

计及直接负荷控制的商业建筑型微电网优化运行方法

朱翰超¹, 马蕊², 孙聪¹, 马跃洋¹, 王迪¹

(1. 国网冀北电力有限公司管理培训中心, 北京 102401;
2. 国网冀北电力有限公司经济技术研究院, 北京 100038)

Optimal operation method of commercial building microgrid considering direct load control

ZHU Hanchao¹, MA Rui², SUN Cong¹, MA Yueyang¹, WANG Di¹

(1. Management Training Center of State Grid Electric Power Co., Ltd., Beijing 102401, China;
2. Economic Research Institute of State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Beijing 100038, China)

摘要:商业建筑型微电网作为微电网的一种典型形式,得到了广泛应用,其优化运行是一门重要课题。商业建筑型微电网内配置了较大容量的可控负荷,考虑对这些负荷进行直接负荷控制,以系统综合运行成本最小为目标函数,建立商业建筑型微电网优化运行模型。引入混沌搜索对基本万有引力算法进行改进,并采用改进万有引力算法对建立的模型进行求解。最后通过一个仿真算法验证了模型的正确性和有效性,该方法能够在不降低用户舒适度的前提下,降低系统综合运行成本,且改进万有引力算法相比较传统的算法有着更优的求解性能。

关键词:商业建筑型微电网;优化运行;直接负荷控制;万有引力算法;混沌搜索

Abstract: Commercial building microgrid has been widely used as a typical form of microgrid, the optimal operation of which has become an important subject. The large capacity controllable load is disposed in the commercial building microgrid, the direct load control of these loads is considered, the minimum integrated operating cost is taken as the objective function, and the optimal operation model of commercial building microgrid is established. Chaos search is introduced to improve the basic gravity algorithm, and the improved gravity algorithm is used to solve the model. Finally, a simulation algorithm is used to verify the correctness and effectiveness of the proposed model. It can reduce the integrated operating cost of the system without reducing the users' comfort level, and the improved gravitational algorithm has a better performance.

Key words: commercial building microgrid; optimal operation; direct load control; gravitational algorithm; chaotic search

中图分类号:TK018;TK019;TM71 文献标志码:B

0 引言

微电网能自我控制管理,可灵活地并网或孤岛运行,在节能降耗、提高供电可靠性等方面具有巨大潜力^[1],商业建筑型微电网是其典型应用形式^[2]。同时,微网作为一种需求侧管理平台,充分挖掘其需求侧资源成为一项重要趋势^[3]。文献[4]考虑负荷需求、微电源维护成本、购电、售电价格和网络损耗等微电网运行约束条件,建立了微电网经济调度模型,并运用动态规划方法来协调微电网各时段的经济调度。文献[5]提出了一种对负荷及分布式电源的不确定性进行量化估计并以此对日前经济调度中调节量进行修正的方法。直接负荷控制(direct load control, DLC)是一种重要的激励型需求响应(demand response, DR)技术,其中具有热能储存能

力的温控负荷(thermostatically controlled loads, TCL)是典型。因此充分考虑这些负荷,建立合理的优化运行模型能够降低系统综合运行成本。

本文充分考虑商业建筑型微电网内的需求侧特性,建立基于直接负荷控制的微电网优化运行模型。该模型能够充分挖掘系统负荷侧的需求侧资源,从而降低综合运行成本。

1 商业建筑型微电网直接负荷控制

商业建筑型微电网内的负荷大部分为制冷或制热的温控负荷,因此DLC的主要实施对象为温控负荷。以夏季制冷状态为例,建筑室内温度 T 的运行状态方程满足

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\tau}(T_r - T - wT_g) \quad (1)$$

式中: t 为时间; T_r 为室外环境温度; τ 为建筑内热时间常数,该常数衡量了室内温度变化难易情况; w 表征温控负荷启停状态,当 $w=1$ 时为运行状态,当

收稿日期:2018-09-23;修回日期:2018-10-10

基金项目:河北省自然科学基金(E2013502074)

This work is supported by Natural Science Foundation of Hebei Province(N0. E2013502074)

$w=0$ 时为停止状态; r 为运行占空比; T_g 为温控负荷的温控增益。

求解以上微分方程, 并以 Δt 一个时段将时间离散化, 可以得到建筑内温度在 $(t+1)$ 时段末和 t 时段末的关系为

$$T[(t+1)\Delta t] = e^{-\Delta t/\tau} T(t\Delta t) + (1 - e^{-\Delta t/\tau}) [T_f + w(t)r(t)T_g(t)] \quad (2)$$

式中: $T[(t+1)\Delta t]$ 和 $T(t\Delta t)$ 分别为商业建筑在 $(t+1)\Delta t$ 和 $t\Delta t$ 时刻的温度; $w(t)$ 和 $r(t)$ 分别为温控负荷在第 t 个时段内的启停系数和运行占空比; $T_g(t)$ 为第 t 个时段温控负荷的温控增益, 该增益与设定的调节温度有关。

温控负荷的控制主体为微网运营商。对于温控负荷, 微网采取的直接负荷控制策略可以用 $w(t)$ 和 $r(t)$ 来表示, 其中 $n=1, 2, \dots, D$, D 为时段数。假设微网在各个时段能够采用3种方式改变温控负荷的运行状态, 从而在满足用户舒适度的前提下改变温控负荷曲线。这3种方式为:

(1) 将温控负荷关停, 即令 $w(t)=0$;

(2) 仍然保持 $w(t)=1$, 但改变温控负荷的运行占空比, 即设定 $r(t)$ 的值;

(3) 仍然保持 $w(t)=1$, 修改温度调节定值, 即通过增大温控增益 $T_g(t)$ 的方式增加温控出力。

假定微网原来的负荷曲线为 $P_L(t)$, 那么在对接温控负荷实施直接负荷控制后, 负荷曲线变化量为

$$\Delta P_{L,1}(t) = \begin{cases} -P_{tem}(t) & w(t)=0 \\ -P_{tem}(t)(1-r(t)) & w(t)=1 \\ (\bar{T}_g(t)/T_g(t)-1)P_{tem}(t) & \text{增益调节模式} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $P_{tem}(t)$ 为电网在 t 时段原来的温控负荷水平; $\bar{T}_g(t)$ 为温控增益模式下设定的温控增益。

除了主要的温控负荷, 商业建筑型微电网内也有其他的 DLC 负荷, 这样的负荷包括洗衣机, 洗碗机等。其他 DLC 负荷的需求响应特性可以采用负荷反弹模型来描述, 根据文献[7], 一般采用三阶模型, t 时段反弹负荷为

$$P_{pb}(t) = \theta_1 P_{DCL}(t-1) + \theta_2 P_{DCL}(t-2) + \theta_3 P_{DCL}(t-3) \quad (4)$$

式中: $P_{pb}(t)$ 为 t 时段反弹负荷功率; θ_1 、 θ_2 和 θ_3 分别为反弹系数; $P_{DCL}(t-1)$ 、 $P_{DCL}(t-2)$ 和 $P_{DCL}(t-3)$ 分别为对应时段的 DLC 功率。

当对其他 DLC 负荷进行直接负荷控制对负荷曲线的影响为

$$\Delta P_{L,2}(t) = \begin{cases} -P_{DCL}(t) + \theta_1 P_{DCL}(t-1) + \theta_2 P_{DCL}(t-2) + \theta_3 P_{DCL}(t-3) & t \geq 4 \\ -P_{DCL}(t) + \theta_1 P_{DCL}(t-1) + \theta_2 P_{DCL}(t-2) & t = 3 \\ -P_{DCL}(t) + \theta_1 P_{DCL}(t-1) & t = 2 \\ -P_{DCL}(t) & t = 1 \end{cases} \quad (5)$$

式中: $\Delta P_{L,2}(t)$ 为对其他 DLC 负荷进行直接负荷控制产生的负荷曲线变换量。

2 计及直接负荷控制的微电网优化运行

2.1 系统简化结构及模型

本文微电网允许可再生能源向外网输送, 因此为最大化可再生能源的利用率, 将光伏发电(PV)设置在最大功率跟踪模式, 不参与调度, 并接入一定的储能(SB)来平抑光伏出力的波动性。

2.2 目标函数

2.2.1 微网经济成本

微网的经济成本主要包括微型燃气轮机(MT)和燃料电池(FC)的燃料费用, 各个设备的运行维护费用以及与外网进行购售电的成本(收益), 该成本为

$$f_1 = \sum_{t=1}^T \Delta t \left\{ \begin{aligned} & f_{MT}(P_{MT}(t)) + f_{FC}(P_{FC}(t)) + \\ & \sum_{m \in \{MT, SB, FC, PV\}} k_m |P_m(t)| + q(t)P_{grid}(t) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中: T 为一天调度时段数; f_{MT} 为 MT 的燃料成本函数; $P_{MT}(t)$ 为 t 时段 MT 的计划出力; f_{FC} 为 FC 燃料成本函数; $P_{FC}(t)$ 为 t 时段 FC 计划出力; m 为存在运行维护成本的设备编号, 包含 MT、FC、SB、PV; k_m 为第 m 台设备的运行维护成本系数; $P_m(t)$ 为 t 时段第 m 台设备的出力; $q(t)$ 为 t 时段外网分时电价; $P_{grid}(t)$ 为 t 时段的购售电功率, 大于零时为购电, 小于零为售电。

2.2.2 功率损耗成本

为制定出综合成本更低的优化运行方案, 在微电网优化运行模型中需要考虑功率损耗。各时段功率损耗的价值按该时段外网分时电价水平为

$$f_2 = \sum_{t=1}^T q(t) \Delta t \sum_{l \in S} [(P_l(t))^2 + (Q_l(t))^2] R_l / U_N^2 \quad (7)$$

式中: S 为微电网馈线集合; $P_l(t)$ 和 $Q_l(t)$ 分别为 t 时段馈线 l 的传输有功无功功率; R_l 为馈线 l 的电阻, U_N 为微电网母线额定电压。

2.2.3 环境成本

考虑环保折算成本来提高模型的社会经济效益, 环保折算成本为

$$f_3 = \sum_{t=1}^T \Delta t \left\{ \sum_{\theta=1}^N \lambda_{MT}^{\theta} c^{\theta} P_{MT}(t) + \sum_{\theta=1}^N \lambda_{FC}^{\theta} c^{\theta} P_{FC}(t) \right\} \quad (8)$$

式中: θ 为污染物类别, 共 N 种污染物; λ_{MT}^{θ} 为 MT 第 θ 种污染物的排放系数; λ_{FC}^{θ} 为 FC 第 θ 种污染物排放系数; c^{θ} 为第 θ 种污染物的单位排放量治理费用。

因此系统经济运行的目标函数为

$$\min f = f_1 + f_2 + f_3 \quad (9)$$

2.3 约束条件

(1) 系统功率平衡约束

$$P_{grid}(t) + P_{MT}(t) + P_{FC}(t) + P_{PV}(t) + P_{SB}(t) = P_L(t) - \Delta P_{L,1}(t) - \Delta P_{L,2}(t) + f_2(t) \quad (10)$$

式中: $P_{PV}(t)$ 为 t 时段 PV 出力功率; $P_L(t)$ 为 t 时段微电网负荷水平。

(2) 温控负荷温度调节约束。当对温控负荷进行直接负荷控制之后,其调节温度必须满足用户舒适度要求。以夏天为例,该约束为

$$T(t\Delta t) \leq T_{\max} \quad t=1,2,\dots,D \quad (11)$$

式中: T_{\max} 为商业建筑内温度的最高值。在各个时段既定的温控负荷运行情况下,忽略室外温度在单个时段的变化,那么该时段内商业建筑温度必然处于递增或者递减的状态,因此只需各个时段末的时刻满足温度调节约束,就能保证每个时刻都满足。

(3) 公共连接点功率传输约束

$$P_{\text{grid}}^{\min} \leq P_{\text{grid}}(t) \leq P_{\text{grid}}^{\max} \quad (12)$$

式中: P_{grid}^{\max} 为微电网向外网最大购电功率; P_{grid}^{\min} 为负,其绝对值表示向外网最大售电功率。

(4) 储能相关约束

$$\begin{cases} P_{\text{SB}}^{\min} \leq P_{\text{SB}}(t) \leq P_{\text{SB}}^{\max}; S_{\text{SB}}^{\min} \leq S_{\text{SB}}(t) \leq S_{\text{SB}}^{\max}; S_{\text{SB}}(T) = S_{\text{SB}}(0) \\ S_{\text{SB}}(t+1) = \begin{cases} S_{\text{SB}}(t) - P_{\text{SB}}(t)\Delta t/\eta_{\text{dis}} - \Delta t D_{\text{SB}} Q_{\text{SB}} & P_{\text{SB}}(t) > 0 \\ S_{\text{SB}}(t) - P_{\text{SB}}(t)\Delta t\eta_{\text{ch}} - \Delta t D_{\text{SB}} Q_{\text{SB}} & P_{\text{SB}}(t) < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (13)$$

式中: $S_{\text{SB}}(t)$ 和 $S_{\text{SB}}(t+1)$ 分别为 t 和 $t+1$ 时段末 SB 剩余电量; η_{dis} 为 SB 放电效率; η_{ch} 为 SB 充电效率; P_{SB}^{\max} 和 P_{SB}^{\min} 分别为储能充放电上下限; S_{SB}^{\max} 和 S_{SB}^{\min} 分别为储能剩余电量的上下限。

(5) 可控微电源出力约束

$$\begin{cases} P_{\text{MT}}(t) \leq P_{\text{MT}}^{\max} & P_{\text{MT}}(t)(P_{\text{MT}}(t) - P_{\text{MT}}^{\min}) \geq 0 \\ P_{\text{FC}}(t) \leq P_{\text{FC}}^{\max} & P_{\text{FC}}(t)(P_{\text{FC}}(t) - P_{\text{FC}}^{\min}) \geq 0 \end{cases} \quad (14)$$

式中: P_{MT}^{\max} 为 MT 出力上限; P_{MT}^{\min} 为 MT 出力下限; P_{FC}^{\max} 为 FC 出力上限; P_{FC}^{\min} 为 FC 出力下限; 式(14)表示可控微源要么出力为零,要么位于出力下限和上限之间。

3 改进万有引力算法与模型求解流程

万有引力算法是一种基于万有引力定律进行寻优的智能优化方法^[6-7]。然而普通万有引力算法由于局部搜索能力不足,可能错过局部最优解,也可能陷入局部最优解中无法进一步寻优。本文引入混沌搜索的方式改进基本万有引力算法,并对所建立的模型采用改进万有引力算法求解。一般可采用 Logistic 映射作为混沌运动公式

$$\chi_{u+1} = 4\chi_u(1 - \chi_u) \quad \chi_u \in (0,1) \quad (15)$$

$$\chi_0 = \text{rand}(\cdot) \quad \chi_0 \notin \{0.25, 0.5, 0.75\} \quad (16)$$

式中: χ_{u+1} 和 χ_u 分别为第 $u+1$ 次和第 u 次迭代时的混沌变量; χ_0 为混沌变量初始值。

改进万有引力算法的算法流程为:

- (1) 设置改进万有引力算法的基本参数,包括天体个数、位置的维数、引力常数、最大迭代次数;
- (2) 初始化天体位置,初始速度和初始加速度,其中天体位置表征一种微电网运行计划;

(3) 对每个天体进行混沌搜索,并计算每个天体对应微电网运行计划下的综合运行成本;

(4) 根据式(17)一式(19)计算每个天体的位置、更新速度和加速度

$$v_i^d(t+1) = \text{rand}_j \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (17)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (18)$$

$$a_i^d = F_i^d(t)/M_i(t) \quad (19)$$

式中: $x_i^d(t)$, $v_i^d(t)$, $a_i^d(t)$ 分别为在 t 时刻粒子 i 在 d 维的位置、速度以及加速度; $d=1,2,\dots,D$, D 为搜索空间维度; rand_j 为 $[0,1]$ 之间的随机数; $F_i^d(t)$ 为 t 时刻粒子 i 在 d 维所受力的大小,可以通过式(20)一式(21)计算; $M_i(t)$ 为 t 时刻粒子 i 的惯性质量

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N \text{rand}_j \times F_{ij}^d(t) \quad (20)$$

$$F_{ij}^d(t) = \left[\frac{G(t) \times M_i(t) \times M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} \right] \times [x_j^d(t) - x_i^d(t)] \quad (21)$$

式中: N 为粒子总数; $F_{ij}^d(t)$ 为粒子 j 对粒子 i 的引力; rand_j 为随机数; $G(t)$ 为 t 时刻引力常数; $R_{ij}(t)$ 为粒子 i 与粒子 j 的欧式距离; ε 为一个值很小的常量。粒子 i 在 t 时刻的惯性质量为

$$m_i(t) = (f_i(t) - w(t)) / (b(t) - w(t)) \quad (22)$$

$$M_i(t) = m_i(t) / \sum_{j=1}^N m_j(t) \quad (23)$$

式中: $f_i(t)$ 为在 t 时刻第 i 个粒子的适应值的大小; 对于微网优化运行问题, $w(t)$ 和 $b(t)$ 可定义为

$$\begin{cases} b(t) = \min_{j \in \{1,2,\dots,n\}} f_j(t) \\ w(t) = \max_{j \in \{1,2,\dots,n\}} f_j(t) \end{cases} \quad (24)$$

(5) 判断算法是否达到最大迭代次数,如果达到输出当前最优解,否则迭代次数加 1 并且返回步骤(3)。

4 算例分析

以河北省某地一典型商业建筑型微电网为例进行仿真验证。该微网以光伏发电作为新能源发电形式,另外还并网接入微燃机,燃料电池以及储能设备以保证系统的供电可靠性。微燃机和燃料电池的燃料成本函数,各个设备的运行维护成本系数,可控微电源的环保折算系数参考文献[3]一文[4]。温控负荷控制时间 Δt 为 0.5 h。

另外,该微网通过公共耦合点(point of common coupling, PCC)与上级配电网连接,而且运行在并网模式下,外网实时电价曲线如图 1 所示。商业建筑型微电网内主要有 3 类负荷,分别为温控负荷,一般 DLC 负荷以及普通负荷。系统内各个设备容量以及负荷配置情况为:微燃机为 130 kWh;燃料电池为 125 kWh;储能功率为 60 kWh;储能容量为 400 kWh;光伏发电为 320 kWh;PCC 容量为 150 kWh;温控负

荷容量为 150 kWh;其他 DLC 负荷容量为 100 kWh;普通负荷容量为 100 kWh。

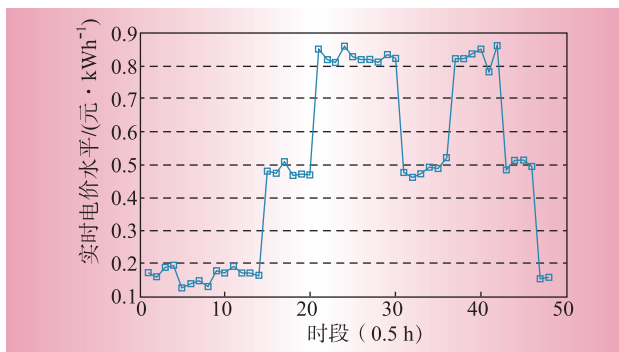


图1 典型运行日下外网一天实时电价曲线

Fig. 1 Real-time price curve of the external network in a typical day

以某一典型运行日为例,通过运行本文所建立的模型制定当日微电网的优化运行计划。这一天系统的光伏出力功率曲线及各类负荷曲线如图2所示。

为了验证本文方法的正确性和有效性,对微电网设置2种运行方式:方式1为系统不采取直接负荷控制,即将温控负荷和一般DLC负荷也作为普通负荷考虑;方式2为系统对所配置的温控负荷和一般DLC负荷进行直接负荷控制。运行所建立的模型,可以得到方式1和方式2下的系统运行计划曲线分别如图3和图4所示。

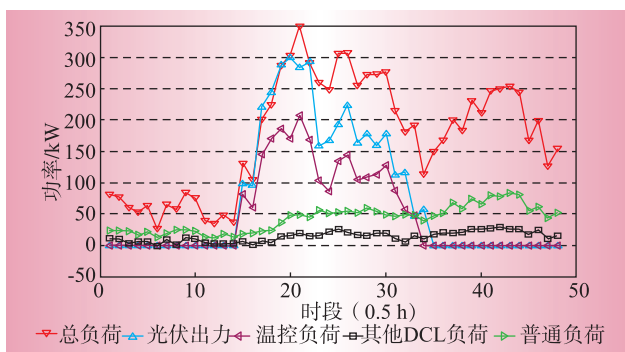


图2 微电网光伏出力,负荷配置和功率水平

Fig. 2 Photovoltaic power output, load configuration and power level of the microgrid

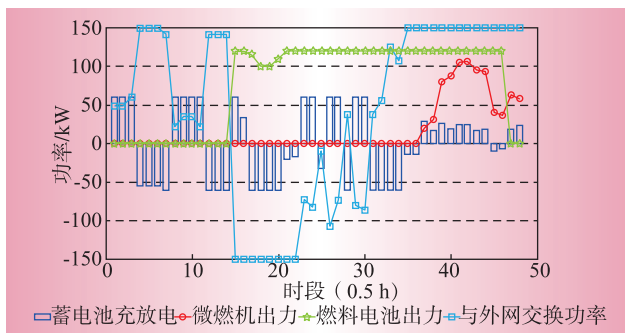


图3 方式1下商业建筑型微电网优化运行方案

Fig. 3 Optimal operation scheme of the commercial building microgrid in mode 1

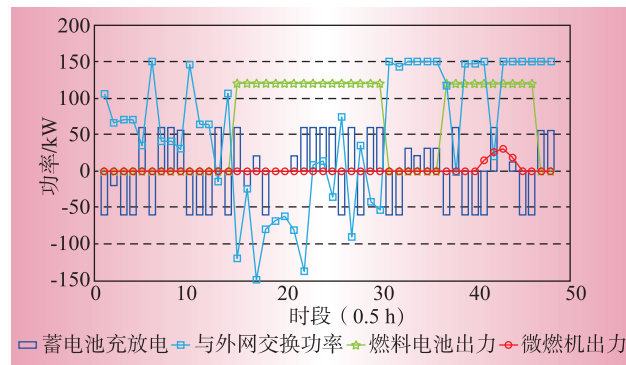


图4 方式2下商业建筑型微电网优化运行方案

Fig. 4 Optimal operation scheme of the commercial building microgrid in mode 2

如图3、图4所示,在一天的初始时段内,由于系统处于谷时段,采用外网低价的电能进行供电,储能充电,为负荷高峰期获取削峰填谷效益准备。

在一天的中间时段,分布式新能源光伏发电达到高峰,但同时负荷水平也达到第一次高峰。这时外网实时电价水平较高,系统还通过公共耦合点向外网售电获取收益,这些电量一部分是光伏出力,另一部分是储能出力。

在之后的一天末时段,系统又迎来了负荷高峰时段,不仅储能充分放电,燃料满发,在方式1下成本相对较高的微燃机可处于开机状态,以满足紧张的功率需求。然而在方式2下由于微电网采用直接负荷控制改善了负荷曲线,因此微燃机并不需要开机,燃料电池的运行时间也显著小于方式1下的。从储能剩余电量曲线可以看出,储能的充放电过程符合系统峰谷特性。

微电网所有的直接控制负荷在实行直接负荷控制前后的综合负荷水平对比如图5所示。对商业建筑型微电网实行直接负荷控制后改善了系统的负荷曲线。改善后的负荷曲线负荷最高峰降低与实时电价曲线更加逆向匹配,可以降低综合运行成本。如果一个时段的实时电价水平相对于该范围较低,那

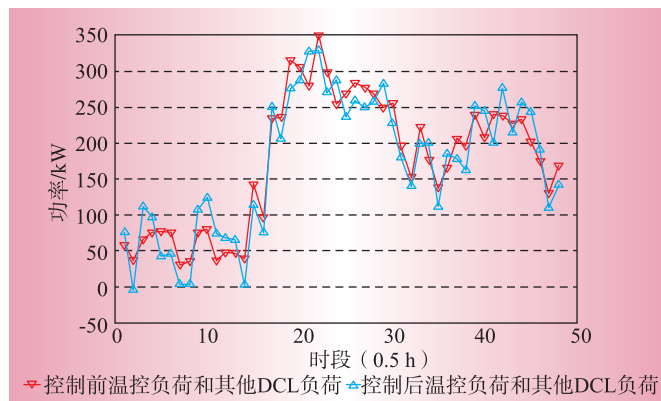


图5 温控负荷和其他DLC负荷在直接负荷控制前后对比

Fig. 5 Comparison of thermostatically controlled load and other DLC loads before and after direct load control

么温控负荷会降低温度设定,增加温控收益,提前利用较低的供电成本降低温度;当一个时段的实时电价水平相对于该范围较高,那么优化运行策略便会降低该时段温控负荷的占空比,将其他DLC负荷转移到之后的时段。

2种运行方式下的运行指标对比如表2所示。

表2 方式1和方式2的系统运行指标对比
Tab. 2 Comparison of system operation indexes between mode 1 and mode 2

指标	元	
	方式1	方式2
综合运行成本	2 325.16	2 113.32
经济	1 967.74	1 856.89
环境	321.84	135.29
网损	35.58	34.96
直接负荷控制成本	0	86.18

从表2可以看出,方式2相比于方式1,综合运行成本大大降低。无论是在经济成本还是环境成本方面,方式2相比于方式1都有着显著下降,而网损成本没有明显差别。方式2相比于方式1还额外支出了直接负荷控制成本,但是该项成本却能够通过改善负荷曲线降低系统综合运行成本。

为了验证改进万有引力算法的性能,对相同的模型分别采用普通万有引力算法和本文改进万有引力算法进行求解,可以得到2种情况下的算法运行指标对比如表3所示。

表3 万有引力算法和改进万有引力算法运行指标对比
Tab. 3 Comparison of operation index of basic and improved gravitational algorithm

运行指标	运行方式1		运行方式2	
	普通万有引力	改进万有引力	普通万有引力	改进万有引力
综合运行成本/元	2 314.29	2 325.16	2 094.38	2 113.32
运行时间/s	13.65	11.66	15.49	13.34

从表3可以看出,通过对普通万有引力算法引入混沌搜索能够显著改善算法的性能,增强算法的寻优能力并且降低寻优时间,更适用于本文考虑直接负荷控制的商业建筑型微电网优化运行的复杂问题求解。

5 结束语

针对商业建筑型微电网的负荷构成特性,采用需求侧管理技术中的直接负荷控制方法对系统内的温控负荷以及一般DLC负荷进行直接管理,从而改善负荷曲线。建立的微电网优化运行模型能够适用于商业建筑型微电网能量调度管理。通过仿真算例

可以得出对系统采取直接负荷控制能够降低综合运行成本,提高微电网的经济效益的结论。而通过引入混沌搜索后的改进万有引力算法有着更好的寻优性能。D

参考文献:

- [1] 陆恣,周昊,周达洪,等. 基于微网接入及风光储系统的用能管理系统建设及应用效果[J]. 电力需求侧管理,2012,14(6):23-26.
LU Min, ZHOU Hao, ZHOU Dahong, et al. Energy consumption management system construction based on microgrid access and wind-solar storage[J]. Power Demand Side Management, 2012, 14(6):23-26.
- [2] RIM M, HUSSEIN J, STEPHANE P, et al. Managing energy smart homes according to energy prices: Analysis of a building energy management system [M]. Energy and Buildings, 2014, 71(3):155-167.
- [3] 周旭,包海龙,徐凡,等. 计及负荷预测误差的可中断负荷优化管理[J]. 电力需求侧管理,2011,13(2):16-19.
ZHOU Xu, BAO Hailong, XU Fan, et al. The interruptible load optimization management considering the load forecast error[J]. Power Demand Side Management,2011, 13(2):16-19.
- [4] 付蓉,杨健,李满礼,等. 基于改进粒子群算法的微电网多时段经济调度[J]. 电力需求侧管理,2014,16(3):12-17.
FU Rong, YANG Jian, LI Manli, et al. Microgrid multi-period economic dispatch based on improved particle swarm[J]. Power Demand Side Management, 2014, 16(3):12-17.
- [5] 孙旻,窦晓波,沈扬,等. 计及源荷预测误差的微电网日前经济优化调度方法研究[J]. 电力需求侧管理,2014,16(3):1-6.
SUN Min, DOU Xiaobo, SHEN Yang, et al. The study on daily economic dispatch of microgrid considering source load forecasting error[J]. Power Demand Side Management, 2014, 16(3):1-6.
- [6] ZIBANEZHAD B, ZAMANIFAR K, SADJADY R S, et al. Applying gravitational search algorithm in the QoS-based web service selection problem [J]. Journal of Zhejiang University: Science, 2011, 12(9):730-742.
- [7] 蒋林洳,万伟江,丁霄寅,等. 一种基于直接蒙特卡洛法的电动汽车充电负荷模型[J]. 供用电,2018,35(4):20-25,13.
JIANG Linru, WAN Weijiang, DING Xiaoyin, et al. Electric vehicle charging load model based on direct Monte-Carlo method [J]. Distribution & Utilization, 2018, 35(4):20-25, 13.