



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118110586 A

(43) 申请公布日 2024. 05. 31

(21) 申请号 202410229272.2

(22) 申请日 2024.02.29

(71) 申请人 江铃汽车股份有限公司

地址 330052 江西省南昌市南昌县迎宾中  
大道2111号

(72) 发明人 王天田 郭华锋 王伟杰 廖善彬  
曾敏

(74) 专利代理机构 北京市盈科律师事务所

11344

专利代理师 陈晨 方茗茗

(51) Int. Cl.

F01N 3/20 (2006.01)

F01N 11/00 (2006.01)

F01N 9/00 (2006.01)

G16C 20/10 (2019.01)

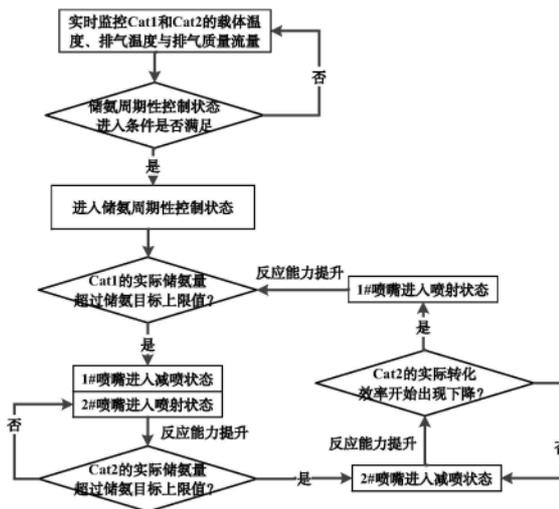
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种通过周期性储氨状态控制提升双级  
DeNOx系统反应能力的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种通过周期性储氨状态控制提升双级DeNOx系统反应能力的方法,包括以下步骤:S1.对Cat1、Cat2的温度、排气温度、质量流量的持续监控并判断工况条件是否适合实施储氨周期性控制策略;S2.判断Cat1的实际储氨量是否超过其储氨目标上限值,若超过,1#喷嘴进入减喷状态;S3.1#喷嘴进入减喷状态同时2#喷嘴进入喷射状态;S4.当Cat2的实际储氨量超过其储氨目标上限值时,2#喷嘴进入减喷状态;S5.监测到Cat2的转化效率开始下降后,1#喷嘴进入喷射状态;S6.当Cat1的实际储氨量超过储氨目标上限值时,重复S2,将1#喷嘴切换至减喷状态,开始新一轮储氨周期性控制。通过使用该方法,相同硬件性能条件下的后处理系统可以实现更高的整体转化效率和还原剂能效比。



CN 118110586 A

1. 一种通过周期性储氨状态控制提升双级DeNO<sub>x</sub>系统反应能力的方法,其特征在于,具体包括以下步骤:

S1. 对Cat1载体温度、Cat2载体温度、排气温度、排气质量流量持续监控并判断当前工况条件是否适合实施储氨周期性控制策略;

S2. 当判断条件满足后系统进入储氨周期性控制状态,先判断Cat1载体的实际储氨量是否超过其储氨目标上限值,若实际储氨没有超过这一限值,则调整1#尿素喷嘴的尿素喷射量促使Cat1载体上的储氨水平快速提升;当实际储氨超过这一限值时,1#尿素喷嘴进入减喷状态;

S3. 1#尿素喷嘴进入减喷状态的同时2#尿素喷嘴进入喷射状态,并对2#尿素喷嘴的喷射量进行控制;

S4. 当Cat2载体的实际储氨量超过其储氨目标上限值时,2#尿素喷嘴进入减喷状态;

S5. 监测到Cat2载体的实时DeNO<sub>x</sub>转化效率开始下降后,1#尿素喷嘴进入喷射状态并将其喷射量控制目标设定为:最大化Cat1载体的储氨速率的同时Cat1载体出口的NH<sub>3</sub>泄漏浓度控制在标定限值以内;该状态下1#尿素喷嘴NH<sub>3</sub>供给量的控制目标=通过原排NO<sub>x</sub>传感器计算得到的NH<sub>3</sub>理论反应消耗速率+Cat1载体的最大储氨速率+氨泄漏速率限值;

S6. 当Cat1载体的实际储氨量超过储氨目标上限值时,重复步骤S2,将1#尿素喷嘴切换至减喷状态,开始新一轮的储氨周期性控制;

S7. 在储氨周期性控制过程中,若温度和排气条件不再满足实施储氨周期性控制策略的条件,则退出储氨周期性控制模式。

2. 根据权利要求1所述的通过周期性储氨状态控制提升双级DeNO<sub>x</sub>系统反应能力的方法,其特征在于,控制策略实施条件需要通过开展催化剂小样试验确定适宜的温度窗口和空速窗口。

3. 根据权利要求1所述的通过周期性储氨状态控制提升双级DeNO<sub>x</sub>系统反应能力的方法,其特征在于,在步骤S2中,所述1#尿素喷嘴的减喷状态的具体喷射控制目标需要依据Cat2载体的实时反应能力进行确定,当Cat2载体的实时反应能力较弱时,1#尿素喷嘴的喷射量需要适当增加以控制进入Cat2载体的NO<sub>x</sub>水平处于其可转化的范围之内;当Cat2载体的实时反应能力足够时,1#尿素喷嘴的喷射量可设置为0。

4. 根据权利要求1所述的通过周期性储氨状态控制提升双级DeNO<sub>x</sub>系统反应能力的方法,其特征在于,在步骤S3中,所述2#尿素喷嘴进入喷射状态后的喷射量需要通过Cat2载体的化学反应动力学模型和吸脱附速率模型进行计算:2#尿素喷嘴的NH<sub>3</sub>目标供给量=通过Cat2载体入口NO<sub>x</sub>传感器测量值计算得到的NH<sub>3</sub>理论反应消耗速率+通过Cat2载体的吸脱附速率模型计算得到当前状态下的最大储氨速率+ASC反应动力学模型计算得到的NH<sub>3</sub>氧化反应速率最大值。

## 一种通过周期性储氨状态控制提升双级DeNO<sub>x</sub>系统反应能力的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及尾气排放领域,具体地,涉及一种通过周期性储氨状态控制提升双级DeNO<sub>x</sub>系统反应能力的方法。

### 背景技术

[0002] 柴油机排气中含有较多的氮氧化物(NO<sub>x</sub>)和颗粒物(PM),现有排放法规对NO<sub>x</sub>和PM的排放量进行了限制,并且规定了不同程度的限值,随着排放法规的进一步加严,相应排放限值对冷启动工况排放的加权因子显著增加,催生了后处理系统向尺寸和功能紧耦合方向发展。

[0003] NO<sub>x</sub>是发动机吸入气缸内的空气中的N<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>在高温下的反应产物,其主要成分是NO和NO<sub>2</sub>。尿素选择性催化还原技术(简称Urea-SCR技术)是发动机控制NO<sub>x</sub>排放的主要技术,该技术最常见的形式是:利用尿素水溶液分解产生氨气(NH<sub>3</sub>),并且在SCR催化器的作用下,氨气与NO<sub>x</sub>发生选择性催化还原反应,生成氮气和水后排入大气,通过向柴油机的排气中喷入不同的尿素量,对NO<sub>x</sub>的排放量实现有效控制。温度低于187℃时尿素的水解和热解反应不能充分发生,同时SCR反应在低于250℃的条件下的反应速率受NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>比例、实时储氨量、温度和空速的影响较为明显。

[0004] 目前主流的DeNO<sub>x</sub>系统为双级DeNO<sub>x</sub>系统,前级尽量靠近发动机出口以更快达到高效反应温度。双级DeNO<sub>x</sub>系统有较多种技术路线,其中氧化催化器(DOC)+涂敷SCR催化剂的颗粒物捕集器(SDPF)+选择性催化还原器(SCR)+氨氧化催化器(ASC)的技术路线的布置空间和成本具有较为明显的优势,应用较广。但是,该技术线路的应用存在以下问题。由于氧化催化器不具备选择性,会将NH<sub>3</sub>直接氧化,因此SDPF通常仅涂覆SCR催化器,而SCR反应会优先消耗掉排气中的NO<sub>2</sub>,使得SDPF的被动再生能力严重变弱、主动再生间隔缩短,影响油耗和后处理系统的使用寿命。

[0005] 同时,传统SDPF+SCR的双级喷射系统尿素分配策略往往以上游SDPF为主,下游SCR作为上游SDPF反应能力不足时的补充,此时大量还原剂均在SDPF上进行反应,NO<sub>2</sub>几乎不会存在剩余,因此后处理系统均会出现再生间隔偏短的情况。并且,对双级尿素分配系统的传统分配策略在高温工况下由于尿素喷射量集中于温度更高的SDPF入口,使得喷射的尿素存在更大程度的氧化,还原剂能效比较差。

[0006] 可见,目前的主流SCR系统尿素喷射控制策略均采用了基于较为恒定的氨氮比(ANR)作为前馈控制,辅以下游NO<sub>x</sub>浓度或者催化剂载体储氨量反馈值等作为闭环控制的策略,基本都会将尿素喷射量控制在一个与上游NO<sub>x</sub>排放相对稳定的状态。但有关选择性催化转化系统性能研究的结果表明:恒定的喷射量不能在入口条件稳定的情况下同时最大化地发挥催化剂的性能和还原剂能效,只有使还原剂供给量随当前工况条件下动态参数的最佳变化曲线而变化,即采取一种周期性的还原剂供给策略时,才能保证催化剂的相关参数在可控的范围内始终维持在较高活性水平,从而实现更高的转化效率和能效比。单极DeNO<sub>x</sub>系

统采用周期性的还原剂供给策略时,受限于载体的实际储氨能力,载体达到较高的 $\text{NH}_3$ 存储水平或者 $\text{NO}_x$ 存储水平均需要一段较长的存储时间,相对短暂的 $\text{NO}_x$ 转化效率峰值窗口往往不能覆盖这段存储过程中导致的 $\text{NO}_x$ 转化效率下降,从而导致整体应用效果不佳。

## 发明内容

[0007] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种通过周期性储氨状态控制提升双级De $\text{NO}_x$ 系统反应能力的方法,在相同的后处理硬件性能条件下有效提高后处理系统的 $\text{NO}_x$ 转化效率和还原剂能效比。

[0008] 为实现上述技术效果,本发明采用如下所述技术方案:

[0009] 一种通过周期性储氨状态控制提升双级De $\text{NO}_x$ 系统反应能力的方法,具体包括以下步骤:

[0010] S1.对Cat1载体温度、Cat2载体温度、排气温度、排气质量流量持续监控并判断当前工况条件是否适合实施储氨周期性控制策略;

[0011] S2.当判断条件满足后系统进入储氨周期性控制状态,先判断Cat1载体的实际储氨量是否超过其储氨目标上限值,若实际储氨没有超过这一限值,则调整1#尿素喷嘴的尿素喷射量促使Cat1载体上的储氨水平快速提升;当实际储氨超过这一限值时,1#尿素喷嘴进入减喷状态;

[0012] S3.1#尿素喷嘴进入减喷状态的同时2#尿素喷嘴进入喷射状态,并对2#尿素喷嘴的喷射量进行控制;

[0013] S4.当Cat2载体的实际储氨量超过其储氨目标上限值时,2#尿素喷嘴进入减喷状态;

[0014] S5.监测到Cat2载体的实时De $\text{NO}_x$ 转化效率开始下降后,1#尿素喷嘴进入喷射状态并将其喷射量控制目标设定为:最大化Cat1载体的储氨速率的同时Cat1载体出口的 $\text{NH}_3$ 泄漏浓度控制在标定限值以内;该状态下1#尿素喷嘴 $\text{NH}_3$ 供给量的控制目标=通过原排 $\text{NO}_x$ 传感器计算得到的 $\text{NH}_3$ 理论反应消耗速率+Cat1载体的最大储氨速率+氨泄漏速率限值;

[0015] S6.当Cat1载体的实际储氨量超过储氨目标上限值时,重复步骤S2,将1#尿素喷嘴切换至减喷状态,开始新一轮的储氨周期性控制;

[0016] S7.在储氨周期性控制过程中,若温度和排气条件不再满足实施储氨周期性控制策略的条件,则退出储氨周期性控制模式。

[0017] 优选地,所述控制策略实施条件需要通过开展催化剂小样试验确定适宜的温度窗口和空速窗口。

[0018] 优选地,在步骤S2中,所述1#尿素喷嘴的减喷状态的具体喷射控制目标需要依据Cat2载体的实时反应能力进行确定,当Cat2载体的实时反应能力较弱时,1#尿素喷嘴的喷射量需要适当增加以控制进入Cat2载体的 $\text{NO}_x$ 水平处于其可转化的范围之内;当Cat2载体的实时反应能力足够时,1#尿素喷嘴的喷射量可设置为0。

[0019] 优选地,在步骤S3中,所述2#尿素喷嘴进入喷射状态后的喷射量需要通过Cat2载体的化学反应动力学模型和吸脱附速率模型进行计算:2#尿素喷嘴的 $\text{NH}_3$ 目标供给量=通过Cat2载体入口 $\text{NO}_x$ 传感器测量值计算得到的 $\text{NH}_3$ 理论反应消耗速率+通过Cat2载体的吸脱附速率模型计算得到当前状态下的最大储氨速率+ASC反应动力学模型计算得到的 $\text{NH}_3$ 氧化

反应速率最大值。

[0020] 与现有技术相比,本发明具有如下的有益效果:

[0021] 本发明提供了一种用于双级DeNO<sub>x</sub>系统的储氨周期性控制方法,该方法通过对前后级DeNO<sub>x</sub>催化剂载体的储氨水平进行周期性的满载和空载控制,可以在一个喷射控制周期内实现3次系统反应能力的大幅提升。通过使用该方法,相同硬件性能条件下的后处理系统可以实现更高的整体转化效率和还原剂能效比。并且该方法所提供的宽域ANR环境可以为NO<sub>x</sub>传感器信号诊断、催化剂性能诊断等功能的实现提供更佳的诊断基础条件,便于帮助后处理系统实现更为全面且精确的在线监测(简称OBM)功能。

## 附图说明

[0022] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0023] 图1为实施例2中所述的适用于匹配双级DeNO<sub>x</sub>系统的机动车后处理系统示意图;

[0024] 图2为实施例1中所述的通过周期性储氨状态控制提升双级DeNO<sub>x</sub>系统反应能力的方法实施流程图;

[0025] 图3为实施例1中所述储氨周期性控制过程中的系统状态变化示意图。

## 具体实施方式

[0026] 为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本申请实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。

[0027] 因此,以下对在附图中提供的本申请的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本申请的范围,而是仅仅表示本申请的选定实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0028] 在申请中涉及“第一”、“第二”等的描述仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示其相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。

[0029] 实施例1

[0030] 如图2所示,本实施例提供一种通过周期性储氨状态控制提升双级DeNO<sub>x</sub>系统反应能力的方法,所述方法包含如下步骤:

[0031] 1) 控制系统通过对Cat1载体温度、Cat2载体温度、排气温度、排气质量流量进行持续监测来判断储氨周期性控制策略的实施条件是否满足;在温度较低条件下,氨的吸脱附速率和SCR反应速率均较低,导致获得一次转化效率增益的周期变长,当整个周期的时间长到单次转化效率增益不足以弥补周期内的其他时段的转化效率降低时,选择在这样的工况条件下开展周期性储氨控制策略不能获得预期效果;同时,当温度过高时,载体的储氨能力非常有限,周期性储氨控制策略实施的意义不大,反而会增长系统的控制难度。控制策略实施条件需要通过开展催化剂小样试验确定适宜的温度窗口和空速窗口。

[0032] 当判断条件满足后进入储氨周期性控制状态,由于正常情况下进入该状态前的还

原剂供给策略一般都是基于目标储氨量进行闭环控制的,因此Cat1一般都会处于较高的氨存储水平,此时首先将Cat1的实际储氨量的计算值与储氨周期性控制状态下的目标上限值进行比较,一旦实际储氨超过这一限值,则1#尿素喷嘴进入减喷状态以获得一次短时间的反应能力提升,同时2#尿素喷嘴进入喷射状态以使得Cat2快速达到储氨目标上限值;1#尿素喷嘴进入减喷状态后,由于Cat1入口排气中 $\text{NO}_x/(\text{NH}_3+\text{NO}_x)$ 的比例很高,而Cat1载体活性位点大部分被 $\text{NH}_3$ 占据,导致这一条件下 $\text{NH}_3$ 分子和 $\text{NO}_x$ 分子在活性位点碰撞概率增加,进而使得Cat1获得一次短时间的反应能力提升。1#尿素喷嘴喷射量的减少可以快速清空Cat1上的储氨,这一状态的持续使得 $\text{NO}_x$ 可以在Cat1的载体持续存储。

[0033] 所述1#尿素喷嘴的减喷状态的具体喷射控制目标需要依据Cat2的实时反应能力进行确定,当Cat2的实时反应能力较弱时,1#尿素喷嘴的喷射量需要适当增加以控制进入Cat2的 $\text{NO}_x$ 水平处于其可转化的范围之内;当Cat2的实时反应能力足够时,1#尿素喷嘴的喷射量可设置为0。

[0034] 所述2#尿素喷嘴进入喷射状态后的喷射量需要通过Cat2的化学反应动力学模型和吸脱附速率模型进行计算:2#尿素喷嘴的 $\text{NH}_3$ 目标供给量=通过Cat2入口 $\text{NO}_x$ 传感器测量值计算得到的 $\text{NH}_3$ 理论反应消耗速率+通过Cat2的吸脱附速率模型计算得到当前状态下的最大储氨速率+ASC反应动力学模型计算得到的 $\text{NH}_3$ 氧化反应速率最大值,设定这一目标供给量的目的是快速将Cat2的储氨水平建立到目标值以保证系统整体的De $\text{NO}_x$ 效率始终处于较高水平的同时将氨泄漏控制在ASC的转化能力以内。

[0035] 2) 在Cat2的实际储氨量的计算值未超过储氨目标上限值之前,1#尿素喷嘴和2#尿素喷嘴维持当前的喷射控制状态,一旦监测到Cat2的实际储氨量的计算值超过储氨目标上限值,则2#尿素喷嘴进入减喷状态以获得一次短时间的反应能力提升,由于此时Cat1依旧处于减喷状态,短期的效率峰值过去后Cat2的实际转化效率会快速下降,在Cat2的实际转化效率开始下降之前1#尿素喷嘴就应该进入喷射状态。

[0036] 所述从2#尿素喷嘴进入减喷状态到1#尿素喷嘴开始喷射之间的时间间隔是直接整体转化效率提升程度的关键参数,如果这一时间间隔设置过短则Cat2入口的 $\text{NO}_x$ 相比于 $\text{NH}_3$ 的比例没有明显优势,将难以使2#尿素喷嘴获得效率提升;如果这一时间间隔设置过长则在1#尿素喷嘴没有喷射的状态下Cat2的转化效率下降将直接导致整体De $\text{NO}_x$ 效率下降;因此,从2#尿素喷嘴进入减喷状态到1#尿素喷嘴开始喷射之间的时间间隔存在一个最优值,该最优值可通过对入口 $\text{NO}_x$ 质量流量和Cat2的实时储氨量查最佳喷射间隔标定表得到。为避免最佳喷射间隔的标定偏差给系统带来排放风险,需要同时对Cat2载体的实时De $\text{NO}_x$ 效率进行监控,一旦监控到Cat2载体的实时De $\text{NO}_x$ 效率在一段较短的时间内出现明显的下降,则立刻打开1#尿素喷嘴供给还原剂。

[0037] 3) 1#尿素喷嘴打开后,Cat1将获得一次由于高 $\text{NO}_x$ 存储水平带来的短时间的反应能力提升。当监测到Cat1的储氨量达到目标值后,新一轮的周期性储氨控制开始。

[0038] 4) 在进入储氨周期性控制状态后,控制系统依旧会对Cat1载体温度、Cat2载体温度、排气温度、排气质量流量进行监控,一旦状态进入条件不被满足超过一定的时间,则会退出储氨周期性控制状态,进入正常的还原剂供给控制状态。

[0039] 储氨周期性控制过程中的系统状态变化如图3所示,储氨周期性控制在温度和排气条件合适的情况下进行。进入储氨周期性控制状态后,系统首先将确认Cat1的实际储氨

量是否已经达到该控制状态下的储氨目标上限值,如果达到上限值则1#尿素喷嘴进入减喷控制状态以获得一次转化效率的提升;1#尿素喷嘴减喷同时2#尿素喷嘴开始喷射,其喷射控制目标是让Cat2尽快达到储氨目标上限值,因此需要持续对该工况下Cat2的 $\text{NH}_3$ 最大吸附速率、Cat2入口 $\text{NO}_x$ 质量流量和实时储氨量进行计算。

[0040] 随着这一状态的持续,Cat1的储氨水平将持续下降,下降至一定程度后,由于没有足够的 $\text{NH}_3$ 与排气中的 $\text{NO}_x$ 发生反应因此 $\text{NO}_x$ 存储量开始上升。此时Cat2由于入口处存在持续的尿素喷射其 $\text{NO}_x$ 存储水平一直接近0。

[0041] 当Cat2的实际储氨量达到该控制状态下的储氨目标上限值时,2#尿素喷嘴进入减喷控制状态以获得一次转化效率的提升,此时1#尿素喷嘴依旧处于停喷状态,Cat2入口的 $\text{NO}_x$ 浓度很高,Cat2的实际储氨水平将快速降低。

[0042] Cat2的效率峰值产生后,一旦监测到Cat2的效率开始出现下降,则立刻打开1#尿素喷嘴,此时Cat1载体上已经吸附了大量的 $\text{NO}_x$ ,在这一瞬间吸附的活性 $\text{NO}_x$ 分子和1#尿素喷嘴喷射产生的 $\text{NH}_3$ 分子有着更高的碰撞概率,因此将会产生一次转化效率峰值。随着反应的发生,存储于Cat1上的 $\text{NO}_x$ 被快速反应掉,剩余的 $\text{NH}_3$ 开始在Cat1上存储,使得Cat1的储氨水平逐渐升高。当监测到Cat1的实际储氨量已经达到该控制状态下的储氨目标上限值后,开始新一轮的储氨周期性控制。

[0043] 实施例2

[0044] 如图1所示,本实施例提供一种适用于匹配双级De $\text{NO}_x$ 系统的机动车后处理系统,发动机的排气依次经过DOC、Cat1、Cat2后进入大气,其中DOC将排气中的CO、HC等还原性气体氧化,Cat1和Cat2通过SCR反应消耗掉排气中的 $\text{NO}_x$ 。当Cat1的载体温度超过尿素启喷临界温度后,1#尿素喷嘴开始喷射尿素,喷射的尿素在排气的加热作用下发生热解和水解反应,生成 $\text{NH}_3$ , $\text{NH}_3$ 在Cat1上的SCR催化剂作用下和 $\text{NO}_x$ 迅速发生反应,生成 $\text{N}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ,尿素喷射量如有不足则剩余的 $\text{NO}_x$ 将继续流往下游,尿素喷射量如有过量则剩余的 $\text{NH}_3$ 将流往下游;Cat2作为冗余的De $\text{NO}_x$ 系统承担剩余的 $\text{NO}_x$ 转化工作,2#尿素喷嘴为其供给所需的还原剂。整个后处理系统的还原剂供给系统使用质量浓度为32.5%的尿素水溶液作为还原剂。其中ECU和DCU可以为相互独立的硬件结构,也可以合并为一个完整的控制单元。ECU和DCU采集发动机转速、发动机喷油量、进气温度、进气压力、进气质量流量、EGR阀开度、冷却水温、DOC催化器上游温度传感器、Cat1入口温度传感器、Cat2入口温度传感器、SCR催化器下游温度传感器、DOC催化器上游 $\text{NO}_x$ 浓度传感器、Cat2入口 $\text{NO}_x$ 浓度传感器、Cat2出口 $\text{NO}_x$ 浓度传感器、尿素液位传感器等发出的信号,基于对Cat1和Cat2储氨水平的周期性控制目标,通过相应控制功能模块的计算完成对双级喷射系统的还原剂供给量的精确计算,实现双级De $\text{NO}_x$ 系统整体转化效率和还原剂能效比的提升目标。

[0045] 以上对本发明的具体实施例进行了描述,通过上述的说明内容,相关工作人员完全可以在不偏离本项发明技术思想的范围内,进行多样的变更以及修改。

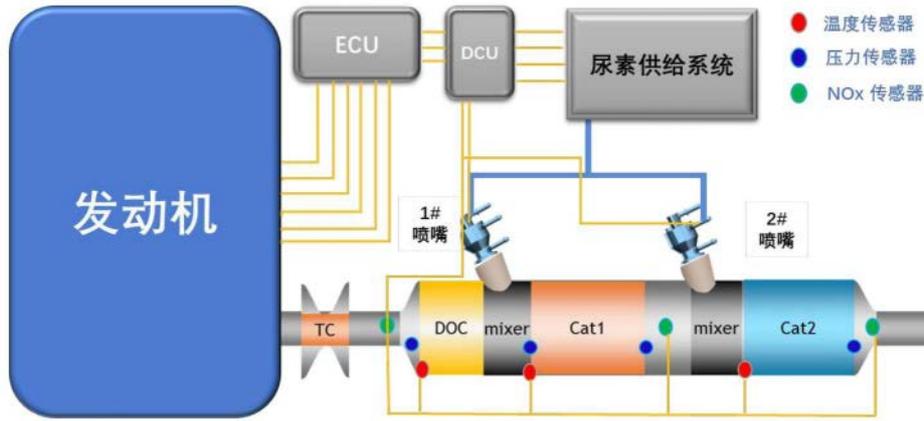


图1

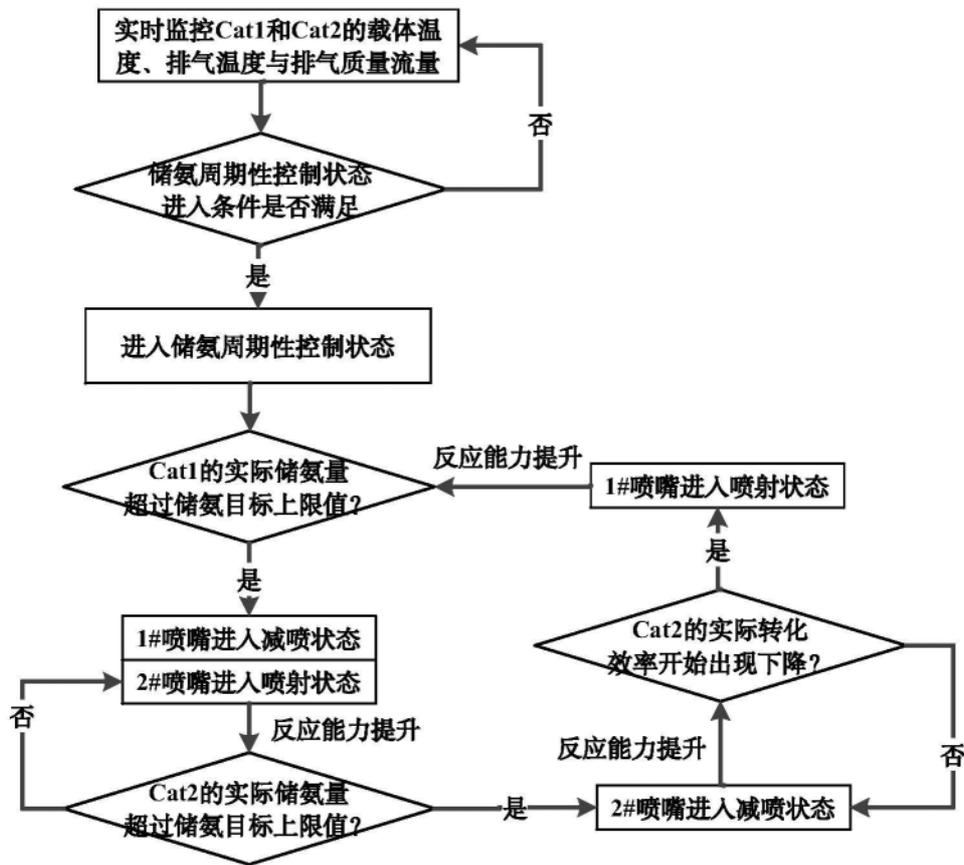


图2

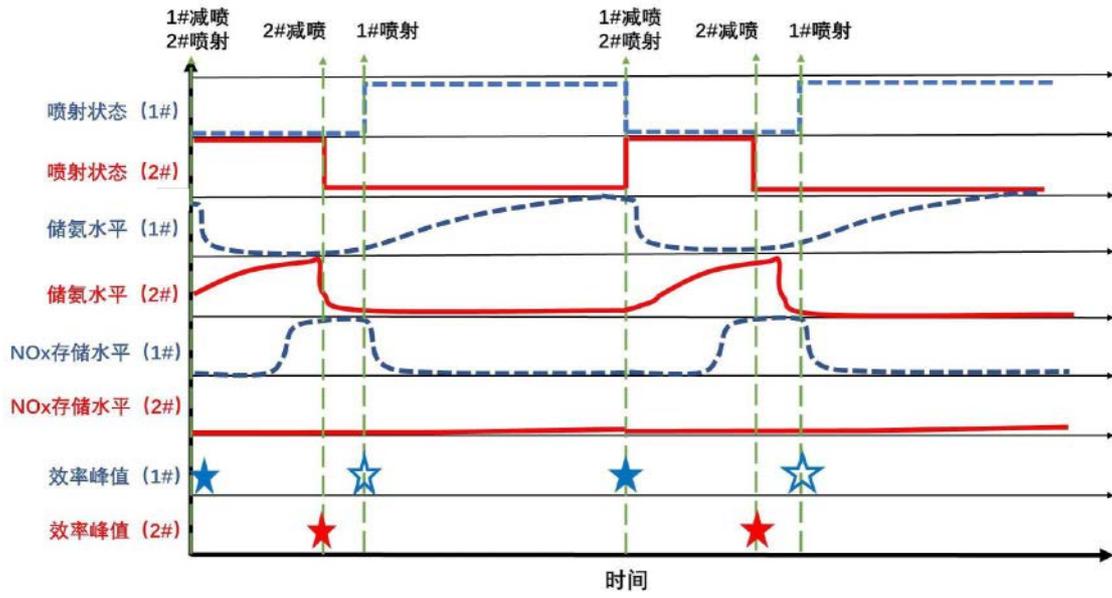


图3