



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108894902 A

(43)申请公布日 2018.11.27

(21)申请号 201810777668.5

(22)申请日 2018.07.16

(71)申请人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园北京  
100084-82信箱

(72)发明人 王志 范钦灏

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 王莹 吴欢燕

(51) Int. Cl.

F02N 11/08(2006.01)

F02N 19/00(2010.01)

F02D 41/40(2006.01)

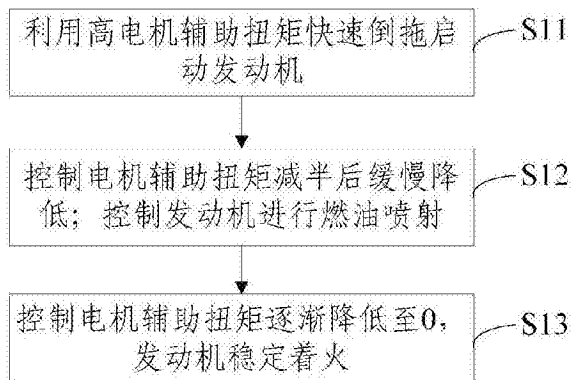
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

## (54)发明名称

一种混合动力专用发动机的起停控制方法

## (57)摘要

本发明提供一种混合动力专用发动机的起停控制方法,其中起动控制包括利用高电机辅助扭矩快速倒拖启动发动机;控制电机辅助扭矩减半后缓慢降低;控制发动机进行燃油喷射;控制电机辅助扭矩逐渐降低至0,发动机稳定着火。本发明通过优化电机扭矩辅助控制过程、合理利用先进喷油器多次喷射的能力改善了混合动力专用发动机瞬态工作特性,无需改变发动机硬件结构,成本低,方便应用。利用高电机辅助扭矩快速倒拖启动发动机,将发动机转速提升至远高于传统转速的目标转速,大幅度降低起动过程油耗,同时进一步缩短后处理系统的起燃时间。发动机快速起动过程时长小于10个发动机循环,大幅降低不完全燃烧循环数量从而降低未燃HC排放。



1. 一种混合动力专用发动机的起停控制方法,其特征在于,包括起动控制和停机控制,所述起动控制包括:

利用高电机辅助扭矩快速倒拖启动发动机;

控制电机辅助扭矩减半后缓慢降低;控制发动机进行燃油喷射;

控制电机辅助扭矩逐渐降低至0,发动机稳定着火。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述停机控制包括:

通过电机轻度反转发动机,并减少发动机燃油喷射次数;

停止发动机燃油喷射,利用电机扭矩、摩擦阻力和缸内气体阻力使发动机转速降低;

发动机气缸活塞在电机扭矩作用下逐渐调整位置至最优起动机角,断开离合器。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述利用高电机辅助扭矩快速倒拖启动发动机具体包括:

在0.5s内,利用电机提供的辅助扭矩将发动机转速提升至1500r/min-2300r/min。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述控制发动机进行燃油喷射具体包括:

控制发动机进行两次喷射,其中,第一次喷射位于压缩上止点前280°CA至压缩上止点230°CA内的进气行程;

第二次喷射位于压缩上止点前210°CA至压缩上止点前100°CA,横跨进气、压缩行程。

5. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述发动机采用进气行程两次喷射、压缩行程一次喷射的三次喷射方式。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述停机控制过程中,在两个发动机工作循环内,发动机的燃油喷射策略由三次喷射切换至单次喷射。

7. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述最优起动机角具体包括:

当活塞位于最优起动机角时,曲柄与连杆的相对位置近似呈直角。

8. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

高电池电量状态下,当发动机负荷需求变化率超过0.5bar/(r/min)时,发动机的燃油喷射策略由单次喷射切换为三次喷射。

9. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述发动机为直喷发动机。

## 一种混合动力专用发动机的起停控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及混合动力驱动系统的控制领域,更具体的,涉及一种混合动力专用发动机的起停控制方法。

### 背景技术

[0002] 混合动力电动汽车(Hybrid Electric Vehicle,HEV)驱动系统是由传统内燃机和电力驱动系统所组成的,它可以通过先进的车辆控制系统实现提高整车经济性能、降低排气污染的目的。由于其投资少、选择余地大、易于满足未来排放标准和节能目标,混合动力汽车正受到国内外汽车制造商的广泛重视。混合动力技术能够兼顾纯电动汽车与传统燃油车的优势,已经成为下一阶段新能源汽车的重要发展方向。

[0003] 最早将传统燃油车电气化程度提高的标志是将配备有BSG/ISG电机的48V系统应用于驱动系统,在怠速工况下该系统使发动机强制停机并在减速工况中使用制动能量回收提高车用发动机的燃油经济性。但频繁起停是混合动力系统的通病,由此引发的高瞬态排放是各大汽车生产企业与科研院所的关注热点,目前的主要应对措施包括:起动电机倒拖发动机至目标转速附近,在接近目标转速时开始喷油;起动工况单次加浓喷射以缩短后处理设备起燃时间等,以上方法均不能有效解决起停过程的瞬态排放问题。

[0004] 燃油喷射直接影响车用发动机特别是缸内直喷汽油机的燃烧与排放性能,随着车用发动机强化程度的不断提高,传统燃油车中早燃与超级爆震问题日益突出。通过利用多段喷射的燃油控制策略能够在一定程度降低早燃与超级爆震发生的频次,如在进气与压缩冲程中各进行一次燃油喷射形成分层而层内均匀的混合气或压缩行程两次喷射形成具有空间活性梯度的混合气。但传统燃油车限于喷油器的耐久性要求,量产机型通常只进行两次喷射。以上原因解释了当前燃油喷射策略在起动过程中常使用单次加浓喷射的原因。而目前混合动力汽车配备的发动机主要通过将传统车用发动机重新匹配与标定,不是真正意义上的混合动力专用发动机,从而进一步限制了燃油三次及以上高频次喷射的应用。

[0005] 现有的混合动力汽车起停技术受制于传统发动机的技术参数与技术局限,从长远看不能适应严格的油耗与排放法规。因此,本发明所涉及的起停及燃油喷射控制方法对混合动力专用发动机正向开发与性能优化具有重要意义。

### 发明内容

[0006] 本发明为解决传统混合动力发动机低负荷燃油雾化质量差、未燃 HC升高的缺陷,提供一种混合动力专用发动机的起停控制方法。

[0007] 本发明提供一种混合动力专用发动机的起停控制方法,包括起动控制和停机控制,所述起动控制包括:

[0008] 利用高电机辅助扭矩快速倒拖启动发动机;

[0009] 控制电机辅助扭矩减半后缓慢降低;控制发动机进行燃油喷射;

[0010] 控制电机辅助扭矩逐渐降低至0,发动机稳定着火。

- [0011] 优选的,所述停机控制包括:
- [0012] 通过电机轻度反转发动机,并减少发动机燃油喷射次数;
- [0013] 停止发动机燃油喷射,利用电机扭矩、摩擦阻力和缸内气体阻力使发动机转速降低;
- [0014] 发动机气缸活塞在电机扭矩作用下逐渐调整位置至最优起动机角,断开离合器。
- [0015] 优选的,所述利用高电机辅助扭矩快速倒拖启动发动机具体包括:
- [0016] 在0.5s内,利用电机提供的辅助扭矩将发动机转速提升至1500 r/min-2300r/min。
- [0017] 优选的,所述控制发动机进行燃油喷射具体包括:
- [0018] 控制发动机进行两次喷射,其中,第一次喷射位于压缩上止点前 280°CA至压缩上止点230°CA内的进气行程;
- [0019] 第二次喷射位于压缩上止点前210°CA至压缩上止点前100° CA,横跨进气、压缩行程。
- [0020] 优选的,所述发动机采用进气行程两次喷射、压缩行程一次喷射的三次喷射方式。
- [0021] 优选的,所述停机控制过程中,在两个发动机工作循环内,发动机的燃油喷射策略由三次喷射切换至单次喷射。
- [0022] 优选的,所述最优起动机角具体包括:
- [0023] 当活塞位于最优起动机角时,曲柄与连杆的相对位置近似呈直角。
- [0024] 优选的,所述方法还包括:
- [0025] 高电池电量状态下,当发动机负荷需求变化率超过0.5bar/(r/min) 时,发动机的燃油喷射策略由单次喷射切换为三次喷射。
- [0026] 优选的,所述发动机为直喷发动机。
- [0027] 本发明提供的混合动力专用发动机的起停控制方法,通过优化电机扭矩辅助控制过程、合理利用先进喷油器多次喷射的能力改善了混合动力专用发动机瞬态工作特性,主要优势包括:
- [0028] (1) 无需改变发动机硬件结构,成本低,方便应用。
- [0029] (2) 利用高电机辅助扭矩快速倒拖启动发动机,将发动机转速提升至远高于传统转速的目标转速,大幅度降低起动机过程油耗,同时进一步缩短后处理系统的起燃时间。发动机快速起动机过程时长小于 10个发动机循环,大幅降低不完全燃烧循环数量从而降低未燃HC 排放。

#### 附图说明

- [0030] 图1为根据本发明实施例提供的混合动力专用发动机的起动机控制的流程图;
- [0031] 图2为根据本发明实施例提供的混合动力专用发动机的起停控制系统的结构示意图;
- [0032] 图3为根据本发明实施例提供的起动机控制过程三个阶段特征示意图;
- [0033] 图4为根据本发明实施例提供的混合动力专用发动机的停机控制的流程图;
- [0034] 图5为根据本发明实施例提供的停机控制过程三个阶段特征示意图;
- [0035] 图6为根据本发明实施例提供的混合动力专用发动机在NEDC 标准循环测试中的

发动机转速、负荷及进气压力的变化；

[0036] 图7为根据本发明实施例提供的发动机起动与加速过程中燃油喷射控制示意图；

[0037] 图8为根据本发明实施例提供的发动机燃油喷射控制及其影响因素的综合示意图；

[0038] 图中,1.发动机控制;2.混合动力专用发动机;3.飞轮;4.离合器;5.电机;6.集成式变速器;7.电机控制器;8.整车控制器;9.喷油器。

### 具体实施方式

[0039] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚地描述,显然,所描述的实施例是本发明一模块实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0040] 混合动力电动汽车驱动系统是由传统内燃机和电力驱动系统所组成的,它可以通过先进的车辆控制系统实现提高整车经济性能、降低排气污染的目的。最早将传统燃油车电气化程度提高的标志是将配备有BSG/ISG电机的48V系统应用于驱动系统,在怠速工况下该系统使发动机强制停机并在减速工况中使用制动能量回收提高车用发动机的燃油经济性。但频繁起停是混合动力系统的通病,由此引发的高瞬态排放是各大汽车生产企业与科研院所的关注热点,目前的主要应对措施包括:起动电机倒拖发动机至目标转速附近,在接近目标转速时开始喷油;起工况单次加浓喷射以缩短后处理设备起燃时间等,以上方法均不能有效解决起停过程的瞬态排放问题。

[0041] 本发明实施例提供的混合动力专用发动机的起停控制方法,针对混合动力专用发动机起停过程的瞬态排放问题,优化了混合动力专用发动机的起动控制和停机控制。为描述简洁,以下将“混合动力专用发动机”简称为“发动机”。

[0042] 图1为根据本发明实施例提供的混合动力专用发动机的起动控制方法的流程图示意图。

[0043] 图2为根据本发明实施例提供的混合动力专用发动机的起停控制系统的结构示意图,如图2所示该系统包括发动机控制器1、电机控制器7、混合动力专用发动机2、飞轮3、离合器4、电机5、集成式变速器6以及整车控制器8。混合动力专用发动机2一端连接发动机控制器1,另一端依次连接飞轮3、离合器4、电机5和集成式变速器6。电机控制器7一端连接电机5,另一端连接整车控制器8的一端,整车控制器8的另一端与发动机控制器1相连接。混合动力专用发动机2内布置有若干喷油器9。其中发动机控制器1用于混合动力专用发动机2的起停过程中的燃油喷射控制。电机控制器6用于控制混合动力专用发动机2的起停过程中的电机辅助扭矩。本实施例应用的电机为ISG电机。当发动机转速低于其怠速转速时,ISG电机就会提供一定的辅助扭矩,辅助扭矩的大小与发动机转速有关,发动机转速越低,ISG电机提供的辅助扭矩越大,反之亦然。

[0044] 参照图1,本实施例将混合动力专用发动机的起动控制过程分为三个阶段。

[0045] S11,起动控制第一阶段,利用高电机辅助扭矩快速倒拖启动发动机。

[0046] 具体地,图3为根据本发明实施例提供的起动控制过程三个阶段特征示意图,参照图3,电机在短时间内利用高辅助扭矩作用下,在0.5s内,将发动机转速提升至1500r/min-

2300r/min。此阶段发动机不进行燃油喷射,利用高电机辅助扭矩快速倒拖启动发动机,将发动机转速提升至远高于传统转速的目标转速。而高转速为快速暖机、降低起动燃油喷射量提供外部环境。

[0047] S12,起动控制第二阶段,控制电机辅助扭矩减半后缓慢降低;控制发动机进行燃油喷射。

[0048] 具体地,参照图3,起动控制过程的第二阶段开始时,电机辅助扭矩下降到约为第一阶段中电机辅助扭矩的50%。在第二阶段末期,发动机控制器控制发动机进行燃油喷射。

[0049] S13,起动控制第三阶段,控制电机辅助扭矩逐渐降低至0,发动机稳定着火。

[0050] 如图3所示,起动控制过程的第二阶段,电机辅助扭矩逐渐趋向于0,发动机在不低于1500r/min条件下实现稳定着火,发动机缸内稳定燃烧,快速起动过程时长小于十个发动机工作循环,大幅降低不完全燃烧循环数量,从而降低未燃HC排放。

[0051] 本发明提供的混合动力专用发动机的起停控制方法,通过优化电机扭矩辅助控制过程、合理利用先进喷油器多次喷射的能力改善了混合动力专用发动机瞬态工作特性,无需改变发动机硬件结构,成本低,方便应用。在发动机起动控制过程中,利用高电机辅助扭矩快速倒拖启动发动机,将发动机转速提升至远高于传统转速的目标转速,大幅度降低起动过程油耗,同时进一步缩短后处理系统的起燃时间。发动机快速起动过程时长小于10个发动机循环,大幅降低不完全燃烧循环数量从而降低未燃HC排放。

[0052] 图4为根据本发明实施例提供的混合动力专用发动机的停机控制的流程示意图。图5为根据本发明实施例提供的停机控制过程三个阶段特征示意图,如图5所示,本实施例将混合动力专用发动机的停机控制过程分为三个阶段。

[0053] 发动机停机控制过程包括:

[0054] S41,停机控制第一阶段,通过电机轻度反转发动机,并减少发动机燃油喷射次数。

[0055] 具体地,如图5所示,停机控制过程第一阶段,在两个发动机工作循环内,发动机的燃油喷射策略由三次喷射切换至单次喷射,发动机负荷下降,电机由充电状态过渡至轻度反转发动机状态。专用发动机转速在惯性与缸内燃烧做功的作用下基本不变。

[0056] S42,停机控制第二阶段,停止发动机燃油喷射,利用电机扭矩、摩擦阻力和缸内气体阻力使发动机转速降低。

[0057] 参照图5,停机控制过程的第二阶段,发动机燃油喷射逐渐停止,少不必要的未燃HC排放。电机保持停机控制第一阶段的状态,发动机在电机扭矩、摩擦阻力和缸内气体阻力的共同作用下降速。

[0058] S43,停机控制第三阶段,发动机气缸活塞在电机扭矩作用下逐渐调整位置至最优起动机角,断开离合器。

[0059] 活塞在电机扭矩作用下逐渐调整位置至最优起动机角并静止,离合器断开。整个发动机停机控制过程时长小于15个发动机工作循环。其中,当活塞位于最优起动机角时,曲柄与连杆的相对位置近似呈直角。

[0060] 通过上述混合动力专用发动机的起停控制方法,使本实施例中的混合动力电动汽车在NEDC标准循环测试中未燃HC排放将明显降低,远低于传统燃油车,这主要是由于快速起动、高转速暖机与较晚喷油所带来的减排效果,同时以上三类措施能够缩短三效催化器

起燃时间,进一步降低发动机频繁起停过程中的瞬态排放。

[0061] 图6为根据本发明实施例提供的混合动力专用发动机在NEDC 标准循环测试中的发动机转速、负荷及进气压力的变化。从图6减油循环与减速循环之间的进气压力中能够看出,降扭时维持转速相对恒定直接降低了进气压力的波动,有利于专用发动机维持化学当量比运行,提高三效催化剂转化效率从而降低瞬态污染物排放。

[0062] 图7为根据本发明实施例提供的发动机起动与加速过程中燃油喷射控制示意图,由图7可知,所述步骤S12中,控制发动机进行燃油喷射具体包括:

[0063] 控制发动机进行两次喷射,其中,第一次喷射位于压缩上止点前  $280^{\circ}\text{CA}$ 至压缩上止点 $230^{\circ}\text{CA}$ 内的进气行程;

[0064] 第二次喷射位于压缩上止点前 $210^{\circ}\text{CA}$ 至压缩上止点前 $100^{\circ}\text{CA}$ ,横跨进气、压缩行程。其中,活塞在气缸里作往复直线运动时,当活塞向上运动到最高位置,即活塞顶部距离曲轴旋转中心最远的极限位置,称为上止点。

[0065] 图7示出了完整的发动机起动、加速过程中喷油次数的变化,进一步解释本发明实施例中燃油喷射控制对瞬态排放的作用。起动过程的两次喷射,分别位于压缩上止点前 $280^{\circ}\text{CA}$ 至压缩上止点 $230^{\circ}\text{CA}$ 内的进气行程与压缩上止点前 $210^{\circ}\text{CA}$ 至压缩上止点前 $100^{\circ}\text{CA}$ 横跨进气、压缩行程。可以发现,起动第二次喷射虽然持续期较短且仅仅存在于起动控制第二阶段末期(对应图中时刻约为 $0.45\text{s}$ )至快速起动成功期间(对应图中时刻约为 $0.61\text{s}$ ),但其加速油气混合与低温蒸发速率,直接降低了起动过程的未燃HC排放。加速过程中的三次喷射可以有效降低燃油撞壁量从而减少机油稀释,三次喷射的结束时刻较早,提供给燃油足够的蒸发及预混时间,降低颗粒物排放。

[0066] 在上述各实施例的基础上,所述发动机采用进气行程两次喷射、压缩行程一次喷射的三次喷射方式。

[0067] 具体地,无论当前电池SOC状态,混合动力专用发动机高、低负荷瞬态过程的负荷需求变化率超过 $0.5\text{bar}/(\text{r}/\text{min})$ 时均采用进气行程两次喷射、压缩行程一次喷射的三次喷射方式,解决小负荷燃油质量差、大负荷喷射贯穿距长而燃油湿壁的问题。

[0068] 图8为根据本发明实施例提供的发动机燃油喷射控制及其影响因素的综合示意图,从图8中能够看出对于瞬态过程的燃油喷射控制,其影响因素由大到小依次为负荷需求变化率(图中为 $0.5\text{bar}/(\text{r}/\text{min})$ )、当前电池SOC状态与需求扭矩。高电池电量状态下,当发动机负荷需求变化率超过 $0.5\text{bar}/(\text{r}/\text{min})$ 时,发动机的燃油喷射策略由单次喷射切换为三次喷射。

[0069] 如图8所示,当SOC不低于75%时,单次喷射覆盖到IMEP约为17bar的负荷范围,远高于稳态工况中二/三次喷射约11bar的负荷切换阈值,体现了对喷油器寿命与专用发动机性能的兼顾。值得注意的是,基于本专利提出的燃油喷射控制方法,在小负荷,负荷需求变化率超过 $0.5\text{bar}/(\text{r}/\text{min})$ 的阈值后进行三次喷射,这与起动过程两次喷射相似,能够优化强瞬态过程中的油气组织过程,降低不完全燃烧的污染物排放。在高、低负荷均存在三次喷射能够有效改善小负荷燃油质量差、大负荷喷射贯穿距长造成燃油湿壁进而诱发早燃或超级爆震等不正常燃烧问题。

[0070] 本发明提供的混合动力专用发动机的起停控制方法,通过优化电机扭矩辅助控制过程、合理利用先进喷油器多次喷射的能力改善了混合动力专用发动机瞬态工作特性,主

要优势包括：

[0071] (1) 无需改变发动机硬件结构,成本低,方便应用。

[0072] (2) 利用高电机辅助扭矩快速倒拖启动发动机,将发动机转速提升至远高于传统转速的目标转速,大幅度降低起动过程油耗,同时进一步缩短后处理系统的起燃时间。发动机快速起动过程时长小于10个发动机循环,大幅降低不完全燃烧循环数量从而降低未燃HC 排放。

[0073] (3) 发动机全负荷范围采用三次喷射方式,优化了发动机低负荷燃油雾化质量差未燃HC升高与高负荷因燃油湿壁严重诱发早燃- 超级爆震的现状,同时起动过程的两次喷射,有效改善了混合动力汽车频繁起停与高瞬态污染物排放的矛盾关系。

[0074] (4) 发动机停机控制过程中单次喷射的快速切换实现“先减油,再减速”的目标,减少进气压力波动,优化起停平顺性,维持专用发动机运行空燃比。而高电量状态下单次喷射的拓展使用平衡了关键零部件使用寿命与专用发动机性能的关系。

[0075] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明根据本发明实施例提供的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离根据本发明实施例提供的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,凡在根据本发明实施例提供的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在根据本发明实施例提供的保护范围之内。

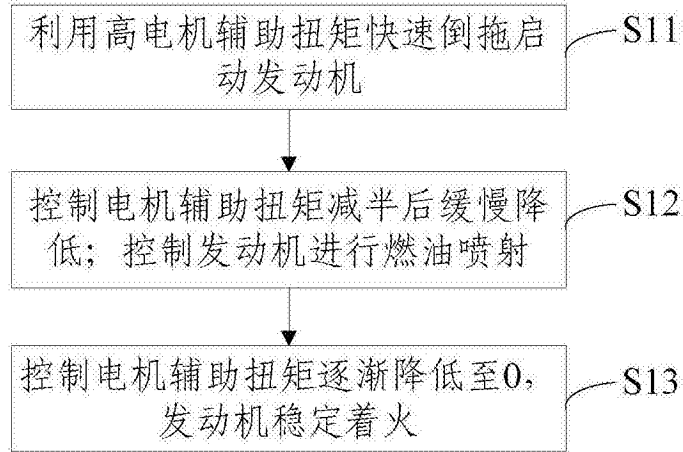


图1

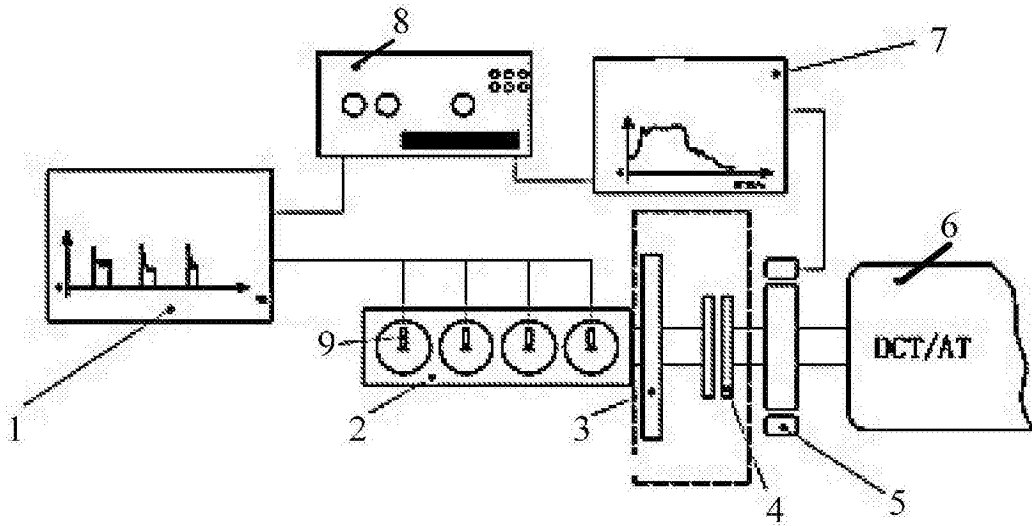


图2

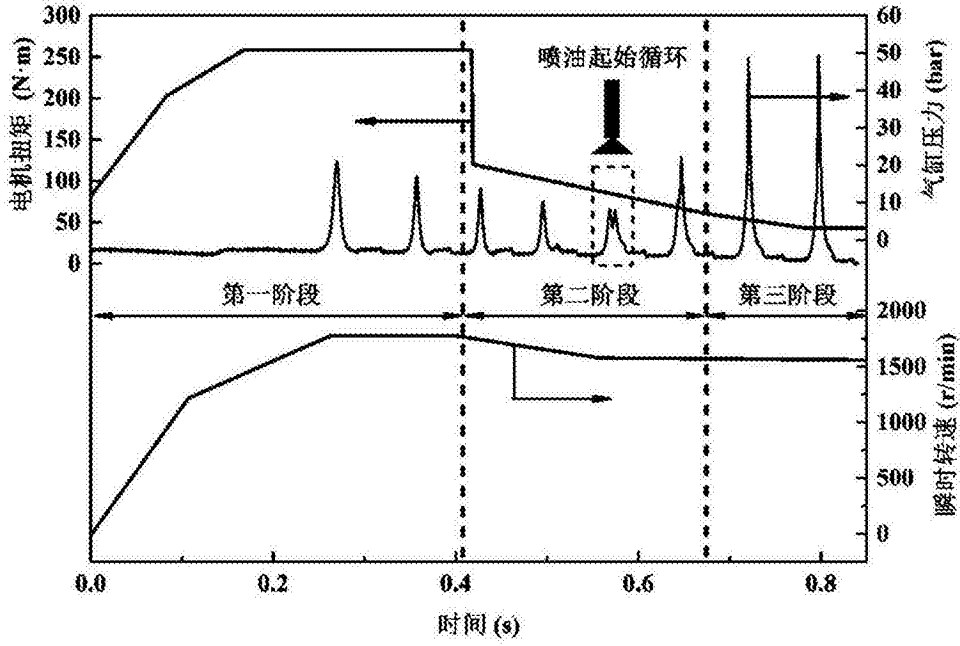


图3

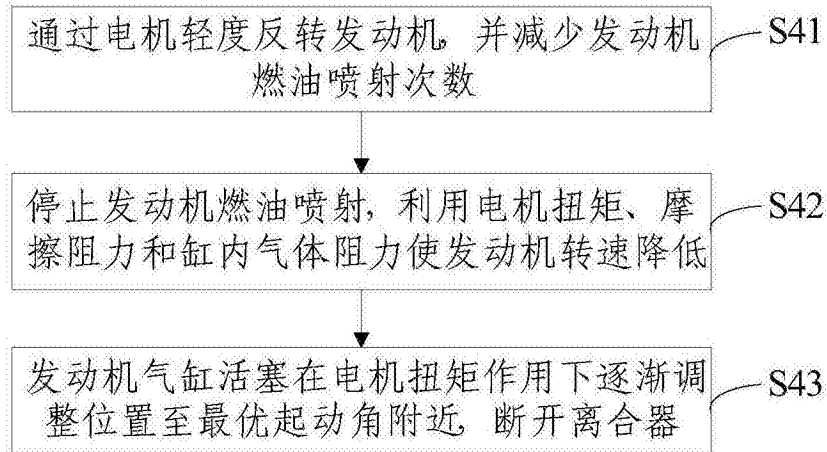


图4

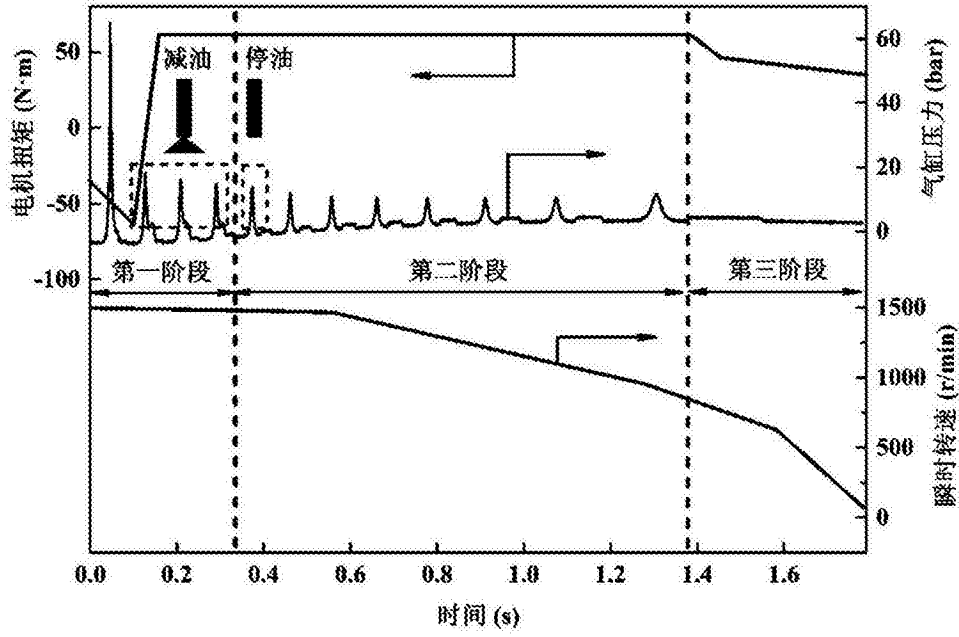


图5

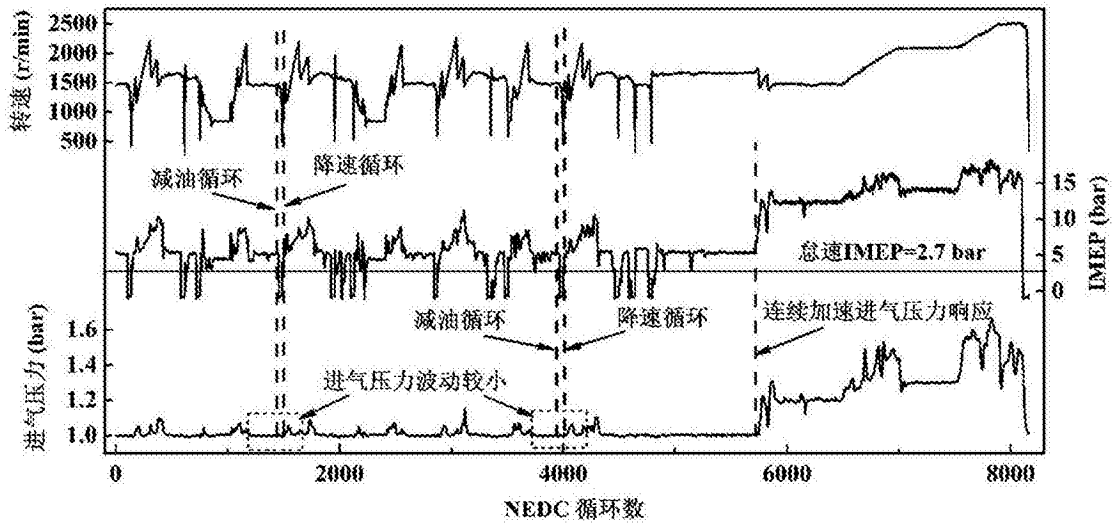


图6

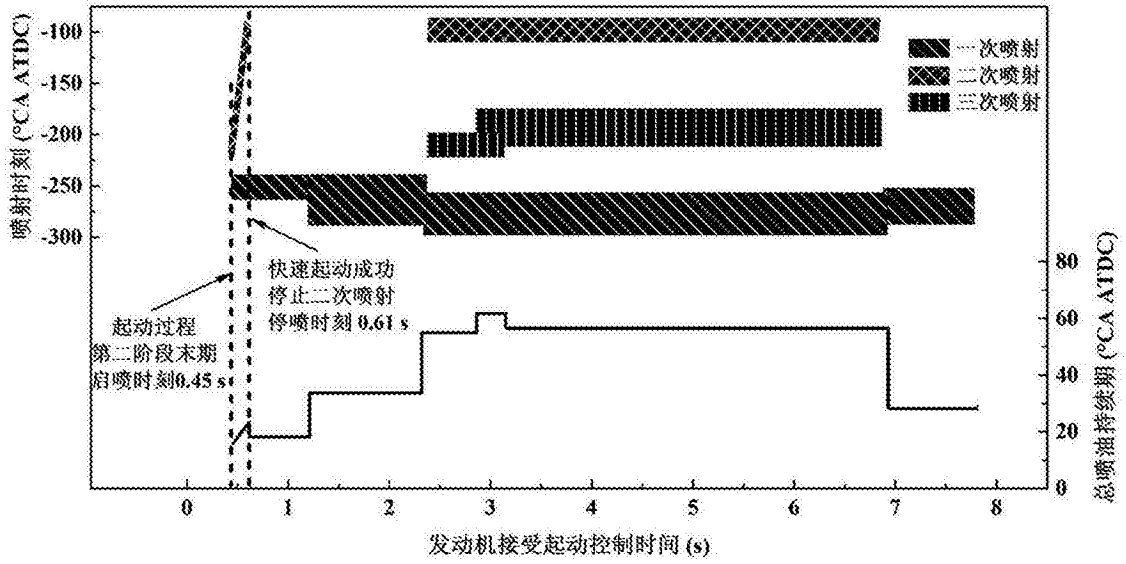


图7

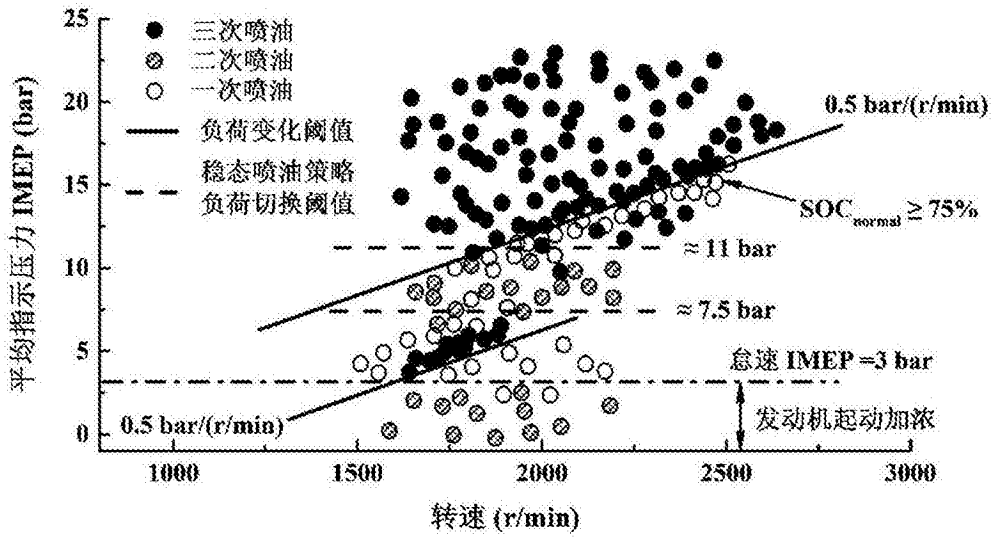


图8