

Considering of the User Side Energy Storage Planning of Two-Part Prize System

Xuefeng Zhang¹, Zheng Ma², Hongzhou Chen², Xiaofu Xiong²

¹Shenzhen New Energy Power Development and Design Institute Co. Ltd., Shenzhen Guangdong

²State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology (Chongqing University), Chongqing

Email: 969903418@qq.com

Received: Jun. 30th, 2020; accepted: Jul. 24th, 2020; published: Jul. 31st, 2020

Abstract

With the development of energy storage technology, the application scenarios of energy storage in power grid are increasing. Under the two-part electricity price system, the application of energy storage on the power user side can not only bring profit arbitrage for the user, but also reduce the user's basic electricity price. In this paper, a mixed integer linear programming configuration model (MILP) of energy storage on the user side of the distribution network is proposed under the two-part price system and the week cycle characteristics of energy storage. The capacity and operation mode of energy storage on the user side are taken as the decision variables, and the net income of the user under the life cycle of energy storage is taken as the objective function. Finally, a user in Shenzhen is taken as an example to verify the feasibility and effectiveness of the proposed method. This method is aimed at the optimal configuration of energy storage for power users under the two-part system, so that users can make full use of energy storage to obtain the maximum benefits, so as to give full play to the value of energy storage.

Keywords

Distribution Network, User Side Energy Storage, Two Part Tariff, Optimized Configuration of Energy Storage

考虑两部制电价的用户侧储能规划

张雪峰¹, 马政², 陈红州², 熊小伏²

¹深圳新能电力开发设计院有限公司, 广东 深圳

²输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室(重庆大学), 重庆

Email: 969903418@qq.com

收稿日期: 2020年6月30日; 录用日期: 2020年7月24日; 发布日期: 2020年7月31日

文章引用: 张雪峰, 马政, 陈红州, 熊小伏. 考虑两部制电价的用户侧储能规划[J]. 智能电网, 2020, 10(4): 148-156.

DOI: 10.12677/sg.2020.104016

摘要

随着储能技术的不断发展, 储能在电网中的应用场景不断增多。在两部制电价下, 储能应用在电力用户侧, 不仅可以为用户带来套利收益, 而且可以减少用户的基本电价。本文提出一种在两部制电价和储能周循环特性下, 以用户侧储能的容量、运行方式为决策变量, 以用户在储能全寿命周期下的净收益为目标函数, 构建了配电网用户侧储能混合整数线性规划配置模型(MILP)。最后以深圳某用户为例, 验证了所提方法的可行性和有效性。本方法是针对两部制电价下电力用户的储能优化配置, 使用户充分运用储能获得最大收益, 从而使储能价值得到充分发挥。

关键词

配电网, 用户侧储能, 两部制电价, 储能优化配置

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着可再生能源资源的大力发展, 能在时间和空间上转移能量的储能系统已成为未来配电网发展的关键支撑技术之一[1]。当前储能的盈利方式主要为赚取峰谷电价差; 同时, 储能还可以参与配电网电压调节、削峰填谷, 通过合理配置储能可以降低网络损耗, 延缓配电网投资。通过主动管理储能的充/放电运行方式, 可以作为配电网解决分布式发电出力与负荷需求失配、发电与负荷的实时平衡的方法之一[2][3][4]。

《关于促进电储能参与“三北”地区电力辅助服务补偿(市场)机制试点工作的通知》政策中鼓励发电侧和用户侧储能参与调峰调频辅助服务, 鼓励发电、售电、电储能企业和用户等投资建设电储能设施。储能系统应用于用户侧, 通过需求侧管理可以节省电费[5]。目前, 已有许多关于储能优化配置的研究。电力市场机制下, 文献[6]提出了一种市场机制下基于全寿命周期理论的售电公司储能优化配置及投资效益分析方法。文献[7]从直接收益和间接收益两个方面分析储能参与电力市场的成本效益, 在此基础上, 建立了综合考虑规划和运行的储能优化配置多目标双层决策模型。针对用户侧储能的配置问题, 文献[8]提出了用户侧电池储能配置优化及运行调度滚动优化方法。文献[9]基于用户侧电能管理, 提出一种考虑优化负荷特性的储能系统规划和调度综合优化模型。文献[10]采用 K-means 聚类算法对用户侧的用能需求进行分析并归纳出典型场景, 建立了综合能源系统中储能设备的综合优化配置模型。文献[11]为提高用户侧电池储能系统的经济性及使用寿命, 提出一种基于能量优化调度的储能配置及控制方法。文献[12]通过上下层模型的迭代计算最佳日运行策略及储能容量和功率最优配置。上述有关用户侧储能配置的论文中, 在经济收益方面, 文献[10]没有考虑储能带来的经济效益, 只考虑了保障系统运行安全性和可靠性的基础上储能配置成本最低。文献[8]只考虑了储能的套利收益, 文献[9]和文献[11]还考虑了两部制电价下降低用户的基本电费支出。文献[12]考虑了储能为用户带来的套利收益、基本电费降低、减少停电损失和延缓电网建设收益。

综上所述, 本文以用户侧储能全寿命周期内为用户带来的净收益为优化目标, 构建了配电网用户侧

储能混合整数线性规划配置模型(MILP), 并求解储能周循环充放电策略和储能的额定功率、额定容量以及最大收益。

2. 用户侧储能需量管理

在进行用户侧储能优化配置的研究时, 大多数文献考虑了储能系统为用户带来的基础电费减少的收益。基础电费是两部制电价下按照工业企业的变压器容量或者最大需求(1月中每15 min或30 min平均负荷的最大值)按月收取的部分电费, 另外一部分电费为度电电价, 电度电价按照实际耗电量收取, 并结合用电时间分为峰时、平时和谷时[13]。两部制电价计算公式如下[9]:

$$p = \frac{aM + dH}{H} \quad (1)$$

其中, p 为电价; a 为变压器容量(kVA)或者每月最大负荷(kW)单位电价; M 为用户变压器容量或最大需用量; d 为按电表计算的每度电的电费; H 为耗电量(用千瓦时计算)。

随着社会的发展, 人们对电能的需求量变的越来越大, 同时由于居民用户的电力消费方式不合理进而导致电力资源的严重浪费。两部制电价的应用, 激励电力用户合理消费电能, 避免电力资源的浪费。用户可以利用储能系统来降低每月最大负荷, 从而达到基本电价降低的目的。此外, 储能系统能够在负荷谷时段即低电价时段存入电能, 在负荷高峰时段即高电价时段将电能释放出来, 这样不仅能够消除用户峰谷电价差, 而且能够降低用户分峰值负荷, 平滑用户电力负荷曲线[13]。

2.1. 储能系统应用于用户侧

电力系统负荷一般可以分为居民负荷、商业负荷和工业负荷, 不同类型的负荷具有不同的特点。居民负荷主要来自于居民家庭用电负荷, 其日负荷曲线具有明显的峰谷波动特点; 部分家用电器的使用与季节相关, 居民负荷年负荷曲线具有明显的季节性波动特性。商业负荷主要是指商业用户的照明、空调等用电负荷, 覆盖面积大, 其日负荷曲线具有明显的高峰和低谷, 白天负荷量大且平稳、夜间负荷量较低; 商业负荷也与季节有相关性, 会随着季节波动[7]。工业负荷指的是用于工业生产的用电, 一天中工业用户仅在相对短的时间间隔内运行大功率电力设备[14], 因此工业负荷曲线也具有较大的波动性。综上所述, 各种用户在日或者季节时间尺度上呈现出负荷波动的特点。调控接在用户侧的储能系统运行方式, 能够平滑用户负荷曲线, 如图1所示。

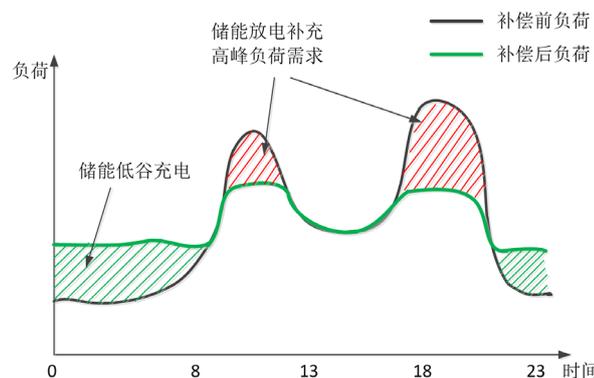


Figure 1. Load curve before and after adding energy storage to user side

图1. 用户侧加入储能前后负荷曲线

接入储能后，用户侧的等值负荷计算公式如下所示：

$$p'_{\text{load}} = p_{\text{load}} + p_{\text{ESS}} \quad (2)$$

其中， p'_{load} 为接入储能后的用户侧等效负荷； p_{load} 为用户负荷； p_{ESS} 为储能运行功率，当 p_{ESS} 等于 0 时，储能放电，当 p_{ESS} 大于 0 时，储能充电， p_{ESS} 小于 0 时，储能放电。

用户侧的储能系统，将高峰时期的负荷转移到低谷时期，在实时电价下，减少了用户电费。

变压器容量在 315 kVA 及以上的大工业用户必须执行两部制电价，变压器容量在 315 kVA 及以上的一般工商业及其他用户可以选择执行单一制还是两部制电价。在两部制电价下，可以通过调控接在用户侧的储能运行方式，降低用户的峰值负荷，减少用户的基本电价。

按最大需求量计算基本电价，则接入储能系统后，最大需求量如以下公式所示：

$$p'_{\text{load,peak}} = p_{\text{load,peak}} - \Delta p_{\text{load,peak}} \quad (3)$$

其中， $p'_{\text{load,peak}}$ 表示接入储能后的最大需求量； $p_{\text{load,peak}}$ 表示接入储能前的最大需求量； $\Delta p_{\text{load,peak}}$ 表示峰值负荷的变化量。

$$P'_{\text{trans}} = \rho_{\text{trans}} (p_{\text{load,peak}} - \Delta p_{\text{load,peak}}) \quad (4)$$

其中， P'_{trans} 表示接入储能后，用户需要的变压器容量； ρ_{trans} 表示变压器与峰值负荷的系数关系。

2.2. 储能日循环与周循环运行

在时间维度上，可根据电力负荷与分布式发电出力的负荷波动特性按周(7 天为一周)划分负荷曲线，在不同周下进行储能配置及运行方式规划，发挥储能装置可灵活配置特性，充分发挥其价值；同时，需考虑储能配置变化所带来的运输成本。

可在配电网区域内组建一个储能装置配送中心，以完成储能装置的中转与检测、维护工作。周与周过渡时，需要根据预测出的下周用户的负荷曲线负荷，对储能配置进行更改，配送中心根据规划结果对用户的储能装置进行相应的增减。相比已有的储能规划方法，在储能设备投资及运维成本的基础上，增加了储能配置变化而产生的运输成本。储能动态配置过程示意如图 2 所示。

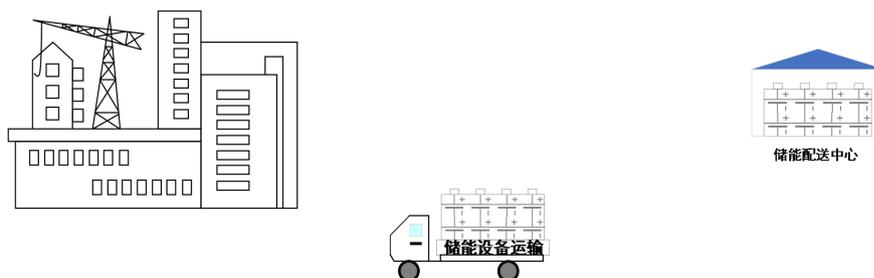


Figure 2. Diagram of dynamic energy storage configuration

图 2. 动态储能配置示意图

已有的用户侧储能规划，往往是以 24 h 为一个储能运行循环。然而，某些工业用户的生产线采用 24 小时不间断工作的方式，负荷低谷和负荷高峰往往不同时出现在同一 24 h 段内，其生产规律具有周循环特性。因此，本文分别用日循环和周循环方式，进行用户侧储能优化配置并做出了比较。

3. 两部制电价下的用户侧储能规划模型

3.1. 目标函数

以一个月为规划周期，储能接入用户侧，为用户带来的净收益可计算如下：

$$\max F = F_{\text{bec}}^{\text{ESS}} + F_{\text{arb}}^{\text{ESS}} - C^{\text{ESS}} \quad (5)$$

其中, F 表示储能的套利收益; $F_{\text{bec}}^{\text{ESS}}$ 表示储能为用户带来的容量电费减少的收益; $F_{\text{arb}}^{\text{ESS}}$ 表示用户侧储能套利收益, 即高峰时期放电, 低谷时期充电带来的收益; C^{ESS} 表示用户购置和运行维护储能装置的花费;

上述节省的容量电费 $F_{\text{bec}}^{\text{ESS}}$, 计算公式如下所示:

$$F_{\text{bec}}^{\text{ESS}} = \omega_{\text{bec}} \left\{ \max \{ p_{\text{load},i} \mid i = 1, 2, \dots, 1440 \} - \max \{ p_{\text{load},i} + p_{\text{ESS},i} \mid i = 1, 2, \dots, 1440 \} \right\} \quad (6)$$

其中, ω_{bec} 表示单位负荷的容量电价; i 表示时间段, 假设一个月 30 天, 则可以划分为 1440 个 30 min; $p_{\text{load},i}$ 表示用户配置储能前, 每个时间段内(30 min)的平均负荷; $p_{\text{ESS},i}$ 为储能在第 i 时间段的运行功率, $p_{\text{ESS},i} > 0$ 表示储能充电, $p_{\text{ESS},i} < 0$ 表示储能放电, $p_{\text{ESS},i} = 0$ 表示储能既不充电也不放电。

公式(5)中 $F_{\text{arb}}^{\text{ESS}}$ 表示储能套利收益, 可由式(7)计算。

$$F_{\text{arb}}^{\text{ESS}} = - \sum_{i=1}^{1440} \eta_i \cdot p_{\text{ESS},i} \quad (7)$$

其中, η_i 表示第 i 时间段的实时电价。

C^{ESS} 表示一月用户租用储能的费用支出, 计算公式如下:

$$C^{\text{ESS}} = ZS^{\text{ESS}} \sum_{w=1}^4 S_w^{\text{ESS}} + TC_j \quad (8)$$

其中, ZS^{ESS} 是租用单位储能装置的一周的费用; w 表示第几周, 假设一个月共 4 周; S_w^{ESS} 为第 w 周租用的储能的容量; j 表示储能配置更新的次数, 每周更换一次储能配置; 第 j 次更新储能配置相应的运输费用为 TC_j 。

式(8)中 TC_j 代表周与周更替时, 储能配置更新所产生的费用。如图 2 所示, 每次更换储能配置时, 从配送中心运出或运入储能设备到用户, 将某些节点需要减少的储能运回配送中心, 该过程产生的运输费用与路程公里数以及储能重量体积有关。假设每个节点到配送中心的最短路径已知, 第 j 次更新储能配置的 TC_j 可以由以下式子表示:

$$TC_j = d \cdot \left| S^{\text{ESS,after}(j)} - S^{\text{ESS,before}(j)} \right| \cdot DS \quad (9)$$

其中, d 表示用户到配送中心的距离; $S^{\text{ESS,before}(j)}$ 、 $S^{\text{ESS,after}(j)}$ 分别表示第 j 次更新前、后对应周的储能容量配置; DS 表示单位距离运输单位容量的储能的费用。

3.2. 约束条件

储能动态配置规划模型的约束条件包括储配电网运行约束和能运行约束两部分。

3.2.1. 配电网运行约束

因线路传输功率限制, 接入用户的储能的额定功率大小不超过该用户最大功率的百分之六十。

$$p_{\text{ESS},i} \leq 0.6 p_{\text{load},i} \quad (10)$$

其中, $p_{\text{ESS},i}$ 表示储能在第 i 时间段内的有功功率;

3.2.2. 储能运行约束

1) 容量约束:

$$P^{\text{ESS,min}} \leq P_w^{\text{ESS}} \leq P^{\text{ESS,max}} \quad (11)$$

$$S^{\text{ESS,min}} \leq S_w^{\text{ESS}} \leq S^{\text{ESS,max}} \quad (12)$$

其中, P_w^{ESS} 和 S_w^{ESS} 分别表示某周配置中用户接入储能的额定功率和额定容量; $P^{\text{ESS},\min}$ 、 $P^{\text{ESS},\max}$ 分别是能够接入用户的最小、最大总储能功率; $S^{\text{ESS},\min}$ 、 $S^{\text{ESS},\max}$ 分别是能够接入用户的最小、最大的总储能容量。

2) 荷电状态约束:

储能处于周或者日循环运行方式, 即:

$$s_i^{\text{ESS}} = s_{i+m}^{\text{ESS}} \quad (13)$$

其中, s_i^{ESS} 为用户的储能设备在第 i 时间段的荷电状态(state of charge, SOC); m 为一个整数, 当储能采用周循环运行时, $m = 336$, 当储能采用日循环方式时, 则 $m = 48$ 。

$$(p_{\text{ESS},i})^2 \leq (P_w^{\text{ESS}})^2 \quad (14)$$

$$s_i^{\text{ESS}} + \beta_{\text{ch}} p_{\text{ESS},i+1} = s_{i+1}^{\text{ESS}} \quad (15)$$

$$s_i^{\text{ESS}} + \frac{p_{\text{ESS},i+1}}{\beta_{\text{dis}}} = s_{i+1}^{\text{ESS}} \quad (16)$$

$$s^{\text{ESS},\min} \leq s_i^{\text{ESS}} \leq s^{\text{ESS},\max} \quad (17)$$

$$-p^{\text{ESS},\max} \leq p_i^{\text{ESS}} - p_{i+1}^{\text{ESS}} \leq p^{\text{ESS},\max} \quad (18)$$

其中, $q_{\text{ESS},i}$ 为储能在第 i 时间段的运行无功功率; β_{ch} 为储能设备充电效率; β_{dis} 为储能设备放电效率; $S^{\text{ESS},\min}$ 和 $S^{\text{ESS},\max}$ 分别表示对应配置的储能最小和最小的充电状态。公式(18)为储能的爬坡约束, $p^{\text{ESS},\max}$ 为最大储能爬坡量, 对储能的小时最大变化有功功率进行了约束。

3.2.3. 运输费用的处理

在以两周为单位进行滚动储能配置的过程中, 必然涉及到对两周之间储能运输费用的处理。

如公式(9), 第一周储能容量配置为 $S^{\text{ESS},\text{before}(j)}$, 第二周储能容量配置为 $S^{\text{ESS},\text{after}(j)}$, 则配送费用 TC_j 为

$$TC = \begin{cases} d * (S^{\text{ESS},\text{after}} - S^{\text{ESS},\text{before}}) * DS, S^{\text{ESS},\text{after}} \geq S^{\text{ESS},\text{before}} \\ d * (S^{\text{ESS},\text{before}} - S^{\text{ESS},\text{after}}) * DS, S^{\text{ESS},\text{after}} \leq S^{\text{ESS},\text{before}} \end{cases} \quad (19)$$

可引入 0~1 变量 z_1 、 z_2 并且添加互斥约束来表征 TC 在其中一个区间, 通过大 M 法可得下述约束

$$-M(1-z_1) \leq TC - S^{\text{ESS},\text{after}} + S^{\text{ESS},\text{before}} \leq M(1-z_1), S^{\text{ESS},\text{after}} - S^{\text{ESS},\text{before}} \geq -M(1-z_1) \quad (20)$$

$$-M(1-z_2) \leq TC - S^{\text{ESS},\text{after}} + S^{\text{ESS},\text{before}} \leq M(1-z_2), S^{\text{ESS},\text{after}} - S^{\text{ESS},\text{before}} \geq -M(1-z_2) \quad (21)$$

$$z_1 + z_2 = 1 \quad (22)$$

通过上述方式可将目标函数的绝对值转化为线性约束, 大大提高 Cplex 求解速度。

3.3. 规划模型及其求解

综上所述, 储能动态配置规划模型可表示为:

max (5)

s.t. (10)-(22)

上述模型属于混合整数线性规划(MILP), 可用 CPLEX、GUROBI 等求解器有效求解。本文在 MATLAB 平台上, 借助 YALMIP 工具包编写相关程序, 并调用 CPLEX 求解器对模型进行求解。

4. 算例分析

本文选取深圳某地用户 7 月负荷为例，并取其中两周数据进行储能配置。交易电价采取深圳错峰分时电价：低谷时段 0:00~6:00 电价取 0.4168 元/kwh，平时段 7:00~8:00、12:00~13:00、17:00~18:00、21:00~22:00 电价取 0.8216 元/kwh，高峰时段 9:00~11:00、14:00~16:00 和 19:00~20:00 电价取 1.0404 元/kwh。

为节省投资、降低售电公司的资产配置风险、免于维护修理，储能采取向储能公司租赁手段获取。设储能租赁容量成本为 24 元/月*kwh，功率成本为 10 元/月*kw。假设该用户离储能配送中心的距离为 2 km，运输费用为 0.3 元/km*kw，对未来两周进行储能规划，目标函数为收益最大，即峰谷套利、容量电费减去储能成本和运输成本，对应约束为(10)~(22)。

可选用 SPSS 线性规划或者 matlab 神经网络对负荷进行短期预测，之后对所得预测负荷进行储能配置规划。对于其他用户也可以根据规划结果以及距离配送中心的距离考虑是否采用云储能服务。

4.1. 储能日循环规划

根据负荷预测结果，滚动选取未来两周的负荷预测数据，采用日循环约束，编写优化程序，并且调用 Cplex 求解，可得储能日优化配置结果如图 3 所示：

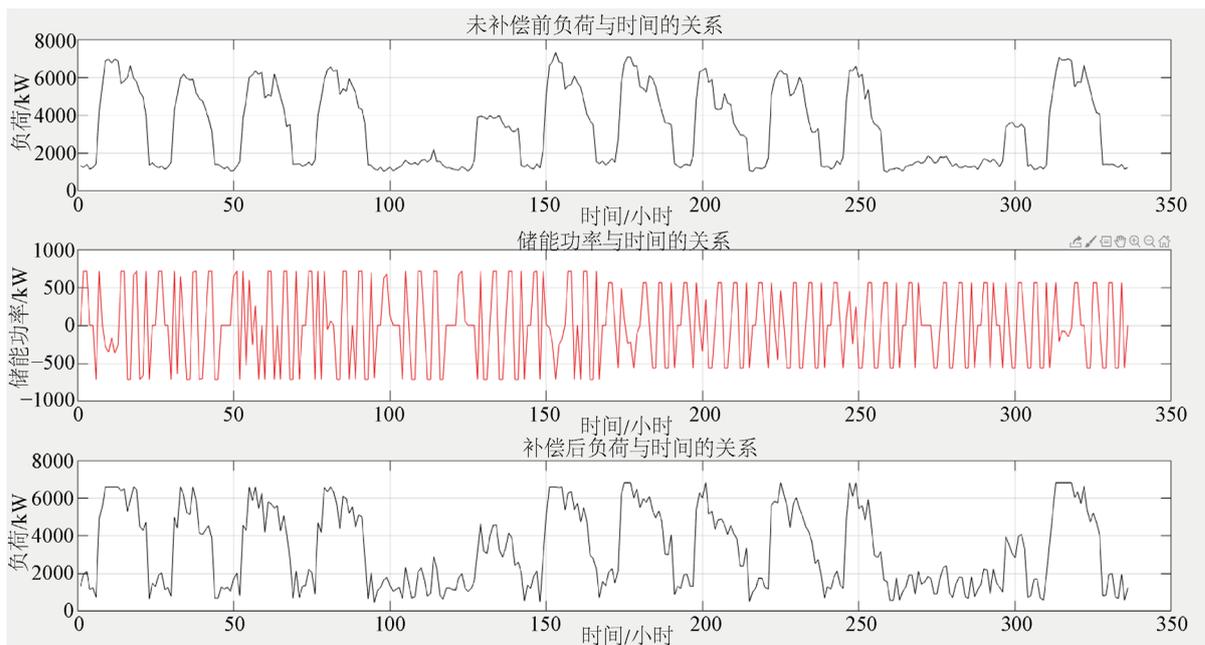


Figure 3. Energy storage daily cycle planning results

图 3. 储能日循环规划图

此时第一周配置的储能功率为：713.3 kW，储能容量为：1783.25 kWh，节省容量电费为：8785.0187 元第二周配置储能功率为 565.2833 kW，储能容量为：1413.2083 kWh，节省容量电费为：3535.1307 元，此时两周储能运输成本为：370.0417 元，峰谷套利大小共为：18152.6452 元，租赁成本为：20776.9792 元，总收益为：6049.6722 元。

4.2. 储能周循环规划

同理，选取未来两周的负荷预测数据，采用周循环约束，编写优化程序，并且调用 Cplex 求解器求解，可得储能周优化配置结果如图 4 所示：

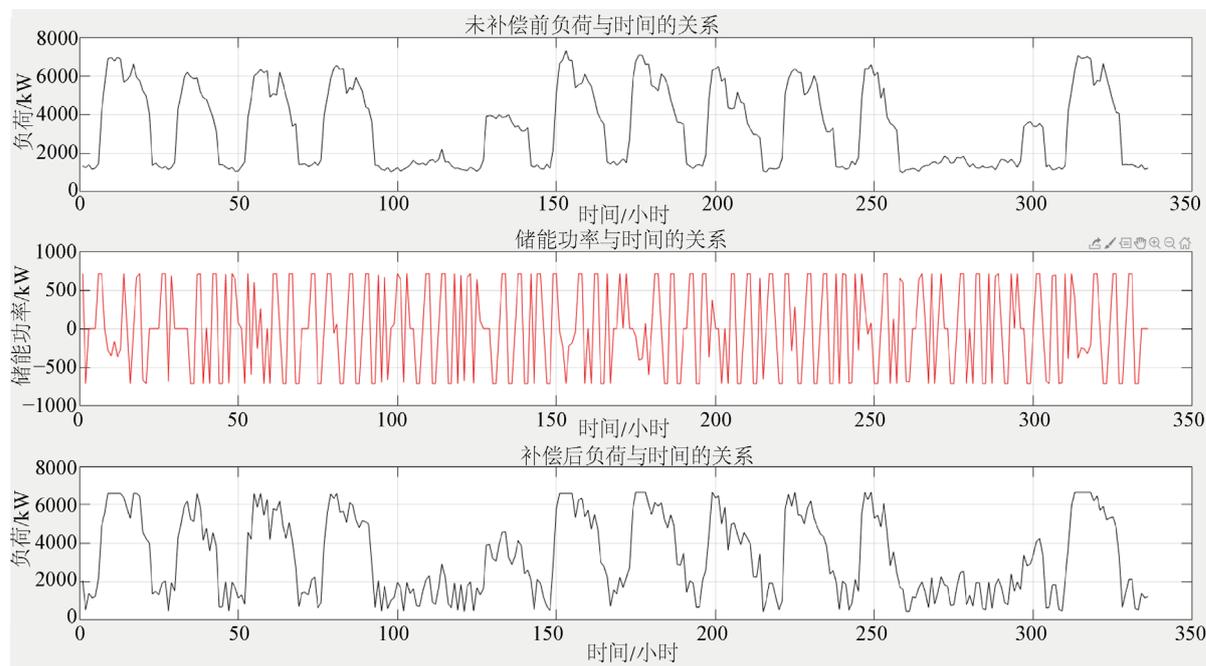


Figure 4. Energy storage weekly cycle planning results

图 4. 储能周循环规划图

此时第一周配置的储能功率为：713.3 kW，储能容量为：1783.25 kWh，节省容量电费为：5249.888 元，第二周配置的储能功率为：713.3 kW，储能容量为：1783.25 kWh，节省容量电费为：4802.9888 元，峰谷套利大小为：19977.7941 元，能运输成本为：0 元，总收益为：6848.4209 元。

根据上述优化配置结果可以看出采用日循环的总收益为 6049.6722 元，而采用周循环的总收益为 6848.4209 元，所以，本文所提出的储能周循环约束优化配置方法发挥了很好的效果。

5. 结论

两部制电价是一种政府和市场机制混合作用的电价制度，包括容量上网电价和电量上网电价，这也在某种程度促进了用户侧储能的投入与发展。本文提出一种在两部制电价和储能周循环特性下，以用户侧储能的容量、运行方式为决策变量，以用户在储能全寿命周期下的净收益为目标函数，构建了配电网用户侧储能混合整数线性规划配置模型(MILP)，并基于 Cplex 求解器进行了优化求解，通过两种优化模式：日循环与周循环对比分析，得出本文所提周循环方式的优越性。

通过上述建模与求解结果，可以看出在两部制电价制度下，运用本文提出的方案合理地 对储能进行优化配置，可以平滑负荷曲线，同时为用户带来收益。

参考文献

- [1] 董凌, 年珩, 范越, 赵建勇, 张智, 林振智. 能源互联网背景下共享储能的商业模式探索与实践[J]. 电力建设, 2020, 41(4): 38-44.
- [2] Zhang D., Li, J. and Hui, D. (2018) Coordinated Control for Voltage Regulation of Distribution Network Voltage Regulation by Distributed Energy Storage Systems. *Protection & Control of Modern Power Systems*, 3, 3. <https://doi.org/10.1186/s41601-018-0077-1>
- [3] 杜鹏, 米增强, 贾雨龙, 等. 基于网损灵敏度方差的配电网分布式储能位置与容量优化配置方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(6): 103-109.
- [4] (2013) DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA. Sandia National Laboratories,

Albuquerque.

- [5] 邢洁, 曹哲, 张怡, 孙强. 储能系统应用于用户侧的技术经济分析[J]. 电气应用, 2017, 36(1): 26-30.
- [6] 刘继春, 陈雪, 向月. 考虑共享模式的市场机制下售电公司储能优化配置及投资效益分析[J/OL]. 电网技术, 1-12.
- [7] 姜欣, 郑雪媛, 胡国宝, 陈根永, 曾庆山. 市场机制下面向电网的储能系统优化配置[J]. 电工技术学报, 2019, 34(21): 4601-4610.
- [8] 赵乙潼, 王慧芳, 何奔腾, 徐伟娜. 面向用户侧的电池储能配置与运行优化策略[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(6): 121-130.
- [9] 丁逸行, 徐青山, 吕亚娟, 李淋. 考虑需量管理的用户侧储能优化配置[J]. 电网技术, 2019, 43(4): 1179-1186.
- [10] 郑国太, 李昊, 赵宝国, 吴邦旭, 霍现旭, 唐巍. 基于供需能量平衡的用户侧综合能源系统电/热储能设备综合优化配置[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(16): 8-18.
- [11] 林俊豪, 古雄文, 马丽. 基于优化调度的用户侧电池储能配置及控制方法[J]. 储能科学与技术, 2018, 7(1): 90-99.
- [12] 朱佳明, 刘斌, 谢海远, 李宏仲. 基于二层规划的用户侧储能容量配置和最优运行策略分析[J]. 南方电网技术, 2016, 10(10): 43-50.
- [13] 徐培栋, 陈丽, 薛皓, 张晗. 两部制电价激励下的家庭储能优化配置及经济性分析[J]. 中国科技论文, 2018, 13(11): 1285-1290.
- [14] 杨甲甲, 刘国龙, 赵俊华, 文福拴, 董朝阳. 采用长短期记忆深度学习模型的工业负荷短期预测方法[J]. 电力建设, 2018, 39(10): 20-27.