

微电网日前优化调度的研究

刘振杰¹, 向益锋¹, 范泽帅², 赵志博³

(1. 三峡大学国际文化交流学院, 湖北 宜昌 443000; 2. 三峡大学法学与公共管理学院, 湖北 宜昌 443000; 3. 三峡大学电气与新能源学院, 湖北 宜昌 443000)

摘要 当微电网综合考虑了包含风机、光伏的新能源因素和蓄电池储能环节以后, 其调度方案对经济性的影响变得尤为重要且复杂。首先, 基于微电网实际运行需求建立了负荷情况、购电电价、售电电价、新能源发电环节及储能环节等条件的约束模型, 分别讨论了直接从电网购电和可再生能源全额利用作为主要供电方式的平均购电电价情况。随后在此基础上以最小平均负荷单价为优化目标, 在蓄电池参与调控及引入关于风机和光伏是否启用的决策因子和利用率后, 使得供电费用下降约 11.36%, 最后得出结论利用单纯形法来计算并调度微网系统中风能、光能和蓄电池的运行状态能产生可观的经济效益。

关键词 微电网; 优化调度; 非线性规划模型; 单纯形法

中图分类号 TM761

文献标识码 A

0 引言

随着科技的进步与发展, 人们的环保意识逐渐增强, 微电网技术得到不断地推广应用, 如何妥善管理微电网内部分布式电源和储能运行, 实现微电网经济、技术、环境效益等综合效益最大化成为重要研究课题。微电网包含一些清洁发电方式, 如光伏发电、风能发电等, 有效减少了污染物气体的排放, 有利于环境保护, 在满足用户用电需求的前提下, 实现经济效益的最大化。完成对微电网的优化调度则是实现多种目标的关键环节, 因此, 对微电网调度的研究显得尤为重要^[1]。

目前关于微电网日调度的研究归纳起来可划分为用于日计划或滚动的动态优化模型^[2]和用于实时调度的静态优化模型^[3]。但是将实时调度与如前计划建立起联系的模型较少, 荷电状态(State of Charge, SOC)也叫剩余电量, 代表的是电池使用一段时间或长期搁置不用后的剩余容量与其完全充电状态的容量的比值, 文献[4]中提出以储能单元电荷状态 SOC 为微电网日前计划与实时计划之间联系纽带的时间尺度能量优化调度方案和以储能单元电荷状态 SOC 为控制变量的日前计划优化模型, 但该模型只是将周期分为 24 个, 没有考虑在微网中加入蓄电池一同调度的问题。文献[5]对风/光/储微电网进行状态空间的划分, 提出了遵循储能 SOC 日前计划的基于状态空间法的实时调度策略, 但其状态空间划分比较复杂, 调度原则策略改变时, 状态空间划分需重新调整, 不易满足调度原则在线调整的需要。

本文将一个调度周期划分为 96 个阶段, 使得调度更加灵活。首先讨论了直接从电网购电和可再生能源全额利用的电价情况; 然后以最小平均负荷单价为优化目标, 以用电负荷、风、光能的装机容量、蓄电池的充放电限制作为约束条件, 在蓄电池参与调控及引入关于风机和光

伏是否启用的决策因子和利用率后, 计算所得总供电成本下降。

1 考虑可再生资源是否全额利用的微电网模型

微电网中一般情况下的负荷预测、风机和光伏出力如图 1 所示, 风能在 0~16 时的功率较高; 负荷从一天的 0~19 时总体呈稳步上升趋势, 19 时左右到达峰值, 太阳能可利用时段为 6~19 时。

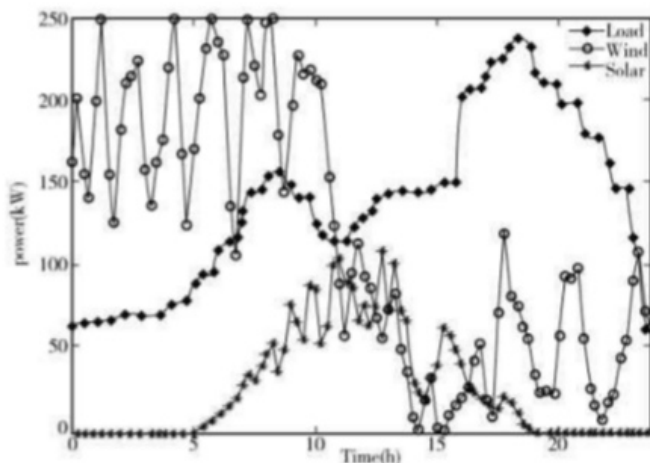


图 1 负荷预测、未来风机和光伏出力

光伏出力与负荷的相关性较弱, 风机出力与负荷具有中等相关程度且负相关。光伏出力与光照关联性较强, 光照时间集中在早 7 时到晚 18 时, 凌晨与晚上基本无光照, 而负荷却是在晚上和上午达到峰值, 所以负荷跟光伏出力无关。计算结果很好地反映了实际情况。

现代社会下的负荷变化更为不规则化, 在一天之内会出现不止一个波峰, 一个为早 8 时附近的用电高峰, 另一个是晚 18 时附近的用电高峰。

可再生资源全额利用和无利用两种无调度模式下的

费用如表 1 和表 2 所示。在无可再生能源利用的情况下,负荷用电全部从电网购买,全天总供电费用为 1 979.2 元,负荷平均购电单价为 0.598 元/kW·h;在可再生能源全额利用的情况下,全天总供电费用为 2 266.7 元,负荷平均购电单价为 0.685 元/kW·h。在有可再生资源利用的情况下,若全额利用而没有根据负荷实际需求进行合理调度,对资源进行分配,会使供电费用和负荷平均供电单价升高。

表 1 无可再生能源利用

时段	可再生资源利用(kW)	购电(kW)	售电(kW)	供电费用(元)
1	0	2 242.7	0	144.2
2	0	1 761.8	0	238.6
3	0	2 663	0	540.6
4	0	2 314.5	0	314.8
5	0	2 585.2	0	522.8
6	0	1 662.3	0	218.2
合计	0	13 229.5	0	1 979.2

负荷平均购电单价 0.598 元/kW·h

表 2 可再生资源全额利用

时段	风机(kW)	光伏(kW)	蓄电池(kW)	购买(kW)	售电(kW)	供电费用(元)
1	5 174.46	72.77	0.00	0	3 004.53	520.771 5
2	2 568.57	608.44	0.00	0	1 415.21	294.657
3	1 674.61	1 404.36	0.00	0	415.97	430.717 9
4	396.25	393.22	0.00	1 525.03	0.00	330.321 6
5	731.24	37.79	0.00	1 816.17	0.00	470.871 1
6	587.35	0	0.00	1 074.95	0.00	219.409 7
合计	11 132.4	2 516.58	0.00	4 416.15	4 835.71	2 266.749

负荷平均购电单价 0.685 元/kW·h

2 基于多重约束条件的微电网模型

优化方案以最小负荷供电成本为目标,可再生能源无须全额利用,需对可再生能源和蓄电池同时进行调控,优化调度,引入关于风机与光伏是否开启的决策因子。

i 时段内发电成本为:

$$C'_{ni} = N_{wi} \cdot \Delta t \cdot Y_{wi} \cdot C_w + N_{gi} \cdot \Delta t \cdot Y_{gi} \cdot G_g$$

C'_{ni} 为 i 时段内的发电成本, N_{wi} 为风机在 i 时间段内的发电功率, Y_{wi} 为风机是否开启的决策因子, C_w 为风机发电的成本, N_{gi} 为光伏在 i 时间段内的发电功

率, Y_{gi} 为光伏是否开启的决策因子, C_g 为光伏发电的成本。

i 时段内负荷与可再生能源之间的功率差为:

$$\Delta N'_i = N_{li} - (N_{wi} \cdot Y_{wi} + N_{gi} \cdot Y_{gi})$$

N_{li} 为 i 时间段内的负荷功率需求。

i 时段内购电费用为:

$$C'_{pi} = \Delta N'_i \cdot \Delta t \cdot B_i (\Delta N'_i \geq 0)$$

B_i 为 i 时间段内的购电价格。

i 时段内售电收益为:

$$C'_{si} = |\Delta N'_i| \cdot \Delta t \cdot S_i (\Delta N'_i \leq 0)$$

S_i 为 i 时间段内的售电价格。

i 时段内负荷与可再生能源和蓄电池之间的功率差为:

$$\Delta N''_i = N_{li} - (N_{wi} \cdot Y_{wi} + N_{gi} \cdot Y_{gi} + N_{bi})$$

N_{bi} 为 i 时间段内蓄电池提供的功率

全天总供电费用为:

$$C'' = \sum_{i=1}^6 \left(C'_{pi} + |\Delta N''_i| \cdot \Delta t \cdot \text{sgn } s(\Delta N''_i) + 0.2 N_{ci} \cdot X_i \cdot \Delta t \right)$$

$$\text{sgn } s(\Delta N''_i) = \begin{cases} B_i (\Delta N''_i \geq 0) \\ -S_i (\Delta N''_i \leq 0) \end{cases}$$

综上,建立以下求解最小平均购电电价的非线性模型:

$$\min \overline{N'_{ci}} = \frac{C''}{\sum_{i=1}^6 N_{li} \cdot \Delta t}$$

结合约束条件,运用 Lingo 软件的单纯形算法对此模型进行求解,蓄电池 SOC 变化、风力发电、光伏发电与主电网功率交换和电池功率状况如图 2—图 4 所示。

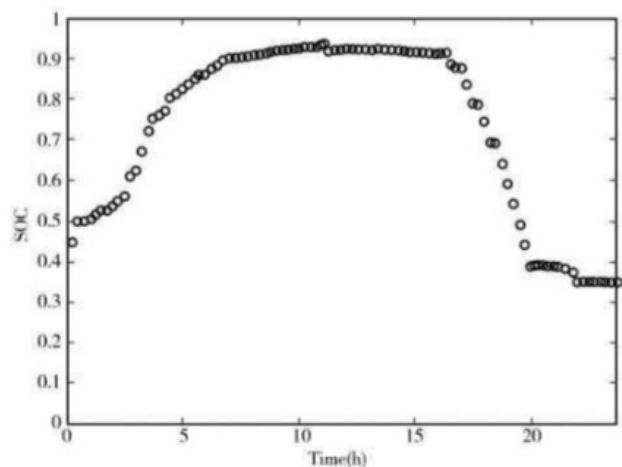


图 2 SOC 变化图

由图可知,在 0~7 时段购电价格相较于可再生能源发电成本具有更低廉的价格,故可考虑从电网侧购电提供给负荷和为蓄电池充电储能;7~10 时段,购电价格高于风机发电成本,优先考虑使用风能发电,从电网侧购买微量的电继续为蓄电池充电;在 10~15 时间段,此时购、售电价格较高,在可再生能源充足情况下优先使用可再生能源,多余可考虑向电网侧售出减小成本和向蓄电池

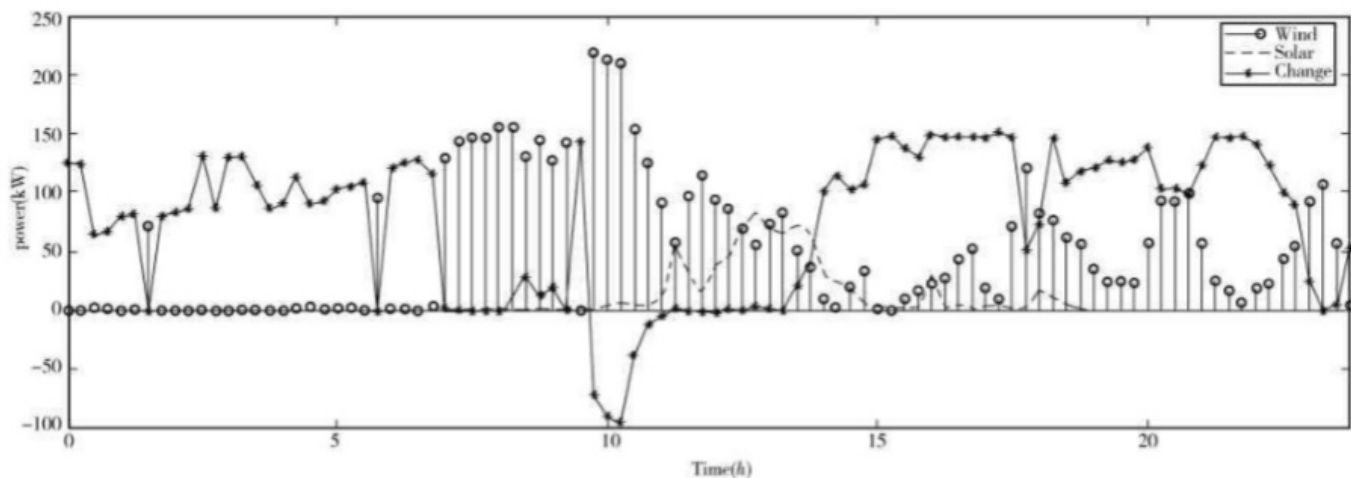


图3 风力发电、光伏发电与主电网功率交换

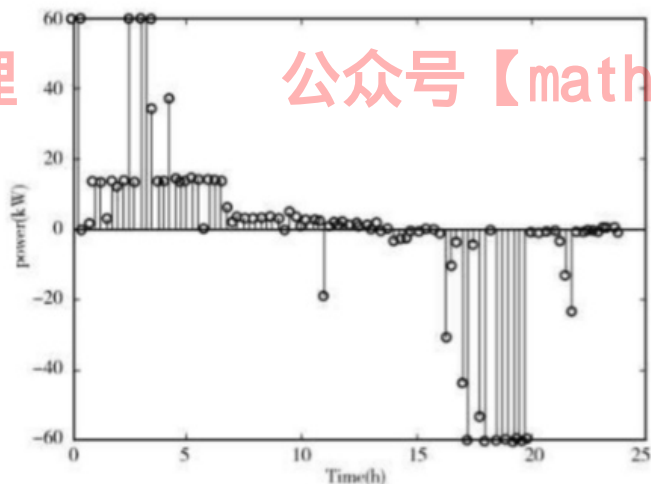


图4 电池功率状况

3 结语

本文建立了多种以平均负荷单价最小为目标的非线性优化调度模型,分别考虑了微网与电网交换功率的限制、是否允许弃风弃光以及蓄电池是否参与调度对微网各项经济性指标的影响。得出在蓄电池参与微网调节且允许弃风弃光条件下,基于分时电价与各时段负荷引入关于机组是否开启的决策因子,对微网进行合理有效的调度及功率分配此时可得出满足需求的最经济供电方案。最后,讨论了放宽相应条件对微网经济性的影响,解放蓄电池充放电次数可使费用有较大幅度下降。

参考文献

- [1] 洪博文,郭力,王成山,等.微电网多目标动态优化调度模型与方法[J].电力自动化设备,2013,33(3):100-107.
- [2] 王成山,洪博文,郭力.不同场景下的光蓄微电网调度策略[J].电网技术,2013,37(7):1775-1782.
- [3] 吴红斌,蔡亮.可再生能源分布式发电系统的经济调度[J].农业工程学报,2010,26(12):287-292.
- [4] 杨毅,雷霞,叶涛,等.考虑安全性与可靠性的微电网电能优化调度[J].中国电机工程学报,2014,34(19):3080-3088.
- [5] 孙惠娟,彭春华,易洪京.大规模风电接入电网多目标随机优化调度[J].电力自动化设备,2012,32(5):123-128.

充电;15~18时段可利用可再生资源已经较少,而购电价格相比后面时段较低,不足的电量通过从电网购买所得;在18~21时段,购电达到峰值,应尽量较少购电量,此时蓄电池放电功率达到最大;最后时段,大部分供电量仍通过购买获得。

在可再生资源无须全额利用的条件下,总成本为1754.3元,平均负载购电单价为0.535元/kW·h,平均负载购电单价为0.53元/kW·h,各指标均有所减少,可见通过对微网各资源的合理分配调度,可再生能源的可控调节,使得整个微网经济性更强。