



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110429627 B

(45) 授权公告日 2021.03.23

(21) 申请号 201910731912.9

(22) 申请日 2019.08.08

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110429627 A

(43) 申请公布日 2019.11.08

(73) 专利权人 南方电网科学研究院有限责任公司

地址 510670 广东省广州市黄埔区科学城  
科翔路11号

专利权人 中国南方电网有限责任公司

(72) 发明人 毛田

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司 44202

代理人 麦小婵 郝传鑫

(51) Int.Cl.  
H02J 3/32 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 109245135 A, 2019.01.18

CN 109149651 A, 2019.01.04

CN 107994595 A, 2018.05.04

CN 103475020 A, 2013.12.25

CN 109167350 A, 2019.01.08

CN 109378843 A, 2019.02.22

US 2019206000 A1, 2019.07.04

杨锡运等. 商业园区储能系统削峰填谷的有功功率协调控制策略.《电网技术》.2018,第42卷(第8期),第2551-2561页.

MOHAMMAD FAISAL等.Review of Energy Storage System Technologies in Microgrid Applications: Issues and Challenges.《SPECIAL SECTION ON ADVANCED ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICATIONS》.2018,第6卷第35143-35164页.

审查员 邱慧

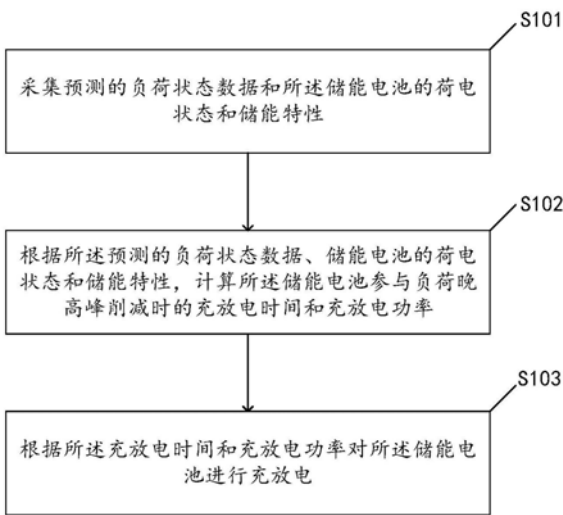
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法,所述方法包括:采集预测的负荷状态数据和储能电池的荷电状态和储能特性;根据所述预测的负荷状态数据、储能电池的荷电状态和储能特性,计算所述储能电池参与负荷晚高峰削减时的充放电时间和充放电功率;根据所述充放电时间和充放电功率对所述储能电池进行充放电。采用本发明,可以合理地优化储能参与晚高峰负荷削减时的充放电时间和具体充放电功率。



1. 一种基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法,其特征在于,包括:

采集预测的负荷状态数据和储能电池的荷电状态和储能特性;

根据所述预测的负荷状态数据、储能电池的荷电状态和储能特性,计算所述储能电池参与晚高峰负荷削减时的充放电时间和充放电功率;

根据所述充放电时间和充放电功率对所述储能电池进行充放电;

所述采集预测的负荷状态数据之后还包括:

根据采集预测的负荷状态数据,获取预测的负荷状态数据曲线;

根据所述预测的负荷状态数据、储能电池的荷电状态和储能特性,计算所述储能电池参与晚高峰负荷削减时的充放电时间和充放电功率,包括:

根据预设时间段内的负荷状态数据曲线,初始化储能的充放电功率阈值 $P_{充/放}$ ;

判断所述预设时间段内的负荷是否大于 $P_{充/放}$ ;

若所述预设时间段内的负荷均大于 $P_{充/放}$ ,采用第一种充放电方式处理,若存在所述预设时间段内的负荷不大于 $P_{充/放}$ ,则采用第二种充放电方式处理;

所述第一种充放电方式包括:

根据负荷状态数据曲线功率值为 $P_{充/放}$ 或者负荷状态数据曲线中与所述 $P_{充/放}$ 相距预设距离的预设个数的功率和时间点,计算所述预设时间段内的负荷削减所需放电电量 $Q_{sum-放}$ ;

根据储能能量状态,计算储能可放电电量 $Q_{ES,放}$ ;

比较所述 $Q_{sum-放}$ 和 $Q_{ES,放}$ ,若 $Q_{sum-放}$ 不大于 $Q_{ES,放}$ ,则获取储能放电功率 $P_{放-t}$ 和各时刻的SOC值 $SOC_{晚高峰-t}$ ;若 $Q_{sum-放}$ 大于 $Q_{ES,放}$ ,则按照预设步长 $\delta$ 增加 $P_{充/放}$ ,即 $P_{充/放}=P_{充/放}+\delta$ ;

所述第二种充放电方式包括:

将所述预设时间段内的负荷状态数据曲线分为第一放电区间、充电区间和第二放电区间,获取负荷状态数据曲线功率值为 $P_{充/放}$ 或者负荷状态数据曲线临近所述 $P_{充/放}$ 的预设个数的功率和时间点,分别为 $(P_{充/放}, t_{充/放,1})$ 、 $(P_{充/放}, t_{充/放,2})$ 、 $(P_{充/放}, t_{充/放,3})$ 和 $(P_{充/放}, t_{充/放,4})$ ,且 $t_{充/放,1} < t_{充/放,2} < t_{充/放,3} < t_{充/放,4}$ ;

获取所述第一放电区间负荷削减所需放电电量 $Q_{sum\_放}$ ,并根据储能能量状态,获取储能可放电电量 $Q_{ES\_放}$ ;

若 $Q_{sum\_放}$ 不大于 $Q_{ES\_放}$ ,证明储能通过本身储存的能量可完全削减第一放电区间的负荷,若 $Q_{sum\_放}$ 大于 $Q_{ES\_放}$ ,证明储能通过本身所储有的能量不能完全削减第一放电区间的负荷,按预定步长 $\delta$ 增加 $P_{充/放}$ ,即 $P_{充/放}=P_{充/放}+\delta$ 。

2. 如权利要求1所述基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法,其特征在于,根据负荷状态数据曲线功率值为 $P_{充/放}$ 或者负荷状态数据曲线临近所述 $P_{充/放}$ 的预设个数的功率和时间点,计算所述预设时间段内的负荷削减所需放电电量 $Q_{sum-放}$ ,包括:

所述临近所述 $P_{充/放}$ 的功率和时间点为 $(P_{充/放}, P_{充/放,1})$ 和 $(P_{充/放}, P_{充/放,2})$ ,且 $P_{充/放,1}$ 小于 $P_{充/放,2}$ ,所述预设时间段内的负荷削减所需放电电量 $Q_{sum-放}$ 为

$$Q_{sum-放} = \sum_{t \in \text{放电区间}} \begin{cases} P_t - P_{充/放}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} \leq P_{ES}, \text{ 且 } P_{充/放} < P_t \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} > P_{ES}, \text{ 且 } P_{充/放} < P_t \end{cases}$$

其中,放电区间为 $[P_{充/放,1}, P_{充/放,2}]$ , $P_{ES}$ 为储能的额定充放电功率, $P_t$ 为时刻 $t$ 时负荷状态数据曲线所对应的负荷值。

3. 如权利要求1所述基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法,其特征在于,根据储能能量状态,计算求出储能可放电电量 $Q_{ES\_放}$ ,包括:

$$Q_{ES\_放} = P_{ES} \times (SOC_{初始} - SOC_{min}) \times \eta_{放}$$

其中, $SOC_{min}$ 和 $SOC_{初始}$ 分别对应储能最小允许SOC和削减前的初始SOC值, $\eta_{放}$ 对应储能的放电效率。

4. 如权利要求1所述基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法,其特征在于,当所述 $Q_{sum\_放}$ 大于 $Q_{ES\_放}$ 时,所述方法包括:

获取充电区间充电能量 $Q_{sum\_充}$ 以及第二放电区间所需放电能量 $Q_{sum\_放}$ ;

判断第一放电区间放电后剩余能量及充电区间充电能量是否满足第二放电区间的放电需求;

若所述第一放电区间放电后剩余能量及充电区间充电能量不满足第二放电区间的放电需求,则按照预设步长 $\delta$ 增加 $P_{充/放}$ , $P_{充/放} = P_{充/放} + \delta$ 。

5. 如权利要求1所述基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法,其特征在于,当所述 $Q_{sum\_放}$ 不大于 $Q_{ES\_放}$ 时,所述方法还包括判断电池SOC是否满足电池性能,判断电池SOC是否满足电池性能的方法如下:

初始化储能充电阈值 $P_{充}$ ,初值设为 $P_{充} = P_{充/放}$ ,初始化储能放电阈值 $P_{放}$ ,初值设为 $P_{放} = P_{充/放}$ ;

A、根据 $P_{充}$ ,计算储能充电功率 $P_{充\_t}$ :

$$P_{充\_t} = \begin{cases} P_{充} - P_t, & \text{if: } P_{充} - P_t \leq P_{ES}, \forall t \in \text{充电区间, 且 } P_{充} > P_t \\ P_{ES}, & \text{if: } P_{充} - P_t > P_{ES} \end{cases}$$

B、根据 $P_{充/放}$ ,计算储能第一放电区间的放电功率 $P_{放\_t}$ :

$$P_{放\_t} = \begin{cases} P_t - P_{充/放}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} \leq P_{ES}, \forall t \in \text{放电区间1, 且 } P_t > P_{充/放} \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} > P_{ES} \end{cases}$$

C、根据 $P_{放}$ ,计算储能第二放电区间的放电功率 $P_{放\_t}$ :

$$P_{放\_t} = \begin{cases} P_t - P_{放}, & \text{if: } P_t - P_{放} \leq P_{ES}, \forall t \in \text{放电区间2, 且 } P_t > P_{放} \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{放} > P_{ES} \end{cases}$$

D、计算储能削减晚高峰后各时刻的SOC值 $SOC_{晚高峰,t}$ :

$$SOC_{晚高峰,t} = SOC_{初始} + \sum_{t \in \text{晚高峰区间}} P_{充\_t} * \eta_{充} / C_{ES} - \sum_{t \in \text{放电区间1}} P_{放\_t} / \eta_{放} / C_{ES} - \sum_{t \in \text{放电区间2}} P_{放\_t} / \eta_{放} / C_{ES}$$

判断各时刻SOC值 $SOC_{晚高峰,t}$ 并进行相应操作。

6. 如权利要求5所述基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法,其特征在于,所述判断各时刻SOC值 $SOC_{晚高峰,t}$ 并进行相应操作包括:

若 $SOC_{晚高峰,t}$ 最大值 $\max(SOC_{晚高峰,t})$ 大于电池SOC最大允许值 $SOC_{max}$ ,证明储能充电过量,按预定步长 $\delta$ 减少 $P_{充}$ ,即 $P_{充} = P_{充} - \delta$ ;

若 $SOC_{晚高峰,t}$ 最小值 $\min(SOC_{晚高峰,t})$ 小于电池SOC最小允许值 $SOC_{min}$ ,证明不能够满足第二放电区间的放电需求,按预定步长 $\delta$ 增加 $P_{充/放}$ ,即 $P_{充/放} = P_{充/放} + \delta$ ;

若 $SOC_{晚高峰,t}$ 最终值大于 $SOC_{min}$ ,证明储能还有剩余能量,可继续削减第二放电区间的高

峰负荷,按预定步长 $\delta$ 减少 $P_{\text{放}}$ ,即 $P_{\text{放}}=P_{\text{放}}-\delta$ ;

若 $\text{SOC}_{\text{晚卸峰},t}$ 不属于上述情况,证明储能充放电满足需求,根据得到的 $P_{\text{充/放}}$ 、 $P_{\text{充}}$ 、 $P_{\text{放}}$ 以及负荷状态数据曲线,求出储能充、放电功率以及SOC状态。

## 一种基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及储能应用技术领域,特别是涉及一种基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法。

### 背景技术

[0002] 随着社会经济的发展,电网负荷的峰谷差问题也变得日益突出。近年来,电池储能技术发展快速,伴随电池成本的大幅降低,储能系统在电网中的应用日益广泛,为解决电网峰谷差问题提供了一种有效方式。目前,储能在电力系统中的典型应用场景主要包括用电负荷调峰、电网调频、峰谷套利、可再生能源互补消纳、微电网应用等等。其中,电池储能参与电网的削峰填谷,可极大地改善电网的日负荷特性,提升发电设备的利用率,进而提高电网整体的运行效率。

[0003] 对储能参与负荷晚高峰负荷削减进行科学建模和优化计算,可为储能参与削峰填谷提供良好支撑,让储能更好地发挥其在实际电力生产中的利用。在已有的储能削峰填谷方法中,大部分通过对储能电池进行精确的数学建模,模拟仿真储能运行约束条件,包括容量约束、功率约束、荷电状态SOC (State-of-charge, 荷电状态) 上下限约束等等,然后结合具体的负荷曲线和运行目标,实现储能削峰填谷优化运行,一方面计算不够简便,另一方面也需要借助科学计算工具或者智能优化算法来进行求解。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述问题,本发明的目的是提供一种基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法,可以合理地优化储能晚高峰负荷削减时的充放电时间和具体充放电功率。

[0005] 基于此,本发明提供了一种基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法,所述方法包括:

[0006] 采集预测的负荷状态数据和储能电池的荷电状态和储能特性;

[0007] 根据所述预测的负荷状态数据、储能电池的荷电状态和储能特性,计算所述储能电池参与晚高峰负荷削减时的充放电时间和充放电功率;

[0008] 根据所述充放电时间和充放电功率对所述储能电池进行充放电。

[0009] 其中,所述采集预测的负荷状态数据之后还包括:

[0010] 根据采集预测的负荷状态数据,获取预测的负荷状态数据曲线。

[0011] 其中,根据所述预测的负荷状态数据、储能电池的荷电状态和储能特性,计算所述储能电池参与晚高峰负荷削减时的充放电时间和充放电功率,包括:

[0012] 根据预设时间段内的负荷状态数据曲线,初始化储能的充放电功率阈值 $P_{充/放}$ ;

[0013] 判断所述预设时间段内的负荷是否大于 $P_{充/放}$ ;

[0014] 若所述预设时间段内的负荷均大于 $P_{充/放}$ ,采用第一种充放电方式处理,若存在所述预设时间段内的负荷不大于 $P_{充/放}$ ,则采用第二种充放电方式处理。

[0015] 其中,所述第一种充放电方式包括:

[0016] 根据负荷状态数据曲线功率值为 $P_{充/放}$ 或者负荷状态数据曲线中与所述 $P_{充/放}$ 相距预设距离的预设个数的功率和时间点,计算所述预设时间段内的负荷削减所需放电电量 $Q_{sum-放}$ ;

[0017] 根据储能能量状态,计算储能可放电电量 $Q_{ES,放}$ ;

[0018] 比较所述 $Q_{sum-放}$ 和 $Q_{ES,放}$ ,若 $Q_{sum-放}$ 不大于 $Q_{ES,放}$ ,则获取储能放电功率 $P_{放-t}$ 和各时刻的SOC值 $SOC_{晚高峰-t}$ ;若 $Q_{sum-放}$ 大于 $Q_{ES,放}$ ,则按照预设步长 $\delta$ 增加 $P_{充/放}$ ,即 $P_{充/放}=P_{充/放}+\delta$ 。

[0019] 其中,根据负荷状态数据曲线功率值为 $P_{充/放}$ 或者负荷状态数据曲线临近所述 $P_{充/放}$ 的预设个数的功率和时间点,计算所述预设时间段内的负荷削减所需放电电量 $Q_{sum-放}$ ,包括:

[0020] 所述临近所述 $P_{充/放}$ 的功率和时间点为 $(P_{充/放}, P_{充/放,1})$ 和 $(P_{充/放}, P_{充/放,2})$ ,且 $P_{充/放,1}$ 小于 $P_{充/放,2}$ ,所述预设时间段内的负荷削减所需放电电量 $Q_{sum-放}$ 为

$$[0021] \quad Q_{sum-放} = \sum_{t \in \text{放电区间}} \begin{cases} P_t - P_{充/放}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} \leq P_{ES}, \text{ 且 } P_{充/放} < P_t \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} > P_{ES}, \text{ 且 } P_{充/放} < P_t \end{cases}$$

[0022] 其中,放电区间为 $[P_{充/放,1}, P_{充/放,2}]$ , $P_{ES}$ 为储能的额定充放电功率, $P_t$ 为时刻 $t$ 时负荷状态数据曲线所对应的负荷值。

[0023] 其中,根据储能能量状态,计算求出储能可放电电量 $Q_{ES-放}$ ,包括:

$$[0024] \quad Q_{ES,放} = P_{ES} \times (SOC_{初始} - SOC_{min}) \times \eta_{放}$$

[0025] 其中, $SOC_{min}$ 和 $SOC_{初始}$ 分别对应储能最小允许SOC和削减前的初始SOC值, $\eta_{放}$ 对应储能的放电效率。

[0026] 其中,所述第二种充放电方式包括:

[0027] 将所述预设时间段内的负荷状态数据曲线分为第一放电区间、充电区间和第二放电区间,获取负荷状态数据曲线功率值为 $P_{充/放}$ 或者负荷状态数据曲线临近所述 $P_{充/放}$ 的预设个数的功率和时间点,分别为 $(P_{充/放}, t_{充/放,1})$ 、 $(P_{充/放}, t_{充/放,2})$ 、 $(P_{充/放}, t_{充/放,3})$ 和 $(P_{充/放}, t_{充/放,4})$ ,且 $t_{充/放,1} < t_{充/放,2} < t_{充/放,3} < t_{充/放,4}$ ;

[0028] 获取所述第一放电区间负荷削减所需放电电量 $Q_{sum-放}$ ,并根据储能能量状态,获取储能可放电电量 $Q_{ES-放}$ ;

[0029] 若 $Q_{sum-放}$ 不大于 $Q_{ES-放}$ ,证明储能通过本身储存的能量可完全削减第一放电区间的负荷,若 $Q_{sum-放}$ 大于 $Q_{ES-放}$ ,证明储能通过本身所储有的能量不能完全削减第一放电区间的负荷,则按预定步长 $\delta$ 增加 $P_{充/放}$ ,即 $P_{充/放}=P_{充/放}+\delta$ 。

[0030] 其中,当所述 $Q_{sum-放}$ 大于 $Q_{ES-放}$ 时,所述方法包括:

[0031] 获取充电区间充电能量 $Q_{sum-充}$ 和第二放电区间所需放电能量 $Q_{sum-放}$ ;

[0032] 判断第一放电区间放电后剩余能量及充电区间充电能量是否满足第二放电区间的放电需求;

[0033] 若所述第一放电区间放电后剩余能量及充电区间充电能量不满足第二放电区间的放电需求,则按照预设步长 $\delta$ 增加 $P_{充/放}$ ,即 $P_{充/放}=P_{充/放}+\delta$ 。

[0034] 其中,当所述 $Q_{sum-放}$ 不大于 $Q_{ES-放}$ 时,所述方法还包括判断电池SOC是否满足电池性能,判断电池SOC是否满足电池性能的方法如下:

[0035] 初始化储能充电阈值 $P_{充}$ ,初值设为 $P_{充}=P_{充/放}$ ,初始化储能放电阈值 $P_{放}$ ,初值设为 $P_{放}=P_{充/放}$ 。

[0036] A、根据 $P_{\text{充}}$ ,计算储能充电功率 $P_{\text{充}_t}$ :

$$[0037] \quad P_{\text{充}_t} = \begin{cases} P_{\text{充}} - P_t, & \text{if: } P_{\text{充}} - P_t \leq P_{ES}, \forall t \in \text{充电区间}, \text{且 } P_{\text{充}} > P_t \\ P_{ES}, & \text{if: } P_{\text{充}} - P_t > P_{ES} \end{cases}$$

[0038] B、根据 $P_{\text{充/放}}$ ,计算储能第一放电区间的放电功率 $P_{\text{放}_t}$ :

$$[0039] \quad P_{\text{放}_t} = \begin{cases} P_t - P_{\text{充/放}}, & \text{if: } P_t - P_{\text{充/放}} \leq P_{ES}, \forall t \in \text{放电区间1}, \text{且 } P_t > P_{\text{充/放}} \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{\text{充/放}} > P_{ES} \end{cases}$$

[0040] C、根据 $P_{\text{放}}$ ,计算储能第二放电区间的放电功率 $P_{\text{放}_t}$ :

$$[0041] \quad P_{\text{放}_t} = \begin{cases} P_t - P_{\text{放}}, & \text{if: } P_t - P_{\text{放}} \leq P_{ES}, \forall t \in \text{放电区间2}, \text{且 } P_t > P_{\text{放}} \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{\text{放}} > P_{ES} \end{cases}$$

[0042] D、计算储能削减晚高峰后各时刻的SOC值 $\text{SOC}_{\text{晚高峰},t}$ :

$$[0043] \quad \begin{aligned} \text{SOC}_{\text{晚高峰},t} = & \text{SOC}_{\text{初始}} + \sum_{t \in \text{晚高峰区间}} P_{\text{充}_t} * \eta_{\text{充}} / C_{ES} - \sum_{t \in \text{放电区间1}} P_{\text{放}_t} / \eta_{\text{放}} / C_{ES} \\ & - \sum_{t \in \text{放电区间2}} P_{\text{放}_t} / \eta_{\text{放}} / C_{ES} \end{aligned}$$

[0044] 判断各时刻SOC值 $\text{SOC}_{\text{晚高峰},t}$ 并进行相应操作。

[0045] 其中,所述判断各时刻SOC值 $\text{SOC}_{\text{晚高峰},t}$ 并进行相应操作包括:

[0046] 若 $\text{SOC}_{\text{晚高峰},t}$ 最大值 $\max(\text{SOC}_{\text{晚高峰},t})$ 大于电池SOC最大允许值 $\text{SOC}_{\text{max}}$ ,证明储能充电过量,按预定步长 $\delta$ 减少 $P_{\text{充}}$ ,即 $P_{\text{充}} = P_{\text{充}} - \delta$ ;

[0047] 若 $\text{SOC}_{\text{晚高峰},t}$ 最小值 $\min(\text{SOC}_{\text{晚高峰},t})$ 小于电池SOC最小允许值 $\text{SOC}_{\text{min}}$ ,证明不能够满足第二放电区间的放电需求,按预定步长 $\delta$ 增加 $P_{\text{充/放}}$ ,即 $P_{\text{充/放}} = P_{\text{充/放}} + \delta$ ;

[0048] 若 $\text{SOC}_{\text{晚高峰},t}$ 最终值大于 $\text{SOC}_{\text{min}}$ ,证明储能还有剩余能量,可继续削减第二放电区间的高峰负荷,按预定步长 $\delta$ 减少 $P_{\text{放}}$ ,即 $P_{\text{放}} = P_{\text{放}} - \delta$ ;

[0049] 若 $\text{SOC}_{\text{晚高峰},t}$ 不属于上述情况,证明储能充放电满足需求,根据得到的 $P_{\text{充/放}}$ 、 $P_{\text{充}}$ 、 $P_{\text{放}}$ 以及负荷状态数据曲线,求出储能充、放电功率以及SOC状态。

[0050] 本发明结合负荷状态数据、储能电池SOC以及储能电池运行特性,能够自适应求解储能针对晚高峰负荷的负荷削减方式。由于储能晚高峰削减方法充分考虑了负荷状态数据曲线、电池状态以及电池各项约束条件,故可以较为合理地优化储能晚高峰负荷削减时的充放电时间和具体充放电功率,且计算简洁、便利,可为储能电池参与晚高峰负荷削减提供一种有效手段。

## 附图说明

[0051] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0052] 图1是本发明实施例提供的基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法的流程图;

[0053] 图2是本发明实施例提供的基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法的结构示意图;

- [0054] 图3是本发明实施例提供的第一种充放电方式的处理示意图；  
 [0055] 图4是本发明实施例提供的第二种充放电方式的处理示意图；  
 [0056] 图5是本发明实施例提供的储能电池晚高峰负荷削减计算结果的示意图；  
 [0057] 图6是本发明实施例提供的储能电池晚高峰负荷削减后的SOC状态示意图。

## 具体实施方式

[0058] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0059] 图1是本发明实施例提供的基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法的流程图,所述方法包括:

[0060] S101、采集预测的负荷状态数据和储能电池的荷电状态和储能特性;

[0061] 图2是本发明实施例提供的一种基于负荷自适应的储能晚高峰负荷削减方法的结构示意图,请参考图2,所述预测的负荷状态数据的获取方式包括与变电站或者地区电网接口对接获取预设的负荷状态数据,所述储能电池的荷电状态即SOC(State-of-charge),所述储能电池的储能特性包括储能功率、容量、SOC运行上下限、充放电效率等等。

[0062] S102、根据所述预测的负荷状态数据、储能电池的荷电状态和储能特性,计算所述储能电池的参与晚高峰负荷削减时的充放电时间和充放电功率;

[0063] 所述预测的负荷状态数据可以构成负荷状态数据曲线;

[0064] 根据负荷状态数据曲线,或者也可以根据变压器额定功率,初始化储能的充/放电功率阈值 $P_{充/放}$ 。本例中, $P_{充/放}$ 设定为负荷重载阈值 $P_1$ 。

[0065] 判断负荷是否全部大于 $P_{充/放}$ ,则存在两种情况:负荷全部不低于 $P_{充/放}$ ,按照第一种充放电方式进行处理,否则按照第二种充放电方式处理。

[0066] 第一种充放电方式:

[0067] 步骤1、若负荷全部不低于 $P_{充/放}$ ,图3是本发明实施例提供的第一种充放电方式的处理示意图,如图3所示,证明充/放电功率阈值 $P_{充/放}$ 与负荷状态数据曲线存在至多三个交点,求出负荷状态数据曲线功率值为 $P_{充/放}$ 或者临近 $P_{充/放}$ 的功率和时间点,假定为 $(P_{充/放}, P_{充/放,1})$ 和 $(P_{充/放}, P_{充/放,2})$ ,且 $P_{充/放,1}$ 小于 $P_{充/放,2}$ ,计算负荷削减所需放电电量 $Q_{sum\_放}$ ,即:

$$[0068] \quad Q_{sum\_放} = \sum_{t \in \text{放电区间}} \begin{cases} P_t - P_{充/放}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} \leq P_{ES}, \text{ 且 } P_{充/放} < P_t \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} > P_{ES}, \text{ 且 } P_{充/放} < P_t \end{cases}$$

[0069] 其中,放电区间为 $[P_{充/放,1}, P_{充/放,2}]$ , $P_{ES}$ 为储能的额定充放电功率, $P_t$ 为时刻 $t$ 时负荷状态数据曲线所对应的负荷值。

[0070] 步骤2、根据储能能量状态,计算求出储能可放电电量 $Q_{ES\_放}$ ,即:

$$[0071] \quad Q_{ES\_放} = P_{ES} \times (SOC_{初始} - SOC_{min}) \times \eta_{放}$$

[0072] 其中, $SOC_{min}$ 和 $SOC_{初始}$ 分别对应储能最小允许SOC和储能晚高峰削减前的初始SOC值; $\eta_{放}$ 对应储能的放电效率。

[0073] 比较 $Q_{sum\_放}$ 和 $Q_{ES\_放}$ :

[0074] 步骤2判断结果1:若所述 $Q_{sum\_放}$ 不大于 $Q_{ES\_放}$ ,证明储能通过本身所储有的能量可完



全削峰,进而计算储能放电功率 $P_{放,t}$ 和储能晚高峰后各时刻的SOC值 $SOC_{晚高峰,t}$ :

$$[0075] \quad P_{放,t} = \begin{cases} P_t - P_{充/放}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} \leq P_{ES}, \forall t \in \text{放电区间}, \text{且 } P_t > P_{充/放} \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} > P_{ES} \end{cases}$$

$$[0076] \quad SOC_{晚高峰,t} = SOC_{初始} - \sum_{t \in \text{晚高峰区间}} P_{放,t} / \eta_{放} / C_{ES}$$

[0077] 若 $Q_{sum\_放}$ 大于 $Q_{ES\_放}$ ,证明储能通过本身所储有的能量不能完全削峰,按预定步长 $\delta$ 增加 $P_{充/放}$ ,即 $P_{充/放} = P_{充/放} + \delta$ ,判断晚高峰时段负荷是否全部高于 $P_{充/放}$ 。若晚高峰时段负荷全部高于 $P_{充/放}$ ,跳转至起始判决条件进行判断和进一步处理;若晚高峰时段负荷存在负荷值低于 $P_{充/放}$ ,则按照第二种充放电方式的处理步骤进行处理。

[0078] 第二种充放电方式:

[0079] 当晚高峰时段负荷存在负荷值低于 $P_{充/放}$ ,图4是本发明实施例提供的第二种充放电方式的处理示意图,如图4所示,负荷状态数据曲线将分成3段,即:第一放电区间,充电区间及第二放电区间。找出负荷状态数据曲线功率值为 $P_{充/放}$ 或临近 $P_{充/放}$ 的功率和时间点,应有4个点,假定分别为 $(P_{充/放}, t_{充/放,1})$ 、 $(P_{充/放}, t_{充/放,2})$ 、 $(P_{充/放}, t_{充/放,3})$ 和 $(P_{充/放}, t_{充/放,4})$ ,且 $t_{充/放,1} < t_{充/放,2} < t_{充/放,3} < t_{充/放,4}$ 。

[0080] 步骤1:首先对第一放电区间进行判断,计算求出第一放电区间负荷削减所需放电电量 $Q_{sum\_放}$ ,即:

$$[0081] \quad Q_{sum\_放} = \sum_{t \in \text{放电区间1}} \begin{cases} P_t - P_{充/放}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} \leq P_{ES}, \text{且 } P_{充/放} < P_t \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} > P_{ES}, \text{且 } P_{充/放} < P_t \end{cases}$$

[0082] 其中,第一放电区间为 $[t_{充/放,1}, t_{充/放,2}]$ 。

[0083] 步骤2:根据储能能量状态,计算求出储能可放电电量 $Q_{ES\_放}$ ,即:

$$[0084] \quad Q_{ES\_放} = P_{ES} \times (SOC_{初始} - SOC_{min}) \times \eta_{放}$$

[0085] 比较 $Q_{sum\_放}$ 和 $Q_{ES\_放}$ ,存在两种结果:

[0086] 步骤2判断结果1:若 $Q_{sum\_放}$ 不大于 $Q_{ES\_放}$ ,证明储能通过本身储存的能量可完全削减第一放电区间的负荷。

[0087] 计算充电区间充电能量 $Q_{sum\_充}$ 和第二放电区间所需放电能量 $Q_{sum\_放,s}$ ,

$$[0088] \quad Q_{sum\_充} = \sum_{t \in \text{充电区间}} \begin{cases} P_{充/放} - P_t, & \text{if: } P_{充/放} - P_t \leq P_{ES}, \text{且 } P_{充/放} > P_t \\ P_{ES}, & \text{if: } P_{充/放} - P_t > P_{ES}, \text{且 } P_{充/放} > P_t \end{cases}$$

$$[0089] \quad Q_{sum\_放,s} = \sum_{t \in \text{放电区间2}} \begin{cases} P_t - P_{充/放}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} \leq P_{ES}, \text{且 } P_{充/放} < P_t \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} > P_{ES}, \text{且 } P_{充/放} < P_t \end{cases}$$

[0090] 其中,充电区间为 $[t_{充/放,2}, t_{充/放,3}]$ ,第二放电区间为 $[t_{充/放,3}, t_{充/放,4}]$ 。

[0091] 初始化充电区间储能充电阈值 $P_{充}$ ,初值设为 $P_{充} = P_{充/放}$ 。初始化充电区间储能放电阈值 $P_{放}$ ,初值设为 $P_{放} = P_{充/放}$ ,储能的充电效率为 $\eta_{充}$ 。

[0092] 步骤3:判断储能第一放电区间放电后剩余能量及充电区间充电能量能够完全满足第二放电区间放电需求:

$$[0093] \quad Q_{ES\_放} - Q_{sum\_放} + Q_{sum\_充} \times \eta_{充} \times \eta_{放} \geq Q_{sum\_放,s},$$

[0094] 证明储能第一放电区间放电后剩余能量及充电区间充电能量能够满足第二放电

区间的放电需求,转至步骤3.1进一步判断电池SOC是否满足电池性能。

[0095]  $Q_{ES\_放} - Q_{sum\_放} + Q_{sum\_充} * \eta_{充} * \eta_{放} < Q_{sum\_放, s}$ ,

[0096] 证明储能第一放电区间放电后剩余能量及充电区间充电能量不能够满足第二放电区间的放电需求,按预定步长 $\delta$ 增加 $P_{充/放}$ ,即 $P_{充/放} = P_{充/放} + \delta$ ,返回至起始判决条件进行判断和进一步处理。

[0097] 步骤3.1:根据 $P_{充}$ ,计算储能充电功率 $P_{充-t}$ :

[0098] 
$$P_{充-t} = \begin{cases} P_{充} - P_t, & \text{if: } P_{充} - P_t \leq P_{ES} \\ P_{ES}, & \text{if: } P_{充} - P_t > P_{ES} \end{cases}, \forall t \in \text{充电区间}, \text{且 } P_{充} > P_t$$

[0099] 步骤3.2:根据 $P_{充/放}$ ,计算储能第一放电区间的放电功率 $P_{放-t}$ :

[0100] 
$$P_{放-t} = \begin{cases} P_t - P_{充/放}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} \leq P_{ES} \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} > P_{ES} \end{cases}, \forall t \in \text{放电区间1}, \text{且 } P_t > P_{充/放}$$

[0101] 步骤3.3:根据 $P_{放}$ ,计算储能第二放电区间的放电功率 $P_{放-t}$ :

[0102] 
$$P_{放-t} = \begin{cases} P_t - P_{放}, & \text{if: } P_t - P_{放} \leq P_{ES} \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{放} > P_{ES} \end{cases}, \forall t \in \text{放电区间2}, \text{且 } P_t > P_{放}$$

[0103] 步骤3.4:计算储能削减晚高峰后各时刻的SOC值 $SOC_{晚高峰-t}$ :

[0104] 
$$SOC_{晚高峰, t} = SOC_{初始} + \sum_{t \in \text{晚高峰区间}} P_{充-t} * \eta_{充} / C_{ES} - \sum_{t \in \text{放电区间1}} P_{放-t} / \eta_{放} / C_{ES} - \sum_{t \in \text{放电区间2}} P_{放-t} / \eta_{放} / C_{ES}$$

[0105] 步骤4:判断各时刻SOC值 $SOC_{晚高峰-t}$ 并进行相应操作,

[0106] 若 $SOC_{晚高峰-t}$ 最大值 $\max(SOC_{晚高峰, t})$ 大于电池SOC最大允许值 $SOC_{max}$ ,证明储能充电过量,按预定步长 $\delta$ 减少 $P_{充}$ ,即 $P_{充} = P_{充} - \delta$ ,跳转至步骤3.1进行处理。

[0107] 若 $SOC_{晚高峰, t}$ 最小值 $\min(SOC_{晚高峰, t})$ 小于电池SOC最小允许值 $SOC_{min}$ ,证明不能够满足第二放电区间的放电需求,按预定步长 $\delta$ 增加 $P_{充/放}$ ,即 $P_{充/放} = P_{充/放} + \delta$ ,返回至起始判决条件进行处理。

[0108] 若 $SOC_{晚高峰, t}$ 最终值大于 $SOC_{min}$ ,证明储能还有剩余能量,可继续削减第二放电区间的高峰负荷,按预定步长 $\delta$ 减少 $P_{放}$ ,即 $P_{放} = P_{放} - \delta$ ,跳转至步骤3.1进行处理。

[0109] 若 $SOC_{晚高峰, t}$ 不属于上述情况,证明储能充放电满足需求,跳转至步骤5进行计算。

[0110] 步骤2判断结果2:若 $Q_{sum\_放}$ 大于 $Q_{ES\_放}$ ,证明储能通过本身所储有的能量不能完全削峰,按预定步长 $\delta$ 增加 $P_{充/放}$ ,即 $P_{充/放} = P_{充/放} + \delta$ ,返回至起始判决条件进行处理。

[0111] 步骤5:根据得到的 $P_{充/放}$ 、 $P_{充}$ 、 $P_{放}$ 以及负荷状态数据曲线,求出储能充、放电功率以及SOC状态:

[0112] 1、若负荷状态数据曲线功率全部高于 $P_{充/放}$ ,则只存在放电:

[0113] 
$$P_{放-t} = \begin{cases} P_t - P_{充/放}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} \leq P_{ES} \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{充/放} > P_{ES} \end{cases}, \forall t \in \text{放电区间}, \text{且 } P_t > P_{充/放}$$

[0114] 
$$SOC_{晚高峰, t} = SOC_{早高峰} - \sum_{t \in \text{晚高峰区间}} P_{放-t} / \eta_{放} / C_{ES}$$

[0115] 2、若负荷状态数据曲线功率存在负荷值小于 $P_{充/放}$ ,则同时存在充、放电:

$$[0116] \quad P_{\text{放}_t} = \begin{cases} P_t - P_{\text{充/放}}, & \text{if: } P_t - P_{\text{充/放}} \leq P_{ES}, \forall t \in \text{放电区间1, 且 } P_t > P_{\text{充/放}} \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{\text{充/放}} > P_{ES} \end{cases}$$

$$[0117] \quad P_{\text{放}_t} = \begin{cases} P_t - P_{\text{放}}, & \text{if: } P_t - P_{\text{放}} \leq P_{ES}, \forall t \in \text{放电区间2, 且 } P_t > P_{\text{放}} \\ P_{ES}, & \text{if: } P_t - P_{\text{放}} > P_{ES} \end{cases}$$

$$[0118] \quad P_{\text{充}_t} = \begin{cases} P_{\text{充}} - P_t, & \text{if: } P_{\text{充}} - P_t \leq P_{ES}, \forall t \in \text{充电区间, 且 } P_{\text{充}} > P_t \\ P_{ES}, & \text{if: } P_{\text{充}} - P_t > P_{ES} \end{cases}$$

$$[0119] \quad SOC_{\text{晚高峰},t} = SOC_{\text{起始}} + \sum_{t \in \text{晚高峰区间}} P_{\text{充}_t} * \eta_{\text{充}} / C_{ES} - \sum_{t \in \text{晚高峰区间}} P_{\text{放}_t} / \eta_{\text{放}} / C_{ES}$$

[0120] S103、根据所述储能电池的负荷充放电时间和充放电功率对所述储能电池执行充放电操作,进行晚高峰负荷削减。

[0121] 本发明结合负荷状态数据、储能电池SOC以及储能电池运行特性,能够自适应求解储能针对晚高峰负荷的负荷削减方式。由于储能晚高峰负荷削减方法充分考虑了负荷状态数据曲线、电池状态以及电池各项约束条件,故可以较为合理地优化储能晚高峰负荷削减时的充放电时间和具体充放电功率,且计算简洁、便利,可为储能电池参与晚高峰负荷削减提供一种有效手段

[0122] 以某储能电池参与某变电站晚高峰负荷削减为例,假定 $P_1$ 设定为80%变压器额定功率。图5给出了储能电池晚高峰负荷削减计算结果示意图。图6给出了储能电池参与晚高峰负荷削减后的SOC状态示意图,储能相关参数如下:

[0123]	参数	数值
	$C_{ES}$	20MWh
	$P_{ES}$	10MW
	$SOC_{\text{max}}$	0.9
	$SOC_{\text{初始}}$	0.9
	$SOC_{\text{min}}$	0.1
	$\eta_{\text{充}}$	0.9
	$\eta_{\text{放}}$	0.9

[0124] 从图5结果对比可以看出,储能在晚高峰负荷时段,通过放电有效降低了负荷晚高峰,同时通过充电补充了电池能量;负荷削减后的晚高峰变为一段平直的负荷状态数据曲线,证明所提方法优化了储能的充放电时间和充放电功率;图6果表明,储能SOC和充电功率均在储能限定范围内,表明所提方法能满足储能电池的运行特性和技术特性。由此证明本发明能够较为合理地优化储能晚高峰负荷削减时的充放电方式。

[0125] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明技术原理的前提下,还可以做出若干改进和替换,这些改进和替换也应视为本发明的保护范围。

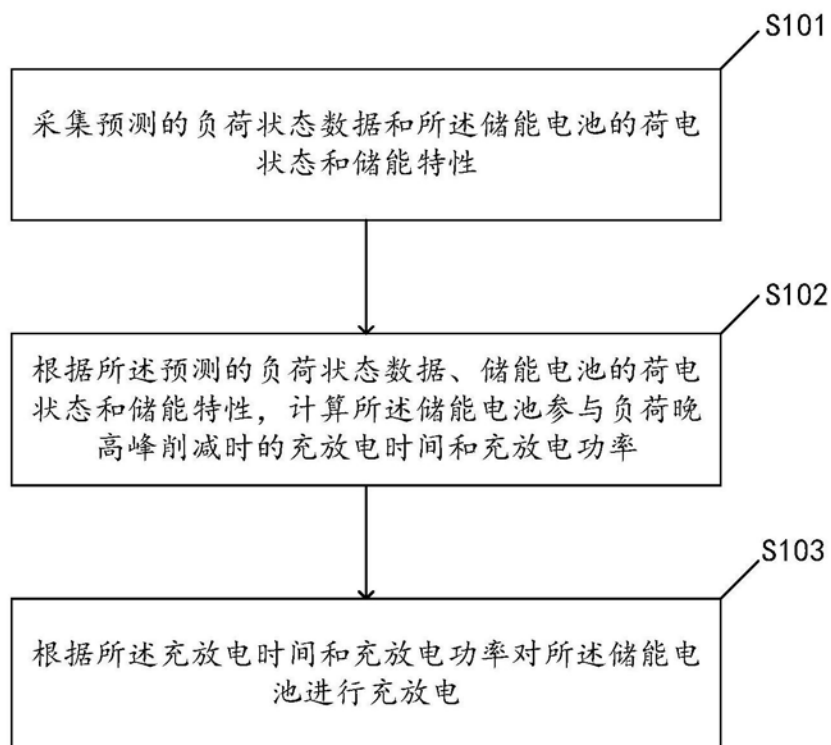


图1

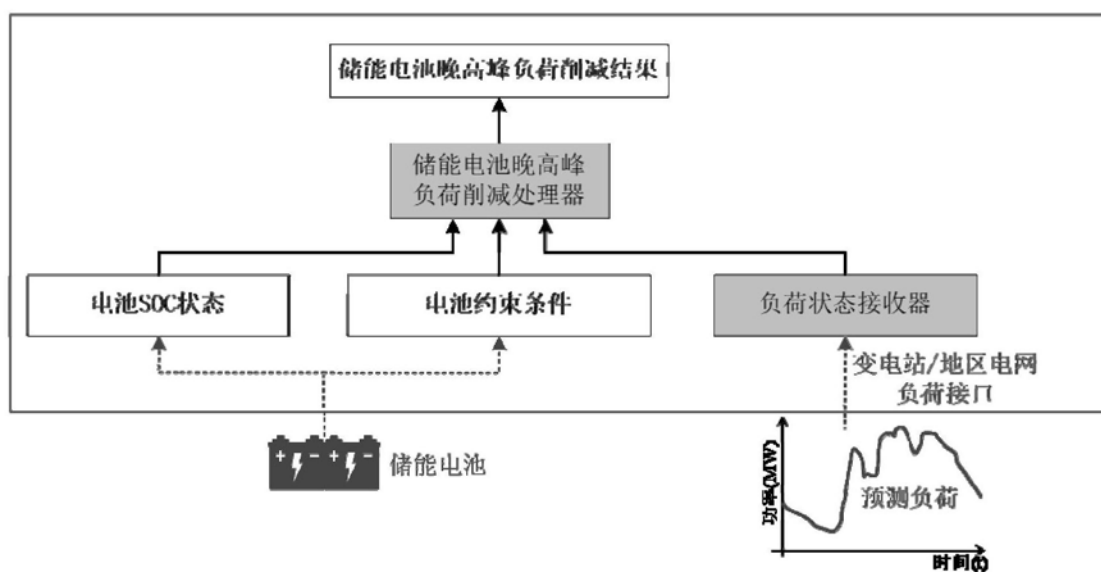


图2

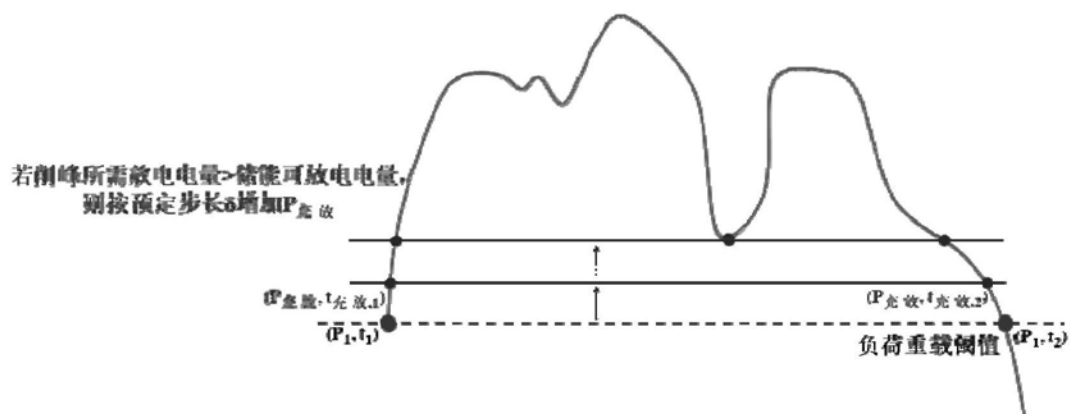


图3

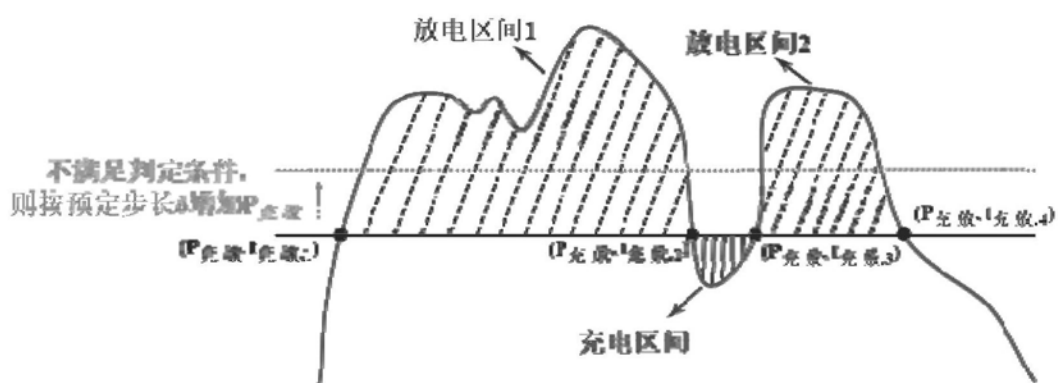


图4

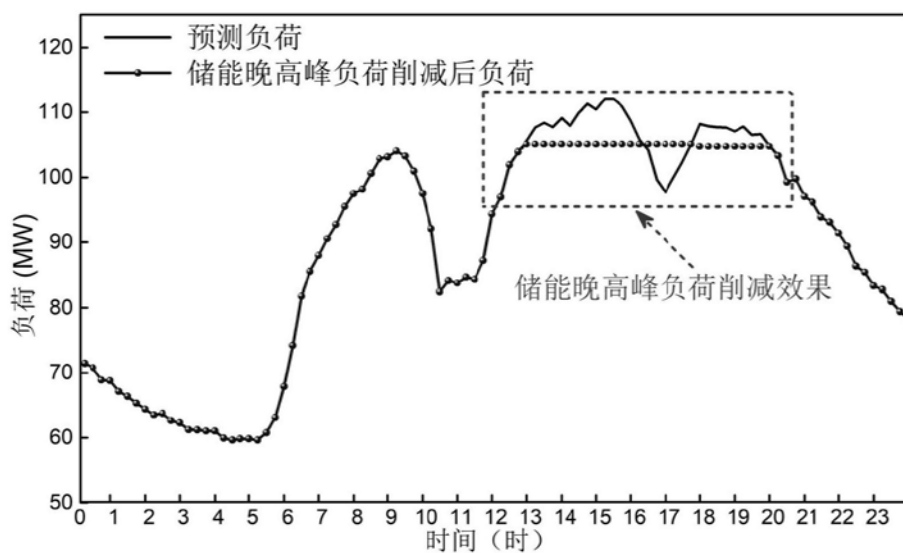


图5

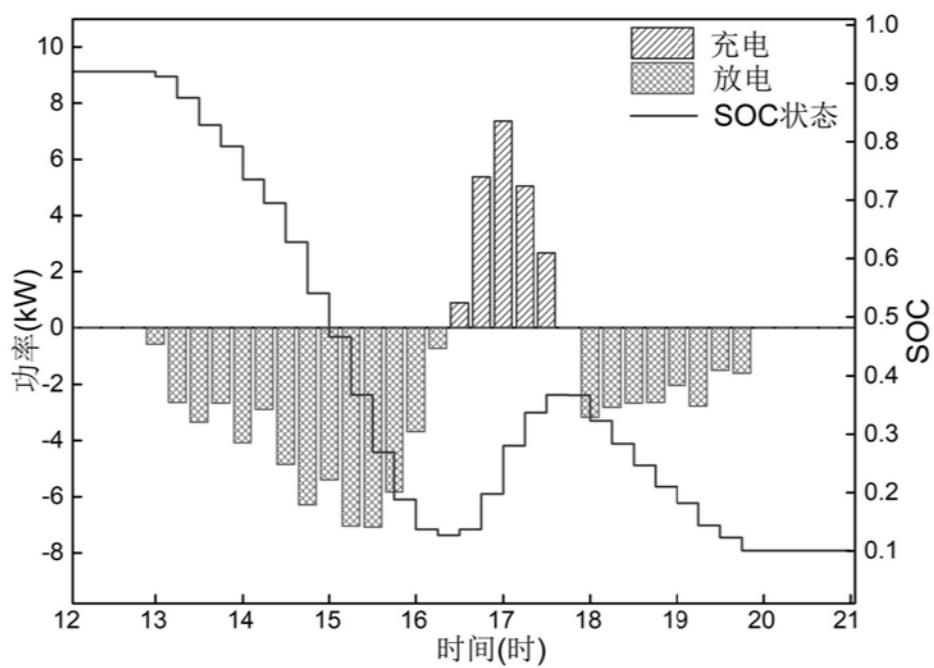


图6