement and analysis of fast frequency response capability of wind farms participating in frequency regulation of northwest sending-end large power grid[J]. Southern Power System Technology, 2018, 12(1):48-54.
- [22] 张梅, 李少林, 李丹, 等. 东北电网风电惯量及一次调频实测与分析[J]. 电网技术, 2022, 46(4):1624-1631.
- ZHANG Mei, LI Shaolin, LI Dan, et al. Measurement and analysis of wind power inertia response and primary frequency regulation characteristics in Northeast China power grid[J]. Power System Technology, 2022, 46(4):1624-1631.
- [23] 刘春晖, 陈鑫跃, 陈浩然, 等. 高精度新能源一次调频测试技术研究[J]. 中国高新科技, 2025(5):56-58.
- LIU Chunhui, CHEN Xinyue, CHEN Haoran, et al. Research on the primary frequency modulation test technology of high-precision new energy[J]. China High-tech Industries, 2025(5):56-58.
- [24] 张军, 王瑾然, 章叶青. 新能源快速频率响应在新能源场站的应用方案研究及工程实践[J]. 湖北电力, 2021, 45(4):86-93.
- ZHANG Jun, WANG Jinran, ZHANG Yeqing. Application scheme research and engineering practice of new energy fast frequency response in renewable energy station[J]. Hubei Electric Power, 2021, 45(4):86-93.
- [25] 并网电源一次调频技术规定及试验导则:GB/T 40595—2021[S]. 2021.
- Guide for technology and test on primary frequency control of grid-connected power resource: GB/T 40595—2021[S]. 2021.
- [26] 风电场接入电力系统技术规定 第1部分:陆上风电:GB/T 19963.1—2021[S]. 2021.
- Technical specification for connecting wind farm to power system—Part 1: On shore wind power: GB/T 19963.1—2021[S]. 2021.
- [27] 风电场功率控制系统调度功能技术要求:GB/T 40600—2021[S]. 2021.
- Technical requirements for dispatching function of wind farm power control system:GB/T 40600—2021[S]. 2021.
- [28] 风电场功率控制系统技术要求及测试方法:NB/T 10317—2019[S]. 2019.
- Technical requirements and test method for wind farm power control system:NB/T 10317—2019[S]. 2019.
- [29] 风电场并网性能评价方法:NB/T 31078—2022[S]. 2022.
- valuation method for grid code compliance of wind farms: NB/T 31078—2022[S]. 2022.
- [30] 风电场功率调节能力和电能质量测试规程:Q/GDW 10630—2023[S]. 2023.
- Test procedure of wind farm power regulation capability and power quality:Q/GDW 10630—2023[S]. 2023.
- [31] 国家能源局. 西北区域电力并网运行管理实施细则[Z]. 2023.
- 作者简介:
- 王智高(1988—),男,工程师,主要从事新能源发电工作。E-mail:Wangzhigao 0827@126.com。