

高压油管压力的优化控制

葛志来 季鑫焯 曹天明

南京工业大学 江苏南京 211800

【摘要】本文研究工业机械中发动机供油喷油的控制问题，分别描述分析了基于向前差分格式的内外油压的传递模型、发动机的工作状态模型以及基于梯度下降法的最优化模型，所建模型对提高发动机工作性态和实现工业精准化控制具有重要的应用价值。

本文主要分析三个问题：设置单向阀的开启时间来稳定油管内腔压强变化，确定使油管的内部压强稳定的凸轮的角速度，控制高压油泵和减压阀以实现油管内压强的有效控制。

这些技术参数与控制方案对提高燃油发动机的工作性态具有很高的应用价值。

关键词：向前差分法 最优化模型 梯度下降法

1. 1 引言

一、问题重述

燃油进出高压油管是燃油发动机工作的基础。在实际应用中，燃油进出油管的间歇性工作会导致高压油管内压力的变化，使得喷出的燃油量出现偏差，进而影响发动机的工作效率。

如何设置单向阀的开启时间来稳定油管内腔压强变化？如何确定使油管的内部压强稳定的凸轮的角速度？如何控制高压油泵和减压阀以实现油管内压强的有效控制？

这些技术参数与控制方案对提高燃油发动机的工作性态具有很高的应用价值。

2 问题的提出

根据已有的数据尝试建立数学模型解决下列问题：

(1) 问题一：

- 确定使油管内腔油压稳定在 100MPa 时，单向阀的开启时间？
- 确定使油压从 100MPa 升压至并稳定在 150MPa 时，在不同的调整时间下，如何制定单向阀开启的控制方案？

(2) 问题二：

- 油管进出油液分别由柱塞和针阀控制，试确定此时驱动柱塞的凸轮的角速度，使得油箱内油压稳定在 100MPa？

(3) 问题三：

- 在问题 2 的基础上，增加一个工作规律相同的喷油嘴后，如何调整供油和喷油的策略？
- 增添一个可回流至外部低压油路的单向减压阀后，如何控制高压油泵和减压阀，以实现更有效地控制高压油管的压力？

1 问题一分析

二、问题分析

该问题要求建立模型，确定油管内腔压强稳定在 100MPa 时单向阀的开启时间，以及经过不同的升压时间 t ，使油管压强上升到 150MPa 时，单向阀的开启时长。

在此过程中，由注 1，可将油管内油压 P 的变化转化为油管内油液密度 ρ 的变化。油管内腔容积 V_0 不变，由质量-密度公式，可将压强变化转化为油管内油液质量 M 的变化。

由注 2 可得，在某一时间 (dt) 内，进入油管的油液流量 QA 与油管内外压强差 $(P_A - P_t)$ 的关系。在 A 口压强恒为 160MPa 时，若 P_t 已知，则 QA 即可求得。再由注 1，可得此时进口 A 处的油液密度 ρ_A 为一定值。已知 A 口油液流量 QA 和密度 ρ_A ，可得在该时间 (dt) 内进入油管的油液质量 $m_A(m_A = QA dt)$ 即可求得。

已知喷油速率 $v - t$ 关系，则出口 B 在每个工作周期内喷出的油液体积是一定值，即某一时刻下，B 口流量 (QB) 是已知定值。在某一时间 dt 内，喷出油液的质量 m_B 可由该时刻 B 口的流量 QB 与此时内部油液的密度 ρ_t 表示出。

在单向阀的一个工作周期 t_1 内，由初始状态 M_0 时的进油流量 QA ，得出经过时间间隔 t 后油管内油液质量的变化量 ΔM ，将时间间隔 t 取得足够小 (dt) ，则

$$M = M_0 + Q_A \rho_A dt - Q_B \rho_t dt(1)$$

油液质量 $M(t)$ 时的内部油液压强 P_t' 进一步影响进口 A 的流量 Q

A 和出口 B 的油液质量 m_B 。

采用差分迭代的思想，在时间间隔 t_n 足够小时，内部压强变化量 ΔP 可忽略不计，即可将 P 视为一定值。

在该时间段内油管进出油量的变化量 ΔM ，经影响因子传递链传递，从而更新下一个 t_n 内的 P_n 。经重复迭代，可得到：单向阀开启时间 t_0 为某一定值时，油管内腔压强 P 与燃油机工作时间 t 之间的关系。

2. 2 问题二分析

该问题要求建立模型，确定凸轮角速度与油箱内油压变化的关系，以探究为使油压稳定在 100MPa，凸轮角速度大小应如何设定？

在此过程中，由注 1 及质量-体积公式，油压 P_t 由油箱内油液的质量 $M(t)$ 决定。由于柱塞的压缩，入口 A 处的压强 P_A 会随柱塞的运动 h 而改变。从柱塞开始上升到有油液进入油管，在此过程中，柱塞腔内油液的体积 V_A 变小，油液的质量 M_A 不变，油液密度 ρ_A 必然增大且可用 V_A 、 M_A 定量表示。由注 1，则 P_A 可用 ρ_A 表示。

由注 2，A 处的流量 Q_A 可用 P_A 、 P_t 及 ρ_A 表示。同理，B 处的流量 Q_B 可用 P_t 、 P_t 及 ρ_t 表示。取一时间间隔 t_n 将其离散化，在时间间隔 t_n 内，

$$\Delta M = Q_A t_n - Q_B t_n(3)$$

油管内油液质量的变化量 ΔM ，引起内部油液密度 ρ_t 的变化，继而决定了下一个

t_n 内，油管油压 P_t' 的值。 $P_t' - P_t$ 的差值对入口 A 处流量 Q_A 造成反馈，继而进入新的迭代过程。

2. 3 问题三分析

该问题要求建立模型，分别解决以下两个子问题：

- 在问题二的基础上，增加一个工作规律相同的喷油嘴后，如何调整供油和喷油的策略？

在问题二的基础上，增加一个喷油规律相同的喷油嘴后，两个喷油嘴先后开始喷油的时间不同，则某一时刻 t 下喷油口 B 的流量 $Q_B(t)$ 与喷油口 C 的流量 $Q_C(t)$ 可能不同。喷油嘴 B、C 先后开启的时间间隔不同，供油时的凸轮角速度的选择就不同。

所以，问题可等价于：在第一个喷油嘴依旧从 $t = 0$ 时开始正常工作，而第二个喷油嘴从 $t = t_0$ 开始正常工作的条件下，去探求 t_0 的取值与凸轮角速度 ω 之间的关系。

- 增添一个可回流至外部低压油路的单向减压阀后，如何控制高压油泵和减压阀，以实现更有效地控制高压油管的压力？

我们将增添一个单向减压阀的作用，理解为当油管需要进行如问题一中所描述的升压过程时，可通过电控减压阀排出定量的油液来达到快速稳定油压的目的。

在增添一个单向减压阀 D 后，此时油管有一个供油口 A 和三个出口口 B、C、D。其中，出口口 B、C 的出油规律相同。因为需要探究高压油泵和减压阀 A 的控制方案，所以，我们将模型三中的变量 t 规定为 0，即喷油口 B、C 同时开启、关闭，以减少变量个数。

由于外部低压油路的油液压强为一定值，油箱内部为高压的

(下转第 207 页)

(上接第 116 页)

一侧,由流量公式可将 $Q_m(t)$ 用内部油压 $P(t)$ 、 $\rho(t)$ 表示,进而将低压阀开启时间转化为将油箱内压降低到某一稳定值所需要放出的油液质量 m_{d0}

某一时刻 t 下,油箱油压为 P 时,油箱内油液的质量是可知的定值。在时间段 t_m 内,油液过压值与所需稳定值的差量 ΔP 所对应的 ΔM ,结合 $Q_m(t)$ 、 $Q_d(t)$ 、 $Q_b(t)$,即可得到,在高压油泵的凸轮以固定的角速度 ω 进行升压时,在达到既定稳压值后,减压阀所需开启的时长 t_{d0}

参考文献

[1]姜启源,谢金星,叶俊.数学模型(第四版)[M].北京:高等教育出版社,2011.

育出版社,2011.

[2]马莉.MATLAB 数学实验与建模 [M].北京:清华大学出版社,2011.1.

[3]谢焕田,吴艳.拉普拉斯有限差分法的 MATLAB 实现 [J].四川理工学院学报,2008,21(3):1-2

[4]罗秋萍,刘雪梅,李强,王时光,王瑞平.高压油泵驱动凸轮相位优化对正时链系的影响 [J].内燃机,2015.

[5]徐建新.共轨燃油系统高压油泵若干关键问题研究 [D].华中科技大学,2004.

[6]邹龙,杨海龙.高压共轨、单体泵和泵喷嘴燃油喷射系统分析 [J].柴油机设计与制造,2007