



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115907425 A

(43) 申请公布日 2023.04.04

(21) 申请号 202211686628.2

G06F 111/04 (2020.01)

(22) 申请日 2022.12.27

(71) 申请人 石河子大学

地址 832003 新疆维吾尔自治区石河子市  
北四路221号

(72) 发明人 王洪坤 王云飞 张宏 聂晶  
严冬梅 高雨洁

(74) 专利代理机构 北京鼎佳达知识产权代理事  
务所(普通合伙) 11348

专利代理师 刘铁生 孟阿妮

(51) Int. Cl.

G06Q 10/0631 (2023.01)

G06Q 50/06 (2012.01)

G06F 30/20 (2020.01)

F23G 5/44 (2006.01)

权利要求书4页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

一种生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法、系统及可读存储介质

(57) 摘要

本发明涉及综合能源规划领域,尤其涉及一种生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法,包括:S1:建立生物质能电站模型;S2:基于所述生物质能电站模型建立含有生物质能电站、光伏电站及储能的容量规划模型;所述容量规划模型以联合发电系统的总成本最小为目标函数;S3:定义效果评价指标;S4:求解步骤S2中所述容量规划模型得到符合所述效果评价指标的最优容量规划结果;所述最优容量规划结果为生物质能、光伏电站容量以及储能的容量。采用本发明能够缓解季节波动性对生物质能出力和光伏出力波动的影响,提高可再生能源的利用率提高系统消纳分布式电源和接纳间歇性负荷的能力。

1. 一种生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法,其特征在于,包括:

S1: 建立生物质能电站模型;

S2: 基于所述生物质能电站模型建立含有生物质能电站、光伏电站及储能的容量规划模型;所述容量规划模型以联合发电系统的总成本最小为目标函数;

S3: 定义效果评价指标;

S4: 求解步骤S2中所述容量规划模型得到符合所述效果评价指标的最优容量规划结果;所述最优容量规划结果为生物质能、光伏电站容量以及储能的容量。

2. 根据权利要求1所述的生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法,其特征在于,步骤S1中所述生物质能电站模型中生物原料的收集成本,主要包括生物原料的收购成本、运输费用和其他费用:

$$S_{fuel} = \frac{1}{365}(X_{fuel} + Y_{fuel} + Z_{fuel})$$

式中, $S_{fuel}$ 为收集成本; $X_{fuel}$ 为燃料年收购成本; $Y_{fuel}$ 为燃料年运输费用; $Z_{fuel}$ 为其他费用;

燃料年收购成本由燃料年消耗量和燃料收购价格决定:

$$X_{fuel} = B_{fuel} \cdot p_{fuel}$$

式中, $B_{fuel}$ 为燃料年消耗量; $p_{fuel}$ 为燃料收购价格;

燃料年消耗量取决于电站发电规模和机组年运行时间:

$$B_{fuel} = b_{fuel} \cdot P \cdot t$$

式中, $b_{fuel}$ 为燃料消耗率; $P$ 为机组功率; $t$ 为机组年运行时间;

单位电能所需消耗生物原料量的计算公式为:

$$b_{fuel} = \frac{3600}{LHV_{fuel} \eta_e}$$

式中, $LHV_{fuel}$ 为燃料低位热值; $\eta_e$ 为发电效率;

燃料运输费与收集量、生物原料分布密度、生物原料收集系数、生物原料可利用系数、单位运输费用等因素有关;

燃料运输费为:

$$Y_{fuel} = \int_0^R 2\pi k \rho c r^2 dr = \frac{2\pi k \rho c}{3} R^3$$

式中, $k$ 为由生物原料收集系数、可利用系数共同决定的综合系数; $\rho$ 为生物原料分布密度; $c$ 为单位运输费用; $R$ 为收集半径;

收集半径由燃料年消耗量决定:

$$R = \sqrt{\frac{B_{fuel}}{\pi k \rho}}$$

其他费用为:

$$Z_{fuel} = \alpha S_{fuel}$$

式中, $\alpha$ ——其他费用占总收集成本的百分比; $S_{fuel}$ 为收集成本。

3. 根据权利要求1所述的生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法,其特征在于,所述目标函数为:

$$\min C_{\text{total}} = \min (C_{\text{ST}} + C_{\text{OP}} + C_{\text{BE}} + S_{\text{fuel}} - S_{\text{ESS}})$$

式中： $C_{\text{total}}$ 为系统总成本； $C_{\text{ST}}$ 为系统初始成本； $C_{\text{OP}}$ 为运行维护成本； $C_{\text{BE}}$ 为向电网的购电成本； $S_{\text{ESS}}$ 为储能收益； $S_{\text{EP}}$ 为环保收益；

将系统的初始成本折算至日初始成本，日初始成本为：

$$C_{\text{ST}} = \frac{1}{365} \cdot f_{\text{DR}} \cdot (W_{\text{bi}} \cdot P_{\text{bi}}^w + W_{\text{pv}} \cdot P_{\text{pv}}^w + W_{\text{ess}} \cdot P_{\text{ess}}^w)$$

$$f_{\text{DR}} = \frac{d(1+d)^y}{(1+d)^y - 1}$$

式中： $f_{\text{DR}}$ 为折旧系数； $W_{\text{bi}}$ 为生物质能电站容量； $P_{\text{bi}}^w$ 为生物质能电站单位容量的价格； $W_{\text{pv}}$ 为光伏电站容量； $P_{\text{pv}}^w$ 为光伏电站单位容量的价格； $W_{\text{ess}}$ 为储能容量； $P_{\text{ess}}^w$ 为储能单位容量的价格； $d$ 为折旧率； $y$ 为使用年限；

系统的运行维护成本为：

$$C_{\text{OP}} = \Delta t_{\text{bi}} \cdot C_{\text{bi}}^{\text{op}} + \Delta t_{\text{pv}} \cdot C_{\text{pv}}^{\text{op}} + \Delta t_{\text{ess}} \cdot C_{\text{ess}}^{\text{op}}$$

式中： $\Delta t_{\text{bi}}$ 为生物质能电站一天内的运行时间； $\Delta t_{\text{pv}}$ 为光伏电站一天内的运行时间； $\Delta t_{\text{ess}}$ 为储能一天内的运行时间； $C_{\text{bi}}^{\text{op}}$ 为单位时间内生物质能电站的运行维护成本； $C_{\text{pv}}^{\text{op}}$ 为单位时间内光伏电站的运行维护成本； $C_{\text{ess}}^{\text{op}}$ 分别为单位时间内储能的运行维护成本；

系统向电网的购电成本为：

$$C_{\text{BE}} = P(t) \cdot Q_{\text{BE}}$$

式中： $P(t)$ 为t时刻电网电价； $Q_{\text{BE}}$ 为t时刻系统向电网购买的电量；

储能收益：

$$S_{\text{ESS}} = \frac{1}{4} S_{\text{bt}} - \frac{1}{365} \cdot f_{\text{DR}} (W_{\text{ess}} \cdot P_{\text{ess}}^w)$$

$$S_{\text{bt}} = \sum_{i=1}^4 \sum_{t=1}^{24} (p_{\text{bi}} \Delta Q_{i,t}^{\text{bi}} + p_{\text{pv}} \Delta Q_{i,t}^{\text{pv}})$$

式中： $S_{\text{ESS}}$ 为储能总收益； $S_{\text{bt}}$ 为新增可再生能源并网收益； $\Delta Q_{i,t}^{\text{bi}}$ 为季节i时段t的生物质能新增发电量， $\Delta Q_{i,t}^{\text{pv}}$ 为季节i时段t的光伏新增发电量； $p_{\text{bi}}$ 为生物质能上网电价， $p_{\text{pv}}$ 为光伏上网电价；

环保收益为：

$$S_{\text{EP}} = (w_{\text{bi}} + w_{\text{pv}}) \sum_{k=1}^N (C_{\text{tpk}}^{\text{ep}} - C_{\text{bik}}^{\text{ep}} - C_{\text{pvk}}^{\text{ep}})$$

式中： $w_{\text{bi}}$ 为生物质能的日发电量； $w_{\text{pv}}$ 为光伏的日发电量； $N$ 为污染物的种类数； $C_{\text{tpk}}^{\text{ep}}$ 为火力发电第k类污染物的环境价值成本； $C_{\text{bik}}^{\text{ep}}$ 为生物质能发电第k类污染物的环境价值成本； $C_{\text{pvk}}^{\text{ep}}$ 为光伏发电第k类污染物的环境价值成本。

4. 根据权利要求1所述的生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法，其特征在于，所述效果评价指标包括：生物质能与光伏互补特性D；D越小时，系统的发电功率越能满足负荷需求，说明二者互补性越好，需要配置的储能容量也越小，成本越低。

5. 根据权利要求4所述的生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法，其特征在于，

生物质能与光伏互补特性为生物质能发电和光伏发电的输出功率之和相对于负荷功率的波动,其表达式为:

$$D = \frac{1}{P_L} \sqrt{\sum_{t=1}^{24} \frac{1}{24} (P_{bi}(t) + P_{pv}(t) - P_L(t))^2}$$

式中: $D$ 为生物质能与光伏互补特性; $\overline{P_L}$ 为负荷的平均功率; $P_{bi}(t)$ 为 $t$ 时刻生物质能发电的功率; $P_{pv}(t)$ 为 $t$ 时刻光伏发电的功率; $P_L(t)$ 为 $t$ 时刻负荷的功率;

约束条件:

$$D \leq D_r$$

$D_r$ 为额定的最大生物质能与光伏互补特性。

6. 根据权利要求1所述的生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法,其特征在于,所述效果评价指标包括:供电损失率 $f$ ;供电损失率 $f$ 来反映生物质能、光伏储联合发电系统供电的可靠性,供电损失率 $f$ 越小,系统供电越可靠;其表达式为:

$$f = \frac{\sum_{t=1}^{24} [P_L(t) - (P_{bi}(t) + P_{pv}(t) + P_{ess}(t))]}{\sum_{t=1}^{24} P_L(t)}$$

式中: $f$ 为供电损失率; $P_{ess}(t)$ 为 $t$ 时刻储能功率;

约束条件:

$$f \leq f_r$$

$f_r$ 为最大供电损失率。

7. 根据权利要求1所述的生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法,其特征在于,所述效果评价指标包括:生物质能和光伏联合发电综合利用率 $R$ ;生物质能和光伏联合发电综合利用率 $R$ 越大,联合发电系统可再生能源出力波动性越小;其表达式为:

$$R = \min_i \sum_{t=1}^{24} \frac{Q_{i,t}^{bi} + Q_{i,t}^{pv}}{Q_{i,t}^{bi-\max} + Q_{i,t}^{pv-\max}}$$

式中: $R$ 为生物质能和光伏联合发电综合利用率; $Q_{i,t}^{bi}$ 为季节 $i$ 时段 $t$ 的生物质能出力, $Q_{i,t}^{pv}$ 为季节 $i$ 时段 $t$ 的光伏出力; $Q_{i,t}^{bi-\max}$ 为季节 $i$ 时段 $t$ 的生物质能出力上限, $Q_{i,t}^{pv-\max}$ 为季节 $i$ 时段 $t$ 的光伏出力上限;

约束条件:

$$R \geq R_r$$

式中, $R_r$ 最小生物质能和光伏联合发电综合利用率。

8. 根据权利要求1所述的生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法,其特征在于,含有生物质能电站、光伏电站及储能的容量规划模型的目标函数的约束条件包括:

生物质能、光伏、储能联合发电系统的容量下限为0,上限为一天中最大负荷的10倍,表达式为:

$$0 \leq W_{bi} + W_{pv} + W_{ess} \leq 10P_L^{\max}$$

式中, $P_L^{\max}$ 为一天中的最大负荷;

生物质能运行中出力 $Q_{i,t}^{bi}$ 和光伏运行中出力 $Q_{i,t}^{pv}$ 满足:

$$\begin{cases} Q_{i,t}^{bi-\min} \leq Q_{i,t}^{bi} \leq Q_{i,t}^{bi-\max} \\ Q_{i,t}^{pv-\min} \leq Q_{i,t}^{pv} \leq Q_{i,t}^{pv-\max} \end{cases}$$

式中： $Q_{i,t}^{bi-\min}$ 为季节i时段t的生物质能出力下限； $Q_{i,t}^{pv-\min}$ 为季节i时段t的光伏出力下限； $Q_{i,t}^{bi-\max}$ 为季节i时段t的生物质能出力上限， $Q_{i,t}^{pv-\max}$ 为季节i时段t的光伏出力上限；

储能荷电状态应满足：

$$\begin{cases} E_{i,t+1}^{soc} = E_{i,t}^{soc} + \frac{\zeta_c Q_{i,t+1}^c}{E_{ess}} - \frac{Q_{i,t+1}^d}{\zeta_d E_{ess}} \\ E^{soc-\min} \leq E_{i,t}^{soc} \leq E^{soc-\max} \\ E_{i,t}^{soc} = E_{i,24}^{soc} \end{cases}$$

式中： $E_{i,t}^{soc}$ 为季节i时段t的储能荷电状态； $E^{soc-\max}$ 为储能荷电状态上限； $E^{soc-\min}$ 为储能荷电状态下限； $E_{i,t}^{soc}$ 为季节i调度周期开始时的荷电状态； $E_{i,24}^{soc}$ 为季节i调度周期结束时的荷电状态； $\zeta_c$ 为储能的充电效率； $\zeta_d$ 为储能的放电效率。

9. 一种规划系统,其特征在于:包括处理器和存储器,所述存储器存储了计算机程序,所述处理器调用所述计算机程序以执行权利要求1-8任一项所述方法的步骤。

10. 一种可读存储介质,其特征在于:存储了计算机程序,所述计算机程序被处理器调用以执行权利要求1-8任一项所述方法的步骤。

## 一种生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法、系统及可读存储介质

### 技术领域

[0001] 本发明涉及综合能源规划领域,尤其涉及一种生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法、系统及可读存储介质。

### 背景技术

[0002] 生物质发电是利用生物质所具有的生物质能进行的发电,是可再生能源发电的一种,包括农林废弃物直接燃烧发电、农林废弃物气化发电、垃圾焚烧发电、垃圾填埋气发电和沼气发电等。中国是一个农业大国,生物质资源十分丰富,各种农作物每年产生秸秆数量巨大,通过秸秆发电进行有效利用,开发潜力将十分巨大;光伏发电也是应用最广泛的可再生能源发电技术。但是,由于生物质发电和光伏发电受季节性的影响也较大,在并网过程中会影响电网系统的稳定性,甚至会影响电网的安全稳定运行;为了保证电网的运行安全,会影响系统消纳分布式电源和接纳间歇性负荷的能力。

### 发明内容

[0003] 有鉴于此,本发明提供一种生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法、系统及可读存储介质,主要目的在于缓解季节波动性对生物质能出力和光伏出力波动的影响,提高可再生能源的利用率,提高系统消纳分布式电源和接纳间歇性负荷的能力。

[0004] 为达到上述目的,本发明主要提供如下技术方案:

[0005] 一方面,本发明的实施例提供一种生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法,包括:

[0006] S1:建立生物质能电站模型;

[0007] S2:基于所述生物质能电站模型建立含有生物质能电站、光伏电站及储能的容量规划模型;所述容量规划模型以联合发电系统的总成本最小为目标函数;

[0008] S3:定义效果评价指标;

[0009] S4:求解步骤S2中所述容量规划模型得到符合所述效果评价指标的最优容量规划结果;所述最优容量规划结果为生物质能、光伏电站容量以及储能的容量。

[0010] 进一步地,步骤S1中所述生物质能电站模型中生物原料的收集成本,主要包括生物原料的收购成本、运输费用和其他费用:

$$[0011] \quad S_{fuel} = \frac{1}{365} (X_{fuel} + Y_{fuel} + Z_{fuel})$$

[0012] 式中, $S_{fuel}$ 为收集成本; $X_{fuel}$ 为燃料年收购成本; $Y_{fuel}$ 为燃料年运输费用; $Z_{fuel}$ 为其他费用;

[0013] 燃料年收购成本由燃料年消耗量和燃料收购价格决定:

$$[0014] \quad X_{fuel} = B_{fuel} \cdot p_{fuel}$$

[0015] 式中, $B_{fuel}$ 为燃料年消耗量; $p_{fuel}$ 为燃料收购价格;

[0016] 燃料年消耗量取决于电站发电规模和机组年运行时间：

$$[0017] \quad B_{\text{fuel}} = b_{\text{fuel}} \cdot P \cdot t$$

[0018] 式中,  $b_{\text{fuel}}$  为燃料消耗率;  $P$  为机组功率;  $t$  为机组年运行时间;

[0019] 单位电能所需消耗生物原料量的计算公式为：

$$[0020] \quad b_{\text{fuel}} = \frac{3600}{LHV_{\text{fuel}} \eta_e}$$

[0021] 式中,  $LHV_{\text{fuel}}$  为燃料低位热值;  $\eta_e$  为发电效率;

[0022] 燃料运输费与收集量、生物原料分布密度、生物原料收集系数、生物原料可利用系数、单位运输费用等因素有关;

[0023] 燃料运输费为：

$$[0024] \quad Y_{\text{fuel}} = \int_0^R 2\pi k \rho c r^2 dr = \frac{2\pi k \rho c}{3} R^3$$

[0025] 式中,  $k$  为由生物原料收集系数、可利用系数共同决定的综合系数;  $\rho$  为生物原料分布密度;  $c$  为单位运输费用;  $R$  为收集半径;

[0026] 收集半径由燃料年消耗量决定：

$$[0027] \quad R = \sqrt{\frac{B_{\text{fuel}}}{\pi k \rho}}$$

[0028] 其他费用为：

$$[0029] \quad Z_{\text{fuel}} = \alpha S_{\text{fuel}}$$

[0030] 式中,  $\alpha$ ——其他费用占总收集成本的百分比;  $S_{\text{fuel}}$  为收集成本。

[0031] 进一步地, 所述目标函数为：

$$[0032] \quad \min C_{\text{total}} = \min (C_{\text{ST}} + C_{\text{OP}} \cdot C_{\text{BE}} + S_{\text{fuel}} - S_{\text{ESS}})$$

[0033] 式中:  $C_{\text{total}}$  为系统总成本;  $C_{\text{ST}}$  为系统初始成本;  $C_{\text{OP}}$  为运行维护成本;  $C_{\text{BE}}$  为向电网的购电成本;  $S_{\text{ESS}}$  为储能收益;  $S_{\text{EP}}$  为环保收益;

[0034] 将系统的初始成本折算至日初始成本, 日初始成本为：

$$[0035] \quad C_{\text{ST}} = \frac{1}{365} \cdot f_{\text{DR}} \cdot (W_{\text{bi}} \cdot P_{\text{bi}}^w + W_{\text{pv}} \cdot P_{\text{pv}}^w + W_{\text{ess}} \cdot P_{\text{ess}}^w)$$

$$[0036] \quad f_{\text{DR}} = \frac{d(1+d)^y}{(1+d)^y - 1}$$

[0037] 式中:  $f_{\text{DR}}$  为折旧系数;  $W_{\text{bi}}$  为生物质能电站容量;  $P_{\text{bi}}^w$  为生物质能电站单位容量的价格;  $W_{\text{pv}}$  为光伏电站容量;  $P_{\text{pv}}^w$  为光伏电站单位容量的价格;  $W_{\text{ess}}$  为储能容量;  $P_{\text{ess}}^w$  为储能单位容量的价格;  $d$  为折旧率;  $y$  为使用年限;

[0038] 系统的运行维护成本为：

$$[0039] \quad C_{\text{OP}} = \Delta t_{\text{bi}} \cdot C_{\text{bi}}^{\text{op}} + \Delta t_{\text{pv}} \cdot C_{\text{pv}}^{\text{op}} + \Delta t_{\text{ess}} \cdot C_{\text{ess}}^{\text{op}}$$

[0040] 式中:  $\Delta t_{\text{bi}}$  为生物质能电站一天内的运行时间;  $\Delta t_{\text{pv}}$  为光伏电站一天内的运行时间;  $\Delta t_{\text{ess}}$  为储能一天内的运行时间;  $C_{\text{bi}}^{\text{op}}$  为单位时间内生物质能电站的运行维护成本;  $C_{\text{pv}}^{\text{op}}$  为单位时间内光伏电站的运行维护成本;  $C_{\text{ess}}^{\text{op}}$  分别为单位时间内储能的运行维护成本;

[0041] 系统向电网的购电成本为：

[0042]  $C_{BE} = P(t) \cdot Q_{BE}$

[0043] 式中： $P(t)$  为t时刻电网电价； $Q_{BE}$  为t时刻系统向电网购买的电量；

[0044] 储能收益：

[0045]  $S_{ESS} = \frac{1}{4} S_{bt} - \frac{1}{365} \cdot f_{DR} (W_{ess} \cdot P_{ess}^w)$

[0046]  $S_{bt} = \sum_{i=1}^4 \sum_{t=1}^{24} (p_{bi} \Delta Q_{i,t}^{bi} + p_{pv} \Delta Q_{i,t}^{pv})$

[0047] 式中： $S_{ess}$  为储能总收益； $S_{bt}$  为新增可再生能源并网收益； $\Delta Q_{i,t}^{bi}$  为季节i时段t的生物质能新增发电量， $\Delta Q_{i,t}^{pv}$  为季节i时段t的光伏新增发电量； $p_{bi}$  为生物质能上网电价， $p_{pv}$  为光伏上网电价；

[0048] 环保收益为：

[0049]  $S_{EP} = (w_{bi} + w_{pv}) \sum_{k=1}^N (C_{tpk}^{ep} - C_{bik}^{ep} - C_{pvk}^{ep})$

[0050] 式中： $w_{bi}$  为生物质能的日发电量； $w_{pv}$  为光伏的日发电量； $N$  为污染物的种类数； $C_{tpk}^{ep}$  为火力发电第k类污染物的环境价值成本； $C_{bik}^{ep}$  为生物质能发电第k类污染物的环境价值成本； $C_{pvk}^{ep}$  为光伏发电第k类污染物的环境价值成本。

[0051] 进一步地，所述效果评价指标包括：生物质能与光伏互补特性 $D$ ； $D$ 越小时，系统的发电功率越能满足负荷需求，说明二者互补性越好，需要配置的储能容量也越小，成本越低。

[0052] 进一步地，生物质能与光伏互补特性为生物质能发电和光伏发电的输出功率之和相对于负荷功率的波动，其表达式为：

[0053]  $D = \frac{1}{\bar{P}_L} \sqrt{\sum_{t=1}^{24} \frac{1}{24} (P_{bi}(t) + P_{pv}(t) - P_L(t))^2}$

[0054] 式中： $D$  为生物质能与光伏互补特性； $\bar{P}_L$  为负荷的平均功率； $P_{bi}(t)$  为t时刻生物质能发电的功率； $P_{pv}(t)$  为t时刻光伏发电的功率； $P_L(t)$  为t时刻负荷的功率；

[0055] 约束条件：

[0056]  $D \leq D_r$

[0057]  $D_r$  为额定的最大生物质能与光伏互补特性。

[0058] 进一步地，所述效果评价指标包括：供电损失率 $f$ ；供电损失率 $f$ 来反映生物质能、光伏储联合发电系统供电的可靠性，供电损失率 $f$ 越小，系统供电越可靠；其表达式为：

[0059]  $f = \frac{\sum_{t=1}^{24} [P_L(t) - (P_{bi}(t) + P_{pv}(t) + P_{ess}(t))]}{\sum_{t=1}^{24} P_L(t)}$

[0060] 式中： $f$  为供电损失率； $P_{ess}(t)$  为t时刻储能功率；

[0061] 约束条件：

[0062]  $f \leq f_r$

[0063]  $f_r$  为最大供电损失率。

[0064] 进一步地,所述效果评价指标包括:生物质能和光伏联合发电综合利用率R;生物质能和光伏联合发电综合利用率R越大,联合发电系统可再生能源出力波动性越小;其表达式为:

$$[0065] \quad R = \min_i \sum_{t=1}^{24} \frac{Q_{i,t}^{bi} + Q_{i,t}^{pv}}{Q_{i,t}^{bi-\max} + Q_{i,t}^{pv-\max}}$$

[0066] 式中:R为生物质能和光伏联合发电综合利用率; $Q_{i,t}^{bi}$ 为季节i时段t的生物质能出力, $Q_{i,t}^{pv}$ 为季节i时段t的光伏出力; $Q_{i,t}^{bi-\max}$ 为季节i时段t的生物质能出力上限, $Q_{i,t}^{pv-\max}$ 为季节i时段t的光伏出力上限;

[0067] 约束条件:

$$[0068] \quad R \geq R_r$$

[0069] 式中, $R_r$ 最小生物质能和光伏联合发电综合利用率。

[0070] 进一步地,含有生物质能电站、光伏电站及储能的容量规划模型的目标函数的约束条件包括:

[0071] 生物质能、光伏、储能联合发电系统的容量下限为0,上限为一天中最大负荷的10倍,表达式为:

$$[0072] \quad 0 \leq W_{bi} + W_{pv} + W_{ess} \leq 10P_L^{\max}$$

[0073] 式中, $P_L^{\max}$ 为一天中的最大负荷;

[0074] 生物质能运行中出力 $Q_{i,t}^{bi}$ 和光伏运行中出力 $Q_{i,t}^{pv}$ 满足:

$$[0075] \quad \begin{cases} Q_{i,t}^{bi-\min} \leq Q_{i,t}^{bi} \leq Q_{i,t}^{bi-\max} \\ Q_{i,t}^{pv-\min} \leq Q_{i,t}^{pv} \leq Q_{i,t}^{pv-\max} \end{cases}$$

[0076] 式中: $Q_{i,t}^{bi-\min}$ 为季节i时段t的生物质能出力下限; $Q_{i,t}^{pv-\min}$ 为季节i时段t的光伏出力下限; $Q_{i,t}^{bi-\max}$ 为季节i时段t的生物质能出力上限, $Q_{i,t}^{pv-\max}$ 为季节i时段t的光伏出力上限;

[0077] 储能荷电状态应满足:

$$[0078] \quad \begin{cases} E_{i,t+1}^{soc} = E_{i,t}^{soc} + \frac{\zeta_c Q_{i,t+1}^c}{E_{ess}} - \frac{Q_{i,t+1}^d}{\zeta_d E_{ess}} \\ E_{i,t}^{soc-\min} \leq E_{i,t}^{soc} \leq E_{i,t}^{soc-\max} \\ E_{i,t}^{soc} = E_{i,24}^{soc} \end{cases}$$

[0079] 式中: $E_{i,t}^{soc}$ 为季节i时段t的储能荷电状态; $E_{i,t}^{soc-\max}$ 为储能荷电状态上限; $E_{i,t}^{soc-\min}$ 为储能荷电状态下限; $E_{i,t}^{soc}$ 为季节i调度周期开始时的荷电状态; $E_{i,24}^{soc}$ 为季节i调度周期结束时的荷电状态; $\zeta_c$ 为储能的充电效率; $\zeta_d$ 为储能的放电效率。

[0080] 另一方面,本发明的实施例提供一种规划系统,包括处理器和存储器,所述存储器存储了计算机程序,所述处理器调用所述计算机程序以执行所述方法的步骤。

[0081] 再一方面,本发明的实施例提供一种可读存储介质,存储了计算机程序,所述计算机程序被处理器调用以执行所述方法的步骤。

[0082] 借由上述技术方案,本发明生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法、系

统及可读存储介质

[0083] 至少具有下列优点：

[0084] 能够缓解季节波动性对生物质能出力和光伏出力波动的影响，提高可再生能源的利用率，提高系统消纳分布式电源和接纳间歇性负荷的能力。

[0085] 上述说明仅是本发明技术方案的概述，为了能够更清楚了解本发明的技术手段，并可依照说明书的内容予以实施，以下以本发明的较佳实施例并配合附图详细说明如后。

## 附图说明

[0086] 图1为本发明实施例提供的一种生物质能-光伏-储能联合发电系统的结构示意图。

## 具体实施方式

[0087] 为更进一步阐述本发明为达成预定发明目的所采取的技术手段及功效，以下结合附图及较佳实施例，对依据本发明申请的具体实施方式、结构、特征及其功效，详细说明如后。在下述说明中，不同的“一实施例”或“实施例”指的不一定是同一实施例。此外，一或多个实施例中的特定特征、结构、或特点可由任何合适形式组合。

[0088] 参考图1，本发明的一个实施例提出一种生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法，包括：S1：建立生物质能电站模型；S2：基于生物质能电站模型建立含有生物质能电站、光伏电站及储能的容量规划模型；容量规划模型以联合发电系统的总成本最小为目标函数；S3：定义效果评价指标；S4：求解步骤S2中容量规划模型得到符合效果评价指标的最优容量规划结果；最优容量规划结果为生物质能、光伏电站容量以及储能的容量。优选生物质能的原料为作物秸秆。

[0089] 本发明的一个实施例提出的一种生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法，能够缓解季节波动性对生物质能出力和光伏出力波动的影响，提高可再生能源的利用率，提高系统消纳分布式电源和接纳间歇性负荷的能力，降低综合能源规划的升级改造成本。

[0090] 本发明的一个实施例提出的一种生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法，是利用生物质能和太阳能在时间分布上及地域上的互补性，在形成的联合发电系统中，利用储能存储发电系统发出的电量，当有负荷需求时，通过输电线路进行供给。

[0091] 本发明的一个实施例提出的一种生物质能-光伏-储能联合发电系统容量规划方法中我生物质能-光伏-储能联合发电系统并网型，将电网作为联合发电系统的备用电源。当联合发电系统中有多余的电量时，馈入电网；当受到季节性波动等因素供电量不足时，则向电网购买。

[0092] 作为上述实施例的优选，步骤S1中生物质能电站模型中生物原料的收集成本，主要包括生物原料的收购成本、运输费用和其他费用：

$$[0093] \quad S_{fuel} = \frac{1}{365}(X_{fuel} + Y_{fuel} + Z_{fuel})$$

[0094] 式中， $S_{fuel}$  为收集成本； $X_{fuel}$  为燃料年收购成本； $Y_{fuel}$  为燃料年运输费用； $Z_{fuel}$  为其他费用。

[0095] 燃料年收购成本由燃料年消耗量和燃料收购价格决定：

$$[0096] \quad X_{fuel} = B_{fuel} \cdot p_{fuel}$$

[0097] 式中,  $B_{fuel}$  为燃料年消耗量;  $p_{fuel}$  为燃料收购价格。

[0098] 燃料年消耗量取决于电站发电规模和机组年运行时间：

$$[0099] \quad B_{fuel} = b_{fuel} \cdot P \cdot t$$

[0100] 式中,  $b_{fuel}$  为燃料消耗率;  $P$  为机组功率;  $t$  为机组年运行时间。

[0101] 单位电能所需消耗生物原料量的计算公式为：

$$[0102] \quad b_{fuel} = \frac{3600}{LHV_{fuel} \eta_e}$$

[0103] 式中,  $LHV_{fuel}$  为燃料低位热值;  $\eta_e$  为发电效率。

[0104] 燃料运输费与收集量、生物原料分布密度、生物原料收集系数、生物原料可利用系数、单位运输费用等因素有关；

[0105] 燃料运输费为：

$$[0106] \quad Y_{fuel} = \int_0^R 2\pi k \rho c r^2 dr = \frac{2\pi k \rho c}{3} R^3$$

[0107] 式中,  $k$  为由生物原料收集系数、可利用系数共同决定的综合系数;  $\rho$  为生物原料分布密度;  $c$  为单位运输费用;  $R$  为收集半径。

[0108] 收集半径由燃料年消耗量决定：

$$[0109] \quad R = \sqrt{\frac{B_{fuel}}{\pi k \rho}}$$

[0110] 其他费用为：

$$[0111] \quad Z_{fuel} = \alpha S_{fuel}$$

[0112] 式中,  $\alpha$ ——其他费用占总收集成本的百分比;  $S_{fuel}$  为收集成本。

[0113] 作为上述实施例的优选, 目标函数为：

$$[0114] \quad \min C_{total} = \min (C_{ST} + C_{OP} + C_{BE} + S_{fuel} - S_{ESS})$$

[0115] 式中:  $C_{total}$  为系统总成本;  $C_{ST}$  为系统初始成本;  $C_{OP}$  为运行维护成本;  $C_{BE}$  为向电网的购电成本;  $S_{ESS}$  为储能收益;  $S_{EP}$  为环保收益。

[0116] 将系统的初始成本折算至日初始成本, 日初始成本为：

$$[0117] \quad C_{ST} = \frac{1}{365} \cdot f_{DR} \cdot (W_{bi} \cdot P_{bi}^w + W_{pv} \cdot P_{pv}^w + W_{ess} \cdot P_{ess}^w)$$

$$[0118] \quad f_{DR} = \frac{d(1+d)^y}{(1+d)^y - 1}$$

[0119] 式中:  $f_{DR}$  为折旧系数;  $W_{bi}$  为生物质能电站容量;  $P_{bi}^w$  为生物质能电站单位容量的价格;  $W_{pv}$  为光伏电站容量;  $P_{pv}^w$  为光伏电站单位容量的价格;  $W_{ess}$  为储能容量;  $P_{ess}^w$  为储能单位容量的价格;  $d$  为折旧率;  $y$  为使用年限。

[0120] 系统的运行维护成本为：

$$[0121] \quad C_{OP} = \Delta t_{bi} \cdot C_{bi}^{op} + \Delta t_{pv} \cdot C_{pv}^{op} + \Delta t_{ess} \cdot C_{ess}^{op}$$

[0122] 式中:  $\Delta t_{bi}$  为生物质能电站一天内的运行时间;  $\Delta t_{pv}$  为光伏电站一天内的运行时

间;  $\Delta t_{ess}$  为储能一天内的运行时间;  $C_{bi}^{op}$  为单位时间内生物质能电站的运行维护成本;  $C_{pv}^{op}$  为单位时间内光伏电站的运行维护成本;  $C_{ess}^{op}$  分别为单位时间内储能的运行维护成本。

[0123] 系统向电网的购电成本为:

[0124]  $C_{BE} = P(t) \cdot Q_{BE}$

[0125] 式中:  $P(t)$  为t时刻电网电价;  $Q_{BE}$  为t时刻系统向电网购买的电量。

[0126] 储能收益:

[0127]  $S_{ESS} = \frac{1}{4} S_{bt} - \frac{1}{365} \cdot f_{DR} (W_{ess} \cdot P_{ess}^w)$

[0128]  $S_{bt} = \sum_{i=1}^4 \sum_{t=1}^{24} (p_{bi} \Delta Q_{i,t}^{bi} + p_{pv} \Delta Q_{i,t}^{pv})$

[0129] 式中:  $S_{ESS}$  为储能总收益;  $S_{bt}$  为新增可再生能源并网收益;  $\Delta Q_{i,t}^{bi}$  为季节i时段t的生物质能新增发电量,  $\Delta Q_{i,t}^{pv}$  为季节i时段t的光伏新增发电量;  $p_{bi}$  为物质能上网电价,  $p_{pv}$  为光伏上网电价。电网对可再生能源消纳能力不足时, 储能可以储存电量, 在可再生能源消纳能力不足时, 进行释放, 从而缓解弃光问题; 因此可将安装储能后增加的生物质能、光伏并网收益作为储能收益。

[0130] 环保收益为:

[0131]  $S_{EP} = (w_{bi} + w_{pv}) \sum_{k=1}^N (C_{tpk}^{ep} - C_{bik}^{ep} - C_{pvk}^{ep})$

[0132] 式中:  $w_{bi}$  为生物质能的日发电量;  $w_{pv}$  为光伏的日发电量;  $N$  为污染物的种类数;  $C_{tpk}^{ep}$  为火力发电第k类污染物的环境价值成本;  $C_{bik}^{ep}$  为生物质能发电第k类污染物的环境价值成本;  $C_{pvk}^{ep}$  为光伏发电第k类污染物的环境价值成本。一般来说, 传统火力发电系统的污染物主要有SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>、粉尘等, 而生物质能及光伏发电可以有效地减少这些污染物的排放, 在一定程度上保护了环境。假定生物质能在理想条件下发电, 具体参数如下表所示。

		元/WMh						
发电方式	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	TSP	粉煤灰	炉渣	
[0133] 火电	41.17	23.04	27.42	0.09	0.32	47.52	1.08	
生物质能	0	0	0	0	0	0	0	
光伏	0	0	0	0	0	0	0	

[0134] 作为上述实施例的优选, 效果评价指标包括: 生物质能与光伏互补特性D; D越小时, 系统的发电功率越能满足负荷需求, 说明二者互补性越好, 需要配置的储能容量也越小, 成本越低。

[0135] 作为上述实施例的优选, 生物质能与光伏互补特性为生物质能发电和光伏发电的输出功率之和相对于负荷功率的波动, 其表达式为:

[0136]  $D = \frac{1}{P_L} \sqrt{\sum_{t=1}^{24} \frac{1}{24} (P_{bi}(t) + P_{pv}(t) - P_L(t))^2}$

[0137] 式中: D为生物质能与光伏互补特性;  $\overline{P_L}$  为负荷的平均功率;  $P_{bi}(t)$  为t时刻生物质

能发电的功率; $P_{pv}(t)$ 为t时刻光伏发电的功率; $P_L(t)$ 为t时刻负荷的功率。

[0138] 约束条件:

[0139]  $D \leq D_r$

[0140]  $D_r$ 为额定的最大生物质能与光伏互补特性。

[0141] 作为上述实施例的优选,效果评价指标包括:供电损失率 $f$ ;供电损失率 $f$ 来反映生物质能、光伏储联合发电系统供电的可靠性,供电损失率 $f$ 越小,系统供电越可靠;其表达式为:

$$[0142] \quad f = \frac{\sum_{t=1}^{24} [P_L(t) - (P_{bi}(t) + P_{pv}(t) + P_{ess}(t))]}{\sum_{t=1}^{24} P_L(t)}$$

[0143] 式中: $f$ 为供电损失率; $P_{ess}(t)$ 为t时刻储能功率。

[0144] 约束条件:

[0145]  $f \leq f_r$

[0146]  $f_r$ 为最大供电损失率。

[0147] 作为上述实施例的优选,效果评价指标包括:生物质能和光伏联合发电综合利用率 $R$ ;生物质能和光伏联合发电综合利用率 $R$ 越大,联合发电系统可再生能源出力波动性越小;其表达式为:

$$[0148] \quad R = \min_i \sum_{t=1}^{24} \frac{Q_{i,t}^{bi} + Q_{i,t}^{pv}}{Q_{i,t}^{bi-\max} + Q_{i,t}^{pv-\max}}$$

[0149] 式中: $R$ 为生物质能和光伏联合发电综合利用率; $Q_{i,t}^{bi}$ 为季节i时段t的生物质能出力, $Q_{i,t}^{pv}$ 为季节i时段t的光伏出力; $Q_{i,t}^{bi-\max}$ 为季节i时段t的生物质能出力上限, $Q_{i,t}^{pv-\max}$ 为季节i时段t的光伏出力上限。

[0150] 约束条件:

[0151]  $R \geq R_r$

[0152] 式中, $R_r$ 最小生物质能和光伏联合发电综合利用率。

[0153] 作为上述实施例的优选,含有生物质能电站、光伏电站及储能的容量规划模型的目标函数的约束条件包括:生物质能、光伏、储能联合发电系统的容量下限为0,上限为一天中最大负荷的10倍,表达式为:

$$[0154] \quad 0 \leq W_{bi} + W_{pv} + W_{ess} \leq 10P_L^{\max}$$

[0155] 式中, $P_L^{\max}$ 为一天中的最大负荷;

[0156] 受自然环境影响,生物质能和光伏在实际运行中存在出力对上限和下限。生物质能运行中出力 $Q_{i,t}^{bi}$ 和光伏运行中出力 $Q_{i,t}^{pv}$ 满足:

$$[0157] \quad \begin{cases} Q_{i,t}^{bi-\min} \leq Q_{i,t}^{bi} \leq Q_{i,t}^{bi-\max} \\ Q_{i,t}^{pv-\min} \leq Q_{i,t}^{pv} \leq Q_{i,t}^{pv-\max} \end{cases}$$

[0158] 式中: $Q_{i,t}^{bi-\min}$ 为季节i时段t的生物质能出力下限; $Q_{i,t}^{pv-\min}$ 为季节i时段t的光伏出力下限; $Q_{i,t}^{bi-\max}$ 为季节i时段t的生物质能出力上限, $Q_{i,t}^{pv-\max}$ 为季节i时段t的光伏出力上限。

[0159] 通常用荷电状态表示储能系统的运行情况,为保障储能系统的稳定运行,将荷电状态限制在一定范围内,且一个调度周期内开始和结束时的荷电状态应相等,保障储能能在下个周期的调节能力。

[0160] 储能荷电状态应满足:

$$[0161] \begin{cases} E_{i,t+1}^{soc} = E_{i,t}^{soc} + \frac{\zeta_c Q_{i,t+1}^c}{E_{ess}} - \frac{Q_{i,t+1}^d}{\zeta_d E_{ess}} \\ E^{soc-\min} \leq E_{i,t}^{soc} \leq E^{soc-\max} \\ E_{i,t}^{soc} = E_{i,24}^{soc} \end{cases}$$

[0162] 式中:  $E_{i,t}^{soc}$  为季节*i*时段*t*的储能荷电状态;  $E^{soc-\max}$  为储能荷电状态上限;  $E^{soc-\min}$  为储能荷电状态下限;  $E_{i,t}^{soc}$  为季节*i*调度周期开始时的荷电状态;  $E_{i,24}^{soc}$  为季节*i*调度周期结束时的荷电状态;  $\zeta_c$  为储能的充电效率;  $\zeta_d$  为储能的放电效率。

[0163] 本发明的另一实施例提供一种规划系统,包括处理器和存储器,存储器存储了计算机程序,处理器调用计算机程序以执行前述方法的步骤。需要说明的是,在本发明实施例中,所称处理器可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),该处理器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 GateArray,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该处理器也可以是任何常规的处理器等。存储器可以包括只读存储器和随机存取存储器,并向处理器提供指令和数据。存储器还可以包括非易失性随机存取存储器。

[0164] 本发明的再一实施例提供一种可读存储介质,存储了计算机程序,计算机程序被处理器调用以执行前述方法的步骤。需要说明的是,可读存储介质的例子还可以包括,但不限于相变内存(PRAM)、静态随机存取存储器(SRAM)、动态随机存取存储器(DRAM)、其他类型的随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、电可擦除可编程只读存储器(EEPROM)、快闪记忆体或其他光学、磁性存储介质。

[0165] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限制,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰,均仍属于本发明技术方案的范围。

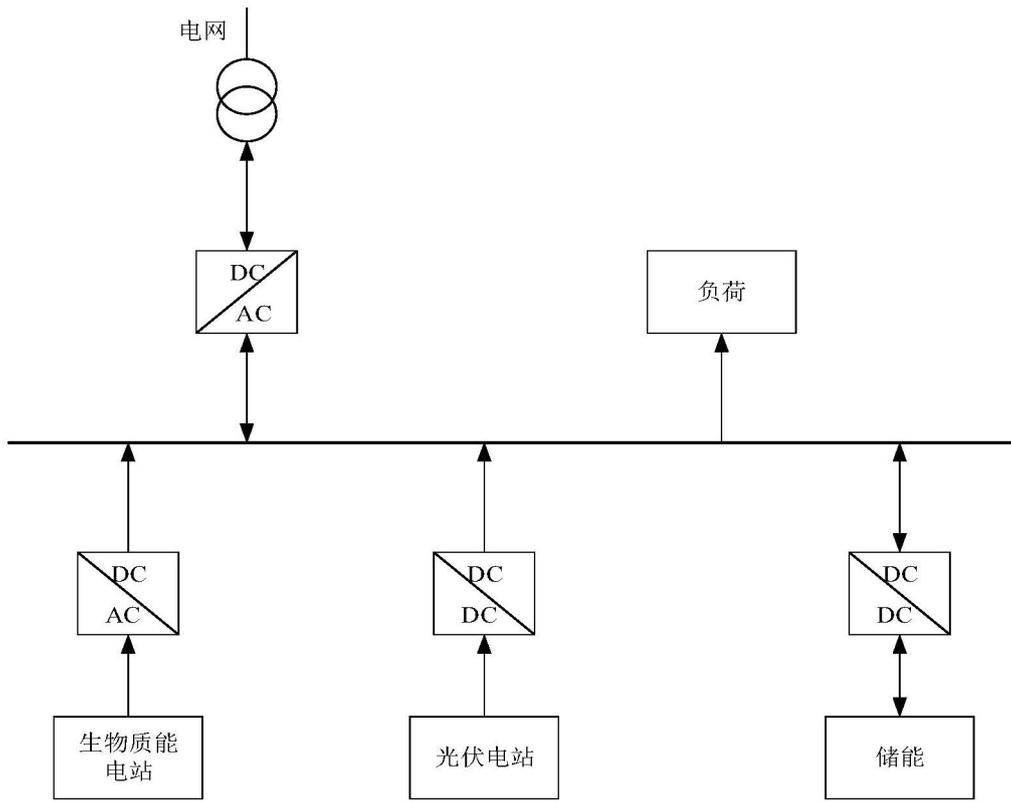


图1