



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110048443 B

(45)授权公告日 2020.07.24

(21)申请号 201910314317.5

H02J 3/38(2006.01)

(22)申请日 2019.04.18

H02J 3/48(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 秦媛倩

申请公布号 CN 110048443 A

(43)申请公布日 2019.07.23

(73)专利权人 湖南大学

地址 410082 湖南省长沙市岳麓区麓山南路2号

(72)发明人 李欣然 刘小龙 刘志谱 张焜

李章溢 刘明爽

(74)专利代理机构 长沙市融智专利事务所(普通合伙) 43114

代理人 杨萍

(51)Int.Cl.

H02J 3/28(2006.01)

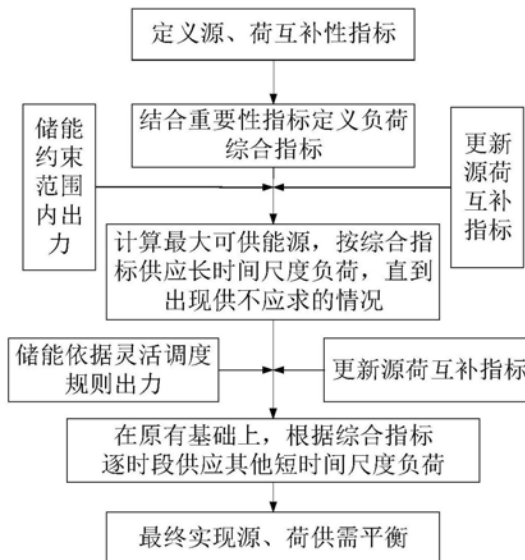
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法,包括以下步骤:步骤1、将调度总周期划分为多个时段;步骤2:定义负荷的互补性指标,并结合负荷的重要性指标,定义负荷的综合指标;步骤3:计算各个负荷在整个调度总周期内的综合指标,按照综合指标由大到小的顺序逐一判断各个负荷能否在整个调度总周期内供能;步骤4:在确定能够在整个调度总周期内供能的负荷的基础上再逐时段判断能够在短时间尺度内供能的负荷;步骤5、在整个调度总周期的起始时刻投入C_{Lt}中的所有负荷;并按照C_{Lt}'中记录的各个负荷及其投入时段,逐时段投入不同负荷。本发明减少了供需不平衡,提升了能源利用效率。



CN 110048443 B

1. 一种基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:以T为间隔时间,将调度总周期,即计划停电时间均匀划分为n个时段,将各个时段的起始时刻和结束时刻为采样时刻,得到n+1个采样时刻;

步骤2:定义负荷 P_L 在调度总周期的第a至b个时段内的源-荷互补性指标 $E_{a\sim b}$ 为:

$$\begin{cases} E_{a\sim b} = \frac{1}{b-a+1} \sum_{t=a}^b \beta_t \\ \beta_t = - \left| \frac{P_{NET}(t+1) - P_{NET}(t)}{T} - \frac{P_L(t+1) - P_L(t)}{T} \right| \end{cases}$$

其中,a、b均为正整数,且满足 $1 \leq a < b \leq n$, β_t 表示调度总周期中第t个时段内源-荷互补的程度; $P_{NET}(t+1)$ 和 $P_{NET}(t)$ 分别为第t+1和第t个采样时刻的净电功率,净电功率等于微网内所有供电设备发电功率与所有投入负荷需求功率之差; $P_L(t+1)$ 和 $P_L(t)$ 分别为第t+1和第t个采样时刻负荷 P_L 的功率;

定义负荷 P_L 在调度总周期的第a至b个时段内的综合指标 $Z_{a\sim b}$ 为:

$$Z_{a\sim b} = \alpha \cdot F + \beta \cdot E_{a\sim b}$$

其中,F表示负荷 P_L 的重要性指标; α 、 β 为权系数, α 、 $\beta > 0$ 且 $\alpha + \beta = 1$;

步骤3:定义微网中的所有二级负荷构成的集合为 C_L ;在调度总周期的起始时刻,根据步骤2中的定义分别计算 C_L 中各个负荷在整个调度总周期内的综合指标 $Z_{1\sim n}$,并按照综合指标 $Z_{1\sim n}$ 由大到小的顺序逐一判断各个负荷能否在整个调度总周期内投入,最终确定 C_L 中能够在整个调度总周期内投入的负荷集合 C_{Lt} ;

步骤4:令 $C_L' = C_L - C_{Lt}$,逐时段确定能够在短时间尺度内投入的负荷;在各时段的起始时刻 τ ,根据步骤2中的定义计算 C_L' 中各个负荷在调度总周期的第 τ 至 $\tau+k$ 个时段内的综合指标 $Z_{\tau\sim\tau+k}$,按照综合指标 $Z_{\tau\sim\tau+k}$ 由大到小的顺序逐一判断 C_L' 中各个负荷能否在调度总周期的第 τ 至 $\tau+k$ 个时段内投入;最终确定 C_L' 中能够在短时间尺度内投入的负荷及其投入时段集合 C_{Lt}' ;其中, $\tau+k \leq n$;

步骤5:在整个调度总周期的起始时刻投入 C_{Lt} 中的所有负荷;并按照 C_{Lt}' 中记录的各个负荷及其投入时段,逐时段投入不同负荷;

所述步骤3和步骤4中,判断一个负荷能否投入的方法为:若投入该负荷后,从投入起始时刻至整个调度总周期结束的时段内,净电功率与储能装置能够提供的放电功率之和大于等于0,则该负荷能够投入,否则不能。

2. 根据权利要求1所述的基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法,其特征在于,所述步骤3具体包括以下步骤:

3.1) 初始化;获取储能装置初始荷电状态和源、荷功率预测数据;

3.2) 计算各个采样时刻净电功率的初始值以及 C_L 中各个负荷的重要性指标;其中各个采样时刻的净电功率的初始值为该时刻燃气机最大出力和新能源发电功率之和与一级负荷需求功率之差;

3.3) 根据步骤2中的定义计算 C_L 中各个负荷在整个调度总周期内的源-荷互补性指标 $E_{1\sim n}$ 和综合指标 $Z_{1\sim n}$;

3.4) 假定投入 C_L 中综合指标 $Z_{1\sim n}$ 最大的负荷 P_L ,其在各个采样时刻的需求功率为 $P_L(t)$,

$t=1,2,\dots,n$;

3.5) 更新各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) - P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$;

3.6) 判断各个采样时刻的净电功率 $P_{NET}(t)$ 是否都大于等于0,若是则进入步骤3.7),否则进入步骤3.8);

3.7) 确定投入负荷 P_L ,将其从 C_L 中删除,并加入集合 C_{Lt} ;然后判断 C_L 中剩余负荷个数,大于0则进入步骤3.3),否则进入步骤3.9);

3.8) 判断储能装置能否调节供需平衡:根据储能装置的SOC以及出力限值约束,计算各个采样时刻储能装置能够提供的放电功率 $P_{BAT}(t)$;若投入该负荷后,在整个调度总周期内,净电功率与储能装置能够提供的放电功率之和大于等于0,说明储能装置能够调节供需平衡,则进入步骤3.7),否则说明储能装置放电也无法调节供需平衡,则复原各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) + P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$,并从 C_L 中删除该负荷,然后判断 C_L 中剩余负荷个数,若大于0则进入步骤3.4),若等于0则进入步骤3.9);

3.9) 输出 C_{Lt} ,即整个调度总周期内不间断供电的负荷集合。

3. 根据权利要求1所述的基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法,其特征在于,所述步骤4具体包括以下步骤:

4.1) 记录各个采样时刻投入完 C_{Lt} 中的负荷后的净电功率 $P_{NET}(t)$ 和储能充放电功率 $P_{BAT}(t)$;

4.2) 初始化 $\tau=1$;

4.3) 判断第 τ 至第 $\tau+k$ 个采样时刻供需是否平衡且储能装置是否都存在放电状态,若是则进入步骤4.10),否则进入步骤4.4);

4.4) 根据步骤2中的定义计算 C_L' 中各个负荷在调度总周期的第 τ 至 $\tau+k$ 个时段内的源-荷互补性指标 $E_{\tau\sim\tau+k}$ 和综合指标 $Z_{\tau\sim\tau+k}$;

4.5) 假定在第 t 个采样时刻投入 C_L' 中综合指标 $Z_{\tau\sim\tau+k}$ 最大的负荷 P_L ,其在各个采样时刻的需求功率为 $P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$;

4.6) 更新 P_L 投入时段内各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) - P_L(t)$, $t=\tau,\tau+1,\dots,\tau+k$;

4.7) 判断 P_L 投入时段内各个采样时刻的净电功率 $P_{NET}(t)$ 是否都大于等于0,若是则进入步骤4.8),否则进入步骤4.9);

4.8) 确定投入负荷 P_L ,将其从 C_L' 中删除,并将其及其投入时段加入集合 C_{Lt}' ;然后判断 P_L 投入时段内各采样时刻的净电功率中的最大值是否大于0,若不是,则进入步骤4.10),若是,则判断 C_L' 中剩余负荷个数,若剩余负荷个数大于0则进入步骤4.4),否则进入步骤4.10);

4.9) 判断储能装置能否调节供需平衡,根据储能装置的SOC以及出力限值约束,计算第 τ 到 n 个时段内各个采样时刻储能装置能够提供的放电功率 $P_{BAT}(t)$, $t=\tau,\tau+1,\dots,n+1$;若在第 τ 到 n 个时段内,净电功率与储能装置能够提供的放电功率之和大于等于0,说明储能装置能够调节供需平衡,则进入步骤4.8),否则说明储能装置放电也无法调节供需平衡,则复原各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) + P_L(t)$, $t=\tau,\tau+1,\dots,\tau+k$,并从 C_L' 中删除该负荷,然后判断 C_L' 中剩余负荷个数,若大于0则进入步骤4.4),否则进入步骤4.10);

4.10) 判断是否有 $\tau+k \geq n+1$,若是则进入步骤4.11),否则令 $\tau=\tau+k$,进入步骤4.3);

4.11) 输出 C_{Lt}' 。

4. 根据权利要求1所述的基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法,其特征在于,设置 T 为15min。

5. 根据权利要求4所述的基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法,其特征在于,设置 k 为4。

一种基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法。

背景技术

[0002] 发生计划停电时,微网系统处于孤网运行状态,由于所配置的微电源十分有限,往往不能满足日常情况下冷/热/电负荷的需求。在此情况下,除了优化孤网下各微电源的出力外,还需要制定合理的负荷投切(调度)策略。实际情况下,通常根据孤网供能情况直接按照负荷重要程度顺序投切负荷。毋庸置疑,在主网计划停电期间,应首先保证可靠性要求高的一级负荷的连续供电,在任何情况下均不考虑切除;满足一级负荷需求后,微网系统电能若仍有剩余,则继续满足其余二级负荷需求。二级负荷可靠性要求相对较低,其经济损失程度区别不明显。因此,除了考虑负荷重要性程度外,还可从提高能源利用率和负荷供应量的角度考虑,以此制定合理的负荷投切方案。

[0003] 对于含有风/光等可再生能源的微网系统,为了能够最大程度消纳新能源发电功率,提高能源利用效率,可控制二级负荷需求功率尽量贴合能源出力,而新能源出力具有很大的随机性,如果仅按照重要性指标确定负荷投切方案,容易出现负荷反复投切或者能源利用率不高的问题。导致该问题的主要原因在于重要性较高的负荷,源-荷之间的互补性不一定高。

[0004] 因此需引入源、荷之间的互补特性评价指标来改善负荷投切方案。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是,针对现有负荷投切策略的不足,提出一种基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法,在考虑负荷重要性的同时,提升负荷供应量的大小,并减少负荷投切次数,有效维持微网系统的可靠供能。

[0006] 本发明的技术解决方案如下:

[0007] 一种基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤1:以T为间隔时间,将调度总周期,即计划停电时间均匀划分为n个时段,将各个时段的起始时刻和结束时刻为采样时刻,得到n+1个采样时刻;

[0009] 步骤2:定义负荷 P_L 在调度总周期的第a至b个时段内的源(不包括储能)-荷互补性指标 $E_{a\sim b}$ 为:

$$[0010] \quad \begin{cases} E_{a\sim b} = \frac{1}{b-a+1} \sum_{t=a}^b \beta_t \\ \beta_t = - \left| \frac{P_{NET}(t+1) - P_{NET}(t)}{T} - \frac{P_L(t+1) - P_L(t)}{T} \right| \end{cases}$$

[0011] 其中,a、b均为正整数,且满足 $1 \leq a < b \leq n$, $E_{a\sim b}$ 体现第a~b个时段内源-荷互补能力的平均效应,用于量化源荷之间有功功率的互补能力; β 为源、荷功率变化率之差的绝对值的负值,体现时段内源、荷互补的程度,其中, β_t 表示调度总周期中第t个时段内源-荷互

补的程度; $P_{NET}(t+1)$ 和 $P_{NET}(t)$ 分别为第 $t+1$ 和第 t 个采样时刻的净电功率,净电功率等于微网内所有供电设备发电功率与所有投入负荷需求功率之差; $P_L(t+1)$ 和 $P_L(t)$ 分别为第 $t+1$ 和第 t 个采样时刻负荷 P_L 的功率;

[0012] 在定义源-荷互补性指标的基础上,结合负荷的重要性指标,定义各负荷 P_L 在调度总周期的第 a 至 b 个时段内的综合指标 $Z_{a\sim b}$ 为:

$$[0013] \quad Z_{a\sim b} = \alpha \cdot F + \beta \cdot E_{a\sim b}$$

[0014] 其中, F 表示负荷重要性指标; α, β 为权系数,分别表示负荷重要性与源-荷互补性的相对重要程度, $\alpha, \beta > 0$ 且 $\alpha + \beta = 1$, α, β 通过熵权法确定;

[0015] 步骤3:定义微网中的所有二级负荷构成的集合为 C_L ;在调度总周期的起始时刻,根据步骤2中的定义计算 C_L 中各个负荷在整个调度总周期内的综合指标 $Z_{1\sim n}$,并按照综合指标 $Z_{1\sim n}$ 由大到小的顺序逐一判断各个负荷能否在整个调度总周期内投入(即长时间尺度供能,供能时间尺度为 nT),最终确定 C_L 中能够在整个调度总周期内投入的负荷集合 C_{Lt} ;

[0016] 步骤4:确定在整个调度总周期内投入 C_{Lt} 中所有负荷的基础上,定义剩余未投入的负荷构成的集合为 C_L' ,逐时段确定能够在短时间尺度内投入的负荷;在每个时段的起始时刻 τ ,根据步骤2中的定义计算 C_L' 中各个负荷在调度总周期的第 τ 至 $\tau+k$ 个时段内的综合指标 $Z_{\tau\sim\tau+k}$,按照综合指标 $Z_{\tau\sim\tau+k}$ 由大到小的顺序逐一判断 C_L' 中各个负荷能否在调度总周期的第 $\tau\sim\tau+k$ 个时段内投入(即短时间尺度供能,供能时间尺度为 $kT, kT < nT$);最终确定 C_L' 中能够在短时间尺度内投入的负荷及其投入时段集合 C_{Lt}' ;其中, $\tau+k \leq n$;

[0017] 步骤5:在整个调度总周期的起始时刻投入 C_{Lt} 中的所有负荷;并按照 C_{Lt}' 中记录的各个负荷及其投入时段,逐时段投入不同负荷;

[0018] 所述步骤3和步骤4中,判断一个负荷能否投入的方法为:若投入该负荷后,从当前时刻至整个调度总周期结束的时段内,净电功率与储能装置能够提供的放电功率之和大于等于0,则该负荷能够投入,否则不能。

[0019] 进一步地,所述步骤3具体包括以下步骤:

[0020] 3.1) 初始化;获取储能装置初始荷电状态(state of charge, SOC),获取源、荷功率预测数据等;

[0021] 3.2) 计算各个采样时刻净电功率的初始值以及 C_L 中各个负荷的重要性指标;

[0022] 各个采样时刻的净电功率的初始值为该时刻燃气机最大出力、风/光等新能源发电功率之和与一级负荷需求功率之差,即 $P_{NET0}(t) = P_{GE}(t) + P_{PV}(t) + P_W(t) - P_{L0}(t)$,其中 $P_{GE}(t)$ 为第 t 个采样时刻燃气机的最大出力, $P_{PV}(t)$ 和 $P_W(t)$ 分别为第 t 个采样时刻光伏发电和风力发电功率, $P_{L0}(t)$ 为第 t 个采样时刻需要供电的一级重要负荷需求功率;初始净电功率用于供应二级负荷;风/光等新能源发电功率和负荷功率根据预测得到;参考文献:廖旋焕,胡智宏,马莹莹,卢王允.电力系统短期负荷预测方法综述[J].电力系统保护与控制,2011,39(01):147-152;孔波利,崔丽艳,丁钊,李现伟,王以笑.基于风光混合模型的短期功率预测方法研究[J].电力系统保护与控制,2015,43(18):62-66;

[0023] 负荷重要性指标计算方法参考文献:赵会茹,欧大昌,张奇,等.基于ANP灰色关联的电力用户重要性评估[J].能源技术经济,2012,24(7):38-43;

[0024] 3.3) 根据步骤2中的定义计算 C_L 中各个负荷在整个调度总周期内的源-荷互补性指标 $E_{1\sim n}$ 和综合指标 $Z_{1\sim n}$;

- [0025] 3.4) 假定投入 C_L 中综合指标 $Z_{1\sim n}$ 最大的负荷 P_L ,其在各个采样时刻的需求功率为 $P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$; $P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$ 根据预测得到;
- [0026] 3.5) 更新各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) - P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$;
- [0027] 3.6) 判断各个采样时刻的净电功率 $P_{NET}(t)$ 是否都大于等于0,若是则进入步骤3.7),否则进入步骤3.8);
- [0028] 3.7) 确定投入负荷 P_L ,将其从 C_L 中删除,并加入集合 C_{Lt} ;然后判断 C_L 中剩余负荷个数,大于0则进入步骤3.3),否则进入步骤3.9);
- [0029] 3.8) 判断储能装置能否调节供需平衡:根据储能装置的SOC(State of Charge,荷电状态)以及出力限值约束,计算各个采样时刻储能装置能够提供的放电功率 $P_{BAT}(t)$;若投入该负荷后,在整个调度总周期内,净电功率与储能装置能够提供的放电功率之和大于等于0,说明储能装置能够调节供需平衡,则进入步骤3.7),否则说明储能装置放电也无法调节供需平衡(出现供不应求的情况),则复原各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) + P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$,并从 C_L 中删除该负荷,然后判断 C_L 中剩余负荷个数,若大于0则进入步骤3.4),若等于0则进入步骤3.9);
- [0030] 3.9) 输出 C_{Lt} ,即计划停电期间(整个调度总周期内)不间断供电的负荷集合。
- [0031] 进一步地,所述步骤4具体包括以下步骤:
- [0032] 4.1) 记录各个采样时刻投入完 C_{Lt} 中的负荷后的净电功率 $P_{NET}(t)$ 、储能充放电功率 $P_{BAT}(t)$;
- [0033] 4.2) 初始化 $\tau=1$;
- [0034] 4.3) 判断第 τ 至第 $\tau+k$ 个采样时刻供需是否平衡(即净电功率与储能装置能够提供的放电功率之和等于0)且储能装置是否都存在放电状态,若是则进入步骤4.10),即不再利用储能装置为其他负荷短时间尺度供能,否则说明各个采样时刻的净电功率中的最大值(即 $\max\{P_{NET}(t) | t=\tau, \tau+1, \dots, \tau+k\}$)大于0,则进入步骤4.4),即利用净电功率与储能装置继续为其他负荷短时间尺度供能;此步骤设定了储能装置的灵活调度规则,以避免储能容量集中于某个时段,充分发挥其在整个计划停电期间内的时空转移能力;
- [0035] 4.4) 根据步骤2中的定义计算 C_L' 中各个负荷在调度总周期的第 τ 至 $\tau+k$ 个时段内的源-荷互补性指标 $E_{\tau\sim\tau+k}$ 和综合指标 $Z_{\tau\sim\tau+k}$;
- [0036] 4.5) 假定在第 t 个采样时刻投入 C_L' 中综合指标 $Z_{\tau\sim\tau+k}$ 最大的负荷 P_L ,其在各个采样时刻的需求功率为 $P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$; $P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$ 根据预测得到;
- [0037] 4.6) 更新 P_L 投入时段内(第 τ 至 $\tau+k$ 个时段内)各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) - P_L(t)$, $t=\tau, \tau+1, \dots, \tau+k$;
- [0038] 4.7) 判断 P_L 投入时段内各个采样时刻的净电功率 $P_{NET}(t)$ 是否都大于等于0,若是则进入步骤4.8),否则进入步骤4.9);
- [0039] 4.8) 确定投入负荷 P_L ,将其从 C_L' 中删除,并将其及其投入时段加入集合 C_{Lt}' ;然后判断投入时段内各采样时刻的净电功率中的最大值(即 $\max\{P_{NET}(t) | t=\tau, \tau+1, \dots, \tau+k\}$)是否大于0,若不是,则进入步骤4.10),即不再利用储能装置为其他负荷短时间尺度供能,若是,判断 C_L' 中剩余负荷个数;若剩余负荷个数大于0则进入步骤4.4),否则进入步骤4.10);此步骤设定了储能装置的灵活调度规则,以避免储能容量集中于某个时段,充分发挥其在整个计划停电期间内的时空转移能力;

[0040] 4.9) 判断储能装置能否调节供需平衡,根据储能装置的SOC(State of Charge,荷电状态)以及出力限值约束,计算第 τ 到 n 个时段内各个采样时刻储能装置能够提供的放电功率 $P_{BAT}(t)$, $t=\tau, \tau+1, \dots, n+1$;若在第 τ 到 n 个时段内,净电功率与储能装置能够提供的放电功率之和大于等于0,说明储能装置能够调节供需平衡,则进入步骤4.8),否则说明储能装置放电也无法调节供需平衡(出现供不应求的情况),则复原各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) + P_L(t)$, $t=\tau, \tau+1, \dots, \tau+k$,并从 C_L' 中删除该负荷,然后判断 C_L' 中剩余负荷个数,若大于0则进入步骤4.5),否则进入步骤4.10);

[0041] 4.10) 判断是否有 $\tau+k \geq n+1$,若是则进入步骤4.11),否则令 $\tau = \tau+k$,进入步骤4.3);

[0042] 4.11) 输出 C_{Lt}' 。

[0043] 进一步地,设置 T 为15min, k 为4。

[0044] 本发明的工作原理是:从孤网下重要性指标投切策略存在的供需不平衡或负荷投切频次过多的原因出发,引入源-荷互补特性改善负荷投切策略。在定义互补性指标的基础上,结合负荷重要性指标,提出综合指标负荷投切策略。考虑到实际情况下二级负荷供电连续性要求,进一步提出多时间尺度供能的综合指标负荷投切策略。在确定负荷的短时间尺度供能方案时,设定储能装置灵活调度规则,以避免储能容量集中用于某个时段,充分发挥其在整个计划停电期间内的时空转移能力。

[0045] 有益效果是:

[0046] (1) 引入互补性改善负荷投切策略,减小了供需不平衡(源-荷供需差),能源利用效率得到提升;

[0047] (2) 提出多时间尺度供能的综合指标负荷投切策略,在保证负荷重要性和供应量的前提下,显著降低了负荷投切频次;

[0048] (3) 制定储能灵活调度规则,充分发挥了储能在整个调度时段内的时空转移能力,进一步优化了基于综合指标的负荷投切策略,使之更加贴合能源出力,在保证负荷供应量的基础上显著降低负荷投切频次,有利于提升负荷本身和整个系统的稳定性。

附图说明

[0049] 图1为本发明的方法总体思路框图。

[0050] 图2为本发明步骤3流程图。

[0051] 图3为本发明步骤4流程图。

具体实施方式

[0052] 以下结合附图和具体实施方式对本发明进行进一步具体说明。

[0053] 本发明公开了一种基于多时间尺度供能和综合指标的负荷投切方法,包括以下步骤:

[0054] 步骤1:以 T 为间隔时间,将调度总周期,即计划停电时间均匀划分为 n 个时段,将各个时段的起始时刻和结束时刻为采样时刻,得到 $n+1$ 个采样时刻;

[0055] 步骤2:定义负荷 P_L 在调度总周期的第 a 至 b 个时段内的源(不包括储能)-荷互补性指标 $E_{a \sim b}$ 为:

$$[0056] \quad \begin{cases} E_{a \sim b} = \frac{1}{b-a+1} \sum_{t=a}^b \beta_t \\ \beta_t = - \left| \frac{P_{NET}(t+1) - P_{NET}(t)}{T} - \frac{P_L(t+1) - P_L(t)}{T} \right| \end{cases}$$

[0057] 其中, a、b均为正整数, 且满足 $1 \leq a < b \leq n$, $E_{a \sim b}$ 体现第 a~b 个时段内源-荷互补能力的平均效应, 用于量化源荷之间有功功率的互补能力; β 为源、荷功率变化率之差的绝对值的负值, 体现时段内源、荷互补的程度, 其中, β_t 表示调度总周期中第 t 个时段内源-荷互补的程度; $P_{NET}(t+1)$ 和 $P_{NET}(t)$ 分别为第 t+1 和第 t 个采样时刻的净电功率, 净电功率等于微网内所有供电设备发电功率与所有投入负荷需求功率之差; $P_L(t+1)$ 和 $P_L(t)$ 分别为第 t+1 和第 t 个采样时刻负荷 P_L 的功率;

[0058] 在定义源-荷互补性指标的基础上, 结合负荷的重要性指标, 定义各负荷 P_L 在调度总周期的第 a 至 b 个时段内的综合指标 $Z_{a \sim b}$ 为:

$$[0059] \quad Z_{a \sim b} = \alpha \cdot F + \beta \cdot E_{a \sim b}$$

[0060] 其中, F 表示负荷重要性指标; α, β 为权系数, 分别表示负荷重要性与源-荷互补性的相对重要程度, $\alpha, \beta > 0$ 且 $\alpha + \beta = 1$, α, β 通过熵权法确定;

[0061] 步骤3: 定义微网中的所有二级负荷构成的集合为 C_L ; 在调度总周期的起始时刻, 根据步骤2中的定义计算 C_L 中各个负荷在整个调度总周期内的综合指标 $Z_{1 \sim n}$, 并按照综合指标 $Z_{1 \sim n}$ 由大到小的顺序逐一判断各个负荷能否在整个调度总周期内投入 (即长时间尺度供能, 供能时间尺度为 nT), 最终确定 C_L 中能够在整个调度总周期内投入的负荷集合 C_{Lt} ;

[0062] 步骤4: 确定在整个调度总周期内投入 C_{Lt} 中所有负荷的基础上, 定义剩余未投入的负荷构成的集合为 C_L' , 逐时段确定能够在短时间尺度内投入的负荷; 在每个时段的起始时刻 τ , 根据步骤2中的定义计算 C_L' 中各个负荷在调度总周期的第 τ 至 $\tau+k$ 个时段内的综合指标 $Z_{\tau \sim \tau+k}$, 按照综合指标 $Z_{\tau \sim \tau+k}$ 由大到小的顺序逐一判断 C_L' 中各个负荷能否在调度总周期的第 $\tau \sim \tau+k$ 个时段内投入 (即短时间尺度供能, 供能时间尺度为 kT , $kT < nT$); 最终确定 C_L' 中能够在短时间尺度内投入的负荷及其投入时段集合 C_{Lt}' ; 其中, $\tau+k \leq n$;

[0063] 步骤5: 在整个调度总周期的起始时刻投入 C_{Lt} 中的所有负荷; 并按照 C_{Lt}' 中记录的各个负荷及其投入时段, 逐时段投入不同负荷;

[0064] 所述步骤3和步骤4中, 判断一个负荷能否投入的方法为: 若投入该负荷后, 从当前时刻至整个调度总周期结束的时段内, 净电功率与储能装置能够提供的放电功率之和大于等于0, 则该负荷能够投入, 否则不能。

[0065] 进一步地, 所述步骤3流程图如图2所示, 具体包括以下步骤:

[0066] 3.1) 初始化; 获取储能装置初始荷电状态 (state of charge, SOC), 获取源、荷功率预测数据等;

[0067] 3.2) 计算各个采样时刻净电功率的初始值以及 C_L 中各个负荷的重要性指标;

[0068] 各个采样时刻的净电功率的初始值为该时刻燃气机最大出力、风/光等新能源发电功率之和与一级负荷需求功率之差, 即 $P_{NET0}(t) = P_{GE}(t) + P_{PV}(t) + P_W(t) - P_{L0}(t)$, 其中 $P_{GE}(t)$ 为第 t 个采样时刻燃气机的最大出力, $P_{PV}(t)$ 和 $P_W(t)$ 分别为第 t 个采样时刻光伏发电和风力发电功率, $P_{L0}(t)$ 为第 t 个采样时刻需要供电的一级重要负荷需求功率; 初始净电功率用于供应二级负荷; 风/光等新能源发电功率和负荷功率根据预测得到; 参考文献: 廖旋焕,

胡智宏,马莹莹,卢王允.电力系统短期负荷预测方法综述[J].电力系统保护与控制,2011,39(01):147-152;孔波利,崔丽艳,丁钊,李现伟,王以笑.基于风光混合模型的短期功率预测方法研究[J].电力系统保护与控制,2015,43(18):62-66;

[0069] 负荷重要性指标计算方法参考文献:赵会茹,欧大昌,张奇,等.基于ANP灰色关联的电力用户重要性评估[J].能源技术经济,2012,24(7):38-43;

[0070] 3.3) 根据步骤2中的定义计算 C_L 中各个负荷在整个调度总周期内的源-荷互补性指标 $E_{1\sim n}$ 和综合指标 $Z_{1\sim n}$;

[0071] 3.4) 假定投入 C_L 中综合指标 $Z_{1\sim n}$ 最大的负荷 P_L ,其在各个采样时刻的需求功率为 $P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$; $P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$ 根据预测得到;

[0072] 3.5) 更新各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) - P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$;

[0073] 3.6) 判断各个采样时刻的净电功率 $P_{NET}(t)$ 是否都大于等于0,若是则进入步骤3.7),否则进入步骤3.8);

[0074] 3.7) 确定投入负荷 P_L ,将其从 C_L 中删除,并加入集合 C_{Lt} ;然后判断 C_L 中剩余负荷个数,大于0则进入步骤3.3),否则进入步骤3.9);

[0075] 3.8) 判断储能装置能否调节供需平衡:根据储能装置的SOC(State of Charge,荷电状态)以及出力限值约束,计算各个采样时刻储能装置能够提供的放电功率 $P_{BAT}(t)$;若投入该负荷后,在整个调度总周期内,净电功率与储能装置能够提供的放电功率之和大于等于0,说明储能装置能够调节供需平衡,则进入步骤3.7),否则说明储能装置放电也无法调节供需平衡(出现供不应求的情况),则复原各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) + P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$,并从 C_L 中删除该负荷,然后判断 C_L 中剩余负荷个数,若大于0则进入步骤3.4),若等于0则进入步骤3.9);

[0076] 3.9) 输出 C_{Lt} ,即计划停电期间(整个调度总周期内)不间断供电的负荷集合。

[0077] 进一步地,所述步骤4流程图如图3所示,具体包括以下步骤:

[0078] 4.1) 记录各个采样时刻投入完 C_{Lt} 中的负荷后的净电功率 $P_{NET}(t)$ 、储能充放电功率 $P_{BAT}(t)$;

[0079] 4.2) 初始化 $\tau=1$;

[0080] 4.3) 判断第 τ 至第 $\tau+k$ 个采样时刻供需是否平衡(即净电功率与储能装置能够提供的放电功率之和等于0)且储能装置是否都存在放电状态,若是则进入步骤4.10),即不再利用储能装置为其他负荷短时间尺度供能,否则说明各个采样时刻的净电功率中的最大值(即 $\max\{P_{NET}(t) \mid t=\tau, \tau+1, \dots, \tau+k\}$)大于0,则进入步骤4.4),即利用净电功率与储能装置继续为其他负荷短时间尺度供能;此步骤设定了储能装置的灵活调度规则,以避免储能容量集中于某个时段,充分发挥其在整个计划停电期间内的时空转移能力;

[0081] 4.4) 根据步骤2中的定义计算 C_L' 中各个负荷在调度总周期的第 τ 至 $\tau+k$ 个时段内的源-荷互补性指标 $E_{\tau\sim\tau+k}$ 和综合指标 $Z_{\tau\sim\tau+k}$;

[0082] 4.5) 假定在第 t 个采样时刻投入 C_L' 中综合指标 $Z_{\tau\sim\tau+k}$ 最大的负荷 P_L ,其在各个采样时刻的需求功率为 $P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$; $P_L(t)$, $t=1,2,\dots,n$ 根据预测得到;

[0083] 4.6) 更新 P_L 投入时段内(第 τ 至 $\tau+k$ 个时段内)各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) - P_L(t)$, $t=\tau, \tau+1, \dots, \tau+k$;

[0084] 4.7) 判断 P_L 投入时段内各个采样时刻的净电功率 $P_{NET}(t)$ 是否都大于等于0,若是

则进入步骤4.8), 否则进入步骤4.9);

[0085] 4.8) 确定投入负荷 P_L , 将其从 C_L' 中删除, 并将其及其投入时段加入集合 C_{L_t}' ; 然后判断投入时段内各采样时刻的净电功率中的最大值(即 $\max\{P_{NET}(t) | t = \tau, \tau+1, \dots, \tau+k\}$)是否大于0, 若不是, 则进入步骤4.10), 即不再利用储能装置为其他负荷短时间尺度供能, 若是, 判断 C_L' 中剩余负荷个数; 若剩余负荷个数大于0则进入步骤4.4), 否则进入步骤4.10); 此步骤设定了储能装置的灵活调度规则, 以避免储能容量集中用于某个时段, 充分发挥其在整个计划停电期间内的时空转移能力;

[0086] 4.9) 判断储能装置能否调节供需平衡, 根据储能装置的SOC(State of Charge, 荷电状态)以及出力限值约束, 计算第 τ 到 n 个时段内各个采样时刻储能装置能够提供的放电功率 $P_{BAT}(t)$, $t = \tau, \tau+1, \dots, n+1$; 若在第 τ 到 n 个时段内, 净电功率与储能装置能够提供的放电功率之和大于等于0, 说明储能装置能够调节供需平衡, 则进入步骤4.8), 否则说明储能装置放电也无法调节供需平衡(出现供不应求的情况), 则复原各个采样时刻的净电功率: $P_{NET}(t) = P_{NET}(t) + P_L(t)$, $t = \tau, \tau+1, \dots, \tau+k$, 并从 C_L' 中删除该负荷, 然后判断 C_L' 中剩余负荷个数, 若大于0则进入步骤4.5), 否则进入步骤4.10);

[0087] 4.10) 判断是否有 $\tau+k \geq n+1$, 若是则进入步骤4.11), 否则令 $\tau = \tau+k$, 进入步骤4.3);

[0088] 4.11) 输出 C_{L_t}' 。

[0089] 本发明提出了综合考虑负荷重要性与源-荷互补性的综合指标负荷投切方法, 相对于基于只考虑负荷重要性指标的负荷投切方法, 该方法能够有效提高长时间尺度内能源的利用效率, 同时显著降低负荷的投切频次, 有利于提升负荷本身和整个系统的稳定性。

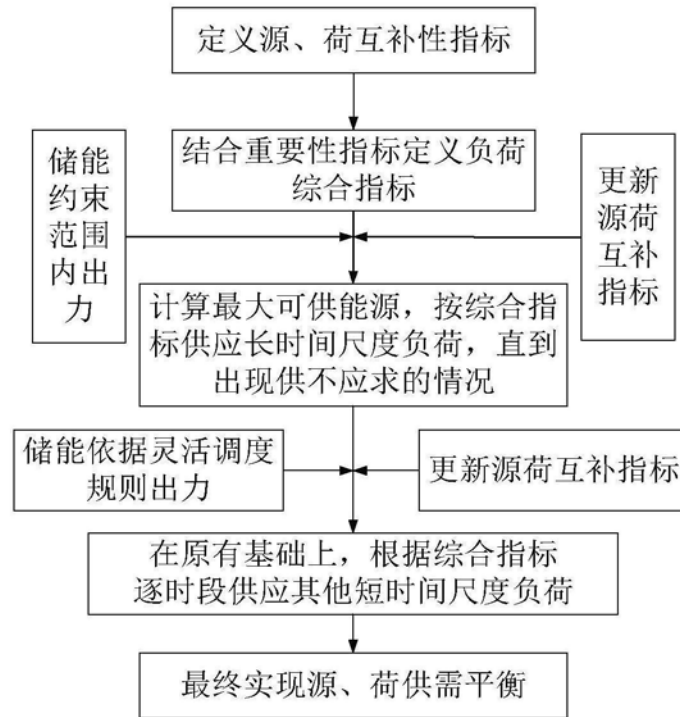


图1

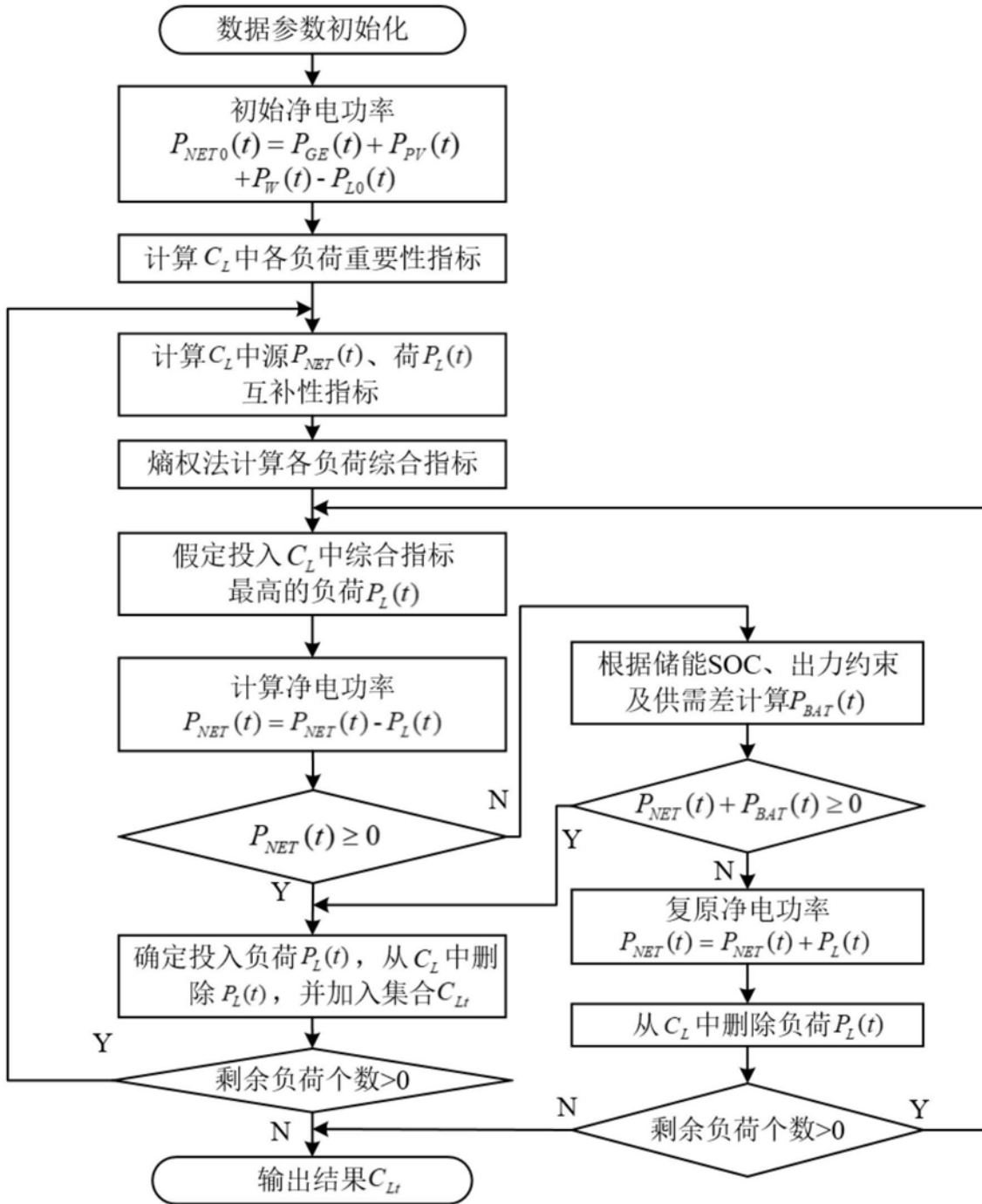


图2

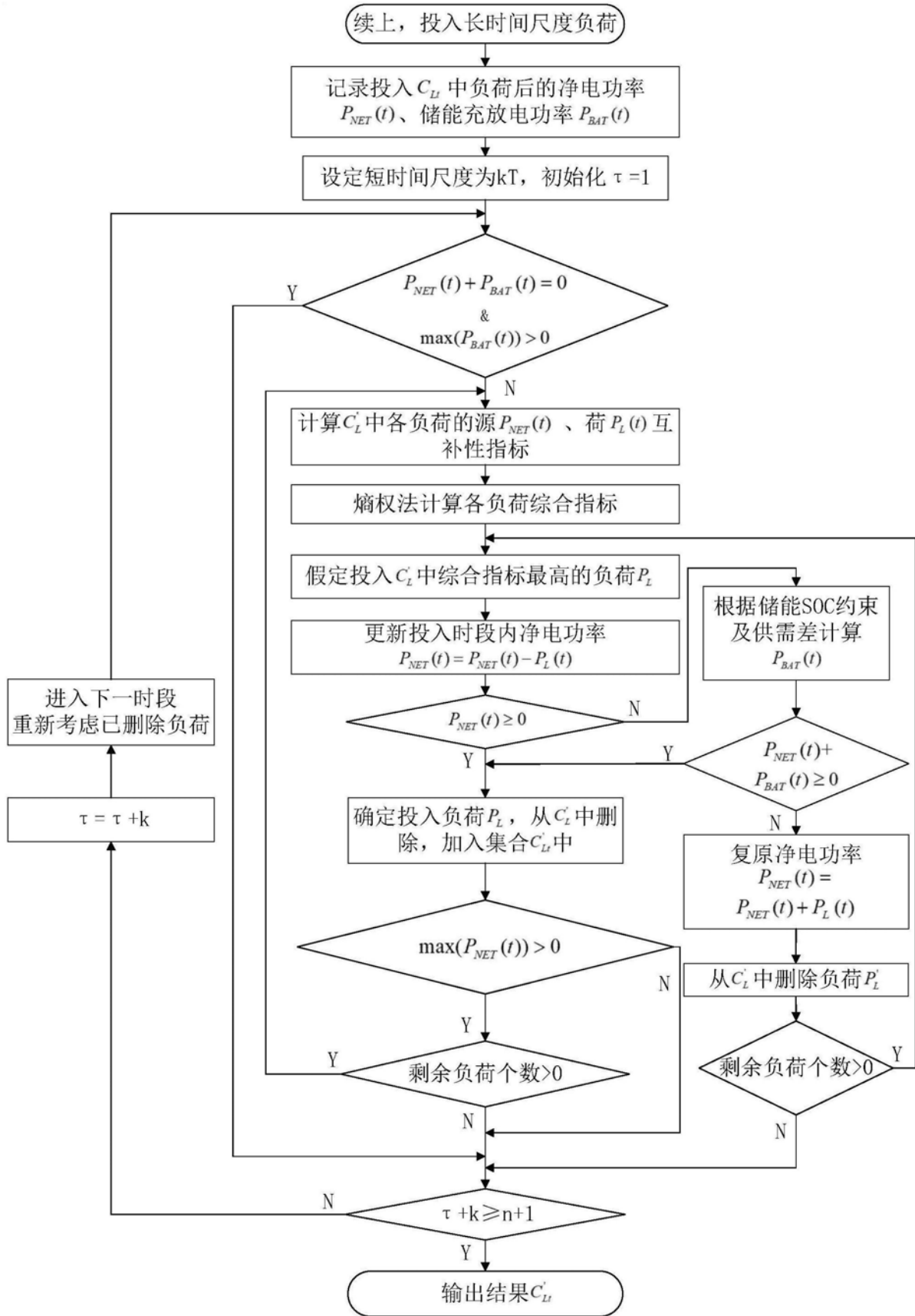


图3