

# 基于一致性算法的新型电力系统边缘集群 分布式经济调度模型

吴任博, 刘淑琴

(山东大学 电气工程学院, 山东 济南 250061)

**摘要:** 随着风电、光伏等可再生能源大量并入新型电力系统配电网,大量分散的风电、光伏等集群呈现出分布式管理和控制方式,使传统集中式的经济调度方法陷入困境。对此,基于传统一致性算法,文章提出了风电、光伏构成的边缘集群分布式经济调度模型。首先,给出了风电、光伏的边缘集群模型及其波动性特性;其次,推导了传统一致性算法及实现经济调度的优化模型;在此基础上,结合风电和光伏边缘集群模型,提出了风电、光伏的边缘集群的一致性经济调度分布式算法;最后,以某实际系统为例,对所提算法模型进行仿真验证。结果显示了所提模型的有效性。

**关键词:** 一致性算法; 边缘集群; 分布式; 经济调度

**中图分类号:** TK51; TK81 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2024)04-0553-08

## 0 引言

在“双碳”目标驱使下,风光等可再生能源以集群形式高比例分散并入新型电力系统配电网。而风电集群、光伏发电集群以及传统火力发电的数据采集、管理、控制命令都是分散、独立管控的,使传统集中式的经济调度方法面临困境<sup>[1,2]</sup>。

为了有效解决该问题,分散协调的经济调度方法成为了国内外研究的热点。文献[3]针对能源互联网多区域互联分散协同经济调度中的不确定风险,提出了考虑以市场公开公平环境的节点电价为核心的分散协同经济调度方法。文献[4]提出了采用交替方向乘子法求解互联微电网的分布式优化调度方法。文献[5,6]基于目标级联法解决不确定性因素环境下的风电互联电网分散优化调度问题。文献[7,8]将跨区电力系统可消纳的风电区间与自动发电控制机组的参与因子作为优化共同体,使用放射可调节鲁棒优化方法对并行区间进行分散求解。文献[9-11]考虑了可再生能源的下垂控制,基于交替方向乘子法对各个变量进行同步迭代求解,可实现每台分布式能源有功的最优值。文献[12-15]考虑了碳排放量和需求侧交易机制,利用同步交替方向乘子法进行能源互联网求

解。文献[16,17]针对传统交替方向乘子法、拉格朗日系数法、分层法需要协调中心的不足,提出了一致性分散式方法求解智能电网和配电网经济调度。

总体而言,上述方法仅针对少数几个分散的区域电网、配电网、微电网或者集群进行分散协调经济调度,缺乏大型互联集群配电网分散优化的验证,不符合实际电力系统中高比例分散的风电、光伏集群分散协调的情况。对此,在传统一致性基础上,本文提出了考虑风电和光伏发电集群的改进优化分布式经济调度算法。

## 1 边缘集群分布式经济调度总体解决方案

传统集中式经济调度的思路是在配电网控制中心收集电网的信息,包括所有机组、线路、负荷等信息,然后经过集中式经济调度计算获得各个机组的发电功率并下发至各个机组。这种计算在电网规模较小、以火力发电为主的集中式管理构架下是可行的。

然而,随着高比例风电、光伏发电以集群形式分散并入电力系统配电网,在各种可再生能源的分散管理框架下,采用集中式经济调度不能顾及可再生能源发电的分散信息管理及其波动性等规

收稿日期: 2023-12-23。

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFB200100)。

作者简介: 吴任博(1983-),男,博士研究生,高级工程师,研究方向为中低压配电网调度运行控制、分析和管理工作。

E-mail: 15876510818@163.com

通信作者: 刘淑琴(1958-),女,教授,博士生导师,研究方向为电能质量分析与控制、磁悬浮技术。

律,加之调度中心距离机组等设备较远,实时性计算效率较低,无法满足新型电力系统经济调度的需求。

边缘计算是在机组、元器件等设备端部署具有计算能力的服务器,针对设备需求进行的快速计算及任务协调。

为了实现配电网中的风电场集群、光伏电站集群、火电厂集群、水电站集群、微电网集群以及虚拟电厂集群等的分布式经济调度,提高调度控制的效率,按照边缘计算的构架,以靠近风电场集群、光伏电站集群、火电厂集群、水电站集群、微电网集群以及虚拟电厂集群的边缘计算为分散计算单元,每一个单元边缘计算服务器作为一个智能代理 Agent。相邻 Agent 之间可以通过 5G 光纤通信,不计通信延迟和丢包等问题,形成以 Agent 为智能单元管理的数据采集、数据处理、状态估计、数据存储与外部单元共享策略、调度命令下发与协调、控制命令下发与协调等分布式局部自治和邻居协调平台,也称为边缘智能分布式经济调度平台。

该平台满足智能边缘分布式计算、数据存储转发、潮流计算、经济调度、输电安全、电力市场、需求侧管理等功能和即插即用智能化水平扩展。该平台的总体架构如图 1 所示。

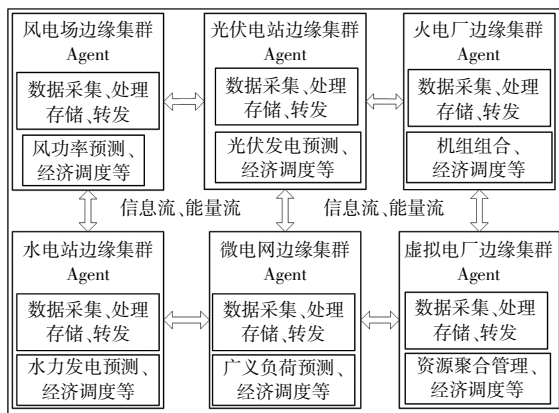


图 1 边缘智能分布式经济调度总体架构

Fig.1 Overall architecture of edge intelligent distributed economic dispatch

图 1 中双向箭头表示相邻 Agent 可以实现信息流和能量流之间的协调,即数据和功能之间的多次交互,以实现修正或补充。

由图 1 可见,在电力市场以及经济调度过程中,该总体架构平台具有高效性、隐私保密性等优

点,即对于某一集群内部来说,经济调度的成本、节点价格等利益隐私对外保密,如图 2 所示。

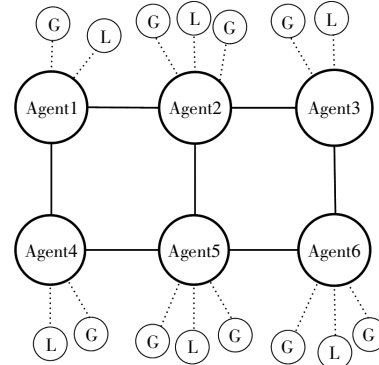


图 2 经济调度私密性结构

Fig.2 Economic dispatch privacy structure diagram

图 2 中: Agent1~Agent6 分别为图 1 配电网中的风电场边缘集群、光伏电站边缘集群、火电厂边缘集群、水电站边缘集群、微电网边缘集群、虚拟电厂边缘集群智能代理; 实线表示邻居之间可以互相协调; 虚线表示只能与集群内部通信,不能与外部通信; 符号 G 表示发电机组(含风力发电机组、光伏电站、火电机组、水电机组等); L 表示负荷。

## 2 配电网分布式经济调度模型

### 2.1 传统配电网集中式经济调度模型

传统配电网集中式经济调度的核心是使全电网的机组边际成本相等。下面对该过程进行推导,获得分布式经济调度模型。

设系统中发电机组的成本函数为二次形式:

$$C_i = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (1)$$

式中:  $C_i$  为机组  $i$  的成本函数,一般是二次函数形式;  $a_i, b_i, c_i$  分别为成本函数的二次项系数、一次项系数、常数项系数;  $P_i$  为机组  $i$  的有功功率。

建立系统的经济调度模型为

$$\begin{cases} F = \min \sum_{i=1}^{N_G} C_i = \min \sum_{i=1}^{N_G} (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i) \\ \text{s.t. } P_D = \sum_{i=1}^{N_G} P_i \\ P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $P_i^{\max}, P_i^{\min}$  分别为机组  $i$  有功出力的最大、最小值;  $N_G$  为发电机总数;  $P_D$  为系统负荷总量。

为了求解式(2)的最小值,建立其拉格朗日最

优值函数:

$$L = \sum_{i=1}^{N_c} (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i) + \lambda \left( P_D - \sum_{i=1}^{N_c} P_i \right) \quad (3)$$

式中:  $\lambda$  为拉格朗日乘子。

对式(3)求解偏导数,获得最优解条件为

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = 2a_i P_i + b_i - \lambda = 0 \quad (4)$$

由式(4)可见,若要获得系统最优解,则应使机组  $i$  的有功功率为

$$P_i = \frac{\lambda - b_i}{2a_i} \quad (5)$$

结合系统总负荷需求与所有机组发电功率相等的条件,可得:

$$P_D = \sum_{i=1}^{N_c} P_i = \sum_{i=1}^{N_c} \frac{\lambda - b_i}{2a_i} = \frac{\lambda - b_1}{2a_1} + \frac{\lambda - b_2}{2a_2} + \dots + \frac{\lambda - b_{N_c}}{2a_{N_c}} = \lambda \sum_{i=1}^{N_c} \frac{1}{2a_i} - \sum_{i=1}^{N_c} \frac{b_i}{2a_i} \quad (6)$$

由式(6)可得:

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{N_c} \frac{b_i}{2a_i}}{\sum_{i=1}^{N_c} \frac{1}{2a_i}} \quad (7)$$

将式(7)代入式(5)中得到:

$$P_i^* = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{N_c} \frac{b_i}{2a_i} - b_i}{2a_i} = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{N_c} \frac{b_i}{2a_i}}{\frac{1}{2a_i} \sum_{i=1}^{N_c} \frac{1}{2a_i}} - \frac{b_i}{2a_i} \quad (8)$$

式中:  $P_i^*$  为机组的最优值。

由式(7),(8)可以获得系统中每个机组的最优值。若计算得到的  $P_i^*$  超过了上下限,则将其作为负荷,并将机组数量减少 1,采用式(6)~(8)继续进行计算,获得新的最优值。

## 2.2 配电网集中式经济调度的迭代求解方法

由式(4)可见,系统中任何一个机组的边际成本相同,即保持任何节点的边际成本一致性就是最优解。下面给出一致性基本原理,并推导得到分布式经济调度模型。

式(3)可以采用迭代求解的方式进行,设  $x = [P_1 \ P_2 \ \dots \ P_{N_c} \ \lambda]$  为待求量,迭代求解式(3)可以表

示为

$$\nabla L = \Omega \begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \dots \\ \Delta P_{N_c} \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中:  $\nabla L$  为对式(3)中的待求量  $x$  求偏导;  $\Omega$  为海森矩阵,即对式(3)求偏导的元素;  $\Delta P_i (i=1, 2, \dots, N_c)$  为机组  $i$  的有功功率偏差量;  $\Delta \lambda$  为  $\lambda$  的偏差量。

求解式(9)采用线性迭代的方式,首先给定各个机组初始值,例如设  $x_0 = [P_1(0) \ P_2(0) \ \dots \ P_{N_c}(0) \ \lambda_0]$  为待求量,第一次迭代计算中式(9)各项为

$$\nabla L |_{x_0} = \begin{bmatrix} \frac{dC_1}{dP_1} - \lambda \\ \frac{dC_2}{dP_2} - \lambda \\ \dots \\ \frac{dC_{N_c}}{dP_{N_c}} - \lambda \\ P_D - \sum_{i=1}^{N_c} P_i \end{bmatrix} \Big|_{x_0} \quad (10)$$

$$\Omega |_{x_0} = \begin{bmatrix} \frac{d^2 C_1}{dP_1^2} & 0 & \dots & 0 & -1 \\ 0 & \frac{d^2 C_2}{dP_2^2} & \dots & 0 & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{d^2 C_{N_c}}{dP_{N_c}^2} & -1 \\ -1 & -1 & \dots & -1 & 0 \end{bmatrix} \Big|_{x_0} \quad (11)$$

将式(10),(11)代入式(9)中可以求出  $x_0$  处

的  $\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \dots \\ \Delta P_{N_c} \\ \Delta \lambda \end{bmatrix}$ , 并将式(12)的修正量代入式(10),(1

1)中,以此计算出修正量并持续进行迭代计算。

$$\begin{cases} P_i(1) = P_i(0) - \Delta P_i(0) & (i \in [1, N_c]) \\ \lambda_1 = \lambda_0 - \Delta \lambda_0 \end{cases} \quad (12)$$

式中:(1)为迭代 1 次后的对应结果;(0)为对应初始值。

根据式(12),可以得到迭代的通式为

$$\begin{cases} P_i(k+1)=P_i(k)-\Delta P_i(k) & (i \in [1, N_G]) \\ \lambda_{k+1}=\lambda_k-\Delta\lambda_k \end{cases} \quad (13)$$

设置迭代前后两次的待求量是否达到收敛精度,并获得结果。经验证,采用配电网集中式经济调度的迭代求解方法能够得到与传统配电网集中式经济调度方法相同的结果。

### 2.3 配电网集中式经济调度的分布式求解模型

由式(13)可见,经济调度迭代求解的关键是不断获取更新迭代量或偏差量。将式(9)展开得:

$$\begin{bmatrix} \frac{dC_1}{dP_1}-\lambda \\ \frac{dC_2}{dP_2}-\lambda \\ \dots \\ \frac{dC_{N_G}}{dP_{N_G}}-\lambda \\ P_D-\sum_{i=1}^{N_G} P_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{d^2C_1}{dP_1^2} & 0 & \dots & 0 & -1 \\ 0 & \frac{d^2C_2}{dP_2^2} & \dots & 0 & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{d^2C_{N_G}}{dP_{N_G}^2} & -1 \\ -1 & -1 & \dots & -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \dots \\ \Delta P_{N_G} \\ \Delta\lambda \end{bmatrix} \quad (14)$$

由式(14)通过简单的移项,可以获得机组  $i$  的偏差量表达式为

$$\Delta P_i = \frac{\frac{dC_i}{dP_i}-\lambda+\Delta\lambda}{\frac{d^2C_i}{dP_i^2}} \quad (i \in [1, N_G]) \quad (15)$$

同时,由式(14)最后一个方程可得:

$$P_D-\sum_{i=1}^{N_G} P_i = -(\Delta P_1+\Delta P_2+\dots+\Delta P_{N_G}) \quad (16)$$

将式(15)代入式(16)可得:

$$\sum_{i=1}^{N_G} P_i - P_D = \sum_{i=1}^{N_G} \frac{\frac{dC_i}{dP_i}-\lambda+\Delta\lambda}{\frac{d^2C_i}{dP_i^2}} \quad (17)$$

式(17)中仅有未知量  $\lambda-\Delta\lambda$ ,可以求解并表达为

$$\lambda-\Delta\lambda = \frac{\left( \sum_{i=1}^{N_G} \frac{\frac{dC_i}{dP_i}}{\frac{d^2C_i}{dP_i^2}} \right) - \left( \sum_{i=1}^{N_G} P_i - P_D \right)}{\sum_{i=1}^{N_G} \frac{1}{\frac{d^2C_i}{dP_i^2}}} \quad (18)$$

将式(16)代入式(18)中,得:

$$\lambda-\Delta\lambda = \frac{\left( \sum_{i=1}^{N_G} \frac{\frac{dC_i}{dP_i}}{\frac{d^2C_i}{dP_i^2}} \right) - \sum_{i=1}^{N_G} \Delta P_i}{\sum_{i=1}^{N_G} \frac{1}{\frac{d^2C_i}{dP_i^2}}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_G} \frac{1}{\frac{d^2C_i}{dP_i^2}} \left( \frac{dC_i}{dP_i} - \frac{d^2C_i}{dP_i^2} \Delta P_i \right)}{\sum_{i=1}^{N_G} \frac{1}{\frac{d^2C_i}{dP_i^2}}} \quad (19)$$

### 2.4 式(19)的一致性分布式理论证明

传统一致性理论通过智能代理与邻居交互协调达到系统信息一致,并达到系统最优<sup>[18]</sup>。根据式(4),式(7)的传统经济调度推导结果可知,经济调度最优条件是系统各个机组的边际价格相等,即拉格朗日乘子相等,以此作为一致性分布式经济调度的基础。下面给出一致性分布式模型的基本原理,并验证一致性分布式经济调度理论。对于一个拉普拉斯势函数的网络来说,该网络能量是否一致的衡量函数为

$$L_P = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} (x_j - x_i)^2 = 0 \quad (20)$$

式中: $N$ 为网络节点数; $a_{ij}$ 为节点  $i$  与  $j$  之间的权值; $x_i$ 和  $x_j$ 分别为节点  $i$  和  $j$  的状态。

考虑到智能代理通常具有一阶积分动态特性,因此,式(20)通常改写为

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1}^N a_{ij} (x_j - x_i) \quad (21)$$

根据一阶一致性算法的控制规则<sup>[18]</sup>,式(21)

经过多次计算迭代后,系统所有代理状态会更新到一个相同值:

$$x_i^* = \frac{\sum_{j=1}^N m_j x_j(0)}{\sum_{j=1}^N m_j} \quad (i \in [1, N]) \quad (22)$$

式中: $x_i^*$ 为最终收敛值; $N$ 为智能代理总数,即网络节点数; $x_j(0)$ 为代理 $j$ 的初始值; $m_j$ 为系数。

通过对比式(22)和式(19)发现,二者本质上一致,因此式(19)符合一致性算法控制规则,可以予以求解,即将式(19)与式(22)对应为

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{N_c} \frac{1}{\frac{d^2 C_i}{dP_i^2}} = \sum_{j=1}^N m_j \\ x_j(0) = \left( \frac{dC_i}{dP_i} - \frac{d^2 C_i}{dP_i^2} \Delta P_i \right) \end{cases} \quad (23)$$

## 2.5 配电网中风力发电、光伏发电机组的有功出力

新型电力系统配电网中存在风力发电和光伏发电,且都以集群形式接入电网,设每一个集群由一个智能代理管控,如图1,2所示。

对于风力发电来说,超短期有功出力按照预测水平确定未来时刻的经济调度,其有功出力预测模型为

$$P_w = \begin{cases} 0 & (v \leq v_{ci}) \\ \frac{P_r}{v_r - v_{ci}} v - \frac{P_r v_{ci}}{v_r - v_{ci}} & (v_{ci} < v \leq v_r) \\ P_r & (v_r < v \leq v_{co}) \\ 0 & (v > v_{co}) \end{cases} \quad (24)$$

式中: $P_w$ 为风电场集群有功出力,风电场集群由若干个机组构成,风机设备型号相同; $P_r$ 为风机额定有功功率; $v$ 为风电场风速; $v_{ci}$ , $v_{co}$ , $v_r$ 分别为风机切入、切出、额定风速。

对于光伏发电来说,光伏电站由多个组件串并联构成,其发出的有功功率受环境影响,如太阳光辐照度、温度、反射率等,有功功率超短期预测值可以表达为

$$\begin{cases} \dot{I}(R+j\omega L)+\dot{V} = \frac{1}{\sqrt{2}}(kV_{dc}\angle\varphi) \\ P_{PV} = \frac{U_{dc}U}{X} \sin\delta \end{cases} \quad (25)$$

式中: $\dot{I}$ 和 $\dot{V}$ 分别为光伏发电集群并网处的交流电

流相量和电压相量; $k=1.38 \times 10^{-23}$ 为光伏集群发电的玻尔兹曼常数; $V_{dc}$ 为光伏发电集群输出直流电压; $\varphi$ 为光伏发电集群直流接入交流的逆变器相角; $U_{dc}$ 为逆变器的输出电压; $U$ 为接入电网公共点的电压幅值; $\delta$ 为二者电压的相位差。

按照式(25)的电流相量和电压相量,可以获取光伏并网的有功功率,该功率是任意太阳辐照度和环境温度情况下给出的,光伏发电集群智能Agent能够感知该参数及其输出功率范围,因此可以作为机组有功参与电网分布式调度。

同理,微电网边缘集群、虚拟电厂边缘集群采用相同的智能Agent计算方法,即整体有功出力采用式(24)和式(25)的叠加形式。

## 2.6 一致性分布式求解流程

①初始化各个机组值并初始化各个机组的成本函数系数。

$$\begin{bmatrix} P_1(0) \\ P_2(0) \\ \dots \\ P_{N_c}(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (26)$$

②按照式(19)计算 $\lambda-\Delta\lambda$ 。

③按照式(15)计算各个机组的有功偏差 $\Delta P_i$ ,并计算机组的有功 $P_i-\Delta P_i$ ,检查此时机组有功出力是否在正常运行限值内。

④设置迭代过程中前后两次机组有功出力偏差误差 $\varepsilon=0.0001$ (该数值代表比较小的一个正数),若小于该误差,认为收敛;否则转向步骤②继续迭代计算。

## 3 算例分析

本文采用两个算例对所提出的边缘集群分布式经济调度算法进行验证,其中,算例1采用某实际新型电力系统配电网,算例2采用IEEE14节点系统。采用MATLAB软件对所提方法进行程序设计。

### 3.1 算例1

采用如图3所示的某实际电力系统配电网对所提的边缘集群分布式经济调度算法进行检验。

图3中共包含5个节点,每个节点代表一个集群,其中,节点1表示传统火电厂集群,节点2表示风电场集群,节点3表示光伏电站集群,节点

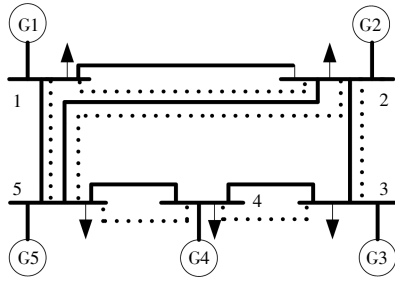


图3 某实际电力系统结构

Fig.3 The structure of some power system

4 表示微电网集群,节点 5 表示虚拟电厂集群。每个集群由一个整体智能 Agent 表示,内部包含发电机和负荷,发电机表示该集群内所有发电机的总和,其与外部邻居交换信息,负荷表示该集群内所有负荷之和。

图3中:虚线表示通信线路,仅能实现邻居之间的通信;实线表示电力线路。

各个节点集群的负荷总量为  $P_{D1}=35$  MW,  $P_{D2}=20$  MW,  $P_{D3}=25$  MW,  $P_{D4}=30$  MW,  $P_{D5}=10$  MW。各个集群发电机成本函数参考文献[19]。

按照本文所提方法,即式(19)进行迭代计算,可以得到各个集群节点的拉格朗日乘子,如图4所示。

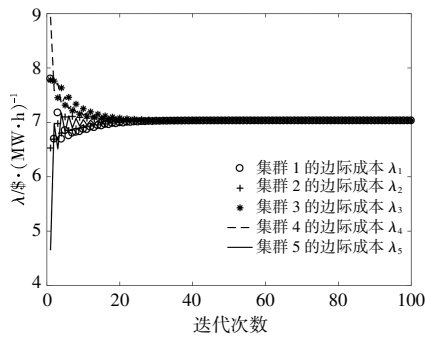


图4 系统5个拉格朗日乘子迭代计算数值

Fig.4 Iterative calculation values of 5 Lagrangian multipliers in the system

由图4可见,5个集群的拉格朗日乘子初始值差异较大,随着迭代计算的进行,在第35次迭代时,5个拉格朗日乘子达到了一致,结果为7.0412,与采用传统集中式经济调度计算的结果一致。

根据图4结果求解各个集群发电机的有功输出,结果如图5所示。

采用传统集中式经济调度与本文分布式经济调度两种方法的计算结果对比如表1所示。

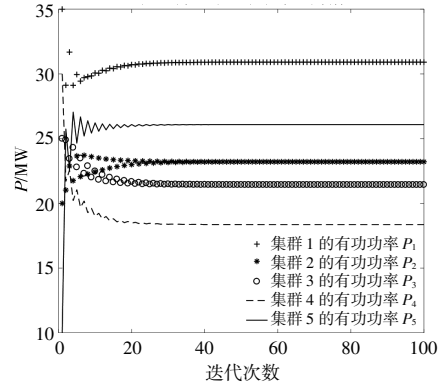


图5 5个集群发电机有功功率迭代计算数值

Fig.5 Iterative calculation values of active power for 5 cluster generators

表1 本文方法与传统集中式经济调度结果对比  
Table 1 Comparison of the results of this article's method with traditional centralized economic dispatch

集群发电机有功功率	传统集中式	本文方法
$P_1$	31.012	31.012
$P_2$	24.157	24.157
$P_3$	20.354	20.354
$P_4$	19.762	19.762
$P_5$	25.484	25.484

由表1可见,对于各个发电机组的有功功率,本文所提方法能够与传统集中式经济调度保持一致。

### 3.2 算例2

为了进一步验证本文所提方法的有效性,采用如图6所示的IEEE14节点系统进行仿真。

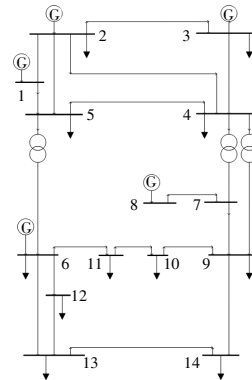


图6 IEEE14电网结构

Fig.6 The structure of IEEE14

图6中共包含了14个节点,其中,5个为发电机节点,其余为负荷节点。负荷节点采用某实际电力系统中的负荷数据,每个发电机表示一个集群,其成本函数采用matpower6中的成本。

采用式(19)进行迭代计算,14个节点的拉格朗日乘子的迭代过程如图7所示,集群发电机有功功率迭代过程如图8所示。

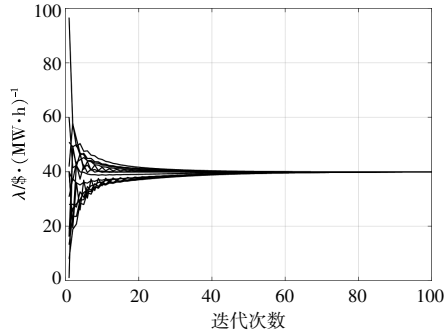


图7 IEEE14节点系统的拉格朗日乘子迭代过程  
Fig.7 Iteration process of Lagrange multiplier values for IEEE14 node systems

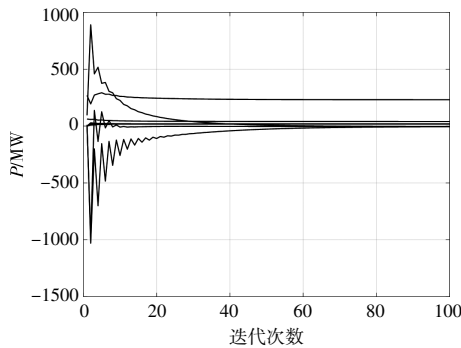


图8 14个集群发电机有功功率迭代过程  
Fig.8 Iterative process of active power for 14 cluster generators

按式(13)可得各个机组的有功功率与传统集中式比较结果,如表2所示。

表2 传统集中式经济调度与本文分布式方法对比结果  
Table 2 Comparison results between traditional centralized economic dispatch and distributed methods in this paper

集群发电机有功功率	传统集中式	本文方法
$P_1$	205.551	205.551
$P_2$	37.645	37.645
$P_3$	17.358	17.358
$P_4$	17.358	17.358
$P_5$	17.358	17.358

由表2可见,采用本文所提方法得到的结果与传统集中式方法相同。

#### 4 结论

针对新型电力系统中可再生能源分散并入电网,导致传统集中式经济调度无法实现的问题,本文引入分散式可再生能源集群理念,并在边缘计

算框架下采用智能代理进行分布式经济调度计算。通过实际系统的仿真算例表明:采用分布式经济调度方法能够获得与传统集中式经济调度相同的结果;采用边缘计算理论能够有效管控本地集群调度方式,简化分析计算。

#### 参考文献:

- [1] 罗毅,张岩.基于预测变异多目标粒子群算法的风光-抽水蓄能系统日前调度[J].可再生能源,2023,41(11):1484-1490.
- [2] 谢旭,张哲,喻乐,等.基于深度强化学习的微电网内多侧储能协同调度方法[J].可再生能源,2023,41(10):1408-1413.
- [3] 吴洋,苏承国,郭超雨,等.考虑风电出力不确定性的风电-抽水蓄能互补系统短期优化调度[J].可再生能源,2023,41(9):1222-1231.
- [4] 郑冉,夏彦辉,赵学茂,等.基于云-边-端协同控制的综合性虚拟电厂[J].电气技术,2023,24(9):40-48.
- [5] 于仲安,马静瑶.含风电耦合制氢的主从博弈多区域综合能源系统协调调度策略[J].电气技术,2023,24(7):1-10.
- [6] 卢恒光,范欣辰.考虑环境效益的微电网经济功率优化[J].电气技术,2022,23(11):56-61.
- [7] Ding T,Li C,Yang Y,et al.A two-stage robust optimization for centralized-optimal dispatch of photovoltaic inverters inactive distribution networks[J].IEEETransactionson Sustainable Energy,2017,8(2):744-754.
- [8] 翟俊义,周明,李庚银,等.考虑可消纳风电区间的多区电力系统分散协调鲁棒调度方法[J].电网技术,2018,42(3):747-745.
- [9] 夏世威,邹唯薇,张茜,等.基于交替方向乘子法的电力系统分散式经济调度[J].电力系统自动化,2019,43(6):100-106.
- [10] 董雷,龚成尧,陈乃仕,等.基于交替方向乘子法的主配电网分布式多目标优化调度[J].电力建设,2017,38(4):41-49.
- [11] 任建文,陈兴沛,张青青,等.基于交替方向乘子法的互联系统经济调度模型[J].华北电力大学学报,2020,47(1):9-16.
- [12] 税月,刘俊勇,高红均,等.考虑风电不确定性的电气能源系统两阶段分布鲁棒协同调度[J].电力系统自动化,2018,42(13):43-50,75.
- [13] 魏震波,魏平桢,郭毅,等.考虑需求侧管理和碳交易的电-气互联网络分散式低碳经济调度[J].高电压技术,2021,47(1):33-47.

- [14] 秦婷,刘怀东,王锦桥,等.基于碳交易的电-热-气综合能源系统低碳经济调度[J].电力系统自动化,2018,42(14):8-13,22.
- [15] 廖扬,蔡帜,邵佳扬,等.多区互联综合能源系统分散协调低碳经济调度[J].高电压技术,2023,49(1):138-146.
- [16] 边晓燕,孙明琦,赵健,等.基于一致性算法的源-荷协同分布式优化调控策略[J].中国电机工程学报,2021,41(4):1334-1347.
- [17] Wushun Chen, Tao Li. Distributed Economic dispatch for energy internet based on multiagent consensus control [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2023, 66(1): 137-152.
- [18] 吕朋蓬,赵晋泉,李端超,等.基于信息物理系统的孤岛微网实时调度的一致性协同算法[J].中国电机工程学报 2016,36(6):1471-1480.
- [19] Wang Rui, Li Qiqiang, Zhang Bingying, et al. Distributed consensus based algorithm for economic dispatch in a microgrid [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2019, 10(4): 3630-3640.

## A new distributed economic dispatching model for power system edge clusters based on consistency algorithm

Wu Renbo, Liu Shuqin

(School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

**Abstract:** With the large-scale integration of renewable energy such as wind power and photovoltaics into the new power system distribution network, the traditional centralized economic dispatch method is facing difficulties due to the distributed management and control mode presented by a large number of scattered clusters of wind power and photovoltaics. Based on traditional consistency algorithms, a distributed economic dispatch model for edge clusters composed of wind and photovoltaic power is proposed. Firstly, the edge cluster models of wind and photovoltaic power and their volatility characteristics are presented; Secondly, traditional consistency algorithms and optimization models for implementing economic scheduling were derived; Thirdly, based on this, a consistent economic dispatch distributed algorithm for wind and photovoltaic edge clusters is proposed by combining the wind and photovoltaic edge cluster models; Fourthly, taking a practical system as an example, the proposed algorithm model was simulated and verified, and the results showed the effectiveness of the proposed model.

**Keywords:** consistency algorithm; edge cluster; distributed; economic dispatch