



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106837497 A

(43)申请公布日 2017.06.13

(21)申请号 201710104495.6

(22)申请日 2017.02.24

(71)申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 苏万华 郭斌扬 孙德增 刘二喜

张顺凯

(74)专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代

理事务所 12201

代理人 吴学颖

(51) Int. Cl.

F01N 9/00(2006.01)

F01N 3/20(2006.01)

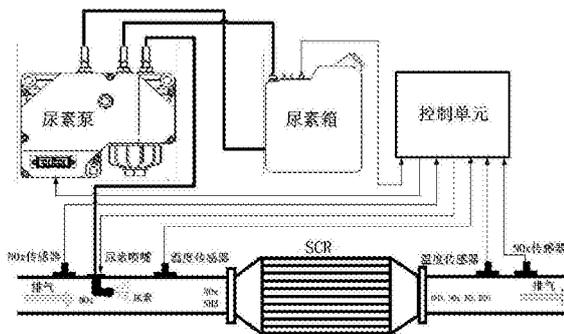
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

## (54)发明名称

基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法

## (57)摘要

本发明公开了一种基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法：根据SCR系统氨质量守恒建立储氨量计算模型，计算实际工况下SCR当前时刻的储氨量；基于稳态实验标定出发动机NO<sub>x</sub>排放脉谱、排气质量流量脉谱和氨氮比脉谱，计算出基本尿素喷射量；通过实验标定目标储氨量区域、氨吸附时间常数和氨释放时间常数，计算出修正尿素喷射量；实际工况下，以基本尿素喷射量与修正尿素喷射量之和对尿素喷射进行控制，在排气温度突增的工况下辅以尿素缓喷和停喷，使得SCR当前时刻的储氨量逼近目标储氨量区域。本发明能够提高柴油机后处理SCR全工况的NO<sub>x</sub>转化效率，节省尿素消耗量并降低氨泄漏。



1. 基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

步骤一, 根据SCR系统氨质量守恒建立储氨量计算模型, 计算实际工况下SCR当前时刻的储氨量;

步骤二, 基于稳态实验标定出发动机NO<sub>x</sub>排放脉谱、排气质量流量脉谱和氨氮比脉谱, 计算出基本尿素喷射量;

步骤三, 通过实验标定目标储氨量区域、氨吸附时间常数和氨释放时间常数, 计算出修正尿素喷射量;

步骤四, 实际工况下, 以基本尿素喷射量与修正尿素喷射量之和对尿素喷射进行控制, 在排气温度突增的工况下辅以尿素缓喷和停喷, 使得SCR当前时刻的储氨量逼近目标储氨量区域。

2. 根据权利要求1所述的基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法, 其特征在于, 步骤一中当前时刻的储氨量=上一时刻的储氨量+氨存储量的变化量, 其数学表达式如下:

$$ASC_t = ASC_{t-1} + \int_{t-1}^t Q_{NH_3In} \cdot dt - f_s \cdot \frac{M_{NH_3}}{M_{NO_x}} \cdot \int_{t-1}^t (Q_{NO_xIn} - Q_{NO_xOut}) \cdot dt - \int_{t-1}^t Q_{NH_3Out} \cdot dt$$

其中, ASC<sub>t</sub>、ASC<sub>t-1</sub>分别为t时刻和t-1时刻的氨存储量, Q<sub>NH<sub>3</sub>In</sub>、Q<sub>NH<sub>3</sub>Out</sub>分别为SCR入口与出口的NH<sub>3</sub>质量流量, Q<sub>NO<sub>x</sub>In</sub>、Q<sub>NO<sub>x</sub>Out</sub>分别为SCR入口与出口NO<sub>x</sub>质量流量, M<sub>NO<sub>x</sub></sub>、M<sub>NH<sub>3</sub></sub>分别为NO<sub>x</sub>和NH<sub>3</sub>的相对分子质量, f<sub>s</sub>为NH<sub>3</sub>与NO<sub>x</sub>化学反应系数。

3. 根据权利要求1所述的基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法, 其特征在于, 步骤二中基本尿素喷射量按以下公式计算:

$$Q_{NO_x} = 277.8 \times \frac{M_{NO_x}}{M_{EG}} \times Q_{EG} \times C_{NO_x, ppm}$$

$$Q_{NH_3} = f_s \times \frac{M_{NH_3}}{M_{NO_x}} \times Q_{NO_x} \times ANR$$

$$Q_{Adblue} = \frac{1}{2} \times \frac{M_{Adblue}}{M_{NH_3}} \div 32.5\% \times Q_{NH_3}$$

其中, Q<sub>NO<sub>x</sub></sub>为NO<sub>x</sub>质量流量, Q<sub>NH<sub>3</sub></sub>为NH<sub>3</sub>质量流量, Q<sub>Adblue</sub>为尿素质量流量(即基本尿素喷射量), M<sub>EG</sub>、M<sub>Adblue</sub>、M<sub>NO<sub>x</sub></sub>、M<sub>NH<sub>3</sub></sub>分别为排气、尿素、NO<sub>x</sub>和NH<sub>3</sub>的相对分子质量, Q<sub>EG</sub>为排气质量流量, C<sub>NO<sub>x</sub>, ppm</sub>为SCR入口NO<sub>x</sub>质量浓度, f<sub>s</sub>为NO<sub>x</sub>和NH<sub>3</sub>化学反应系数之比, ANR为氨氮比。

4. 根据权利要求1所述的基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法, 其特征在于, 步骤三中目标储氨量区域为一个优化的储氨量区域, 通过SCR实验得出SCR不同温度不同储氨量下的NO<sub>x</sub>转化效率脉谱, 通过SCR标定实验得出不同SCR温度和空速下的最大储氨量脉谱, 根据最大储氨量和NO<sub>x</sub>转化效率, 确定目标储氨量区域的上、下限, 上限离最大储氨量留有一定差值, 下限对应最低的目标NO<sub>x</sub>转化效率。

5. 根据权利要求1所述的基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法, 其特征在于, 步骤三中氨吸附时间常数是指SCR系统尿素起喷后, 储氨量从零增长到最大储

氨量的63%所用的时间,通过SCR标定实验得出不同SCR温度和过量NH<sub>3</sub>质量流量下的氨吸附时间常数;

所述氨释放时间常数是指SCR系统尿素停喷后,储氨量从最大储氨量减少到最大储氨量的37%所用的时间,通过SCR标定实验得出不同SCR温度和过量NO<sub>x</sub>质量流量下的氨释放时间常数。

6.根据权利要求1所述的基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法,其特征在于,步骤三中修正尿素喷射量计算分为氨吸附和氨释放两种模式:

(1)氨吸附模式:消耗氨质量流量=实际NO<sub>x</sub>质量流量×NO<sub>x</sub>转化效率×0.37;

过量氨质量流量=实际氨质量流量-消耗氨质量流量;

修正尿素喷射量=0.63×最大储氨量/氨吸附时间常数;

(2)氨释放模式:消耗NO<sub>x</sub>质量流量=实际氨质量流量×NO<sub>x</sub>转化效率/0.37;

过量NO<sub>x</sub>质量流量=实际NO<sub>x</sub>质量流量-消耗NO<sub>x</sub>质量流量;

修正尿素喷射量=-0.63×最大储氨量/氨释放时间常数;

上述两种模式中,实际氨质量流量和实际NO<sub>x</sub>质量流量按以下公式计算:

实际氨质量流量=实际尿素喷射量/5.42;

实际NO<sub>x</sub>质量流量=SCR入口NO<sub>x</sub>浓度×排气质量流量。

## 基于实时储氮量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及柴油机尾气后处理技术,更具体的说,是涉及一种基于实时储氮量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法。

### 背景技术

[0002] 柴油机的富氧燃烧极易产生较高的 $\text{NO}_x$ 排放,是内燃机车 $\text{NO}_x$ 排放的主要来源。选择性催化还原技术利用尿素水解产生的氨将尾气中的 $\text{NO}_x$ 还原成 $\text{N}_2$ ,可以降低柴油机中90%以上的 $\text{NO}_x$ ,目前被认为是解决柴油机 $\text{NO}_x$ 排放最有效的技术。采用SCR后处理技术相比EGR技术有利于燃油经济性的改善,燃油系统的配置也不需太高,而且SCR对燃油中的硫不太敏感,低要求的燃油品质可以降低柴油机的运行成本。在我国满足国IV阶段及更严格排放法规的重型柴油车多数采用了SCR技术。

[0003] SCR系统需要在催化剂上游的排气管上安装尿素喷射装置,将尿素水溶液以雾状形态喷入排气管中。雾状形态的尿素水溶液在高温排气作用下发生水解和热解反应,生成所需要的还原剂氨,在催化反应区与排气中的 $\text{NO}_x$ 反应。实际工况尿素喷射产生的氨并不与 $\text{NO}_x$ 刚好完全反应,而是一部分被 $\text{NO}_x$ 消耗,一部分吸附在SCR系统的载体上。当尿素喷射量过多,反应剩余氨一旦超过SCR载体最大氨存储量,便会产生氨泄漏,造成二次污染。尤其在SCR温度剧烈上升的工况(例如柴油机突然由低负荷运行到大负荷),氨泄漏问题尤为严重。由于SCR系统的饱和氨存储能力随温度增加而骤减,温度剧烈上升时,低温时存储的氨来不及与排气中的 $\text{NO}_x$ 反应,就会以氨泄漏的形式释放出来。SCR的控制需要考虑不同排气条件下SCR系统的催化特性和氨存储特性,低温时催化剂活性低,储氮量对SCR效率影响较大;高温时SCR的储氮能力低,但催化剂活性提高使得SCR具有很高的转化效率。因此SCR系统控制的目标是实现 $\text{NO}_x$ 转化效率和氨泄漏二者的折衷。

[0004] 国IV和国V阶段重型柴油机排放法规中,要求发动机在指定的排放测试循环(ESC/ETC)下运行能满足特定的排放限值要求。但是在实际路况中,特别是在城区行驶的情况下,柴油车排放的 $\text{NO}_x$ 却远超出排放测试的限值。原因是ESC/ETC测试循环的低速低负荷工况并不具有代表性,而SCR后处理系统在排气温度较高催化剂活性较强时工作效率高,低温时 $\text{NO}_x$ 转化效率较低。为使测试循环工况更接近道路工况,欧VI阶段采用了世界统一的稳态和瞬态测试循环(WHSC/WHTC)。该测试循环对各种路况具有较好的代表性,相比ESC/ETC测试循环,WHSC/WHTC测试循环低速低负荷工况更为集中,瞬态工况变动范围更大,这就要求采用更高效灵活的控制方法进一步提高SCR低温下的工作效率和降低瞬态工况的氨泄漏。

[0005] 目前SCR控制的研究多集中在基于模型的控制策略方面,但由于大多数模型较复杂,嵌入性与实时性较差,而对SCR氨存储动态特性及相关控制方法的研究较少。加强瞬态工况中SCR系统控制方法的研究,提高 $\text{NO}_x$ 转化效率,减少氨的泄漏量,有利于降低流体消耗(fluids cost)和应对更加严格的排放法规。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是为了克服现有技术中的不足,针对柴油机后处理SCR系统低温时NO<sub>x</sub>转化效率低和瞬态工况下的氨泄漏问题,提供一种基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法,能够提高柴油机后处理SCR全工况的NO<sub>x</sub>转化效率,节省尿素消耗量并降低氨泄漏。

[0007] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的。

[0008] 本发明的基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤一,根据SCR系统氨质量守恒建立储氨量计算模型,计算实际工况下SCR当前时刻的储氨量;

[0010] 步骤二,基于稳态实验标定出发动机NO<sub>x</sub>排放脉谱、排气质量流量脉谱和氨氮比脉谱,计算出基本尿素喷射量;

[0011] 步骤三,通过实验标定目标储氨量区域、氨吸附时间常数和氨释放时间常数,计算出修正尿素喷射量;

[0012] 步骤四,实际工况下,以基本尿素喷射量与修正尿素喷射量之和对尿素喷射进行控制,在排气温度突增的工况下辅以尿素缓喷和停喷,使得SCR当前时刻的储氨量逼近目标储氨量区域。

[0013] 步骤一中当前时刻的储氨量=上一时刻的储氨量+氨存储量的变化量,其数学表达式如下:

$$[0014] \quad ASC_t = ASC_{t-1} + \int_{t-1}^t Q_{NH_3in} \cdot dt - f_s \cdot \frac{M_{NH_3}}{M_{NO_x}} \cdot \int_{t-1}^t (Q_{NO_xin} - Q_{NO_xout}) \cdot dt - \int_{t-1}^t Q_{NH_3out} \cdot dt$$

[0015] 其中,ASC<sub>t</sub>、ASC<sub>t-1</sub>分别为t时刻和t-1时刻的氨存储量,Q<sub>NH<sub>3</sub>in</sub>、Q<sub>NH<sub>3</sub>out</sub>分别为SCR入口与出口的NH<sub>3</sub>质量流量,Q<sub>NO<sub>x</sub>in</sub>、Q<sub>NO<sub>x</sub>out</sub>分别为SCR入口与出口NO<sub>x</sub>质量流量,M<sub>NO<sub>x</sub></sub>、M<sub>NH<sub>3</sub></sub>分别为NO<sub>x</sub>和NH<sub>3</sub>的相对分子质量,f<sub>s</sub>为NH<sub>3</sub>与NO<sub>x</sub>化学反应系数。

[0016] 步骤二中基本尿素喷射量按以下公式计算:

$$[0017] \quad Q_{NO_x} = 277.8 \times \frac{M_{NO_x}}{M_{EG}} \times Q_{EG} \times C_{NO_x,ppm}$$

$$[0018] \quad Q_{NH_3} = f_s \times \frac{M_{NH_3}}{M_{NO_x}} \times Q_{NO_x} \times ANR$$

$$[0019] \quad Q_{Adblue} = \frac{1}{2} \times \frac{M_{Adblue}}{M_{NH_3}} \div 32.5\% \times Q_{NH_3}$$

[0020] 其中,Q<sub>NO<sub>x</sub></sub>为NO<sub>x</sub>质量流量,Q<sub>NH<sub>3</sub></sub>为NH<sub>3</sub>质量流量,Q<sub>Adblue</sub>为尿素质量流量(即基本尿素喷射量),M<sub>EG</sub>、M<sub>Adblue</sub>、M<sub>NO<sub>x</sub></sub>、M<sub>NH<sub>3</sub></sub>分别为排气、尿素、NO<sub>x</sub>和NH<sub>3</sub>的相对分子质量,Q<sub>EG</sub>为排气质量流量,C<sub>NO<sub>x</sub>,ppm</sub>为SCR入口NO<sub>x</sub>质量浓度,f<sub>s</sub>为NO<sub>x</sub>和NH<sub>3</sub>化学反应系数之比,ANR为氨氮比。

[0021] 步骤三中目标储氨量区域为一个优化的储氨量区域,通过SCR实验得出SCR不同温度不同储氨量下的NO<sub>x</sub>转化效率脉谱,通过SCR标定实验得出不同SCR温度和空速下的最大储氨量脉谱,根据最大储氨量和NO<sub>x</sub>转化效率,确定目标储氨量区域的上、下限,上限离最大储氨量留有一定差值,下限对应最低的目标NO<sub>x</sub>转化效率。

[0022] 步骤三中氨吸附时间常数是指SCR系统尿素起喷后,储氨量从零增长到最大储氨量的63%所用的时间,通过SCR标定实验得出不同SCR温度和过量NH<sub>3</sub>质量流量下的氨吸附时间常数;

[0023] 所述氨释放时间常数是指SCR系统尿素停喷后,储氨量从最大储氨量减少到最大储氨量的37%所用的时间,通过SCR标定实验得出不同SCR温度和过量NO<sub>x</sub>质量流量下的氨释放时间常数。

[0024] 步骤三中修正尿素喷射量计算分为氨吸附和氨释放两种模式:

[0025] (1) 氨吸附模式:消耗氨质量流量=实际NO<sub>x</sub>质量流量×NO<sub>x</sub>转化效率×0.37;

[0026] 过量氨质量流量=实际氨质量流量-消耗氨质量流量;

[0027] 修正尿素喷射量=0.63×最大储氨量/氨吸附时间常数;

[0028] (2) 氨释放模式:消耗NO<sub>x</sub>质量流量=实际氨质量流量×NO<sub>x</sub>转化效率/0.37;

[0029] 过量NO<sub>x</sub>质量流量=实际NO<sub>x</sub>质量流量-消耗NO<sub>x</sub>质量流量;

[0030] 修正尿素喷射量=-0.63×最大储氨量/氨释放时间常数;

[0031] 上述两种模式中,实际氨质量流量和实际NO<sub>x</sub>质量流量按以下公式计算:

[0032] 实际氨质量流量=实际尿素喷射量/5.42;

[0033] 实际NO<sub>x</sub>质量流量=SCR入口NO<sub>x</sub>浓度×排气质量流量。

[0034] 与现有技术相比,本发明的技术方案所带来的有益效果是:(补充,分条描述)

[0035] (1) 本发明的基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法可以提高柴油机后处理SCR全工况的NO<sub>x</sub>转化效率,减少NO<sub>x</sub>排放,满足欧VI排放限值;

[0036] (2) 本发明的基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法可以避免SCR系统在剧烈的温度上升过程中出现氨泄漏,减少二次污染;

[0037] (3) 本发明的基于实时储氨量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法可以在满足排放标准的情况下,节省尿素喷射量,同时缩短标定周期,提高工作效率。

## 附图说明

[0038] 图1是SCR系统示意图;

[0039] 图2是SCR系统储氨量计算模型框图;

[0040] 图3是SCR系统基本尿素喷射量的计算模型框图;

[0041] 图4是SCR系统工作在氨吸附模式下修正尿素喷射量的计算模型框图;

[0042] 图5是SCR系统工作在氨释放模式下修正尿素喷射量的计算模型框图;

[0043] 图6是SCR系统目标储氨量控制模型框图。

## 具体实施方式

[0044] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0045] 图1为本发明适用的SCR系统示意图,SCR系统包括SCR反应器、尿素箱、尿素泵和控制单元。SCR反应器装有催化剂载体,是NH<sub>3</sub>与NO<sub>x</sub>的反应区;尿素箱装载SCR系统所需的尿素;尿素泵将尿素以一定的压力输送到尿素喷嘴中;控制单元接收SCR系统传感器信号并控制尿素的喷射。在SCR上游装有NO<sub>x</sub>传感器、尿素喷嘴、温度传感器和压力传感器,在SCR下游装有压力传感器、温度传感器和NO<sub>x</sub>传感器。SCR上下游NO<sub>x</sub>传感器测量SCR入口和出口的NO<sub>x</sub>质

量浓度,温度传感器测量SCR入口和出口的温度,压力传感器测量SCR入口和出口的压力,尿素喷嘴将尿素以雾化状态喷射进入SCR中。废气从排气管上游流经SCR,控制单元根据温度传感器测得SCR温度、NO<sub>x</sub>传感器测得SCR进出口的NO<sub>x</sub>质量浓度以及本发明提出的SCR储氮管理模型,计算得出实际喷射的尿素。废气与雾化的尿素混合进入SCR反应器中,尿素热解产生的氨与废气中的NO<sub>x</sub>在催化剂作用下发生反应生成N<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O。

[0046] 本发明基于实时储氮量管理的柴油机催化还原尿素喷射控制方法,包括建立SCR系统储氮量计算模型、优化目标储氮量区域、基本尿素喷射量计算、修正尿素喷射量计算以及实际储氮量管理,采用目标储氮量区域控制的原则,将实际储氮量控制在目标储氮量区域内。具体控制过程见以下步骤:

[0047] (一)根据SCR系统氮质量守恒建立储氮量计算模型,计算实际工况下SCR当前时刻的储氮量。

[0048] 本发明提出一种SCR储氮计算模型,如图2所示,用于实际工况储氮量的计算。根据SCR入口NO<sub>x</sub>质量浓度和SCR出口NO<sub>x</sub>质量浓度的差值得到反应消耗的氨质量,忽略氨泄漏(认为氨泄漏很小),喷射尿素产生的氨减去反应消耗的氨得到当前时刻SCR增加的储氮量。系统不断记录上一时刻的储氮量,通过累加储氮量计算出当前时刻的储氮量。

[0049] 首先将SCR系统视为一个有源的开口系统,作如下假设:

[0050] (1)尿素完全分解;

[0051] (2)忽略NH<sub>3</sub>的氧化反应(400℃以上才会发生)。

[0052] 在一定的时间窗口内,根据SCR系统氮质量守恒有:氨喷射量=催化反应消耗的氨+氨泄漏量+氨存储量。即:氨存储量=氨喷射量-催化反应消耗的氨-氨泄漏量。积分形式:当前时刻的储氮量=上一时刻的储氮量+氨存储量的变化量(吸附或释放),基于此,可以实时计算SCR系统实际储氮量,其数学表达式如下:

$$[0053] \quad ASC_t = ASC_{t-1} + \int_{t-1}^t Q_{NH_3in} \cdot dt - f_s \cdot \frac{M_{NH_3}}{M_{NO_x}} \cdot \int_{t-1}^t (Q_{NO_xin} - Q_{NO_xout}) \cdot dt - \int_{t-1}^t Q_{NH_3out} \cdot dt \quad (1)$$

[0054] 其中,ASC<sub>t</sub>、ASC<sub>t-1</sub>分别为t时刻和t-1时刻的氨存储量,单位为g;Q<sub>NH<sub>3</sub>in</sub>、Q<sub>NH<sub>3</sub>out</sub>分别为SCR入口与出口的NH<sub>3</sub>质量流量,单位为g/s;Q<sub>NO<sub>x</sub>in</sub>、Q<sub>NO<sub>x</sub>out</sub>分别为SCR入口与出口NO<sub>x</sub>质量流量,单位为g/s;M<sub>NO<sub>x</sub></sub>、M<sub>NH<sub>3</sub></sub>分别为NO<sub>x</sub>和NH<sub>3</sub>的相对分子质量;f<sub>s</sub>为NH<sub>3</sub>与NO<sub>x</sub>化学反应系数。

[0055] (二)基于稳态实验标定出发动机NO<sub>x</sub>排放脉谱、排气质量流量脉谱和氨氮比脉谱,计算出基本尿素喷射量。

[0056] 图3为基本尿素喷射量计算模型框图,用于实际工况下基本尿素喷射量的计算。首先通过发动机稳态标定得到发动机NO<sub>x</sub>排放脉谱、排气质量流量脉谱和氨氮比脉谱,用于计算理想状态下的尿素喷射量(基本尿素喷射量)。基本尿素喷射量保证SCR系统在实际工况下获得预期的NO<sub>x</sub>转化效率,并使SCR系统产生一定的储氮量。实际工况下根据发动机转速、油门开度、SCR温度以及空速查三个脉谱得到发动机出口NO<sub>x</sub>质量浓度、发动机排气质量流量和氨氮比,用以计算基本尿素喷射量,具体的计算公式如下:

$$[0057] \quad Q_{NO_x} = 277.8 \times \frac{M_{NO_x}}{M_{EG}} \times Q_{EG} \times C_{NO_x,ppm} \quad (2)$$

$$[0058] \quad Q_{NH_3} = f_s \times \frac{M_{NH_3}}{M_{NO_x}} \times Q_{NO_x} \times ANR \quad (3)$$

$$[0059] \quad Q_{Adblue} = \frac{1}{2} \times \frac{M_{Adblue}}{M_{NH_3}} \div 32.5\% \times Q_{NH_3} \quad (4)$$

[0060] 其中,  $Q_{NO_x}$  为  $NO_x$  质量流量, 单位为  $mg/s$ ;  $Q_{NH_3}$  为  $NH_3$  质量流量, 单位为  $mg/s$ ;  $Q_{Adblue}$  为尿素质量流量 (即基本尿素喷射量), 单位为  $mg/s$ ; 常数 277.8 为  $kg/h$  到  $mg/s$  的换算系数;  $M_{EG}$ 、 $M_{Adblue}$ 、 $M_{NO_x}$ 、 $M_{NH_3}$  分别为排气、尿素、 $NO_x$  和  $NH_3$  的相对分子质量;  $Q_{EG}$  为排气质量流量, 单位为  $kg/h$ ;  $C_{NO_x, ppm}$  为 SCR 入口  $NO_x$  质量浓度;  $f_s$  为  $NO_x$  和  $NH_3$  化学反应系数之比, 一般取 1; ANR 为氨氮比。

[0061] (三) 通过实验标定目标储氨量区域、氨吸附时间常数和氨释放时间常数, 计算出修正尿素喷射量。

[0062] 本发明中 SCR 控制的原则是将实际储氨量控制在目标储氨量区域内。目标储氨量区域为一个优化的储氨量区域 (安全限值), 优化的原则是 SCR 系统获得预期的  $NO_x$  转化效率, 同时避免温度剧烈变化造成的氨泄漏。本发明通过 SCR 标定实验得出不同 SCR 温度和空速下的最大储氨量脉谱, 通过 SCR 标定实验得出 SCR 不同温度不同储氨量下的  $NO_x$  转化效率脉谱, 根据最大储氨量和  $NO_x$  转化效率, 确定并优化目标储氨量区域的上下限, 上限离最大储氨量留有一定差值, 防止系统温度突变引起氨泄漏, 下限对应最低的目标  $NO_x$  转化效率, 保证 SCR 系统低温下具有较高的  $NO_x$  转化效率。储氨量控制在目标储氨量区域内以实现提高低温下  $NO_x$  转化效率和降低氨泄漏。

[0063] 此外本发明的创新之处在于将 SCR 系统最大氨吸附速率或最大氨释放速率作为修正的尿素喷射量, 使 SCR 系统储氨量较快地接近目标储氨量区域。在稳态工况下, SCR 储氨量在最大储氨量的 63% 以内时氨的吸附和释放基本呈线性, 可近似用平均氨吸附速率表示瞬时氨吸附速率, 用平均氨释放速率表示瞬时氨释放速率。本发明为减少 SCR 氨吸附速率和氨释放速率的计算工作量, 提出了氨吸附时间常数和氨释放时间常数。氨吸附时间常数是指 SCR 系统尿素起喷后, 储氨量从零增长到最大储氨量的 63% 所用的时间。氨释放时间常数是指 SCR 系统尿素停喷后, 储氨量从最大储氨量减少到最大储氨量的 37% 所用的时间。

[0064] 氨吸附时间常数 (或氨释放时间常数) 除了受温度影响以外, 还和 SCR 系统中过量的  $NH_3$  质量浓度 (或过量的  $NO_x$  质量浓度) 相关。通过 SCR 标定试验得出氨吸附时间常数脉谱和氨释放时间常数脉谱, 具体做法如下: 在对应的发动机稳态工况以一定的氨氮比喷射尿素, 使 SCR 不断产生储氨量, 直到 SCR 出口  $NH_3$  浓度达到 10ppm (WHSC/WHTC 规定氨泄漏不超过 10ppm) 停止尿素喷射。整个过程记录 SCR 入口、SCR 出口的  $NO_x$  质量浓度和 SCR 出口的  $NH_3$  质量浓度, 直到 SCR 入口和出口  $NO_x$  质量浓度相持平, 实时计算储氨量并根据储氨量随时间变化曲线得到相应的氨吸附时间常数和氨释放时间常数。调节发动机的转速及负荷, 可以得到不同 SCR 温度和过量  $NO_x$  (或  $NH_3$ ) 质量流量下的氨吸附时间常数 (或氨释放时间常数) 脉谱。氨吸附时间常数和氨释放时间常数分别用于 SCR 修正尿素喷射量的计算模型。

[0065] 首先系统根据 SCR 温度和实际储氨量 (即当前时刻的储氨量) 查  $NO_x$  转化效率脉谱得出当前工况下的  $NO_x$  转化效率, 根据发动机转速和油门开度查排气质量流量脉谱得到当前工况下的排气质量流量, 并根据 SCR 温度和空速查最大储氨量脉谱得到最大储氨量。修正

尿素喷射量计算模型分为氨吸附和氨释放两种模式。计算实际氨质量流量和实际NO<sub>x</sub>质量流量如下：

$$[0066] \quad \text{实际氨质量流量} = \text{实际尿素喷射量} / 5.42 \quad (5)$$

$$[0067] \quad \text{实际NO}_x\text{质量流量} = \text{SCR入口NO}_x\text{浓度} \times \text{排气质量流量} \quad (6)$$

[0068] 图4所示,氨吸附模式下实际的储氨量低于目标储氨量区域的下限值,计算过量氨质量流量如下：

$$[0069] \quad \text{消耗氨质量流量} = \text{实际NO}_x\text{质量流量} \times \text{NO}_x\text{转化效率} \times 0.37 \quad (7)$$

$$[0070] \quad \text{过量氨质量流量} = \text{实际氨质量流量} - \text{消耗氨质量流量} \quad (8)$$

[0071] 根据过量氨质量流量和SCR温度查氨吸附时间常数MAP得氨吸附时间常数,于是：

$$[0072] \quad \text{修正尿素喷射量} = 0.63 \times \text{最大储氨量} / \text{氨吸附时间常数} \quad (9)$$

[0073] 图5所示,氨释放模式下实际的储氨量超过目标储氨量区域的上限值,计算过量NO<sub>x</sub>质量流量如下：

$$[0074] \quad \text{消耗NO}_x\text{质量流量} = \text{实际氨质量流量} \times \text{NO}_x\text{转化效率} / 0.37 \quad (10)$$

$$[0075] \quad \text{过量NO}_x\text{质量流量} = \text{实际NO}_x\text{质量流量} - \text{消耗NO}_x\text{质量流量} \quad (11)$$

式中,常数5.42为产生单位质量氨所需的尿素水溶液质量,常数0.37为按化学计量比为1反应消耗单位质量NO<sub>x</sub>所需的氨质量。

[0076] 根据过量NO<sub>x</sub>质量流量和SCR温度查氨释放时间常数MAP得氨释放时间常数,于是：

$$[0077] \quad \text{修正尿素喷射量} = -0.63 \times \text{最大储氨量} / \text{氨释放时间常数} \quad (12)$$

[0078] (四)实际工况下,以基本尿素喷射量与修正尿素喷射量之和对尿素喷射进行控制,在排气温度突增的工况下辅以尿素缓喷和停喷,使得SCR当前时刻的储氨量逼近目标储氨量区域。

[0079] 图6为目标储氨量控制模型框图,包括前馈控制和储氨量管理,并辅以尿素缓喷和停喷。前馈控制的具体过程是:控制系统根据发动机转速、油门开度、SCR温度、SCR入口NO<sub>x</sub>质量浓度以及基本尿素喷射量计算模型计算基本尿素喷射量。

[0080] 储氨量管理是目标储氨量区域控制模型的关键,控制系统根据排气质量流量和SCR温度查目标储氨量区域脉谱(通过标定实验得出),得出当前的目标储氨量区域;根据SCR入口的NO<sub>x</sub>质量浓度、SCR出口的NO<sub>x</sub>质量浓度、SCR入口的NH<sub>3</sub>质量浓度及系统上一时刻的储氨量结合储氨量计算模型计算出当前时刻的储氨量。若当前时刻的储氨量小于目标储氨量区域下限,SCR工作在氨吸附模式,查氨吸附时间常数脉谱得出氨吸附时间常数,根据实际储氨量、目标储氨量区域和氨吸附时间常数计算最大氨吸附速率;若当前储氨量大于目标储氨量区域上限,SCR工作在氨释放模式,查氨释放时间常数脉谱得出氨释放时间常数,根据实际储氨量、目标储氨量区域、氨释放时间常数计算最大氨释放速率。氨吸附(释放)速率作为储氨量管理下的修正尿素喷射量。基本尿素喷射量+修正尿素喷射量作为SCR系统的实际尿素喷射量。

[0081] 根据SCR进、出口NO<sub>x</sub>传感器测得NO<sub>x</sub>质量浓度,温度传感器测得SCR进、出口的温度及实验标定的一系列脉谱,采用前馈+储氨量管理的控制方法将SCR系统储氨量控制在目标储氨量区域内,获得较高的NO<sub>x</sub>转化效率,同时降低瞬态工况下的氨泄漏。在排气温度突增的工况下激活储氨量管理策略中的尿素缓喷和停喷策略,通过预测温度变化趋势,计算下一时刻目标储氨量区域,并不断修正尿素喷射量,以达到最优的控制效果。

[0082] 根据实际工况下的SCR储氨特性(氨吸附速率和氨释放速率)和已设定的目标储氨量区域进行储氨量实时管理控制。通过对基本尿素喷射量的不断修正,使实际储氨量逼近目标储氨量区域。

[0083] 瞬态工况下,系统在连续3s内检测到SCR温度的上升率大于 $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ,激活储氨量管理策略中的尿素缓喷策略,通过预测温度变化趋势,不断修正尿素喷射量,控制SCR储氨量在当前温度下的目标储氨量范围内,可以获得 $\text{NO}_x$ 转化效率与氨泄漏合理折中。

[0084] 尽管上面结合附图对本发明的功能及工作过程进行了描述,但本发明并不局限于上述的具体功能和工作过程,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,而不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可以做出很多形式,这些均属于本发明的保护之内。

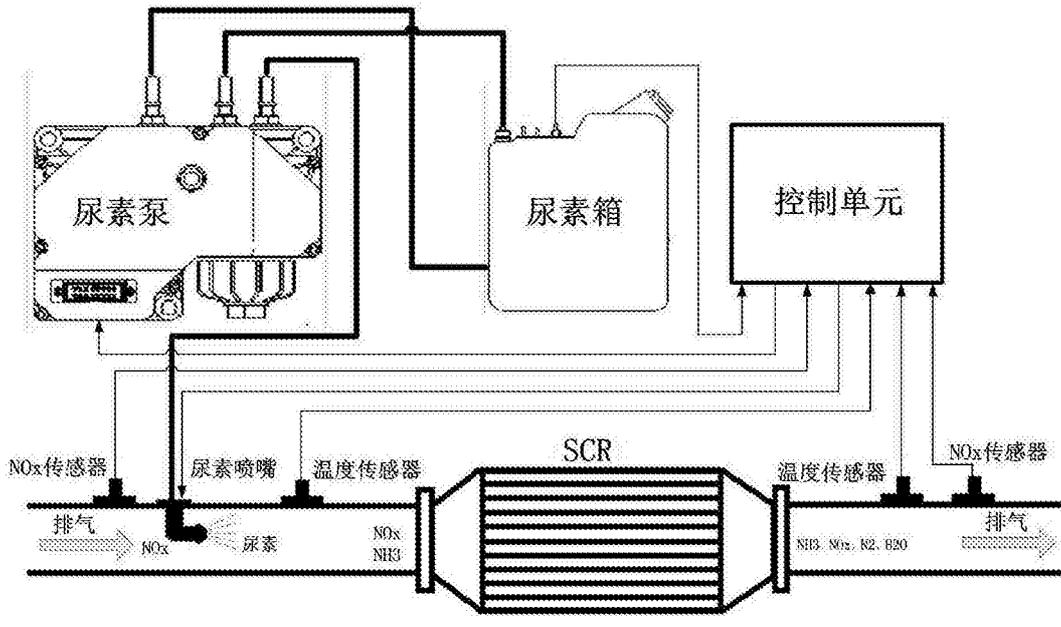


图1

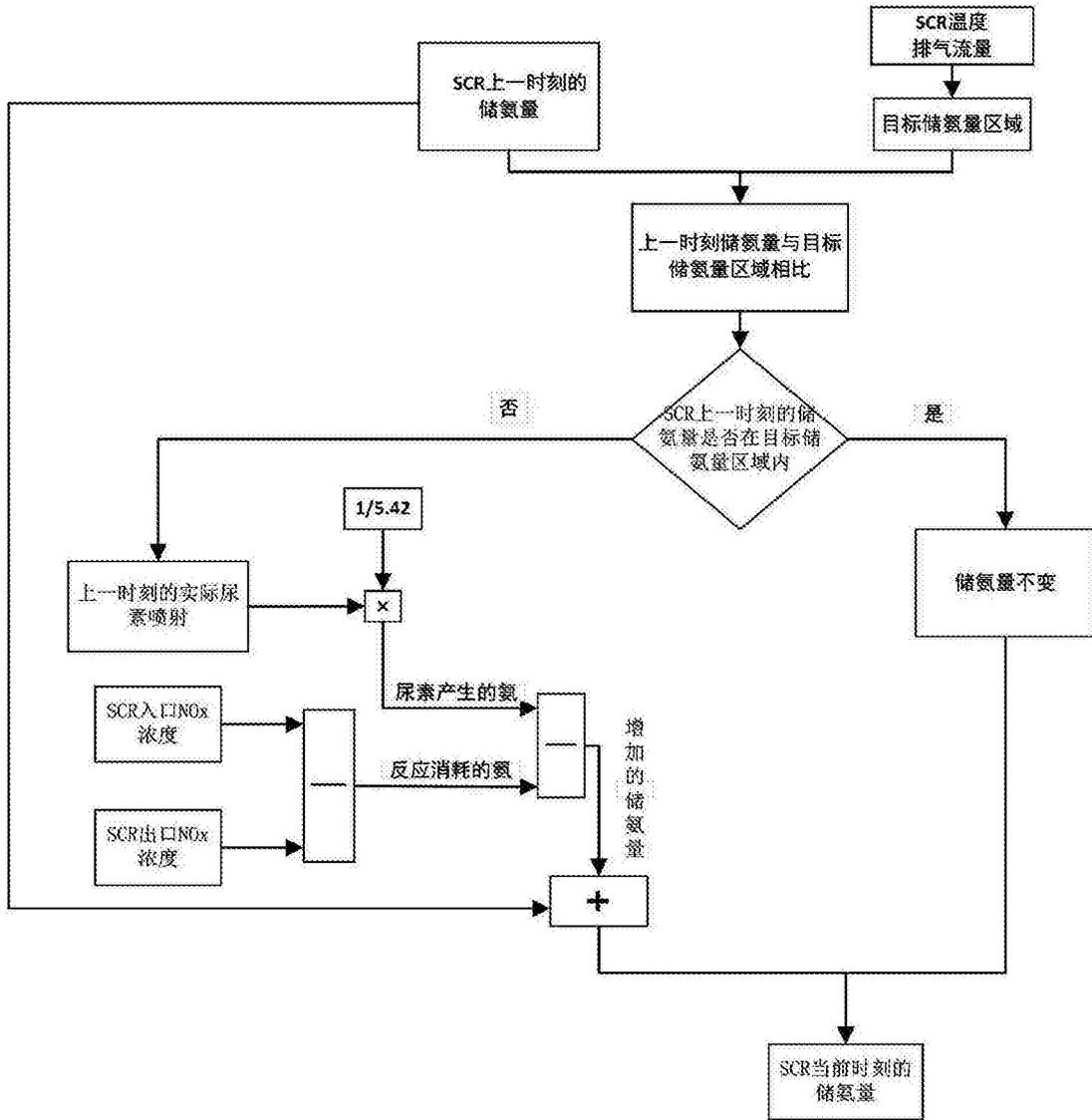


图2

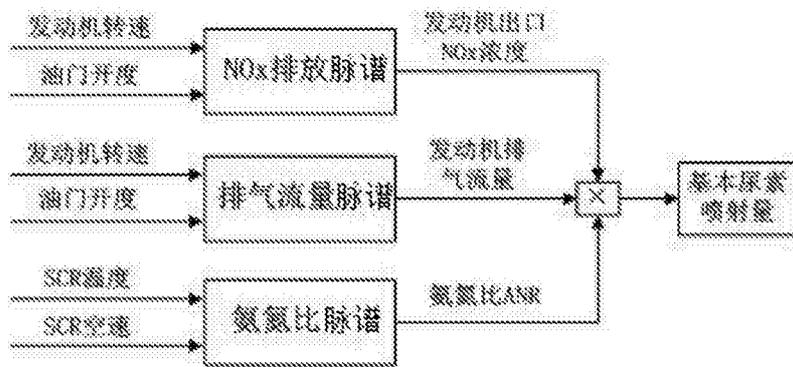


图3

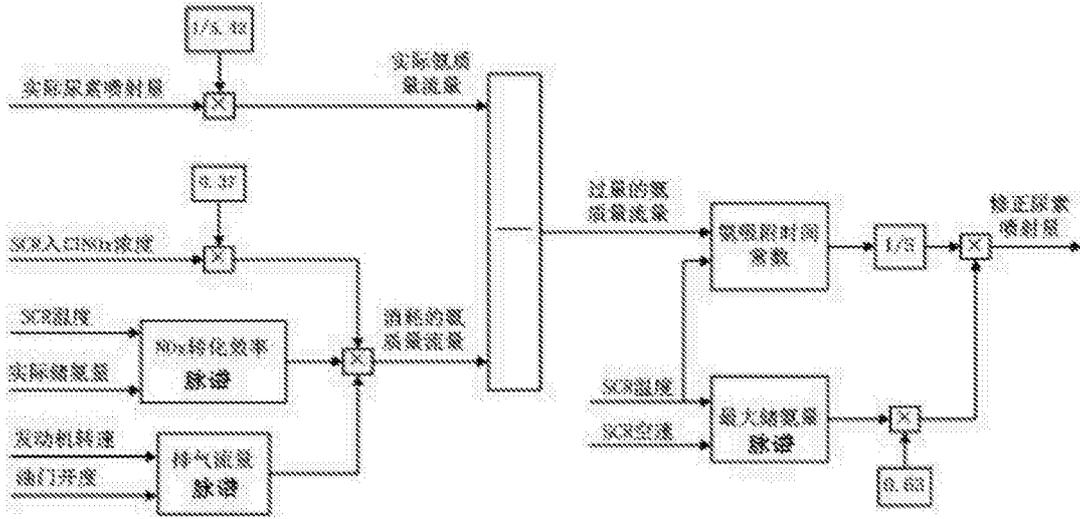


图4

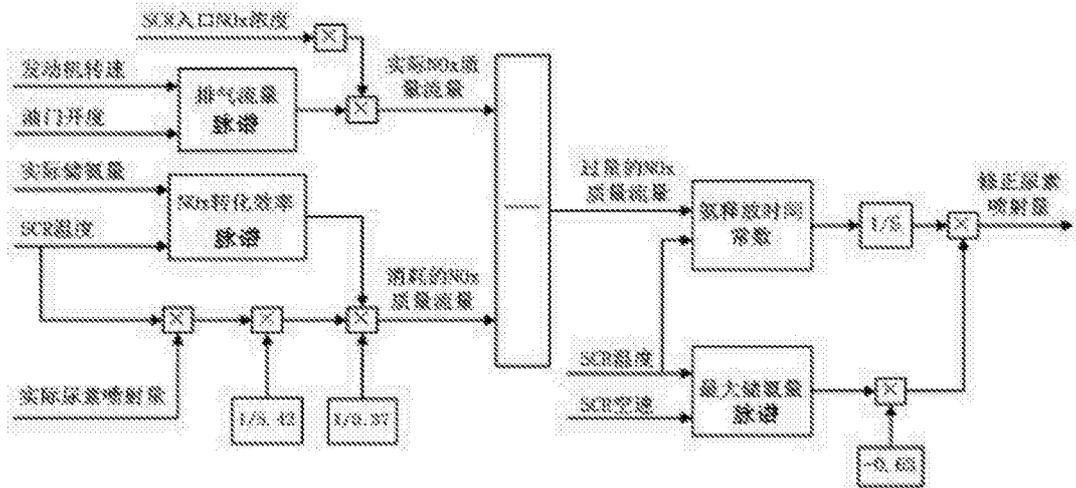


图5

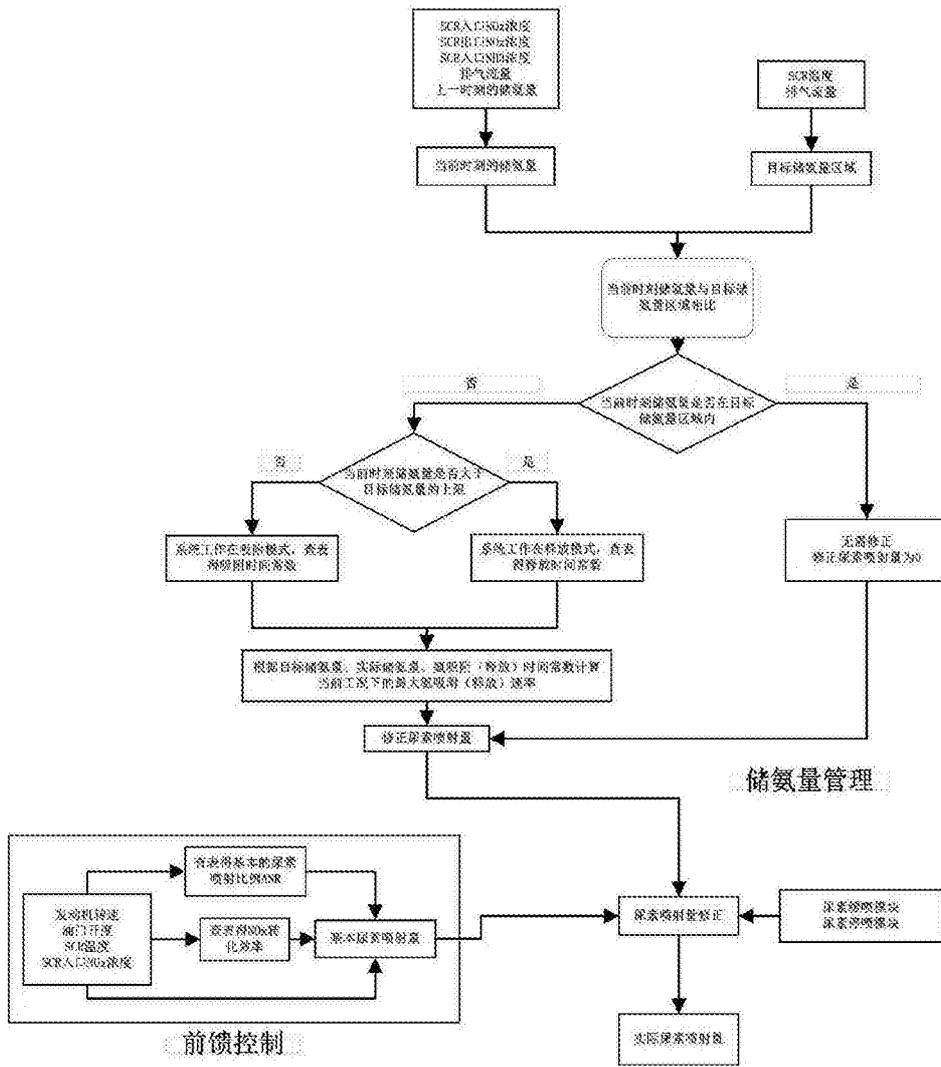


图6