



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109813544 B

(45)授权公告日 2019.11.05

(21)申请号 201910231250.9

审查员 魏晓薇

(22)申请日 2019.03.26

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109813544 A

(43)申请公布日 2019.05.28

(73)专利权人 武汉众彝慧通科技有限公司

地址 430000 湖北省武汉市武昌区中北路
122号附88号九万里城市合伙人基地7
楼

(72)发明人 李年丰 田广礼

(74)专利代理机构 武汉经世知识产权代理事务

所(普通合伙) 42254

代理人 彭成

(51)Int.Cl.

G01M 13/00(2019.01)

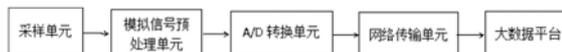
权利要求书3页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法及系统

(57)摘要

本发明涉及机械设备健康管理领域,公开了一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断及系统,包括采样单元、模拟信号预处理单元、A/D转换单元、网络传输单元、大数据平台。本发明具有以下优点和效果:本发明引入描述故障性质的特征指标的增量作为分析诊断的主要参量,提供了一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断及系统,满足旋转机械设备健康状态管理和预知维修对早期故障识别的需求,提高设备管理水平。



1. 一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法,包括以下步骤,

第一步,在线监测旋转机械健康状态指标,在各项状态指标运行过程中,根据所需趋势描述周期长短,设置不同周期,分别计算各状态指标在周期时间段内的平均值,以此为据,作出各状态指标的移动平均线;

第二步,按照设定时间周期,读取选定移动平均线上的数值 d ,并据此作出指标矩阵 D ,其元素 $d_{i,j}$ 为相应时间序号、指标序号所对应的 d 值,下标 i 代表时间序号,下标 j 代表指标序号,即

$$D = \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & \dots & d_{1,n} \\ d_{2,1} & d_{2,2} & \dots & d_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m,1} & d_{m,2} & \dots & d_{m,n} \end{bmatrix}$$

第三步,设定时间间隔 Δt ,计算指标增量与其初始值的百分比 e 值,即

$$e_{i,j} = (d_{i,j} - d_{i-\Delta t,j}) / d_{i-\Delta t,j} * 100$$

据此作出矩阵 E ,

$$E = \begin{bmatrix} e_{1,1} & \dots & e_{1,j} & \dots & e_{1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{i,1} & \dots & e_{i,j} & \dots & e_{i,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{m,1} & \dots & e_{m,j} & \dots & e_{m,n} \end{bmatrix}$$

其中 $e_{i,j}$ 时间序号为 i ,指标序号为 j 时对应的增量比值;

在此矩阵中,当某一行元素连续出现正值时,表示该指标存在劣化倾向;

第五步,根据各指标不同的敏感性,设置一组与之对应的阈值组,该阈值组是一个单行矩阵 H ,即

$$H = [h_1 \quad \dots \quad h_j \quad \dots \quad h_n], \text{式中下标 } j \text{ 为指标编号序号};$$

比较 D 矩阵各元素与 H 矩阵各阈值的大小,即 $d_{i,j} - h_j$,当 $d_{i,j} - h_j$ 大于0时,判断为设备出现早期故障,发出设备早期故障报警;

第六步,对在线监测所得的周期性指标进行频谱分析,得到各频率对应的幅值时序矩阵 $K = |k_{i,j}|$,即

$$K = \begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & \dots & k_{1,n} \\ k_{2,1} & k_{2,2} & \dots & k_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{m,1} & k_{m,2} & \dots & k_{m,n} \end{bmatrix}$$

及各频率对应的相位时序矩阵 $L = |l_{i,j}|$,即

$$L = \begin{bmatrix} l_{1,1} & l_{1,2} & \cdots & l_{1,n} \\ l_{2,1} & l_{2,2} & \cdots & l_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ l_{m,1} & l_{m,2} & \cdots & l_{m,n} \end{bmatrix}$$

第七步:对三相电流、电压进行负序计算,得到对应的正序、负序、零序电流、电压与电流、电压总值之比的时序矩阵R,即

$$R = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \cdots & r_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m,1} & r_{m,2} & \cdots & r_{m,n} \end{bmatrix}$$

第六步和第七步所得指标为派生指标;

第八步,按照以上第三步所设定的时间间隔 Δt ,计算以上派生指标的增量与其初始值的百分比值,并重新对所有派生指标进行编序,合并为一个派生指标增量矩阵P,矩阵P由在各元素行下标定义不变的前提下,将矩阵R加入到矩阵L后构成,使矩阵P的列数=矩阵L的列数+矩阵R列数,其元素为 $P_{i,j}$,其中下标i为时序编号,j为重新编制的派生指标序号,即

$$P = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{m,1} & p_{m,2} & \cdots & p_{m,n} \end{bmatrix}$$

第九步,合并矩阵E和矩阵P为矩阵Q,其原则是新的矩阵包含E和P的所有各列,并对所有指标重新编序,这样就组成了一个完整的描述设备状态的指标增量比值的矩阵Q,其元素为 $q_{i,j}$,下标i为时序号,下标j为所有指标重新编序后的序号;

第十步:确定描述故障类型与所有指标增量比值之间关系的矩阵S,其元素 $s_{i,j}$ 的下标i为所有指标重新编序后的序号,下标j为故障类型序号, $s_{i,j}$ 的赋值在-100——+100之间,负值表示负相关,0值表示不相关,正值表示正相关,100表示完全一致;

第十一步,求取诊断结果矩阵 $U=Q*S$,

$$U = Q * S = \begin{bmatrix} q_{1,1} & q_{1,2} & \cdots & q_{1,n} \\ q_{2,1} & q_{2,2} & \cdots & q_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_{m,1} & q_{m,2} & \cdots & q_{m,n} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} s_{1,1} & s_{1,2} & \cdots & s_{1,v} \\ s_{2,1} & s_{2,2} & \cdots & s_{2,v} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ s_{n,1} & s_{n,2} & \cdots & s_{n,v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{1,1} & u_{1,2} & \cdots & u_{1,v} \\ u_{2,1} & u_{2,2} & \cdots & u_{2,v} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{m,1} & u_{m,2} & \cdots & u_{m,v} \end{bmatrix}$$

其元素 $u_{i,j}$ 的下标i为时序编号,下标j为故障类型编号;

第十二步,对矩阵U进行解读,并编制诊断报告。

2. 根据权利要求1所述的一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法,其特征在于:第一步中,设备健康状态指标包括振动、温度、电流、电压、压力、流量中的一种或多种。

3. 根据权利要求1所述的一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法,其特征在于,第三步和第五步之间包括第四步,第四步,根据各指标不同的敏感性,设置一组与之对应的阈值组,该阈值组是一个单行矩阵G,即

$G = [g_1 \dots g_j \dots g_n]$, 式中下标j为指标编号序号;

比较E矩阵各行元素与G矩阵对应列元素的大小,即 $e_{i,j}-g_j$,当 $e_{i,j}-g_j$ 大于0,判断为设备出现健康状态劣化,发出设备异常预警。

4. 根据权利要求1所述的一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法,其特征在于:第三步中,时间间隔 Δt 为5分钟、10分钟、30分钟、60分钟、300分钟、1440分钟中的一种。

5. 根据权利要求1所述的一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法,其特征在于:矩阵S的数值来源为对按照本方法所建立的系统所有诊断事件以及与诊断对应的维修验证结果积累的数据的自学习而形成的知识积累与更新。

6. 根据权利要求1所述的一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法,其特征在于:矩阵S的初始数值来源为现有的理论、知识和经验的积累。

7. 一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断系统,能用权利要求1-6任意一种所述的基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法进行诊断,其特征在于:包括

采样单元,包含用于采集旋转机械组健康状态数据的传感器,并传送采集到的实时信号,用于完成所述第一步;

模拟信号预处理单元,用于接收采样单元传送的实时信号并进行预处理,使信号满足A/D转换单元的输入规范;

A/D转换单元,用于将模拟信号预处理单元输入的模拟信号转换为数字信号输出;

网络传输单元,为具有边缘计算能力的网络连接设备,用于读取A/D转换单元的数据,进行边缘计算,并与大数据平台互联,进行数据传输;

大数据平台,能进行大数据的储存、处理和计算,对设备状态辨识、跟踪、趋势分析和状态诊断,进行预警、报警及通知,故障诊断,编制报告;大数据平台用于完成所述第二步、第三步、第四步、第五步、第六步、第七步、第八步、第九步、第十步、第十一步、第十二步。

8. 一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断系统,能用权利要求1-6任意一种所述的基于在线监测的旋转机械早期故障诊断系统,其特征在于:包括

采样单元,包含用于采集旋转机械组健康状态数据的传感器,并传送采集到的实时信号;

模拟信号预处理单元,用于接收采样单元传送的实时信号并进行预处理,使信号满足A/D转换单元的输入规范;

A/D转换单元,用于将模拟信号预处理单元输入的模拟信号转换为数字信号输出;

网络传输单元,为具有边缘计算能力的网络连接设备,用于读取A/D转换单元的数据,进行边缘计算,并与大数据平台互联,进行数据传输;

网络传输单元的边缘计算功能用于完成所述第一步、第六步、第七步;

大数据平台,能进行大数据的储存、处理和计算,对设备状态辨识、跟踪、趋势分析和状态诊断,进行预警、报警及通知,故障诊断,编制报告;大数据平台用于完成所述第二步、第三步、第四步、第五步、第八步、第九步、第十步、第十一步、第十二步。

一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断及系统

技术领域

[0001] 本发明所属机械设备健康管理领域,具体涉及旋转机械健康状态在线监测过程中,对设备早期故障进行诊断的方法,应用范围为工业生产旋转设备健康管理及预测维修。

背景技术

[0002] 旋转机械设备健康状态一般描述为:状态正常(或细分为优秀、良好状态)、性能劣化、早期故障(可运行,需作维修安排)、故障中期(在采取合适措施后可运行)和故障加重期(制定预案后可短期运行,但应尽快停运维修)。长期以来,公知的故障诊断技术主要建立在时间断面数据的分析,即对当前的测量值,及这些测量值之间的关系进行分析,然后用这些分析结果与经典故障模型,或统计故障的特点进行对比,从而实现故障诊断。这些诊断方法一般适用于故障发展到中后期,故障特征比较明显的情况下进行诊断。设备故障进入中后期后,其生产效能降低,故障加速发展甚至失控的可能性加大,这给设备维修策略的制定,统筹安排生产和维修活动造成困难,不利于设备的状态管理和生产效能最大化。而对于早期故障,因特征指标不明显,某些早期故障甚至没有出现指标超标,公知的诊断技术的有效性低,对于设备状态的管理不具有指导意义。而且,一般的故障诊断系统,都是基于一类特征指标进行分析,例如震动分析诊断、电气量分析诊断等,相对信息量比较少,不利于故障原因的准确判断。虽然目前也有基于在线监测系统的诊断方法,也还未脱离以上分析诊断思路,难以正确判断早期故障。而设备故障处理的成本与故障的严重程度直接相关,尽早掌握设备的故障性质和原因,对于提高设备管理水平具有重要意义。

发明内容

[0003] 为克服目前公知方法中存在的不足,满足旋转设备健康状态管理和预知维修对早期故障识别的需要而发明的基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法,以及为应用这一方法而构建的系统,其核心内容是将引入描述故障性质的特征指标的增量作为分析诊断的主要参量。

[0004] 本发明的上述技术目的是通过以下技术方案得以实现的:一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法,包括以下步骤,

[0005] 第一步,在线监测旋转机械健康状态指标,在各项状态指标运行过程中,根据所需趋势描述周期长短,设置不同周期,分别计算各状态指标在周期时间段内的平均值,以此为据,作出各状态指标的移动平均线;

[0006] 第二步,按照设定时间周期,读取选定移动平均线上的数值 d ,并据此作出指标矩阵 D ,其元素 $d_{i,j}$ 为相应时间序号、指标序号所对应的 d 值,下标 i 代表时间序号,下标 j 代表指标序号,即

$$[0007] \quad D = \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & \dots & d_{1,n} \\ d_{2,1} & d_{2,2} & \dots & d_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m,1} & d_{m,2} & \dots & d_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0008] 第三步, 设定时间间隔 Δt , 计算指标增量与其初始值的百分比 e 值, 即

$$[0009] \quad e_{i,j} = (d_{i,j} - d_{i-\Delta t,j}) / d_{i-\Delta t,j} * 100$$

[0010] 据此作出矩阵 E ,

$$[0011] \quad E = \begin{bmatrix} e_{1,1} & \dots & e_{1,j} & \dots & e_{1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{i,1} & \dots & e_{i,j} & \dots & e_{i,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{m,1} & \dots & e_{m,j} & \dots & e_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0012] 其中 $e_{i,j}$ 时间序号为 i , 指标序号为 j 时对应的增量比值;

[0013] 在此矩阵中, 当某一行元素连续出现正值时, 表示该指标存在劣化倾向;

[0014] 第四步, 根据各指标不同的敏感性, 设置一组与之对应的阈值组, 该阈值组是一个单行矩阵 G , 即

$$[0015] \quad G = [g_1 \quad \dots \quad g_j \quad \dots \quad g_n], \text{ 式中下标 } j \text{ 为指标编号序号};$$

[0016] 比较 E 矩阵各行元素与 G 矩阵对应列元素的大小, 即 $e_{i,j} - g_j$, 当 $e_{i,j} - g_j$ 大于 0, 判断为设备出现健康状态劣化, 发出设备异常预警;

[0017] 第五步, 根据各指标不同的敏感性, 设置一组与之对应的阈值组, 该阈值组是一个单行矩阵 H , 即

$$[0018] \quad H = [h_1 \quad \dots \quad h_j \quad \dots \quad h_n], \text{ 式中下标 } j \text{ 为指标编号序号};$$

[0019] 比较 D 矩阵各元素与 H 矩阵各阈值的大小, 即 $d_{i,j} - h_j$, 当 $d_{i,j} - h_j$ 大于 0 时, 判断为设备出现早期故障, 发出设备早期故障报警;

[0020] 第六步, 对在线监测所得的周期性指标进行频谱分析, 得到各频率对应的幅值时序矩阵 $K = |k_{i,j}|$, 即

$$[0021] \quad K = \begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & \dots & k_{1,n} \\ k_{2,1} & k_{2,2} & \dots & k_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{m,1} & k_{m,2} & \dots & k_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0022] 及各频率对应的相位时序矩阵 $L = |l_{i,j}|$, 即

$$[0023] \quad L = \begin{bmatrix} l_{1,1} & l_{1,2} & \dots & l_{1,n} \\ l_{2,1} & l_{2,2} & \dots & l_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{m,1} & l_{m,2} & \dots & l_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0024] 第七步: 对三相电流、电压进行负序计算, 得到对应的正序、负序、零序电流、电压

与电流、电压总值之比的时序矩阵R,即

$$[0025] \quad R = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \cdots & r_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m,1} & r_{m,2} & \cdots & r_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0026] 第六步和第七步所得指标为派生指标;

[0027] 第八步,按照以上第三步所设定的时间间隔 Δt ,计算以上派生指标的增量与其初始值的百分比值,并重新对所有派生指标进行编序,合并为一个派生指标增量矩阵P,矩阵P由在各元素行下标定义不变的前提下,将矩阵R加入到矩阵L后构成,使矩阵P的列数=矩阵L的列数+矩阵R列数,其元素为 $P_{i,j}$,其中下标i为时序编号,j为重新编制的派生指标序号,即

$$[0028] \quad P = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{m,1} & p_{m,2} & \cdots & p_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0029] 第九步,合并矩阵E和矩阵P为矩阵Q,其原则是新的矩阵包含E和P的所有各列,并对所有指标重新编序,这样就组成了一个完整的描述设备状态的指标增量比值的矩阵Q,其元素为 $q_{i,j}$,下标i为时序号,下标j为所有指标重新编序后的序号;

[0030] 第十步:确定描述故障类型与所有指标增量比值之间关系的矩阵S,其元素 $s_{i,j}$ 的下标i为所有指标重新编序后的序号,下标j为故障类型序号, $s_{i,j}$ 的赋值在-100——+100之间,负值表示负相关,0值表示不相关,正值表示正相关,100表示完全一致;

[0031] 第十一步,求取诊断结果矩阵 $U=Q*S$,

$$[0032] \quad U = Q * S = \begin{bmatrix} q_{1,1} & q_{1,2} & \cdots & q_{1,n} \\ q_{2,1} & q_{2,2} & \cdots & q_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_{m,1} & q_{m,2} & \cdots & q_{m,n} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} s_{1,1} & s_{1,2} & \cdots & s_{1,v} \\ s_{2,1} & s_{2,2} & \cdots & s_{2,v} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ s_{n,1} & s_{n,2} & \cdots & s_{n,v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{1,1} & u_{1,2} & \cdots & u_{1,v} \\ u_{2,1} & u_{2,2} & \cdots & u_{2,v} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{m,1} & u_{m,2} & \cdots & u_{m,v} \end{bmatrix}$$

[0033] 其元素 $u_{i,j}$ 的下标i为时序编号,下标j为故障类型编号;

[0034] 第十二步,对矩阵U进行解读,并编制诊断报告。

[0035] 本发明的进一步设置为:第一步中,设备健康状态指标包括振动、温度、电流、电压、压力、流量中的一种或多种。

[0036] 本发明的进一步设置为:第三步中,时间间隔 Δt 为5分钟、10分钟、30分钟、60分钟、300分钟、1440分钟中的一种。

[0037] 本发明的进一步设置为:矩阵S的数值来源为对按照本方法所建立的系统所有诊断事件以及与诊断对应的维修验证结果积累的数据的自学习而形成的知识积累与更新。

[0038] 本发明的进一步设置为:矩阵S的初始数值来源为现有的理论、知识和经验的积累。

[0039] 本发明的另一个目的在于提供一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断系统,能用上述基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法进行诊断,包括采样单元,包含用于

采集旋转机械组健康状态数据的传感器,并传送采集到的实时信号,用于完成所述第一步;模拟信号预处理单元,用于接收采样单元传送的实时信号并进行预处理,使信号满足A/D转换单元的输入规范;A/D转换单元,用于将模拟信号预处理单元输入的模拟信号转换为数字信号输出;网络传输单元,为具有边缘计算能力的网络连接设备,用于读取A/D转换单元的数据,进行边缘计算,并与大数据平台互联,进行数据传输;大数据平台,能进行大数据的储存、处理和计算,对设备状态辨识、跟踪、趋势分析和状态诊断,进行预警、报警及通知,故障诊断,编制报告;大数据平台用于完成所述第二步、第三步、第四步、第五步、第六步、第七步、第八步、第九步、第十步、第十一步、第十二步。

[0040] 本发明的另一个目的在于提供一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断系统,上述基于在线监测的旋转机械早期故障诊断系统,包括采样单元,包含用于采集旋转机械组健康状态数据的传感器,并传送采集到的实时信号;模拟信号预处理单元,用于接收采样单元传送的实时信号并进行预处理,使信号满足A/D转换单元的输入规范;A/D转换单元,用于将模拟信号预处理单元输入的模拟信号转换为数字信号输出;网络传输单元,为具有边缘计算能力的网络连接设备,用于读取A/D转换单元的数据,进行边缘计算,并与大数据平台互联,进行数据传输;网络传输单元的边缘计算功能用于完成所述第一步、第六步、第七步;大数据平台,能进行大数据的储存、处理和计算,对设备状态辨识、跟踪、趋势分析和状态诊断,进行预警、报警及通知,故障诊断,编制报告;大数据平台用于完成所述第二步、第三步、第四步、第五步、第八步、第九步、第十步、第十一步、第十二步。

[0041] 本发明的有益效果是:本发明引入描述故障性质的特征指标的增量作为分析诊断的主要参量,提供了一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断及系统,满足旋转机械设备健康状态管理和预知维修对早期故障识别的需求,提高设备管理水平。

附图说明

[0042] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0043] 图1是实施例1的系统示意图。

[0044] 图2是实施例1的数据处理流程图。

具体实施方式

[0045] 下面将结合具体实施例对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明的实施例,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,都属于本发明保护的范围。

[0046] 实施例1:一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断系统,一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断系统,包括采样单元、模拟信号预处理单元、A/D转换单元、网络传输单元、大数据平台。

[0047] 采样单元包含用于采集旋转机械组健康状态数据的传感器,传感器的类型包括但

不限于电流、电压、温度、振动、压力、流量。采样单元的功能是从运转中的旋转机械组上采集能够描述旋转机械组健康状态的特征信号,将传感器安装在旋转机械相应的位置上,经有线或无线的方式与模拟信号预处理单元连接,并将采集到的实时信号传送到模拟信号预处理单元。

[0048] 模拟信号预处理单元包含对采样单元传送过来的信号进行预处理,使之满足后续A/D转换单元的输入规范,包含但不限于信号放大、电流/电压变换、电阻/电压变换。本单元的功能是将不同类别的信号处理为A/D转换单元设定的输入规范范围之内,包含但不限于信号放大器、量纲转换器。模拟信号预处理单元通过线路与A/D转换器连接,并将处理后的信号传送给A/D转换单元。

[0049] A/D转换单元包含A/D转换卡,其功能是将输入的模拟量变换成数字量,其特征是多路模拟信号输入,数字信号输出。A/D转换单元通过线路与网络传输单元连接。

[0050] 网络传输单元由具有边缘计算能力的网络连接设备构成,其功能是完成读取A/D转换器的数据,进行部分必要的边缘计算,以减少与大数据平台之间的数据交换量和大数据平台的数据储存量和运算量,并与大数据平台互联,进行数据传输。本单元的核心是边缘计算和网络连接。

[0051] 大数据平台包含大数据的储存、处理及计算能力。本单元是实现本发明所述功能的核心单元,其功能包括但不限于数据计算、分析,知识库的构建、管理,系统的自学习,知识库的补充、完善和纠错,对设备状态的辨识、跟踪、趋势分析和状态诊断,以及预警和报警及其通知,故障诊断,报告编制。

[0052] 一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法包括以下步骤,

[0053] 第一步,在线监测旋转机械健康状态指标,设备健康状态指标包括振动、温度、电流、电压、压力、流量中的一种或多种。在各项状态指标运行过程中,根据所需趋势描述周期长短,设置不同周期,分别计算各状态指标在周期时间段内的平均值,以此为据,作出各状态指标的移动平均线。基于在线监测的旋转机械早期故障诊断系统的采样单元用于完成第一步。

[0054] 第二步,按照设定时间周期,读取选定移动平均线上的数值d,并据此作出指标矩阵D,其元素 $d_{i,j}$ 为相应时间序号、指标序号所对应的d值,下标i代表时间序号,下标j代表指标序号,即

$$[0055] \quad D = \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & \dots & d_{1,n} \\ d_{2,1} & d_{2,2} & \dots & d_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m,1} & d_{m,2} & \dots & d_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0056] 第三步,设定时间间隔 Δt ,时间间隔 Δt 为5分钟、10分钟、30分钟、60分钟、300分钟、1440分钟中的一种,计算指标增量与其初始值的百分比e值,即

$$[0057] \quad e_{i,j} = (d_{i,j} - d_{i-\Delta t,j}) / d_{i-\Delta t,j} * 100$$

[0058] 据此作出矩阵E,

$$[0059] \quad E = \begin{bmatrix} e_{1,1} & \cdots & e_{1,j} & \cdots & e_{1,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{i,1} & \cdots & e_{i,j} & \cdots & e_{i,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{m,1} & \cdots & e_{m,j} & \cdots & e_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0060] 其中 $e_{i,j}$ 时间序号为 i ,指标序号为 j 时对应的增量比值;

[0061] 在此矩阵中,当某一行元素连续出现正值时,表示该指标存在劣化倾向,也就是说,设备的某方面性能开始下降。

[0062] 第四步,根据各指标不同的敏感性,设置一组与之对应的阈值组,该阈值组是一个单行矩阵 G ,即

$$[0063] \quad G = [g_1 \quad \cdots \quad g_j \quad \cdots \quad g_n], \text{式中下标 } j \text{ 为指标编号序号};$$

[0064] 比较 E 矩阵各行元素与 G 矩阵对应列元素的大小,即 $e_{i,j}-g_j$,当 $e_{i,j}-g_j$ 大于0,判断为设备出现健康状态劣化,发出设备异常预警;

[0065] 第五步,根据各指标不同的敏感性,设置一组与之对应的阈值组,该阈值组是一个单行矩阵 H ,即

$$[0066] \quad H = [h_1 \quad \cdots \quad h_j \quad \cdots \quad h_n], \text{式中下标 } j \text{ 为指标编号序号};$$

[0067] 比较 D 矩阵各元素与 H 矩阵各阈值的大小,即 $d_{i,j}-h_j$,当 $d_{i,j}-h_j$ 大于0时,判断为设备出现早期故障,发出设备早期故障报警;

[0068] 第六步,对在线监测所得的周期性指标进行频谱分析,得到各频率对应的幅值时序矩阵 $K = |k_{i,j}|$,即

$$[0069] \quad K = \begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & \cdots & k_{1,n} \\ k_{2,1} & k_{2,2} & \cdots & k_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ k_{m,1} & k_{m,2} & \cdots & k_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0070] 及各频率对应的相位时序矩阵 $L = |l_{i,j}|$,即

$$[0071] \quad L = \begin{bmatrix} l_{1,1} & l_{1,2} & \cdots & l_{1,n} \\ l_{2,1} & l_{2,2} & \cdots & l_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ l_{m,1} & l_{m,2} & \cdots & l_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0072] 第七步:对三相电流、电压进行负序计算,得到对应的正序、负序、零序电流、电压与电流、电压总值之比的时序矩阵 R ,即

$$[0073] \quad R = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \cdots & r_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m,1} & r_{m,2} & \cdots & r_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0074] 第六步和第七步所得指标为派生指标;

[0075] 第八步,按照以上第三步所设定的时间间隔 Δt ,计算以上派生指标的增量与其初始值的百分比值,并重新对所有派生指标进行编序,合并为一个派生指标增量矩阵P,矩阵P由在各元素行下标定义不变的前提下,将矩阵R加入到矩阵L后构成,使矩阵P的列数=矩阵L的列数+矩阵R列数,其元素为 $P_{i,j}$,其中下标i为时序编号,j为重新编制的派生指标序号,即

$$[0076] \quad P = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \cdots & P_{1,n} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \cdots & P_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{m,1} & P_{m,2} & \cdots & P_{m,n} \end{bmatrix}$$

[0077] 第九步,合并矩阵E和矩阵P为矩阵Q,其原则是新的矩阵包含E和P的所有各列,并对所有指标重新编序,这样就组成了一个完整的描述设备状态的指标增量比值的矩阵Q,其元素为 $q_{i,j}$,下标i为时序号,下标j为所有指标重新编序后的序号;

[0078] 第十步:确定描述故障类型与所有指标增量比值之间关系的矩阵S,其元素 $s_{i,j}$ 的下标i为所有指标重新编序后的序号,下标j为故障类型序号, $s_{i,j}$ 的赋值在-100——+100之间,负值表示负相关,0值表示不相关,正值表示正相关,100表示完全一致;

[0079] 矩阵S的数值来源途径有两种,其一是初始数值来源为现有的理论、知识和经验的积累,其二为对按照本方法所建立的系统所有诊断事件以及与诊断对应的维修验证结果积累的数据的自学习而形成的知识积累与更新。

[0080] 第十一步,求取诊断结果矩阵 $U=Q*S$,

$$[0081] \quad U = Q * S = \begin{bmatrix} q_{1,1} & q_{1,2} & \cdots & q_{1,n} \\ q_{2,1} & q_{2,2} & \cdots & q_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_{m,1} & q_{m,2} & \cdots & q_{m,n} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} s_{1,1} & s_{1,2} & \cdots & s_{1,v} \\ s_{2,1} & s_{2,2} & \cdots & s_{2,v} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ s_{n,1} & s_{n,2} & \cdots & s_{n,v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{1,1} & u_{1,2} & \cdots & u_{1,v} \\ u_{2,1} & u_{2,2} & \cdots & u_{2,v} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{m,1} & u_{m,2} & \cdots & u_{m,v} \end{bmatrix}$$

[0082] 其元素 $u_{i,j}$,的下标i为时序编号,下标j为故障类型编号;

[0083] 第十二步,对矩阵U进行解读,并编制诊断报告。

[0084] 一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断系统中的大数据平台用于完成基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法中的第二步、第三步、第四步、第五步、第六步、第七步、第八步、第九步、第十步、第十一步、第十二步。

[0085] 图2是实施例1的数据处理流程,数据采集处理并数据化以后,进行平滑处理;同时,将周期性数据进行频谱分析后,再进行平滑化处理;将三相电信号数据进行对称分量法运算后,再进行平滑化处理。

[0086] 所有信号数据平滑化处理后,进行设定时段的增长率计算。

[0087] 根据各种信号对设备健康状态变化的敏感度设定设备健康状态异常和设备早期故障的预警判据并对相应数据进行分析判断和预警、报警。

[0088] 所有描述设备健康状态的数据在设定时段的增量以矩阵Q形式进行表述,设备故障诊断知识也以矩阵S形式表述,并存储在知识库,故障诊断的运算是将上述两个矩阵进行乘法运算求取矩阵U,即 $U=Q*S$ 。矩阵的元素 $u_{i,j}$ 即为描述故障程度的量值,当该值小于等于0时,表示不存在j列类型故障,当 $u_{i,j}$ 大于0时,表示存在j列类型故障,该数值越大,故障程

度越严重。矩阵U的行序号i为时序编号,当矩阵U中存在多列大于0的元素时,各大于0的元素中,i值最小的元素所在行即为最早发生异常的因素。

[0089] 在上述过程中,数据存储系统分四批次存入过程数据,分别是:所有数据经平滑处理后进行存储,设备状态预警及其验证情况进行存储,设备故障报警及其验证情况进行存储,设备故障诊断结果及其验证情况进行存储。

[0090] 数据存储与学习模块对上述预警、报警及故障诊断及其结果所形成的大数据进行分析,自主学习,形成新的知识,这些知识经过一段设定过程的验证正确后,对知识库进行增补和修改、完善。

[0091] 实施例2:一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断系统,与实施例1的不同之处在于,网络传输单元的边缘计算功能用于完成一种基于在线监测的旋转机械早期故障诊断方法中的第一步、第六步、第七步,大数据平台用于完成第二步、第三步、第四步、第五步、第八步、第九步、第十步、第十一步、第十二步。

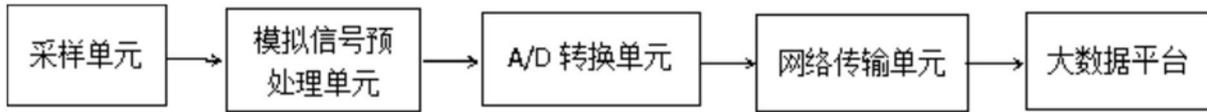


图1

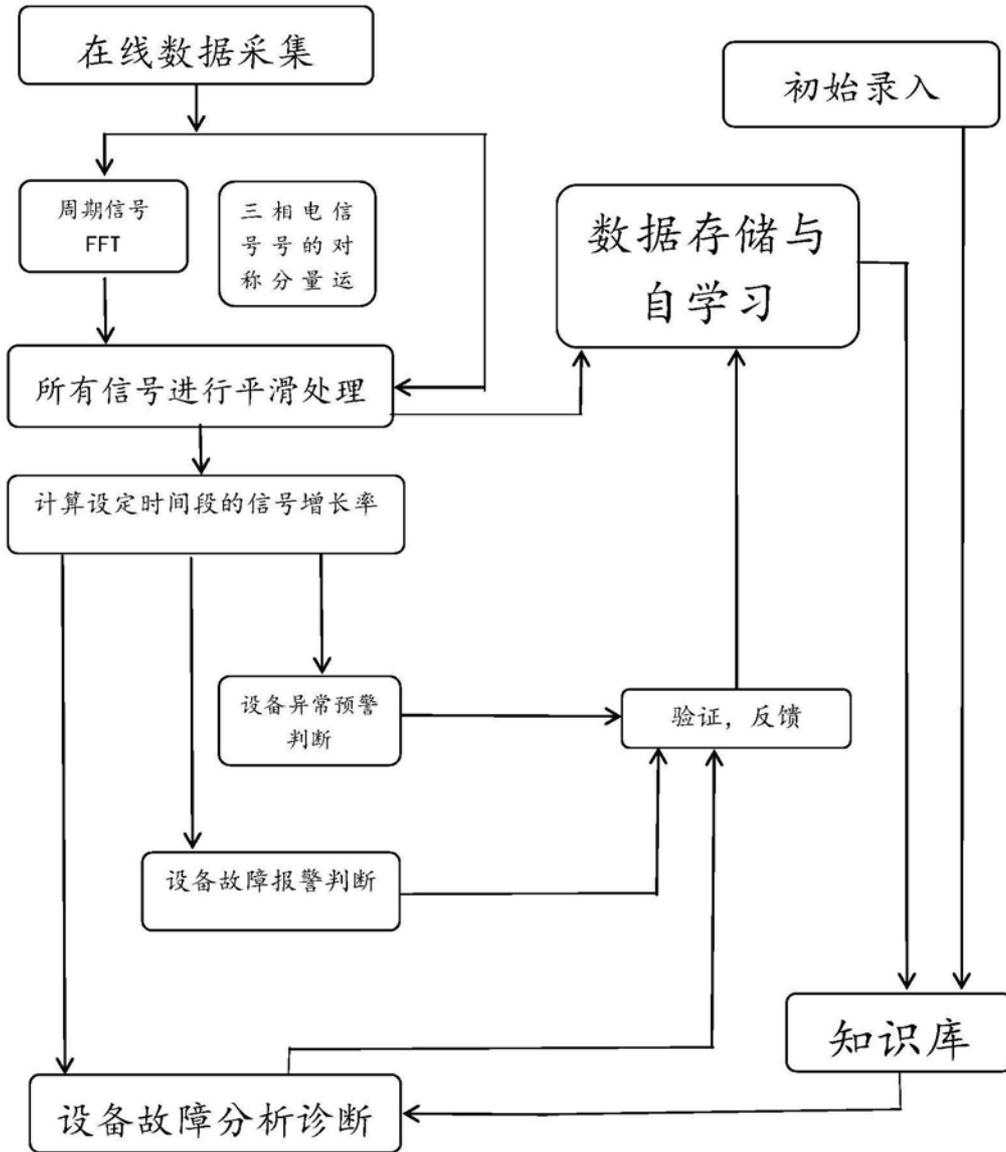


图2