

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局



(10) 国际公布号

WO 2020/151587 A1

(43) 国际公布日

2020 年 7 月 30 日 (30.07.2020)

(51) 国际专利分类号:

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/24 (2006.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2020/072683

(22) 国际申请日:

2020 年 1 月 17 日 (17.01.2020)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(30) 优先权:

201910077606.8

2019 年 1 月 26 日 (26.01.2019) CN

(71) 申请人: 国网福建省电力有限公司 (STATE GRID

FUJIAN ELECTRIC POWER COMPANY LIMITED)

[CN/CN]; 中国福建省福州市鼓楼区五四路

257 号, Fujian 350003 (CN)。 国网福建省电力

有限公司电力科学研究院 (STATE GRID FUJIAN

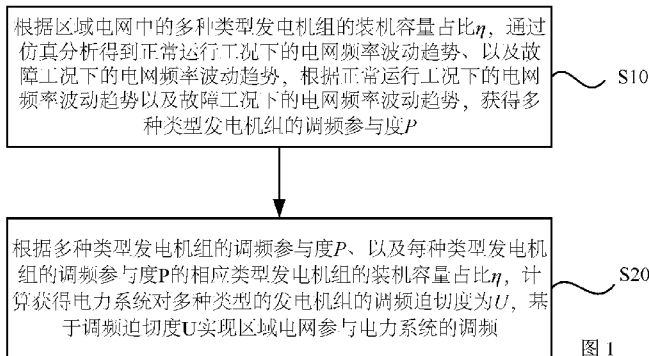
ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) [CN/

CN]; 中国福建省福州市仓山区复园支路 48 号, Fujian 350007 (CN)。 中国电力科学研究院有限公司 (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE COMPANY LIMITED) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。

(72) 发明人: 徐振华 (XU, Zhenhua); 中国福建省福州市仓山区复园支路 48 号, Fujian 350007 (CN)。 方日升 (FANG, Risheng); 中国福建省福州市仓山区复园支路 48 号, Fujian 350007 (CN)。 黄霆 (HUANG, Ting); 中国福建省福州市仓山区复园支路 48 号, Fujian 350007 (CN)。 于大海 (YU, Dahai); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 李可文 (LI, Kewen); 中国福建省福州市鼓楼区五四路 257 号, Fujian 350003 (CN)。 陶向宇 (TAO, Xiangyu); 中国北京市海淀区

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR EVALUATING POWER GENERATOR SET FREQUENCY MODULATION URGENCY, POWER SYSTEM, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 发电机组调频迫切度评估方法、装置、电力系统以及存储介质



S10 According to the loading capacity ratios η of multiple types of power generator sets in a regional power grid, perform simulation analysis to obtain a power grid frequency fluctuation trend under normal operating conditions and a power grid frequency fluctuation trend under malfunctioning conditions; according to the power grid frequency fluctuation trend under normal operating conditions and the power grid frequency fluctuation trend under malfunctioning conditions, acquire the degree of participation P in frequency modulation of the multiple types of power generator sets

S20 According to the degree of participation P in frequency modulation of the multiple types of power generator sets and the loading capacity ratio η of a corresponding type of power generator set for the degree of participation P in frequency modulation of each type of power generator set, calculate to acquire the frequency modulation urgency by a power system for the multiple types of power generator sets as U ; and achieve frequency modulation for participating power systems of the power grid on the basis of the frequency adjustment urgency U

图 1

(57) Abstract: Provided herein are a method and apparatus for evaluating power generator set frequency adjustment urgency, a power system, and a storage medium. The method comprises: according to the loading capacity ratios η of multiple types of power generator sets in a regional power grid, performing simulation analysis to obtain a power grid frequency fluctuation trend under normal operating conditions and a power grid frequency fluctuation trend under malfunctioning conditions; according to the power grid frequency

区清河小营东路15号, Beijing 100192 (CN)。黄道姗(HUANG, Daoshan); 中国福建省福州市仓山区复园支路48号, Fujian 350007 (CN)。苏毅(SU, Yi); 中国福建省福州市鼓楼区五四路257号, Fujian 350003 (CN)。陈志(CHEN, Zhi); 中国福建省福州市鼓楼区五四路257号, Fujian 350003 (CN)。吴丹岳(WU, Danyue); 中国福建省福州市仓山区复园支路48号, Fujian 350007 (CN)。张慧瑜(ZHANG, Huiyu); 中国福建省福州市仓山区复园支路48号, Fujian 350007 (CN)。

(74) 代理人: 北京品源专利代理有限公司(BEYOND ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市海淀区莲花池东路39号西金大厦6层, Beijing 100036 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

fluctuation trend under normal operating conditions and the power grid frequency fluctuation trend under malfunctioning conditions, acquiring the degree of participation P in frequency modulation of the multiple types of power generator sets; according the degree of participation P in frequency modulation of the multiple types of power generator sets and the loading capacity ratio η of a corresponding type of power generator set for the degree of participation P in frequency modulation of each type of power generator set, calculating to acquire the frequency modulation urgency by a power system for the multiple types of power generator sets as U ; and achieving frequency modulation for participating power systems of the power grid on the basis of the frequency adjustment urgency U .

(57) 摘要: 本文提供一种发电机组调频迫切度评估方法、装置、电力系统及存储介质。其中, 该方法包括: 根据区域电网中的多种类型发电机组的装机容量占比 η , 通过仿真分析得到正常运行工况下的电网频率波动趋势、以及故障工况下的电网频率波动趋势, 根据正常运行工况下的电网频率波动趋势以及故障工况下的电网频率波动趋势, 获得多种类型发电机组的调频参与度 P ; 根据多种类型发电机组的调频参与度 P 、以及每种类型发电机组的调频参与度 P 的相应类型发电机组的装机容量占比 η , 计算获得电力系统对多种类型的发电机组的调频迫切度为 U , 基于调频迫切度 U 实现区域电网参与电力系统的调频。

发电机组调频迫切度评估方法、装置、电力系统以及存储介质

本申请要求在 2019 年 1 月 26 日提交中国专利局、申请号为 201910077606.8 的中国专利申请的优先权，该申请的全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及电力系统仿真建模技术领域，例如涉及一种发电机组调频迫切度评估方法、装置、电力系统以及存储介质。

背景技术

近年来，随着风电、核电等清洁能源大规模并网趋势逐步推进，它们对电网的影响受到业界的广泛重视。

目前针对电网调频需求研究侧重于大规模风电并网后电力系统调频需求研究，即由于风电并网后，因风力发电机组出力的间歇性、波动性，要求评估电网在风电极限出力情况下所引起的电网频率波动范围，然后根据实际风力发电机组渗透情况，结合频率波动范围，通过实际风力发电机组出力引起电网频率波动，在频率波动范围的极限值限制范围内，得到风力发电机组可行出力，比对实际出力即可求得电网调频需求容量，此时风电作为一个变功率源。核电机组在稳态出力特性以及暂态响应特性上与风力发电机组有较大区别：（1）风力发电机组出力具有间歇性、波动性，核电机组出力可以在长时间之内维持恒定；（2）风力发电机组与核电机组的暂态响应特性存在较大差异，电网频率波动时风力发电机组一般不参与调频。

相关技术中的清洁能源调频，主要是针对风电参与的电力系统调频的研究，而对于核电机组参与的电力系统调频并无相关研究，且风电由于其间歇性、波动性等特点，需要电力系统配置一定的备用容量以满足调频需求，其是从调频需求容量的角度研究调频需求，与核电机组一般带基荷运行，且不存在间歇性、波动性特点的关联度不高。

发明内容

本申请提供一种发电机组调频迫切度评估方法、装置、电力系统以及存储

介质，本申请从电力系统对核电机组的角度提出，通过装机容量占比以及区域电网特点来量化调频需求度。

本申请实施例提供了一种发电机组调频迫切度评估方法，包括：

根据区域电网中的多种类型发电机组的装机容量占比，通过仿真分析得到正常运行工况下的电网频率波动趋势、以及故障工况下的电网频率波动趋势，根据所述正常运行工况下的电网频率波动趋势以及所述故障工况下的电网频率波动趋势，获得所述多种类型发电机组的调频参与度 P ；

根据所述多种类型发电机组的调频参与度 P 、以及每种类型发电机组的调频参与度 P 的相应类型发电机组的装机容量占比 η ，计算获得电力系统对所述多种类型的发电机组的调频迫切度为 U ，基于所述调频迫切度 U 实现所述区域电网参与所述电力系统的调频。

在本申请一实施例中，在所述根据区域电网中的多种类型发电机组的装机容量占比 η ，通过仿真分析得到正常运行工况下的电网频率波动趋势、以及故障工况下的电网频率波动趋势之前，还包括：根据数据采集与监视控制 (Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA) 系统频率年度统计数据，获取所述区域电网的稳态频率特性。

在本申请一实施例中，所述多种类型发电机组包括火电机组、水电机组以及核电机组。

在本申请一实施例中，所述故障包括，针对不同的区域电网，为每个区域电网设置预设个数的预设故障，所述预设故障为当前区域电网中发生次数超过设定阈值的故障。

在本申请一实施例中，电力系统对所述多种类型的发电机组的调频迫切度 U 、

以及所述多种类型发电机组的调频参与度 P 的计算式如下:

$$\begin{cases} U_i = (1 - P_i) \cdot \eta_i \\ P_i = \frac{S_i}{S} \end{cases}$$

其中, U_i 表示电力系统对 i 类型发电机组的调频迫切度, S_i 、 S 分别表示在频率波动时间 T 内第 i 种类型发电机组扣除死区后的频率调节积分面积、在电网频率波动时间 T 内频率调节积分面积; $i=1、2、3$, 分别表示发电机组的类型为火电机组、水电机组、核电机组。

在本申请一实施例中, 调频参与度 P 取决于发电机组死区设置的大小以及方向, 死区设置越大, 发电机组在一次调频过程中的参与程度就越小, 死区设置越小, 发电机组在一次调频过程中的参与程度就越大; 所述多种类型发电机组一次调频参与度 P_i 为

$$P_i = \frac{\int_0^T (f - D_i) dt}{\int_0^T f dt}$$

其中, f 为电网频率变化, D_i 表示 i 类型发电机组调速系统的死区。

在本申请一实施例中, 所述频率波动时间 T 取 60s, 所述多种类型发电机组一次调频参与度 P_i 为

$$P_i = \frac{\int_0^{60} (f - D_i) dt}{\int_0^{60} f dt}。$$

在本申请一实施例中, 由电机组一次调频参与度 P_i , 可得电力系统对所述多种类型发电机组的调频迫切度 U 的具体计算式如下:

$$U_i = \eta_i \times \left(1 - \frac{\int_0^{60} (f - D_i) dt}{\int_0^{60} f dt} \right)$$

其中， η_i 表示 i 类型发电机组装机容量占比。

附图说明

图 1 为本申请实施例提供的一种发电机组调频迫切度评估方法的流程示意图；

图 2a 为相关技术中的一种区域电网频率分布特性（概率分布）示意图；

图 2b 为申请实施例中的一种区域电网频率特性（2015.09.01 ~2018.08.31）示意图；

图 3 为类型 1 机组调频参与度示意图；

图 4 为类型 2 机组调频参与度示意图；

图 5 为类型 3 机组调频参与度示意图；

图 6 为电网故障导致频率跌落过程机组参与一次调频示意图；

图 7 为本申请实施例中考虑电力系统调频需求的发电机组调频迫切度评估方法流程图；

图 8 为本申请实施例中一种二代半堆型的核电机组汽机一次调频回路控制逻辑简图；

图 9 为本申请实施例中一种二代半堆型的核电机组频率上阶跃+0.12Hz 一次调频录波图；

图 10 为本申请实施例中一种二代半堆型的核电机组频率下阶跃-0.12Hz 一次调频录波图；

图 11 为不同类型电源参与频率波动过程示意图；

图 12 为不同类型电源参与频率波动过程示意图；

图 13 为本申请实施例提供的一种发电机组调频迫切度评估装置的结构示意图；

图 14 为本申请实施例提供的一种电力系统的结构示意图。

具体实施方式

下面结合附图，对本申请的技术方案进行具体说明。

本申请提供了一种发电机组调频迫切度评估方法，如图 1 所示，包括：

S10、根据区域电网中的多种类型发电机组的装机容量占比 η ，通过仿真分析得到正常运行工况下的电网频率波动趋势、以及故障工况下的电网频率波动趋势，根据正常运行工况下的电网频率波动趋势以及故障工况下的电网频率波动趋势，获得多种类型发电机组的调频参与度 P ；

S20、根据多种类型发电机组的调频参与度 P 、以及每种类型发电机组的调频参与度 P 的相应类型发电机组的装机容量占比 η ，计算获得电力系统对多种类型的发电机组的调频迫切度为 U ，基于调频迫切度 U 实现区域电网参与电力系统的调频。

相较于相关技术，本申请根据区域电网中的多种类型发电机组装机容量占比，通过仿真分析得到正常运行工况下的电网频率波动趋势、故障工况下的电网频率波动趋势，并获得多种类型发电机组的调频参与度 P 和相应类型发电机组的装机容量占比 η ；计算获得电力系统对相应类型的发电机组的调频迫切度为 U ，并基于所述调频迫切度 U 实现区域电网参与电力系统的调频。

以下为本申请的具体实现过程。

随着风电、核电等清洁能源大规模并网趋势逐步推进，它们对电网的影响受到业界的广泛重视。风电由于其间歇性、波动性等特点，电力系统要配置一定的备用容量以满足调频需求。而本申请研究对象核电机组一般带基荷运行，不存在间歇性、波动性特点，因此从调频需求容量的角度研究调频需求与核电

机组关联度不高。

为凸显核电机组与调频需求之间的关系，可从核电机组调速系统本身特点出发研究核电机组与调频需求之间的关系。核电机组调速系统具有死区设置较大、调节迅速（试验表明核电机组性能与火电机组性能相当）、机组局部区域装机容量占比高等特点。调频需求是电力系统的机组参与一次调频过程的深度的一种表征，如果电力系统越迫切地需要机组参与调频，则说明电力系统对机组调频需求就越高，（电力系统对机组的）调频迫切度与调频需求之间可能没有一定的对应关系，但应是同方向变化的。因此，调频迫切度可用来表征调频需求。

对于一个区域电网而言，电力系统对不同类型机组的调频需求取决于机组在该区域电网装机容量占比 η ，同时也与机组在一次调频过程中的参与度 P 有关。如果机组参与度越低，则电网就越迫切需要机组参与调频，反之亦然。因此，结合上文可以采用调频迫切程度来表征调频需求的叙述，通过定量分析方法来具体分析电力系统对某类型机组的调频需求。为了便于分析，将调频迫切度采用归一化处理，对应地机组装机容量占比以及调频参与度也可采用归一化处理。本申请定义机组的调频迫切度 U 为该类型机组的装机容量占比 η 、该类型机组的调频参与度 P 的函数，根据归一化处理的结果，则有

$$U = \eta \times (1 - P)$$

机组在一次调频过程中的参与度，取决于机组死区设置的大小以及方向，死区设置越大，机组在一次调频过程中的参与程度就越小，死区设置越小，机组在一次调频过程中的参与程度就越大。在实际电网频率变化过程中，不可能出现频率阶跃的情况，因此采用频率阶跃幅度直接扣除机组死区计算调频分量的方法不适用计算调频参与程度。考虑到一次调频主要考察机组在 60s 内的功率

支撑能力，因此不可避免地将时间引入一次调频参与度计算中。本申请定义某类型机组一次调频参与度 P_i 为

$$P_i = \frac{\int_0^{60} (f - D_i) dt}{\int_0^{60} f dt}$$

其中， D_i 表示 i 类型机组调速系统的死区，如果死区 D_i 设置越大，那么频率变化 f 与死区之间的距离越小，通过时间 T 积分所得面积越小，这时 $\int_0^{60} (f - D_i) dt$ 数值越小，电力系统对机组（或者该类型机组）调频参与度 P_i 就越高。所以据上文分析则有

$$U_i = \eta_i \times \left(1 - \frac{\int_0^{60} (f - D_i) dt}{\int_0^{60} f dt} \right)$$

U_i 表示电力系统对 i 类型机组调频迫切度，如果该类机组装机容量占比 η_i 也高，则电力系统对该类机组调频需求度 R_i 也越高。

一、调频迫切度的定性与定量分析

1、定性分析

区域电网调频需求与故障情况下的调频需求、正常工况下的电网频率波动特性有关系，还与发电机组调速系统死区设置值有关。如果从定性分析的角度出发，一种类型机组调速系统的死区设置越大，则调频参与度会越低，因此调速系统死区设置数值将会影响调频的参与度。当死区设置值越大，若此时该类型机组的装机容量占比也比较高，则电力系统对该类型机组的调频需求度 U_i 也会越高。

对不同区域而言，电网对核电机组参与调频的需求度与核电在该地区的装

机容量占比有直接的关系。对同一区域，电网对核电参与调频的需求度与不同季节或电网运行方式有关，例如在丰水期，考虑库容压力要求水电机组满发，当电网出现频率波动时，系统对核电机组、火电机组的调频需求就会比较强烈；在枯水期，核电机组、火电机组出力占比较高，在稳态情况下，对核电机组的调频需求主要看火电机组旋转备用是否充足；在电网故障需要机组紧急频率支撑情况下，主要看火电机组的频率支撑性能是否优良，如果此时机组由于滑压运行导致主汽压力憋压不足，则火电机组的频率支撑能力较弱，需要依靠核电机组等提供频率支撑。上述分析仅局限于定性的分析，电网在多种运行工况下，对核电机组的调频需求也是不尽相同的，本申请拟通过定量分析计算得到多种场景下的电网（对多种类型机组）的调频需求，为后续区域化差异化一次调频性能指标的提出进行数据支持。

稳态工况下的调频迫切度可分别通过统计电网稳态频率波动趋势，如图 2a、2b 中所示，统计近几年来某区域电网频率变化趋势，同时考虑区域电网直流落点位置。对于频率变化较大、同时核电发电机组的装机容量占比较高的区域要求区域内的核电机组深度参与调频。

对于暂态过程调频需求的定性分析，由于暂态过程频率跌落幅度很大，这个频率空白，网内机组通过出力增加进行功率填补，进而弥补电网频率偏差。在频率偏差弥补过程中，根据机组的死区设置，针对机组参与一次调频顺序进行排序：例如对于一个区域电网而言，火电机组装机容量占比较大，同时死区较小，那么火电机组可以优先参与调频，承担第一阶梯调频电源；水电机组占比一般，同时死区居中，那么水电机组可以接着参与调频，承担第二阶梯调频电源；核电机组装机容量占比位居第三，为了保证调频的衔接性，使得在频率

超过一定数值后，能够有其他类型机组迅速补充到调频电源中来，同时考虑核电机组死区设置（不宜设置过小，否则容易导致核棒频繁动作引发核棒控制系统钩爪疲劳），核电机组在频差超过一定数值后，开始参与调频。因此，电网对核电机组调频死区数值的设置要求可以在火电、水电之后，即大于 $\pm 0.05\text{Hz}$ 。

2、定量分析

图 3~图 6 列出了不同类型机组参与一次调频示意图，对于调频迫切度而言：当某类型机组装机容量占比越高时，对该类型机组的调频迫切度越大，考虑极端情况，假设某区域全部采用该类型机组作为电源，则其调频任务由该类型机组承担；当该类型机组调速系统死区设置较小时，考虑极端情况若为零，则该类型机组在频率变化过程中将会主动参与调频，电网对其参与调频的迫切程度则随之会低。调频需求应重点关注暂态机组出力缺额过多时频率变化所带来的调频迫切度（调频需求度）。对区域电网而言，分析其对某类型电源（核电机组为例）调频需求，有以下两个特点：

其一，根据区域电网中的电源装机容量占比，在不同运行方式下，通过正常运行工况（包含特殊季节）下的电网频率波动趋势、故障（针对不同的区域电网，为每个区域电网设置预设个数的预设故障，所述预设故障为当前区域电网中发生次数超过设定阈值的故障，预设个数，预设故障以及设定阈值根据实际需求设置，例如为每个区域电网设置 3~4 个典型故障）工况下的电网频率波动趋势，可以得到不同场景下针对核电机组的调频需求，进而对多种类型电源承担调频份额有定量的要求。

其二，分析对某类型电源的调频迫切度，可以为其实一次调频性能指标设置提供参考依据。若电网对该类型机组调频迫切度比较强烈，那么相应地其实一次

调频性能指标门槛应设置的较低,以便能够满足电网对其频率支撑方面的需求;反之,门槛可以高些。

根据上文定义,电力系统对机组的调频需求(调频迫切度)为 U , U 与调频参与度 P (如上文定义)、该类型机组的装机容量占比有关,采用公式可表示为:

$$\begin{cases} U_i = (1 - P_i) \cdot \eta_i \\ P_i = \frac{S_i}{S} \end{cases}$$

其中 U_i 表示电力系统对类型 i 机组的调频需求, S_i 、 S 分别表示在频率波动 60s 时间内第 i 种类型机组扣除死区后的频率调节积分面积、在电网频率波动 60s 时间内频率调节积分面积, $i=1、2、3$; 分别表示发电机组类型为火电机组、水电机组、以及核电机组,他们之间比值可定义为机组的调频参与度 $P_i=S_i/S$, 图中 F_s 表示电网频率变化趋势起始时刻数值,积分时间按照 60s 计算,实际计算过程根据上文调频参与度 P_i 算式所示。

在一实施例中,电网中可参与一次调频的机组有核电机组、水电机组和火电机组,区域电网里面可能还有风电机组、光伏机组等其他类型新能源机组(电源),但上述新能源机组一般不会参与系统的一次调频。从调频需求的角度出发,表面上看其与机组死区设置无关,但若某种类型机组死区设置越小,对于同一区域电网而言,则该机组参与电网一次调频的力度就越大,相应地电网就能够接受更多该类机组出力支撑,因此频率波动就会越小,此时电网对其他机组的调频迫切度就会减弱。综上所述,电网一次调频需求与多种类型机组的死区设置数值有关系。考虑到风电机组和光伏机组一般不参与调频,目前主要还是由火电机组(包含联合循环机组)、水电机组和核电机组等提供功率支撑,为了定

量对调频迫切度进行研究，将火电机组、水电机组、核电机组容量占比表示为 η_1 、 η_2 、 η_3 ，上述同类型机组死区分别设置为 D_1 、 D_2 、 D_3 。如果死区设置越小，那么在频率波动过程中，机组的调频参与度就会越高，考虑极端情况，如果机组死区设置为零，那么电网存在任何频率波动机组出力都会迅速响应，此时电力系统无需对机组提出调频需求而机组就会自发响应电网频率波动，可以认为对机组的调频迫切度就会比较低。

二、电网对机组调频迫切度的实施方案

为了定量分析基于此，如图 7 所示，本申请提出了定量评估区域电网调频需求的方法及其实施方案：

(1) 选取一个区域电网作为研究对象，根据 SCADA 系统频率年度统计数据，获取区域电网稳态频率特性；

(2) 针对区域电网设置典型故障，通过仿真分析得其故障场景下的频率变化趋势；

(3) 核电机组调速系统频率死区设置应能避开电网无故障情况下（稳态）的长时间高频度频率波动，以避免核棒频繁动作从而引发机械疲劳；电网调频需求应从故障场景下的频率波动特性出发，当机组调速系统死区设置越大时，频率跌落过程机组出力贡献越小，将可能导致频率进一步跌落，直至越过死区从而引发机组出力调整；

(4) 一般而言，电网稳态频率特性所体现的频率波动绝大多数位于频率死区 ($2r/min$) 以内，即使超过频率死区一般也呈围绕频率死区上下有规律的波动，所以区域电网稳态频率特性不适合直接拿来计算调频参与度；

(5) 如果从传统调频需求角度理解，则应该计算得到调频需求容量，且该

调频需求容量为针对波动性较大电源所储存的旋转备用容量。本申请中调频需求理解为电网要求多种类型机组参与电网调频迫切程度，调频需求越高，迫切程度越大；调频需求越低，迫切程度越小。

三、考虑机组一次调频特性的区域电网调频控制策略及其实施方案

1、核电机组核岛棒控系统一次调频特征

由于核电机组也采用蒸汽轮机将热能转换为机械能，因此其常规岛一次调频控制回路与火电机组的一次调频回路控制原理类似，一种核电机组汽机一次调频回路控制逻辑简图如图 8 所示。

由图 9、图 10 可见，该核电机组在进行 6% 的一次调频试验过程中，频率阶跃 0.12Hz，功率响应滞后时间约 1.7s，到达 75% 目标值时间约 12s，稳定时间约 30s，一次调频试验性能与同容量火电机组相当。对于热力系统的影响方面，进行 6% 额定功率的一次调频功率上阶跃试验引起二回路主蒸汽压力由 6.76MPa 下降至 6.58MPa，并保持稳定，主蒸汽压力下降约 2.7%，压力变化标幺值小于功率变化标幺值。

2、区域电网阶梯式调频控制策略

在响应频度方面，当频率发生扰动时，汽机调节系统（Turbine Governing, GRE）控制回路接收频差信号，生成调频分量送往棒控系统（Full Length Rod Control, RGL）控制回路，引发功率调节棒（Power regulating rod, G 棒）、温度调节棒（Temperature regulating rod, R 棒）动作，若 GRE 控制回路死区设置较小，则会引起 GRE 频繁生成调频分量，进而导致 RGL 控制回路频繁生成动作信号，使核棒频繁动作，逼近核棒动作疲劳耐受极限；若 GRE 控制回路死区设置较大，则会使得 GRE 控制回路无法及时响应网频波动需求。因此核电机组

调速系统死区设置不宜过小，因避免其频繁动作，鉴于目前绝大多数电网主力电源仍以常规火电机组和常规水电机组为主，尤其部分区域（例如中国北方）以火电机组装机为主，所以火电应作为第一阶段调频电源、水电作为第二阶段调频电源，考虑到核安全，核电机组可作为第三阶段调频电源。频率变化过程多种类型调频电源参与详见图 11。不同类型电源参与频率波动过程示意图详见图 12。

图 13 为本申请实施例提供的一种发电机组调频迫切度评估装置的结构示意图。参考图 13，该装置包括：调频参与度获取模块 1310，和调频迫切度获取模块 1320。

调频参与度获取模块 1310，设置为根据区域电网中的多种类型发电机组的装机容量占比 η ，通过仿真分析得到正常运行工况下的电网频率波动趋势、以及故障工况下的电网频率波动趋势，根据所述正常运行工况下的电网频率波动趋势以及所述故障工况下的电网频率波动趋势，获得所述多种类型发电机组的调频参与度 P ；

调频迫切度获取模块 1320，设置为根据所述多种类型发电机组的调频参与度 P 、以及每种类型发电机组的调频参与度 P 的相应类型发电机组的装机容量占比 η ，计算获得电力系统对所述多种类型的发电机组的调频迫切度为 U ，基于所述调频迫切度 U 实现所述区域电网参与所述电力系统的调频。

本公开提供的装置可执行本公开任意实施例所提供的方法，具备执行该方法相应的功能模块和效果。

图 14 为本申请实施例提供的一种电力系统的结构示意图。参考图 14，该电力系统包括：一个或多个处理器 1410；存储器 1420，设置为存储一个或多个程

序；

所述一个或多个程序被所述一个或多个处理器 1410 执行，使得所述一个或多个处理器 1410 实现上述任一实施例所述的方法。

本公开实施例还提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现上述任一实施例所述的方法。

本公开上述的计算机可读介质可以是计算机可读信号介质或者计算机可读存储介质或者是上述两者的任意组合。计算机可读存储介质例如可以是——但不限于——电、磁、光、电磁、红外线、或半导体的系统、装置或器件，或者任意以上的组合。计算机可读存储介质可以包括：具有一个或多个导线的电连接、便携式计算机磁盘、硬盘、随机访问存储器 (Random Access Memory, RAM)、只读存储器 (Read-Only Memory, ROM)、可擦式可编程只读存储器 (Erasable Programmable Read-Only Memory, EPROM) 或闪存、光纤、携式紧凑磁盘只读存储器 (Compact Disc Read-Only Memory, CD-ROM)、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。在本公开中，计算机可读存储介质可以是多种包含或存储程序的有形介质，该程序可以被指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用。而在本公开中，计算机可读信号介质可以包括在基带中或者作为载波一部分传播的数据信号，其中承载了计算机可读的程序代码。这种传播的数据信号可以采用多种形式，包括电磁信号、光信号或上述的任意合适的组合。计算机可读信号介质还可以是计算机可读存储介质以外的多种计算机可读介质，该计算机可读信号介质可以发送、传播或者传输用于由指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用的程序。计算机可读介质上包含的

程序代码可以用多种适当的介质传输,包括:电线、光缆、射频(Radio Frequency, RF)等等,或者上述的任意合适的组合。

本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

权利要求书

1. 一种发电机组调频迫切度评估方法，包括：

根据区域电网中的多种类型发电机组的装机容量占比 η ，通过仿真分析得到正常运行工况下的电网频率波动趋势、以及故障工况下的电网频率波动趋势，根据所述正常运行工况下的电网频率波动趋势以及所述故障工况下的电网频率波动趋势，获得所述多种类型发电机组的调频参与度 P ；

根据所述多种类型发电机组的调频参与度 P 、以及每种类型发电机组的调频参与度 P 的相应类型发电机组的装机容量占比 η ，计算获得电力系统对所述多种类型的发电机组的调频迫切度为 U ，基于所述调频迫切度 U 实现所述区域电网参与所述电力系统的调频。

2. 根据权利要求1所述的方法，在所述根据区域电网中的多种类型发电机组的装机容量占比 η ，通过仿真分析得到正常运行工况下的电网频率波动趋势、以及故障工况下的电网频率波动趋势之前，还包括：根据数据采集与监视控制SCADA系统所获得的频率年度统计数据，获取所述区域电网的稳态频率特性。

3. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述多种类型发电机组包括火电机组、水电机组以及核电机组。

4. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述故障包括：针对不同的区域电网，为每个区域电网设置预设个数的预设故障，所述预设故障为当前区域电网中发生次数超过设定阈值的故障。

5. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述电力系统对所述多种类型的发电机组的调频迫切度 U 、以及所述多种类型发电机组的调频参与度 P 的计算式如下：

$$\begin{cases} U_i = (1 - P_i) \cdot \eta_i \\ P_i = \frac{S_i}{S} \end{cases}$$

其中, U_i 表示电力系统对 i 类型发电机组的调频迫切度, S_i 表示在频率波动时间 T 内第 i 种类型发电机组扣除死区后的频率调节积分面积, S 表示在所述电网频率波动时间 T 内频率调节积分面积; $i=1、2、3$, 分别表示发电机组的类型为火电机组、水电机组、以及核电机组。

6. 根据权利要求 5 所述的方法, 其中, 所述多种类型发电机组一次调频参与度 P_i 按照下述计算式计算:

$$P_i = \frac{\int_0^T (f - D_i) dt}{\int_0^T f dt}$$

其中, f 为电网频率变化, D_i 表示 i 类型发电机组调速系统的死区。

7. 根据权利要求 6 所述的方法, 其中, 所述频率波动时间 T 取 60s, 所述多种类型发电机组一次调频参与度 P_i 的计算式为:

$$P_i = \frac{\int_0^{60} (f - D_i) dt}{\int_0^{60} f dt}。$$

8. 根据权利要求 7 所述的方法, 其中, 所述电力系统对所述多种类型发电机组的调频迫切度 U 的计算式如下:

$$U_i = \eta_i \times \left(1 - \frac{\int_0^{60} (f - D_i) dt}{\int_0^{60} f dt} \right)$$

其中, η_i 表示 i 类型发电机组的装机容量占比。

9. 一种发电机组调频迫切度评估装置，包括：

调频参与度获取模块，设置为：根据区域电网中的多种类型发电机组的装机容量占比 η ，通过仿真分析得到正常运行工况下的电网频率波动趋势、以及故障工况下的电网频率波动趋势，根据所述正常运行工况下的电网频率波动趋势以及所述故障工况下的电网频率波动趋势，获得所述多种类型发电机组的调频参与度 P ；

调频迫切度获取模块，设置为：根据所述多种类型发电机组的调频参与度 P 、以及每种类型发电机组的调频参与度 P 的相应类型发电机组的装机容量占比 η ，计算获得电力系统对所述多种类型的发电机组的调频迫切度为 U ，基于所述调频迫切度 U 实现所述区域电网参与所述电力系统的调频。

10. 一种电力系统，包括：

一个或多个处理器；

存储器，设置为存储一个或多个程序；

所述一个或多个程序被所述一个或多个处理器执行，使得所述一个或多个处理器实现如权利要求 1-8 中任一项所述的方法。

11. 一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求 1-8 中任一项所述的方法。

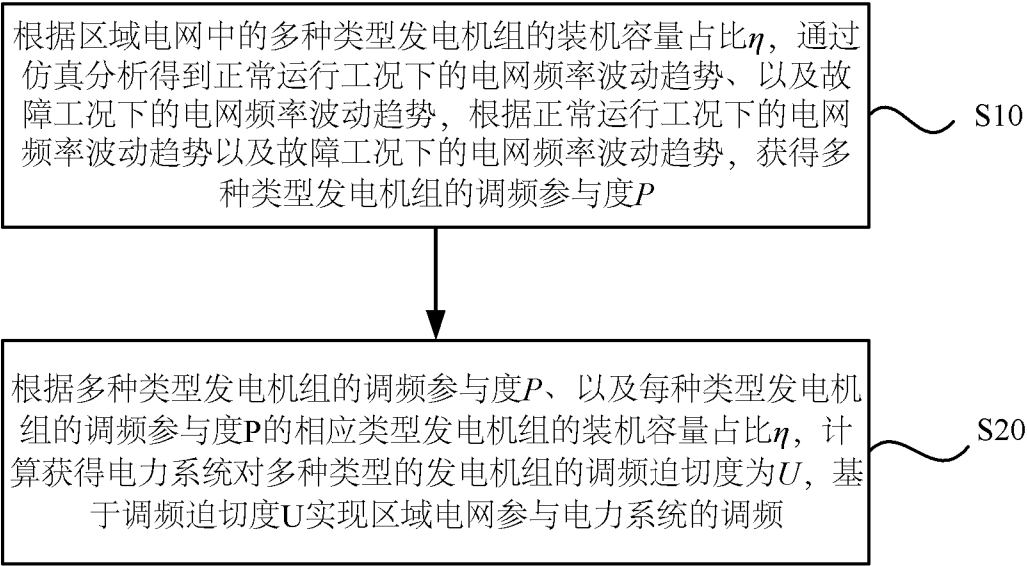


图 1

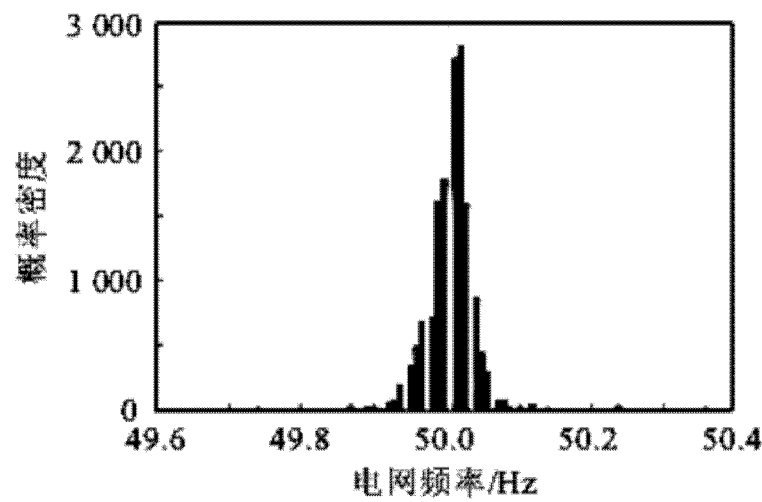


图 2a

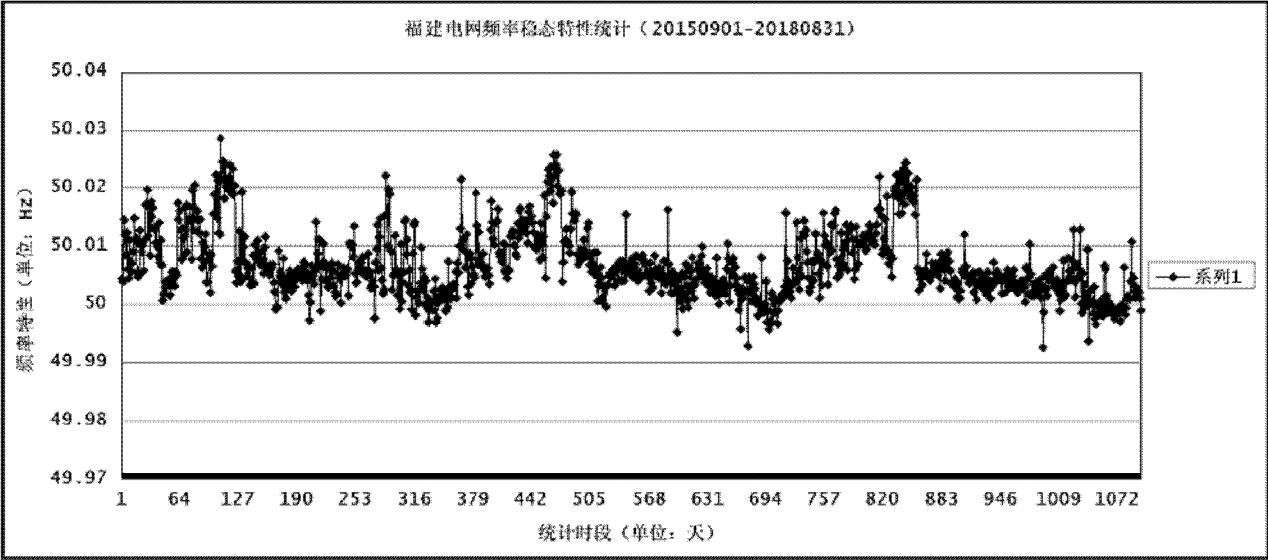


图 2b

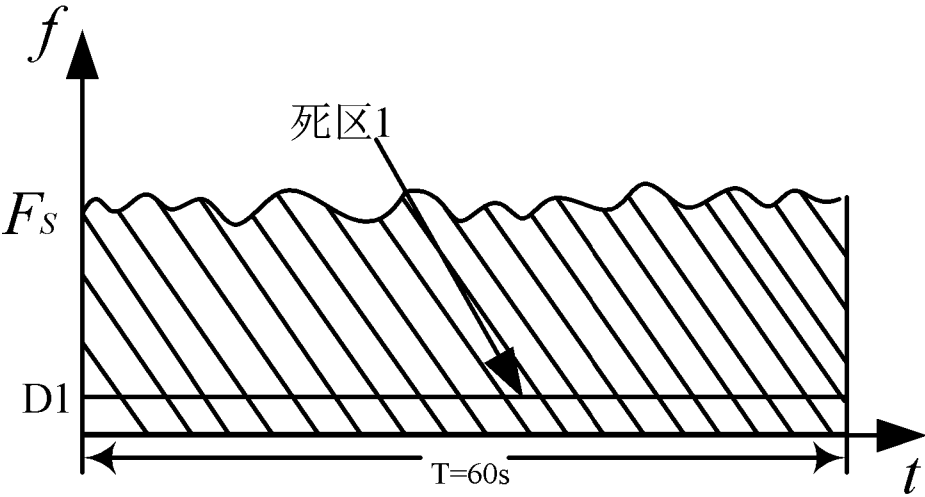


图 3

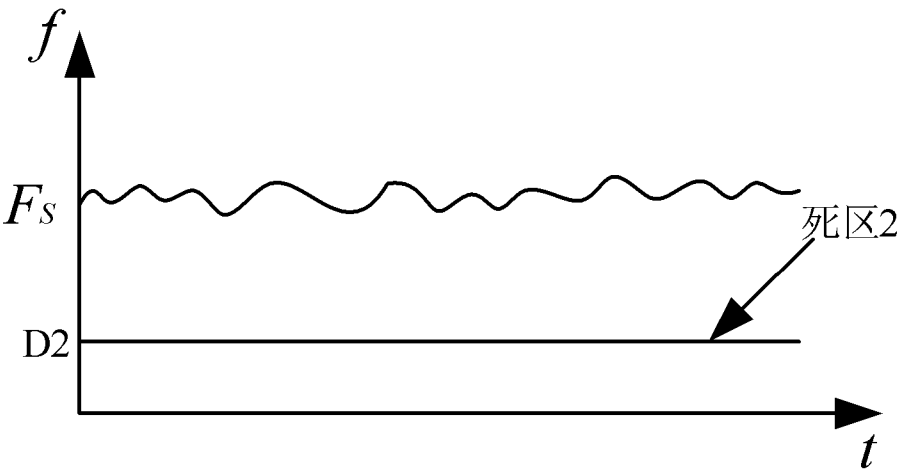


图 4

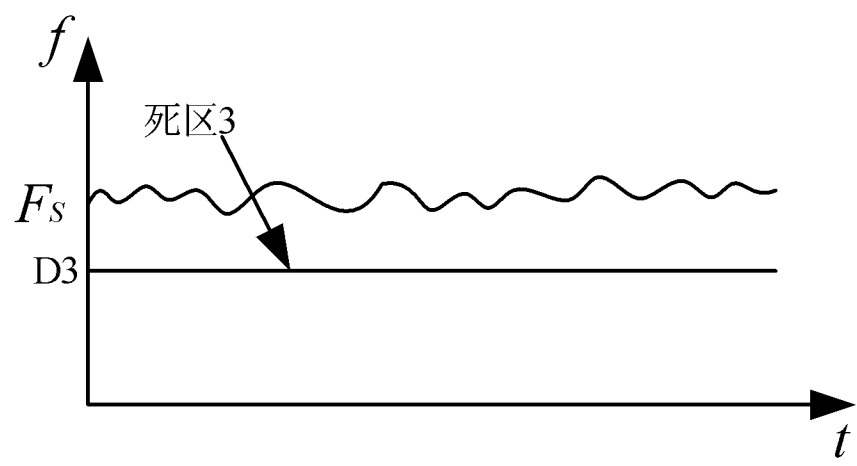


图 5

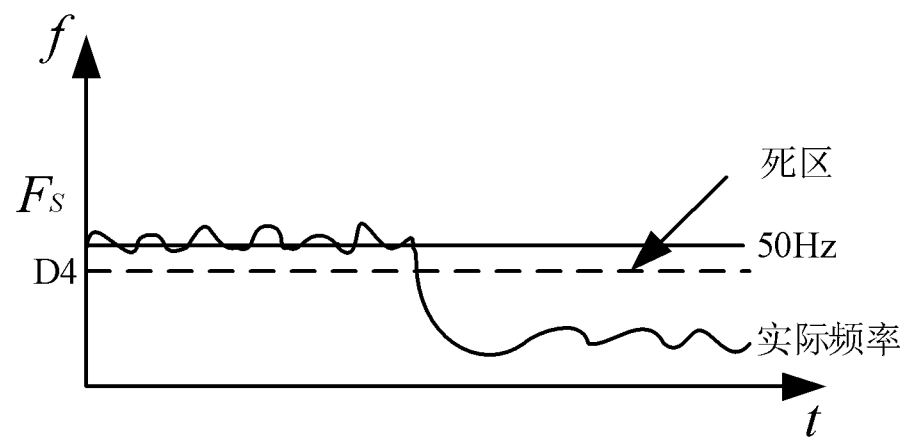


图 6

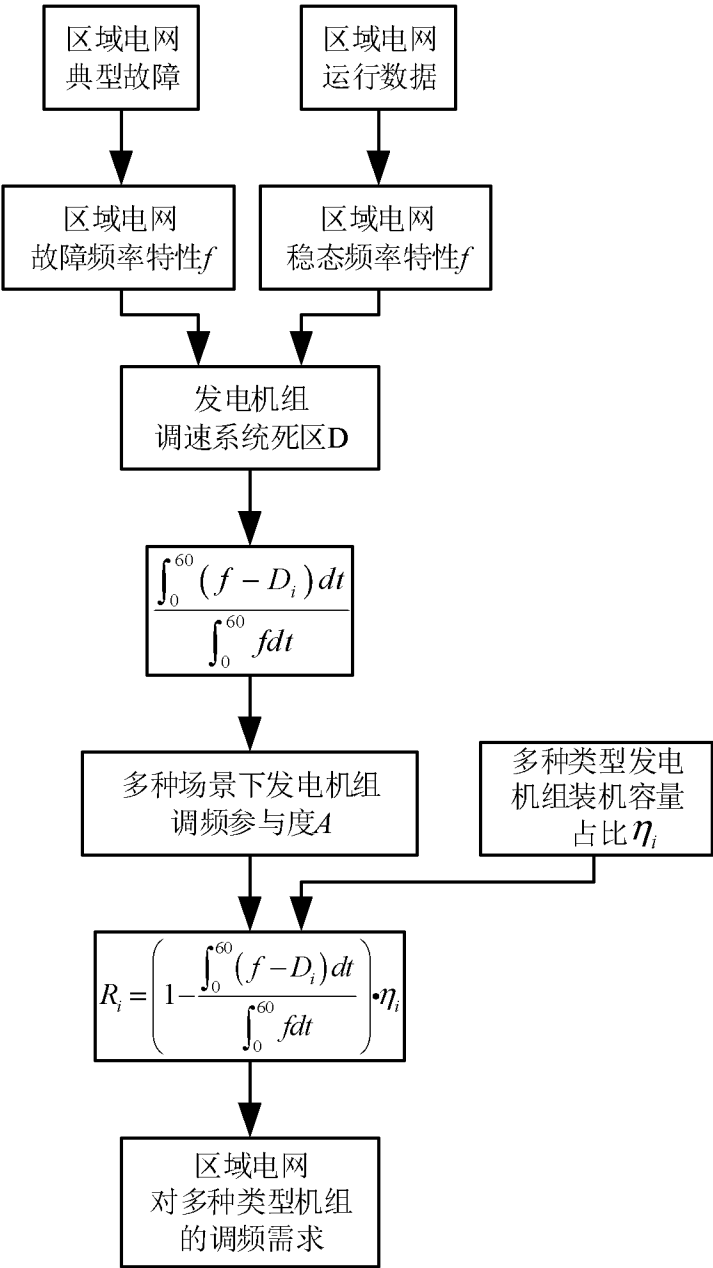


图 7

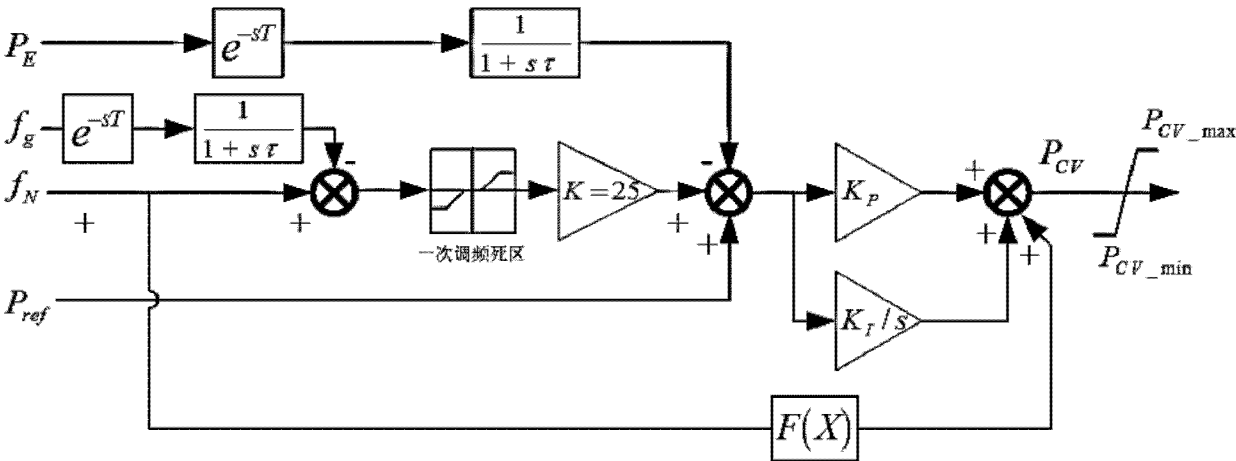


图 8

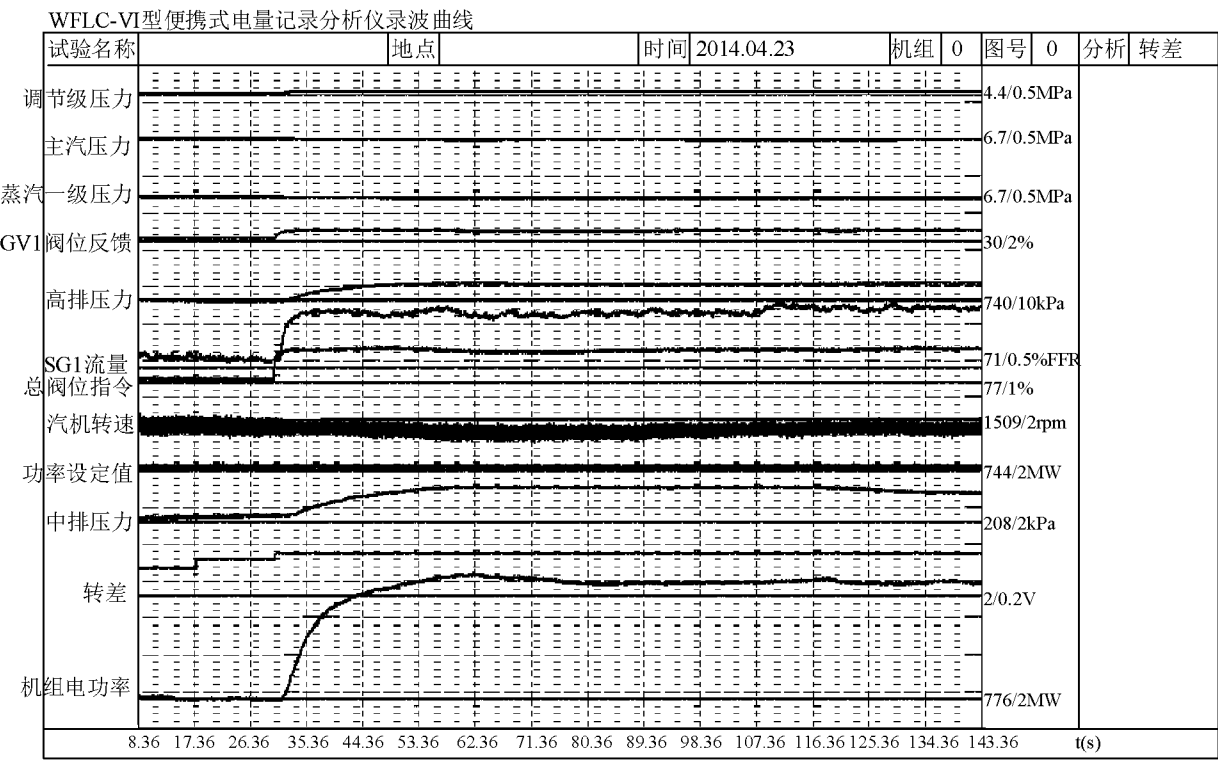


图 9

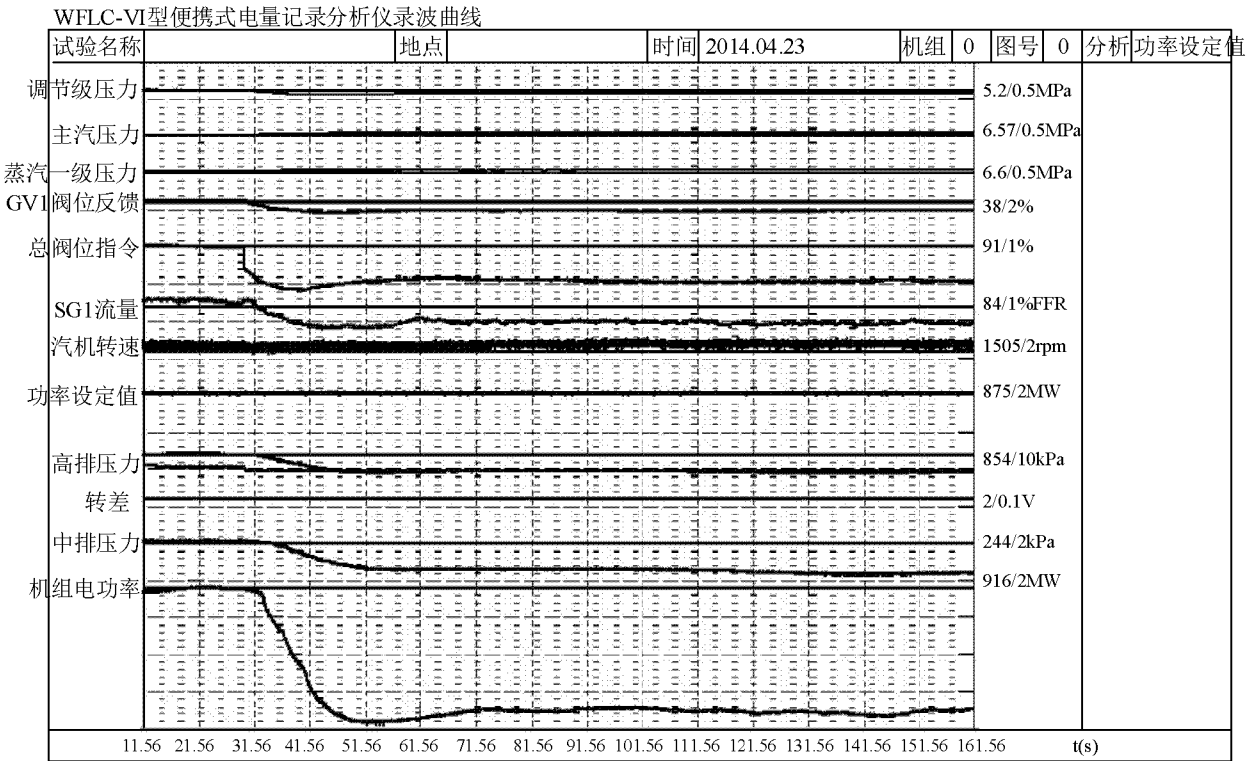


图 10

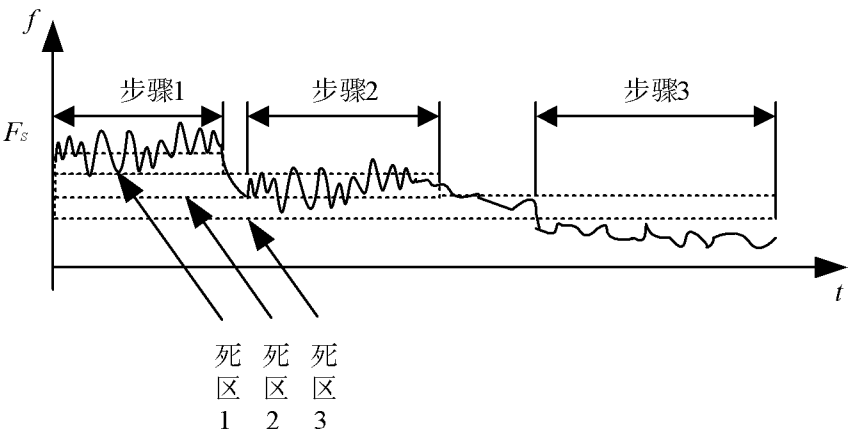


图 11

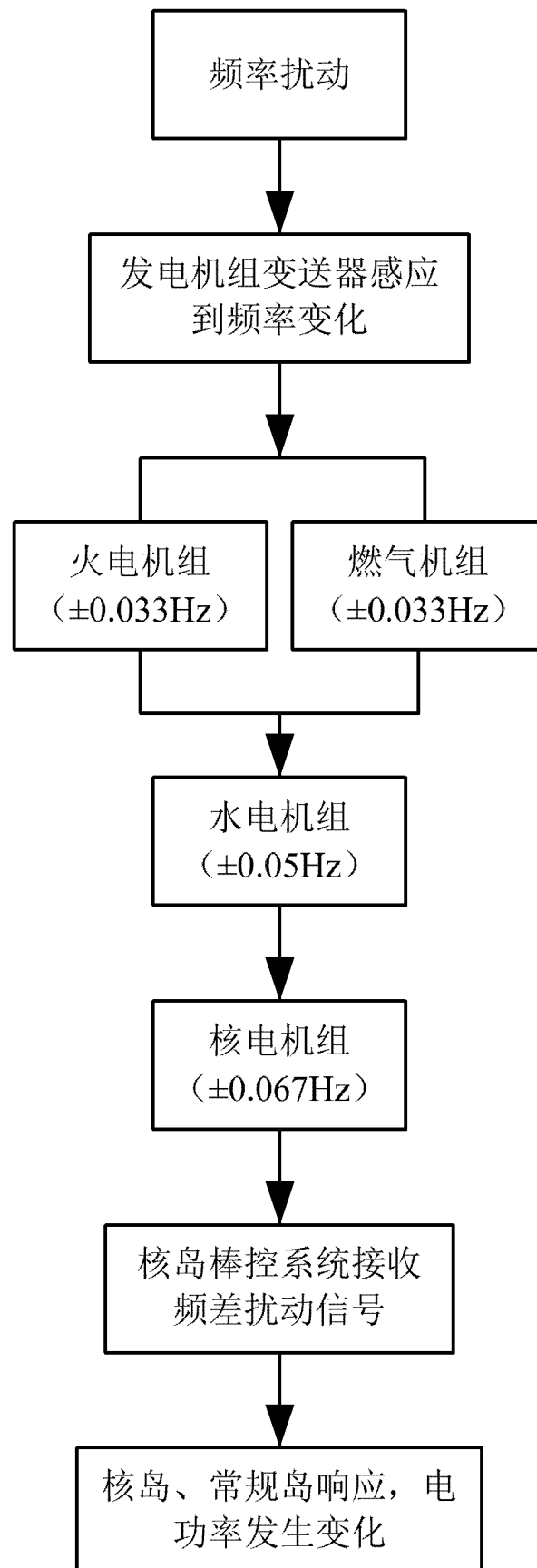


图 12

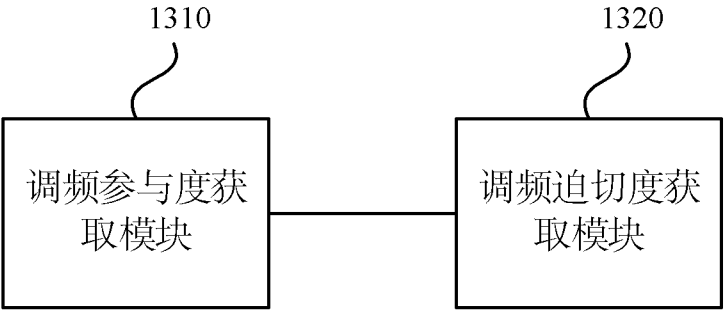


图 13

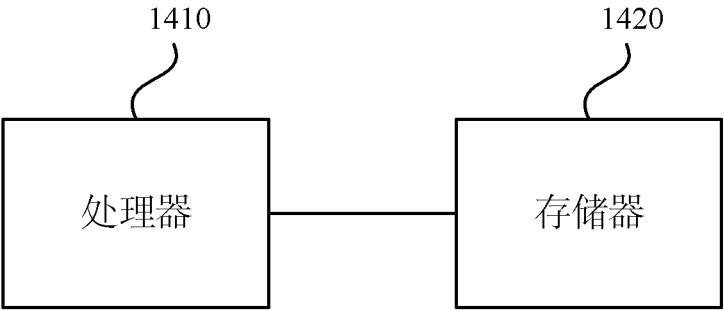


图 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/072683

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/38(2006.01)i; H02J 3/24(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, DWPI, SIPOABS, CNKI, IEEE: 发电机, 机组, 调频, 频率调整, 频率波动, 频率扰动, 频率偏差, 迫切度, 需求度, 参与度, 参与因子, 分担因子, 评估, 死区, 核电, generator, generators, primary, frequency, modulation, evaluation, dead zone, nuclear power

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109802438 A (STATE GRID FUJIAN ELECTRIC POWER COMPANY et al.) 24 May 2019 (2019-05-24) description, paragraphs 36-81, and figures 1-12	1-11
X	CN 108777481 A (NAT GRID CORPORATION NORTHWEST DIVISION) 09 November 2018 (2018-11-09) description, paragraphs 18-30, and figures 1-3	1, 2, 4, 9-11
Y	CN 108777481 A (NAT GRID CORPORATION NORTHWEST DIVISION) 09 November 2018 (2018-11-09) description, paragraphs 18-30, and figures 1-3	3
Y	CN 108802609 A (STATE GRID FUJIAN ELECTRIC POWER COMPANY et al.) 13 November 2018 (2018-11-13) description, paragraphs 2 and 3	3
A	CN 105449701 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. et al.) 30 March 2016 (2016-03-30) entire document	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 April 2020

Date of mailing of the international search report

24 April 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/072683**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108462212 A (STATE GRID LIAONING ELECTRIC POWER SUPPLY CO., LTD. et al.) 28 August 2018 (2018-08-28) entire document	1-11
A	CN 103050992 A (DU, Wenjuan) 17 April 2013 (2013-04-17) entire document	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/072683

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	109802438	A	24 May 2019	None	
CN	108777481	A	09 November 2018	None	
CN	108802609	A	13 November 2018	None	
CN	105449701	A	30 March 2016	CN 105449701	B 16 February 2018
CN	108462212	A	28 August 2018	None	
CN	103050992	A	17 April 2013	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/072683

A. 主题的分类

H02J 3/38(2006.01)i; H02J 3/24(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H02J

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS, DWPI, SIPOABS, CNKI, IEEE, 发电机, 机组, 调频, 频率调整, 频率波动, 频率扰动, 频率偏差, 迫切度, 需求度, 参与度, 参与因子, 分担因子, 评估, 死区, 核电, generator, generators, primary, frequency, modulation, evaluation, dead zone, nuclear power

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 109802438 A (国网福建省电力有限公司 等) 2019年 5月 24日 (2019 - 05 - 24) 说明书第36-81段和图1-12	1-11
X	CN 108777481 A (国家电网公司西北分部) 2018年 11月 9日 (2018 - 11 - 09) 说明书第18-30段和图1-3	1, 2, 4, 9-11
Y	CN 108777481 A (国家电网公司西北分部) 2018年 11月 9日 (2018 - 11 - 09) 说明书第18-30段和图1-3	3
Y	CN 108802609 A (国网福建省电力有限公司 等) 2018年 11月 13日 (2018 - 11 - 13) 说明书第2-3段	3
A	CN 105449701 A (华北电力科学研究院有限责任公司 等) 2016年 3月 30日 (2016 - 03 - 30) 全文	1-11
A	CN 108462212 A (国网辽宁省电力有限公司 等) 2018年 8月 28日 (2018 - 08 - 28) 全文	1-11
A	CN 103050992 A (杜文娟) 2013年 4月 17日 (2013 - 04 - 17) 全文	1-11

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2020年 4月 17日

国际检索报告邮寄日期

2020年 4月 24日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

丁东霞

电话号码 86-(010)-62411651

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/072683

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109802438	A	2019年 5月 24日	无	
CN	108777481	A	2018年 11月 9日	无	
CN	108802609	A	2018年 11月 13日	无	
CN	105449701	A	2016年 3月 30日	CN 105449701 B	2018年 2月 16日
CN	108462212	A	2018年 8月 28日	无	
CN	103050992	A	2013年 4月 17日	无	