



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112380748 A

(43) 申请公布日 2021. 02. 19

(21) 申请号 202011271520.8

(22) 申请日 2020.11.13

(71) 申请人 广东电网有限责任公司电力科学研究院

地址 510080 广东省广州市越秀区东风东路水均岗8号

(72) 发明人 刘小璐 聂铭 谢文平 罗啸宇 黄正 钟万里

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 王宝筠

(51) Int. Cl.

G06F 30/23 (2020.01)

G06F 17/16 (2006.01)

G06F 17/18 (2006.01)

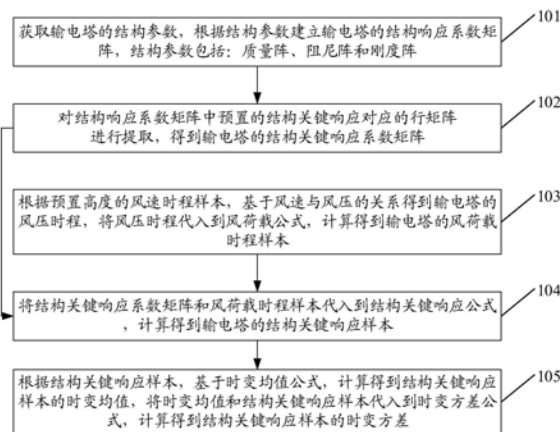
权利要求书3页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

一种输电塔风致随机振动分析方法和相关装置

(57) 摘要

本发明公开了一种输电塔风致随机振动分析方法和相关装置,方法包括:根据输电塔的结构参数建立输电塔的结构响应系数矩阵;对结构响应系数矩阵中与结构关键响应对应的行矩阵进行提取,得到结构关键响应系数矩阵;根据预置高度的风速时程样本,基于风速与风压的关系得到输电塔的风压时程,将风压时程代入到风荷载公式,计算得到输电塔的风荷载时程样本;将结构关键响应系数矩阵和风荷载时程样本代入到结构关键响应公式,计算得到输电塔的结构关键响应样本;根据结构关键响应样本,基于时变均值和方差公式分别计算得到结构关键响应样本的时变均值和时变方差。解决了现有技术对大型输电塔进行抗风分析时,计算效率较低的技术问题。



1. 一种输电塔风致随机振动分析方法,其特征在于,包括:

获取输电塔的结构参数,根据所述结构参数建立所述输电塔的结构响应系数矩阵,所述结构参数包括:质量阵、阻尼阵和刚度阵;

对所述结构响应系数矩阵中预置的结构关键响应对应的行矩阵进行提取,得到所述输电塔的结构关键响应系数矩阵;

根据预置高度的风速时程样本,基于风速与风压的关系得到所述输电塔的风压时程,将所述风压时程代入到风荷载公式,计算得到所述输电塔的风荷载时程样本;

将所述结构关键响应系数矩阵和所述风荷载时程样本代入到结构关键响应公式,计算得到所述输电塔的结构关键响应样本;

根据所述结构关键响应样本,基于时变均值公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变均值,将所述时变均值和所述结构关键响应样本代入到时变方差公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变方差。

2. 根据权利要求1所述的输电塔风致随机振动分析方法,其特征在于,所述根据所述结构关键响应样本,基于时变均值公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变均值,将所述时变均值和所述结构关键响应样本代入到时变方差公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变方差,之后还包括:

根据所述结构关键响应样本,基于平均峰值公式,计算得到所述结构关键响应样本的平均峰值。

3. 根据权利要求1所述的输电塔风致随机振动分析方法,其特征在于,所述获取输电塔的结构参数,具体包括:

根据所述输电塔的几何信息和材料信息,建立所述输电塔的有限元模型;

对所述有限元模型进行参数提取,得到所述输电塔的结构参数。

4. 根据权利要求1所述的输电塔风致随机振动分析方法,其特征在于,所述根据所述结构参数建立所述输电塔的结构响应系数矩阵具体为:基于结构响应系数矩阵计算公式,根据所述结构参数建立所述输电塔的结构响应系数矩阵,所述结构响应系数矩阵计算公式为:

$$\begin{cases} A_{1,0} = Q_1, A_{i,0} = TA_{i-1,0} & (2 \leq i \leq n) \\ A_{1,1} = Q_2, A_{2,1} = TQ_2 + Q_1, A_{i,1} = TA_{i-1,1} & (3 \leq i \leq n) \\ A_{i,j} = A_{i-1,j-1} & (2 \leq j \leq i \leq n) \end{cases};$$

式中:

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix}, Q_1 = \begin{Bmatrix} W_1 \\ W_3 \end{Bmatrix} L, Q_2 = \begin{Bmatrix} W_2 \\ W_4 \end{Bmatrix} L \\ H_{11} = \hat{K}^{-1} (S_1 - S_3 M^{-1} K) \\ H_{12} = \hat{K}^{-1} (S_2 - S_3 M^{-1} C) \\ H_{21} = a_3 (H_{11} - I) + a_5 M^{-1} K, \\ H_{22} = a_3 H_{12} - a_4 I + a_5 M^{-1} C \\ W_1 = \hat{K}^{-1} S_3 M^{-1}, W_2 = \hat{K}^{-1} \\ W_3 = a_3 W_1 - a_5 M^{-1}, W_4 = a_3 W_2 \\ \hat{K} = K_0 + S_1, S_1 = a_0 M + a_3 C \\ S_2 = a_1 M + a_4 C, S_3 = a_2 M + a_5 C \\ a_0 = \frac{1}{\beta \Delta t^2}, a_1 = \frac{1}{\beta \Delta t}, a_2 = \frac{1}{2\beta} - 1 \\ a_3 = \frac{\gamma}{\beta \Delta t}, a_4 = \frac{\gamma}{\beta} - 1, a_5 = \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\gamma}{\beta} - 2 \right) \end{array} \right. ;$$

式中, $A_{i,j}$ ($i=1,2,\dots,n; j=0,1,\dots,i$) 为所述结构响应系数矩阵, M 为所述质量阵, C 为所述阻尼阵, K 为所述刚度阵, L 为风荷载定位矩阵; I 为单位矩阵; Δt 为时间步长, n 为时间步数, $\gamma=0.5, \beta=0.25$ 。

5. 根据权利要求1所述的输电塔风致随机振动分析方法, 其特征在于, 所述风荷载公式为:

$$F_k(t) = w_k(t) \begin{Bmatrix} \mu_{S1} \mu_{Z1} A_{S1} \\ \mu_{S2} \mu_{Z2} A_{S2} \\ \vdots \\ \mu_{Sm} \mu_{Zm} A_{Sm} \end{Bmatrix} \quad (k=1,2,\dots,N) ;$$

式中, $F_k(t)$ 为第 k 个所述风荷载时程样本, 其中共有 m 个风荷载元素, μ_{Si} 为第 i 个风荷载处构件体型系数; μ_{Zi} 为第 i 个风荷载处风压高度变化系数, A_S 为第 i 个风荷载处构件迎风面的投影面积, $w_k(t)$ 为所述风压时程。

6. 根据权利要求1所述的输电塔风致随机振动分析方法, 其特征在于, 所述结构关键响应公式为:

$$r_k(t_i) = \sum_{j=0}^i a_{i,j} F_k(t_j) \quad (i=1,2,\dots,n; k=1,2,\dots,N);$$

式中, $r_k(t_i)$ 为所述输电塔在第 k 个所述风荷载时程样本下时刻 t_i 处的结构关键响应, $F_k(t)$ 为第 k 个所述风荷载时程样本, $a_{i,j}$ 为所述结构关键响应系数矩阵。

7. 一种输电塔风致随机振动分析装置, 其特征在于, 包括:

建立单元, 用于获取输电塔的结构参数, 根据所述结构参数建立所述输电塔的结构响应系数矩阵, 所述结构参数包括: 质量阵、阻尼阵和刚度阵;

提取单元, 用于对所述结构响应系数矩阵中预置的结构关键响应对应的行矩阵进行提

取,得到所述输电塔的结构关键响应系数矩阵;

第一计算单元,用于根据预置高度的风速时程样本,基于风速与风压的关系得到所述输电塔的风压时程,将所述风压时程代入到风荷载公式,计算得到所述输电塔的风荷载时程样本;

第二计算单元,用于将所述结构关键响应系数矩阵和所述风荷载时程样本代入到结构关键响应公式,计算得到所述输电塔的结构关键响应样本;

第三计算单元,用于根据所述结构关键响应样本,基于时变均值公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变均值,将所述时变均值和所述结构关键响应样本代入到时变方差公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变方差。

8. 根据权利要求7所述的输电塔风致随机振动分析装置,其特征在于,还包括:第四计算单元;

所述第四计算单元,用于根据所述结构关键响应样本,基于平均峰值公式,计算得到所述结构关键响应样本的平均峰值。

9. 根据权利要求7所述的输电塔风致随机振动分析装置,其特征在于,所述建立单元,具体用于:

根据所述输电塔的几何信息和材料信息,建立所述输电塔的有限元模型;对所述有限元模型进行参数提取,得到所述输电塔的结构参数;

根据所述结构参数,基于结构响应系数矩阵计算公式,建立所述输电塔的结构响应系数矩阵,所述结构参数包括:质量阵、阻尼阵和刚度阵。

10. 一种输电塔风致随机振动分析设备,其特征在于,所述设备包括处理器以及存储器:

所述存储器用于存储程序代码,并将所述程序代码传输给所述处理器;

所述处理器用于根据所述程序代码中的指令执行权利要求1-6任一项所述的输电塔风致随机振动分析方法。

一种输电塔风致随机振动分析方法和相关装置

技术领域

[0001] 本发明涉及电力技术领域,尤其涉及一种输电塔风致随机振动分析方法和相关装置。

背景技术

[0002] 在研究随机振动中有多种方法,例如功率谱法、虚拟激励法、概率密度演化法,这些方法已应用于诸多实际工程领域,而部分学者将这些方法应用于输电塔抗风研究中。

[0003] 然而,现有的这些风致随机振动方法一般只适用于求解平稳风下的随机响应,对于台风、飓风等具有明显非平稳特性的风荷载,为了获取结构响应的演化功率谱,从而得到一、二阶统计矩,需要进行大量的时程积分运算,当应用于大型输电塔抗风分析时,存在计算效率低下的问题。

发明内容

[0004] 本发明提供了一种输电塔风致随机振动分析方法和相关装置,用于解决现有技术对大型输电塔进行抗风分析时,计算效率较低的技术问题。

[0005] 有鉴于此,本发明第一方面提供了一种输电塔风致随机振动分析方法,所述方法包括:

[0006] 获取输电塔的结构参数,根据所述结构参数建立所述输电塔的结构响应系数矩阵,所述结构参数包括:质量阵、阻尼阵和刚度阵;

[0007] 对所述结构响应系数矩阵中的结构关键响应对应的行矩阵进行提取,得到所述输电塔的结构关键响应系数矩阵;

[0008] 根据预置高度的风速时程样本,基于风速与风压的关系得到所述输电塔的风压时程,将所述风压时程代入到风荷载公式,计算得到所述输电塔的风荷载时程样本;

[0009] 将所述结构关键响应系数矩阵和所述风荷载时程样本代入到结构关键响应公式,计算得到所述输电塔的结构关键响应样本;

[0010] 根据所述结构关键响应样本,基于时变均值公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变均值,将所述时变均值和所述结构关键响应样本代入到时变方差公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变方差。

[0011] 可选地,所述根据所述结构关键响应样本,基于时变均值公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变均值,将所述时变均值和所述结构关键响应样本代入到时变方差公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变方差,之后还包括:

[0012] 根据所述结构关键响应样本,基于平均峰值公式,计算得到所述结构关键响应样本的平均峰值。

[0013] 可选地,所述获取输电塔的结构参数,具体包括:

[0014] 根据所述输电塔的几何信息和材料信息,建立所述输电塔的有限元模型;对所述有限元模型进行参数提取,得到所述输电塔的结构参数。

[0015] 可选地,所述根据所述结构参数建立所述输电塔的结构响应系数矩阵具体为:基于结构响应系数矩阵计算公式,根据所述结构参数建立所述输电塔的结构响应系数矩阵,所述结构响应系数矩阵计算公式为:

$$[0016] \quad \begin{cases} A_{1,0} = Q_1, A_{i,0} = TA_{i-1,0} & (2 \leq i \leq n) \\ A_{1,1} = Q_2, A_{2,1} = TQ_2 + Q_1, A_{i,1} = TA_{i-1,1} & (3 \leq i \leq n) \\ A_{i,j} = A_{i-1,j-1} & (2 \leq j \leq i \leq n) \end{cases};$$

[0017] 式中:

$$[0018] \quad \begin{cases} T = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix}, Q_1 = \begin{Bmatrix} W_1 \\ W_3 \end{Bmatrix} L, Q_2 = \begin{Bmatrix} W_2 \\ W_4 \end{Bmatrix} L \\ H_{11} = \hat{K}^{-1}(S_1 - S_3 M^{-1} K) \\ H_{12} = \hat{K}^{-1}(S_2 - S_3 M^{-1} C) \\ H_{21} = a_3(H_{11} - I) + a_5 M^{-1} K, \\ H_{22} = a_3 H_{12} - a_4 I + a_5 M^{-1} C \\ W_1 = \hat{K}^{-1} S_3 M^{-1}, W_2 = \hat{K}^{-1} \\ W_3 = a_3 W_1 - a_5 M^{-1}, W_4 = a_3 W_2 \\ \hat{K} = K_0 + S_1, S_1 = a_0 M + a_3 C \\ S_2 = a_1 M + a_4 C, S_3 = a_2 M + a_5 C \\ a_0 = \frac{1}{\beta \Delta t^2}, a_1 = \frac{1}{\beta \Delta t}, a_2 = \frac{1}{2\beta} - 1 \\ a_3 = \frac{\gamma}{\beta \Delta t}, a_4 = \frac{\gamma}{\beta} - 1, a_5 = \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\gamma}{\beta} - 2 \right) \end{cases};$$

[0019] 式中, $A_{i,j}$ ($i=1,2,\dots,n; j=0,1,\dots,i$) 为所述结构响应系数矩阵, M 为所述质量阵, C 为所述阻尼阵, K 为所述刚度阵, L 为风荷载定位矩阵; I 为单位矩阵; Δt 为时间步长, n 为时间步数, $\gamma=0.5, \beta=0.25$ 。

[0020] 可选地,所述风荷载公式为:

$$[0021] \quad F_k(t) = w_k(t) \begin{Bmatrix} \mu_{S1} \mu_{Z1} A_{S1} \\ \mu_{S2} \mu_{Z2} A_{S2} \\ \vdots \\ \mu_{Sm} \mu_{Zm} A_{Sm} \end{Bmatrix} \quad (k=1,2,\dots,N);$$

[0022] 式中, $F_k(t)$ 为第 k 个所述风荷载时程样本,其中共有 m 个风荷载元素, μ_{Si} 为第 i 个风荷载处构件体型系数; μ_{Zi} 为第 i 个风荷载处风压高度变化系数, A_S 为第 i 个风荷载处构件迎风面的投影面积, $w_k(t)$ 为所述风压时程。

[0023] 可选地,所述结构关键响应公式为:

$$[0024] \quad r_k(t_i) = \sum_{j=0}^i a_{i,j} F_k(t_j) \quad (i=1,2,\dots,n; k=1,2,\dots,N);$$

[0025] 式中, $r_k(t_i)$ 为所述输电塔在第 k 个所述风荷载时程样本下时刻 t_i 处的结构关键响应, $F_k(t)$ 为第 k 个所述风荷载时程样本, $a_{i,j}$ 为所述结构关键响应系数矩阵。

- [0026] 本发明第二方面提供一种输电塔风致随机振动分析装置,所述装置包括:
- [0027] 建立单元,用于获取输电塔的结构参数,根据所述结构参数建立所述输电塔的结构响应系数矩阵,所述结构参数包括:质量阵、阻尼阵和刚度阵;
- [0028] 提取单元,用于对所述结构响应系数矩阵中的结构关键响应对应的行矩阵进行提取,得到所述输电塔的结构关键响应系数矩阵;
- [0029] 第一计算单元,用于根据预置高度的风速时程样本,基于风速与风压的关系得到所述输电塔的风压时程,将所述风压时程代入到风荷载公式,计算得到所述输电塔的风荷载时程样本;
- [0030] 第二计算单元,用于将所述结构关键响应系数矩阵和所述风荷载时程样本代入到结构关键响应公式,计算得到所述输电塔的结构关键响应样本;
- [0031] 第三计算单元,用于根据所述结构关键响应样本,基于时变均值公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变均值,将所述时变均值和所述结构关键响应样本代入到时变方差公式,计算得到所述结构关键响应样本的时变方差。
- [0032] 可选地,还包括:第四计算单元;
- [0033] 所述第四计算单元,用于根据所述结构关键响应样本,基于平均峰值公式,计算得到所述结构关键响应样本的平均峰值。
- [0034] 可选地,其特征在于,所述建立单元,具体用于:
- [0035] 根据所述输电塔的几何信息和材料信息,建立所述输电塔的有限元模型;对所述有限元模型进行参数提取,得到所述输电塔的结构参数;
- [0036] 根据所述结构参数,基于结构响应系数矩阵计算公式,建立所述输电塔的结构响应系数矩阵,所述结构参数包括:质量阵、阻尼阵和刚度阵。
- [0037] 本发明第三方面提供一种输电塔风致随机振动分析设备,所述设备包括处理器以及存储器:
- [0038] 所述存储器用于存储程序代码,并将所述程序代码传输给所述处理器;
- [0039] 所述处理器用于根据所述程序代码中的指令,执行如上述第一方面所述的输电塔风致随机振动分析方法的步骤。
- [0040] 从以上技术方案可以看出,本发明具有以下优点:
- [0041] 本发明提供了一种输电塔风致随机振动分析方法,包括:获取输电塔的结构参数,根据结构参数建立输电塔的结构响应系数矩阵,结构参数包括:质量阵、阻尼阵和刚度阵;对结构响应系数矩阵中的结构关键响应对应的行矩阵进行提取,得到结构关键响应的系数矩阵;根据预置高度的风速时程样本,基于风速与风压的关系得到输电塔的风压时程,将风压时程代入到风荷载公式,计算得到输电塔的风荷载时程样本;将结构关键响应系数矩阵和风荷载时程样本代入到结构关键响应公式,计算得到输电塔的结构关键响应样本;根据结构关键响应样本,基于时变均值公式,计算得到结构关键响应样本的时变均值,将时变均值和结构关键响应样本代入到时变方差公式,计算得到结构关键响应样本的时变方差。
- [0042] 本发明的输电塔风致随机振动分析方法,根据输电塔的结构参数建立输电塔的结构响应系数矩阵,利用时域显式表达式的降维列式优势,只需针对输电塔结构响应系数矩阵的预置的结构关键响应进行简单的代数运算,得到结构关键响应系数矩阵,同时结合风速和风压的关系得到输电塔的风荷载时程样本进行分析计算,从而得到输电塔的结构响应的

时变均值和时变方差,也即输电塔的结构响应一、二阶统计矩,对输电塔结构风致随机振动分析无需进行复杂的积分运算,具有计算简便、效率高的优点,解决了现有技术对大型输电塔进行抗风分析效率较低的技术问题。

附图说明

[0043] 图1为本发明实施例中提供的一种输电塔风致随机振动分析方法的实施例一的流程示意图;

[0044] 图2为本发明实施例中提供的一种输电塔风致随机振动分析方法的实施例二的流程示意图;

[0045] 图3为本发明实施例中提供的一种输电塔风致随机振动分析装置的结构示意图。

具体实施方式

[0046] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案,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做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0047] 请参阅图1,本发明提供的一种输电塔风致随机振动分析方法实施例一:包括:

[0048] 步骤101、获取输电塔的结构参数,根据结构参数建立输电塔的结构响应系数矩阵,结构参数包括:质量阵、阻尼阵和刚度阵。

[0049] 可以理解的是,将输电塔的结构参数输入到预置的计算公式中进行计算得到输电塔的结构响应系数矩阵,结构参数包括:质量阵、阻尼阵和刚度阵等。

[0050] 步骤102、对结构响应系数矩阵中预置的结构关键响应对应的行矩阵进行提取,得到输电塔的结构关键响应系数矩阵。

[0051] 需要说明的是,预置的结构关键响应为本领域技术人员分析输电塔风致随机振动的主要结构响应参数,预置的结构关键响应可以根据实际需要预先进行设置;可以理解的是,结构响应系数矩阵中存在多个行矩阵,将关键响应对应的行矩阵提取出来,得到的就是输电塔的结构关键响应系数矩阵。

[0052] 步骤103、根据预置高度的风速时程样本,基于风速与风压的关系得到输电塔的风压时程,将风压时程代入到风荷载公式,计算得到输电塔的风荷载时程样本。

[0053] 本实施例通过实测记录或谐波合成方法,获取大量预置高度的风速时程样本,根据风速与风压的关系得到输电塔的风压时程,再将风压时程代入到风荷载公式计算得到得到输电塔的风荷载时程样本。

[0054] 需要说明的是,风速与风压的关系为: $w_k(t) = u_k^2(t) / 1600$ ($k=1, 2, \dots, N$);

[0055] 式中, $w_k(t)$ 为第k个风荷载时程样本, u_k 为第k个风速时程样本, N 为样本个数。

[0056] 步骤104、将结构关键响应系数矩阵和风荷载时程样本代入到结构关键响应公式,计算得到输电塔的结构关键响应样本。

[0057] 将结构关键响应系数矩阵和风荷载时程样本一起代入到结构关键响应公式中进行计算,得到输电塔的结构关键响应样本。

[0058] 步骤105、根据结构关键响应样本,基于时变均值公式,计算得到结构关键响应样

本的时变均值,将时变均值和结构关键响应样本代入到时变方差公式,计算得到结构关键响应样本的时变方差。

[0059] 可以理解的是,将结构关键响应样本代入到时变均值公式计算得到结构关键响应样本的时变均值,再将时变均值和结构关键响应样本代入到时变方差公式中计算得到时变方差,需要说明的是时变均值和时变方差分别为结构响应一、二阶统计矩。

[0060] 本发明的输电塔风致随机振动分析方法,根据输电塔的结构参数建立输电塔的结构响应系数矩阵,利用时域显式表达式的降维列式优势,只需针对输电塔结构响应系数矩阵的预置的结构关键响应进行简单的代数运算,得到结构关键响应系数矩阵,同时结合风速和风压的关系得到输电塔的风荷载时程样本进行分析计算,从而得到输电塔的结构响应的时变均值和时变方差,也即输电塔的结构响应一、二阶统计矩,对输电塔结构风致随机振动分析无需进行复杂的积分运算,具有计算简便、效率高的优点,解决了现有技术对大型输电塔进行抗风分析效率较低的技术问题。

[0061] 以上为本发明实施例提供的一种输电塔风致随机振动分析方法实施例一,以下为本发明实施例提供的一种输电塔风致随机振动分析方法实施例二。

[0062] 请参阅图2,本发明实施例提供的一种输电塔风致随机振动分析方法实施例二,包括:

[0063] 步骤201、根据输电塔的几何信息和材料信息,建立输电塔的有限元模型;对有限元模型进行参数提取,得到输电塔的结构参数,基于结构响应系数矩阵计算公式,根据结构参数建立输电塔的结构响应系数矩阵,结构参数包括:质量阵、阻尼阵和刚度阵。

[0064] 本实施例将几何信息和材料信息输入到大型通用有限元软件中,得到输电塔的有限元模型,再根据需要对有限元模型进行参数提取,得到输电塔的结构参数,将输电塔的结构参数输入到结构响应系数矩阵计算公式,得到输电塔的结构响应系数矩阵。

[0065] 其中,结构响应系数矩阵计算公式为:

$$[0066] \begin{cases} A_{1,0} = Q_1, A_{i,0} = TA_{i-1,0} & (2 \leq i \leq n) \\ A_{1,1} = Q_2, A_{2,1} = TQ_2 + Q_1, A_{i,1} = TA_{i-1,1} & (3 \leq i \leq n) \\ A_{i,j} = A_{i-1,j-1} & (2 \leq j \leq i \leq n) \end{cases} .$$

[0067] 式中:

$$\begin{cases}
 T = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix}, Q_1 = \begin{Bmatrix} W_1 \\ W_3 \end{Bmatrix} L, Q_2 = \begin{Bmatrix} W_2 \\ W_4 \end{Bmatrix} L \\
 H_{11} = \hat{K}^{-1} (S_1 - S_3 M^{-1} K) \\
 H_{12} = \hat{K}^{-1} (S_2 - S_3 M^{-1} C) \\
 H_{21} = a_3 (H_{11} - I) + a_5 M^{-1} K, \\
 H_{22} = a_3 H_{12} - a_4 I + a_5 M^{-1} C \\
 W_1 = \hat{K}^{-1} S_3 M^{-1}, W_2 = \hat{K}^{-1} \\
 W_3 = a_3 W_1 - a_5 M^{-1}, W_4 = a_3 W_2 \\
 \hat{K} = K_0 + S_1, S_1 = a_0 M + a_3 C \\
 S_2 = a_1 M + a_4 C, S_3 = a_2 M + a_5 C \\
 a_0 = \frac{1}{\beta \Delta t^2}, a_1 = \frac{1}{\beta \Delta t}, a_2 = \frac{1}{2\beta} - 1 \\
 a_3 = \frac{\gamma}{\beta \Delta t}, a_4 = \frac{\gamma}{\beta} - 1, a_5 = \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\gamma}{\beta} - 2 \right)
 \end{cases} ;$$

[0069] 式中, $A_{i,j}$ ($i=1,2,\dots,n; j=0,1,\dots,i$) 为结构响应系数矩阵, M 为质量阵, C 为阻尼阵, K 为刚度阵, L 为风荷载定位矩阵; I 为单位矩阵; Δt 为时间步长, n 为时间步数, $\gamma=0.5$, $\beta=0.25$ 。

[0070] 步骤202、对结构响应系数矩阵中预置的结构关键响应对应的行矩阵进行提取,得到输电塔的结构关键响应系数矩阵。

[0071] 本实施例步骤202与实施例一步骤102描述相同,请参见实施例一步骤102描述,在此不再赘述。

[0072] 步骤203、根据预置高度的风速时程样本,基于风速与风压的关系得到输电塔的风压时程,将风压时程代入到风荷载公式,计算得到输电塔的风荷载时程样本。

[0073] 本实施例步骤203与实施例一步骤103描述相同,请参见实施例一步骤103描述,在此不再赘述。

[0074] 其中,风荷载公式为:

$$[0075] \quad F_k(t) = w_k(t) \begin{Bmatrix} \mu_{S1} \mu_{Z1} A_{S1} \\ \mu_{S2} \mu_{Z2} A_{S2} \\ \vdots \\ \mu_{Sm} \mu_{Zm} A_{Sm} \end{Bmatrix} \quad (k=1,2,\dots,N) ;$$

[0076] 式中, $F_k(t)$ 为第 k 个风荷载时程样本,其中共有 m 个风荷载元素, μ_{Si} 为第 i 个风荷载处构件体型系数; μ_{Zi} 为第 i 个风荷载处风压高度变化系数, A_S 为第 i 个风荷载处构件迎风面的投影面积, $w_k(t)$ 为风压时程。

[0077] 步骤204、将结构关键响应系数矩阵和风荷载时程样本代入到结构关键响应公式,计算得到输电塔的结构关键响应样本。

[0078] 本实施例步骤204与实施例一步骤104描述相同,请参见实施例一步骤104描述,在

此不再赘述。

[0079] 其中,结构关键响应公式为:

$$[0080] \quad r_k(t_i) = \sum_{j=0}^i a_{i,j} F_k(t_j) \quad (i=1,2,\dots,n;k=1,2,\dots,N);$$

[0081] 式中, $r_k(t_i)$ 为输电塔在第k个风荷载时程样本下时刻 t_i 处的结构关键响应, $F_k(t)$ 为第k个所述风荷载时程样本, $a_{i,j}$ 为结构关键响应系数矩阵。

[0082] 步骤205、根据结构关键响应样本,基于时变均值公式,计算得到结构关键响应样本的时变均值,将时变均值和结构关键响应样本代入到时变方差公式,计算得到结构关键响应样本的时变方差。

[0083] 本实施例步骤205与实施例一105描述相同,请参见实施例一步骤105描述,在此不再赘述。

[0084] 其中,时变均值公式为:

$$[0085] \quad \mu_r(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N r_k(t);$$

[0086] 式中, $\mu_r(t)$ 为结构关键响应r的时变均值, $r_k(t)$ 为结构关键响应样本。

[0087] 时变方差公式为:

$$[0088] \quad \sigma_r(t) = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N [r_k(t) - \mu_r(t)]^2;$$

[0089] 式中, $\sigma_r(t)$ 为结构关键响应r的时变方差。

[0090] 步骤206、根据结构关键响应样本,基于平均峰值公式,计算得到结构关键响应样本的平均峰值。

[0091] 同样的,将结构关键响应样本代入到平均峰值公式进行计算,得到结构关键响应样本的平均峰值。本实施例可以求解实际工程更为关注的输电塔风致响应的平均峰值,具有更广的适用性。

[0092] 其中,平均峰值公式为:

$$[0093] \quad r_{\text{peak}} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \max_{i=1}^n (|r_k(t_i)|);$$

[0094] 式中, r_{peak} 为结构关键响应r的平均峰值。

[0095] 本实施例的输电塔风致随机振动分析方法,利用时域显式表达式的降维列式优势,只需针对关键响应进行简单的代数运算,从而得到输电塔的结构响应一、二阶统计矩:时变均值和时变方差,无需进行复杂的积分运算具有计算简便、效率高的优点;除了计算时变均值和时变方差,同时还能求解实际工程更为关注的输电塔风致结构响应的平均峰值,具有更广的适用性。从而解决了现有技术对大型输电塔进行抗风分析时,计算效率较低的技术问题。

[0096] 以上为本发明实施例提供的一种输电塔风致随机振动分析方法实施例二,以下为本发明实施例提供的一种输电塔风致随机振动分析装置的实施例。

[0097] 请参阅图3,本发明提供的一种输电塔风致随机振动分析装置的实施例,包括:

[0098] 建立单元301,用于获取输电塔的结构参数,根据结构参数建立输电塔的结构响应

系数矩阵,结构参数包括:质量阵、阻尼阵和刚度阵;

[0099] 提取单元302,用于对结构响应系数矩阵中预置的结构关键响应对应的行矩阵进行提取,得到输电塔的结构关键响应系数矩阵;

[0100] 第一计算单元303,用于根据预置高度的风速时程样本,基于风速与风压的关系得到输电塔的风压时程,将风压时程代入到风荷载公式,计算得到输电塔的风荷载时程样本;

[0101] 第二计算单元304,用于将结构关键响应系数矩阵和风荷载时程样本代入到结构关键响应公式,计算得到输电塔的结构关键响应样本;

[0102] 第三计算单元305,用于根据结构关键响应样本,基于时变均值公式和时变方差公式,分别计算得到结构关键响应样本的时变均值和时变方差。

[0103] 第四计算单元306,用于根据结构关键响应样本,基于平均峰值公式,计算得到结构关键响应样本的平均峰值。

[0104] 本发明的输电塔风致随机振动分析装置,根据输电塔的结构参数建立输电塔的结构响应系数矩阵,利用时域显式表达式的降维列式优势,只需针对输电塔结构响应系数矩阵的预置的结构关键响应进行简单的代数运算,得到结构关键响应系数矩阵,同时结合风速和风压的关系得到输电塔的风荷载时程样本进行分析计算,从而得到输电塔的结构响应的时变均值和时变方差,也即输电塔的结构响应一、二阶统计矩,对输电塔结构风致随机振动分析无需进行复杂的积分运算,具有计算简便、效率高的优点,解决了现有技术对大型输电塔进行抗风分析效率较低的技术问题。

[0105] 本发明还提供了一种输电塔风致随机振动分析设备,设备包括处理器以及存储器:

[0106] 存储器用于存储程序代码,并将程序代码传输给处理器;

[0107] 处理器用于根据程序代码中的指令执行上述方法实施例中任一种输电塔风致随机振动分析方法。

[0108] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为描述的方便和简洁,上述描述的装置和单元的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0109] 本发明的说明书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”、“第四”等是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换,以便这里描述的本发明的实施例例如能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外,术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排他的包含,例如,包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0110] 应当理解,在本发明中,“至少一个(项)”是指一个或者多个,“多个”是指两个或两个以上。“和/或”,用于描述关联对象的关联关系,表示可以存在三种关系,例如,“A和/或B”可以表示:只存在A,只存在B以及同时存在A和B三种情况,其中A,B可以是单数或者复数。字符“/”一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。“以下至少一项(个)”或其类似表达,是指这些项中的任意组合,包括单项(个)或复数项(个)的任意组合。例如,a,b或c中的至少一项(个),可以表示:a,b,c,“a和b”,“a和c”,“b和c”,或“a和b和c”,其中a,b,c可以是单个,也可以是多个。

[0111] 在本发明所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的系统,装置和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,例如,所述单元的划分,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信连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通信连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0112] 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。

[0113] 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。

[0114] 所述集成的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,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(英文全称:Read-Only Memory,英文缩写:ROM)、随机存取存储器(英文全称:Random Access Memory,英文缩写:RAM)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0115] 以上所述,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。

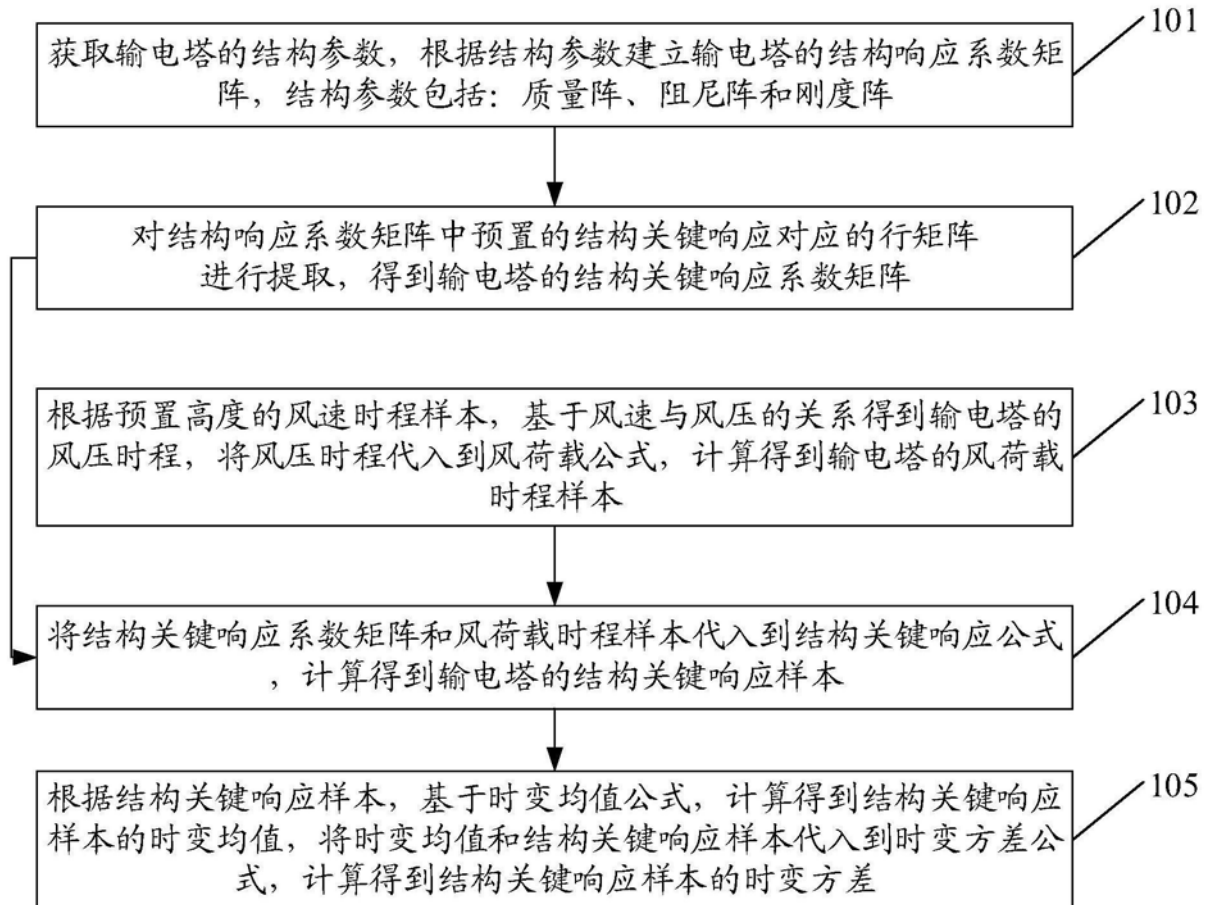


图1

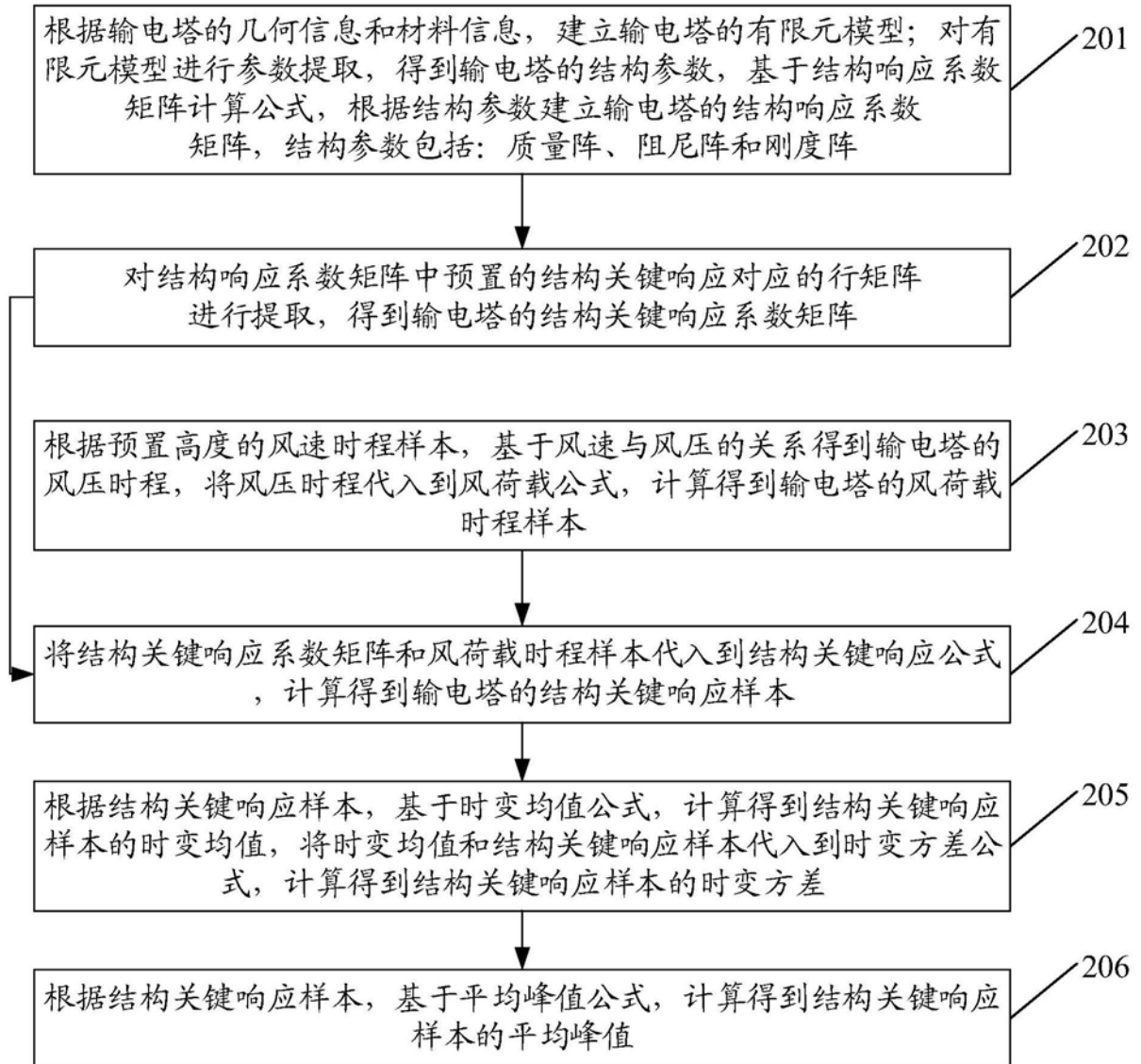


图2

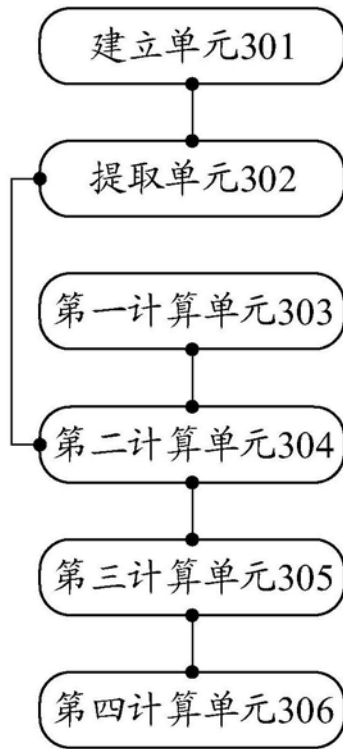


图3