



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111855219 A

(43) 申请公布日 2020.10.30

(21) 申请号 202010698450.8

G06F 17/18 (2006.01)

(22) 申请日 2020.07.20

(71) 申请人 哈尔滨工程大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街145号

(72) 发明人 王忠巍 李耀 徐荣 倪小明

张玉兴 周莉娜

(74) 专利代理机构 哈尔滨市阳光惠远知识产权

代理有限公司 23211

代理人 张宏威

(51) Int.Cl.

G01M 15/09 (2006.01)

G01M 15/05 (2006.01)

G06F 17/13 (2006.01)

G06F 17/16 (2006.01)

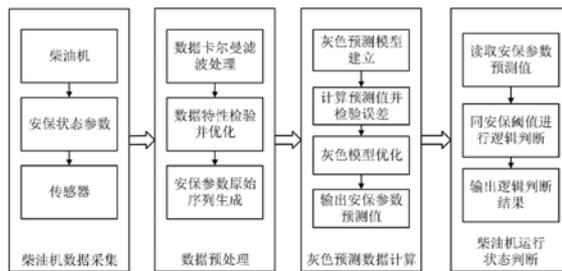
权利要求书3页 说明书11页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法

(57) 摘要

本发明是一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法。本发明属于柴油机安全预测技术领域,首先采集柴油机润滑油进机压力和温度的运行数据,并对该运行数据进行卡尔曼滤波处理;然后按照灰色预测模型的建模步骤,实现柴油机运行数据的预测功能,并得到预测结果;运用相对误差检验法对灰色预测模型进行检验,若未满足四级检验指标,则利用残差法优化灰色模型,直至满足四级及以上级别指标,输出准确的预测数据;在预测数据相对误差验证合格基础上,将预测结果与柴油机报警阈值进行逻辑判别,将预测状态结果输出至上位机。本发明可以有效的预测柴油机润滑油进机参数的变化趋势,并对柴油机润滑油系统的未来的工作状态进行合理预测。



1. 一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法,其特征是:包括以下步骤:

步骤1:通过压力传感器采集柴油机压力数据,所述压力数据为柴油机的润滑油进机压力运行数据,通过数据采集卡从柴油机润滑油进机入口管道的压力传感器处获取,并将数据存储在Excel中;

步骤2:对采集到的柴油机的润滑油进机压力运行数据进行数据预处理,滤除环境噪声影响;

步骤3:根据滤除噪声后的数据,柴油机润滑油进机压力灰色预测数据处理,得到预测结果;

步骤4:根据预测结果和柴油机安全保护系统报警阈值进行对比,判断柴油机运行状态,根据柴油机运行状态发出报警。

2. 根据权利要求1所述的一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法,其特征是:所述步骤2具体为:

步骤2.1:初始化滤波器参数,确定输入信号 w_k 、输出信号的观测噪声 v_k 、 Q_k 和产品规定误差 R_k ,采用卡尔曼滤波法对采集到的柴油机的润滑油进机压力运行数据进行数据预处理,滤除环境噪声影响,建立状态方程和输出方程,通过下式表示状态方程 x_{k+1} 和输出方程 y_k :

$$x_{k+1} = A_k x_k + w_k$$

$$y_k = C_k x_k + v_k$$

其中, k 为时间, w_k 为输入信号, v_k 为输出信号的观测噪声, A 为状态变量之间的增益矩阵, x_k 为 k 时刻的状态变量, C 为状态变量与输出信号之间的增益矩阵;

确定输入信号 w_k 、输出信号的观测噪声 v_k 、 Q_k 和产品规定误差 R_k ;

步骤2.2:设定初始真是温度为 $x_{(0)} = T_0$ 和初始时刻的协方差 $P_{(0)}$;

步骤2.3:读取第 $k-1$ 时刻的最优估计值 T_{k-1} , k 时刻的测量值 t_k ,计算增益因子,通过下式表示增益因子:

$$H_k = P_{(k-1)} / (P_{(k-1)} + R_k)$$

$$T_k = T_{k-1} + H_k (t_k - T_{k-1})$$

k 时刻的最优至噪声协方差通过下式表示:

$$P_{(k)} = (1 - H_k) P_{(k-1)}$$

步骤2.4:读取第 k 时刻的最优估计值 T_k , $k+1$ 时刻的测量值 t_{k+1} ,计算增益因子 H_{k+1} 和 T_{k+1} , $k+1$ 时刻的最优值噪声协方差 $P_{(k+1)}$;

步骤2.5:重复步骤2.3至2.4,估计出最优值,得到滤除环境噪声后的有效数据。

3. 根据权利要求1所述的一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法,其特征是:当柴油机真实温度处于恒定时, $Q_k = 0$;当柴油机温度随着运行状态发生变化时, $Q_k = 0.01$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法,其特征是:所述步骤3具体为:

步骤3.1:建立灰色预测模型GM(2,1),通过下式表示灰色预测模型GM(2,1)的微分方程:

$\frac{d^2 p^{(1)}}{dt^2} + a_1 \frac{dp^{(1)}}{dt} + a_2 p^{(1)} = u$ 其中, $p^{(1)}$ 为经过一次累加运算生成的累加数列; t 为时间; a_1 , a_2 , u 为待估参数, 分别为发展灰系数和内生控制灰系数;

步骤3.2: 根据滤除噪声后的数据, 建立原始压力数据数列, 通过下式表示所述数列 $P^{(0)}$:

$$P^{(0)} = (p^{(0)}(1), p^{(0)}(2), p^{(0)}(3) \cdots p^{(0)}(n))$$

其中, $p^{(0)}(i)$ 为润滑油进机压力参数的时间序列数据, $i=1, 2, \cdots, n$;

步骤3.3: 根据 $P^{(0)}$, 确定 $P^{(0)}$ 的级比 $\sigma^{(0)}(i)$ 的大小, 进行级比检验, 通过下式表示级比 $\sigma^{(0)}(i)$:

$$\sigma^{(0)}(i) = \frac{p^{(0)}(i)}{p^{(0)}(i-1)}$$

步骤3.4: 当级比 $\sigma^{(0)}(i)$ 满足检验标准时, 对 $P^{(0)}$ 作 $1-AGO$ 累加运算和 $1-IAGO$ 累减, 得到生成 $P^{(1)}$ 与 $\alpha^{(1)}P^{(0)}$ 数列, 通过下式表示 $P^{(1)}$ 与 $\alpha^{(1)}P^{(0)}$ 数列:

$$P^{(1)} = (p^{(1)}(1), p^{(1)}(2), \cdots, p^{(1)}(n))$$

$$\alpha^{(1)}P^{(0)} = (\alpha^{(1)}p^{(0)}(2), \alpha^{(1)}p^{(0)}(3) \cdots \alpha^{(1)}p^{(0)}(n))$$

$$p^{(1)}(i) = \sum_{k=1}^i p^{(0)}(k) \quad (k=1, 2, \cdots, n)$$

$$\alpha^{(1)}p^{(0)}(i) = p^{(0)}(i) - p^{(0)}(i-1), \quad i=2, 3, \cdots, n$$

步骤3.5: 检验 $P^{(1)}$ 是否具有准指数规律, 通过下式计算准指数 $\delta^{(1)}(i)$:

$$\delta^{(1)}(i) = \frac{p^{(1)}(i)}{p^{(1)}(i-1)}$$

步骤3.6: 当准指数满足检验标准时, 对 $P^{(1)}$ 作紧邻均值生成运算, 通过下式表示紧邻均值:

$$z^{(1)}(i) = 0.5p^{(1)}(i) + 0.5p^{(1)}(i-1) \quad (i=2, 3, \cdots, n)$$

$$Z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), z^{(1)}(4), z^{(1)}(5))$$

步骤3.7: 对参数列 $\hat{a} = [a_1, a_2, u]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y$ 进行最小二乘估计, 得到 a_1, a_2, u :

$$B = \begin{bmatrix} -p^{(0)}(2) & -z^{(1)}(2) & 1 \\ -p^{(0)}(3) & -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -p^{(0)}(n) & -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -p^{(0)}(2) & -0.5(p^{(1)}(1) + p^{(1)}(2)) & 1 \\ -p^{(0)}(3) & -0.5(p^{(1)}(2) + p^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -p^{(0)}(n) & -0.5(p^{(1)}(n-1) + p^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} \alpha^{(1)}p^{(0)}(2) \\ \alpha^{(1)}p^{(0)}(3) \\ \vdots \\ \alpha^{(1)}p^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p^{(0)}(2) - p^{(0)}(1) \\ p^{(0)}(3) - p^{(0)}(2) \\ \vdots \\ p^{(0)}(n) - p^{(0)}(n-1) \end{bmatrix}$$

步骤3.8: 对 $GM(2, 1)$ 进行白化方程求解, 得到关于 $GM(2, 1)$ 的时间响应式, 通过下式表示时间响应式:

$$\hat{P}^{(1)}(i+1) = c_1 e^i + c_2 e^{2i} + C \quad (i=1, 2, \cdots, n-1)$$

求解 $P^{(1)}$ 的模拟值,通过下式表示 $P^{(1)}$ 的模拟值:

$$\hat{p}^{(1)} = (\hat{p}^{(1)}(2), \hat{p}^{(1)}(3), \dots, \hat{p}^{(1)}(n-1), \hat{p}^{(1)}(n))$$

根据模拟值还原确定 $P^{(0)}$ 的模拟值,通过下式表示 $P^{(0)}$ 的模拟值:

$$\hat{p}^{(0)}(i) = \hat{p}^{(1)}(i) - \hat{p}^{(1)}(i-1) \quad (i = 2, 3 \dots n)$$

$$\hat{P}^{(0)} = (\hat{p}^{(0)}(1), \hat{p}^{(0)}(2), \dots, \hat{p}^{(0)}(n-1), \hat{p}^{(0)}(n))$$

将 $P^{(0)}$ 的模拟值作为预测结果 $\hat{P}^{(0)} = (\hat{p}^{(0)}(1), \hat{p}^{(0)}(2), \dots, \hat{p}^{(0)}(n-1), \hat{p}^{(0)}(n))$;

步骤3.9:对模型进行误差检验,通过下式表示误差检测值 ε :

$$\varepsilon = \frac{p^{(0)}(i) - \hat{p}^{(0)}(i)}{p^{(0)}(i)} \times 100\%$$

检验指标为:一级:指标临界值为0.01;二级:指标临界值为0.05;三级:指标临界值为0.10;四级:指标临界值为0.20;若误差检测值不满足四级指标临界值,则采用残差优化灰色预测模型GM(2,1)。

5.根据权利要求4所述的一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法,其特征是:判断级比 $\sigma^{(0)}(i)$ 满足检验标准具体:

$$\sigma^{(0)}(i) \in \left(\frac{-2}{e^{n+1}}, \frac{2}{e^{n+1}} \right)$$

当级比在上式检验标准范围内,则满足。

6.根据权利要求4所述的一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法,其特征是:检验准指数是否具有准指数规律具体为:

$$\delta^{(1)}(i) \in (1, 1.5)$$

当准指数在上式检验标准范围内时,则满足。

7.根据权利要求1所述的一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法,其特征是:预测结果与柴油机安全保护系统报警阈值进行比较后,根据预测出来的滑油进机压力将在80min后低于安保系统得压力阈值,那么将判定柴油机未来运行状态为润滑油进机压力过低,此时,安保系统会通过程序向上位机发送报警信号,并将预测数据以图表化的形式同时发送给上位机进行下一步分析。

一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及柴油机安全预测技术领域,是一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法。

背景技术

[0002] 随着当今社会工业化水平的迅猛发展,柴油机作为最常用的动力机械设备,广泛应用于石油矿场、固定发电、铁路牵引、工程机械及特种船舶等领域,并且柴油机日益朝着大型化、高速化、精密化方向发展,工作性能不断改善,自动化程度越来越高。一方面利用先进柴油机将大大提高劳动生产率,提高产品质量,降低生产成本和能耗;但另一方面,柴油机的安全运行问题日益严峻,随着高负荷、高转速的发展,柴油机安全事故危险程度进一步提高,一旦其中某一部分或某一环节发生持续的超限运行并且不采取处理,往往会造成设备损坏,引发重大安全事故,甚至危及人身安全。开展柴油机安全保护技术研究,不仅能够帮助我们防止安全事故发生,确保工作人员人身安全,同时能够避免潜在的巨大经济损失和社会损失。

[0003] 传统柴油机安全保护系统的任务是监测柴油机的重要状态参数,如柴油机润滑油进机压力、温度,判断其是否超越设定阈值,进而判断柴油机运行是否安全,并在危险发生前采取紧急停机措施,保证人员及设备安全。这种方式虽然可以在一定程度上避免事故的发生,但其弊端也是十分明显,当处于额定负荷下正常运行的柴油机突然发生停机操作(特别是从满负荷突然卸载),会对运动件造成应力冲击;并且在润滑油压力逐渐偏离正常范围的过程中,对机体、活塞以及曲轴等运动部件的润滑效果大幅度下降,对设备造成巨大的不可逆损伤,严重影响设备的工作寿命。

[0004] 经对现有技术的文献检索发现,公开文件“船用柴油机的测速与安保系统”提出了一种基于柴油机转速的安保系统,该公开文件自述为:“本发明提供一种船用柴油机的测速与安保系统。使用者通过工业触摸屏根据实际的使用情况设置报警阈值,报警阈值是针对每一路检测信号而预先设定的,并且每一路检测信号的报警阈值可以选择设定为是模拟量或开关量。使用者通过工业触摸屏对每一路检测信号的报警阈值为开关量或模拟量进行设置。所述主控模块通过所述报警阈值对所述检测信号进行判断所述检测信号超过所述报警阈值,则所述主控模块向所述柴油机发出停车信号,并通过所述远程控制箱报警所述检测信号未超过所述报警阈值,则不采取任何操作”其不足之处是该安保系统采用的策略是对实时数据进行单一阈值的设置,只有在设备超限运行后才能监测出来并进行停机处理,仍然会对柴油机造成巨大的损伤。

发明内容

[0005] 本发明为实现柴油机安全保护的润滑油进机参数预测的方法,通过实时采集柴油机润滑油进机参数运行数据,实现对柴油机运行状态的监测,进而对数据进行处理并预测变化趋势。并在危险情况发生前向上位机发送报警信号,可以提前采取反馈措施,避免设备

超限工作的情况,提高设备的可靠性、安全性,本发明提供了一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法,本发明提供了以下技术方案:

[0006] 一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤1:通过压力传感器采集柴油机压力数据,所述压力数据为柴油机的润滑油进机压力运行数据,通过数据采集卡从柴油机润滑油进机入口管道的压力传感器处获取,并将数据存储至Excel中;

[0008] 步骤2:对采集到的柴油机的润滑油进机压力运行数据进行数据预处理,滤除环境噪声影响;

[0009] 步骤3:根据滤除噪声后的数据,柴油机润滑油进机压力灰色预测数据处理,得到预测结果;

[0010] 步骤4:根据预测结果和柴油机安全保护系统报警阈值进行对比,判断柴油机运行状态,根据柴油机运行状态发出报警。

[0011] 优选地,所述步骤2具体为:

[0012] 步骤2.1:初始化柴油机,确定输入信号 w_k 、输出信号的观测噪声 v_k 、 Q_k 和产品规定误差 R_k ,采用卡尔曼滤波法对采集到的柴油机的润滑油进机压力运行数据进行数据预处理,滤除环境噪声影响,建立状态方程和输出方程,通过下式表示状态方程 x_{k+1} 和输出方程 y_k :

$$[0013] \quad x_{k+1} = A_k x_k + w_k$$

$$[0014] \quad y_k = C_k x_k + v_k$$

[0015] 其中, k 为时间, w_k 为输入信号, v_k 为输出信号的观测噪声, A 为状态变量之间的增益矩阵, x_k 为 k 时刻的状态变量, C 为状态变量与输出信号之间的增益矩阵;

[0016] 确定输入信号 w_k 、输出信号的观测噪声 v_k 、 Q_k 和产品规定误差 R_k ;

[0017] 步骤2.2:设定初始真是温度为 $x^{(0)} = T_0$ 和初始时刻的协方差 $P^{(0)}$;

[0018] 步骤2.3:读取第 $k-1$ 时刻的最优估计值 T_{k-1} , k 时刻的测量值 t_k ,计算增益因子,通过下式表示增益因子:

$$[0019] \quad H_k = P_{(k-1)} / (P_{(k-1)} + R_k)$$

$$[0020] \quad T_k = T_{k-1} + H_k (t_k - T_{k-1})$$

[0021] k 时刻的最优至噪声协方差通过下式表示:

$$[0022] \quad P_{(k)} = (1 - H_k) P_{(k-1)}$$

[0023] 步骤2.4:读取第 k 时刻的最优估计值 T_k , $k+1$ 时刻的测量值 t_{k+1} ,计算增益因子 H_{k+1} 和 T_{k+1} , $k+1$ 时刻的最优值噪声协方差 $P_{(k+1)}$ 。

[0024] 步骤2.5:重复步骤2.3至2.4,估计出最优值,得到滤除环境噪声后的有效数据。

[0025] 优选地,当柴油机真实温度处于恒定时, $Q_k = 0$;当柴油机温度随着运行状态发生变化时, $Q_k = 0.01$ 。

[0026] 优选地,所述步骤3具体为:

[0027] 步骤3.1:建立灰色预测模型GM(2,1),通过下式表示灰色预测模型GM(2,1)的微分方程:

$$[0028] \quad \frac{d^2 p^{(1)}}{dt^2} + a_1 \frac{dp^{(1)}}{dt} + a_2 p^{(1)} = u \text{ 其中, } p^{(1)} \text{ 为经过一次累加运算生成的累加数列; } t \text{ 为时}$$

间; a_1, a_2, u 为待估参数,分别为发展灰系数和内生控制灰系数;

[0029] 步骤3.2:根据根据滤除噪声后的数据,建立原始压力数据数列,通过下式表示所述数列 $P^{(0)}$:

$$[0030] \quad P^{(0)} = (p^{(0)}(1), p^{(0)}(2), p^{(0)}(3) \cdots p^{(0)}(n))$$

[0031] 其中, $p^{(0)}(i)$ 为润滑油进机压力参数的时间序列数据, $i=1,2,\dots,n$;

[0032] 步骤3.3:根据 $P^{(0)}$,确定 $P^{(0)}$ 的级比 $\sigma^{(0)}(i)$ 的大小,进行级比检验,通过下式表示级比 $\sigma^{(0)}(i)$:

$$[0033] \quad \sigma^{(0)}(i) = \frac{p^{(0)}(i)}{p^{(0)}(i-1)}$$

[0034] 步骤3.4:当级比 $\sigma^{(0)}(i)$ 满足检验标准时,对 $P^{(0)}$ 作1-AGO累加运算和1-IAGO累减,得到生成 $P^{(1)}$ 与 $\alpha^{(1)}P^{(0)}$ 数列,通过下式表示 $P^{(1)}$ 与 $\alpha^{(1)}P^{(0)}$ 数列:

$$[0035] \quad P^{(1)} = (p^{(1)}(1), p^{(1)}(2), \dots, p^{(1)}(n))$$

$$[0036] \quad \alpha^{(1)}P^{(0)} = (\alpha^{(1)}p^{(0)}(2), \alpha^{(1)}p^{(0)}(3) \cdots \alpha^{(1)}p^{(0)}(n))$$

$$[0037] \quad p^{(1)}(i) = \sum_{k=1}^i p^{(0)}(k) \quad (k=1,2,\dots,n)$$

$$[0038] \quad \alpha^{(1)}p^{(0)}(i) = p^{(0)}(i) - p^{(0)}(i-1), \quad i=2,3,\dots,n$$

[0039] 步骤3.5:检验 $P^{(1)}$ 是否具有准指数规律,通过下式计算准指数 $\delta^{(1)}(i)$:

$$[0040] \quad \delta^{(1)}(i) = \frac{p^{(1)}(i)}{p^{(1)}(i-1)}$$

[0041] 步骤3.6:当准指数满足检验标准时,对 $P^{(1)}$ 作紧邻均值生成运算,通过下式表示紧邻均值:

$$[0042] \quad z^{(1)}(i) = 0.5p^{(1)}(i) + 0.5p^{(1)}(i-1) \quad (i=2,3,\dots,n)$$

$$[0043] \quad Z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), z^{(1)}(4), z^{(1)}(5))$$

[0044] 步骤3.7:对参数列 $\hat{a} = [a_1, a_2, u]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y$ 进行最小二乘估计,得到 a_1, a_2, u :

$$[0045] \quad B = \begin{bmatrix} -p^{(0)}(2) & -z^{(1)}(2) & 1 \\ -p^{(0)}(3) & -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -p^{(0)}(n) & -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -p^{(0)}(2) & -0.5(p^{(1)}(1) + p^{(1)}(2)) & 1 \\ -p^{(0)}(3) & -0.5(p^{(1)}(2) + p^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -p^{(0)}(n) & -0.5(p^{(1)}(n-1) + p^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}$$

$$[0046] \quad Y = \begin{bmatrix} \alpha^{(1)}p^{(0)}(2) \\ \alpha^{(1)}p^{(0)}(3) \\ \vdots \\ \alpha^{(1)}p^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p^{(0)}(2) - p^{(0)}(1) \\ p^{(0)}(3) - p^{(0)}(2) \\ \vdots \\ p^{(0)}(n) - p^{(0)}(n-1) \end{bmatrix}$$

[0047] 步骤3.8:对GM(2,1)进行白化方程求解,得到关于GM(2,1)的时间响应式,通过下式表示时间响应式:

$$[0048] \quad \hat{x}^{(1)}(i+1) = c_1 e^i + c_2 e^{2i} + C \quad (i=1,2,\dots,n-1)$$

[0049] 求解 $P^{(1)}$ 的模拟值,通过下式表示 $P^{(1)}$ 的模拟值:

[0050] $\hat{P}^{(1)} = (\hat{p}^{(1)}(2), \hat{p}^{(1)}(3), \dots, \hat{p}^{(1)}(n-1), p^{(1)}(n))$

[0051] 根据模拟值还原确定 $P^{(0)}$ 的模拟值,通过下式表示 $P^{(0)}$ 的模拟值:

[0052] $\hat{p}^{(0)}(i) = \hat{p}^{(1)}(i) - \hat{p}^{(1)}(i-1) \quad (i = 2, 3 \dots n)$

[0053] $\hat{P}^{(0)} = (\hat{p}^{(0)}(1), \hat{p}^{(0)}(2), \dots, \hat{p}^{(0)}(n-1), \hat{p}^{(0)}(n))$

[0054] 将 $P^{(0)}$ 的模拟值作为预测结果 $\hat{P}^{(0)} = (\hat{p}^{(0)}(1), \hat{p}^{(0)}(2), \dots, \hat{p}^{(0)}(n-1), \hat{p}^{(0)}(n))$;

[0055] 步骤3.9:对模型进行误差检验,通过下式表示误差检测值 ε :

[0056]
$$\varepsilon = \frac{p^{(0)}(i) - \hat{p}^{(0)}(i)}{p^{(0)}(i)} \times 100\%$$

[0057] 检验指标为:一级:指标临界值为0.01;二级:指标临界值为0.05;三级:指标临界值为0.10;四级:指标临界值为0.20;若误差检测值不满足四级指标临界值,则采用残差优化灰色预测模型GM(2,1)。

[0058] 优选地,判断级比 $\sigma^{(0)}(i)$ 满足检验标准具体:

[0059]
$$\sigma^{(0)}(i) \in \left(\frac{-2}{e^{n+1}}, \frac{2}{e^{n+1}} \right)$$

[0060] 当级比在上式检验标准范围内,则满足。

[0061] 优选地,检验准指数是否具有准指数规律具体为:

[0062] $\delta^{(1)}(i) \in (1, 1.5)$

[0063] 当准指数在上式检验标准范围内时,则满足。

[0064] 优选地,预测结果与柴油机安全保护系统报警阈值进行比较后,根据预测出来的滑油进机压力将在80min后低于安保系统得压力阈值,那么将判定柴油机未来运行状态为润滑油进机压力过低,此时,安保系统会通过程序向上位机发送报警信号,并将预测数据以图表化的形式同时发送给上位机进行下一步分析。

[0065] 本发明具有以下有益效果:

[0066] 本发明首先采集柴油机润滑油进机的压力、温度数据;将所采集数据经过卡尔曼滤波技术处理后构成润滑油进机压力与温度的原始参数序列;按照灰色理论预测模型的建模步骤,对原始压力序列进行累加运算,生成累加数列,然后针对累加数列进行数据准光滑度检验,在满足准光滑度的条件下,建立灰色预测GM(2,1)模型进行预测计算,运用相对误差检验法进行模型检验,达到四级标准及以上视为合格,若合格则输出预测结果,不合格可用残差序列建立模型,对原模型进行修正,直至符合检验标准,在模型符合检验标准基础上,输出预测结果,实现柴油机润滑油进机压力、温度的趋势预测;而后将预测结果与柴油机安全报警阈值进行比较,实现润滑油进机压力、温度是否正常的状态判断;当预测结果为异常状态,即润滑油进机压力的预测结果低于规定阈值或者润滑油进机温度高于规定阈值,对上位机输出报警提醒信号,以便提前采取反馈措施。

[0067] 本发明方法直接从柴油机获取润滑油进机参数的运行数据,同时采用灰色理论预测方法对润滑油进机参数进行趋势预测,通过预测结果判断柴油机未来的运行状态。若判断柴油机即将处于异常运行状态,可以提醒上位机,提早采取反馈措施,避免超限运行和突然停机的状况,进而达到柴油机安全保护的的目的。

[0068] 根据本发明的预测方法,可以有效的预测未来润滑油进机压力的变化,及早对柴油机采取安全保护措施,提高设备的可靠性,也可以实现在保证柴油机运行安全的情况下,尽量减少骤然停机所带来危害的可能。

附图说明

[0069] 图1为基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法流程图;

[0070] 图2为柴油机运行期间的润滑油进机压力的预测结果图。

具体实施方式

[0071] 以下结合具体实施例,对本发明进行了详细说明。

[0072] 具体实施例一:

[0073] 根据图1所示,本发明提供一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法,具体为:

[0074] 一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法,包括以下步骤:

[0075] 步骤1:通过压力传感器采集柴油机压力数据,所述压力数据为柴油机的润滑油进机压力运行数据,通过数据采集卡从柴油机润滑油进机入口管道的压力传感器处获取,并将数据存储至Excel中;

[0076] 步骤2:对采集到的柴油机的润滑油进机压力运行数据进行数据预处理,滤除环境噪声影响;

[0077] 所述步骤2具体为:

[0078] 步骤2.1:初始化柴油机,确定输入信号 w_k 、输出信号的观测噪声 v_k 、 Q_k 和产品规定误差 R_k ,采用卡尔曼滤波法对采集到的柴油机的润滑油进机压力运行数据进行数据预处理,滤除环境噪声影响,建立状态方程和输出方程,通过下式表示状态方程 x_{k+1} 和输出方程 y_k :

$$[0079] \quad x_{k+1} = A_k x_k + w_k$$

$$[0080] \quad y_k = C_k x_k + v_k$$

[0081] 其中, k 为时间, w_k 为输入信号, v_k 为输出信号的观测噪声, A 为状态变量之间的增益矩阵, x_k 为 k 时刻的状态变量, C 为状态变量与输出信号之间的增益矩阵;

[0082] 确定输入信号 w_k 、输出信号的观测噪声 v_k 、 Q_k 和产品规定误差 R_k ;

[0083] 步骤2.2:设定初始真是温度为 $x^{(0)} = T_0$ 和初始时刻的协方差 $P^{(0)}$;

[0084] 步骤2.3:读取第 $k-1$ 时刻的最优估计值 T_{k-1} , k 时刻的测量值 t_k ,计算增益因子,通过下式表示增益因子:

$$[0085] \quad H_k = P_{(k-1)} / (P_{(k-1)} + R_k)$$

$$[0086] \quad T_k = T_{k-1} + H_k (t_k - T_{k-1})$$

[0087] k 时刻的最优至噪声协方差通过下式表示:

$$[0088] \quad P_{(k)} = (1 - H_k) P_{(k-1)}$$

[0089] 步骤2.4:读取第 k 时刻的最优估计值 T_k , $k+1$ 时刻的测量值 t_{k+1} ,计算增益因子 H_{k+1} 和 T_{k+1} , $k+1$ 时刻的最优值噪声协方差 $P_{(k+1)}$ 。

[0090] 步骤2.5:重复步骤2.3至2.4,估计出最优值,得到滤除环境噪声后的有效数据。

[0091] 优选地,当柴油机真实温度处于恒定时, $Q_k=0$;当柴油机温度随着运行状态发生变化时, $Q_k=0.01$ 。

[0092] 步骤3:根据滤除噪声后的数据,柴油机润滑油进机压力灰色预测数据处理,得到预测结果;

[0093] 所述步骤3具体为:

[0094] 步骤3.1:建立灰色预测模型GM(2,1),通过下式表示灰色预测模型GM(2,1)的微分方程:

[0095] $\frac{d^2p^{(1)}}{dt^2} + a_1 \frac{dp^{(1)}}{dt} + a_2 p^{(1)} = u$ 其中, $p^{(1)}$ 为经过一次累加运算生成的累加数列; t 为时间; a_1, a_2, u 为待估参数,分别为发展灰系数和内生控制灰系数;

[0096] 步骤3.2:根据滤除噪声后的数据,建立原始压力数据数列,通过下式表示所述数列 $P^{(0)}$:

[0097] $P^{(0)} = (p^{(0)}(1), p^{(0)}(2), p^{(0)}(3) \cdots p^{(0)}(n))$

[0098] 其中, $p^{(0)}(i)$ 为润滑油进机压力参数的时间序列数据, $i=1, 2, \cdots, n$;

[0099] 步骤3.3:根据 $P^{(0)}$,确定 $P^{(0)}$ 的级比 $\sigma^{(0)}(i)$ 的大小,进行级比检验,通过下式表示级比 $\sigma^{(0)}(i)$:

[0100] $\sigma^{(0)}(i) = \frac{p^{(0)}(i)}{p^{(0)}(i-1)}$

[0101] 步骤3.4:当级比 $\sigma^{(0)}(i)$ 满足检验标准时,对 $P^{(0)}$ 作1-AGO累加运算和1-IAGO累减,得到生成 $P^{(1)}$ 与 $\alpha^{(1)}P^{(0)}$ 数列,通过下式表示 $P^{(1)}$ 与 $\alpha^{(1)}P^{(0)}$ 数列:

[0102] $P^{(1)} = (p^{(1)}(1), p^{(1)}(2), \cdots, p^{(1)}(n))$

[0103] $\alpha^{(1)}P^{(0)} = (\alpha^{(1)}p^{(0)}(2), \alpha^{(1)}p^{(0)}(3) \cdots \alpha^{(1)}p^{(0)}(n))$

[0104] $p^{(1)}(i) = \sum_{k=1}^i p^{(0)}(k) (k=1, 2, \cdots, n)$

[0105] $\alpha^{(1)}p^{(0)}(i) = p^{(0)}(i) - p^{(0)}(i-1), i=2, 3, \cdots, n$

[0106] 判断级比 $\sigma^{(0)}(i)$ 满足检验标准具体:

[0107] $\sigma^{(0)}(i) \in \left(\frac{-2}{en+1}, \frac{2}{en+1} \right)$

[0108] 当级比在上式检验标准范围内,则满足。

[0109] 步骤3.5:检验 $P^{(1)}$ 是否具有准指数规律,通过下式计算准指数 $\delta^{(1)}(i)$:

[0110] $\delta^{(1)}(i) = \frac{p^{(1)}(i)}{p^{(1)}(i-1)}$

[0111] 检验准指数是否具有准指数规律具体为:

[0112] $\delta^{(1)}(i) \in (1, 1.5)$

[0113] 当准指数在上式检验标准范围内时,则满足。

[0114] 步骤3.6:当准指数满足检验标准时,对 $P^{(1)}$ 作紧邻均值生成运算,通过下式表示紧邻均值:

[0115] $z^{(1)}(i) = 0.5p^{(1)}(i) + 0.5p^{(1)}(i-1) (i=2, 3 \cdots n)$

[0116] $Z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), z^{(1)}(4), z^{(1)}(5))$

[0117] 步骤3.7:对参数列 $\hat{a} = [a_1, a_2, u]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y$ 进行最小二乘估计,得到 a_1, a_2, u :

$$[0118] \quad B = \begin{bmatrix} -p^{(0)}(2) & -z^{(1)}(2) & 1 \\ -p^{(0)}(3) & -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -p^{(0)}(n) & -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -p^{(0)}(2) & -0.5(p^{(1)}(1) + p^{(1)}(2)) & 1 \\ -p^{(0)}(3) & -0.5(p^{(1)}(2) + p^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -p^{(0)}(n) & -0.5(p^{(1)}(n-1) + p^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}$$

$$[0119] \quad Y = \begin{bmatrix} \alpha^{(1)} p^{(0)}(2) \\ \alpha^{(1)} p^{(0)}(3) \\ \vdots \\ \alpha^{(1)} p^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p^{(0)}(2) - p^{(0)}(1) \\ p^{(0)}(3) - p^{(0)}(2) \\ \vdots \\ p^{(0)}(n) - p^{(0)}(n-1) \end{bmatrix}$$

[0120] 步骤3.8:对GM(2,1)进行白化方程求解,得到关于GM(2,1)的时间响应式,通过下式表示时间响应式:

$$[0121] \quad \hat{x}^{(1)}(i+1) = c_1 e^i + c_2 e^{2i} + C \quad (i = 1, 2, \dots, n-1)$$

[0122] 求解 $P^{(1)}$ 的模拟值,通过下式表示 $P^{(1)}$ 的模拟值:

$$[0123] \quad \hat{P}^{(1)} = (\hat{p}^{(1)}(2), \hat{p}^{(1)}(3), \dots, \hat{p}^{(1)}(n-1), p^{(1)}(n))$$

[0124] 根据模拟值还原确定 $P^{(0)}$ 的模拟值,通过下式表示 $P^{(0)}$ 的模拟值:

$$[0125] \quad \hat{p}^{(0)}(i) = \hat{p}^{(1)}(i) - \hat{p}^{(1)}(i-1) \quad (i = 2, 3, \dots, n)$$

$$[0126] \quad \hat{P}^{(0)} = (\hat{p}^{(0)}(1), \hat{p}^{(0)}(2), \dots, \hat{p}^{(0)}(n-1), \hat{p}^{(0)}(n))$$

[0127] 将 $P^{(0)}$ 的模拟值作为预测结果 $\hat{P}^{(0)} = (\hat{p}^{(0)}(1), \hat{p}^{(0)}(2), \dots, \hat{p}^{(0)}(n-1), \hat{p}^{(0)}(n))$;

[0128] 步骤3.9:对模型进行误差检验,通过下式表示误差检测值 ε :

$$[0129] \quad \varepsilon = \frac{p^{(0)}(i) - \hat{p}^{(0)}(i)}{p^{(0)}(i)} \times 100\%$$

[0130] 检验指标为:一级:指标临界值为0.01;二级:指标临界值为0.05;三级:指标临界值为0.10;四级:指标临界值为0.20;若误差检测值不满足四级指标临界值,则采用残差优化灰色预测模型GM(2,1)。

[0131] 步骤4:根据预测结果和柴油机安全保护系统报警阈值进行对比,判断柴油机运行状态,根据柴油机运行状态发出报警。

[0132] 预测结果与柴油机安全保护系统报警阈值进行比较后,根据预测出来的滑油进机压力将在80min后低于安保系统的压力阈值,那么将判定柴油机未来运行状态为润滑油进机压力过低,此时,安保系统会通过程序向上位机发送报警信号,并将预测数据以图表化的形式同时发送给上位机进行下一步分析。

[0133] 本方法首先采集柴油机润滑油进机压力和温度的运行数据,并对该运行数据进行卡尔曼滤波处理;然后按照灰色预测模型的建模步骤,实现柴油机运行数据的预测功能,并得到预测结果;运用相对误差检验法对灰色预测模型进行检验,若未满足四级检验指标,则利用残差法优化灰色模型,直至满足四级及以上级别指标,输出准确的预测数据;在预测数

据相对误差验证合格基础上,将预测结果与柴油机报警阈值进行逻辑判别,而后将预测状态结果输出至上位机。通过以上步骤,可以有效的预测柴油机润滑油进机参数的变化趋势,并对柴油机润滑油系统的未来的工作状态进行合理预测。本发明基于灰色理论,预测柴油机润滑油进机安保参数变化,可以协助控制系统,在设备超限运行前采取有效的反馈措施,从总体上提高设备的安全性,可靠性。

[0134] 具体实施例二:

[0135] 本发明包括以下步骤:柴油机润滑油进机压力的数据采集、柴油机润滑油进机压力的数据预处理、柴油机润滑油进机压力灰色预测数据的计算、柴油机未来工作状态判断。具体如下:

[0136] 步骤1:柴油机润滑油进机压力的数据采集:所述柴油机的润滑油进机压力运行数据是由数据采集卡从柴油机润滑油进机入口管道的压力传感器处获取,并将运行数据存储至Excel中,以便后续数据预处理步骤和灰色预测模型构建步骤读取使用。

[0137] 步骤2:柴油机润滑油进机压力的数据预处理:对上述采集的柴油机运行数据进行预处理,可以有效地过滤掉由于传感器本身或者周围环境造成的噪声影响,从而生成低干扰信号的有效数据。此处选用的方法为卡尔曼滤波法,它可以依靠设置初始状态和方差来设计,并进行下一时刻的参数估计;估计修正过程则根据柴油机外部干扰和传感器噪声的统计规律来计算增益;最终在预测状态基础上,利用增益对预测的参数值进行修正。得到最优的参数估计值。具体实施步骤如下:

[0138] 首先给出卡尔曼滤波器的有关定义:

[0139] 假设系统的k时刻的状态变量为 x_k ,状态方程和输出方程则如下表示:

$$[0140] \quad x_{k+1} = A_k x_k + w_k \quad \# (1)$$

$$[0141] \quad y_k = C_k x_k + v_k \quad \# (2)$$

[0142] 其中,k表示时间,即第k步迭代;输入信号 w_k 是白噪声,输出信号的观测噪声 v_k 也是白噪声; A 表示状态变量之间的增益矩阵,随时间k变化; C 表示状态变量与输出信号之间的增益矩阵,随时间k变化;假设 w_k 和 v_k 都是均值为零的正态白噪声,方差分别为 Q 和 R 。

[0143] 第一步:通过系统初始条件,确定 w_k 、 v_k 、 Q_k 和 R_k 。当被测系统真实温度处于恒定时, $Q_k = 0$,此处由于柴油机温度会随着运行状态发生变化,取 $Q_k = 0.01$ 。 v_k 为测温设备的测量噪声,出厂说明书会标记传感器误差, R_k 则取产品规定误差即可。

[0144] 第二步:建立卡尔曼滤波模型。

$$[0145] \quad x_{k+1} = A_k x_k + w_k$$

$$[0146] \quad y_k = C_k x_k + v_k$$

[0147] 式中, x_k 是一维温度变量; $A_k = 1$; $C_k = 1$; w_k 和 v_k 的方差为 Q_k 和 R_k 。

[0148] 第三步:设定初始真实温度值 $x_{(0)} = T_0$ 和初始时刻的协方差 $P_{(0)}$

[0149] 第四步:读取第k-1时刻的最优估计值 T_{k-1} ,k时刻的测量值 t_k ,计算增益因子

$$[0150] \quad H_k = P_{(k-1)} / (P_{(k-1)} + R_k) \quad \# (3)$$

[0151] 则

$$[0152] \quad T_k = T_{k-1} + H_k (t_k - T_{k-1}) \quad \# (4)$$

[0153] k时刻的最优值噪声协方差

$$[0154] \quad P_{(k)} = (1 - H_k) P_{(k-1)} \quad \# (5)$$

[0155] 第五步:读取第k时刻的最优估计值 T_k ,k+1时刻的测量值 t_{k+1} ,计算增益因子 H_{k+1} 和 T_{k+1} ,k+1时刻的最优值噪声协方差 $P_{(k+1)}$ 。

[0156] 第六步:重复第四、第五步的步骤,估计出最优的温度值。

[0157] 步骤3:柴油机润滑油进机压力灰色预测数据计算:所述的柴油机灰色建模趋势预测步骤是本发明的核心,通过预处理步骤后得到的有效数据,按照灰色预测模型的构建步骤进行预测计算并获得预测结果。本步骤开发环境采用的是Matlab软件。

[0158] 首先给出灰色预测模型GM(2,1)的有关定义:

[0159] 灰色预测模型GM(2,1)反映了一个变量对时间的二阶微分函数,其对应的微分方程可以表示为

$$[0160] \quad \frac{d^2 p^{(1)}}{dt^2} + a_1 \frac{dp^{(1)}}{dt} + a_2 p^{(1)} = u \quad \#(6)$$

[0161] 其中 $p^{(1)}$ 为经过一次累加运算生成的累加数列;t为时间; a_1, a_2, u 为待估参数,分别为发展灰系数和内生控制灰系数。

[0162] 灰色GM(2,1)模型的建立及计算步骤

[0163] 第一步:根据预处理后得有效数据,建立原始压力数据数列。

[0164] 设 $P^{(0)} = (p^{(0)}(1), p^{(0)}(2), p^{(0)}(3) \cdots p^{(0)}(n))$

[0165] 其中 $p^{(0)}(i)$ ($i=1, 2, \cdots, n$)为润滑油进机压力参数的时间序列数据

[0166] 第二步:对于给定的序列 $P^{(0)}$,计算 $P^{(0)}$ 的级比 $\sigma^{(0)}(i)$ 的大小,进行级比检验。级比的计算公式为

$$[0167] \quad \sigma^{(0)}(i) = \frac{p^{(0)}(i)}{p^{(0)}(i-1)} \quad \#(7)$$

[0168] 检验标准为

[0169] 若满足检验标准,即可进行后续GM(2,1)的建模步骤。

[0170] 第三步:对 $P^{(0)}$ 作1-AGO累加运算和1-IAGO累减,得到生成 $P^{(1)}$ 与 $\alpha^{(1)}P^{(0)}$ 数列

[0171] $P^{(1)} = (p^{(1)}(1), p^{(1)}(2), \cdots, p^{(1)}(n))$

[0172] $\alpha^{(1)}P^{(0)} = (\alpha^{(1)}p^{(0)}(2), \alpha^{(1)}p^{(0)}(3) \cdots \alpha^{(1)}p^{(0)}(n))$

[0173] 其中 $p^{(1)}(i) = \sum_1^i p^{(0)}(k)$ ($k=1, 2, \cdots, n$)#(9)

[0174] $\alpha^{(1)}p^{(0)}(i) = p^{(0)}(i) - p^{(0)}(i-1)$, $i=2, 3, \cdots, n$ #(10)

[0175] 第四步:检验 $P^{(1)}$ 是否具有准指数规律。准指数计算公式为

$$[0176] \quad \delta^{(1)}(i) = \frac{p^{(1)}(i)}{p^{(1)}(i-1)} \quad \#(11)$$

[0177] 检验标准为

[0178] $\delta^{(1)}(i) \in (1, 1.5)$

[0179] 若满足检验标准,即可进行后续GM(2,1)的建模步骤。

[0180] 第五步:对 $P^{(1)}$ 作紧邻均值生成运算。令

[0181] $z^{(1)}(i) = 0.5p^{(1)}(i) + 0.5p^{(1)}(i-1)$ ($i=2, 3, \cdots, n$)#(12)

[0182] 得 $Z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), z^{(1)}(4), z^{(1)}(5))$

[0183] 第六步:对参数列 $\hat{a} = [a_1, a_2, u]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y$ 进行最小二乘估计。得 a_1, a_2, u 值。

[0184] 其中

$$[0185] \quad B = \begin{bmatrix} -p^{(0)}(2) & -z^{(1)}(2) & 1 \\ -p^{(0)}(3) & -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -p^{(0)}(n) & -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -p^{(0)}(2) & -0.5(p^{(1)}(1) + p^{(1)}(2)) & 1 \\ -p^{(0)}(3) & -0.5(p^{(1)}(2) + p^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -p^{(0)}(n) & -0.5(p^{(1)}(n-1) + p^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}$$

$$[0186] \quad Y = \begin{bmatrix} \alpha^{(1)} p^{(0)}(2) \\ \alpha^{(1)} p^{(0)}(3) \\ \vdots \\ \alpha^{(1)} p^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p^{(0)}(2) - p^{(0)}(1) \\ p^{(0)}(3) - p^{(0)}(2) \\ \vdots \\ p^{(0)}(n) - p^{(0)}(n-1) \end{bmatrix}$$

[0187] 第七步:确定模型及方程的解

[0188] 关于GM(2, 1)白化方程的解,若 $P^{(1)*}$ 是

$$[0189] \quad \frac{d^2 p^{(1)}}{dt^2} + a_1 \frac{dp^{(1)}}{dt} + a_2 p^{(1)} = u \quad \#(13)$$

[0190] 的特解, $\bar{X}^{(1)}$ 是对应齐次方程

$$[0191] \quad \frac{d^2 p^{(1)}}{dt^2} + a_1 \frac{dp^{(1)}}{dt} + a_2 p^{(1)} = 0 \quad \#(14)$$

[0192] 的通解,则 $P^{(1)*} + \bar{P}^{(1)}$ 为GM(2, 1)白化方程的通解。

[0193] 白化方程的通解:当特征方程 $r^2 + a_1 r + a_2 = 0$ 有不等实根 r_1, r_2 时,

$$[0194] \quad \bar{P}^{(1)} = c_1 e^{r_1 t} + c_2 e^{r_2 t} \quad \#(15)$$

[0195] 当特征方程 $r^2 + a_1 r + a_2 = 0$ 有相同实根 r 时,

$$[0196] \quad \bar{P}^{(1)} = e^{rt}(c_1 + c_2 t) \quad \#(16)$$

[0197] 当特征方程 $r^2 + a_1 r + a_2 = 0$ 有共轭复数根 $r_1 = \alpha + i\beta, r_2 = \alpha - i\beta$ 时,

$$[0198] \quad \bar{P}^{(1)} = e^{\alpha t}(c_1 \cos \beta t + c_2 \sin \beta t) \quad \#(17)$$

[0199] 白化方程的特解:当零不是特征方程的根时, $P^{(1)*} = C$;

[0200] 当零时特征方程的单根时, $P^{(1)*} = Cp$;

[0201] 当零时特征方程的重根时, $P^{(1)*} = Cp^2$;

[0202] 例如:当 $a_1 = -3, a_2 = 2, u = 10$ 时, $r^2 - 3r + 2 = 0$ 有两个不同实根,则对应齐次方程的通解是 $\bar{P}^{(1)} = c_1 e^t + c_2 e^{2t}$ 。又因为零不是特征方程的跟,则 $P^{(1)*} = C$ 。

[0203] 所以白化模型

$$[0204] \quad \frac{d^2 p^{(1)}}{dt^2} - 3 \frac{dp^{(1)}}{dt} + 2p^{(1)} = 10 \text{ 的解为 } p^{(1)}(t) = c_1 e^t + c_2 e^{2t} + C.$$

[0205] 再利用边界条件 $P^{(1)} = (p^{(1)}(1), p^{(1)}(2), \dots, p^{(1)}(n))$ 解出 c_1, c_2, C 。即可得到关于GM(2, 1)的时间响应式 $\hat{p}^{(1)}(i+1) = c_1 e^i + c_2 e^{2i} + C (i = 1, 2, \dots, n-1)$ 。

[0206] 第八步:求 $P^{(1)}$ 的模拟值

[0207] $\hat{P}^{(1)} = (\hat{p}^{(1)}(2), \hat{p}^{(1)}(3), \dots, \hat{p}^{(1)}(n-1), p^{(1)}(n))$

[0208] 第九步:还原求出 $P^{(0)}$ 的模拟值。由

[0209] $\hat{p}^{(0)}(i) = \hat{p}^{(1)}(i) - \hat{p}^{(1)}(i-1) \quad (i = 2, 3 \dots n)$

[0210] 得 $\hat{P}^{(0)} = (\hat{p}^{(0)}(1), \hat{p}^{(0)}(2), \dots, \hat{p}^{(0)}(n-1), \hat{p}^{(0)}(n))$

[0211] 第十步:检验误差。

[0212] 模型检验的方法有三种:相对误差、关联度、均方差检验。一般情况下,最常用的是相对误差检验:

[0213]
$$\varepsilon = \frac{p^{(0)}(i) - \hat{p}^{(0)}(i)}{p^{(0)}(i)} \times 100\% \quad (18)$$

[0214] 具体检验指标为:一级:指标临界值为0.01;二级:指标临界值为0.05;三级:指标临界值为0.10;四级:指标临界值为0.20。若输出结果不满足四级指标临界值,则采用残差优化灰色预测模型。

[0215] 步骤4:柴油机未来工作状态判断:将预测结果与柴油机安全保护系统报警阈值比较后,对柴油机运行状态做出逻辑判断,并将判断结果反馈至上位机。图2为本发明实施某型柴油机运行期间润滑油进机压力的预测结果。如图2所示,柴油机润滑油进机压力出现了下降趋势,根据这些运行数据预测出来的滑油进机压力将在80min后低于安保系统得压力阈值,那么将判定柴油机未来运行状态为润滑油进机压力过低。此时,安保系统会通过程序向上位机发送报警信号,并将预测数据以图表化的形式同时发送给上位机进行下一步分析。

[0216] 以上所述仅是一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法的优选实施方式,一种基于灰色理论的柴油机润滑油进机安保参数预测方法的保护范围并不局限于上述实施例,凡属于该思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。应当指出,对于本领域的技术人员来说,在不脱离本发明原理前提下的若干改进和变化,这些改进和变化也应视为本发明的保护范围。

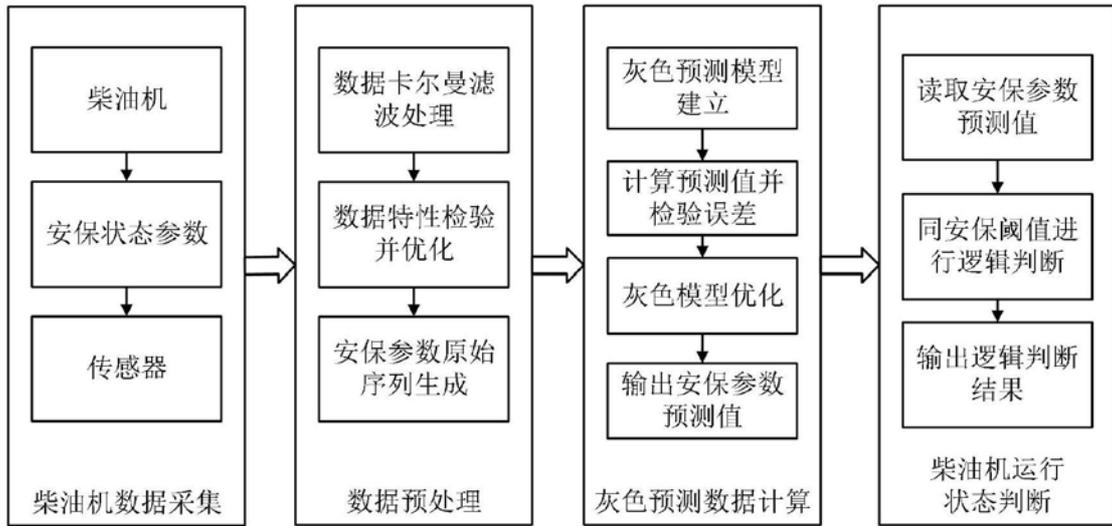


图1

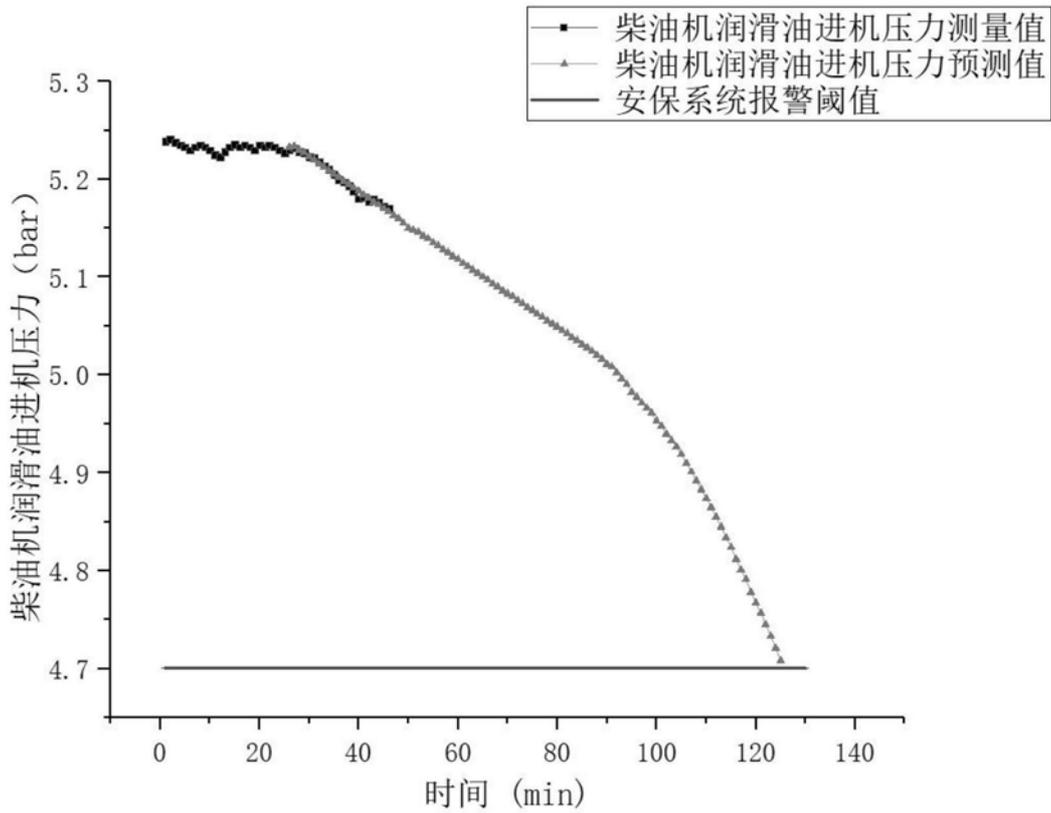


图2