

电网非常规调峰与弃风协调调度方法

葛维春

(国网辽宁省电力有限公司, 沈阳 110006)

摘 要: 研究火电机组非常规调峰策略,提出电网非常规调峰裕度指标;分析电网非常规调峰能力,构建非常规调峰发生时间序列计算方法,建立非常规调峰与电制热储热负荷相关性、非常规调峰与弃风相关性以及非常规调峰、电制热储热和弃风的相关性模型。通过一个省级电网实际运行数据分析,表明非常规调峰对电网消纳弃风作用显著,非常规调峰与弃风、电制热储热负荷具有较强的相关性。

关键词: 风电消纳; 风电; 调度; 非常规调峰; 弃风; 电制热储热负荷

中图分类号: TM732

文献标识码: A

0 引 言

电网消纳高比例清洁能源困难^[1],主要是电网缺乏足够的灵活调节能力,特别是北方地区进入冬季,大量热电机运行大幅降低电网的灵活调节能力^[2]。为此,各热电厂在辅助服务市场激励下,开展各种灵活性改造。改造后的热电联产机组下调能力显著提高^[3],为此定义在省级电网出现非常规调峰的概念,非常规调峰策略、对电网作用以及与其他灵活调节技术的相关性研究的不够,无法支撑对弃风的有效消纳。文献[4]以实际弃风小时电量为基础,提出各种风力发电总和、弃风电量总和以及弃风率和弃风电量占比模型,分析重要季节、重要时间段弃风率和弃风电量占比,为有针对性消纳弃风电量提供定量技术支撑。文献[5]根据风力发电和弃风电量实际历史数据,提出风力发电应发电量计算方法,构建风力发电和弃风过程的评估指标体系,验证了风力发电和弃风是一个过程,不同过程的最大电力和电量也不同,对认知风力发电特性、掌握弃风规律有显著作用。文献[6]提出水电、火电、可时移负荷、电池储能、电制热储热和核电等多种能源以及联络线、频率综合调节模型。通过梳理运行特性将电网运行过程划分为正常调节域、异常调节域和紧急控制域,将火电机组非常规调峰划入异常调节域;构建了电网灵活调节预度计算及其监

测方法,为电网运行监视和控制提供依据,文中提到非常规调峰,并将其定义为已知量,并未进一步分析。文献[7]通过电锅炉增大负荷侧用电提高风电消纳能力。以系统总经济成本最小和弃风量最少为目标函数,建立含热电机、火电机、风电机、储热装置以及电锅炉在内的多目标风电消纳协调调度模型,研究储热装置和电锅炉的联合调度,进一步验证了储热装置和电锅炉对风电消纳的促进作用,证明仅研究消纳风电建设储热和电锅炉是不够的,应为消纳弃风建立储热和电锅炉。文献[8]在目标函数中引入柔性负荷响应的非线性成本和碳排放补偿成本,建立碳交易收益最大和综合发电成本最低的多目标模型,并增加柔性负荷约束条件。柔性负荷本身就是电网灵活调节对象,如电制热储热负荷就是一种柔性负荷,柔性负荷与电网调度协调是关键。文献[9]给出电力系统灵活性的概念及其特征,提出多时间尺度灵活性供给-需求平衡的通用数学方法和灵活性度量指标;建立灵活性裕度的概率模型,阐明曲线平移类、曲线整形类和综合类3种类型灵活性增加途径,并未针对非常规调峰带给电网的灵活性进行分析。文献[10]从解耦热电耦合约束、提升电力系统调节能力角度出发,提出基于含储热热电联产机组与电锅炉的弃风消纳协调调度模型,提出极限消纳弃风电量的电锅炉供热量计算方法,对比了储热装置不同工作方式以及含储

收稿日期: 2018-07-03

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFB0902100); 国家自然科学基金(U1766204)

通信作者: 葛维春(1961—), 男, 博士、高级工程师, 主要从事电力系统自动化与弃风电消纳方面的研究。13804012589@126.com

热热电联产与电锅炉协调供热时的经济性, 表明的是定性化说明储热提高电网的灵活性。

上述研究均为将电网作为主体, 即使研究了电网灵活性^[11], 但仍缺乏电网如何运行这些灵活性消纳弃风。本文依据电网非常规调峰运行特点^[12], 深入研究非常规调峰运行策略、非常规调峰裕度指标以及非常规调峰与电制热储热负荷、弃风的相关性。通过实例表明, 非常规调峰对消纳弃风的作用和意义显著。

1 电网非常规调峰策略

1.1 火电非常规调峰计算方法

北方地区冬季供暖期, 由于热电联产机组“以热定电”, 大幅降低电网调峰能力^[13]。为此, 在辅助服务市场激励下, 各热电厂不同程度地针对供暖进行了灵活性改造, 极大提高了供暖期热电机组的调峰能力。

为调动各热电厂进行非常规调峰, 火电厂根据机组自身实际运行情况, 实时向调度填报机组调峰的上下限, 火电 AGC 系统根据发电厂填报数据每 5 分钟自动修改调峰上下限, 作为火电 AGC 系统向机组下达调整指令的依据。当前火电 AGC 定值分为 3 档, 原则上第 1 档下限为火电机组容量的 50%; 第 2 档下限为火电机组容量的 60%; 第 3 档为大于火电机组容量的 60%。如果发电厂填报的调峰下限高于某档位, 以填报下限为准。如果低于第 3 档位, 则以电厂填报下限为准。火电机组第 1、第 2 和第 3 档位调整出力 $P_h(1)$ 、 $P_h(2)$ 和 $P_h(3)$, 如式(1)所示:

$$P_h(K) = \sum_{I=1}^{N_h} (1 - \delta(K)) \times P_{hc}(I), \quad K=1, 2, 3 \quad (1)$$

式中, N_h ——火电机组数量; $\delta(K)$ ——机组调节下限, 对于第 1 档, 取为 50%, 第 2 档为 40%, 第 3 档小于 40%; $P_{hc}(I)$ ——第 I 台机组额定出力。

在供热期, 当火电机组深度调峰能力依据次序全部调用完毕, 在限风电之前可将安装电制热储热装置全部投入, 但发电厂上网电力不能为负, 也就是不能从电网受电, 具体如式(2)所示:

$$P_{hc}(k) = \sum_{I=1}^{N_k} P_{hc}(I) - P_h(k) \geq 0, \quad k=1, \dots, N_c \quad (2)$$

式中, $P_{hc}(k)$ ——有电制热储热装置的第 k 座热电厂的上网电力; N_k ——第 k 座热电厂安装电制热储热装置的单元数, 一般 $k=4$; $P_{hc}(I)$ ——第 I 台电制

热储热装置的出力; $P_h(k)$ ——第 k 座热电厂的总发电出力; N_c ——安装电制热储热装置的发电厂数。

非常规调峰限值统计, 以权威机构核准的最小技术出力为准, 低于核准的最小技术出力则认为该机组进入非常规调峰, 具体表达式如式(3)表示:

$$P_{hf} = \sum_{I=1}^{N_h} (P_{hc}(I) - P_h(I)), \quad P_{hc}(I) \geq P_h(I) \quad (3)$$

式中, P_{hf} ——电网非常规调峰总出力; $P_{hc}(I)$ ——第 I 台机组核定出力。

非常规调峰幅值越大, 电网灵活调节能力越强, 消纳弃风能力越强。这里需要解释的是: 权威机构核准的最小技术出力, 即非常规调峰的基准值, 如果机组出力大于基准值, 该机组不参加计算, 只有机组出力小于基准值时, 与机组出力的差才计入非常规调峰。

1.2 电网非常规调峰裕度表示方法

通常情况下, 电网通过正常调整火电, 即可保证电网安全稳定运行, 在风电大发时, 再通过非常规调峰, 增加电网的灵活调节能力, 仍能保证电网安全稳定运行的同时能更多地消纳弃风。

电网调度为了掌握调节能力, 定义非常规调峰裕度 P_f , 可由式(4)表示:

$$P_f = P_{hf} \quad (4)$$

P_{hf} 一方面是执行策略, 一方面是结算依据, 执行策略执行的结果是非常规调峰电量, 结算依据是根据辅助服务市场按非常规电量评估, 非常规调峰电量越大, 获得的收益越多。

2 非常规调峰能力分析

非常规调峰是在电力市场驱动下, 各发电集团采取各种方式提高其发电机组的调峰能力, 是在新的电力市场环境下的积极举措, 对电网提高灵活调节能力、消纳弃风效果显著。

2.1 非常规调峰各时段电量计算方法

为分析非常规调峰效果, 根据历史数据, 建立分时段计算非常规调峰电量计算模型, 计算一个年度非常规调峰电量 Q_{hmf} 如式(5)所示:

$$Q_{hmf} = \sum_{I=1}^N \sum_{J=1}^M (P_{hmf}(I, J)) \quad (5)$$

式中, N ——一年中的天数; M ——一天 24 h; $P_{hmf}(I, J)$ ——第 I 天第 J 小时非常规调峰小时电力。

一个年度取暖季非常规调峰电量 Q_{hmf} 计算如

式(6)所示:

$$Q_{\text{hmf}} = \sum_{I=1}^{N_n} \sum_{J=1}^M (P_{\text{hmf}}(I, J)) \quad (6)$$

式中, N_n ——取暖季一年的天数; $P_{\text{hmf}}(I, J)$ ——第 I 天第 J 小时取暖季非常规调峰小时电力。

一个月非常规调峰电量 Q_{hyf} 计算如式(7)所示:

$$Q_{\text{hyf}}(K_k) = \sum_{I=1}^L \sum_{J=1}^M (P_{\text{hyf}}(I, J, K_k)), K_k = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad (7)$$

式中, L ——一个月天数; $P_{\text{hyf}}(I, J, K_k)$ ——第 K_k 月、第 I 天、第 J 小时非常规调峰小时电力。

一年中, 每天任一小时的非常规调峰电量 Q_{huf} 计算如式(8)所示:

$$Q_{\text{huf}}(J) = \sum_{I=1}^M (P_{\text{huf}}(I, J)), J = 1, 2, 3, \dots, 24 \quad (8)$$

式中, $P_{\text{huf}}(I, J)$ ——第 I 天第 J 小时非常规调峰小时电力。

已知 P_{huf} 、 P_{hmf} 、 P_{hyf} 、 P_{hmf} 这 4 个数据即可分析非常规调峰电量的运行规律。

2.2 非常规调峰数据分析

根据式(5)计算年总的非常规调峰电量后, 即可计算年平均非常规调峰电量 Q_{hmf} , 如式(9)所示; 还可求出最大小时非常规调峰电力 P_{hmfz} , 如式(10)所示。

$$Q_{\text{hmf}} = Q_{\text{huf}}/365 = \sum_{I=1}^N \sum_{J=1}^M (P_{\text{huf}}(I, J))/365 \quad (9)$$

$$P_{\text{hmfz}} = \max_{(I, J)} (P_{\text{huf}}(I, J)) \quad (10)$$

最大小时非常规调峰电力实际意义重大, 可作为正常调峰极值参考, 投入小时数 T 如式(11)和式(12)所示:

$$T(I, J) = \begin{cases} 1, & P_{\text{huf}}(I, J) \neq 0 \\ 0, & P_{\text{huf}}(I, J) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

$$T = \sum_{I=1}^N \sum_{J=1}^M (T(I, J)) \quad (12)$$

通过投入小时数可评估电网负荷预测是否准确、机组组合安排是否合理。

2.3 非常规调峰和电制热储热负荷相关性分析

由于非常规调峰只是为了提高电网的调峰能力, 同电制热储热负荷建设的目的不同——电制热储热负荷只为提高电网消纳弃风能力配置。所以研究非常规调峰与电制热储热负荷的关系显得十分必要。电网电制热储热负荷投入时间序列可由 $C(I, J)$ 表示, 电网出现非常规调峰时间序列可由 $F(I, J)$ 表示, 同时出现电制热储热负荷和非常规调

峰时间序列有 $CF(I, J)$ 表示; 电制热储热负荷投入时间序列可由式(13)表示。出现非常规调峰时间序列可由式(14)表示, 同时出现电制热储热负荷和非常规调峰时间序列由式(15)表示:

$$C(I, J) = \begin{cases} 1, & P_{\text{hc}}(I, J) > 0 \\ 0, & P_{\text{hc}}(I, J) \leq 0 \end{cases} \quad (13)$$

$$F(I, J) = \begin{cases} 1, & P_{\text{huf}}(I, J) > 0 \\ 0, & P_{\text{huf}}(I, J) \leq 0 \end{cases} \quad (14)$$

$C(I, J)$ 和 $F(I, J)$ 同时出现即为其“与”的关系为:

$$CF(I, J) = C(I, J) \cap F(I, J) \quad (15)$$

式(14)还可表达为:

$$F_1(I, J) = \begin{cases} 1, & P_{\text{huf}}(I, J) < P_{\text{hmfM}} \\ 0, & P_{\text{huf}}(I, J) \geq P_{\text{hmfM}} \end{cases} \quad (16)$$

式中, P_{hmfM} ——一个限值, 表明非常规调峰达到极限状态; $F_1(I, J)$ ——非常规调峰小于这个限值时的时间序列, 更具实际意义。

式(15)还可表达为:

$$CF(I, J) = C(I, J) \cap F_1(I, J) \quad (17)$$

根据非常规调峰的实际意义, 其投入时序远远大于储热时序, 可由式(18)表示:

$$CF(I, J) \approx C(I, J) < F_1(I, J) \quad (18)$$

2.4 非常规调峰和弃风相关性分析

弃风对于电网是极限运行状态, 此时的非常规调峰几乎处于极限状态, 电制热储热负荷也应全部投入运行, 为表达三者之间的运行关系, 可用式(19)表示弃风时间序列:

$$W_q(I, J) = \begin{cases} 1, & P_{\text{qw}}(I, J) > 0 \\ 0, & P_{\text{qw}}(I, J) = 0 \end{cases} \quad (19)$$

则弃风与非常规调峰同时出现的时间序列用 $WF(I, J)$ 表示, 如式(20)所示:

还可将 $F(I, J)$ 用 $F_1(I, J)$ 代替, 如式(21)所示:

$$WF(I, J) = W_q(I, J) \cap F(I, J) \quad (20)$$

$$WF(I, J) = W_q(I, J) \cap F_1(I, J) \quad (21)$$

2.5 非常规调峰、电制热储热负荷和弃风相关性分析

非常规调峰、电制热储热负荷与弃风必然有极强的相关性, 因为电制热储热负荷是针对弃风的, 而非常规调峰针对的是机组的调峰能力, 同样, 机组调峰能力提升, 消纳弃风能力也提升。为充分展示电制热储热负荷、非常规调峰对弃风的有效作

用,可用式(22)表达三者同时投入时间序列 $WCF(I,J)$:

$$WCF(I,J)=C(I,J)\cap F_1(I,J)\cap W_q(I,J) \quad (22)$$

为体现三者的相关性,还可计算电制热储热负荷和弃风的相关性 $WC(I,J)$,如式(23)所示:

$$WC(I,J)=C(I,J)\cap W_q(I,J) \quad (23)$$

电制热储热负荷与弃风电相关性也十分有意义。

3 数值分析

以某省 2017 年和 2018 年前 5 个月运行数据为例,即已知非常规调峰小时电力、弃风小时电力、电制热储热负荷小时电力。按文中的计算公

式进行计算。表 1 给出年度非常规调峰和取暖期非常规调峰总加、年平均非常规调峰和最大非常规调峰电量电力。从表 1 可看出,年度非常规调峰总加中 2018 年前 5 个月比 2017 年全年还多(几乎 3 倍),说明各发电机组在 2017 年灵活性改造效果非常明显;取暖季非常规调峰电量也大幅增加(也几乎为 3 倍),而取暖季非常规调峰占比达到约 90%,占绝大多数,说明机组灵活性改造主要针对取暖季。年平均非常规调峰电量几乎相差 10 倍,最大非常规调峰电力提高几乎 1 倍,表明非常规调峰对提高电网调峰灵活性的作用。非常规调峰最大值出现时间均在中午,此时优先投入的是非常规调峰,而非电制热储热负荷,与电网运行实际相符。

表 1 非常规调峰数据统计表

Table 1 Statistics data of unconventional peak regulation

时间段	非常规/kW	取暖季非常规/kW	取暖季占比/%	最大非常规/kW	年平均/kW	出现的时间
2017 年	1188925	1083940	91.17	2895	3257	2018-02-13,00:00
2018 年前 5 个月	4704602	4103989	87.23	4422	31156	2018-03-01,14:00

图 1 所示为年度按月度非常规调峰电量分布图。从图 1 可看出,2017 年只有 11、12 月份非常规调节量较大,其他时间均较小,说明非常规调峰只在 2017 年末的取暖季开始发挥作用,各台机组改造成效也从 2017 年底开始显现,而且正好是取暖季开始;到 2018 年,非常规调峰电量迅速增加,特别是第一季度,远超 2017 年全年,并且第一季度明显高于 4~5 月份,进一步说明非常规调峰主要针对热电联产机组,针对取暖季。而绝大部分弃风电量又都发生在取暖季,所以热电联产机组灵活性改造,

为电网出现的非常规调峰,大幅提高了电网的灵活调节能力,对弃风消纳效果显著。

图 2 给出了一年每天 24 h 非常规调峰电量分布图。从图 2 可看出,非常规调峰就一天 24 h 而言,电网运行低谷时段较大,而且中午低谷时段也较大,甚至比 21:00、22:00、23:00 还大,这是因为电网运行进入低谷时段,较大容量时移到低谷的大工业负荷投入,抵消正常负荷的下降,这就是电网运行最低低谷时段在 02:00~04:00 之间的原因。

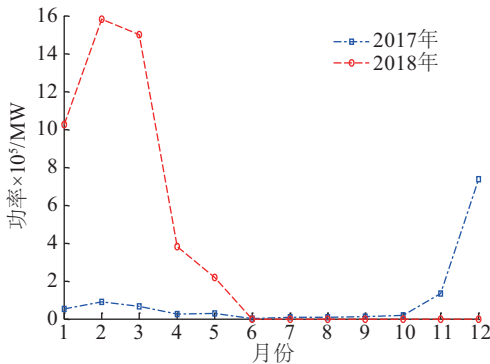


图 1 月度非常规调峰电量分布

Fig. 1 Power distribution of monthly unconventional peak-shaving

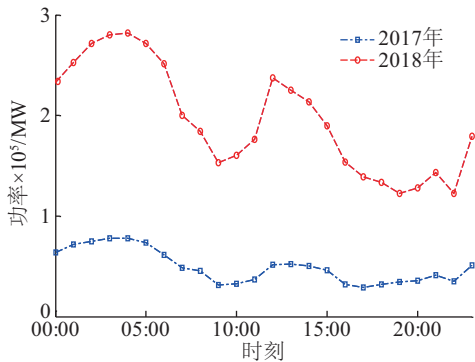


图 2 24 h 非常规调峰电量分布

Fig. 2 Power distribution of 24 hour unconventional peak-shaving

图 3 给出了非常规调峰大于 2000、3000、

4000 MW 的时序与电制热储热负荷投入时序对比图。从图 3 可看出,非常规调峰功率越大,出现的时间越少,非常规调峰功率大于 2000 MW 出现的时间最多,非常规调峰功率大于 4000 MW 出现的时间最少。尤其值得关注的是,电制热储热负荷出现的时间与非常规调峰功率大于 2000 MW 出现的时间十分接近,也就是说,在非常规调峰投入功率达到 2000 MW 时,就需电制热储热负荷投入,还说明非常规调峰功率只有达到 2000 MW,电制热储热负荷投入才有运行空间,否则在电制热储热负荷投入后,电网无需投入非常规调峰就要切除刚刚投入的电制热储热负荷,对电制热储热装置运行安全不利。也说明仅依靠火电机组就可达到 2000 MW 的灵活调峰能力,但超过 2000 MW 后,许多火电机组将达到调节极限,因此需投入电制热储热负荷以提高弃风消纳能力。从图 3 曲线可看出,电网运行在低谷时段,包括中午低谷时段非常规调峰电量投入较大。

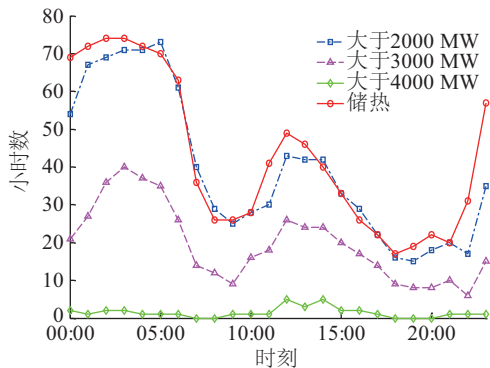


图3 不同非常规调峰调节量与储热投入时序对比
Fig. 3 Time series comparison between different unconventional peak-shaving adjustment amount and heat storage input

图 4 给出了非常规调峰大于 2000、3000、4000 MW 时序与弃风时序的对比图。从图 4 可看出,弃风曲线与大于 3000 MW 非常规调峰曲线在除 00:00~06:00 之间的低谷时段外的时序非常接近,说明当非常规调峰投入达到 3000 MW 及以上时会有弃风出现;反之,在风力发电幅值较大的过程出现时,非常规调峰要超过 3000 MW 才会保证不弃风。这里的 3000 MW 和图 3 的 2000 MW 存在紧密联系,正好差 1000 MW 电制热储热功率,说明电网有 2000 MW 非常规调峰容量,1000 MW 电制热储热负荷容量,至少 3000 MW 的灵活调节能力,对弃风消纳意义重大。

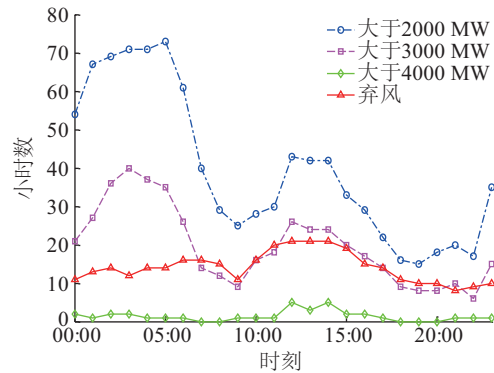


图4 不同非常规调峰调节量与弃风时序对比
Fig. 4 Time series comparison of between different unconventional peak-shaving adjustment amount and abandoned wind

图 5 为电制热储热负荷投入的时序与弃风时序对比图。从图 5 可看出,电制热储热负荷投入时间远超过弃风发生的时间,说明通过电制热储热负荷的投入大幅减少了弃风发生的时间,从电制热储热负荷与弃风同时出现的时间与弃风时间曲线高度重合就可看出,有弃风就一定有电制热储热负荷,有电制热储热负荷不一定有弃风。

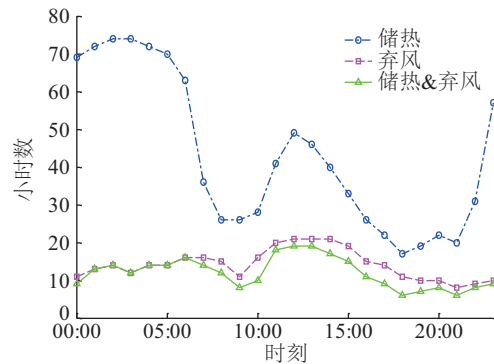


图5 储热投入与弃风时序对比
Fig. 5 Time series comparison between heat storage input and abandoned wind

图 6 为非常规调峰大于 2000、3000、4000 MW 的时序与弃风和电制热储热负荷投入时序的对比图。从图 6 可看出,电制热储热负荷与弃风同时出现的时间与非常规调峰大于 3000 MW 出现时间相吻合,进一步说明非常规调峰 3000 MW 的非常意义。

图 7 为电制热储热负荷、弃风和非常规调峰曲线图。从图 7 可看出,非常规调峰运行曲线与电制热储热负荷运行曲线形状相近,只有在低谷 01:00~04:00 时段,在形状上略有差异,而且非常规调峰功率似乎一直大于电制热储热负荷投入功率一个常

数,这个常数未来需要深入研究,说明非常规调峰功率大于电制热储热负荷功率。从图7还可看出,非常规调峰功率和电制热储热负荷投入功率远远超过弃风功率,再一次证明电制热储热负荷和非常规调峰对弃风消纳的作用。

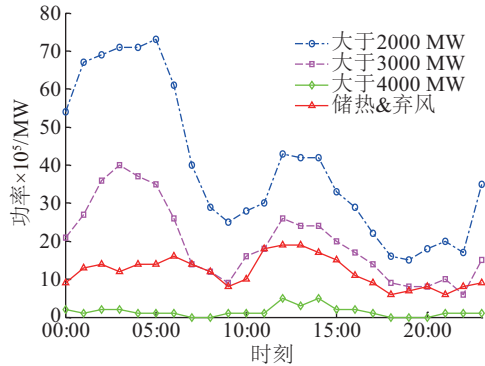


图6 不同非常规调峰调节量与弃风和储热投入时序对比

Fig. 6 Time series comparison between different unconventional peak-shaving adjustment amount, abandoned wind and heat storage input

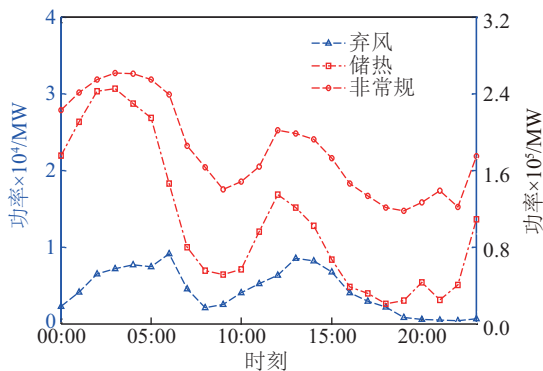


图7 储热、弃风和非常规调峰曲线

Fig. 7 Curve of heat storage, abandoned wind and unconventional peak-shaving

4 结 论

本文基于电网非常规调峰定义,研究电网非常规调峰策略,提出非常规调峰裕度计算方法,进行各时段非常规调峰电量计算方法研究,提出非常规调峰与电制热储热负荷、非常规调峰与弃风以及非常规调峰、电制热储热负荷和弃风相关性分析方法。

通过实例展示2018年前5个月相对2017年非常规调峰能力提高的幅度和小时电量变化趋势。通过不同大小非常规调峰发生时序与电制热储热负荷投入时序、弃风时序对比分析,发现某一非常规调峰

时序曲线与电制热储热负荷时序和弃风时序的相似性;根据非常规调峰曲线与电制热储热负荷曲线趋势相同,表明其对电网消纳清洁能源的作用也相同。非常规调峰计算方法仍需深入研究,非常规调峰与电制热储热负荷的相关性仍需深入研究。

[参考文献]

- [1] 舒印彪, 张智刚, 郭剑波, 等. 新能源消纳关键因素分析及解决措施研究[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(1): 1—9.
- [1] Shu Yinbiao, Zhang Zhigang, Guo Jianbo, et al. Study on key factors and solution of renewable energy accommodation[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(1): 1—9.
- [2] 王耀函, 刘吉臻, 曾德良. 配置储热罐的供热机组运行定值计算[J]. 华北电力大学学报: 自然科学版, 2017, 17(6): 69—74.
- [2] Wang Yaohan, Liu Jizhen, Zeng Deliang. Operation setting calculation of CHP unit equipped with heat accumulator[J]. Journal of North China Electric Power University: Natural Science Edition, 2017, 17(6): 69—74.
- [3] 吕泉, 王海霞, 陈天佑, 等. 考虑风电不确定性的热电厂蓄热罐运行策略[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(14): 23—29.
- [3] Lyu Quan, Wang Haixia, Chen Tianyou, et al. Operation strategies of heat accumulator in combined heat and power plant with uncertain wind power[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(14): 23—29.
- [4] 葛维春. 小时弃风电量的电网弃风电量分析方法[J]. 太阳能学报, 2019, 40(9): 2405—2410.
- [4] Ge Weichun. An analytical method of abandoned wind power capacity for power grid based on hourly wind abandoning power capacity[J]. Acta Energetica Sinica, 2019, 40(9): 2405—2410.
- [5] 葛维春. 一种风力发电过程评价方法[J]. 太阳能学报, 2019, 40(10): 2905—2911.
- [5] Ge Weichun. A method for evaluating process of wind power generation[J]. Acta Energetica Sinica, 2019, 40(10): 2905—2911.
- [6] 葛维春, 刘前卫, 刘富家, 等. 高比例清洁能源电网灵活调节方法[J]. 沈阳工业大学学报, 2018, 40(5): 481—485.
- [6] Ge Weichun, Liu Qianwei, Liu Fujia, et al. Flexible adjustment method for power grid with high-proportion

- clean energy[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2018, 40(5): 481—485.
- [7] 李 虹, 王晓丹, 周晓洁, 等. 基于储热热机组和电锅炉的风电消纳调度模型[J]. 电力科学与工程, 2018, 34(1): 11—17.
- [7] Li Hong, Wang Xiaodan, Zhou Xiaojie, et al. Wind power accommodation dispatching model based on thermoelectric unit with heat storage device and electric boiler[J]. Electric Power Science and Engineering, 2018, 34(1): 11—17.
- [8] 张晓辉, 江 静, 李茂林, 等. 考虑柔性负荷响应的含风电场电力系统多目标经济调度[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(11): 61—67.
- [8] Zhang Xiaohui, Jiang Jing, Li Maolin, et al. Multi-objective economic dispatch of power system with wind farms considering flexible load response[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(11): 61—67.
- [9] 鲁宗相, 李海波, 乔 颖. 高比例可再生能源并网的电力系统灵活性评价与平衡机理[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(1): 9—20.
- [9] Lu Zongxiang, Li Haibo, Qiao Ying. Flexibility evaluation and supply/demand balance principle of power system with high-penetration renewable electricity[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(1): 9—20.
- [10] 崔 杨, 陈 志, 严干贵, 等. 基于含储热热电联产机组与电锅炉的弃风消纳协调调度模型[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(15): 4072—4081.
- [10] Cui Yang, Chen Zhi, Yan Gangui, et al. Coordinated wind power accommodating dispatch model based on electric boiler and CHP with thermal energy storage[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(15): 4072—4081.
- [11] 李海玉, 翟 华. 国内首台 600 MW 直冷机组旁路系统控制策略分析及技术改造方案[J]. 电力设备, 2007, 8(7): 48—51.
- [11] Li Haiyu, Zhai Hua. Control tactics analysis and retrofitting scheme of bypass control system of indigenous first 600 MW direct air cooling generating unit[J]. Electrical Equipment, 2007, 8(7): 48—51.
- [12] 王恺文, 朱全胜, 吕 泉, 等. 计及非常规调峰的省级电网调峰形势评估[J]. 电网技术, 2018, 42(7): 1—9.
- [12] Wang Kaiwen, Zhu Quansheng, Lyu Quan, et al. Situation evaluation of peak regulation of provincial grid considering unconventional peak regulation[J]. Power System Technology, 2018, 42(7): 1—9.
- [13] 戴远航, 陈 磊, 闵 勇, 等. 风电场与含储热的热电联产联合运行的优化调度[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(12): 3470—3479, 3675.
- [13] Dai Yuanhang, Chen Lei, Min Yong, et al. Optimal dispatch for joint operation of wind farm and combined heat and power plant with thermal energy storage[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(12): 3470—3479, 3675.

COORDINATED DISPATCHING METHOD OF UNCONVENTIONAL PEAK-SHAVING AND ABANDONED WIND FOR POWER GRID

Ge Weichun

(State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd., Shenyang 110006, China)

Abstract: This paper studied the unconventional peak-shaving strategy of thermal power units, and proposed the unconventional peaking margin index of power grid. By analyzing the unconventional peak shaving capacity of the power grid, constructed time series calculation method for unconventional peak shaving, and established the correlation models between unconventional peak shaving and electric heating heat storage load, unconventional peak shaving and abandoned wind, unconventional peak shaving, electric heat storage and abandoned wind. Through the analysis of the actual operation data of a provincial power grid, it is shown that unconventional peak shaving has a significant effect on abandoned wind consumption, and unconventional peak shaving has a strong correlation with wind abandonment, electric heating heat storage load.

Keywords: power consumption; wind power; scheduling; unconventional peak-shaving; abandoned wind; electric heating heat storage load