

(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
2024 年 7 月 25 日 (25.07.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/152467 A1

(51) 国际专利分类号:
G01M 13/04 (2019.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/090675

(22) 国际申请日: 2023 年 4 月 25 日 (25.04.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

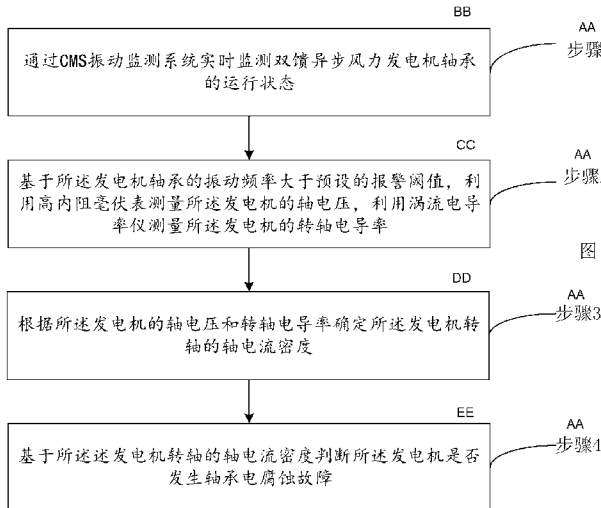
(30) 优先权:
202310067674.2 2023年1月16日 (16.01.2023) CN

(71) 申请人: 西安热工研究院有限公司
(XI'AN THERMAL POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD) [CN/CN]; 中国陕西省西安市碑林区兴庆路136号, Shaanxi 710032 (CN)。

(72) 发明人: 马勇(MA, Yong); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路136号, Shaanxi 710032 (CN)。李冲(LI, Chong); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路136号, Shaanxi 710032 (CN)。邓巍(DENG, Wei); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路136号, Shaanxi 710032 (CN)。那红宇(NA, Hongyu); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路136号, Shaanxi 710032 (CN)。郭靖(GUO, Jing); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路136号, Shaanxi 710032 (CN)。张长安(ZHANG, Changan); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路136号, Shaanxi 710032 (CN)。张轶东(ZHANG, Yidong); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路136号, Shaanxi 710032 (CN)。魏海锋(WEI, Haifeng); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路136号, Shaanxi 710032 (CN)。范玄方(FAN, Xuanfang); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路136号, Shaanxi 710032 (CN)。

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR DETECTING BEARING ELECTRICAL CORROSION FAILURE OF DOUBLY FED INDUCTION GENERATOR

(54) 发明名称: 一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法及系统



AA Step
BB Monitor in real time an operation state of a bearing of a doubly fed induction generator by means of a CMS vibration monitoring system
CC On the basis that the vibration frequency of the bearing of the generator is greater than a preset alarm threshold, measure a shaft voltage of the generator by using a high-internal resistance millivolt meter, and measure the rotating shaft conductivity of the generator by using an eddy current conductivity meter
DD Determine the shaft current density of a rotating shaft of the generator according to the shaft voltage and the rotating shaft conductivity of the generator
EE On the basis of the shaft current density of the rotating shaft of the generator, determine whether a bearing electrical corrosion failure has occurred in the generator

(57) Abstract: Provided are a method and system for detecting a bearing electrical corrosion failure of a doubly fed induction generator, an electronic device, a readable storage medium, a computer program product, and a computer program. The method comprises: monitoring in real time an operation state of a bearing of a doubly fed induction generator by means of a CMS vibration monitoring system; on the basis that the vibration frequency of the bearing of the generator is greater than a preset alarm threshold, measuring a shaft voltage of the generator by using a high-internal-resistance millivolt meter, and measuring the rotating shaft conductivity of

[见续页]

(74) 代理人: 北京清亦华知识产权代理事务所(普通合伙)(TSINGYIHUA INTELLECTUAL PROPERTY LLC); 中国北京市海淀区悦秀路99号4层2单元417, Beijing 100085 (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, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, 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, ME, 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))。

the generator by using an eddy current conductivity meter; determining the shaft current density of a rotating shaft of the generator according to the shaft voltage and the rotating shaft conductivity of the generator; and on the basis of the shaft current density of the rotating shaft of the generator, determining whether a bearing electrical corrosion failure has occurred in the generator.

(57) 摘要: 提供了一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法及系统、电子设备、可读存储介质、计算机程序产品和计算机程序。所述方法包括: 通过CMS振动监测系统实时监测双馈异步风力发电机轴承的运行状态; 基于所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值, 利用高内阻毫伏表测量所述发电机的轴电压, 利用涡流电导率仪测量所述发电机的转轴电导率; 根据所述发电机的轴电压和转轴电导率确定所述发电机转轴的轴电流密度; 基于所述发电机转轴的轴电流密度判断所述发电机是否发生轴承电腐蚀故障。

一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法及系统

相关申请的交叉引用

本申请要求在 2023 年 01 月 16 日在中国提交的中国专利申请号 2023100676742 的优先权，其全部内容通过引用并入本文。

技术领域

本公开涉及风力发电设备故障诊断领域，具体涉及一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法及系统、电子设备、可读存储介质、计算机程序产品和计算机程序。

背景技术

双馈异步风力发电机（Doubly Fed Induction Generator, DFIG）是目前风力发电系统中的主流机型之一，具有变流器容量小、体积小、成本低、效率高等优点，受到众多风电设备制造商、运营商的青睐。

风力发电机安装于高空，运行环境复杂，故障多发，其维护和检修复杂且费用高昂。轴承故障在风力发电机故障中占有很大比例。而引起轴承损坏的原因包括润滑不良、轴电流腐蚀、负载振荡等。大部分轴承失效的原因可以通过一定的维护手段和状态监控操作得以避免，而轴电流引起的轴承损害却不能采取类似方法来消除。轴电流也称为轴承电腐蚀，当轴承内、外滚道之间的轴承电压超过其润滑油膜阈值电压而发生击穿时，会产生放电电流。瞬间放电释放的热量会造成润滑脂成分变性、恶化并使轴承表面产生坑蚀，逐渐引起轴承失效。

随着双馈异步风力发电机的广泛应用，其轴电流问题也不断出现。双馈异步风力发电机系统中变流器开关供电所产生的共模电压是轴电流问题的根源，而发电机内部存在的耦合电容为共模电压的传导提供了低阻抗通路。双馈异步风力发电机运行时转子侧接变流器，会在转子绕组和地之间产生高频脉冲共模电压。双馈异步风力发电机转子为绕线式转子结构，发电机内部存在定子绕组、转子绕组、定子铁心和转子铁心四个导体，各导体间都存在电容耦合。转子侧共模电压经过电容耦合产生轴电压。另一方面定子绕组通过变压器接网侧变流器时也会在定子绕组上产生共模电压。定子侧共模电压也会在电容耦合作用下产生轴电压。

相关技术中主要通过 CMS（Content Management System）振动监测系统对运行中的双馈风力发电机轴承进行状态分析，其测量位置依照 VID 3834《风力发电机及其组件机械振动的测量和评估》的要求位于两处轴承的壳体之上，分为轴向、径向、垂直三个方向分别

测取 10~5000Hz 的振动加速度、10~1000Hz 的加速度有效值，通过对数据进行频谱、包络分析，提取故障特征频率，对轴承状态进行评估。当振动加速度、速度有效值超过 VID 3834 标准规定的限值，结合相应型号轴承所特有的故障特征频率与所提取的故障特征频率比对结果，可对轴承故障进行初步分析。但是无法说明该部件产生故障的原因。

- 5 目前，主要通过对双馈异步风力发电机轴承进行拆解进行轴承失效分析来判断轴承故障产生原因。包括损伤痕迹对照、电子显微镜观察等手段，费用高、周期长，不利于风电场及时调整生产运行计划，给风电机组的安全运行带来隐患。

发明内容

- 10 本公开提供一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法及系统、电子设备、可读存储介质、计算机程序产品和计算机程序，以至少解决在判断轴承故障产生原因时费用高、周期长，不利于风电场及时调整生产运行计划，同时给风电机组的安全运行带来隐患的技术问题。

- 15 本公开第一方面实施例提出一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法，所述方法包括：

通过 CMS 振动监测系统实时监测双馈异步风力发电机轴承的运行状态；

基于所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值，利用高内阻毫伏表测量所述发电机的轴电压，利用涡流电导率仪测量所述发电机的转轴电导率；

根据所述发电机的轴电压和转轴电导率确定所述发电机转轴的轴电流密度；

- 20 基于所述发电机转轴的轴电流密度判断所述发电机是否发生轴承电腐蚀故障。

在一些实施例中，所述方法还包括：基于所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值，所述 CMS 振动监测系统发出预警。

在一些实施例中，所述高内阻毫伏表的测量正极通过测量碳刷连接至所述发电机的驱动端转轴表面，所述高内阻毫伏表的测量负极通过接地线缆接地。

- 25 在一些实施例中，所述测量碳刷通过安装支架安装于所述发电机的轴承外盖上；

其中，测量碳刷的个数为 N，N 为大于等于 1 的整数。

在一些实施例中，所述涡流电导率仪在所述发电机停止状态下测量发电机的转轴电导率；

所述高内阻毫伏表在所述发电机并网状态下测量发电机的轴电压。

- 30 在一些实施例中，所述发电机转轴的轴电流密度的计算式如下：

$$J=U\sigma/l$$

式中，J 为发电机转轴的轴电流密度，U 为发电机的轴电压， σ 为发电机的转轴电导率。

在一些实施例中，所述基于所述发电机转轴的轴电流密度判断所述发电机是否发生轴承电腐蚀故障，包括：

基于所述发电机转轴的轴电流密度大于预设的轴电流密度阈值，判定所述发电机发生轴承电腐蚀故障，否则，所述发电机未发生轴承电腐蚀故障。

5 本公开第二方面实施例提出一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测系统，所述系统包括：

监测模块，用于通过 CMS 振动监测系统实时监测双馈异步风力发电机轴承的运行状态；

测量模块，用于基于所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值，利用高内阻毫伏表测量所述发电机的轴电压，利用涡流电导率仪测量所述发电机的转轴电导率；

10 确定模块，用于根据所述发电机的轴电压和转轴电导率确定所述发电机转轴的轴电流密度；

判断模块，用于基于所述发电机转轴的轴电流密度判断所述发电机是否发生轴承电腐蚀故障。

在一些实施例中，所述系统还包括：

15 预警模块，用于基于所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值，所述 CMS 振动监测系统发出预警。

在一些实施例中，所述高内阻毫伏表的测量正极通过测量碳刷连接至所述发电机的驱动端转轴表面，所述高内阻毫伏表的测量负极通过接地线缆接地。

20 本公开第三方面实施例提出了一种电子设备，包括：至少一个处理器；以及与所述至少一个处理器通信连接的存储器；其中，所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令，所述指令被所述至少一个处理器执行，以使所述至少一个处理器能够执行本公开第一方面任一实施例的双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法。

25 本公开第四方面实施例提出了一种存储有计算机指令的非瞬时计算机可读存储介质，所述计算机指令用于使所述计算机执行本公开第一方面任一实施例的双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法。

本公开第五方面实施例提出了提出了一种计算机程序产品，包括计算机程序，所述计算机程序在被处理器执行时用于实现如本公开第一方面任一实施例的双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法。

30 本公开第六方面实施例提出了提出了一种计算机程序，包括计算机程序代码，当所述计算机程序代码在计算机上运行时，以使得计算机执行如本公开第一方面任一实施例的双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法。本公开的实施例提供的技术方案至少带来以下有益效果：

本公开提出了一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法及系统，所述方法包括：通过 CMS 振动监测系统实时监测双馈异步风力发电机轴承的运行状态；基于所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值，利用高内阻毫伏表测量所述发电机的轴电压，利用涡流电导率仪测量所述发电机的转轴电导率；根据所述发电机的轴电压和转轴电导率确定所述发电机转轴的轴电流密度；基于所述发电机转轴的轴电流密度判断所述发电机是否发生轴承电腐蚀故障。本公开提出的技术方案，可较为便利的实现风力发电机轴承轴电流腐蚀故障的诊断，便于风电场调整生产运行计划，及时对机组故障隐患进行处理，保障风电机组安全运行。

本公开附加的方面以及优点将在下面的描述中部分给出，部分将从下面的描述中变得明显，或通过本公开的实践了解到。

附图说明

本公开上述的和/或附加的方面以及优点从下面结合附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解，其中：

图 1 为根据本公开一个实施例提供的一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法的流程图；

图 2 为根据本公开一个实施例提供的轴电压测量示意图；

图 3 为根据本公开一个实施例提供的轴电流密度测量示意图；

图 4 为根据本公开一个实施例提供的一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法的详细流程图；

图 5 为根据本公开一个实施例提供的一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测系统的第一种结构图；

图 6 为根据本公开一个实施例提供的一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测系统的第二种结构图。

具体实施方式

下面详细描述本公开的实施例，所述实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，旨在用于解释本公开，而不能理解为对本公开的限制。

本公开实施例提出了一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法及系统、电子设备、可读存储介质、计算机程序产品和计算机程序。所述方法包括：通过 CMS 振动监测系统实时监测双馈异步风力发电机轴承的运行状态；当所述发电机轴承的振动频率大于预

设的报警阈值时，利用高内阻毫伏表测量所述发电机的轴电压，利用涡流电导率仪测量所述发电机的转轴电导率；根据所述发电机的轴电压和转轴电导率确定所述发电机转轴的轴电流密度；基于所述发电机转轴的轴电流密度判断所述发电机是否发生轴承电腐蚀故障。本公开实施例提出的技术方案，可较为便利的实现风力发电机轴承轴电流腐蚀故障的诊断，
5 便于风电场调整生产运行计划，及时对机组故障隐患进行处理，保障风电机组安全运行。

下面参考附图描述本公开实施例的一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法
及系统。

实施例一

图 1 为根据本公开一个实施例提供的一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方
10 法的流程图，如图 1 所示，所述方法包括步骤 1 至步骤 4。

步骤 1，通过 CMS 振动监测系统实时监测双馈异步风力发电机轴承的运行状态。

步骤 2，当所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值时，利用高内阻毫伏表测量所述发电机的轴电压，利用涡流电导率仪测量所述发电机的转轴电导率。

在本公开实施例中，所述步骤 2 还包括：当所述发电机轴承的振动频率大于预设的报
15 警阈值时，所述 CMS 振动监测系统发出预警。

在一些实施例中，如图 2 所示，所述高内阻毫伏表的测量正极通过测量碳刷连接至所述发电机的驱动端转轴表面，所述高内阻毫伏表的测量负极通过接地线缆接地；

其中，所述测量碳刷通过安装支架安装于所述发电机的轴承外盖上，且测量碳刷的个
数为 N，N 为大于等于 1 的整数。

20 在本公开实施例中，如图 3 所示，所述涡流电导率仪在所述发电机停止状态下测量发电机的转轴电导率；

所述高内阻毫伏表在所述发电机并网状态下测量发电机的轴电压。

需要说明的是，所述高内阻毫伏表，将毫伏表测量正极通过测量碳刷连接至发电机驱动端转轴表面，需保证测量碳刷与转轴表面充分接触，接触面积不小于 85%；测量碳刷通
25 过安装支架安装于发电机轴承外盖，为提高测量准确性，安装条件允许时可安装多个测量碳刷；毫伏表测量负极通过接地线缆接地，构成轴电压测量回路。发电机转轴的轴电导率通过涡流电导率仪直接测量，测量仪器及测量方法应符合 GB/T 35392-2017 的规定。

步骤 3，根据所述发电机的轴电压和转轴电导率确定所述发电机转轴的轴电流密度。

在本公开实施例中，所述发电机转轴的轴电流密度的计算式如下：

30
$$J=U\sigma/l$$

式中，J 为发电机转轴的轴电流密度，U 为发电机的轴电压， σ 为发电机的转轴电导率。

需要说明的是，启动风力发电机组，同时测量并记录发电机轴电压 U ，电流密度时常可以近似为与电场成正比，以方程表达为 $J=\sigma E$ ；

其中， E 是电场强度， J 是电流密度， σ 是电导率。

由欧姆定律可知电阻 $R=\rho L/S$ ；其中， R 是电阻， L 是物体长度， S 是物体的截面面积， ρ 是电阻率。根据欧姆定律，电压 U 等于电流 I 乘以电阻： $U=IR$ ，所以 $U=I*\rho L/S$ 。电场与电压的关系为 $E=Z*U/L$ ，其中 Z 是电流方向，所以， $E=Z*\rho I/S=\rho J$ ，电导率为电阻率的倒数， $\sigma=1/\rho$ ，电流密度与电场的关系为 $J=\sigma E$ ，而电压 $U=El$ ，所以 $J=U\sigma/l$ ，其中 U 为测量得到的发电机轴电压， σ 为测量得到的发电机转轴电导率。

步骤 4，基于所述发电机转轴的轴电流密度判断所述发电机是否发生轴承电腐蚀故障。

在本公开实施例中，所述步骤 4 包括：

当所述发电机转轴的轴电流密度大于预设的轴电流密度阈值时，判定所述发电机发生轴承电腐蚀故障，否则，所述发电机未发生轴承电腐蚀故障。

需要说明的是，由于轴承电腐蚀故障与轴承接触点的电流密度有关，也就是通过轴承的电流除以滚动体与内圈或者外圈滚道的全部接触面积，这与轴承的型号与运行工况有关。而轴承的运行工况受到载荷、工作游隙、润滑油膜的厚度等多个参数影响，很难准确计算。根据目前已掌握的实际工程经验，通过轴承的轴电流密度小于 $0.1A/mm^2$ 时，不会对轴承造成损伤；而当通过轴承的轴电流密度大于 $1A/mm^2$ 时，轴承内容就会出现明显的电势沟痕。

风力发电机轴承与转轴为过盈配合，当发电机转轴通过轴电流密度较大时，意味着发电机轴承也承受着一定的轴电流冲击。所以当发电机轴承振动超过故障报警阈值，且发电机转轴所通过的轴电流密度超过一定阈值时，可判断发电机轴承发生轴电流腐蚀故障。

为了更加清楚地说明本公开实施例的一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法的实现流程，下面以一个具体的方法实施例进行详细说明，如图 4 所示，包括步骤 S1 至 S5。

步骤 S1，通过 CMS 振动监测系统对发电机轴承运行状态进行监测，当发电机轴承振动超过设定报警阈值时，CMS 系统发出预警。

步骤 S2，当 CMS 系统发出针对发电机轴承振动的预警后，在停机转态下使用涡流电导率仪测量发电机转轴电导率。

步骤 S3，当 CMS 系统发出针对发电机轴承振动的预警后，在发电机并网状态下测量发电机轴电压。

步骤 S4，对步骤 S2、S3 测量所得的结果进行分析计算，得到发电机转轴轴电流密度。

步骤 S5，当步骤 S4 计算所得到的轴电流密度超过设定的阈值时，判定发电机轴承发生轴电流腐蚀故障，对轴承进行更换处理。

综上所述，本实施例提出的一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法，对风力发电机轴承进行振动监测分析，以判断发电机轴承是否存在故障；当发电机轴承存在故障时，通过轴电压及电导率测量并计算得到发电机转轴所通过的轴电流密度；根据发电机转轴所通过的轴电流密度，判断发电机轴承是否存在轴电流腐蚀故障。由此可较为便利的实现风力发电机轴承轴电流腐蚀故障的诊断，便于风电场调整生产运行计划，及时对机组故障隐患进行处理，保障风电机组安全运行。

实施例二

图 5 为根据本公开一个实施例提供的一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测系统的结构图，如图 5 所示，所述系统包括监测模块 100、测量模块 200、确定模块 300、判断模块 400。

监测模块 100，用于通过 CMS 振动监测系统实时监测双馈异步风力发电机轴承的运行状态。

测量模块 200，用于当所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值时，利用高内阻毫伏表测量所述发电机的轴电压，利用涡流电导率仪测量所述发电机的转轴电导率。

确定模块 300，用于根据所述发电机的轴电压和转轴电导率确定所述发电机转轴的轴电流密度。

判断模块 400，用于基于所述发电机转轴的轴电流密度判断所述发电机是否发生轴承电腐蚀故障。

在本公开实施例中，如图 6 所示，所述系统还包括预警模块 500。

预警模块 500，用于当所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值时，所述 CMS 振动监测系统发出预警。

在一些实施例中，所述高内阻毫伏表的测量正极通过测量碳刷连接至所述发电机的驱动端转轴表面，所述高内阻毫伏表的测量负极通过接地线缆接地。

其中，所述测量碳刷通过安装支架安装于所述发电机的轴承外盖上；

其中，测量碳刷的个数为 N，N 为大于等于 1 的整数。

在本公开实施例中，所述涡流电导率仪在所述发电机停止状态下测量发电机的转轴电导率；

所述高内阻毫伏表在所述发电机并网状态下测量发电机的轴电压。

在本公开实施例中，所述发电机转轴的轴电流密度的计算式如下：

$$J=U\sigma/l$$

式中, J 为发电机转轴的轴电流密度, U 为发电机的轴电压, σ 为发电机的转轴电导率。

在本公开实施例中, 所述判断模块 400 具体用于:

当所述发电机转轴的轴电流密度大于预设的轴电流密度阈值时, 判定所述发电机发生轴承电腐蚀故障, 否则, 所述发电机未发生轴承电腐蚀故障。

5 综上所述, 本实施例提出的本一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测系统, 可较为便利的实现风力发电机轴承轴电流腐蚀故障的诊断, 便于风电场调整生产运行计划, 及时对机组故障隐患进行处理, 保障风电机组安全运行。

为了实现上述实施例, 本公开实施例还提出一种电子设备, 包括至少一个处理器; 以及与所述至少一个处理器通信连接的存储器; 其中, 所述存储器存储有可被所述至少一个
10 处理器执行的指令, 所述指令被所述至少一个处理器执行, 以使所述至少一个处理器能够执行本公开任一实施例所示的双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法。

为了实现上述实施例, 本公开实施例还提出一种存储有计算机指令的非瞬时计算机可读存储介质, 其中, 计算机指令用于使计算机实现如本公开任一实施例所示的双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法。

15 为了实现上述实施例, 本公开实施例还提出一种计算机程序, 该计算机程序包括计算机程序代码, 当该计算机程序代码在计算机上运行时, 使得计算机执行本公开任一实施例所示的双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法。

为了实现上述实施例, 本公开还提出一种计算机程序产品, 当计算机程序产品中的指令处理器执行时, 执行如本公开前述实施例提出的双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检
20 测方法。

需要说明的是, 前述对方法、系统实施例的解释说明也适用于上述实施例的电子设备、计算机可读存储介质、计算机程序产品和计算机程序, 此处不再赘述。

在本说明书的描述中, 参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包
25 含于本公开的至少一个实施例或示例中。在本说明书中, 对上述术语的示意性表述不必须针对的是相同的实施例或示例。而且, 描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外, 在不相互矛盾的情况下, 本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

30 流程图中或在此以其他方式描述的任何过程或方法描述可以被理解为, 表示包括一个或更多个用于实现定制逻辑功能或过程的步骤的可执行指令的代码的模块、片段或部分, 并且本公开的优选实施方式的范围包括另外的实现, 其中可以不按所示出或讨论的顺序,

包括根据所涉及的功能按基本同时的方式或按相反的顺序，来执行功能，这应被本公开的实施例所属技术领域的技术人员所理解。

5 尽管上面已经示出和描述了本公开的实施例，可以理解的是，上述实施例是示例性的，不能理解为对本公开的限制，本领域的普通技术人员在本公开的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

本公开所有实施例均可以单独被执行，也可以与其他实施例相结合被执行，均视为本公开要求的保护范围。

权利要求书

1.一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测方法，其特征在于，所述方法包括：
通过 CMS 振动监测系统实时监测双馈异步风力发电机轴承的运行状态；

5 基于所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值，利用高内阻毫伏表测量所述发电机的轴电压，利用涡流电导率仪测量所述发电机的转轴电导率；

根据所述发电机的轴电压和转轴电导率确定所述发电机转轴的轴电流密度；

基于所述发电机转轴的轴电流密度判断所述发电机是否发生轴承电腐蚀故障。

2.如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：基于所述发电机轴承的振
10 动频率大于预设的报警阈值，所述 CMS 振动监测系统发出预警。

3.如权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述高内阻毫伏表的测量正极通过测量碳刷连接至所述发电机的驱动端转轴表面，所述高内阻毫伏表的测量负极通过接地线缆接地。

4.如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述测量碳刷通过安装支架安装于所述发电
15 机的轴承外盖上；

其中，测量碳刷的个数为 N，N 为大于等于 1 的整数。

5.如权利要求 1 至 4 中任一项所述的方法，其特征在于，所述涡流电导率仪在所述发电机停止状态下测量发电机的转轴电导率；

所述高内阻毫伏表在所述发电机并网状态下测量发电机的轴电压。

20 6.如权利要求 1 至 5 中任一项所述的方法，其特征在于，所述发电机转轴的轴电流密度的计算式如下：

$$J=U\sigma/l$$

式中，J 为发电机转轴的轴电流密度，U 为发电机的轴电压， σ 为发电机的转轴电导率。

7.如权利要求 1 至 6 中任一项所述的方法，其特征在于，所述基于所述发电机转轴的
25 轴电流密度判断所述发电机是否发生轴承电腐蚀故障，包括：

基于所述发电机转轴的轴电流密度大于预设的轴电流密度阈值，判定所述发电机发生轴承电腐蚀故障，否则，所述发电机未发生轴承电腐蚀故障。

8.一种双馈异步风力发电机轴承电腐蚀故障检测系统，其特征在于，所述系统包括：

监测模块，用于通过 CMS 振动监测系统实时监测双馈异步风力发电机轴承的运行状态；

30 测量模块，用于基于所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值，利用高内阻毫伏表测量所述发电机的轴电压，利用涡流电导率仪测量所述发电机的转轴电导率；

确定模块，用于根据所述发电机的轴电压和转轴电导率确定所述发电机转轴的轴电流密度；

判断模块，用于基于所述发电机转轴的轴电流密度判断所述发电机是否发生轴承电腐蚀故障。

5 9.如权利要求 8 所述的系统，其特征在于，所述系统还包括：

预警模块，用于基于所述发电机轴承的振动频率大于预设的报警阈值，所述 CMS 振动监测系统发出预警。

10 10.如权利要求 8 或 9 所述的系统，其特征在于，所述高内阻毫伏表的测量正极通过测量碳刷连接至所述发电机的驱动端转轴表面，所述高内阻毫伏表的测量负极通过接地线缆接地。

11.一种存储有计算机指令的非瞬时计算机可读存储介质，其中，所述计算机指令用于使所述计算机执行根据权利要求 1 至 7 中任一项所述的方法。

12.一种电子设备，包括：

至少一个处理器；以及

15 与所述至少一个处理器通信连接的存储器；其中，

所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令，所述指令被所述至少一个处理器执行，以使所述至少一个处理器能够执行权利要求 1 至 7 中任一项所述的方法。

13.一种计算机程序产品，包括计算机程序，所述计算机程序在被处理器执行时实现根据权利要求 1 至 7 中任一项所述的方法。

20 14. 一种计算机程序，其特征在于，所述计算机程序包括计算机程序代码，当所述计算机程序代码在计算机上运行时，以使得计算机执行如权利要求 1 至 7 中任一项所述的方法。

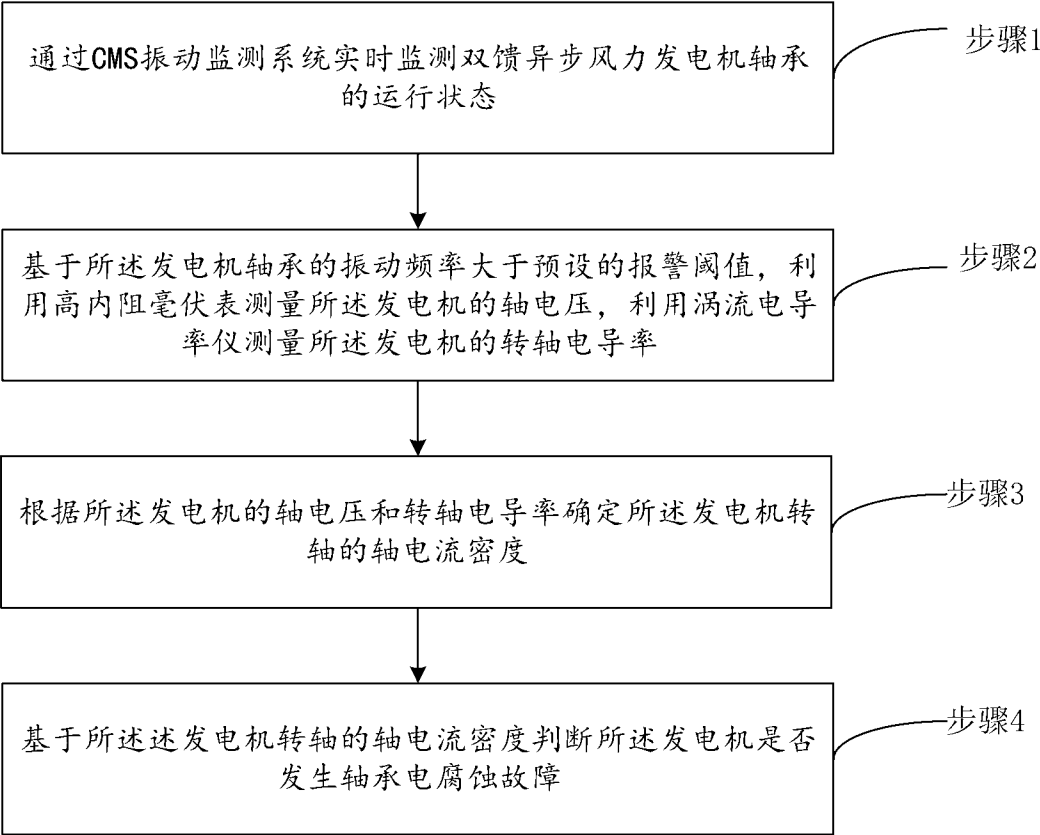


图 1

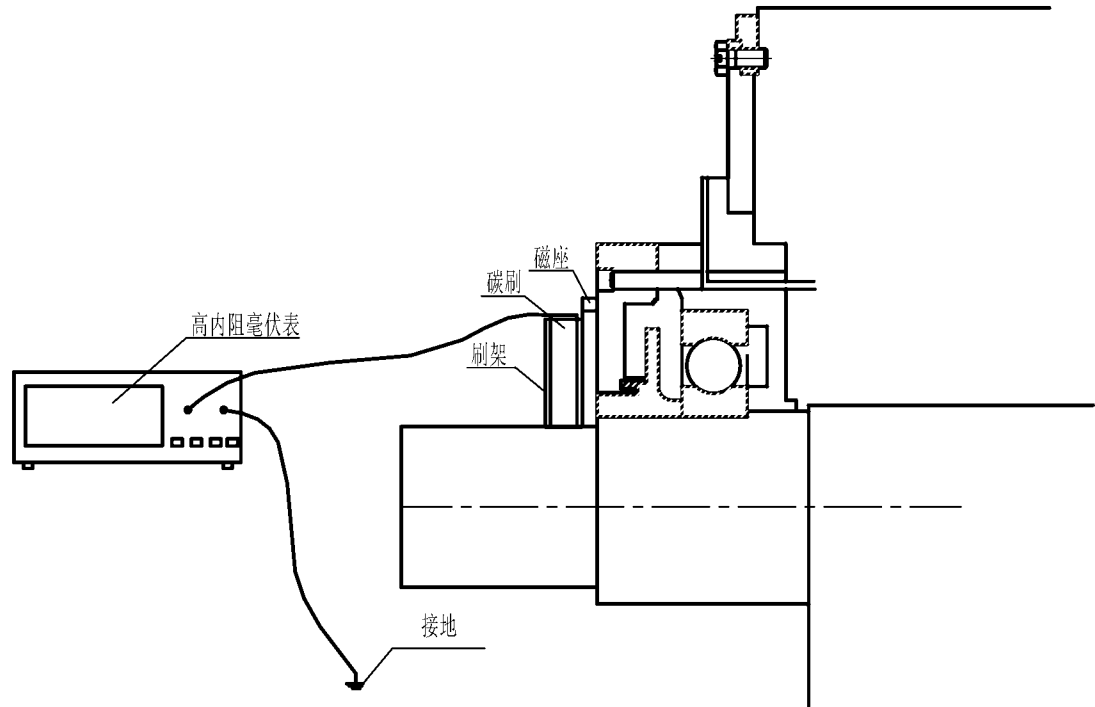


图 2

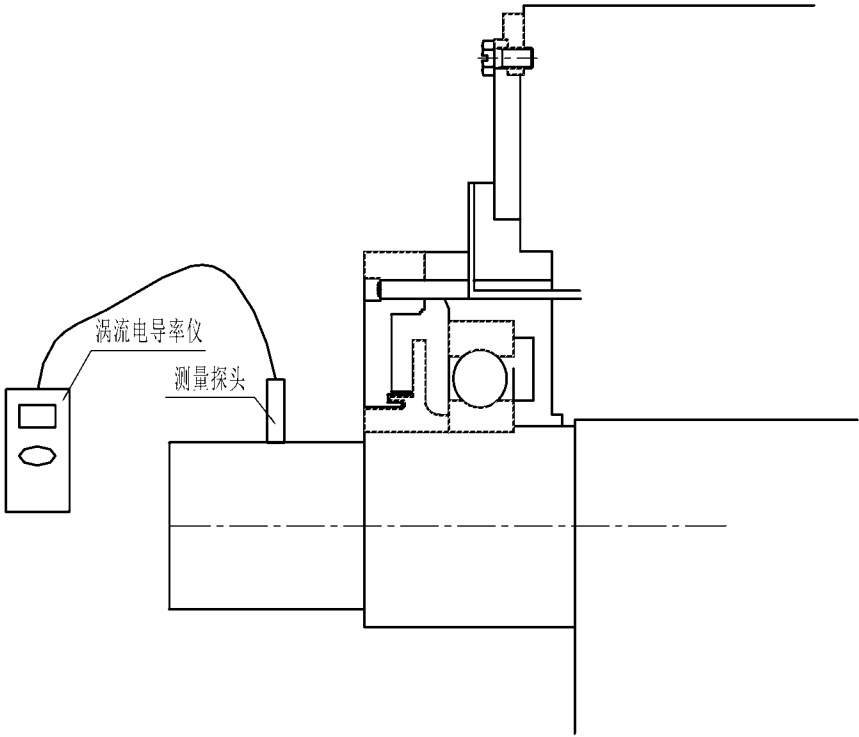


图 3

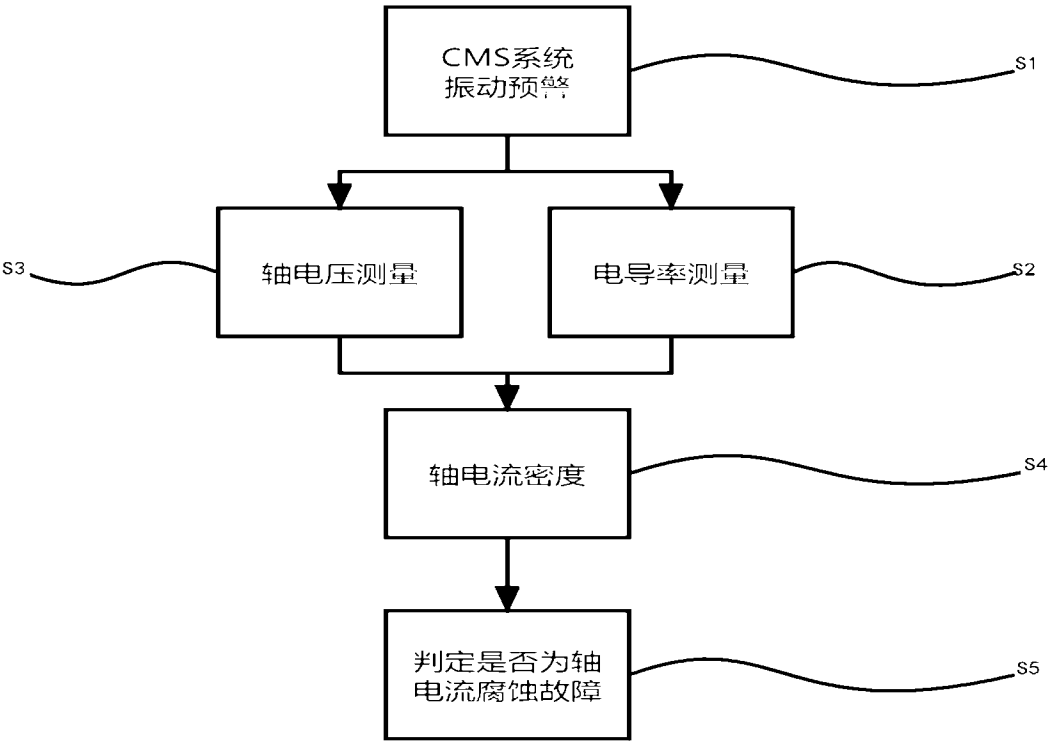


图 4

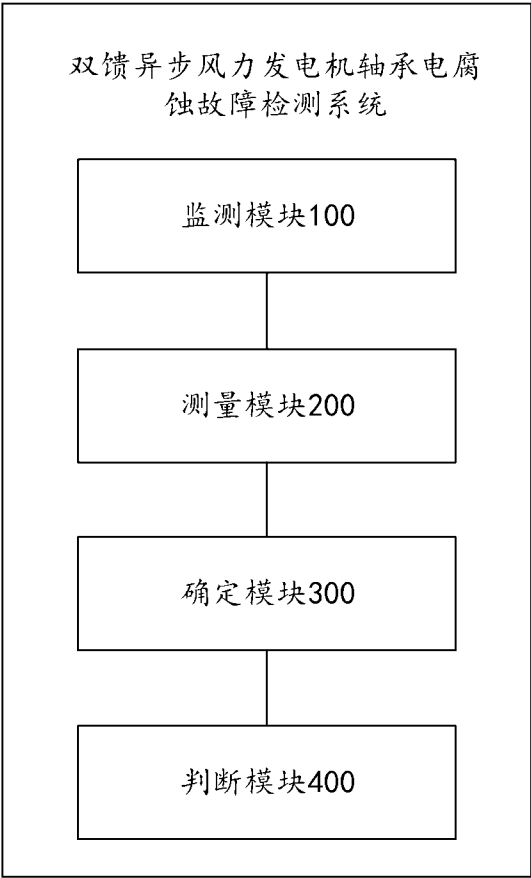


图 5

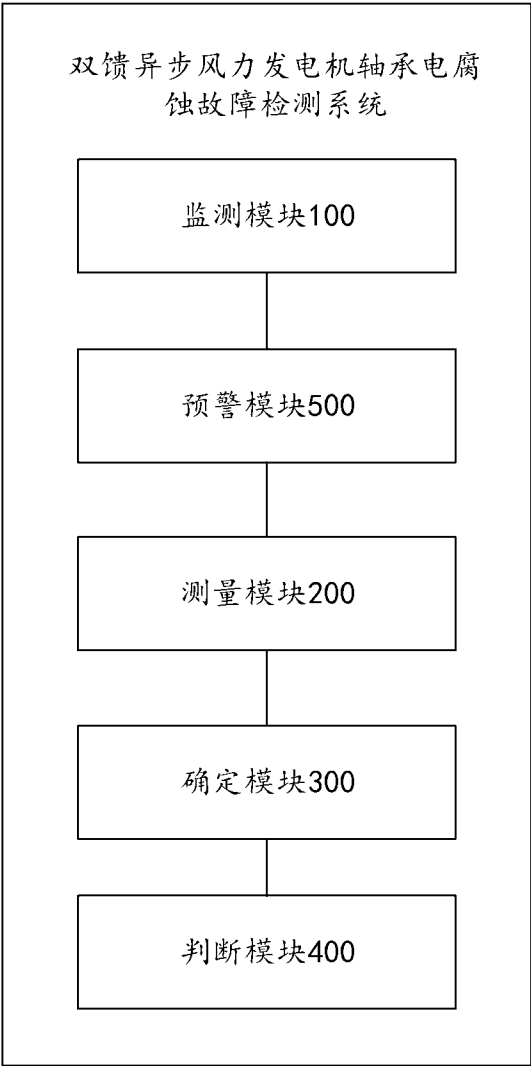


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/090675

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01M13/04(2019.01)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:G01M 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) CNABS, CNTXT, CNKI, 万方, WANFANG, 百度, BAIDU, 读秀, DUXIU: 发电机, 轴承, 轴, 腐蚀, 故障, 振动, 阈值, 报警, 预警, 电压, 电流, 密度, 电导率, 电阻率, 电场, 长度, 碳刷, 并网, 毫伏表, 涡流 USTXT, JPTXT, EPTXT, VEN, IEEE: generator, bearing, malfunction, corrosion, vibrate, threshold, alarm, shaft, current, voltage, density, conductivity, length, carbon, brush, eddy, millivoltmeter		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	张轶东 等 (ZHANG, Yidong et al.). "海上风电机组发电机轴承电腐蚀检测及原因分析 (Detection and Cause Analysis of Electric Corrosion on Generator Bearings of Offshore Wind Turbines)" 船舶工程 (Ship Engineering), Vol. 44, No. S1, 05 August 2022 (2022-08-05), ISSN: 1000-6982, pages 106-110	1-14
Y	CN 109444509 A (CSIC HAIZHUANG WINDPOWER CO., LTD.) 08 March 2019 (2019-03-08) description, paragraphs 2-43, and figures 1-2	1-14
Y	张惠娟 等 (ZHANG, Huijuan et al.). "电流与电场强度 (Non-official translation: Current and electric field strength)" 工程电磁场 (Engineering Electromagnetic Fields), 31 January 2022 (2022-01-31), pages 99-100	1-14
☒ 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 15 September 2023		Date of mailing of the international search report 22 September 2023
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/090675

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	焦其祥 等 (JIAO, Qixiang et al.). "电流密度 (Non-official translation: Current Density)" 电磁场理论 (Non-official translation: Electromagnetic Field Theory), 31 December 1994 (1994-12-31), pages 40-42	1-14
Y	孙永才 等 (SUN, Yongcai et al.). "城轨车辆牵引电机轴承电流分析 (Non-official translation: Analysis of bearing current of urban rail vehicle traction motor)" 电力机车与城轨车辆 (Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles), Vol. 45, No. 1, 20 January 2022 (2022-01-20), ISSN: 1672-1187, pages 65-68	1-14
A	CN 216241102 U (XI'AN HAIDUN ELECTRIC CO., LTD.) 08 April 2022 (2022-04-08) entire document	1-14
A	CN 113567730 A (SHAANXI BRANCH, HUANENG RENEWABLES CORPORATION LIMITED et al.) 29 October 2021 (2021-10-29) entire document	1-14
A	KR 101974308 B1 (DAEDEOK SYSTEM CO., LTD. et al.) 30 April 2019 (2019-04-30) entire document	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/090675

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
CN	109444509	A	08 March 2019	CN	109444509	B	23 March 2021
CN	216241102	U	08 April 2022	None			
CN	113567730	A	29 October 2021	None			
KR	101974308	B1	30 April 2019	None			

国际检索报告

国际申请号
 PCT/CN2023/090675

A. 主题的分类

G01M13/04 (2019.01) 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:G01M

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))
 CNABS, CNTXT, CNKI, 万方, 百度, 读秀:发电机, 轴承, 轴, 腐蚀, 故障, 振动, 阈值, 报警, 预警, 电压, 电流, 密度, 电导率, 电阻率, 电场, 长度, 碳刷, 并网, 毫伏表, 涡流 USTXT, JPTXT, EPTXT, VEN, IEEE:generator, bearing, malfunction, corrosion, vibrate, threshold, alarm, shaft, current, voltage, density, conductivity, length, carbon, brush, eddy, millivoltmeter

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	张轶东 等. “海上风电机组发电机轴承电腐蚀检测及原因分析” 船舶工程, 第44卷, 第S1期, 2022年8月5日 (2022 - 08 - 05), ISSN: 1000-6982, 第106-110页	1-14
Y	CN 109444509 A (中国船舶重工集团海装风电股份有限公司) 2019年3月8日 (2019 - 03 - 08) 说明书2-43段, 图1-2	1-14
Y	张惠娟 等. “电流与电场强度” 工程电磁场, 2022年1月31日 (2022 - 01 - 31), 第99-100页	1-14
Y	焦其祥 等. “电流密度” 电磁场理论, 1994年12月31日 (1994 - 12 - 31), 第40-42页	1-14

☒ 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
 “D” 申请人在国际申请中引证的文件
 “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
 2023年9月15日

国际检索报告邮寄日期
 2023年9月22日

ISA/CN的名称和邮寄地址
 中国国家知识产权局
 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员
 陈琳
 电话号码 (+86) 020-28958430

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	孙永才 等. “城轨车辆牵引电机轴承电流分析” 电力机车与城轨车辆, 第45卷, 第1期, 2022年1月20日 (2022 - 01 - 20), ISSN: 1672-1187, 第65-68页	1-14
A	CN 216241102 U (西安海顿电气有限公司) 2022年4月8日 (2022 - 04 - 08) 全文	1-14
A	CN 113567730 A (华能新能源股份有限公司陕西分公司 等) 2021年10月29日 (2021 - 10 - 29) 全文	1-14
A	KR 101974308 B1 (DAEDEOK SYSTEM CO LTD 等) 2019年4月30日 (2019 - 04 - 30) 全文	1-14

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/090675

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109444509	A	2019年3月8日	CN 109444509 B	2021年3月23日
CN	216241102	U	2022年4月8日	无	
CN	113567730	A	2021年10月29日	无	
KR	101974308	B1	2019年4月30日	无	