



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103674234 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 26

(21) 申请号 201310717509. 3

(22) 申请日 2013. 12. 23

(71) 申请人 北京天源科创风电技术有限  
公司

地址 100018 北京市海淀区大柳树富海中心  
3 号楼 1302、1303、1304 号

(72) 发明人 唐彬伟 叶月光 随德光

(74) 专利代理机构 北京方韬法业专利代理事务  
所 11303

代理人 刘晶婷

(51) Int. Cl.

G01H 17/00 (2006. 01)

G01M 15/00 (2006. 01)

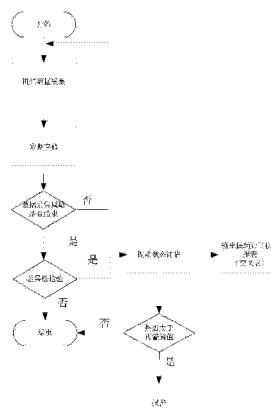
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种风力发电机组振动异常的状态预警方法  
及系统

(57) 摘要

本发明是有关于一种风力发电机组振动异常  
的状态预警方法及系统,该方法包括以下步骤:  
机组数据的采集与存储;差异性检验,将采集到  
各机组的发电机转速瞬态值与其它机组和 / 或  
该机组过往记录进行差异性比较;振动状态输出,  
将差异性过大的机组对应的振动状态输出。该系  
统包括数据采集和存储模块、差异性检验模块和  
振动状态输出模块。本发明通过数理统计与计算  
机模式识别相结合的方法,可达到减小噪声数据  
对异常状态判断的影响的技术效果,从而提高预  
警系统的鲁棒性和准确性,还便于针对不同配置、  
不同环境下的风机定制更具针对性的预警机制,  
适于广泛推广使用。



1. 一种风力发电机组振动异常的状态预警方法,其特征在于包括以下步骤:  
机组数据的采集与存储;  
差异性检验,将采集到各机组的发电机转速瞬态值与其它机组和 / 或该机组过往记录进行差异性比较;  
振动状态输出,将差异性过大的机组对应的振动状态输出。
2. 根据权利要求 1 所述的风力发电机组振动异常的状态预警方法,其特征在于所述的机组数据的采集与存储之后还包括采集周期的判断步骤,不满足采集周期时继续采集和存储数据,满足采集周期后才进入差异性检验步骤。
3. 根据权利要求 1 所述的风力发电机组振动异常的状态预警方法,其特征在于所述的差异性检验包括:检验在当前数据周期内该机组的振动状态与风电场内其它机组的差异性,检验当前数据周期内该机组振动状态与风电场内不同机组在同一转速段内的差异性,检验该机组在当前数据周期与过往周期的振动状态的差异性,以及检验该机组在当前数据周期内不同转速段振动状态的差异性。
4. 根据权利要求 3 所述的风力发电机组振动异常的状态预警方法,其特征在于所述的检验在当前数据周期内该机组的振动状态与风电场内其它机组的差异性,是基于马哈拉诺比斯距离进行检验和判断。
5. 根据权利要求 3 所述的风力发电机组振动异常的状态预警方法,其特征在于所述的检验当前数据周期内该机组振动状态与风电场内不同机组在同一转速段内的差异性,是基于欧氏距离进行计算和检验。
6. 根据权利要求 1 所述的风力发电机组振动异常的状态预警方法,其特征在于所述的振动状态输出采用报表形式输出对应机组在对应转速值的机组加速度瞬态值对应的占比值。
7. 根据权利要求 6 所述的风力发电机组振动异常的状态预警方法,其特征在于所述的振动状态输出还包括将计算得到的占比值与两阈值进行比较,并发出黄色或红色警报的过程。
8. 一种应用权利要求 1-7 中任一项所述方法的风力发电机组振动异常的状态预警系统,其特征在于包括:  
数据采集和存储模块,用于采集并存储风力发电机组的数据;  
差异性检验模块,用于将采集到各机组的发电机转速瞬态值与其它机组和 / 或该机组过往记录进行差异性比较;  
振动状态输出模块,用于将差异性过大的机组对应的振动状态输出。
9. 根据权利要求 8 所述的风力发电机组振动异常的状态预警系统,其特征在于还包括采集周期判断模块,用于判断数据采集和存储模块获得的数据是否满足采集周期,在不满足采集周期时指令数据采集和存储模块继续采集和存储数据,在满足采集周期后提供周期内的数据给差异性检验模块。
10. 根据权利要求 8 所述的风力发电机组振动异常的状态预警系统,其特征在于还包括阈值设定模块和 / 或报警输出模块。

## 一种风力发电机组振动异常的状态预警方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种风力发电技术领域,特别是涉及一种风力发电机组振动异常的状态预警方法及系统。

### 背景技术

[0002] 机组振动状态监测和故障诊断技术的不断完善,是风力发电领域的重要研究课题之一。

[0003] 第 200810118822.4 号中国专利公开了一种“风力发电机组振动监测及故障诊断的方法”,该方法的步骤包括:设置监测点布置传感器,通过传感器输出原始振动信号,通过数据采集设备完成信号存储;通过组件总线模块将特征值数据发送到接受模块,并存储于数据中心;在数据中心设置阈值曲线,特征值数据持续增长,超过阈值时,接受模块趋势预警,持续超过阈值时,接收模块进行趋势预警,持续超过阈值时,接收模块发出状态预警;在分析模块中建立故障诊断模块,设置故障诊断阈值,分析模块从数据中心获取包络信号数据,通过故障诊断模块计算出故障综合评价值,故障综合评价值和故障诊断阈值进行对比,进行故障报警。

[0004] 在实际应用中发现上述振动监测及故障诊断方法存在以下不足:其使用时域特征值及频域特征值进行故障状态判断,是直接采集实时数据观察值使用的,不可避免的会受到噪声数据的影响,从而降低系统的可靠性和鲁棒性。

[0005] 由此可见,上述现有的风力发电机组振动异常的状态预警技术在方法与使用上,显然仍存在有不便与缺陷,而亟待加以进一步改进。如何能创设一种可减小噪声数据影响的新的基于数理统计原理的风力发电机组振动异常状态预警方法及系统,实属当前业界极需改进的目标。

### 发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是提供一种风力发电机组振动异常的状态预警方法及系统,使其减小受到噪声数据的影响,具有更好的预警效果,从而克服现有的风力发电机组振动异常的状态预警方法的不足。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明一种风力发电机组振动异常的状态预警方法,包括以下步骤:机组数据的采集与存储;差异性检验,将采集到各机组的发电机转速瞬态值与其它机组和/或该机组过往记录进行差异性比较;振动状态输出,将差异性过大的机组对应的振动状态输出。

[0008] 作为本发明的一种改进,所述的机组数据的采集与存储之后还包括采集周期的判断步骤,不满足采集周期时继续采集和存储数据,满足采集周期后才进入差异性检验步骤。

[0009] 所述的差异性检验包括:检验在当前数据周期内该机组的振动状态与风电场内其它机组的差异性,检验当前数据周期内该机组振动状态与风电场内不同机组在同一转速段内的差异性,检验该机组在当前数据周期与过往周期的振动状态的差异性,以及检验该机

组在当前数据周期内不同转速段振动状态的差异性。

[0010] 所述的检验在当前数据周期内该机组的振动状态与风电场内其它机组的差异性，是基于马哈拉诺比斯距离进行检验和判断。

[0011] 所述的检验当前数据周期内该机组振动状态与风电场内不同机组在同一转速段内的差异性，是基于欧氏距离进行计算和检验。

[0012] 所述的振动状态输出采用报表形式输出对应机组在对应转速值的机组加速度瞬态值对应的占比值。

[0013] 所述的振动状态输出还包括将计算得到的占比值与两阈值进行比较，并发出黄色或红色警报的过程。

[0014] 此外，本发明还提供了一种应用上述方法的风力发电机组振动异常的状态预警系统，包括：数据采集和存储模块，用于采集并存储风力发电机组的数据；差异性检验模块，用于将采集到各机组的发电机转速瞬态值与其它机组和/或该机组过往记录进行差异性比较；振动状态输出模块，用于将差异性过大的机组对应的振动状态输出。

[0015] 作为进一步改进，其还包括采集周期判断模块，用于判断数据采集和存储模块获得的数据是否满足采集周期，在不满足采集周期时指令数据采集和存储模块继续采集和存储数据，在满足采集周期后提供周期内的数据给差异性检验模块。

[0016] 还包括阈值设定模块和/或报警输出模块。

[0017] 采用这样的设计后，本发明通过数理统计与计算机模式识别相结合的方法，可达到减小噪声数据对异常状态判断的影响的技术效果，从而提高预警系统的鲁棒性和准确性，还便于针对不同配置、不同环境下的风机定制更具针对性的预警机制，适于广泛推广使用。

## 附图说明

[0018] 上述仅是本发明技术方案的概述，为了能够更清楚了解本发明的技术手段，以下结合附图与具体实施方式对本发明作进一步的详细说明。

[0019] 图 1 是本发明风力发电机组振动异常的状态预警方法的流程示意图。

## 具体实施方式

[0020] 请参照图 1 所示，本发明风力发电机组振动异常的状态预警方法主要包括机组数据的采集与存储、差异性检验、振动状态输出等步骤。

[0021] 1、采集与存储

[0022] 具体来说，机组数据的采集与存储，是在未停机状态下将状态量的实时瞬态数据进行采集并存储。具体是将机舱加速度传感器、发电机转速传感器 overspeed 模块采集到原始数据，通过带通滤波及计算获得机舱加速度瞬态值和发电机转速瞬态值 RPM (Generator Rotation Speed)，再经以太网发送至 SCADA 系统的数据中心进行存储。

[0023] 2、差异性检验

[0024] 当采集并存储的数据满足周期要求后，调取数据中心的数据。该数据周期通常可由本领域技术人员依据经验进行设定判断，通常来说以周为单位。

[0025] 以  $t$  为采样周期连续采样  $T$  时间内的数据作为样本。将发电机转速瞬态值 RPM 经

行条件拆分,将转速划分为多个域  $RPM_k$  ( $k=1,2,3,\dots$ )。

[0026] 之后,采用数理分析的方法,检验在当前数据周期内该机组的振动状态是否与风电场内其它机组存在差异性、在当前数据周期内该机组振动状态与风电场内不同机组在同一转速段内是否存在差异性、该机组在当前数据周期与过往周期的振动状态是否存在不稳定性、该机组在当前数据周期内不同转速段振动状态是否存在差异性。在该差异性比较过程中,进行比较的不同机组的配置和应用环境需相同。

[0027] 2.1、风电场 A 内的风机振动差异判断:

[0028] 基于 Mahalanobis (马哈拉诺比斯) 距离的判断

[0029] 风电场风机数量  $n$ , 风机编号为  $w_i$ ,  $i=1,2,3,\dots,n$ ;

[0030] 编号  $w_i$  风机的在转速  $RPM_k$  时获得振动加速度值  $a_{w_iRPM_k}$ , 样本数量为  $N$ ,  $k=1,2,3,\dots$ ;

[0031] 计算  $w_i$  风机在转速  $RPM_k$  下的振动加速度均值  $E(a_{w_iRPM_k})$ , 方差  $\text{var}(a_{w_iRPM_k})$

$$[0032] \quad E(a_{w_iRPM_k}) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{w_iRPM_k j}$$

$$[0033] \quad \text{var}(a_{w_iRPM_k}) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (a_{w_iRPM_k j} - E(a_{w_iRPM_k}))^2$$

[0034] 计算全风场所有风机在转速  $RPM_k$  的振动加速度均值  $\bar{X}_{RPM_k}$ , 假设各风机在转速  $RPM_k$  下的样本数量均是  $N$ , 则总样本量为  $N*n$ ;

$$[0035] \quad \text{全场均值为 } \bar{X}_{RPM_k} = \frac{1}{N*n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N a_{w_iRPM_k j};$$

$$[0036] \quad \text{距离为 } d_{w_i} = \sqrt{(E_{(k)}(a_{w_iRPM_k}) - \bar{X}_{(k)RPM_k})^T S^{-1} (E_{(k)}(a_{w_iRPM_k}) - \bar{X}_{(k)RPM_k})}$$

[0037] 其中,  $E_{(k)}(a_{w_iRPM_k}) = (E(a_{w_iRPM_1}), E(a_{w_iRPM_2}), \dots, E(a_{w_iRPM_k}))$

$$[0038] \quad \bar{X}_{(k)RPM_k} = (\bar{X}_{RPM_1}, \bar{X}_{RPM_2}, \dots, \bar{X}_{RPM_k})$$

[0039]  $S$  为样本协方差矩阵,  $S^{-1}$  为其逆矩阵。

[0040] 通过数据训练得到阈值  $t$ , 当  $d_{w_i} > t$ , 表明编号  $w_i$  的风机的振动偏离总体状态, 振动存在异常。

[0041] 2.2、基于欧氏距离计算某一转速下各风机振动加速度差异

[0042] 采集编号  $w_i$  风机在转速  $RPM_k$  下  $N_1$  组样本, 每组样本为  $N$ , 每组得到均值为  $E_m(a_{w_iRPM_k})$ ,  $m=1,2, \dots, N_1$

[0043] 则风电场在转速  $RPM_k$  下的均值为

$$[0044] \quad \bar{X}_{RPM_k} = \frac{1}{N_1*n} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{m=1}^N E_m(a_{w_iRPM_k})$$

[0045] 则基于欧氏距离计算出每一编号风机在转速  $RPM_k$  下的距离

$$[0046] \quad d_{w_i RPM_k} = \sqrt{\sum_{m=1}^{N_1} (E_m(a_{w_i RPM_k}) - \bar{X}_{RPM_k}')^2}$$

[0047] 通过训练分别得到在不同转速下的阈值  $t_k, k=1, 2, 3$ , 当  $d_{w_i RPM_k} > t_k$ , E 说  $m(a_{w_i}$  该风机在该转速段下振动存在异常。

[0048] 2.3、计算某编号风机自身振动变化差异

[0049] 采集编号  $w_i$  风机在转速  $RPM_k$  下  $N_1$  组样本, 每组样本为  $N$ , 每组得到均值为  $E_m(a_{w_i RPM_k})$ ,  $m=1, 2, \dots, N_1$ ;

[0050] 计算  $E_m(a_{w_i RPM_k})$  在此转速下置信度为  $\alpha$  的区间估计,

$$[0051] \quad (\bar{X} - \frac{\sigma}{\sqrt{N_1}} Z_{\delta/2}, \bar{X} + \frac{\sigma}{\sqrt{N_1}} Z_{\delta/2})$$

[0052] 其中  $\bar{X} = E[E_m(a_{w_i RPM_k})]$ ,  $\sigma = \sqrt{\text{var}(E_m(a_{w_i RPM_k}))}$ ,  $Z_{\delta/2}$  为标准正态分布  $N(0, 1)$  上的  $\delta/2$  分点。

[0053] 通过训练数据得到  $t'_k, k=1, 2, 3, \dots$  在转速  $RPM_k$  下, 若区间估计上限值  $\bar{X} + \frac{\sigma}{\sqrt{N_1}} Z_{\delta/2} > t'_k$ , 则报警, 表明在此转速下, 该编号风机的振动加速度存在明显的变化趋势。

[0054] 2.4、同一台风机不同转速差异预警

[0055] 编号  $w_i$  风机的在转速  $RPM_k$  获得振动加速度值  $a_{w_i RPM_k}$ , 样本数量为  $N, k=1, 2, 3, \dots$ ;

[0056] 计算  $w_i$  风机在不同转速  $RPM_k$  下的振动加速度均值  $E(a_{w_i RPM_k})$ ,  $k=1, 2, 3, \dots$

[0057] 计算振动加速度均值间的级差  $R_{w_i} = \max(E(a_{w_i RPM_k})) - \min(E(a_{w_i RPM_k}))$

[0058] 通过训练数据得到  $t''$  如果  $R_{w_i} > t''$ , 则报警, 表明此风机在不同转速下的振动加速度差异过大。

[0059] 3、振动状态输出

[0060] 对于步骤 2 筛选出的差异性过大的机组对应发电机进行振动状态的交叉报表输出, 设转速值为  $RPM_k$  内的机组对应加速度瞬态值  $a_{w_i RPM_k}$ , 假设在转速域为  $RPM_k$  内的机组加速度值样本总量为  $N$ 。将加速度值  $a_{w_i RPM_k}$  按条件拆分为多个域  $a_{nw_i RPM_k}, k=1, 2, 3, \dots$ 。

[0061] 随后计算对应的占比值:

$$[0062] \quad P_{a_{nw_i RPM_k}} = a_{nw_i RPM_k} / N$$

[0063] 通过训练数据获得阈值  $P'$  及  $P''$ 。

[0064] 当  $P' < P_{a_{nw_i RPM_k}} \leq P''$  时, 黄色预警;  $P'' < P_{a_{nw_i RPM_k}}$  时, 红色告警。

[0065] 最后, 按照表 1 输出振动状态交叉报表

[0066]

机组编号 $w_i$					
转速段 RPM	机舱加速度值 $a$				
转速段 RPM	$a_{1w_i}$	$a_{2w_i}$	$a_{3w_i}$	...	$a_{nw_i}$
$RPM_1$	$P_{a_{1w_i}RPM_1}$	$P_{a_{2w_i}RPM_1}$	$P_{a_{3w_i}RPM_1}$	...	$P_{a_{nw_i}RPM_1}$
$RPM_2$	$P_{a_{1w_i}RPM_2}$	$P_{a_{2w_i}RPM_2}$	$P_{a_{3w_i}RPM_2}$	...	$P_{a_{nw_i}RPM_2}$
$RPM_3$	$P_{a_{1w_i}RPM_3}$	$P_{a_{2w_i}RPM_3}$	$P_{a_{3w_i}RPM_3}$	...	$P_{a_{nw_i}RPM_3}$
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮
$RPM_k$	$P_{a_{1w_i}RPM_k}$	$P_{a_{2w_i}RPM_k}$	$P_{a_{3w_i}RPM_k}$	...	$P_{a_{nw_i}RPM_k}$

[0067] 上述各阈值依以下步骤获得并预存于系统中：

[0068] 1) 设计样本数据分类器以及相应的损失函数，分类器将对样本数据进行抽样训练并获得模型特征值及损失函数所代表的错误风险；

[0069] 2) 优化分类器，通过调节分类器中涉及到的参数以达到损失函数下限最小值，从而确定分类器优化完毕；

[0070] 3) 通过样本数据进入最终优化的分类器训练获得相应的模型特征值，并以此作为预警系统的阈值。

[0071] 采集数据主要是为了进一步验证模型分析的准确性，对于模型的验证所需要的不同样本类型进行验证，根据不同样本周期选取的数据主要包括十分钟周期数据、7 秒数据和 20 毫秒采集周期的数据。其中十分钟和 7 秒数据周期的数据是根据机组 PLC 的自身采集功能进行存储，20 毫秒采用独立的数据采集工具（瞬态数据采集软件或配套 PLC 的数据采集软件）进行数据采集和存储。

[0072] 本发明提供了一种基于数理统计原理的风力发电机组振动异常的状态预警方法，可用于评估机组运行状态，避免因机组振动异常而进一步损坏风电机组以及其它恶性事故的发生。本发明主要针对永磁直驱型风力发电机组进行开发，提供了科学的振动异常预警方法，也可通过不同的样本训练应用于其它类型的风电机组。

[0073] 以上所述，仅是本发明的较佳实施例而已，并非对本发明作任何形式上的限制，本领域技术人员利用上述揭示的技术内容做出些许简单修改、等同变化或修饰，均落在本发明的保护范围内。

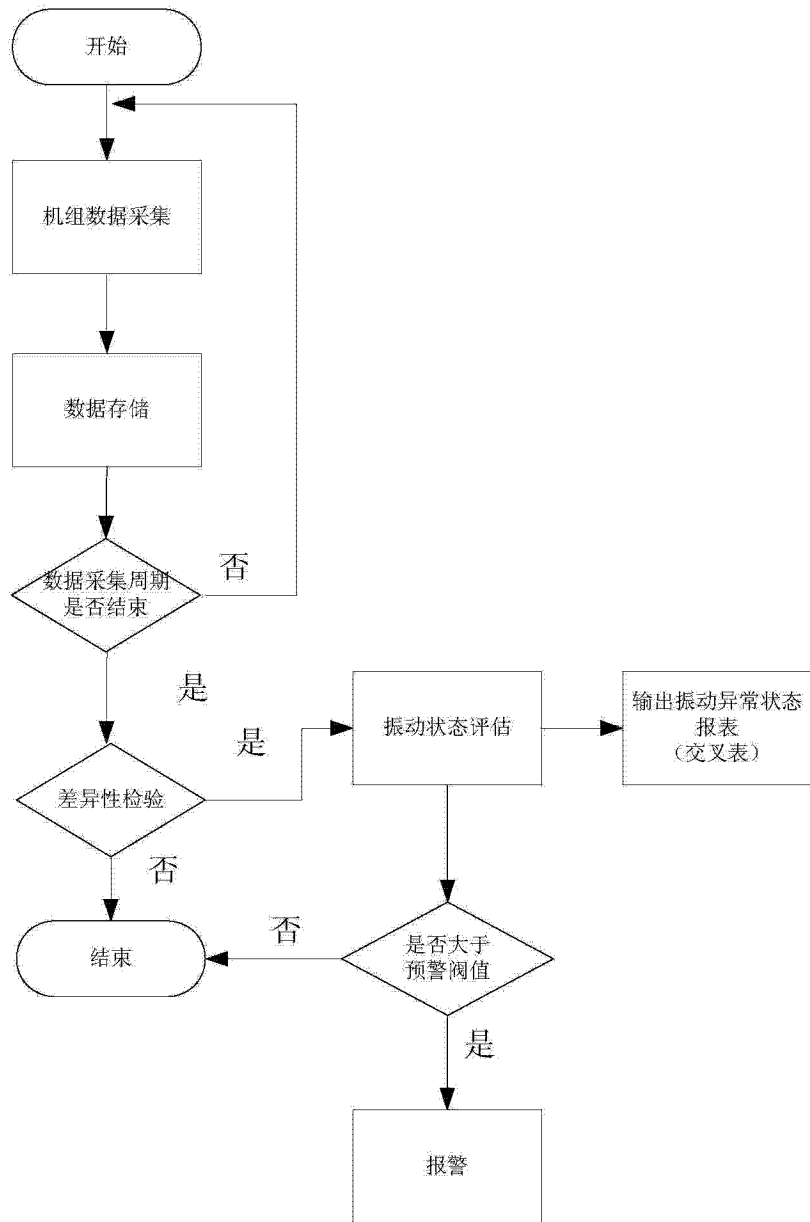


图 1