



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107514344 A

(43)申请公布日 2017.12.26

(21)申请号 201710669695.6

(22)申请日 2017.08.07

(71)申请人 北京金风科创风电设备有限公司
地址 100176 北京市大兴区经济技术开发区康定街19号

(72)发明人 张晓曼 邢赢

(74)专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理
有限责任公司 11258

代理人 彭琼

(51) Int. Cl.

F03D 13/20(2016.01)

F03D 13/10(2016.01)

F03D 17/00(2016.01)

F03D 80/00(2016.01)

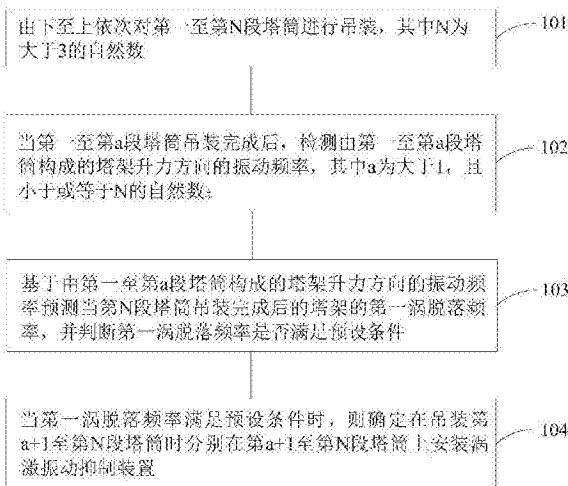
权利要求书2页 说明书11页 附图4页

(54)发明名称

风力发电机组的塔架吊装方法及涡激振动监测
监测系统

(57)摘要

本发明提供一种风力发电机组的塔架吊装方法及涡激振动监测系统。塔架包括N段塔筒,N为大于3的自然数,塔架吊装方法包括:依次对第一至第N段塔筒进行吊装;当第一至第a段塔筒吊装完成后,检测由第一至第a段塔筒构成的塔架升力方向的振动频率;基于塔架升力方向的振动频率预测当第N段塔筒吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率,并判断第一涡脱落频率是否满足预设条件;若满足预设条件时,则确定在吊装第a+1至第N段塔筒时分别在第a+1至第N段塔筒上安装涡激振动抑制装置。因此,能够根据塔架在吊装现场的实际受力状况预测吊装完后后的塔架的涡脱落频率,从而准确判断涡激振动抑制装置的安装时机,以免影响塔架的结构强度及塔架吊装进度的目的。



1. 一种风力发电机组的塔架吊装方法,所述塔架包括N段叠置并彼此连接的塔筒,其中N为大于3的自然数,其特征在于,所述塔架吊装方法包括:

由下至上依次对第一至第N段所述塔筒进行吊装;

当第一至第a段所述塔筒吊装完成后,检测由第一至第a段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率,其中a为大于1,且小于或等于N的自然数;

基于由第一至第a段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率预测当第N段所述塔筒吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率,并判断所述第一涡脱落频率是否满足预设条件;

当所述第一涡脱落频率满足所述预设条件时,则确定在吊装第a+1至第N段所述塔筒时分别在第a+1至第N段所述塔筒上安装涡激振动抑制装置。

2. 根据权利要求1所述的塔架吊装方法,其特征在于,还包括:在由第一至第a段所述塔筒构成的塔架的预定测试点处安装检测装置。

3. 根据权利要求2所述的塔架吊装方法,其特征在于,所述检测装置包括:

应变片传感器,所述应变片传感器以长度方向和所述塔架的延伸方向一致的方式安装在所述塔筒的塔筒壁上;或者,

加速度位移传感器,所述加速度位移传感器安装在由第一至第a段所述塔筒构成的塔架的顶部位置。

4. 根据权利要求3所述的塔架吊装方法,其特征在于,还包括:

在所述塔筒的塔筒壁上设置两个所述应变片传感器,并且使两个所述应变片传感器与所述塔筒中心连线的夹角呈 90° ;或者,

在所述塔筒的塔筒壁上设置三个以上所述应变片传感器,并且使三个以上所述应变片传感器沿所述塔筒的周向均匀分布。

5. 根据权利要求1所述的塔架吊装方法,其特征在于,还包括:

当所述第一涡脱落频率不满足所述预设条件时,则在第a+1段所述塔筒吊装完成后,检测由第一至第a+1段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率;

基于由第一至第a+1段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率预测当第N段所述塔筒吊装完成后的塔架的第二涡脱落频率,并确定所述第二涡脱落频率是否满足所述预设条件;

当所述第二涡脱落频率满足所述预设条件时,则确定在吊装第a+2段至第N段所述塔筒时分别在第a+2至第N段所述塔筒上安装所述涡激振动抑制装置。

6. 根据权利要求2至5任一项所述的塔架吊装方法,其特征在于,当所述检测装置的安装方向与所述塔架承受载荷的方向垂直时,所述预设条件为:

$$90\% f_n < b f_v < 110\% f_n,$$

其中,所述 f_n 为所述塔筒的固有频率,所述 f_v 为所述塔架升力方向的振动频率,所述b为随动加权系数。

7. 一种应用于风力发电机组的塔架吊装的涡激振动监测系统,所述塔架包括N段叠置并彼此连接的塔筒,其中N为大于3的自然数,其特征在于,所述涡激振动监测系统包括:

检测装置,设置在第一至第a段所述塔筒构成的塔架的预定测试点处,用于检测由第一至第a段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率,其中a为大于1,且小于或等于N的自然数;

处理装置,与所述检测装置连接,用于基于由第一至第a段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率预测当第N段所述塔筒吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率,并判断所述第一涡脱落频率是否满足预设条件,当所述第一涡脱落频率满足所述预设条件时,则确定在吊装第a+1至第N段所述塔筒时分别在第a+1至第N段所述塔筒上安装涡激振动抑制装置。

8. 根据权利要求7所述的涡激振动监测系统,其特征在于,所述检测装置包括:

应变片传感器,所述应变片传感器以长度方向和所述塔架的延伸方向一致的方式安装在所述塔筒的塔筒壁上;或者,

加速度位移传感器,所述加速度位移传感器安装在由第一至第a段所述塔筒构成的塔架的顶部位置。

9. 根据权利要求8所述的涡激振动监测系统,其特征在于,

所述检测装置包括两个所述应变片传感器,并且两个所述应变片传感器与所述塔筒中心连线的夹角呈 90° ;或者,

所述检测装置包括三个以上所述应变片传感器,并且三个以上所述应变片传感器沿所述塔筒的周向均匀分布。

10. 根据权利要求7至9任一项所述的涡激振动监测系统,其特征在于,当所述检测装置的安装方向与所述塔架承受载荷的方向垂直时,所述预设条件为:

$$90\% f_n < b f_v < 110\% f_n,$$

其中,所述 f_n 为所述塔筒的固有频率,所述 f_v 为所述塔架升力方向的振动频率,所述 b 为随动加权系数。

风力发电机组的塔架吊装方法及涡激振动监测系统

技术领域

[0001] 本发明涉及风力发电技术领域,尤其涉及一种风力发电机组的塔架吊装方法及涡激振动监测系统。

背景技术

[0002] 塔架作为风力发电机组中的重要部件,承担着整个机舱和叶轮组的重量,由于大多数风力发电机组中的塔架是由多个塔筒依次叠置构成,所以多个塔筒通过吊装的方式连接后的结构强度以及稳定性尤为重要。

[0003] 但是,在执行吊装塔架的过程中,尤其是对高塔以及柔塔进行吊装时,在吊装至一定高度时,会受到风作用力影响,所以可能使塔架产生大幅度周期性振动,其中一种就是塔架出现涡激振动。当出现涡激振动后,一方面会影响塔架吊装时多个塔筒之间的连接稳定性,即影响塔架吊装后的结构强度,特别是疲劳强度,增加塔架的疲劳损伤。另一方面还会影响整个风力发电机组的吊装进度,浪费人力、物力、财力。因此,需要在塔架振动到某一频率范围时,及时在需要安装装置的塔筒上安装涡激振动抑制装置,避免塔架吊装完成后在风激励作用下发生涡激振动。

[0004] 目前,在吊装的过程中确定涡激振动抑制装置的安装位置的方法是使用仿真模型的方法对塔架施加风激励,来预测吊装到不同阶段时塔架对风激励的响应,包括受力的大小和频率,据此来判断是否需要使用涡激振动抑制装置对涡激振动进行干预。但是在仿真过程中需要进行模型假设和经验参数的选取,因此会给仿真结果带来一些误差,同时,项目现场的风况多样且多变,根据仿真结果指导吊装的方法欠缺灵活性。而一旦判断出现误差,则不能对风的激励作用进行有效抑制,因此塔架还是有可能会发生涡激振动,从而会降低塔架的结构强度,增加塔架出现疲劳损伤,甚至引发安全事故。

[0005] 因此,亟需一种新的风力发电机组的塔架吊装方法及涡激振动监测系统。

发明内容

[0006] 根据本发明的实施例,提供了一种风力发电机组的塔架吊装方法及涡激振动监测系统,能够根据塔架实际吊装过程中对风载荷的动态响应,确定塔架的实际受力状态,并预测出塔架吊装完成时的涡脱落频率,从而实现准确地对塔架即将发生的涡激振动进行提前预测,及时调整吊装策略,以判断涡激振动抑制装置的安装位置,避免发生涡激振动而影响塔架的结构强度以及塔架吊装进度的目的。

[0007] 根据本发明实施例的一个方面,提供了一种风力发电机组的塔架吊装方法,所述塔架包括N段叠置并彼此连接的塔筒,其中N为大于3的自然数,所述塔架吊装方法包括:由下至上依次对第一至第N段所述塔筒进行吊装;当第一至第a段所述塔筒吊装完成后,检测由第一至第a段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率,其中a为大于1,且小于或等于N的自然数;基于由第一至第a段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率预测当第N段所述塔筒吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率,并判断所述第一涡脱落频率是否满足预设条

件;当所述第一涡脱落频率满足所述预设条件时,则确定在吊装第a+1至第N段所述塔筒时分别在第a+1至第N段所述塔筒上安装涡激振动抑制装置。

[0008] 根据本发明实施例的一个方面,塔架吊装方法还包括:在由第一至第a段所述塔筒构成的塔架的预定测试点处安装检测装置。

[0009] 根据本发明实施例的一个方面,所述检测装置包括:应变片传感器,所述应变片传感器以长度方向和所述塔架的延伸方向一致的方式安装在所述塔筒的塔筒壁上;或者,加速度位移传感器,所述加速度位移传感器安装在由第一至第a段所述塔筒构成的塔架的顶部位置。

[0010] 根据本发明实施例的一个方面,塔架吊装方法还包括:在所述塔筒的塔筒壁上设置两个所述应变片传感器,并且使两个所述应变片传感器与所述塔筒中心连线的夹角呈 90° ;或者,在所述塔筒的塔筒壁上设置三个以上所述应变片传感器,并且使三个以上所述应变片传感器沿所述塔筒的周向均匀分布。

[0011] 根据本发明实施例的一个方面,塔架吊装方法还包括:当所述第一涡脱落频率不满足所述预设条件时,则在第a+1段所述塔筒吊装完成后,检测由第一至第a+1段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率;基于由第一至第a+1段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率预测当第N段所述塔筒吊装完成后的塔架的第二涡脱落频率,并确定所述第二涡脱落频率是否满足所述预设条件;当所述第二涡脱落频率满足所述预设条件时,则确定在吊装第a+2段至第N段所述塔筒时分别在第a+2至第N段所述塔筒上安装所述涡激振动抑制装置。

[0012] 根据本发明实施例的一个方面,当所述检测装置的安装方向与所述塔架承受载荷的方向垂直时,所述预设条件为: $90\% f_n < b f_v < 110\% f_n$,其中,所述 f_n 为所述塔筒的固有频率,所述 f_v 为所述塔架升力方向的振动频率,所述 b 为随动加权系数。

[0013] 根据本发明实施例的另一个方面,还提供了一种应用于风力发电机组的塔架吊装的涡激振动监测系统,所述塔架包括N段叠置并彼此连接的塔筒,其中N为大于3的自然数,所述涡激振动监测系统包括:检测装置,设置在第一至第a段所述塔筒构成的塔架的预定测试点处,用于检测由第一至第a段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率,其中a为大于1,且小于或等于N的自然数;处理装置,与所述检测装置连接,用于基于由第一至第a段所述塔筒构成的塔架升力方向的振动频率预测当第N段所述塔筒吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率,并判断所述第一涡脱落频率是否满足预设条件,当所述第一涡脱落频率满足所述预设条件时,则确定在吊装第a+1至第N段所述塔筒时分别在第a+1至第N段所述塔筒上安装涡激振动抑制装置。

[0014] 根据本发明实施例的另一个方面,所述检测装置包括:应变片传感器,所述应变片传感器以长度方向和所述塔架的延伸方向一致的方式安装在所述塔筒的塔筒壁上;或者,加速度位移传感器,所述加速度位移传感器安装在由第一至第a段所述塔筒构成的塔架的顶部位置。

[0015] 根据本发明实施例的另一个方面,所述检测装置包括两个所述应变片传感器,并且两个所述应变片传感器与所述塔筒中心连线的夹角呈 90° ;或者,所述检测装置包括三个以上所述应变片传感器,并且三个以上所述应变片传感器沿所述塔筒的周向均匀分布。

[0016] 根据本发明实施例的另一个方面,当所述检测装置的安装方向与所述塔架承受载

荷的方向垂直时,所述预设条件为: $90\% f_n < b f_v < 110\% f_n$,其中,所述 f_n 为所述塔筒的固有频率,所述 f_v 为所述塔架升力方向的振动频率,所述 b 为随动加权系数。

[0017] 综上,本发明实施例的风力发电机组的塔架吊装方法及涡激振动监测系统,通过在具有 N 段塔筒的塔架吊装过程中,在将第一至第 a 段塔筒吊装完成后,检测由第一至第 a 段塔筒构成的塔架的升力方向的振动频率,并基于由第一至第 a 段塔筒构成的塔架的升力方向的振动频率预测当塔架整体吊装完成后的第一涡脱落频率,并判断该第一涡脱落频率是否满足预设条件,当第一涡脱落频率满足预设条件时,则确定需要在待吊装的剩余塔筒上安装涡激振动抑制装置。因此,本发明实施例的塔架吊装方法及涡激振动监测系统,能够在塔架的实际吊装过程中,根据吊装现场实际的风载荷对塔架的激励情况,判断是否需要可能对塔架可能发生的涡激振动进行干预,避免塔架吊装完成后发生涡激振动,影响塔架的吊装进程并造成资源浪费,甚至影响塔架结构强度的问题。

附图说明

[0018] 从下面结合附图对本发明的具体实施方式的描述中可以更好地理解本发明,其中:

[0019] 通过阅读以下参照附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显,其中,相同或相似的附图标记表示相同或相似的特征。

[0020] 图1是示出风力发电机组的塔架受到风激励作用的力分析图;

[0021] 图2是根据本发明一个实施例提供的风力发电机组的塔架吊装方法的流程图;

[0022] 图3是根据本发明实施例的检测装置的一个具体安装示例的结构示意图;

[0023] 图4是根据本发明实施例的检测装置的另一个具体安装示例的结构示意图;

[0024] 图5是根据本发明另一个实施例提供的风力发电机组的塔架吊装方法的流程图;

[0025] 图6是根据本发明一个实施例的涡激振动监测系统的结构框图;

[0026] 图7是图6中所示的涡激振动监测系统的一个具体应用示例的结构示意图。

[0027] 其中,10-塔筒;20-涡激振动监测系统;20a-数据处理装置;21-检测装置;22-数据采集装置;23-处理装置。

具体实施方式

[0028] 下面将详细描述本发明的各个方面的特征和示例性实施例。在下面的详细描述中,提出了许多具体细节,以便提供对本发明的全面理解。但是,对于本领域技术人员来说很明显的是,本发明可以在不需要这些具体细节中的一些细节的情况下实施。下面对实施例的描述仅仅是为了通过示出本发明的示例来提供对本发明的更好的理解。在附图和下面的描述中,至少部分的公知结构和技术没有被示出,以便避免对本发明造成不必要的模糊;并且,为了清晰,可能夸大了部分结构的尺寸。在图中相同的附图标记表示相同或类似的结构,因而将省略它们的详细描述。此外,下文中所描述的特征、结构或特性可以以任何合适的方式结合在一个或更多实施例中。

[0029] 在本发明的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是直接相连,也可以间接相连。对于本领域的普通技术人员而言,可视具体情况理解上述

术语在本发明中的具体含义。

[0030] 本发明实施例提供的风力发电机组的塔架吊装方法及涡激振动监测系统,在风力发电机组的塔架吊装过程中,能够通过实际检测到的风载荷对已完成吊装的塔架造成的影响预测塔架整体吊装完成时的涡脱落频率,以便根据判断结构确定是否需要在后续吊装的塔筒上安装涡激振动抑制装置,对塔架整体吊装完成后可能产生的涡激振动进行干预。因此通过测量塔架吊装过程中的实际受力状况,能够准确判断是否需要安装涡激振动抑制装置,进而防止塔架在吊装的过程中由于发生涡激振动,而对其结构强度以及风力发电机组整体的安装进程造成影响。

[0031] 为了更好地理解本发明,下面结合图1至图7根据本发明实施例的风力发电机组的塔架吊装方法和涡激振动监测系统20进行说明。

[0032] 图1是示出风力发电机组的塔架受到风激励作用的力分析图。图中未示出塔架的整体结构,仅以塔架中的某一段塔筒10为例对塔架承受的风激励作用进行分析。当塔架受到具有一定速度的风载荷作用后,塔架的受力方向可以分为两个方向,如图1所示,其中, F_L 为塔架在升力方向所承受的风载荷,即塔架在垂直于风载荷的方向受到的作用力; F_D 为塔架在阻力方向所承受的风载荷,即塔架在平行于风载荷的方向受到的作用力。升力变化的频率为涡脱落频率,而阻力变化的频率是升力变化的频率的二倍。

[0033] 图2是根据本发明一个实施例提供的风力发电机组的塔架吊装方法的流程图。如图2所示,为了防止塔架在吊装的过程中由于受到风激励作用发生涡激振动,在本实施例中,采取在塔架吊装至预定位置时检测塔架的受力状况,并根据塔架的受力状况进行分析判断是否需要在待吊装的塔筒10上安装涡激振动抑制装置(图中未示出)。由此能够避免采用现有的构建模型并选取经验参数来判断在塔架上安装涡激振动抑制装置的时机,由于容易出现误差,因此可能导致判断出现失误的问题。

[0034] 在本实施例中,塔架吊装方法包括以下步骤。

[0035] 步骤S101,由下至上依次对第一至第N段塔筒进行吊装,N为大于3的自然数。

[0036] 示例性地,假设风力发电机组的塔架包括N段塔筒10。在通过吊装操作使N段塔筒10形成塔架时,N段塔筒10需按照由下至上的顺序依次叠置并彼此连接构成完整的塔架。

[0037] 步骤S102,当第一至第a段塔筒吊装完成后,检测由第一至第a段塔筒构成的塔架的升力方向的振动频率,其中a为大于1,且小于或等于N的自然数。

[0038] 在通常情况下,本发明实施例中的塔架吊装方法适用于指导高塔和柔塔的吊装过程,塔架达到预定高度时,可能会发生涡激振动。示例性地,例如预定高度为80米,即80米以上的塔架在吊装完成后,受到风载荷的影响时产生的振动频率有可能与塔架的固有频率相接近,进而发生涡激振动。

[0039] 因此,在塔架吊装的过程中,需要根据当前已完成吊装的塔架受到风激励作用时的动态响应来分析施加在塔架上的风激励频率与风载荷的大小,也就是对未完成吊装的塔架在风激励作用下产生的振动进行检测,进而根据获取的升力方向的振动频率预测整体吊装完成后的塔架的涡脱落频率,以通过检测结果在塔架的现场吊装过程中,准确判断涡激振动抑制装置的具体安装位置。在本步骤中还可以包括在塔架的相应位置设置预设测试点,并在预定测试点处安装相应的检测装置21。

[0040] 为了保证最终获得的检测数据的准确性,使检测装置21检测到的数据能够真实有

效地反映出塔架的受力状况,预定测试点的位置可以根据检测装置21本身的结构特性以及检测原理来进行设定。

[0041] 图3是根据本发明实施例的检测装置21的一个具体安装示例的结构示意图。如图3所示,在一个示例性实施例中,上述检测装置21包括应变片传感器。

[0042] 当采取在塔架上安装应变片传感器作为检测装置21,对塔架的受力状况进行检测时,应变片传感器的检测原理是感应被测物的变形量,并将被测物的变形量表征为电信号,进一步经过计算得到塔架升力方向的振动频率。示例性地,应变片传感器可以以其长度方向和塔架的延伸方向一致的方式安装贴在塔筒10的塔筒壁。同时,由于塔架在风载荷的作用下发生形变时,其靠近固定端处发生的形变最为严重,所以为了获取到精确的数据,可以将应变片传感器安装在靠近塔架底部的塔筒壁上,也就是塔架的第一段塔筒10的塔筒壁的底部位置。当然应变片传感器可以在未吊装第一段塔筒10时提前安装,也可以在第一段塔筒10吊装完成后安装。

[0043] 此外,对于应变片传感器的数量本发明的实施例并不进行限制,示例性地,可以在塔筒10上安装两个应变片传感器(当安装一个应变片传感器时,与安装两个应变片传感器的情况类似)。两个应变片传感器在塔筒壁上的安装方式为:两个应变片传感器与塔筒中心连线的夹角呈 90° 。这样即可通过两个应变片传感器分别在不同方向检测塔架的受力状况,这样能够最大限度的保证顺利捕捉到塔架在升力方向的振动频率。

[0044] 在一些实施例中,还可以在单段塔筒10上安装更多个应变片传感器,即安装三个以上的应变片传感器。并且可以将三个以上的应变片传感器沿塔筒10的周向均匀设置在塔架的壁部。通过将三个以上的应变片传感器沿塔筒10的周向均匀设置,可以获得塔架在多个方向上的振动频率,此时,能够更准确的获得塔架的升力方向的振动频率。

[0045] 在具体的实施过程中,当塔筒10的塔筒壁上设置多个应变片传感器时,则可以分别得到多个应变片传感器检测到的多个方向的振动频率,并可以进一步对多个应变片传感器检测到的振动频率进行筛选,从检测到的多个振动频率中筛选出幅值最大的振动频率作为升力方向的振动频率。

[0046] 图4是根据本发明实施例的检测装置21的另一个具体安装示例的结构示意图。如图4所示,在另一个示例性实施例中,上述检测装置21为加速度位移传感器。

[0047] 当采取在塔架上安装加速度位移传感器作为检测装置21,对塔架的受力状况进行检测时,由于加速度位移传感器的检测原理是感应被测物的运动位移量,并将被测物的运动位移量表征为加速度值,进一步经过分析计算得到塔架升力方向的振动频率。同时,由于塔架在风载荷的作用下进行运动时,其远离固定端的一端发生的位移幅度最大,所以为了获取到最精准的数据,可以将加速度位移传感器安装在塔架顶部的位置处。例如,当需要对由3段塔筒10构成的塔架的受力状况进行检测时,可以将加速度位移传感器安装在第3段塔筒10的顶部位置处。

[0048] 当然,本发明的实施例并不限于此,在其他的实施例中,检测装置21还可以包括其他类型的传感器,只要是能够通过安装在风力发电机组的塔架上,在塔架受到风载荷的影响时,检测塔架的受力状况并响应受力状况获得塔架的振动频率即可。

[0049] 根据经验,在塔架吊装至预定高度以上时,塔架在风载荷的作用下产生的振动频率可能接近塔架的固有频率。通常情况下,在吊装第三段塔筒10后,涡激振动的明显增强。

在本发明实施例中,示例性地,假设 $N=5$, $a=3$,即塔架具有5段塔筒10。当5段塔筒10中的第3段塔筒10吊装完成后,由3段塔筒10构成的塔架达到上述的预定高度,则此时需要对由已经完成吊装的3段塔筒10构成的塔架的振动频率进行检测。

[0050] 在具体的实施过程中,当吊装完成第1至第3段塔筒10后(即此时完成了部分塔架的吊装操作),通过上述的检测装置21开始检测第1至第3段塔筒10构成的塔架的振动频率。具体地,以检测装置21为应变片传感器为例,由于应变片传感器安装在第1段塔筒10的塔筒壁,因此当塔架受到风载荷的作用而发生形变时,应变片传感器中的应变片则会随同塔架一同发生形变,应变片传感器则会产生应变并会响应该应变生成变化的电信号数据,进一步将变化电信号数据进行处理得到由第1至第3段塔筒10构成的塔架的振动频率。然后可以从多个应变片传感器检测到的多个方向的振动频率中筛选出幅值最大的振动频率作为塔架升力方向的振动频率。示例性地,当应变片传感器为电阻式应变片传感器时,电阻式应变片能够响应塔架的形变量并将形变量转化为电阻值变化。

[0051] 而在加速度位移传感器作为检测装置21时,加速度位移传感器则可以安装在第3段塔筒10的顶部。当塔架受到风载荷的作用而在塔架的上部产生位移时,加速度位移传感器内部则能够基于塔架的位移量生成加速度变化,进一步将加速度变化数据进行处理得到由第1至第3段塔筒10构成的塔架的升力方向的振动频率。

[0052] 步骤S103,基于由第一至第 a 段塔筒构成的塔架的升力方向的振动频率预测当第 N 段塔筒吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率,并判断第一涡脱落频率是否满足预设条件。

[0053] 其中,预设条件为:

[0054] $90\%f_n < b f_v < 110\%f_n$ 公式(1)

[0055] 其中, f_n 为塔架的固有频率, f_v 为塔架的升力方向的振动频率, b 为随动加权系数。

[0056] 在本发明实施例中, b 可以根据当前完成的塔架中塔筒10的段数 N 的不同,设定相应取值范围,其取值可以根据 a 的取值不同,在所述范围内取不同值。例如当 $N=5$ 时,可以将 b 的取值范围限定为:1.1-1.5,示例性地,当当前吊装完成塔筒10的段数 a 为3时, b 的值可以取为1.3;而当当前吊装完成塔筒10的段数 a 为4时, b 的值可以取为1.2。

[0057] 此外,在其他的实施例中, b 还可以采用插值法进行设置。例如, b 与当前完成吊装的塔筒10的段数有关,在具体的情况中, b 与当前完成吊装的塔筒10构成的塔架的高度、直径、实际的风速等数据有关,因此能够利用 b 与当前完成吊装的塔筒10的段数之间的对应关系作出特定函数。示例性地,例如当 $N=5$ 时,已知当前完成吊装的塔筒10的段数 a 为1,相应地, $b=1.5$;而当当前完成吊装的塔筒10的段数 a 为5,相应地, $b=1.1$,则能够构建出对应的函数。然后即可利用该函数计算得出与不同的当前完成吊装的塔筒10的段数对应的 b 的值。

[0058] 步骤S104,当第一涡脱落频率满足预设条件时,则确定在吊装第 $a+1$ 至第 N 段塔筒时分别在第 $a+1$ 至第 N 段塔筒上安装涡激振动抑制装置。

[0059] 首先,需要可以采集上述步骤S102中由检测装置21检测到的由第一至第 a 段塔筒10构成的塔架在升力方向的振动频率。

[0060] 示例性地,当 $N=5$, $a=3$ 时,此时需要基于检测装置21检测到的由第1至第3段塔筒10构成的塔架在升力方向的振动频率,预测当第5段塔筒10吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率,并将第一涡脱落频率与预设条件进行比较。

[0061] 示例性地,基于上述的公式(1)和随动加权系数 b 的取值方法,此时 $a=3$,则 b 的取

值可以为1.3,所以此时的预设条件为:

[0062] $90\%f_n < 1.3f_v < 110\%f_n$ 公式(2)

[0063] 其中, f_n 为塔架的固有频率, f_v 为塔架升力方向的振动频率。而公式(2)中的 $1.3f_v$ 是基于由第1至第3段塔筒10构成的塔架在升力方向的振动频率预测出的当第5段塔筒10吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率。

[0064] 通过判断 $1.3f_v$ 是否满足公式(2),也就是判断此时基于由第1至第3段塔筒10构成的塔架升力方向的振动频率预测出的当5段塔筒10均吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率与塔架的固有频率是否满足共振的发生条件,即判断塔架整体吊装完成后是否可能发生涡激振动。

[0065] 因此,当 $1.3f_v$ 满足上述的公式(2)时,则需要在待吊装的第4和第5段塔筒10上预先安装涡激振动抑制装置。以便将第4和第5段塔筒10吊装完成后,能够通过其上安装的涡激振动抑制装置对由于风载荷的作用可能导致的整个塔架安装完成时发生的涡激振动进行主动干预。因此能够避免塔架由于受到风激励作用产生涡激振动,导致受到疲劳损伤,进而影响塔架的结构强度。

[0066] 因此,本发明实施例提供的塔架吊装方法通过在塔架的实际吊装过程中,基于实际检测到的当前已经完成吊装的塔架在风激励下在升力方向产生的振动频率预测出塔架整体吊装完成时的第一涡脱落频率,并将第一涡脱落频率与预设条件进行对比。因此能够判断出第一涡脱落频率与塔架的固有频率是否满足共振的发生条件,以根据判断结果在塔架适当位置的塔筒10上安装涡激振动抑制装置。

[0067] 由于本发明实施例的塔架吊装方法,是在塔架的实际吊装操作过程中直接根据其实际受力状况检测得到的数据结果进行判断,相比现有的吊装方法中需要建立仿真模型并选取经验数据来对涡激振动抑制装置的安装位置进行判断的方式,本发明实施例的塔架吊装方法不会因为产生误差而对涡激振动抑制装置安装时机的判断造成影响。由于在不同的风速条件下,塔架受到的风载荷不同,塔架的振动状态也随风速发生变化,而本发明实施例的塔架吊装方法能够在吊装现场的实际风况情况下,检测出由部分塔筒10构成的塔架的升力方向的振动频率,并根据部分塔筒10构成的塔架的升力方向的振动频率准确地预测出塔架整体吊装完成后的第一涡脱落频率,从而能够准确地对塔架吊装完成后可能发生的涡激振动进行精确预测,因此可以根据实际吊装情况及时调整吊装策略,判断涡激振动抑制装置的安装时机。避免塔架由于发生涡激振动影响其整体结构的强度,使塔架免于受到疲劳损伤,能够增加塔架的使用寿命。同时,还能够加快塔架的吊装进程,节省整个风力发电机组的组装工时,进而节约人力、财力、物力等资源。

[0068] 图5是根据本发明另一个实施例提供的风力发电机组的塔架吊装方法的流程图。如图5所示,本实施例的塔架吊装方法中的步骤S101至步骤S103与上述实施例的塔架吊装方法中的步骤S101至步骤S103相同,故不再加以赘述。不同之处在于,本实施例中的塔架吊装方法还包括步骤S105和步骤S107。

[0069] 步骤S105,当第一涡脱落频率不满足预设条件时,则在第 $a+1$ 段塔筒吊装完成后,检测由第一至第 $a+1$ 段塔筒构成的塔架升力方向的振动频率。

[0070] 在一些实施例中,可能出现不需要在最后两段塔筒10上同时安装涡激振动抑制装置的情况。具体地,执行完上述步骤S101至步骤S103后,当经过分析计算得到的第一涡脱落

频率不满足预设条件时,则说明在待吊装的第a+1段塔筒10上不需要安装涡激振动抑制装置。所以,此时待将第a+1段塔筒10吊装完成后,需要通过检测装置21对当前由第一至第a+1段塔筒10组成的塔架的受力状况进行检测,以获得由第一个至第a+1段塔筒10组成的塔架在升力方向的振动频率。

[0071] 示例性地,同样设定 $N=5, a=3$ 。当第一涡脱落频率不满足预设条件时,在将第4段塔筒吊装完成后,经由检测装置21检测由第1至第4段塔筒10构成的塔架的受力状况,获得由第1至第4段塔筒10构成的塔架在升力方向的振动频率。

[0072] 需要说明的是,当检测装置21为加速度位移传感器时,在安装第a+1段塔筒10时,可以将加速度位移传感器安装至第a+1段塔筒10的顶部位置,以便通过加速度位移传感器测得更精确的塔架振动频率。

[0073] 步骤S106,基于由第一至第a+1段塔筒构成的塔架升力方向的振动频率预测当第N段塔筒吊装完成后的塔架的第二涡脱落频率,并确定第二涡脱落频率是否满足预设条件。

[0074] 步骤S107,当第二涡脱落频率满足预设条件时,则确定在吊装第a+2段至第N段塔筒时分别在第a+2至第N段塔筒上安装所述涡激振动抑制装置。

[0075] 在本步骤中,需要根据检测到的由第一至第a+1段塔筒10构成的塔架在升力方向的振动频率预测出整体吊装完成后的塔架的第二涡脱落频率,并将预测出的第二涡脱落频率与预设条件进行对比,判断是否满足预设条件,以便确定是否需要对待吊装的剩余塔筒10安装涡激振动抑制装置。

[0076] 示例性地,基于上述的公式(1)和随动加权系数b的取值方法,此时 $a=4$,则b的取值可以为1.15,所以此时的预设条件为:

[0077] $90\%f_n < 1.15f_v < 110\%f_n$ 公式(3)

[0078] 其中, f_n 为塔架的固有频率, f_v 为塔架升力方向的振动频率。而式(3)中的 $1.15f_v$ 是基于由第1至第4段塔筒10构成的塔架升力方向的振动频率预测出的当第5段塔筒10吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率。

[0079] 接下来,对比得到的第二涡脱落频率是否满足公式(3),通过判断第二涡脱落频率是否满足公式(3),也就是判断此时预测出的第二涡脱落频率与塔架的固有频率是否满足共振的发生条件,即判断塔架整体吊装完整后是否可能发生涡激振动。

[0080] 因此,当第二涡脱落频率满足上述的公式(3)时,则需要在待吊装的第5段塔筒10上预先安装涡激振动抑制装置。以便能够通过涡激振动抑制装置对由于风载荷的作用可能导致的整个塔架发生的涡激振动进行主动干预。因此能够避免塔架由于受到风激励作用产生涡激振动,导致塔架受到疲劳损伤,进而影响塔架的结构强度。

[0081] 本发明实施例的塔架吊装方法,是基于上一段吊装的塔筒10不需要安装涡激振动抑制装置的情况下,则需要在下一段塔筒10吊装完成后,根据塔架在实际吊装操作过程中检测得到的升力方向的振动频率进一步进行判断,从而准确地判断出涡激振动抑制装置的准确安装位置,由此能够避免塔架发生涡激振动影响其整体结构强度以及影响其吊装进度的问题。本发明实施例提供的塔架吊装方法通过在塔架的吊装过程中,基于实际检测到的当前由部分塔筒10构成的塔架在风激励作用下在升力方向产生的振动频率预测出整体吊装完成时的塔架的第二涡脱落频率,并将第二涡脱落频率与预设条件再次进行对比。因此能够判断出第二涡脱落频率与塔架的固有频率是否满足共振的发生条件,以根据判断结果

在待吊装的塔筒10上安装涡激振动抑制装置。

[0082] 此外,在一个可选的实施例中,塔架吊装方法还可以包括在将安装有涡激振动抑制装置的塔筒10吊装完成后,对塔架上安装的涡激振动抑制装置进行有效性进行验证的步骤。

[0083] 在本实施例中,当N段塔筒10全部吊装完成后,需要经由检测装置21检测整体吊装完成后的塔架在升力方向的当前振动频率(此时的振动频率相当于涡脱落频率),然后将当前振动频率和预设条件进行对比,判断当前振动频率是否满足预设条件,当当前振动频率不满足预设条件时,则确定塔架未发生涡激振动。当然具体的根据预设条件的判断过程与上述实施例中判断第一涡激频率是否满足预设条件的过程相似,故不再加以赘述。

[0084] 如果塔架的当前振动频率不满足预设条件,则说明当前通过安装涡激振动抑制装置对塔架可能发生的涡激振动起到了有效的抑制作用。而如果当前振动频率满足预设条件,则说明通过安装涡激振动抑制装置没有对塔架发生的涡激振动起到有效的抑制作用。因此,还需要进行相应的问题排查,例如是否出现系统故障、涡激振动抑制装置是否安装到位等。由此可以在安装涡激振动抑制装置后,及时验证涡激振动抑制装置的有效性,避免由于操作失误等原因造成不能对塔架可能发生的涡激振动进行有效抑制,而出现影响塔架的结构强度以及整体的吊装进程等问题。

[0085] 当然,本实施中的塔架吊装方法还可以应用在塔架未完成整体吊装的情况下,也就是说,在安装有涡激振动抑制装置的某个塔筒10吊装完成后,同样可以采用上述的验证步骤对未完成整体吊装的塔架上安装的涡激振动抑制装置进行有效性验证。

[0086] 示例性地,当 $N=5$, $a=3$ 时,当通过检测,判断需要在4段塔筒10上安装涡激振动抑制装置,则第4段塔筒10上安装涡激振动抑制装置并完成第4段塔筒10的吊装后,此时由检测装置21检测由第1至第4段塔筒10构成的塔架在升力方向的振动频率,并根据该振动频率预测出整体吊装完成后的塔架的涡脱落频率,然后将涡脱落频率与预设条件进行对比,若预测出的涡脱落频率不满足预设条件,则确定整体吊装完成后的塔架不会发生涡激振动。由此判定安装在第4段塔筒10上的涡激振动抑制装置为有效。

[0087] 此外,上述各个实施例中的塔架吊装方法还可以包括:当预测出的塔架的第一涡激振动或者第二涡激振动满足相应的预设条件时,则发出警告提示。警告提示的形式有多种,例如,可以发出相应的声音提示,或者发出相应的消息提示等。以便操作人员能够根据提示在待吊装的下一段塔筒10上安装涡激振动抑制装置,由此能够快速响应判断结果,指导相应的吊装操作步骤,进一步节省吊装工时。

[0088] 请一并参见图6和图7,其中,图6是根据本发明一个实施例的涡激振动监测系统20的结构框图;图7是图6中所示的涡激振动监测系统20的一个具体应用示例的示意图。如图6所示,涡激振动监测系统20包括检测装置21、数据采集装置22和处理装置23。通过涡激振动监测系统20,能够在塔架的吊装过程中准确判断涡激振动抑制装置的安装时机,其中,塔架包括N段叠置并彼此连接的塔筒10,其中N为大于3的自然数。

[0089] 检测装置21,设置在第一至第a段塔筒10构成的塔架的预定测试点处,用于检测由第一至第a段塔筒10构成的塔架升力方向的振动频率,其中a为大于1,且小于或等于N的自然数。

[0090] 数据采集装置22,与检测装置21连接,用于采集由第一至第a段塔筒10构成的塔架

升力方向的振动频率。

[0091] 处理装置23,与数据采集装置22连接,用于基于由第一至第a段塔筒10构成的塔架升力方向的振动频率预测当第N段塔筒10吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率,并判断第一涡脱落频率是否满足预设条件,当第一涡脱落频率满足预设条件时,则确定在吊装第a+1至第N段塔筒10时分别在第a+1至第N段塔筒10上安装涡激振动抑制装置。

[0092] 对于上述检测装置21的具体安装方式可以参见上述方法实施例中的对检测装置21的安装方式的相应描述,故不再加以赘述。

[0093] 上述的处理装置23可以包括任何能够将检测到的塔架升力方向的振动频率进行计算,得出吊装完成后的塔架的涡脱落频率,并且能够将脱落频率与预设条件进行对比,并判断涡脱落频率是否满足预设条件的计算设备,例如:计算机和具有CPU的处理器等,在此并不进行限定。

[0094] 当然,在具体的实施过程中,处理装置23中需要预先存储相应的预设条件,例如预先输入塔架的固有频率等。在一个具体示例中,当检测装置21的安装方向与塔架承受载荷的方向垂直时,上述预设条件为: $90\% f_n < b f_v < 110\% f_n$,其中, f_n 为塔架的固有频率, f_v 为由第一至第a段塔筒10构成的塔架升力方向的振动频率,b为随动加权系数, $b f_v$ 为基于由第一至第a段塔筒10构成的塔架升力方向的振动频率预测出的当N段塔筒10吊装完成后的塔架的第一涡脱落频率。

[0095] 在一个可选的实施例中,为了便于携带,上述的数据采集装置22和处理装置23还可以集成在同一个装置中。如图7所示,示例性地,数据采集装置22和处理装置23被集成于一体,构成数据处理装置20a。另外,在一些实施例中,还可以在数据处理装置20a中配备蓄电池(图中未示出),以便于携带和使用。

[0096] 根据本发明的另一个实施例,当第一涡脱落频率不满足预设条件时,在第a+1段塔筒10吊装完成后,检测装置21还用于,检测由第一至第a+1段塔筒10构成的塔架的升力方向振动频率。

[0097] 数据采集装置22还用于,采集由第一至第a+1段塔筒10构成的塔架升力方向的振动频率。

[0098] 处理装置23还用于,基于由第一至第a+1段塔筒10构成的塔架升力方向的振动频率预测当第N段塔筒10吊装完成后的塔架的第二涡脱落频率,并确定第二涡脱落频率是否满足预设条件,当第二涡脱落频率满足预设条件时,则确定在吊装第a+2段至第N段塔筒10时分别在第a+2至第N段塔筒10上安装所述涡激振动抑制装置。

[0099] 根据本发明的再一个实施例,在将安装有涡激振动抑制装置的塔筒10吊装完成后,需要对安装有涡激振动抑制装置的塔架进行涡激振动抑制装置的有效性进行验证时,检测装置21还用于,检测整体吊装完成后的塔架的当前涡脱落频率。

[0100] 数据采集装置22还用于,与检测装置21连接,采集上述整体吊装完成后的塔架的当前涡脱落频率。

[0101] 处理装置23还用于,与数据采集装置22连接,将当前涡脱落频率和预设条件进行对比,判断当前涡脱落频率是否满足预设条件,若当前涡脱落频率不满足预设条件,则判定塔架未发生涡激振动。

[0102] 也就是说,如果当前涡脱落频率不满足预设条件,则说明当前通过安装涡激振动

抑制装置,使得整体吊装完成后的塔架的当前涡脱落频率与塔架的固有频率之间不满足共振的发生条件。所以通过安装涡激振动抑制装置对塔架可能发生的涡激振动起到了有效的抑制作用。而如果满足预设条件,则还需要进行相应的问题排查,例如是否出现系统故障、涡激振动抑制装置是否安装到位等。

[0103] 另外,涡激振动监测系统20也可以不包括数据采集装置22,可以将检测装置21与处理装置23直接连接向处理装置23发送相应的升力方向的振动频率数据。

[0104] 在一个可选的实施例中,涡激振动监测系统20还包括报警装置(图中未示出),示例性地,在本实施例中,报警装置可以集成于处理装置23中。

[0105] 具体地,处理装置23还用于,当第一涡脱落频率满足预设条件时,向报警装置发出报警指令。

[0106] 报警装置,用于响应报警指令,发出警告提示。

[0107] 警告提示形式有多种,例如,可以发出相应的声音提示,或者发出相应的消息提示等。以便提示在待吊装的下一段塔筒10上安装涡激振动抑制装置,由此能够快速响应判断结果,执行相应的吊装操作步骤,进一步节省吊装工时。当然报警装置还可以用于当第二涡脱落频率满足相应的预设条件时,发出警告提示。

[0108] 需要注意的是,根据本发明实施例的涡激振动监测系统20可应用于根据本发明实施例的塔架吊装方法中相应流程步骤的执行主体,并且涡激振动监测系统20中的各个装置的上述和其他操作和/或功能分别为了实现图1和图4中所示方法的相应流程步骤,鉴于以上方法实施例中已经对各个流程步骤进行了详细的描述,为了简洁,在涡激振动监测系统20的装置实施例中不再赘述。

[0109] 本发明可以以其他的具体形式实现,而不脱离其精神和本质特征。因此,当前的实施例在所有方面都被看作是示例性的而非限定性的,本发明的范围由所附权利要求而非上述描述定义,并且,落入权利要求的含义和等同物的范围内的全部改变从而都被包括在本发明的范围之内。并且,在不同实施例中出现的不同技术特征可以进行组合,以取得有益效果。本领域技术人员在研究附图、说明书及权利要求书的基础上,应能理解并实现所揭示的实施例的其他变化的实施例。

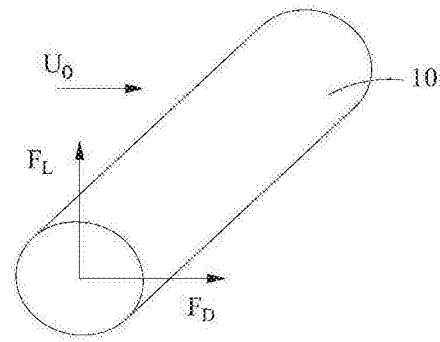


图1

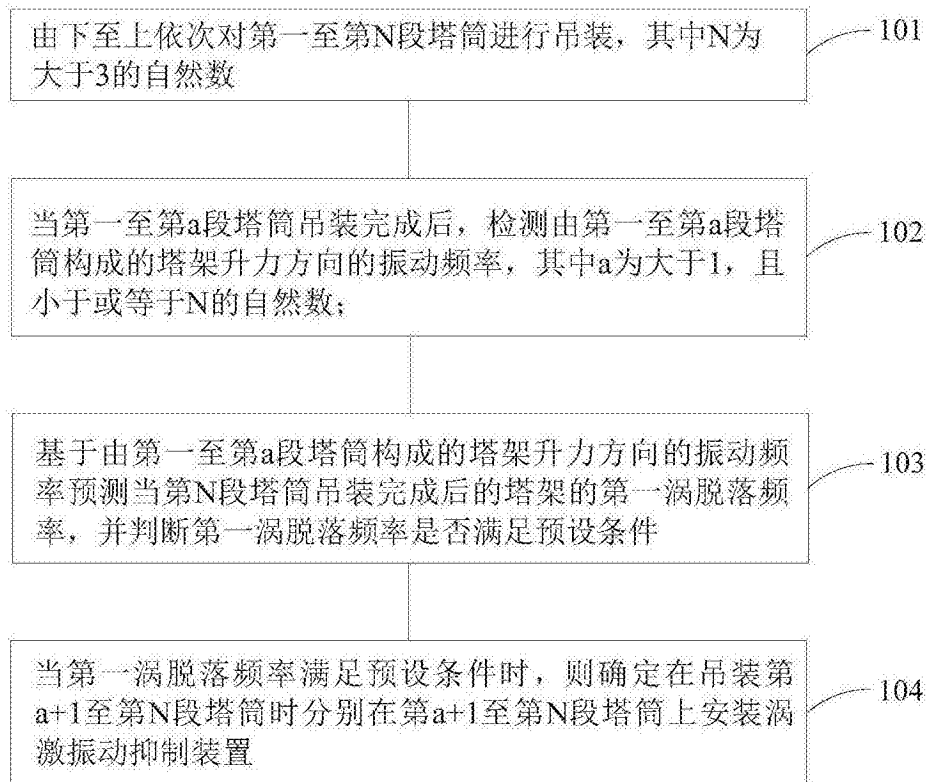


图2

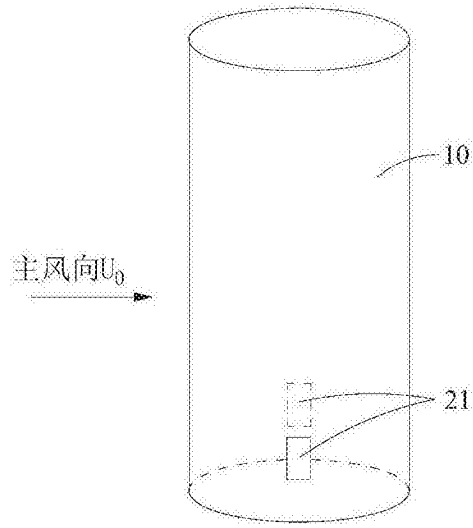


图3

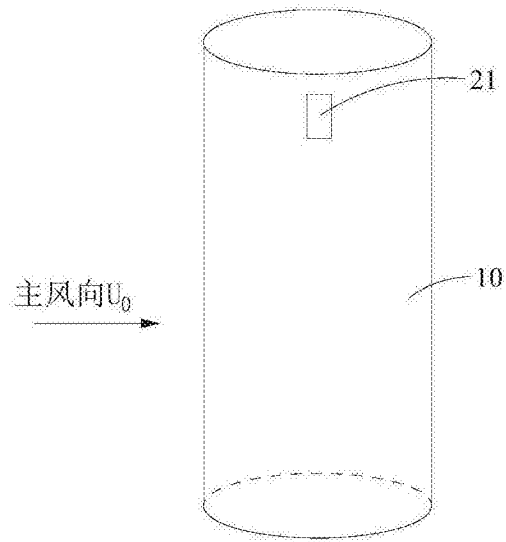


图4

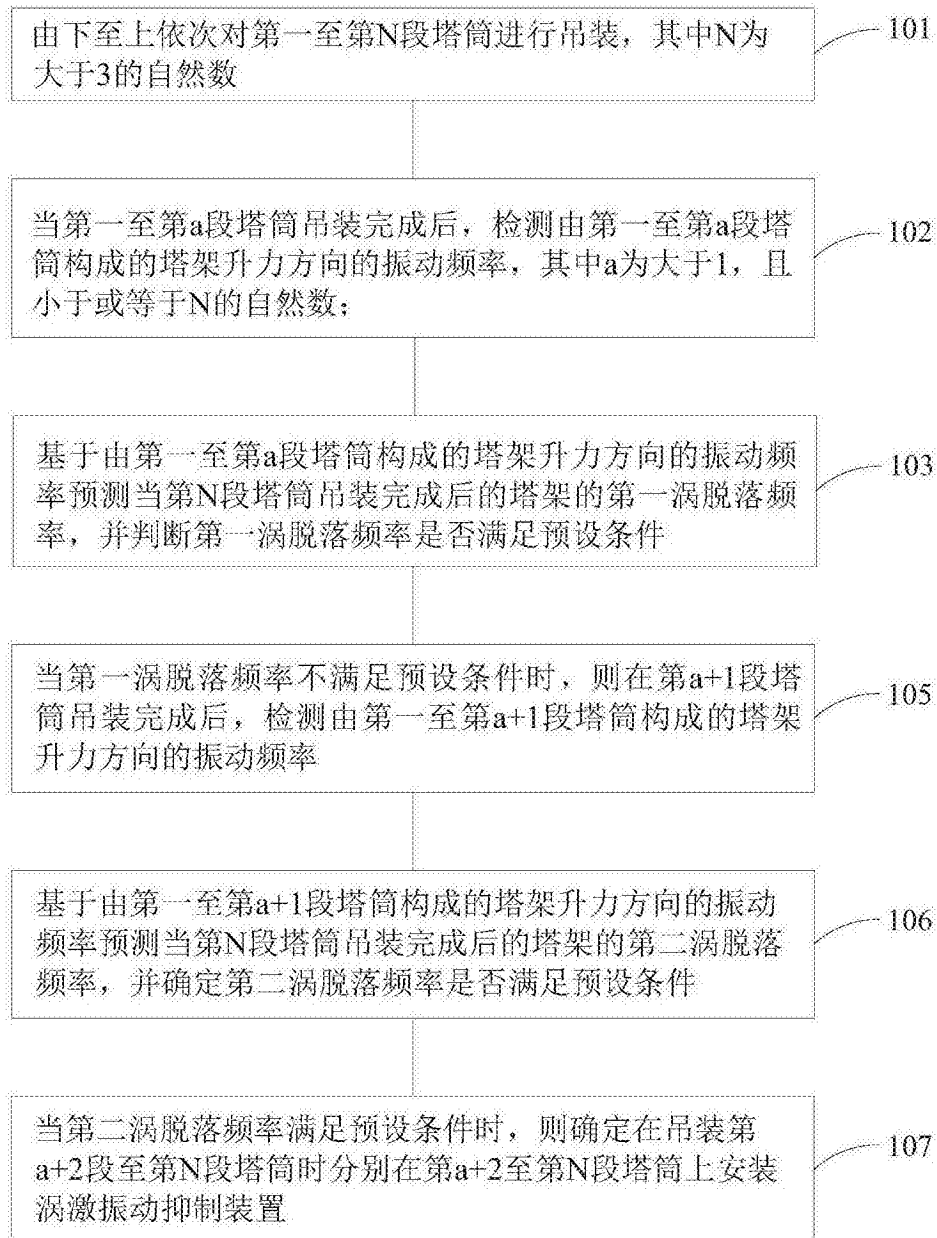


图5

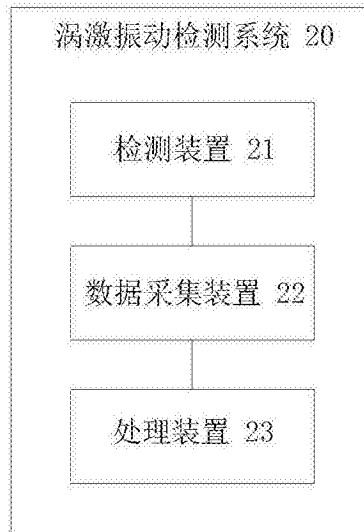


图6

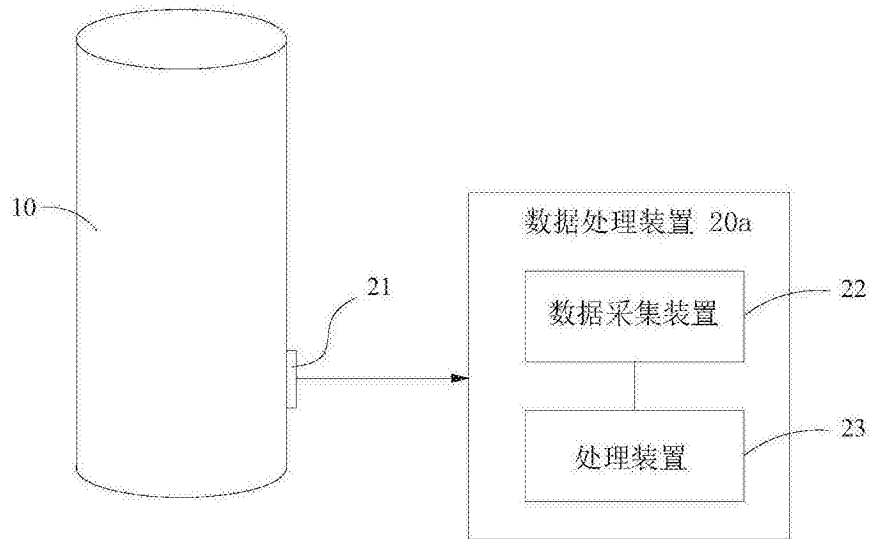


图7