

(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
2023 年 10 月 19 日 (19.10.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/197461 A1

(51) 国际专利分类号:
G01M 13/021 (2019.01) G01M 13/04 (2019.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/103071

(22) 国际申请日: 2022 年 6 月 30 日 (30.06.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202210373722.6 2022年4月11日 (11.04.2022) 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 710048 (CN)。

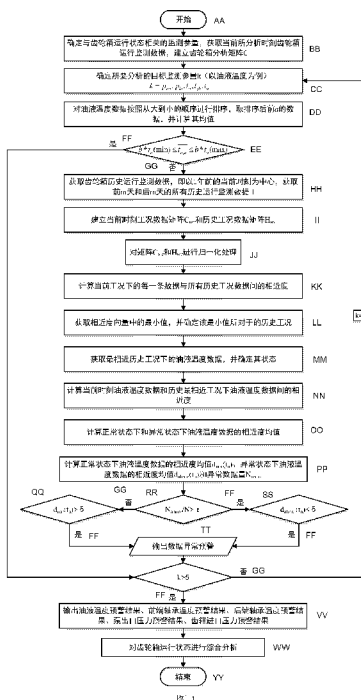
(72) 发明人: 汪臻(WANG, Zhen); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路 136号, Shaanxi 710048 (CN)。邓巍(DENG, Wei); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路 136号, Shaanxi 710048 (CN)。赵勇(ZHAO, Yong); 中国陕西省西安市碑林区兴庆路136号, Shaanxi 710048 (CN)。

(74) 代理人: 北京三聚阳光知识产权代理有限公司(SUNSHINE INTELLECTUAL PROPERTY INTERNATIONAL CO., LTD.); 中国北京市海淀区海淀南路甲 21 号中关村知识产权大厦 A 座5层503, Beijing 100080 (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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

(54) Title: GEARBOX FAULT EARLY WARNING METHOD AND SYSTEM BASED ON WORKING CONDITION SIMILARITY EVALUATION

(54) 发明名称: 一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法及系统



AA Start
BB Determine monitored parameters related to an operation state of a gearbox, acquire operation monitoring data of the gearbox at a current analysis moment, and establish gearbox analysis matrix C
CC Determine target monitored parameter x to be analyzed (taking the oil temperature as an example), $k=po$, po , to , to , to
DD Sort the oil temperature data in descending order, take the front a piece of data after sorting, and calculate the mean value thereof
EE [Equation 1]
FF Yes
GO No
HH Acquire historical operation monitoring data of the gearbox, that is, with the current moment one year ago as the center, acquire all historical operation monitoring data H of previous m days and subsequent n days
II Establish current moment working condition data matrix C_{wc} and historical working condition data matrix H_{wc}
JJ Normalize matrices C_{wc} and H_{wc}
KK Calculate the similarity between each piece of data under the current working condition and all historical working condition data
LL Acquire a minimum value in similarity vectors and determine a historical working condition corresponding to the minimum value
MM Acquire oil temperature data under the most similar historical working condition and determine a state thereof
NN Calculate the similarity between the oil temperature data at the current moment and the oil temperature data under the most similar historical working condition
OO Calculate the mean value of the similarities of oil temperature data in normal states and in abnormal states
PP Calculate mean value $droit$ of the similarities of the oil temperature data in the normal states, mean value $droit$ of the similarities of the oil temperature data in the abnormal states, and the number N_{abnor} of pieces of abnormal data
QQ [Equation 2]
RR [Equation 3]
SS [Equation 4]
TT Output data anomaly early warning
VV Output an oil temperature early warning result, a front and bearing temperature early warning result, a rear and bearing temperature early warning result, a pump outlet pressure early warning result, and a gearbox inlet pressure early warning result
WW Perform comprehensive analysis of the operation state of the gearbox
YY End

(57) Abstract: A gearbox fault early warning method and system based on working condition similarity evaluation, which can automatically identify a historical working condition most similar to a current working condition of a gearbox, and, by means of longitudinal comparison with historical operation monitoring data of the gearbox, analyze the similarity between historical monitoring data and current monitoring data under the same working condition or similar working conditions, thus realizing fault early warning of monitored parameters of the gearbox. On the basis of the proposed analysis method of longitudinal comparison with historical data, a gearbox oil

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, ME, MG, MK, MN, 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, 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, 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)。

根据细则4.17的声明:

— 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

temperature early warning model, a front end bearing temperature early warning model, a gearbox rear end bearing temperature early warning model, an oil pump outlet pressure early warning model and an oil pump inlet pressure early warning model are separately established, and, by fusing output results of the early warning models, comprehensive evaluation of an operation state of a gearbox is realized. The method has low algorithm complexity and high calculation efficiency, and has high model universality, thus being suitable for gearbox operation monitoring data of various doubly-fed machine types and under different environment conditions and different working conditions.

(57) 摘要: 一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法及系统, 能够自动识别与齿轮箱当前工况最为相近的历史工况, 通过与齿轮箱历史运行监测数据进行纵向对比, 分析在同工况或相近工况下历史监测数据与当前监测数据间的相近度来实现齿轮箱监测参量的故障预警; 基于提出的历史数据纵向对比分析方法, 分别建立齿轮箱油液温度预警模型、前端轴承温度预警模型、齿箱后端轴承温度预警模型、油泵出口压力预警模型和油泵进口压力预警模型, 通过融合各预警模型的输出结果, 实现对齿轮箱运行状态的综合评估。该方法算法复杂度低, 计算效率高, 模型通用性强, 对各种双馈式机型、不同环境条件和不同工况下的齿轮箱运行监测数据均能适用。

一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法及系统

本申请要求在 2022 年 04 月 11 日提交中国专利局、申请号为 202210373722.6、发明名称为“一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法及系统”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请属于故障诊断技术领域，具体涉及一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法及系统。

背景技术

齿轮箱是双馈式风力发电机组重要组成部分，主要由锁紧盘、行星架、太阳轴、中间级行星架、中间级太阳轮轴、高速机齿轮、输入级齿轮等部件组成，其内的齿轮、轴系等零部件之间紧密的耦合在一起，且常处于复杂的环境下运行，因此导致齿轮箱的故障率较高。齿轮箱作为风电机组中主传动链上的重要组成部分，其正常与否对风电机组的安全稳定运行有着直接的影响。

近年来，研究人员针对齿轮箱的故障预警提出了多种方法。文献 1 采用一种温度趋势分析的方法对风电机组齿轮箱进行运行状态监测。利用非线性状态估计(nonlinear state estimate technology,NSET)方法建立齿轮箱正常工作状态下的温度模型并用其进行温度预测。文献 2 提出了一种基于粒子群优化 BP 神经网络风电机组齿轮箱故障诊断方法，网络的收敛速度快，减小了陷入局部极小点的风险。文献 3 提出利用多变量状态估计方法对齿轮箱温度数据进行状态监测，通过筛选出机组正常运行状态下的有效数据进行模型训练，对模型各参数之间的关系进行定义，再通过相关性分析来建立正常运行状态下多个相关变量的内在非线性模型。文献 4 采用神经网络模型多层感知机建立齿轮箱正常工作状态温度模型，当齿轮箱温度的实际测量值超出模型的预测置信区间时，进行故障告警。文献 5 提出了基于增量代价敏感支持向量机(ICSVM)的齿轮箱故障预警方法，建立了以误差分类代价最小化为目标的代价敏感支持向量机模型用于对齿轮箱故障预警。文献 6 利用数据采集与监视控制系统(SCADA)，使用多层神经网络算法对齿轮箱和发电机进行了建模，根据温度参数设定阈值，采用 Multi Agent 系统对不同部件的诊断结果进行了综合分析来进行故障预测。文献 7 基于风电机组齿轮箱的历史运行温度，结合正态云模型和趋势状态分析法构建了齿轮箱状态评估云模型，该模型应用云理论对温度边界具有的模糊性和不确定进行了有效处理，能够提前发现齿轮箱的异常状态。

从上面的分析可以看出，目前基于 SCADA 数据的齿轮箱故障预警大多采用非线性状态估计、神经网络、支持向量机等机器学习方法，利用历史数据进行训练建立预测模型，通过分析模型预测值与实际测量值间的残差来实现故障预警。但是这些方法算法复杂、耗时较长，且对样本的选取要求较高。由于风电机组的运行工况复杂多变，采用机器学习方法对历史数据进行训练很难覆盖所有工况，难以建立起覆盖所有工况的预测模型，导致训练出的预测模型泛化能力差，可能会出现由于工况的变化而出现误报的现象。此外，风电机组的 SCADA 数据大多为非平衡数据，故障数据往往淹没在海量的正常数据之中，由于无法对故障数据进

行有效标记, 导致在训练过程中很难建立起准确的故障状态与运行监测数据间的映射关系, 使得训练出的模型故障报出能力差, 可能会存在一定的故障漏报现象。

发明内容

本申请所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足, 提供一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法及系统, 能够自动识别与齿轮箱当前运行工况最为相近的历史工况下的数据, 通过分析各监测参量的当前数据与历史数据间的相近度, 结合历史数据的状态信息, 计算各监测参量的异常系数, 并根据异常系数大小实现齿轮箱的故障预警。

本申请采用以下技术方案:

本申请一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法, 包括以下步骤:

S1、确定齿轮箱运行状态监测参量, 获取当前时刻齿轮箱运行监测数据, 建立齿轮箱分析矩阵, 选取待分析的目标监测参量并按从大到小的顺序进行排序, 取排序后前 $a\%$ 的数据, 并计算对应的均值;

S2、判断步骤 S1 选取的目标监测参量和均值是否存在异常, 如果存在异常, 输出预警结果, 对齿轮箱运行状态进行综合评估;

S3、当步骤 S2 目标监测参量不存在异常时, 从齿轮箱历史运行监测数据中获取与当前时刻最相近的工况数据, 并计算当前时刻油液温度数据与历史最相近工况下油液温度数据间的相近度;

S4、根据步骤 S3 获得的相近度对目标监测参量进行判断, 输出数据异常预警;

S5、重复步骤 S1~S4, 分别建立齿箱前端轴承温度预警模型、齿箱后端轴承温度预警模型、齿箱泵出口压力预警模型和齿箱进口压力预警模型;

S6、根据步骤 S5 建立的齿轮箱油液温度预警模型、前端轴承温度预警模型、后端轴承温度预警模型、油泵出口压力预警模型和油泵进口压力预警模型的输出结果, 对齿轮箱运行状态进行综合评估。

具体的, 步骤 S1 中, 齿轮箱分析矩阵具体为:

$$C_j = [P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_o, t_{fb}, t_{rb}, t_e]_j$$

其中, $j=1, 2, \dots, N$, N 为齿轮箱分析矩阵的数据的个数, P 为机组功率, v 为风速, n 为发电机转速, p_{oo} 为齿轮箱油泵出口压力, p_{io} 为齿轮箱油泵进口压力, t_o 为齿轮箱油液温度, t_{fb} 为齿轮箱前端轴承温度, t_{rb} 为齿箱后端轴承温度, t_e 为机舱温度。

具体的, 步骤 S1 中, 排序后的目标监测参量具体为:

$$t_{o,ranked} = [t_{o1}, t_{o2}, \dots, t_{oN}]$$

$$t_{o,a} = [t_{o1}, t_{o2}, \dots, t_{[a\%*N]}]$$

$$\overline{t_{o,a}} = \frac{1}{[a\%*N]} \sum_{j=1}^{[a\%*N]} t_{oj}$$

其中, $t_{o1} < t_{o2} < \dots < t_{oN}$, t_{oj} 为排序后的油液温度数据中第 j 个数据; $t_{o,a}$ 为排序后的油液温度数据中前 $a\%$ 的数据; $[a\%*N]$ 为 $a\%*N$ 后取整; $\overline{t_{o,a}}$ 为排序后前 $a\%$ 的油液温度数据的均

值。

具体的，步骤 S2 具体为：

S201、获取油液温度报警阈值 $t_o(\max)$ 和 $t_o(\min)$ ，其中， $t_o(\max)$ 为报警上限阈值， $t_o(\min)$ 为报警下限阈值，并设置阈值系数 b ；

S202、若 $\overline{t_{o,a}} > b * t_o(\max)$ 或者 $\overline{t_{o,a}} < b * t_o(\min)$ ，油液温度数据存在高温或低温异常，转至步骤 S3；

S203、若 $b * t_o(\min) \leq \overline{t_{o,a}} \leq b * t_o(\max)$ ，油液温度数据正常，结束油液温度异常分析。

具体的，步骤 S3 具体为：

S301、对于齿轮箱历史运行监测数据，查找 1 年前相同时间段内的数据，以 1 年前相同时间段内的数据为中心获取齿轮箱前 m 天和后 m 天的所有历史运行监测数据；

S302、根据实时监测数据建立相对于齿轮箱目标监测参量的当前工况数据矩阵，利用步骤 S301 得到的齿轮箱前 m 天和后 m 天的所有历史运行监测数据建立相对于齿轮箱目标监测参量的历史工况数据矩阵；

S303、对步骤 S302 建立的当前工况数据矩阵和历史工况数据矩阵进行归一化处理；

S304、对当前工况下的每一条数据，计算每一条数据与所有历史工况数据之间的相近度；

S305、获取步骤 S304 得到的相近度向量中最小值，并确定最小值所对应的历史工况数据，将历史工况数据作为与当前工况数据最相近的工况；

S306、根据步骤 S305 确定的历史工况数据，获取历史工况下的目标监测参量以及目标监测参量所对应的状态；

S307、根据步骤 S301~S306 获取所有与当前工况最相近的历史工况下的目标监测参量以及目标监测参量的状态向量；

S308、计算当前时刻目标监测参量与历史最相近工况下目标监测参量间的相近度。

可选地，步骤 S308 中，相近度 $d_j(t_o)$ 具体为：

$$d_j(t_o) = \left| (t_o(j, z_j) - t_o(j)) \right|$$

$$d(t_o) = [d_1(t_o) \quad d_2(t_o) \quad \cdots \quad d_N(t_o)]$$

其中， $j=1,2,\dots,N$ ， $d(t_o)$ 为所有当前时刻目标监测参量与历史最相近工况下目标监测参量之间的相近度向量， $t_o(j, z_j)$ 为历史工况下的油液温度数据， $t_o(j)$ 为当前时刻油液温度数据。

具体的，步骤 S4 具体为：

S401、根据历史最相近工况下目标监测参量的状态向量，查找状态向量中所有正常状态下的目标监测参量标签，以及所有异常状态下的目标监测参量标签，计算正常状态下的相近度均值和异常状态下的相近度均值；

S402、设置异常数据量阈值系数 ε 和相近度阈值 δ ；若 $\frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon$ 并且 $d_{abnor}(t_o) < \delta$ ， N_{abnor} 为历史工况下的油液温度数据中异常数据的个数， N 为齿轮箱分析矩阵的数据个数， $d_{abnor}(t_o)$ 为异常状态下油液温度数据的相近度均值，当前时刻目标监测参量异常，给出目标监测参量异常预警；若 $\frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon$ 并且 $d_{abnor}(t_o) \geq \delta$ ，当前时刻目标监测参量正常；若 $\frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon$ 并且

$d_{nor}(t_o) \leq \delta$, $d_{nor}(t_o)$ 为正常状态下油液温度数据的相近度均值, 当前时刻目标监测参量正常;
若 $\frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon$ 并且 $d_{nor}(t_o) > \delta$, 当前时刻目标监测参量异常, 给出目标监测参量异常预警。

具体的, 步骤 S6 具体为:

S601、根据各预警模型的输出结果, 计算油液温度、前端轴承温度、后端轴承温度、油泵出口压力和油泵进口压力的异常系数;

S602、根据步骤 S601 得到的异常系数, 计算齿轮箱综合异常系数 η ;

S603、根据齿轮箱综合异常系数 η 对齿轮箱运行状态进行综合判断。

可选地, 步骤 S601 中, 第 k 个监测参量的异常系数 $\eta(k)$ 为:

$$\eta(k) = \begin{cases} \frac{\delta}{d_{abnor}(k)}, & \frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon \text{ and } d_{abnor}(t_o) < \delta \\ 0, & \frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon \text{ and } d_{nor}(t_o) > \delta \\ 0, & \frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon \text{ and } d_{nor}(t_o) < \delta \\ \frac{d_{nor}(k)}{\delta}, & \frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon \text{ and } d_{nor}(t_o) > \delta \end{cases}$$

其中, $k = p_{oo}, p_{io}, t_o, t_{fb}, t_b$, p_{oo} 为齿轮箱油泵出口压力, p_{io} 为齿轮箱油泵进口压力, t_o 为齿轮箱油液温度, t_{fb} 为齿轮箱前端轴承温度, t_b 为齿轮箱油液温度, ε 为异常数据量阈值系数, δ 为相近度阈值, $d_{abnor}(k)$ 为异常状态下第 k 个油液温度数据的相近度均值, N_{abnor} 为历史工况下的油液温度数据中异常数据的个数, N 为齿轮箱分析矩阵的数据个数, $d_{abnor}(t_o)$ 为异常状态下油液温度数据的相近度均值, $d_{nor}(t_o)$ 为正常状态下油液温度数据的相近度均值。

第二方面, 本申请实施例提供了基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警系统, 包括:

数据模块, 确定齿轮箱运行状态监测参量, 获取当前时刻齿轮箱运行监测数据, 建立齿轮箱分析矩阵, 选取待分析的目标监测参量并按从大到小的顺序进行排序, 取排序后前 $\alpha\%$ 的数据, 并计算对应的均值;

判断模块, 判断数据模块选取的目标监测参量和均值是否存在异常, 如果存在异常, 输出预警结果, 对齿轮箱运行状态进行综合评估;

计算模块, 当判断模块目标监测参量不存在异常时, 从齿轮箱历史运行监测数据中获取与当前时刻最相近的工况数据, 并计算当前时刻油液温度数据与历史最相近工况下油液温度数据间的相近度;

输出模块, 根据计算模块获得的相近度对目标监测参量进行判断, 输出数据异常预警;

预警模块, 基于数据模块、判断模块、计算模块和输出模块, 分别建立齿箱前端轴承温度预警模型、齿箱后端轴承温度预警模型、齿箱泵出口压力预警模型和齿箱进口压力预警模型;

评估模块, 根据预警模块建立的齿轮箱油液温度预警模型、前端轴承温度预警模型、后端轴承温度预警模型、油泵出口压力预警模型和油泵进口压力预警模型的输出结果, 对齿轮箱运行状态进行综合评估。

与现有技术相比, 本申请至少具有以下有益效果:

本申请一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法，通过分析当前工况与历史最相近工况下目标监测数据间的差异性来实现齿轮箱的故障预警；基于本申请提出的历史数据纵向对比分析方法，分别建立齿轮箱油液温度预警模型、前端轴承温度预警模型、齿箱后端轴承温度预警模型、齿箱泵出口压力预警模型和齿箱进口压力预警模型，通过融合各预警模型的输出结果，实现了对齿轮箱运行状态的综合评估，建立的预警模型无需训练，即不需要对历史数据进行离线训练，只需在线计算当前工况与历史工况间的相近度，利用历史数据的状态信息和历史数据与当前监测数据间的相近度即可准确辨识出各种工况下的正常数据和异常数据，进而实现对齿轮箱各监测参量异常状态的快速预警。

可选地，通过构建齿轮箱分析矩阵获取与齿轮箱运行状态相关联的所有监测数据。

可选地，通过计算排序后目标监测参量前 $a\%$ 数据的均值，并与预设的报警阈值进行对比分析来实现目标监测参量是否存在异常的初步判断。

可选地，通过计算目标监测参量的当前工况数据与历史工况数据间的相近度来辨识与当前工况最为相近的历史工况数据。

可选地，相近度刻画了目标监测参量的当前工况数据与历史工况数据间的一致性程度。

可选地，根据历史最相近工况下目标监测参量的数据标签，计算当前监测数据的异常数据量，并通过设置异常数据量阈值和相近度阈值来实现目标监测参量是否存在异常的进一步判断。

可选地，通过建立多个监测参量的预警模型来实现对齿轮箱运行状态的综合评估，提高齿轮箱故障预警的准确性。

可选地，通过计算各监测参量的异常系数来实现对各监测参量的故障预警，并以此计算齿轮箱的综合异常系数。

综上所述，本申请方法复杂度低，计算效率高，模型通用性强，对各种双馈式机型、不同环境条件和不同工况下的齿轮箱运行监测数据均能适用。

下面通过附图和实施例，对本申请的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

图 1 为根据本申请一实施例的一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法的流程图；

图 2 为正常情况的油温数据图；

图 3 为异常情况的油温数据图。

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，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，都属于本申请保护的范围。

在本申请的描述中，需要理解的是，术语“包括”和“包含”指示所描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在，但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

还应当理解，在本申请说明书中所使用的术语仅仅是出于描述特定实施例的目的而并不意在限制本申请。如在本申请说明书和所附权利要求书中所使用的那样，除非上下文清楚地

指明其它情况，否则单数形式的“一”、“一个”及“该”意在包括复数形式。

还应当进一步理解，在本申请说明书和所附权利要求书中使用的术语“和/或”是指相关联列出的项中的一个或多个的任何组合以及所有可能组合，并且包括这些组合，例如，A 和/或 B，可以表示：单独存在 A，同时存在 A 和 B，单独存在 B 这三种情况。另外，本文中字符“/”，一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。

应当理解，尽管在本申请实施例中可能采用术语第一、第二、第三等来描述预设范围等，但这些预设范围不应限于这些术语。这些术语仅用来将预设范围彼此区分开。例如，在不脱离本申请实施例范围的情况下，第一预设范围也可以被称为第二预设范围，类似地，第二预设范围也可以被称为第一预设范围。

取决于语境，如在此所使用的词语“如果”可以被解释成为“在……时”或“当……时”或“响应于确定”或“响应于检测”。类似地，取决于语境，短语“如果确定”或“如果检测(陈述的条件或事件)”可以被解释成为“当确定时”或“响应于确定”或“当检测(陈述的条件或事件)时”或“响应于检测(陈述的条件或事件)”。

在附图中示出了根据本申请公开实施例的各种结构示意图。这些图并非是按比例绘制的，其中为了清楚表达的目的，放大了某些细节，并且可能省略了某些细节。图中所示出的各种区域、层的形状及它们之间的相对大小、位置关系仅是示例性的，实际中可能由于制造公差或技术限制而有所偏差，并且本领域技术人员根据实际所需可以另外设计具有不同形状、大小、相对位置的区域/层。

本申请提供了一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法，能够自动识别与齿轮箱当前工况最为相近的历史工况，通过与齿轮箱历史运行监测数据进行纵向对比，分析在同工况或相近工况下历史监测数据与当前监测数据间的相近度来实现齿轮箱监测参量的故障预警。基于提出的历史数据纵向对比分析方法，分别建立了齿轮箱油液温度预警模型、前端轴承温度预警模型、齿箱后端轴承温度预警模型、齿箱泵出口压力预警模型和齿箱进口压力预警模型，通过融合各预警模型的输出结果，实现对齿轮箱运行状态的综合评估。本申请算法复杂度低，计算效率高，模型通用性强，对各种双馈式机型、不同环境条件和不同工况下的齿轮箱运行监测数据均能适用。

请参阅图 1，根据本申请一实施例的一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法，适用于基于 SCADA 数据的风电机组齿轮箱故障预警，包括齿箱前端轴承温度预警、齿箱后端轴承温度预警、齿轮箱油液温度预警、齿轮箱油泵出口压力预警和齿轮箱油泵进口压力预警，包括以下步骤：

S1、确定与齿轮箱运行状态相关的监测参量，包括但不限于机组功率 P 、风速 v 、发电机转速 n 、齿轮箱油泵出口压力 p_{oo} 、齿轮箱油泵进口压力 p_{io} 、齿轮箱油液温度 t_o 、齿轮箱前端轴承温度 t_{fb} 、齿箱后端轴承温度 t_{rb} 、机舱温度 t_e ；获取当前所分析时刻齿轮箱运行监测数据，建立齿轮箱分析矩阵，选取所要分析的目标监测参量，以齿轮箱油液温度为例，对油液温度数据按照从大到小的顺序进行排序，取排序后前 $\alpha\%$ 的数据，并计算其均值；

齿轮箱分析矩阵的第 j 个数据 C_j 为：

$$C_j = [P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_o, t_{fb}, t_{rb}, t_e]_j$$

其中， $j=1, 2, \dots, N$ ， N 为齿轮箱分析矩阵的数据的个数，即矩阵的行数。

排序后的油液温度数据 $t_{o, ranked}$ 为：

$$t_{o,ranked} = [t_{o1}, t_{o2}, \dots, t_{oN}], \quad t_{o1} < t_{o2} < \dots < t_{oN}$$

$$t_{o,a} = [t_{o1}, t_{o2}, \dots, t_{[a\%*N]}]$$

$$\overline{t_{o,a}} = \frac{1}{[a\%*N]} \sum_{j=1}^{[a\%*N]} t_{oj}$$

其中, t_{oj} 为排序后的油液温度数据中第 j 个数据; $t_{o,a}$ 为排序后的油液温度数据中前 $a\%$ 的数据; $[a\%*N]$ 为 $a\%*N$ 后取整; $\overline{t_{o,a}}$ 为排序后前 $a\%$ 的油液温度数据的均值。

S2、对油液温度数据是否存在异常进行初步判断;

S201、获取油液温度报警阈值 $t_o(\max)$ 和 $t_o(\min)$, 其中 $t_o(\max)$ 为报警上限阈值, $t_o(\min)$ 为报警下限阈值, 并设置阈值系数 b ;

S202、若 $\overline{t_{o,a}} > b*t_o(\max)$ 或者 $\overline{t_{o,a}} < b*t_o(\min)$, 则油液温度数据可能存在高温或低温异常, 需进一步分析, 转步骤 S3;

S203、若 $b*t_o(\min) \leq \overline{t_{o,a}} \leq b*t_o(\max)$, 则油液温度数据正常, 结束油液温度异常分析。

S3、从齿轮箱历史运行监测数据中获取与当前所分析时刻最为相近的工况数据, 并计算当前所分析时刻油液温度数据与历史最相近工况下油液温度数据间的相近度;

S301、对于齿轮箱历史运行监测数据, 查找 1 年前相同时间段内的数据, 即定位到 1 年前的当前时刻, 以此为中心获取齿轮箱前 m 天和后 m 天的所有历史运行监测数据:

$$H_i = [P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_o, t_{fb}, t_{rb}, t_e]_i$$

其中, $i=1, 2, \dots, M$, H_i 为所获取的第 i 个历史运行监测数据; M 为所获取的历史运行监测数据的个数;

S302、建立相对于齿轮箱油液温度的当前工况数据矩阵 C_{wc} 和历史工况数据矩阵 H_{wc} ;

$$C_{wc} = \begin{bmatrix} C_{wc}(1) \\ C_{wc}(2) \\ \vdots \\ C_{wc}(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_1^C \\ (P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_2^C \\ \vdots \\ (P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_N^C \end{bmatrix}$$

$$H_{wc} = \begin{bmatrix} H_{wc}(1) \\ H_{wc}(2) \\ \vdots \\ H_{wc}(M) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_1^H \\ (P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_2^H \\ \vdots \\ (P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_M^H \end{bmatrix}$$

其中, $C_{wc}(j) = (P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_j^C$ 为相对于齿轮箱油液温度的第 j 条当前工况数据, 即为齿轮箱分析矩阵 C_j 中去掉油液温度后的数据; $H_{wc}(i) = (P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_i^H$ 为相对于齿轮箱油液温度的第 i 条历史工况数据, 即为齿轮箱历史运行监测数据 H_i 中去掉油液温度后的数据。

S303、对当前工况数据矩阵 C_{wc} 和历史工况数据矩阵 H_{wc} 进行归一化处理;

$$Y = \begin{bmatrix} C_{wc} \\ H_{wc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_1^Y \\ (P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_2^Y \\ \vdots \\ (P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_{N+M}^Y \end{bmatrix}$$

$$C_{wc}(j) = \frac{(P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_j^C - \min_{1 \leq j \leq N+M} \{(P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_j^Y\}}{\max_{1 \leq j \leq N+M} \{(P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_j^Y\} - \min_{1 \leq j \leq N+M} \{(P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_j^Y\}}$$

$$H_{wc}(i) = \frac{(P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_i^H - \min_{1 \leq i \leq N+M} \{(P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_i^Y\}}{\max_{1 \leq i \leq N+M} \{(P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_i^Y\} - \min_{1 \leq i \leq N+M} \{(P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_{fb}, t_{rb}, t_e)_i^Y\}}$$

其中, Y 为矩阵 C_{wc} 和矩阵 H_{wc} 合并后的矩阵; $C_{wc}(j)$ 为归一化后的第 j 条当前工况数据; $H_{wc}(i)$ 为归一化后的第 i 条历史工况数据。

S304、对于当前工况下的每一条数据 $C_{wc}(j)$, 计算 $C_{wc}(j)$ 与所有历史工况数据 $H_{wc}(i)$ 之间的相近度;

$$D(C_{wc}(j), H_{wc}) = [d(C_{wc}(j), H_{wc}(1)), d(C_{wc}(j), H_{wc}(2)), \dots, d(C_{wc}(j), H_{wc}(M))]$$

$$d(C_{wc}(j), H_{wc}(i)) = |C_{wc}(j) - H_{wc}(i)|^2$$

$$C_{wc} = \begin{bmatrix} C_{wc}(1) \\ C_{wc}(2) \\ \vdots \\ C_{wc}(N) \end{bmatrix}$$

$$H_{wc} = \begin{bmatrix} H_{wc}(1) \\ H_{wc}(2) \\ \vdots \\ H_{wc}(M) \end{bmatrix}$$

其中, $D(C_{wc}(j), H_{wc})$ 为 $C_{wc}(j)$ 与所有历史工况数据 H_{wc} 之间的相近度矩阵; $d(C_{wc}(j), H_{wc}(i))$ 为 $C_{wc}(j)$ 与历史工况数据 $H_{wc}(i)$ 之间的相近度; C_{wc} 为归一化后的当前工况数据矩阵; H_{wc} 为归一化后的历史工况数据矩阵;

S305、获取相近度向量 $D(C_{wc}(j), H_{wc})$ 中最小值, 并确定该最小值所对应的历史工况数据 $H_{wc}(z_j)$, 该历史工况数据 $H_{wc}(z_j)$ 即为与当前工况数据 $C_{wc}(j)$ 最为相近的工况;

$$d(C_{wc}(j), H_{wc}(z_j)) = \min \{D(C_{wc}(j), H_{wc})\}$$

其中, z_j 为与当前工况数据 $C_{wc}(j)$ 最为相近的历史工况数据标签。

S306、根据步骤 S305 所确定的与当前工况数据 $C_{wc}(j)$ 最相近的历史工况数据 $H_{wc}(z_j)$,

获取该历史工况下的油液温度数据 $t_o(j, z_j)$ 以及该油液温度数据所对应的状态 $s_o(j, z_j)$ ，即正常状态还是异常状态；

$$s_o(j, z_j) = \begin{cases} 0, & t_o(j, z_j) \text{ 为正常数据} \\ 1, & t_o(j, z_j) \text{ 为异常数据} \end{cases}$$

S307、根据步骤 S301~S306 的计算方法，获取所有与当前工况最相近的历史工况下的油液温度数据 $T_o(z)$ 以及这些油液温度数据的状态向量 $S_o(z)$ ；

$$T_o(z) = [t_o(1, z_1), t_o(2, z_2), \dots, t_o(N, z_N)]$$

$$S_o(z) = [s_o(1, z_1), s_o(2, z_2), \dots, s_o(N, z_N)]$$

S308、计算当前时刻油液温度数据 $t_o(j)$ 与历史最相近工况下油温数据 $t_o(j, z_j)$ 间的相近度 $d_j(t_o)$ 。

$$d_j(t_o) = \left| t_o(j, z_j) - t_o(j) \right|$$

$$d(t_o) = [d_1(t_o) \quad d_2(t_o) \quad \dots \quad d_N(t_o)]$$

其中， $j=1, 2, \dots, N$ ， $d(t_o)$ 为所有当前时刻油液温度数据与其历史最相近工况下油温数据间的相近度向量。

S4、根据步骤 S3 获得的相近度 $d_j(t_o)$ 对油液温度数据进行进一步分析判断；

S401、根据历史最相近工况下油液温度数据 $T_o(z)$ 的状态向量 $S_o(z)$ ，查找 $S_o(z)$ 中所有正常状态下的油液温度数据标签，即 $\{z_j | s_o(j, z_j) = 0\}$ ，和所有异常状态下的油液温度数据标签，即 $\{z_j | s_o(j, z_j) = 1\}$ ，计算正常状态下的 $d_j(t_o)$ 的均值和异常状态下的 $d_j(t_o)$ 均值；

$$d_{nor}(t_o) = \frac{1}{N - \sum_{j=1}^N s_o(j, z_j)} \sum_{j=1}^N d_j(t_o) (1 - \text{sgn}(s_o(j, z_j)))$$

$$d_{abnor}(t_o) = \frac{1}{\sum_{j=1}^N s_o(j, z_j)} \sum_{j=1}^N d_j(t_o) \text{sgn}(s_o(j, z_j))$$

$$N_{abnor} = \sum_{j=1}^N s_o(j, z_j)$$

其中， $d_{nor}(t_o)$ 为正常状态下油液温度数据的相近度均值； $d_{abnor}(t_o)$ 为异常状态下油液温度数据的相近度均值； N_{abnor} 为 $T_o(z)$ 中异常数据的个数。

S402、设置异常数据量阈值系数 ε 和相近度阈值 δ ；

若 $\frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon$ 并且 $d_{abnor}(t_o) < \delta$ ，则当前时刻油液温度数据异常，给出油液温度异常预警；

若 $\frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon$ 并且 $d_{abnor}(t_o) \geq \delta$ ，则当前时刻油液温度数据正常；

若 $\frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon$ 并且 $d_{nor}(t_o) \leq \delta$ ，则当前时刻油液温度数据正常；

若 $\frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon$ 并且 $d_{nor}(t_o) > \delta$ ，则当前时刻油液温度数据异常，给出油液温度异常预警。

S5、采用步骤 S1~S4 的方法建立齿箱前端轴承温度预警模型、齿箱后端轴承温度预警模型、齿箱泵出口压力预警模型、齿箱进口压力预警模型；

S6、根据齿轮箱油液温度预警模型、前端轴承温度预警模型、后端轴承温度预警模型、油泵出口压力预警模型、油泵进口压力预警模型的输出结果，对齿轮箱运行状态进行综合评估；

S601、根据各预警模型的输出结果，计算油液温度、前端轴承温度、后端轴承温度、油泵出口压力和油泵进口压力的异常系数；

$$\eta(k) = \begin{cases} \frac{\delta}{d_{abnor}(k)}, & \frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon \text{ and } d_{abnor}(t_o) < \delta \\ 0, & \frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon \text{ and } d_{nor}(t_o) > \delta \\ 0, & \frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon \text{ and } d_{nor}(t_o) < \delta \\ \frac{d_{nor}(k)}{\delta}, & \frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon \text{ and } d_{nor}(t_o) > \delta \end{cases}$$

其中， $\eta(k)$ 为第 k 个监测参量的异常系数， $k = p_{oo}, p_{io}, t_o, t_{fb}, t_b$ ；

S602、根据上述 5 各监测参量的异常系数，计算齿轮箱综合异常系数 η ；

$$\eta = \frac{\eta(p_{oo}) + \eta(p_{io}) + \eta(t_o) + \eta(t_{fb}) + \eta(t_b)}{5}$$

S603、根据齿轮箱综合异常系数对齿轮箱运行状态进行综合判断。

通过设置齿轮箱异常阈值 η^* ，根据齿轮箱综合异常系数的大小实现对齿轮箱的故障预警，即： $\eta > \eta^*$ 时，给出齿轮箱故障预警。

本申请再一个实施例中，提供一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警系统，该系统能够用于实现上述基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法，具体的，该基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警系统包括数据模块、判断模块、计算模块、输出模块、预警模块以及评估模块。

其中，数据模块，确定齿轮箱运行状态监测参量，获取当前时刻齿轮箱运行监测数据，建立齿轮箱分析矩阵，选取待分析的目标监测参量并按从大到小的顺序进行排序，取排序后前 $\alpha\%$ 的数据，并计算对应的均值；

判断模块，判断数据模块选取的目标监测参量和均值是否存在异常，如果存在异常，输出预警结果，对齿轮箱运行状态进行综合评估；

计算模块，当判断模块目标监测参量不存在异常时，从齿轮箱历史运行监测数据中获取与当前时刻最相近的工况数据，并计算当前时刻油液温度数据与历史最相近工况下油液温度数据间的相近度；

输出模块，根据计算模块获得的相近度对目标监测参量进行判断，输出数据异常预警；

预警模块，基于数据模块、判断模块、计算模块和输出模块，分别建立齿箱前端轴承温度预警模型、齿箱后端轴承温度预警模型、齿箱泵出口压力预警模型和齿箱进口压力预警模型；

评估模块，根据预警模块建立的齿轮箱油液温度预警模型、前端轴承温度预警模型、后端轴承温度预警模型、油泵出口压力预警模型和油泵进口压力预警模型的输出结果，对齿轮

箱运行状态进行综合评估。

为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。通常在此处附图中的描述和所示的本申请实施例的组件可以通过各种不同的配置来布置和设计。因此，以下对在附图中提供的本申请的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本申请的范围，而是仅仅表示本申请的选定实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

请参阅图 2，正常情况，当前油温数据与历史最相近工况下的油温数据的误差平均值为： 1.26° ，相对误差：2.3%。

请参阅图 3，异常情况下，当前油温数据与历史最相近工况下的油温数据的误差平均值为： 5.71° ，相对误差 10.7%。

通过上面两幅图的对比分析可知，正常情况下，当前油温数据与历史最相近工况下的油温数据的相近度很高，二者的相对误差为 2.3%，由于历史油温数据为正常数据，而当前油温数据与历史油温数据非常相近，说明当前油温数据也为正常数据，不存在异常。

而在异常情况，当前油温数据与历史最相近工况下的油温数据的相近度相差较大，相对误差为 10.7%，同样由于历史油温数据为正常数据，而当前油温数据与历史油温数据相差较大，说明当前油温数据存在异常。

因此，可设置相对误差阈值（如设置为 6%），当当前油温数据与历史最相近工况下的油温数据的相对误差大于相对误差阈值时，即可判断当前油温数据存在异常。其他预警模型（前端轴承温度预警模型、齿箱后端轴承温度预警模型、齿箱泵出口压力预警模型和齿箱进口压力预警模型）的原理相同。

综上所述，本申请一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法及系统，能够自动识别与齿轮箱当前工况最为相近的历史工况，通过分析当前工况与历史最相近工况下目标监测数据间的差异性来实现齿轮箱的故障预警。基于本申请提出的历史数据纵向对比分析方法，分别建立了齿轮箱油液温度预警模型、前端轴承温度预警模型、齿箱后端轴承温度预警模型、齿箱泵出口压力预警模型和齿箱进口压力预警模型，通过融合各预警模型的输出结果，实现了对齿轮箱运行状态的综合评估。本申请算法复杂度低，计算效率高，通用性强，对各种机型、环境和不同工况下的数据均能适用。此外，本申请建立的预警模型无需训练，即不需要对历史数据进行离线训练，只需在线计算当前工况与历史工况间的相近度，利用历史数据的状态信息和历史数据与当前监测数据间的相近度即可准确辨识出各种工况下的正常数据和异常数据，进而实现对齿轮箱各监测参量异常状态的快速预警。

本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和 / 或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和 / 或方框图中的每一流程和 / 或方框、以及流程图和 / 或方框图中的流程和 / 或方框的结合。可提供这些计算机程序指令

到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和 / 或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

以上内容仅为说明本发明的技术思想，不能以此限定本申请的保护范围，凡是按照本发明提出的技术思想，在技术方案基础上所做的任何改动，均落入本申请权利要求书的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1.一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法，其特征在于，包括以下步骤：

S1、确定齿轮箱运行状态监测参量，获取当前时刻齿轮箱运行监测数据，建立齿轮箱分析矩阵，选取待分析的目标监测参量并按从大到小的顺序进行排序，取排序后前 $a\%$ 的数据，并计算对应的均值；

S2、判断步骤 S1 选取的目标监测参量和均值是否存在异常，如果存在异常，输出预警结果，对齿轮箱运行状态进行综合评估；

S3、当步骤 S2 目标监测参量不存在异常时，从齿轮箱历史运行监测数据中获取与当前时刻最相近的工况数据，并计算当前时刻油液温度数据与历史最相近工况下油液温度数据间的相近度；

S4、根据步骤 S3 获得的相近度对目标监测参量进行判断，输出数据异常预警；

S5、重复步骤 S1~S4，分别建立齿箱前端轴承温度预警模型、齿箱后端轴承温度预警模型、齿箱泵出口压力预警模型和齿箱进口压力预警模型；

S6、根据步骤 S5 建立的齿轮箱油液温度预警模型、前端轴承温度预警模型、后端轴承温度预警模型、油泵出口压力预警模型和油泵进口压力预警模型的输出结果，对齿轮箱运行状态进行综合评估。

2.根据权利要求 1 所述的基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法，其特征在于，步骤 S1 中，齿轮箱分析矩阵具体为：

$$C_j = [P, v, n, p_{oo}, p_{io}, t_o, t_{fb}, t_{rb}, t_e]_j$$

其中， $j=1,2,\dots,N$ ， N 为齿轮箱分析矩阵的数据的个数， P 为机组功率， v 为风速， n 为发电机转速， p_{oo} 为齿轮箱油泵出口压力， p_{io} 为齿轮箱油泵进口压力， t_o 为齿轮箱油液温度， t_{fb} 为齿轮箱前端轴承温度， t_{rb} 为齿箱后端轴承温度， t_e 为机舱温度。

3.根据权利要求 1 所述的基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法，其特征在于，步骤 S1 中，排序后的目标监测参量具体为：

$$t_{o,ranked} = [t_{o1}, t_{o2}, \dots, t_{oN}]$$

$$t_{o,a} = [t_{o1}, t_{o2}, \dots, t_{[a\%*N]}]$$

$$\overline{t_{o,a}} = \frac{1}{[a\%*N]} \sum_{j=1}^{[a\%*N]} t_{oj}$$

其中， $t_{o1} < t_{o2} < \dots < t_{oN}$ ， t_{oj} 为排序后的油液温度数据中第 j 个数据； $t_{o,a}$ 为排序后的油液温度数据中前 $a\%$ 的数据； $[a\%*N]$ 为 $a\%*N$ 后取整； $\overline{t_{o,a}}$ 为排序后前 $a\%$ 的油液温度数据的均值。

4.根据权利要求 1 所述的基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法，其特征在于，步骤 S2 具体为：

S201、获取油液温度报警阈值 $t_o(\max)$ 和 $t_o(\min)$ ，其中， $t_o(\max)$ 为报警上限阈值， $t_o(\min)$ 为报警下限阈值，并设置阈值系数 b ；

S202、若 $\overline{t_{o,a}} > b * t_o(\max)$ 或者 $\overline{t_{o,a}} < b * t_o(\min)$ ，油液温度数据存在高温或低温异常，转至步骤 S3；

S203、若 $b * t_o(\min) \leq \overline{t_{o,a}} \leq b * t_o(\max)$ ，油液温度数据正常，结束油液温度异常分析。

5.根据权利要求 1 所述的基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法，其特征在于，步骤 S3 具体为：

S301、对于齿轮箱历史运行监测数据，查找 1 年前相同时间段内的数据，以 1 年前相同时间段内的数据为中心获取齿轮箱前 m 天和后 m 天的所有历史运行监测数据；

S302、根据实时监测数据建立相对于齿轮箱目标监测参量的当前工况数据矩阵，利用步骤 S301 得到的齿轮箱前 m 天和后 m 天的所有历史运行监测数据建立相对于齿轮箱目标监测参量的历史工况数据矩阵；

S303、对步骤 S302 建立的当前工况数据矩阵和历史工况数据矩阵进行归一化处理；

S304、对当前工况下的每一条数据，计算每一条数据与所有历史工况数据之间的相近度；

S305、获取步骤 S304 得到的相近度向量中最小值，并确定最小值所对应的历史工况数据，将历史工况数据作为与当前工况数据最相近的工况；

S306、根据步骤 S305 确定的历史工况数据，获取历史工况下的目标监测参量以及目标监测参量所对应的状态；

S307、根据步骤 S301~S306 获取所有与当前工况最相近的历史工况下的目标监测参量以及目标监测参量的状态向量；

S308、计算当前时刻目标监测参量与历史最相近工况下目标监测参量间的相近度。

6.根据权利要求 5 所述的基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法，其特征在于，步骤 S308 中，相近度 $d_j(t_o)$ 具体为：

$$d_j(t_o) = \left| \left(t_o(j, z_j) - t_o(j) \right) \right|$$

$$d(t_o) = \left[d_1(t_o) \quad d_2(t_o) \quad \cdots \quad d_N(t_o) \right]$$

其中， $j=1,2,\dots,N$ ， $d(t_o)$ 为所有当前时刻目标监测参量与历史最相近工况下目标监测参量之间的相近度向量， $t_o(j, z_j)$ 为历史工况下的油液温度数据， $t_o(j)$ 为当前时刻油液温度数据。

7.根据权利要求 1 所述的基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法，其特征在于，步骤 S4 具体为：

S401、根据历史最相近工况下目标监测参量的状态向量，查找状态向量中所有正常状态下的目标监测参量标签，以及所有异常状态下的目标监测参量标签，计算正常状态下的相近度均值和异常状态下的相近度均值；

S402、设置异常数据量阈值系数 ε 和相近度阈值 δ ；若 $\frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon$ 并且 $d_{abnor}(t_o) < \delta$ ， N_{abnor} 为历史工况下的油液温度数据中异常数据的个数， N 为齿轮箱分析矩阵的数据个数， $d_{abnor}(t_o)$ 为异常状态下油液温度数据的相近度均值，当前时刻目标监测参量异常，给出目标监测参量异常预警；若 $\frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon$ 并且 $d_{abnor}(t_o) \geq \delta$ ，当前时刻目标监测参量正常；若 $\frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon$ 并且

$d_{nor}(t_o) \leq \delta$, $d_{nor}(t_o)$ 为正常状态下油液温度数据的相近度均值, 当前时刻目标监测参量正常;
若 $\frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon$ 并且 $d_{nor}(t_o) > \delta$, 当前时刻目标监测参量异常, 给出目标监测参量异常预警。

8. 根据权利要求 1 所述的基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法, 其特征在于, 步骤 S6 具体为:

S601、根据各预警模型的输出结果, 计算油液温度、前端轴承温度、后端轴承温度、油泵出口压力和油泵进口压力的异常系数;

S602、根据步骤 S601 得到的异常系数, 计算齿轮箱综合异常系数 η ;

S603、根据齿轮箱综合异常系数 η 对齿轮箱运行状态进行综合判断。

9. 根据权利要求 8 所述的基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警方法, 其特征在于, 步骤 S601 中, 第 k 个监测参量的异常系数 $\eta(k)$ 为:

$$\eta(k) = \begin{cases} \frac{\delta}{d_{abnor}(k)}, & \frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon \text{ and } d_{abnor}(t_o) < \delta \\ 0, & \frac{N_{abnor}}{N} > \varepsilon \text{ and } d_{nor}(t_o) > \delta \\ 0, & \frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon \text{ and } d_{nor}(t_o) < \delta \\ \frac{d_{nor}(k)}{\delta}, & \frac{N_{abnor}}{N} \leq \varepsilon \text{ and } d_{nor}(t_o) > \delta \end{cases}$$

其中, $k = p_{oo}, p_{io}, t_o, t_{fb}, t_b$, p_{oo} 为齿轮箱油泵出口压力, p_{io} 为齿轮箱油泵进口压力, t_o 为齿轮箱油液温度, t_{fb} 为齿轮箱前端轴承温度, t_b 为齿轮箱油液温度, ε 为异常数据量阈值系数, δ 为相近度阈值, $d_{abnor}(k)$ 为异常状态下第 k 个油液温度数据的相近度均值, N_{abnor} 为历史工况下的油液温度数据中异常数据的个数, N 为齿轮箱分析矩阵的数据个数, $d_{abnor}(t_o)$ 为异常状态下油液温度数据的相近度均值, $d_{nor}(t_o)$ 为正常状态下油液温度数据的相近度均值。

10. 一种基于工况相似性评估的齿轮箱故障预警系统, 其特征在于, 包括:

数据模块, 确定齿轮箱运行状态监测参量, 获取当前时刻齿轮箱运行监测数据, 建立齿轮箱分析矩阵, 选取待分析的目标监测参量并按从大到小的顺序进行排序, 取排序后前 $\alpha\%$ 的数据, 并计算对应的均值;

判断模块, 判断数据模块选取的目标监测参量和均值是否存在异常, 如果存在异常, 输出预警结果, 对齿轮箱运行状态进行综合评估;

计算模块, 当判断模块目标监测参量不存在异常时, 从齿轮箱历史运行监测数据中获取与当前时刻最相近的工况数据, 并计算当前时刻油液温度数据与历史最相近工况下油液温度数据间的相近度;

输出模块, 根据计算模块获得的相近度对目标监测参量进行判断, 输出数据异常预警;

预警模块, 基于数据模块、判断模块、计算模块和输出模块, 分别建立齿箱前端轴承温度预警模型、齿箱后端轴承温度预警模型、齿箱泵出口压力预警模型和齿箱进口压力预警模型;

评估模块, 根据预警模块建立的齿轮箱油液温度预警模型、前端轴承温度预警模型、后端轴承温度预警模型、油泵出口压力预警模型和油泵进口压力预警模型的输出结果, 对齿轮

箱运行状态进行综合评估。

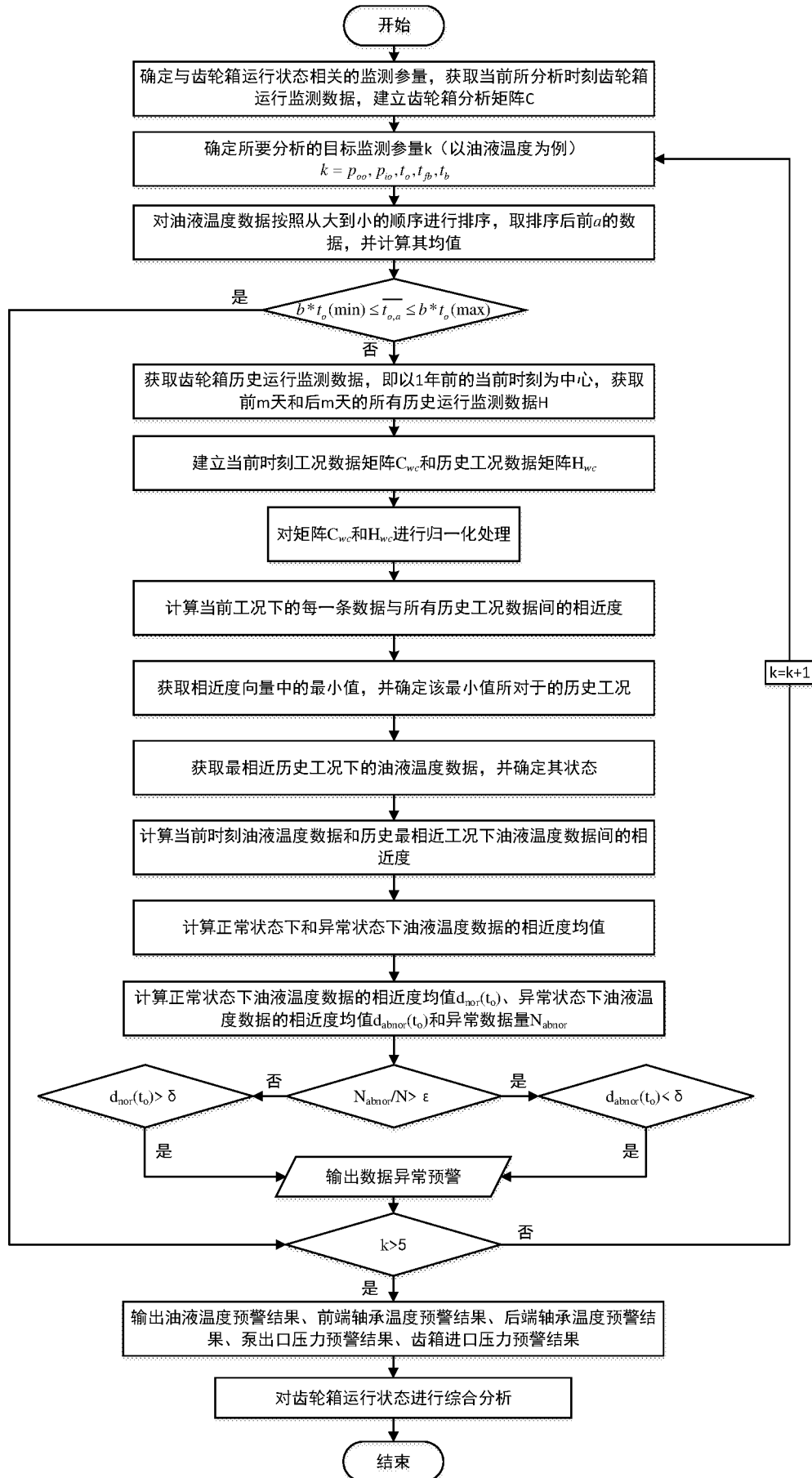


图 1

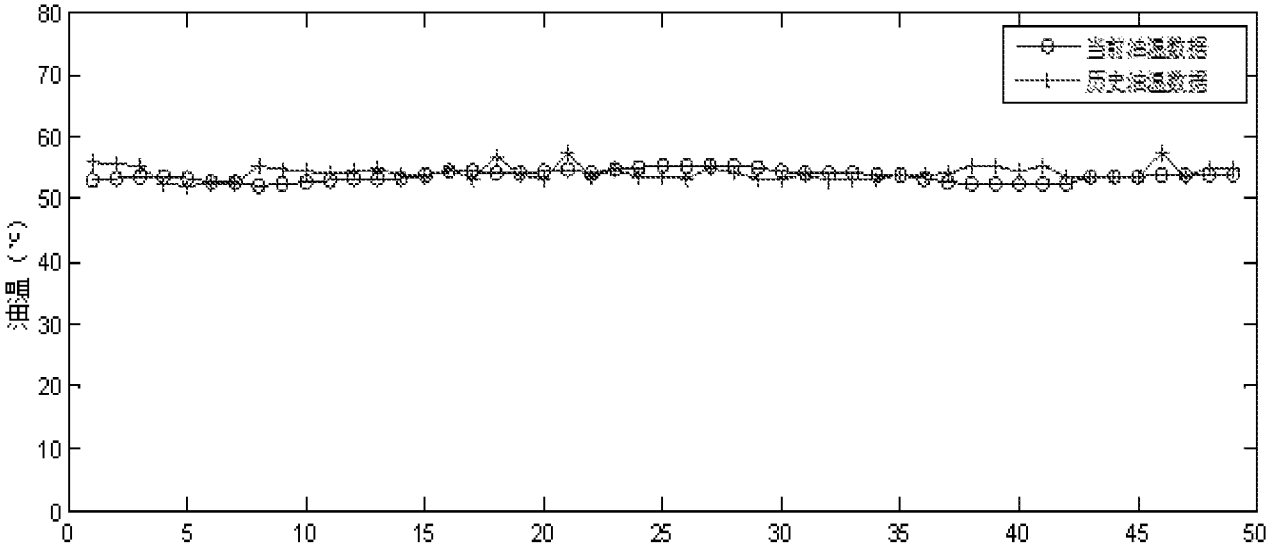


图 2

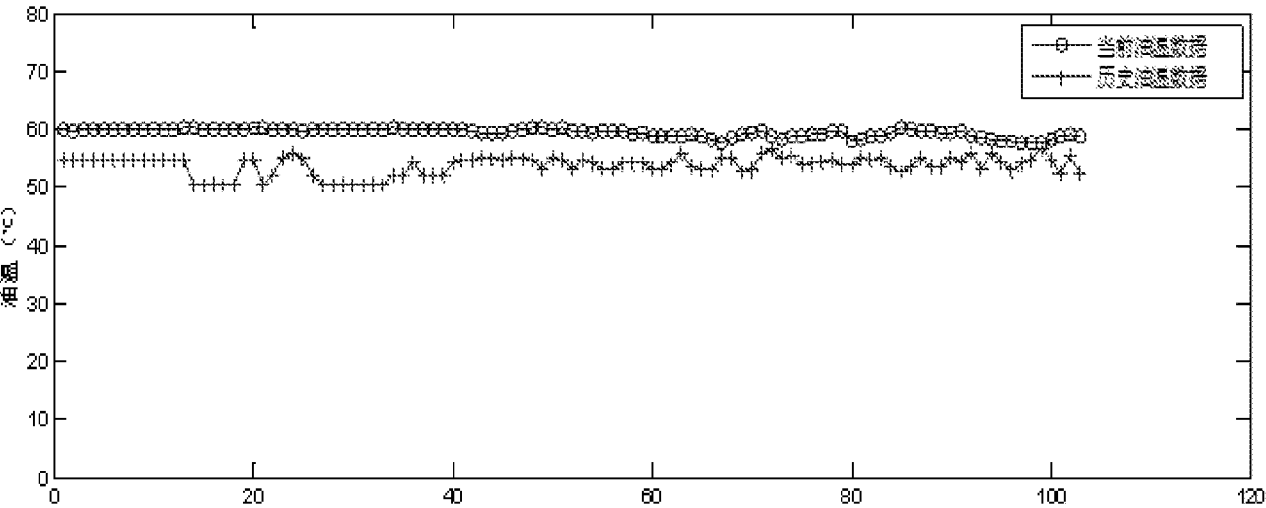


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/103071

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M 13/021(2019.01)i; G01M 13/04(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)

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)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 西安热工研究院有限公司, 汪臻, 邓巍, 赵勇, 相似度, 相似性, 匹配度, 相关度, 相关性, 近似度, 相似程度, 重合度, 相关系数, 相关程度, 类似度, 关联性, 相近度, 相近程度, 历史, 数据, 故障, 诊断, 评估, 预警, 齿轮, 轴承, 机械, 传动, 从大到小, 排序, 最大, 较大, 占比, 百分比, 比例, 均值, 平均, 特征值, 表征值, 特征参量, 目标参量, 比较值, gearbox, fault, warning, similarity, evaluation, historical

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 103294891 A (CHINA NATIONAL WATER RESOURCES & ELECTRIC POWER MATERIALS & EQUIPMENT CO., LTD. et al.) 11 September 2013 (2013-09-11) description, paragraphs [0028]-[0056], and figures 1-2	1-6, 8, 10
Y	CN 111595515 A (CRRC CHANGCHUN RAILWAY VEHICLES CO., LTD.) 28 August 2020 (2020-08-28) description, paragraphs [0002]-[0094], and figures 1-9	1-6, 8, 10
A	CN 103278728 A (GPC ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) 04 September 2013 (2013-09-04) entire document	1-10
A	CN 107526784 A (SHANGHAI UNIVERSITY OF ELECTRIC POWER) 29 December 2017 (2017-12-29) entire document	1-10
A	CN 110632457 A (HECHI POWER SUPPLY BUREAU OF GUANGXI POWER GRID CO., LTD.) 31 December 2019 (2019-12-31) entire document	1-10



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
 “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

13 December 2022

Date of mailing of the international search report

26 December 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/103071**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103226651 A (CHINA NATIONAL WATER RESOURCES & ELECTRIC POWER MATERIALS & EQUIPMENT CO., LTD. et al.) 31 July 2013 (2013-07-31) entire document	1-10
A	CN 111812636 A (HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY) 23 October 2020 (2020-10-23) entire document	1-10
A	US 2016369777 A1 (BIGWOOD TECHNOLOGY INC. et al.) 22 December 2016 (2016-12-22) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/103071

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	103294891	A	11 September 2013	None	
CN	111595515	A	28 August 2020	CN 111595515	B 19 April 2022
CN	103278728	A	04 September 2013	CN 103278728	B 16 September 2015
CN	107526784	A	29 December 2017	None	
CN	110632457	A	31 December 2019	None	
CN	103226651	A	31 July 2013	None	
CN	111812636	A	23 October 2020	None	
US	2016369777	A1	22 December 2016	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/103071

A. 主题的分类 G01M 13/021(2019.01)i; G01M 13/04(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) 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)) CNPAT, CNKI, WPI, EP0D0C: 西安热工研究院有限公司, 汪臻, 邓巍, 赵勇, 相似度, 相似性, 匹配度, 相关度, 相关性, 近似度, 相似程度, 重合度, 相关系数, 相关程度, 类似度, 关联性, 相近度, 相近程度, 历史, 数据, 故障, 诊断, 评估, 预警, 齿轮, 轴承, 机械, 传动, 从大到小, 排序, 最大, 较大, 占比, 百分比, 比例, 均值, 平均, 特征值, 表征值, 特征参量, 目标参量, 比较值, gearbox, fault, warning, similarity, evaluation, historical		
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	CN 103294891 A (中国水利电力物资有限公司 等) 2013年9月11日 (2013 - 09 - 11) 说明书第[0028]-[0056]段, 图1-2	1-6、8、10
Y	CN 111595515 A (中车长春轨道客车股份有限公司) 2020年8月28日 (2020 - 08 - 28) 说明书第[0002]-[0094]段, 图1-9	1-6、8、10
A	CN 103278728 A (广东电网公司电力科学研究院) 2013年9月4日 (2013 - 09 - 04) 全文	1-10
A	CN 107526784 A (上海电力学院) 2017年12月29日 (2017 - 12 - 29) 全文	1-10
A	CN 110632457 A (广西电网有限责任公司河池供电局) 2019年12月31日 (2019 - 12 - 31) 全文	1-10
A	CN 103226651 A (中国水利电力物资有限公司 等) 2013年7月31日 (2013 - 07 - 31) 全文	1-10
☒ 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 “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 2022年12月13日		国际检索报告邮寄日期 2022年12月26日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 李若楠 电话号码 86-(10)-53962446

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
A	CN 111812636 A (杭州电子科技大学) 2020年10月23日 (2020 - 10 - 23) 全文	1-10
A	US 2016369777 A1 (BIGWOOD TECH. INC. 等) 2016年12月22日 (2016 - 12 - 22) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/103071

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	103294891	A	2013年9月11日	无	
CN	111595515	A	2020年8月28日	CN 111595515	B 2022年4月19日
CN	103278728	A	2013年9月4日	CN 103278728	B 2015年9月16日
CN	107526784	A	2017年12月29日	无	
CN	110632457	A	2019年12月31日	无	
CN	103226651	A	2013年7月31日	无	
CN	111812636	A	2020年10月23日	无	
US	2016369777	A1	2016年12月22日	无	