(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110686830 B
(45)授权公告日 2021.07.13

(21)申请号 201911010143.X

(22)申请日 2019.10.23

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110686830 A

(43)申请公布日 2020.01.14

(73)专利权人 中船动力有限公司
地址 212002 江苏省镇江市润州区长江路402号

(72)发明人 蒋大伟 罗辉 丁乐中

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200
代理人 楼高潮

(51)Int.Cl.
G01M 3/02(2006.01)
G01M 15/05(2006.01)

(56)对比文件
CN 109839265 A,2019.06.04
CN 107861492 A,2018.03.30
CN 107167306 A,2017.09.15
CN 105736140 A,2016.07.06
CN 105510023 A,2016.04.20
CN 102889994 A,2013.01.23
US 2015049786 A1,2015.02.19
EP 1811161 A1,2007.07.25
赵晓平 等.旋转机械阶比跟踪技术研究进展综述.《地震工程与工程振动》.2008,第28卷(第6期),
蒋大伟.基于多传感器信息融合的柴油机配气机构故障诊断技术研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑》.2013,(第7期),

审查员 贺慧兰

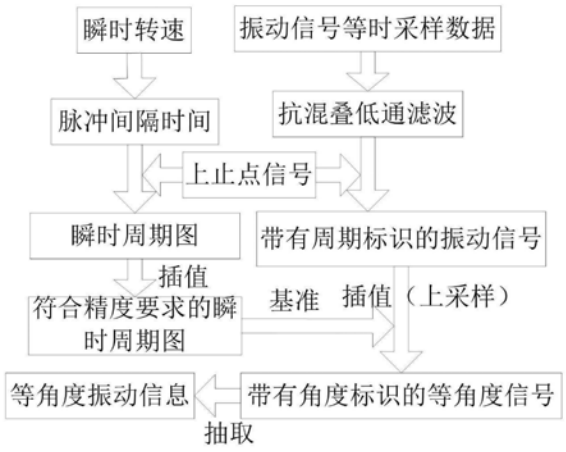
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

在线柴油机活塞环状态检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种在线柴油机活塞环状态检测方法,包括:通过传感器对柴油机的瞬时转速、缸盖振动、油耗、排温、冷却水温监测;将步骤1采集的信号转化成标准电信号;由数据采集卡对标准电信号进行采集及模数转换;通过对柴油机瞬时转速及气缸振动的耦合,将振动在时域内转化到与曲轴转角对应的角度域内进行阶比分析;测取正常情况下柴油机的阶比数据矩阵$A(\hat{R}(j)、a(j))$;带入公式将油耗x g/kWh、排温y K及冷却水温度z K变成裕度系数$\eta_1=((x/y)\times z)/H_1$,$\eta_2=((x/y)\times z)/H_2$;测取任意状态下阶比数据矩阵B,与ηA对比,如$B\notin(\eta_1A,\ \eta_2A)$即判断柴油机活塞环存在异常。本发明实现对活塞环漏气故障进行预判。



CN 110686830 B

1.一种在线柴油机活塞环状态检测方法，其特征在于，包括：

步骤1、通过传感器对柴油机的瞬时转速、气缸振动、油耗、排温、冷却水温度监测；

步骤2、将步骤1采集的信号转化成标准电信号；

步骤3、由数据采集卡对标准电信号进行采集及模数转换；

步骤4、通过对柴油机瞬时转速及气缸振动的耦合，将其中振动在时域内转化到与曲轴转角对应的角度域内进行阶比分析；

步骤5、测取正常情况下柴油机的阶比数据矩阵$A(\hat{R}(j)、a(j))$；$\hat{R}(j)$为采样角度，a(j)为振动幅值；

步骤6、将油耗x其单位为g/kWh、排温y其单位为K、冷却水温度z其单位为K代入公式变成裕度系数

$\eta_1=((x/y)\times z)/H_1$，

$\eta_2=((x/y)\times z)/H_2$，

H为常数，根据各机型而定；

步骤7、测取任意状态下阶比数据矩阵B，与ηA对比，如$B\notin(\eta_1A,\ \eta_2A)$即判断柴油机活塞环存在异常。

2.如权利要求1所述的在线柴油机活塞环状态检测方法，其特征在于，所述步骤4通过以下步骤完成：

1)瞬时转速异常值剔除

柴油机瞬时转速测量时，测量的是由信号调理板转化后的脉冲频率，剔除明显异常值后，寻找其它异常值时，使用差分统计，首先将瞬时转速后向差分

$$X(i)=x(i)-x(i+1) \qquad (1)$$

x(i)为第i个瞬时转速值，X(i)为第i与第i+1齿之间的转速变化量，因为转速的变化不可能无限制大的，正常情况下符合正态分布，剔除异常值属于单正态总体方差置信区间问题，设总体$X\sim N(\mu,\sigma^2)$，其中μ,σ^2未知，$X_1,X_2,\cdots,X_n$是取自总体X的一个样本，求方差σ^2的置信度为α的置信区间，σ^2的无偏估计为S^2，有

$$\frac{n-1}{\sigma^2}S^2\sim\chi^2(n-1) \qquad (2)$$

对给定的置信水平1-α，由

$$P\left\{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)<\frac{n-1}{\sigma^2}S^2<\chi^2_{\alpha/2}(n-1)\right\}=1-\alpha,$$

$$P\left\{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)}<\sigma^2<\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}\right\}=1-\alpha, \qquad (3)$$

于是方差σ^2的1-α置信区间为

$$\left(\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)},\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}\right) \qquad (4)$$

而标准差σ的1-α置信区间

$$\left(\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)}},\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}}\right). \quad (5)$$

当找出异常点后，要将异常点所占用的时间合并给其后一个正常测量值，并将由转速传感器所测量的脉冲周期值前移一个，设x(i)为异常值，还原后x(i)为

$$x(i)=\frac{x(i)+x(i+1)}{x(i)x(i+1)} \quad (6)$$

2)基于重采样的计算阶比

将振动信号从时域转化到角度域内是为了准确定位和获取故障段内信号，是特征提取的第一步；它是从等时间间隔采样的数据出发进行数字重采样获得到带有角度标识的等角度间隔数据的过程，即计算阶比跟踪；使用重采样计算，该算法将插值和抽取合并唯一，其流程为：

(1)利用上止点信号截取出720度内的瞬时转速N_i和振动信号X(t)；

(2)由瞬时转速N_i求出每个脉冲间隔T_i，其中i＝1,2,3…269；

$$T_i=\frac{60}{N_i\cdot z} \quad (7)$$

式中z-----齿轮盘齿数

(3)求出每个齿角度段内的瞬时周期值Γ_i，即每个齿角度段内柴油机转过单位度数所需时间

$$\Gamma_i=\frac{T_i\cdot z}{360} \quad (8)$$

(4)确定每个齿的中间曲轴转角度数R_i；

(5)设定的角度分辨率值Δ，确定插值点序列$\hat{R}_j$，求出每Δ段内柴油机转单位度数需时间$\hat{\Gamma}$，其中j＝1,2,3…720/Δ，$\hat{R}_1=\Delta,\hat{R}_2=2\Delta,\hat{R}_3=3\Delta\cdots$，$k=0,1,2,\cdots,n-1$，

$$\hat{\Gamma}_j=-\frac{(\hat{R}_j-R_{k+1})^3}{6h_k}m_k+\frac{(\hat{R}_j-R_k)^3}{6h_k}m_{k+1}-(\Gamma_k-\frac{h_k^2}{6}m_k)\frac{\hat{R}_j-R_{k+1}}{h_k}+(\Gamma_k-\frac{h_k^2}{6}m_{k+1})\frac{\hat{R}_j-R_k}{h_k}(R_k\le\hat{R}_j\le R_{k+1}) \quad (9)$$

对横坐标为R纵坐标为Γ的采样数据做三次样条插值，得出新的坐标数组$\hat{R}$和$\hat{\Gamma}$；

(6)根据振动信号X(t)的采样频率求出采样间隔时间

t＝1/f (10)

式中f-----振动采样频率

(7)计算$\hat{R}(j)$角度时振动信号量：

$$T_0=\sum_{j=1}^{n}\hat{\Gamma}(j)\times\Delta \quad (11)$$

k＝T_0/t,m＝T_0%t (12)

$$a(j)=\frac{X(t_{k+1})-X(t_k)}{t}\cdot m \tag{13}$$

$\hat{R}(j)$和a(j)分别为重采样后的横纵坐标，$\hat{R}(j)$为采样角度，a(j)为振动幅值。

在线柴油机活塞环状态检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种在线柴油机活塞环状态检测方法，属于内燃机及海洋设备技术领域。

背景技术

[0002] 柴油机活塞环检测实际上技术核心是特征提取及特征分析，是智能柴油机发展的主要方向。

[0003] 现代大型柴油机是一个包含材料学，机械学，电子控制等多个多学科为一体的复杂的非线性系统，它包含多个子系统，且个各子系统相互作用，柴油机在运行期间是由机械结构和电控单元协调个部件按一定时序工作，然而随着机械结构的磨损或电控单元的不准确或不稳定，就导致各系统不能及时有效的工作，系统间又是相互耦合的，一个系统的不正常，会影响到其他系统，表现出其它的故障现象。导致故障的起因和故障表现不能一一对应，出现一因多果、和一果多因的现象，所以很多情况都是柴油机某些零部件彻底损坏后才会被发现或定位，此时已经造成比较大的损失。所以柴油机的管理从“事后维修”需要向“事前维护”方向转变。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种在线柴油机活塞环状态检测方法，实现对活塞环漏气故障进行预判，从而提醒用户进行提前检修更换从而减少维修成本。

[0005] 本发明的目的通过以下技术方案予以实现：

[0006] 一种在线柴油机活塞环状态检测方法，包括：

[0007] 1、通过传感器对柴油机的瞬时转速、缸盖振动、油耗、排温、冷却水温监测；

[0008] 2、将步骤1采集的信号转化成标准电信号；

[0009] 3、由数据采集卡对标准电信号进行采集及模数转换；

[0010] 4、通过对柴油机瞬时转速及气缸振动的耦合，将其中振动在时域内转化到与曲轴转角对应的角度域内进行阶比分析；

[0011] 5、测取正常情况下柴油机的阶比数据矩阵$A(\hat{R}(j)、a(j))$；

[0012] 6、带入公式将油耗x g/kWh、排温y K及冷却水温度z K变成裕度系数

[0013] $\eta_1=((x/y)\times z)/H_1$，

[0014] $\eta_2=((x/y)\times z)/H_2$，

[0015] H为常数，根据各机型而定；

[0016] 7、测取任意状态下阶比数据矩阵B，与ηA对比，如$B\notin(\eta_1A,\ \eta_2A)$即判断柴油机活塞环存在异常。

[0017] 本发明的目的还可以通过以下技术措施来进一步实现：

[0018] 前述在线柴油机活塞环状态检测方法，步骤4通过以下步骤完成：

[0019] 1)瞬时转速异常值剔除

[0020] 柴油机瞬时转速测量时,测量的是由信号调理板转化后的脉冲频率,然而在实际测量中,由于传感器的振动或者调理板受到电磁干扰,会出现脉冲丢失或者脉冲增多现象,表现在数据上面,就是在两个上止点信号之间的瞬时转速值或周期值不是测速齿轮的齿数;然而增加的脉冲周期值和柴油机转速无关,通常表现为特别大的异常值,有这些原因的存在,使得直接使用测量数据进行阶比跟踪会对计算精度产生很大影响。剔除明显异常值后,寻找其它异常值时,使用差分统计,首先将瞬时转速后向差分

[0021] $X(i)=x(i)-x(i+1)$ (4-1)

[0022] x(i)为第i个瞬时转速值,X(i)为第i与第i-1齿之间的转速变化量,因为转速的变化不可能无限制大的,正常情况下符合正态分布,剔除异常值属于单正态总体方差置信区间问题,设总体$X\sim N(\mu,\sigma^2)$,其中μ,σ^2未知,$X_1,X_2,\cdots,X_n$是取自总体X的一个样本.求方差σ^2的置信度为1-α的置信区间.σ^2的无偏估计为S^2,有

[0023] $$\frac{n-1}{\sigma^2}S^2\sim\chi^2(n-1) \qquad (4-2)$$

[0024] 对给定的置信水平1-α,由

[0025] $$P\left\{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)<\frac{n-1}{\sigma^2}S^2<\chi^2_{\alpha/2}(n-1)\right\}=1-\alpha,$$
$$P\left\{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)}<\sigma^2<\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}\right\}=1-\alpha, \qquad (4-3)$$

[0026] 于是方差σ^2的1-α置信区间为

[0027] $$\left(\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)},\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}\right) \qquad (4-4)$$

[0028] 而方差σ的1-α置信区间

[0029] $$\left(\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)}},\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}}\right). \qquad (4-5)$$

[0030] 当找出异常点后,要将异常点所占用的时间合并给其后一个正常测量值,并将所有值前移一个,设x(i)为异常值,还原后x(i)为

[0031] $$x(i)=\frac{x(i)+x(i+1)}{x(i)x(i+1)} \qquad (4-6)$$

[0032] 2)基于重采样的计算阶比

[0033] 将振动信号从时域转化到角度域内是为了准确定位和获取故障段内信号,是特征提取的第一步;它是从等时间间隔采样的数据出发进行数字重采样获得到带有角度标识的等角度间隔数据的过程,即计算阶比跟踪;使用重采样计算,该算法将插值和抽取合并唯一,其流程为:

[0034] (1)利用上至点信号截取出720度内的瞬时转速数据N和振动信号X(t);

[0035] (2)由瞬时转速N_i求出每个脉冲间隔T_i,其中i=1,2,3…269.;

[0036] $$T_i=\frac{60}{N_i\cdot z} \qquad (4-7)$$

[0037] 式中z-----齿轮盘齿数

[0038] (3)求出每个齿角度段内的瞬时周期值Γ_i,即每个齿段内柴油机转过单位度数所需时间

[0039] $$\Gamma_i = \frac{T_i \cdot z}{360} \qquad (4\text{-}8)$$

[0040] (4)确定每个齿的中间曲轴转角度数R_i;

[0041] (5)设定的角度分辨率值Δ,确定插值点序列$\hat{R}_j$,求出每Δ段内柴油机转单位度数需时间$\hat{\Gamma}$,其中j=1,2,3…720/Δ,$\hat{R}_1 = \Delta, \hat{R}_2 = 2\Delta, \hat{R}_3 = 3\Delta \cdots$,k=0,1,2,…,n-1,

[0042] $$\hat{\Gamma}_j = -\frac{(\hat{R}_j - R_{k+1})^3}{6h_k} m_k + \frac{(\hat{R}_j - R_k)^3}{6h_k} m_{k+1} - (\Gamma_k - \frac{h_k^2}{6} m_k) \frac{\hat{R}_j - R_{k+1}}{h_k} + (\Gamma_k - \frac{h_k^2}{6} m_{k+1}) \frac{\hat{R}_j - R_k}{h_k} (R_k \le \hat{R}_j \le R_{k+1}) \qquad (4\text{-}9)$$

[0043] 对横坐标为R纵坐标为Γ做三次样条插值,得出新的坐标数组$\hat{R}$和$\hat{\Gamma}$;

[0044] (6)根据振动信号X(t)的采样频率求出采样间隔时间

[0045] t=1/f (4-10)

[0046] 式中f-----振动采样频率

[0047] (7)计算$\hat{R}(j)$角度时振动信号量:

[0048] $$T_0 = \sum_{j=1}^{n} \hat{\Gamma}(j) \times \Delta \qquad (4\text{-}11)$$

[0049] $k = T_0/t, m = T_0 \% t$ (4-12)

[0050] $$a(j) = \frac{X(t_{k+1}) - X(t_k)}{t} \cdot m \qquad (4\text{-}13)$$

[0051] $\hat{R}(j)$和a(j)即重采样后横纵坐标,$\hat{R}(j)$为采样角度a(j)为振动幅值。

[0052] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:本发明在线柴油机活塞环状态检测方法,将振动信号从时域转化到角度域内是为了准确定位和获取故障段内信号,实现对活塞环漏气故障进行预判,从而提醒用户进行提前检修更换从而减少维修成本。

附图说明

[0053] 图1是本发明数据采集及传递示意图;

[0054] 图2是柴油机一工作循环瞬时转速测量值图;

[0055] 图3是本发明重采样计算流程图;

[0056] 图4是本发明系统数据处理流程图。

具体实施方式

[0057] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明。

[0058] 本发明的在线柴油机活塞环状态检测方法的数据采集及传递如图1所示，该方法包括：

[0059] 1、通过传感器对柴油机的瞬时转速、缸盖振动、油耗、排温、冷却水温监测。

[0060] 2、其中瞬时转速监测，通过MP-981磁电式感器检测飞轮齿圈，其输出频率与转速相关的正弦波信号，通过史密斯触发器转化成脉冲信号，随后输入数据采集卡。齿轮轴振动监测，通过监测安装在齿轮轴端部的GST压电式加速度传感器型号：CA-YD-107CM，输出电荷信号，直接接入数据采集卡。油耗监测通过使用串联在燃油管路中的HZB2000质量式油耗仪，可实时突出数据也可以通过串口输入数据采集卡，排气温度和冷却水温度分别使用K型热电偶和PT100温度传感器检测，输出信号经过调理后输入数据采集卡。

[0061] 3、由数据采集卡对标准电信号进行采集及模数转换；采用市面上较成熟的产品NI公司的PXI系类8106，主机是PXI系类1050，模拟输入数据采集卡采用6251用于温度压力的采集，脉冲定时器采用6602用于瞬时转速采集，4472用于振动加速度采集。

[0062] 4、通过对柴油机瞬时转速及气缸振动的耦合，将其中振动在时域内转化到与曲轴转角对应的角度域内进行阶比分析；其通过以下步骤完成：

[0063] 4.1瞬时转速异常值剔除

[0064] 柴油机瞬时转速测量时，测量的是由信号调理板转化后的脉冲频率，然而在实际测量中，由于传感器的振动或者调理板受到电磁干扰，会出现脉冲丢失或者脉冲增多现象，表现在数据上面，就是在两个上止点信号之间的瞬时转速值或周期值不是测速齿轮的齿数。然而增加的脉冲周期值和柴油机转速无关，通常表现为特别大的异常值，有这些原因的存在，使得直接使用测量数据进行阶比跟踪会对计算精度产生很大影响。如图2所示是柴油机一个工作循环内的瞬时转速测量值，实验中测量齿轮盘为148个齿应该得到296个值，实际测量中共得到301个测量值，多出了5个异常值，由于柴油机转速不会突变，所以可以很明显看出三个异常值，除了这三个外，还要剔除两个异常值，在寻找其它异常值时，使用差分统计。首先将瞬时转速后向差分

[0065] $X(i)=x(i)-x(i+1)$ (4-1)

[0066] $x(i)$为第i个瞬时转速值，$X(i)$为第i与第$i-1$齿之间的转速变化量，因为转速的变化不可能无限制大的，正常情况下符合正态分布，剔除异常值属于单正态总体方差置信区间问题，设总体$X\sim N(\mu,\sigma^2)$，其中μ,σ^2未知，$X_1,X_2,\cdots,X_n$是取自总体X的一个样本.求方差σ^2的置信度为$1-\alpha$的置信区间.σ^2的无偏估计为S^2，有

[0067] $$\frac{n-1}{\sigma^2}S^2\sim\chi^2(n-1) \qquad (4-2)$$

[0068] 对给定的置信水平$1-\alpha$，由

[0069] $$P\left\{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)<\frac{n-1}{\sigma^2}S^2<\chi^2_{\alpha/2}(n-1)\right\}=1-\alpha,$$
$$P\left\{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)}<\sigma^2<\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}\right\}=1-\alpha, \qquad (4-3)$$

[0070] 于是方差σ^2的$1-\alpha$置信区间为

[0071] $$\left(\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)},\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}\right) \qquad (4-4)$$

[0072] 而方差σ的1-α置信区间

[0073] $$\left(\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\alpha/2}(n-1)}},\sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\alpha/2}(n-1)}}\right). \qquad (4-5)$$

[0074] 对于置信区间1-α的选择,可以根据异常值个数确定,对于上文中除去两个异常值时,可选1-α=0.99,具体确定方法如下,实际测量值为301,明显可剔除3个,还需要剔除2个,这两个异常值在需要剔除样本内的占比为:2/(301-3)=0.006712,此时不在置信区间的两个即有99%的概率是异常点。

[0075] 当找出异常点后,要将异常点所占用的时间合并给其后一个正常测量值,并将所有值前移一个,设x(i)为异常值,还原后x(i)为

[0076] $$x(i)=\frac{x(i)+x(i+1)}{x(i)x(i+1)} \qquad (4-6)$$

[0077] 4.2基于重采样的计算阶比

[0078] 将振动信号从时域转化到角度域内是为了准确定位和获取故障段内信号,是特征提取的第一步。它是从等时间间隔采样的数据出发进行数字重采样获得到带有角度标识的等角度间隔数据的过程,即计算阶比跟踪。使用重采样计算,其对运算量的要求较大。图3为计算过程。

[0079] 根据具体情况设计的算法将插值和抽取合并唯一,其流程为:

[0080] 1)利用上至点信号截取出720度内的瞬时转速数据N和振动信号X(t).

[0081] 2)由瞬时转速N_i求出每个脉冲间隔T_i,其中i=1,2,3…269.。

[0082] $$T_i=\frac{60}{N_i\cdot z} \qquad (4-7)$$

[0083] 式中z-----齿轮盘齿数

[0084] 3)求出每个齿角度段内的瞬时周期值Γ_i,即每个齿段内柴油机转过单位度数所需时间

[0085] $$\Gamma_i=\frac{T_i\cdot z}{360} \qquad (4-8)$$

[0086] 4)确定每个齿的中间曲轴转角度数R_i。

[0087] 5)设定的角度分辨率值Δ,确定插值点序列$\hat{R}_j$,求出每Δ段内柴油机转单位度数需时间$\hat{\Gamma}$。其中j=1,2,3…720/Δ,$\hat{R}_1=\Delta,\hat{R}_2=2\Delta,\hat{R}_3=3\Delta\cdots$,k=0,1,2,…,n-1,

[0088] $$\hat{\Gamma}_j=-\frac{(\hat{R}_j-R_{k+1})^3}{6h_k}m_k+\frac{(\hat{R}_j-R_k)^3}{6h_k}m_{k+1}-(\Gamma_k-\frac{h_k^2}{6}m_k)\frac{\hat{R}_j-R_{k+1}}{h_k}$$
$$+(\Gamma_k-\frac{h_k^2}{6}m_{k+1})\frac{\hat{R}_j-R_k}{h_k}(R_k\le\hat{R}_j\le R_{k+1}) \qquad (4-9)$$

[0089] 对横坐标为R纵坐标为Γ做三次样条插值。得新的坐标数组$\hat{R}$和$\hat{\Gamma}$。

[0090] 6)根据振动信号X(t)的采样频率求出采样间隔时间

[0091] t=1/f (4-10)

[0092] 式中f-----振动采样频率

[0093] 7)计算$\hat{R}(j)$角度时振动信号量：

[0094] $$T_0=\sum_{j=1}^{n}\Gamma(\hat{j})\times\Delta \qquad (4\text{-}11)$$

[0095] $k=T_0/t,m=T_0\%t$ (4-12)

[0096] $$a(j)=\frac{X(t_{k+1})-X(t_k)}{t}\cdot m \qquad (4\text{-}13)$$

[0097] $\hat{R}(j)$和a(j)即重采样后横纵坐标，$\hat{R}(j)$为采样角度a(j)为振动幅值。

[0098] 5、测取正常情况下柴油机的阶比数据矩阵A（$\hat{R}(j)$、a(j)）。

[0099] 6、带入公式将油耗x g/kWh、排温y K及冷却水温度z K变成裕度系数

[0100] $\eta_1=((x/y)\times z)/H_1$，

[0101] $\eta_2=((x/y)\times z)/H_2$，

[0102] H为常数，根据各机型而定。

[0103] 7、测取任意状态下阶比数据矩阵B，与ηA对比，如$B\notin(\eta_1A,\ \eta_2A)$即判断柴油机活塞环存在异常。

[0104] 本发明整个系统数据处理流程如图4所示。

[0105] 除上述实施例外，本发明还可以有其他实施方式，凡采用等同替换或等效变换形成的技术方案，均落在本发明要求的保护范围内。

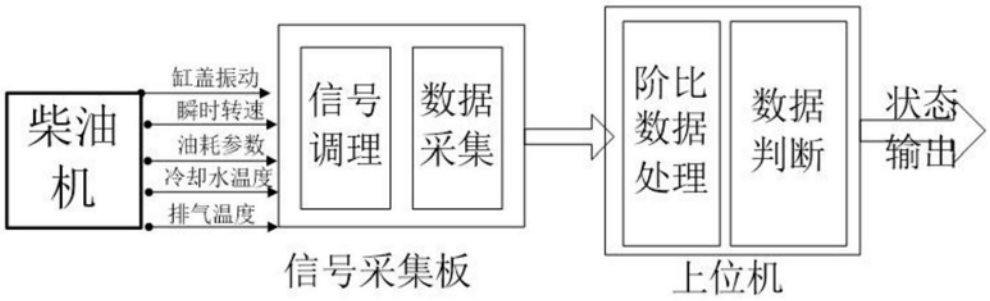

柴油机
缸盖振动
瞬时转速
油耗参数
冷却水温度
排气温度
信号调理
数据采集
信号采集板
阶比数据处理
数据判断
状态输出
上位机

图1

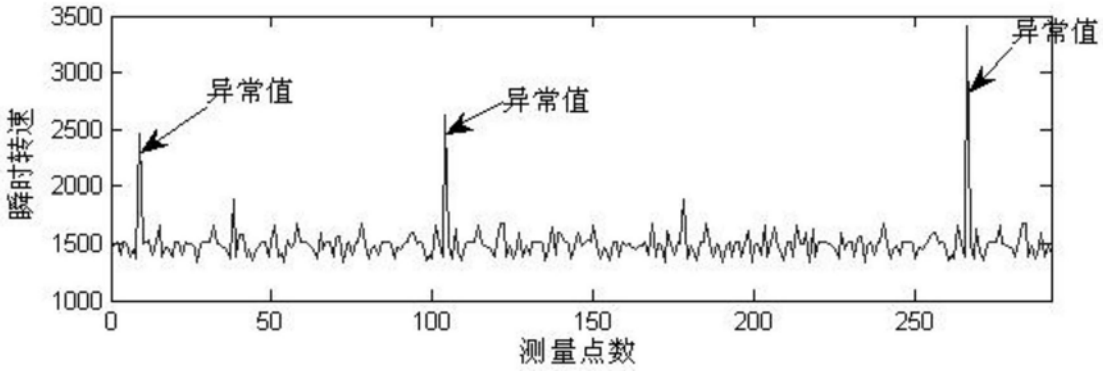

瞬时转速
测量点数
异常值
异常值
异常值
3500
3000
2500
2000
1500
1000
0
50
100
150
200
250

图2

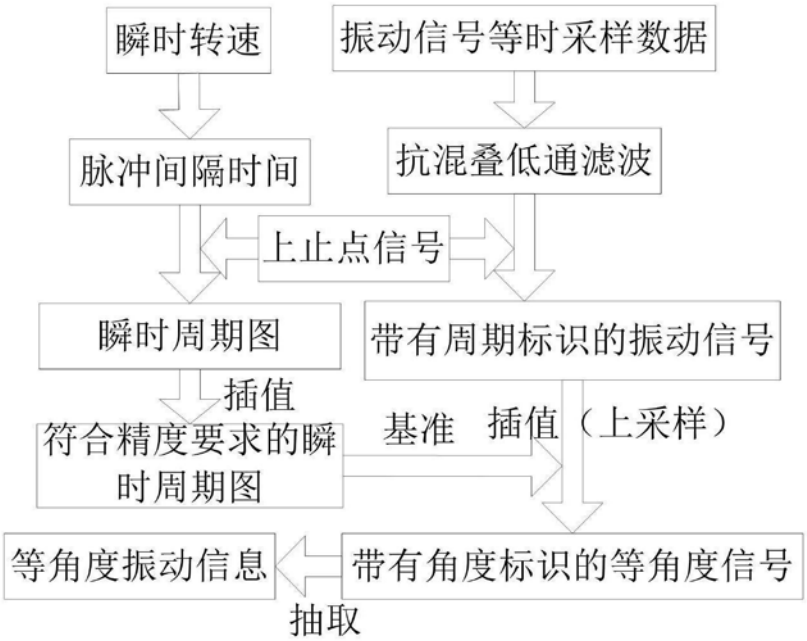

瞬时转速
振动信号等时采样数据
脉冲间隔时间
抗混叠低通滤波
上止点信号
瞬时周期图
带有周期标识的振动信号
插值
符合精度要求的瞬时周期图
基准
插值（上采样）
等角度振动信息
带有角度标识的等角度信号
抽取

图3

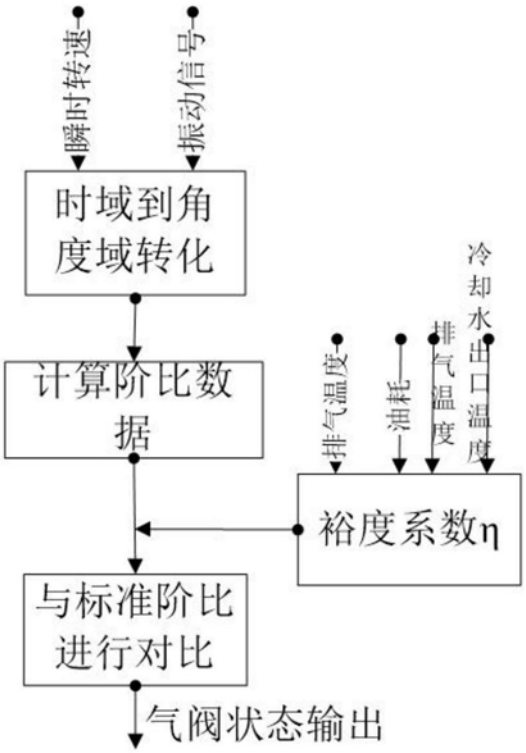

瞬时转速
振动信号
时域到角度域转化
计算阶比数据
排气温度
油耗
排气温度
冷却水出口温度
裕度系数η
与标准阶比进行对比
气阀状态输出

图4