



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113256446 B

(45) 授权公告日 2021.10.15

(21) 申请号 202110597179.3

G06Q 10/06 (2012.01)

(22) 申请日 2021.05.31

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 110929948 A, 2020.03.27

申请公布号 CN 113256446 A

CN 105140917 A, 2015.12.09

(43) 申请公布日 2021.08.13

CN 112734116 A, 2021.04.30

(73) 专利权人 华南理工大学

审查员 韩慧

地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381号

(72) 发明人 周钱雨凡 纪超 杨苹

(74) 专利代理机构 广州科峻专利代理事务所
(普通合伙) 44445

代理人 唐海斐

(51) Int. Cl.

G06F 17/00 (2019.01)

G06Q 50/06 (2012.01)

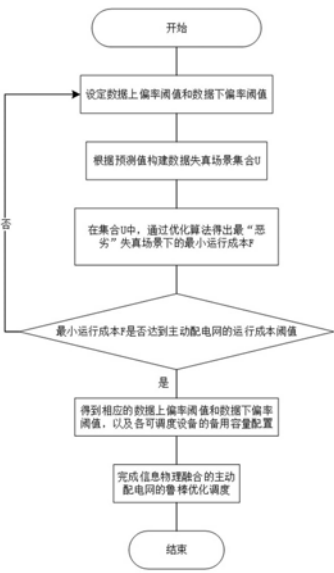
权利要求书4页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法

(57) 摘要

本发明属于配电网调度领域,具体公开了一种考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法。本发明技术方案能够考虑数据缺失的场景,通过对配电网的优化调度提高其鲁棒性的同时保证其稳定经济运行。该方法基于信息物理融合的主动配电网的特性,定量构建因信息不完全而导致的数据偏差场景描述集合,在保证信息物理融合的配电网系统稳定运行的前提下,通过优化算法计算并调整该系统所能接纳的数据缺失的程度,有效提高信息物理融合的配电网系统对于各种不确定因素的鲁棒性,同时最大限度实现配电网运行成本最小化。



1. 一种考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法,其特征在于:基于信息物理融合的配电网的特性,定量构建因信息不完全而导致的数据偏差场景描述集合,通过优化算法调整信息物理融合的配电网系统对于数据缺失的接受范围,提高系统对于配电网中不确定性因素的鲁棒性,同时保证配电网运行成本最小化且在限度内;具体包括以下步骤:

S1. 针对信息物理融合的配电网系统的每个可调度设备,设定数据上偏率的阈值 $\overline{u}_i$ 和数据下偏率的阈值 $\underline{u}_i$,数据下偏率的阈值到数据上偏率的阈值的范围表示配电网中的可调度设备对于数据偏差的接受范围;以 t 时刻下各可调度设备预测出力 $P_{s,t}^0$ 为基准,构建描述 t 时刻下信息物理融合的配电网因信息不完全而导致的数据偏差场景描述集合 U ;

S2. 根据配电网信息不完全的数据偏差场景描述集合 U 中的场景,计算该集合中最“恶劣”场景下配电网的备用容量配置,保证配电网稳定运行的同时使得配电网的运行成本最小;

S3. 调整数据上偏率的阈值 $\overline{u}_i$ 和数据下偏率的阈值 $\underline{u}_i$,重复步骤S2计算最小的配电网的运行成本 F ,直至 F 达到配电网运行成本的阈值 C^{max} ;

所述步骤S2中的最“恶劣”场景为所有配电网中所有信息节点的数据均发生上偏或下偏的场景;

步骤S1中 t 时刻下的信息物理融合的配电网因信息不完全而导致的数据偏差场景描述集合 U 表示如下:

$$D_{i,t}^e = D_{i,t}^0 (1 + Z_i^+ \alpha_{i,t} \overline{u}_i - Z_i^- \beta_{i,t} \underline{u}_i)$$

$$\sum_{i=1}^{N_i} (Z_i^+ + Z_i^-) \leq n$$

式中, $D_{i,t}^e$ 表示 t 时刻下信息物理融合的配电网各类发电单元及可控负荷对配电网的注入功率偏差值; $D_{i,t}^0$ 表示 t 时刻下信息物理融合的配电网各类发电单元及可控负荷对配电网的注入功率预测值; Z_i^+ 、 Z_i^- 为0-1整数变量,用以表征该节点数据是否存在偏差, $Z_i^+=1$ 表示存在上偏, $Z_i^+=0$ 表示不存在上偏; $Z_i^-=1$ 表示存在下偏, $Z_i^-=0$ 表示不存在下偏,且满足以下公式:

$$Z_i^+ Z_i^- = 0$$

$\overline{u}_i$ 为可调度设备 i 数据上偏率的阈值; $\underline{u}_i$ 为可调度设备 i 数据下偏率的阈值; N_i 为含各类可调度设备的节点数量; n 为配电网中节点数量; $\alpha_{i,t}$ 为 t 时刻下可调度设备 i 的数据上偏系数; $\beta_{i,t}$ 为 t 时刻下可调度设备 i 的数据下偏系数, $\alpha_{i,t}$ 、 $\beta_{i,t}$ 均为随机数且满足以下公式:

$$0 < \alpha_{i,t} \leq 1, 0 < \beta_{i,t} \leq 1。$$

2. 根据权利要求1所述的考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法, 其特征在于: 步骤S2中的备用容量包括以下约束:

(1) 配电网的火电机组及分布式电源设备出力与备用容量约束为:

$$P_{s,t}^0 + R_s^+ \leq \overline{P_s}$$

$$P_{s,t}^0 - R_s^- \leq \underline{P_s}$$

$$0 \leq R_s^+ \leq \overline{R_s^+}$$

$$0 \leq R_s^- \leq \overline{R_s^-}$$

$$|\Delta P_{s,t}| \leq R_s^+$$

$$|\Delta P_{s,t}| \leq R_s^-$$

式中, $P_{s,t}^0$ 为 t 时刻机组 s 的出力的预测值; $\overline{P_s}$ 为机组 s 的最大出力值限值; $\underline{P_s}$ 为机组 s 的最小出力限值; R_s^+ 为机组 s 提供的上调度备用容量; R_s^- 为机组 s 提供的下调度备用容量; $\overline{R_s^+}$ 为机组 s 提供的上调度备用容量的最大限值; $\overline{R_s^-}$ 为机组 s 提供的下调度备用容量的最大限值; $\Delta P_{s,t}$ 为 t 时刻机组 s 相对于出力预测值的实际调整容量;

(2) 需求侧备用容量约束为:

$$0 \leq L_{DR,t}^0 \leq \overline{L_{DR}}$$

$$L_{DR,t}^0 + \Delta L_{DR,t} \leq \overline{L_{DR}}$$

式中, $L_{DR,t}^0$ 为 t 时刻需求侧响应的负荷量的预测值; $\overline{L_{DR}}$ 为需求侧响应负荷量的最大限值, 最大限值按该节点处负荷有功功率的20%取值; $\Delta L_{DR,t}$ 为 t 时刻DR负荷相对于参与响应预测值的实际调整容量;

(3) 系统的备用容量的调度需满足:

$$\begin{aligned} & \sum_{s=1}^{N_s} \Delta P_{s,t} + \sum_{DR=1}^{N_{DR}} \Delta L_{DR,t} + R'_t \\ &= P_{net,t} \left(Z_{net}^+ \alpha_{net,t} \overline{u_{net}} - Z_{net}^- \beta_{net,t} \underline{u_{net}} \right) \\ &+ \sum_{s=1}^{N_s} P_{s,t}^0 \left(Z_s^+ \alpha_{s,t} \overline{u_s} - Z_s^- \beta_{s,t} \underline{u_s} \right) \\ &+ \sum_{DR=1}^{N_{DR}} L_{DR,t}^0 \left(Z_{DR}^+ \alpha_{DR,t} \overline{u_{DR}} - Z_{DR}^- \beta_{DR,t} \underline{u_{DR}} \right) \end{aligned}$$

式中, $P_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网的注入功率; Z_{net}^+ 为主网对配电网功率注入节点的

数据上偏状态； $\alpha_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网功率注入节点处的数据上偏系数； $\overline{u_{net}}$ 为主网对配电网功率注入节点处的数据上偏率的阈值； Z_{net}^- 为主网对配电网功率注入节点的数据下偏状态； $\beta_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网功率注入节点处的数据下偏系数； $\underline{u_{net}}$ 为主网对配电网功率注入节点处的数据下偏率的阈值； N_s 为发电侧可调度设备数量； Z_s^+ 为机组 s 所在节点处的数据上偏状态； $\alpha_{s,t}$ 为 t 时刻下机组 s 所在节点处的数据上偏系数； $\overline{u_s}$ 为机组 s 所在节点处的数据上偏率的阈值； Z_s^- 为机组 s 所在节点处的数据下偏状态； $\beta_{s,t}$ 为 t 时刻下机组 s 所在节点处的数据下偏系数； $\underline{u_s}$ 为机组 s 所在节点处的数据下偏率的阈值； N_{DR} 为需求侧参与响应的负荷节点数量； Z_{DR}^+ 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据上偏状态； $\alpha_{DR,t}$ 为 t 时刻下需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据上偏系数； $\overline{u_{DR}}$ 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据上偏率的阈值； Z_{DR}^- 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据下偏状态； $\beta_{DR,t}$ 为 t 时刻下需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据下偏系数； $\underline{u_{DR}}$ 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据下偏率的阈值； $\Delta P_{s,t}$ 为 t 时刻机组 s 相对于出力预测值的实际调整容量； $\Delta L_{DR,t}$ 为 t 时刻DR负荷相对于参与响应预测值的实际调整容量； R'_t 为 t 时刻系统备用容量的不足量。

3. 根据权利要求2所述的考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法，其特征在于：步骤S2中 t 时刻下配电网的稳定运行需满足以下约束：

a. 配电网的功率平衡约束：

$$P_{net,t} + \sum_{s=1}^{N_s} (P_{s,t}^0 + \Delta P_{s,t}) = \sum_{DR=1}^{N_{DR}} (L_{DR,t}^0 + \Delta L_{DR,t}) + \sum_{i=1}^n \Delta L_{i,t}$$

式中， $P_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网的注入功率； N_s 为发电侧可调度设备数量； N_{DR} 为需求侧参与响应的负荷节点数量； n 为配电网的节点数量； $\Delta P_{s,t}$ 为 t 时刻机组 s 相对于出力预测值的实际调整容量； $\Delta L_{DR,t}$ 为 t 时刻DR负荷相对于参与响应预测值的实际调整容量； $\Delta L_{i,t}$ 为 t 时刻配电网系统中节点 i 的不平衡功率；

b. 线路潮流约束：

$$\left| T_{l,net} P_{net,t} + \sum_{s=1}^{N_s} T_{l,s} (P_{s,t}^0 + \Delta P_{s,t}) + \sum_{DR=1}^{N_{DR}} T_{l,DR} (L_{DR,t}^0 + \Delta L_{DR,t}) \right| \leq \overline{F}_l$$

式中， $T_{l,net}$ 为主网对配电网的功率传输分配系数； $T_{l,s}$ 为机组 s 对配电网的功率传输分配系数； $T_{l,DR}$ 为需求侧对配电网的功率传输分配系数； $\overline{F}_l$ 为配电网线路 l 潮流的限值。

4. 根据权利要求3所述的考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法，其特征在于：步骤S2中计算配电网的运行成本 F 的公式如下：

$$\min_{\mathcal{U}} F = \sum_{t=0}^{N_T} C_{net}(P_{net,t}) + \sum_{t=0}^{N_T} \sum_{DR=1}^{N_{DR}} \sum_{s=1}^{N_s} [C_0(P_{s,t}^0, R_{s,t}^0, L_{DR,t}^0) + C_{\Delta}(\Delta P_{s,t}, \Delta L_{DR,t}) + C_p(R_t')] + \sum_{t=0}^{N_T} \sum_{i=1}^n C_{pl}(\Delta L_{i,t})$$

式中, N_T 为系统参与调度时间范围内的时段数; $C_{net}(P_{net,t})$ 为配电网向主网的购电费用; $C_0(P_{s,t}^0, R_{s,t}^0, L_{DR,t}^0)$ 为配电网中机组的运行成本以及备用容量配置成本; $C_{\Delta}(\Delta P_{s,t}, \Delta L_{DR,t})$ 为备用容量调度成本; $C_p(R_t')$ 为备用容量不足惩罚费用; $C_{pl}(\Delta L_{i,t})$ 为功率不平衡惩罚费用。

5. 根据权利要求4所述的考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法, 其特征在于: 步骤S3通过调整数据偏差率阈值, 扩展描述信息不完全的数据偏差场景描述集合, 结合在步骤S2中计算的配电网的运行成本 F , 使得配电网的运行成本取得最小值且在配电网运行成本的限值 C^{max} 内, 即满足:

$$F \leq C^{max}。$$

考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法

技术领域

[0001] 本发明涉及配电网鲁棒优化调度技术领域,具体涉及考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法。

背景技术

[0002] 随着配电网中智能监测设备的大量渗入以及信息和通讯技术的不断发展,传统的配电网物理系统和与之对应的信息系统逐渐融合成一个集能量流、信息流和资金流的系统。该系统基于大量的配电网运行数据可实现对配电网更高精度的控制并能够充分利用配电网中各类可调控资源。但由于目前各类可调控资源的运行状态信息的不完全,导致在实际调度过程中会与预测值产生偏差,因此会降低主动配电网应对各种不确定因素的鲁棒性。

[0003] 为解决以上问题,目前的解决方法主要为:①只单一地考虑主动配电网物理系统中火电、光伏、风电等发电单元的特性及其不确定影响因素,对主动配电网进行鲁棒优化调度:文献[1]:主动配电网分布式鲁棒优化调度方法[J].电网技术,2019,43(04):1336-1344,考虑可再生能源出力的不确定性,建立含间歇性可再生能源不确定变量约束的主动配电网鲁棒优化模型;文献[2]:计及风电概率分布特征的鲁棒实时调度方法[J].中国电机工程学报,2017,37(03):727-738,建立高渗透光伏接入下的主动配电网运行优化模型,并以此构造主动配电网时段解耦的自适应鲁棒优化模型;文献[3]:基于混合通信网的主动配电网信息物理系统可靠性评价[J].中国电机工程学报,2018,38(06):1706-1718+1907,考虑大规模风电并网的不确定影响,结合风电概率分布建立鲁棒优化模型;②文献[4]:考虑信息系统作用的电力系统可靠性研究[J].电力系统保护与控制,2013,41(07):7-13和文献[5]:考虑信息系统作用的电力系统可靠性研究[J].电力系统保护与控制,2013,41(07):7-13,均从信息系统内部提出优化信息传输网络、提升信息传输和处理设备的性能等多种解决措施以降低数据丢失率,提高信息系统的可靠性,从而提高信息物理融合的配电网的鲁棒性。

[0004] 目前的解决方法缺乏信息物理系统的融合,且没有针对在数据缺失的影响下的配电网鲁棒优化调度方法。此外,现有的方法无法兼顾信息物理融合的配电网系统鲁棒性及其经济性。

发明内容

[0005] 本发明提供一种考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法,能够考虑信息不完全的影响,通过对配电网的优化调度提高其鲁棒性的同时保证其稳定经济运行。

[0006] 本发明提供一种考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法,包括:

[0007] 步骤一:针对信息物理融合的配电网系统的每个可调度设备,设定数据上偏率的

阈值 $\overline{u}_i$ 和数据下偏率的阈值 $\underline{u}_i$,表示配电网中的可调度设备对于数据偏差的接受范围,以 t 时刻下各可调度设备预测出力 $P_{s,t}^0$ 为基准,构建描述 t 时刻下信息物理融合的配电网因信息不完全而导致的数据偏差场景描述集合 U 。

[0008] t 时刻下的信息物理融合的配电网因信息不完全而导致的数据偏差场景描述集合 U 表示如下:

$$[0009] \quad D_{i,t}^e = D_{i,t}^0 \left(1 + Z_i^+ \alpha_{i,t} \overline{u}_i - Z_i^- \beta_{i,t} \underline{u}_i \right)$$

$$[0010] \quad \sum_{i=1}^{N_i} (Z_i^+ + Z_i^-) \leq n$$

[0011] 式中, $D_{i,t}^e$ 表示 t 时刻下信息物理融合的电网各类发电单元及负荷对配电网的注入功率偏差值, $D_{i,t}^0$ 表示 t 时刻下信息物理融合的配电网各类发电单元及负荷对配电网的注入功率预测值; Z_i^+ 、 Z_i^- 为0-1整数变量,用以表征该节点数据是否存在偏差($Z_i^+=1$ 表示存在上偏, $Z_i^+=0$ 表示不存在上偏; $Z_i^-=1$ 表示存在下偏, $Z_i^-=0$ 表示不存在下偏); $\overline{u}_i$ 为可调度设备 i 数据上偏率的阈值, $\underline{u}_i$ 为可调度设备 i 数据下偏率的阈值; N_i 为含各类可调度设备的节点数量; n 为配电网中节点数量; $\alpha_{i,t}$ 为 t 时刻下可调度设备 i 的数据上偏系数; $\beta_{i,t}$ 为 t 时刻下可调度设备 i 的数据下偏系数, $\alpha_{i,t}$ 、 $\beta_{i,t}$ 均为随机数且满足以下公式:

$$[0012] \quad \alpha_{i,t} \beta_{i,t} = 0, \quad 0 < \alpha_{i,t} \leq 1, 0 < \beta_{i,t} \leq 1$$

[0013] 步骤二:根据数据偏差场景描述集合 U 中的场景,计算该集合中最“恶劣”场景(即所有配电网中所有信息节点的数据均发生上偏或下偏的场景)下的各可调度设备所能向配电网提供的备用容量的配置,保证配电网稳定运行的同时使得配电网的运行成本最小。

[0014] (一)备用容量包括以下约束:

[0015] (1)配电网的火电机组及分布式电源设备出力与备用容量约束为:

$$[0016] \quad P_{s,t}^0 + R_s^+ \leq \overline{P}_s$$

$$[0017] \quad P_{s,t}^0 - R_s^- \leq \underline{P}_s$$

$$[0018] \quad 0 \leq R_s^+ \leq \overline{R}_s^+$$

$$[0019] \quad 0 \leq R_s^- \leq \overline{R}_s^-$$

$$[0020] \quad |\Delta P_{s,t}| \leq R_s^+$$

$$[0021] \quad |\Delta P_{s,t}| \leq R_s^-$$

[0022] 式中, $P_{s,t}^0$ 为 t 时刻机组 s 的出力的预测值; $\overline{P}_s$ 为机组 s 的最大出力值限值; $\underline{P}_s$ 为机组 s 的最小出力限值; R_s^+ 为机组 s 提供的上调度备用容量; R_s^- 为机组 s 提供的下调度备用容量; $\overline{R}_s^+$ 为机组 s 提供的上调度备用容量的最大限值; $\overline{R}_s^-$ 为机组 s 提供的下调度备用容量的最大

限值; $\Delta P_{s,t}$ 为 t 时刻机组 s 相对于出力预测值的实际调整容量;

[0023] (2) 需求侧备用容量约束为:

$$[0024] \quad 0 \leq L_{DR,t}^0 \leq \overline{L_{DR}}$$

$$[0025] \quad L_{DR,t}^0 + \Delta L_{DR,t} \leq \overline{L_{DR}}$$

[0026] 式中, $L_{DR,t}^0$ 为 t 时刻需求侧响应的负荷量的预测值; $\overline{L_{DR}}$ 为需求侧响应负荷量的最大限值(按该节点处负荷有功功率的20%取值); $\Delta L_{DR,t}$ 为 t 时刻DR负荷相对于参与响应预测值的实际调整容量;DR负荷为需求侧响应的可控负荷;

[0027] (3) 系统的备用容量的调度需满足:

$$\begin{aligned} & \sum_{s=1}^{N_s} \Delta P_{s,t} + \sum_{DR=1}^{N_{DR}} \Delta L_{DR,t} + R'_t \\ & = P_{net,t} \left(Z_{net}^+ \alpha_{net,t} \overline{u_{net}} - Z_{net}^- \beta_{net,t} \underline{u_{net}} \right) \end{aligned}$$

[0028]

$$\begin{aligned} & + \sum_{s=1}^{N_s} P_{s,t}^0 \left(Z_s^+ \alpha_{s,t} \overline{u_s} - Z_s^- \beta_{s,t} \underline{u_s} \right) \\ & + \sum_{DR=1}^{N_{DR}} L_{DR,t}^0 \left(Z_{DR}^+ \alpha_{DR,t} \overline{u_{DR}} - Z_{DR}^- \beta_{DR,t} \underline{u_{DR}} \right) \end{aligned}$$

[0029] 式中, $P_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网的注入功率; Z_{net}^+ 为主网对配电网功率注入节点的数据上偏状态; $\alpha_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网功率注入节点处的数据上偏系数; $\overline{u_{net}}$ 为主网对配电网功率注入节点处的数据上偏率的阈值; Z_{net}^- 为主网对配电网功率注入节点的数据下偏状态; $\beta_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网功率注入节点处的数据下偏系数; $\underline{u_{net}}$ 为主网对配电网功率注入节点处的数据下偏率的阈值;为 N_s 为发电侧可调度设备数量; Z_s^+ 为机组 s 所在节点处的数据上偏状态; $\alpha_{s,t}$ 为 t 时刻下机组 s 所在节点处的数据上偏系数; $\overline{u_s}$ 为机组 s 所在节点处的数据上偏率的阈值; Z_s^- 为机组 s 所在节点处的数据下偏状态; $\beta_{s,t}$ 为 t 时刻下机组 s 所在节点处的数据下偏系数; $\underline{u_s}$ 为机组 s 所在节点处的数据下偏率的阈值; N_{DR} 为需求侧参与响应的负荷节点数量; Z_{DR}^+ 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据上偏状态; $\alpha_{DR,t}$ 为 t 时刻下需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据上偏系数; $\overline{u_{DR}}$ 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据上偏率的阈值; Z_{DR}^- 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据下偏状态; $\beta_{DR,t}$ 为 t 时刻下需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据下偏系数; $\underline{u_{DR}}$ 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据下偏率的阈值; $\Delta P_{s,t}$ 为 t 时刻机

组 s 相对于出力预测值的实际调整容量； $\Delta L_{DR,t}$ 为 t 时刻DR负荷相对于参与响应预测值的实际调整容量； R'_t 为 t 时刻系统备用容量的不足量。

[0030] (二) 配电网的稳定运行需满足以下约束：

[0031] a. 配电网的功率平衡约束：

$$[0032] \quad P_{net,t} + \sum_{s=1}^{N_s} (P_{s,t}^0 + \Delta P_{s,t}) = \sum_{DR=1}^{N_{DR}} (L_{DR,t}^0 + \Delta L_{DR,t}) + \sum_{i=1}^n \Delta L_{i,t}$$

[0033] 式中， $P_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网的注入功率； N_s 为发电侧可调度设备数量； N_{DR} 为需求侧参与响应的负荷节点数量； n 为配电网的节点数量； $\Delta P_{s,t}$ 为 t 时刻机组 s 相对于出力预测值的实际调整容量； $\Delta L_{DR,t}$ 为 t 时刻DR负荷相对于参与响应预测值的实际调整容量； $\Delta L_{i,t}$ 为 t 时刻配电网系统中节点 i 的不平衡功率；

[0034] b. 线路潮流约束：

$$[0035] \quad \left| T_{l,net} P_{net,t} + \sum_{s=1}^{N_s} T_{l,s} (P_{s,t}^0 + \Delta P_{s,t}) + \sum_{DR=1}^{N_{DR}} T_{l,DR} (L_{DR,t}^0 + \Delta L_{DR,t}) \right| \leq \bar{F}_l$$

[0036] 式中， $T_{l,net}$ 为主网对配电网的功率传输分配系数； $T_{l,s}$ 为机组 s 对配电网的功率传输分配系数； $T_{l,DR}$ 为需求侧对配电网的功率传输分配系数； $\bar{F}_l$ 为配电网线路 l 潮流的限值。

[0037] 所述的配电网即是主动配电网，所述主网与主动配电网不同，主网是表示配电网的上级电网。

[0038] (三) 计算配电网的运行成本：

$$[0039] \quad \min_U F = \sum_{t=0}^{N_T} C_{net}(P_{net,t}) + \sum_{t=0}^{N_T} \sum_{DR=1}^{N_{DR}} \sum_{s=1}^{N_s} [C_0(P_{s,t}^0, R_{s,t}^0, L_{DR,t}^0) + C_{\Delta}(\Delta P_{s,t}, \Delta L_{DR,t}) + C_p(R'_t)] + \sum_{t=0}^{N_T} \sum_{i=1}^n C_{pl}(\Delta L_{i,t})$$

[0040] 式中， N_T 为系统参与调度时间范围内的时段数； $C_{net}(P_{net,t})$ 为配电网向主网的购电费用； $C_0(P_{s,t}^0, R_{s,t}^0, L_{DR,t}^0)$ 为配电网中机组的运行成本以及备用容量配置成本； $C_{\Delta}(\Delta P_{s,t}, \Delta L_{DR,t})$ 为备用容量调度成本； $C_p(R'_t)$ 为备用容量不足惩罚费用； $C_{pl}(\Delta L_{i,t})$ 为功率不平衡惩罚费用。

[0041] 步骤三：调整数据上偏率的阈值 $\bar{u}_i$ 和数据下偏率的阈值 $\underline{u}_i$ ，重复步骤二计算配电网的运行成本 F ，直至 F 达到配电网运行成本的阈值 C^{max} ，即满足：

$$[0042] \quad F \leq C^{max}$$

[0043] 上述技术方案可以看出，由于本发明实施例采用一种考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法，由于在模型中考虑了数据缺失问题，定量描述了信息物理融合的配电网因信息不完全而导致的数据偏差，因此能够通过对配电网的优化调度提高其对于信息系统数据失真问题的鲁棒性。同时结合配电网的功率平衡约束、潮流约束以及配电网的运行成本约束保证其稳定经济运行。

附图说明

[0044] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

[0045] 图1是本发明一种考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法的流程图;

[0046] 图2是本发明在数据偏差场景描述集合 U 中计算最小运行成本流程图;

[0047] 图3是信息物理融合的配电网架构图;

[0048] 图4是因信息不完全而导致的数据偏差场景描述示意图;

[0049] 图5是本发明的步骤框图。

具体实施方式

[0050] 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它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0051] 如图1-5所示,本发明提供一种考虑数据缺失的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法,能够考虑数据缺失的影响,通过对配电网的优化调度提高其鲁棒性的同时保证其稳定经济运行,其包括以下步骤:

[0052] 以修改的IEEE标准33节点配电网为例,在节点8、节点9以及节点29处接入额定装机容量为100MW的光伏发电设备;在节点31处接入额定装机容量为200MW的风电机组;在节点23、节点24处接入额定装机容量为10000MW的火电机组;节点4、节点13、节点28以及节点30为可控的需求侧响应负荷。根据比利时电网公司2021年4月1日的负荷预测数据等比例确定配电网的火电机组、光伏发电设备、风电机组的负荷预测数据。实施例中的部分参数设定如下:

[0053] 表 1 24小时分时电价

24小时分时电价		
时段	时段划分	电价/(元/(kW·h))
峰	10:00-15:00; 18:00-21:00	1.322
平	7:00-10:00; 15:00-18:00; 21:00-23:00	0.832
谷	23:00-7:00	0.369

[0055] 表 2 配电网运行成本参数设定

[0056]

配电网运行成本参数设定					
可控设备	火电机组			DR负荷	
参数	发电	备用容量配置	备用容量调度	备用容量配置	备用容量调度
数值/(元 /(kW·h))	0.69	0.34	0.69	0.16	0.32

[0057] S1:针对信息物理融合的配电网系统的每个可调度设备,设定数据上偏率的阈值 $\overline{u}_i$ 和数据下偏率的阈值 $\underline{u}_i$ 的初始值, $\overline{u}_i = \underline{u}_i = 0.1$,表示配电网中的可调度设备对于数据偏差的接受范围;以每小时下各可调度设备预测出力 $P_{s,t}^0$ 为基准,构建描述每小时下的信息物理融合的配电网因信息不完全而导致的数据偏差场景描述集合 U 。

[0058] t 时刻下的信息物理融合的配电网因信息不完全而导致的数据偏差场景描述集合 U 表示如下:

$$[0059] \quad D_{i,t}^e = D_{i,t}^0 \left(1 + Z_i^+ \alpha_{i,t} \overline{u}_i - Z_i^- \beta_{i,t} \underline{u}_i \right)$$

$$[0060] \quad \sum_{i=1}^{N_i} (Z_i^+ + Z_i^-) \leq n$$

[0061] 式中, $D_{i,t}^e$ 、 $D_{i,t}^0$ 分别表示 t 时刻下信息物理融合的配电网各类发电单元及负荷对配电网的注入功率偏差值和预测值; Z_i^+ 、 Z_i^- 为0-1整数变量,用以表征该节点数据是否发生偏差($Z_i^+=1$ 表示存在上偏, $Z_i^+=0$ 表示不存在上偏; $Z_i^-=1$ 表示存在下偏, $Z_i^-=0$ 表示存在下偏); $\overline{u}_i$ 和 $\underline{u}_i$ 分别为可调度设备 i 数据上偏率和数据下偏率阈值; N_i 为含各类可调度设备的节点数量; n 为配电网中节点数量; $\alpha_{i,t}$ 为 t 时刻下可调度设备 i 的数据上偏系数; $\beta_{i,t}$ 为 t 时刻下可调度设备 i 的数据下偏系数, $\alpha_{i,t}$ 、 $\beta_{i,t}$ 均为随机数且满足以下公式:

$$[0062] \quad \alpha_{i,t} \beta_{i,t} = 0, \quad 0 < \alpha_{i,t} \leq 1, 0 < \beta_{i,t} \leq 1$$

[0063] S2:根据数据偏差场景描述集合 U 中的场景,计算该集合中最“恶劣”场景(即所有配电网中所有信息节点的数据均发生上偏或下偏的场景)下的各可调度设备所能向配电网提供的备用容量的配置,保证配电网稳定运行的同时使得配电网的运行成本最小。

[0064] (一) 备用容量包括以下约束:

[0065] (1) 配电网的火电机组及分布式电源设备出力与备用容量约束为:

$$[0066] \quad P_{s,t}^0 + R_s^+ \leq \overline{P}_s$$

$$[0067] \quad P_{s,t}^0 - R_s^- \leq \underline{P}_s$$

$$[0068] \quad 0 \leq R_s^+ \leq \overline{R}_s^+$$

$$[0069] \quad 0 \leq R_s^- \leq \overline{R}_s^-$$

$$[0070] \quad |\Delta P_{s,t}| \leq R_s^+$$

$$[0071] \quad |\Delta P_{s,t}| \leq R_s^-$$

[0072] 式中, $P_{s,t}^0$ 为 t 时刻机组 s 的出力的预测值; $\overline{P_s}$ 为机组 s 的最大出力值限值; $\underline{P_s}$ 为机组 s 的最小出力限值; R_s^+ 为机组 s 提供的上调度备用容量; R_s^- 为机组 s 提供的下调度备用容量; $\overline{R_s^+}$ 为机组 s 提供的上调度备用容量的最大限值; $\overline{R_s^-}$ 为机组 s 提供的下调度备用容量的最大限值; $\Delta P_{s,t}$ 为 t 时刻机组 s 相对于出力预测值的实际调整容量; 机组 s 的 s 表示编号, 即是第几号机组的意思;

[0073] (2) 需求侧备用容量约束为:

$$[0074] \quad 0 \leq L_{DR,t}^0 \leq \overline{L_{DR}}$$

$$[0075] \quad L_{DR,t}^0 + \Delta L_{DR,t} \leq \overline{L_{DR}}$$

[0076] 式中, $L_{DR,t}^0$ 为 t 时刻需求侧响应的负荷量的预测值; $\overline{L_{DR}}$ 为需求侧响应负荷量的最大限值 (按该节点处负荷有功功率的20%取值); $\Delta L_{DR,t}$ 为 t 时刻DR负荷相对于参与响应预测值的实际调整容量;

[0077] (3) 系统的备用容量的调度需满足:

$$\begin{aligned} & \sum_{s=1}^{N_s} \Delta P_{s,t} + \sum_{DR=1}^{N_{DR}} \Delta L_{DR,t} + R'_t \\ & = P_{net,t} (Z_{net}^+ \alpha_{net,t} \overline{u_{net}} - Z_{net}^- \beta_{net,t} \underline{u_{net}}) \end{aligned}$$

[0078]

$$\begin{aligned} & + \sum_{s=1}^{N_s} P_{s,t}^0 (Z_s^+ \alpha_{s,t} \overline{u_s} - Z_s^- \beta_{s,t} \underline{u_s}) \\ & + \sum_{DR=1}^{N_{DR}} L_{DR,t}^0 (Z_{DR}^+ \alpha_{DR,t} \overline{u_{DR}} - Z_{DR}^- \beta_{DR,t} \underline{u_{DR}}) \end{aligned}$$

[0079] 式中, $P_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网的注入功率; Z_{net}^+ 为主网对配电网功率注入节点的数据上偏状态; $\alpha_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网功率注入节点处的数据上偏系数; $\overline{u_{net}}$ 为主网对配电网功率注入节点处的数据上偏率的阈值; Z_{net}^- 为主网对配电网功率注入节点的数据下偏状态; $\beta_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网功率注入节点处的数据下偏系数; $\underline{u_{net}}$ 为主网对配电网功率注入节点处的数据下偏率的阈值; 为 N_s 为发电侧可调度设备数量; Z_s^+ 为机组 s 所在节点处的数据上偏状态; $\alpha_{s,t}$ 为 t 时刻下机组 s 所在节点处的数据上偏系数; $\overline{u_s}$ 为机组 s 所在节点处的数据上偏率的阈值; Z_s^- 为机组 s 所在节点处的数据下偏状态; $\beta_{s,t}$ 为 t 时刻下机组 s 所在节点处的数据下偏系数; $\underline{u_s}$ 为机组 s 所在节点处的数据下偏率的阈值; N_{DR} 为需

求侧参与响应的负荷节点数量; Z_{DR}^+ 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据上偏状态; $\alpha_{DR,t}$ 为 t 时刻下需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据上偏系数; $\overline{u_{DR}}$ 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据上偏率的阈值; Z_{DR}^- 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据下偏状态; $\beta_{DR,t}$ 为 t 时刻下需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据下偏系数; $\underline{u_{DR}}$ 为需求侧参与响应的DR负荷所在节点处的数据下偏率的阈值; $\Delta P_{s,t}$ 为 t 时刻机组 s 相对于出力预测值的实际调整容量; $\Delta L_{DR,t}$ 为 t 时刻DR负荷相对于参与响应预测值的实际调整容量; R'_t 为 t 时刻系统备用容量的不足量。

[0080] (二) 配电网的稳定运行需满足以下约束:

[0081] a. 配电网的功率平衡约束:

$$[0082] \quad P_{net,t} + \sum_{s=1}^{N_s} (P_{s,t}^0 + \Delta P_{s,t}) = \sum_{DR=1}^{N_{DR}} (L_{DR,t}^0 + \Delta L_{DR,t}) + \sum_{i=1}^n \Delta L_{i,t}$$

[0083] 式中, $P_{net,t}$ 为 t 时刻下主网对配电网的注入功率; N_s 为发电侧可调度设备数量; N_{DR} 为需求侧参与响应的负荷节点数量; n 为配电网的节点数量; $\Delta P_{s,t}$ 为 t 时刻机组 s 相对于出力预测值的实际调整容量; $\Delta L_{DR,t}$ 为 t 时刻DR负荷相对于参与响应预测值的实际调整容量; $\Delta L_{i,t}$ 为 t 时刻配电网系统中节点 i 的不平衡功率;

[0084] b. 线路潮流约束:

$$[0085] \quad \left| T_{l,net} P_{net,t} + \sum_{s=1}^{N_s} T_{l,s} (P_{s,t}^0 + \Delta P_{s,t}) + \sum_{DR=1}^{N_{DR}} T_{l,DR} (L_{DR,t}^0 + \Delta L_{DR,t}) \right| \leq \overline{F}_l$$

[0086] 式中, $T_{l,net}$ 为主网对配电网的功率传输分配系数; $T_{l,s}$ 为机组 s 对配电网的功率传输分配系数; $T_{l,DR}$ 为需求侧对配电网的功率传输分配系数; $\overline{F}_l$ 为配电网线路 l 潮流的限值。

[0087] (三) 在MATLAB平台中调用cplex求解器, 计算在满足以上约束条件下的最小配电网的运行成本:

$$[0088] \quad \min_U F = \sum_{t=0}^{N_T} C_{net}(P_{net,t}) + \sum_{t=0}^{N_T} \sum_{DR=1}^{N_{DR}} \sum_{s=1}^{N_s} [C_0(P_{s,t}^0, R_{s,t}^0, L_{DR,t}^0) + C_\Delta(\Delta P_{s,t}, \Delta L_{DR,t}) + C_p(R'_t)] + \sum_{t=0}^{N_T} \sum_{i=1}^n C_{pl}(\Delta L_{i,t})$$

[0089] 式中, N_T 为系统参与调度时间范围内的时段数; $C_{net}(P_{net,t})$ 为配电网向主网的购电费用; $C_0(P_{s,t}^0, R_{s,t}^0, L_{DR,t}^0)$ 为配电网中机组的运行成本以及备用容量配置成本; $C_\Delta(\Delta P_{s,t}, \Delta L_{DR,t})$ 为备用容量调度成本; $C_p(R'_t)$ 为备用容量不足惩罚费用; $C_{pl}(\Delta L_{i,t})$ 为功率不平衡惩罚费用。

[0090] S3: 调整数据上偏率的阈值 $\overline{u_i}$ 和数据下偏率的阈值 $\underline{u_i}$, 重复步骤二计算配电网的最小运行成本 F , 直至 F 达到配电网运行成本的阈值 $C^{max} = 6.2 \times 10^8$ 元, 即满足:

$$[0091] \quad F \leq C^{max}$$

[0092] 解得火电机组应以额定装机容量的39.17%配置备用容量,光伏发电设备和风电机组均以额定装机容量的20%配置备用容量。

[0093] 此时,各节点的数据上偏率的阈值 $\overline{u_i}$ 和数据下偏率的阈值 $\underline{u_i}$ 分别为:

[0094]

节点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\overline{u_i}$	0.1028	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
节点	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$\overline{u_i}$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
节点	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
$\overline{u_i}$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
节点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\underline{u_i}$	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1
节点	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$\underline{u_i}$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
节点	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
$\underline{u_i}$	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1

[0095] 需要说明的是,上述装置和系统内的各单元之间的信息交互、执行过程等内容,由于与本发明方法实施例基于同一构思,具体内容可参见本发明方法实施例中的叙述,此处不再赘述。

[0096] 本领域普通技术人员可以理解上述实施例的各种方法中的全部或部分步骤是可以通程序来指令相关的硬件来完成,该程序可以存储于一计算机可读存储介质中,存储介质可以包括:只读存储器(ROM,Read Only Memory)、随机存取存储器(RAM,Random Access Memory)、磁盘或光盘等。

[0097] 以上对本发明实施例所提供的一种考虑数据失真的信息物理融合的配电网鲁棒优化调度方法进行了详细介绍,本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

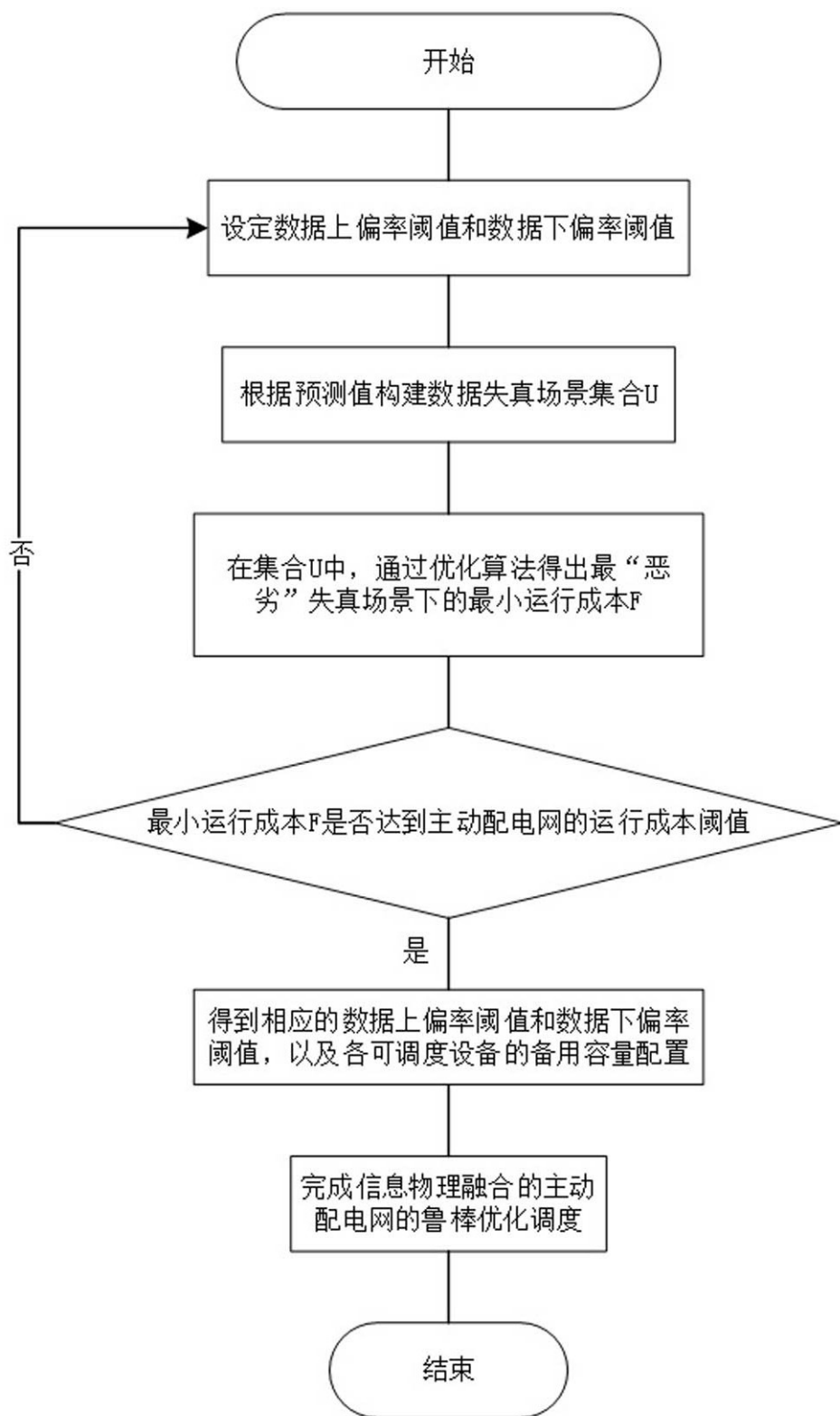


图1

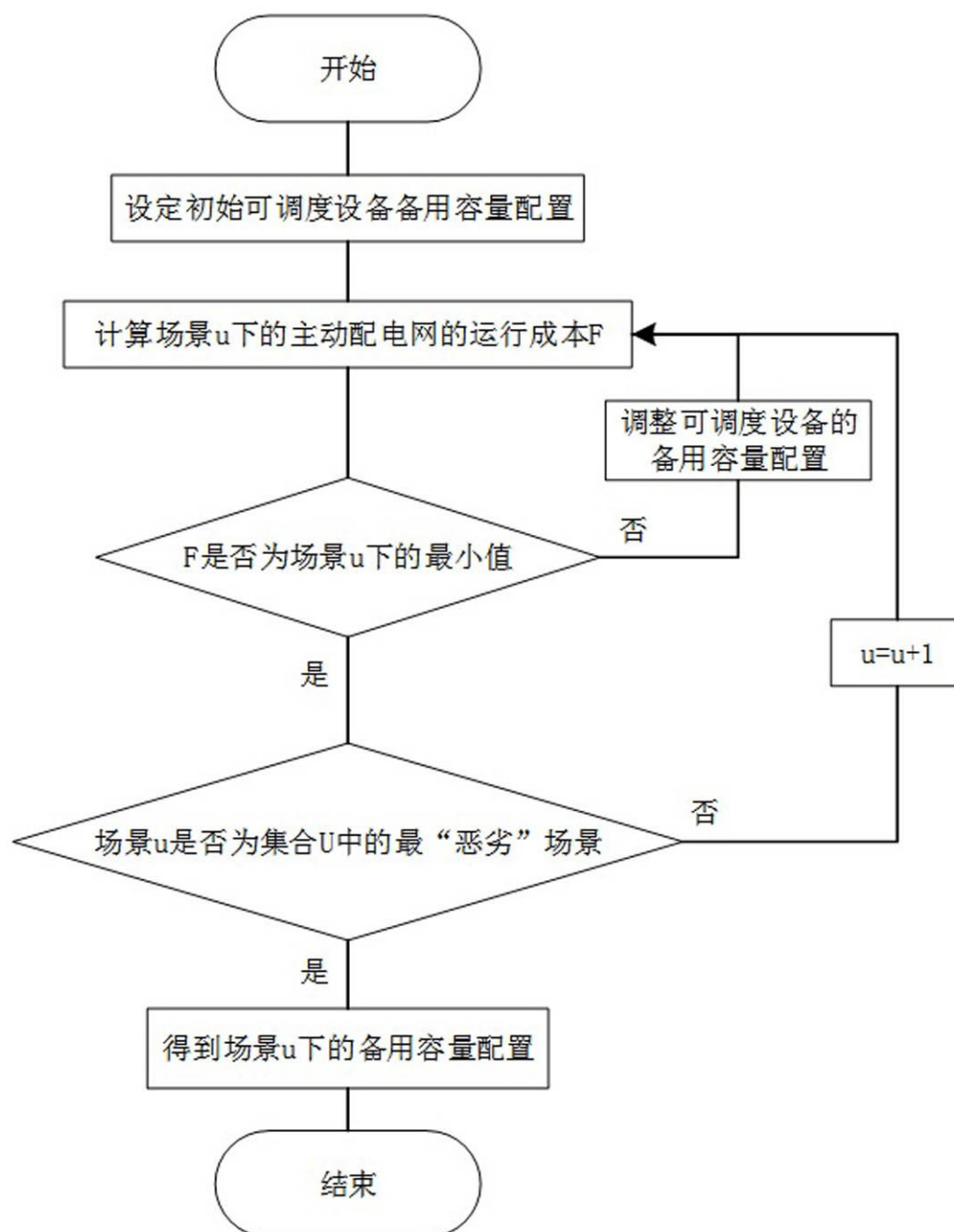


图2

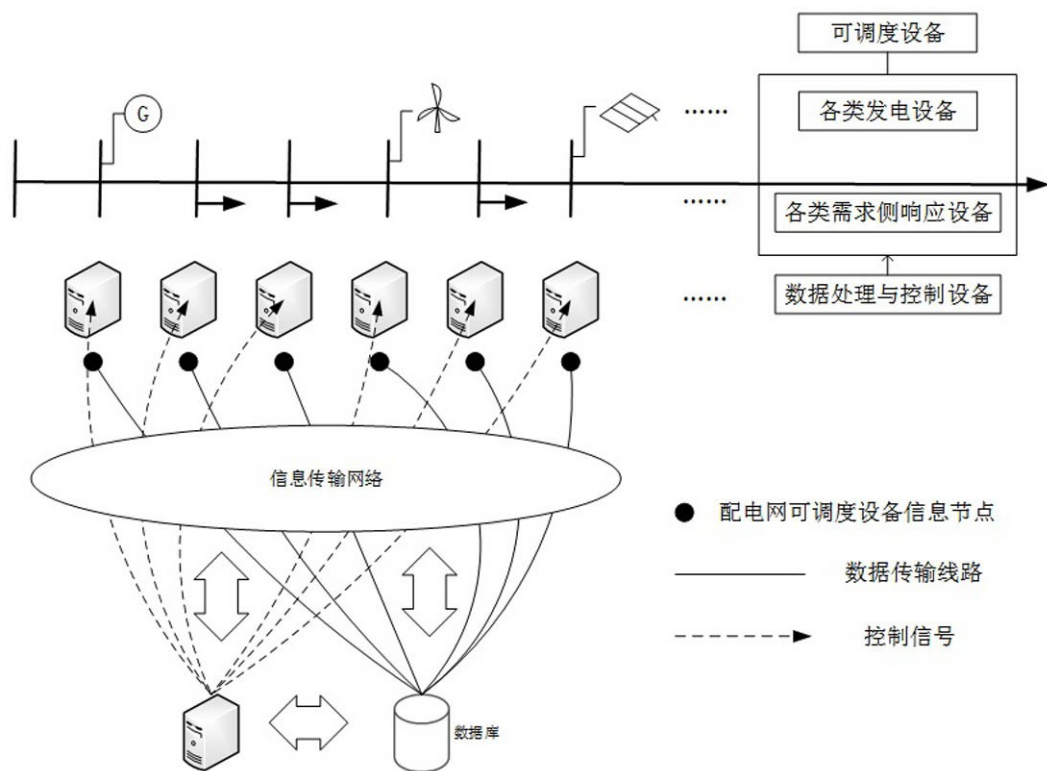


图3

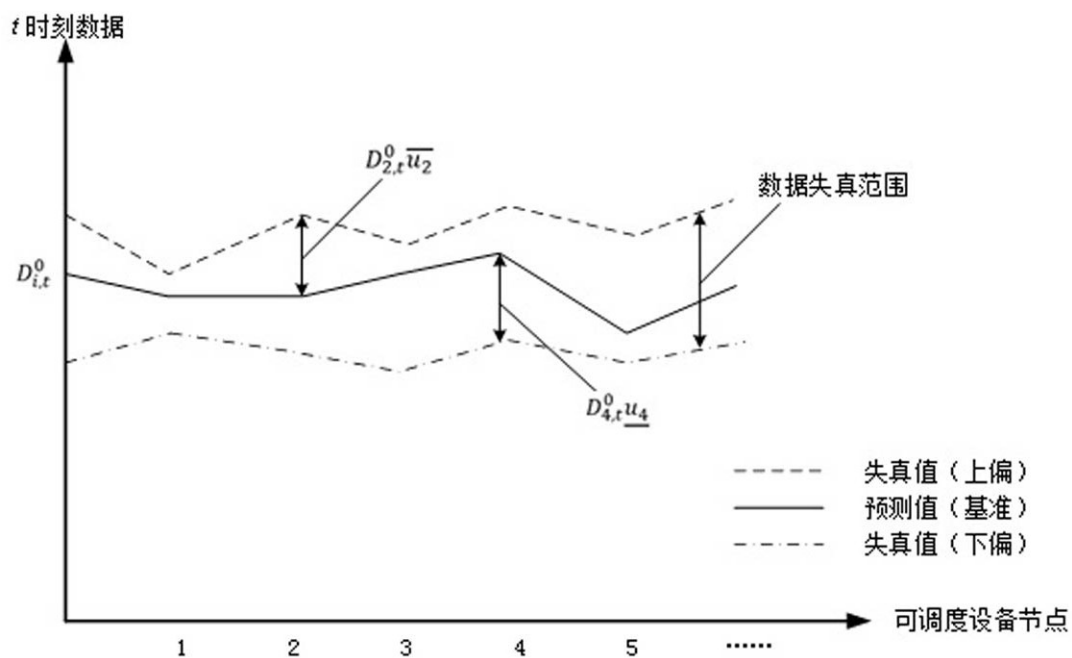
 t 时刻下因信息不完全而导致的数据偏差场景描述示意图

图4

S1.针对信息物理融合的配电网系统的每个可调度设备，设定数据上偏差率的阈值和数据下偏差率的阈值，数据下偏差率的阈值到数据上偏差率的阈值的范围表示配电网中的可调度设备对于数据偏差的接受范围；以时刻下各可调度设备预测出力为基准，构建描述时刻下信息物理融合的配电网因信息不完全的而导致的数据偏差描述集合；

S2.根据配电网信息不完全的场景集合中的场景，计算该集合中最“恶劣”场景下配电网的备用容量配置，保证配电网稳定运行的同时使得主动配电网的运行成本最小；

S3.调整数据上偏差率的阈值和数据下偏差率的阈值，重复步骤S2计算配电网的最小运行成本，直至达到配电网运行成本的阈值。

图5