

文章编号:1005-0523(2019)02-0133-10

家庭光伏发电系统动态经济调度研究

左丽霞¹, 彭睿²

(1.华东交通大学电气与自动化工程学院,江西 南昌 330013;2.南京理工大学自动化学院,江苏 南京 210094)

摘要:随着光伏发电技术的快速发展,我国安装光伏发电系统的用户逐年增长,研究家庭光伏系统动态经济优化调度问题具有重大意义。以用户收益最大化为目标函数,设置上网比例和买电比例作为决策变量,充分考虑家庭光伏发电系统的并网收益、购电支出、政府补贴、光伏阵列和蓄电池系统维护支出等因素,确定了发电系统的经济效益调度模型。在 MATLAB 仿真环境中,以某家庭光伏发电系统 24 h 内的运行调度为算例,选取目前市面上实行的几种购电电价机制,采用改进型粒子群优化算法对所建立的模型进行寻优求解。分别比较了基本不同电价机制和不同的负荷情况下所得到的最优收益,最终为调度者提供了最好的调度策略。

关键词:家庭光伏发电;动态经济调度;改进型粒子群算法;购电电价机制

中图分类号:TM73

文献标志码:A

当今世界化石能源日益枯竭,环境污染严重,清洁能源已逐渐进入了人们的生活,特别是光伏发电的广泛应用,为人们用电提供极大的便利。研究家庭光伏系统动态经济调度^[1]的优化,不管是对于家庭自身,还是对于电力系统,都具有很重要的意义。实现优化调度后,可以改善火力发电带来的大量温室气体排放问题,有效降低环境污染;可以使用户尽可能实现收益最大化,通过调度降低电费,另外还能让设备更好的发挥作用;还可以降低光伏发电系统存在的不可控因素的影响,增强电网供电可靠性。

近年来,国内外学者对含光伏发电的系统进行了广泛的研究。在建模方面,文献[2]在考虑分时电价基础上,结合家庭内各种因素建立优化模型;文献[3]设置了约束修正因子,利用罚函数法建模,将有约束问题转变为无约束问题;文献[4]提出了通过天气预报所提供的温度情况和太阳辐射进行光伏输出有功功率的短期预测模型。考虑目前市场上采用的电价机制不同,文献[5]将阶梯电价与分时电价有效结合,提出了一种新的定价模型;文献[6]研究了研究了固定电价、分时电价和实时电价 3 种不同电价机制下家庭经济调度情况。关于光伏系统的储能方面,文献[7]专门针对家用小型光储系统,以当前某时段的储能情况为依据,对在调度周期内的成本和储能收益进行分析评测;文献[8]把光伏储能系统与光伏并网购电系统结合起来,使蓄电池容量处于合理范围内,提高光伏输出稳定性;文献[9]开发一个灵活和准确的光伏模拟和评估工具,可评估不同的光伏能量转换系统对电网的影响。

1 家庭光伏系统动态经济调度建模

家庭光伏发电系统主要由光伏阵列、蓄电池、逆变器和智能能源管理器等组成。其中,光伏阵列最为关键,它输入太阳能,输出电能,用户既可以将直流电直接接入电路使用,亦可以将直流转换为交流后再接入家庭电力系统中^[3]。蓄电池作为整个系统的储能装置,当白天光照较好时可进行充电将多余电量存储,夜晚再放电为用户供电。

收稿日期:2018-06-13

基金项目:江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ160526);江西省自然科学基金(20171BAB202001);华东交通大学校立科研项目(15DQ05)

作者简介:左丽霞(1982—),女,硕士,讲师,研究方向为电力系统优化算法。

1.1 光伏阵列模型

光伏阵列的输出功率可以通过一定的调度模型来预测

$$P_{PV} = \frac{P_{PV,STC} \times G_C}{G_{STC}} + \alpha_p \times P_{PV,STC} \frac{G_C (T_C - T_{C,STC})}{G_{STC}} \quad (1)$$

其中, P_{PV} 为光伏阵列输出有功功率; $P_{PV,STC}$ 为额定容量; G_C 为实际光照强度; G_{STC} 为 STC 下的太阳辐射强度, 一般取 1 kW/m^2 ; α_p 为光伏电池板功率温度系数, 一般取 -0.0047 ; T_C 为光伏电池工作温度; $T_{C,STC}$ 为 STC 下的光伏电池温度, 一般取 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

在实际应用过程中, 测试电池工作温度存在一定困难, 故可对其进行估算

$$T_C = T + \frac{G_C}{G_{STC}} \quad (2)$$

其中: T 为环境温度。

确定光伏阵列额定容量后, 通过环境温度 T 和光照强度 G 就可以预测出光伏阵列 24 h 内的输出有功功率。其中, T 和 G 可以通过天气预报得到。选取某地区春季某一天进行研究, 设定光伏阵列额定容量为 4.5 kW , 通过天气预报得到一天中 24 h 的太阳辐射量和温度变化情况如图 1 所示。

通过 24 h 的太阳辐射量和温度变化, 由上述公式计算得到一天中各时间点的光伏输出有功功率如图 2 所示。可见, 通过光伏阵列输出功率模型所得到的光伏输出有功功率, 其变化趋势与太阳辐射量相同, 在正午时达到最大呈正态分布。每天光伏输出功率主要集中在 6:00-19:00 时段, 而 20:00-24:00 和 1:00-5:00 2 个时段内输出功率为零。

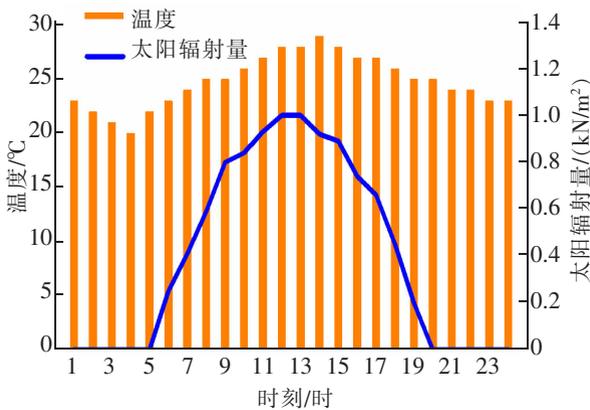


图 1 某地一天之中温度和太阳辐射量的变化图

Fig.1 Light intensity and temperature change in a day in a place

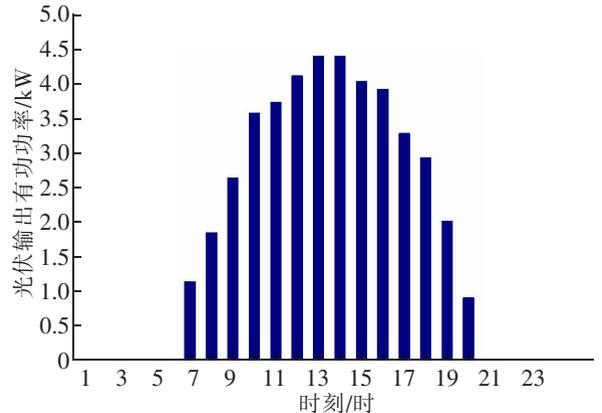


图 2 光伏输出有功功率

Fig.2 System output active power

1.2 蓄电池充放电模型

蓄电池充电和放电的行为会影响到系统的运行和其本身的使用年限, SOC 指蓄电池荷电状态, $SOC=100\%$ 表示蓄电池满电。本文中, 若光伏输出功率大于负荷功率, 则充电, 反之, 则放电。蓄电池在 t 时刻储电量

$$SOC(t)E = \begin{cases} SOC(t-1) \times E \times (1 - D_{ESS}) + [P_{PV}(t) - \frac{P_L(t)}{\eta_{inv}}] \times \eta_{bat} \\ SOC(t-1) \times E \times (1 - D_{ESS}) - [\frac{P_L(t)}{\eta_{inv}} - P_{PV}(t)] \end{cases} \quad (3)$$

其中: $SOC(t)$ 为 t 时刻的蓄电池荷电状态; D_{ESS} 为自放电系数 (0.01%); $P_L(t)$ 为 t 时刻的负荷; η_{inv} 为逆变器效率 (一般取值 95%); η_{bat} 为蓄电池效率 (一般充电效率取值 72% , 放电效率取值 100%); E 为蓄电池额定容量。

1.3 动态经济调度模型

在家庭光伏系统动态经济调度模型中,选择了2个分配比例系数动态变量,并网比例 α 和买电比例 β^{2-3} ,分别用于控制各时间段上网电量和蓄电池充电电量,以及向电网购买电量和蓄电池放电电量。

1.3.1 目标函数

整个发电系统的收益,考虑调度周期内的政府补贴和上网收益,以及买电支出和运行维护支出,建立家庭光伏系统模型目标函数

$$\begin{cases} \max C = \sum_{t=0}^T [C_{\text{sub}}(t) + C_{\text{sell}}(t) - C_{\text{buy}}(t) - C_{\text{OM}}(t)] \\ C_{\text{sub}}(t) = P_{\text{PV}}(t) \times F \\ C_{\text{sell}}(t) = P_{\text{sell}}(t) \times C_0 \\ C_{\text{buy}}(t) = P_{\text{buy}}(t) \times C_{\text{price}}(t) \\ P_{\text{sell}}(t) = |\max[0, P_{\text{PV}}(t) - P_L(t)]| \times \alpha(t) \\ P_{\text{buy}}(t) = |\min[0, P_{\text{PV}}(t) - P_L(t)]| \times \beta(t) \\ C_{\text{OM}}(t) = k_1 \times P_{\text{PV}}(t) + k_2 \times P_{\text{cha}}(t) + k_2 \times P_{\text{disc}}(t) \end{cases} \quad (4)$$

其中: C 为调度周期内整个发电系统的收益; $C_{\text{sub}}(t)$ 为 t 时段内政府补贴; $C_{\text{sell}}(t)$ 为 t 时段内上网收益; $C_{\text{buy}}(t)$ 为 t 时段内买电支出; $C_{\text{OM}}(t)$ 为 t 时段内运行维护支出; F 为补贴电价; C_0 为上网电价; $C_{\text{price}}(t)$ 为购电电价; $P_{\text{PV}}(t)$ 为 t 时段内光伏输出有功功率; $P_L(t)$ 为 t 时段内负荷电量; $P_{\text{sell}}(t)$ 为 t 时段内上网电量; $P_{\text{buy}}(t)$ 为 t 时段内购电电量; $\alpha(t)$ 为光伏发电量比用电负荷的多的部分上网电量比例; $\beta(t)$ 为光伏发电量比用电负荷的少的部分购电电量比例; k_1 为光伏阵列运行和维护支出; k_2 为蓄电池运行和维护支出。

1.3.2 约束条件

1) 分配比例约束

$$\alpha(t) \in \begin{cases} [0, 1], P_{\text{PV}}(t) \geq P_L(t) \\ 0, P_{\text{PV}}(t) < P_L(t) \end{cases} \quad (5)$$

$$\beta(t) \in \begin{cases} [0, 1], P_{\text{PV}}(t) < P_L(t) \\ 0, P_{\text{PV}}(t) \geq P_L(t) \end{cases} \quad (6)$$

其中: $\alpha(t)$ 表示光伏发电量中除供用户自家使用的电量外,剩余电量的上网比例; $\beta(t)$ 表示光伏发电量不足以供给用户使用不足部分从电网购电的比例,约束条件如下所示。

2) 系统调度约束

当 $P_{\text{PV}}(t) \geq P_L(t)$ 时,以 α 为优化变量对多余电量进行调度,决定各时间点的电量是存入蓄电池还是上网

$$P_{\text{sell}}(t) = [P_{\text{PV}}(t) - P_L(t)] \times \alpha(t) \quad (7)$$

$$P_{\text{cha}}(t) = [P_{\text{PV}}(t) - P_L(t)] \times (1 - \alpha(t)) \quad (8)$$

其中: $P_{\text{cha}}(t)$ 表示蓄电池充电功率。

当 $P_{\text{PV}}(t) < P_L(t)$ 时,以 β 为优化变量对不足电量进行调度,决定在各时间点是通过蓄电池放电满足负荷用电还是向电网买电

$$P_{\text{buy}}(t) = [P_L(t) - P_{\text{PV}}(t)] \times \beta(t) \quad (9)$$

$$P_{\text{disc}}(t) = [P_L(t) - P_{\text{PV}}(t)] \times (1 - \beta(t)) \quad (10)$$

其中: $P_{\text{disc}}(t)$ 表示蓄电池放电功率。

3) 功率供需平衡约束

$$P_L(t) = P_{\text{PV}}(t) + P_{\text{buy}}(t) + P_{\text{disc}}(t) - P_{\text{sell}}(t) - P_{\text{cha}}(t) \quad (11)$$

当 $P_{\text{PV}}(t) \geq P_L(t)$ 时, $P_{\text{buy}}(t)$ 和 $P_{\text{disc}}(t)$ 均为0;当 $P_{\text{PV}}(t) < P_L(t)$ 时, $P_{\text{sell}}(t)$ 和 $P_{\text{cha}}(t)$ 均为0。

4) 蓄电池电量平衡约束

若蓄电池在长时间内总是在无节制放电,则其使用寿命会大幅下降

$$SOC_{min} \leq SOC \leq SOC_{max} \tag{12}$$

其中: SOC_{min}, SOC_{max} 分别为荷电状态最小值和最大值。

2 基于改进型粒子群算法的模型求解

2.1 基本粒子群算法

粒子群优化算法(PSO)是基于对鸟群捕食行为的研究发展而来的,它首先产生一组粒子并初始化其值,当找到局部最优解,其他粒子就会追随到这一局部最优解,并且到达其附近位置,然后进行重复不断的搜索,直至通过粒子群的迭代寻优找到群体最优解,每个粒子根据如下公式更新自己的速度 v 和位置 x

$$\begin{cases} v_{k+1} = \omega v_k + c_1 r_1 (pbest_k - x_k) + c_2 r_2 (gbest_k - x_k) \\ x_{k+1} = x_k + v_{k+1} \end{cases} \tag{13}$$

其中: k 为已经完成了的迭代次数; $pbest_k$ 为第 k 次迭代的个体极值; $gbest_k$ 第 k 次迭代的群体极值; c_1 和 c_2 为加速度因子; r_1 和 r_2 为 $[0, 1]$ 区间的随机数; ω 为惯性权重。

传统粒子群算法中,惯性权重一般取固定值 $\omega=1$,这样不利于粒子搜索。

2.2 改进型粒子群算法

当惯性权重的数值大时,可以更加全面地进行结果搜索,数值小时可以在小范围内精准的搜索,因此,本文中采用了改进型粒子群算法(MPSO),惯性权重是动态变化的,变化规律如下所示, ω 随着迭代次数呈非线性递减

$$\omega_k = \omega_{start} - (\omega_{start} - \omega_{end}) \left(\frac{k}{T_{max}} \right)^2 \tag{14}$$

其中: ω_{start} 为迭代初惯性权重; ω_{end} 为迭代末惯性权重; T_{max} 为设定的迭代次数。

迭代初期 ω 值较大有利于算法进行全面搜索,到了迭代快要结束的时候, ω 值会变得相对较小,这样能增加算法的小范围搜索能力,这样可以更快得到更加精确的优化结果。

本文中以使用光伏发电设备的用户在一天之内通过调度所能获得的最大收益为目标函数,以在各时间点决定调度策略的剩余电量上网比例的分配比例 $\alpha(t)$ 和不足电量购电比例 $\beta(t)$ 作为优化算法中的粒子,并随机产生一定数量的粒子,然后通过粒子群算法来迭代寻优,直至在整个调度周期内寻找到满足条件的全局最优解,MPSO 算法流程图如图 3 所示。

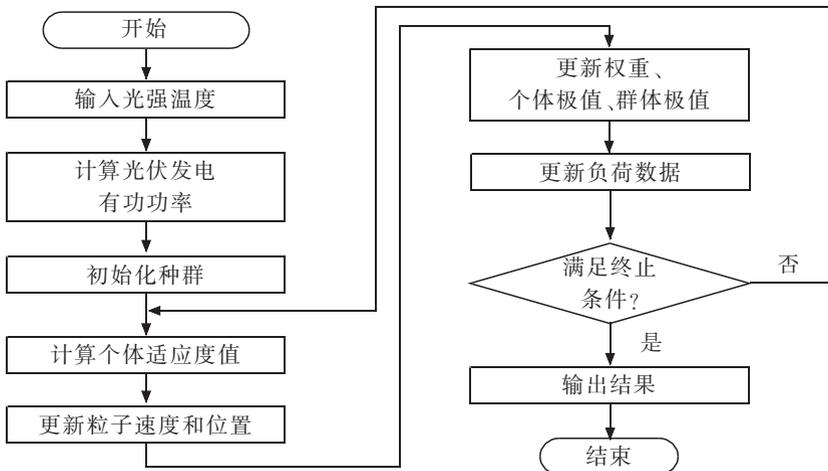


图 3 MPSO 算法流程图
Fig.3 MPSO algorithm flowchart

3 不同电价机制下的优化调度分析

3.1 参数设置

本文选取目前市面上施行的几种电价机制,包括固定电价、分时电价、供暖季阶梯电价和阶梯分时电价,对某一家庭光伏发电系统动态经济调度模型进行仿真分析。

3.1.1 系统参数

选取某省某一安装了光伏设备的家庭为例,其相关参数如表 1 所示。

表 1 家庭光伏发电系统参数表
Tab.1 Household photovoltaic power system parameters

参数	取值
光伏装机容量	4.5 kW
蓄电池额定容量	20 kW·h
国家光伏补贴	0.42 元/(kW·h)
地方光伏补贴	0.2 元/(kW·h)
上网电价	0.42 元/(kW·h)
光伏阵列维护成本系数	0.009 6 元/(kW·h)
蓄电池维护成本系数	0.027 48 元/(kW·h)

3.1.2 电价参数

1) 固定电价方案。固定电价的购电电价为 0.50 元/(kW·h)。

2) 峰谷分时电价方案。峰谷分时电价分为峰时段和谷时段,峰时段为 8:00–22:00,购电电价为 0.57 元/(kW·h);谷时段为 22:00–次日 8:00,购电电价为 0.31 元/(kW·h)。

3) 供暖季阶梯电价方案。假设某省 11 月 15 日–次年 3 月 15 日为供暖季,3 月 16 日–11 月 14 日为非供暖季。

供暖季阶梯电价方案:若每月用电量在 500 kW·h 以内,购电电价为 0.56 元/(kW·h);每月用电量在 500 kW·h 以上,则购电电价为 0.61 元/(kW·h)。

非供暖季阶梯电价方案:月用电量为 0~550 kW·h,550~700 kW·h,700 kW·h 以上,对应的 3 档电价分别为 0.56 元/(kW·h),0.61 元/(kW·h),0.86 元/(kW·h)。

4) 阶梯分时电价方案。阶梯分时电价是基于阶梯电价分为 3 档,如表 2 所示。

3.1.3 负荷参数

本文将负荷情况分为工作日和非工作日,选取某地区的日负荷分布如表 3 所示。

表 2 阶梯分时电价
Tab.2 Ladder time sharing electricity prices

月用电量/(kW·h)	购电电价/元	
	8:00–22:00	22:00–次日 8:00
0~550	0.59	0.44
550~700	0.64	0.49
700 以上	0.89	0.74

表3 负荷参数
Tab.3 load parameters

时段	工作日负荷/(kW·h)	非工作日负荷/(kW·h)	时段	工作日负荷/(kW·h)	非工作日负荷/(kW·h)
0:00-1:00	0.15	0.15	12:00-13:00	2	2
1:00-2:00	0.15	0.15	13:00-14:00	0.15	1
2:00-3:00	0.15	0.15	14:00-15:00	0.15	3
3:00-4:00	0.15	0.15	15:00-16:00	0.15	1
4:00-5:00	0.15	0.15	16:00-17:00	2.3	1.2
5:00-6:00	0.15	0.15	17:00-18:00	1	3
6:00-7:00	0.4	0.6	18:00-19:00	1.8	2
7:00-8:00	0.15	0.45	19:00-20:00	1.4	2.1
8:00-9:00	0.15	2.4	20:00-21:00	1.4	1.4
9:00-10:00	0.15	0.5	21:00-22:00	1.2	1.3
10:00-12:00	0.15	1	22:00-23:00	0.15	1.2
11:00-12:00	0.15	0.9	23:00-24:00	0.15	0.15

3.1.4 算法参数

改进型粒子群算法,设置种群规模 $N=100$,迭代次数 $T_{\max}=200$,初始的惯性权重 $\omega_{\text{start}}=0.9$,迭代结束的惯性权重 $\omega_{\text{end}}=0.4$ 。

3.2 算例仿真分析

本文的算例分析基于4种不同购电电价机制下,以及在工作日和非工作日不同的负荷情况下,分析家庭光伏发电系统的调度策略,并求解系统的最优收益。

3.2.1 场景1——工作日

当负荷参数为工作日的负荷,分别基于固定电价和分时电价机制,家庭光伏发电系统的调度策略如图4所示。

由图4可知,在5:00到20:00之间的调度趋势基本相同,电量上网时段均为5:00-19:00,而且固定电价时购电主要在3:00-6:00,分时电价购电时段为22:00-24:00和2:00-5:00。

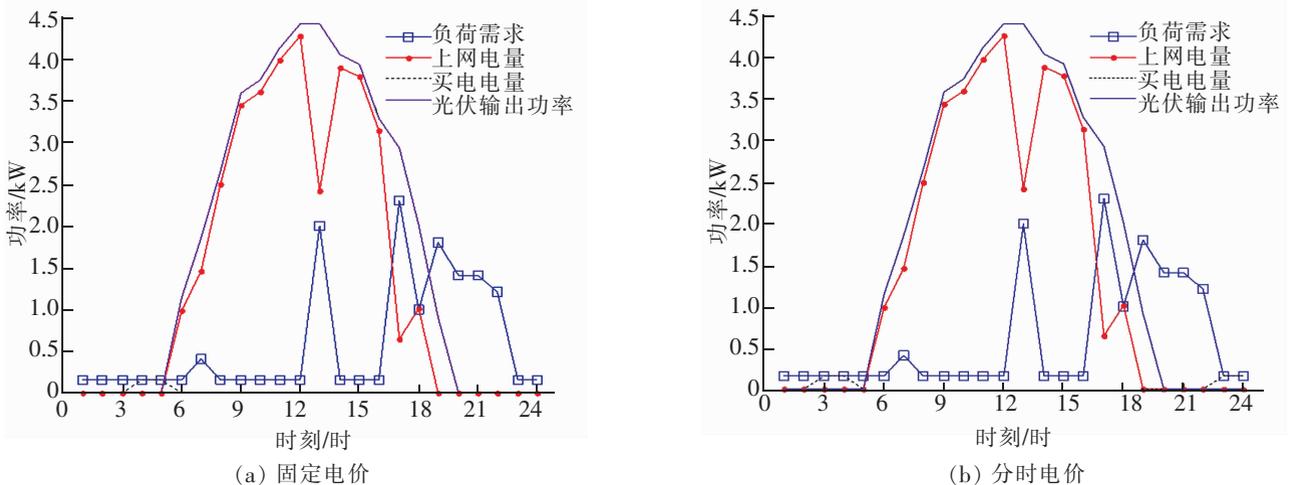


图4 工作日下调度结果对比

Fig.4 Comparison of scheduling results in working days

系统的最优收益的求解结果为,固定电价在工作日时的收益为 40.751 5 元,分时电价在工作日时的收益为 40.666 8 元。虽然在夜间分时电价的购电电价较低,但因为在白天固定电价的上网电价较高,且仿真过后的最优调度下夜间购电较多,故收益比固定电价要低。

3.2.2 场景 2——非工作日

当负荷参数为非工作日的负荷,分别基于固定电价和分时电价机制,家庭光伏发电系统的调度策略如图 5 所示。

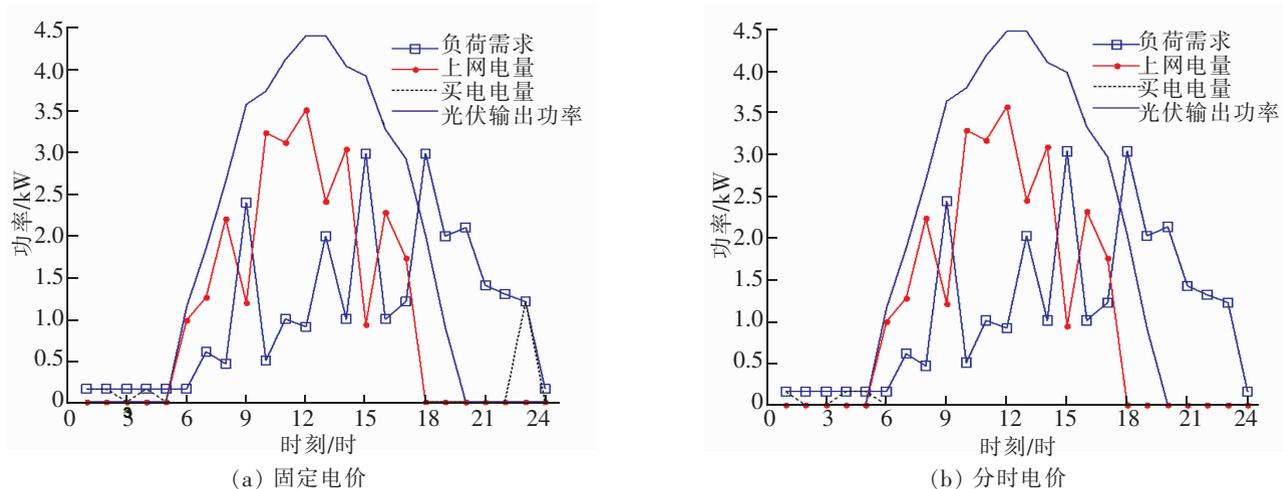


图 5 非工作日下午调度结果对比

Fig.5 Comparison of dispatched results in non-working days

由图 5 可见,非工作日下午分时电价与固定电价相比,在 5:00–20:00 之间的调度趋势基本相同,电量上网时段均为 5:00–18:00,相比于工作日减少了 1 h。固定电价时购电主要在 22:00–24:00 和 2:00–5:00,分时电价购电时段为 1:00–2:00 和 3:00–6:00,固定电价的购电时段比分时电价多 1 h。

系统的最优收益的求解结果为,固定电价在非工作日时的收益为 36.438 9 元,分时电价在非工作日时的收益为 36.777 9 元,非工作日下午夜间负荷较多,由于固定电价下购电较多,故分时电价时的收益较大。

3.2.3 场景 3——阶梯电价

当购电电价机制为阶梯电价,在供暖季时间内(11 月 15 日—次年 3 月 15 日)负荷参数分别为工作日和非工作日的负荷,家庭光伏发电系统的调度策略如图 6 所示。

由图 6 可知,工作日下在 5:00–17:00 有一定比例的电量上网,而非工作日下延长到了 18:00,相比于固定电价和分时电价时减少 2 h,工作日下和非工作日下购电时段均为 3 h,但是时间点有所区别。

系统的最优收益的求解结果为,供暖季工作日下收益为 40.015 8 元,比固定电价(40.751 5 元)和分时电价(40.666 8 元)均要低,供暖季非工作日下收益为 36.820 3 元,比固定电价(36.438 9 元)和分时电价(36.777 9 元)均要高。

当购电电价机制为阶梯电价,在非供暖季时间内(3 月 16 日到 11 月 14 日)负荷参数分别为工作日和非工作日的负荷,家庭光伏发电系统的调度策略如图 7 所示。

由图 7 可知,工作日时电量并网时段为 6:00–19:00,相对于供暖季延长 1 h,且起止时刻由 5:00 和 17:00 变为了 6:00 和 19:00;相对于固定电价和分时电价下起始时间延后 1 h,时长未变,相应的各点上网电量的比例也有所变化。非工作日时电量并网时段为 5:00–18:00,起止时间均比工作日提前 1 h,其上网电量变化趋势与供暖季时基本相同。工作日时买电时长为 3 h,非工作日时为 2 h,相比于固定电价和分时电价机制下均有减少,说明在这一电价机制下通过优化调度以后,需要的购电量均比固定电价和分时电价下少,但由于上网比例的不同和电价存在的差异。

系统的最优收益的求解结果为,非供暖季工作日时的收益为 40.268 7 元,比固定电价(40.751 5 元)和

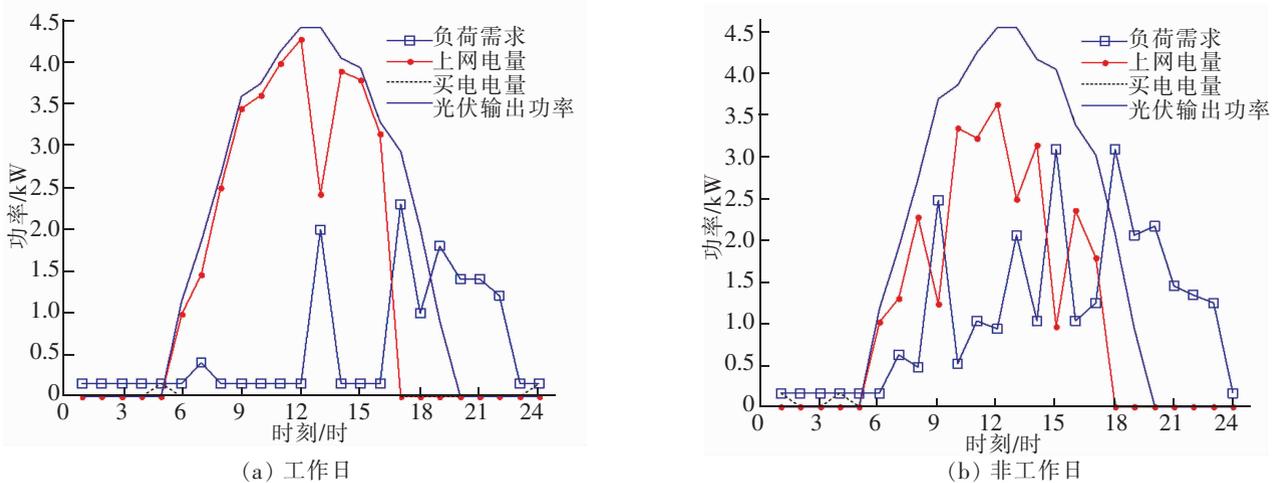


图6 阶梯电价供暖季调度结果

Fig.6 Dispatching results of ladder electricity price in heating season

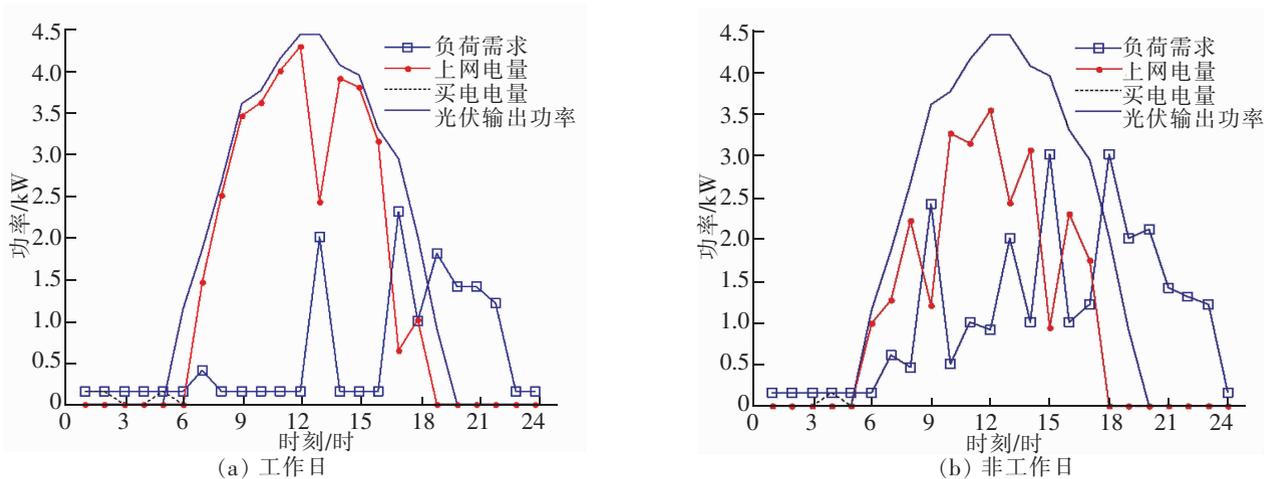


图7 阶梯电价非供暖季调度结果

Fig.7 Dispatching results of ladder price in non-heating season

分时电价(40.666 8元)均要低,但比供暖季时40.015 8元收益要高一些,总的来讲,目前为止,在工作日时固定电价收益最大。非供暖季非工作日时,其收益为36.835 7元,比供暖季时的阶梯电价(36.820 3元)、固定电价(36.438 9元)和分时电价(36.777 9元)均要高。

3.2.4 场景4——阶梯分时电价

当购电价机制为阶梯分时电价,负荷参数分别为工作日和非工作日的负荷,家庭光伏发电系统的调度策略如图8所示。

当把阶梯电价与分时电价结合起来形成阶梯分时电价时,在本文所考虑的情况下此时的阶梯电价未考虑供暖季和非供暖季两种情况,而是直接应用非供暖季的3档电价与分时电价结合。因为本文所选取的负荷需求和光伏输出功率在各情况下均为已知值,用电量为第一档,也是现实中大多数用户的用电量。

由图8可知,工作日时,并网时段为5:00–19:00,与固定电价和分时电价下的并网时段相同,比供暖季时的阶梯电价多了2 h,比非供暖季时的阶梯电价多了1 h。非工作日时,并网时段为5:00–18:00,与各种电价机制下均相同,比工作日时少了2 h。

系统的最优收益的求解结果为,工作日下的收益为40.793 9元,相比于固定电价(40.751 5元)、分时电价(40.666 8元)、阶梯电价在供暖季时(40.015 8元)、阶梯电价在非供暖季时(40.268 7元)而言,收益是最

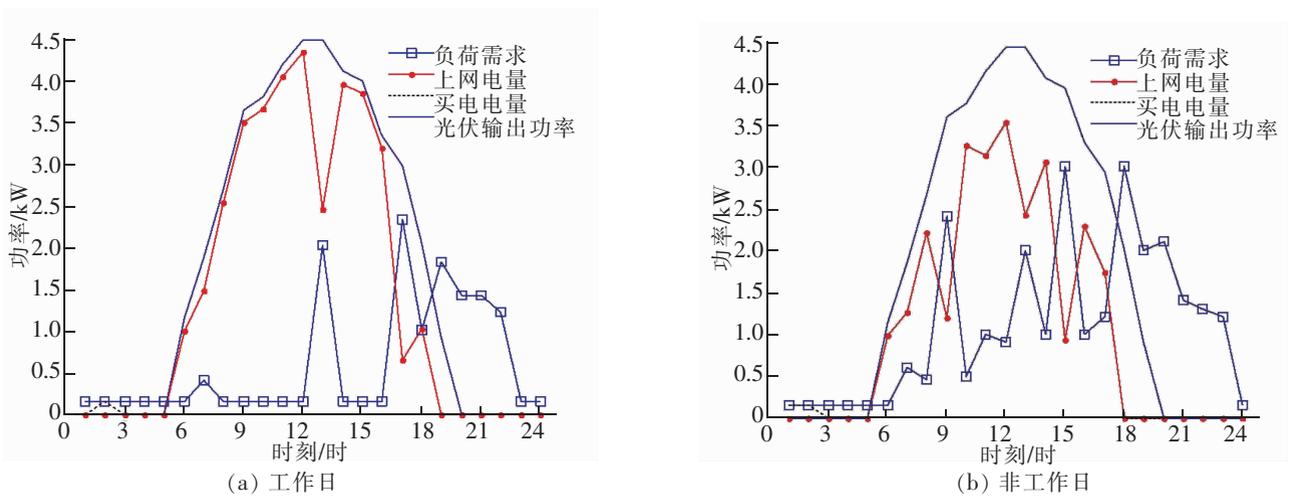


图 8 阶梯分时电价调度结果

Fig.8 Ladder time-sharing price dispatching results

大的。非工作日时的收益为 36.905 1 元,比阶梯电价在供暖季时 (36.820 3 元)、阶梯电价在非供暖季时 (36.835 7 元)固定电价(36.4389 元)和分时电价(36.777 9 元)均要高。

3.2.5 不同场景收益对比分析

表 4 各电价机制下的最优收益

Tab.4 Optimal returns for each electricity price mechanism

元

时间场景类别	固定电价	分时电价	阶梯电价		阶梯分时电价
			供暖季	非供暖季	
工作日	40.751 5	40.666 8	40.015 8	40.268 7	40.793 9
非工作日	36.438 9	36.777 9	36.820 3	36.835 7	36.905 1

由表 4 可清晰的看到,在工作日负荷下最优收益为:阶梯分时电价>固定电价>分时电价>阶梯电价(非供暖季时)>阶梯电价(供暖季时);在非工作日负荷下最优收益为:阶梯分时电价>阶梯电价(非供暖季时)>阶梯电价(供暖季时)>分时电价>固定电价。

综上所述,可得到以下分析结论:

1) 对于本文所选取的太阳辐射量,温度,负荷,一系列参数以及电价机制而言,采用阶梯分时电价不管是在工作日还是非工作日均可得到最优收益。

2) 无论何种电价机制,其负荷需求,上网电量,买电电量,光伏输出功率的关系均有共同点,即是 6:00-19:00 有一定的光照,8:00-18:00 期间光伏发电情况较好,其发电量除了供给自身家中的负荷使用以外,剩余电量大部分并入电网,缓解电网高峰时期的供电压力,达到“削峰”的作用,并且为家庭带来一部分收益,少数为蓄电池充电,在夜间为家中较小的负荷供电,减少家庭开支。

3) 20:00-次日 5:00,光伏发电量为零,在此期间,按照分配比例 β 向电网买电和控制蓄电池放电,同时达到“填谷”的作用。

4) 各种电价机制下,由于电价不同,调度方案也有些许差别,可以看到,各图中在白天的上网电量和时段和时长以及在夜间的买电电量和时段和时长均有所差别。

4 总结

本文充分考虑并网收益、购电支出、政府补贴、光伏阵列和蓄电池系统维护支出等因素,确定了家庭光伏发电系统的动态经济效益调度模型,并利用改进型粒子群优化算法对模型进行寻优求解。以某家庭光

光伏发电系统 24 h 内的运行调度为具体算例,在 MATLAB 软件上进行仿真,选取目前市面上实行的几种购电电价机制,分别是固定购电电价、峰谷分时电价、供暖季阶梯电价和阶梯分时电价,比较了在本文所建立的模型和优化调度算法中,在工作日和非工作日不同的负荷情况下,所得到的最优收益,确定最好的调度策略。本文所选取的数据组合之下,不管是工作日还是非工作日,采用阶梯分时电价均可取得最优收益,且可达到“削峰填谷”的作用,降低了电网供电压力,提高了供电稳定性,实现了对系统的优化调度。

参考文献:

- [1] 左丽霞,余愿,孙惠娟. 电力系统动态环境经济调度模型研究[J]. 华东交通大学学报,2018,35(161):134-142.
- [2] 张子泳. 基于多目标粒子群算法的电力系统环境经济调度研究[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(10):1-10.
- [3] 卢美玲,张庚,刘松,吕磊. 面向能源互联网的家庭光伏发电系统经济效益优化调度模型[J]. 电力系统及其自动化学报,2016,28(S1):141-146.
- [4] 丁毛毛,杨仁刚. 基于天气预报的光伏输出功率短期预测[J]. 可再生能源,2014,32(4):385-391.
- [5] 吴宏才. 居民阶梯分时电价优化方法研究[D].天津:天津大学,2016.
- [6] 郝文斌,李银奇. 不同电价机制下含光伏发电的家庭负荷调度经济性研究[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(17):34-42.
- [7] 吕晨旭. 基于储能成本收益评估的小型光储系统实时经济运行方法[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(17):144-151.
- [8] MOLINA M G,ESPEJO E J. Modeling and simulation of grid-connected photo-voltaic energy conversion system[J]. International Journal of Hydrogen Energy,2014,39(16):8702-8707.
- [9] 段俊东,栗维冰,薛静杰. 基于经济调度的光伏并网系统储能容量研究[J]. 河南理工大学学报:自然科学版,2015,34(6):860-866.

Research on Dynamic Economic Dispatch of Household Photovoltaic Power Generation System

Zuo Lixia¹, Peng Rui²

(1. School of Electrical and Automation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013,China;

2. Department of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094,China)

Abstract: With the rapid development of photovoltaic power generation technology, the users of photovoltaic power generation system in China are increasing year by year. It is of great significance for studying the dynamic economic optimization and scheduling problem of household photovoltaic system. Taking the maximization of user income as the objective function, the proportion of the network users and the proportion of electricity purchase were set as decision variables. The economic benefit scheduling model of the generation system was determined by net income of the photovoltaic power generation system, the electricity purchase expenditure, the government subsidy, photovoltaic array and the battery system maintenance expenditure. In the MATLAB simulation environment, taking the operation and scheduling of a home photovoltaic power system in 24 hours as an example, this study selected several electricity purchase price mechanisms currently implemented in the market, and the particle swarm optimization algorithm was used to optimize the established model. The optimal revenue obtained from the basic electricity price mechanism and the different load conditions were compared respectively. Finally, it provided the best scheduling strategy for the dispatcher.

Key words: household photovoltaic generation; modified particle swarm algorithm; dynamic economic dispatch; electricity price mechanism