



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102192033 A

(43) 申请公布日 2011. 09. 21

(21) 申请号 201110100426. 0

(22) 申请日 2011. 04. 19

(71) 申请人 潍柴动力股份有限公司

地址 261001 山东省潍坊市高新技术产业开
发区福寿东街 197 号甲

(72) 发明人 胡广地 孙少军 佟德辉

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 王茂华 李辉

(51) Int. Cl.

F02D 41/38 (2006. 01)

F02D 41/14 (2006. 01)

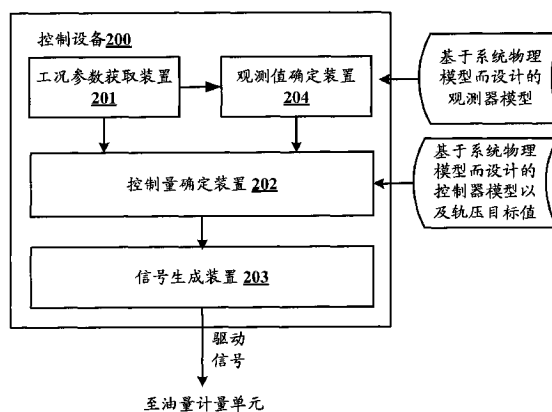
权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 3 页

(54) 发明名称

用于控制柴油发动机的高压共轨系统的设备
和方法

(57) 摘要

公开了一种用于控制柴油发动机的高压共轨系统的设备和方法。该设备包括：工况参数获取装置，配置用于获取与高压共轨系统相关的工况参数；控制量确定装置，与工况参数获取装置耦合，配置用于依据工况参数、高压共轨管腔内燃油压力的目标值和基于系统物理模型而设计的控制模型，来确定用于控制高压共轨系统的控制量，该控制量为流量计量单元电磁阀的等效横截面积；以及驱动信号确定装置，与控制量确定装置耦合，配置用于根据确定的控制量，来确定用于驱动流量计量单元的驱动信号。根据本发明的实施方式适用于系统在任何工况下的工作过程，可实现较为精确的喷射压力和快速响应，减少轨压与其目标值的偏差，减少标定工作量，并改善系统的功能。



1. 一种用于控制柴油发动机的高压共轨系统的设备,其特征在于,包括:

工况参数获取装置,配置用于获取与所述高压共轨系统相关的工况参数;

控制量确定装置,其与所述工况参数获取装置耦合,配置用于依据所述工况参数、高压共轨管腔内燃油压力的目标值和基于表征所述高压共轨系统的物理模型而设计的控制模型,来确定用于控制所述高压共轨系统的控制量,所述控制量为流量计量单元电磁阀的等效横截面积;以及

驱动信号确定装置,其与所述控制量确定装置耦合,配置用于根据确定的所述控制量,来确定用于驱动所述流量计量单元的驱动信号。

2. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,进一步包括:

观测值确定装置,其与所述工况参数获取装置和所述控制量确定装置耦合,配置用于依据所述工况参数以及基于所述物理模型而设计的观测器模型,来确定高压油泵柱塞腔内燃油压力的观测值,以供所述控制量确定装置来确定所述控制量。

3. 根据权利要求2所述的设备,其特征在于,所述观测器模型通过为所述物理模型中的柱塞泵腔内燃油压力表达式和高压共轨管腔内燃油压力表达式分别增加调整项,并选择使得调整后的所述两个表达式均稳定和收敛的调整因子来设计。

4. 根据权利要求2所述的设备,其特征在于,所述观测值确定装置进一步配置用于:

依据所述工况参数以及所述观测器模型,来确定高压共轨管腔内燃油压力的观测值,以供所述控制量确定装置来确定所述控制量。

5. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,所述工况参数包括:高压油泵柱塞冲程、高压油泵柱塞运动线速度、柱塞泵腔内燃油压力和高压共轨管腔内燃油压力。

6. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,所述物理模型通过以下各项来表征:

流量计量单元燃油流出流量表达式;

柱塞泵腔内燃油压力表达式;

柱塞泵腔燃油流出流量表达式;

高压共轨管腔内燃油压力表达式;以及

喷油器燃油喷出流量表达式。

7. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,所述控制模型包括前馈控制器,所述控制量包括前馈控制分量。

8. 根据权利要求7所述的设备,其特征在于,所述前馈控制分量 u_{FF} 表示为:

$$u_{FF} = -\frac{1}{b_3}(b_1 + b_2\delta)$$

其中 b_1 、 b_2 和 b_3 为控制系数,其基于获取的所述工况参数和与所述物理模型相关的常量参数而确定;以及 θ 为高压油泵柱塞运动线速度。

9. 根据权利要求7所述的设备,其特征在于,所述控制模型包括反馈控制器,所述控制量包括反馈控制分量。

10. 根据权利要求9所述的设备,其特征在于,所述反馈控制分量 u_{FB} 表示为:

$$u_{FB} = -\frac{1}{b_3}\left(k_p e + k_i \int e + k_d \dot{e}\right)$$

其中 e 为所述高压共轨管腔内燃油压力与其目标值之间的误差 ; b_3 为控制系数, 其基于获取的所述工况参数和所述物理模型的相关常量参数而确定 ; 以及 k_p , k_i 和 k_d 分别为针对比例控制、积分控制和微分控制的控制系数, 且 k_p , k_i 和 k_d 被选择为使高压共轨系统稳定。

11. 一种用于控制柴油发动机的高压共轨系统的方法, 其特征在于, 包括 :

获取与所述高压共轨系统相关的工况参数 ;

依据所述工况参数、高压共轨管腔内燃油压力的目标值和基于表征所述高压共轨系统的物理模型而设计的控制模型, 来确定用于控制所述高压共轨系统的控制量, 所述控制量为流量计量单元电磁阀的等效横截面积 ; 以及

根据确定的所述控制量, 来确定用于驱动所述流量计量单元的驱动信号。

12. 根据权利要求 11 所述的方法, 其特征在于, 进一步包括 :

依据所述工况参数以及基于所述物理模型而设计的观测器模型, 来确定高压油泵柱塞腔内燃油压力的观测值, 以用于确定所述控制量。

13. 根据权利要求 12 所述的方法, 其特征在于, 所述观测器模型通过为所述物理模型中的柱塞泵腔内燃油压力表达式和高压共轨管腔内燃油压力表达式分别增加调整项, 并选择使得调整后的所述两个表达式均稳定和收敛的调整因子来设计。

14. 根据权利要求 12 所述的方法, 其特征在于, 进一步包括 :

依据所述工况参数以及所述观测器模型, 来确定高压共轨管腔内燃油压力的观测值, 以用于确定所述控制量。

15. 根据权利要求 11 所述的方法, 其特征在于, 所述工况参数包括 : 高压油泵柱塞冲程、高压油泵柱塞运动线速度、柱塞泵腔内燃油压力和高压共轨管腔内燃油压力。

16. 根据权利要求 11 述的方法, 其特征在于, 所述物理模型通过以下各项来表征 :

流量计量单元燃油流出流量表达式 ;

柱塞泵腔内燃油压力表达式 ;

柱塞泵腔燃油流出流量表达式 ;

高压共轨管腔内燃油压力表达式 ; 以及

喷油器燃油喷出流量表达式。

17. 根据权利要求 11 所述的方法, 其特征在于, 所述控制模型包括前馈控制器, 所述控制量包括前馈控制分量。

18. 根据权利要求 17 所述的方法, 其特征在于, 所述前馈控制分量 u_{FF} 表示为 :

$$u_{FF} = -\frac{1}{b_3}(b_1 + b_2\theta)$$

其中 b_1 、 b_2 和 b_3 为控制系数, 且基于获取的所述工况参数和所述物理模型相关的常量参数而确定 ; 以及 θ 为高压油泵柱塞运动线速度。

19. 根据权利要求 17 所述的方法, 其特征在于, 所述控制模型包括反馈控制器, 所述控制量包括反馈控制分量。

20. 根据权利要求 19 所述的方法, 其特征在于, 所述反馈控制分量 u_{FB} 表示为 :

$$u_{FB} = -\frac{1}{b_3}\left(k_p e + k_i \int e + k_d \dot{e}\right)$$

其中 e 为所述高压共轨管腔内燃油压力的实际值与其目标值之间的误差 ; b_3 为控制系数, 且基于获取的所述工况参数和所述物理模型的相关常量参数而确定 ; 以及 k_p , k_i 和 k_d 分别为针对比例控制、积分控制和微分控制的控制系数, 且 k_p , k_i 和 k_d 被选择为使高压共轨系统稳定。

用于控制柴油发动机的高压共轨系统的设备和方法

技术领域

[0001] 本发明一般性地涉及柴油发动机的技术领域,更特别地涉及用于控制柴油发动机的高压共轨系统的设备和方法。

背景技术

[0002] 随着能源危机日趋严重,各种节能技术已经成为全世界内燃机行业所关注的焦点问题。也正是由于这个原因,柴油发动机越来越受到关注。与汽油机相比,柴油发动机有很多优势:废气排放降低,在车速较低时具有更有优势的加速性能,平均燃油消耗低,并且能提供更多的驾驶乐趣。然而,与汽油机相比,柴油发动机的排放控制又是一个难点。为满足排放标准,高压共轨技术已成为业内人士关注的热点。

[0003] 在现有柴油发动机的高压共轨燃油喷射系统(在下文中,简称为高压共轨系统)中,对共轨管腔内的燃油压力(即,轨压)控制采用的是PID类型的控制策略,这需要进行大量的标定工作。此外,基于现有的PID控制策略,在发动机的某些工况条件下,轨压的实际值与轨压的目标值之间会产生较大的偏差,这导致了燃油喷射系统中燃油实际喷射量与燃油目标喷射量之间出现较大的误差,因而直接影响了发动机的功率和各缸喷油的一致性。

[0004] 正是基于这个原因,开发先进的高压共轨系统的燃油压力控制策略对提高发动机性能和减少标定工作而言是至关重要的。为此,本领域存在对高压共轨系统的控制技术进行改进的需要

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明公开了一种用于控制柴油发动机的高压共轨系统的设备和方法,以克服或者至少部分消除现有技术中存在的至少一些缺陷。

[0006] 根据本发明的一个方面,提供了一种用于控制柴油发动机的高压共轨系统的设备。该设备可以包括工况参数获取装置,配置用于获取与高压共轨系统相关的工况参数;控制量确定装置,其与所述工况参数获取装置耦合,配置用于依据所述工况参数、高压共轨管腔内燃油压力的目标值和基于表征该高压共轨系统的物理模型而设计的控制模型,来确定用于控制所述高压共轨系统的控制量,所述控制量为流量计量单元电磁阀的等效横截面积;以及驱动信号确定装置,其与所述控制量确定装置耦合,配置用于根据确定的控制量,来确定用于驱动所述流量计量单元的驱动信号。

[0007] 在根据本发明的一个优选实施方式中,该设备可以进一步包括:观测值确定装置,其与所述工况参数获取装置和所述控制量确定装置耦合,配置用于依据所述工况参数以及基于所述物理模型而设计的观测器模型,来确定高压油泵柱塞腔内燃油压力的观测值,以供所述控制量确定装置来确定所述控制量。

[0008] 在根据本发明的又一优选实施方式中,观测器模型可以通过为物理模型中的柱塞泵腔内燃油压力表达式和高压共轨管腔内燃油压力表达式分别增加调整项,并选择使得调

整后的两个表达式均稳定和收敛的调整因子来设计。

[0009] 在根据本发明的再一优选实施方式中,观测值确定装置可以进一步配置用于:依据工况参数以及观测器模型,来确定高压共轨管腔内燃油压力的观测值,以供控制量确定装置来确定控制量。

[0010] 在根据本发明的另一优选实施方式中,工况参数可以包括:高压油泵柱塞冲程、高压油泵柱塞运动线速度、柱塞泵腔内燃油压力和高压共轨管腔内燃油压力。

[0011] 在根据本发明的又一优选实施方式中,物理模型可以通过以下各项来表征:流量计量单元燃油流出流量表达式;柱塞泵腔内燃油压力表达式;柱塞泵腔燃油流出流量表达式;高压共轨管腔内燃油压力表达式;以及喷油器燃油喷出流量表达式。

[0012] 在根据本发明的再一优选实施方式中,控制模型可以包括前馈控制器,所述控制量可以包括前馈控制分量。

[0013] 在根据本发明的另一优选实施方式中,所述前馈控制分量 u_{FF} 可以表示为:

$$u_{FF} = -\frac{1}{b_3}(b_1 + b_2\theta)$$
 其中 b_1 、 b_2 和 b_3 为控制系数,且基于获取的所述工况参数和所述物理模型相关的常量参数而确定;以及 θ 为高压油泵柱塞运动线速度。

[0014] 在根据本发明的又一优选实施方式中,所述控制模型可以包括反馈控制器,所述控制量可以包括反馈控制分量。

[0015] 在根据本发明的再一优选实施方式中,所述反馈控制分量 u_{FB} 可以表示为:

$$u_{FB} = -\frac{1}{b_3}\left(k_p e + k_i \int e + k_d \dot{e}\right)$$
 其中 e 为所述高压共轨管腔内燃油压力与其目标值之间的误差; b_3 为控制系数,且基于获取的所述工况参数和所述物理模型的相关常量参数而确定;以及 k_p 、 k_i 和 k_d 分别为针对比例控制、积分控制和微分控制的控制系数,且 k_p 、 k_i 和 k_d 被选择为使高压共轨系统稳定。

[0016] 根据本发明的另一方面,还提供了一种用于控制柴油发动机的高压共轨系统的方法。该方法可以包括:获取与高压共轨系统相关的工况参数;依据工况参数、高压共轨管腔内燃油压力的目标值和基于表征高压共轨系统的物理模型而设计的控制模型,来确定用于控制高压共轨系统的控制量,该控制量为流量计量单元电磁阀的等效横截面积;以及根据确定的控制量,来确定用于驱动所述流量计量单元的驱动信号。

[0017] 根据本发明的实施方式,特别是各个优选实施方式,对高压共轨系统的控制是基于表征柴油发动机的高压共轨系统的物理模型而进行的。由于柴油发动机的高压共轨系统的物理模型适用于该系统在任何工况下的工作过程,所以本发明基于物理模型的技术方案可以达到较为精确的喷射压力并实现快速的系统响应,进而可以减小轨压的实际值同其目标压力之间的偏差,并且在优选的实施方式中可以使其最小。此外,基于高压共轨燃油系统的物理模型所设计的控制模型均可以定量化,因而大大减少了针对控制模型的标定工作量,改善了发动机高压共轨燃油喷射系统的效率和功能性。

附图说明

[0018] 通过对结合附图所示出的实施方式进行详细说明,本发明的上述以及其他特征将更加明显,本发明附图中相同的标号表示相同或相似的部件。在附图中:

[0019] 图1示意性地示出了柴油发动机的高压共轨系统的结构示意图。

[0020] 图 2 示意性地示出了根据本发明的一个实施方式的用于控制柴油发动机的高压共轨系统的设备的方框图。

[0021] 图 3 示意性地示出了根据本发明的柴油发动机的高压共轨系统的闭环反馈控制的示意性方框图。

[0022] 图 4 示意性地示出了根据本发明的一个实施方式的用于控制柴油发动机的高压共轨系统的方法的流程图。

具体实施方式

[0023] 在下文中,将参考附图通过实施方式对本发明提供的用于控制高压共轨系统的设备和方法进行详细的描述。应当理解,给出这些实施方式仅仅是为了使本领域技术人员能够更好地理解进而实现本发明,而并非以任何方式限制本发明的范围。

[0024] 另外,在本文中,所使用的术语“工况参数”表示任何能够指示发动机的(目标或实际)物理状态或运行状况的物理量的值。而且,在本文中,“参数”与其所表示的物理量可以互换使用。例如,“指示凸轮轴转速的参数”与“凸轮轴转速”在本文中具有等同的含义。而且,在本文中,假设 P 表示某个特定的物理量,则 $\dot{P}$ 表示 P 对时间的导数,即 P 随时间的变化率; $\hat{P}$ 表示该物理量 P 的观测值,即,经过滤波的测量值(测量值包含噪音); $P = P(x)$ 表示参数 P 是 x 的多项式,即 P 是 x 的函数, $P = P(x_1, x_2)$ 表示参数 P 是 x_1 和 x_2 的多项式。

[0025] 此外,在本文中,所使用的术语“获取”包括目前已知或将来开发的各种手段,例如采集、测量、读取、估计、估算、观测等等;所使用的术语“测量”包括目前已知或将来开发的各种手段,例如直接测量、读取、计算、估算等等手段。

[0026] 接下来,将首先参考图 1 来描述柴油发动机的高压共轨系统的结构示意图。应当理解,图 1 中仅示出柴油发动机的高压共轨系统中与本发明有关的部分,事实上该高压共轨系统 100 还可以包括任意数目的其他部件。

[0027] 如图 1 所示,高压共轨系统 100 包括:燃油箱 101、燃油滤清器 102、低压油泵 103、单向阀 114、流量计量单元 116、单向阀 105、高压油泵 113、单向阀 107、高压共轨管腔 117、喷油器驱动电磁阀 110、喷油器 111 和电控单元 (ECU) 118。在燃油箱 101 中容纳着即将通过该高压共轨系统 100 被提供至喷油器 111 的液体燃油。燃油通过燃油滤清器 102 而被过滤,从而滤除其中的杂质。经过过滤后的燃油经由低压油泵 103 进行初步加压,以将原本处于大气压下的燃油预加压至大约 8 至 9 个大气压。燃油流量计量单元 116,例如流量计量阀,其可以采用电磁阀的形式,其被配置为响应于来自 ECU 的驱动信号 104,通过改变电磁阀的等效横截面积来控制经其流入高压油泵 113 的燃油喷油泵腔(也称为柱塞泵腔)106 内的燃油流量。在从流量计量单元 116 流出的燃油的压力比柱塞泵腔 106 内的压力大的情况下,燃油克服单向阀 105 的弹簧部件所提供的预紧力而使单向阀 105 打开,从而燃油流进高压油泵 113 的柱塞泵腔 106 中,而在从流量计量单元 116 流出的燃油的压力比柱塞泵腔 106 内的压力小的情况下,单向阀 105 关闭,从而阻止燃油流入柱塞泵腔 106。因而,实际上该单向阀 105 提供了从流量计量单元 116 到柱塞泵腔 106 的单向燃油通路。

[0028] 如图 1 所示,该高压油泵 113 包括高压油泵柱塞 115 和柱塞泵腔 106,在该喷油泵的凸轮轴的带动下,高压油泵柱塞 115 在柱塞泵腔 106 内做往复运动。一方面,当高压油泵柱塞 115 向下运动时,柱塞泵腔 106 内压力逐渐减小并形成真空,由此使得流出流量计量单

元 116 的燃油的压力大于柱塞泵腔 106 内的压力,进而使得单向阀 105 打开,燃油进入该柱塞泵腔 106 内。另一方面,当高压油泵柱塞 115 向上运动时,柱塞泵腔 106 内的燃油受压形成高压燃油,此时单向阀 105 关闭,且在燃油压力大于高压共轨管腔 117 内的燃油压力时,使得单向阀 107 打开,从而燃油进入高压共轨管腔 117。因此,与前述的单向阀 105 类似,单向阀 107 提供了高压燃油从柱塞泵腔 106 进入高压共轨管腔 117 的单向通路。

[0029] 高压共轨管腔 117 起到蓄压器的作用,用于储存高压燃油。一般而言,高压燃油的压力通常可以达到 120Mpa 至 200Mpa。然而,需要说明的是,针对不同的高压共轨系统,该压力可以略有不同。

[0030] 喷油器 111 是高压共轨系统中的关键部件,其作用是根据来自 ECU 的驱动信号 108,通过控制喷油器驱动电磁阀 110 的打开和关闭,来将高压共轨管腔 117 中的高压燃油以最佳的喷油定时、喷油量和喷油率而喷入柴油发动机的各个气缸中。

[0031] 此外,在高压共轨管腔上,通常安装有压力传感器,其向 ECU 118 提供高压油轨的轨压信号 109,即高压公共管腔内燃油压力的测量值。ECU 118 是该高压共轨系统的核心,配置用于基于该燃油系统的各种工况参数(例如,轨压信号 109 等)来提供各种控制信号(或驱动信号),例如驱动流量计量单元(控制其开度)的驱动信号 104,驱动喷油器电磁阀 110(控制其开闭)的驱动信号 108 等。

[0032] 此外,在如图 1 所示的系统中,经过低压油泵 103 预加压的多余燃油会经过单向阀 114 而回流至燃油箱 101,并且喷油器中的多余燃油会经过喷油器低压回路 112 回流至燃油箱。

[0033] 从图 1 及上面对高压共轨系统的描述可见,高压共轨系统 100 包括大量部件,其工况非常复杂,因此想要通过控制油量计量单元来精确地控制高压共轨管腔 117 中的轨压是非常困难的。

[0034] 因此,为了解决这一技术问题,本发明人设计了一种用于控制高压共轨系统以便得到期望的轨压的技术方案。本发明人将高压共轨系统的模型的知识应用于系统控制,基于对油量计量阀、高压油泵、高压共轨管腔、喷油器的相关模型知识的运用来实现现有技术中无法实现的有效控制。在下文中,将参考特定的实施方式对本发明所提供的技术方案进行详细的描述,以使得本领域技术人员根据此处的公开,能够容易地理解和实现本发明。

[0035] 首先,将参考图 2 来描述本发明所提供的用于控制柴油发动机的高压共轨系统的设备。该图 2 示意性地示出了根据本发明的一个实施方式的用于控制高压共轨系统的设备的示例方框图。本领域技术人员可以理解,该设备 200 可以具体实施为例如图 1 所示的电控单元 118,然而,本发明并不局限于此也可以作为一个独立的控制设备来实现。

[0036] 如图 2 所示,控制设备 200 可以包括工况参数获取装置 201、控制量确定装置 202、信号生成装置 203,并且优选地还包括观测值确定装置 204。该工况参数获取装置 201 与控制量确定装置 202 耦合,配置用于获取与该高压共轨系统相关的工况参数,以便提供给该控制量确定装置 202。该控制量确定装置 202 耦合至信号生成装置,其基于来自所述工况参数获取装置 201 的工况参数、高压共轨管腔内燃油压力(即轨压)的目标值以及基于高压共轨系统的物理模型而设计的控制模型确定控制量。

[0037] 在下文中,将首先结合实例来描述一种示例实施方式以说明该高压共轨系统的物理模型的建立。需要说明的是,在根据本发明的实施方式中,可以采用任何适当的方式来建

立表征该高压共轨系统的物理模型,而并不仅限于此处给出的示例性实施方式。

[0038] 在该示例性实施方式中,高压共轨系统的物理模型可以通过以下各项来表征:流量计量单元燃油流出流量表达式;柱塞泵腔内燃油压力表达式;柱塞泵腔燃油流出流量表达式;高压共轨管腔内燃油压力表达式;以及喷油器燃油喷出流量表达式。接着将详细给出这些表达式,然而需要说明的是,这只是出于示例的目的,本发明并不局限于此。

[0039] 高压共轨系统的物理模型

[0040] 为了考虑高压共轨燃油系统主要的机械、液压和控制部件之间的物理关系,同时又能够利用给出的物理模型设计基于模型的轨压控制模型,首先进行如下假设:

- [0041] • 忽略高压共轨系统燃油泄漏;
- [0042] • 流量计量单元利用比例电磁阀驱动;
- [0043] • 忽略温度和燃油压力变化对燃油密度的影响;
- [0044] • 燃油流量系数不随温度和压力变化而改变;
- [0045] • 燃油的弹性模量不随温度而变化。

[0046] 在上述假设下,可以得到如下的一些关系表达式。

[0047] 1. 流量计量单元燃油流出流量表达式

[0048] 针对流量计量单元,例如可以得到如下的燃油流出流量表达式:

$$[0049] \quad Q_u = C_u u \sqrt{\frac{2(P_u - P_p)}{\rho}} \quad (\text{式 1})$$

[0050] 其中:

[0051] Q_u :流入柱塞泵腔(即流出流量计量单元)的燃油流量;

[0052] C_u :流量计量单元的流量系数(常量);

[0053] u :流量计量单元的流量计量阀等效横截面面积,为系统的控制量;

[0054] ρ :燃油密度(常量);

[0055] P_u :低压油泵供油压力(常量);以及

[0056] P_p :柱塞泵腔内燃油压力。

[0057] 2. 柱塞泵腔内燃油压力表达式

[0058] 针对高压油泵,例如可以得到关于柱塞泵腔内燃油压力的如下表达式:

$$[0059] \quad \dot{P}_p = \frac{\beta_p}{V_p} (Q_u - Q_r + A_p \theta) \quad (\text{式 2})$$

[0060] 其中:

[0061] P_p :柱塞泵腔内燃油压力;

[0062] β_p :柱塞泵腔燃油弹性模量, $\beta_p = \beta_p(P_p)$ 。其中, $\beta_p(P_p)$ 已知是 P_p 的多项式,即 β_p 与 P_p 相关,是其函数;

[0063] V_p :柱塞泵腔体积。 $V_p = V_{\max} - A_p h(\theta)$, 其中 A_p 为柱塞泵腔横截面积, $h(\theta)$ 为柱塞升程, θ 为凸轮轴转角;

[0064] Q_u :流入柱塞泵腔的燃油流量;

[0065] Q_r :柱塞泵腔流入高压共轨腔的流量;

[0066] A_p :如前所述为柱塞泵腔横截面积(常量);以及

[0067] θ : 为柱塞运动线速度, 为柴油机转速的函数, 其中 $\theta = \omega_c \frac{dh(\theta)}{d\theta}$, ω_c 为油泵凸轮轴转速。

[0068] 3. 柱塞泵腔燃油流出流量表达式

[0069] 针对高压油泵, 例如可以得到针对柱塞泵腔燃油流出流量的如下表达式:

$$[0070] \quad Q_r = C_r A_r \sqrt{\frac{2(P_p - P_r)}{\rho}} \quad (\text{式 3})$$

[0071] 其中:

[0072] Q_r : 柱塞泵腔流入高压共轨管腔的流量;

[0073] C_r : 柱塞泵腔到高压共轨管腔单向阀的流量系数 (常量);

[0074] A_r : 柱塞泵腔到高压共轨管腔单向阀的等效横截面面积 (常量);

[0075] P_p : 柱塞泵腔内燃油压力;

[0076] P_r : 高压共轨管腔内燃油压力; 以及

[0077] ρ : 燃油密度 (常量)。

[0078] 4. 高压共轨管腔内燃油压力表达式

[0079] 针对高压共轨管腔, 例如可以确定如下表达式:

$$[0080] \quad \dot{P}_r = \frac{\beta_r}{V_r} (Q_r - Q_{inj}) \quad (\text{式 4})$$

[0081] 其中:

[0082] P_r : 高压共轨管腔内燃油压力;

[0083] β_r : 高压共轨管腔内燃油弹性模量, $\beta_r = \beta_r(P_r)$, 其中 $\beta_r(P_r)$ 为 P_r 的多项式, 即是 P_r 的函数;

[0084] V_r : 高压共轨管腔体积 (常量);

[0085] Q_r : 柱塞泵腔流入高压共轨腔的流量; 以及

[0086] Q_{inj} : 喷油器喷射到气缸的流量。

[0087] 5. 喷油器燃油喷出流量表达式

[0088] 针对高压共轨管腔, 例如可以确定如下表达式:

$$[0089] \quad Q_{inj} = C_{inj} A_{inj} \sqrt{\frac{2(P_r - P_{cyl})}{\rho}} \quad (\text{式 5})$$

[0090] 其中:

[0091] Q_{inj} : 喷油器喷射到气缸的流量;

[0092] C_{inj} : 喷油器流量系数 (常量);

[0093] A_{inj} : 喷油器等效横截面面积 (常量);

[0094] P_r : 高压共轨管腔内的燃油压力;

[0095] P_{cyl} : 气缸内压缩空气压力 (常量); 以及

[0096] ρ : 燃油密度 (常量)。

[0097] 基于上文中给出的高压共轨系统的物理模型, 可以设计用于该系统的控制模型,

下面将参考实施方式来描述基于系统物理模型的控制模型设计。然而需要说明的是,这些实施方式只是出于说明的目的而给出的,本发明并不局限于此。相反,在本发明的教导下,本领域技术人员可以对其做出各种修改和变型。

[0098] 控制模型设计

[0099] 控制模型设计的目的是为了在发动机的各种运行工况下,通过对高压油轨中的燃油压力实现闭环控制,使轨压实际测量值接近轨压目标值。下面,给出了基于高压共轨系统的物理模型来设计控制模型的一种示例性实施方式。

[0100] 首先,可以用 $P_{r,des}$ 来表示高压共轨管腔的轨压目标值,以 P_r 来表示轨压的实际测量值。于是,轨压实际测量值 P_r 与目标值 $P_{r,des}$ 之间的误差可以表示为:

$$[0101] \quad e = P_r - P_{r,des} \quad (\text{式 } 6)$$

[0102] 将目标值 $P_{r,des}$ 移动至误差 e 的一端,于是可以得到:

$$[0103] \quad P_r = e + P_{r,des} \quad (\text{式 } 7)$$

[0104] 对式 7 的两端求时间倒数,则可以到

$$[0105] \quad \dot{e} = \dot{P}_r \quad (\text{式 } 8)$$

$$[0106] \quad \ddot{e} = \ddot{P}_r \quad (\text{式 } 9)$$

[0107] 而对前述的式 4 的左右两端求时间导数,则可以得到下式:

$$[0108] \quad \ddot{P}_r = \frac{\dot{\beta}_r}{V_r} (Q_r - Q_{inj}) + \frac{\beta_r}{V_r} (\dot{Q}_r - \dot{Q}_{inj}) \quad (\text{式 } 10)$$

[0109] 通过对前述柱塞泵腔燃油流出流量表达式(即式 3)两端求时间导数,则可以得到

$$[0110] \quad \dot{Q}_r = C_r A_r \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(P_p - P_r)}} (\dot{P}_p - \dot{P}_r) = C_r A_r \sqrt{\frac{1}{2\rho(P_p - P_r)}} \cdot (\dot{P}_p - \dot{P}_r)$$

[0111] (式 11)

[0112] 类似地,通过对前述喷油器燃油喷出流量表达式(即式 5)两端求时间导数,则可以

$$[0113] \quad \dot{Q}_{inj} = C_{inj} A_{inj} \frac{1}{\sqrt{2\rho(P_r - P_{cyl})}} \dot{P}_r \quad (\text{式 } 12)$$

[0114] 将得到的式 11 和 12 代入上面的式 10,则可以将式 10 进一步简化成为:

$$[0115] \quad \ddot{P}_r = \frac{\dot{\beta}_r}{V_r} (Q_r - Q_{inj}) + \frac{\beta_r}{V_r} C_r A_r \cdot \frac{1}{\sqrt{2\rho(P_p - P_r)}} \dot{P}_p$$

$$[0116] \quad - \frac{\beta_r}{V_r} (C_r A_r \sqrt{\frac{1}{2\rho(P_p - P_r)}} + C_{inj} A_{inj} \frac{1}{\sqrt{2\rho(P_r - P_{cyl})}}) \dot{P}_r$$

[0117] (式 13)

[0118] 将前述的流量计量单元燃油流出流量表达式(即式 1)、柱塞泵腔内燃油压力表达

式 (即式 2) 和高压共轨管腔内燃油压力表达式 (即式 4) 以分别带入到上式 13 的右端, 并

且考虑到 $\dot{\beta}_r = \frac{d\beta}{dP_r} \dot{P}_r$, 则可以得到:

[0119]

$$\ddot{P}_r = \frac{d\beta}{dP_r} \frac{\beta_r}{V_r^2} (Q_r - Q_{inj})^2 + \frac{\beta_r \beta_p}{V_r V_p} C_r A_r \cdot \frac{1}{\sqrt{2\rho(P_p - P_r)}} (Q_u - Q_r + A_p \vartheta)$$

[0120]

$$- \frac{\beta_r^2}{V_r^2} (C_r A_r \sqrt{\frac{1}{2\rho(P_p - P_r)}} + C_{inj} A_{inj} \frac{1}{\sqrt{2\rho(P_r - P_{cyl})}}) (Q_r - Q_{inj})$$

[0121]

$$= \left[\frac{d\beta}{dP_r} \frac{\beta_r}{V_r^2} (Q_r - Q_{inj}) - \frac{\beta_r^2}{V_r^2} (C_r A_r \sqrt{\frac{1}{2\rho(P_p - P_r)}} + C_{inj} A_{inj} \frac{1}{\sqrt{2\rho(P_r - P_{cyl})}}) \right]$$

[0122]

$$\cdot (Q_r - Q_{inj}) - \frac{\beta_r \beta_p C_r A_r}{V_r V_p \sqrt{2\rho(P_p - P_r)}} \cdot Q_r + \frac{\beta_r \beta_p}{V_r V_p} C_r A_r \cdot \frac{A_p}{\sqrt{2\rho(P_p - P_r)}} \vartheta$$

[0123]

$$+ \frac{\beta_r \beta_p C_r A_r C_u}{V_r V_p \sqrt{2\rho(P_p - P_r)}} \sqrt{\frac{2P_u}{\rho}} \cdot u$$

[0124]

(式 14)

[0125] 经过进一步的整理, 则可以将式 14 表示为

$$\ddot{P}_r = b_1 + b_2 \vartheta + b_3 u \quad (\text{式 15})$$

[0127] 其中

$$b_1 = b_1(P_p, P_r) = \left[\frac{d\beta}{dP_r} \frac{\beta_r}{V_r^2} (Q_r - Q_{inj}) - \frac{\beta_r^2}{V_r^2} \left(\frac{C_r A_r}{\sqrt{2\rho(P_p - P_r)}} + \right. \right.$$

[0129]

$$\left. \frac{C_{inj} A_{inj}}{\sqrt{2\rho(P_r - P_{cyl})}} \right) \cdot (Q_r - Q_{inj}) - \frac{\beta_r \beta_p C_r A_r}{V_r V_p \sqrt{2\rho(P_p - P_r)}} \cdot Q_r$$

[0130]

$$b_2 = b_2(P_p, P_r) = \frac{\beta_r \beta_p C_r A_r A_p}{V_r V_p \sqrt{2\rho(P_p - P_r)}}$$

[0131]

$$b_3 = b_3(P_p, P_r) = \frac{\beta_r \beta_p C_r A_r C_u \sqrt{P_u}}{V_r V_p \sqrt{2\rho(P_p - P_r)}}$$

[0132] 如在前面的表达式 1 至表示式 5 中所描述的那样, β_p 是 P_p 的多项式, β_r 是 P_r 的多项式, V_p 是 $h(\theta)$ 的函数, Q_r 和 Q_{inj} 是 P_p 和 P_r 的函数。因此, 系数 b_1 、 b_2 和 b_3 是 P_p 和 P_r 的多项式, 其可以基于工况参数和所述物理模型相关的常量参数而确定。具体地, b_1 可以由塞泵腔内燃油压力值 P_p 、高压共轨腔内燃油压力值 P_r 、油泵柱塞冲程 $h(\theta)$ (用于确定 V_p) 以及相关物理模型的常量参数来确定, 这些常量包括气缸内压缩空气压力 P_{cyl} 、喷油器流量系数 C_{inj} 、喷油器等效横截面面积 A_{inj} 、燃油密度 ρ 、柱塞泵腔到高压共轨管腔单向阀流量系

数 C_r 、柱塞泵腔到高压共轨管腔单向阀等效横截面面积 A_r 和高压共轨管腔体积 V_r 等。类似地, b_2 可由柱塞泵腔内燃油压力值 P_p 、高压共轨腔内燃油压力值 P_r 、油泵柱塞冲程 $h(\theta)$ (用于确定 V_p) 以及物理模型相关的常量确定, 这些常量包括高压共轨管腔体积 V_r 、柱塞泵腔横截面面积 A_p 、柱塞泵腔到高压共轨管腔单向阀流量系数 C_r 、柱塞泵腔到高压共轨管腔单向阀等效横截面面积 A_r 、高压共轨管腔体积 V_r 和燃油密度 ρ 。同样, b_3 可由柱塞泵腔内燃油压力值 P_p 、高压共轨腔内燃油压力值 P_r 、油泵柱塞冲程 $h(\theta)$ (用于确定 V_p) 以及物理模型的常量参数来确定, 这些参量参数包括低压端供油压力 P_u 、燃油密度 ρ 、流量计量单元流量系数 C_u 、柱塞泵腔到高压共轨管腔单向阀流量系数 C_r 、柱塞泵腔到高压共轨管腔单向阀等效横截面面积 A_r 和高压共轨管腔体积 V_r 来确定。

[0133] 基于上述表达式 9 和 15, 并令 $\ddot{e} + k_d \dot{e} + k_p e + k_i \int e = 0$, 可以设计如下控制模型:

$$[0134] \quad u = -\frac{1}{b_3} \left(b_1 + b_2 \theta + k_p e + k_i \int e + k_d \dot{e} \right) \quad (\text{式 15})$$

[0135] 实际上, 该控制模型包括两个部分。其中一个部分为前馈控制项:

$$[0136] \quad u_{FF} = -\frac{1}{b_3} (b_1 + b_2 \theta) \quad (\text{式 16})$$

[0137] 其中, b_1 、 b_2 和 b_3 为控制系数, 如前所述, 其可以基于获取的所述工况参数和所述物理模型相关的常量参数而确定; θ 为高压油泵柱塞运动线速度。

[0138] 另一部分为 PID 反馈控制项:

$$[0139] \quad u_{FB} = -\frac{1}{b_3} \left(k_p e + k_i \int e + k_d \dot{e} \right) \quad (\text{式 17})$$

[0140] 其中, b_3 为控制系数, 类似地如前所述, 其可以基于获取的所述工况参数和所述物理模型相关的常量参数而确定, k_p 、 k_i 及 k_d 为分别针对比例控制、积分控制和微分控制的控制系数。对于该反馈控制项, 可以选择适当的 k_p 、 k_i 及 k_d 增益值, 以确保该高压共轨系统稳定, 换句话说确保下式的特征根位于 s 平面的左半平面:

$$[0141] \quad \ddot{e} + k_d \dot{e} + k_p e + k_i \int e = 0 \quad (\text{式 18})$$

[0142] 即, 确保当 $t \rightarrow 0$ 时, $e \rightarrow 0$ 。通过这样的方式, 就可以得到 k_p 、 k_i 及 k_d 增益值。

[0143] 然而, 如本领域技术人员所知, 该控制模型可以仅包括前馈控制项、反馈控制项, 或者可以包括二者的组合。而且反馈控制也不局限于 PID 控制, PI 控制在实际应用中也是可行的。因此, 本发明并不局限于此处给出的示例性实施方式。

[0144] 因此, 在根据本发明的一个实施方式中, 需要测量的工况参数可以包括高压油泵柱塞冲程 h 、高压油泵柱塞运动线速度 θ 、柱塞泵腔内燃油压力 P_p 和高压共轨管腔内燃油压力 P_r 。这些参数是基于所述控制模型来确定控制量所需的参数。然而, 本发明并不局限于此, 而是还可以测量更多的参数或者其他替代参数, 以从这些参数计算或确定这些工况参数。例如, 对于高压油泵柱塞冲程, 其是凸轮轴转角的函数, 因此可以获取该凸轮轴转角, 基于凸轮轴转角与高压油泵柱塞冲程的物理关系来计算该高压油泵柱塞冲程。

[0145] 应当理解,上文给出的控制模型仅是一种示例性的实施方式。针对该控制模型的各种变形是可能的。例如,在某些工况条件下,在物理模型中可以不考虑上文表达式中的一个或多个参数或方面,和/或可以增加与发动机高压燃油系统有关的新的参数或方面。实际上,基于本发明给出的如上启示和教导,本领域技术人员可以结合其具体需求和条件,设计实现任何适当的控制模型。

[0146] 此外,该控制模型优选地是预先基于物理模型而确定的,这样在发动机运行期间可以直接基于各种工况参数、系统目标值来确定控制量的值,这样可以加速系统的响应速度,提高控制效率。

[0147] 在前述的工况参数中,部分参数依据现有技术可以通过传感器等测量设备直接测量,例如高压共轨管腔内的燃油压力 P_r 。另外,有一些工况参数诸如高压油泵柱塞冲程 $h(\theta)$ 、高压油泵柱塞运动线速度 θ 可以通过测量的其他参数(如,凸轮轴转角,油泵凸轮轴转速)并基于它们之间的物理关系计算得到。此外,还有一些参数是依据现有技术是无法或者难以通过测量而得到,或者实现的成本高,针对这样的参数,可以通过其他相关参数的状态而估算得到,或者通过其他经验方式来得到。这样的参数的一个示例是高压油泵的柱塞泵腔内的燃油压力 P_p 。

[0148] 在根据本发明的一个优选实施方式中,还包括观测值确定装置 204,用于确定参数诸如柱塞泵腔内燃油压力的观测值。如图 2 所示,该观测值确定装置 204 与工况参数获取装置 201 和所述控制量确定装置 202 耦合,配置用于依据所述工况参数以及基于所述物理模型而设计的观测器模型,来确定高压油泵柱塞腔内燃油压力 P_p 的观测值,以供所述控制量确定装置来确定所述控制量。在下文中,出于说明的目的,将给出状态观测器模型设计的一个实例,然而需要说明的是,如本领域技术人员所知,可以采用各种手段来设计观测器。

[0149] 燃油压力状态观测器模型

[0150] 为了能够确定柱塞泵腔内燃油压力 P_p 的观测器值,观测器将借助于前述的柱塞泵腔内燃油压力表达式 2 和高压共轨管腔内燃油压力表达式 4。

[0151] 首先可以假设柱塞泵腔内燃油压力 P_p 的状态观测值为 $\hat{P}_p$,高压共轨管腔内的燃油压力的测量值为 P_r ,高压共轨管腔内的燃油压力的状态观测值为 $\hat{P}_r$ 。

[0152] 基于表达式 2 和 4,通过为柱塞泵腔内燃油压力表达式和高压共轨管腔内燃油压力表达式分别增加调整项并将表达式 3 和式 5 代入前述式 2 和 4 来设计观测器,从而得到以下的两个式子:

$$[0153] \quad \dot{\hat{P}}_p = \frac{\beta_p}{v_p} \left(Q_u - C_r A_r \sqrt{\frac{2(\hat{P}_p - \hat{P}_r)}{\rho}} + A_p \theta \right) + \mathcal{L}_p (\hat{P}_r - P_r) \quad (\text{式 } 19)$$

$$[0154] \quad \dot{\hat{P}}_r = \frac{\beta_r}{v_r} \left(C_r A_r \sqrt{\frac{2(\hat{P}_p - \hat{P}_r)}{\rho}} - C_{inj} A_{inj} \sqrt{\frac{2(\hat{P}_r - P_{cyl})}{\rho}} \right) + \mathcal{L}_r (\hat{P}_r - P_r) \quad (\text{式 } 20)$$

[0155] 而表达式 19 和 20 中的与调整项相关的调整因子 L_p 和 L_r 则可以选择为使得上述两个表达式 19 和 20 均稳定和收敛的适当值。这可以根据实际应用要求来确定。

[0156] 由此,表达式 19 和 20 所联立的方程有解。因此,这意味可以基于工况参数(包括例如柱塞泵腔体积 V_p (或者油泵柱塞冲程 h)、柱塞泵腔的燃油流量 Q_u (或流量计量单元电

磁阀的计量单元等效横截面积 u)、柱塞运动线速度 θ) 和高压共轨的轨压 P_r 的测量值来得到 $\hat{P}_p$ 的值, 或者优选地得到 $\hat{P}_p$ 和 $\hat{P}_r$ 两者的值。

[0157] 因此, 在该优选的实施例中, 观测值确定装置 204 可以基于所述物理模型以及所述工况参数, 来确定高压油泵柱塞腔内的燃油压力观测值 $\hat{P}_p$, 以用于确定将在下文中描述的控制量。优选地, 还可以进一步确定高压共轨管腔内的燃油压力的观测值 $\hat{P}_r$, 以用于确定将在下文中确定的控制量。

[0158] 实际上, 确定该控制量也可以使用高压共轨管腔内的燃油压力的测量值。然而, 使用高压共轨管腔内的燃油压力的观测值 $\hat{P}_r$ 是优选的, 这是因为观测值 $\hat{P}_r$ 实际上相当于对测量值 P_r 的滤波后的值, 所以该观测值的使用能够增加控制模型的准确性。

[0159] 为了更加清楚起见, 在图 3 中示出了根据本发明的一个优选实施方式的柴油发动机的高压共轨系统的闭环反馈控制模型的示意性方框图。如图 3 所示, 该高压共轨系统配备有观测器和控制器, 该控制器包括前馈控制部分和 PID 反馈控制部分。实际测量轨压值与目标轨压值之间的误差被提供给如前所述的 PID 反馈控制部分, 依据获取的工况参数, 通过 PID 反馈控制部分而提供反馈控制分量 u_{FB} 。另一方面, 燃油压力状态观测器基于控制量 u 、轨压实际测量值 P_r 以及获取的工况参数油泵柱塞冲程 h 和柱塞运动线速度 θ 观测柱塞泵腔内燃油压力和高压共轨管腔内燃油压力的观测值 $\hat{P}_p$ 和 $\hat{P}_r$ 。前馈控制部分基于观测得到的这两个观测值和测量的工况参数 (即油泵柱塞冲程 h 和柱塞运动线速度 θ) 来提供前馈控制分量 u_{FF} 。这两个分量 u_{FB} 和 u_{FF} 共同构成控制量 u , 即流量计量单元电磁阀的等效横截面积。

[0160] 由此可见, 实现该控制需要的工况参数包括: 高压油泵柱塞冲程 h 、高压油泵柱塞运动线速度 θ 、柱塞泵腔内燃油压力 P_r 和高压共轨管腔内燃油压力 P_p 。而观测 P_r 和 P_p 时所用到的流量计量单元电磁阀的等效横截面积 u 的值则可以是前次计算得到的控制量 u 。

[0161] 因此, 如上所述, 观测值确定装置 204 可以基于工况参数获取装置 201 测量或者计算得到的工况参数、基于例如前述设计的观测器模型, 来确定柱塞泵腔内的燃油压力和高压共轨管腔内燃油压力的观测值。然后, 控制量确定装置 202 可以利用这些工况参数 (包括通过观测器而观测得到的燃油压力值), 基于所述物理模型而确定的控制模型和轨压目标值来确定控制量, 即所述流量计量单元等效横截面积的等效横截面积。而驱动信号生成装置 203 可以进一步基于该控制量的大小生成用于驱动油量计量单元的驱动信号。

[0162] 根据本发明的实施方式, 特别是优选实施方式, 提供的控制设备是基于柴油发动机的高压共轨燃油喷射系统的物理模型而进行控制的。由于柴油发动机的高压共轨燃油喷射系统的物理模型适用于该系统在任何工况下的工作过程, 所以本发明基于物理模型的技术方案可以达到精确的喷射压力和快速的系统响应, 进而可以减小轨压的实际压力同轨压的目标压力之间的偏差, 并且在优选的实施方式中, 可以使其最小。基于高压共轨燃油系统的物理模型所设计的控制模型均可以量化, 因而大大减少了针对控制模型的标定工作量, 改善了发动机高压共轨燃油喷射系统的效率和功能性。

[0163] 此外, 本发明还提供了一种用于控制燃油发动机的高压共轨系统的方法。接下来, 将参考图 4 对其进行详细的描述, 其中图 4 示意性地示出了根据本发明的一个实施方式的用于控制柴油发动机的高压共轨系统的方法的流程图。

[0164] 如图 4 所示,首先在步骤 401,获取与所述高压共轨系统相关的工况参数。如前所述,所述工况参数可以包括:高压油泵柱塞冲程、高压油泵柱塞运动线速度、柱塞泵腔内燃油压力和高压共轨管腔内燃油压力。

[0165] 在优选的实施方式中,如前所述,可以在步骤 402 依据所述工况参数以及基于所述物理模型而设计的观测器模型,来确定高压油泵柱塞腔内燃油压力的观测值,以用于确定下面将描述的控制量。在根据本发明的一个实施方式中,所述观测器模型通过为所述物理模型中的柱塞泵腔内燃油压力表达式和高压共轨管腔内燃油压力表达式分别增加调整项,并选择使得调整后的所述两个表达式均稳定和收敛的调整因子来设计。更加优选地,可以依据所述工况参数以及所述观测器模型,来确定高压共轨管腔内燃油压力的观测值,以用于确定所述控制量。

[0166] 接着,可以在步骤 403,依据所述工况参数、高压共轨管腔内燃油压力的目标值和基于表征所述高压共轨系统的物理模型而设计的控制模型,来确定用于控制所述高压共轨系统的控制量,所述控制量为流量计量单元电磁阀的等效横截面积。

[0167] 在根据本发明的一个实施方式中,高压共轨系统的物理模型可以通过以下各项来表征:流量计量单元燃油流出流量表达式;柱塞泵腔内燃油压力表达式;柱塞泵腔燃油流出流量表达式;高压共轨管腔内燃油压力表达式;以及喷油器燃油喷出流量表达式。

[0168] 另外,基于该物理模型而设计的控制模型可以包括前馈控制器,所述控制量包括前馈控制分量。在本发明的一个实施方式中,该前馈控制分量 u_{FF} 可以表示为:

$$[0169] \quad u_{FF} = -\frac{1}{b_3}(b_1 + b_2\theta)$$

[0170] 其中 b_1 、 b_2 和 b_3 为控制系数,且基于获取的所述工况参数和所述物理模型相关的常量参数而确定;以及 θ 为高压油泵柱塞运动线速度。

[0171] 此外或者备选地,该控制模型包括反馈控制器,例如 PID 反馈控制项,所述控制量包括反馈控制分量。在根据本发明的一个实施方式中,所述反馈控制分量 u_{FB} 可以表示为:

$$[0172] \quad u_{FB} = -\frac{1}{b_3}\left(k_p e + k_i \int e + k_d \dot{e}\right)$$

[0173] 其中 e 为所述高压共轨管腔内燃油压力的实际值与其目标值之间的误差; b_3 为控制系数,且基于获取的所述工况参数和所述物理模型的相关常量参数而确定;以及 k_p 、 k_i 和 k_d 分别为针对比例控制、积分控制和微分控制的控制系数,且 k_p 、 k_i 和 k_d 被选择为使高压共轨系统稳定。

[0174] 随后,可以在步骤 404,根据所述确定的控制量,来确定用于驱动所述流量计量单元的驱动信号。

[0175] 该方法中的各个步骤的操作实际上与前述控制设备的各个部件的操作是基本对应的。因此关于该方法中的各个步骤的具体操作或者其中相关内容的细节,可以参考前文参考图 2 和图 3 针对控制设备所进行的描述。

[0176] 此外,需要说明的是,本发明的实施方式可以通过硬件、软件或者软件和硬件的结合来实现。硬件部分可以利用专用逻辑来实现;软件部分可以存储在存储器中,由适当的指令执行系统,例如微处理器或者专用设计硬件来执行。本领域的普通技术人员可以理解上述的设备和方法可以使用计算机可执行指令和/或包含在处理器控制代码中来实现,例如

在诸如磁盘、CD 或 DVD-ROM 的载体介质、诸如只读存储器（固件）的可编程的存储器或者诸如光学或电子信号载体的数据载体上提供了这样的代码。本发明的设备及其模块可以由诸如超大规模集成电路或门阵列、诸如逻辑芯片、晶体管等的半导体、或者诸如现场可编程门阵列、可编程逻辑设备等的可编程硬件设备的硬件电路实现，也可以用由各种类型的处理器执行的软件实现，也可以由上述硬件电路和软件的结合例如固件来实现。

[0177] 应当注意，尽管在上文详细描述中提及了控制设备和观测设备的若干装置或子装置，但是这种划分仅仅并非强制性的。实际上，根据本发明的实施方式，上文描述的两个或更多装置的特征和功能可以在一个装置中具体化。反之，上文描述的一个装置的特征和功能可以进一步划分为由多个装置来具体化。

[0178] 此外，尽管在附图中以特定顺序描述了本发明方法的操作，但是，这并非要求或者暗示必须按照该特定顺序来执行这些操作，或是必须执行全部所示的操作才能实现期望的结果。相反，流程图中描绘的步骤可以改变执行顺序。附加地或备选地，可以省略某些步骤，将多个步骤合并为一个步骤执行，和 / 或将一个步骤分解为多个步骤执行。

[0179] 虽然已经参考目前考虑到的实施方式描述了本发明，但是应该理解本发明不限于所公开的实施方式。相反，本发明旨在涵盖所附权利要求的精神和范围内所包括的各种修改和等同布置。以下权利要求的范围符合最广泛解释，以便包含所有这样的修改及等同结构和功能。

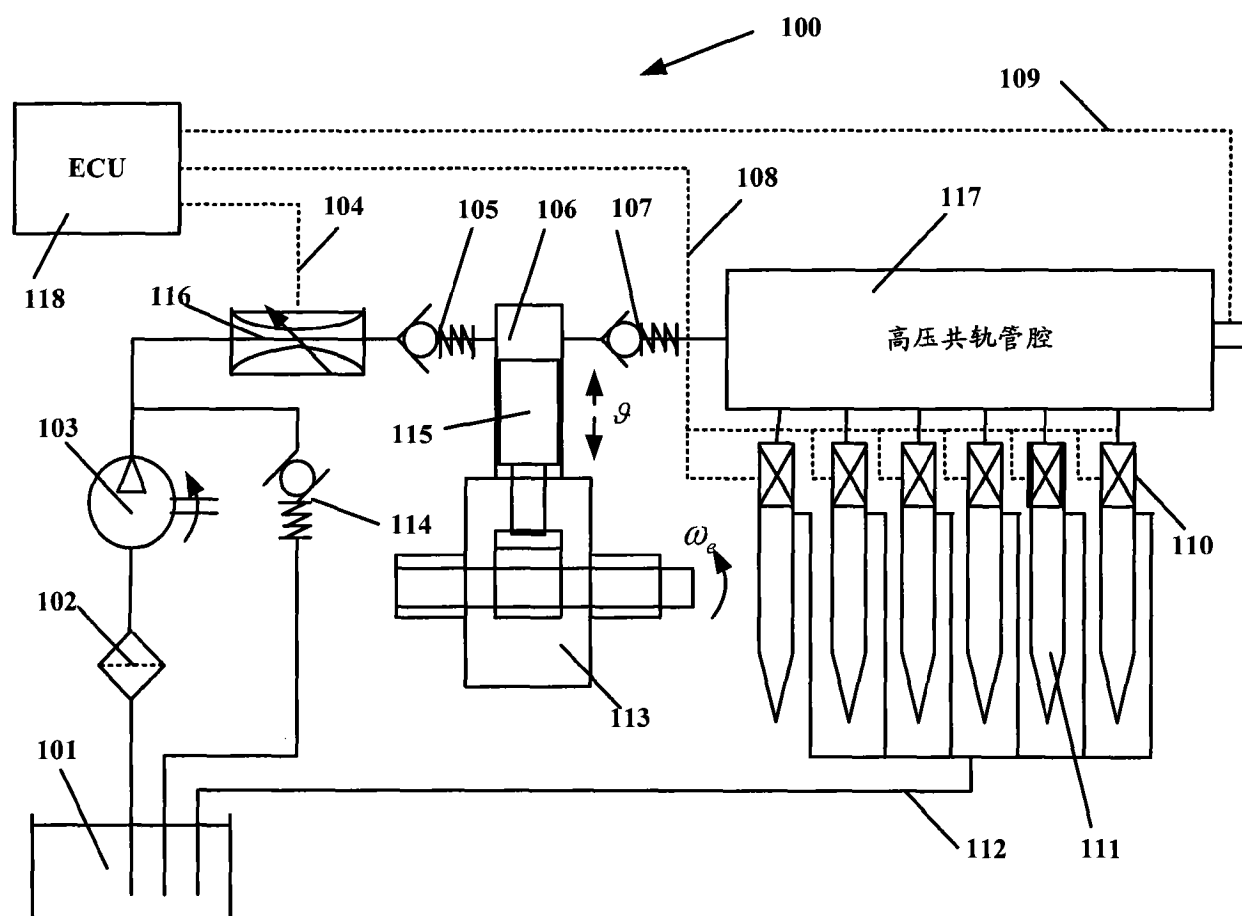


图 1

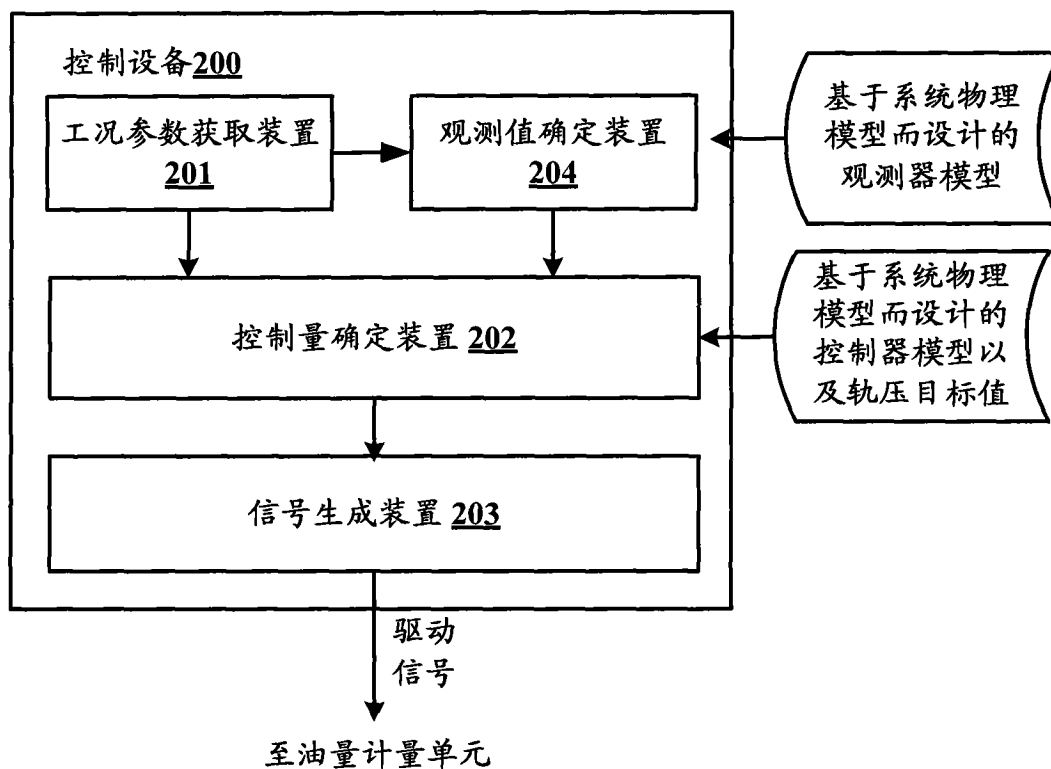


图 2

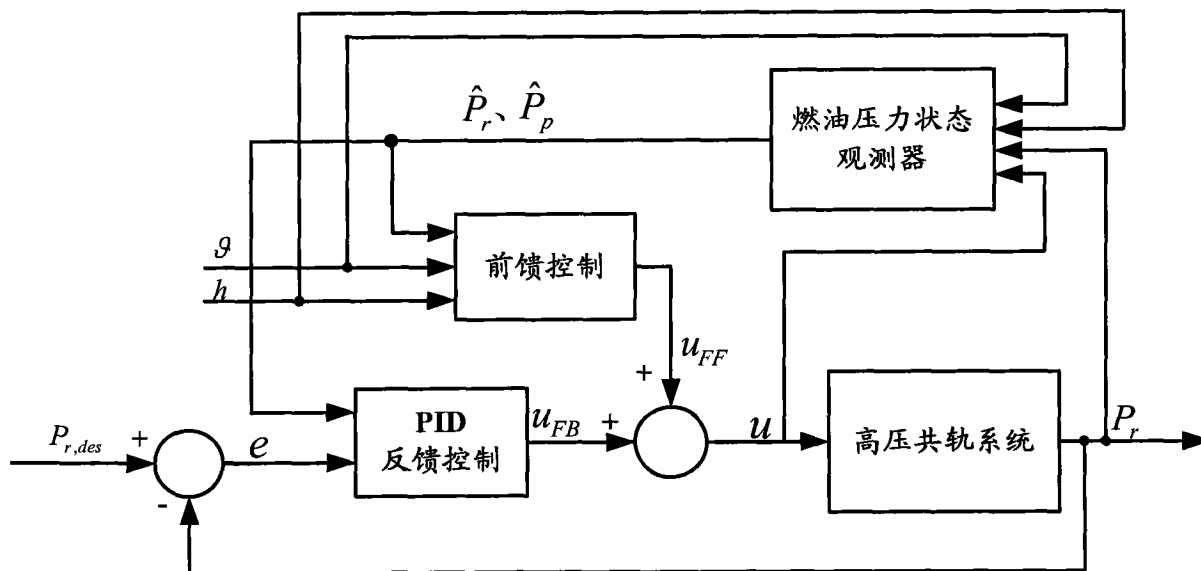


图 3

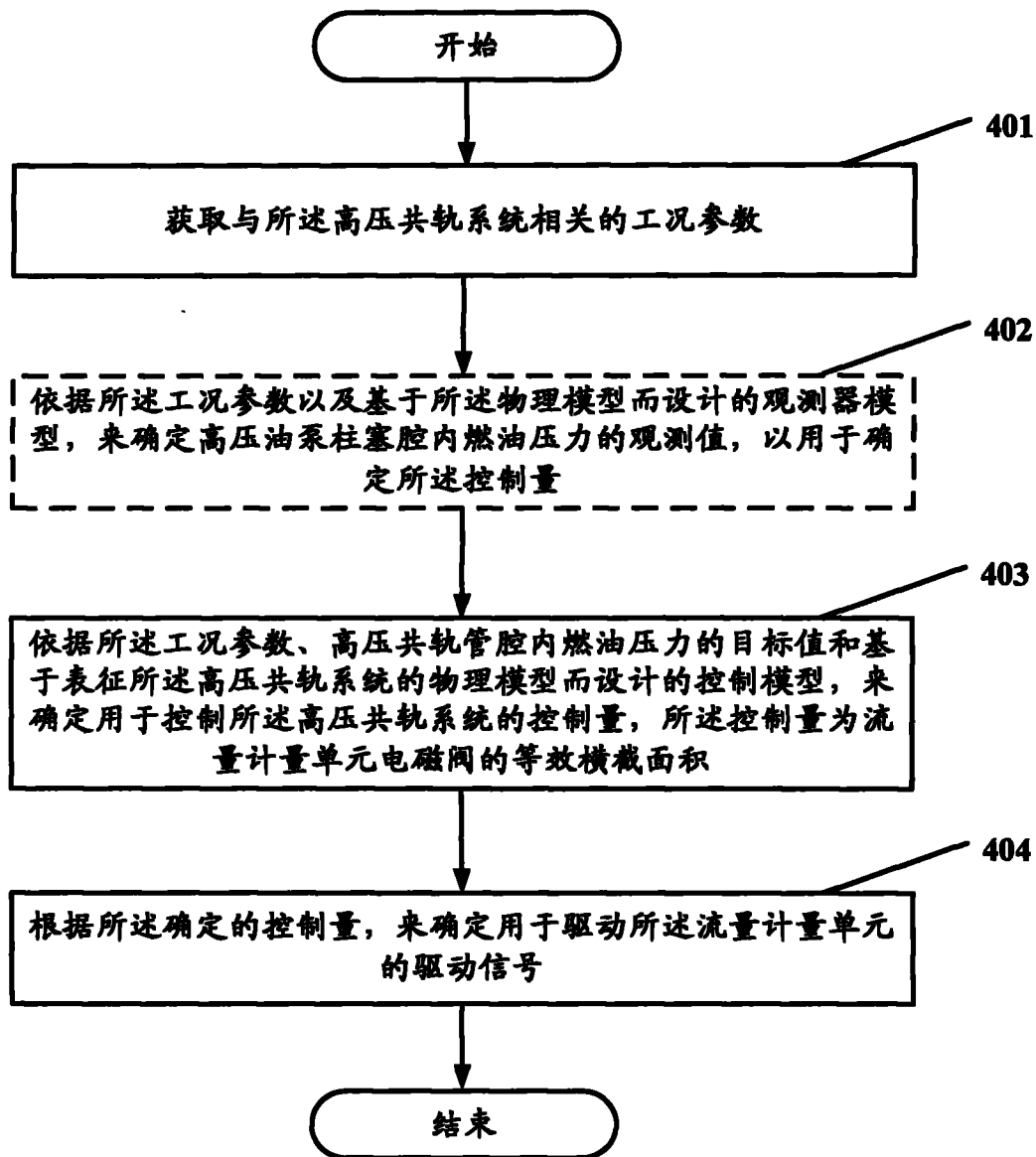


图 4