



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108062022 A

(43)申请公布日 2018.05.22

(21)申请号 201610965290.2

(22)申请日 2016.11.05

(71)申请人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市孝陵卫200号

(72)发明人 宋晓健 张俊芳 吕友杰 李赟

仲其邓 康奇

(74)专利代理机构 南京理工大学专利中心

32203

代理人 朱显国

(51) Int. Cl.

G05B 13/04(2006.01)

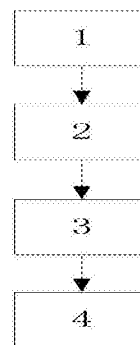
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种热电协同系统的优化控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种热电协同系统的优化控制方法,步骤:1)分析热电不同能源形式的互补特性,研究热电协同系统;2)分析各环节能量流的动态特征,建立热电协同系统模型;3)基于发电特性和负荷特性分析,综合考虑系统运行的经济性、高效性和约束等,建立热电协调系统的动态控制模型;4)研究运行方式在线组合技术,提出不同运行模式与影响因素下的热电协同系统的优化控制策略。对热电不同能源形式的互补特性进行分析,考虑电、热不同能源系统间的耦合方式及其互补特性,研究热电协同系统的最优能量流形式与电-热联合调控机制。本发明分析电、热不同能源系统间的耦合方式与互补特性,建立多能流耦合、多时间尺度和多管理主体的热电协同系统动力系统。



1. 一种热电协同系统的优化控制方法,其特征在于,具体步骤:

步骤一、分析热电不同能源形式的互补特性,研究热电协同系统;

步骤二、分析各环节能量流的动态特征,建立热电协同系统模型;

步骤三、基于发电特性和负荷特性分析,综合考虑系统运行的经济性、高效性和约束等,建立热电协调系统的动态控制模型;

步骤四、研究运行方式在线组合技术,提出不同运行模式与影响因素下的热电协同系统的优化控制策略。

2. 如权利要求1所述的优化控制方法,其特征在于,步骤一中,对热电不同能源形式的互补特性进行分析,包括电力系统和热力系统中能量传输、转换、存储的原理和静动态特性,考虑电、热不同能源系统间的耦合方式及其互补特性,研究热电协同系统的最优能量流形式以及电-热联合调控机制。

3. 如权利要求1所述的优化控制方法,其特征在于,步骤二中,分析各环节能量流的动态特征,揭示各环节能量流多时空尺度的变化规律和内在机理,研究各环节及各环节间接口的描述方法,建立不同时空尺度下热-电协同系统的动力系统模型。

4. 如权利要求1或3所述的优化控制方法,其特征在于,建立热电协同系统的动力系统模型包括多能流耦合、多时空尺度与多管理主体等特征,多层次分析热电协同系统。

5. 如权利要求1所述的优化控制方法,其特征在于,步骤三中,结合可再生能源发电功率预测和热、电负荷预测,研究热电协同系统日前运行协调优化控制方法。针对热、电负荷的实时随机波动特性和可再生电源出力不确定性及超短期波动特性,综合考虑系统运行的经济性和约束等,建立热电协调系统的动态控制模型。

6. 如权利要求1所述的优化控制方法,其特征在于,步骤四中,研究运行方式在线组合技术,实现安全稳定快速评估,基于多智能体系统,运用分布式控制算法,提出不同运行模式与影响因素下的热电协同系统的优化控制策略。

一种热电协同系统的优化控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于多能源综合利用领域,具体涉及一种热电系统的控制方法。

背景技术

[0002] 近些年来,随着全球化石能源日趋紧张及其大量使用造成了温室效应和日益严重的环境破坏,人类开始反思自身发展模式,逐渐使降低能源需求和减少排放的理念深入人心,并且转化为各种以节能减排为主题的绿色行动在世界范围内开展起来。在此背景下,可再生能源得到了快速的发展。但在可再生能源快速发展的同时,新能源发电实际消纳问题相对突出,弃风、弃光现象严重。未来随着可再生能源开发力度的进一步加大,其消纳问题将更加突出。大规模可再生能源的消纳问题已经成为制约可再生能源开发和利用的瓶颈,如何提高能源利用水平的问题亟需解决。

[0003] 近些年来,含可再生能源的热电联供系统由于在节能、环保和经济等方面的优势,成为新能源利用的重要发展方向之一。电能使用方便但不易储存而热能使用不便但易于存储的优势互补特性,成为热电协同系统运行的理论基础。将热能与电能相结合构建热电协同系统具有提升能源利用效率、消纳间歇性可再生能源、改善供电品质以及供电可靠性等多方面的优势。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于针对分布式多能互补调控中存在的低效率和未考虑其他能源如热力等问题,通过对多类型分布式能源主体去中心化的协同优化,实现自组织生态化运行,实现多种分布式能源的互补协调,平抑新能源电力随机波动性,提高能源的利用效率。

[0005] 为了解决上述技术问题,本发明提供一种热电协同系统的优化控制方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤一、分析热电不同能源形式的互补特性,研究热电协同系统;

[0007] 步骤二、分析各环节能量流的动态特征,建立热电协同系统模型;

[0008] 步骤三、基于发电特性和负荷特性分析,综合考虑系统运行的经济性和约束等,建立热电协调系统的动态控制模型;

[0009] 步骤四、研究运行方式在线组合技术,提出不同运行模式与影响因素下的热电协同系统的优化控制策略。

[0010] 进一步,步骤一中,对热电不同能源形式的互补特性进行分析,包括电力系统和热力系统中能量传输、转换、存储的原理和静态特性,考虑电、热不同能源系统间的耦合方式及其互补特性,以及电力系统和热力系统的互补性和相互作用机理,研究热电协同系统的最优能量流形式以及热电联合调控机制。

[0011] 进一步,步骤二中,分析各环节能量流的动态特征,考虑电-热联合系统中能源供应、转换、存储和负荷等各环节的非线性、不确定性、时变性等特点,揭示各环节能量流多时空尺度的变化规律和内在机理,研究各环节及各环节间接口的描述方法,建立不同时空尺

度下热-电协同系统的动力系统模型。

[0012] 进一步,步骤二中,建立包括多能流耦合、多时空尺度与多管理主体等特征的热电协同系统的动力系统模型,多层次分析热电协同系统。

[0013] 进一步,步骤三中,结合可再生能源发电功率预测和热、电负荷预测,研究热电协同系统日前运行协调优化控制方法。针对热、电负荷的实时随机波动特性和可再生能源出力不确定性及超短期波动特性,考虑系统运行的网络约束,构建以热电协同系统内可调资源为决策变量、以系统内个体间可传输容量为约束条件、以整体运行成本最小为多目标建立热电协调系统的动态控制模型。

[0014] 进一步,步骤四中,研究运行方式在线组合技术,实现安全性快速评估,基于多智能体系统,运用分布式控制算法,提出不同运行模式与影响因素下的热电协同系统的优化控制策略。

[0015] 本发明与现有技术相比,其显著优点在于:

[0016] (1) 本发明分析了电、热不同能源系统间的耦合方式及其互补特性,建立了多能流耦合、多时间尺度和多管理主体的热电协同系统的动力系统;

[0017] (2) 本发明基于发电特性和负荷特性的动态分析,综合考虑系统运行的经济性、高效性和约束等,建立热电协调系统的动态控制模型;

[0018] (3) 本发明基于多智能体系统,运用分布式控制算法,提出不同运行模式与影响因素下的热电协同系统的优化控制策略。

[0019] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述。

附图说明

[0020] 图1是本发明的热电协同系统的优化控制方法流程图。

[0021] 图2是本发明的热电协同系统的能量系统框架图。

具体实施方式

[0022] 本发明一种热电协同系统的优化控制方法,方法流程图如图1所示,包括以下步骤:

[0023] 步骤一、分析热电不同能源形式的互补特性,研究热电协同系统;

[0024] 步骤二、分析各环节能量流的动态特征,建立热电协同系统模型;

[0025] 步骤三、基于发电特性和负荷特性分析,综合考虑系统运行的经济性和约束等,建立热电协调系统的动态控制模型;

[0026] 步骤四、研究运行方式在线组合技术,提出不同运行模式与影响因素下的热电协同系统的优化控制策略。

[0027] 进一步,步骤一中,对热电不同能源形式的互补特性进行分析,包括电力系统和热力系统中能量传输、转换、存储的原理和静态特性,考虑电、热不同能源系统间的耦合方式及其互补特性,以及电力系统和热力系统的互补性和相互作用机理,研究热电协同系统的最优能量流形式以及热电联合调控机制。

[0028] 首先,热电协同系统包括电能系统和热能系统两部分,如图2所示。

[0029] 电能部分:热电协同系统内用户的电负荷由风电机组、光伏电池、电池储能以及微

型燃气轮机供给, 蓄电池的充电状态可以根据热电协同系统的运行状态进行实时动态调整。电能部分可以和配电网进行双向功率交换。当发电量大于电负荷量时可向上游配电网反送功率, 当发电量小于电负荷量时可从电网购电, 具备一定的灵活性。

[0030] 热能部分: 热电协同系统内用户的热负荷由系统内微型燃气轮机和燃气锅炉供给。微型燃气轮机和燃气锅炉利用一次能源天然气作为其动力来源, 其中微型燃气轮机构建起了热电协同系统和热系统之间的桥梁, 通过对其进行定向优化控制, 不仅可以实现热电联供, 还可实现热电负荷之间的优化协调配比。

[0031] 由于电能使用方便但不易储存而热能使用不便但易于存储的优势互补特性, 使得热电协同互补系统趋向于用电和储热两个特点发展。

[0032] 进一步, 步骤二中, 分析各环节能量流的动态特征, 考虑电-热联合系统中能源供应、转换、存储和负荷等各环节的非线性、不确定性、时变性等特点, 揭示各环节能量流多时空尺度的变化规律和内在机理, 研究各环节及各环节间接口的描述方法, 建立不同时空尺度下热-电协同系统的动力系统模型。

[0033] 进一步, 步骤二中, 建立包括多能流耦合、多时空尺度与多管理主体等特征的热电协同系统的动力系统模型, 多层次分析热电协同系统。多能流耦合特点在于电、热等异质能流耦合在一起, 多时间尺度特点在于电、热的调节速度不同而导致时间上的层次化, 多管理主体特点在于去中心化, 即分布式。

[0034] 进一步, 步骤三中, 结合可再生能源发电功率预测和热、电负荷预测, 研究热电协同系统日前运行协调优化控制方法。针对热、电负荷的实时随机波动特性和可再生电源出力不确定性及超短期波动特性, 考虑系统运行的网络约束, 构建以热电协同系统内可调资源为决策变量、以系统内个体间可传输容量为约束条件、以整体运行成本最小为目标建立热电协调系统的动态控制模型。

[0035] 其中, 系统运行成本包括:

[0036] 1) 从大电网购电的费用;

[0037] 2) 风电机组、光伏电池、燃料电池、余热锅炉、燃气锅炉、蓄电池等微源的维护费用;

[0038] 3) 燃料电池、燃气锅炉的天然气使用费用;

[0039] 4) 向大电网售电的收入。

[0040] 由于目标函数中含有风电、光伏功率等随机变量, 运行费用也是个随机量, 因此采用确定性的表达式没有意义。采用机会约束规划方法, 建立目标函数:

$$[0041] \quad \begin{cases} \min \bar{f} \\ \text{s.t.} \quad \Pr \left\{ \sum_{i=1}^n C_i \leq \bar{f} \right\} \geq \beta \end{cases} \quad (1)$$

[0042] 式(1)中:

$$[0043] \quad C_i = T \left[\frac{C_{ph} + C_{se}}{2} P_{ex,i} + \frac{C_{ph} + C_{se}}{2} |P_{ex,i}| + C_{gas} \left(\frac{P_{fl,i}}{\eta_{fl,i}} + \frac{P_{gb,i}}{\eta_{gb}} \right) + P_{fl,i} C_{fl_om} \right. \\ \left. + P_{fl,i} \gamma_{fl,i} \eta_{hr_bl} C_{bl_om} + P_{gb,i} C_{gb_om} + |P_{bi,i}| C_{bi_om} + P_{wt,i} C_{wt_om} + P_{pv,i} C_{pv_om} \right] \quad (2)$$

[0044] 式(2)中, T为单位时段的时间间隔; n为时段总数; $P_{ex,i}$ 为第i时段与大电网交换的

电功率,购电为正,售电为负; $P_{f1,i}$ 为第*i*时段燃料电池的发电功率; $P_{gb,i}$ 为第*i*时段蓄电池充放电功率,放电为正,充电为负; $P_{wt,i}$ 为第*i*时段风电机组功率; $P_{pv,i}$ 为第*i*时段光伏电池功率; C_{ph} 为从大电网购电的价格; C_{se} 为向大电网售电的价格; C_{gas} 为天然气价格; C_{f1_om} 为燃料电池维护费用; C_{b1_om} 为余热锅炉维护费用; C_{gb_om} 为燃气锅炉维护费用; C_{bt_om} 为蓄电池维护费用; C_{wt_om} 为风电机组维护费用; C_{pv_om} 为光伏电池维护费用; $\eta_{f1,i}$ 为燃料电池第*i*时段的效率; $\gamma_{f1,i}$ 为燃料电池第*i*时段的热电比值; η_{gb} 为燃气锅炉的效率; η_{hr_b1} 为余热锅炉废热回收效率。

[0045] 约束条件包括电能、热能的平衡约束以及各微源的运行约束:

[0046] 1) 电能平衡约束

[0047] 电能平衡约束根据蓄电池充电和放电分为以下两种情况:

$$[0048] \quad P_{ex,i} + P_{f1,i} + P_{wt,i} + P_{pv,i} + \frac{P_{br,i}}{\eta_{ch}} - P_{el,i} = 0 \quad (3)$$

$$[0049] \quad P_{ex,i} + P_{f1,i} + P_{wt,i} + P_{pv,i} + P_{bt,i} \eta_{dis} - P_{el,i} = 0 \quad (4)$$

[0050] 式(3)、(4)中, $P_{el,i}$ 为第*i*时段的电负荷; η_{ch} 和 η_{dis} 分别为分别为蓄电池充放电效率; $i = 1, 2, \dots, n$,下同。

[0051] 2) 热能平衡约束

$$[0052] \quad P_{f1,i} \gamma_{f1,i} \eta_{hr_b1} + P_{gb,i} - P_{th,i} = 0 \quad (5)$$

[0053] 式(5)中, $P_{th,i}$ 为第*i*时段的热负荷。

[0054] 3) 与大电网功率交换约束

$$[0055] \quad P_{ex,min} \leq P_{ex,i} \leq P_{ex,max} \quad (6)$$

[0056] 式(6)中, $P_{ex,max}$ 、 $P_{ex,min}$ 分别为与大电网功率交换的最大和最小值,即向大电网购电和售电的最大功率。

[0057] 4) 燃料电池运行约束

$$[0058] \quad \Delta P_{f1_down} T \leq P_{f1,i} - P_{f1,i-1} \leq \Delta P_{f1_up} T \quad (7)$$

$$[0059] \quad P_{f1,min} \leq P_{f1,i} \leq P_{f1,max} \quad (8)$$

[0060] 式(7)、(8)中, ΔP_{f1_down} 、 ΔP_{f1_up} 分别为燃料电池单位时段内功率最大减发量和最大增发量; $P_{f1,min}$ 、 $P_{f1,max}$ 分别为燃料电池的最小和最大发电功率。

[0061] 5) 余热锅炉运行约束

$$[0062] \quad P_{b1,min} \leq P_{f1,i} \gamma_{f1,i} \eta_{hr_b1} \leq P_{b1,max} \quad (9)$$

[0063] 式(9)中, $P_{b1,min}$ 、 $P_{b1,max}$ 分别为余热锅炉的最小和最大功率。

[0064] 6) 燃气锅炉运行约束

$$[0065] \quad P_{gb,min} \leq P_{gb,i} \leq P_{gb,max} \quad (10)$$

[0066] 式(10)中, $P_{gb,min}$ 、 $P_{gb,max}$ 分别为燃气锅炉的最小和最大功率。

[0067] 7) 蓄电池运行约束

$$[0068] \quad P_{bt,min} \leq P_{bt,i} \leq P_{bt,max} \quad (11)$$

$$[0069] \quad \sum_{i=1}^n P_{bt,i} T = 0 \quad (12)$$

$$[0070] \quad W_{bt,min} \leq W_{init} - \sum_{i=1}^j P_{bt,i} T \leq W_{bt,max} \quad (13)$$

[0071] 式(11)中, $P_{bt,min}$ 、 $P_{bt,max}$ 分别为蓄电池的最小、最大充放电功率;式(13)中, $W_{bt,min}$ 、 $W_{bt,max}$ 分别为蓄电池的最小、最大储能量, $j=1,2,\dots,n$ 。

[0072] 进一步,步骤四中,研究运行方式在线组合技术,实现安全性快速评估,基于多智能体系统,运用分布式控制算法,提出不同运行模式与影响因素下的热电协同系统的优化控制策略。

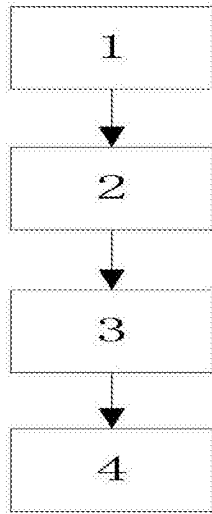


图1

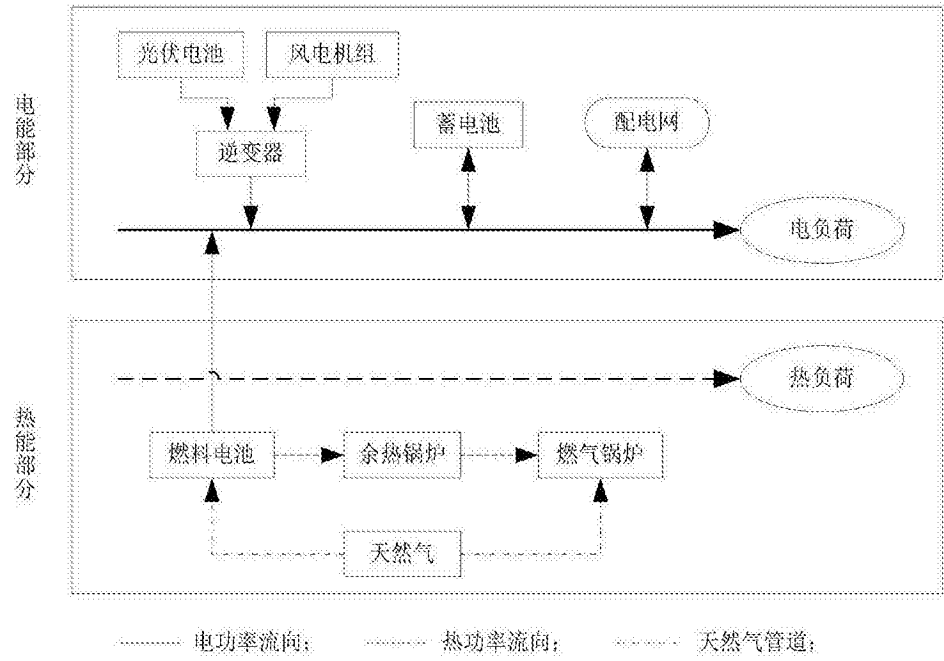


图2