



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114844079 A

(43) 申请公布日 2022. 08. 02

(21) 申请号 202210532170.9

H02J 3/38 (2006.01)

(22) 申请日 2022.05.16

H02J 3/46 (2006.01)

(71) 申请人 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司

H02J 15/00 (2006.01)

H02J 3/14 (2006.01)

F03D 9/19 (2016.01)

地址 510000 广东省广州市黄埔区广州科学城天丰路1号

(72) 发明人 李润钊 孙翔 王路 郑明 朱光涛 朱敏华 汤翔

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司 44202

专利代理师 郭浩辉

(51) Int. Cl.

H02J 3/32 (2006.01)

H02J 3/28 (2006.01)

H02J 3/24 (2006.01)

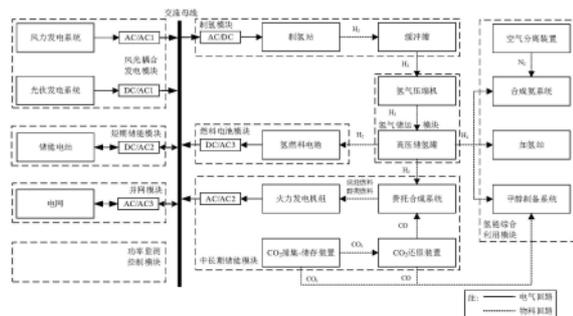
权利要求书3页 说明书11页 附图3页

(54) 发明名称

基于风光氢储多能互补的综合能源系统及控制方法

(57) 摘要

本申请涉及一种基于风光氢储多能互补的综合能源系统,所述系统包括:氢气储运模块、风光耦合发电系统、以及与所述氢气储运模块输出端连接的短期储能系统、中长期储能模块及氢能综合利用模块;所述风光耦合发电系统将制备的氢气输入所述氢气储运模块,所述氢气储运模块将储运的H₂送入短期储能系统进行短期储能、送入中长期储能模块进行中长期储能、送入氢能综合利用模块与所述中长期储能模块输入的CO及CO₂反应进行甲醇制备。相比现有技术,本发明通过储能电站、电解制氢消纳可再生能源电力和利用储能电站、燃料电池灵活供电取得强化电源侧灵活调节能力,满足了实际应用需求。



1. 一种基于风光氢储多能互补的综合能源系统,其特征在于,所述系统包括:氢气储运模块、风光耦合发电系统、以及与所述氢气储运模块输出端连接的短期储能系统、中长期储能模块及氢能综合利用模块;所述风光耦合发电系统将制备的氢气输入所述氢气储运模块,所述氢气储运模块将储运的 H_2 送入短期储能系统进行短期储能、送入中长期储能模块进行中长期储能、送入氢能综合利用模块与所述中长期储能模块输入的 CO 及 CO_2 反应进行甲醇制备。

2. 根据权利要求1所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统,其特征在于,所述氢气储运模块包括氢气压缩机及与所述氢气压缩机密封连接的高压储氢罐。

3. 根据权利要求2所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统,其特征在于,所述风光耦合发电系统包括风光耦合发电模块、以及通过交流母线与所述风光耦合发电模块输出端连接的制氢模块;

所述风光耦合发电模块包括风力发电系统及光伏发电系统,所述风力发电系统通过第一AC/AC转换器与所述交流母线电连接,所述光伏发电系统通过第一DC/AC逆变器与所述交流母线电连接;

所述制氢模块包括制氢站及与所述制氢站输出端密封连接的缓冲罐,所述制氢站通过AC/DC整流器与所述交流母线电连接。

4. 根据权利要求2所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统,其特征在于,所述短期储能系统包括短期储能站、以及通过交流母线与所述短期储能站电连接的燃料电池模块;

所述短期储能模块包括储能站,所述储能站通过第二双向DC-AC变换器与所述交流母线电连接;

所述燃料电池模块包括氢燃料电池,所述氢燃料电池通过第三DC/AC逆变器与所述交流母线电连接。

5. 根据权利要求2所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统,其特征在于,所述中长期储能模块包括费托合成系统、与所述费托合成系统输出端连接的火力发电机组、与所述费托合成系统输入端连接的 CO_2 还原装置、以及与所述 CO_2 还原装置输入端连接的 CO_2 捕集-储存装置;

所述 CO_2 捕集-储存装置从烟气或空气中捕集 CO_2 并提供给 CO_2 还原装置, CO_2 还原装置将 CO_2 还原成 CO 并输送到费托合成系统,费托合成系统以 CO 和 H_2 为原料通过费托合成反应制备烷烃燃料、醇类燃料提供给火力发电机组;

所述火力发电机组通过第二AC/AC转换器与交流母线连接,并向所述交流母线供电。

6. 根据权利要求5所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统,其特征在于,所述氢能综合利用模块包括空气分离装置、合成氨系统、加氢站及甲醇制备系统;

所述高压储氢罐为合成氨系统、加氢站和甲醇制备系统提供 H_2 ,空气分离装置为合成氨系统提供 N_2 , CO_2 捕集-储存装置和 CO_2 还原装置分别为甲醇制备系统提供 CO_2 、 CO 。

7. 根据权利要求5所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统,其特征在于,所述综合能源系统还包括通过交流母线与所述中长期储能模块电连接的并网模块、以及对风电功率 P_w 、光伏功率 P_{PV} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 、制氢站功率 P_{EL} 、储能电站荷电状态 SOC_{BES} 、储能电站功率 P_{BES} 、氢燃料电池功率 P_{FC} 和火力发电机组功率 P_{Gen} 进行监控的功率监测控制模

块;其中,所述系统负荷 P_L 包括氢气压缩机、高压储氢罐、 CO_2 捕集-储存装置、费托合成系统、合成氨系统、加氢站和甲醇制备系统及空气分离装置的功率需求;所述并网模块包括电网、以及与所述交流母线电连接的第三AC/AC转换器。

8.一种基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制方法,其特征在于,适用于上述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统,所述方法包括以下步骤:

获取一个自然日内所述综合能源系统的风电功率 P_w 、光伏功率 P_{PV} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 及其对应的功率和 P_s ,所述 $P_s = P_w + P_{PV} - P_L - P_{grid}$;

根据所述功率和 P_s 、制氢站功率 P_{EL} 、储能电站荷电状态 SOC_{BES} 、储能电站功率 P_{BES} 及氢燃料电池功率 P_{FC} 之前的关系确定所述综合能源系统的工作模式;所述综合能源系统的工作模式包括优先采用电解制氢消纳可再生能源电力及优先采用储能电站电力,其中,优先采用电解制氢消纳可再生能源电力时所述功率和 P_s 大于零,优先采用储能电站电力时所述功率和 P_s 小于零。

9.根据权利要求8所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制方法,其特征在于,优先采用电解制氢消纳可再生能源电力时,所述方法包括:

当系统满足 $\begin{cases} P_s > P_{EL_max} \\ \text{SOC}_{BES} \geq \text{SOC}_{BES_max} \end{cases}$ 时,制氢站运行于额定状态, $P_{EL} = P_{EL_max}$,储能电

站荷电状态 SOC_{BES} 处于最大值 SOC_{BES_max} ,储能电站进入停机状态 $P_{BES} = 0$,为维持系统功率平衡采取弃风、弃光的第一运行模式;

当系统满足 $\begin{cases} P_s > P_{EL_max} \\ \text{SOC}_{BES} < \text{SOC}_{BES_max} \end{cases}$ 时,制氢站运行于额定状态,制氢站功率 P_{EL} 采用

最大功率, $P_{EL} = P_{EL_max}$,储能电站消纳系统剩余功率,此时系统剩余功率为储能电站功率 P_{BES} , $P_{BES} = P_s - P_{EL_max}$,当储能电站荷电状态 SOC_{BES} 上升到最大值 SOC_{BES_max} 时电池完全充满,系统由当前的第二运行模式切换到第一运行模式;

当系统满足 $P_{EL_min} \leq P_s \leq P_{EL_max}$ 时,制氢站消纳系统剩余功率,此时系统剩余功率为制氢站功率 P_{EL} , $P_{EL} = P_s$,进行第三运行模式的运行;

当系统满足 $\begin{cases} P_s < P_{EL_min} \\ \text{SOC}_{BES} \geq \text{SOC}_{BES_max} \end{cases}$ 时,制氢站功率 P_{EL} 采用最小功率, $P_{EL} = P_{EL_min}$,储

能电站放电补偿系统功率缺额,此时系统功率缺额为储能电站功率 P_{BES} , $P_{BES} = P_{EL_min} - P_s$,期间储能电站荷电状态 SOC_{BES} 不断下降,当 SOC_{BES} 降到最小值 SOC_{BES_min} 时,系统由当前的第四运行模式切换为第五运行模式;

当系统满足 $\begin{cases} P_s < P_{EL_min} \\ \text{SOC}_{BES} < \text{SOC}_{BES_max} \end{cases}$ 时,制氢站处于停机状态,储能电站充电吸收系

统剩余功率,此时系统剩余功率为储能电站功率 P_{BES} , $P_{BES} = P_s$,期间储能电站荷电状态 SOC_{BES} 不断上升,当 SOC_{BES} 上升到最大值 SOC_{BES_max} 时,系统由当前的第五运行模式切换为第四运行模式。

10.根据权利要求8所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制方法,其特征在于,优先采用储能电站电力时,所述方法包括:

当系统满足 $\begin{cases} |P_s| > P_{BES_max} \\ |P_s| - P_{BES_max} < P_{FC_min} \end{cases}$ 时,氢燃料电池停机,储能电站以额定功率放电, $P_{BES} = P_{BES_max}$,为维持系统功率平衡,采用电网调频机组增加出力的第六运行模式;

当系统满足 $\begin{cases} |P_s| > P_{BES_max} \\ |P_s| - P_{BES_max} \geq P_{FC_min} \end{cases}$ 时,储能电站额定功率放电, $P_{BES} = P_{BES_max}$,氢燃料电池补偿系统功率缺额,此时系统功率缺额为储能电站功率 P_{BES} , $P_{FC} = |P_s| - P_{BES_max}$,进行第七运行模式的运行;

当系统满足 $P_{BES_min} \leq |P_s| \leq P_{BES_max}$ 时,储能电站放电补偿系统功率缺额,此时系统功率缺额为储能电站功率 P_{BES} , $P_{BES} = |P_s|$,氢燃料电池停机,进行第八运行模式的运行;

当系统满足 $P_{FC_min} \leq |P_s| < P_{BES_min}$ 时,氢燃料电池补偿系统功率缺额,此时系统功率缺额为氢燃料电池功率 P_{FC} , $P_{FC_min} = |P_s|$,进行第九运行模式的运行;

当系统满足 $\begin{cases} |P_s| < P_{BES_min} \\ |P_s| < P_{FC_min} \end{cases}$ 时,氢燃料电池最小出力运行 $P_{FC} = P_{FC_min}$,储能电站充电吸收系统剩余功率,此时系统功率剩余功率为储能电站功率 P_{BES} , $P_{BES} = P_{FC_min} - |P_s|$,进行第十运行模式的运行。

基于风光氢储多能互补的综合能源系统及控制方法

技术领域

[0001] 本申请涉及分布式能源储能技术领域,特别是涉及一种基于风光氢储多能互补的综合能源系统及控制方法。

背景技术

[0002] 随着经济及科学技术的发展,特别是可再生能源的积极推广应用,用户的能量需求也开始朝着多元化的方向发展。同时,伴随不同能源技术的发展和成熟,可供选择的技术也日益增多。分布式能源系统作为一种开放性的能源系统,开始呈现出多功能的趋势,既包含多种能源输入,又可同时满足用户的多种能量需求。

[0003] 分布式能源系统是相对传统的集中式供能的能源系统而言的,传统的集中式供能系统采用大容量设备、集中生产,然后通过专门的输送设施(大电网、大热网等)将各种能量输送给较大范围内的众多用户;而分布式能源系统则是直接面向用户,按用户的需求就地生产并供应能量,具有多种功能,可满足多重目标的中、小型能量转换利用系统。其中,风光水储及风光火储作为现有分布式能源系统中常见的储能方式,在实际储能中起着至关重要的作用。

[0004] 然而,风光火储仅有储能电站一种灵活负荷,且储能电站容量有限,难以大规模消纳可再生电能,而风光水储前期开发投入巨大,且对地理条件有严格要求。因此,亟需提供一种能够对清洁电力进行大规模就地消纳、强化电源侧灵活调节能力的综合能源系统。

发明内容

[0005] 基于此,有必要针对上述技术问题,提供一种能够对清洁电力进行大规模就地消纳、强化电源侧灵活调节能力的基于风光氢储多能互补的综合能源系统及控制方法。

[0006] 本发明实施例提供了一种基于风光氢储多能互补的综合能源系统,所述系统包括:氢气储运模块、风光耦合发电系统、以及与所述氢气储运模块输出端连接的短期储能系统、中长期储能模块及氢能综合利用模块;所述风光耦合发电系统将制备的氢气输入所述氢气储运模块,所述氢气储运模块将储运的 H_2 送入短期储能系统进行短期储能、送入中长期储能模块进行中长期储能、送入氢能综合利用模块与所述中长期储能模块输入的 CO 及 CO_2 反应进行甲醇制备。

[0007] 进一步地,所述氢气储运模块包括氢气压缩机及与所述氢气压缩机密封连接的高压储氢罐。

[0008] 进一步地,所述风光耦合发电系统包括风光耦合发电模块、以及通过交流母线与所述风光耦合发电模块输出端连接的制氢模块;

[0009] 所述风光耦合发电模块包括风力发电系统及光伏发电系统,所述风力发电系统通过第一AC/AC转换器与所述交流母线电连接,所述光伏发电系统通过第一DC/AC逆变器与所述交流母线电连接;

[0010] 所述制氢模块包括制氢站及与所述制氢站输出端密封连接的缓冲罐,所述制氢站

通过AC/DC整流器与所述交流母线电连接。

[0011] 进一步地,所述短期储能系统包括短期储能站、以及通过交流母线与所述短期储能站电连接的燃料电池模块;

[0012] 所述短期储能模块包括储能站,所述储能站通过第二双向DC-AC变换器与所述交流母线电连接;

[0013] 所述燃料电池模块包括氢燃料电池,所述氢燃料电池通过第三DC/AC逆变器与所述交流母线电连接。

[0014] 进一步地,所述中长期储能模块包括费托合成系统、与所述费托合成系统输出端连接的火力发电机组、与所述费托合成系统输入端连接的CO₂还原装置、以及与所述CO₂还原装置输入端连接的CO₂捕集-储存装置;

[0015] 所述CO₂捕集-储存装置从烟气或空气中捕集CO₂并提供给CO₂还原装置,CO₂还原装置将CO₂还原成CO并输送到费托合成系统,费托合成系统以CO和H₂为原料通过费托合成反应制备烷烃燃料、醇类燃料提供给火力发电机组;

[0016] 所述火力发电机组通过第二AC/AC转换器与交流母线连接,并向所述交流母线供电。

[0017] 进一步地,所述氢能综合利用模块包括空气分离装置、合成氨系统、加氢站及甲醇制备系统;

[0018] 所述高压储氢罐为合成氨系统、加氢站和甲醇制备系统提供H₂,空气分离装置为合成氨系统提供N₂,CO₂捕集-储存装置和CO₂还原装置分别为甲醇制备系统提供CO₂、CO。

[0019] 进一步地,所述综合能源系统还包括通过交流母线与所述中长期储能模块电连接的并网模块、以及对风电功率P_w、光伏功率P_{PV}、系统负荷P_L、电网负荷P_{grid}、制氢站功率P_{EL}、储能电站荷电状态SOC_{BES}、储能电站功率P_{BES}、氢燃料电池功率P_{FC}和火力发电机组功率P_{Gen}进行监控的功率监测控制模块;其中,所述系统负荷P_L包括氢气压缩机、高压储氢罐、CO₂捕集-储存装置、费托合成系统、合成氨系统、加氢站和甲醇制备系统及空气分离装置的功率需求;所述并网模块包括电网、以及与所述交流母线电连接的第三AC/AC转换器。

[0020] 本发明的另一实施例提出一种基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制方法,其特征在于,适用于上述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统,所述方法包括以下步骤:

[0021] 获取一个自然日内所述综合能源系统的风电功率P_w、光伏功率P_{PV}、系统负荷P_L、电网负荷P_{grid}及其对应的功率和P_s=P_w+P_{PV}-P_L-P_{grid};

[0022] 根据所述功率和P_s、制氢站功率P_{EL}、储能电站荷电状态SOC_{BES}、储能电站功率P_{BES}及氢燃料电池功率P_{FC}之前的关系确定所述综合能源系统的工作模式;所述综合能源系统的工作模式包括优先采用电解制氢消纳可再生能源电力及优先采用储能电站电力,其中,优先采用电解制氢消纳可再生能源电力时所述功率和P_s大于零,优先采用储能电站电力时所述功率和P_s小于零。

[0023] 进一步地,优先采用电解制氢消纳可再生能源电力时,所述方法包括:

[0024] 当系统满足
$$\begin{cases} P_s > P_{EL_max} \\ SOC_{BES} \geq SOC_{BES_max} \end{cases}$$
时,制氢站运行于额定状态,P_{EL}=P_{EL_max},储

能电站荷电状态SOC_{BES}处于最大值SOC_{BES_max},储能电站进入停机状态P_{BES}=0,为维持系统功

率平衡采取弃风、弃光的第一运行模式；

[0025] 当系统满足 $\begin{cases} P_s > P_{EL_max} \\ SOC_{BES} < SOC_{BES_max} \end{cases}$ 时，制氢站运行于额定状态，制氢站功率 P_{EL}

采用最大功率， $P_{EL} = P_{EL_max}$ ，储能电站消纳系统剩余功率，此时系统剩余功率为储能电站功率 P_{BES} ， $P_{BES} = P_s - P_{EL_max}$ ，当储能电站荷电状态 SOC_{BES} 上升到最大值 SOC_{BES_max} 时电池完全充满，系统由当前的第二运行模式切换到第一运行模式；

[0026] 当系统满足 $P_{EL_min} \leq P_s \leq P_{EL_max}$ 时，制氢站消纳系统剩余功率，此时系统剩余功率为制氢站功率 P_{EL} ， $P_{EL} = P_s$ ，进行第三运行模式的运行；

[0027] 当系统满足 $\begin{cases} P_s < P_{EL_min} \\ SOC_{BES} \geq SOC_{BES_max} \end{cases}$ 时，制氢站功率 P_{EL} 采用最小功率， $P_{EL} =$

P_{EL_min} ，储能电站放电补偿系统功率缺额，此时系统功率缺额为储能电站功率 P_{BES} ， $P_{BES} = P_{EL_min} - P_s$ ，期间储能电站荷电状态 SOC_{BES} 不断下降，当 SOC_{BES} 降到最小值 SOC_{BES_min} 时，系统由当前的第四运行模式切换为第五运行模式；

[0028] 当系统满足 $\begin{cases} P_s < P_{EL_min} \\ SOC_{BES} < SOC_{BES_max} \end{cases}$ 时，制氢站处于停机状态，储能电站充电吸

收系统剩余功率，此时系统剩余功率为储能电站功率 P_{BES} ， $P_{BES} = P_s$ ，期间储能电站荷电状态 SOC_{BES} 不断上升，当 SOC_{BES} 上升到最大值 SOC_{BES_max} 时，系统由当前的第五运行模式切换为第四运行模式。

[0029] 进一步地，，优先采用储能电站电力时，所述方法包括：

[0030] 当系统满足 $\begin{cases} |P_s| > P_{BES_max} \\ |P_s| - P_{BES_max} < P_{FC_min} \end{cases}$ 时，氢燃料电池停机，储能电站以额定

功率放电， $P_{BES} = P_{BES_max}$ ，为维持系统功率平衡，采用电网调频机组增加出力的第六运行模式；

[0031] 当系统满足 $\begin{cases} |P_s| > P_{BES_max} \\ |P_s| - P_{BES_max} \geq P_{FC_min} \end{cases}$ 时，储能电站额定功率放电， $P_{BES} =$

P_{BES_max} ，氢燃料电池补偿系统功率缺额，此时系统功率缺额为储能电站功率 P_{BES} ， $P_{FC} = |P_s| - P_{BES_max}$ ，进行第七运行模式的运行；

[0032] 当系统满足 $P_{BES_min} \leq |P_s| \leq P_{BES_max}$ 时，储能电站放电补偿系统功率缺额，此时系统功率缺额为储能电站功率 P_{BES} ， $P_{BES} = |P_s|$ ，氢燃料电池停机，进行第八运行模式的运行；

[0033] 当系统满足 $P_{FC_min} \leq |P_s| < P_{BES_min}$ 时，氢燃料电池补偿系统功率缺额，此时系统功率缺额为氢燃料电池功率 P_{FC} ， $P_{FC_min} = |P_s|$ ，进行第九运行模式的运行；

[0034] 当系统满足 $\begin{cases} |P_s| < P_{BES_min} \\ |P_s| < P_{FC_min} \end{cases}$ 时，氢燃料电池最小出力运行 $P_{FC} = P_{FC_min}$ ，储能电站

充电吸收系统剩余功率，此时系统功率剩余功率为储能电站功率 P_{BES} ， $P_{BES} = P_{FC_min} - |P_s|$ ，进行第十运行模式的运行。

[0035] 本发明的另一个实施例还提出一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介

质包括存储的计算机程序；其中，所述计算机程序在运行时控制所述计算机可读存储介质所在的设备执行如上所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制方法。

[0036] 本发明的另一个实施例还提出一种终端设备，包括处理器、存储器以及存储在所述存储器中且被配置为由所述处理器执行的计算机程序，所述处理器在执行所述计算机程序时实现如上所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制方法。

[0037] 上述基于风光氢储多能互补的综合能源系统，所述系统包括：氢气储运模块、风光耦合发电系统、以及与所述氢气储运模块输出端连接的短期储能系统、中长期储能模块及氢能综合利用模块；所述风光耦合发电系统将制备的氢气输入所述氢气储运模块，所述氢气储运模块将储运的H₂送入短期储能系统进行短期储能、送入中长期储能模块进行中长期储能、送入氢能综合利用模块与所述中长期储能模块输入的CO及CO₂反应进行甲醇制备。相比现有技术，本发明通过储能电站、电解制氢消纳可再生能源电力和利用储能电站、燃料电池灵活供电取得强化电源侧灵活调节能力，满足了实际应用需求。

附图说明

[0038] 图1为本发明实施例提供的基于风光氢储多能互补的综合能源系统的结构框图；

[0039] 图2为功率控制模块的信号来源图；

[0040] 图3为本发明实施例提供的基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制方法的流程示意图

[0041] 图4为系统发、用电功率平衡措施优先级示意图；

[0042] 图5为本发明另一实施例提供的基于风光氢储多能互补的综合能源系统策略示意图。

具体实施方式

[0043] 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，本技术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。

[0044] 需要说明的是，文中的步骤编号，仅为了方便具体实施例的解释，不作为限定步骤执行先后顺序的作用。本实施例提供的方法可以由相关的服务器执行，且下文均以服务器作为执行主体为例进行说明。

[0045] 如图1至图2所示，本发明实施例提供的基于风光氢储多能互补的综合能源系统，所述系统包括：

[0046] 氢气储运模块、风光耦合发电系统、以及与所述氢气储运模块输出端连接的短期储能系统、中长期储能模块及氢能综合利用模块。所述风光耦合发电系统将制备的氢气输入所述氢气储运模块，所述氢气储运模块将储运的H₂送入短期储能系统进行短期储能、送入中长期储能模块进行中长期储能、送入氢能综合利用模块与所述中长期储能模块输入的CO及CO₂反应进行甲醇制备。

[0047] 进一步地，所述风光耦合发电系统包括风光耦合发电模块、以及通过交流母线与

所述风光耦合发电模块输出端连接的制氢模块。所述氢气储运模块包括氢气压缩机及与所述氢气压缩机密封连接的高压储氢罐。

[0048] 具体的,所述风光耦合发电模块包括风力发电系统及光伏发电系统,所述风力发电系统通过第一AC/AC转换器AC/AC1与所述交流母线电连接,所述光伏发电系统通过DC/AC逆变器与所述交流母线电连接。所述制氢模块包括制氢站及与所述制氢站输出端密封连接的缓冲罐,所述制氢站通过AC/DC整流器与所述交流母线电连接。可以理解的,所述风力发电系统将风能转化为电能,并通过所述第一AC/AC转换器AC/AC1向所述交流母线供电;所述光伏发电系统将光能转化为电能并通过所述第一DC/AC逆变器DC/AC1向所述交流母线供电;所述制氢站通过所述AC/DC整流器从所述交流母线取电,且制备的氢气通过缓冲罐进入氢气压缩机,氢气压缩机向所述高压储氢罐充气,以便于所述高压储氢罐及时向燃料电池模块、氢能综合利用模块、中长期储能模块供应氢气。

[0049] 进一步地,所述短期储能系统包括短期储能站、以及通过交流母线与所述短期储能站电连接的燃料电池模块。

[0050] 具体的,所述短期储能模块包括储能站,所述储能站通过第二双向DC-AC变换器DC/AC2与所述交流母线电连接。所述燃料电池模块包括氢燃料电池,所述氢燃料电池通过第三DC/AC逆变器DC/AC3与所述交流母线电连接。可以理解的,所述储能电站通过第二双向DC-AC变换器DC/AC2向所述交流母线供电,也可通过所述交流母线进行储能,所述氢燃料电池将氢燃料化学能转化为电能并通过所述第三DC/AC逆变器向交流母线供电。

[0051] 进一步地,所述中长期储能模块包括费托合成系统、与所述费托合成系统输出端连接的火力发电机组、与所述费托合成系统输入端连接的CO₂还原装置、以及与所述CO₂还原装置输入端连接的CO₂捕集-储存装置。

[0052] 具体的,所述CO₂捕集-储存装置从烟气或空气中捕集CO₂并提供给CO₂还原装置,CO₂还原装置将CO₂还原成CO并输送到费托合成系统,费托合成系统以CO和H₂为原料通过费托合成反应制备烷烃燃料、醇类燃料提供给火力发电机组。所述火力发电机组通过第二AC/AC转换器AC/AC2与交流母线连接,并向所述交流母线供电。

[0053] 进一步地,所述氢能综合利用模块包括空气分离装置、合成氨系统、加氢站及甲醇制备系统。所述高压储氢罐为合成氨系统、加氢站和甲醇制备系统提供H₂,空气分离装置为合成氨系统提供N₂,CO₂捕集-储存装置和CO₂还原装置分别为甲醇制备系统提供CO₂、CO。

[0054] 进一步地,所述综合能源系统还包括通过交流母线与所述中长期储能模块电连接的并网模块、以及对风电功率 P_w 、光伏功率 P_{PV} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 、制氢站功率 P_{EL} 、储能电站荷电状态SOC_{BES}、储能电站功率 P_{BES} 、氢燃料电池功率 P_{FC} 和火力发电机组功率 P_{Gen} 进行监控的功率监测控制模块,以使系统功率输出跟随负荷需求。其中,所述系统负荷 P_L 包括氢气压缩机、高压储氢罐、CO₂捕集-储存装置、费托合成系统、合成氨系统、加氢站和甲醇制备系统及空气分离装置的功率需求。所述并网模块包括电网、以及与所述交流母线电连接的第三AC/AC转换器AC/AC3,所述电网能够将自身的电能通过第三AC/AC转换器AC/AC3向所述交流母线供电,亦能通过第三AC/AC转换器AC/AC3获取所述交流母线的电能。

[0055] 具体实施时,中长期储能模块中费托合成系统以合成气(CO和H₂)为原料通过费托合成反应制备烷烃燃料、醇类燃料,将可再生能源电能转化为化学能长期储存,火力发电机组仅用于系统黑启动,平时不参与系统出力调节。当风光氢储多能互补综合能源系统因故

障停运脱网且氢气储备不足情况下,各模块全部停电,火力发电机组启动为储能电站充电和恢复功率监测控制模块供电,然后扩大到并网模块。利用风光发电和从电网购电,恢复制氢模块和燃料电池模块供电,从而实现整个系统的恢复。

[0056] 上述基于风光氢储多能互补的综合能源系统,包括:氢气储运模块、风光耦合发电系统、以及与所述氢气储运模块输出端连接的短期储能系统、中长期储能模块及氢能综合利用模块;所述风光耦合发电系统将制备的氢气输入所述氢气储运模块,所述氢气储运模块将储运的 H_2 送入短期储能系统进行短期储能、送入中长期储能模块进行中长期储能、送入氢能综合利用模块与所述中长期储能模块输入的 CO 及 CO_2 反应进行甲醇制备。相比现有技术,本发明通过储能电站、电解制氢消纳可再生能源电力和利用储能电站、燃料电池灵活供电取得强化电源侧灵活调节能力,满足了实际应用需求。

[0057] 请参阅图3,本发明提供还提供了一种基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制方法,适用于上述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统,所述方法包括步骤S11至步骤S12:

[0058] 步骤S11,获取一个自然日内所述综合能源系统的风电功率 P_w 、光伏功率 P_{PV} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 及其对应的功率和 $P_s = P_w + P_{PV} - P_L - P_{grid}$ 。

[0059] 步骤S12,根据所述功率和 P_s 、制氢站功率 P_{EL} 、储能电站荷电状态 SOC_{BES} 、储能电站功率 P_{BES} 及氢燃料电池功率 P_{FC} 之前的关系确定所述综合能源系统的工作模式;所述综合能源系统的工作模式包括优先采用电解制氢消纳可再生能源电力及优先采用储能电站电力。中,优先采用电解制氢消纳可再生能源电力时所述功率和 P_s 大于零,优先采用储能电站电力时所述功率和 P_s 小于零。即如图4所示,当风光出力供过于求($P_s > 0$)时,优先采用电解制氢消纳可再生能源电力,其次对储能电站充电,再次弃风弃光;当风光出力供不应求($P_s < 0$)时,优先采用储能电站供电,其次采用氢燃料电池供电,再次要求电网调频机组增加出力。

[0060] 具体的,优先采用电解制氢消纳可再生能源电力时,所述方法包括:

[0061] 模式1(制氢站额定运行,弃风弃光):当系统满足 $\begin{cases} P_s > P_{EL_max} \\ SOC_{BES} \geq SOC_{BES_max} \end{cases}$ 时,制

氢站运行于额定状态, $P_{EL} = P_{EL_max}$,储能电站荷电状态 SOC_{BES} 处于最大值 SOC_{BES_max} ,进入停机状态 $P_{BES} = 0$,为维持系统功率平衡采取弃风、弃光的第一运行模式;

[0062] 模式2(制氢站额定运行,储能电站充电):当系统满足 $\begin{cases} P_s > P_{EL_max} \\ SOC_{BES} < SOC_{BES_max} \end{cases}$

时,制氢站运行于额定状态, $P_{EL} = P_{EL_max}$,储能电站消纳系统剩余功率 $P_{BES} = P_s - P_{EL_max}$,当储能电站荷电状态 SOC_{BES} 上升到最大值 SOC_{BES_max} 时电池完全充满,系统由当前的第二运行模式切换到第一运行模式;

[0063] 模式3(制氢站常规运行):当系统满足 $P_{EL_min} \leq P_s \leq P_{EL_max}$ 时,制氢站消纳系统剩余功率 $P_{EL} = P_s$,进行第三运行模式的运行;

[0064] 模式4(制氢站最小出力运行,储能电站放电):当系统满足

$\begin{cases} P_s < P_{EL_min} \\ SOC_{BES} \geq SOC_{BES_max} \end{cases}$ 时,制氢站最小出力运行 $P_{EL} = P_{EL_min}$,储能电站放电补偿系统功

率缺额 $P_{BES} = P_{EL_min} - P_s$,期间储能电站荷电状态 SOC_{BES} 不断下降,当 SOC_{BES} 降到最小值 SOC_{BES_min} 时,系统由当前的第四运行模式切换为第五运行模式;

[0065] 模式5(制氢站停运,储能电站充电):当系统满足 $\begin{cases} P_s < P_{EL_min} \\ SOC_{BES} < SOC_{BES_max} \end{cases}$ 时,制

氢站处于停机状态,储能电站充电吸收系统剩余功率 $P_{BES} = P_s$,期间储能电站荷电状态 SOC_{BES} 不断上升,当 SOC_{BES} 上升到最大值 SOC_{BES_max} 时,系统由当前的第五运行模式切换为第四运行模式。

[0066] 优先采用储能电站电力时,所述方法包括:

[0067] 模式6(储能电站额定功率放电,电网调频机组增加出力):当系统满足

$\begin{cases} |P_s| > P_{BES_max} \\ |P_s| - P_{BES_max} < P_{FC_min} \end{cases}$ 时,氢燃料电池停机,储能电站以额定功率放电 $P_{BES} =$

P_{BES_max} ,为维持系统功率平衡,采用电网调频机组增加出力的第六运行模式;

[0068] 模式7(储能电站额定功率放电,氢燃料电池常规运行):当系统满足

$\begin{cases} |P_s| > P_{BES_max} \\ |P_s| - P_{BES_max} \geq P_{FC_min} \end{cases}$ 时,储能电站额定功率放电 $P_{BES} = P_{BES_max}$,氢燃料电池补偿系

统功率缺额 $P_{FC} = |P_s| - P_{BES_max}$,进行第七运行模式的运行;

[0069] 模式8(储能电站放电):当系统满足 $P_{BES_min} \leq |P_s| \leq P_{BES_max}$ 时,储能电站放电补偿系统功率缺额 $P_{BES} = |P_s|$,氢燃料电池停机,进行第八运行模式的运行;

[0070] 模式9(氢燃料电池常规运行):当系统满足 $P_{FC_min} \leq |P_s| < P_{BES_min}$ 时,氢燃料电池补偿系统功率缺额 $P_{FC_min} = |P_s|$,进行第九运行模式的运行;

[0071] 模式10(氢燃料电池最小出力运行,储能电站充电):当系统满足

$\begin{cases} |P_s| < P_{BES_min} \\ |P_s| < P_{FC_min} \end{cases}$ 时,氢燃料电池最小出力运行 $P_{FC} = P_{FC_min}$,储能电站充电吸收系统剩余

功率 $P_{BES} = P_{FC_min} - |P_s|$,进行第十运行模式的运行。

[0072] 各符号含义如下: P_w 表示风电功率, P_{pv} 表示光伏功率, P_L 表示系统负荷, P_{grid} 表示电网负荷, P_s 表示风电功率 P_w 、光伏功率 P_{pv} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 的代数和, $|P_s|$ 表示风电功率 P_w 、光伏功率 P_{pv} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 的代数和的绝对值, P_{EL} 表示制氢站功率, SOC_{BES} 表示储能电站荷电状态, P_{BES} 表示储能电站功率, P_{FC} 表示氢燃料电池功率;下标中,EL、BES、FC分别表示制氢站、储能电站、氢燃料电池,max和min分别表示最大值和最小值。

[0073] 举例来讲,请参阅图5及表1,如基于风光氢储多能互补的综合能源系统中风力发电系统装机容量120MW,光伏发电系统装机容量80MW,制氢站装机容量60MW,最小运行功率6MW,储能电站装机容量20MW,最小运行功率0.2MW,氢燃料电池装机容量10MW,最小运行功率1MW。系统在一个自然日内风电功率 P_w 、光伏功率 P_{pv} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 及其代数和 P_s 、制氢站功率 P_{EL} 、储能电站功率 P_{BES} (充电为正,放电为负)、储能电站荷电状态 SOC_{BES} 、氢燃料电池功率 P_{FC} 及相应的运行模式如下表所示。在1点~8点,风电功率 P_w 、光伏功率 P_{pv} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 的代数和 P_s 大于零,表明此时当风光出力供过于求,优先采用电解制氢消纳可再生能源电力。 P_s 大于制氢站最小运行功率且小于额定功率,即 $P_{EL_min} <$

$P_s < P_{EL_max}$, 根据图5可知系统应以第三运行模式3运行, 制氢站消纳系统剩余功率 $P_{EL} = P_s$ 。
 在9点, 风电功率 P_w 、光伏功率 P_{PV} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 的代数和 P_s 仍大于零, 但是 P_s 却
 小于制氢站最小运行功率 P_{EL_min} (6MW), 即 $0 < P_s < P_{EL_min}$ 。且此时储能电站荷电状态 $SOC_{BES} <$
 SOC_{BES_max} , 根据图5可知系统应以第五运行模式5运行, 制氢站停运, 储能电站充电消纳所有
 额外功率 $P_{BES} = P_s$ 。在10点, 风电功率 P_w 、光伏功率 P_{PV} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 的代数和 P_s
 大于制氢站最小运行功率且小于额定功率, 即 $P_{EL_min} < P_s < P_{EL_max}$, 根据图5可知系统应以第
 三运行模式3运行, 制氢站消纳系统剩余功率 $P_{EL} = P_s$ 。在11点~14点, 风电功率 P_w 、光伏功率
 P_{PV} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 的代数和 P_s 大于制氢站额定功率 P_{EL_max} , 且储能电站荷电状态
 $SOC_{BES} < SOC_{BES_max}$, 根据图5可知系统应以第二运行模式2运行, 制氢站额定运行 $P_{EL} = P_{EL_max}$,
 储能电站充电消纳剩余功率 $P_{BES} = P_s - P_{EL_max}$ 。在15点~16点, 风电功率 P_w 、光伏功率 P_{PV} 、系统
 负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 的代数和 P_s 大于制氢站最小运行功率且小于额定功率, 即 $P_{EL_min} < P_s$
 $< P_{EL_max}$, 根据图5可知系统应以第三运行模式3运行, 制氢站消纳系统剩余功率 $P_{EL} = P_s$ 。在
 17点, 风电功率 P_w 、光伏功率 P_{PV} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 的代数和 P_s 小于零, 表明此时当
 风光出力供不应求, 优先采用储能电站弥补风光出力不足。代数和的绝对值 $|P_s|$ 大于储能
 电站最小运行功率且小于额定功率, 即 $P_{BES_min} < |P_s| < P_{BES_max}$, 根据图5可知系统应以第八
 运行模式8运行, 储能电站放电提供缺额功率 $P_{BES} = |P_s|$ 。在18点, 风电功率 P_w 、光伏功率 P_{PV} 、
 系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 的代数和 P_s 小于零, 代数和的绝对值 $|P_s|$ 大于储能电站额定运行
 功率, 即 $|P_s| > P_{BES_max}$ 。而且 $|P_s|$ 大于储能电站额定功率与氢燃料电池最小运行功率之和,
 即 $|P_s| \geq P_{BES_max} + P_{FC_min}$, 根据图5可知系统应以第七运行模式7运行, 储能电站额定功率放电
 $P_{BES} = P_{BES_max}$, 氢燃料电池补偿系统功率缺额 $P_{FC} = |P_s| - P_{BES_max}$ 。在19点~24点, 风电功率 P_w 、
 光伏功率 P_{PV} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 的代数和 P_s 大于制氢站最小运行功率且小于额定功
 率, 即 $P_{EL_min} < P_s < P_{EL_max}$, 根据图5可知系统应以第三运行模式3运行, 制氢站消纳系统剩余
 功率 $P_{EL} = P_s$ 。

[0074] 表1基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制策略

时刻	风电功率 (MW)	光伏功率 (MW)	系统负荷 (WM)	电网负荷 (MW)	Ps(MW)	制氢站功率 (MW)	储能电站功率 (MW)	荷电状态 (%)	氢燃料电池功率 (MW)	运行模式	
1	71.70	0	10	9	52.70	52.70	0	50	0	3	
2	72.31	0	10	9	53.31	53.31	0	50	0	3	
3	72.25	0	10	9	53.25	53.25	0	50	0	3	
4	73.54	0	10	9	54.54	54.54	0	50	0	3	
5	74.68	0	10	9	55.68	55.68	0	50	0	3	
6	74.60	0	10	9	55.60	55.60	0	50	0	3	
7	72.20	0	10	9	53.20	53.20	0	50	0	3	
8	70.11	0	10	30	30.11	30.11	0	50	0	3	
9	69.15	0	10	55	4.15	0	4.15	55	0	5	
[0075]	10	68.68	41	10	55	44.68	44.68	0	55	0	3
11	68.34	58	10	55	61.34	60	1.34	58	0	2	
12	66.69	68	10	55	69.69	60	9.69	68	0	2	
13	65.49	73	10	55	73.49	60	13.49	78	0	2	
14	65.30	73	10	55	73.30	60	13.30	88	0	2	
15	63.76	65	10	60	58.76	58.76	0	88	0	3	
16	64.35	52	10	80	26.35	26.35	0	88	0	3	
17	66.14	31	10	100	-12.86	0	-12.86	79	0	8	
18	67.04	0	10	85	-27.96	0	-20	64	7.96	7	
19	67.74	0	10	39	18.74	18.74	0	64	0	3	
20	70.06	0	10	30	30.06	30.06	0	64	0	3	
21	70.02	0	10	9	51.02	51.02	0	64	0	3	
22	67.83	0	10	9	48.83	48.83	0	64	0	3	
23	67.67	0	10	9	48.67	48.67	0	64	0	3	
[0076]	24	68.24	0	10	9	49.24	49.24	0	64	0	3

[0077] 综上所述,本申请的中长期储能模块中费托合成系统以合成气(CO和H₂)为原料通过费托合成反应制备烷烃燃料、醇类燃料,将可再生能源电能转化为化学能长期储存,火力发电机组仅用于系统黑启动,平时不参与系统出力调节。当风光氢储多能互补综合能源系统因故障停运脱网且氢气储备不足情况下,各模块全部停电,火力发电机组启动为储能电

站充电和恢复功率监测控制模块供电,然后扩大到并网模块。利用风光发电和从电网购电,恢复制氢模块和燃料电池模块供电,从而实现整个系统的恢复。

[0078] 应该理解的是,虽然上述流程图中的各个步骤按照箭头的指示依次显示,但是这些步骤并不是必然按照箭头指示的顺序依次执行。除非本文中有明确的说明,这些步骤的执行并没有严格的顺序限制,这些步骤可以以其它的顺序执行。而且,上述流程图中的至少一部分步骤可以包括多个子步骤或者多个阶段,这些子步骤或者阶段并不必然是在同一时刻执行完成,而是可以在不同的时刻执行,这些子步骤或者阶段的执行顺序也不必然是依次进行,而是可以与其它步骤或者其它步骤的子步骤或者阶段的至少一部分轮流或者交替地执行。

[0079] 本发明实施例所提供的基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制方法,适用于上述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统,所述方法包括获取一个自然日内所述综合能源系统的风电功率 P_w 、光伏功率 P_{PV} 、系统负荷 P_L 、电网负荷 P_{grid} 及其对应的功率和 $P_s = P_w + P_{PV} - P_L - P_{grid}$;根据所述功率和 P_s 、制氢站功率 P_{EL} 、储能电站荷电状态 SOC_{BES} 、储能电站功率 P_{BES} 及氢燃料电池功率 P_{FC} 之前的关系确定所述综合能源系统的工作模式;所述综合能源系统的工作模式包括优先采用电解制氢消纳可再生能源电力及优先采用储能电站电力,其中,优先采用电解制氢消纳可再生能源电力时所述功率和 P_s 大于零,优先采用储能电站电力时所述功率和 P_s 小于零。相比现有技术,本发明通过储能电站、电解制氢消纳可再生能源电力和利用储能电站、燃料电池灵活供电取得强化电源侧灵活调节能力,满足了实际应用需求。

[0080] 本发明实施例还提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质包括存储的计算机程序;其中,所述计算机程序在运行时控制所述计算机可读存储介质所在的设备执行如上所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制方法。

[0081] 本发明实施例还提供了一种终端设备,所述终端设备包括处理器、存储器以及存储在所述存储器中且被配置为由所述处理器执行的计算机程序,所述处理器在执行所述计算机程序时实现如上所述的基于风光氢储多能互补的综合能源系统控制方法。

[0082] 优选地,所述计算机程序可以被分割成一个或多个模块/单元(如计算机程序1、计算机程序2、……),所述一个或者多个模块/单元被存储在所述存储器中,并由所述处理器执行,以完成本发明。所述一个或多个模块/单元可以是能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段,该指令段用于描述所述计算机程序在所述终端设备中的执行过程。

[0083] 所述处理器可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现成可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等,通用处理器可以是微处理器,或者所述处理器也可以是任何常规的处理器的,所述处理器是所述终端设备的控制中心,利用各种接口和线路连接所述终端设备的各个部分。

[0084] 所述存储器主要包括程序存储区和数据存储区,其中,程序存储区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序等,数据存储区可存储相关数据等。此外,所述存储器可以是高速随机存取存储器,还可以是非易失性存储器,例如插接式硬盘,智能存储卡(Smart

Media Card, SMC)、安全数字 (Secure Digital, SD) 卡和闪存卡 (Flash Card) 等, 或所述存储器也可以是其其他易失性固态存储器件。

[0085] 需要说明的是, 上述终端设备可包括, 但不仅限于, 处理器、存储器, 本领域技术人员可以理解, 还可以包括更多或更少的部件, 或者组合某些部件, 或者不同的部件。

[0086] 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变形, 这些改进和变形也应视为本发明的保护范围。

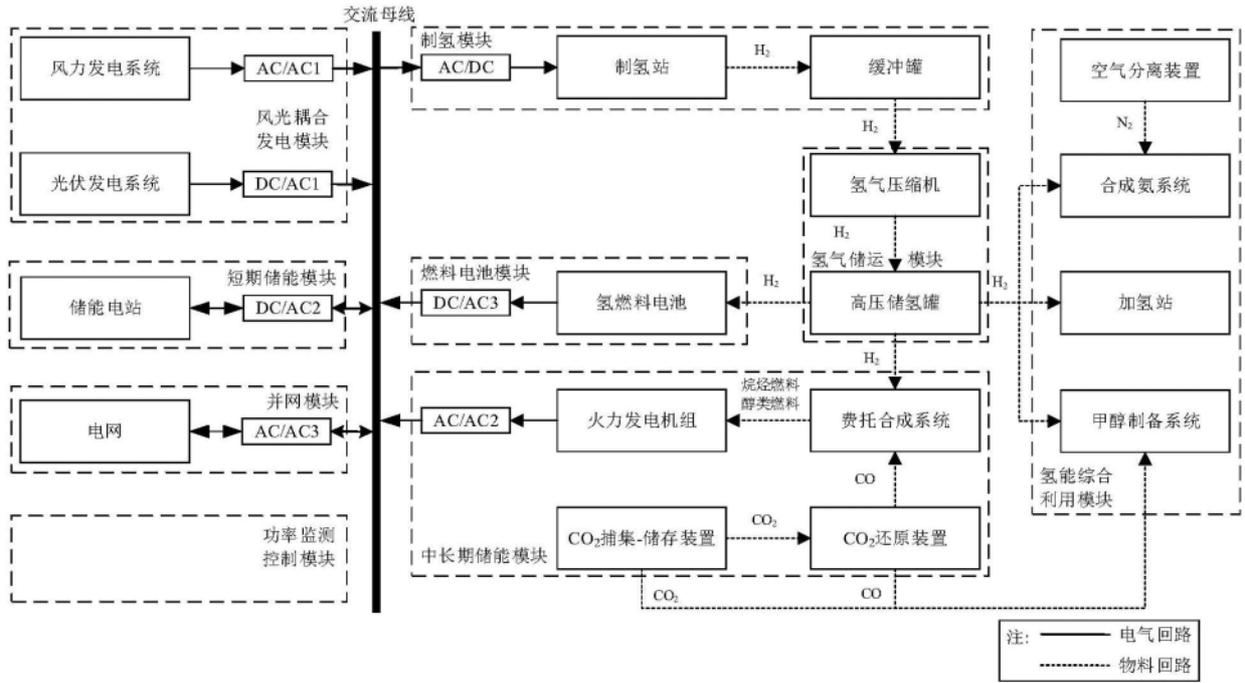


图1

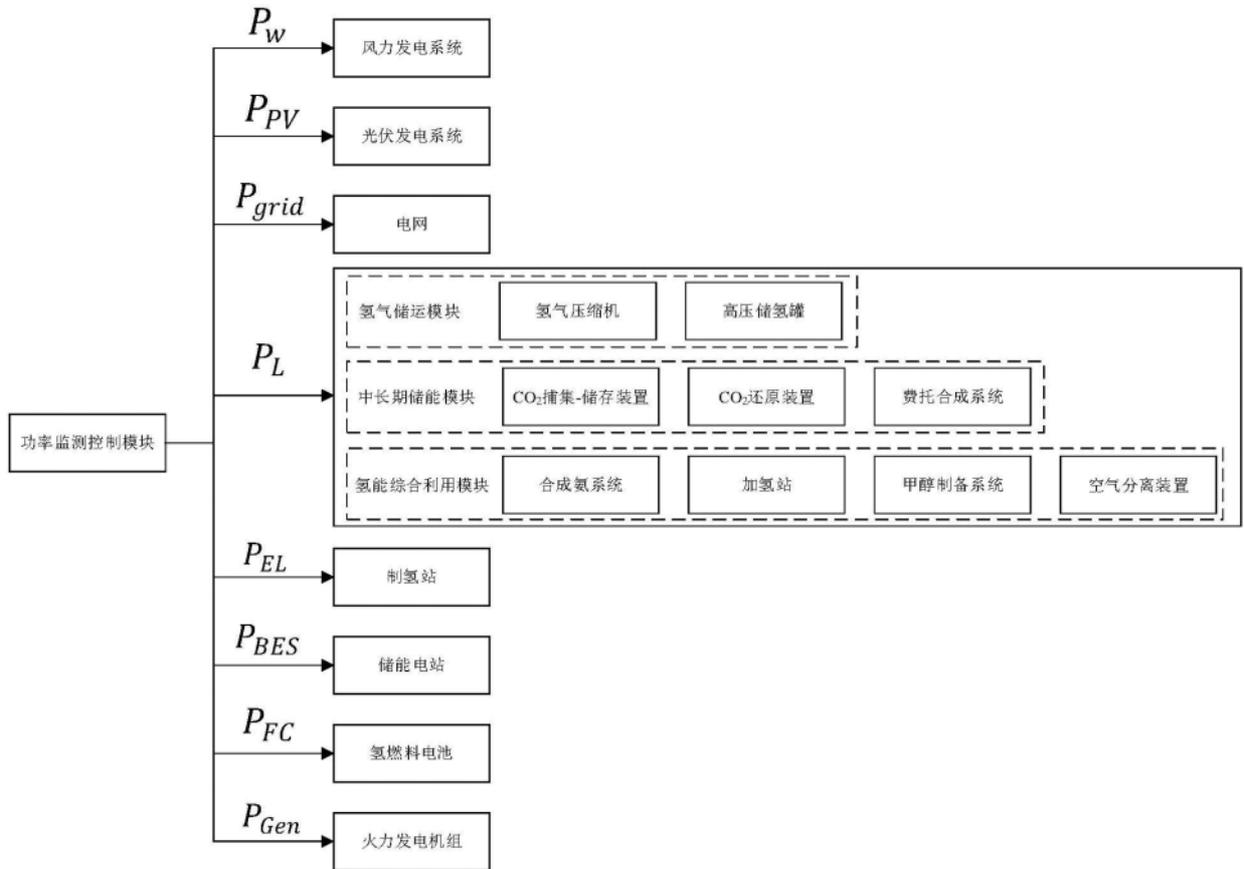


图2

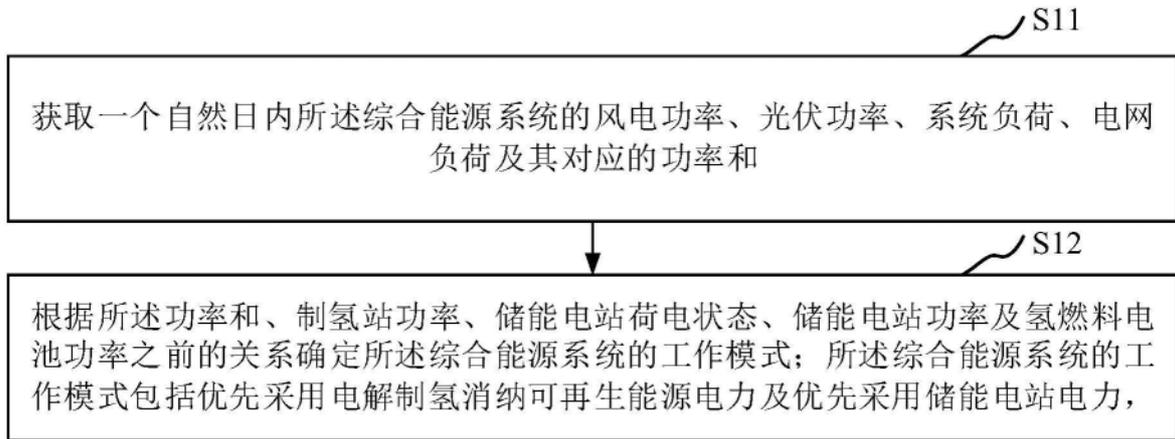


图3

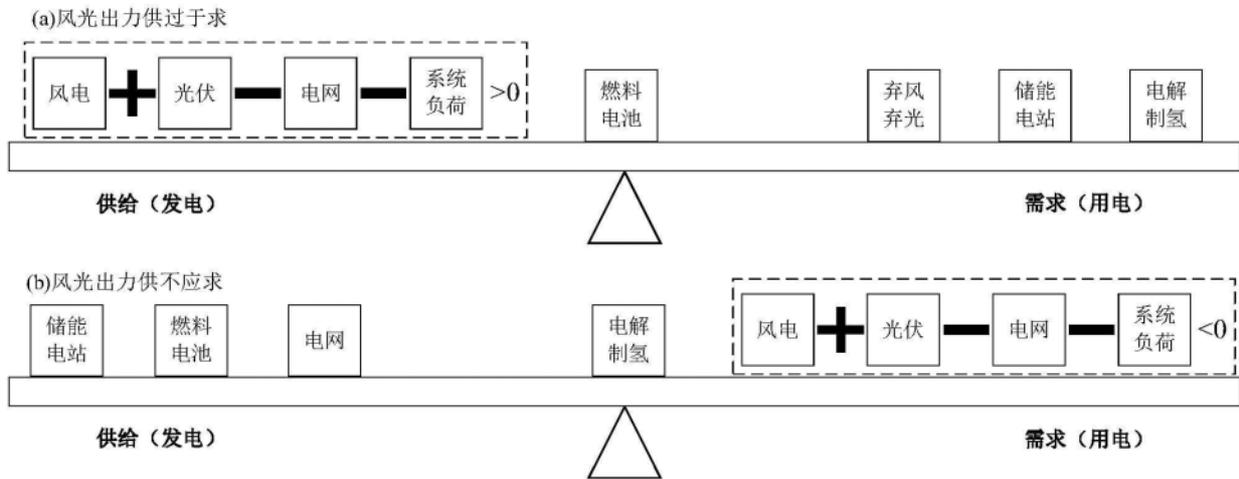


图4

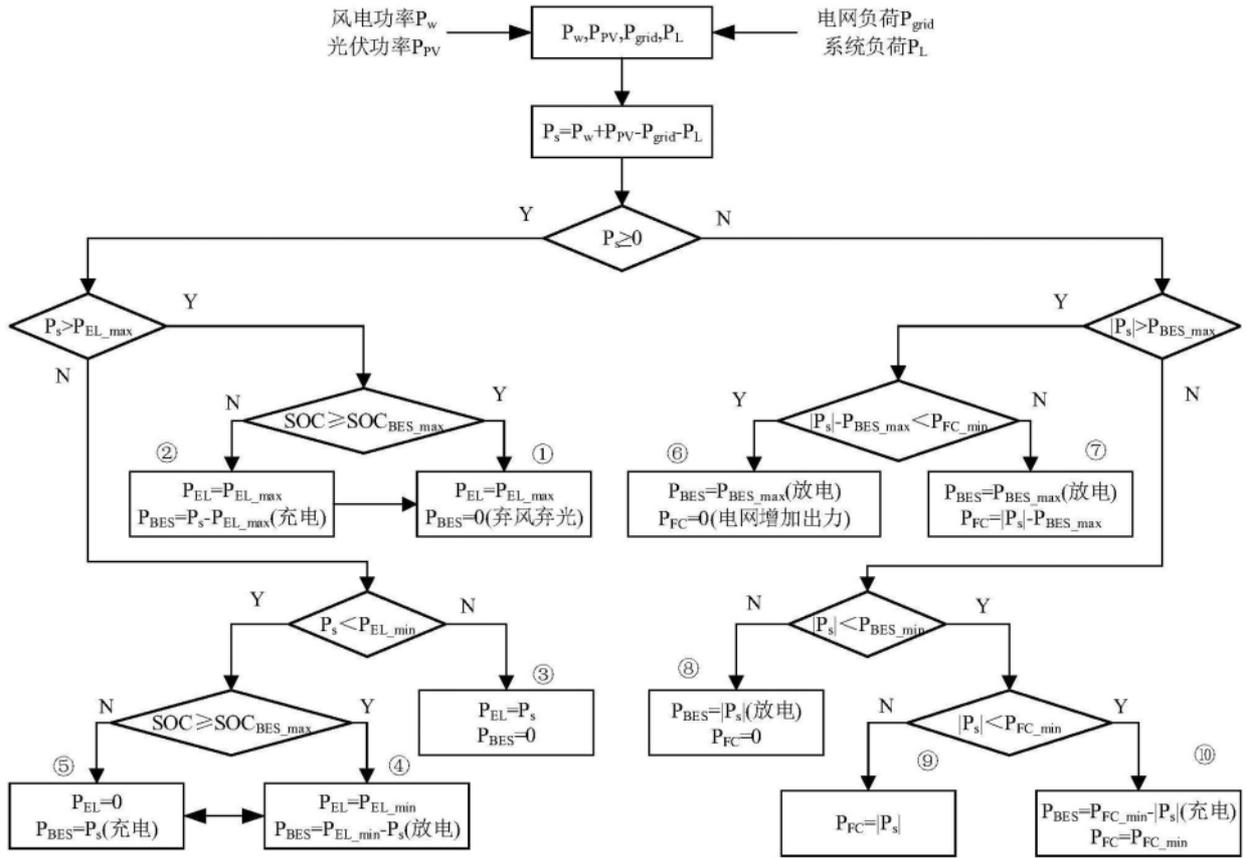


图5