(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

(43) 国际公布日
2014 年 10 月 30 日 (30.10.2014)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2014/173131 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 19/00 (2011.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2013/088404

(22) 国际申请日: 2013 年 12 月 3 日 (03.12.2013)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201310142071.0 2013 年 4 月 23 日 (23.04.2013) CN

(71) 申请人: **国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA)** [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。 **中国电力科学研究院 (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE)** [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: **刘道伟 (LIU, Daowei)**; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 **李柏青 (LI, Baiqing)**; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 **马世英 (MA, Shiying)**; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 **侯俊贤 (HOU, Junxian)**; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 **孙华东 (SUN, Huadong)**; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 **王虹富 (WANG, Hongfu)**; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 **董毅峰 (DONG, Yifeng)**; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 **王毅 (WANG, Yi)**; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 **张志强 (ZHANG, Zhiqiang)**; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。

(74) 代理人: **北京安博达知识产权代理有限公司 (AMBOYNA INTELLECTUAL PROPERTY AGENT CO.,LTD.)**; 中国北京市海淀区大钟寺 13 号院 1 号楼华杰大厦 B215, Beijing 100098 (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,

[见续页]

(54) **Title**: LARGE POWER GRID OVERALL SITUATION ON-LINE INTEGRATED QUANTITATIVE EVALUATION METHOD BASED ON RESPONSE

(54) **发明名称** : 一种基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估方法

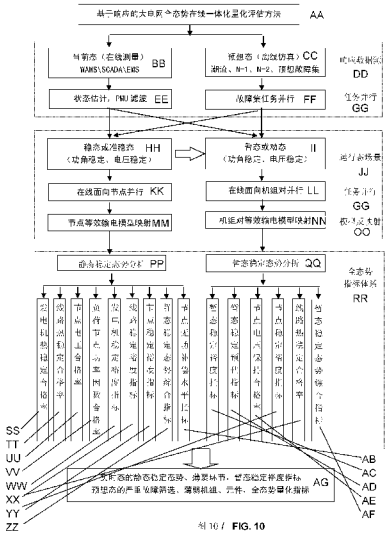


图 10 / FIG. 10

AA Large power grid overall situation on-line integrated quantitative evaluation method based on a response
BB Current state (on-line measurement)
CC Preconceived state (off-line emulation)
DD Response data source
EE State evaluation, PMU filtering
FF Concurrent tasks for a fault set
GG Concurrent tasks
HH Stable state or quasi-stable state (stable power angle, stable voltage)
II Transient state or dynamic state (stable power angle, stable voltage)
JJ Operation-state scenario
KK On-line node-oriented concurrency
LL On-line units-oriented concurrency
MM Node equivalent electricity transmission model mapping
NN Units equivalent electricity transmission model mapping
OO Inverse mapping of model
PP Static stable situation analysis
QQ Transient stable situation analysis
RR Overall situation indicator system
SS Thermostablization acceptable rate of a generator
TT Thermostablization acceptable rate of a line
UU Voltage acceptable rate of a node
VV Power factor acceptable rate of a load node
WW Stability margin indicator of a generator
XX Stability margin indicator of a line
YY Stability margin indicator of a node
ZZ Comprehensive indicator of a static stable situation
AB Reactive compensation level indicator of a node
AC Transient stability margin indicator
AD Transient stability prediction indicator
AE Voltage holding acceptable rate of a node
AF Comprehensive indicator of a transient stable situation
AG Real-time static stable situation, weak line; transient stability margin indicator; preconceived severe fault screening, weak unit; component; quantitative indicator of an overall situation

(57) **Abstract**: A large power grid overall situation on-line integrated quantitative evaluation method based on a response is provided. The method comprises: step S1, acquiring power grid topology structural information from an SCADA system and an EMS system and establishing a correspondence between the power grid topology structural information and a WAMS system power grid component; step S2, acquiring trend data of a current operation manner of the power grid from the SCADA system or the EMS system or a WAMS system or acquiring various preconceived trends or time domain data of a transient fault from a DSA system; and step S3, grouping, from the aspect of tracks, response data into a stable operation scenario (or quasi-stable) and a transient operation scenario (or dynamic), static stabilization situation assessment being performed on a power grid in an on-line node-oriented manner, and transient stabilization situation assessment being performed on the power grid in an on-line unit-oriented method. Static and transient comprehensive assessment indicators are constructed based on component-level thermostabilization, an electric parameter acceptable range, and system-level stabilization, the

[见续页]

WO 2014/173131 A1

CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, 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))。

comprehensiveness and reasonability of the overall situation assessment indicators are improved, and the efficiency of overall situation integrated assessment is improved by using the method out of carrying out tasks concurrently.

(57) 摘要: 提供一种基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估方法，该方法包括：步骤 S1，从 SCADA 系统、EMS 系统获取电网拓扑结构信息，并建立与 WAMS 系统电网元件的对应关系；步骤 S2，从 SCADA 系统、EMS 系统或者 WAMS 系统获取电网当前运行方式潮流数据或者从 DSA 系统中获得各种预想的潮流或者暂态故障时域数据；步骤 S3，从轨迹角度出发将响应数据宏观分为稳态（或准稳态）和暂态（或动态）两种运行场景，以在线面向节点的方式对电网进行静态稳定态势评估，以在线面向机组对的方式对电网进行暂态稳定态势评估。构造静态和暂态综合评估指标时都从元件级热稳定、电气量合格范围及系统级稳定三个角度出发，提高全态势评估指标的全面性及合理性；采用任务并行的方法提高全态势一体化评估效率。

一种基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估方法

技术领域

本发明涉及大电网在线安全监控与预警领域，具体涉及一种基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估方法。

背景技术

确保大电网安全和经济运行是电力工作者多年来努力追求的目标。随着电网互联范围的不断扩大、电力工业市场化体制改革的不断深入，以及特高压输电、可再生能源发电的持续接入，增加了电网运行的不确定性，使得电网运行环境和动态行为更加复杂，对其进行稳定分析和控制的难度也更大。现代大电网一旦发生事故，如果不及时处理，后果将非常严重。仅 2000 年以来，世界上就发生了多起大停电事故，其中“8.14”美加大停电是历史上最大的一次停电事故，停电期间每天的经济损失高达 300 亿美元，频繁发生的大停电事故对电网安全稳定分析与控制、电网运行状态实时监控提出了更加迫切的要求。

当前，在大电网在线安全评估与预警领域主要存在以下 4 个问题：①电网在线安全评估主要采用传统网络建模和仿真形式，虽然以建模仿真为主的电网安全评估是电网规划和运行中必不可少的重要工具，但是该种方法受电网模型、参数以及数值计算等因素的制约，在应用规模、速度及与真实电网工况匹配度等方面很难适应电网实时监控的要求，必须寻求新的理念和更快捷的解决方法；②大停电事故往往是由不可预见的连锁故障或随机扰动而引起，现有的基于预想事故集的“离线预决策，在线匹配”电网安控模式，无法匹配电网真实工况，且受模型和参数的影响，所得方案有时过于保守（或乐观），尤其故障集组合爆炸问题严重限制了可能考虑工况的数量。在大电网实时监控和防止大停电事故时，有可能显得力不从心；③现有的电网在线安全评估系统在针对具体问题时具有很强的独立性，往往将电网功角稳定和同步稳定割裂开来进行处理，或者具体分为静态问题和暂态问题。然而，实际上电网稳定是一种统一的非线性动力系统稳定问题，从电网响应角度来看，功角和电压只是一种外在表现形式，且静态问题和暂态问题又存在一种“动中有静、静中有动”的辩证思想。所以，现有的很多评估方法和指标具有很大的重叠性，在实时运行环境中需要更加有效且能真实反映电网运行态势的评估指标体系；④大停电的主要原因之一是投入运行的电网在线监控系统在电网状态缓慢恶化阶段没有给出直观、有效的电网运行态势量化评估预警信息，也没有根据电网真实工况变化给出相应的控制措施而错失了力挽狂澜的最佳时机。因此，电网需要建立全新的在线安全评估方法体系，实现大电网高度自动化、智能化的在线安全评估及预警。

随着计算机、通讯及网络技术的发展，WAMS (Wide Area Measurement System，广域测量系统)在电网调度自动化中得以广泛应用，为基于 WAMS 的电网运行全态势在线量化评估及实时自适应控制研究带来了新的契机。面对上述机遇与挑战，融合了先进的测量传感技术、控制技术、通信技术、计算机技术等多种前沿技术的智能电网(Smart Grid)成为现代电力工业发展的必由之路。智能电网重要的功能之一，就是提高电网的可视化和预警能力，最终实现智能化的闭环控制，使电网运行更加安全、可靠、经济。而智能调度是智能电网建设的核心内容，智能调度技术支持系统要具有“以调度员思维模式为框架，以可视化界面为功能模块，以互动计算为系统核心”的功能。

智能电网要想实现大电网在线安全评估与预警是一项宏大的系统工程，结合当前成熟的 WAMS 系统及基于 SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition，数据采集与监控）\EMS（Energy Management System，能量管理系统）和预想故障集仿真的 DSA（Dynamic Security Assessment，动态安全评估）系统，针对不同的电网运行场景，需要全面深入研究基于响应信息的大电网全态势量化评估方法和数据融合处理机制，建立基于多响应信息源的大电网当前态和预想态相结合的在线安全评估体系。

发明内容

本发明涉及一种基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估方法，包括：

步骤 S1，从 SCADA 系统、EMS 系统获取电网拓扑结构信息，并建立与 WAMS 系统电

网元件的对应关系；

步骤 S2，从所述 SCADA 系统、EMS 系统或者 WAMS 系统获取电网当前运行方式潮流数据或者从 DSA 系统中获得各种预想的潮流或者暂态故障时域数据；

步骤 S3，以在线面向节点的方式对电网进行静态稳定态势评估，以在线面向机组对的方式对电网进行暂态稳定态势评估；

其中，对电网进行静态稳定态势评估的内容包括：发电机稳定裕度指标、线路稳定裕度指标、节点稳定裕度指标、发电机热稳定合格率、线路热稳定合格率、节点电压合格率、负荷节点功率因数合格率、静态稳定态势综合指标和节点无功补偿水平指标；

对电网进行暂态稳定态势评估的内容包括：暂态稳定裕度指标、暂态稳定预估指标、节点电压保持合格率、节点稳定裕度指标、线路热稳定合格率和暂态稳定态势综合指标。

本发明提供的第一优选实施例中：各种电网静态响应数据包括预想态离线潮流、N-1、N-2 潮流收敛后计算结果、SCADA\EMS 系统状态估计结果、PMU 量测信息；

各种电网暂态过渡过程响应数据包括各种预想暂态故障集时域仿真结果、WAMS 实时测量的电网扰动过程信息；

对于 PMU 量测信息根据其前一时刻或周边 PMU 量测数据变化进行合理性预判或滤波处理；

对于 N-1、N-2 预想故障，根据并行机数量进行分配。

本发明提供的第二优选实施例中：所述步骤 S3 中对电网进行静态稳定态势评估和暂态稳定态势评估时，将电网所有节点按并行机数量进行分配；

根据电网运行潮流断面信息并结合电网拓扑结构，按有功流向求得各节点等效输电功率 $P_E + jQ_E$；

采用基于局部量测的跟踪参数辨识方法，在线辨识电网各节点当前态下的等效输电模型参数，所述等效输电模型参数包含等效电源电势 E_E、等效支路阻抗模 Z_E、阻抗角 α，实现基于电网当前运行状态的节点等效输电模型反映射。

本发明提供的第三优选实施例中：所述步骤 S3 中得到电网的所述发电机稳定裕度指标、线路稳定裕度指标和节点稳定裕度指标的方法为：

根据最大输电功率思想，分别针对发电机支路、联络线支路及节点等效输电模型，求出所述发电机支路、联络线支路或者节点当前运行方式对应的静态稳定裕度指标 S_{Li}， S_{Li} 计算公式为：$S_{Li} = \dfrac{Z_L - Z_E}{Z_L}$；

其中 Z_L 代表所述发电机支路、联络线路或节点等效负荷阻抗，根据末端电压和功率求得。

本发明提供的第四优选实施例中：所述步骤 S3 中得到电网的所述发电机热稳合格率和联络线热稳合格率的方法包括：

根据各发电机、联络线自身的热稳定运行约束，统计发电机热稳定合格率 G_{PR} 和线路热稳定合格率 L_{PR} 分别为：$G_{PR} = \dfrac{G_{QN}}{G_N}$； $L_{PR} = \dfrac{L_{QN}}{L_N}$；

其中，G_N、L_N 分别为电网总发电机数、总联络线数，G_{QN}、L_{QN} 分别为满足各自运行热稳定约束的发电机、联络线数目；

所述步骤 S3 中得到电网的所述节点电压合格率和负荷节点功率因数合格率的方法包括：

根据电网正常运行方式给定的节点电压和负荷节点功率因数合格范围上下限，统计电网节点电压合格率 $V_R = \dfrac{V_{QN}}{N_N}$，负荷节点功率因数合格率 $P_{FR} = \dfrac{P_{QFN}}{P_{FN}}$；

其中 N_N、P_{FN} 分别为电网总节点数和负荷节点数，V_{QN}、P_{QFN} 分别为满足电压范围的节点数和满足功率因数范围的负荷节点数。

得到电网静稳越限率方法包括：

设定 S_{Li} 某一预警槛值 S_{LC}，统计电网所有联络线支路和节点等效支路大于 S_{LC} 的个数，节点包括发电机节点、中间联络节点和负荷节点，分别计算线路静稳合格率 $L_{SR}=\frac{L_{CN}}{L_N}$、节点静稳合格率 $N_{SR}=\frac{N_{CN}}{N_N}$；

其中 L_N、N_N 分别为系统总联络线数和节点数，L_{CN}、N_{CN} 分别为大于 S_{LC} 的联络线数和节点数。

本发明提供的第五优选实施例中：所述步骤 S3 中得到电网整体静态稳定态势综合指标的方法包括：

电网整体静态稳定态势综合指标 $S_{SI}=\alpha_1 H_{QR}+\beta_1 R_{QR}+\chi_1 S_{SR}$；

其中，α_1、β_1、χ_1 分别为电网按热稳定约束、运行电气量约束和静稳约束的权重系数，根据经验或分析需要灵活配置，α_1、β_1、χ_1 满足：

$$\begin{cases} 0\le\alpha_1\le 1 \\ 0\le\beta_1\le 1 \\ 0\le\chi_1\le 1 \\ 0\le\alpha_1+\beta_1+\chi_1\le 1 \end{cases}$$

H_{QR} 为电网整体热稳合格率，H_{QR} 计算公式为：$H_{QR}=\frac{G_{QN}+L_{QN}}{G_N+L_N}$；

R_{QR} 为电网整体运行电气量合格率，R_{QR} 计算公式为：$R_{QR}=\frac{V_{QN}+P_{QFN}}{N_N+P_{FN}}$；

S_{SR} 为电网整体静稳合格率，S_{SR} 计算公式为：$S_{SR}=\frac{L_{CN}+N_{CN}}{L_N+N_N}$。

本发明提供的第六优选实施例中：所述步骤 S3 中采用虚拟无功变化的方法求得使等效输电模型对应有功损耗最小时所需的无功大小，得到各个节点当前运行方式下无功补偿水平指标的方法为：

结合所述各节点等效输电模型及其等效输电有功功率 P_E，求出所述节点等效模型下流通 P_E 对应的有功损耗最小时需要的无功值 $Q_{\min}$，然后对比所述 $Q_{\min}$ 与求得的所述节点等效输电无功功率 Q_E，求得所述各节点当前运行方式下所述无功补偿缺额指标 Q_I 为：

$$Q_I=\frac{Q_E-Q_{\min}}{Q_E}$$

其中，$Q_I>0$ 时表示无功欠补，$Q_I=0$ 时表示无功最佳，$Q_I<0$ 时表示无功过补。

本发明提供的第七优选实施例中：所述步骤 S3 中从所述 WAMS 系统或者各种预想暂态故障集中获取电网暂态过程轨迹时域数据，直接采用受扰严重机组对的方法包络电网暂态行为分析，得到电网的所述暂态稳定裕度指标，包括步骤 S101-步骤 S103：

步骤 S101，根据各发电机的惯性时间常数 M 及其角速度 ω、功角 δ、机端母线电压相角 θ 和机端电磁有功功率 P_{GE} 前后时刻的变化情况，快速识别受扰相对最超前 x 台和最滞后 x 台发电机，构成受扰相对最严重机组集合 Ω；

所述数字 x 可以根据需要人为设定，x 的范围是 $5\le x\le 10$；

步骤 S102，对于所述集合 Ω 内的任意一个超前和滞后机组对，计算发电机组 i 和发电机组 j 之间的暂态稳定裕度指标 $T_{SIij}=\frac{\delta_{ij}-\delta_{seq}}{\delta_{ij}}$；

其中，δ_{ij} 表示所述发电机组 i 和发电机组 j 之间的功角 δ_i 和 δ_j 的差，$\delta_{ij}=\delta_i-\delta_j$；$\delta_{seq}$ 为所述发电机组 i 和发电机组 j 之间的机械功率函数 P_{Meq} 和电磁有功功率 P_{Eeq} 的交点为虚拟稳定平

衡运行点；

步骤 S103，依次计算所述集合Ω内的任意超前和滞后发电机组i和发电机组j之间的暂态稳定裕度指标T_{SIij}，以最小机组对的T_{SIij}作为本次时域数据的暂态稳定裕度指标S_{TSI}，即$S_{TSI}=\min\{T_{SIij},\ i,j\in\Omega\}$。

本发明提供的第八优选实施例中：计算所述δ_{seq}的方法包括步骤 S1021-步骤 S1023：

步骤 S1021，所述发电机组i和所述发电机组j之间的等效单机转子惯性时间常数为$M_{eq}=\frac{M_iM_j}{M_i+M_j}$，计算所述发电机组$i$和所述发电机组$j$之间的机械功率函数$P_{Meq}=\frac{M_j}{M_i+M_j}P_{Mi}-\frac{M_i}{M_i+M_j}P_{Mj}$；

其中M_i和M_j分别为所述发电机组i和发电机组j的惯性时间常数，P_{Mi}和P_{Mj}分别为所述发电机组i和发电机组j的机械注入功率，所述发电机组的机械注入功率$P_M=M\frac{\omega_{t+\Delta t}-\omega_t}{\Delta t}+P_E$；

步骤 S1022，计算所述发电机组i和所述发电机组j之间的电磁有功功率$P_{Eeq}=\frac{M_j}{M_i+M_j}P_{Ei}-\frac{M_i}{M_i+M_j}P_{Ej}=P_{EM}\sin(\delta_{ij}+C)$；

其中，$P_{EM}=\sqrt{A^2+B^2}$，$A=D\cos(\delta_j-\theta_i)+E\cos(\delta_i-\theta_j)$，$B=D\sin(\delta_j-\theta_i)-E\sin(\delta_i-\theta_j)$，$C=\tan^{-1}(B/A)$，$D=\frac{M_j}{M_i+M_j}\frac{E_iU_i}{X_i}$，$E=\frac{M_i}{M_i+M_j}\frac{E_jU_j}{X_j}$，$U_i$、$U_j$、$\theta_i$、$\theta_j$、$X_i$、$X_j$分别表示发电机组$i$和发电机组$j$的机端母线电压幅值、相角及等效内电抗；

步骤 S1023，计算$\delta_{seq}=a\sin(\frac{P_{Meq}}{P_{EM}})-C$。

本发明提供的第九优选实施例中：对于集合Ω内的任意超前和滞后机组对，依据计算后的机组对等效机械功率P_{Meq}和电磁有功功率P_{Eeq}变化轨线，利用曲线拟合技术并从能量的角度构建暂态稳定性预估指标，具体包括步骤 S201-步骤 S203：

步骤 S201，假定所述发电机组对等效机械功率P_{Meq}在暂态过程中不变，所述发电机组对等效电磁有功功率P_{Eeq}变化轨线用如下正弦函数进行拟合：$y=x_0\sin(\delta_{ij}+x_1)+x_2$；

其中，x_0，x_1，x_2为待求取的拟合正弦函数系数，y表示发电机组对等效P_{Eeq}；

步骤 S202，计算所述发电机组i和发电机组j之间的暂态稳定预估指标T_{SEIij}；

步骤 S203，依次计算集合Ω内的任意超前和滞后机组对的T_{SEIij}，以最小机组对的T_{SEIij}作为本次时域数据的暂态稳定预估指标S_{TEI}，$S_{TEI}=\min\{T_{SEIij},\ i,j\in\Omega\}$；

所述步骤 S202 中计算所述发电机组i和发电机组j之间的暂态稳定预估指标包括步骤 S2021-步骤 S2023：

步骤 S2021，根据P_{Eeq}变化轨线拟合函数y，求得故障切除后的不稳定平衡点δ_{iju}，所述不稳定平衡点为所述发电机组对等效机械功率P_{Meq}和电磁有功功率P_{Eeq}变化轨线的交点，δ_{iju}计算公式为：$\delta_{iju}=\pi-\arctan\frac{P_{Meq}-x_2}{x_0}-x_1$；

步骤 S2022，故障切除时刻机组对的暂态动能V_{TA}为：

$$V_{TA}=\int_{\delta_{ij0}}^{\delta_{ijc}}\left[P_{Meq}-x_0\sin(\delta_{ij}+x_1)-x_2\right]d\delta_{ij}$$
$$=\left(P_{Meq}-x_2\right)\left(\delta_{ijc}-\delta_{ij0}\right)+x_0\left[\cos(\delta_{ijc}+x_1)-\cos(\delta_{ij0}+x_1)\right]$$

故障切除后系统所吸收的临界势能（减速面积）V_{TB}为：

$$V_{TB}=\int_{\delta_{ijc}}^{\delta_{iju}}\left[x_0\sin(\delta_{ij}+x_1)+x_2-P_{Meq}\right]d\delta_{ij}$$
$$=\left(x_2-P_{Meq}\right)\left(\delta_{iju}-\delta_{ijc}\right)-x_0\left[\cos(\delta_{iju}+x_1)-\cos(\delta_{ijc}+x_1)\right]$$

其中，δ_{ij0}和δ_{ijc}分别表示故障发生时刻和故障切除时刻的机组对功角差。

步骤S2023，计算所述发电机组i和所述发电机组j之间的所述暂态稳定预估指标T_{SEIij}：$T_{SEIij}=1-\frac{V_{TA}}{V_{TB}}$；

其中，T_{SEIij}指标暂态稳定意义为：$T_{SEIij}>0$暂态稳定，$T_{SEIij}=0$临界暂态稳定，$T_{SEIij}<0$，暂态失稳。

本发明提供的第十优选实施例中：所述步骤S3中得到电网节点电压保持合格率的方法包括：

给定暂态过程中节点电压保持能力考察范围：电压跌落下限V_L和持续时间V_C，统计电网所有节点在暂态过程中满足电压水平可接受范围的节点数目V_{QN}，计算所述暂态过程中节点电压满足保持能力的合格率$V_{TR}=\frac{V_{QN}}{N_N}$；

所述步骤S3中得到电网中所述线路热稳合格率的方法包括：给定暂态过程中节点静态稳定裕度指标和线路热稳考察范围：节点静稳裕度限值S_{IC}、线路热稳限值L_{PR}和持续时间T_C，统计电网满足静稳可持续范围的节点数目S_{QN}、满足热稳可持续范围的线路数目L_{QN}，计算所述暂态过程中节点静稳和线路热稳的合格率S_{TR}，S_{TR}计算公式为：$S_{TR}=\frac{S_{QN}+L_{QN}}{N_N+L_N}$。

本发明提供的第十一优选实施例中：所述步骤S3中得到所述电网整体暂态稳定态势综合指标$S_{TI}=\alpha_2 S_{T_{SEI}}+\beta_2 V_{TR}+\chi_2 S_{TR}$；

其中，α_2、β_2、χ_2分别为电网按热稳定约束、运行电气量约束和静稳约束的权重系数，根据经验或分析需要灵活配置，α_2、β_2、χ_2满足：

$$\begin{cases}0\le\alpha_2\le1\\0\le\beta_2\le1\\0\le\chi_2\le1\\0\le\alpha_2+\beta_2+\chi_2\le1\end{cases}$$

。

本发明提供的一种基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估方法的有益效果包括：

1、本发明提供的一种基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估方法，可针对电网当前态的实时测量或者预想态下的各种仿真数据，实现了大电网静态和暂态两种典型运行场景的全态势在线一体化量化评估。即实现了电网当前态下的态势评估，也充分结合了现有DSA预想仿真优势实现了预想态的态势评估，有利于调度运行人员及时了解电网当前运行态势及电网潜在的系统风险。同样本方法也可间接应用于各种离线预想方式或故障集时域仿真数据的后期智能化评估，大大降低了规划人员或方式制定人员的工作量。本发明所用核心方法都基于电网响应数据，具有较强的独立性，且全态势评估方法及算法直接、简单，可快速识别电网任何运行方式下的薄弱节点或薄弱区域，以便运行或规划人员参考，防患于未然，减少或避免电压稳定事故发生，适合在线工程应用。本发明可使以往的“建模仿真”防控模式逐步过渡到“轨迹挖掘”响应控制模式，是传统电网防控思想和方法的扩展，可有效提高大电网在线智能化评估与预警水平。

2、从EMS系统中获取电网拓扑结构关系，这样有利于后期针对各种响应数据进行电网全态势量化评估及统计分析。

3、从响应角度来看，将电网元件和电压水平直接从合格范围直接进行简单统计分析。而

在传统意义上的功角稳定和电压稳定态势定量评估时，静态稳定性聚焦于电网输电能力，暂态稳定性聚焦于能量守恒，建立基于响应的大电网全态势在线统一量化评估思想。

4、针对电网任意实时测量或各种预想故障形式的潮流断面进行静态稳定形式的态势评估，对具体节点稳定态势或故障集分析时，采用任务并行的方法提高全面评估效率。

5、将电网所有节点按当前的潮流分布及拓扑关系，统计该节点实际流通（或转移）功率，以此为基础将节点等效为简化的“单电源单负荷”简化输电模型，并采用局部量测信息在线跟踪辨识其等效输电参数，实现电网所有节点的等效虚拟模型映射，为下一步静态稳定态势评估奠定基础。

6、统一采用可表达最大输电能力思想的阻抗模指标进行静态稳定态势评估，并将阻抗模方法应用于发电机支路、输电线和节点等效输电模型中。阻抗模方法适合在线快速计算，并可有效识别当前运行方式下的薄弱机组、关键线路及薄弱节点。

7、从发电机和线路热稳定运行合格范围的角度出发统计电网当前运行方式下的热稳合格率，可快速有效地筛选过载元件，也符合常规潮流方式直观评估的习惯。

8、从节点电压水平和负荷节点功率因数角度出发统计电网当前运行方式下的电气量合格率，可快速有效地评价当前运行方式电压和功率因数合格水平，也符合常规潮流方式电能质量考核要求。

9、面向节点等效输电模型和线路，利用阻抗模指标实现静态稳定合格率统计。

10、充分结合统计结果，实现了从元件级热稳、运行量合格范围到系统静稳的综合性静太稳定态势评估，并可根据实际运行状态和评估侧重点需要灵活选择三者权重。

11、借助构造的节点等效输电模型及其参数，可求得节点当前流通有功时使得有功损耗最小所需的虚拟无功大小，进而实现当前运行方式下电网所有节点无功补偿水平评估

12、针对暂态时域过程信息进行暂态稳定裕度和暂态稳定性预估时，都直接采用受扰最严重机组对的动态行为包络反映电网整体动态行为，无需采用分群等值等处理，物理意义明确直观，评估结果精确度高。

13、为了降低受扰最严重机组对选择的失误，采用多种角度挑选受扰相对最严重机组集合 Ω ，再从集合 Ω 中挑选最严重的机组对，以降低因最弱机组对选择失误造成电网实际态势的误判。

14、对于任意集合 Ω 内的超前和滞后机组对，根据各机组自身的电气量信息，经过简单代数计算求得机组对暂态稳定裕度指标 T_{SI} ，并以集合 Ω 内最小机组对的 T_{SI} 作为本次时域数据的暂态稳定裕度指标 S_{TSI} ，进而实现当前暂态轨迹的暂态稳定裕度定量化评估。

15、采用三角函数形式拟合机组对等效功角函数曲线比较好的反映电网暂态过度轨迹特征，借助该拟合曲线可以方便的计算能量型暂态稳定性预估指标 T_{SEI} ，物理意义清晰直观，并以集合 Ω 内最小机组对的 T_{SEI} 作为本次时域数据的暂态稳定预估指标 S_{TEI} ，进而实现当前暂态轨迹的暂态稳定性量化预估。

16、借鉴暂态电压稳定习惯性判断方法，采用电压跌落某一限制及持续时间来衡量给定暂态过程中的节点电压保持能力及合格率水平。

17、同样采用“限值+持续时间”的方法，并结合静稳中的一些方法，求得暂态过程中节点静稳和线路热稳的合格率 S_{TR} ，便于评估给定暂态暂态过程中的节点静态稳定裕度和线路载荷水平情况。

18、充分结合统计结果，实现了从动力系统能量守恒、暂态电压保持能力、节点静稳和线路热稳的综合性暂态稳定态势评估指标 S_{TI} ，根据实际动态轨迹和评估侧重点需要灵活选择权重，计算不同故障对应的 S_{TI} 并实现它们的严重程度排序，提高预想故障集在线分析效率，S_{TI} 可有效对多种暂态故障的稳定态势进行有效量化评估并便于严重暂态故障筛选。

19、采用任务并行的方法对暂态故障集中大量预想故障进行暂态稳定态势分析。

附图说明

如图 1 所示为本发明提供的一种基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估数据流图；

如图 2 所示为本发明提供的综合指标体系元素图；

如图 3 所示为本发明提供的电网局部节点示意图；

如图 4 所示为本发明提供的节点等效输电模型示意图；

如图 5 所示为本发明提供的最大输电功率边界阻抗模示意图；

如图 6 所示为本发明提供的节点无功补偿水平评估示意图；

如图 7 所示为本发明提供的电网机组对示意图；

如图 8 所示为本发明提供的机组对等效功角曲线拟合示意图；

如图 9 所示为本发明提供的能量型暂态稳定预估指标示意图；

如图 10 所示为本发明提供的基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估流程图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步详细说明。

本发明提供一种基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估方法，如图 1 所示本发明提供的一种基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估数据流图。由图 1 可知，该评估方法包括：

步骤 S1，从 SCADA 系统、EMS 系统获取电网拓扑结构信息，并建立与 WAMS 系统电网元件的对应关系。

步骤 S2，从 SCADA 系统、EMS 系统或者 WAMS 系统获取电网当前运行方式潮流数据或者从 DSA 系统中获得各种预想的潮流或者暂态故障时域数据。

步骤 S3，以在线面向节点的方式对该电网进行静态稳定态势评估，以在线面向机组对的方式对该电网进行暂态稳定态势评估。

在构建态势综合评估指标体系时综合考虑了电网元件级热稳性、运行电气量合格和系统级稳定性三各因素，如图 2 所示为本发明提供的综合指标体系元素图。

其中，对电网进行静态稳定态势评估的内容包括：发电机稳定裕度指标、线路稳定裕度指标、节点稳定裕度指标、发电机热稳定合格率、线路热稳定合格率、节点电压合格率、负荷节点功率因数合格率、静态稳定态势综合指标和节点无功补偿水平指标。

对电网进行暂态稳定态势评估的内容包括：暂态稳定裕度指标、暂态稳定预估指标、节点电压保持合格率、节点稳定裕度指标、线路热稳定合格率和暂态稳定态势综合指标。

各种电网静态响应数据包括预想态离线潮流、N-1、N-2 潮流收敛后计算结果、SCADA\EMS 系统状态估计结果、PMU 量测信息；各种电网暂态过渡过程响应数据包括各种预想暂态故障集时域仿真结果、WAMS 实时测量的电网扰动过程信息；对于 PMU 量测信息根据其前一时刻或周边 PMU 量测数据变化进行合理性预判或滤波处理；对于 N-1、N-2 预想故障，根据并行机数量进行分配。

步骤 S3 中对该电网进行静态稳定态势评估和暂态稳定态势评估时，将电网所有节点按并行机数量进行分配，如图 3 所示为本发明提供的电网局部节点示意图，节点可能与发电机、负荷、电容器、线路等多种元件相连。

根据电网运行潮流断面信息并结合电网拓扑结构，按有功流向求得各节点等效输电功率 $P_E + jQ_E$，如图 4 所示为节点等效输电模型示意图。采用基于局部量测的跟踪参数辨识方法，在线辨识电网各节点当前态下的等效输电模型参数，主要包含等效电源电势 E_E、等效支路阻抗模 Z_E、阻抗角 α，实现基于电网当前运行状态的节点等效输电模型反映射。

步骤 S3 中得到该电网的发电机稳定裕度指标、线路稳定裕度指标和节点稳定裕度指标的方法中，采用如图 5 所示的最大输电功率思想的阻抗模指标作为静态稳定裕度指标，包括：

根据最大输电功率思想，分别针对发电机支路、联络线支路及节点等效输电模型，求出

该发电机支路、联络线支路或者节点当前运行方式对应的静态稳定裕度指标 S_{Li}， S_{Li} 计算公式为：

$$S_{Li}=\frac{Z_L-Z_E}{Z_L}$$

Z_L 可分别代表发电机支路、联络线路或节点等效负荷阻抗，可根据末端电压和功率求得。S_{Li} 衡量各发电机支路、输电线载荷及节点静态稳定裕度的大小情况，并可用来定位薄弱机组、关键线路及薄弱节点。

具体的，将所有节点的静态稳定裕度指标 S_{Li} 进行平均，可求得当前运行方式下电网平均静态稳定裕度指标 S_{AI}，计算公式为：

$$S_{AI}=\frac{\sum_{i=1}^{N}S_{Li}}{N_N}$$

步骤 S3 中得到该电网的发电机热稳合格率和联络线热稳合格率的方法包括：

根据各发电机、联络线自身的热稳定运行约束，统计发电机热稳定合格率 G_{PR} 和线路热稳定合格率 L_{PR} 分别为：$G_{PR}=\frac{G_{QN}}{G_N}$； $L_{PR}=\frac{L_{QN}}{L_N}$。

其中，G_N、L_N 分别为电网总发电机数、总联络线数，G_{QN}、L_{QN} 分别为满足各自运行热稳定约束的发电机、联络线数目。

步骤 S3 中得到该电网的节点电压合格率和负荷节点功率因数合格率的方法包括：

根据电网正常运行方式给定的节点电压和负荷节点功率因数合格范围上下限，统计电网节点电压合格率 $V_R=\frac{V_{QN}}{N_N}$，负荷节点功率因数合格率 $P_{FR}=\frac{P_{QFN}}{P_{FN}}$。

其中 N_N、P_{FN} 分别为电网总节点数和负荷节点数，V_{QN}、P_{QFN} 分别为满足电压范围的节点数和满足功率因数范围的负荷节点数。

得到电网静稳越限率方法包括：

设定 S_{Li} 某一预警槛值 S_{LC}，统计电网所有联络线支路和节点（发电机节点、中间联络节点、负荷节点）等效支路大于 S_{LC} 的个数，分别计算线路静稳合格率 $L_{SR}=\frac{L_{CN}}{L_N}$、节点静稳合格率 $N_{SR}=\frac{N_{CN}}{N_N}$；

其中 L_N、N_N 分别为系统总联络线数和节点数，L_{CN}、N_{CN} 分别为大于 S_{LC} 的联络线数和节点数。

步骤 S3 中得到该电网整体静态稳定态势综合指标的方法包括：电网整体静态稳定态势综合指标 $S_I=\alpha_1 H_{QR}+\beta_1 R_{QR}+\chi_1 S_{SR}$。

其中，α_1、β_1、χ_1 分别为电网按热稳定约束、运行电气量约束和静稳约束的权重系数，可根据经验或分析需要灵活配置。α_1、β_1、χ_1 满足以下条件：

$$\begin{cases}0\le\alpha_1\le1\\0\le\beta_1\le1\\0\le\chi_1\le1\\0\le\alpha_1+\beta_1+\chi_1\le1\end{cases}$$

H_{QR} 为电网整体热稳合格率，H_{QR} 计算公式为：$H_{QR}=\frac{G_{QN}+L_{QN}}{G_N+L_N}$。

R_{QR} 为电网整体运行电气量合格率，R_{QR} 计算公式为：$R_{QR}=\frac{V_{QN}+P_{QFN}}{N_N+P_{FN}}$。

S_{SR}为电网整体静稳合格率，S_{SR}计算公式为：$S_{SR}=\frac{L_{CN}+N_{CN}}{L_N+N_N}$。

S_{SI}综合衡量当前潮流状态下的电网静态稳定态势水平，可有效对多种潮流方式的静态稳定态势进行有效量化评估。

步骤S3中采用虚拟无功变化的方法求得使等效输电模型对应有功损耗最小时所需的无功大小，节点无功补偿水平评估示意图如图6所示，得到各个节点当前运行方式下无功补偿水平指标的方法包括：

结合各节点等效输电模型及其等效输电有功功率P_E，可求出节点等效模型下流通P_E对应的有功损耗最小时需要的无功值$Q_{\min}$，然后对比$Q_{\min}$与求得的节点等效输电无功功率Q_E，可求得各节点当前运行方式下无功补偿缺额指标Q_I为：

$$Q_I=\frac{Q_E-Q_{\min}}{Q_E}$$

其中，$Q_I>0$时表示无功欠补，$Q_I=0$时表示无功最佳，$Q_I<0$时表示无功过补。

步骤S3中从WAMS系统或者各种预想暂态故障集中获取电网暂态过程轨迹时域数据，直接采用受扰严重机组对的方法包络电网暂态行为分析，如图7所示为电网机组对示意图，得到该电网的暂态稳定裕度指标，包括步骤S101-步骤S103：

步骤S101，根据各发电机的惯性时间常数M及其角速度ω、功角δ、机端母线电压相角θ和机端电磁有功功率P_{GE}前后时刻的变化情况，快速识别受扰相对最超前x台和最滞后x台发电机，构成受扰相对最严重机组集合Ω。

该数字x可以根据需要人为设定，x的范围是$5\le x\le 10$。

步骤S102，对于集合Ω内的任意一个超前和滞后机组对，计算发电机组i和发电机组j之间的暂态稳定裕度指标$T_{SIij}=\frac{\delta_{ij}-\delta_{seq}}{\delta_{ij}}$。

其中，δ_{ij}表示发电机组i和发电机组j之间的功角δ_i和δ_j的差，$\delta_{ij}=\delta_i-\delta_j$。

δ_{seq}为发电机组i和发电机组j之间的机械功率函数P_{Meq}和电磁有功功率P_{Eeq}的交点虚拟稳定平衡运行点，计算δ_{seq}的方法包括步骤S1021-步骤S1023：

步骤S1021，发电机组i和发电机组j之间的等效单机转子惯性时间常数为$M_{eq}=\frac{M_iM_j}{M_i+M_j}$，计算发电机组$i$和发电机组$j$之间的机械功率函数$P_{Meq}=\frac{M_j}{M_i+M_j}P_{Mi}-\frac{M_i}{M_i+M_j}P_{Mj}$。

其中M_i和M_j分别为发电机组i和发电机组j的惯性时间常数，P_{Mi}和P_{Mj}分别为发电机组i和发电机组j的机械注入功率，发电机组的机械注入功率$P_M=M\frac{\omega_{t+\Delta t}-\omega_t}{\Delta t}+P_E$。

步骤S1022，计算发电机组i和发电机组j之间的电磁有功功率$P_{Eeq}=\frac{M_j}{M_i+M_j}P_{Ei}-\frac{M_i}{M_i+M_j}P_{Ej}=P_{EM}\sin(\delta_{ij}+C)$。

其中，$P_{EM}=\sqrt{A^2+B^2}$，$A=D\cos(\delta_j-\theta_i)+E\cos(\delta_i-\theta_j)$，$B=D\sin(\delta_j-\theta_i)-E\sin(\delta_i-\theta_j)$，$C=\tan^{-1}(B/A)$，$D=\frac{M_j}{M_i+M_j}\frac{E_iU_i}{X_i}$，$E=\frac{M_i}{M_i+M_j}\frac{E_jU_j}{X_j}$，$\theta_i$和$\theta_j$分别表示发电机组$i$和发电机组$j$的机端母线电压相角$U_i$、$U_j$、$\theta_i$、$\theta_j$、$X_i$、$X_j$分别表示发电机组$i$和发电机组$j$的机端母线电压幅值、相角及等效内电抗。

步骤S1023，计算$\delta_{seq}=a\sin(\frac{P_{Meq}}{P_{EM}})-C$。

步骤 S103，依次计算所述集合Ω内的任意超前和滞后发电机组 i 和发电机组 j 之间的暂态稳定裕度指标 T_{SIij}，以最小机组对的 T_{SIij} 作为本次时域数据的暂态稳定裕度指标 S_{TSI}，即 $S_{TSI}=\min\{T_{SIij},\ i,j\in\Omega\}$。通过最小机组对的 S_{TSI} 可实现薄弱机组的定位。

步骤 S3 中得到该电网的暂态稳定预估指标的方法包括：对于集合Ω内的任意超前和滞后机组对，依据计算后的发电机组对等效机械功率 P_{Meq} 和电磁有功功率 P_{Eeq} 变化轨线，利用曲线拟合技术并从能量的角度构建暂态稳定性预估指标，如图 8 所示为机组对等效功角曲线拟合示意图。得到该电网的暂态稳定预估指标的方法具体包括步骤 S201-步骤 S203：

步骤 S201，发电机组对等效机械功率 P_{Meq} 在暂态过程中可假定不变，发电机组对等效电磁有功功率 P_{Eeq} 变化轨线可用如下正弦函数进行拟合：$y=x_0\sin(\delta_{ij}+x_1)+x_2$。

其中，x_0，x_1，x_2 为待求取的拟合正弦函数系数，y 表示发电机组对等效 P_{Eeq}。

步骤 S202，计算发电机组 i 和发电机组 j 之间的暂态稳定预估指标 T_{SEIij}，包括步骤 S2021-步骤 S2023：

步骤 S2021，根据 P_{Eeq} 变化轨线拟合函数 y，求得故障切除后的不稳定平衡点 δ_{iju}，δ_{iju} 计算公式为：$\delta_{iju}=\pi-\arctan\dfrac{P_{Meq}-x_2}{x_0}-x_1$。

步骤 S2022，故障切除时刻机组对的暂态动能（加速面积）V_{TA} 为：

$$V_{TA}=\int_{\delta_{ij0}}^{\delta_{ijc}}\left[P_{Meq}-x_0\sin(\delta_{ij}+x_1)-x_2\right]d\delta_{ij}$$

$$=\left(P_{Meq}-x_2\right)\left(\delta_{ijc}-\delta_{ij0}\right)+x_0\left[\cos(\delta_{ijc}+x_1)-\cos(\delta_{ij0}+x_1)\right]$$

故障切除后系统所吸收的临界势能（减速面积）V_{TB} 为：

$$V_{TB}=\int_{\delta_{ijc}}^{\delta_{iju}}\left[x_0\sin(\delta_{ij}+x_1)+x_2-P_{Meq}\right]d\delta_{ij}$$

$$=\left(x_2-P_{Meq}\right)\left(\delta_{iju}-\delta_{ijc}\right)-x_0\left[\cos(\delta_{iju}+x_1)-\cos(\delta_{ijc}+x_1)\right]$$

其中，δ_{ij0} 和 δ_{ijc} 分别表示故障发生时刻和故障切除时刻的机组对功角差。

步骤 S2023，如图 9 所示的能量型暂态稳定预估指标示意图，计算发电机组 i 和发电机组 j 之间的暂态稳定预估指标 T_{SEIij}：$T_{SEIij}=1-\dfrac{V_{TA}}{V_{TB}}$。

其中，T_{SEIij} 指标暂态稳定意义如下，$T_{SEIij}>0$ 暂态稳定，$T_{SEIij}=0$ 临界暂态稳定，$T_{SEIij}<0$，暂态失稳。

步骤 S203，依次计算集合Ω内的任意超前和滞后机组对的 T_{SEIij}，以最小机组对的 T_{SEIij} 作为本次时域数据的暂态稳定预估指标 S_{TEI}，S_{TEI} 计算公式为：$S_{TEI}=\min\{T_{SEIij},\ i,j\in\Omega\}$。

步骤 S3 中得到该电网节点电压保持合格率的方法包括：

给定暂态过程中节点电压保持能力考察范围（电压跌落下限 V_L 和持续时间 V_C），统计电网所有节点在暂态过程中满足电压水平可接受范围的节点数目 V_{QN}，计算该暂态过程中节点电压满足保持能力的合格率 V_{TR}，V_{TR} 计算公式为：$V_{TR}=\dfrac{V_{QN}}{N_N}$。

步骤 S3 中得到该电网中线路热稳合格率的方法包括：给定暂态过程中的节点静态稳定裕度指标和线路热稳考察范围：节点静稳裕度限值 S_{IC}、线路热稳限值 L_{PR} 和持续时间 T_C，统计电网满足静稳可持续范围的节点数目 S_{QN}、满足热稳可持续范围的线路数目 L_{QN}，计算该暂态过程中节点静稳和线路热稳的合格率 S_{TR}，S_{TR} 计算公式为：$S_{TR}=\dfrac{S_{QN}+L_{QN}}{N_N+L_N}$。

步骤 S3 中得到该电网整体暂态稳定态势综合指标 $S_{TI}=\alpha_2 S_{TEi}+\beta_2 V_{TR}+\chi_2 S_{TR}$；

其中，α_2、β_2、χ_2分别为电网按热稳定约束、运行电气量约束和静稳约束的权重系数，可根据经验或分析需要灵活配置。α_2、β_2、χ_2满足以下条件：

$$\begin{cases} 0 \le \alpha_2 \le 1 \\ 0 \le \beta_2 \le 1 \\ 0 \le \chi_2 \le 1 \\ 0 \le \alpha_2 + \beta_2 + \chi_2 \le 1 \end{cases}$$

S_{TI}可综合衡量当前暂态过程信息的电网暂态稳定态势水平，可有效对多种暂态故障的稳定态势进行有效量化评估。

最后应当说明的是：以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制，尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明，所属领域的普通技术人员应当理解：依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换，而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换，其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

权 利 要 求

1、一种基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估方法，其特征在于，所述评估方法包括：

步骤 S1，从 SCADA 系统、EMS 系统获取电网拓扑结构信息，并建立与 WAMS 系统电网元件的对应关系；

步骤 S2，从所述 SCADA 系统、EMS 系统或者 WAMS 系统获取电网当前运行方式潮流数据或者从 DSA 系统中获得各种预想的潮流或者暂态故障时域数据；

步骤 S3，以在线面向节点的方式对电网进行静态稳定态势评估，以在线面向机组对的方式对电网进行暂态稳定态势评估；

其中，对电网进行静态稳定态势评估的内容包括：发电机稳定裕度指标、线路稳定裕度指标、节点稳定裕度指标、发电机热稳定合格率、线路热稳定合格率、节点电压合格率、负荷节点功率因数合格率、静态稳定态势综合指标和节点无功补偿水平指标；

对电网进行暂态稳定态势评估的内容包括：暂态稳定裕度指标、暂态稳定预估指标、节点电压保持合格率、节点稳定裕度指标、线路热稳定合格率和暂态稳定态势综合指标。

2、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，各种电网静态响应数据包括预想态离线潮流、N-1、N-2 潮流收敛后计算结果、SCADA\EMS 系统状态估计结果、PMU 量测信息；

各种电网暂态过渡过程响应数据包括各种预想暂态故障集时域仿真结果、WAMS 实时测量的电网扰动过程信息；

对于 PMU 量测信息根据其前一时刻或周边 PMU 量测数据变化进行合理性预判或滤波处理；

对于 N-1、N-2 预想故障，根据并行机数量进行分配。

3、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述步骤 S3 中对电网进行静态稳定态势评估和暂态稳定态势评估时，将电网所有节点按并行机数量进行分配；

根据电网运行潮流断面信息并结合电网拓扑结构，按有功流向求得各节点等效输电功率 $P_E + jQ_E$；

采用基于局部量测的跟踪参数辨识方法，在线辨识电网各节点当前态下的等效输电模型参数，所述等效输电模型参数包含等效电源电势 E_E、等效支路阻抗模 Z_E、阻抗角 α，实现基于电网当前运行状态的节点等效输电模型反映射。

4、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述步骤 S3 中得到电网的所述发电机稳定裕度指标、线路稳定裕度指标和节点稳定裕度指标的方法为：

根据最大输电功率思想，分别针对发电机支路、联络线支路及节点等效输电模型，求出所述发电机支路、联络线支路或者节点当前运行方式对应的静态稳定裕度指标 S_{Li}，S_{Li} 计算公式为：$S_{Li} = \dfrac{Z_L - Z_E}{Z_L}$；

其中 Z_L 代表所述发电机支路、联络线路或节点等效负荷阻抗，根据末端电压和功率求得。

5、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述步骤 S3 中得到电网的所述发电机热稳合格率和联络线热稳合格率的方法包括：

根据各发电机、联络线自身的热稳定运行约束，统计发电机热稳定合格率 G_{PR} 和线路热稳定合格率 L_{PR} 分别为：$G_{PR} = \dfrac{G_{QN}}{G_N}$；$L_{PR} = \dfrac{L_{QN}}{L_N}$；

其中，G_N、L_N 分别为电网总发电机数、总联络线数，G_{QN}、L_{QN} 分别为满足各自运行热稳定约束的发电机、联络线数目；

所述步骤 S3 中得到电网的所述节点电压合格率和负荷节点功率因数合格率的方法包括：

根据电网正常运行方式给定的节点电压和负荷节点功率因数合格范围上下限，统计电网

节点电压合格率$V_R=\frac{V_{QN}}{N_N}$，负荷节点功率因数合格率$P_{FR}=\frac{P_{QFN}}{P_{FN}}$；

其中N_N、P_{FN}分别为电网总节点数和负荷节点数，V_{QN}、P_{QFN}分别为满足电压范围的节点数和满足功率因数范围的负荷节点数；

得到电网静稳越限率方法包括：

设定S_{Li}某一预警槛值S_{LC}，统计电网所有联络线支路和节点等效支路大于S_{LC}的个数，节点包括发电机节点、中间联络节点和负荷节点，分别计算线路静稳合格率$L_{SR}=\frac{L_{CN}}{L_N}$、节点静稳合格率$N_{SR}=\frac{N_{CN}}{N_N}$；

其中L_N、N_N分别为系统总联络线数和节点数，L_{CN}、N_{CN}分别为大于S_{LC}的联络线数和节点数。

6、如权利要求5所述的方法，其特征在于，所述步骤S3中得到电网整体静态稳定态势综合指标的方法包括：

电网整体静态稳定态势综合指标$S_{SI}=\alpha_1 H_{QR}+\beta_1 R_{QR}+\chi_1 S_{SR}$；

其中，α_1、β_1、χ_1分别为电网按热稳定约束、运行电气量约束和静稳约束的权重系数，根据经验或分析需要灵活配置，α_1、β_1、χ_1满足：

$$\begin{cases} 0\le\alpha_1\le 1 \\ 0\le\beta_1\le 1 \\ 0\le\chi_1\le 1 \\ 0\le\alpha_1+\beta_1+\chi_1\le 1 \end{cases}$$

H_{QR}为电网整体热稳合格率，H_{QR}计算公式为：$H_{QR}=\frac{G_{QN}+L_{QN}}{G_N+L_N}$；

R_{QR}为电网整体运行电气量合格率，R_{QR}计算公式为：$R_{QR}=\frac{V_{QN}+P_{QFN}}{N_N+P_{FN}}$；

S_{SR}为电网整体静稳合格率，S_{SR}计算公式为：$S_{SR}=\frac{L_{CN}+N_{CN}}{L_N+N_N}$。

7、如权利要求3所述的方法，其特征在于，所述步骤S3中采用虚拟无功变化的方法求得使等效输电模型对应有功损耗最小时所需的无功大小，得到各个节点当前运行方式下无功补偿水平指标的方法为：

结合所述各节点等效输电模型及其等效输电有功功率P_E，求出所述节点等效模型下流通P_E对应的有功损耗最小时需要的无功值$Q_{\min}$，然后对比所述$Q_{\min}$与求得的所述节点等效输电无功功率Q_E，求得所述各节点当前运行方式下所述无功补偿缺额指标Q_I为：

$$Q_I=\frac{Q_E-Q_{\min}}{Q_E}$$

其中，$Q_I>0$时表示无功欠补，$Q_I=0$时表示无功最佳，$Q_I<0$时表示无功过补。

8、如权利要求3所述的方法，其特征在于，所述步骤S3中从所述WAMS系统或者各种预想暂态故障集中获取电网暂态过程轨迹时域数据，直接采用受扰严重机组对的方法包络电网暂态行为分析，得到电网的所述暂态稳定裕度指标，包括步骤S101-步骤S103：

步骤S101，根据各发电机的惯性时间常数M及其角速度ω、功角δ、机端母线电压相角θ和机端电磁有功功率P_{GE}前后时刻的变化情况，快速识别受扰相对最超前x台和最滞后x台发电机，构成受扰相对最严重机组集合Ω；

所述数字x可以根据需要人为设定，x的范围是$5\le x\le 10$；

步骤S102，对于所述集合Ω内的任意一个超前和滞后机组对，计算发电机组i和发电机

组 j 之间的暂态稳定裕度指标 $T_{SIij}=\frac{\delta_{ij}-\delta_{seq}}{\delta_{ij}}$；

其中，δ_{ij} 表示所述发电机组 i 和发电机组 j 之间的功角 δ_i 和 δ_j 的差，$\delta_{ij}=\delta_i-\delta_j$；$\delta_{seq}$ 为所述发电机组 i 和发电机组 j 之间的机械功率函数 P_{Meq} 和电磁有功功率 P_{Eeq} 的交点为虚拟稳定平衡运行点；

步骤 S103，依次计算所述集合Ω内的任意超前和滞后发电机组 i 和发电机组 j 之间的暂态稳定裕度指标 T_{SIij}，以最小机组对的 T_{SIij} 作为本次时域数据的暂态稳定裕度指标 S_{TSI}，即 $S_{TSI}=\min\{T_{SIij},\ i,j\in\Omega\}$。

9、如权利要求 8 所述的方法，其特征在于，计算所述 δ_{seq} 的方法包括步骤 S1021-步骤 S1023：

步骤 S1021，所述发电机组 i 和所述发电机组 j 之间的等效单机转子惯性时间常数为 $M_{eq}=\frac{M_iM_j}{M_i+M_j}$，计算所述发电机组 i 和所述发电机组 j 之间的机械功率函数 $P_{Meq}=\frac{M_j}{M_i+M_j}P_{Mi}-\frac{M_i}{M_i+M_j}P_{Mj}$；

其中 M_i 和 M_j 分别为所述发电机组 i 和发电机组 j 的惯性时间常数，P_{Mi} 和 P_{Mj} 分别为所述发电机组 i 和发电机组 j 的机械注入功率，所述发电机组的机械注入功率 $P_M=M\frac{\omega_{t+\Delta t}-\omega_t}{\Delta t}+P_E$；

步骤 S1022，计算所述发电机组 i 和所述发电机组 j 之间的电磁有功功率 $P_{Eeq}=\frac{M_j}{M_i+M_j}P_{Ei}-\frac{M_i}{M_i+M_j}P_{Ej}=P_{EM}\sin(\delta_{ij}+C)$；

其中，$P_{EM}=\sqrt{A^2+B^2}$，$A=D\cos(\delta_j-\theta_i)+E\cos(\delta_i-\theta_j)$，$B=D\sin(\delta_j-\theta_i)-E\sin(\delta_i-\theta_j)$，$C=\tan^{-1}(B/A)$，$D=\frac{M_j}{M_i+M_j}\frac{E_iU_i}{X_i}$，$E=\frac{M_i}{M_i+M_j}\frac{E_jU_j}{X_j}$，$U_i$、$U_j$、$\theta_i$、$\theta_j$、$X_i$、$X_j$ 分别表示发电机组 i 和发电机组 j 的机端母线电压幅值、相角及等效内电抗；

步骤 S1023，计算 $\delta_{seq}=a\sin(\frac{P_{Meq}}{P_{EM}})-C$。

10、如权利要求 8 所述的方法，其特征在于，对于集合Ω内的任意超前和滞后机组对，依据计算后的机组对等效机械功率 P_{Meq} 和电磁有功功率 P_{Eeq} 变化轨线，利用曲线拟合技术并从能量的角度构建暂态稳定性预估指标，具体包括步骤 S201-步骤 S203：

步骤 S201，假定所述发电机组对等效机械功率 P_{Meq} 在暂态过程中不变，所述发电机组对等效电磁有功功率 P_{Eeq} 变化轨线用如下正弦函数进行拟合：$y=x_0\sin(\delta_{ij}+x_1)+x_2$；

其中，x_0，x_1，x_2 为待求取的拟合正弦函数系数，y 表示发电机组对等效 P_{Eeq}；

步骤 S202，计算所述发电机组 i 和发电机组 j 之间的暂态稳定预估指标 T_{SEIij}；

步骤 S203，依次计算集合Ω内的任意超前和滞后机组对的 T_{SEIij}，以最小机组对的 T_{SEIij} 作为本次时域数据的暂态稳定预估指标 S_{TEI}，$S_{TEI}=\min\{T_{SEIij},\ i,j\in\Omega\}$；

所述步骤 S202 中计算所述发电机组 i 和发电机组 j 之间的暂态稳定预估指标包括步骤 S2021-步骤 S2023：

步骤 S2021，根据 P_{Eeq} 变化轨线拟合函数 y，求得故障切除后的不稳定平衡点 δ_{iju}，所述不稳定平衡点为所述发电机组对等效机械功率 P_{Meq} 和电磁有功功率 P_{Eeq} 变化轨线的交点，δ_{iju} 计算公式为：$\delta_{iju}=\pi-\arctan\frac{P_{Meq}-x_2}{x_0}-x_1$；

步骤 S2022，故障切除时刻机组对的暂态动能 V_{TA} 为：

$$V_{TA}=\int_{\delta_{ij0}}^{\delta_{ijc}}\left[P_{Meq}-x_0\sin(\delta_{ij}+x_1)-x_2\right]d\delta_{ij}$$
$$=\left(P_{Meq}-x_2\right)\left(\delta_{ijc}-\delta_{ij0}\right)+x_0\left[\cos(\delta_{ijc}+x_1)-\cos(\delta_{ij0}+x_1)\right]$$

故障切除后系统所吸收的临界势能（减速面积）V_{TB} 为：

$$V_{TB}=\int_{\delta_{ijc}}^{\delta_{iju}}\left[x_0\sin(\delta_{ij}+x_1)+x_2-P_{Meq}\right]d\delta_{ij}$$
$$=\left(x_2-P_{Meq}\right)\left(\delta_{iju}-\delta_{ijc}\right)-x_0\left[\cos(\delta_{iju}+x_1)-\cos(\delta_{ijc}+x_1)\right]$$

其中，δ_{ij0} 和 δ_{ijc} 分别表示故障发生时刻和故障切除时刻的机组对功角差；

步骤 S2023，计算所述发电机组 i 和所述发电机组 j 之间的所述暂态稳定预估指标 $T_{SEI\,ij}$：$T_{SEI\,ij}=1-\frac{V_{TA}}{V_{TB}}$；

其中，$T_{SEI\,ij}$ 指标暂态稳定意义为：$T_{SEI\,ij}>0$ 暂态稳定，$T_{SEI\,ij}=0$ 临界暂态稳定，$T_{SEI\,ij}<0$，暂态失稳。

11、如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述步骤 S3 中得到电网节点电压保持合格率的方法包括：

给定暂态过程中节点电压保持能力考察范围：电压跌落下限 V_L 和持续时间 V_C，统计电网所有节点在暂态过程中满足电压水平可接受范围的节点数目 V_{QN}，计算所述暂态过程中节点电压满足保持能力的合格率 $V_{TR}=\frac{V_{QN}}{N_N}$；

所述步骤 S3 中得到电网中所述线路热稳合格率的方法包括：给定暂态过程中节点静态稳定裕度指标和线路热稳考察范围：节点静稳裕度限值 S_{IC}、线路热稳限值 L_{PR} 和持续时间 T_C，统计电网满足静稳可持续范围的节点数目 S_{QN}、满足热稳可持续范围的线路数目 L_{QN}，计算所述暂态过程中节点静稳和线路热稳的合格率 S_{TR}，S_{TR} 计算公式为：$S_{TR}=\frac{S_{QN}+L_{QN}}{N_N+L_N}$。

12、如权利要求 11 所述的方法，其特征在于，所述步骤 S3 中得到电网整体暂态稳定态势综合指标 $S_{TI}=\alpha_2 S_{TEi}+\beta_2 V_{TR}+\chi_2 S_{TR}$；

其中，α_2、β_2、χ_2 分别为电网按热稳定约束、运行电气量约束和静稳约束的权重系数，根据经验或分析需要灵活配置，α_2、β_2、χ_2 满足：

$$\begin{cases}0\le\alpha_2\le1\\0\le\beta_2\le1\\0\le\chi_2\le1\\0\le\alpha_2+\beta_2+\chi_2\le1\end{cases}。$$

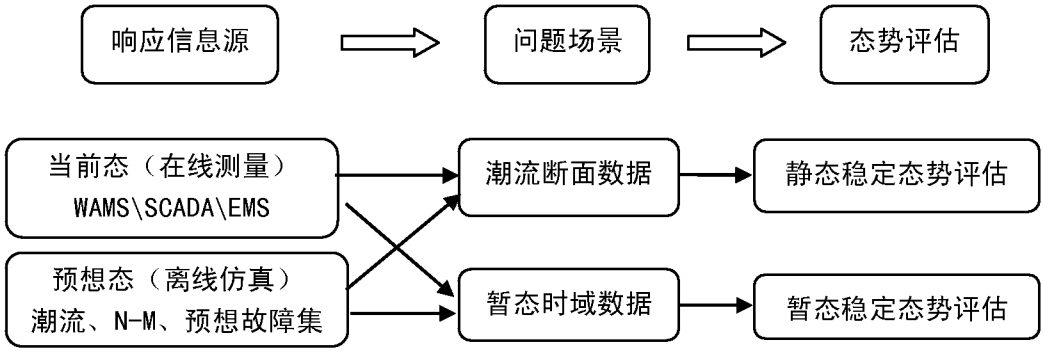

响应信息源
问题场景
态势评估
当前态（在线测量）
WAMS\SCADA\EMS
预想态（离线仿真）
潮流、N-M、预想故障集
潮流断面数据
暂态时域数据
静态稳定态势评估
暂态稳定态势评估

图 1

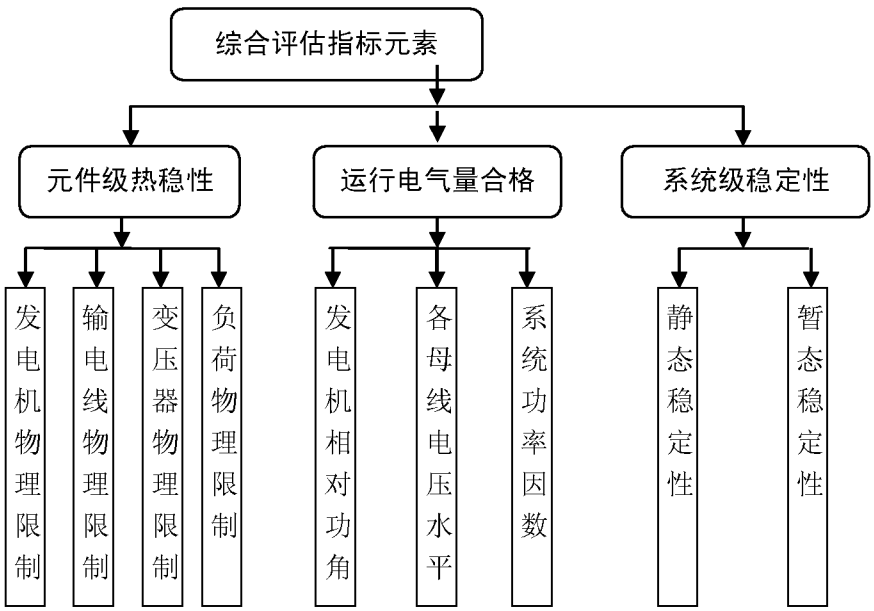

综合评估指标元素
元件级热稳性
运行电气量合格
系统级稳定性
发电机物理限制
输电线物理限制
变压器物理限制
负荷物理限制
发电机相对功角
各母线电压水平
系统功率因数
静态稳定性
暂态稳定性

图 2

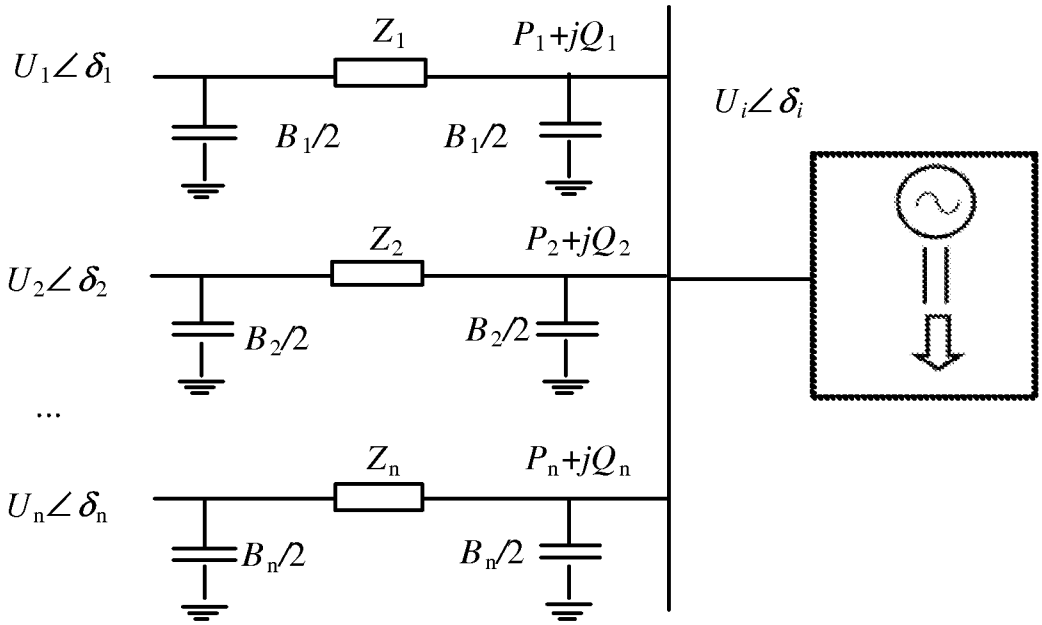

$U_1\angle\delta_1$
Z_1
P_1+jQ_1
$B_1/2$
$B_1/2$
$U_i\angle\delta_i$
$U_2\angle\delta_2$
Z_2
P_2+jQ_2
$B_2/2$
$B_2/2$
...
$U_n\angle\delta_n$
Z_n
P_n+jQ_n
$B_n/2$
$B_n/2$

图 3

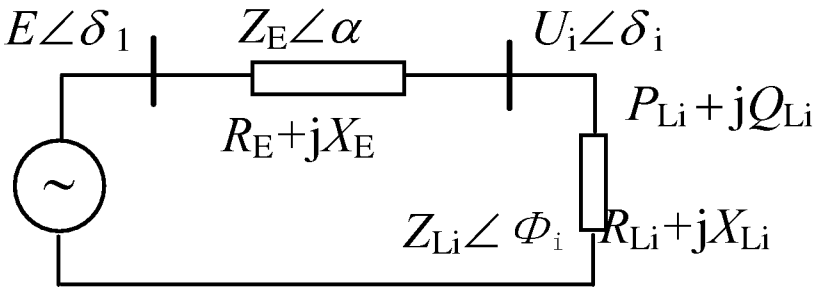

$E\angle\delta_1$
$Z_E\angle\alpha$
$U_i\angle\delta_i$
R_E+jX_E
$P_{Li}+jQ_{Li}$
$Z_{Li}\angle\Phi_i$
$R_{Li}+jX_{Li}$

图 4

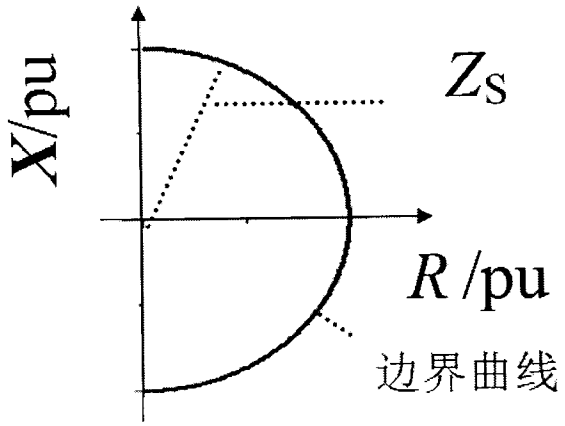

X/pu
Zs
R /pu
边界曲线

图 5

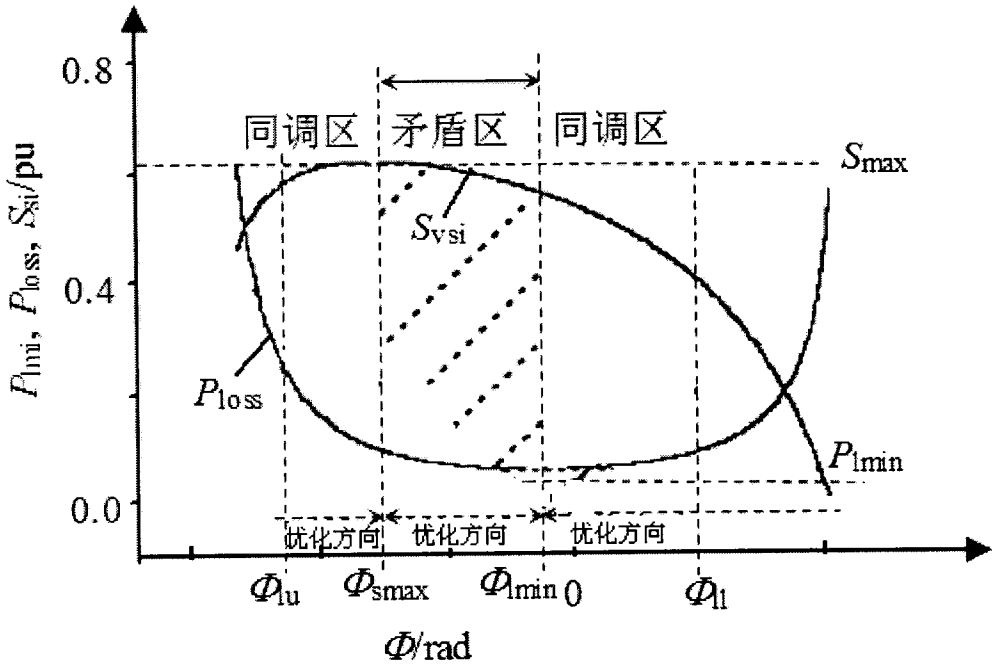

0.8
0.4
0.0
Pli, Ploss, Ssi/pu
同调区
矛盾区
同调区
Smax
Svsi
Ploss
Plmin
优化方向
优化方向
优化方向
Φlu
Φsmax
Φlmin
0
Φll
Φ/rad

图 6


Ei∠δ i
Ui∠θi
jXi
PEi
主网络
Uj∠θj
Ej∠δ j
jXj
PEj

图 7

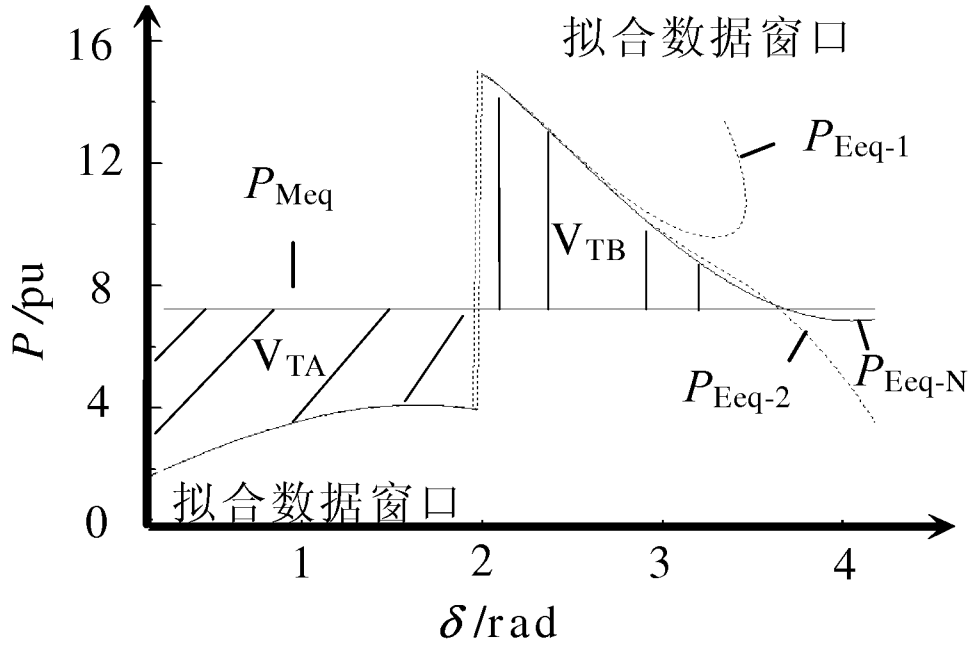

拟合数据窗口
16
12
8
4
0
P /pu
P Meq
V TA
V TB
P Eeq-1
P Eeq-2
P Eeq-N
拟合数据窗口
1
2
3
4
δ /rad

图 8

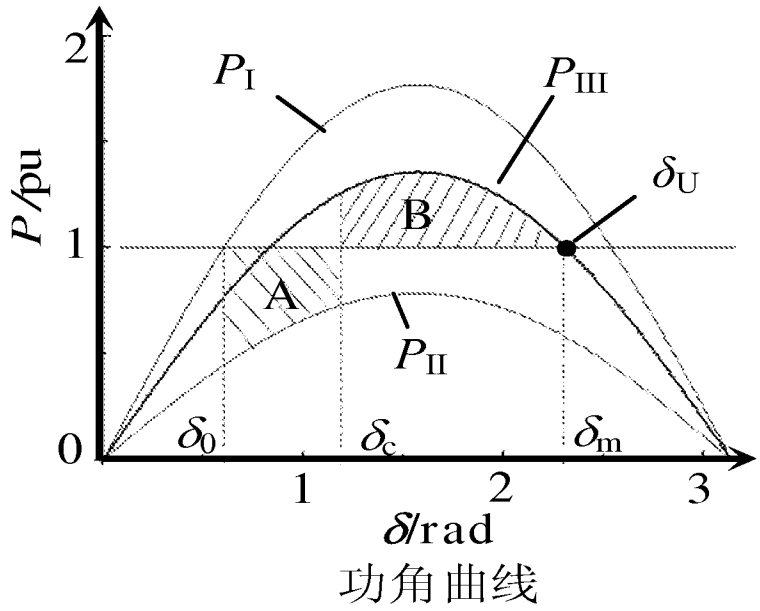

2
1
0
P /pu
P I
P III
δ U
B
A
P II
δ 0
δ c
δ m
1
2
3
δ/rad
功角曲线

图 9

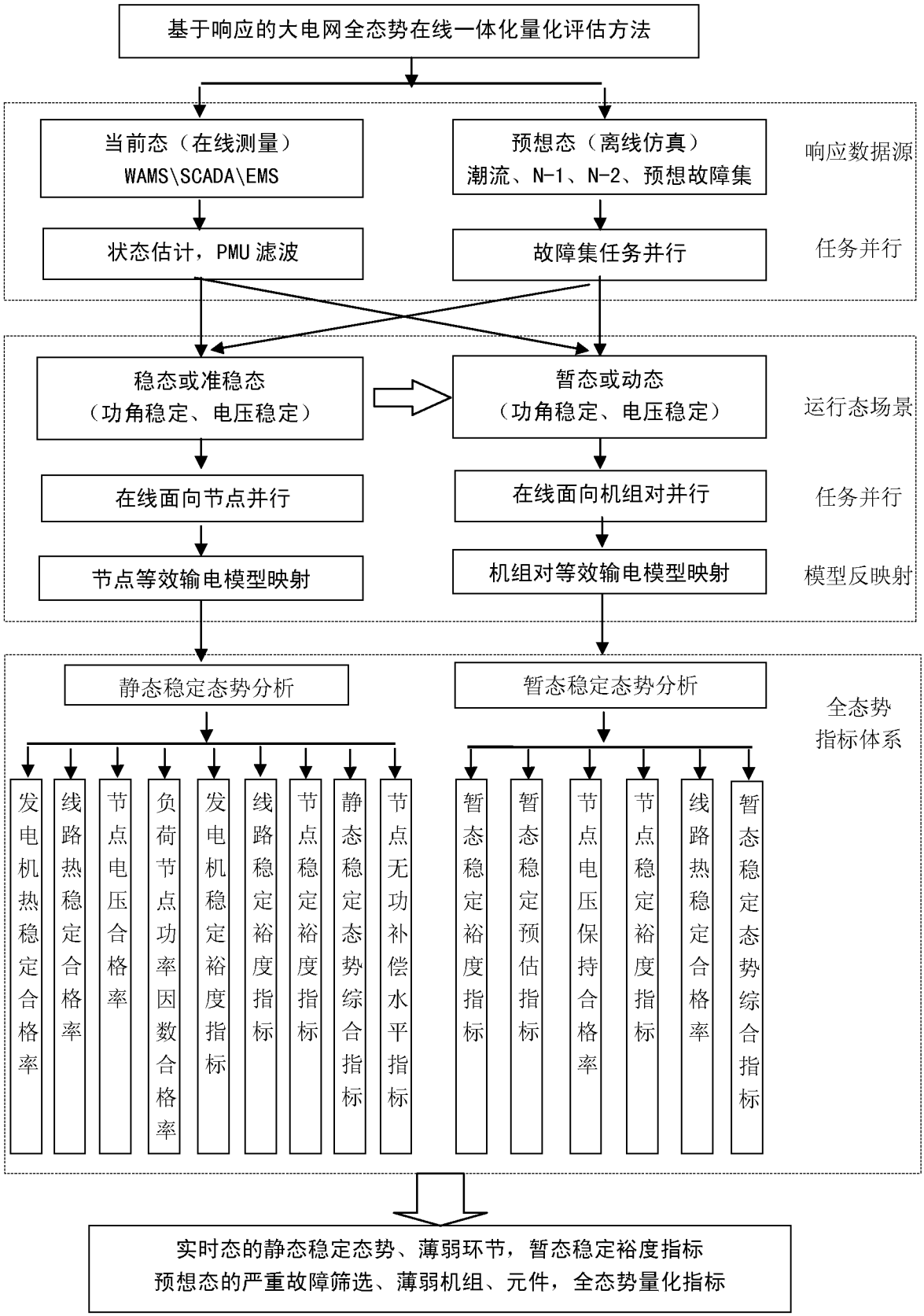

基于响应的大电网全态势在线一体化量化评估方法
当前态（在线测量）
WAMS\SCADA\EMS
预想态（离线仿真）
潮流、N-1、N-2、预想故障集
响应数据源
状态估计，PMU 滤波
故障集任务并行
任务并行
稳态或准稳态
（功角稳定、电压稳定）
暂态或动态
（功角稳定、电压稳定）
运行态场景
在线面向节点并行
在线面向机组对并行
任务并行
节点等效输电模型映射
机组对等效输电模型映射
模型反映射
静态稳定态势分析
暂态稳定态势分析
全态势
指标体系
发电机热稳定合格率
线路热稳定合格率
节点电压合格率
负荷节点功率因数合格率
发电机稳定裕度指标
线路稳定裕度指标
节点稳定裕度指标
静态稳定态势综合指标
节点无功补偿水平指标
暂态稳定裕度指标
暂态稳定预估指标
节点电压保持合格率
节点稳定裕度指标
线路热稳定合格率
暂态稳定态势综合指标
实时态的静态稳定态势、薄弱环节，暂态稳定裕度指标
预想态的严重故障筛选、薄弱机组、元件，全态势量化指标

图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/088404

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 19/00 (2011.01) 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)

IPC: G06F 19/-

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)

CNPAT; CNKI; EPODOC; WPI: power grid, alert, monitor, dynamic, steady state, grid, power, assessment, tide, transient, static, stability, SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition, EMS, Energy Management System, WAMS, Wide Area Measurement System, DSA, Dynamic Security Assessment, quantitative

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	LIU, Daowei et al., Quantitative Method for On-line Power System Transient Stability Assessment Based on Response Information, PROCEEDINGS OF THE CSEE, 05 February 2013, vol. 33, no. 4, pages 85-95, article ID: 0258-8013(2013)04-0085-11	1-3, 8-9
Y	CN 102521677 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE), 27 June 2012 (27.06.2012), see description, paragraphs 0036 and 0038-0039, and figure 1	1-3, 8-9
P, X	CN 103279638 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.), 04 September 2013 (04.09.2013), see claims 1-12, and figures 1-10	1-12
A	CN 101299539 A (NANJING AUTOMATION RESEARCH INSTITUTE et al.), 05 November 2008 (05.11.2008), see the whole document	1-12

☐ 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	Date of mailing of the international search report
18 February 2014 (18.02.2014)	**27 February 2014 (27.02.2014)**
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer **LI, Xinyu** Telephone No.: (86-10) **62089924**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/088404

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102521677 A	27.06.2012	None	
CN 103279638 A	04.09.2013	None	
CN 101299539 A	05.11.2008	CN 100590947 C	17.02.2010

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2013/088404

A. 主题的分类

G06F 19/00 (2011.01) 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)

IPC: G06F 19/-

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）)

CNPAT; CNKI ;EPODOC;WPI; 电网,评估,预警,监控,潮流,暂态,动态,静态,稳态,稳定态势,数据采集与监控,能量管理系统,广域测量系统,动态安全评估,量化, grid, power, assessment, tide, transient, static, stability, SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition, EMS, Energy Management System, WAMS, Wide Area Measurement System, DSA, Dynamic Security Assessment, quantitative

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
Y	刘道伟 等　基于响应的电网暂态稳定态势在线量化评估方法。 中国电机工程学报 2013 年 2 月 5 日，第 33 卷，第 4 期，第 85-95 页，文章编号：0258-8013(2013)04-0085-11	1-3,8-9
Y	CN 102521677 A （中国电力科学研究院） 27.6 月 2012 （27.06.2012） 参见说明书第 36,38-39 段、图 1	1-3,8-9
P,X	CN 103279638 A（国家电网公司 等） 04.9 月 2013（04.09.2013） 参见权利要求 1-12、图 1-10	1-12
A	CN 101299539 A （国网南京自动化研究院 等） 05.11 月 2008 （05.11.2008） 参见全文	1-12

☐ 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	国际检索报告邮寄日期
18.2 月 2014(18.02.2014)	**27.2 月 2014 (27.02.2014)**
ISA/CN 的名称和邮寄地址： 中华人民共和国国家知识产权局 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 李昕宇 电话号码：(86-10) **62089924**

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/088404

检索报告中引用的专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN 102521677 A	27.06.2012	无	
CN 103279638 A	04.09.2013	无	
CN 101299539 A	05.11.2008	CN 100590947 C	17.02.2010