

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.05.016

考虑分布式电源影响的配电网源荷储分层协调控制

程维杰¹, 颜云松², 康明才³, 陈择栖¹, 马伟哲¹, 刘金生¹

(1. 深圳供电局有限公司, 广东 深圳 518000; 2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 211106; 3. 南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094)

摘要:为充分发挥储能系统的快速功率吞吐能力和冷/热负荷的调节作用,促进分布式电源的主动就地消纳,根据可控分布式电源、储能系统、冷/热负荷的多时间尺度互补特性,提出一种源荷储分层协调控制方法。该方法面向冷热电联供型配电网,按“以电定冷热”原则,将调度过程划分为电源层与用户层,并按上下级进行协调优化,从而确定电能实时调度方案以及冷/热能实时调度方案。按照某园区配电网实际情况进行调度仿真及分析,验证源荷储分层协调控制方法的合理性与有效性。调度结果表明,该方法在保证园区重要电负荷供电的同时,最大限度地供应了冷/热能,实现了配电网的协调优化运行以及能源利用方式的精细化、集约化发展。

关键词:分布式电源;源荷储;冷热电联供;分层协调控制;优化调度

中图分类号:TM734

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2020)05-0113-07

0 引言

随着能源匮乏以及环境污染问题的日益严重,开发可再生能源、构建高效的能源供给和利用系统成为未来能源发展的趋势^[1-3]。为此,考虑将新能源发电技术和冷热电联供技术结合,建设含分布式电源的冷热电联供型配电网,促进能源利用可持续发展^[4-6]。在此背景下,针对考虑分布式电源影响的配电网优化调度研究具有十分重要的意义。

目前,国内外学者在配电网优化调度运行理论的研究上已取得不少成果。文献[7]提出了计及需求响应的主动配电网双层优化调度模型,将智能优化算法和传统优化算法相结合求解该调度模型的最优解。文献[8]建立了可调度资源动态调度优先级评估体系,对可调度资源进行协调控制,通过改进粒子群算法对调度模型进行求解,实现了调度成本最小的目标。文献[9]提出了考虑区域自治能力的主动配电网优化调度模型,引用最优条件分解理论实现了模型的分层求解。文献[10]在实现主动配电网稳定运行的基础上,考虑实时电价等因素,引入二次序列规划算法以及网格自适应直接搜索算法进行求解,实现可控资源的充分利用以及运行效益最大化。目前,大多数方法都是从电源侧考虑分布式电源的影响,含分布式电源的冷热电联供系统不仅具备分布式发电能力,还承担配电网内的冷热能供应^[11],而配电网优化调度对于涵盖冷、热、

电、储等多种负荷的配电网研究较少。

基于以上分析,文中充分发挥储能系统的快速功率吞吐能力和冷/热负荷的调节作用,提出一种基于分布式电源影响的源荷储分层控制策略。在引入储能设备的基础上,面向冷热电联供型配电网,按“以电定冷热”原则,将调度过程划分为电源层与用户层,2个层面按上下级分层协调优化,以实现配电网最优化自治。

1 分布式电源对配电网的影响

1.1 分布式电源随机性特性

分布式电源容易受到环境、气候以及其他多种因素的影响,出力并不稳定,分布式电源的任何波动都可能对配电网中的功率平衡有影响^[12-14],因此在调度过程中需要对分布式电源的发电功率进行预测,以保证实时调度过程中的平稳过渡和供电可靠性^[15-16]。

1.2 分布式电源对配电网运行的影响

分布式电源的接入增加了配电网的备用容量,具有削峰填谷的作用。用户向电网购买一定的备用容量,也可利用自己拥有的分布式电源向电力公司售电^[17-19]。在分布式电源影响的配电网中,光伏发电和冷热电联产系统与配电网相结合,冷、热、电能之间存在平衡,冷热负荷由冷热电联产机组和冷热蓄能装置来满足,通过分布式电源满足电力负荷^[20-22]。其中的不确定性主要来自分布式电源和电力负荷,电能供应时必须保证供需平衡,在电源侧加入储能系统,通过保证储能装置的最大充/放电功率满足非计划功率波动幅度的要求,从而起到

收稿日期:2020-01-13;修回日期:2020-03-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61673213);中国南方电网有限责任公司科技项目(090000KK52170077)

稳定电网电压和频率的作用^[23-25]。

2 源荷储分层控制策略

为了促进分布式电源的主动就地消纳,保证电网电压和频率的稳定,在保证重要电负荷供电的同时最大限度供应冷/热能,在调度过程中需要实时调整可控电源和负荷,以保证配电网内供需功率的平衡^[26-28]。基于此,提出一种源荷储分层协调优化的调度方法,下面对其控制策略展开讨论。

2.1 分层控制思路

按照“以电定冷热”的原则,采用了分层控制思路,将调度过程划分为电源层与用户层以实现能源的精细化调度。对于电源层,依据风光发电量及电负荷需求预测计算净电负荷功率,储能元件蓄电池分摊非计划波动功率,其次计算燃气发电机的功率调整范围,最后确定电能实时调度方案。对于用户层,先计算可调度的功率限值,其次由冷/热负荷需求预测数据制定用户层调度策略,从而确定冷热能的实时调度方案,最后计算燃气发电机的调整功率。具体的优化调度思路如图1所示。

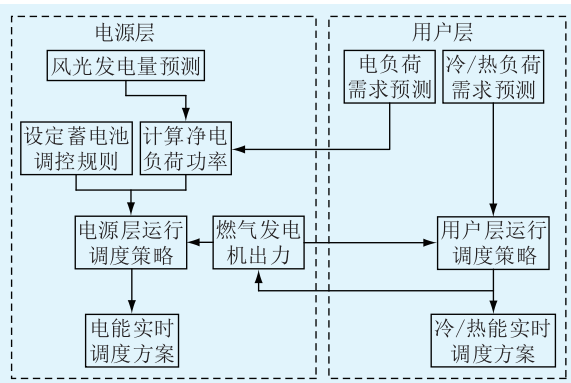


图1 源荷储分层优化运行调度思路示意图

Fig.1 Schematic diagram of optimal operation dispatching of source and charge storage stratification

2.2 电源层

在电源层中,根据未来一个调度时段内的风光发电及电负荷需求预测数据,首先计算净电负荷功率,然后计算燃机的功率调整范围,最后结合储能确定电能当前时段的优化调度方案。

2.2.1 风光发电需求数据预测

风力发电机的输出功率计算如下:

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & v \leq v_{in} \\ P_{WT,N} \frac{v^3 - v_{in}^3}{v_N^3 - v_{in}^3} & v_{in} < v < v_N \\ P_{WT,cap} & v_N \leq v < v_{out} \\ 0 & v \geq v_{out} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $P_{WT,N}$ 为风电机组额定功率; v 为当前风速; v_{in} 为切入风速; v_{out} 为切除风速; v_N 为额定风速。

光伏发电估算功率的计算如下:

$$P_{PV} = f_{PV} P_{PV,cap} G_T / G_{T,STC} [1 + \alpha_p (T_{cell} - T_{cell,STC})] \quad (2)$$

式中: f_{PV} 为光伏阵列的功率降额因数; $P_{PV,cap}$ 为光伏阵列的峰值功率; G_T 为光伏面板实际光照度; $G_{T,STC}$ 为光照强度; α_p 为功率温度系数; T_{cell} 为光伏面板实际温度; $T_{cell,STC}$ 为光伏面板温度。

2.2.2 净电负荷功率的计算

净电负荷功率由重要电负荷需求功率与分布式电源发电出力功率的差值表示,调度时段 t 的净电负荷功率 $P_{L,net,t}$ 计算公式如下:

$$P_{L,net,t} = P_{L,t} - (P_{WT,t} + P_{PV,t}) \quad (3)$$

式中: $P_{L,t}$ 为调度时段 t 的重要电负荷需求功率; $P_{WT,t}$ 为调度时段 t 的风力发电功率; $P_{PV,t}$ 为调度时段 t 的光伏发电功率。

2.2.3 燃气发电机功率调整范围的计算

为保证能量管理系统以及各类控制设备能够正常运行,燃气发电机将空留出一个功率裕量,向管理系统以及控制元件提供电能。同时,燃气发电机将空留出一个联储系统可调度的最小功率,向冷/热能供应系统提供电能。

调度时段 t 的燃气发电机功率调整范围的下限 $P_{GE,min,t}$ 和上限 $P_{GE,max,t}$ 计算公式为:

$$\begin{cases} P_{GE,min,t} = \max\{P_{GE,t-1} - P_{GE,down}, \underline{P}_{GE}\} \\ P_{GE,max,t} = \min\{P_{GE,t-1} + P_{GE,up}, \overline{P}_{GE}\} - P_{control} - P_{Q,Lmin} \end{cases} \quad (4)$$

式中: $P_{GE,t-1}$ 为上一调度时段燃气发电机的基点运行功率; $P_{GE,down}$ 为燃气发电机在调度时段内的最大允许降功率幅度; $P_{GE,up}$ 为燃气发电机在调度时段内的最大允许增功率幅度; \underline{P}_{GE} 为燃气发电机的最

小技术出力; \overline{P}_{GE} 为燃气发电机的最大技术出力; $P_{control}$ 为管理系统及控制元件保持正常工作的电耗功率; $P_{Q,Lmin}$ 为可调度的最小电功率。

2.2.4 蓄电池调控规则

基于配电网中风力发电、光伏发电具有实时波动性的特点,将储能设备蓄电池作为压频控制元件,用于分摊实时非计划波动功率,稳定电网电压和频率。蓄电池功率波动幅度 $\Delta P_{wave,max}$ 表达式为:

$$\Delta P_{wave,max} = \omega_{WT} P_{WT,max} + \omega_{PV} P_{PV,max} + \omega_L P_{L,max} \quad (5)$$

式中: $P_{WT,max}$ 为风力发电可能的最大出力; $P_{PV,max}$

为光伏发电可能的最大出力; $P_{L,max}$ 为重要电负荷需求可能的最大功率; ω_{WT} 为风力发电超短期预测值与实际值间的偏差系数; ω_{PV} 为光伏发电超短期预测值与实际值间的偏差系数; ω_L 为负荷需求超短期预测值与实际值间的偏差系数。

在调度过程中,为保证蓄电池始终具有吸纳非计划波动功率的裕量,设置最大能量临界值 $S_{bat,max}$ 和最小能量临界值 $S_{bat,min}$,从而保持蓄电池始终具有一定的能量裕量进行充放电。要始终保持蓄电池能量状态在临界值之间,具体计算公式如下:

$$S_{bat,min} = \frac{S_{bat} + [\Delta P_{wave,max}/(\eta_{bat,d} W_{bat,N})] \Delta T}{1 - \delta_{bat}} \quad (6)$$

$$S_{bat,max} = \frac{S_{bat} - (\eta_{bat,c} \Delta P_{wave,max})/W_{bat,N} \Delta T}{1 - \delta_{bat}} \quad (7)$$

式中: S_{bat} 为蓄电池允许的能量状态上限; S_{bat} 为蓄电池允许的能量状态下限; $W_{bat,N}$ 为蓄电池的额定储能容量; δ_{bat} 为蓄电池在调度时段间隔内的自放电率; $\eta_{bat,d}$ 为放电效率; $\eta_{bat,c}$ 为充电效率; ΔT 为调度时段间隔。

2.2.5 电源层运行调度策略

电源层运行调度首先应考虑消纳不可控的风光发电功率来满足电负荷需求,其次利用可控的燃气发电机对缺额功率进行补充,若电能富余则考虑向蓄电池充电或由冷热电联供系统消纳。在调度过程中始终保持蓄电池能量状态处于 $S_{bat,min} \sim S_{bat,max}$ 之间,具体的调度流程如图 2 所示。

2.3 用户层

在用户层中,计算联供系统的可调度功率限值,然后结合冷/热负荷需求数据,确定冷/热能实时调度方案,最后对燃机的调整功率进行计算。

2.3.1 可调度功率限值的计算

联供系统可调度的电功率上限值 $P_{Q,Lmax,t}$ 可由式(8)计算:

$$P_{Q,Lmax,t} = \max\{(P_{GE,max,t} - P_{WPS,L,t}), P_{Q,Lmin}\} \quad (8)$$

式中: $P_{WPS,L,t}$ 为风光储发电系统的额外电功率需求。

对于可利用的余热功率限值,由于燃机发电机的调整功率只能在冷/热能调度过程完成后才能确定,故只能根据调度时段内燃气发电机的调整功率下限值,确定可利用的余热功率限值,以 $Q_{GE,min,t}$ 表示燃气发电机在时段 t 可利用的最小余热功率。由此可计算可利用的冷/热功率限值 $Q_{AC,min,t}$,如式(9)所示。

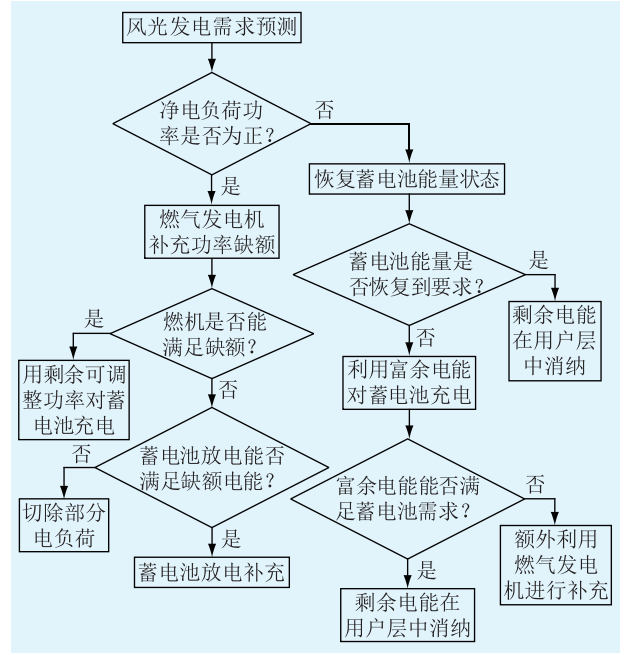


图 2 电源层调度流程

Fig.2 Flow chart of power layer dispatching

$$Q_{AC,min,t} = C_{AC} Q_{GE,min,t} \quad (9)$$

式中: C_{AC} 为制冷剂的制冷/热能效率系数。

2.3.2 用户层运行调度策略

文中主要针对工业园区大用户进行研究,一年四季内用户的用能差异较大,比如在冬季供暖模式下,燃气轮机产生电能和热能,当燃气轮机中的电能无法满足园区电负荷时,蓄电池放电,若仍不满足,则从大电网购买电能。

若发电量多于用户负荷需求时,则将电能通入蓄电池装置中储存起来;若蓄电池充满后仍有多余电能,则将多余部分电能出售给市场。对于热负荷的供应,优先由冷温水机制热来满足,缺额部分根据热储能设备的储能状态进行放能补充,若仍存在缺额热功率则由燃气锅炉制热进一步补充,若在上述热负荷供应过程中,制热功率富余,则由热储能装置蓄热。

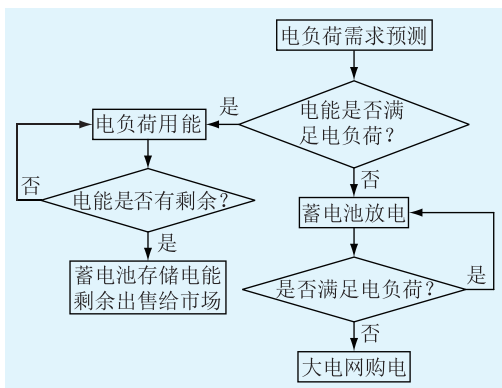
冬季供暖模式下用户层调度流程如图 3 所示。夏季供冷模式下,用户层的供冷设备包括电制冷机、冷温水机制冷以及冷储能设备,其调度流程与图 3 类似。

2.3.3 燃气发电机调整功率的计算

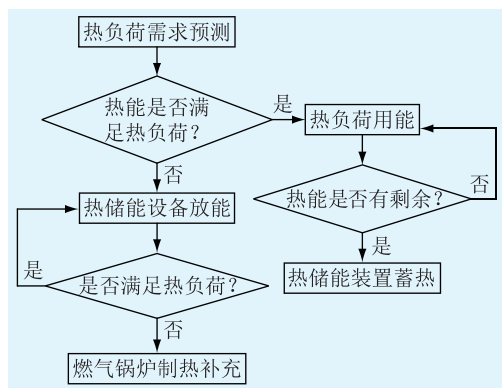
冬季供暖模式下,调度时段 t 内燃气发电机的调整功率 $P_{GE,t}$ 表达式为:

$$\begin{cases} P_{GE,t} = P_{pump,t} + P_{WPS,L,t} \\ P_{pump,t} = \beta Q_{L,heat,t} \end{cases} \quad (10)$$

式中: $P_{pump,t}$ 为驱动水泵电耗; β 为水泵驱动供热的



(a) 电负荷



(b) 热负荷

图3 冬季供暖模式下的用户层调度流程

Fig.3 Load layer dispatching flow chart in winter heating mode

电耗系数; $Q_{L,heat,t}$ 为联供系统的热负荷功率。

3 算例分析

3.1 算例概况

以某产业园的冬季典型日作为算例,基于Matlab 软件的计算环境,对园区进行调度仿真及分析。算例概况如下:总容量 976 kW 的风光伏发电系统,铅蓄电池组构成的总容量 523 kW·h 的电储能系统,1 台额定发电功率为 1 670 kW 的燃气发电机组,1 台制热功率 5 270 kW 的燃气锅炉。

在仿真过程中,风光发电预测功率、电负荷和热负荷需求预测功率分别如图 4 和图 5 所示。

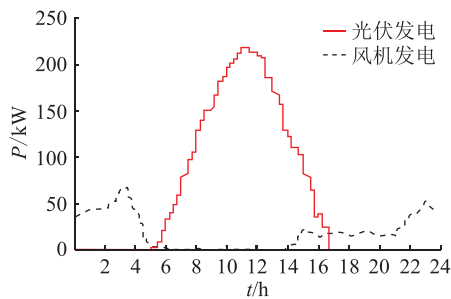


图4 风光发电功率

Fig.4 Wind/solar generation power

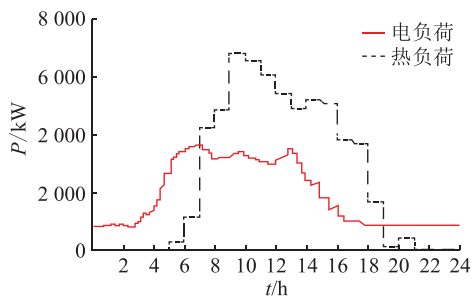


图5 负荷需求功率

Fig.5 Load demand power

3.2 结果与分析

冬季典型日电负荷的供需平衡曲线如图 6 所示,切负荷与卸载富余功率曲线如图 7 所示。可见在调度过程中,仅在 8—14 时电负荷需求高峰,出现电能供不应求的情况,此时将发布切负荷指令,切除园区部分负荷;调度过程中,未出现富余电功率,因此卸荷装置未动作。经计算表明,在冬季典型日的电能调度过程中,保证了 98.5% 园区重要电负荷的电能供应。

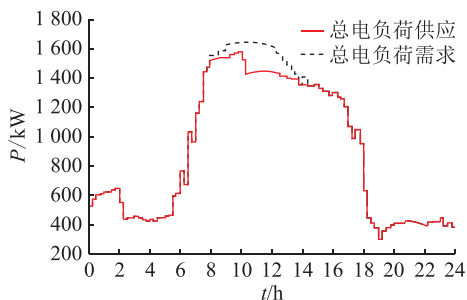


图6 电负荷的供需平衡曲线

Fig.6 Supply and demand balance curve of electric load

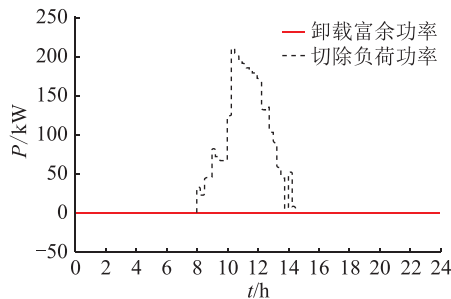


图7 切负荷以及卸载功率曲线

Fig.7 Load cutting and unloading power curves

电能调度优化结果如图 8 所示。0—3 时,园区电负荷需求量较低时,利用燃气发电机的出力对蓄电池进行充电;3—8 时蓄电池达到满充状态,此时根据实时电负荷需求调整燃气发电机出力;8—11 时园区电负荷上升至峰值,燃机发电供不应求,由蓄电池放电补充;11—13 时蓄电池达到满放,负荷

缺额功率达到了峰值,相应的切除部分用电负荷以维持供需平衡;13—18时随着园区负荷需求的下降,充分利用燃气发电机的出力再次对蓄电池进行充电;18—24时园区电负荷需求降至最低,此时蓄电池也达到了满充状态,相应地降低燃气发电机的出力,并根据园区电负荷需求的微小波动实时调节燃机出力。此外,经计算表明,在冬季典型日的热能调度过程中,满足了园区冬季典型日66.4%的热功率需求。

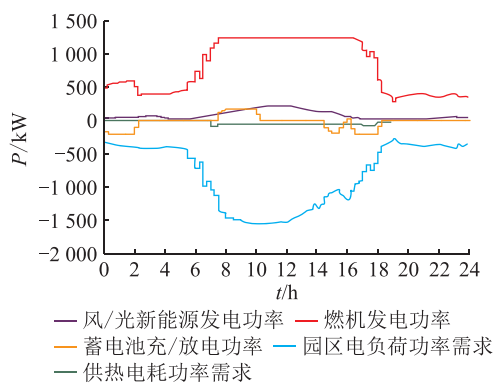


图8 电能供需功率优化调度曲线

Fig.8 Optimal dispatching curve of power supply and demand

调度过程中的蓄电池能量状态和功率如图9所示。

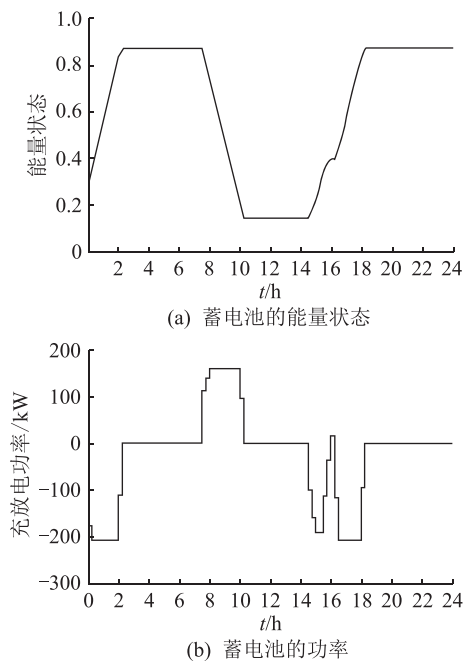


图9 蓄电池的能量状态和功率

Fig.9 Energy state and power of the battery

4 结语

文中考虑分布式电源的影响,引入储能设备,

面向冷热电联供型配电网,提出一种源荷储分层协调优化的调度方法,将调度过程划分为电源层和用户层。对于电源层,以优先满足园区电负荷为目标,依据净电负荷功率、蓄电池状态以及燃机调整功率限值,确定电能调度方案;对于用户层,以最大限度满足园区热负荷为目标,依据可调度功率限值和热负荷需求,确定热能调度方案。

通过仿真分析,结果验证了所提出的源荷储分层协调优化调度方法:(1)最大可能地保证了园区重要电负荷供电不中断;(2)最大限度地满足了园区热负荷需求,从而实现了园区能量供需过程的最优化自治。

本文得到智能电网保护和运行控制国家重点实验室项目(SG NR0000GZJS1808073)资助,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 陈彬. 计及户用分布式电源的合作博弈智能用电技术[J]. 电力工程技术, 2017, 36(5): 29-34, 65.
CHEN Bin. Cooperative game-based energy consumption technology considering household distributed generators[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(5): 29-34, 65.
- [2] NIE Erbao, LIU Zhoubin, HE Jinhong, et al. A study of operational cycle of terminal distributed power supply based on big-data[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 108(5): 052015.
- [3] ZHANG Tong, LI Zhigang, WU Q H, et al. Decentralized state estimation of combined heat and power systems using the asynchronous alternating direction method of multipliers[J]. Applied Energy, 2019(248): 600-613.
- [4] 程杉, 黄天力, 魏荣宗. 含冰蓄冷空调的冷热电联供型微网多时间尺度优化调度[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(5): 30-40.
CHENG Shan, HUANG Tianli, WEI Rongzong. Multi-time-scale optimal scheduling of CCHP microgrid with ice-storage air-conditioning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(5): 30-40.
- [5] 张李明, 齐先军. 考虑分布式电源随机性的配电网最大供电能力[J]. 电力建设, 2015, 36(11): 38-44.
ZHANG Liming, QI Xianjun. Load supplying capability for distribution network considering distributed generation randomness[J]. Electric Power Construction, 2015, 36(11): 38-44.
- [6] 朱林, 付东, 翟建伟, 等. 分布式光伏电源对配电网节点电压的影响分析[J]. 电气自动化, 2018, 40(6): 74-77.
ZHU Lin, FU Dong, ZHAI Jianwei, et al. Analysis of influence of distributed photovoltaic generation upon node voltage of the distribution network[J]. Electrical Automation, 2018, 40(6): 74-77.
- [7] 华亮亮, 黄伟, 葛良军, 等. 计及需求响应的主动配电网双层优化调度模型[J]. 电力建设, 2018, 39(9): 112-119.

- HUA Liangliang, HUANG Wei, GE Liangjun, et al. Bi-level optimal dispatch model of active distribution network with demand response[J]. Power construction, 2018, 39(9): 112-119.
- [8] 黄伟, 熊伟鹏, 华亮亮, 等. 基于动态调度优先级的主动配电网多目标优化调度[J]. 电工技术学报, 2018, 33(15): 3486-3498.
- HUANG Wei, XIONG Weipeng, HUA Liangliang, et al. Multi-objective optimization dispatch of active distribution network based on dynamic schedule priority[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2018, 33(15): 3486-3498.
- [9] 孟繁星, 孙英云, 蒲天骄, 等. 考虑区域自治能力的主动配电网分层优化调度[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(15): 70-76, 251-252.
- MENG Fanxing, SUN Yingyun, PU Tianjiao, et al. Hierarchical optimal scheduling model for active distribution network considering regional autonomy[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(15): 70-76, 251-252.
- [10] 黄媚, 董文杰, 林子钊, 等. 主动配电网全资源系统的优化调度[J]. 高电压技术, 2017, 43(1): 164-171.
- HUANG Mei, DONG Wenjie, LIN Zizhao, et al. Optimal scheduling of active distribution network based on whole resource system[J]. High Voltage Engineering, 2017, 43(1): 164-171.
- [11] 蒋贤强, 徐青山, 柳丹, 等. 含分布式电源的交直流配电网双层规划研究[J]. 电力工程技术, 2018, 37(4): 27-32.
- JIANG Xianqiang, XU Qingshan, LIU Dan, et al. Two-layer model of AC/DC distribution network containing DGs[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(4): 27-32.
- [12] MAHMOOD H, MICHAELSON D, JIANG J. Accurate reactive power sharing in an islanded microgrid using adaptive virtual impedances[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2015, 30(3): 1605-1617.
- [13] 焦能. 分布式电源并网对电能质量的影响[J]. 电力设备管理, 2018(7): 37-38, 40.
- JIAO Neng. The influence of distributed power grid on power quality[J]. Power Equipment Management, 2018(7): 37-38, 40.
- [14] 唐越, 向小民, 危杰, 等. 分布式光伏接入电网对配电网网损的影响研究[J]. 电力学报, 2018, 33(4): 301-306.
- TANG Yue, XIANG Xiaomin, WEI Jie, et al. Research on the influence of distributed photovoltaic grid-connection on distribution network loss[J]. Journal of Electric Power, 2018, 33(4): 301-306.
- [15] 吴斌, 单来支, 王庆, 等. 基于三相不平衡的分布式光伏接入配电网的优化配置研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(24): 108-114.
- WU Bin, SHAN Laizhi, WANG Qing, et al. Research on optimal configuration of distributed photovoltaic access distribution network based on three-phase unbalance[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(24): 108-114.
- [16] 王训哲, 曹昂, 盛逸标. 分布式电源对配电网电流保护的影响[J]. 电测与仪表, 2017, 54(18): 37-41, 78.
- WANG Xunzhe, CAO Ang, SHENG Yibiao. Research on current protection of distribution network with DG[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2017, 54(18): 37-41, 78.
- [17] LIU M, SHI Y, FANG F. A new operation strategy for CCHP systems with hybrid chillers[J]. Applied Energy, 2012, 95(2): 164-173.
- [18] REN H B, ZHOU W, NAKAGAMI KI, et al. Multi-objective optimization for the operation of distributed energy systems considering economic and environmental aspects[J]. Applied Energy, 2010, 87(12): 3642-3651.
- [19] GALBUSERA L, THEODORIDIS G, GIANNOPOULOS G. Intelligent energy systems: introducing power-ICT interdependency in modeling and control design[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(4): 2468-2477.
- [20] 余晓丹, 徐宪东, 陈硕翼, 等. 综合能源系统与能源互联网简述[J]. 电工技术学报, 2016, 31(1): 1-13.
- YU Xiaodan, XU Xiangdong, CHEN Shuoyi, et al. A brief review to integrated energy system and energy internet[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(1): 1-13.
- [21] 高逸, 吴耀武, 宋新甫, 等. 可再生能源配额政策对新能源发展影响分析及消纳策略研究[J]. 电力需求侧管理, 2019, 21(1): 56-61.
- GAO Yi, WU Yaowu, SONG Xinfu, et al. Analysis on the effect of renewable portfolio standards on renewable energy development and accommodation strategies study[J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(1): 56-61.
- [22] TICHI S G, ARDEHALI M M, NAZARI M E. Examination of energy price policies in Iran for optimal configuration of CHP and CCHP systems based on particle swarm optimization algorithm[J]. Energy Policy, 2010, 38(10): 6240-6250.
- [23] 蒋贤强, 徐青山. 考虑需求响应的交直流配电网调度研究[J]. 电力需求侧管理, 2019, 21(2): 19-23.
- JIANG Xianqiang, XU Qingshan. Research on AC/DC distribution network dispatching considering demand response[J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(2): 19-23.
- [24] 原亚宁, 李琳. 考虑分区需求侧管理的交直流混合微电网能量优化调度[J]. 电力需求侧管理, 2019, 21(3): 63-68.
- YUAN Yaning, LI Lin. Optimization of energy management for AC/DC hybrid microgrid considering partition demand side management[J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(3): 63-68.
- [25] 朱翰超, 马蕊. 考虑需求侧管理的冷热电联供微电网优化配置方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(2): 139-146.
- ZHU Hanchao, MA Rui. Optimal configuration method of CCHP microgrid considering demand side management[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(2): 139-146.
- [26] 李科, 何辉, 唐喆. 一种实际优质电力园区分级供电的协调控制策略[J]. 浙江电力, 2018, 37(4): 68-74.
- LI Ke, HE Hui, TANG Zhe. The coordinated control strategy for multiple power supply in premium power park[J]. Zhejiang Electric Power, 2018, 37(4): 68-74.
- [27] 丁明, 程清, 李林, 等. 一种基于嵌入式系统的园区微电网中央控制器设计[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(6):

158-165.

DING Ming, CHENG Qing, LI Lin, et al. A design of central controller of microgrid in the park based on embedded system [J]. *Power System Protection and Control*, 2019, 47 (6): 158-165.

[28] 陈鸿亮. 面向大型园区供能的冷热电联供型微网优化调度研究[D]. 南京:南京理工大学, 2017.

CHEN Hongliang. Research on the optimal scheduling of CCHP microgrid oriented to large industrial park [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2017.

作者简介:



程维杰

程维杰(1982),男,学士,高级工程师,从事电力系统安全稳定分析与控制相关工作(E-mail:chengwejie@sz.csg.cn);

颜云松(1981),男,硕士,高级工程师,从事电力系统安全稳定控制技术相关工作;

康明才(1962),男,学士,副教授,研究方向为电能质量分析与系统协调控制。

Generation-load-storage layered coordinated control of distribution network considering the influence of distributed generation

CHEN Weijie¹, YAN Yunsong², KANG Mingcai³, CHEN Zeqi¹, MA Weizhe¹, LIU Jinsheng¹

(1. Shenzhen Power Supply Bureau Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;

2. NARI Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China; 3. School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to give full play to the fast power handling capacity of the energy storage system and the regulation of the cold/heat load, promotes the active local consumption of distributed generations. A generation-load-storage layered coordinated control method is proposed, according to multi-time scale complementary characteristics of controllable distributed generations, energy storage systems and cold/heat loads. The method is oriented to the CCHP system, the scheduling process is divided into power layer and load layer on the basis of the principle of "allocating cold/heat energy based on electric energy". The two levels are coordinated and optimized according to the upper and lower levels, to determine the real-time dispatching scheme of electric energy and the real-time scheduling scheme of cold/heat energy. Through the actual situation of a distribution network in a park, scheduling simulation and analysis, the rationality and effectiveness of the generation-load-storage layered coordinated control method are verified. The scheduling results show that while ensuring the important electrical load of the park, the cold/heat energy is supplied to the maximum extent, so as to realize the coordinated optimization operation and the refined and intensive development of energy utilization.

Keywords: distributed generation; generation-load-storage; combined cooling, heating and power (CCHP); layered coordinated control; optimized scheduling

(编辑 钱悦)