

高压油管压力控制

苏冰洁 王铮亮 许梓晟

(山西大学 山西太原 030006)

摘要: 本文首先对燃油系统进行了深入的探究, 基于数学表达式和物理知识建立模型, 得到了符合实际的结果。

关键词: 物理模型 高压油泵 压力

本文讨论了先喷油再进油与先进油再喷油两种极限情况下得到的单向阀的开启时间 t 的取值范围, 同时得到了部分结论。然后再探讨同时考虑进油与喷油的情况, 构建了高压油管的管内压强 P 与喷油速度 V_t 的关系式, 以 V_t 为中间变量得到了 P 与单向阀开启时间 t 的函数关系式, 在先前得到的范围内进行优化得到了单向阀开启时间的最优解。

接下来, 对于升压以后的调整时间本文先求出了高压油泵为 160MPa 的压力下高压油管增压 50MPa 所需的时间, 然后分别在 2s, 5s 和 10s 时间下, 平均分配给每个周期, 分别延长单向阀开启的时间。

之后本文使用了叠加的思想, 使用 Matlab 拟合了函数并画出了凸轮的形状。之后分别对喷油嘴处和进油口处进行分析, 总结得出了升程随时间的函数表达式, 通过代数转化为角速度随时间的关系, 求出角速度的最优值。

最后本文将其划分为四个过程, 第一个过程是 B 口喷油, 第二个过程是 C 口喷油, 第三个过程是 A 口进油, 第四个过程是将前三个过程进行叠加优化处理得到了一个压强随时间变化的函数, 通过遗传算法对此函数进行优化得到了最优解。

对于在高压油管上增加了一个单向减压阀, 当 b、c 口停止工作且油管已达到 100MPa, 此时油泵继续工作至 100MPa 会增大油管中的压力, 且增大油泵的临界泵压值。由第一问求出油泵工作周期可求出油泵高于 100MPa 后, 泵出游的体积。再结合 B、C 口喷油周期, 得到单向减压阀 D 的工作时间与工作周期。故而得到高压油泵与减压阀的控制方案。

一. 问题的重述与提出

1.1 背景环境

节能一直是燃油发动机领域备受关注的地方, 燃油发动机工作一定会涉及到燃油的进入和喷出, 如果高压油管内的压力可以保持恒定, 发动机的工作效率会达到最大, 但是实际上是不可能实现的, 因为进油和喷油的过程一定会导致高压油管内压力的变化, 进而影响发动机的工作效率。所以, 尽可能控制高压油管内的压强是一个备受挑战的问题。

1.2 问题提出

问题一: 某型号的高压油管已知如下参数: 油管内径为 10mm, 内腔长度为 500mm, 进油处小孔直径为 1.4mm。此高压油管通过进口处的单向阀门开启时间来控制进油量及进油时间的长短, 但是单向阀开启一次要关闭 10ms。高压油管的喷油通过尾部的喷油器来实现, 喷油器每次工作时长是 2.4ms, 每秒工作 10 次, 它的喷油速率随时间的函数已经给定。假设高压油管内的初始压力为 100MPa, 高压油泵在进油口处给定的压力恒为 160MPa。如果要管内的压力尽可能地稳定在 100MPa 左右, 单向阀开启的时长应如何设置。如果想要分别经过 2s, 5s 和 10s 将高压油管内压力从 100MPa 增加到 150MPa, 单向阀开启时长又该如何调整。

问题二: 现实情况下高压油泵入口的压力与喷油速率均非恒定, 进入高压油管的油由高压油泵来控制, 高压油泵通过凸轮驱动柱塞上下运动来控制油的进入, 凸轮转动一圈的极径和极角已经给定, 凸轮转动带动柱塞向上时会压缩高压油泵中的燃油, 当油泵中的压力大于管内压力时, 单向阀会开通使燃油进入高压油管。已知

柱塞的直径为 5mm, 柱塞运动到最高点时, 塞内残余的体积为 20mm³, 柱塞运动到最低点时, 燃油的压力为 0.5MPa。高压油管的喷油通过针阀(喷油嘴)来控制。针阀的直径为 2.5mm, 底座是一个半角为 9° 的圆锥, 喷孔的直径已知为 1.4mm, 一个周期里面针阀升程和时间的关系给定, 当升程大于 0 时, 针阀开启, 反之则关闭。基于问题一中喷油嘴的工作规律和初始压力, 想要尽量让高压油管的内压力稳定在 100MPa 左右, 确定凸轮的角速度。

模型的建立与求解

问题一模型的建立与求解

单向阀每次开启时长模型的建立与求解

对高压油管进行整体分析会发现, 进入流量 Q 与管内压强有关方程为:

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2(160 - P_t)}{\rho_{160}}} \quad (6.1)$$

管内密度可以使用 Q 与 V_t 表示, 相关方程为:

$$\rho_t = \rho_{100} + \left(\frac{Q - V_t}{V_0} \right) \rho_t \quad (6.2)$$

由题可知燃油压力变化量与密度的变化量成正比, 结合具体情况相关方程为:

$$\frac{P_t - P_{100}}{\rho_t - \rho_{100}} = \frac{E_{100}}{\rho_{100}} \quad (6.3)$$

对方程联立带入数据可得方程:

$$\frac{(p_t - 100) \times (39269.908 + V_t)}{1.539 \times \sqrt{\frac{2 \times (160 - p_t)}{0.869}} - V_t} = 2171.4 \quad (6.4)$$

V_t 与时间关系式为:

$$\begin{cases} 0 & 0 \leq t \leq t_1 \\ 100t & t_1 \leq t \leq t_1 + 0.2 \\ 20 & t_1 + 0.2 \leq t \leq t_1 + 2.2 \\ -100t + 240 & t_1 + 2.2 \leq t \leq 2.4 \end{cases} \quad (6.5)$$

将表达式代入蚁群算法: 为 2.8752ms。

压力增加后模型的建立与求解

本文首先分析当高压油管内的油压达到 150MPa 的情况下 t_1 的值, 与上文同理 t_1 为 7.011ms, 燃油具有可压缩性, 所以想要增加高压油管内的压力可以直接充油, 由于充油过程中密度为一个变化量, 但管内总体积不变, 所以不能以进入油的体积进行计算, 需使用高压油管内增加的油的质量来分析。

压强增加后油的密度公式为:

$$\frac{P_{150} - P_{100}}{\rho_{150} - \rho_{100}} = \frac{E_{100}}{\rho_{100}} \quad (6.6)$$

增加油的质量为:

$$\Delta m = (\rho_{150} - \rho_{100}) V_0 \quad (6.7)$$

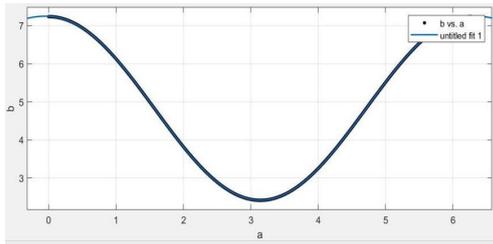
增加 Δm 所需净时间为:

$$t_2 = \frac{\Delta m}{\left(C.A \sqrt{\frac{20}{\rho_{150}}} \right) \rho_{150}} \quad (6.8)$$

总结：所以调整后的时间为： $t_2=13.1346\text{ms}$ $t_3=9.4605\text{ms}$
 $t_{10}=8.2358\text{ms}$

问题 二模型的建立与求解
 对数据进行函数拟合

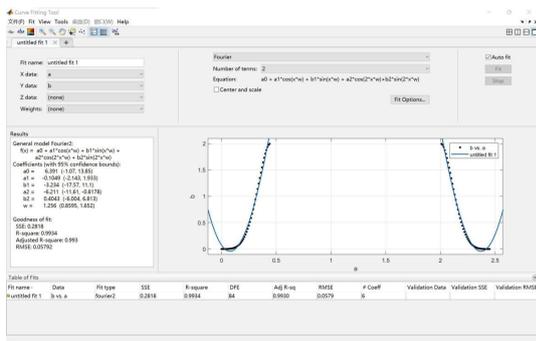
本文首先对已知数据进行函数拟合，附录一采用多项式拟合，附录二采用傅里叶分解拟合，得到以下方程及图像：



图二 数据拟合图像

拟合到的函数表达式为：

$$f(x)=0.002397x^6-0.04517x^5+0.2593x^4-0.2872x^3-0.9499x^2-0.09409x+7.247$$



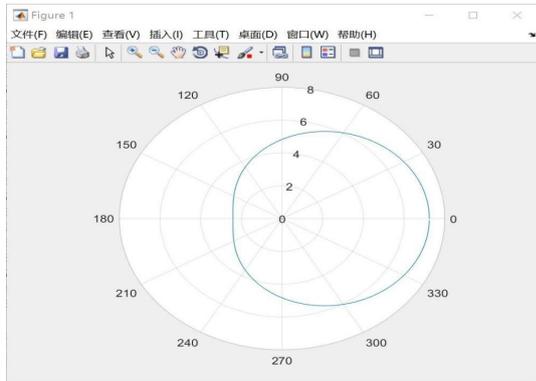
图三 附录二的函数表达式

于是可以得到：

$$b(t)=6.319-0.1049\cos(1.256t)-3.234\sin(1.256t)-6.211\cos(2.512t)+0.4043 \cos(2.512t)$$

$$Q_b=4.799b^2(t)+75.573b(t)-0.06075$$

根据附录一可以模拟出凸轮的形状：



图四 凸轮形状

6.2.2 对高压油泵部分的分析

由题意可以得到极径最大时为上止位点，极径最小时为下止位点。通过附录

一可以确定上止位点与下止位点的长度，可以得到：

最大极径 $r_{max}=7.239\text{mm}$ 最小极径 $r_{min}=2.413\text{mm}$

则 $r_{max}-r_{min}=7.239-2.413=4.826\text{mm}$

因为到达上止位点时，腔内残余的体积为 20mm^3 ，所以易得到恒等式

$$20 = \left(\frac{5}{2}\right)^2 \pi h_1 \quad (6.9)$$

求得 $h_1=1.019\text{mm}$

通过： $V_{\text{腔}} = \left(\frac{5}{2}\right)^2 \pi (r_{max} - r_{min} + h_1)$ 求得 $V_{\text{腔}}=114.766\text{mm}^3$ (6.10)

当泵油达到临界压强时： $\frac{p_1 - p_2}{\rho_1} = \frac{E}{\rho_1}$ (6.15)

由公式： $m = \rho_1 V_1$ (6.16)

得临界压强时油体积 V_1 ，依据 V_1 可得极径 r' 。当极径 $r > r'$ 时即开始泵油得到极角的变化量 $\Delta \theta$

所以角速度： $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ (6.17)

求得角速度 $\omega=0.866\text{rad/ms}$

本文建立的模型通过了大量数学表达式和物理表达式的推导，具有一定的可行性与合理性，并且通过数学模型建立起方程组与表达式，还使用了蚁群算法和遗传算法优化模型寻找到最优解，不仅解决了题目中的要求，还与实际相结合，得出的结论具有可靠性和合理性。

本文采用了图文结合的方式，建立了大量的模型与假设，且配有程序运行的结果，可观性和可读性都很强，公式体系一目了然，具备了学术论文的基本要求。

参考文献

- [1]蔡梨萍.基于 MATLAB 的柴油机高压喷油过程的模拟计算, 2005, 5
- [2]田小江.基于模糊的高压共轨燃油喷射系统轨压控制仿真研究, 2009 (1)
- [3]慕课
<https://www.icourse163.org/learn/HZAU-1001658002?tid=1206566201#/learn/content?type=detail&id=1211309219&cid=1213886441>
- [4]司守奎, 孙兆亮.数学建模算法与应用.第二部.国防工业出版社
- [5]刘浩, 韩晶. Matlab 完全自学一本通.第一版.中国工信出版集团电子工业出版社