

大规模风电跨省消纳与交易机制的研究

李 丰,张粒子

(华北电力大学 电气与电子工程学院,北京 102206)

摘要: 从风电跨省消纳的技术问题和经济问题角度,分别分析了东北电网系统风电接纳能力和风电跨省消纳的外部不经济性问题。对东北电网风电接纳能力的测算表明,系统有能力保证风电跨省消纳,但火电机组会因为调峰深度的增加而降低其运行的经济性。提出基于市场的风电跨省消纳与交易机制,风电跨省消纳交易的中长期电量可以通过开展负荷低谷时期的发电权交易实现,而风电预测误差以及风电的间歇性所产生的发电计划偏差则可以通过建立调节市场来实现电力电量平衡,并提出了调节市场的交易形式、组织流程、结算机制及其调度模式和模型等。通过调峰平衡分析与实时平衡调度算例分析,验证了所提机制的有效性。

关键词: 风电; 风电接纳能力; 电力市场; 调节市场; 模型; 交易

中图分类号: TM 73;TM 614

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.08.020

0 引言

近年来,我国风电发展迅猛,由于各地区风力分布的自然情况,导致风电机组所建地区较为集中。同时,北方冬季供热机组昼夜都必须运行,系统的调峰能力有限,而风电在夜间大发,给系统造成反调峰的情况越来越明显,大量风电存在无法本地消纳的问题。

要解决风电无法本地消纳的问题,从长远考虑要优化电源结构,提高系统的风电接纳能力;从近期考虑就是要设计和实施激励火电等其他类型发电企业响应系统需求、促进风电跨省消纳的市场机制。目前国内较多的研究侧重于如何提高系统的调峰能力和风电接纳能力^[1-5],而当前如何充分利用市场交易机制促进风电跨省消纳、减少风电弃风,对于实现节能减排,促进相关各省经济、环境和电力企业的和谐、可持续发展有着重要的意义。

风电跨省交易的中长期电量可通过跨省发电权

交易和跨省年度、月度、日前交易电量实现,但风电场出力短期预测在精度方面还不能满足大规模风电并网电力系统经济调度的要求,同时由于风电出力的间歇性以及负荷预测误差、天气突变和电网设备故障等因素的存在,日前给出的交易计划与电网实际运行情况、风电实际发电量与预测出力水平之间可能会有较大偏差^[6-7],调节市场是消除这一偏差的市场手段。它通过组织未来数个时段的电力交易来有效消除风电出力的不确定性和系统中的不平衡功率,维持系统的安全稳定运行,并提供短期电力供需平衡关系的经济信号。

近年来,越来越多的电力市场引入了调节市场,采用市场的手段平衡电网运行中形成的电能供需不平衡,协调各方利益,以提高电力市场运行的安全水平。因此,本文在风电中长期电量已通过跨省发电权交易的基础上,提出平衡风电预测误差、风电间歇性、负荷预测误差以及系统故障等因素的风电跨省调节市场。

调节市场在英格兰、澳大利亚和北欧等电力市

收稿日期:2012-08-20;修回日期:2013-06-19

Transformerless three-level PV grid-connected inverter with high reliability

XIAO Huafeng¹,XIE Shaojun²,YANG Chen²

(1. School of Electrical Engineering,Southeast University,Nanjing 210096,China;

2. College of Automation,Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,Nanjing 210016,China)

Abstract: An improved three-level grid-connected inverter with a straightforward topology of dual-Buck half-bridge inverter is proposed to avoid the reliability degradation caused by the shoot-through existing in traditional diode-clamped three-level inverter. Because the PV grid-connected inverter operates with unity power factor,the freewheeling diode of bridge leg is omitted. Its working modes,operating patterns common-mode characteristics and control strategy are analyzed. Its features of shoot-through prevention,constant-frequency hysteresis loop control and leakage current elimination are verified by both simulation and experiment.

Key words: PV grid-connection; electric inverters; diode-clamped three-level inverter; dual-Buck half-bridge inverter; reliability; control

场中已经取得了成功的运行经验^[8-11]。文献[12]介绍了英格兰、澳大利亚和北欧等电力市场中的实时平衡调节市场,并提出了建设符合中国国情的实时平衡市场的建议和大区交易分区调度的市场模式。文献[13]对实时平衡调节市场的设计及运作流程、电价机制及结算机制等进行了分析研究,并对电力实时平衡调度自动控制系统的结构与功能进行了设计。

随着我国电力市场改革的不断深入,风电必将进入市场,在市场机制的调节下,充分发挥风电的经济效益和社会环境效益。

1 大规模风电消纳问题分析

大规模风电的消纳受技术和经济 2 个层面的制约。

首先,在技术层面上,由于电网负荷曲线的峰谷特性与风电的反调峰性、间歇性,系统中常规发电机组必须有充足的调频容量和低谷调峰容量才能保证风电的上网。系统容量越大,从物理意义上能够消纳的风电就越多,因而,大规模风电需要在更大的系统范围内消纳。

其次,在经济层面上,风电的间歇性和逆调峰特性将会使火电企业增加单位电量的发电成本、降低发电利用小时数。在现行的单一制上网电价条件下,如果这些成本没有被补偿的途径,必将抑制火电企业响应电网调度、促进风电消纳的积极性。因此,要最大限度地消纳风电,必须设计和实施科学、合理的激励机制,保障火电等其他类型发电企业因风电促进跨省消纳而造成的经济损失可以得到补偿。这类机制可分为基于计划调度的补偿机制和基于市场的补偿机制,而建立风电跨省消纳市场可以用市场的手段解决风电跨省消纳所存在的经济补偿问题。

2 电网调峰平衡与风电接纳能力分析

电网接纳风电的能力受到电网安全运行各方面的制约和影响,如调峰的限制、稳态潮流的限制、暂态稳定的限制、无功及电压的限制等。其中,稳态潮流、暂态稳定的限制可以通过加强电网结构来解决;无功及电压的限制可以通过增加无功补偿设备等手段解决;但调峰能力在短期内无法通过加强电网电源规划建设得到有效提高。

同时,电网的调峰能力与电源结构和火电机组最小出力等因素密切相关,对电网安全经济运行的影响也较大,是目前公认的制约电网接纳风电能力的主要技术因素。因此,根据以下调峰平衡原则对东北电网 2015 年风电接纳能力进行测算。

a. 调峰平衡的备用容量按负荷备用 4%、旋转事

故备用 4% 考虑。

b. 平衡时按最大负荷日并参照最大峰谷差日的负荷率统筹考虑,平衡结果为本年度调峰最严重情况。

c. 水电按不同电站(径流、日/季/年调节)的调节性能确定调峰能力;抽水蓄能电站调峰能力 200%。核电不参与系统调峰;太阳能发电不参与调峰平衡;现有火电机组调峰能力按照机组实际常规调峰能力考虑,冬季供热机组按 10% 的容量参与调峰;俄罗斯直流按大型火电机组考虑,特高压直流按 10% 的容量参与受端电网调峰;其他类型电源调峰性能按 40% 的容量考虑;大型燃气发电机组不参与系统调峰。

2.1 调峰平衡分析

按照上述调峰平衡原则对东北电网进行调峰,调峰方式主要有以下 3 种。

方式 1:对 2009 年以来新增 300 MW 及以上常规煤电机组常规调峰时的最小出力率按 60% 考虑。

方式 2:根据网调的现运行情况,对 2009 年以来新增 300 MW 及以上常规煤电机组常规调峰时的最小出力率按 50% 考虑。

方式 3:火电机组常规调峰时的最小出力率主要取决于锅炉的最低稳燃负荷,根据锅炉厂家提供的技术协议,锅炉的最低稳燃负荷一般均能达到机组额定出力的 30%,考虑到煤质和炉型的影响,火电机组常规调峰时的最小出力率可以达到 40%。因此,在本方式中,对 2009 年以来新增 300 MW 及以上且不足 600 MW 的常规煤电机组常规调峰时的最小出力率按 50% 考虑,600 MW 及以上常规煤电机组常规调峰时的最小出力率按 40% 考虑。

如果没有经济补偿与市场手段,火电机组仅会选择最为经济的出力方式 1,此方式下该区域电网基本没有调峰裕度,调峰盈余为 39 MW;然而在合理的经济激励机制下,火电机组可以以方式 2 或方式 3 运行,其调峰盈余分别为 1248 MW 和 2456 MW,此部分调峰盈余可通过跨省发电权交易实现风电跨省消纳。

2.2 风电接纳能力测算

参考东北调峰平衡情况,对 2015 年风电适度参与调峰时东北电网接纳能力进行研究(方法见图 1)。风电参与调峰的方法为:在负荷高峰时段安排保证容量的风电出力参与电力平衡,在负荷低谷时段考虑风电有效出力的容量,对少数风电尖峰出力进行适当限制。

保证容量定义为:把负荷高峰时段全网风电出力的累积概率从大到小排序,在某一保证率(如 95%)下全网风电的出力。有效出力定义为:将负荷低谷时段的全网风电出力的累积概率从小到大排序,抛除某些较小概率(如 5%)的极端情况下全网风电的出力。

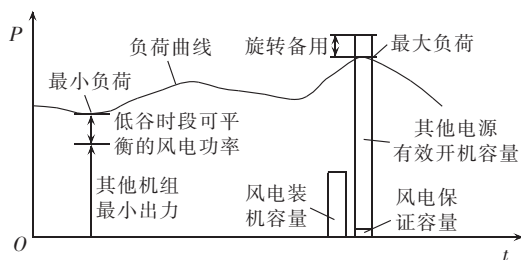


图 1 风电参与系统电力平衡及调峰平衡示意图

Fig.1 Schematic diagram of power balance and peak regulation balance with wind power

风电保证容量主要用于衡量在负荷高峰时段风电可为系统提供的有效容量;风电有效出力主要用于衡量在负荷低谷时段风电大发时对系统的调峰容量需求。

通过统计分析,该区域电网的保证容量为风电总装机容量的 2.2%,有效出力为风电总装机容量的 34%。

风电适度参与调峰时,东北电网 2015 年可接纳风电装机容量结果为:方式 1 下可接纳风电的容量为 114 MW;方式 2 下可接纳风电的容量为 3668 MW;方式 3 下可接纳风电的容量为 7222 MW。

当前吉林、蒙东等省区冬季供热期的调峰能力已接近底线,负荷低谷时期存在大量弃风。而在上述 3 种方式下,随着火电机组调峰深度的增加,东北电网的调峰能力有较大幅度的提高,接纳风电的容量显著提高,系统有能力接纳这部分弃风。但是火电机组会因为调峰深度的增加而降低其运行的经济性。因此,如果能够引入风电跨省交易市场,促使吉林、蒙东负荷低谷时期弃掉的风电跨省消纳出去,并且使参与调峰的发电企业得到合理的经济补偿,就能够调动发电企业参与深度调峰的积极性,在调峰困难时期达到其设计最小出力,增加风电的消纳能力。

3 风电跨省消纳与交易的市场外部经济影响分析

电网接纳风电的能力受到电源、系统负荷特性和电网安全约束等因素制约,属于固有特性,是一个技术问题;而电网实际消纳风电的多少,不仅受到其接纳能力的制约,还要受到风电的外部不经济性的制约。

3.1 对送电省电力企业的经济影响

风电跨省消纳将使送端电网中的其他发电机组外送电的机会减少,出现部分线路输电阻塞,可能导致常规发电机组中有些机组发电量比原计划发电量降低。风电企业可以减少弃风,增加风电发电带来的收益。

3.2 对受电省电力企业的经济影响

跨省消纳风电,受电省火电机组由于减少了发电利用小时数并承担了额外的调峰任务,其发电收

益以及发电成本都会受到较大的影响。同时,受端电网还可能会增加电压、频率控制,调峰,旋转备用等辅助服务的费用。

a. 对发电企业的发电收益影响。风电跨省消纳会导致受电省发电企业的整体发电电量下降,发电收益减少,收益减少量=减少的发电电量×上网电价。

b. 对发电企业的发电成本影响。由于消纳风电,调峰机组需要增加调峰,受电省火电机组由于增加调峰量会造成燃料成本和启停成本的增加、机组寿命的缩短和维修成本的增加。

3.3 对地方经济、税收和节能减排的影响

风电的投资建设对当地的经济拉动和税收收入都有积极的影响,但对于风电受电省而言,风电跨省送入,减少了本省火电机组的发电量进而减少了受电省的发电企业上缴的相关税费。

单纯地从节能减排指标统计来看,风电是清洁能源,风电跨省消纳,有利于减少受电省的碳排放总量而且不会增加送电省的碳排放量,有助于受电省完成当年的节能减排指标。

4 促进风电跨省消纳与交易的调节市场

风电跨省交易的中长期电量通过负荷低谷时期的跨省发电权交易实现,而风电的间歇性以及风电的难以预测性所导致的发电计划偏差需要由调节市场来平衡。调节市场建立的目的是使电力调度机构能够按照收到的增减出力报价,调整发电出力,从而在保证系统电力平衡和安全运行的前提下最大限度地消纳风电。

4.1 风电跨省调节市场的交易主体、交易形式

风电跨省调节市场的交易主体为已进入商业化运营的火电机组和风电机组。考虑调节市场平衡电力电量的特性,风电跨省调节市场的交易形式采用集中竞价。

4.2 调节市场交易组织

a. 风电跨省调节市场交易主体中的发电企业,根据各自机组的发电出力情况、已签订的发电合同以及各自的报价策略,在交易进行数小时前,向各省(区)调度中心与交易中心申报可用上调出力范围及上调价格和可用下调出力范围及下调价格。

各省(区)电力公司分别负责向跨省电力市场交易平台申报汇总后的本省(区)调节市场交易信息(包括机组名称、电量、价格和时段等)。

b. 跨省电力交易中心接收申报数据,校核报价数据是否有效。

c. 各省(区)调度中心首先根据系统在下一个(或几个)调度时段初总的不平衡量,决定启用上调机组还是下调机组;根据机组报价排序进行调度(上

调机组出力时,按照机组上调出力报价由低到高的顺序选择调度;下调机组出力时,按照机组下调出力报价由高到低的顺序选择调度),直到满足不平衡量。

d. 各区域电力交易中心制定调节市场的交易计划,并交由各省电力公司分别负责各自调度范围内的电厂参与区域跨省调节市场交易电量的约束校核,安全校正无误后实施交易。对于调节市场每个交易时段,调节市场交易计划的调整都基于原有的调度计划。

e. 每个交易周期完成后,在调节市场交易平台发布每段报价信息(包括上调/下调出力交易主体名称、上调/下调出力电量、上调/下调出力电价等内容),每笔成交信息(包括成交双方主体名称、成交电量、成交电价等内容),成交的每个发电企业出让电量、受让电量总和及加权平均成交价格。

f. 在调节交易时段平衡调度时,各网、省(区)电力调度与通信中心进行未来一个(或几个)调度时段的超短期负荷预测,为下一时段提供参考依据。

4.3 调节市场结算机制

调节市场结算机制主要用来确定调节市场结算电价及调节电量。主要包括两部分:一是对被调度中心接受的上调/下调电量进行结算;二是对机组在该时段合同电量与实际发电量不相符的不平衡量进行结算,所有市场参与者偏离计划的不平衡量都要被收取相应的费用,以分担电网公司为调节市场所付出的调节费用。

目前调节市场的电价机制主要有 3 种:按统一的边际上调价格和边际下调价格付费;按一机一价定价原则,参与调节的机组以报价作为结算价格;按节点边际电价结算(节点边际电价一般为发电边际成本、输电阻塞费用、边际网损费用的代数和)。

由于下调出力会使机组收入减少,因此发电企业一般不愿意参加下调出力调度交易。为了鼓励发电企业积极参与下调出力调度交易,在设计调节市场交易的结算规则时,对参与下调出力交易的机组要形成足够的吸引力。

5 含风电系统的调节市场实时平衡调度模式、模型及其算例分析

调节市场引入平衡交易后,市场交易间隔更短,结算规则更复杂,报价更频繁,对整个调度自动化系统提出了更高的要求。为保障调节市场的安全经济运行,本文提出以下 2 种调度模式。

a. 购电费用最小调度模式。

购电费用最小调度模式就是在保障电力系统安全运行的情况下,使电力系统的购电费用最小,充分考虑系统的经济性。

b. 平衡调节相对偏差量最小调度模式。

平衡调整计划以日前发电调度计划确定的机组功率分配方案为基准,以系统平衡调节的相对偏差量最小为目标函数,尽可能地让各机组按照预测发电功率发电,使其分配到的调整电量尽可能保持一致,更侧重系统的安全性。

5.1 含风电系统的调节市场实时平衡调度模型

实时平衡电量调度模型以保证电力电量平衡为原则,针对实际负荷、机组实际发电量与基础电量计划的偏差,以系统购电费用最小化或以相对于日前发电调度计划的有功功率调整量最小为优化目标。本文参照文献[15]的方法,对模型的目标函数及约束条件进行线性化处理。

5.1.1 目标函数

a. 系统购电费用最小。

$$\min F_1 = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T v_{i,t} (\alpha_{i,t} \Delta p_{i,t}^u + \beta_{i,t} \Delta p_{i,t}^d) \quad (1)$$

其中, I 为机组数; T 为实时阶段的优化时段数; $\alpha_{i,t}$ 、 $\beta_{i,t}$ 分别为机组 i 在时段 t 的上调、下调出力报价; $\Delta p_{i,t}^u$ 、 $\Delta p_{i,t}^d$ 分别为机组 i 在时段 t 的上调、下调电量; $v_{i,t}$ 为机组 i 在时段 t 的运行状态,根据日前机组组合计划确定,为已知量。

b. 平衡调节相对偏差量最小。

$$\min F_2 = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T v_{i,t} |p_{i,t} - p_{i,t}^0| \quad (2)$$

$$\delta = p_{i,t}^0 / \sum_{i=1}^I p_{i,t}^0 \quad (3)$$

其中, $p_{i,t}^0$ 为根据日前发电调度计划确定的机组有功功率,为已知量; δ 为功率调整参数,表征各机组的调整电量与其日计划电量成正比。

5.1.2 约束条件

$$\sum_{i=1}^I p_{i,t} + P_{w,t} = D_t' \quad (4)$$

$$v_{i,t} \underline{P}_i \leq p_{i,t} \leq v_{i,t} \bar{P}_i \quad (5)$$

$$\begin{cases} p_{i,t} - p_{i,t-1} \leq R_i^u v_{i,t-1} + S_i^u (v_{i,t} - v_{i,t-1}) + \bar{P}_i (1 - v_{i,t}) \\ p_{i,t-1} - p_{i,t} \leq R_i^d v_{i,t} + S_i^d (v_{i,t-1} - v_{i,t}) + \bar{P}_i (1 - v_{i,t-1}) \end{cases} \quad (6)$$

$$0 \leq P_{w,t} \leq P_{w,t}^* \quad (7)$$

其中, D_t' 为在实时阶段中 t 时段的系统负荷需求; $\underline{P}_i$ 、 $\bar{P}_i$ 为机组 i 的最小和最大技术出力; R_i^u 、 R_i^d 为机组 i 的运行上、下坡限制; S_i^u 为机组 i 启动爬坡限制; S_i^d 为机组 i 停机爬坡限制; $P_{w,t}$ 为时段 t 风电场实际被调用的风电总量; $P_{w,t}^*$ 为时段 t 风电场预测可被调度的风电总量; $t=1, 2, \dots, T$ 。

约束条件中,式(3)表示系统实时功率平衡约束,式(4)表示机组容量限制约束,式(5)表示机组爬坡限制约束,式(6)表示风电机组出力约束。

5.2 算例分析

2 种调度模式对于系统经济性和安全性各有侧

重,调度员可根据系统实际运行情况选用合适的调度模式。由于调节市场属于超短期调度范畴,因此本文选取平衡调节相对偏差量最小调度模式,针对区域电网内某含 8 个火电厂的地区在 4 月 15 日 04:00 的日前发电功率计划进行实时平衡调度算例分析。算例通过 GAMS 平台调用商用混合整数线性规划求解器 CPLEX 进行求解。

调度中心根据风电的实际出力情况下达相应的实时调整电量要求,本文设定:上调区内日前计划发电量的 2% 和下调区内日前计划发电量的 2% 这 2 种情况。实时平衡调整计划结果如表 1 所示。

表 1 某地区 4 月 15 日 04:00 实时平衡调整计划
Tab.1 Real-time balance regulation schedule of an area at 4 am,15th, April

机组	发电容量/MW		
	日前计划	上调 2%	下调 2%
F ₁ G ₁	134	137	132
F ₂ G ₃	134	138	132
F ₂ G ₄	134	138	132
F ₃ G ₄	100	100	98
F ₄ G ₁	197	200	193
F ₅ G ₂	103	105	101
F ₆ G ₄	153	156	150
F ₇	336	344	329
F ₈	296	303	290

注:F 表示电厂,G 表示机组,如 F₁G₁ 表示电厂 1 的 1 号机组。

图 2 为各机组调整电量与日前计划电量之间的关系,其横轴 A 至 I 对应表 1 中从上到下 9 个机组,其中图 2(b)为减出力的绝对值。从图中可知,电厂

3 的 4 号机组和电厂 4 的 1 号机组受机组最大技术出力约束影响,上调电量受到一定的限制,电厂 1 的 1 号机组和电厂 2 的 3、4 号机组受机组最小技术出力限制,下调电量受到限制,其他电厂调整电量均与日前计划电量成正比,完成了相应的实时平衡调整电量要求,验证了模型的有效性。

6 结论

本文针对吉林、蒙东等地的大量风电存在无法本地消纳的问题,分析了风电跨省消纳所面临的技术和经济制约问题。通过对东北区域电网的风电接纳能力分析以及风电跨省消纳的外部经济影响分析,提出了运用市场手段解决的路径,即风电的中长期电量通过风电跨省发电权交易电量实现,短期电量和发电计划的偏差通过风电跨省调节市场来实现平衡。本文重点设计了调节市场的交易主体和形式、交易组织流程、价格和结算机制,并提出了 2 种适用于调节市场的调度模式和模型。通过调峰平衡分析与实时平衡调度算例分析验证了本文所提方法与模型的可行性。

参考文献:

[1] 孙亮. 大规模风电并网条件下提高电力系统调峰能力的研究 [D]. 大连:大连理工大学,2010.
SUN Liang. Research on improving the capacity of peak regulation of power system with large scale wind power penetration [D]. Dalian:Dalian University of Technology,2010.

[2] 孙荣富,张涛,梁吉. 电网接纳风电能力的评估及应用[J]. 电力系统自动化,2011,35(4):70-76.
SUN Rongfu,ZHANG Tao,LIANG Ji. Evaluation and application of wind power integration capacity in power grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(4):70-76.

[3] 张宏宇,印永华,申洪,等. 大规模风电接入后的系统调峰充裕性评估[J]. 中国电机工程学报,2011,31(22):26-31.
ZHANG Hongyu,YIN Yonghua,SHEN Hong,et al. Peak-load regulating adequacy evaluation associated with large-scale wind power integration[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(22):26-31.

[4] 杨宏,刘建新,苑津莎. 风电系统中常规机组负调峰能力研究[J]. 中国电机工程学报,2010,30(16):26-31.
YANG Hong,LIU Jianxin,YUAN Jinsha. Research of peak load regulation of conventional generators in wind power grid [J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(16):26-31.

[5] 张宁,周天睿,段长刚,等. 大规模风电接入对电力系统调峰的影响[J]. 电网技术,2010,30(1):152-158.
ZHANG Ning,ZHOU Tianrui,DUAN Changgang,et al. Impact of large-scale wind farm connecting with power grid on peak load regulation demand[J]. Power System Technology,2010,30(1):152-158.

[6] 袁铁江,晁勤,李义岩,等. 大规模风电并网电力系统经济调度中风电场出力的短期预测模型[J]. 中国电机工程学报,2010,30(13):23-27.

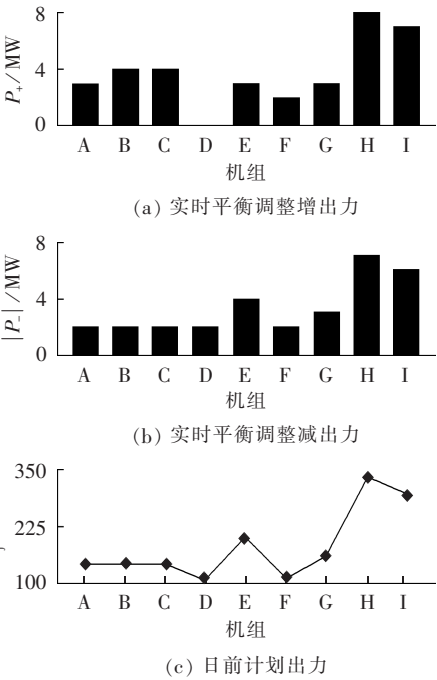


图 2 实时调整出力与日前计划出力之间的关系
Fig.2 Relationship between power of real-time regulation schedule and power of day-ahead schedule

- YUAN Tiejiang, CHAO Qin, LI Yiyang, et al. Short-term wind power output forecasting model for economic dispatch of power system incorporating large-scale wind power[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(13): 23-27.
- [7] 周玮, 彭昱, 孙辉, 等. 含风电场的电力系统动态经济调度[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(25): 13-18.
- ZHOU Wei, PENG Yu, SUN Hui, et al. Dynamic economic dispatch in wind power integrated system[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(25): 13-18.
- [8] 王兴, 宋永华, 徐贵光. 英国电力市场模式中的平衡调度机制[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(12): 4-8.
- WANG Xing, SONG Yonghua, XU Guiguang. The balancing mechanism of the new electricity trading arrangement in UK[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(12): 4-8.
- [9] MIELCZARSKI W, WIDJAJA M. Analysis of bids and re-bids of generators in the Australian national electricity market[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(3): 833-838.
- [10] CHRISTIE R D, WANGENSTEEN I. The energy market in Norway and Sweden: introduction[J]. IEEE Power Engineering Review, 1998, 18(2): 44-45.
- [11] 史连军, 韩放. 北欧四国的电力交易与电力市场运行[J]. 国际电力, 2000(2): 4-9.
- SHI Lianjun, HAN Fang. Nordic power market and its operation[J]. International Electricity, 2000(2): 4-9.
- [12] 王永福, 张伯明, 孙宏斌, 等. 国外平衡机制介绍及建设我国实时平衡市场的建议[J]. 电网技术, 2003, 27(9): 10-13.
- WANG Yongfu, ZHANG Boming, SUN Hongbin, et al. An introduction to foreign balancing market mechanism and suggestions on constructing real-time balancing market in China[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 10-13.
- [13] 尚金成, 程满, 周颢英, 等. 电力实时平衡调度交易市场运作机制及模型的研究[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(17): 28-35.
- SHANG Jincheng, CHENG Man, ZHOU Jieying, et al. Study on operation mechanism and model of electric power real-time balancing-dispatching & trading market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(17): 28-35.
- [14] 周劼英. 电力市场环境下的实时优化调度的研究[D]. 北京: 清华大学, 2005.
- ZHOU Jieying. Study on the real-time optimal dispatch in deregulated environment[D]. Beijing: Tsinghua University, 2005.
- [15] CARRIÓN M, ARROYO J M. A computationally efficient mixed-integer linear formulation for the thermal unit commitment problem[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(3): 1371-1378.

作者简介:

李 丰(1987-), 男, 山西临汾人, 博士研究生, 从事电力系统优化运行、电力市场方面的研究工作(E-mail: lifeng0327@gmail.com);

张粒子(1963-), 女, 辽宁鞍山人, 教授, 博士研究生导师, 博士, 从事电力系统分析和电力经济等方面的研究工作。

Accommodation and transaction mechanism of transprovincial large-scale wind power

LI Feng, ZHANG Lizi

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: The wind power integration capacity of Northeast Power Grid and the external non-economy of transprovincial wind power accommodation are analyzed in technical and economical view respectively, which shows that, though the grid has the ability to accommodate the wind power, the deeper peak regulation may increase the cost of thermal units. A wind power transprovincial accommodation and transaction mechanism is put forward; the medium-term and long-term wind power quantity can be achieved by carrying out the generation rights transactions during low load period while the generation plan deviation can be balanced by the regulation market. The transaction form, organizational process, clearing mechanism and its scheduling model of regulation market are designed. The effectiveness of the proposed mechanism is verified by the peak regulation balance analysis and the real-time balanced scheduling analysis for a case.

Key words: wind power; wind power integration capacity; electricity market; regulation market; models; transaction