



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111478312 A

(43)申请公布日 2020.07.31

(21)申请号 201911138655.4

H02J 3/46(2006.01)

(22)申请日 2019.11.20

G06F 30/20(2020.01)

G06F 111/10(2020.01)

(71)申请人 国网河北省电力有限公司电力科学研究院

地址 050000 河北省石家庄市体育南大街238号

申请人 国家电网有限公司

(72)发明人 马瑞 侯倩 金飞 李剑锋 冯旭阳 袁成成 郝晓光

(74)专利代理机构 石家庄新世纪专利商标事务所有限公司 13100

代理人 张杰 徐瑞丰

(51)Int.Cl.

H02J 3/00(2006.01)

H02J 3/24(2006.01)

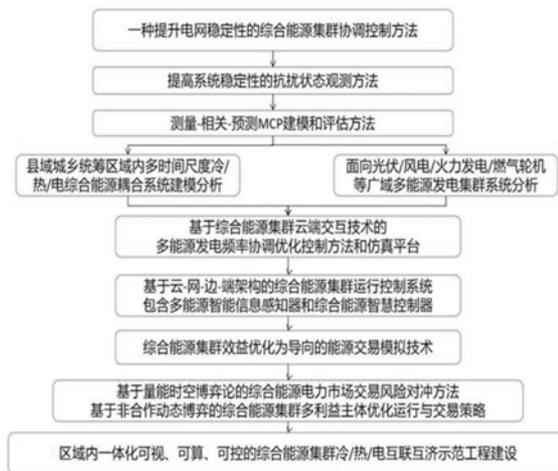
权利要求书6页 说明书14页 附图8页

(54)发明名称

一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,该方法包括:提高系统稳定性的抗扰状态观测方法,测量-相关-预测MCP建模和评估方法,源网荷综合能源集群协调快速响应抗扰控制方法与优化仿真平台,以及基于动态博弈的多利益主体优化运行与交易风险对冲策略。复杂系统理论分析方面,提出了一种具备工程使用价值的通用抗扰状态观测器,和MCP建模评估方法,既可以用于县域城乡统筹区域内多时间尺度冷/热/电综合能源耦合系统,也可以面向光伏/风电/火力发电/燃气轮机等广域多能源发电集群,提出基于云交互的多能源发电协调优化控制方法、和集群效益优化为导向的能源交易模拟技术,研制配套边缘计算感知器和智慧控制器。



1. 一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,其特征在于,该方法包括:提高系统稳定性的抗扰状态观测方法,测量-相关-预测MCP建模和评估方法,源网荷集群协调快速响应抗扰控制方法,多能源发电综合能源一次调频方法,数字化源/网/荷模型及综合能源协调控制优化仿真平台以及基于量能时空博弈论和季节性规律的综合能源电力市场交易风险对冲方法、基于非合作动态博弈的综合能源集群多利益主体优化运行与交易策略。

2. 根据权利要求1所述的一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,其特征在于,提高系统稳定性的抗扰状态观测方法,利用ESO观测器,用于在线数据建模,观测器和建模模型以及逆建模模型均采用离散化方式运行;该抗扰状态观测方法具有通用性,适合于源侧系统也适用于网侧系统也适用于冷/热/电耦合的多能源发电负荷侧系统,也适合于各种系统建模及抗扰分析。

3. 根据权利要求1所述的测量-相关-预测MCP建模和评估方法,其特征在于,测量-相关-预测MCP法是将测量位置的广域综合能源短期源网荷能量流数据与参考位置的同期源网荷能量流数据建立关联模型来预测测量位置的长期能量流数据,其中,测量位置指建模和评估的目标站位;参考位置是指具有长期实测数据和仿真数据增强激励融合的数据源站位;使用MCP方法时,测量位置和参考位置处资源特征值应具有强相关性;

(1) MCP方法技术要求

当使用MCP法时,应遵守下列要求:

应记录参考位置和测量位置的坐标、数据来源以及源网荷能量流特征值的有效性,基于提高系统稳定性的抗扰状态观测方法,实现数据清洗;对于长期数据应满足源网荷能量流数据模型中对边界条件的技术要求,即

1) 广域综合能源源网荷发电单元现场数据;包含广域源网荷能量流实时海量数据;研制了工业数据全过程自动校验装置,进行数据清洗、转换提高了源数据可靠程度,辨识机组时间常数和特性参数,确定实时传递函数模型,解决了传统仿真模型在线数据利用难题,数据级别一秒达万点;

2) 电网调度仿真数据;电网LFC频率控制仿真数据,来自于电网LFC频率响应系统模型,包含一次调频和二次调频的频率控制响应特性和动态特性数据,数据级别一秒达千点;

3) 综合能源仿真数据;综合能源机组仿真数据,包括燃气轮机、风电、光伏;来自于微网仿真实验室实际物理装置及仿真模型,包含燃气轮机、风电、光伏新能源频率特性的动态运行数据,数据级别一秒达千点,

4) 更大范围的广域综合能源源网荷能量流模型后报数据;

5) 上述四种数据相结合;

若边界条件数据来源于观测数据,剔除错误和无效数据,任何已知的系统误差也应消除,观测数据时间跨度宜超过2年并且数据合格率达到观测总量的70%以上,如果使用不同单位提供的观测数据,应明确资料来源、观测条件和处理方法;

(2) 建立MCP分类关联模型

采用散点拟合模型建立MCP分类关联模型;描述的是同一时刻的目标站能量流序列关于参考站能量流序列明确的函数关系,利用最小二乘法、矩估计法或极大似然估计法等数理统计方法拟合得到两个能量流序列的相关函数模型;

(3) 相关系数

在选择参考站时,要求目标站与参考站的能量流序列具有较高的相关系数;在用相关系数表示站间风特征相似程度时,常用的相关系数为Pearson线性相关系数R和Spearman秩相关系数RS;由于冷/热/电耦合综合能源能量流因为时间尺度不一致和物理距离特性,属于流体,根据冷/热/电耦合能量流的特性,两个站点之间的能量流行为存在延时性,所以MCP过程中所用测量数据的分辨率与延迟时间会对站间能量流相关系数造成一定影响,而通过引入时间延迟可提高站间能量流相关系数;

为提高预测精度,需要对能量流数据进行方向分组,分别进行关联和预测,一种云可视化机网协调控制响应特性数据挖掘方法通过对综合能源能量流骨干度的计算,得到能量流数据方向;

(4) 散点拟合模型

散点拟合模型的基本思想是在能量流散点数据图中,通过拟合方法得到目标站能量流关于参考站能量流的函数关系;根据实际情况,站间能量流之间的函数关系是一阶线性函数、二阶或多阶函数、指数型或幂函数形式;本专利采用线性回归法,线性回归法假设目标综合能源场景的能量流关于参考站能量流满足线性分布,即满足:

$$y = \beta x + b$$

式中: x 为参考站能量流; y 为目标站能量流; β 和 b 分别为线性模型的斜率和截距;

(5) 方差比法

利用站间同期数据的平均值和方差比表示线性回归模型的斜率和截距

$$y = \mu_y - \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \mu_x + \frac{\sigma_y}{\sigma_x} x$$

式中: μ_x , μ_y 和 σ_x , σ_y 分别为参考站与目标站短期能量流的平均值和标准差;

为了实现对线性能量流模型更精细化的拟合,可以对数据按照骨干度进行分组分段。

4. 根据权利要求1所述的一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,其特征在于,源网荷集群协调快速响应抗扰控制方法,包括基于在线数据校验预处理以及基于测量-相关-预测MCP模型的SVM-ARIMA时间序列拟合方法和基于综合能源集群云端交互技术的多能源发电协调优化控制方法。

5. 根据权利要求4所述的一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,其特征在于,基于在线数据校验预处理的增强激励建模方法的过程如下:提出通用型工业系统在线数据增强激励校验预处理方法,通过归一化和滤波降噪预处理校准提升信号精度;结合现有仿真系统试验数据设计具有持续激励特性和动态特性充分激励的信号,依托增强激励动态仿真平台,确定实际对象阶次和时延参数,针对生产试验流程提取仿真模型,实现在线数据和仿真建模技术的结合,解决多能源发电单元多时间尺度特性不匹配问题;

提出基于多元数据分析的综合能源集群供用能预测及聚合感知模型,基于权利要求3所述的测量-相关-预测MCP建模和评估方法,基于MCP关联模型以数学模型的形式对目标站与参考站响应时间、响应速率和响应精度在概率密度分布或时间序列上所存的相关关系进行科学、可靠的描述;以SVM-ARIMA时间特征序列模型对测量-相关-预测MCP的预测模型进行拟合,以可视化的形式向调度中心实时展示网内多能源发电单元的可供调度的能力,指标为电网频率响应调节速率K1、电网频率响应调节精度K2、电网频率响应时间K3;然后,确定基于时间序列预测的源网荷能量流协调前馈快速响应控制方法;

ARIMA与SVM模型分别对线性模型及非线性模型处理具有优势,他们之间存在优势互补,将二者组合起来进行价格预测,收到更好结果;

假设时间序列Y.可视为线性自相关部分L与非线性残差N.两部分的组合,即: $Y=L+N$,本文拟采取如下步骤构建组合预测模型:

(1) 利用ARIMA模型对线性部分建模,设预测结果为L,序列汇,的残差为N,N,中包含了序列Y.的非线性关系;

(2) 对上步得到的N序列进行重构得到SVM样本集,利用SVM对残差进行预测,得到预测结果N;

(3) 将线性预测得到的L与非线性集合得到的N组合,得到预测结果 $Y, =L, +N$;

根据电网频率快速响应需求,确定源网荷能量流主要响应特性为响应时间,实时提高对电网频率调度指令的响应能力;最后,实现了电网频率响应控制技术在线硬件快速部署方法,研制外挂式控制器,解决了大数据技术在多能源发电综合能源系统无法实际应用推广,实现智能调度的难题。

6. 根据权利要求4所述的一种提升电网稳定性的综合集群能源协调控制方法,其特征在于,基于综合能源集群云端交互技术的多能源发电协调优化控制方法包括以下步骤:

步骤1,开展云-边-端信息交互标准化建模,建立云平台模型、云边交互模型、边端交互模型和端设备模型,实现云端分布式计算的基础;

步骤2,研制微型化、模块化、无源的多能源智能信息感知器,实现适用于跨地域、大范围、场景化供用能节点开放式、通用性接入技术,实现冷/热/电等耦合能源的海量多维数据汇集,快速感知综合能源体实时运行状态;

步骤3,发挥5G快速组网、高效优势,提出基于5G的提出多流汇聚、多模异构协作通信协议转换技术,即基于UML的县域综合能源系统信息交换用例;开发综合能源集群系统通信协议,支持REST、MQTT信息交换方式,实现云-边-端间通讯协议标准化;针对不同综合能源体应用场景需求差异化特点,提出业务场景云端定制、统一管理技术,实现综合能源集群场景间云端无缝切换及动态交互;

步骤4,实现多能源发电单元协调控制算法库;基于分布式观测器实现面向能源需求和运维需求的集群控制方法,提出超线性收敛速度的分布式优化控制算法,部署至智慧控制器形成本地闭环控制,提出分解协调的集群高效分布式反馈优化控制技术,云平台与多个智慧控制器形成集群闭环控制;

步骤5,基于步骤4的协调控制算法库,实现以能量平衡信号为前馈信号的多能源发电LADRC线性自抗扰控制策略,以LADRC取代传统PID控制模块;该控制策略严格按照DCS/PLC控制逻辑分页实现,在NI Compact RIO控制器上以100/200MS扫描周期以流模式运行,进一步研制即插即用自主化高性能智慧控制器,接收云平台控制指令,调整综合能源体内部设备实现能源和运维需求响应;

步骤6,基于云平台实现面向冷/热/电等耦合能源、复杂网络海量运行数据的缺陷主动辨识、风险告警,开展去碳化经济运行评价;

步骤7,针对广域综合能源体服务跨度大、范围广等特点开展研究,实现各综合能源体供用能需求在线预测;建立综合能源体月度/季度多场景全局运维优化决策机制,为区域内用户提供专业化高水平运维服务。

7. 根据权利要求1所述的一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,其特征在于:综合能源一次调频方法,针对多能源发电微电网参与火力发电电力系统调频协调控制问题,包括以下步骤:

步骤1,多能源发电微电网参与火力发电/燃气轮机协调控制调频控制架构建模并分析其影响;

步骤2,进行多能源发电微电网参与火力发电/燃气轮机协调预测控制算法研究与验证;

步骤3,研制适合多能源发电微电网参与火力发电/燃气轮机电力系统调频的协同控制装置;

步骤4,搭建含可再生能源智能微电网参与火力发电/燃气轮机的区域互联系统管控平台。

8. 根据权利要求1所述的一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,其特征在于:数字化源/网/荷模型及综合能源能量协调控制优化仿真控制平台,使用StarSim/RTLab等电力系统仿真软件,搭建了一个包含火力发电协调控制系统、燃气轮机控制系统、储能系统或抽水蓄能和微电网负荷系统的源/网/荷电力系统模型;

针对特高压电网运行情况下的大容量机组协调优化控制技术和一次调频技术路线,针对源网荷协调控制性能在线硬件闭环仿真技术开发,按照火力发电锅炉系统、汽机系统、燃气轮机控制系统、储能系统和多能源发电微电网负荷系统的整体系统架构及参数,使用混合逻辑动态规划法或者智能方法对该数字化源/网/荷模型及综合能源能量协调控制优化控制技术进行仿真;

将混合整数线性规划法、遗传算法和改进的复杂过程全局优化进化算法运用到源/网/荷的能量协调优化管理中。

9. 根据权利要求7所述的一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,其特征在于:建立源/网/荷系统能量协调优化管理模型目标函数过程如下:

在保证本地负荷供电基础上,以源/网/荷的运行费用最小为目标,其中包含从电网购电的费用,向电网售电所得的收益以及蓄电池的维护费用和折旧损耗;

$$\min C = \sum_{t=1}^T [e_{\text{Sell}}(t) \cdot P_g^{\text{Sell}}(t) + e_{\text{Buy}}(t) \cdot P_g^{\text{Buy}}(t) + e_{\text{bat}}(t) \cdot P_{\text{bat}}] \cdot \Delta t$$

式中, $e_{\text{Sell}}(t)$ 为电网实时购电电价; $e_{\text{Buy}}(t)$ 为电网实时售电电价; $e_{\text{bat}}(t)$ 为蓄电池的运行管理成本; $P_g^{\text{Buy}}(t)$ 为在第 t 时刻大电网吸收的电功率,符号取负; $P_g^{\text{Sell}}(t)$ 为在第 t 时刻大电网发出的电功率,符号取正; $P_{\text{bat}}(t)$ 为在第 t 时刻蓄电池的有功功率; Δt 为系统运行时间间隔,取值为1小时;

目标函数中包含从电网购电的费用和向电网售电所得的收益,如何用 $P_g(t)$ 表示正值时主网向源/网/荷输出功率,负值时输入功率,具体表示如下式所示;

$$C_{\text{Gt}} = \sum_{t=1}^T [e_{\text{Sell}}(t) \cdot \frac{|P_g(t)| + P_g(t)}{2} - e_{\text{Buy}}(t) \cdot \frac{|P_g(t)| - P_g(t)}{2} + e_{\text{bat}}(t) \cdot P_{\text{bat}}] \cdot \Delta t$$

式中,当 $P_g(t)$ 为正值时,购电成本表示为 $e_{\text{Sell}}(t) \cdot P_g(t)$;当 $P_g(t)$ 为负值时,售电成本表示为 $-e_{\text{Buy}}(t) \cdot P_g(t)$;

采用基于滚动时域优化的预测控制构架,在 t 时刻,模型在滚动时域 $[t, t+tp]$ 内求解源/

网/荷运行时从外电网消费费用最小的优化问题,通过计算 $[t, t+t_p]$ 内的最优控制序列,使滚动时域内的目标函数最小;在上式的基础上,增加了滚动优化范围,以一小时为周期滚动,假设滚动范围的步长为 t_p ,计算 t 到 $t+t_p$ 时间内的消费费用,作为新的目标函数,其表示为:

$$\min \sum_{s=1}^{t_p} C(t+s)$$

在新的目标函数下,滚动时域不但考虑当前一步,而且把未来一段时间内的系统运行状态也列入计算范围内。

10. 根据权利要求1所述的一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,其特征在于:基于量能时空博弈论的综合能源电力市场交易风险对冲方法,包括以下过程:

(1) 首先对电力市场用户进行分类,共分为三类:大用电用户和中等规模用户;利用现有平台收集综合能源交易市场相关的自品种设立以来的历史数据,运用权利要求5中的SVM-ARIMA特征序列预测方法和交易数据特征序列图形模式识别技术,根据不同的时间尺度对套利组合的季节性规律进行总结归纳;

(2) 提出基于区块链的开放通用型能源交易机制,实现绿色能源信用的点对点能源交易结算,整合用户及业务资源,部署流程简化、交易安全的智能合约,实现交易撮合和合同管理;

(3) 结合综合能源相电力市场关的商品季节性规律,基于广域综合能源能量流和业务流的量能时空特性,分析统计成交量、持仓量、时间尺度和MACD背离等技术指标等关联博弈特征,发掘商品期货套利对冲实现方法,对交易系统进行回溯测试,评估不同的策略的优劣性能,提出如何将交易胜率提高到50%以上的交易策略;

(4) 基于不同周期尺度的均线和黄金分割点,研究计算交易的赢损控制技术,实现性价比最优的进场和立场管理,以及盈利和止损的量化,对交易系统进行回溯测试,评估不同的策略的优劣性能;

(5) 运用数学统计方法,采用正态分布数学原来和最小二乘法等思路,计算统计套利的对冲套利品种相关度、开展回归分析,统计赢损阈值,并从不同的时间尺度对各个对冲套利组合进行统计归纳,对交易系统进行回溯测试,评估不同的策略的优劣性能;

(6) 使用CTP接口的工具开发商品期货套利对冲监控软件系统,研究实现对90%的套利对冲品种组合覆盖的方法;

(7) 基于季节性规律的综合能源电力市场相关的商品期货套利对冲方法,提升复利盈利率的滚动式多策略组合对冲交易风险管理体系;

(8) 设计标准化的储能装置,以交割标准质量的电能为目的,设计出相应的控制装置;

(9) 基于非合作动态博弈理论,提出综合能源体优化运行,实现综合效益最大化,构建绿色低碳价值为引导主动管理与全局最优策略的能源模拟交易管控体系,实现能源交易联合账单的全生命周期管理;

(10) 建立面向供用能差异的多能源站能源网络仿真模型,实现考虑互动交易的多能源站集群调控仿真方法,实现县域综合能源系统集群调控仿真评估软件模块实现;

(11) 基于(10)的内容,建立基于云端平台的综合能源全产业链交易数据共享技术,面向各级政府,提供综合能源交易数据分析服务;面向新增用能客户,通过投资、总包建设、融

资租赁方式提供能源运维服务;面向存量用能客户,提供能源采集监测、用能方案优化、节能成效共享服务,开展综合能源服务的商业获利模式创新实践。

一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于能源系统管理、用电能效与综合能源优化与控制技术领域，具体涉及一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法。

背景技术

[0002] 随着电网内发电机组不断向着大容量、高参数方向迈进，自动化程度越来越高，对广域能源互联网内的电网调频控制提出了更高的要求。智能电网系统各方面逐步成熟，针对大规模智能电网系统参与电力调频需开展扎实的理论研究与示范验证，一方面从基于传统调频电源和网架的建模、仿真及分析，另一方面需要侧重于以下几方面：其一是以风光等可再生能源大规模并网为背景，探讨新型的分布式间歇性电源可能给电网安全稳定运行带来的影响，以及此时应用储能电源协助新能源参与电力调频的优势、经济性及其可行性；其二，从调频电源的技术对比角度切入，研究智能电网系统与传统调频机组在调节精度和调节速率等调频能力上的区别，并基于经济环境效益对比了二者的调频高效性；其三，从储能电源模型角度切入，研究储能电源出力的机理，通过考虑储能电源基本特性和各项限制因素，建立起对应的等效模型，或者以定频率调节效应系数和一阶惯性环节来描述储能电源，基于以区域等效方法建立的调频仿真模型，通过小负荷扰动分析，研究储能电源参与调频对抑制频率波动和联络线交换功率偏移的影响；其四，从经济性角度切入，结合不同类型微源的特性、限制及其参与调频所带来的各项效益，对智能电网系统参与电网调频进行经济性评估；其五，基于等效模型或状态空间方程所描述的区域电网、储能电源以及分布式电源，或以传统的滞后控制来控制传统调频电源、储能电源和分布式电源以参与调频，侧重于优化控制器以提高控制性能，或采用超前的预测控制来完成三者之间的协调控制。

[0003] 同时县域城乡统筹区域是城乡一体化的纽带，呈现出工、农、商产业结构齐全、城乡地域联系紧密、能源系统参与主体深度多样化的特征，其中县域城乡统筹综合能源市场成为了能源业务方向的重要一元。

[0004] 县域城乡统筹区域由县域新区、老城区和乡村等行政区有机组成，相较于城市和工业用能，县域新区-老城区-乡村统筹区域之间公共资源配置不均衡、冷热电等基础设施薄弱，其综合能源市场具有大范围广域分布分散、局部区域综合供能需求强烈、负荷周期性分布差异大的特点。其中老城区能源完备但基础设施改造困难，新区区域内部能源系统各自规划、区域负荷需求周期性差异显著，乡村严重缺乏能源服务基础，严重影响综合能源利用效率，制约县域综合能源市场发展。亟需针对综合能源系统“智慧-绿色”运行模式需求，开展综合能源集群调控、能源交易与托管运维等商业服务模式，促进城市基础设施向农村延伸，促进城市社会服务事业向农村覆盖，保障城乡统筹高可靠性稳定协同发展。

[0005] 以县域城乡统筹综合能源集群调控与服务为出发点，重点实现综合能源系统集群协调控制技术，能源模拟交易技术，综合能源集群云-边-端信息交互技术，综合能源体集群智能决策运行及维护技术，建设基于云-网-边-端架构的县域城乡统筹综合能源集群

全生命周期运行调控示范工程,以“落地一批,洽谈一批,谋划一批”的方式,通过技术研究与项目示范打造县域城乡统筹区域综合能源系统集群化运营典型样本,满足县域新区-老城区-乡村统筹区域综合能源项目多投资主体、多用户需求,实现低成本、规模化综合能源系统运营,开创真正具有落地能力的低成本、通用性、开放式综合能源商业运行服务模式。

发明内容

[0006] 本发明提供一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,适用于复杂控制系统,包括但不限于电力系统的综合能源协调控制系统,发明目的是用于提升系统稳定性,从数据提取抗扰分析、测量-相关-预测、多能源发电协调优化及综合能源交易市场风险对冲的一种建模仿真、控制技术和交易策略及实现装置。

[0007] 为了实现上述目的,本发明采取的技术方案如下:

[0008] 一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,其特征在于,该方法包括:提高系统稳定性的抗扰状态观测方法,测量-相关-预测MCP建模和评估方法,综合能源集群协调快速响应抗扰控制方法,综合能源一次调频方法,数字化源/网/荷多能源发电模型及综合能源能量协调控制优化仿真控制平台以及基于量能时空博弈论的综合能源电力市场交易风险对冲方法。

[0009] 作为本发明的进一步改进,提高系统稳定性的抗扰状态观测方法,利用ESO观测器,用于在线数据建模,观测器和建模模型以及逆建模模型均采用离散化方式运行;该抗扰状态观测方法具有通用性,适合于源侧系统也适用于网侧系统也适用于冷/热/电耦合的多能源发电负荷侧系统,也适合于各种系统建模及抗扰分析。

[0010] 作为本发明的进一步改进,测量-相关-预测MCP法是将测量位置的广域综合能源短期源网荷能量流数据与参考位置的同期源网荷能量流数据建立关联模型来预测测量位置的长期能量流数据。其中,测量位置指建模和评估的目标站位;参考位置是指具有长期实测数据和仿真数据增强激励融合的数据源站位。使用MCP方法时,测量位置和参考位置处资源特征值应具有强相关性。

[0011] (1) MCP方法技术要求

[0012] 当使用MCP法时,应遵守下列要求:

[0013] 应记录参考位置和测量位置的坐标、数据来源以及源网荷能量流特征值的有效性,基于提高系统稳定性的抗扰状态观测方法,实现数据清洗。对于长期数据应满足源网荷能量流数据模型中对边界条件的技术要求,即

[0014] a) 广域综合能源源网荷发电单元现场数据。包含广域源网荷能量流实时海量数据。研制了工业数据全过程自动校验装置,进行数据清洗、转换提高了源数据可靠程度,辨识机组时间常数和特性参数,确定实时传递函数模型,解决了传统仿真模型在线数据利用难题,数据级别一秒达万点;

[0015] b) 电网调度仿真数据。电网LFC频率控制仿真数据。来自于电网LFC频率响应系统模型,包含一次调频和二次调频的频率控制响应特性和动态特性数据,数据级别一秒达千点;

[0016] c) 综合能源仿真数据;综合能源机组仿真数据(包括燃气轮机、风电、光伏)。来自于微网仿真实验室实际物理装置及仿真模型。包含燃气轮机、风电、光伏等新能源频率特

性的动态运行数据,数据级别一秒达千点。

[0017] d)更大范围的广域综合能源源网荷能量流模型后报数据;

[0018] e)上述四种数据相结合。

[0019] 若边界条件数据来源于观测数据,应剔除错误和无效数据,任何已知的系统误差也应消除。观测数据时间跨度宜超过2年并且数据合格率达到观测总量的70%以上。如果使用不同单位提供的观测数据,应明确资料来源、观测条件和处理方法。

[0020] 作为本发明的进一步改进,大幅度变工况网源协调快速响应协调抗扰控制方法,包括基于在线数据校验预处理的建模方法和提升源网荷协调响应特性的电网频率快速响应协调优化控制方法。

[0021] 作为本发明的进一步改进,基于在线数据校验预处理的建模方法的过程如下:基于已授权发明专利一种增强激励仿真遗传优化方法(ZL201510883631.3)和一种通用型增强激励仿真数据校验方法(ZL201510883385.5),提出通用型工业系统在线数据校验预处理方法,通过归一化和滤波降噪预处理校准提升信号精度;结合现有仿真系统试验数据设计具有持续激励特性和动态特性充分激励的信号,依托增强激励动态仿真平台,确定实际对象阶次和时延参数,针对生产试验流程提取仿真模型,实现在线数据和仿真建模技术的结合;

[0022] 提出变工况建模方法,基于数据校验预处理技术,在火电机组仿真系统开展额定负荷50%~100%范围变工况仿真实验的基础上,获取大量实验数据,采用PSO粒子群算法辨识系统参数、时延参数和系统阶次,根据模型输出及实际输出偏差建立偏差修正模型,输出模型校正值,与PSO辨识所得基本模型相加得到机组动态模型,参数辨识和模型精度达到95%,建立超临界机组协调控制变工况和静态工况的传递函数模型。

[0023] 作为本发明的进一步改进,基于综合能源集群云端交互技术的多能源发电协调优化控制方法包括以下步骤:

[0024] 步骤1,开展云-边-端信息交互标准化建模,建立云平台模型、云边交互模型、边端交互模型和端设备模型,实现云端分布式计算的基础;

[0025] 步骤2,研制微型化、模块化、无源的多能源智能信息感知器,实现适用于跨地域、大范围、场景化供用能节点开放式、通用性接入技术,实现冷/热/电等耦合能源的海量多维数据汇集,快速感知综合能源体实时运行状态;

[0026] 步骤3,发挥5G快速组网、高效优势,提出基于5G的提出多流汇聚、多模异构协作通信协议转换技术,即基于UML的县域综合能源系统信息交换用例;开发综合能源集群系统通信协议,支持REST、MQTT信息交换方式,实现云-边-端间通讯协议标准化;针对不同综合能源体应用场景需求差异化特点,提出业务场景云端定制、统一管理技术,实现综合能源集群场景间云端无缝切换及动态交互;

[0027] 步骤4,实现多能源发电单元协调控制算法库;基于分布式观测器实现面向能源需求和运维需求的集群控制方法,提出超线性收敛速度的分布式优化控制算法,部署至智慧控制器形成本地闭环控制,提出分解协调的集群高效分布式反馈优化控制技术,云平台与多个智慧控制器形成集群闭环控制;

[0028] 步骤5,基于步骤4的协调控制算法库,实现以能量平衡信号为前馈信号的多能源发电LADRC线性自抗扰控制策略,以LADRC取代传统PID控制模块;该控制策略严格按照

DCS/PLC控制逻辑分页实现。在NI Compact RIO控制器 上以200MS扫描周期以流模式运行，进一步研制即插即用自主化高性能智慧控 制器，接收云平台控制指令，调整综合能源体内部设备实现能源和运维需求响 应；

[0029] 步骤6,基于云平台实现面向冷/热/电等耦合能源、复杂网络海量运行数 据的缺陷主动辨识、风险告警,开展去碳化经济运行评价；

[0030] 步骤7,针对广域综合能源体服务跨度大、范围广等特点开展研究,实现 各综合能源体供用能需求在线预测;建立综合能源体月度/季度多场景全局运 维优化决策机制,为区域内用户提供专业化高水平运维服务。

[0031] 作为本发明的进一步改进,包括以下步骤:

[0032] 步骤1,多能源发电微电网参与火力发电/燃气轮机协调控制调频控制架 构建模并分析其影响;

[0033] 步骤2,进行多能源发电微电网参与火力发电/燃气轮机协调预测控制算 法研究与验证;

[0034] 步骤3,研制适合多能源发电微电网参与火力发电/燃气轮机电力系统调 频的协同控制装置;

[0035] 步骤4,搭建含可再生能源智能微电网参与火力发电/燃气轮机的区域互 联系统管控平台。

[0036] 作为本发明的进一步改进,数字化源/网/荷模型及综合能源能量协调控制 优化仿真控制平台,使用StarSim或RTLab电力系统仿真软件,搭建一个包含 火力发电锅炉协调控制系统、汽机协调控制系统、储能系统或抽水蓄能和负荷 系统的源/网/荷电力系统模型;

[0037] 针对特高压电网运行情况下的大容量机组协调优化控制技术和一次调频 技术路线,针对源网荷协调控制性能在线硬件闭环仿真技术开发,按照火力发 电锅炉系统、汽机系统、燃气轮机控制系统、储能系统和微电网负荷系统的整 体系统架构及参数,使用混合逻辑动态规划法或者智能方法对该数字化源/网/ 荷模型及综合能源能量协调控制优化控制技术进行仿真;

[0038] 将混合整数线性规划法、遗传算法和改进的复杂过程全局优化进化算法运 用到源/网/荷的能量协调优化管理中。

[0039] 作为本发明的进一步改进,建立源/网/荷系统能量协调优化管理模型目标 函数过程如下:

[0040] 在保证本地负荷供电基础上,以源/网/荷的运行费用最小为目标,其中包 含从电网购电的费用,向电网售电所得的收益以及蓄电池的维护费用和折旧损 耗;

$$[0041] \quad \min C = \sum_{t=1}^T [e_{Sell}(t) \cdot P_g^{Sell}(t) + e_{Buy}(t) \cdot P_g^{Buy}(t) + e_{bat}(t) \cdot P_{bat}] \cdot \Delta t$$

[0042] 式中, $e_{Sell}(t)$ 为电网实时购电电价; $e_{Buy}(t)$ 为电网实时售电电价; $e_{bat}(t)$ 为 蓄电池的运行管理成本; $P_g^{Buy}(t)$ 为在第t时刻大电网吸收的电功率,符号取负; $P_g^{Sell}(t)$ 为在第t时刻大电网发出的电功率,符号取正; $P_{bat}(t)$ 为在第t时刻蓄电池的有功功率; Δt 为系统运行时间间隔,取值为1小时;

[0043] 目标函数中包含从电网购电的费用和向电网售电所得的收益,如何用 $P_g(t)$ 表示

正值时主网向源/网/荷输出功率,负值时输入功率,具体表示如下式所示;

$$[0044] \quad C_{Gd} = \sum_{t=1}^T [e_{Sell}(t) \cdot \frac{|P_g(t)| + P_g(t)}{2} - e_{Buy}(t) \cdot \frac{|P_g(t)| - P_g(t)}{2} + e_{buy}(t) \cdot P_{buy}] \cdot \Delta t$$

[0045] 式中,当 $P_g(t)$ 为正值时,购电成本表示为 $e_{Sell}(t) \cdot P_g(t)$;当 $P_g(t)$ 为负值时,售电成本表示为 $-e_{Buy}(t) \cdot P_g(t)$ 。

[0046] 采用基于滚动时域优化的预测控制构架,在 t 时刻,模型在滚动时域 $[t \ t+tp]$ 内求解源/网/荷运行时从外电网消费费用最小的优化问题,通过计算 $[t \ t+tp]$ 内的最优控制序列,使滚动时域内的目标函数最小;在上式的基础上,增加了滚动优化范围,以一小时为周期滚动,假设滚动范围的步长为 tp ,计算 t 到 $t+tp$ 时间内的消费费用,作为新的目标函数,其表示为:

$$[0047] \quad \min \sum_{s=1}^{tp} C(t+s)$$

[0048] 在新的目标函数下,滚动时域不但考虑当前一步,而且把未来一段时间内的系统运行状态也列入计算范围内。

[0049] 作为本发明的进一步改进,基于量能时空博弈论的综合能源电力市场交易风险对冲方法与综合能源集群多利益主体优化运行与交易策略,包括以下过程:

[0050] (1) 首先对电力市场用户进行分类,共分为三类:大用电用户和中等规模用户。利用现有平台收集综合能源交易市场相关的自品种设立以来的历史数据,运用权利要求5中的SVM-ARIMA特征序列预测方法和交易数据特征序列图形模式识别技术,根据不同的时间尺度对套利组合的季节性规律进行总结归纳;

[0051] (2) 提出基于区块链的开放通用型能源交易机制,实现绿色能源信用的点对点能源交易结算,整合用户及业务资源,部署流程简化、交易安全的智能合约,实现交易撮合和合同管理;

[0052] (3) 结合综合能源相电力市场关的商品季节性规律,基于广域综合能源能量流和业务流的量能时空特性,分析统计成交量、持仓量、时间尺度和MACD背离等技术指标等关联博弈特征,发掘商品期货套利对冲实现方法,对交易系统进行回溯测试,评估不同的策略的优劣性能,提出如何将交易胜率提高到50%以上的交易策略;

[0053] (4) 基于不同周期尺度的均线和黄金分割点,研究计算交易的赢损控制技术,实现性价比最优的进场和立场管理,以及盈利和止损的量化,对交易系统进行回溯测试,评估不同的策略的优劣性能;

[0054] (5) 运用数学统计方法,采用正态分布数学原来和最小二乘法等思路,计算统计套利的对冲套利品种相关度、开展回归分析,统计赢损阈值,并从不同的时间尺度对各个对冲套利组合进行统计归纳,对交易系统进行回溯测试,评估不同的策略的优劣性能;

[0055] (6) 使用CTP接口的工具开发商品期货套利对冲监控软件系统,研究实现对90%的套利对冲品种组合覆盖的方法;

[0056] (7) 基于季节性规律的综合能源电力市场相关的商品期货套利对冲方法,提升复利盈利率的滚动式多策略组合对冲交易风险管理体系;

[0057] (8) 设计标准化的储能装置,以交割标准质量的电能为目的,设计出相应的控制装置。

[0058] (9) 基于非合作动态博弈理论,提出综合能源体优化运行,实现综合效益最大化,构建绿色低碳价值为引导主动管理与全局最优策略的能源模拟交易管控体系,实现能源交易联合账单的全生命周期管理;

[0059] (10) 建立面向供用能差异的多能源站能源网络仿真模型,实现考虑互动交易的多能源站集群调控仿真方法,实现县域综合能源系统集群调控仿真评估软件模块实现;

[0060] (11) 基于(10)的内容,建立基于云端平台的综合能源全产业链交易数据共享技术,面向各级政府,提供综合能源交易数据分析服务;面向新增用能客户,通过投资、总包建设、融资租赁等方式提供能源运维服务;面向存量用能客户,提供能源采集监测、用能方案优化、节能成效共享等服务,开展综合能源服务的商业获利模式创新实践。

[0061] 与现有技术相比,本发明所取得的有益效果如下:

[0062] 本发明提供了一种提高系统稳定性的抗扰状态观测器,其优点在于提出了一种提高系统稳定性的具备工程使用价值的在线/离线通用抗扰状态观测器,可适用于复杂系统的的数据分析与建模、内部信息提取与扰动信息提取;电力系统分析方面,提出测量-相关-预测MCP建模和评估方法,既可以用于县域城乡统筹区域内多时间尺度冷/热/电综合能源耦合系统建模分析,也可以面向光伏/风电/火力发电/燃气轮机等广域多能源发电集群系统分析,提出基于综合能源集群云端交互技术的多能源发电频率协调优化控制方法和仿真平台,研发基于云-网-边-端架构的综合能源集群运行控制系统,包含多能源智能信息感知器和综合能源智慧控制器;进一步开展综合能源集群效益优化为导向的能源交易模拟技术,提出基于量能时空博弈论的综合能源电力市场交易风险对冲方法、基于非合作动态博弈的综合能源集群多利益主体优化运行与交易策略提供商业增值服务,支持区域内一体化可视、可算、可控的综合能源集群冷/热/电互联互通示范工程建设。

附图说明

[0063] 附图1是基于ESO的在线建模原理图;

[0064] 附图2是基于ESO的离线建模原理图;

[0065] 附图3是LADCR线性自抗扰协调控制策略逻辑图;

[0066] 附图4是外挂式控制装置与仿真系统的原理图;

[0067] 附图5是多能互补的用户级微电网拓扑图;

[0068] 附图6是微电网参与电力调频的协调控制方案图;

[0069] 附图7是MPC控制模块的示意图;

[0070] 附图8是源/网/荷系统能量协调优化管理模型原理图;

[0071] 附图9是能量协调优化流程图;

[0072] 附图10是基于储能的一次调频优化设计曲线图;

[0073] 附图11是能量管理系统高级应用软件结构图;

[0074] 附图12是储能电站测控系统原理图;

[0075] 附图13是微型化、模块化、无源的多能源智能信息感知器原理图;

[0076] 附图14是云-网-边-端体系架构图;

[0077] 附图15是ARIMA与SVM组合预测原理图;

[0078] 附图16是本发明的技术路线图。

具体实施方式

[0079] 下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请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申请一部分实施例,而不是全部的实施例。以下对至少一个示例性实施例的描述实际上仅仅是说明性的,决不作为对本申请及其应用或使用的任何限制。基于本申请中的实施例,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,都属于本申请保护的范围。

[0080] 一种提升电网稳定性的综合能源集群协调控制方法,该方法包括:提高系统稳定性的抗扰状态观测方法,测量-相关-预测MCP建模和评估方法,源网荷 集群协调快速响应抗扰控制方法,源/网/荷综合能源能量协调控制优化仿真控制平台以及基于量能时空博弈的综合能源电力市场交易风险对冲方法、基于 非合作动态博弈的综合能源集群多利益主体优化运行与交易策略。附图13是 微型化、模块化、无源的多能源智能信息感知器原理图,附图14是云-网-边- 端体系架构图,如图16所示为本发明的技术路线图。

[0081] 如图1-2所示,提高系统稳定性的抗扰状态观测方法,提出利用ESO观测器,用于在线数据建模的方法。在实际控制系统中,系统的扰动会对系统建模 造成很大的影响,且可以得到得到无需大量先验信息的系统模型,同时进一步 得到系统的精确地逆模型,为进一步克服扰动和提高系统性能提供新的手段。其中观测器和建模模型以及逆建模模型均采用离散化方式运行,可以大规模应用于硬件快速计算,提高系统性能和精度。该方法具有通用性,既适合于源侧 系统也适用于网侧系统,更进一步可以推广普及到各种系统建模及抗扰分析。

[0082] 大幅度变工况网源协调快速响应协调抗扰控制方法,包括基于在线数据校验预处理的建模方法和提升机网协调响应特性的大型机组AGC协调优化控制 方法。

[0083] 基于在线数据校验预处理的增强激励建模方法的过程如下:提出通用型工业系统在线数据增强激励校验预处理方法,通过归一化和滤波降噪预处理校准 提升信号精度;结合现有仿真系统试验数据设计具有持续激励特性和动态特性 充分激励的信号,依托增强激励动态仿真平台,确定实际对象阶次和时延参数,针对生产试验流程提取仿真模型,实现在线数据和仿真建模技术的结合,解决 多能源发电单元多时间尺度特性不匹配问题;

[0084] 提出基于多元数据分析的综合能源集群供用能预测及聚合感知模型,基于 权利要求3所述的测量-相关-预测MCP建模和评估方法,基于MCP关联模型以 数学模型的形式对目标站与参考站响应时间、响应速率和响应精度在概率密度 分布或时间序列上所存的相关关系进行科学、可靠的描述;以SVM-ARIMA时间 特征序列模型对测量-相关-预测MCP的预测模型进行拟合,以可视化的形式向 调度中心实时展示网内多能源发电单元的可供调度的能力,指标为电网频率响 应调节速率K1、电网频率响应调节精度K2、电网频率响应响应时间K3;然 后,确定基于时间序列预测的源网荷能量流协调前馈快速响应控制方法;

[0085] ARIMA与SVM模型分别对线性模型及非线性模型处理具有优势,他们之间 存在优势互补,将二者组合起来进行价格预测,收到更好结果;

[0086] 假设时间序列Y.可视为线性自相关部分L与非线性残差N.两部分的组合,即: $Y=L+N$,本文拟采取如下步骤构建组合预测模型:

[0087] (1) 利用ARIMA模型对线性部分建模,设预测结果为L,序列汇,的残差 为N,N,中包含了序列Y.的非线性关系;

[0088] (2) 对上步得到的N序列进行重构得到SVM样本集,利用SVM对残差进行预测,得到预测结果N;

[0089] (3) 将线性预测得到的L与非线性集合得到的N组合,得到预测结果 $Y_t = L_t + N_t$;组合预测原理如ARIMA与SVM组合预测原理图如图15所示;

[0090] 根据电网频率快速响应需求,确定源网荷能量流主要响应特性为响应时间,实时提高对电网频率调度指令的响应能力;最后,实现了电网频率响应控制技术在线硬件快速部署方法,研制外挂式控制器,解决了大数据技术在多能源发电综合能源系统无法实际应用推广,实现智能调度的难题。

[0091] 如图3所示,提出一种在以电网为中心的自动发电控制(AGC)模式下,炉跟机方式(CCBF)快速响应协调控制方法。克服机组锅炉部分固有的纯滞后大惯性特性(尤其是主蒸汽压力的滞后对锅炉及AGC响应速率的严重影响),实现50%~100%大范围变工况机组协调快速响应控制,变负荷特性强,提高电厂考核指标,解决了机组协调对象无法快速响应电网能量需求的问题,提高电网稳定性。

[0092] (1) 实现协调控制算法库。

[0093] (2) 基于步骤1的协调控制算法库,实现以能量平衡信号为前馈信号的网源协调LADRC线性自抗扰控制策略,以LADRC取代传统PID控制模块。该控制策略严格按照DCS控制逻辑分页实现。在NI Compact RIO控制器上以100MS或者200MS扫描周期以流模式运行。网源协调LADRC线性自抗扰控制策略的输出边界为锅炉主控信号输出和汽机主控信号输出。输入边界为调度AGC能量需求信号,以及主汽压力设定值和功率设定值。

[0094] 如图4所示,大型机组系统具有工况多变和纯滞后大惯性的特点,随运行工况的不同呈现变化的特性,造成了燃烧过程在实现协调控制快速响应的较大困难性,更无从对其实现机网协调AGC控制的问题。

[0095] 本发明提出一种前馈控制+自抗扰+离线建模修正信号的变工况快速响应抗扰控制策略。共分为三部分:

[0096] (1) 采用ESO观测器分别对被控对象输出进行采样观测,采用正模型(比如神经网络或者线性滤波器)作为在线建模方法,对被控对象实现在线建模,利用ESO观测器与模型的输出的误差修正模型。

[0097] (2) 分别离散化方程实现抗扰控制器(比如使用ADRC或者LADRC)替代传统PID控制器。复制在线建模的模型,采用离线建模方式,选择与实际对象频率相近的白噪声信号作为离线建模的输入信号,利用输入和输出的误差修正逆模型,获得对象模型的逆,复制到控制系统中作为修正信号与自抗扰控制器的输出做比较,修正自抗扰控制的输出信号。

[0098] (3) 以超临界机组负荷、主汽压力特性模型为基础,基于负荷、主汽压力误差及调门开度实时反馈的对应关系,作为前馈指令,避免寻优过程的振荡,提高控制精度,修正纯滞后和惯性的影响,加快响应速度。

[0099] (4) 以RJ45接口为通讯方式,实现RIO控制器和PXI平台的网络通讯,通讯协议采用通用的工业协议MODBUS-TCP或者OPC协议。

[0100] (5) 以PXI平台为载体,基于LABVIEW实现燃烧控制系统、给水控制系统、主汽温控制系统的控制逻辑。

[0101] 该方法可大大提高机组对负荷指令的响应速度和精度,且满足主汽压等主要运

行参数的控制要求。

[0102] CCS协调控制逻辑列表如下：

逻辑页名称	具体描述
机组负荷指令设定	以现场实际工程应用逻辑为准（比如提供的 GE 新华 OC6000 控制逻辑法手册为准）
汽机协调控制逻辑	以现场实际工程应用逻辑为准（比如提供的 GE 新华 OC6000 控制逻辑法手册为准）
锅炉协调控制逻辑	以现场实际工程应用逻辑为准（比如提供的 GE 新华 OC6000 控制逻辑法手册为准）
[0103] 给水控制系统控制逻辑	以现场实际工程应用逻辑为准（比如提供的 GE 新华 OC6000 控制逻辑法手册为准）
主汽温控制逻辑	以现场实际工程应用逻辑为准（比如提供的 GE 新华 OC6000 控制逻辑法手册为准）
燃烧系统控制逻辑	以现场实际工程应用逻辑为准（比如提供的 GE 新华 OC6000 控制逻辑法手册为准）
[0104] 一次调频控制逻辑	以现场实际工程应用逻辑为准（比如提供的 GE 新华 OC6000 控制逻辑法手册为准）

[0105] 综合能源一次调频方法,针对可再生能源智能微电网参与火力发电电力系统调频协调控制问题出发,从模型建立->机理分析->控制方法->实时仿真->系统实施这五个步骤依次进行研究,所采取的研究方案、方法、路线的详细内容如下所示:

[0106] (1)如图5所示,智能微电网参与火力发电电网协调控制调频控制架构建模并分析其影响

[0107] 首先,结合传统燃煤火力发电机组协调控制系统(CCS)的频率特性和电力系统负荷特性,系统地分析电网调频仿真模型中的区域等效方法,构建常规电力系统调频的区域等效模型。研究控制通信网络架构和协调控制系统异质、分散的特点,构建含可再生能源

补充的火力发电的本地控制通信设备的环网通信架构模型,完成数据监控、经济调度计划、潮流分析、频率和电压的稳定、自我的发电计划、实时监测等功能的基础理论验证。

[0108] 互联电力系统的一次、二次调频控制环中的供需平衡均由发电机、负荷和联络线交换功率三部分组成。构建发电机组一次、二次调频控制所需的频率响应模型的关键是调速系统及原动机的建模。火电机组在调速系统和原动机的结构上具有一次调频、二次调频控制环。除此之外,还需要对系统的负荷以及控制区域之间的联络线进行考虑。将机组、负荷、联络线以及一次、二次调频控制环分别建模,按照其实际电力系统中的结构关系组合便可以得到电力系统的调频动态模型。

[0109] 其次,针对光伏、风电等分布式能源、需求侧响应等渗透率较高的特点,考虑分布式能源与负荷的外特性功能模型,同时考虑含火力发电模型、输电线路模型、配电变压器模型、并联电容模型和负荷模型在内的配电系统三相稳态模型,分析相关模型对自趋优配电网的系统稳定性的影响。

[0110] 电力系统运行时,对频率和联络线交换功率偏差的控制主要由二次调频完成。在含可再生能源智能微电网与调频情况下,合理协调各调频电源以控制和调节各发电机与含可再生能源智能微电网的输出功率使系统频率达到电网要求。使用含可再生能源智能微电网参与一次调频的策略:和变频率调节效应系数策略两种方法。

[0111] 固定频率调节效应系数的确定方法:电网中的一次调频是利用系统固有的负荷频率特性及发电机组的调速器作用来阻止系统频率偏离标准的调节方式。因此,含可再生能源智能微电网可通过模仿发电机组根据频率偏差和频率调节效应系数调整自身出力的方式参与电网一次调频。即含可再生能源智能微电网电流增量 Δi_b 与一次调频控制信号 Δf 的关系有如下式所示:

$$[0112] \quad \Delta i_b = \frac{\Delta f}{R_b} = K_b \Delta f$$

$$[0113] \quad K_b = \frac{1}{R_b}$$

[0114] 其中, K_b 和 R_b 分别为含可再生能源智能微电网的频率调节效应系数(或单位调节电流)和静态下垂系数(或调差系数)。

[0115] 变频率调节效应系数策略:若含可再生能源智能微电网有大量的能量富余,如此时电网频率下降,在不超 过含可再生能源智能微电网额定功率的前提下,微电网的频率调节效应系数应该选择比传统方法所确定更大的值;如电网频率高于 50Hz,从保护微电网的角度出发,应该选择让微电网以某一合理的频率调节效应系数进行小电流放电。这样有利于微电网的能量管理,同时也能尽可能小地影响电网调频。

[0116] (2) 智能微电网参与火力发电网协调预测控制算法研究与验证

[0117] 提出智能微电网参与火力发电网协调预测控制体系,该体系为分层分布式框架结构,包括上层的区域协调控制器及下层本地调频控制器。在区域协调控制器中引入,以互联电力系统和含可再生能源智能微电网的系统动态模型为基础,通过建立含可再生能源智能微电网、调频控制输入量与频率及联络线功率预测量的关系,构造以输出误差与控制增量加权为目标函数,以火电机组、微电网、联络线调节能力为约束条件的优化模型。而各区域的本地调频控制器接受上层控制器的指令,即能对系统的频率及联络线功率偏

差进行校正。

[0118] 该协调控制器的任务主要有以下三大部分,如图6所示。

[0119] (1) 监测状态

[0120] 区域协调控制器接收各区域监测到的系统实时状态信息,包括区域间联络线交换功率偏移、各区域发电机输出功率变化、各区域含可再生能源智能微电网输出功率变化、电池储能电源放电深度、各区域负荷功率变化、各区域系统频率偏差等。

[0121] (2) 预测未来

[0122] 区域协调控制器在系统动态模型的基础上预测未来的动态轨迹,并建立控制量与预测量关系,为最优策略奠定基础。

[0123] (3) 最优控制决策

[0124] 在第(2)步结果的基础上,区域协调控制器根据设定的目标函数及各调频装置的约束进行求解。将预测值与实际值做比较之后,可以得出误差,从而进一步校正预测模型。

[0125] 系统预测控制的对应的状态方程,基本形式如公式:

$$[0126] \quad \dot{x}(t) = Ax(t) + B_u u(t) + B_v v(t) + B_d d(t)$$

$$[0127] \quad y(t) = Cx(t) + D_v v(t) + D_d d(t)$$

[0128] 其中, $x(t)$ 为系统的状态变量; $u(t)$ 为控制输入量; $v(t)$ 为可测量的扰动量; $d(t)$ 为不可测量的扰动量; $y(t)$ 为系统的输出量; A 、 B_u 、 B_v 、 B_d 、 C 、 D 、 D_d 为系统各量所对应的系数矩阵。MPC控制模块的工作原理如图7所示。

[0129] (3) 研制适合含可再生能源智能微电网参与火力发电电力系统调频协同控制装置

[0130] 研制适合火力发电和含可再生能源智能微电网协同优化控制装置,该装置具有能够采集能源系统的仪表数据;电压、电流、有功、无功的闭环控制功能;本地变流器无功功率、电压和最优潮流控制;具有集中式和分布式实时网络通信功能;区域配电网自治功能等。同时具备嵌入式操作平台能够实现先进控制算法,利用所述仪表数据和负荷需求计算所述自趋优系统中每个分布式发电单元的供电量优化值;将所述优化值反馈给所述系统中,以使所述系统根据所述优化值调节每个分布式发电单元的运行参数。具体设备的设计参数:额定电压:220V;额定频率:50Hz;功率消耗:小于45W。系统年可用率应 $\geq 99.9\%$;模拟量测量综合误差: $\leq 1\%$;平均无故障时间: $\geq 8760\text{h}$;数据采集扫描周期: ≤ 10 秒;系统控制操作响应时间(从按执行键到充电机执行): < 10 秒;绝缘电阻应不小于 $5\text{M}\Omega$;工作温度: $-25^\circ\text{C} \sim 55^\circ\text{C}$ 。

[0131] (4) 搭建含可再生能源智能微电网参与火力发电的区域互联系统管控平台

[0132] 搭建含多能源发电微电网参与火力发电/燃气轮机发电的区域互联系统管控平台,对原有火力发电系统进行集成。同时该平台增加分布式能源监控系统(光伏、风电),柔性负荷监控系统(电动汽车、煤改电、需求侧响应)以及自趋优分布式运行协调控制功能,满足计及火力发电和可再生能源多源协调优化、最优潮流计算、综合无功优化和电压控制,提高电网能源利用率、降低运行成本等经济技术要求。管控平台画面调用时间: < 3 秒;画面实时数据刷新时间:5秒~30秒;实时数据查询响应时间: < 3 秒;历史数据查询响应时间: < 10 秒;配用电数据历史曲线采样间隔:1min~30min,可调;充电数据历史曲线采样间隔:1s~30min,可调;历史趋势曲线、日报、月报、年报存储时间 ≥ 1 年。

[0133] 如图8-13所示,数字化源/网/荷模型及综合能源能量协调控制优化仿真 控制平台,使用StarSim电力系统仿真软件,搭建了一个包含火力发电锅炉协 调控制系统、汽机协 调控制系统、储能系统或抽水蓄能和负荷系统的源/网/ 荷电力系统模型;

[0134] 针对特高压电网运行情况下的大容量机组协调优化控制技术和一次调频 技术路线,针对机网协调控制性能在线硬件闭环仿真技术开发,按照火力发电 锅炉系统、汽机系 统、储能系统和负荷系统的整体系统架构及参数,使用混合 逻辑动态规划法或者智能方法对该数字化源/网/荷模型及综合能源能量协调 控制优化控制技术进行仿真。

[0135] 作为本发明的进一步改进,将混合整数线性规划法、遗传算法和改进的复 杂过程 全局优化进化算法运用到源/网/荷的能量协调优化管理中。

[0136] 作为本发明的进一步改进,建立源/网/荷系统能量协调优化管理模型目标 函数 过程如下:

[0137] 在保证本地负荷供电基础上,以源/网/荷的运行费用最小为目标,其中包 含从电 网购电的费用,向电网售电所得的收益以及蓄电池的维护费用和折旧损 耗;

$$[0138] \quad \min C = \sum_{t=1}^T [e_{\text{Sell}}(t) \cdot P_g^{\text{Sell}}(t) + e_{\text{Buy}}(t) \cdot P_g^{\text{Buy}}(t) + e_{\text{bat}}(t) \cdot P_{\text{bat}}] \cdot \Delta t$$

[0139] 式中, $e_{\text{Sell}}(t)$ 为电网实时购电电价; $e_{\text{Buy}}(t)$ 为电网实时售电电价; $e_{\text{bat}}(t)$ 为 蓄电池的运行管理成本; $P_g^{\text{Buy}}(t)$ 为在第 t 时刻大电网吸收的电功 率,符号取负; $P_g^{\text{Sell}}(t)$ 为在第 t 时刻大电网发出的电功率,符号取正; $P_{\text{bat}}(t)$ 为在第 t 时刻蓄电 池的有功功率; Δt 为系统运行时间间隔,取值为1小时;

[0140] 目标函数中包含从电网购电的费用和向电网售电所得的收益,如何用 $P_g(t)$ 表示 正值时主网向源/网/荷输出功率,负值时输入功率,具体表示如下 式所示;

$$[0141] \quad C_{\text{Gt}} = \sum_{t=1}^T [e_{\text{Sell}}(t) \cdot \frac{|P_g(t)| + P_g(t)}{2} - e_{\text{Buy}}(t) \cdot \frac{|P_g(t)| - P_g(t)}{2} + e_{\text{bat}}(t) \cdot P_{\text{bat}}] \cdot \Delta t$$

[0142] 式中,当 $P_g(t)$ 为正值时,购电成本表示为 $e_{\text{Sell}}(t) \cdot P_g(t)$;当 $P_g(t)$ 为负值时, 售电成本表示为 $-e_{\text{Buy}}(t) \cdot P_g(t)$ 。

[0143] 采用基于滚动时域优化的预测控制构架,在 t 时刻,模型在滚动时域 $[t \ t+tp]$ 内求 解源/网/荷运行时从外电网消费费用最小的优化问题,通过计算 $[t \ t+tp]$ 内的最优控制序 列,使滚动时域内的目标函数最小;在上式的基础上,增加了滚动优化范围,以一小时为周 期滚动,假设滚动范围的步长为 tp ,计 算 t 到 $t+tp$ 时间内的消费费用,作为新的目标函数, 其表示为:

$$[0144] \quad \min \sum_{s=1}^{tp} C(t+s)$$

[0145] 在新的目标函数下,滚动时域不但考虑当前一步,而且把未来一段时间内 的系统 运行状态也列入计算范围内。

[0146] 作为本发明的进一步改进,基于量能时空博弈论的综合能源电力市场交易 风险 对冲方法与综合能源集群多利益主体优化运行与交易策略,包括以下过 程:

[0147] (1) 首先对电力市场用户进行分类,共分为三类:大用电用户和中等规 模用户。利用现有平台收集综合能源交易市场相关的自品种设立以来的历史数 据,运用权利要求5中

的SVM-ARIMA特征序列预测方法和交易数据特征序列图 形模式识别技术,根据不同的时间尺度对套利组合的季节性规律进行总结归 纳;

[0148] (2) 提出基于区块链的开放通用型能源交易机制,实现绿色能源信用的 点对点能源交易结算,整合用户及业务资源,部署流程简化、交易安全的智能 合约,实现交易撮合和合同管理;

[0149] (3) 结合综合能源相电力市场关的商品季节性规律,基于广域综合能源 能量流和业务流的量能时空特性,分析统计成交量、持仓量、时间尺度和MACD 背离等技术指标等关联博弈特征,发掘商品期货套利对冲实现方法,对交易系 统进行回溯测试,评估不同的策略的优劣性能,提出如何将交易胜率提高到 50%以上的交易策略;

[0150] (4) 基于不同周期尺度的均线和黄金分割点,研究计算交易的赢损控制 技术,实现性价比最优的进场和立场管理,以及盈利和止损的量化,对交易系 统进行回溯测试,评估不同的策略的优劣性能;

[0151] (5) 运用数学统计方法,采用正态分布数学原来和最小二乘法等思路, 计算统计套利的对冲套利品种相关度、开展回归分析,统计赢损阈值,并从不 同的时间尺度对各个对冲套利组合进行统计归纳,对交易系统进行回溯测试, 评估不同的策略的优劣性能;

[0152] (6) 使用CTP接口的工具开发商品期货套利对冲监控软件系统,研究实 现对90%的套利对冲品种组合覆盖的方法;

[0153] (7) 基于季节性规律的综合能源电力市场相关的商品期货套利对冲方法, 提升复利盈利率的滚动式多策略组合对冲交易风险管理体系;

[0154] (8) 设计标准化的储能装置,以交割标准质量的电能为目的,设计出相 应的控制装置。

[0155] (9) 基于非合作动态博弈理论,提出综合能源体优化运行,实现综合效 益最大化,构建绿色低碳价值为引导主动管理与全局最优策略的能源模拟交易 管控体系,实现能源交易联合账单的全生命周期管理;

[0156] (10) 建立面向供用能差异的多能源站能源网络仿真模型,实现考虑互动 交易的多能源站集群调控仿真方法,实现县域综合能源系统集群调控仿真评估 软件模块实现;

[0157] (11) 基于(10)的内容,建立基于云端平台的综合能源全产业链交易数 据共享技术,面向各级政府,提供综合能源交易数据分析服务;面向新增用能 客户,通过投资、总包建设、融资租赁等方式提供能源运维服务;面向存量用 能客户,提供能源采集监测、用能方案优化、节能成效共享等服务,开展综合 能源服务的商业获利模式创新实践。

[0158] 举例:源侧与网侧的电力市场化对冲分析

[0159] 基本逻辑:季节性规律风险对冲,淡旺季交替形成的价格波动。

[0160] 电网对发电侧市场化风险对冲分析。最新的煤电联动价格机制是基于现货 的一种风险对冲方法,要求电网公司和发电企业必须100%从现货市场购电购 煤,无法提供反映长期供求关系的价格信号。一旦发生产生的下跌局面,则对 电网企业和发电企业造成长期的不利影响。

[0161] 所以经过分析,采用动力煤期货合约和焦煤期货合约,分析动力煤和焦煤 的期货价格走势,根据季节性规律和统计套利回归,利用期货价格发现功能, 合理的参与动力煤和焦煤期货,可以对冲煤电联动的风险。

[0162] 由于工业用电远超出民用电,所以用电企业以工业用电企业为研究对象,煤炭企业作为特殊的用电企业另作讨论,发电企业主要以火力发电分析。在实际社会生产体系中,关系如下:煤炭企业--->火电厂--->电网输配--->工业用电企业

[0163] 根据生产供求关系,存在能体现电价的关联组合。运用季节图表法可以对 煤钢焦化价格的季节运行规律进行分析,总结出动力煤及其上下游价格在一年中不同月份的强弱关系,并对三者之间的季节性传导及主导这种传导机制的 钢铁和化工行业的季节性进行指导。

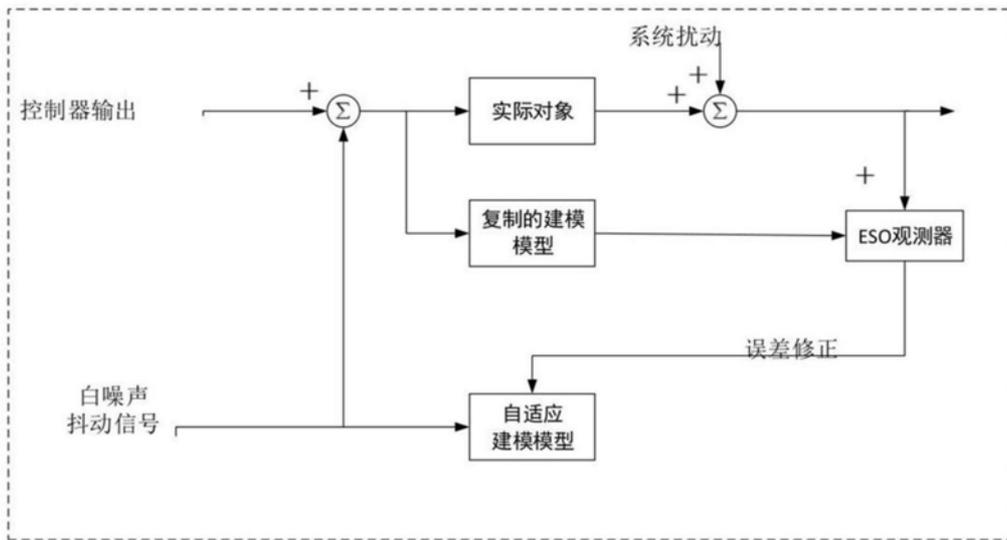


图1

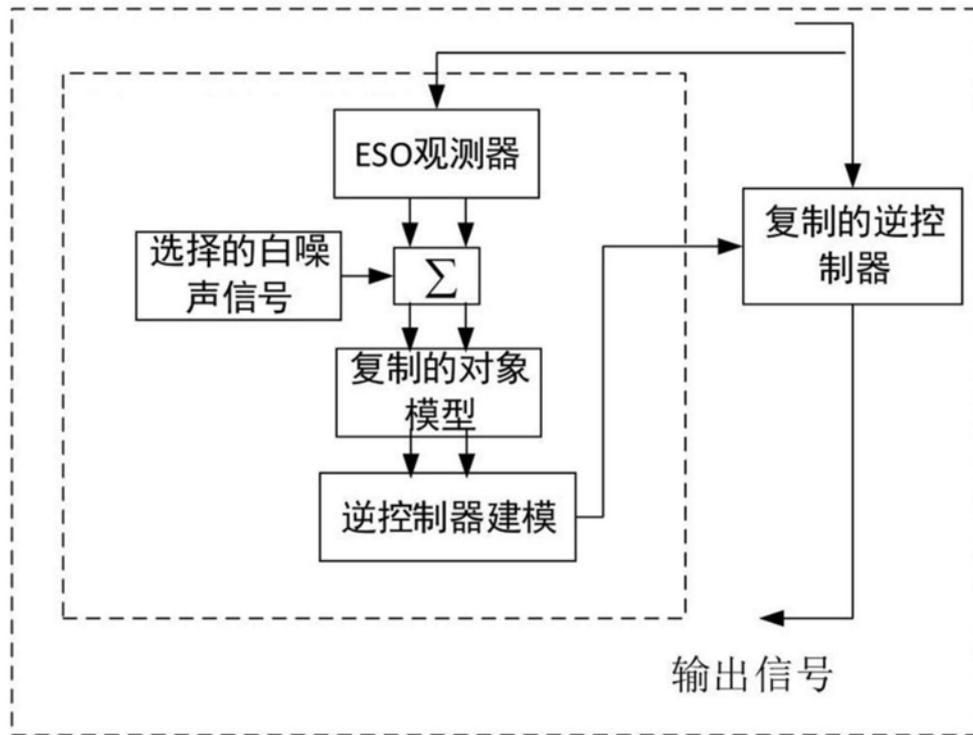


图2

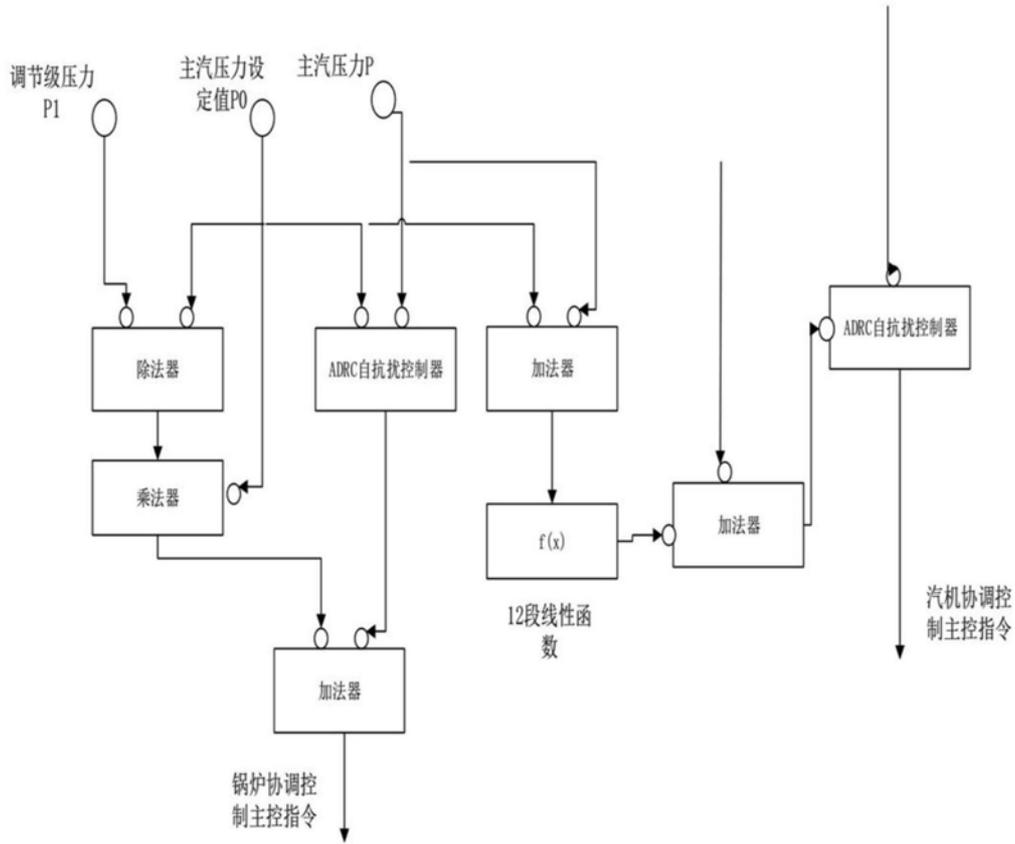


图3

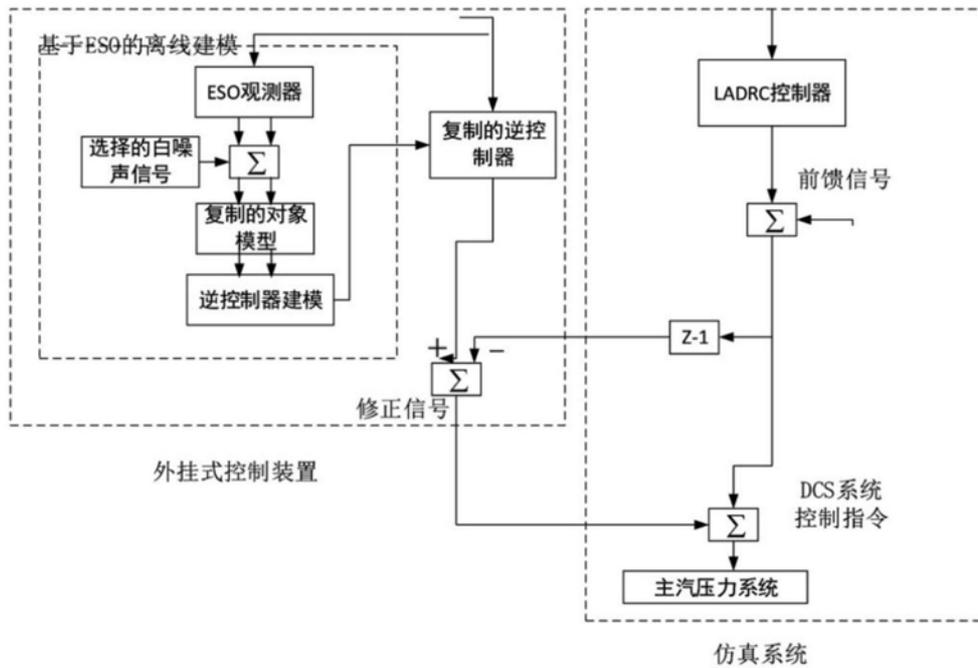


图4

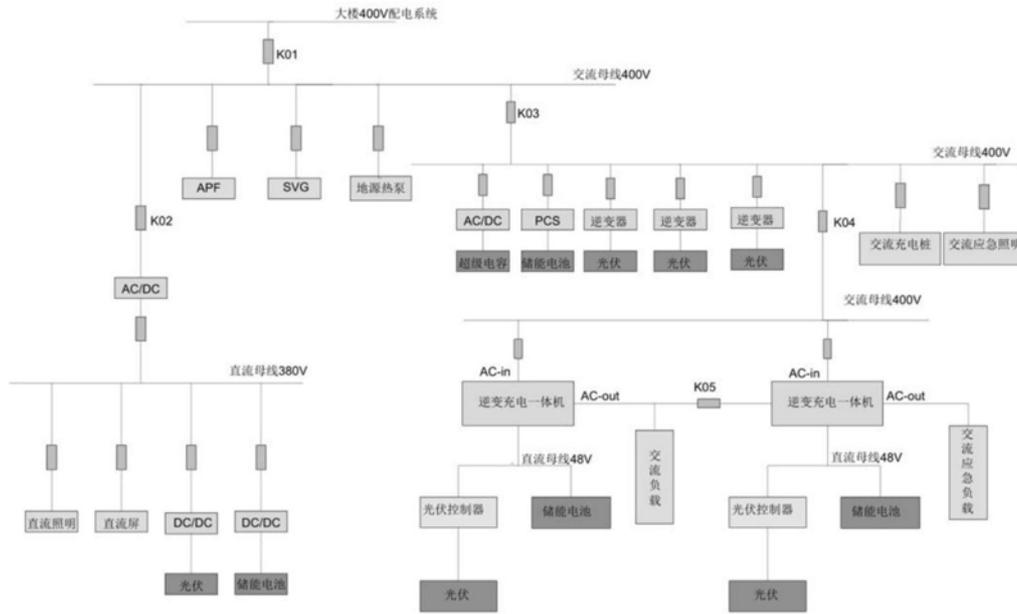


图5

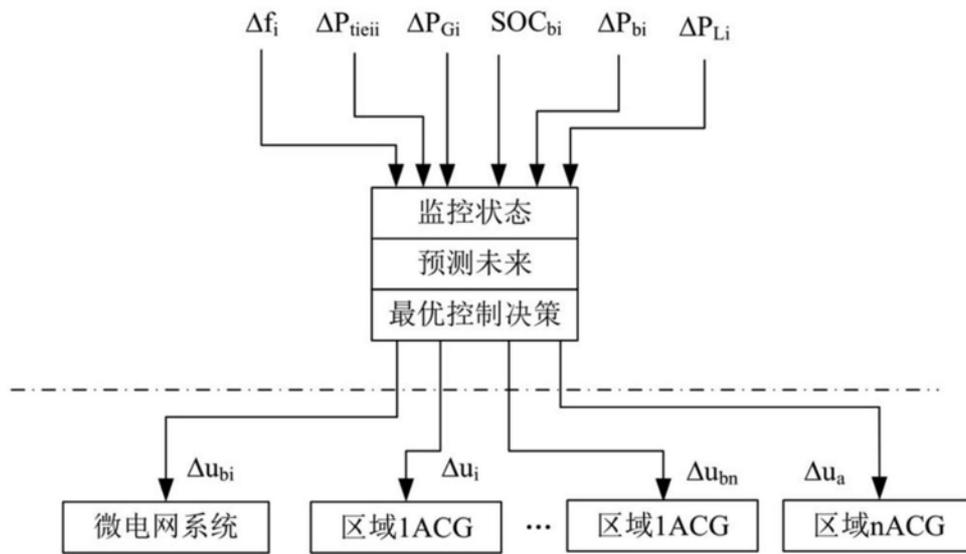


图6

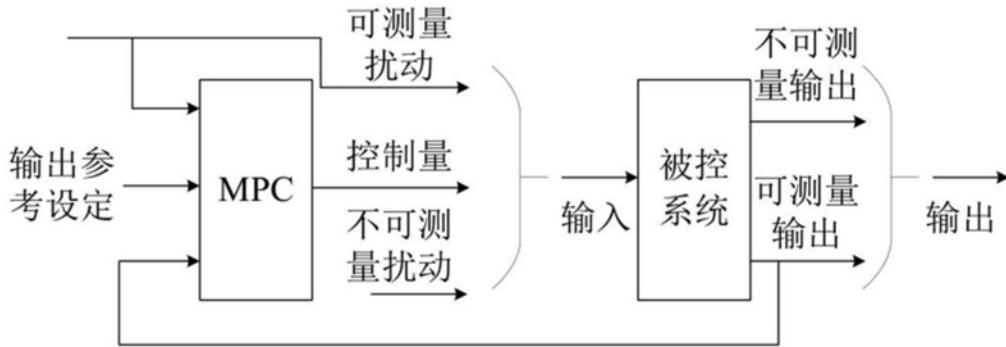


图7

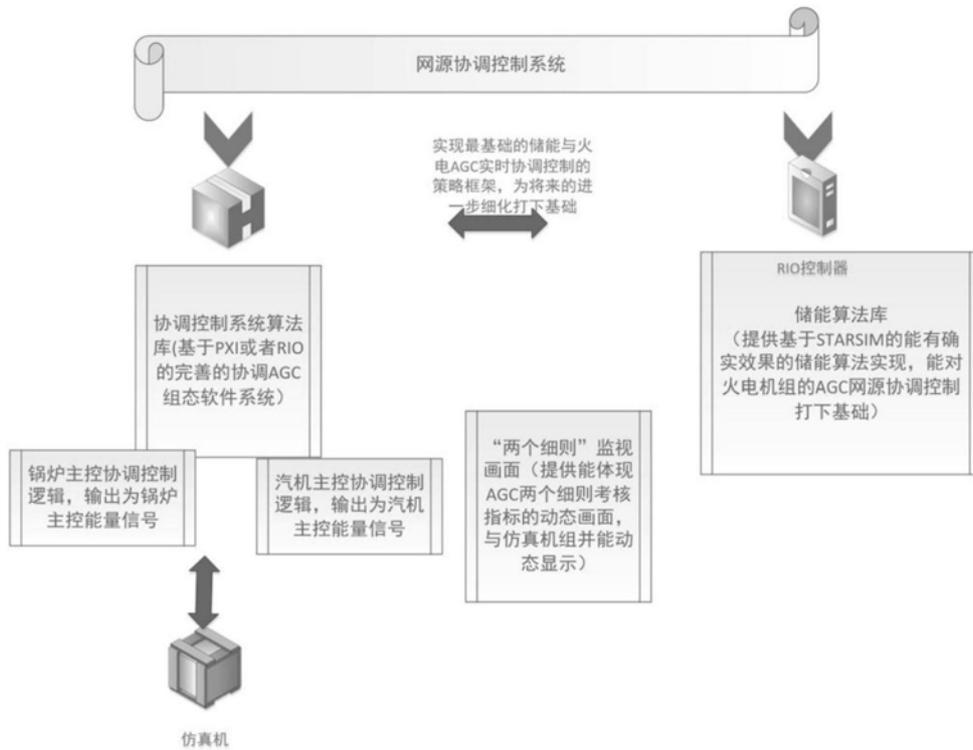


图8

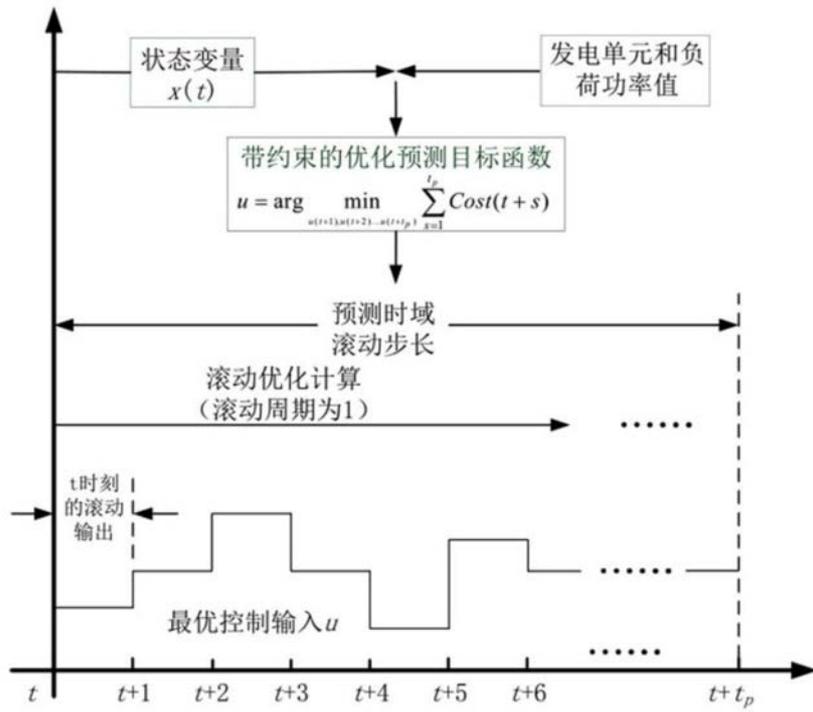


图9

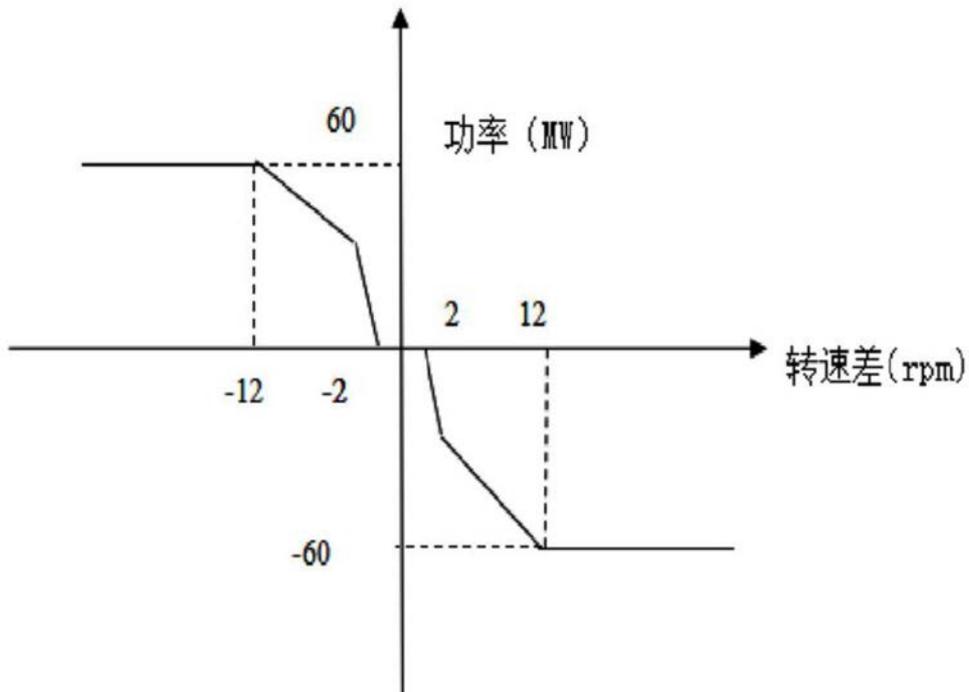


图10

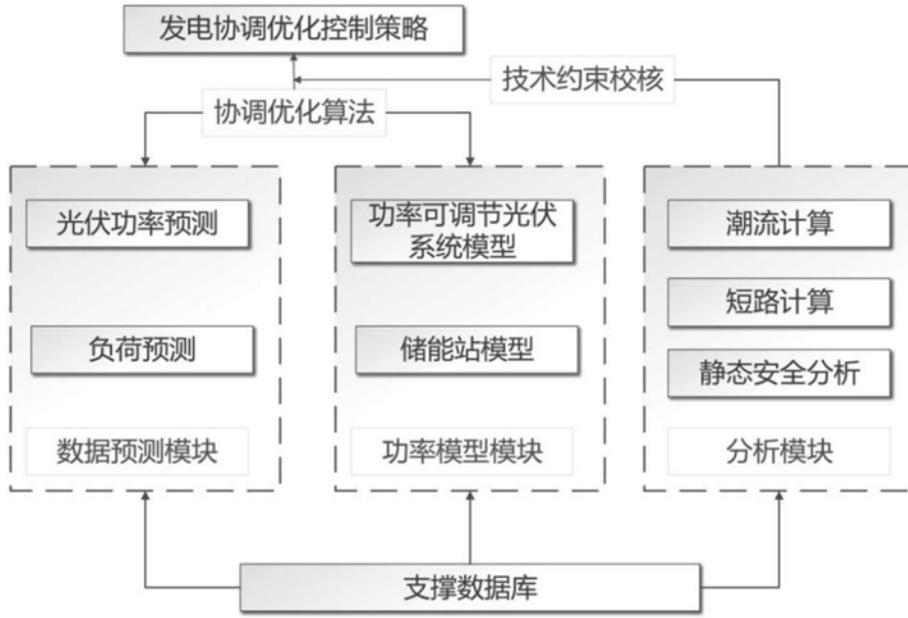


图11

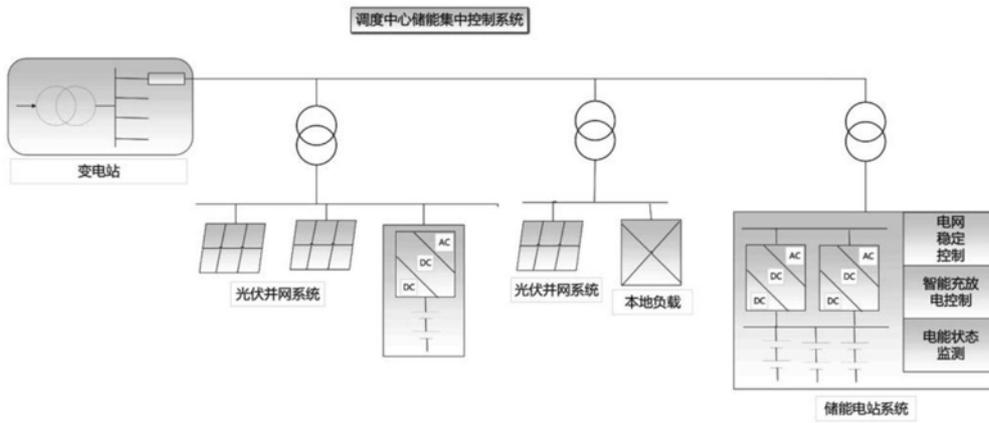


图12



图13

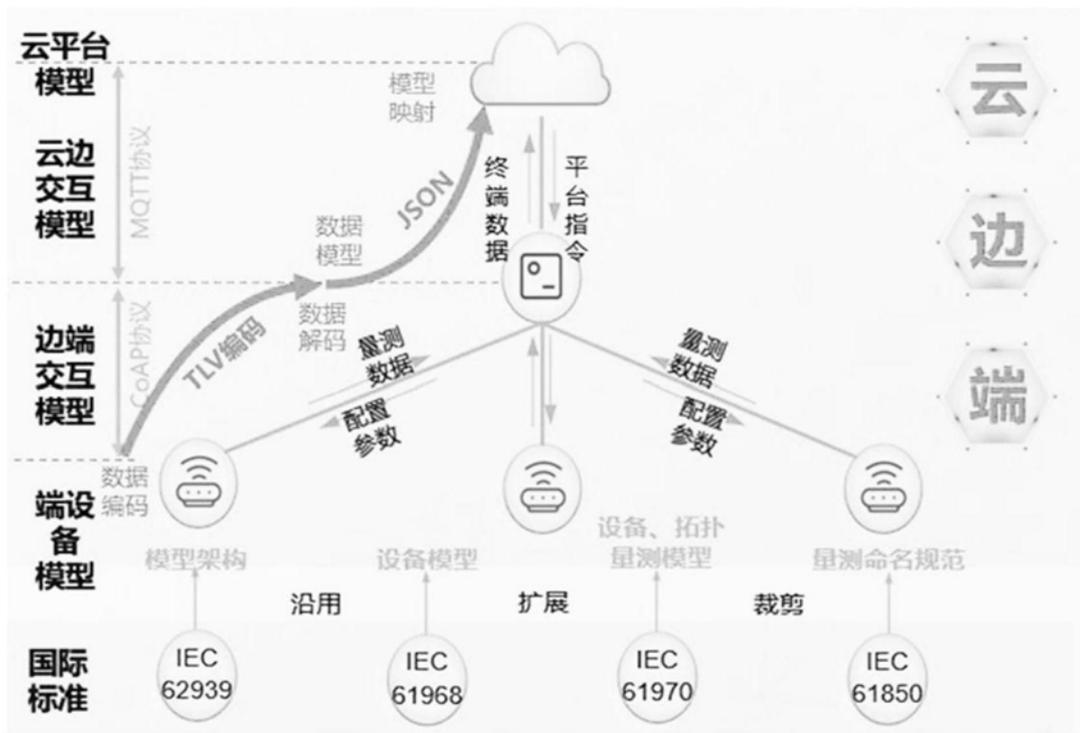


图14

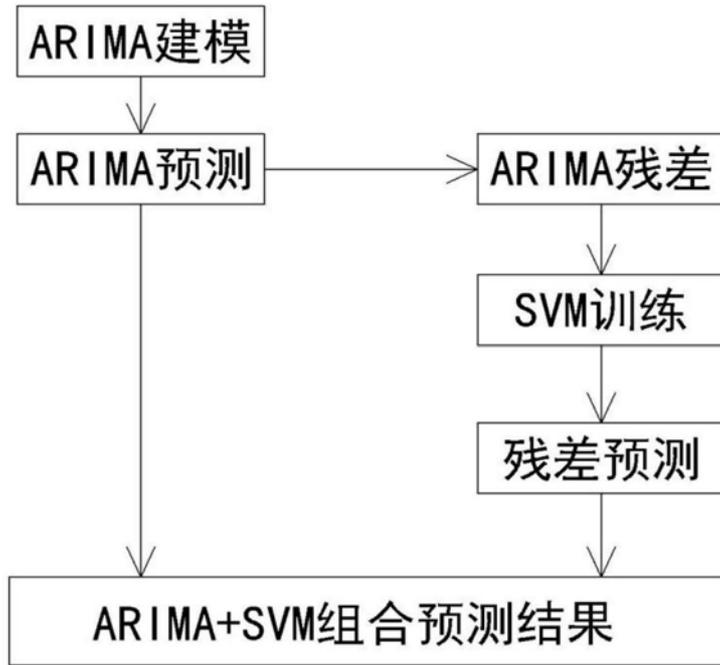


图15

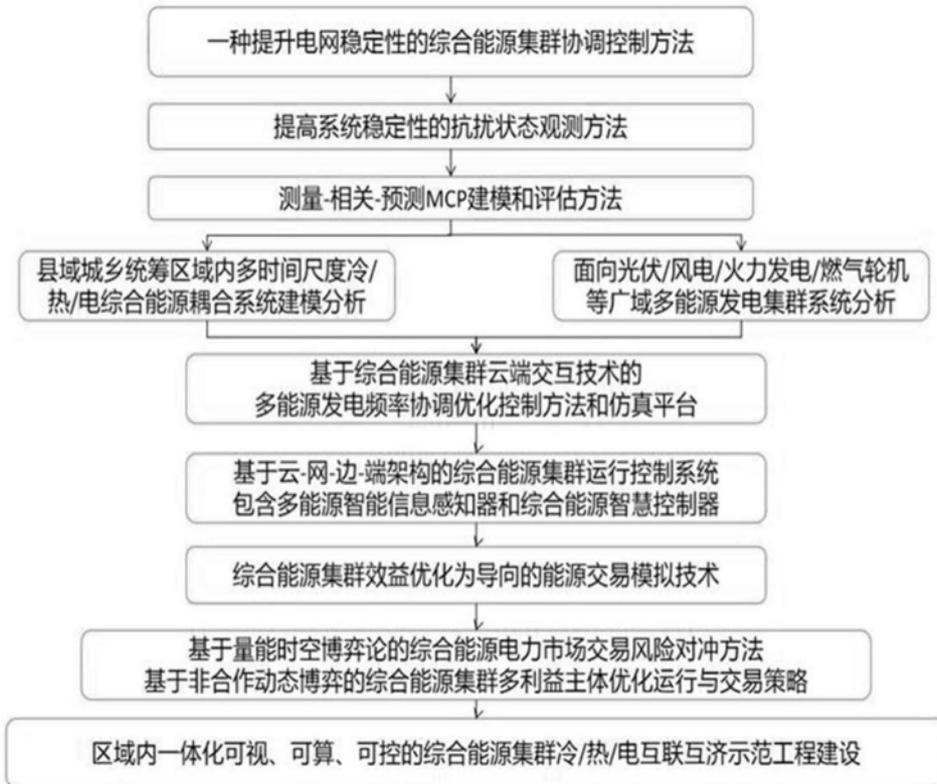


图16