

飞机泵源回路消减压力脉动的阻抗调整法

杨小森¹, 沈燕良¹, 蔡军², 张建邦¹, 李晓勇¹

(1. 空军工程大学工程学院, 陕西西安 710038; 2. 空军驻陕西飞机集团公司军事代表室, 陕西汉中 723213)

摘要: 针对某型飞机主液压泵源回路改装软管, 建立了液压柱塞泵供油流量的计算模型, 利用阻抗调整法建立了泵源回路的压力脉动模型, 分别计算了未改装软管和改装软管后两种情况的压力脉动值, 论证了改装的可行性和可靠性, 同时提出了消减压力脉动的方案。

关键词: 泵源回路; 阻抗调整法; 压力脉动; 消振

中图分类号: V233.91 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2006)03-0013-03

液压泵的出口流量脉动必定会引起液压系统的压力脉动, 压力脉动幅值过大会使管系疲劳破裂, 也会使元件损坏, 导致功能丧失^[1-3]。压力脉动还可以引起管系机械振动, 在共振状态下可能使管系在短时间内破坏。有关规范规定液压系统的脉动压力不得超过系统工作压力的 $\pm 10\%$, 这一指标用作评价压力的依据已经经过多年的实际应用。但美国科研人员在McDonnell公司研制F-15的过程中得出如下规律: 压力脉动幅值大于系统工作压力的 10% , 将导致较高的振动应力, 使出口导管迅速破坏; 压力脉动幅值在系统工作压力的 $2.5-10\%$ 范围内, 则管夹垫子易磨损, 而管夹损坏, 可能导致导管破坏, 并且在此压力脉动范围内, 泵源回路中的单向活门易磨损, 维护工作中需要经常检查; 压力脉动幅值小于工作压力的 2.5% , 管系会长寿命无故障地工作。文献[4]建立了变量液压泵的稳态模型, 并进行了数值仿真。文献[5]提出了一种新的基于传统被动式抑制器的实时主动流量控制方法, 用以抑制管路的压力脉动。本文则主要针对目前部队对某型飞机将主液压系统泵源回路中泵出口导管更换为软管这一改装措施, 利用阻抗调整法分别对改装前后的泵源回路的压力脉动进行了计算。

1 计算数学模型

飞机液压系统泵源回路工作时, 不同的负载, 回路中压力脉动不同。但若系统中有一个元件的特性参数(如容积、液阻、惯性)比其它元件大得多, 就可以认为这个元件近似地将系统分为两部分, 在高频下, 后一部分的阻抗对前一部分的阻抗影响很小。因此, 泵源回路数学模型的建立, 可将回路中油滤后面的系统截。

为分析泵源回路的压力脉动, 本文首先分析了液压泵的实际供油量, 根据泵源回路的阻抗, 将泵出口瞬态流量进行Fourier分解, 得出相应阶次的谐波压力, 将各阶谐波压力合成得到泵源回路中压力脉动。

1.1 单个柱塞的排油量

由连续性原理, 柱塞实际瞬态供油量见式(1)。对于某型飞机而言, 由于其液压泵柱塞轴线与转子轴线存在一辐射角 β , 故柱塞理论供油量为式(2)。柱塞泄漏量见式(3)。柱塞压缩性流量见式(4)。

$$q_{p0} = q_p - \Delta q_p - \Delta q_c \quad (1) \quad q_p = A_p R \omega \tan \theta \sin \alpha / \cos \beta \quad (2)$$

$$\Delta q_p = \frac{(p_a - p_c) \pi d h^3}{12 \mu [l_0 + R \tan \theta (1 - \cos \alpha) / \cos \beta]} - \frac{\pi d h}{2} R \omega \tan \theta \sin \alpha / \cos \beta \quad (3) \quad \Delta q_c = \frac{V}{E_l} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (4)$$

收稿日期: 2005-12-21

基金项目: 军队科研基金资助项目

作者简介: 杨小森(1963-), 男, 陕西合阳人, 讲师, 主要从事飞机液压系统研究。

式中: A_p 为柱塞有效面积; d 为直径; θ 为斜盘倾角; α 为转子转角; h, l_0 为柱塞环形间隙高和长; S 为柱塞与排油槽的通油面积; p_s 为泵出口压力; p_a, p_c 为柱塞腔和转子腔油压; V 为柱塞腔体积; $\Delta p = p_a - p_{a-\Delta\alpha}$; $\Delta t = \Delta\alpha/\omega$ 。

当柱塞通过排油槽向系统供油时,由节流方程可得式(5)。式中: $p_a \geq p_s$ 时,取正号; $p_a \leq p_s$ 时,取负号。

$$p_a = p_s \pm \rho q_{p0}^2 / 2C_a^2 S_a^2 \quad (5)$$

把式(2)、(3)、(4)、(5)代入式(1),即可得出单个柱塞的实际瞬时供油量 q_{p0} 。单个柱塞的排油量曲线见图1,图中实线为实际排油量,虚线为理论排油量。

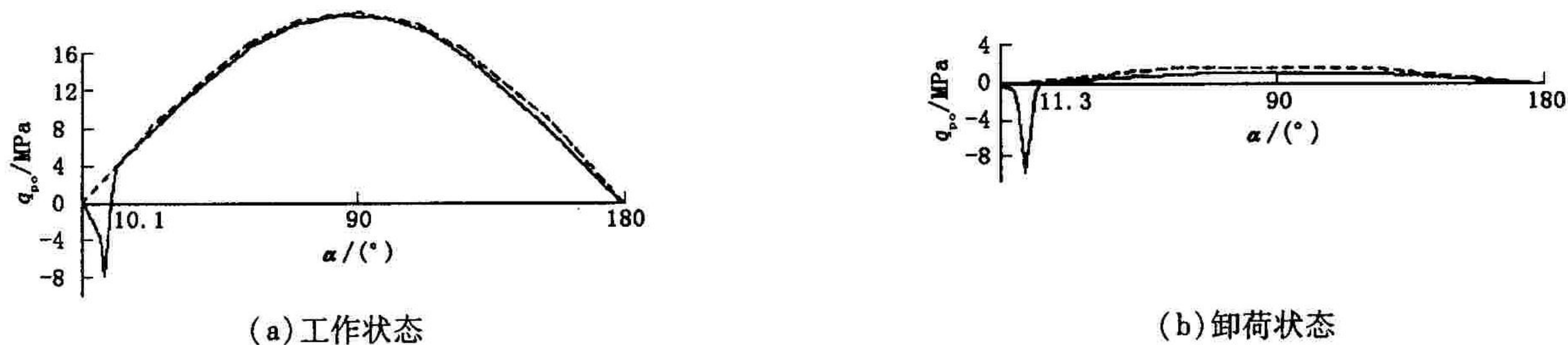


图1 单个柱塞的排油量曲线

1.2 总输出流量的合成及付氏分解

对于柱塞泵,出口瞬态流量 Q_{p0} 为 $Q_{p0} = \sum_{m=0}^{Z-1} q_{p0}(\alpha + 2m\pi/Z)$ 。柱塞泵的实际输出流量见图2。泵工作时,出口流量的脉动周期为 $T = 2\pi/Z$, 将泵出口瞬态流量进行 Fourier 分解得: $Q_{p0}(t) = a_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(Zn\omega t - n\pi) + b_n \sin(Zn\omega t - n\pi)]$ 。式中: $a_n = \frac{Z}{\pi} \int_0^{2\pi/Z} Q_{p0}(t) \cos(Zn\omega t - n\pi) dt$; $b_n = \frac{Z}{\pi} \int_0^{2\pi/Z} Q_{p0}(t) \sin(Zn\omega t - n\pi) dt$ 。

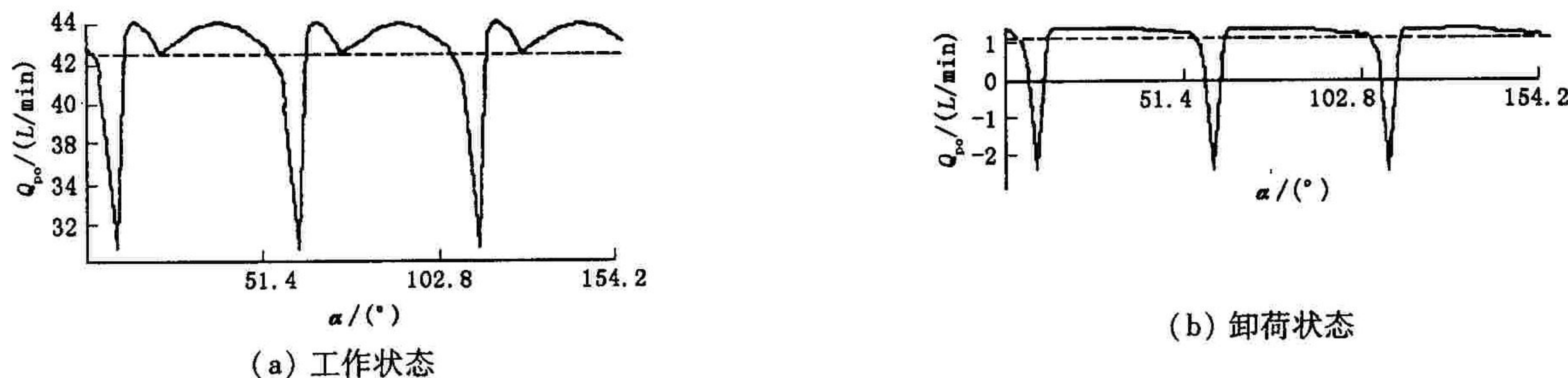


图2 液压泵输出流量曲线

1.3 系统的频率响应

用分布参数法处理管路动态特性得: $G_{ij}(S) = \begin{bmatrix} \text{ch}\Gamma_{ij}(S) & Z_{cij}(S) \text{sh}\Gamma_{ij}(S) \\ \text{sh}\Gamma_{ij}(S)/Z_{cij}(S) & \text{ch}\Gamma_{ij}(S) \end{bmatrix}$; 单向阀: $G_{ij}(S) =$

$\begin{bmatrix} 1 & r_h \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$; 分支点: $G_{ij}(S) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_0 & 1 \end{bmatrix}$, $r_h = \frac{\partial(\Delta p)}{\partial(Q)}$ 为动态液阻; Z_0 为分支管端点阻抗。

由向量置换,可得系统的传递矩阵 $G(S)$:

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = G(S) \begin{bmatrix} P' \\ Q' \end{bmatrix} \quad (6)$$

采用频率相关摩擦模型,令 $S = j\omega$,由式(6)可求出:幅频特性 $|W(j\omega)| = |p'/p|$;相频特性 $\angle W(j\omega) = \arctan(p'/p)$ 。

1.4 压力脉动计算

由压力 - 流量的关系式(6)可知:某一阶次的谐波流量将引起相应阶次的谐波压力,即 $p_n(t) = C_n |W(jZn\omega t)| \sin[Zn\omega t - n\pi + \varphi_n + \angle W(jZn\omega)]$ 。式中: $C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$; $\varphi_n = \arctan(a_n/b_n)$ 。

将各阶谐波压力合成得 $p(t) = p_0 + \sum_{n=1}^{\infty} p_n(t)$ 。泵工作状态下出口压力脉动曲线见图3。

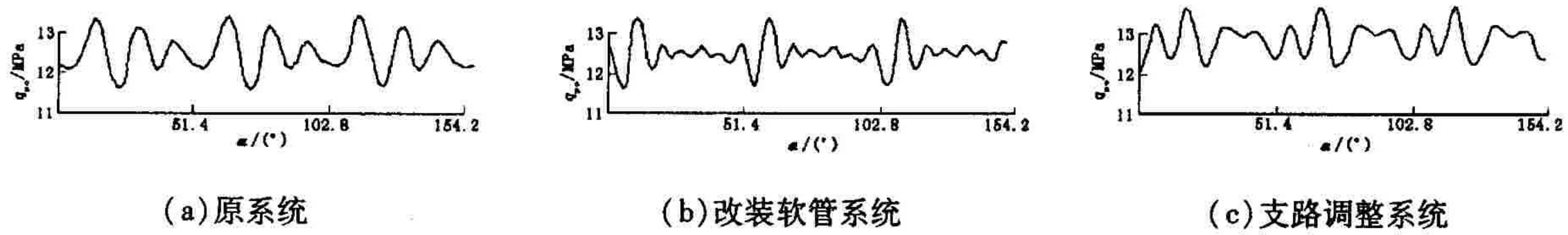


图3 泵出口压力脉动曲线(工作状态)

2 计算结果与分析

对某型飞机主液压系统泵源回路未改装软管和改装软管后的系统分别进行了计算,同时,还设想利用支路滤波,对地面油泵接头处的单向阀位置进行了调整,最佳位置处时的系统压力脉动进行了计算。结果为:

1) 单个柱塞排油存在较大的反冲流量。而且,由于油液压缩性和泄漏的存在,泵实际瞬时供油量小于理论供油量,且实际供油脉动频率为 $f = Zn/60$,而不是理论上奇数柱塞数的脉动频率 $f = 2Zn/60$ 。

2) 从表1(表中/前、后为工作、卸荷状态)可以看出,改装前系统出口截面压力不均匀度 δ 最大,虽然小于 $\pm 10\%$,但仍大于 $\pm 2.5\%$,故出口截面出现漏油是自然的,而改装后改装改善了泵源回路的工作条件。

3) 从表1可以看出,如把地面油泵接口支路调整为 34.5 cm 时,各截面的压力不均匀度明显减小,因此,此方案切实可行。

表1 各截面上的压力不均匀度 (±%)

截面	原系统	改装软管	支路调整
泵出口	7.2/4.3	5.2/4.1	4.8/2.8
单向阀后	6.9/4.0	1.1/2.3	4.9/3.0
油滤前	1.3/1.0	0.2/0.2	1.4/1.0

3 结论

通过将某型飞机主液压系统泵源回路中泵出口导管更换为软管,利用阻抗调整法分别对改装前后的泵源回路的压力脉动进行了计算,计算结果表明该方法正确和可行的,合适的管路长度对系统的消振具有较好的效果,这对解决管路系统可靠性和安全性具有十分重要的工程价值。

参考文献:

- [1] 雷天觉. 液压工程手册[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- [2] 杨国桢. 飞机液压传动与控制[M]. 西安:空军工程学院,1997.
- [3] 梁季明. 液压流体力学[M]. 西安:空军工程学院,1987.
- [4] 周瑞祥,苏新兵,沈燕良,等. 飞机压力加油管路动压控制技术[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2003,(5):1-3.
- [5] 王建平,沈燕良,李晓勇. 变量液压泵稳态仿真模型[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2002,3(4):59-61.
- [6] 周瑞祥,苏新兵. 飞机压力加油系统管道泄漏检测方法研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2002,3(6):7-9.

(编辑:姚树峰)

A Resistance Regulated Method for Eliminating the Pressure Ripple
of Aircraft Hydraulic Pump Circuit

YANG Xiao - sen¹, SHEN Yan - liang¹, CAI Jun², ZHANG Jian - bang¹, LI Xiao - yong¹

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China; 2. Military Representative Office of Air Force in Shaanxi Aircraft Manufacture Corporation, Hanzhong 723213, China)

Abstract: Aimed at the reconstructed soft tube for the main circuit of hydraulic pump energy system, a pump supply -oil calculating model is established, and then a pressure pulsating model is built with the help of the resistance regulated method. The difference between the former system without soft tube and the new system is analyzed, this shows that the advantage of reconstruction for the system is obvious, and it is valid for eliminating the overshoot pressure. The results verify that the method mentioned above is valid and feasible. And simultaneously some other methods are presented in this paper also.

Key words:hydraulic pump circuit; resistance regulated method; pressure ripple; eliminating oscillation