



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107605609 A

(43)申请公布日 2018.01.19

(21)申请号 201711036674.7

(22)申请日 2017.10.30

(71)申请人 厦门大学

地址 361000 福建省厦门市思明南路422号

(72)发明人 李钲 李睿煜 林霞 郑淞生

王兆林

(74)专利代理机构 厦门市首创君合专利事务所

有限公司 35204

代理人 张松亭

(51) Int. Cl.

F02D 41/22(2006.01)

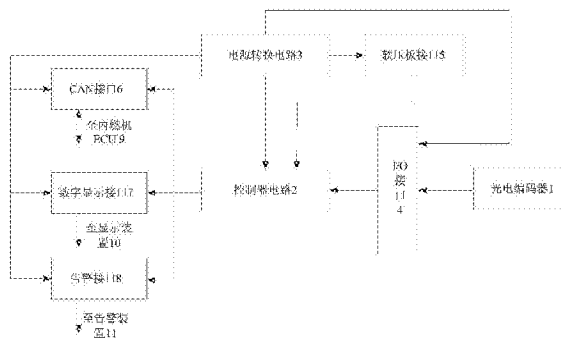
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种怠速工况下多缸内燃机故障预警装置及方法

(57)摘要

本发明提出一种怠速工况下多缸内燃机故障预警装置及方法,装置包括:光电编码器、控制器电路、电源转换电路、I/O接口、软压板接口、数字显示接口及告警接口;光电编码器设置在曲轴端部,通过I/O接口与控制器电路相连以发送TTL脉冲信号;电源转换电路与控制器电路、I/O接口、数字显示接口和告警接口分别相连以将外部电源进行转换后供电;控制器电路与软压板控制接口相连以接收参数的设置;控制器电路与数字显示接口相连用于将根据曲轴的瞬时速度获取的故障指标值发送给显示装置;控制器电路与告警接口相连用于当故障指标值超出预设阈值时发送告警信息至告警装置。本发明装置结构简单、成本低,方法所计算的指标物理意义明显,计算量小,易于实现。



1. 一种怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,其特点在于,包括:光电编码器、控制器电路、电源转换电路、I/O接口、软压板接口、数字显示接口及告警接口;所述光电编码器设置在曲轴端部,通过I/O接口与所述控制器电路相连以发送TTL脉冲信号;所述电源转换电路与所述控制器电路、I/O接口、CAN总线接口、数字显示接口和告警接口分别相连以将外部电源进行转换后供电;所述控制器电路与所述软压板控制接口相连以接收参数的设置;内燃机ECU通过所述CAN总线接口与所述控制器电路相连用于控制所述控制器电路的工作状态;所述控制器电路与所述数字显示接口相连用于将根据曲轴的瞬时速度获取的故障指标值发送给显示装置;所述控制器电路与所述告警接口相连用于当故障指标值超出预设阈值时发送告警信息至告警装置。

2. 根据权利要求1所述的怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,其特征在于,所述I/O接口与所述光电编码器通过传感器连接线相连;所述控制器电路通过信号线分别与所述I/O接口、软压板接口、CAN总线接口、数字显示接口和告警接口相连;所述电源转换电路通过电源线分别与所述控制器电路、I/O接口、CAN总线接口、软压板接口、数字显示接口和告警接口相连;所述CAN总线接口与所述内燃机ECU通过信号线相连;所述数字显示接口与所述显示装置通过信号线相连;所述告警接口与所述告警装置通过信号线相连。

3. 根据权利要求1所述的怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,其特征在于,所述电源转换电路通过内燃机控制单元ECU的供电接口取电并转化为12V、5V和3.3V的直流电源;所述电源转换电路为所述I/O接口提供12V直流电源;所述电源转换电路为所述控制器电路提供3.3V直流电源;所述电源转换电路为所述软压板接口、CAN总线接口、数字显示接口和告警接口提供5V直流电源。

4. 根据权利要求1所述的怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,其特征在于,所述控制器电路包括一采用嵌入式芯片的控制器。

5. 根据权利要求1所述的怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,其特征在于,所述光电编码器的分辨率为1度,曲轴每转1度生成一个TTL脉冲。

6. 根据权利要求1所述的怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,其特征在于,所述数字显示接口和告警接口共用。

7. 根据权利要求1所述的怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,其特征在于,所述显示装置和告警装置为同一装置,可同时实现显示和告警。

8. 一种怠速工况下多缸内燃机故障预警方法,基于权利要求1至7中任一项权利要求所述的怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,应用在四冲程内燃机上,其特点在于,包括:

所述控制器电路接收所述I/O接口发送的TTL脉冲信号,检测TTL电平高低电平的持续时间,以1号缸的吸气上止点为曲轴0度点,计算出曲轴转动的瞬时速度,通过6次速度求平均值的方法,获得曲轴转动每6度的平均速度-角度信息;

以720度为一个周期,计算出一组速度-角度序列,所述速度-角度序列包括120个速度-角度值;当一个周期结束时,根据所述速度-角度序列,计算出故障指标值;所述故障指标包括相似度指标、周期性指标、平方差指标及综合预警指标;

将所述相似度指标、周期性指标、平方差指标及综合预警指标通过所述数字显示接口发送至显示装置;

判断所述综合预警指标是否超出预设阈值,如果超出,通过所述告警接口发送告警信

息至告警装置;所述预设阈值通过所述软压板控制接口设置。

9. 根据权利要求8所述的怠速工况下多缸内燃机故障预警方法,其特征在于,任一周期内,速度-角度序列的计算方法如下:

计算曲轴的瞬时速度,如下:

$$v(k) = (1/360) / (t(k)/60) = 1 / (6 * t(k)) \quad (1)$$

其中, $k \in [0, 719]$; $t(k)$ 表示 k 度时刻,电平持续的时间;所述瞬时速度的单位为rpm;对连续6度的瞬时速度求平均值,得到平滑后的平均速度-角度序列 $V(r)$,如下:

$$V(r) = [Vr(1), Vr(2) \dots \dots, Vr(120)] = \frac{\sum_{j=1}^6 (v(6*i-j))}{6} \quad (i = 1, 2 \dots 120) \quad (2)$$

其中, r 为正整数,表示第 r 个周期;

任一周期内,相似度指标的计算方法包括:

采用下述公式计算相似度指标 $index1(r)$:

$$index1(r) = std(V(r) - V_m) \quad (3)$$

其中, V_m 通过软压板接口设置,表示正常怠速的速度-角度序列 $V_m = [V_m(1), V_m(2), \dots \dots, V_m(120)]^T$; std 表示计算括号内差值的标准偏差;

任一周期内,周期性指标的计算方法包括:

消除平均值,生成速度-角度偏差数组 $dV(r)$;

$$dV(r) = V(r) - \text{mean}(V(r)) \quad (4)$$

其中, mean 表示对 $V(r)$ 求平均值;

求取速度-角度偏差数组 $dV(r)$ 的1到 n 次谐波,第 s 次谐波计算如下

$$P(s) = [\sin(0), \sin(2\pi*s/120*1), \sin(2\pi*s/120*2) \dots \dots \sin(2\pi*s/120*119)]^T,$$

$$Q(s) = [\cos(0), \cos(2\pi*s/120*1), \cos(2\pi*s/120*2) \dots \dots \cos(2\pi*s/120*119)]^T,$$

$$\text{Thd}(s) = \sqrt{(\langle P(s), dV(r) \rangle)^2 + (\langle Q(s), dV(r) \rangle)^2} \quad (s = 1, 2 \dots n) \quad (5)$$

其中,运算符 $\langle \rangle$ 表示内积, n 通过软压板接口设置,表示气缸数;

采用下述公式计算周期性指标 $index2(r)$:

$$index2(r) = \frac{\sqrt{\sum_{s=1}^{n-1} (\text{Thd}^2(s))}}{\text{Thd}(n)} \quad (6)$$

任一周期内,平方差指标的计算方法包括:

生成速度序列 $vtr(r) = [vtr(1), vtr(2) \dots \dots vtr(n)]^T$, 其中

$$vtr(f) = V_r(1 + (f-1) * 120/n) \quad (7)$$

其中, $f \in [1, n]$; $1 = \text{floor}(120/(3n))$, floor 表示取整;

生成速度平方差序列 $Tr = [Tr(1), Tr(2) \dots \dots Tr(n)]^T$

$$\begin{cases} Tr(1) = vtr^2(1) - vtr^2(n) \\ Tr(f) = vtr^2(f) - vtr^2(f-1), f = (2 \dots \dots n) \end{cases} \quad (8)$$

采用下述公式计算平方差指标 $index3(r)$:

$$index3(r) = \max(Tr) - \min(Tr) \quad (9)$$

其中, \max 表示求序列 Tr 中的最大值, \min 表示求序列 Tr 中的最小值;

任一周期内,通过标么的方式计算综合预警指标 $index(r)$, 如下:

$$index(r) = \max\left(\left[\frac{index1(r)}{index1m}, \frac{index2(r)}{index2m}, \frac{index3(r)}{index3m}\right]\right) \quad (10)$$

其中, $index1m$ 、 $index2m$ 、 $index3m$ 分别为通过软压板接口设置的相似度指标、周期性指标及平方差指标对应的指标边界值,表示内燃机怠速运行时正常工作允许的最大偏差范围。

一种怠速工况下多缸内燃机故障预警装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于内燃机监控和预警领域,涉及一种四冲程多缸内燃机燃烧故障的监控与预警,尤其涉及一种怠速工况下多缸内燃机故障预警装置及方法,具体为怠速工况下多缸内燃机曲轴的位置和速度检测的一种数据收集、处理与信息传输的装置与故障预警方法。

背景技术

[0002] 多缸内燃机是现阶段交通运输的主要动力源。化石燃料在内燃机内有序燃烧带动曲轴转动,通过离合、变速箱等设备驱动车辆、船舶等运动。平稳均匀的燃烧不仅可以减少噪声和扭矩波动,带来好的乘用体验,还能减少内燃机以及车体部件的摩擦损耗,延长使用寿命。在使用的过程中,汽油机的火花塞故障或者柴油机的排气阀门位置偏差等内燃机故障都会体现为燃烧的不平衡性,严重情况下会危及生命财产安全。因此,对多缸内燃机运行过程进行监测是必不可少的。但是,过于复杂的监测系统成本高可靠性低。从节约成本的角度出发,中国专利申请201610075811.7给出了一套基于多参数监测的低成本柴油机监控系统来替代传统的柴油机的PLC监测装置。但是,多参数监测带来的硬件可靠性低,故障定位模糊等问题仍然突出。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服现有技术之不足,提出一种低成本、单一传感器的怠速工况下多缸内燃机故障预警装置及方法,通过内燃机怠速速度的测量,实现多缸内燃机的故障预警。

[0004] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0005] 一种怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,包括:光电编码器、控制器电路、电源转换电路、I/O接口、软压板接口、CAN总线接口、数字显示接口及告警接口;所述光电编码器设置在曲轴端部,通过I/O接口与所述控制器电路相连以发送TTL脉冲信号;所述电源转换电路与所述控制器电路、I/O接口、CAN总线接口、数字显示接口和告警接口分别相连以将外部电源进行转换后供电;所述控制器电路与所述软压板控制接口相连以接收参数的设置;内燃机ECU通过所述CAN总线接口与所述控制器电路相连用于控制所述控制器电路的工作状态;所述控制器电路与所述数字显示接口相连用于将根据曲轴的瞬时速度获取的故障指标值发送给显示装置;所述控制器电路与所述告警接口相连用于当故障指标值超出预设阈值时发送告警信息至告警装置。

[0006] 优选的,所述I/O接口与所述光电编码器通过传感器连接线相连;所述控制器电路通过信号线分别与所述I/O接口、软压板接口、CAN总线接口、数字显示接口和告警接口相连;所述电源转换电路通过电源线分别与所述控制器电路、I/O接口、CAN总线接口、软压板接口、数字显示接口和告警接口相连;所述CAN总线接口与所述内燃机ECU通过信号线相连;所述数字显示接口与所述显示装置通过信号线相连;所述告警接口与所述告警装置通过信

号线相连。

[0007] 优选的,所述电源转换电路通过内燃机控制单元ECU的供电接口取电并转化为12V、5V和3.3V的直流电源;所述电源转换电路为所述I/O接口提供12V直流电源;所述电源转换电路为所述控制器电路提供3.3V直流电源;所述电源转换电路为所述软压板接口、CAN总线接口、数字显示接口和告警接口提供5V直流电源。

[0008] 优选的,所述控制器电路包括一采用嵌入式芯片的控制器。

[0009] 优选的,所述光电编码器的分辨率为1度,曲轴每转1度生成一个TTL脉冲。

[0010] 优选的,所述数字显示接口和告警接口共用。

[0011] 优选的,所述显示装置和告警装置为同一装置,可同时实现显示和告警。

[0012] 一种怠速工况下多缸内燃机故障预警方法,基于所述的怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,应用在四冲程内燃机上,包括:

[0013] 所述控制器电路接收所述I/O接口发送的TTL脉冲信号,检测TTL电平高低电平的持续时间,以1号缸的吸气上止点为曲轴0度点,计算出曲轴转动的瞬时速度,通过6次速度求平均值的方法,获得曲轴转动每6度的平均速度-角度信息;

[0014] 以720度为一个周期,计算出一组速度-角度序列,所述速度-角度序列包括120个速度-角度值;当一个周期结束时,根据所述速度-角度序列,计算出故障指标值;所述故障指标包括相似度指标、周期性指标、平方差指标及综合预警指标;

[0015] 将所述相似度指标、周期性指标、平方差指标及综合预警指标通过所述数字显示接口发送至显示装置;

[0016] 判断所述综合预警指标是否超出预设阈值,如果超出,通过所述告警接口发送告警信息至告警装置;所述预设阈值通过所述软压板控制接口设置。

[0017] 优选的,任一周期内,速度-角度序列的计算方法如下:

[0018] 计算曲轴的瞬时速度,如下:

$$v(k) = (1/360) / (t(k)/60) = 1 / (6 * t(k)) \quad (1)$$

[0020] 其中, $k \in [0, 719]$; $t(k)$ 表示 k 度时刻,电平持续的时间;所述瞬时速度的单位为rpm;

[0021] 对连续6度的瞬时速度求平均值,得到平滑后的平均速度-角度序列 $V(r)$,如下:

$$V(r) = [Vr(1), Vr(2) \dots \dots, Vr(120)] = \frac{\sum_{j=1}^6 \{v(6*i-j)\}}{6} \quad (i = 1, 2 \dots 120) \quad (2)$$

[0023] 其中, r 为正整数,表示第 r 个周期;

[0024] 任一周期内,相似度指标的计算方法包括:

[0025] 采用下述公式计算相似度指标 $\text{index1}(r)$:

$$\text{index1}(r) = \text{std}(V(r) - V_m) \quad (3)$$

[0027] 其中, V_m 通过软压板接口设置,表示正常怠速的速度-角度序列 $V_m = [V_m(1), V_m(2), \dots \dots, V_m(120)]^T$; std 表示计算括号内差值的标准偏差;

[0028] 任一周期内,周期性指标的计算方法包括:

[0029] 消除平均值,生成速度-角度偏差数组 $dV(r)$;

$$dV(r) = V(r) - \text{mean}(V(r)) \quad (4)$$

[0031] 其中, mean 表示对 $V(r)$ 求平均值;

[0032] 求取速度-角度偏差数组 $dV(r)$ 的1到 n 次谐波,第 s 次谐波计算如下

[0033] $P(s) = [\sin(0), \sin(2\pi*s/120*1), \sin(2\pi*s/120*2) \cdots \sin(2\pi*s/120*119)]^T$,

[0034] $Q(s) = [\cos(0), \cos(2\pi*s/120*1), \cos(2\pi*s/120*2) \cdots \cos(2\pi*s/120*119)]^T$,

[0035]

$$\text{Thd}(s) = \sqrt{(\langle P(s), dV(r) \rangle)^2 + (\langle Q(s), dV(r) \rangle)^2} \quad (s = 1, 2 \dots n) \quad (5)$$

[0036] 其中,运算符 $\langle \rangle$ 表示内积, n 通过软压板接口设置,表示气缸数;

[0037] 采用下述公式计算周期性指标 $\text{index2}(r)$:

$$\text{index2}(r) = \frac{\sqrt{\sum_{s=1}^{n-1} (\text{Thd}^2(s))}}{\text{Thd}(n)} \quad (6)$$

[0039] 任一周期内,平方差指标的计算方法包括:

[0040] 生成速度序列 $v_{tr}(r) = [v_{tr}(1), v_{tr}(2) \cdots v_{tr}(n)]^T$,其中

$$v_{tr}(f) = V_r(1 + (f-1) * 120/n) \quad (7)$$

[0042] 其中, $f \in [1, n]$; $1 = \text{floor}(120/(3n))$, floor 表示取整;

[0043] 生成速度平方差序列 $\text{Tr} = [\text{Tr}(1), \text{Tr}(2) \cdots \text{Tr}(n)]^T$

$$\begin{cases} \text{Tr}(1) = v_{tr}^2(1) - v_{tr}^2(n) \\ \text{Tr}(f) = v_{tr}^2(f) - v_{tr}^2(f-1), f = (2 \dots n) \end{cases} \quad (8)$$

[0045] 采用下述公式计算平方差指标 $\text{index3}(r)$:

$$\text{index3}(r) = \max(\text{Tr}) - \min(\text{Tr}) \quad (9)$$

[0047] 其中, \max 表示求序列 Tr 中的最大值, \min 表示求序列 Tr 中的最小值;

[0048] 任一周期内,通过标么的方式计算综合预警指标 $\text{index}(r)$,如下:

$$\text{index}(r) = \max\left(\left[\frac{\text{index1}(r)}{\text{index1m}}, \frac{\text{index2}(r)}{\text{index2m}}, \frac{\text{index3}(r)}{\text{index3m}}\right]\right) \quad (10)$$

[0050] 其中, index1m 、 index2m 、 index3m 分别为通过软压板接口设置的相似度指标、周期性指标及平方差指标对应的指标边界值,表示内燃机怠速运行时正常工作允许的最大偏差范围。

[0051] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0052] (1) 本发明通过单一的传感器(光电编码器)将曲轴的转动角度转换成数字量,并通过控制器电路中的控制器求解出曲轴的瞬时速度;整个装置结构简单,成本低;

[0053] (2) 本发明基于曲轴的瞬时速度计算出相似度指标、周期性指标和平方差指标,并根据计算出的相似度指标、周期性指标和平方差指标进一步计算出综合预警指标,将所述指标发送至显示装置进行显示,并将所述综合预警指标与预设阈值进行比较,一旦超出预设阈值则发送至告警装置进行告警,从而实现监控及预警;

[0054] (3) 本发明作为现有控制器的补充,不介入内燃机的控制,不会干扰内燃机的运行,因此不会引起不可预期的后果;

[0055] (4) 本发明通过对内燃机的缸间不平衡进行间接监测,实现多缸内燃机故障的预警。

[0056] 以下结合附图及实施例对本发明作进一步详细说明,但本发明的一种怠速工况下多缸内燃机故障预警装置及方法不局限于实施例。

附图说明

- [0057] 图1为本发明一种怠速工况下多缸内燃机故障预警装置的结构示意图；
- [0058] 图2为本发明的6缸内燃机怠速工况瞬时速度图；
- [0059] 图3为本发明的一个4冲程周期内故障指标计算流程图。

具体实施方式

[0060] 下面结合附图说明一种怠速工况下多缸内燃机故障预警装置及方法。

[0061] 参见图1所示,一种怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,包括:光电编码器1、控制器电路2、电源转换电路3、I/O接口4、软压板接口5、CAN总线接口6、数字显示接口7及告警接口8;所述光电编码器1设置在曲轴端部,通过I/O接口4与所述控制器电路2相连以发送TTL脉冲信号;所述电源转换电路3与所述控制器电路2、I/O接口4、CAN总线接口6、数字显示接口7和告警接口8分别相连以将外部电源进行转换后供电;所述控制器电路2与所述软压板控制接口相连以接收参数的设置;内燃机ECU 9通过所述CAN总线接口6与所述控制器电路2相连用于控制所述控制器电路的工作状态;所述控制器电路2与所述数字显示接口7相连用于将根据曲轴的瞬时速度获取的故障指标值发送给显示装置10;所述控制器电路2与所述告警接口8相连用于当故障指标值超出预设阈值时发送告警信息至告警装置11。需要说明的是,所述数字显示接口7和告警接口8可共用,所述显示装置10和告警装置11为同一装置,该装置可同时实现显示和告警。具体的,所述故障指标包括相似度指标、周期性指标、平方差指标及综合预警指标。所述显示装置可以是LED显示屏,所述LED显示屏可实现故障指标及故障指标值的滚动显示。当综合预警指标短时间内剧烈上升时,所述LED显示屏提醒进行内燃机检修。当综合预警指标超出预设阈值时,告警装置可通过蜂鸣器发布故障预警。

[0062] 进一步的,所述I/O接口4与所述光电编码器1通过传感器连接线相连;所述控制器电路2通过信号线分别与所述I/O接口4、软压板接口5、CAN总线接口6、数字显示接口7和告警接口8相连;所述电源转换电路3通过电源线分别与所述控制器电路2、I/O接口4、CAN总线接口6、软压板接口5、数字显示接口7和告警接口8相连;所述CAN总线接口6与所述内燃机ECU 9通过信号线相连;所述数字显示接口7与所述显示装置10通过信号线相连;所述告警接口8与所述告警装置11通过信号线相连。

[0063] 进一步的,所述电源转换电路通过内燃机控制单元(简称为ECU)的供电接口取电并转化为12V、5V和3.3V的直流电源;所述电源转换电路3为所述I/O接口4提供12V直流电源;所述电源转换电路3为所述控制器电路2提供3.3V直流电源;所述电源转换电路3为所述软压板接口5、CAN总线接口6、数字显示接口7和告警接口8提供5V直流电源。

[0064] 进一步的,所述控制器电路2包括一采用嵌入式芯片的控制器。

[0065] 进一步的,所述光电编码器1的分辨率为1度,曲轴每转1度生成一个TTL脉冲。

[0066] 进一步的,所述数字显示接口和告警接口共用。

[0067] 进一步的,所述显示装置和告警装置为同一装置,可同时实现显示和告警。

[0068] 进一步的,可通过所述软压板接口5设置控制器的参数,从而禁用告警接口的功能,使其不发出告警提示。

[0069] 一种怠速工况下多缸内燃机故障预警方法,基于所述的怠速工况下多缸内燃机故障预警装置,应用在四冲程内燃机上。

[0070] 具体的,在怠速工况下多缸内燃机故障预警装置启动工作前,将气缸数n、参数1、

预设阈值、指标边界 $index1m, index2m, index3m$ 以及正常怠速的速度-角度序列 $V_m = [V_m(1), V_m(2), \dots, V_m(120)]^T$ 通过软压板接口5存储至控制器电路2。内燃机正常运行时,所述预警装置处于休眠状态,等待内燃机控制单元ECU唤醒,具体为对所述控制器电路2进行唤醒。其中, $l = \text{floor}(120/(3n))$, floor 表示取整;指标边界 $index1m, index2m, index3m$ 表示内燃机怠速运行时正常工作允许的最大偏差范围;所述预设阈值的范围为0至1。

[0071] 当出现怠速工况时,内燃机控制单元ECU给所述预警装置发送怠速信息,预警装置启动工作,具体的工作过程通过控制器实现,包括:

[0072] 所述控制器电路2接收所述I/O接口4发送的TTL脉冲信号,检测TTL电平高低电平的持续时间。

[0073] 参见图3所示,为一个4冲程周期内故障指标计算流程图,如下:

[0074] 以第一个气缸的吸气上止点为曲轴0度点,计算出曲轴转动的瞬时速度(参见图2所示,为6缸内燃机怠速工况瞬时速度图),再通过6次速度求平均值的方法,获得曲轴转动每6度的平均速度-角度信息;

[0075] 以720度为一个周期,计算出一组速度-角度序列,所述速度-角度序列包括120个速度-角度值;当一个周期结束时,根据所述速度-角度序列,计算出故障指标值;所述故障指标包括相似度指标、周期性指标、平方差指标及综合预警指标;

[0076] 将所述相似度指标、周期性指标、平方差指标及综合预警指标通过所述数字显示接口7发送至显示装置10;

[0077] 判断所述综合预警指标是否超出预设阈值,如果超出,通过所述告警接口8发送告警信息至告警装置11,并进入到下一个周期的计算;如果没有超出,直接进入到下一个周期的计算。所述预设阈值通过所述软压板控制接口设置,本实施例中,设置为0.9。

[0078] 本实施例中,如下以第 r 个周期为例,对一个周期内,速度-角度序列、相似度指标、周期性指标、平方差指标和综合预警指标的具体计算方法做具体说明。

[0079] 第 r 个周期内,速度-角度序列的计算方法如下:

[0080] 计算曲轴的瞬时速度,如下:

$$v(k) = (1/360) / (t(k)/60) = 1/(6*t(k)) \quad (1)$$

[0082] 其中, $k \in [0, 719]$; $t(k)$ 表示 k 度时刻,电平持续的时间;所述瞬时速度的单位为rpm;

[0083] 对连续6度的瞬时速度求平均值,得到平滑后的平均速度-角度序列 $V(r)$,如下:

$$V(r) = [V_r(1), V_r(2) \dots \dots, V_r(120)] = \frac{\sum_{j=1}^6 v(6*i-j)}{6} \quad (i = 1, 2 \dots 120) \quad (2)$$

[0085] 第 r 个周期内,相似度指标的计算方法包括:

[0086] 采用下述公式计算相似度指标 $index1(r)$:

$$index1(r) = \text{std}(V(r) - V_m) \quad (3)$$

[0088] 其中, V_m 通过软压板接口5设置,表示正常怠速的速度-角度序列 $V_m = [V_m(1), V_m(2), \dots, V_m(120)]^T$; std 表示计算括号内差值的标准偏差;

[0089] 第 r 个周期内,周期性指标的计算方法包括:

[0090] 消除平均值,生成速度-角度偏差数组 $dV(r)$;

$$dV(r) = V(r) - \text{mean}(V(r)) \quad (4)$$

[0092] 其中,mean表示对V(r)求平均值;

[0093] 求取速度-角度偏差数组dV(r)的1到n次谐波,第s次谐波计算如下

[0094] $P(s) = [\sin(0), \sin(2\pi*s/120*1), \sin(2\pi*s/120*2) \cdots \cdots \sin(2\pi*s/120*119)]^T$,

[0095] $Q(s) = [\cos(0), \cos(2\pi*s/120*1), \cos(2\pi*s/120*2) \cdots \cdots \cos(2\pi*s/120*119)]^T$,

[0096]

$$\text{Thd}(s) = \sqrt{[\langle P(s), dV(r) \rangle]^2 + [\langle Q(s), dV(r) \rangle]^2} \quad (s = 1, 2 \dots n) \quad (5)$$

[0097] 其中,运算符 $\langle \rangle$ 表示内积,n通过软压板接口5设置,表示气缸数;

[0098] 采用下述公式计算周期性指标index2(r):

$$\text{index2}(r) = \frac{\sqrt{\sum_{s=1}^{n-1} (\text{Thd}^2(s))}}{\text{Thd}(n)} \quad (6)$$

[0100] 第r个周期内,平方差指标的计算方法包括:

[0101] 生成速度序列vtr(r) = [vtr(1), vtr(2) $\cdots \cdots$ vtr(n)]^T,其中

[0102] $vtr(f) = Vr(1 + (f-1)*120/n) \quad (7)$

[0103] 其中, $f \in [1, n]$, $1 = \text{floor}(120/(3n))$, floor表示取整;

[0104] 生成速度平方差序列Tr = [Tr(1), Tr(2) $\cdots \cdots$ Tr(n)]^T

$$\begin{cases} \text{Tr}(1) = vtr^2(1) - vtr^2(n) \\ \text{Tr}(f) = vtr^2(f) - vtr^2(f-1), f = (2 \dots n) \end{cases} \quad (8)$$

[0106] 采用下述公式计算平方差指标index3(r):

[0107] $\text{index3}(r) = \max(\text{Tr}) - \min(\text{Tr}) \quad (9)$

[0108] 其中,max表示求序列Tr中的最大值,min表示求序列Tr中的最小值;

[0109] 第r个周期内,综合预警指标index(r)的计算方法如下:

$$\text{index}(r) = \max\left[\left(\frac{\text{index1}(r)}{\text{index1m}}, \frac{\text{index2}(r)}{\text{index2m}}, \frac{\text{index3}(r)}{\text{index3m}}\right)\right] \quad (10)$$

[0111] 其中,index1m、index2m、index3m分别表示通过软压板接口5设置的相似度指标、周期性指标及平方差指标对应的指标边界值,即表示内燃机怠速运行时正常工作允许的最大偏差范围。其中,index1m、index2m和index3m分别为通过软压板接口设置的相似度指标、周期性指标及平方差指标对应的指标边界值,表示内燃机怠速运行时正常工作允许的最大偏差范围。

[0112] 具体的,index1m的设置原则为:正常发动机怠速工况下,采用统计的方法,通过大规模实验,获得大样本的index1'信号,并获得其正态分布,index1'离平均值的距离大于index1m的概率小于5%,由此来确定index1m,其中index1'的计算方式与index1(r)的计算方式一致。index2m的设置原则为:正常发动机怠速工况下,采用统计的方法,通过大规模实验,获得大样本的index2'信号,并获得其正态分布,index2'离平均值的距离大于index2m的概率小于5%,由此来确定index2m,其中index2'的计算方式与index2(r)的计算方式一致。index3m的设置原则为:正常发动机怠速工况下,采用统计的方法,通过大规模实验,获得大样本的index3'信号,并获得其正态分布,index3'离平均值的距离大于index3m的概率小于5%,由此来确定index3m,其中index3'的计算方式与index3(r)的计算方式一致。

[0113] 上述实施例仅用来进一步说明本发明的一种怠速工况下多缸内燃机故障预警装置及方法,但本发明并不局限于实施例,凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰,均落入本发明技术方案的保护范围内。

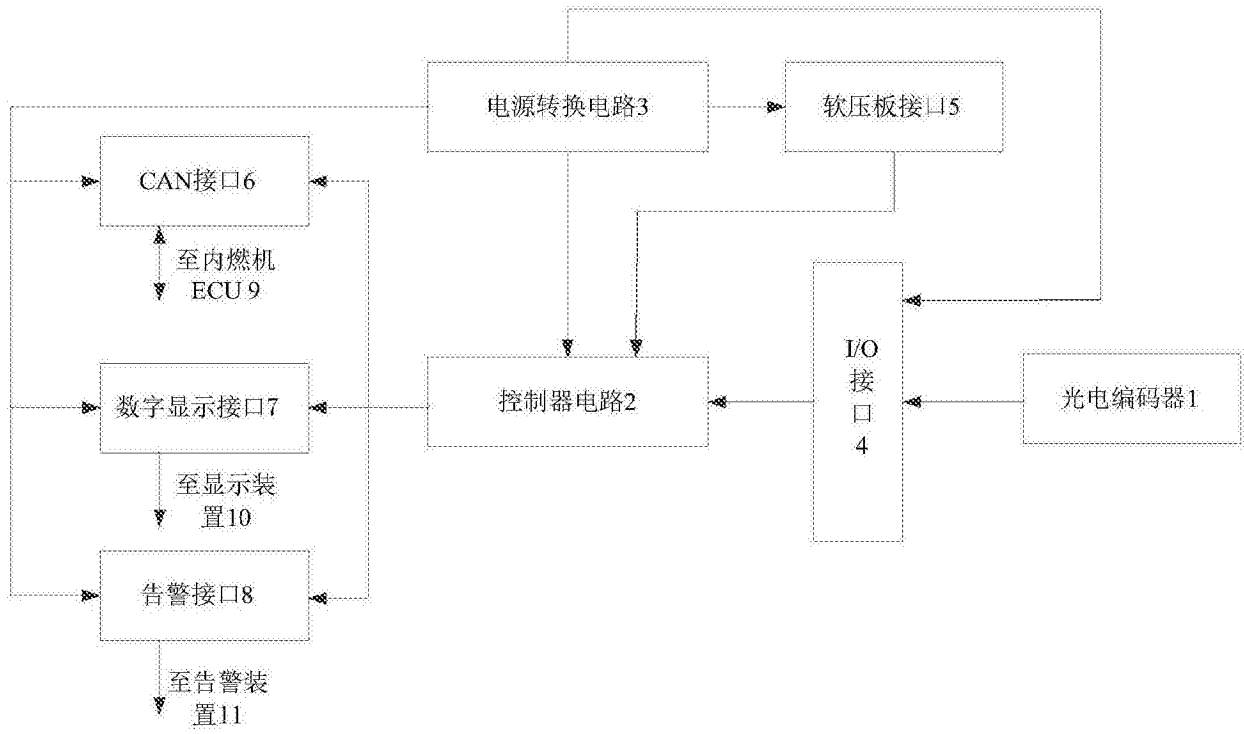


图1

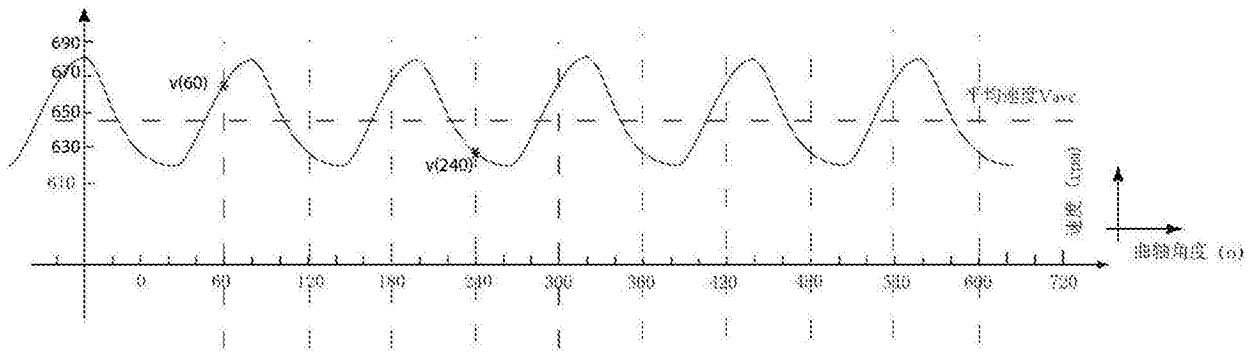


图2

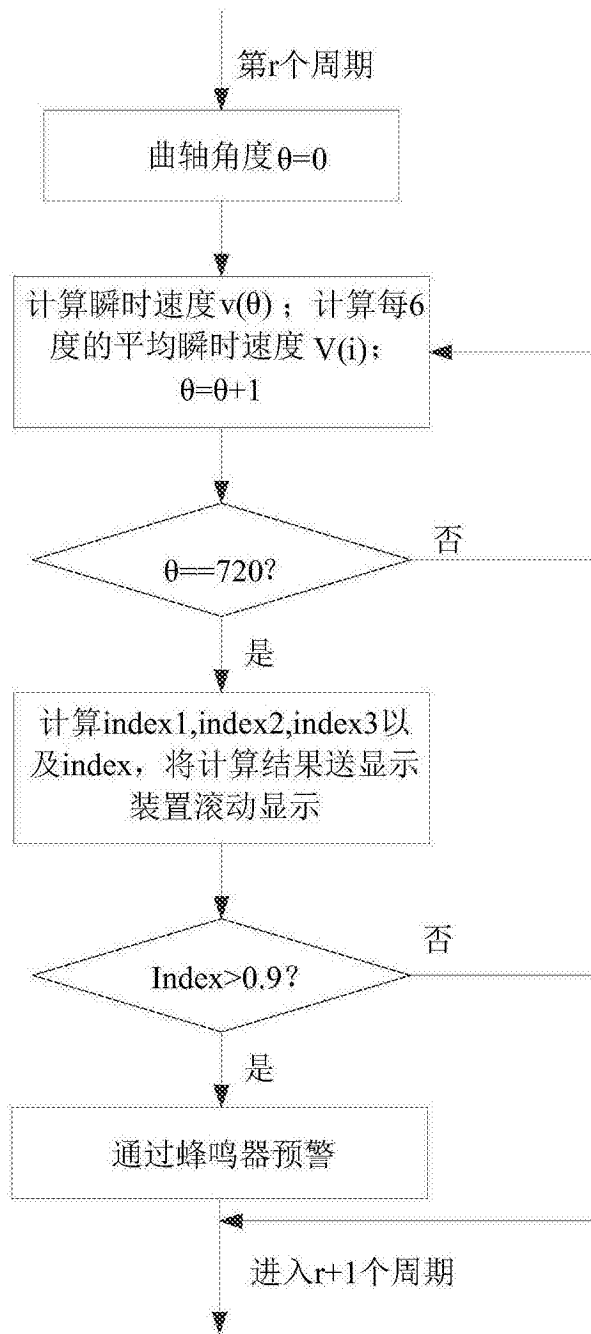


图3