

中央空调节费运行方案及其适用性分析

王志成^{1,2}, 辛洁晴¹, 管国兵¹

(1. 上海交通大学 电力传输与功率变换控制教育部重点实验室, 上海 200240;

2. 国网上海市电力公司金山供电公司, 上海 201500)

摘要: 基于商业用户节省空调电费的强烈愿望和带楼宇自控系统的中央空调自身的调节能力, 提出一种分时电价激励作用下用户自主实施的、以节费为目的的中央空调运行方案优化模型。优化结果给出按一定时间间隔调节空调温度设定值的方案, 业主可通过预冷移荷和提高高电价时段的室温以达到降费的目的。针对商业性建筑典型参数实施的算例分析表明: 用户以节费为目的的空调运行优化方案, 对降低峰荷时段的电力需求有一定效果; 运营时段降载量和节费量主要受调温周期和允许最大温升影响; 早峰荷时段的起始时间、峰平价比都是激励用户预冷移荷的关键因素。

关键词: 空调; 负荷控制; 预冷; 温度控制; 等值热参数模型; 节费; 分时电价; 激励; 楼宇自控系统
中图分类号: TM 925.12 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.03.021

0 引言

空调用电是造成夏季负荷高峰的主导因素之一^[1]。商业性建筑(商场、办公楼等)大多以 09:00(或 10:00)—22:00 为营业/办公时段, 其中央空调用电更是拉大电网负荷日峰谷差的“罪魁祸首”。因此, 中央空调负荷的控制已日益受到关注。

近年来空调降载控制方面的研究成果颇多。从研究对象角度可分为两大类: 一类针对的是单一建筑, 探讨同一栋商务楼内多台冷水机组卸载的最优策略, 以冷冻能力最大化等为目标达到需求的降载量^[2]; 另一类则针对一个地区的空调负荷群, 如文献^[3]以制冷机直接负荷控制为手段, 构建电力公司-负荷聚合商-空调负荷的两级调度模型, 文献^[4-5]探讨了空调群分组控制方法。从控制目标角度, 现有研究也可归结为两大类: 一类通过直接控制制冷机启停或调节温度设置值达到降载的目的^[6-7]; 另一类则从系统尖峰负荷或尖峰时段空调用电量最小化角度对预冷移荷控制方案进行研究^[8-12]。上述研究均立足于电网调度方, 用户考虑的则是既定降载需求量在制冷机组间的分配。这种电力调度方主导的空调控制方式的实现, 以配置专门的远程控制装置为前提。

事实上, 大量商业性建筑的业主本身对降低夏季空调电费有强烈愿望。1988 年, Anibal 等人提出夜间蓄冷节费的思想^[13], 激发了冰蓄冷空调系统的研发和应用, 但冰蓄冷改造投资大、占地面积大, 对许多用户而言不可行、不合算。另一方面, 许多建筑安

装了楼宇自控系统 BAS(Building Automation control System), 可以根据温度设定值自动实现(通过调节冷水阀开度、风机风门等)室温调节、改变相应时段的空调用电负荷和用电量。在分时电价作用下, 用户以节费为目的、自主地调节空调负荷, 在一定程度上也可以降低高峰时段的电力需求、提升系统运行效率。

因此, 本文从用户角度出发, 探讨节费目标下的空调运行方案, 并分析外部环境(如分时电价峰平价比、时段划分方案等)对用户空调负荷调节的激励作用。研究成果对电网企业优化价格激励型空调负荷管理方案、指导用户优化空调运行方式具有借鉴意义。

1 控制参量及其降载原理

本文针对带有 BAS 的商业性建筑, 考虑业主按一定时间间隔调节温度设置值 T_{set} , 以此为控制参量实现空调负荷控制。

温度调节实现节费的途径有 2 种: 第一种是预冷(precooling)^[8,14], 即在每日大楼启用前(通常为系统非峰时段)开启制冷机, 使室温降为较低值, 随后利用围护结构的蓄冷能力, 延缓大楼进入运营时段(通常也是系统尖峰负荷时段)后的制冷机启动, 起到移峰填平/谷和节费的目的; 第二种是在大楼运营时段调节温度设定值^[11], 高电价时段在人体舒适的范围内调高温度设定值, 减少制冷机的运行时间, 从而达到节费目的。

本文考虑业主综合运用上述 2 种手段, 从而夏季日按空调系统工作状态可划分为如下 5 个时段(如图 1 所示, 其中点划线表示空调处于受控状态, 实线表示空调处于自然运行状态, 虚线表示室外温度)。

(1)非运行期: 处于大楼未运营时段, 为使制冷

收稿日期: 2016-03-18; 修回日期: 2016-12-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51337005)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51337005)

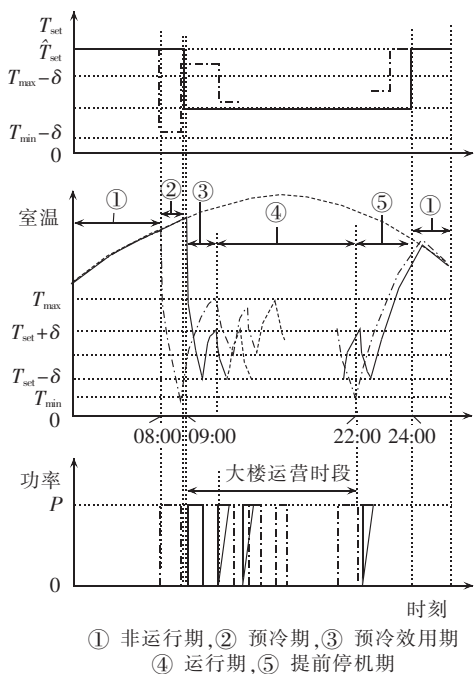


图 1 调节空调温度设置值以实现预冷和高电价时段降载示意图

Fig.1 Schematic diagram of air conditioner temperature setting adjustment for pre-cooling and load reduction in high electricity price periods

机不运行,可设 T_{set} 为远高于当地夏季气温的值(如 45°C ,后文记该值为 $\hat{T}_{\text{set}}$)。

(2)预冷期:开始预冷至大楼运营起始时刻的一段时间。在此期间 T_{set} 设置为低值,制冷机启动,大楼迅速降温,降到 $T_{\text{set}} - \delta$ (δ 为温控偏差)时停机。

(3)预冷效用期:预冷后停机至制冷机重启的一段时间。为了尽可能起到移荷效果,预冷效用期应尽可能处于大楼运营期。一旦进入大楼运营期,室温需不低于人体热舒适下限 T_{min} 。

(4)运行期:预冷效用期结束(制冷机第一次重启)至夜间关闭制冷机前的一段时间。目前,商业性建筑通常不改变运营时段温度设定值;而为了达到节费目的,可在此期间调高温度设定值,但为了使室温不超过热舒适度上限 T_{max} ,应设 $T_{\text{set}} \leq T_{\text{max}} - \delta$ 。

(5)提前停机期:为了节费,业主可在大楼运营结束前关闭制冷机(再置 $T_{\text{set}} = 45^{\circ}\text{C}$),提前停机期即指制冷机关闭至大楼运营结束的一段时间。在此期间,室温逐步升高,但仍需保证室温不超过 T_{max} 。此后再次进入非运行期,室温逐步上升至接近室外气温。

2 热响应模型

热响应模型 TRM (Thermal Response Model) 描述室温与制冷机供冷量之间的动态变化关系,是空调系统能耗建模的基础。目前尚无针对大型商务楼的热响应模型,鉴于本文关注于节费目标下的空调日运行方案及其适用性分析,故暂采用目前比较常

用的等值热参数 ETP (Equivalent Thermal Parameter) 模型,该模型适用于中小型商业性建筑^[12]。

在仅考虑围护结构传热热阻 R 和室内空气热容 C 的情况下,ETP 模型如式(1)所示^[7]。

$$T_{\text{in}}(m) = \begin{cases} T_o(m) - [T_o(m) - T_{\text{in}}(m-1)]e^{-\Delta m/(RC)} & \chi(m)=0 \\ T_o(m) - QR - [T_o(m) - QR - T_{\text{in}}(m-1)]e^{-\Delta m/(RC)} & \chi(m)=1 \end{cases} \quad (1)$$

其中, $\chi(m)=0$ 对应表达式为制冷机停机时的室温变化方程, $\chi(m)=1$ 对应表达式为制冷机运行时的室温变化方程; $T_{\text{in}}(m)$ 、 $T_o(m)$ 分别为 m 时刻的室内、外温度; Δm 为 m 时刻与 $m+1$ 时刻的时间间隔(1 min); Q 为制冷机的供冷量; $\chi(m)$ 为 m 时刻制冷机的启停状态(0 表示停,1 表示开),在温控方式下由式(2)决定。

$$\chi(m) = \begin{cases} 1 & T_{\text{in}}(m) > \chi(m-1)[T_{\text{set}}(k_m) - \delta] + [1 - \chi(m-1)][T_{\text{set}}(k_m) + \delta] \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中,假设按一定时间间隔调节温度设定值,从而将 1 d (1440 min) 划分为若干时段(如 0.5 h 调节一次时全天共有 48 个时段); k_m 为第 m 分钟所属的时段; $T_{\text{set}}(k_m)$ 为第 k_m 个时段的温度设定值。

3 节费控制方案优化模型

本文后续建模和算例分析中暂仅考虑定频定量制冷机组,此类机组在开启状态下按全功率制冷。

利用 BAS 的温度设定功能,在满足运营时段舒适度需求的条件下,按一定时间间隔优化温度设定值,实现全天候空调电费最小化。相应的优化模型如下。

$$\min_{T_{\text{set}}(k)} \left[\sum_{t=1}^{24} \rho(t)P(t) + \sum_{k \in K_{\text{NW}}} \sigma_k \beta(k) \right] \quad (3)$$

$$\text{s.t. } T_{\text{min}} \leq T_{\text{in}}(m) \leq T_{\text{max}} \quad \forall m \in M_{\text{W}} \quad (4)$$

$$P(t) = \sum_{m=60(t-1)+1}^{60t} p(m)/60 \quad t=1,2,\dots,24 \quad (5)$$

$$p(m) = \begin{cases} Q/\eta_{\text{EER}} & \chi(m)=1 \\ 0 & \chi(m)=0 \end{cases} \quad m=1,2,\dots,1440 \quad (6)$$

$$\beta(k) = \begin{cases} 0 & T_{\text{set}}(k) = \hat{T}_{\text{set}}(k) \quad \forall k \in K_{\text{NW}} \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

其中,式(3)的第一项为全天空调电费,第二项为非运营时段温度设置值偏离 $\hat{T}_{\text{set}}$ 的惩罚项; $\beta(k)$ 为第 k 个调温周期温度设定值的干预标识量(若设置值偏离 $\hat{T}_{\text{set}}$ 时为 1,否则为 0); σ_k 为罚系数,其取值需足够大,以使惩罚项引入后模型优化结果中仅当有助于降费时温度设置值才偏离 $\hat{T}_{\text{set}} = 45^{\circ}\text{C}$ (算例中 σ_k 取为 1000); K_{NW} 为大楼非运营时间对应的时段集; M_{W} 为大楼运营时间对应的分钟集; $\rho(t)$ 和 $P(t)$ 分别为第 t 小时的电价和空调平均用电负荷(即小时用电

量); $p(m)$ 为第 m 分钟的空调用电负荷,模型中忽略了风机、水泵等辅助设备的用电,运行时 $p(m)$ 近似等于制冷量 Q 与制冷性能系数 η_{EER} 之比。

模型中的决策变量为温度设置值 $T_{\text{set}}(k)$, k 为一个调温周期(如 30 min);由式(2)可知, $T_{\text{set}}(k)$ 决定了每分钟制冷机的启停状态,进而由式(6)和式(1)、式(4)逐分钟模拟出制冷机的启停状态、功耗和室温;式(5)则是将逐分钟用电功率转化为小时平均负荷,用于目标函数中小时用电量的计算。

4 算例分析

考虑某南方城市制冷面积为 8 000 m² 的办公楼。据文献[12]中 Q 、 R 、 C 参数与制冷面积的比例关系,对文献[7]中的 Q 、 R 、 C 参数按制冷面积等比例缩放,得到 8 000 m² 办公楼的制冷量 $Q=700$ kW、 $C=18 \times 1.5$ kW·h/°C、 $R=0.06$ °C/kW,能效比为 5。该用户原本仅在运营时间 09:00—22:00 运行空调(温度设定为 24°C,温控偏差 ± 1 °C),其余时间设 $\hat{T}_{\text{set}}=45$ °C。为了节省电费,考虑实施以 0.5 h 为间隔的温度调节,但要求运营期室温在[22, 28]°C 内。夏季分时电价和目标日气温如图 2 所示,其中第 1 个时段指 00:00—01:00,峰时段为 08:00—11:00、13:00—15:00 和 18:00—21:00。

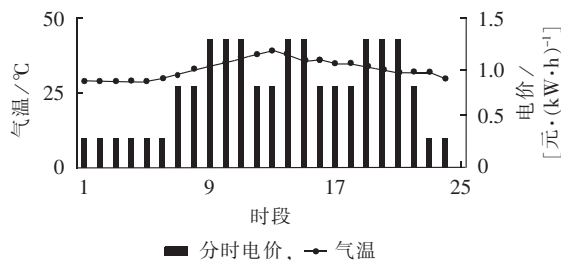


图 2 分时电价和夏季目标日气温波动情况

Fig.2 TOU prices and temperature fluctuation of objective summer day

所提模型为整数规划问题,采用改进二进制粒子群优化算法进行求解。以各时段温度设定值定义粒子群,通过罚系数将原问题转化为粒子适应度函数最小化问题;对每一个粒子,通过模拟既定调温方案下逐分钟的室温 and 制冷机的启停状态确定其适应度。搜索过程中采用变惯性权重的方法加快计算速度^[15],在主频 3.0 Hz、8 G 内存台式机上的求解时间不到 30 s。

4.1 全天候运行方案优化结果及其节费效益

用第 3 节的优化模型计算得到该建筑目标日空调温度设定值的最佳调节方案如图 3 所示,相应的空调小时用电量和室温变化如图 4 所示。

由图可得如下结论。

(1)最佳运行方案中制冷机未提前启动,仍然从

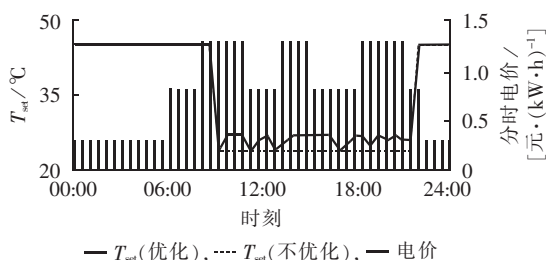


图 3 空调温度设定值优化结果

Fig.3 Optimized temperature setting of air conditioner

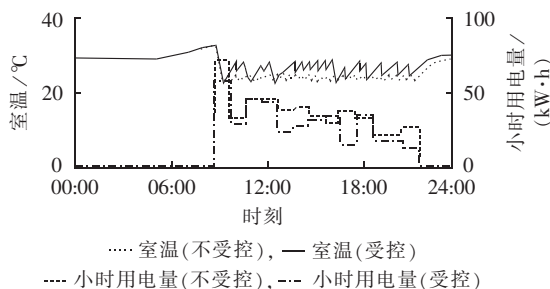


图 4 室温和空调小时用电量

Fig.4 Room temperature and hourly power consumption of air conditioner

09:00 开始制冷,既无预冷期,也无预冷效用期。这是因为该市目前 08:00—09:00 为峰价时段,在此期间预冷并不能节费。

(2)运行期为 09:00—21:18,在此期间 T_{set} 不再维持 24°C 不变,而是在[23, 27]°C 内变化。 T_{set} 的大幅变化主要发生在峰时段,这是因为扩大室温波动范围可延长停机期,从而达到节费效果;但温度波动范围增大也会导致制冷期延长(没有停机期延长显著),制冷电耗有所增加,这使得在平时段扩大温控范围并不合算,因此平时段温度设定值多稳定在一个较高值。通过上述两方面的作用,全天制冷机启停次数相对于不受控情况有所减少,在本算例中由 29 次减少为 21 次。

(3)提前停机期时长为 42 min(21:18—22:00),从图 4 中的室温波动曲线可见,这段时间的室温由停机时的 24.8°C 上升为 27.7°C。可见由于式(4)的约束作用,可使提前停机期的时长得到优化,确保这段时间内利用建筑空间的蓄冷能力仍维持室温在用户期望范围内。

进一步统计后可知,在上述全天候优化运行方式下,该大楼在系统峰时段用电量下降 20%,全天空调电费较不优化运行方式时节省 110.48 元(降幅为 19.4%)。从分钟级用电负荷来看,虽然单一受控端在不减少启动制冷机台数的情况下无法实现降载,但峰时用电量减小意味着每台制冷机的运行时间有所减少,故而空调群在一定的状态离散度下的总用电负荷会有所减少,对系统削峰也有一定作用。

4.2 调温节费的适用性分析

在现行 08:00 开始峰时段的电价制度下,用户不会采用预冷方式。因此,在第 4.1 节的基础上进行如下摄动分析,以考察各因素对调温节费适用性的影响。

4.2.1 温度调节周期的影响

拉大温度调节周期为 1 h、2 h、…,作出节费量与调温周期的关系曲线,如图 5 所示。可见:拉长调温周期使得优化问题的可行域缩小,从而节费率下降;调温间隔大于 4 h 后不再具有节费效果。带有 BAS 的大楼通常可实施 1 h 或更短时间间隔的温度调节,可通过调温措施产生可观节费效益。

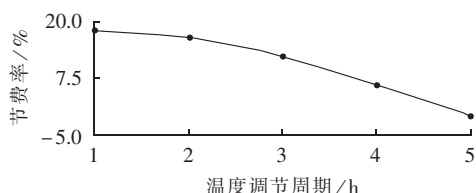


图 5 节费率与调温周期的关系

Fig.5 Relationship between cost-saving rate and temperature adjustment cycle

4.2.2 室温允许变化范围的影响

保持调温周期为 0.5 h,改变大楼运营时段允许的室温变化范围($T_{\min}$ 不变, $T_{\max}$ 逐步缩小),作出节费量与 $T_{\max}$ 的关系曲线,如图 6 所示。可见: $T_{\max}$ 越高,节费率越大。这是因为提高 $T_{\max}$ 使停机期时长增大,故可节省更多空调用电量。这就意味着如果用户愿意损失更多的热舒适度就可获得更高的节费效益。

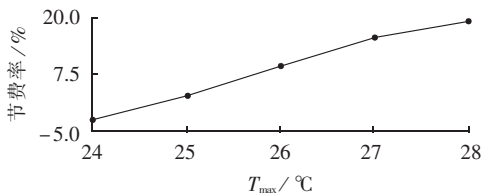


图 6 节费率与运营期允许室温上限值的关系

Fig.6 Relationship between electricity cost saving rate and maximum allowable room temperature of operation period

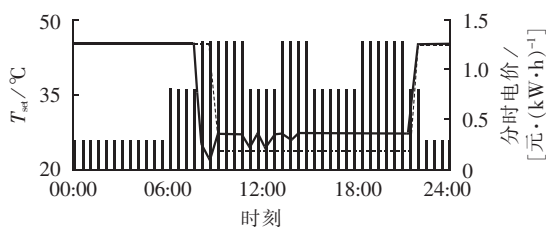
4.3 预冷节费的适用性分析

4.3.1 系统峰时段起始时刻的影响

将上午峰时段起始时刻推迟 1 h,即上午 09:00—11:00 为峰时段,其余不变,得到目标日空调温度设定值最优方案如图 7 所示,相应的空调小时用电量和室温变化如图 8 所示。

由图可得如下结论。

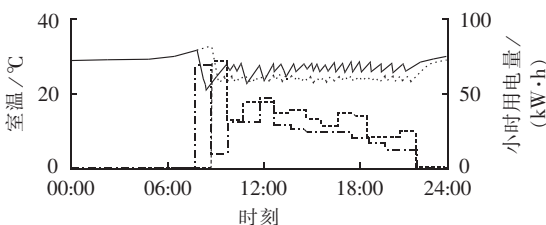
(1)该大楼较运营时间提前 1 h 启动了制冷机,08:00—08:30 设置 $T_{\text{set}}=25^{\circ}\text{C}$;08:30—09:00 设置 $T_{\text{set}}=22^{\circ}\text{C}$,由此使室温大致在 08:43 达到最低值 20.9°C ;



— T_{set} (优化), --- T_{set} (不优化), — 分时电价

图 7 目标日峰时段推迟 1 h 后空调温度设定值优化结果

Fig.7 Optimized temperature setting of air conditioner when peak period of objective day delays by 1 hour



..... 室温(不受控), — 室温(受控)
---- 小时用电量(不受控), --- 小时用电量(受控)

图 8 目标日峰时段推迟 1 h 情况下的室温 and 空调小时用电量

Fig.8 Room temperature and hourly power consumption of air conditioner when peak period of objective day delays by 1 hour

随后停机,室温逐步上升,大楼运营起始时刻 09:00 的室温为 23°C ,满足热舒适度要求。预冷期室温降到热舒适度范围以下,室温提前上升,这是由于调温周期是 0.5 h,无法在任一时刻开始预冷以使室温在大楼投运时刻恰降到热舒适度下限。

(2)09:00 再次调整 $T_{\text{set}}=27^{\circ}\text{C}$,使得制冷机到 09:56 才重启,由此使 09:00—10:00 峰时段的用电量由不优化情况下的 $81.67\text{ kW}\cdot\text{h}$ 降为 $11.67\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

进一步统计可知,峰时段推迟 1 h 后,该用户全天空调电费为 443.7 元,较峰时段不推迟情况节省 16.45 元,相对不优化运行方式的降费幅度达 24.6%。

4.3.2 分时电价比的影响

鉴于商业性建筑空调运行方案与谷时段无关,在保持 09:00—11:00 为早高峰,且谷时段电价不变的条件下改变峰平电价。图 9—11 分别是峰平电价比缩小为 1.4、1.2、1.0 的情况下(峰平电价高于 1.4 时规律与 1.4 时雷同),该建筑目标日温度设定值、相应的空调小时用电量和室温的变化情况;图 12 则绘制了 0.5 h 为时间间隔调节温度设定值可获得的节费率与峰平电价比之间的关系。

由图可得如下结论。

(1)峰平电价比为 1.0、1.2、1.4 时,对应的制冷机启动时间分别为 09:00、08:30、08:00,08:00—09:00 时段的空调用电量分别为 $0\text{ kW}\cdot\text{h}$ 、 $53.7\text{ kW}\cdot\text{h}$ 、 79.3

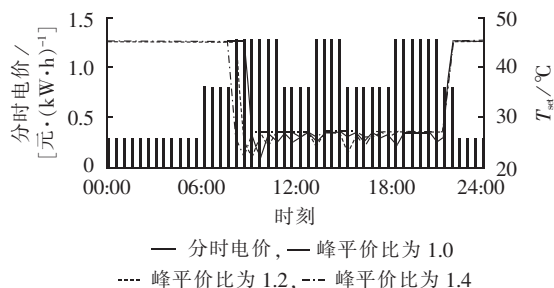


图 9 不同峰平电价比下的空调室温设定值优化结果
Fig.9 Optimized temperature setting of air conditioner for different TOU-price ratios

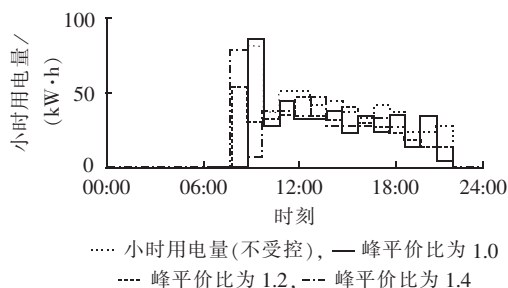


图 10 不同峰平电价比下的空调小时用电量
Fig.10 Hourly power consumption of air conditioner for different TOU-price ratios

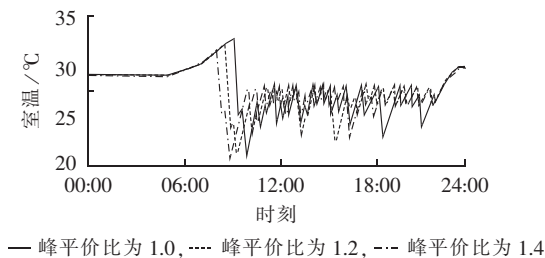


图 11 不同峰平电价比下的室温
Fig.11 Room temperature for different TOU-price ratios

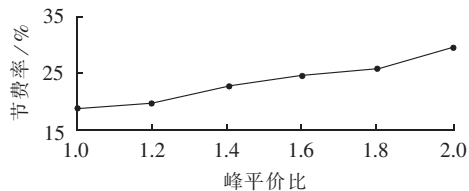


图 12 节费率与峰平电价比的关系
Fig.12 Relationship between cost-saving rate and TOU-price ratio

$\text{kW}\cdot\text{h}$, 09:00—10:00 时段的空调用电量分别为 $86.3 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 、 $30.3 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 、 $7 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。这说明拉大峰平电价比可激励用户更早启动制冷机,使运营起始时刻楼内室温从较低值开始回升,尽可能减少 09:00—10:00 高价时段的空调用电量。不过,峰平电价比进一步拉大并不会使预冷时间进一步提前,这是因为该大楼从接近于外界气温的室温降到热舒适下限室温值大致需要 50 min。

(2)随着峰平电价比的拉大,用户通过调节温度设定值可获得更高的节费率。

5 结论

本文对商业性建筑提出一种以节费为目标、以全天候周期性调节温度设定值为手段的中央空调运行方案优化模型。通过温度调节可对空调负荷实现预冷移峰和大楼运营期降载。算例分析了影响上述控制方式节费效果的因素,所得结论如下。

(1)商业性建筑业主可通过周期性调节制冷区域温度设定值,在高电价时段提高室温设定值,达到节费的效果。大楼运营阶段调温节费的幅度取决于允许的调温周期和温升幅度,调温周期越短、允许的温升幅度越高,则节费率越大。

(2)与运营期温升节费不同的是,预冷移峰节费并不适合于所有商业性建筑。仅对运营起始时刻与系统早峰时段起始时刻同步的商业性建筑,预冷才具有节费的可能;此时,节费率与峰平电价比有关,电价比越高,预冷节费率就越大。

上述研究也表明,为激励商业性建筑削减高峰时段空调用电负荷,应合理设置分时电价时段划分方案,并设置较高的峰平电价比。

参考文献:

- [1] 李扬,王治华,卢毅,等.南京市夏季气温-日峰荷特性分析[J]. 电网技术,2001,25(7):63-66,71.
LI Yang, WANG Zhihua, LU Yi, et al. Characteristic analysis of summer air temperature-daily peak load in Nanjing[J]. Power System Technology, 2001, 25(7): 63-66, 71.
- [2] 刘菁菁. 制冷机组的电力负荷优化降载控制策略研究[D]. 北京:北京林业大学,2010.
LIU Jingjing. Study of optimized control on electric load-shedding for chillers[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [3] 高赐威,李倩玉,李扬. 基于 DLC 的空调负荷双层优化调度和控制策略[J]. 中国电机工程学报,2014,34(10):1546-1555.
GAO Ciwei, LI Qianyu, LI Yang. Bi-level optimal dispatch and control strategy for air-conditioning load based on direct load control[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(10): 1546-1555.
- [4] 徐青山,吴泉,杨斌. 考虑状态差异性聚类的空调负荷直接负荷控制动态优化方法[J]. 电力系统自动化,2016,40(14):33-42.
XU Qingshan, WU Xiao, YANG Bin. Dynamic optimization method of direct load control for air-conditioning load considering status diversity clustering[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(14): 33-42.
- [5] 管国兵,辛洁晴. 空调负荷群分组控制方法[J]. 电力系统自动化,2016,40(20):40-46.
GUAN Guobing, XIN Jieqing. Grouping control method for air conditioning load[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(20): 40-46.
- [6] NING L, CHASSIN D P. A state-queueing model of thermostatically controlled appliances[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2004, 19(3): 1666-1673.
- [7] 周磊,李扬,高赐威. 聚合空调负荷的温度调节方法改进及控制策略[J]. 中国电机工程学报,2014,34(31):5579-5589.

- ZHOU Lei, LI Yang, GAO Ciwei. Improvement of temperature adjusting method for aggregated air-conditioning loads and its control strategy[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(31): 5579-5589.
- [8] KEENEY K R, BRAUN J E. Application of building precooling to reduce peak cooling requirements[J]. Ashrae Transactions, 1997, 103(1): 463-469.
- [9] CHU C M, JONG T L, HUANG Y W. A direct load control of air-conditioning loads with thermal comfort control[C]//IEEE Power Engineering Society General Meeting. [S.l.]: IEEE, 2005: 664-669.
- [10] LE K, TRAN-QUOC T, SABONNADIÈRE J C, et al. Peak load reduction by using air conditioning regulator[C]//MELECON 2008-The 14th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference. Ajaccio, France: IEEE, 2008: 713-718.
- [11] 唐升卫, 周伊琳, 刘菲, 等. 基于用户舒适度约束的中央空调冷负荷需求响应策略研究[J]. 建筑电气, 2015(18): 99-104.
- TANG Shengwei, ZHOU Yilin, LIU Fei, et al. Demand response strategy of central air conditioning load under the constraint of thermal comfortability[J]. Building Electricity, 2015(18): 99-104.
- [12] KATIPAMULA S, LU N. Evaluation of residential HVAC control strategies for demand response programs[J]. Ashrae Transactions, 2006, 112(4): 535-546.
- [13] ALMEIDA A T D, YOKOE J M. Residential cool storage: peak load reduction alternatives[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1988, 3(3): 837-843.
- [14] BRAUN J E. Reducing energy costs and peak electrical demand through optimal control of building thermal storage[J]. Ashrae Transactions, 1990, 96(2): 876-888.
- [15] YUAN X, NIE H, SU A, et al. An improved binary particle swarm optimization for unit commitment problem[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(4): 8049-8055.

作者简介:



王志成

王志成(1983—),男,上海人,工程师,硕士研究生,主要研究方向为电力营销(E-mail: wangzc_kola@163.com);

辛洁晴(1973—),女,上海人,副教授,博士,通信作者,主要研究方向为电力营销和电力市场(E-mail: jqxin@sjtu.edu.cn);

管国兵(1990—),男,江苏盐城人,硕士研究生,研究方向为智能用电管理(E-mail: 1130319006@sjtu.edu.cn)。

Cost-saving operation scheme of central air conditioner and its applicability

WANG Zhicheng^{1,2}, XIN Jieqing¹, GUAN Guobing¹

(1. Key Laboratory of Control of Power Transmission and Conversion of Ministry of Education, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. Jinshan Electricity Supply Company, SMEPC, Shanghai 201500, China)

Abstract: As the commercial customers desire to save the electricity cost of their air conditioners and the central air conditioners with BAS (Building Automation control System) have the adjustment capacity, an optimization model of central air conditioner operation scheme based on the TOU (Time-Of-Use) prices of electricity and with the electricity cost saving as its objective is proposed for the commercial customer to independently implement. The optimized operation scheme periodically adjusts the temperature setting of air conditioners and the customers may save the electricity cost by pre-cooling the building and increasing the room temperature setting. Case study based on the typical parameters of commercial building shows that, the optimized operation scheme effectively reduces the load demand in peak load periods; the load reduction and the saved electricity cost are mainly affected by the temperature adjustment cycle and the maximum allowable room temperature; the start time of morning peak load period and the TOU price ratio are the key factors for motivating the customer to shift the loads by pre-cooling.

Key words: air conditioners; load control; pre-cooling; temperature control; equivalent thermal parameter model; electricity cost saving; time-of-use price; incentives; building automation control system