



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116341950 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 27

(21) 申请号 202310130752.9

G06Q 50/06 (2012.01)

(22) 申请日 2023.02.17

(71) 申请人 国网河北省电力有限公司经济技术研究院

地址 050000 河北省石家庄市裕华区富强大街27号

申请人 国家电网有限公司

(72) 发明人 袁博 胡梦锦 刘钊

(74) 专利代理机构 石家庄国为知识产权事务所 13120

专利代理师 付晓娣

(51) Int. Cl.

G06Q 10/0639 (2023.01)

H02J 3/06 (2006.01)

H02J 3/00 (2006.01)

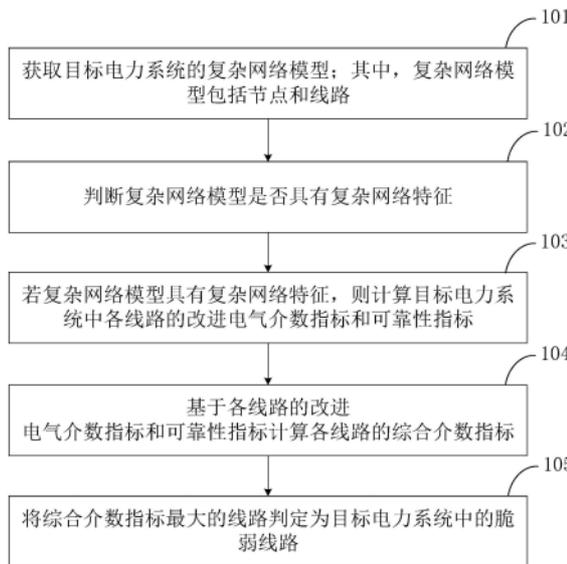
权利要求书2页 说明书14页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于综合介数的电力系统脆弱线路评估方法及装置

(57) 摘要

本发明提供一种基于综合介数的脆弱线路评估方法及装置。该方法包括：获取目标电力系统的复杂网络模型；其中，复杂网络模型包括节点和线路；判断复杂网络模型是否具有复杂网络特征；若复杂网络模型具有复杂网络特征，则计算目标电力系统中各线路的改进电气介数指标和可靠性指标；基于各线路的改进电气介数指标和可靠性指标计算各线路的综合介数指标；将综合介数指标最大的线路判定为目标电力系统中的脆弱线路。本发明在目标电力系统的复杂网络模型具有复杂网络特征时进行脆弱线路评估，可以避免不必要的计算；并且综合了线路的可靠性指标进行脆弱线路评估，考虑了线路自身发生故障的可能性，使用了更全面的指标，能够得到更好的评估效果。



1. 一种基于综合介数的脆弱线路评估方法,其特征在于,包括:

获取目标电力系统的复杂网络模型;其中,所述复杂网络模型包括节点和线路;

判断所述复杂网络模型是否具有复杂网络特征;

若所述复杂网络模型具有复杂网络特征,则计算所述目标电力系统中各线路的改进电气介数指标和可靠性指标;

基于各线路的改进电气介数指标和可靠性指标计算各线路的综合介数指标;

将综合介数指标最大的线路判定为所述目标电力系统中的脆弱线路。

2. 根据权利要求1所述的一种基于综合介数的脆弱线路评估方法,其特征在于,所述计算所述目标电力系统中各线路的改进电气介数指标包括:

获取所述目标电力系统中各节点的度和各线路的权重;

基于所述线路ij的权重计算所述目标电力系统中任意两个节点之间的传输路径中包含所述线路ij的数量;其中,线路ij为任一线路,i、j分别为所述线路ij两端的节点;

基于各节点的度、所述目标电力系统中任意两个节点之间的传输路径中包含所述线路ij的数量和电气介数计算公式计算所述线路ij的改进电气介数指标;其中,所述电气介数计算公式为:

$$B_{ij} = \frac{k_i + k_j}{\sum_{a=1 \sim N} k_a} \cdot B_{ij}^{(0)}$$

其中, B_{ij} 表示线路ij的改进电气介数指标, k_i 、 k_j 和 k_a 分别表示节点i、j、a的度,N表示目标电力系统中的节点总数量,a表示任一节点, $B_{ij}^{(0)}$ 表示传统电气介数指标。

3. 根据权利要求2所述的一种基于综合介数的脆弱线路评估方法,其特征在于,获取各线路的权重包括:

通过运行仿真,计算所述目标电力系统中各线路的实际潮流;

获取所述目标电力系统的节点阻抗矩阵;其中,所述节点阻抗矩阵包括所述目标电力系统中各节点之间的电气距离;

针对任一线路ab,计算所述线路ab的实际潮流和节点ab之间的电气距离的乘积,得到所述线路ab的权重。

4. 根据权利要求1所述的一种基于综合介数的脆弱线路评估方法,其特征在于,计算所述目标电力系统中各线路的可靠性指标包括:

针对每个线路,计算该线路的历史故障率,并将所述历史故障率作为该线路的可靠性指标。

5. 根据权利要求1所述的一种基于综合介数的脆弱线路评估方法,其特征在于,所述基于各线路的改进电气介数指标和可靠性指标计算各线路的综合介数指标包括:

针对每个线路,基于该线路的改进电气介数指标、可靠性指标和综合介数计算公式计算该线路的综合介数指标;其中,所述综合介数计算公式为:

$$E_{ij} = br_{ij} \times \left(\frac{P_{ij}}{P_{ij}^{max}} \right) \times B_{ij}$$

其中, E_{ij} 表示线路ij的综合介数指标, br_{ij} 表示线路ij的可靠性指标, B_{ij} 表示线路ij的

改进电气介数指标, P_{ij} 表示线路 ij 的实际潮流, P_{ij}^{max} 表示线路 ij 的最大潮流。

6. 根据权利要求1至5任一项所述的一种基于综合介数的脆弱线路评估方法, 其特征在于, 所述判断所述复杂网络模型是否具有复杂网络特征包括:

计算所述复杂网络模型的平均路径长度和平均聚类系数, 得到第一平均路径长度和第一平均聚类系数;

根据所述复杂网络模型的节点数和平均度, 按照随机方式生成与所述复杂网络模型的节点数和平均度均相同的随机网络模型;

计算所述随机网络模型的平均路径长度和平均聚类系数, 得到第二平均路径长度和第二平均聚类系数;

若所述第一平均路径长度大于所述第二平均路径长度, 且所述第一平均聚类系数大于所述第二平均聚类系数, 则判定所述复杂网络模型具有复杂网络特征。

7. 根据权利要求6所述的一种基于综合介数的脆弱线路评估方法, 其特征在于, 计算所述复杂网络模型的平均路径长度包括:

基于平均路径长度公式计算所述复杂网络模型的平均路径长度; 所述平均路径长度公式为:

$$d = \frac{1}{(N-2)(N-1)} \sum_{\substack{(i,j) \\ i \neq j}} d_{ij}$$

其中, N 表示所述复杂网络模型中节点数量, d_{ij} 表示节点 i 和节点 j 之间的电气距离。

8. 根据权利要求6所述的一种基于综合介数的脆弱线路评估方法, 其特征在于, 计算所述复杂网络模型的平均聚类系数包括:

基于平均聚类系数公式计算所述复杂网络模型的平均聚类系数; 所述平均聚类系数公式为:

$$C_i = \frac{2e_i}{k_i(k_i - 1)}$$

其中, k_i 表示节点 i 的度, e_i 表示所述复杂网络模型中与节点 i 直接相连节点所组成子网的支路数。

9. 一种基于综合介数的脆弱线路评估装置, 其特征在于, 包括:

获取模块, 用于获取目标电力系统的复杂网络模型; 其中, 所述复杂网络模型包括节点和线路;

判断模块, 用于判断所述复杂网络模型是否具有复杂网络特征;

计算模块, 用于若所述复杂网络模型具有复杂网络特征, 则计算所述目标电力系统中各线路的改进电气介数指标和可靠性指标;

综合模块, 用于基于各线路的改进电气介数指标和可靠性指标计算各线路的综合介数指标;

评估模块, 用于将综合介数指标最大的线路判定为所述目标电力系统中的脆弱线路。

10. 一种计算机可读存储介质, 所述计算机可读存储介质存储有计算机程序, 其特征在于, 所述计算机程序被处理器执行时实现如上的权利要求1至8中任一项所述方法的步骤。

一种基于综合介数的电力系统脆弱线路评估方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及电力网络技术领域,尤其涉及一种基于综合介数的脆弱线路评估方法及装置。

背景技术

[0002] 随着电力工业快速发展,现代电力系统规模庞大、运行复杂,国内外许多大电网表现出明显的复杂网络特征。复杂网络是一种具有显著“小世界”特征和“无标度”特征的网络。在具有复杂网络特征的电力系统中,连锁故障和停电事故往往由于某些脆弱线路所引发。为控制电力系统的停电风险,通常采用电气介数指标进行脆弱线路评估。

[0003] 目前,基于传统电气介数的脆弱线路评估存在以下问题:一是脆弱线路评估时未设置进行脆弱线路评估的触发条件,对于不具有停电事故风险的电力系统仍进行无意义的脆弱线路评估,占用过多计算资源而没有提高评估效果;二是电气介数指标仅考虑了阻抗和潮流,未全面计及可能影响线路脆弱性的运行指标;三是评估指标仅通过电气介数表征,未考虑线路自身发生故障的可能性。

发明内容

[0004] 本发明实施例提供了一种基于综合介数的脆弱线路评估方法及装置,以解决进行无意义的脆弱线路评估占用过多计算资源的问题。

[0005] 第一方面,本发明实施例提供了一种基于综合介数的脆弱线路评估方法,包括:

[0006] 获取目标电力系统的复杂网络模型;其中,复杂网络模型包括节点和线路;

[0007] 判断复杂网络模型是否具有复杂网络特征;

[0008] 若复杂网络模型具有复杂网络特征,则计算目标电力系统中各线路的改进电气介数指标和可靠性指标;

[0009] 基于各线路的改进电气介数指标和可靠性指标计算各线路的综合介数指标;

[0010] 将综合介数指标最大的线路判定为目标电力系统中的脆弱线路。

[0011] 在一种可能的实现方式中,计算目标电力系统中各线路的改进电气介数指标包括:

[0012] 获取目标电力系统中各节点的度和各线路的权重;

[0013] 基于线路*ij*的权重计算目标电力系统中任意两个节点之间的传输路径中包含线路*ij*的数量;其中,线路*ij*为任一线路,*i*、*j*分别为线路*ij*两端的节点;

[0014] 基于各节点的度、目标电力系统中任意两个节点之间的传输路径中包含线路*ij*的数量和电气介数计算公式计算线路*ij*的改进电气介数指标;其中,电气介数计算公式为:

$$[0015] \quad B_{ij} = \frac{k_i + k_j}{\sum_{a=1 \sim N} k_a} \cdot B_{ij}^{(0)}$$

[0016] 其中, B_{ij} 表示线路*ij*的改进电气介数指标, k_i 、 k_j 和 k_a 分别表示节点*i*、*j*、*a*的度,*N*表

示目标电力系统中的节点总数量, a 表示任一节点, $B_{ij}^{(0)}$ 表示线路 ij 的传统电气介数指标。

[0017] 在一种可能的实现方式中, 获取各线路的权重包括:

[0018] 通过运行仿真, 计算所述目标电力系统中各线路的实际潮流;

[0019] 获取目标电力系统的节点阻抗矩阵; 其中, 节点阻抗矩阵包括目标电力系统中各节点之间的电气距离;

[0020] 针对任一线路 ab , 计算线路 ab 的实际潮流和节点 ab 之间的电气距离的乘积, 得到线路 ab 的权重。

[0021] 在一种可能的实现方式中, 计算目标电力系统中各线路的可靠性指标包括:

[0022] 针对每个线路, 计算该线路的历史故障率, 并将历史故障率作为该线路的可靠性指标。

[0023] 在一种可能的实现方式中, 基于各线路的改进电气介数指标和可靠性指标计算各线路的综合介数指标包括:

[0024] 针对每个线路, 基于该线路的改进电气介数指标、可靠性指标和综合介数计算公式计算该线路的综合介数指标; 其中, 综合介数计算公式为:

$$[0025] \quad E_{ij} = br_{ij} \times \left(\frac{P_{ij}}{P_{ij}^{max}} \right) \times B_{ij}$$

[0026] 其中, E_{ij} 表示线路 ij 的综合介数指标, br_{ij} 表示线路 ij 的可靠性指标, B_{ij} 表示线路 ij 的改进电气介数指标, P_{ij} 表示线路 ij 的实际潮流, P_{ij}^{max} 表示线路 ij 的最大潮流。

[0027] 在一种可能的实现方式中, 判断复杂网络模型是否具有复杂网络特征包括:

[0028] 计算复杂网络模型的平均路径长度和平均聚类系数, 得到第一平均路径长度和第一平均聚类系数;

[0029] 根据复杂网络模型的节点数和平均度, 按照随机方式生成与复杂网络模型的节点数和平均度均相同的随机网络模型;

[0030] 计算随机网络模型的平均路径长度和平均聚类系数, 得到第二平均路径长度和第二平均聚类系数;

[0031] 若第一平均路径长度大于第二平均路径长度, 且第一平均聚类系数大于第二平均聚类系数, 则判定复杂网络模型具有复杂网络特征。

[0032] 在一种可能的实现方式中, 计算复杂网络模型的平均路径长度包括:

[0033] 基于平均路径长度公式计算复杂网络模型的平均路径长度; 平均路径长度公式为:

$$[0034] \quad d = \frac{1}{(N-2)(N-1)} \sum_{\substack{(i,j) \\ i \neq j}} d_{ij}$$

[0035] 其中, N 表示复杂网络模型中节点数量, d_{ij} 表示节点 i 和节点 j 之间的电气距离。

[0036] 在一种可能的实现方式中, 计算复杂网络模型的平均聚类系数包括:

[0037] 基于平均聚类系数公式计算复杂网络模型的平均聚类系数; 平均聚类系数公式为:

$$[0038] \quad C_i = \frac{2e_i}{k_i(k_i - 1)}$$

[0039] 其中, k_i 表示节点 i 的度, e_i 表示复杂网络模型中与节点 i 直接相连节点所组成子网的支路数。

[0040] 第二方面, 本发明实施例提供了一种基于综合介数的脆弱线路评估装置, 包括:

[0041] 获取模块, 用于获取目标电力系统的复杂网络模型; 其中, 复杂网络模型包括节点和线路;

[0042] 判断模块, 用于判断复杂网络模型是否具有复杂网络特征;

[0043] 计算模块, 用于若复杂网络模型具有复杂网络特征, 则计算目标电力系统中各线路的改进电气介数指标和可靠性指标;

[0044] 综合模块, 用于基于各线路的改进电气介数指标和可靠性指标计算各线路的综合介数指标;

[0045] 评估模块, 用于将综合介数指标最大的线路判定为目标电力系统中的脆弱线路。

[0046] 第三方面, 本发明实施例提供了一种终端, 包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序, 所述处理器执行所述计算机程序时实现如上第一方面或第一方面的任一种可能的实现方式所述方法的步骤。

[0047] 第四方面, 本发明实施例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上第一方面或第一方面的任一种可能的实现方式所述方法的步骤。

[0048] 本发明实施例提供一种基于综合介数的脆弱线路评估方法及装置的有益效果在于:

[0049] 本发明在进行电力系统脆弱线路评估前, 先判断目标电力系统的复杂网络模型是否具有复杂网络特征, 如果不具有复杂网络特征即目标电力系统不存在脆弱线路, 也就无需进行脆弱线路评估, 当目标电力系统的复杂网络模型具有复杂网络特征时说明需要进行脆弱线路评估, 此时进行脆弱线路评估可以避免不必要的计算。此外, 本发明综合了线路的可靠性指标进行脆弱线路评估, 考虑了线路自身发生故障的可能性, 使用了更全面的指标, 从而能够得到更好的脆弱线路评估效果。

附图说明

[0050] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案, 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性的前提下, 还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0051] 图1是本发明一实施例提供的一种基于综合介数的脆弱线路评估方法的实现流程图;

[0052] 图2是本发明一实施例提供的一种基于综合介数的脆弱线路评估方法的评估结果;

[0053] 图3是本发明一实施例提供的基于传统电气介数的脆弱线路评估结果;

[0054] 图4是本发明一实施例提供的基于蒙特卡洛仿真模拟得到的真实评估结果;

[0055] 图5是本发明一实施例提供的一种基于综合介数的脆弱线路评估装置的结构示意图；

[0056] 图6是本发明一实施例提供的终端的示意图。

具体实施方式

[0057] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本发明实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本发明。在其它情况中,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本发明的描述。

[0058] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图通过具体实施例来进行说明。

[0059] 随着电力工业快速发展,现代电力系统规模庞大、运行复杂,国内外许多大电网表现出明显的复杂网络特征。复杂网络是一种具有显著“小世界”特征和“无标度”特征的网络。复杂网络在电力系统中的应用研究愈受关注,其理论较好地阐述了大停电事故的原因,解决了传统仿真计算方式所不能解释的停电风险问题。目前,我国中东部地区的电力系统已表现出显著的复杂网络特征。在复杂网络的两个主要特征中,“小世界”特征被认为是促成大停电事故发生的内在原因,“无标度”特征则是电力系统鲁棒性与脆弱性共存的根源所在。

[0060] 在具有复杂网络特征的电力系统中,连锁故障和停电事故往往由于某些脆弱线路所引发。复杂网络中,脆弱线路通过“介数”指标进行评估,但其仅考虑了网络结构属性而忽略电力系统特点。随后,“电气介数”被提出并成为电力系统评估脆弱线路的重要指标。某线路的介数是指,该线路在网络所有最短路径中出现的次数;而某线路的电气介数则是指,电力系统中任意两个节点之间的所有最短电气传输路径中,包含该线路的路径数量。其中,两个节点之间连接的所有线路权重之和最小线路组合,称为最短电气传输路径。也就是说,电气介数与电力系统的网络模型中各线路权重有关,而电气介数采用线路阻抗作为线路权重。随着电气介数的研究深入,线路的传输潮流被引入线路权重。

[0061] 然而,基于电气介数的脆弱线路评估仍存在以下问题:一是脆弱线路评估时未设置触发条件,对于不具有停电事故风险的电力系统仍进行无意义的评估;二是传统电气介数指标仅考虑了阻抗和潮流,未全面计及可能影响线路脆弱性的运行指标;三是评估指标仅通过电气介数表征,未考虑线路自身发生故障的可能性。

[0062] 针对上述问题,本申请提出一种基于综合介数的脆弱线路评估方法,具体内容如下:

[0063] 参见图1,其示出了本发明实施例提供的一种基于综合介数的脆弱线路评估方法的实现流程图,详述如下:

[0064] 步骤101,获取目标电力系统的复杂网络模型;其中,复杂网络模型包括节点和线路。

[0065] 在本实施例中,目标电力系统的结构特征可通过复杂网络理论进行有效表征,而通过挖掘网络结构的复杂网络特征,则可发现潜在连锁故障风险。为进行分析,本实施例中目标电力系统抽象为由节点和线路组成的拓扑图,即复杂网络模型。

[0066] 具体的,对受端主网架的复杂网络建模而言,包括“模型抽象方式”和“模型关键要素”两个方面,前者是将受端主网架抽象为由节点和支路组成的拓扑图的过程,后者则是建立拓扑图中节点或支路的相关信息。下面对这两方面进行详细解释:

[0067] 1) 模型抽象方式:将受端主网架抽象为以节点和支路为核心的无向图。受端主网架是一个有着大量节点、节点之间有着复杂连接关系的网络,它具有复杂网络的一般特征,将受端主网架抽象为复杂网络模型,就是将主网架的结构进行抽象表示。具体而言,根据母线、变压器和输电线的现有信息,以何种方式将发电机节点、中间节点和负荷节点连接起来,连接关系是决定电力系统安全稳定运行的关键因素之一。受端主网架的复杂网络模型包含母线、变压器、发电机、负荷、输电线路、开关、串联线路等,抽象过程则是将器件端点、开关端点抽象化为节点,将节点之间的器件抽象化为边。

[0068] 将受端主网架抽象为以节点和支路为核心的无向图 $G(V,E,W)$ 是复杂网络建模的第一步,其中 G 表示由节点和支路组成的无向加权图, V 、 E 、 W 分别表示节点集合、支路集合与各支路权值集合。实际上,受端主网架的复杂网络建模,是将其抽象为一个加权无向图。

[0069] 在本步骤中,主要目标是将受端主网架抽象为以节点和支路为核心的无向图,即构建出图中的节点与支路。对于各支路的权值,将在下一步骤(建立无向加权图模型中的邻接矩阵)中,通过图 G 的邻接矩阵确定。本步骤中,对于各支路权值集合 W 可不进行考虑,或暂时按照无权图将各支路权值设置为1。基于复杂网络的受端主网架结构分析更注重固有拓扑关系,因此受端主网架的复杂网络建模时需对各设备做出简化以生成无向加权图 $G(V,E,W)$ 中的元素,具体生成方式如下。

[0070] a) 母线的处理。主网架中的母线均位于厂站内,是系统中可连接多个线路的设备,因此各类母线是模型中各类节点的载体,与电源母线、负荷母线和中间母线一致,模型中的节点分为电源节点、中间节点和负荷节点。

[0071] b) 输电线路的处理。输电线路是指连接厂站之间的电能输送线路,厂站内部的线路不在考虑范围内,在建模时,可将连接各厂站之间的输电线路抽象为模型中的支路;对于厂站内部的线路,通常将其融入厂站内部的设备(变压器、开关等)中,视为厂站内部设备的附加连接线进行统一建模。

[0072] c) 变压器的处理。变压器是布置于厂站内、特别是变电站内部的重要设备,变压器连接于两个母线之间,因此将厂站内部的变压器等值为支路;对于三绕组变压器而言,由于其连接于三个母线,因此将其等值为三个双绕组变压器进行建模。

[0073] d) 外部等值处理。外部等值处理指相对于分析区域之外的电网,可等值为节点进行处理。例如,对受端主网架中500kV和220kV网架进行分析时,可将该受端主网架区域内的交直流特高压落点等值为电源节点。

[0074] e) 并联支路的处理。并联支路的处理指在复杂网络的一般建模中,为了简化起见,通常将并联输电线路和并联变压器等效为参数的单回支路。

[0075] f) 发电机、负荷设备的处理。发电机、负荷设备的处理指通常情况下,将发电机和负荷融入相应的出口母线,即将发电机与发电机母线共同抽象为电源节点、将负荷与负荷母线共同抽象为负荷节点。

[0076] g) 开关与其他装置的处理。开关与其他装置的处理指主网架中的各类开关通常都位于厂站之内,因此对结构影响较小,可将开关忽略或抽象为支路;对其他装置而言,由于

对主网架的拓扑结构不产生影响,在建模时通常忽略。

[0077] 2) 模型关键要素:建立无向加权图模型中的邻接矩阵。将受端主网架抽象为加权无向图模型 $G(V,E,W)$,除了将设备抽象为节点或支路外,还需建立模型中的各支路权值,即权值集合 W 。在传统模型,支路长度也是表征支路的重要信息,常作为支路的权值,但复杂网络中,采用有多种赋权方式确定支路权重,以支路权重表征支路信息,且通常该支路的长度是影响该支路权值的因素之一。

[0078] 一般情况下,模型中所需获取的支路信息包括支路权值及其所连接的节点。为此,可通过加权无向图的邻接矩阵进行表征,建模中本步骤的核心也是确定受端主网架的加权无向图模型 $G(V,E,W)$ 的邻接矩阵 $A(G)$ 。邻接矩阵 $A(G)$ 是通过节点之间支路的权值表征无向加权图模型 $G(V,E,W)$ 的中节点连接关系的矩阵,即矩阵 $A(G)$ 中的元素为模型 $G(V,E,W)$ 中相应支路的权值,邻接矩阵的具体含义如下:

[0079] 假设受端主网架抽象的加权无向图模型 $G(V,E,W)$ 中,共含有 N 个节点和 B 个支路,那么邻接矩阵 $A(G)$ 为 $N \times N$ 维矩阵。矩阵中,第 i 行第 j 列的元素 a_{ij} 表示第 i 个节点与第 j 个节点之间支路的权值。显然,邻接矩阵中, $a_{ij}=a_{ji}$ 。当节点 i 和节点 j 之间不存在连接线路时,元素 a_{ij} 为0。对于矩阵 $A(G)$ 的对角元素而言,对角元素 a_{ii} 也均为0。

[0080] 可见,邻接矩阵不但表征了各支路的权值,还表征了节点之间的连接关系,能够体现模型 $G(V,E,W)$ 的全部信息。采用邻接矩阵表示一个网络,可以很容易判定任意两个节点之间是否有支路相连,还可对该矩阵进行分析来研究网络的许多性质。对于邻接矩阵的计算而言,各支路权值的确定是关键环节。最初的复杂网络模型中,仍采用一般网络模型中的网络传输跳数或支路长度作为某支路的权值。对于受端主网架而言,赋权时除考虑传统网络中的跳数、长度外,更应考虑设备的电气特性。目前,在电力系统的复杂网络模型中,较为常见的支路权值的赋权方式包括两类:

[0081] a) 基于设备电气参数的赋权方式。基于设备电气参数的赋权方式将设备的电气参数作为支路权值,如设备的阻抗、线路的长度、或通过设备参数计算得到的新指标等。目前,该类赋权方式中,最常见的方式是通过支路阻抗设置某条支路的权值,即采用输电线路的阻抗、变压器的阻抗或其他等效为支路的设备阻抗,作为对应支路的权值。

[0082] b) 基于系统运行参数的赋权方式。基于系统运行参数的赋权方式将系统运行中支路的运行参数作为权重,如线路或变压器的有功潮流或者无功功率、节点之间的无功功率-电压灵敏度等。目前,该类赋权方式中,最常见的方式是通过支路潮流设置某条支路的权值,即采用输电线路的潮流、变压器的潮流或其他设备的潮流,作为对应支路的权值。

[0083] 通过支路阻抗来表征节点之间的连接强度是一种较为合理的方式,也是目前电力系统领域中复杂网赋权的主要方式之一。

[0084] 步骤102,判断复杂网络模型是否具有复杂网络特征。

[0085] 在本实施例中,目标电力系统是一个有着大量节点、节点之间有着复杂连接关系的网络,具有复杂网络的一般特征。将目标电力系统抽象为复杂网络模型后,可以针对复杂网络模型,计算复杂网络理论中的一系列结构指标,如平均距离、度的分布、聚类系数等,并根据指标计算结果判断复杂网络模型是否具有复杂网络特征。

[0086] 在一种可能的实现方式中,步骤102包括:

[0087] 步骤1021,计算复杂网络模型的平均路径长度和平均聚类系数,得到第一平均路

径长度和第一平均聚类系数；

[0088] 步骤1022,根据复杂网络模型的节点数和平均度,按照随机方式生成与复杂网络模型的节点数和平均度均相同的随机网络模型；

[0089] 步骤1023,计算随机网络模型的平均路径长度和平均聚类系数,得到第二平均路径长度和第二平均聚类系数；

[0090] 步骤1024,若第一平均路径长度大于第二平均路径长度,且第一平均聚类系数大于第二平均聚类系数,则判定复杂网络模型具有复杂网络特征。

[0091] 在本实施例中,随机网络模型与目标电力系统的节点数和平均度相同,即随机网络模型与目标电力系统的规模相同。平均路径长度和平均聚类系数是复杂网络的主要特征,若某网络的这两个指标远大于相同规模随机网络的对应指标,则该网络具有复杂网络特征。

[0092] 在一种可能的实现方式中,计算复杂网络模型的平均路径长度包括：

[0093] 基于平均路径长度公式计算复杂网络模型的平均路径长度；平均路径长度公式为：

$$[0094] \quad d = \frac{1}{(N-2)(N-1)} \sum_{\substack{(i,j) \\ i \neq j}} d_{ij}$$

[0095] 其中,N表示复杂网络模型中节点数量, $d_{i,j}$ 表示节点i和节点j之间的电气距离。

[0096] 在本实施例中,平均路径长度是指电力系统中任意两个节点之间路径的电气距离的平均值。电力系统中,电流和电压遵循欧姆定律和基尔霍夫定律,因而网络中节点之间的电气连接的强弱,不仅存在于直接连接的节点之间,也存在于间接连接的节点之间。节点之间的连接的强度可通过电气距离来表征,也就是说,节点之间的电气距离,就是表征两个节点之间电气关系的参数。两个节点之间的电气距离越大,说明两个节点之间的电气连接越弱,而较小的电气距离代表了节点之间更强的电气连接。电力系统中,通常以线路阻抗作为线路权重以计算平均路径长度,这与实际电力系统运行存在一定差距。为此,本申请利用节点阻抗矩阵计算平均路径长度。

[0097] 在一种可能的实现方式中,计算复杂网络模型的平均聚类系数包括：

[0098] 基于平均聚类系数公式计算复杂网络模型的平均聚类系数；平均聚类系数公式为：

$$[0099] \quad C_i = \frac{2e_i}{k_i(k_i - 1)}$$

[0100] 其中, k_i 表示节点i的度, e_i 表示复杂网络模型中与节点i直接相连节点所组成子网的支路数。

[0101] 在本实施例中,平均聚类系数是指电力系统中所有节点的聚类系数的平均值；某节点i的聚类系数 C_i 定义为：与节点i直接相连节点所组成子网的边数与该子网最大可能边数的比值。电力系统的聚类系数越大,网络中局域连接就越多。

[0102] 步骤103,若复杂网络模型具有复杂网络特征,则计算目标电力系统中各线路的改进电气介数指标和可靠性指标。

[0103] 在本实施例中,在具有复杂网络特征的电力系统中,连锁故障和停电事故往往由于某些脆弱线路所引发,而对于不具有复杂网络特征的电力系统,并不具备停电事故风险,也就不需要对此类电力系统进行脆弱线路评估。若复杂网络模型具有复杂网络特征,则表示目标电力系统的可能存在能够导致停电事故的脆弱线路,需要对目标电力系统进行脆弱线路评估。

[0104] 在一种可能的实现方式中,步骤103包括:

[0105] 步骤1031,获取目标电力系统中各节点的度和各线路的权重;

[0106] 步骤1032,基于线路ij的权重计算目标电力系统中任意两个节点之间的传输路径中包含线路ij的数量;其中,线路ij为任一线路,i、j分别为线路ij两端的节点;

[0107] 步骤1033,基于各节点的度、目标电力系统中任意两个节点之间的传输路径中包含线路ij的数量和电气介数计算公式计算线路ij的改进电气介数指标;其中,电气介数计算公式为:

$$[0108] \quad B_{ij} = \frac{k_i + k_j}{\sum_{a=1 \sim N} k_a} \cdot B_{ij}^{(0)}$$

[0109] 其中, B_{ij} 表示线路ij的改进电气介数指标, k_i 、 k_j 和 k_a 分别表示节点i、j、a的度,N表示目标电力系统中的节点总数量,a表示任一节点, $B_{ij}^{(0)}$ 表示线路ij的传统电气介数指标。

[0110] 在本实施例中,现有的电气介数仅考虑阻抗和潮流,忽略了影响线路脆弱性的其它运行因素,因此本申请对电气介数指标的计算公式进行了改进,其中 $B_{ij}^{(0)}$ 即为现有的电气介数指标,需通过系统中各线路权重获取。本实施例中改进的电气介数指标在线路阻抗和线路潮流基础上,计及了线路两端节点的重要程度,且在线路阻抗中采用节点阻抗矩阵更能表征电力系统运行的电气特性。因此,改进的电气介数指标也能够更全面评估线路的重要程度。

[0111] 在一种可能的实现方式中,步骤1031包括:

[0112] 通过运行仿真,计算目标电力系统中各线路的实际潮流;

[0113] 获取目标电力系统的节点阻抗矩阵;其中,节点阻抗矩阵包括目标电力系统中各节点之间的电气距离;

[0114] 针对任一线路ab,计算线路ab的实际潮流和节点ab之间的电气距离的乘积,得到线路ab的权重。

[0115] 在本实施例中,实际潮流表示线路在实际运行中输送的功率,实际潮流因电力负荷不同而变化。节点阻抗矩阵Z中某元素值作为目标电力系统中对应节点之间的等值电气距离,这样更接近实际运行状态,即:对任一线路ab,其等值电气距离为Z中第a行第b列的元素值,且Z为对称矩阵。为适应电气运行状态,本申请对传统线路权重也进行改进,通过节点阻抗矩阵和线路潮流对线路进行赋权。其中,电力系统中某线路ab的权重 W_{ab} 计算公式如下:

$$[0116] \quad W_{ab} = Z_{ab} \times P_{ab}$$

[0117] 其中, Z_{ab} 表示节点阻抗矩阵Z中第a行第b列的元素,也是节点ab之间的电气距离, P_{ab} 表示线路ab的实际潮流。本实施例中的电气距离用节点阻抗矩阵Z中的元素进行表示, d_{ij} 定义为Z中第i行第j列的元素,即: $d_{ij} = Z_{ij}$ 。其中,Z通过电力系统潮流方程获取,满足下

式,U和I分别为各节点的电压相量值和电流相量值组成的向量:

$$[0118] \quad \begin{bmatrix} Z_{11} & \cdots & Z_{1i} & \cdots & Z_{1N} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{i1} & \cdots & Z_{ii} & \cdots & Z_{iN} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{N1} & \cdots & Z_{Ni} & \cdots & Z_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \vdots \\ \dot{I}_i \\ \vdots \\ \dot{I}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \vdots \\ \dot{U}_i \\ \vdots \\ \dot{U}_N \end{bmatrix}$$

[0119] 在一种可能的实现方式中,步骤103包括:

[0120] 步骤1034,针对每个线路,计算该线路的历史故障率,并将历史故障率作为该线路的可靠性指标。

[0121] 在本实施例中,若某线路的历史故障率较高,说明该线路在过去发生故障的频率较高,故障原因可能是该线路在电力系统中的位置或该线路的材质等固有特征。相应的,该线路在未来发生故障的概率也会受到这些因素影响,因此可以将线路的历史故障率作为可靠性指标。

[0122] 步骤104,基于各线路的改进电气介数指标和可靠性指标计算各线路的综合介数指标。

[0123] 在本实施例中,线路的可靠性指标能够体现线路自身发生故障的可能性。本实施例中在传统电气介数指标的基础上还加入了线路的可靠性指标,将二者进行综合得到各线路的综合介数指标,以考虑线路自身发生故障的可能性。

[0124] 在一种可能的实现方式中,步骤104包括:

[0125] 针对每个线路,基于该线路的改进电气介数指标、可靠性指标和综合介数计算公式计算该线路的综合介数指标;其中,综合介数计算公式为:

$$[0126] \quad E_{ij} = br_{ij} \times \left(\frac{P_{ij}}{P_{ij}^{max}} \right) \times B_{ij}$$

[0127] 其中, E_{ij} 表示线路ij的综合介数指标, br_{ij} 表示线路ij的可靠性指标, B_{ij} 表示线路ij的改进电气介数指标, P_{ij} 表示线路ij的实际潮流, P_{ij}^{max} 表示线路ij的最大潮流。

[0128] 在本实施例中,最大潮流是线路所能承载的最大有功功率,如2*400的线路最多输送530MW功率,即最大潮流为530。最大潮流仅与设备型号有关。考虑到电气介数不能计及线路自身的运行可靠性,本申请基于改进电气介数,提出一种能够科学表征脆弱线路的综合介数指标。综合介数在改进电气介数表征线路重要程度的基础上,计及了线路自身发生故障的可能性,能够更科学地反映出线路的脆弱程度。

[0129] 步骤105,将综合介数指标最大的线路判定为目标电力系统中的脆弱线路。

[0130] 在本实施例中,某个线路的综合介数指标越大,说明该线路的改进电气介数指标和/或发生故障的概率越大,也就越可能是目标电力系统中的脆弱线路。

[0131] 在一个具体的实施例中,基于上述步骤,以某省级电力系统网架为例,按本申请提出的方法进行脆弱线路评估,该电力网架中包含节点1914个,支路2579条。评估过程具体如下:

[0132] 首先,分析电力系统的复杂网络特性,指标计算结果见表1。从表中可见,该电力系统具有相比随机网络更高的聚类系数和平均路径长度,因此存在脆弱线路。

[0133] 表1

	平均聚类系数	平均路径长度
IEEE-118	0.16508	0.07659
[0134] 某省级电力系统网架	35.788	0.008727
与该省级电力网架规模 相同的随机网络	7.6229	0.0014

[0135] 然后,利用上述步骤进行脆弱线路评估。对综合介数较高的前40条线路进行对比分析,结果如图2~图4所示,其中图2为本申请提出方法的脆弱线路评估结果,图3为基于传统电气介数的评估结果,图4为基于蒙特卡洛仿真模拟得到的真实评估结果,图中每个点表示识别出的脆弱线路,各点的纵横坐标表示线路两端的节点标号。例如如图中某点的横坐标为15、纵坐标为68,则该点表示线路“15-68”。从图中可见,本申请方法得到的评估结果与蒙特卡洛仿真模拟结果几乎相同,相比传统电气介数的方法,本申请结果能够大大提升评估准确度,保证脆弱线路评估结果的有效性。同时,本申请方法的脆弱线路评估时间约为10s~20s,而传统仿真模拟的脆弱线路评估时间为9~10小时,因此,本申请方法相比传统电气介数,不仅评估的准确性更高,还在保障脆弱评估精度下大大减少了评估时间。

[0136] 本发明实施例在进行电力系统脆弱线路评估前,先判断目标电力系统的复杂网络模型是否具有复杂网络特征,如果不具有复杂网络特征即目标电力系统不存在脆弱线路,也就无需进行脆弱线路评估,当目标电力系统的复杂网络模型具有复杂网络特征时说明需要进行脆弱线路评估,此时进行脆弱线路评估可以避免不必要的计算。此外,本发明综合了线路的可靠性指标进行脆弱线路评估,考虑了线路自身发生故障的可能性,使用了更全面的指标,从而能够得到更好的脆弱线路评估效果。

[0137] 应理解,上述实施例中各步骤的序号的大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不应对本发明实施例的实施过程构成任何限定。

[0138] 以下为本发明的装置实施例,对于其中未详尽描述的细节,可以参考上述对应的方法实施例。

[0139] 图5示出了本发明实施例提供了一种基于综合介数的脆弱线路评估装置的结构示意图,为了便于说明,仅示出了与本发明实施例相关的部分,详述如下:

[0140] 如图5所示,一种基于综合介数的脆弱线路评估装置5包括:

[0141] 获取模块51,用于获取目标电力系统的复杂网络模型;其中,复杂网络模型包括节点和线路;

[0142] 判断模块52,用于判断复杂网络模型是否具有复杂网络特征;

[0143] 计算模块53,用于若复杂网络模型具有复杂网络特征,则计算目标电力系统中各线路的改进电气介数指标和可靠性指标;

[0144] 综合模块54,用于基于各线路的改进电气介数指标和可靠性指标计算各线路的综合介数指标;

[0145] 评估模块55,用于将综合介数指标最大的线路判定为目标电力系统中的脆弱线

路。

[0146] 在一种可能的实现方式中,计算模块53包括:

[0147] 获取单元,用于获取目标电力系统中各节点的度和各线路的权重;

[0148] 数量计算单元,用于基于线路ij的权重计算目标电力系统中任意两个节点之间的传输路径中包含线路ij的数量;其中,线路ij为任一线路,i、j分别为线路ij两端的节点;

[0149] 介数计算单元,用于基于各节点的度、目标电力系统中任意两个节点之间的传输路径中包含线路ij的数量和电气介数计算公式计算线路ij的改进电气介数指标;其中,电气介数计算公式为:

$$[0150] \quad B_{ij} = \frac{k_i + k_j}{\sum_{a=1 \sim N} k_a} \cdot B_{ij}^{(0)}$$

[0151] 其中, B_{ij} 表示线路ij的改进电气介数指标, k_i 、 k_j 和 k_a 分别表示节点i、j、a的度,N表示目标电力系统中的节点总数量,a表示任一节点, $B_{ij}^{(0)}$ 表示线路ij的传统电气介数指标。

[0152] 在一种可能的实现方式中,获取单元具体用于:

[0153] 通过运行仿真,计算所述目标电力系统中各线路的实际潮流;

[0154] 获取目标电力系统的节点阻抗矩阵;其中,节点阻抗矩阵包括目标电力系统中各节点之间的电气距离;

[0155] 针对任一线路ab,计算线路ab的实际潮流和节点ab之间的电气距离的乘积,得到线路ab的权重。

[0156] 在一种可能的实现方式中,计算模块53具体用于:

[0157] 针对每个线路,计算该线路的历史故障率,并将历史故障率作为该线路的可靠性指标。

[0158] 在一种可能的实现方式中,综合模块54具体用于:

[0159] 针对每个线路,基于该线路的改进电气介数指标、可靠性指标和综合介数计算公式计算该线路的综合介数指标;其中,综合介数计算公式为:

$$[0160] \quad E_{ij} = br_{ij} \times \left(\frac{P_{ij}}{P_{ij}^{max}} \right) \times B_{ij}$$

[0161] 其中, E_{ij} 表示线路ij的综合介数指标, br_{ij} 表示线路ij的可靠性指标, B_{ij} 表示线路ij的改进电气介数指标, P_{ij} 表示线路ij的实际潮流, P_{ij}^{max} 表示线路ij的最大潮流。

[0162] 在一种可能的实现方式中,判断模块52具体用于:

[0163] 计算复杂网络模型的平均路径长度和平均聚类系数,得到第一平均路径长度和第一平均聚类系数;

[0164] 根据复杂网络模型的节点数和平均度,按照随机方式生成与复杂网络模型的节点数和平均度均相同的随机网络模型;

[0165] 计算随机网络模型的平均路径长度和平均聚类系数,得到第二平均路径长度和第二平均聚类系数;

[0166] 若第一平均路径长度大于第二平均路径长度,且第一平均聚类系数大于第二平均聚类系数,则判定复杂网络模型具有复杂网络特征。

[0167] 在一种可能的实现方式中,判断模块52具体用于:

[0168] 基于平均路径长度公式计算复杂网络模型的平均路径长度;平均路径长度公式为:

$$[0169] \quad d = \frac{1}{(N-2)(N-1)} \sum_{\substack{(i,j) \\ i \neq j}} d_{ij}$$

[0170] 其中,N表示复杂网络模型中节点数量, d_{ij} 表示节点i和节点j之间的电气距离。

[0171] 在一种可能的实现方式中,判断模块52具体用于:

[0172] 基于平均聚类系数公式计算复杂网络模型的平均聚类系数;平均聚类系数公式为:

$$[0173] \quad C_i = \frac{2e_i}{k_i(k_i-1)}$$

[0174] 其中, k_i 表示节点i的度, e_i 表示复杂网络模型中与节点i直接相连节点所组成子网的支路数。

[0175] 本发明实施例在进行电力系统脆弱线路评估前,先判断目标电力系统的复杂网络模型是否具有复杂网络特征,如果不具有复杂网络特征即目标电力系统不存在脆弱线路,也就无需进行脆弱线路评估,当目标电力系统的复杂网络模型具有复杂网络特征时说明需要进行脆弱线路评估,此时进行脆弱线路评估可以避免不必要的计算。此外,本发明综合了线路的可靠性指标进行脆弱线路评估,考虑了线路自身发生故障的可能性,使用了更全面的指标,从而能够得到更好的脆弱线路评估效果。

[0176] 图6是本发明实施例提供的终端的示意图。如图6所示,该实施例的终端6包括:处理器60、存储器61以及存储在所述存储器61中并可在所述处理器60上运行的计算机程序62。所述处理器60执行所述计算机程序62时实现上述各个一种基于综合介数的脆弱线路评估方法实施例中的步骤,例如图1所示的步骤101至步骤105。或者,所述处理器60执行所述计算机程序62时实现上述各装置实施例中各模块/单元的功能,例如图5所示模块/单元51至55的功能。

[0177] 示例性的,所述计算机程序62可以被分割成一个或多个模块/单元,所述一个或者多个模块/单元被存储在所述存储器61中,并由所述处理器60执行,以完成本发明。所述一个或多个模块/单元可以是能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段,该指令段用于描述所述计算机程序62在所述终端6中的执行过程。例如,所述计算机程序62可以被分割成图5所示的模块/单元51至55。

[0178] 所述终端6可以是桌上型计算机、笔记本、掌上电脑及云端服务器等计算设备。所述终端6可包括,但不限于,处理器60、存储器61。本领域技术人员可以理解,图6仅仅是终端6的示例,并不构成对终端6的限定,可以包括比图示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者不同的部件,例如所述终端还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线等。

[0179] 所称处理器60可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现场可编程门阵列(Field-

Programmable Gate Array, FPGA) 或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

[0180] 所述存储器61可以是所述终端6的内部存储单元,例如终端6的硬盘或内存。所述存储器61也可以是所述终端6的外部存储设备,例如所述终端6上配备的插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card, SMC),安全数字(Secure Digital, SD)卡,闪存卡(Flash Card)等。进一步地,所述存储器61还可以既包括所述终端6的内部存储单元也包括外部存储设备。所述存储器61用于存储所述计算机程序以及所述终端所需的其他程序和数据。所述存储器61还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

[0181] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将所述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。另外,各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分,并不用于限制本申请的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0182] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0183] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本申请中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0184] 在本发明所提供的实施例中,应该理解到,所揭露的装置/终端和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置/终端实施例仅仅是示意性的,例如,所述模块或单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通讯连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0185] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0186] 另外,在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0187] 所述集成的模块/单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明实现上述实施

例方法中的全部或部分流程,也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中,该计算机程序在被处理器执行时,可实现上述各个一种基于综合介数的脆弱线路评估方法实施例的步骤。其中,所述计算机程序包括计算机程序代码,所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质可以包括:能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器(Read-Only Memory,ROM)、随机存取存储器(Random Access Memory,RAM)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是,所述计算机可读介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减,例如在某些司法管辖区,根据立法和专利实践,计算机可读介质不包括是电载波信号和电信信号。

[0188] 以上所述实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围,均应包含在本发明的保护范围之内。

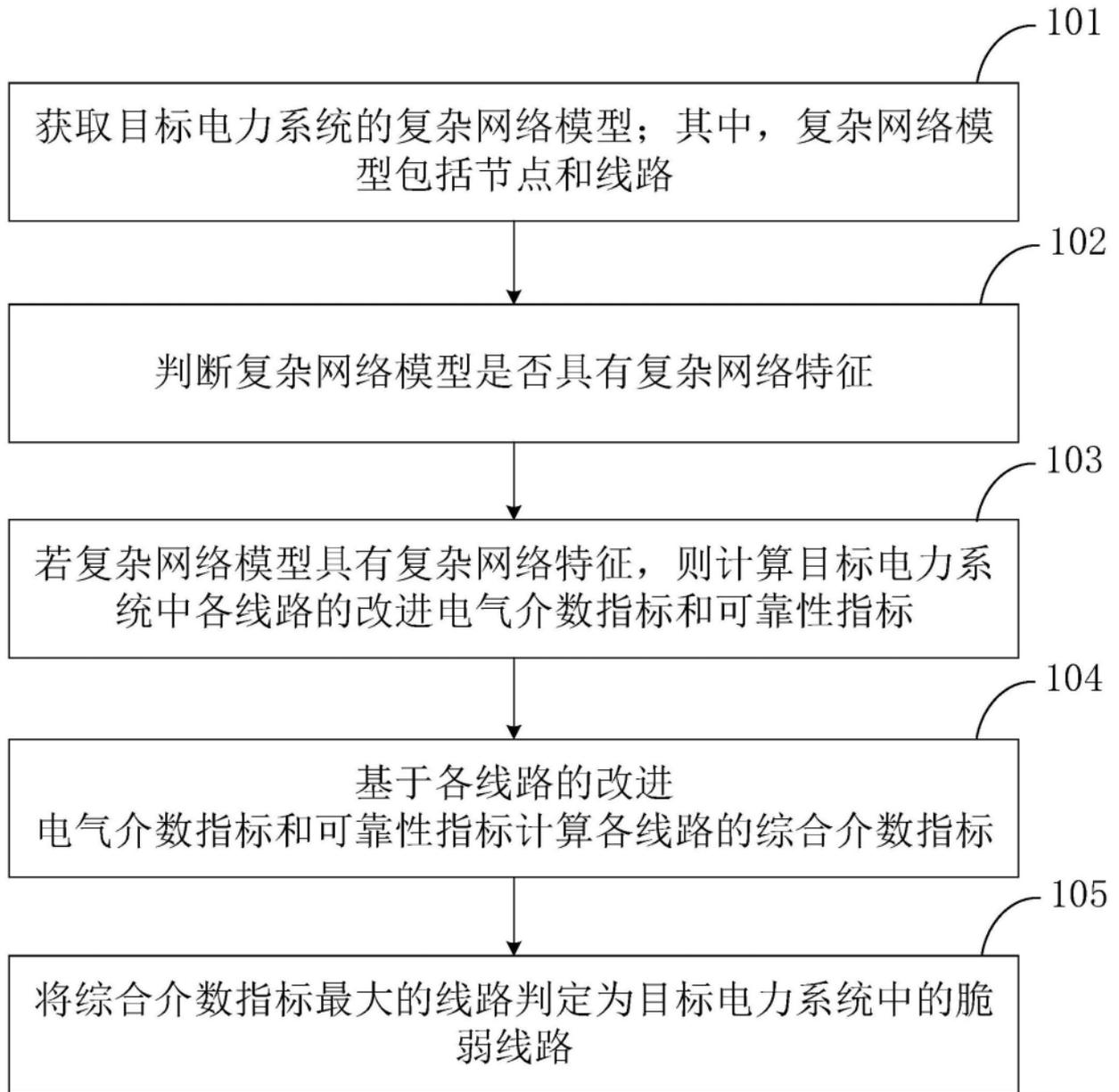


图1

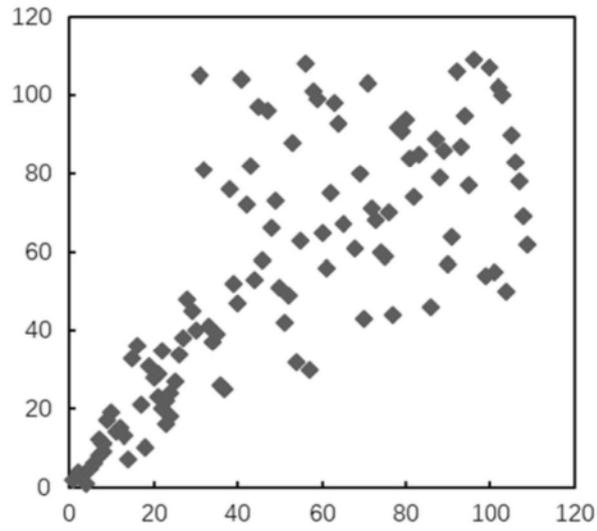


图2

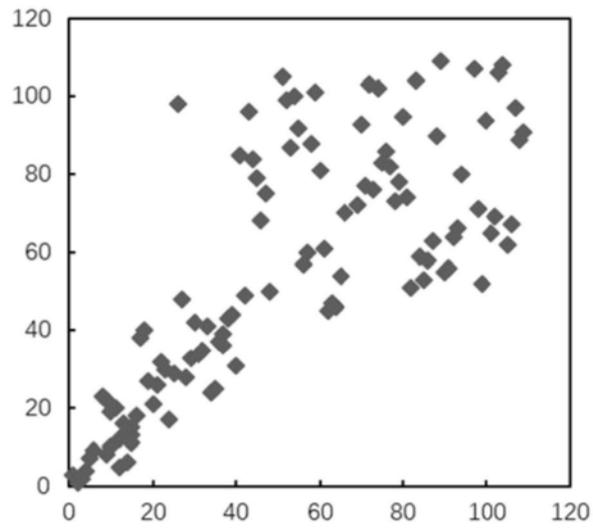


图3

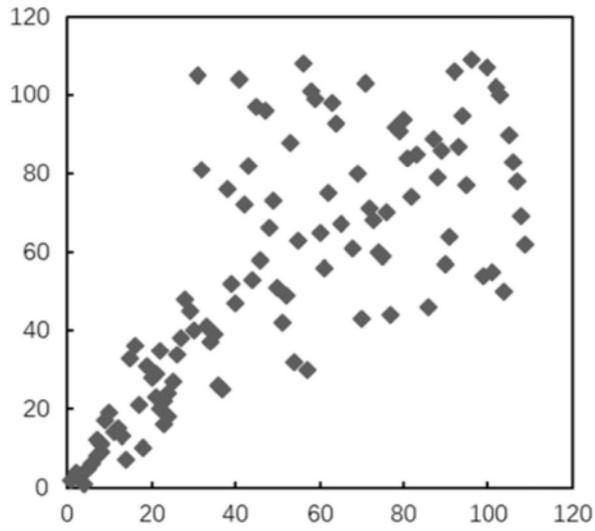


图4

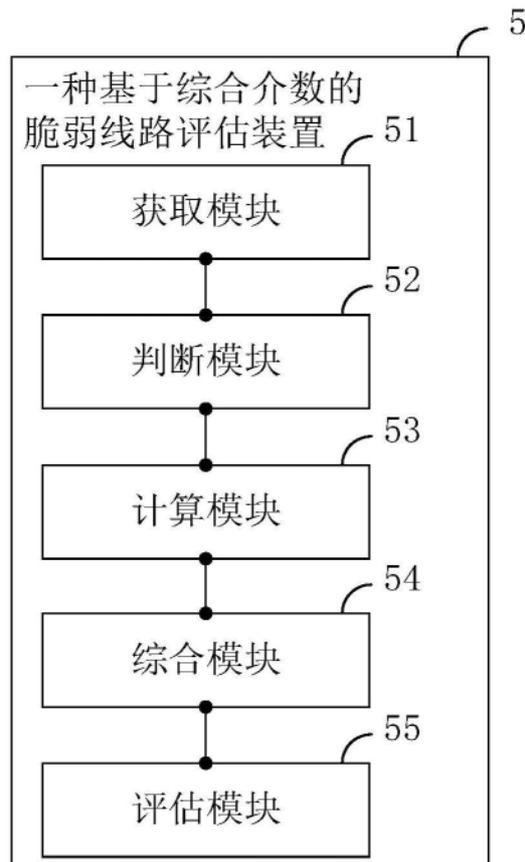


图5

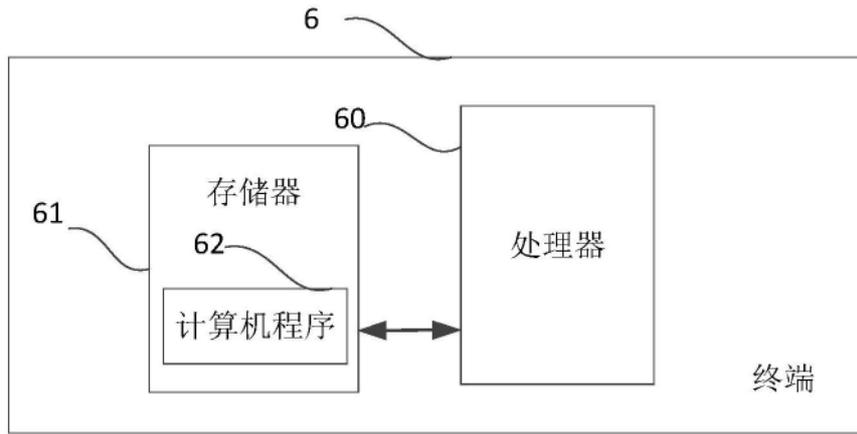


图6