



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108087065 B

(45)授权公告日 2019.08.27

(21)申请号 201711056101.0

F01N 11/00(2006.01)

(22)申请日 2017.11.01

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108087065 A

CN 103644020 A, 2014.03.19, 全文.

CN 104234802 A, 2014.12.24, 全文.

WO 2008134282 A1, 2008.11.06, 全文.

EP 2042227 B1, 2015.07.29, 全文.

(43)申请公布日 2018.05.29

(73)专利权人 联创汽车电子有限公司

地址 201206 上海市浦东新区金吉路33弄4幢4楼

审查员 田丹

(72)发明人 栗工 李振鹏 袁文莉 许朕

孙涛 吉河波 胡志展 罗来军

(74)专利代理机构 上海浦一知识产权代理有限公司

公司 31211

代理人 焦天雷

(51)Int. Cl.

F01N 3/20(2006.01)

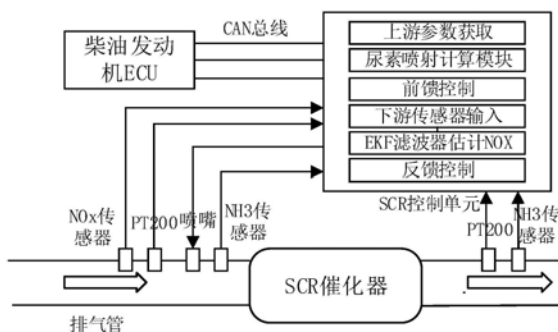
权利要求书4页 说明书12页 附图2页

(54)发明名称

SCR催化剂氨浓度修正方法及SCR处理系统

(57)摘要

本发明公开了一种柴油发动机SCR催化剂氨浓度修正方法,通过获取SCR催化剂前端NOx浓度、柴油发动机转速值、柴油发动机转矩值、SCR催化剂入口温度值和计算排气质量流量值,计算获得SCR催化剂后端NOx的仿真浓度,将该仿真浓度作为反馈修正SCR催化剂前端尿素喷嘴喷射量。模拟柴油机实际运行工况,将模拟工况带入SCR催化剂后端NOx的仿真浓度计算公式。通过仿真运算得到SCR催化剂后端NOx和NH3浓度,利用仿真的SCR催化剂后端NOx和NH3浓度对SCR催化剂前端尿素喷嘴喷射量。本发明能避免SCR催化剂氨后端NOx传感器和氨的交叉敏感性影响,造成氨浓度过高(尿素过喷)。降低柴油发动机的污染物排放,满足环保要求。



1. 一种柴油发动机SCR催化剂氨浓度修正方法,其特征在于,包括:

1) 获取SCR催化剂前端NO_x浓度、柴油发动机转速值、柴油发动机转矩值、SCR催化剂入口温度值和计算排气质量流量值;

2) 根据尿素的热解和水解反应、氨的吸附与解吸附、NO_x的催化还原反应、NH₃的氧化和尿素SCR催化剂化学反应建立模型结合步骤1)的参数计算获得SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度;

3) 根据台架试验测试数据,对公式(1)进行C_{NO,in}参数计算;

4) 将C_{NO,in}作为反馈修正SCR催化剂前端尿素喷嘴喷射量;

5) 计算SCR催化剂后端NH₃浓度;

6) 根据SCR催化剂后端NO_x和NH₃浓度再次修正SCR催化剂前端尿素喷嘴喷射量;

其中,SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度通过以下方式计算获得:

$$\begin{bmatrix} \dot{C}_{NO} \\ \dot{\theta}_{NH_3} \\ \dot{C}_{NH_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C_{NO} \left(\theta r_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \theta_{NH_3} \\ -\theta_{NH_3} (r_{ad} C_{NH_3} + r_{de} + r_{re} C_{NO} + r_{ox}) + r_{ad} C_{NH_3} \\ -C_{NH_3} \left[\theta r_{ad} (1 - \theta_{NH_3}) + \frac{F}{V} \right] + \theta r_{de} \theta_{NH_3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{F}{V} \end{bmatrix} C_{NH_3,in} + \begin{bmatrix} \frac{F}{V} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} C_{NO,in}$$

公式(1);

$$r_x = K_x \exp\left(\frac{E_x}{RT}\right), X=ad, de, ox, re, ad表示吸附, de表示解吸附, ox表示氧化, re表示$$

还原, C_{NH₃}为排气管中氨的浓度, C_{NO}为排气管中NO_x浓度, C_{NH₃,in}为SCR催化剂前端氨的浓度即SCR催化剂前端尿素喷嘴喷射量; C_{NO,in}为发动机产生的NO_x浓度仿真值, F为排气流量, V为催化器体积;

2. 如权利要求1所述的柴油发动机SCR催化剂氨浓度修正方法,其特征在于:利用非线性最小二乘法根据台架试验测试数据,对公式(1)进行C_{NO,in}参数计算。

3. 如权利要求1所述的柴油发动机SCR催化剂氨浓度修正方法,其特征在于:

SCR催化剂后端氨浓度计算方法如下:

获取SCR催化剂后端NH₃浓度、SCR出口温度值;

SCR催化剂后端NO_x和NH₃的交叉敏感性为:

$$C_{NO,sen} = C_{NO}^* + K_{CS} C_{NH_3} \quad \text{公式(2);}$$

其中K_{CS}代表交叉敏感因素, C_{NO}^{*}是NO_x的真实浓度, C_{NH₃}代表泄漏的NH₃的浓度;

EKF算法表达为

$$x(k) = f[x(k-1), u(k) + w(k)] \quad \text{公式(3)}$$

$$z(k) = h[x(k) + v(k)] \quad \text{公式(4)}$$

公式(3)中f(k)是预测函数, x(k)代表状态向量, u(k)代表输入向量; w(k)代表高斯过程噪声, 协方差为Q(k);

公式(3)中, h(x)是测量函数; v(k)是高斯测量噪声, 协方差为R(k), w(k)和v(k)视为零均值高斯噪声;

状态向量x(k)和误差协方差矩阵P(k)由公式(5)和公式(6)表示:

$$x(k|k-1) = f[x(k-1|k-1), u(k)] \quad \text{公式 (5)}$$

$$z(k|k-1) = F(k)P[(k-1|k-1)F(k)^T + Q(k)] \quad \text{公式 (6)}$$

其中, $F(k)$ 是预测函数 $f(k)$ 的雅克比矩阵;

根据公式 (4) 预测系统状态 $x(k|k-1)$ 和误差协方差矩阵 $P(k|k-1)$ 通过和测量值 $z(k)$ 比较进行更新, 根据高斯白噪声扰动为零均值优化卡尔曼增益和预估值 $x(k)$ 通过下述公式 (7)-公式 (10) 获得;

$$M(k) = H(k)P(k|k-1)H(k)^T + R(k) \quad \text{公式 (7)}$$

$$K(k) = P(k|k-1)H(k)^T S(k)^{-1} \quad \text{公式 (8)}$$

$$X(k|k) = X(k|k-1) + K(k)y(k) \quad \text{公式 (9)}$$

$$P(k|k) = (1 - K(k)H(k))P(k|k-1) \quad \text{公式 (10)}$$

$H(k)$ 为和输出函数 $h(k)$ 相关的雅克比矩阵;

利用EKF算法计算交叉敏感因素 K_{CS} 和SCR催化器后端 NO_x 浓度;

$$\text{交叉敏感因素为: } \dot{K}_{CS} = 0 \quad \text{公式 (11)}$$

根据权利要求1所述公式 (1), SCR催化器后端 NO_x 浓度为:

$$\hat{C}_{NO}^* = -\hat{C}_{NO}^* \left(\theta_{re} r_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \theta \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} C_{NO, sen, in} \quad \text{公式 (12)}$$

其中 $C_{NO, sen, in}$ 为SCR催化器前端 NO_x 浓度, 并且 $C_{NO, sen, in} = C_{NO, in}^*$, V 为催化器体积; F 为排气流量, $X = ad, de, ox, re$, ad 表示吸附, de 表示解吸附, ox 表示氧化, re 表示还原, θ 为已知的随温度变化的变量, θ 与温度变化呈正相关, θ_{NH_3} 是氨表面覆盖率通过公式 (5) 获得;

通过公式 (3)-公式 (12) 获得预测公式:

$$x(k|k-1) = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k-1|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k-1|k-1) + \Delta t \dot{\hat{C}}_{NO}^*(k-1|k-1) \end{bmatrix} \quad \text{公式 (13);}$$

Δt 代表EKF算法的更新周期, EKF算法获得SCR催化器后端 NO_x 浓度 $C_{NO, sen, in}$ 通过下述公式获得

$$z(k) = C_{NO, sen}(k) \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \hat{K}_{CS}(k|k-1) C_{NH_3}(k) \quad \text{公式 (14)}$$

C_{NH_3} 为SCR催化器后端 NH_3 浓度。

4. 一种柴油发动机SCR处理系统, SCR控制单元通过CAN总线连接柴油发动机的ECU, SCR控制单元分别连接SCR催化器前端尿素喷嘴、SCR催化器前端 NO_x 传感器和SCR催化器后端 NH_3 传感器; 其特征在于, SCR控制单元包括:

SCR催化器前端参数获取模块, 获取SCR上游 NO_x 浓度、柴油发动机转速值、柴油发动机转矩值、SCR催化器入口温度值和计算排气质量流量值;

尿素喷射计算模块, 根据SCR催化器前端反馈控制模块反馈的SCR催化器后端 NO_x 的仿真浓度计算第一次修正的尿素喷射量, 根据EKF滤波计算模块的SCR催化器后端 NO_x 浓度计算第二次修正的尿素喷射量;

SCR催化器前端反馈控制模块, 根据尿素的热解和水解反应、氨的吸附与解吸附、 NO_x 的催化还原反应氮氧化物的催化还原反应、 NH_3 的氧化和尿素SCR催化器化学反应和SCR催化

器前端参数获取模块获取的数据计算获得SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度,将NO_x的仿真浓度作为SCR催化剂前端反馈输出至尿素喷射计算模块;

SCR催化剂后端参数获取模块,获取SCR后端NH₃浓度、SCR出口温度值;

EKF滤波计算模块,预存有SCR催化剂后端氨浓度计算方法,根据SCR催化剂前端参数获取模块和后端参数获取模块获得的参数,利用SCR催化剂后端氨浓度计算方法计算SCR催化剂后端NO_x仿真浓度;

SCR催化剂后端反馈控制模块,EKF滤波计算模块计算获得NO_x浓度,将该NO_x浓度作为SCR催化剂后端反馈输出至尿素喷射计算模块;

其中,SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度计算方法如下:

获取SCR催化剂前端NO_x浓度、柴油发动机转速值、柴油发动机转矩值、SCR催化剂入口温度值和计算排气质量流量值;

根据尿素的热解和水解反应、氨的吸附与解吸附、NO_x的催化还原反应氮氧化物的催化还原反应、NH₃的氧化和尿素SCR催化剂化学反应计算获得SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度;

$$\begin{bmatrix} \dot{C}_{NO} \\ \dot{\theta}_{NH_3} \\ \dot{C}_{NH_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C_{NO} \left(\theta r_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \theta_{NH_3} \\ -\theta_{NH_3} (r_{ad} C_{NH_3} + r_{de} + r_{re} C_{NO} + r_{ox}) + r_{ad} C_{NH_3} \\ -C_{NH_3} \left[\theta r_{ad} (1 - \theta_{NH_3}) + \frac{F}{V} \right] + \theta r_{de} \theta_{NH_3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{F}{V} \end{bmatrix} C_{NH_3,in} + \begin{bmatrix} \frac{F}{V} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} C_{NO,in}$$

公式 (1);

$$r_x = K_x \exp \left(\frac{E_x}{RT} \right), \quad X = ad, de, ox, re, \quad ad \text{ 表示吸附, } de \text{ 表示解吸附, } ox \text{ 表示氧化, } re \text{ 表示}$$

还原, C_{NH_3} 为排气管中氨的浓度, C_{NO} 为排气管中NO_x浓度, $C_{NH_3,in}$ 为SCR催化剂前端氨的浓度即SCR催化剂前端尿素喷嘴喷射量; $C_{NO,in}$ 为发动机产生的NO_x浓度仿真值, F 为排气流量, V 为催化剂体积;

根据台架试验测试数据,对公式(1)进行 $C_{NO,in}$ 参数计算。

5. 如权利要求4所述的柴油发动机SCR处理系统,其特征在于,SCR催化剂后端氨浓度计算方法如下:

获取SCR催化剂后端NH₃浓度、SCR出口温度值;

SCR催化剂后端NO_x和NH₃的交叉敏感性为:

$$C_{NO,sen} = C_{NO}^* + K_{CS} C_{NH_3} \quad \text{公式 (2);}$$

其中 K_{CS} 代表交叉敏感因素, C_{NO}^* 是NO_x的真实浓度, C_{NH_3} 代表泄漏的NH₃的浓度;

EKF算法表达为

$$x(k) = f[x(k-1), u(k) + w(k)] \quad \text{公式 (3)}$$

$$z(k) = h[x(k) + v(k)] \quad \text{公式 (4)}$$

公式(3)中 $f(k)$ 是预测函数, $x(k)$ 代表状态向量, $u(k)$ 代表输入向量; $w(k)$ 代表高斯过程噪声,协方差为 $Q(k)$;

公式(3)中, $h(x)$ 是测量函数; $v(k)$ 是高斯测量噪声,协方差为 $R(k)$, $w(k)$ 和 $v(k)$ 视为零均值高斯噪声;

状态向量 $x(k)$ 和误差协方差矩阵 $P(k)$ 由公式(5)和公式(6)表示:

$$x(k|k-1) = f[x(k-1|k-1), u(k)] \quad \text{公式(5)}$$

$$z(k|k-1) = F(k)P[(k-1|k-1)F(k)^T + Q(k)] \quad \text{公式(6)}$$

其中, $F(k)$ 是预测函数 $f(k)$ 的雅克比矩阵;

根据公式(4)预测系统状态 $x(k|k-1)$ 和误差协方差矩阵 $P(k|k-1)$ 通过和测量值 $z(k)$ 比较进行更新,根据高斯白噪声扰动为零均值优化卡尔曼增益和预估值 $x(k)$ 通过下述公式(7)-公式(10)获得;

$$M(k) = H(k)P(k|k-1)H(k)^T + R(k) \quad \text{公式(7)}$$

$$K(k) = P(k|k-1)H(k)^T S(k)^{-1} \quad \text{公式(8)}$$

$$X(k|k) = X(k|k-1) + K(k)y(k) \quad \text{公式(9)}$$

$$P(k|k) = (1 - K(k)H(k))P(k|k-1) \quad \text{公式(10)}$$

$H(k)$ 为和输出函数 $h(k)$ 相关的雅克比矩阵;

利用EKF算法计算交叉敏感因素 K_{CS} 和SCR催化剂后端 NO_x 浓度;

$$\text{交叉敏感因素为: } \dot{K}_{CS} = 0 \quad \text{公式(11)}$$

根据权利要求1所述公式(1),SCR催化剂后端 NO_x 浓度为:

$$\hat{C}_{NO}^* = -\hat{C}_{NO}^* \left(\theta r_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \theta \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} C_{NO, sen, in} \quad \text{公式(12)}$$

其中 $C_{NO, sen, in}$ SCR催化剂前端 NO_x 浓度,并且 $C_{NO, sen, in} = C_{NO, in}^*$, V 为催化剂体积; F 为排气流量, $X=ad, de, ox, re, ad$ 表示吸附, de 表示解吸附, ox 表示氧化, re 表示还原, θ 为已知的随温度变化的变量, θ 与温度变化呈正相关, θ_{NH_3} 是氨表面覆盖率通过公式(5)获得;

通过公式(3)-公式(12)获得预测公式:

$$x(k|k-1) = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k-1|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k-1|k-1) + \Delta t \dot{C}_{NO}^*(k-1|k-1) \end{bmatrix} \quad \text{公式(13);}$$

Δt 代表EKF算法的更新周期,EKF算法获得SCR催化剂后端 NO_x 浓度 $C_{NO, sen, in}$ 通过下述公式获得

$$z(k) = C_{NO, sen}(k) \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \hat{K}_{CS}(k|k-1) C_{NH_3}(k) \quad \text{公式(14)}$$

C_{NH_3} 为SCR催化剂后端 NH_3 浓度。

6.如权利要求4所述的柴油发动机SCR处理系统,其特征在于:利用非线性最小二乘法根据台架试验测试数据,对公式(1)进行 $C_{NO, in}$ 参数计算。

SCR催化剂氨浓度修正方法及SCR处理系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种汽车电子领域,特别是涉及一种柴油发动机SCR催化剂氨浓度修正方法。本发明还涉及一种SCR处理系统。

背景技术

[0002] 柴油机因具有较高的热效率,较好的适应性,较强的耐久性,且输出的功率大而被广泛的用在汽车、轮船、坦克以及工程机械上。但是,据统计柴油汽车的NO_x(氮氧化物)和颗粒物的排放占汽车污染物排放的70%,成为我国空气污染的重要来源之一。根据我国原油含硫量较多的国情,SCR+优化燃烧路线,即通过优化发动机缸内的燃烧降低颗粒物的生成,再利用SCR(选择性催化还原技术)技术选择性还原增加的NO_x,成为控制柴油机排放的主流技术路线。为了满足日益严格的排放法规要求,必须采用闭环控制方法。大量专家学者对SCR催化剂下游的NO_x传感器作为后反馈构成闭环回路进行了研究。结果表明,当有NH₃泄漏时,现有的NO_x传感器和NH₃存在交叉敏感性,会导致下游NO_x传感器中NO_x浓度明显增加。若直接采用NO_x传感器读数作为反馈信号,会直接导致尿素过喷,形成正反馈。因此,解决交叉敏感问题是实现闭环控制的核心问题。

[0003] 在现有技术中,通常使用以下两种方法来消除交叉敏感性带来的影响。一种方法是通过比较实际转化效率和转化效率MAP图的误差值,采用不同修正系数,对喷射量进行修正。但是,这种方法对温度范围要求严格,并且修正系数的选取比较困难。另一种方法是根据传感器特点和各方面因素对后处理系统的影响,把交叉敏感因素设定为具体常数来弥补由交叉敏感性导致的传感器模型的误差。然而,传感器之间的交叉敏感因素是不同的,并且可能是随时间和环境而改变的。由此可见,这两种方法在理论上存在一定的弊端。同时可能会出现对传感器误差估计不准确等情况。

发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是提供一种SCR催化剂氨浓度修正方法。

[0005] 本发明要解决的另一技术问题是提供一种能避免SCR催化剂氨后端NO_x传感器和氨的交叉敏感性影响,造成氨浓度过高(尿素过喷)的SCR处理系统。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明提供的柴油发动机SCR催化剂氨浓度计算方法,包括:

[0007] 1) 获取SCR催化剂前端NO_x浓度、柴油发动机转速值、柴油发动机转矩值、SCR催化剂入口温度值和计算排气质量流量值;

[0008] 2) 根据尿素的热解和水解反应、氨的吸附与解吸附、NO_x的催化还原反应、NH₃的氧化和尿素SCR催化剂化学反应建立模型结合步骤1)的参数计算获得SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度;

[0009] SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度通过以下方式计算获得:

[0010]

$$\begin{bmatrix} \dot{C}_{NO} \\ \dot{\theta}_{NH_3} \\ \dot{C}_{NH_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C_{NO} \left(\theta r_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \theta_{NH_3} \\ -\theta_{NH_3} (r_{ad} C_{NH_3} + r_{de} + r_{re} C_{NO} + r_{ox}) + r_{ad} C_{NH_3} \\ -C_{NH_3} \left[\theta r_{ad} (1 - \theta_{NH_3}) + \frac{F}{V} \right] + \theta r_{de} \theta_{NH_3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{F}{V} \end{bmatrix} C_{NH_3,in} + \begin{bmatrix} \frac{F}{V} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} C_{NO,in}$$

公式 (1);

[0011] $r_x = K_x \exp\left(\frac{E_x}{RT}\right)$, X=ad, de, ox, re, ad表示吸附, de表示解吸附, ox表示氧化, re表示还原, C_{NH_3} 为排气管中氨的浓度, C_{NO} 为排气管中 NO_x 浓度, $C_{NH_3,in}$ 为SCR催化器前端氨的浓度即SCR催化器前端尿素喷嘴喷射量; $C_{NO,in}$ 为发动机产生的 NO_x 浓度仿真值, F为排气流量, V为催化器体积;

[0012] 3) 根据台架试验测试数据, 对公式 (1) 进行 $C_{NO,in}$ 参数计算;[0013] 4) 将 $C_{NO,in}$ 作为反馈修正SCR催化器前端尿素喷嘴喷射量;[0014] 5) 获取SCR催化器后端 NH_3 浓度、SCR出口温度值;[0015] 6) SCR催化器后端 NO_x 和 NH_3 的交叉敏感性为:

$$[0016] \quad C_{NO, sen} = C_{NO}^* + K_{CS} C_{NH_3} \quad \text{公式 (2);}$$

[0017] 其中 K_{CS} 代表交叉敏感因素, C_{NO}^* 是 NO_x 的真实浓度, C_{NH_3} 代表泄漏的 NH_3 的浓度;

[0018] EKF算法表达为

$$[0019] \quad x(k) = f[x(k-1), u(k) + w(k)] \quad \text{公式 (3)}$$

$$[0020] \quad z(k) = h[x(k) + v(k)] \quad \text{公式 (4)}$$

[0021] 公式 (3) 中 $f(k)$ 是预测函数, $x(k)$ 代表状态向量, $u(k)$ 代表输入向量; $w(k)$ 代表高斯过程噪声, 协方差为 $Q(k)$;[0022] 公式 (3) 中, $h(x)$ 是测量函数; $v(k)$ 是高斯测量噪声, 协方差为 $R(k)$, $w(k)$ 和 $v(k)$ 视为零均值高斯噪声;[0023] 状态向量 $x(k)$ 和误差协方差矩阵 $P(k)$ 由公式 (5) 和公式 (6) 表示:

$$[0024] \quad x(k|k-1) = f[x(k-1|k-1), u(k)] \quad \text{公式 (5)}$$

$$[0025] \quad z(k|k-1) = F(k) P[(k-1|k-1) F(k)^T + Q(k)] \quad \text{公式 (6)}$$

[0026] 其中, $F(k)$ 是预测函数 $f(k)$ 的雅克比矩阵;[0027] 根据公式 (4) 预测系统状态 $x(k|k-1)$ 和误差协方差矩阵 $P(k|k-1)$ 通过和测量值 $z(k)$ 比较进行更新, 根据高斯白噪声扰动为零均值优化卡尔曼增益和预估值 $x(k)$ 通过下述公式 (7)-公式 (10) 获得;

$$[0028] \quad M(k) = H(k) P(k|k-1) H(k)^T + R(k) \quad \text{公式 (7)}$$

$$[0029] \quad K(k) = P(k|k-1) H(k)^T S(k)^{-1} \quad \text{公式 (8)}$$

$$[0030] \quad X(k|k) = X(k|k-1) + K(k) y(k) \quad \text{公式 (9)}$$

$$[0031] \quad P(k|k) = (1 - K(k) H(k)) P(k|k-1) \quad \text{公式 (10)}$$

[0032] $H(k)$ 为和输出函数 $h(k)$ 相关的雅克比矩阵;[0033] 利用EKF算法计算交叉敏感因素 K_{CS} 和SCR催化器后端 NO_x 浓度;

[0034] 交叉敏感因素为： $\dot{K}_{CS} = 0$ 公式 (11)

[0035] 7) 根据权利要求1所述公式 (1), SCR催化剂后端NO_x浓度为:

[0036]

$$\hat{C}_{NO}^* = -\hat{C}_{NO}^* \left(\theta r_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \theta \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} C_{NO, sen, in} \quad \text{公式 (12)}$$

[0037] 其中C_{NO, senin}SCR催化剂前端NO_x浓度, 并且 $C_{NO, senin} = C_{NO, in}^*$, V为催化剂体积; F为排气流量, r_{ox}表示氧化, r_{ed}表示还原, Θ 为已知的随温度变化的变量, Θ 与温度变化呈正相关, θ_{NH_3} 是氨表面覆盖率, 通过公式 (5) 获得;

[0038] 8) 通过公式 (3)-公式 (12) 获得计算公式:

[0039]

$$x(k|k-1) = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k-1|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k-1|k-1) + \Delta t \dot{\hat{C}}_{NO}^*(k-1|k-1) \end{bmatrix} \quad \text{公式 (13)}$$

[0040] Δt 代表EKF算法的更新周期, EKF算法获得SCR催化剂后端NO_x浓度C_{NO, senin}通过下述公式获得:

$$z(k) = C_{NO, sen}(k) \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \hat{K}_{CS}(k|k-1) C_{NH_3}(k) \quad \text{公式 (14)}$$

[0042] C_{NH₃}为SCR催化剂后端NH₃浓度, 根据SCR催化剂后端NO_x和NH₃浓度再次修正SCR催化剂前端尿素喷嘴喷射量。

[0043] 修正尿素喷射量采用: 根据发动机工况及工作原理查标定MAP可得相应工况下的基本尿素喷射量。相应温度下的转化效率与基本喷射量相乘可得到稳态修正喷射量。根据不同温度、负荷、和氨存储情况对尿素喷射量影响的情况, 对尿素进行瞬态修正。

[0044] 2. 如权利要求1所述的柴油发动机SCR催化剂氨浓度修正方法, 其特征在于: 利用非线性最小二乘法根据台架试验测试数据, 对公式 (1) 进行C_{NO, in}参数计算。

[0045] 3. 一种SCR处理系统, SCR控制单元通过CAN总线连接柴油发动机的ECU, SCR控制单元分别连接SCR催化剂前端尿素喷嘴、SCR催化剂前端NO_x传感器和SCR催化剂后端NH₃传感器; 其特征在于, SCR控制单元包括:

[0046] SCR催化剂前端参数获取模块, 获取SCR上游NO_x浓度、柴油发动机转速值、柴油发动机转矩值、SCR催化剂入口温度值和计算排气质量流量值;

[0047] 尿素喷射计算模块, 根据SCR催化剂前端反馈控制模块反馈的SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度计算第一次修正的尿素喷射量, 根据EKF滤波计算模块的SCR催化剂后端NO_x浓度计算第二次修正的尿素喷射量;

[0048] SCR催化剂前端反馈控制模块, 根据尿素的热解和水解反应、氨的吸附与解吸附、NO_x的催化还原反应氮氧化物的催化还原反应、NH₃的氧化和尿素SCR催化剂化学反应和SCR催化剂前端参数获取模块获取的数据计算获得SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度, 将NO_x的仿真浓度作为SCR催化剂前端反馈输出至尿素喷射计算模块;

[0049] SCR催化剂后端参数获取模块, 获取SCR后端NH₃浓度、SCR出口温度值;

[0050] EKF滤波计算模块, 预存有SCR催化剂后端氨浓度计算方法, 根据SCR催化剂前端参数获取模块和后端参数获取模块获得的参数, 利用SCR催化剂后端氨浓度计算方法计算SCR

催化器后端NO_x仿真浓度；

[0051] SCR催化器后端反馈控制模块,EKF滤波计算模块计算获得NO_x浓度,将该NO_x浓度作为SCR催化器后端反馈输出至尿素喷射计算模块。

[0052] 4.如权利要求3所述的SCR处理系统,其特征在于,SCR催化器后端NO_x的仿真浓度计算方法如下:

[0053] 获取SCR催化器前端NO_x浓度、柴油发动机转速值、柴油发动机转矩值、SCR催化器入口温度值和计算排气质量流量值;

[0054] 根据尿素的热解和水解反应、氨的吸附与解吸附、NO_x的催化还原反应氮氧化物的催化还原反应、NH₃的氧化和尿素SCR催化器化学反应计算获得SCR催化器后端NO_x的仿真浓度;

[0055]

$$\begin{bmatrix} \dot{C}_{NO} \\ \dot{\theta}_{NH_3} \\ \dot{C}_{NH_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C_{NO} \left(\theta r_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \theta_{NH_3} \\ -\theta_{NH_3} (r_{ad} C_{NH_3} + r_{de} + r_{re} C_{NO} + r_{ox}) + r_{ad} C_{NH_3} \\ -C_{NH_3} \left[\theta r_{ad} (1 - \theta_{NH_3}) + \frac{F}{V} \right] + \theta r_{de} \theta_{NH_3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{F}{V} \end{bmatrix} C_{NH_3,in} + \begin{bmatrix} \frac{F}{V} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} C_{NO,in}$$

公式(1);

[0056] $r_x = K_x \exp\left(\frac{E_x}{RT}\right)$, X=ad,de,ox,re,ad表示吸附,de表示解吸附,ox表示氧化,re

表示还原, C_{NH_3} 为排气管中氨的浓度, C_{NO} 为排气管中NO_x浓度, $C_{NH_3,in}$ 为SCR催化器前端氨的浓度即SCR催化器前端尿素喷嘴喷射量; $C_{NO,in}$ 为发动机产生的NO_x浓度仿真值,F为排气流量,V为催化器体积;

[0057] 根据台架试验测试数据,对公式(1)进行 $C_{NO,in}$ 参数计算。

[0058] 5.如权利要求3所述的SCR处理系统,其特征在于,SCR催化器后端氨浓度计算方法如下:

[0059] 获取SCR催化器后端NH₃浓度、SCR出口温度值;

[0060] SCR催化器后端NO_x和NH₃的交叉敏感性为:

$$C_{NO,sen} = C_{NO}^* + K_{CS} C_{NH_3} \quad \text{公式(2);}$$

[0062] 其中 K_{cs} 代表交叉敏感因素, C_{NO}^* 是NO_x的真实浓度, C_{NH_3} 代表泄漏的NH₃的浓度;

[0063] EKF算法表达为

$$x(k) = f[x(k-1), u(k) + w(k)] \quad \text{公式(3)}$$

$$z(k) = h[x(k) + v(k)] \quad \text{公式(4)}$$

[0066] 公式(3)中f(k)是预测函数,x(k)代表状态向量,u(k)代表输入向量;w(k)代表高斯过程噪声,协方差为Q(k);

[0067] 公式(3)中,h(x)是测量函数;v(k)是高斯测量噪声,协方差为R(k),w(k)和v(k)视为零均值高斯噪声;

[0068] 状态向量x(k)和误差协方差矩阵P(k)由公式(5)和公式(6)表示:

$$x(k|k-1) = f[x(k-1|k-1), u(k)] \quad \text{公式(5)}$$

[0070] $z(k|k-1) = F(k)P[(k-1|k-1)F(k)^T + Q(k)]$ 公式(6)

[0071] 其中, $F(k)$ 是预测函数 $f(k)$ 的雅克比矩阵;

[0072] 根据公式(4)预测系统状态 $x(k|k-1)$ 和误差协方差矩阵 $P(k|k-1)$ 通过和测量值 $z(k)$ 比较进行更新, 根据高斯白噪声扰动为零均值优化卡尔曼增益和预估值 $x(k)$ 通过下述公式(7)-公式(10)获得;

[0073] $M(k) = H(k)P(k|k-1)H(k)^T + R(k)$ 公式(7)

[0074] $K(k) = P(k|k-1)H(k)^T S(k)^{-1}$ 公式(8)

[0075] $X(k|k) = X(k|k-1) + K(k)y(k)$ 公式(9)

[0076] $P(k|k) = (1 - K(k)H(k))P(k|k-1)$ 公式(10)

[0077] $H(k)$ 为和输出函数 $h(k)$ 相关的雅克比矩阵;

[0078] 利用EKF算法计算交叉敏感因素 K_{CS} 和SCR催化剂后端 NO_x 浓度;

[0079] 交叉敏感因素为: $\dot{K}_{CS} = 0$ 公式(11)

[0080] 根据权利要求1所述公式(1), SCR催化剂后端 NO_x 浓度为:

[0081]

$$\dot{\hat{C}}_{NO}^* = -\hat{C}_{NO}^* \left(\theta r_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \theta \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} C_{NO, sen, in} \quad \text{公式(12)}$$

[0082] 其中 $C_{NO, sen, in}$ SCR催化剂前端 NO_x 浓度, 并且 $C_{NO, sen, in} = C_{NO, in}^*$, V 为催化剂体积; F 为排气流量, $X = ad, de, ox, re$, ad 表示吸附, de 表示解吸附, ox 表示氧化, re 表示还原, θ 为已知的随温度变化的变量, θ 与温度变化呈正相关, θ_{NH_3} 是氨表面覆盖率通过公式(5)获得;

[0083] 通过公式(3)-公式(12)获得预测公式:

[0084]

$$x(k|k-1) = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k-1|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k-1|k-1) + \Delta t \dot{\hat{C}}_{NO}^*(k-1|k-1) \end{bmatrix} \quad \text{公式(13);}$$

[0085] Δt 代表EKF算法的更新周期, EKF算法获得SCR催化剂后端 NO_x 浓度 $C_{NO, sen, in}$ 通过下述公式获得

[0086] $z(k) = C_{NO, sen}(k) \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \hat{K}_{CS}(k|k-1) C_{NH_3}(k)$ 公式(14)

[0087] C_{NH_3} 为SCR催化剂后端 NH_3 浓度。

[0088] 本发明把柴油发动机控制策略和化学反应整合为前端尿素SCR反馈控制。采用计算获得的 NO_x 传感器浓度作为反馈修正尿素喷射量, 构成前端反馈SCR控制。通过台架试验采集ETC/ESC工况下, 柴油机转速、扭矩、催化剂前温度和催化剂后温度、前后 NO_x 浓度和 NH_3 浓度, 做成标准测试工况下参数变化曲线, 模拟柴油机实际运行工况。将这些参数曲线作为输入量输入所设计SCR催化剂后端 NO_x 的仿真浓度计算公式。通过仿真运算, 得到SCR后端 NO_x 和 NH_3 浓度, 修正控制模块中尿素喷射量等不足的控制参数, 重复仿真步骤, 并分析仿真结果。

[0089] 本发明能采用ESC和ETC对尿素SCR控制进行离线仿真, 并对比交叉敏感因素为常

数和变量两种情况下的预估值和实际值。仿真中设定预测值初值为零。

[0090] (1) 交叉敏感因素为常数

[0091] 交叉敏感因素为常数情况下,后端传感器NO_x浓度、仿真NO_x浓度与EKF计算NO_x浓度对比。在有NH₃泄漏时,下游NO_x传感器读数总是大于真实NO_x浓度;EKF估计值较快的收敛于实际值,并在实际值附近浮动。

[0092] 前端尿素SCR反馈控制中和EKF计算的交叉敏感因素的对比在前150s预估值快地接近了实际值0.5,150s后基本覆盖了实际值,在300s和1600s附近有较大的估计偏差。这是由于当发动机转速变化剧烈时,发动机排气流量,排气温度和尿素喷射量都会急剧变化,此时,模型很难捕到真实的动态变化,EKF对线性模型的估计会出现偏差。调节预测周期 Δt 可以减小偏差。

[0093] (2) 交叉敏感因素为变量

[0094] 交叉敏感因素为变量的情况下,下游传感器NO_x浓度、模型预测NO_x浓度与EKF估计NO_x浓度对比。下游NO_x传感器读数受到NH₃浓度和不断变化的交叉敏感因素的综合影响。EKF计算值仍然较快的收敛于实际值,并在实际值附近浮动。

[0095] 模型和EKF计算的交叉敏感因素的对比。在前280s预估值迅速地收敛到实际值附近,280s后与真实值基本重合,部分时刻存在计算偏差。同样是由于EKF在发动机转速剧烈变化时对线性模型估计困难造成的。

[0096] 本发明的SCR催化剂氨浓度修正方法通过获取SCR催化剂前端NO_x浓度、柴油发动机转速值、柴油发动机转矩值、SCR催化剂入口温度值和计算排气质量流量值。根据尿素的热解和水解反应、氨的吸附与解吸附、NO_x的催化还原反应氮氧化物的催化还原反应、NH₃的氧化和尿素SCR催化剂化学反应计算获得SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度。将该SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度作为反馈修正SCR催化剂前端尿素喷嘴喷射量(第一次修正,前端修正)。模拟柴油机实际运行工况,将模拟工况带入SCR催化剂后端NO_x的仿真浓度计算公式。通过仿真运算得到SCR催化剂后端NO_x和NH₃浓度,利用仿真的SCR催化剂后端NO_x和NH₃浓度对SCR催化剂前端尿素喷嘴喷射量(第二次修正,后端修正)。本发明能避免SCR催化剂氨后端NO_x传感器和氨的交叉敏感性影响,造成氨浓度过高(尿素过喷)。降低柴油发动机的污染物排放,满足环保要求。

附图说明

[0097] 下面结合附图与具体实施方式对本发明作进一步详细的说明:

[0098] 图1是SCR处理系统结构示意图。

[0099] 图2是SCR处理系统SCR催化剂后端反馈控制流程图。

[0100] 图3是SCR处理系统化学反应模型示意图。

具体实施方式

[0101] 本发明一种柴油发动机SCR催化剂氨浓度修正方法,包括:

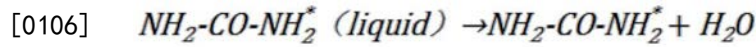
[0102] 获取SCR催化剂前端NO_x浓度、柴油发动机转速值、柴油发动机转矩值、SCR催化剂入口温度值和计算排气质量流量值。

[0103] 根据尿素的热解和水解反应、氨的吸附与解吸附、NO_x的催化还原反应氮氧化物的

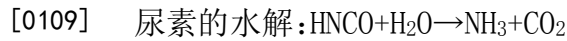
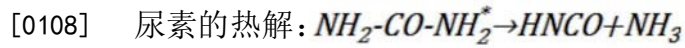
催化还原反应、NH₃的氧化和尿素SCR催化器化学反应计算获得SCR催化器后端NO_x的仿真浓度；

[0104] 尿素的热解和水解反应；

[0105] 尿素在经过蒸发、热解、水解等反应后生成氨气，尿素的蒸发：

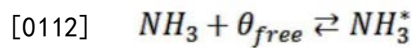


[0107] NH₂-CO-NH₂表示固体氨；



[0110] 氨的吸附与解吸附。

[0111] 进入到SCR催化器内部的氨，在催化剂载体上时进行着吸附与解吸附的反应。



[0113] θ_{free} 为吸附在催化剂载体上未被消耗掉的氨； NH_3^*

[0114] 为吸附在在催化剂载体上的氨；

[0115] 吸附与解吸附的反应速率可描述为：

$$[0116] \quad R_{ad} = K_{ad} \exp\left(-\frac{E_{ad}}{RT}\right)(1 - \theta_{NH_3})$$

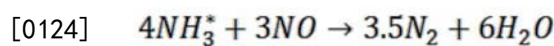
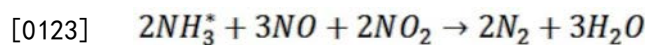
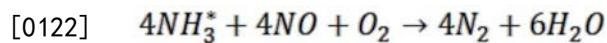
$$[0117] \quad R_{de} = K_{de} \exp\left(-\frac{E_{de}}{RT}\right)\theta_{NH_3}$$

[0118] R_x 为相关化学反应速率； T 为温度； E 、 K 为常数； R 理想气体常数； θ_{NH_3} 为氨吸附率；

$$[0119] \quad \theta_{NH_3} = \frac{M_{NH_3}^*}{\Theta}$$

[0120] $M_{NH_3}^*$ 为吸附在催化剂表面氨的摩尔总数； Θ 为氨吸附极限，与温度相关。

[0121] NO_x的催化还原反应氮氧化物的催化还原反应主要包括以下反应；



[0125] 在柴油机的尾气排放中，NO_x以NO为主，NO通常占NO_x含量的85%~95%，由已知
 $4NH_3^* + 4NO + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$ 是催化还原反应中的最主要反应，被称为“标准SCR反应”。其中NO_x的反应速率可用下式表示：

$$[0126] \quad R_{re} = K_{re} \exp\left(-\frac{E_{re}}{RT}\right)C_{NO}\theta_{NH_3}$$

[0127] NH₃的氧化；

[0128] 当SCR系统当温度高于450度时，NH₃的氧化也变成了非常重要的反应，反应方程式和反应速率可用下式表示：

$$[0129] \quad R_{re} = K_{re} \exp\left(-\frac{E_{re}}{RT}\right)C_{NO}\theta_{NH_3}$$

[0130] $R_{or} = K_{or} \exp\left(-\frac{E_{or}}{RT}\right) \theta_{NH_3}$

[0131] 尿素SCR化学反应；

[0132] 动态化学反应模型可以依据根据化学反应速率和摩尔守恒建立。建立以下表达式：

[0133] $\dot{C}_{NO} = \Theta(R_{ox} - R_{re})$

[0134] $\dot{\theta}_{NH_3}(R_{ad} - R_{de} - R_{re} - R_{ox})$

[0135] $\dot{C}_{NH_3} = \Theta(R_{ox} - R_{re})$

[0136] NO_x、NH₃和氨吸附率化学反应动力学方程建立SCR催化器后端NO_x的仿真浓度计算公式如下：

[0137]

$$\begin{bmatrix} \dot{C}_{NO} \\ \dot{\theta}_{NH_3} \\ \dot{C}_{NH_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C_{NO} \left(\Theta r_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \Theta \theta_{NH_3} \\ -\theta_{NH_3} (r_{ad} C_{NH_3} + r_{de} + r_{re} C_{NO} + r_{ox}) + r_{ad} C_{NH_3} \\ -C_{NH_3} \left[\Theta r_{ad} (1 - \theta_{NH_3}) + \frac{F}{V} \right] + \Theta r_{de} \theta_{NH_3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{F}{V} \end{bmatrix} C_{NH_3,in} + \begin{bmatrix} \frac{F}{V} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} C_{NO,in}$$

公式 (1)；

[0138] $r_x = K_x \exp\left(\frac{E_x}{RT}\right)$, X=ad, de, ox, re, ad表示吸附, de表示解吸附, ox表示氧化, re

表示还原, C_{NH₃}为排气管中氨的浓度, C_{NO}为排气管中NO_x浓度, C_{NH₃,in}为SCR催化器前端氨的浓度即SCR催化器前端尿素喷嘴喷射量; C_{NO,in}为发动机产生的NO_x浓度仿真值, F为排气流量, V为催化器体积；

[0139] 将C_{NO,in}作为反馈修正SCR催化器前端尿素喷嘴喷射量；

[0140] 利用非线性最小二乘法根据台架试验测试数据,对公式(1)进行C_{NO,in}参数计算。

[0141] (y = f(x, θ), 经过N次实验取得数据 (x₁, y₁), (x₂, y₂), ..., (x_n, y_n), 目标函数为

$Q = \sum_{k=1}^N [y_k - f(x_k, \theta)]^2$ (非线性最小二乘法的基本公式), 使Q趋向于极小便可得参数估计值) 参数

如下述表1。

	K_{ad}	E_{ad}	E_{de}	K_{re}	K_{de}
[0142]	4.791	15.6	14.2	185.6	3.6872
	K_{ox}	E_{ox}		E_{re}	
	2.43×10^7	1.17×10^5		4.2×10^4	

[0143] 表1

[0144] 获取SCR催化器后端NH₃浓度、SCR出口温度值；

[0145] SCR催化器前端的NO_x传感器和NH₃传感器分别用来测量发动机排放的NO_x浓度和尿素喷射量。SCR催化器后端NH₃传感器用来测量排气中NH₃的泄漏量。其中SCR催化器前端NO_x和NH₃传感器不存在交叉敏感性,认为其测量值是准确的。SCR催化器后端NO_x和NH₃的交叉敏感性为：

$$[0146] \quad C_{NO, sen} = C_{NO}^* + K_{CS} C_{NH_3} \quad \text{公式 (2);}$$

[0147] 其中 K_{cs} 代表交叉敏感因素, C_{NO}^* 是 NO_x 的真实浓度, C_{NH_3} 代表泄漏的 NH_3 的浓度;

[0148] 由公式(2)知SCR催化器后端 NO_x 传感器测的 NO_x 值和 NH_3 的值呈正相关。交叉敏感因素 K_{cs} 是和传感器寿命和气体温度相关的变量。EKF算法是包括预测和更新两个步骤的处理非线性系统常用的方法。由于其具有易于编程和能够实时更新处理数据的优点,而被广泛应用于许多领域。EKF算法的特点是根据模型预测和测量之间的随机关系,就可以估计系统状态最优。由此,一个随时间缓慢变化的量可以先以常数建模,然后通过比较模型预测和测量的随机关系来估算。本发明利用这一特点对 K_{cs} 采用EKF算法获取系统状态最优值。

[0149] EKF算法是一种处理非线性系统常用的方法,包括两个步骤,预测和更新。非线性系统一般表示用以下公式表示:

$$[0150] \quad x(k) = f[x(k-1), u(k) + w(k)] \quad \text{公式 (3)}$$

$$[0151] \quad z(k) = h[x(k) + v(k)] \quad \text{公式 (4)}$$

[0152] 公式(3)中 $f(k)$ 是预测函数, $x(k)$ 代表状态向量, $u(k)$ 代表输入向量; $w(k)$ 代表高斯过程噪声,协方差为 $Q(k)$;

[0153] 公式(3)中, $h(x)$ 是测量函数; $v(k)$ 是高斯测量噪声,协方差为 $R(k)$, $w(k)$ 和 $v(k)$ 视为零均值高斯噪声;

[0154] 状态向量 $x(k)$ 和误差协方差矩阵 $P(k)$ 由公式(5)和公式(6)表示:

$$[0155] \quad x(k|k-1) = f[x(k-1|k-1), u(k)] \quad \text{公式 (5)}$$

$$[0156] \quad P(k|k-1) = F(k) P(k-1|k-1) F(k)^T + Q(k) \quad \text{公式 (6)}$$

[0157] 其中, $F(k)$ 是预测函数 $f(k)$ 的雅克比矩阵;

[0158] 根据公式(4)预测系统状态 $x(k|k-1)$ 和误差协方差矩阵 $P(k|k-1)$ 通过和测量值 $z(k)$ 比较进行更新,根据高斯白噪声扰动为零均值优化卡尔曼增益和预估值 $x(k)$ 通过下述公式(7)-公式(10)获得;

$$[0159] \quad M(k) = H(k) P(k|k-1) H(k)^T + R(k) \quad \text{公式 (7)}$$

$$[0160] \quad K(k) = P(k|k-1) H(k)^T S(k)^{-1} \quad \text{公式 (8)}$$

$$[0161] \quad X(k|k) = X(k|k-1) + K(k) y(k) \quad \text{公式 (9)}$$

$$[0162] \quad P(k|k) = (1 - K(k) H(k)) P(k|k-1) \quad \text{公式 (10)}$$

[0163] $H(k)$ 为和输出函数 $h(k)$ 相关的雅克比矩阵;

[0164] 利用EKF算法计算交叉敏感因素 K_{cs} 和SCR催化器后端 NO_x 浓度;

[0165] 在公式(2)中 K_{cs} 被假设为一个缓慢的随时间而变化的值,交叉敏感因素为:

$$[0166] \quad \dot{K}_{CS} = 0 \quad \text{公式 (11)}$$

[0167] 根据公式(1), SCR催化器后端 NO_x 浓度为:

[0168]

$$\hat{C}_{NO}^* = -\hat{C}_{NO}^* \left(\theta_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \theta \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} C_{NO, sen, in} \quad \text{公式 (12)}$$

[0169] 其中 $C_{NO, sen, in}$ SCR催化器前端 NO_x 浓度,并且 $C_{NO, sen, in} = C_{NO, in}^*$; V 为催化器体积;

F为排气流量, r_{ox} 表示氧化, r_{ed} 表示还原, Θ 为已知的随温度变化的变量, Θ 与温度变化呈正相关, θ_{NH_3} 是氨表面覆盖率, 通过公式(5)获得;

[0170] 通过公式(3)-公式(12)获得预测公式:

[0171]

$$x(k|k-1) = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k-1|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k-1|k-1) + \Delta t \dot{\hat{C}}_{NO}^*(k-1|k-1) \end{bmatrix} \quad \text{公式(13);}$$

[0172] Δt 代表EKF算法的更新周期, EKF算法获得SCR催化剂后端 NO_x 浓度 $C_{NO, senin}$ 通过下述公式获得

$$z(k) = C_{NO, sen}(k) \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \hat{K}_{CS}(k|k-1) C_{NH_3}(k) \quad \text{公式(14)}$$

[0174] C_{NH_3} 为SCR催化剂后端 NH_3 浓度, 根据SCR催化剂后端 NH_3 浓度修正SCR催化剂前端尿素喷嘴喷射量。

[0175] 根据公式(13)和公式(14), EKF可以计算SCR催化剂后端 NO_x 传感器读数, 交叉敏感因素可根据公式(5)-公式(11)得到。

[0176] 本发明提供一种SCR处理系统, SCR控制单元通过CAN总线连接柴油发动机的ECU, SCR控制单元分别连接SCR催化剂前端尿素喷嘴、SCR催化剂前端 NO_x 传感器和SCR催化剂后端 NH_3 传感器; SCR控制单元包括:

[0177] SCR催化剂前端参数获取模块, 获取SCR上游 NO_x 浓度、柴油发动机转速值、柴油发动机转矩值、SCR催化剂入口温度值和计算排气质量流量值;

[0178] 尿素喷射计算模块, 根据SCR催化剂前端反馈控制模块反馈的SCR催化剂后端 NO_x 的仿真浓度计算第一次修正的尿素喷射量, 根据EKF滤波计算模块的SCR催化剂后端 NO_x 浓度计算第二次修正的尿素喷射量;

[0179] SCR催化剂前端反馈控制模块, 根据尿素的热解和水解反应、氨的吸附与解吸附、 NO_x 的催化还原反应氮氧化物的催化还原反应、 NH_3 的氧化和尿素SCR催化剂化学反应和SCR催化剂前端参数获取模块获取的数据计算获得SCR催化剂后端 NO_x 的仿真浓度, 将 NO_x 的仿真浓度作为SCR催化剂前端反馈输出至尿素喷射计算模块;

[0180] SCR催化剂后端参数获取模块, 获取SCR后端 NH_3 浓度、SCR出口温度值;

[0181] EKF滤波计算模块, 预存有SCR催化剂后端氨浓度计算方法, 根据SCR催化剂前端参数获取模块和后端参数获取模块获得的参数, 利用SCR催化剂后端氨浓度计算方法计算SCR催化剂后端 NO_x 和 NH_3 浓度;

[0182] SCR催化剂后端反馈控制模块, EKF滤波计算模块计算获得的SCR催化剂后端 NO_x 和 NH_3 浓度, 将该SCR催化剂后端 NO_x 和 NH_3 浓度作为SCR催化剂后端反馈输出至尿素喷射计算模块。

[0183] 其中, SCR催化剂后端 NO_x 的仿真浓度计算方法如下:

[0184] 获取SCR催化剂前端 NO_x 浓度、柴油发动机转速值、柴油发动机转矩值、SCR催化剂入口温度值和计算排气质量流量值。

[0185] 根据尿素的热解和水解反应、氨的吸附与解吸附、 NO_x 的催化还原反应氮氧化物的催化还原反应、 NH_3 的氧化和尿素SCR催化剂化学反应计算获得SCR催化剂前端尿素目标喷射量;

[0186] SCR催化器前端尿素喷射量通过以下方式计算获得：

[0187]

$$\begin{bmatrix} \dot{C}_{NO} \\ \dot{\theta}_{NH_3} \\ \dot{C}_{NH_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C_{NO} \left(\theta r_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \theta_{NH_3} \\ -\theta_{NH_3} (r_{ad} C_{NH_3} + r_{de} + r_{re} C_{NO} + r_{ox}) + r_{ad} C_{NH_3} \\ -C_{NH_3} \left[\theta r_{ad} (1 - \theta_{NH_3}) + \frac{F}{V} \right] + \theta r_{de} \theta_{NH_3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} C_{NH_3,in} + \begin{bmatrix} F \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} C_{NO,in}$$

公式 (1)；

[0188] $r_x = K_x \exp\left(\frac{E_x}{RT}\right)$, X=ad, de, ox, re, ad表示吸附, de表示解吸附, ox表示氧化, re

表示还原, C_{NH_3} 为排气管中氨的浓度, C_{NO} 为排气管中 NO_x 浓度, $C_{NH_3,in}$ 为SCR催化器前端氨的浓度即SCR催化器前端尿素喷嘴喷射量; $C_{NO,in}$ 为发动机产生的 NO_x 浓度仿真值, F为排气流量, V为催化器体积;

[0189] 其中, SCR催化器后端氨浓度计算方法如下:

[0190] 获取SCR催化器后端 NH_3 浓度、SCR出口温度值;

[0191] SCR催化器后端 NO_x 和 NH_3 的交叉敏感性为:

$$[0192] \quad C_{NO, sen} = C_{NO}^* + K_{CS} C_{NH_3} \quad \text{公式 (2);}$$

[0193] 其中 K_{cs} 代表交叉敏感因素, C_{NO}^* 是 NO_x 的真实浓度, C_{NH_3} 代表泄漏的 NH_3 的浓度;

[0194] EKF算法表达为

$$[0195] \quad x(k) = f[x(k-1), u(k) + w(k)] \quad \text{公式 (3)}$$

$$[0196] \quad z(k) = h[x(k) + v(k)] \quad \text{公式 (4)}$$

[0197] 公式 (3) 中 $f(k)$ 是预测函数, $x(k)$ 代表状态向量, $u(k)$ 代表输入向量; $w(k)$ 代表高斯过程噪声, 协方差为 $Q(k)$;

[0198] 公式 (3) 中, $h(x)$ 是测量函数; $v(k)$ 是高斯测量噪声, 协方差为 $R(k)$, $w(k)$ 和 $v(k)$ 视为零均值高斯噪声;

[0199] 状态向量 $x(k)$ 和误差协方差矩阵 $P(k)$ 由公式 (5) 和公式 (6) 表示:

$$[0200] \quad x(k|k-1) = f[x(k-1|k-1), u(k)] \quad \text{公式 (5)}$$

$$[0201] \quad z(k|k-1) = F(k) P[(k-1|k-1) F(k)^T + Q(k)] \quad \text{公式 (6)}$$

[0202] 其中, $F(k)$ 是预测函数 $f(k)$ 的雅克比矩阵;

[0203] 根据公式 (4) 预测系统状态 $x(k|k-1)$ 和误差协方差矩阵 $P(k|k-1)$ 通过和测量值 $z(k)$ 比较进行更新, 根据高斯白噪声扰动为零均值优化卡尔曼增益和预估值 $x(k)$ 通过下述公式 (7) - 公式 (10) 获得;

$$[0204] \quad M(k) = H(k) P(k|k-1) H(k)^T + R(k) \quad \text{公式 (7)}$$

$$[0205] \quad K(k) = P(k|k-1) H(k)^T S(k)^{-1} \quad \text{公式 (8)}$$

$$[0206] \quad X(k|k) = X(k|k-1) + K(k) y(k) \quad \text{公式 (9)}$$

$$[0207] \quad P(k|k) = (1 - K(k) H(k)) P(k|k-1) \quad \text{公式 (10)}$$

[0208] $H(k)$ 为和输出函数 $h(k)$ 相关的雅克比矩阵;

[0209] 利用EKF算法计算交叉敏感因素 K_{cs} 和SCR催化器后端 NO_x 浓度;

[0210] 交叉敏感因素为： $\dot{K}_{CS} = 0$ 公式 (11)

[0211] 根据权利要求1所述公式 (1), SCR催化剂后端NO_x浓度为:

[0212]

$$\dot{\hat{C}}_{NO}^* = -\hat{C}_{NO}^* \left(\Theta r_{re} \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} \right) + r_{ox} \Theta \theta_{NH_3} + \frac{F}{V} C_{NO, sen, in} \quad \text{公式 (12)}$$

[0213] 其中C_{NO, senin}SCR催化剂前端NO_x浓度, 并且C_{NO, senin} = C_{NO, in}, V为催化剂体积; F为排气流量, r_{ox}表示氧化, r_{ed}表示还原, Θ为已知的随温度变化的变量, Θ与温度变化呈正相关, θ_{NH₃}是氨表面覆盖率, 通过公式 (5) 获得;

[0214] 通过公式 (3)-公式 (12) 获得预测公式:

[0215]

$$x(k|k-1) = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{K}_{CS}(k-1|k-1) \\ \hat{C}_{NO}^*(k-1|k-1) + \Delta t \dot{\hat{C}}_{NO}^*(k-1|k-1) \end{bmatrix} \quad \text{公式 (13);}$$

[0216] Δt代表EKF算法的更新周期, EKF算法获得SCR催化剂后端NO_x浓度C_{NO, senin}通过下述公式获得;

$$z(k) = C_{NO, sen}(k) \hat{C}_{NO}^*(k|k-1) \hat{K}_{CS}(k|k-1) C_{NH_3}(k) \quad \text{公式 (14)}$$

[0218] C_{NH₃}为SCR催化剂后端NH₃浓度。

[0219] 以上通过具体实施方式和实施例对本发明进行了详细的说明, 但这些并非构成对本发明的限制。在不脱离本发明原理的情况下, 本领域的技术人员还可做出许多变形和改进, 这些也应视为本发明的保护范围。

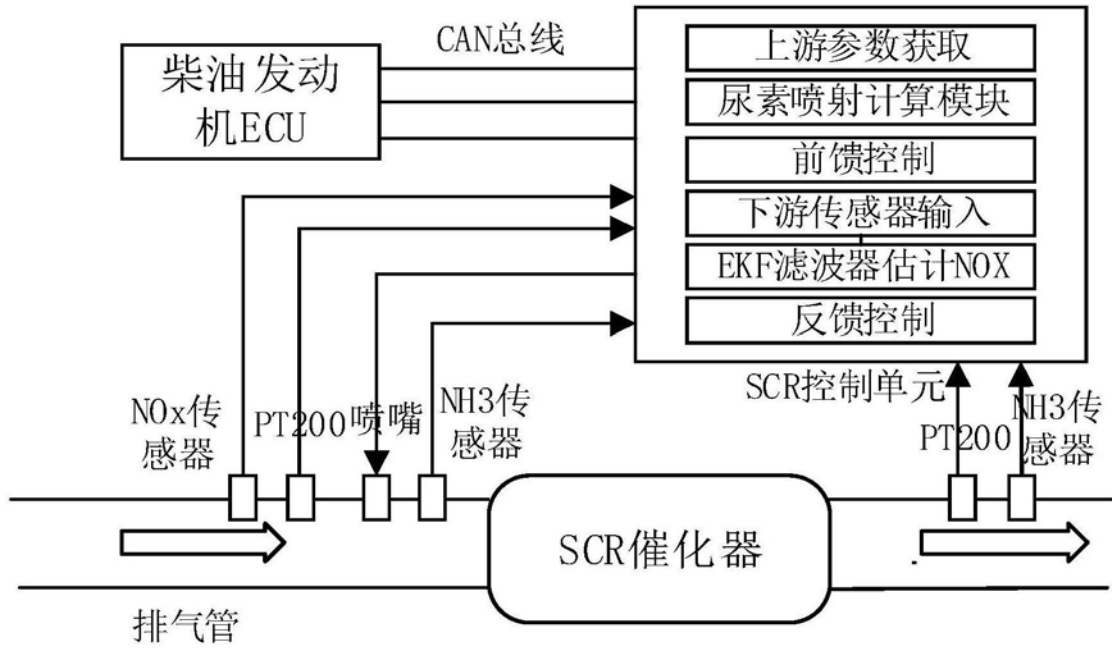


图1

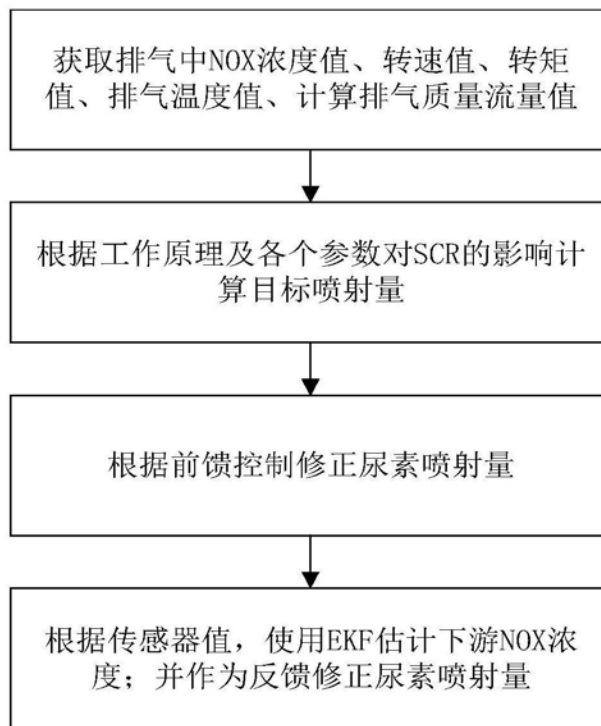


图2

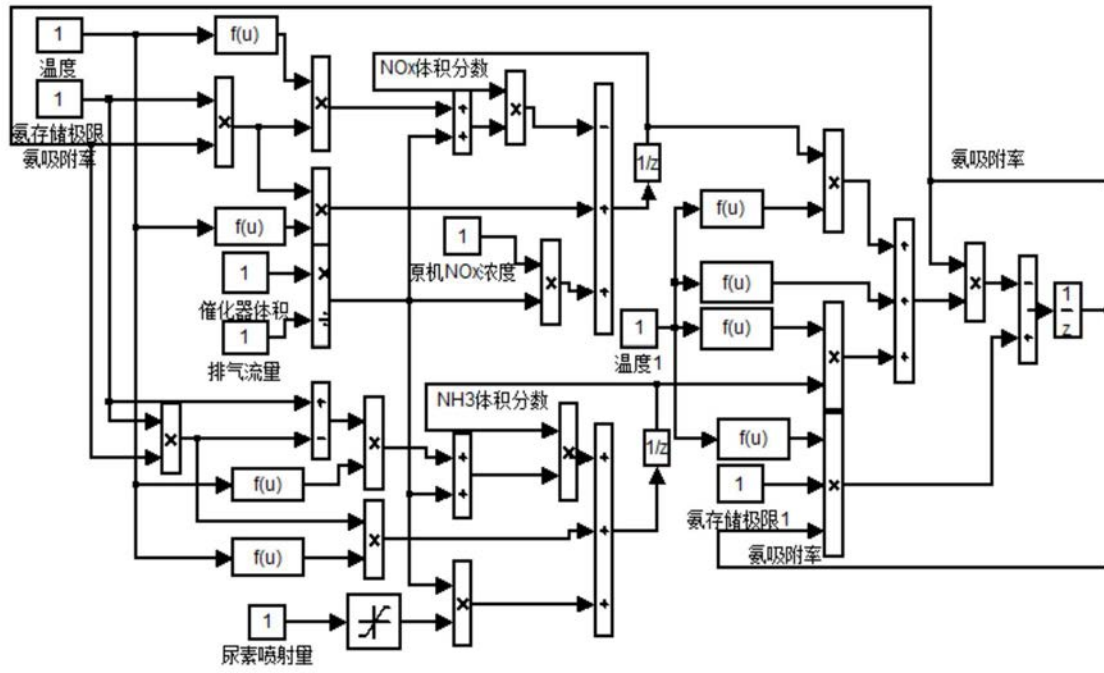


图3