

变量液压泵稳态仿真模型

王建平, 沈燕良, 李晓勇, 曹克强
(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:提出了一种新的变量液压泵稳态仿真计算模型,恒流源恒压源模型。该模型将变量液压泵等效为液阻、压力突变、恒流源构成的一般液压元件。在对液压系统进行稳态仿真过程中,使用该模型,变量液压泵以普通液压元件的形式出现在系统回路,不必将其简化为一个边界点。

关键词:变量液压泵;稳态仿真;仿真模型

中图分类号:V245.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)04-0059-03

随着液压系统计算辅助设计的发展,液压系统设计已从经验估计逐渐上升到理论分析阶段^[1]。液压系统稳态性能的计算机仿真计算是整个液压系统性能分析计算的重要内容之一,并且还是液压系统瞬态性能分析和热分析的基础。

采用数字计算机对液压系统稳态性能进行仿真计算的基础是节点流量平衡原理。在根据节点流量平衡原理建立的流量平衡方程中,液压元件一般以液导或压力突变的形式出现,而通常将变量泵的出口作为一个边界点进行简化处理,泵出口的节点流量平衡方程由描述泵出口压力流量关系的线性方程代替,使得整个系统的稳态仿真模型无法形成一个闭合回路,而且泵与油箱之间的吸油管路、泵回油管路被忽略,仿真精度受到一定影响。

1 节点流量平衡原理

节点流量平衡原理是液压系统稳态性能仿真计算的基础。节点流量平衡原理认为,对于液压系统任何一个具有 n 个分支的节点,在稳态流动的情况下,各支路流入节点的流量之和等于流出节点的流量之和^[2]。

根据节点流量平衡原理可建立节点流量平衡方程。对于如图1所示具有4条分支管路的节点J,节点流量平衡方程为 $Q_{IJ} + Q_{MJ} = Q_{JK} + Q_{JL}$ 。 Q_{IJ} 、 Q_{MJ} 、 Q_{JK} 、 Q_{JL} 为IJ、MJ、JK、JL支路的流量。设IJ支路的液阻为 R_{IJ} ,并且在该分支管路中有 P_{IJ} 的压力突变,则IJ支路的压力流量关系为 $P_I - P_J + \Delta P_{IJ} = P_{IJ} Q_{IJ}$ 。设IJ支路液导 $G_{IJ} = 1/R_{IJ}$,则上式变换为 $Q_{IJ} = G_{IJ}(P_I - P_J) + G_{IJ} \Delta P_{IJ}$ 。同理,对于JK、JL支路,有 $Q_{JK} = G_{JK}(P_J - P_K) + G_{JK} \Delta P_{JK}$, $Q_{JL} = G_{JL}(P_J - P_L) + G_{JL} \Delta P_{JL}$ 。 P_I 、 P_J 、 P_K 、 P_L 为I、J、K、L节点压力; G_{IJ} 、 G_{JK} 、 G_{JL} 为IJ、JK、JL支路液导; ΔP_{JK} 、 ΔP_{JL} 、 ΔP_{IJ} 为IJ、JK、JL支路压力突变(突增为正)。设MJ支路中有一个恒流量控制装置(或称为恒流源),该装置使得MJ支路的流量保持为常值 Q_{const} ,即 $Q_{MJ} = Q_{const}$ 。所以,J点的流量平衡方程为 $G_{IJ}(P_I - P_J) + G_{IJ} \Delta P_{IJ} + Q_{const} = G_{JK}(P_J - P_K) + G_{JK} \Delta P_{JK} + G_{JL}(P_J - P_L) + G_{JL} \Delta P_{JL}$

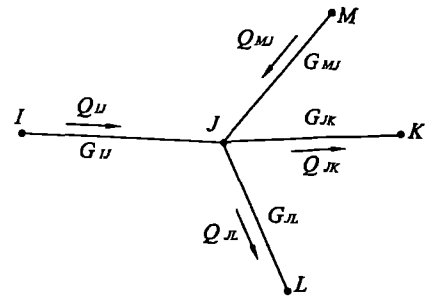


图1 典型分支管路

对于一个有 n 个节点的液压系统,可建立 n 个节点的流量平衡方程,联立所有方程,可求出 n 个节点的压力,并由此求出各支路流量。由于上述过程必须在已知液导的前提下进行,液压系统的各支路液导一般都

与该支路的流量有关,而流量正是要求解的未知量,所以,液压系统的稳态性能仿真一般采用迭代法,即先假设各支路流量,由此得到各支路液导,联立求解各节点流量平衡方程组,得到各节点压力,再求出各支路流量。计算所得的支路流量与假设值相比较,如果两者相差较大,则根据计算结果假设新的流量,再次计算,直到计算结果和假设值之差满足要求为止。

2 恒流源恒压源模型

建立恒压源恒流源模型的基本指导思想是:用液阻(或液导)、压力突变元件或恒流源构成一个局部等效液压管路,该等效管路的压力流量特性与变量液压泵的流量特性完全相同。

变量液压泵在全流量工作区和卸荷工作区的压力流量特性不同^[3],所以其等效模型也不同。在全流量工作区的模型称为恒流源模型,在卸荷工作区的模型称为恒压源模型。

2.1 恒流源模型

当液压泵工作在全流量工作区时,其等效模型如图 2 所示。图中 I 点表示泵的入口, S 点表示泵的出口, L 点表示泵的回油口。在全流量工作区,入口处的流量为 Q_{max} 。

从入口吸入的油液一部分从出口输往传动部分,另一部分从泵内部泄漏,通过回油口流回油箱。内部泄漏量的大小与泵的出口压力成正比。所以,变量液压泵可等效为由两条支路构成的局部液压管路,其中一条支路中装有流量为 Q_{max} 的恒流源,而另一条支路中装有一个层流液导,其值为 $G_L = (Q_{max} - Q_r) / P_r$ 。

这个局部液压管路与液压泵在全流量工作区的压力流量特性完全相同,称其为变量泵稳态仿真恒流源模型,简称恒流源模型。

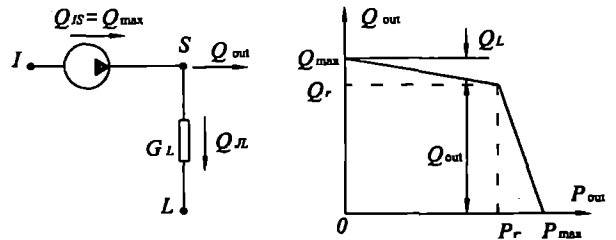


图 2 恒流源模型

采用恒流源模型后,将变量泵入口 I 、出口 S 、回油口 L 作为节点,如图 3 所示,其流量平衡方程分别为

$$\begin{aligned}
 I \text{ 点: } & G_{KI}(P_K - P_I) + G_{KI}\Delta P_{KI} = Q_{max}; \\
 S \text{ 点: } & Q_{max} = G_L(P_S - P_L) + G_{SJ}(P_S - P_J) + G_{SJ}\Delta P_{SJ}; \\
 L \text{ 点: } & G_L(P_S - P_L) = G_{LM}(P_L - P_M) + G_{LM}\Delta P_{LM}。
 \end{aligned}$$

2.2 恒压源模型

当液压泵工作在卸荷区时,其等效模型如图 4 所示。

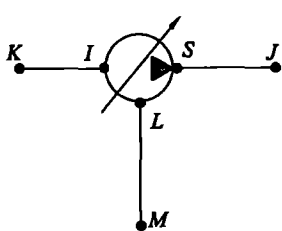


图 3 恒流源恒压源模型应用示例

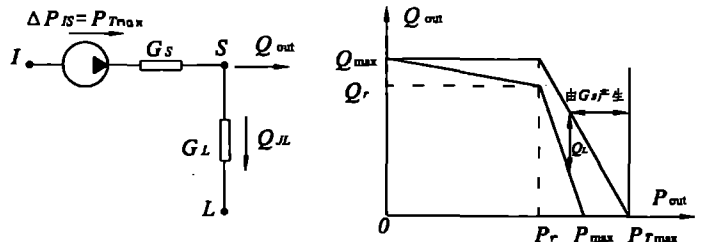


图 4 恒压源模型

与恒流源模型不同的是,在 IS 支路上,恒流源被恒压力突增装置 $\Delta P_{IS} = P_{Tmax}$ 和液导 G_S 所替代。在理想情况下,不考虑泵内部泄漏,卸荷区压力流量关系可表示为 $Q_{out} - Q_{max} = \frac{-Q_r}{P_{max} - P_r} + \frac{Q_{max} - Q_r}{P_r}(P_{out} - P_r)$

当泵出口流量为 0 时,泵出口压力达到最大值,称其为变量泵理论最大供油压力 $P_{T,max}$;其表达式为

$$P_{T,max} = P_r + \frac{Q_{max} P_r (P_{max} - P_r)}{Q_{max} P_r - P_{max} (Q_{max} - Q_r)}$$

G_S 是用于等效供油量自动调节的液导,称其为变量泵供油量自动调节等效液导,其表达式为 $G_S =$

$\frac{Q_{\max}}{(P_{T,\max} - P_r)}$ 。上述局部等效液压管路的压力流量特性与变量液压泵在卸荷工作区的压力流量特性完全相同,称其为变量液压泵稳态仿真恒压源模型,简称为恒压源模型。

采用恒压源模型后,将变量泵入口 I 、出口 S 、回油口 L 作为节点,如图 3 所示,其流量平衡方程分别为:

$$I \text{ 点: } G_{KI}(P_K - P_I) + G_{KI}\Delta P_{KI} = G_S(P_I - P_S) + G_S P_{T,\max};$$

$$S \text{ 点: } G_S(P_I - P_S) + G_S P_{T,\max} = G_L(P_S - P_L) + G_{SJ}(P_S - P_J) + G_{SJ}\Delta P_{SJ}$$

$$L \text{ 点: } G_L(P_S - P_L) = G_{LM}(P_L - P_M) + G_{LM}\Delta P_{LM}。$$

2.3 两个模型的关系

恒压源模型和恒流源模型是同一个变量液压泵在不同工作区所采用的稳态仿真模型。在使用中一般先选用其中之一,若计算结果超出了其适用范围,则换用另一种模型。

3 结束语

使用变量液压泵的恒流源恒压源仿真模型,作者不仅对一些典型的系统进行了仿真计算,而且对几种型号的飞机起落架收放系统和平尾操纵系统进行了实例仿真计算,计算结果与实验结果一致。在仿真计算过程中,迭代收敛速度较快,并且无论初始流量怎样设定,都没有出现迭代不收敛的现象。实践表明:恒流源恒压源模型是一种实用的变量泵稳态仿真模型。

由于恒流源恒压源模型将变量液压泵等效为液导等组成的液压管路,稳态仿真过程中,液压泵与其它元件一样出现在系统回路中,系统仿真模型将成为一个完全闭合的回路,不仅提高了稳态仿真精度,而且为系统动态仿真提供了更理想的初始状态。

参考文献

- [1] 雷天觉. 新编液压工程手册[M]. 北京:北京理工大学出版社,1998.
- [2] 王喜明, 液压系统瞬态的计算机分析[D]. 西安:西北工业大学,1985.
- [3] HB5839-83. 变量液压泵通用技术条件(S).

(编辑:姚树峰)

Study on the Steady Analysis Model of Variable Displacement Hydraulic Pump

WANG Jian - ping, SHEN Yan - liang, LI Xiao - yong, CAO Ke - qiang
(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: This paper presents a new model of the steady state analysis of variable displacement hydraulic pump which is called the invariable pressure and invariable flow model. By the new model, a variable displacement hydraulic pump is simulated by the ordinary hydraulic component with hydraulic resistance, abrupt pressure change and invariable flow. The variable displacement hydraulic pump exists as an ordinary hydraulic component in the system and neednt to be simplified as a boundary point when a system model is established in analyzing the steady state characteristic of a hydraulic system.

Key words: variable displacement hydraulic pump; steady state simulation; model simulation