

飞机燃油系统仿真与试验研究

王京*, 鲁维

中国飞行试验研究院, 陕西 西安 710089

摘要: 本文基于Flowmaster 软件平台,以某型飞机燃油系统为研究对象,建立了飞机供输油系统的仿真模型,并进行了瞬态和稳态分析,得到了供输油特性的仿真计算结果,并与飞行试验结果进行对比分析,结果表明建立的供输油系统仿真模型能很好地模拟该型飞机燃油系统的供输油特性。

关键词: 飞机燃油系统; 飞行试验; 稳态分析; 瞬态分析

中图分类号: V228.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2014) 01-29-4

燃油系统在飞机上是一个非常庞大而且复杂的系统,由于燃油自身的黏性、管道的分布特性及元件特性的相互作用,使得燃油管路网络特性的研究变得非常复杂。传统的分析方法只能针对燃油系统的各个部分进行分段研究,而要针对完整的燃油系统进行建模分析,研究整个管道系统中压力和流量特性是否满足系统设计要求是十分困难的。随着对流动本质认识的深入、计算技术的不断提高和计算机速度及容量的突飞猛进,使得应用计算机对复杂流体系统管路进行研究成为可能^[1]。国外已成功开发出了先进的流体系统仿真软件Flowmaster^[2]。本文以某型飞机燃油系统为研究对象,运用Flowmaster仿真软件建立飞机燃油系统的仿真模型,并对其进行瞬态和稳态分析,得到了较好的仿真计算结果。

1 数值模型方法

运用Flowmaster仿真软件建立飞机燃油系统的仿真模型。Flowmaster软件是由英国FML公司开发的一种面向工程的一维流体管网系统解算工具。对于各种复杂的流体管网系统,利用该软件都可以快速有效地建立精确的系统模型,并进行完备的分析。Flowmaster的分析模块可以对流体系统进行稳态和瞬态分析,可以对可压缩流体和不可压缩

流体进行分析,也可对系统进行热传导分析。该软件基于流体网络计算的思想,已成功地运用于飞机的发动机燃油系统、液压系统、冷却系统、润滑系统^[3]。

应用Flowmaster进行流体系统稳态和瞬态分析的流程如图1所示^[4]。

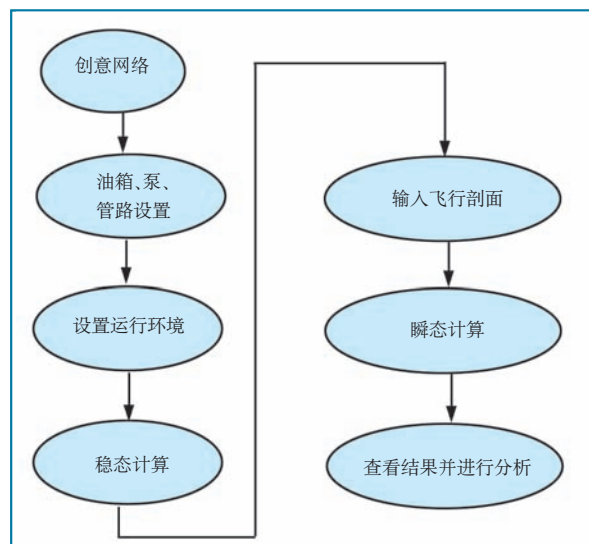


图1 流体系统稳态和瞬态分析流程图

Fig.1 Analysis flowchart for steady state and transient state study

收稿日期:2013-08-26; 录用日期:2013-10-03

基金项目:中国飞行试验研究院基金(ZNJJ-2013-007)

*通讯作者. Tel.: 029-86837285 E-mail: jingyu969@163.com

引用格式: WANG Jing, LU Wei. Simulation and test study for airplane fuel supply system[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(1): 29-32. 王京, 鲁维. 飞机燃油系统仿真与试验研究[J]. 航空科学技术, 2014, 25(1): 29-32.

2 系统建模

2.1 系统模型

某型飞机燃油系统由油箱、油泵、管道及控制附件等组成,其中油箱包括2个机翼油箱、1个前组油箱和1个后组油箱;油泵包括2个机翼输油泵、1个前组油箱输油泵和2个后组油箱供油泵,如图2所示。燃油系统工作时,由后组油箱中的2个供油泵向发动机供油,2个机翼油箱和前组油箱同时向后组油箱供油,以保证燃油消耗过程中飞机重心变化范围符合要求。

2.2 仿真模型

通过仿真软件Flowmaster所建的燃油系统整体简化模

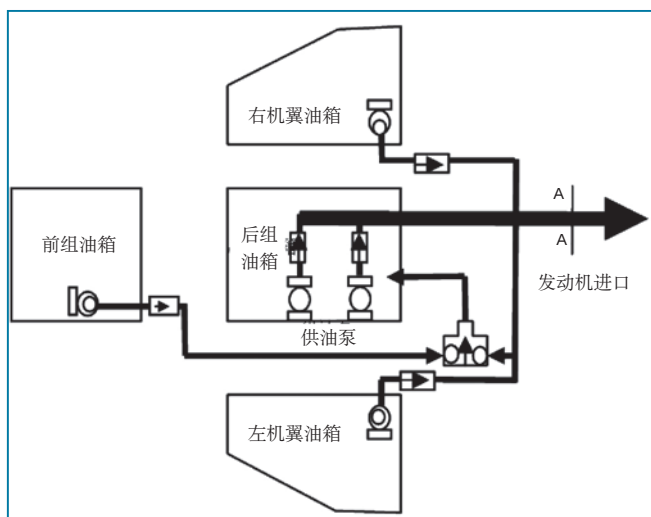


图2 燃油系统原理图

Fig.2 Schematic of fuel system

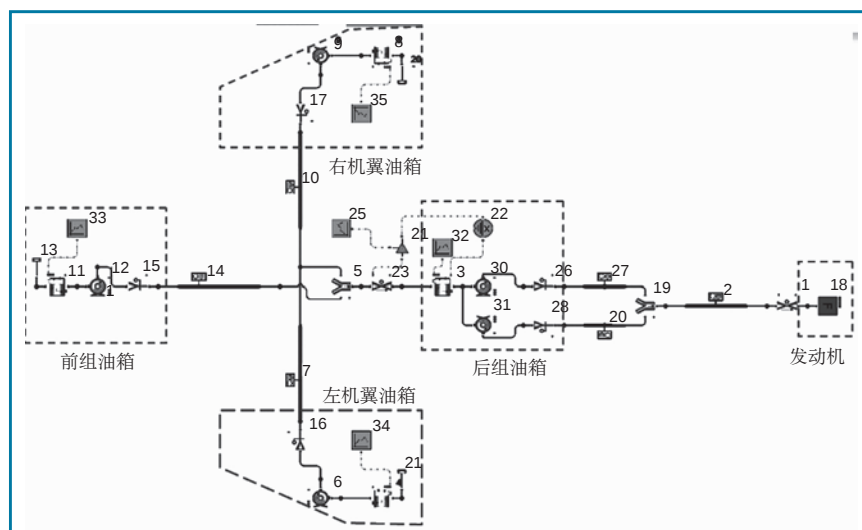


图3 供输油系统仿真模型

Fig.3 Simulation model of airplane supply system

型如图3所示,共包含35个元件,几乎涵盖了飞机燃油系统的所有基本功能附件,如油箱、泵、阀、弯管、三通以及各种边界的流量源等。

在Flowmaster软件所建模型中,2个机翼油箱和前组油箱的一端与零流量源相连,另一个端口通过单向阀、管道、三通和切断阀与后组油箱连通。后组油箱的出口通过2个供油泵输往发动机。通过控制元件、测量元件与阀门元件组合模拟控制阀门,通过控制阀门的开度对流入后组油箱的油量进行控制。以一个恒流量源部件作为发动机的简化模型。以RP-3作为发动机燃油,选用航空专用的管路元件材料。

3 仿真分析

飞机燃油系统仿真是结合飞行剖面数据、发动机状态、飞机外部环境来模拟燃油系统工作流程及状态,即在整个飞行过程中不仅要满足发动机入口流量、压力要求,同时按照一定的输油顺序将燃油由输油箱送到供油箱。同时将仿真结果与试验数据进行对比分析,仿真分析分为稳态分析和瞬态分析。

针对某型飞机燃油管路的分析,做以下设定及假设:

- 1) 忽略各个部件接口部分的管径稍小以及管路弯曲对整个系统模拟结果的影响;
- 2) 将发动机简化成一个质量源,通过设置流量源的流量值模拟发动机的油耗以代表不同的发动机状态;
- 3) 所有管路的粗糙度为0.0016mm。

3.1 稳态分析

在飞行高度为5000m,发动机处于巡航、最大和全加力三种不同状态时,对燃油系统仿真模型进行稳态分析,得到左、右供油泵出口压力仿真值和发动机进口压力值,并与飞行试验值进行对比,如表1所示。结果表明,通过Flowmaster软件仿真得到的供油泵出口压力值与试验值基本相同,证明所建的供输油系统仿真模型能很好的模拟该型飞机燃油系统的供油特性。

3.2 瞬态分析

利用图3所建的燃油系统供输油仿真模型进行瞬态分析,选取某一飞行试验剖面的发动机油耗数据作为仿真模

表1 仿真计算结果
Table 1 The simulation results

高度 /m	发动机 状态	左供油泵 出口压力/MPa		右供油泵 出口压力/MPa		发动机 进口压力/MPa	
		仿真	试验	仿真	试验	仿真	试验
5000	巡航	0.3018	0.3036	0.3018	0.3036	0.295	0.301
5000	最大	0.3017	0.305	0.3017	0.3050	0.294	0.301
5000	全加力	0.288	0.291	0.288	0.292	0.241	0.26

型的发动机油耗数据,分析时间为5000s,时间步长为1s。运行供输油系统的仿真模型程序,得到各油箱油量随时间变化规律,如图4所示。

由图4可知,仿真结果和飞行试验结果基本一致,后组油箱、左机翼油箱、右机翼油箱和前组油箱按照设定的顺序向发动机供油,满足设计要求,该仿真模型能很好的模拟该型飞机燃油系统的输油特性。由于仿真计算时对左、右机翼油箱设置相同,导致左、右机翼油箱油量变化曲线重合。前组油箱油量变化曲线相差较大,原因是仿真计算中没有加入飞行姿态的影响,发动机油耗的设定值和实际飞行试验中的发动机油耗值也存在一定的误差,导致最后仿真结果和实际飞行试验结果相差较大。

4 结论

以某型飞机燃油系统为研究对象,建立仿真模型,并利用Flowmaster对其进行稳态和瞬态分析。

1)稳态分析得到,发动机在不同状态下,左、右供油泵出口压力值和发动机进口压力值与飞行试验值误差很小;

2)瞬态分析得到,后组油箱和左、右机翼油箱的油量变化与飞行试验值相近,而前组油箱油量变化曲线相差较大,这是因为仿真计算时没有考虑飞行姿态的影响,发动机油耗的设定值和实际飞行试验中的发动机油耗值也存在一定的误差;

3)运用Flowmater软件建立的系统仿真模型能很好的模拟该型飞机燃油系统的供输油特性。

AST

参考文献

[1] 廖桔,曾绍全.基于Flowmaster的飞机燃油系统数字化仿真设计技术研究[J].航空工程,2007,(4): 21-27.
LIAO Ju, ZENG Shaoquan.Study on simulation for airplane fuel system basing on flowmaster [J].Aviation Engineering, 2007,(4): 21-27.(in Chianes)
[2] 李彦江,冯震宙,刘永寿.飞机燃油系统仿真分析研究[J].西安工业大学学报, 2008, (4):401-405.

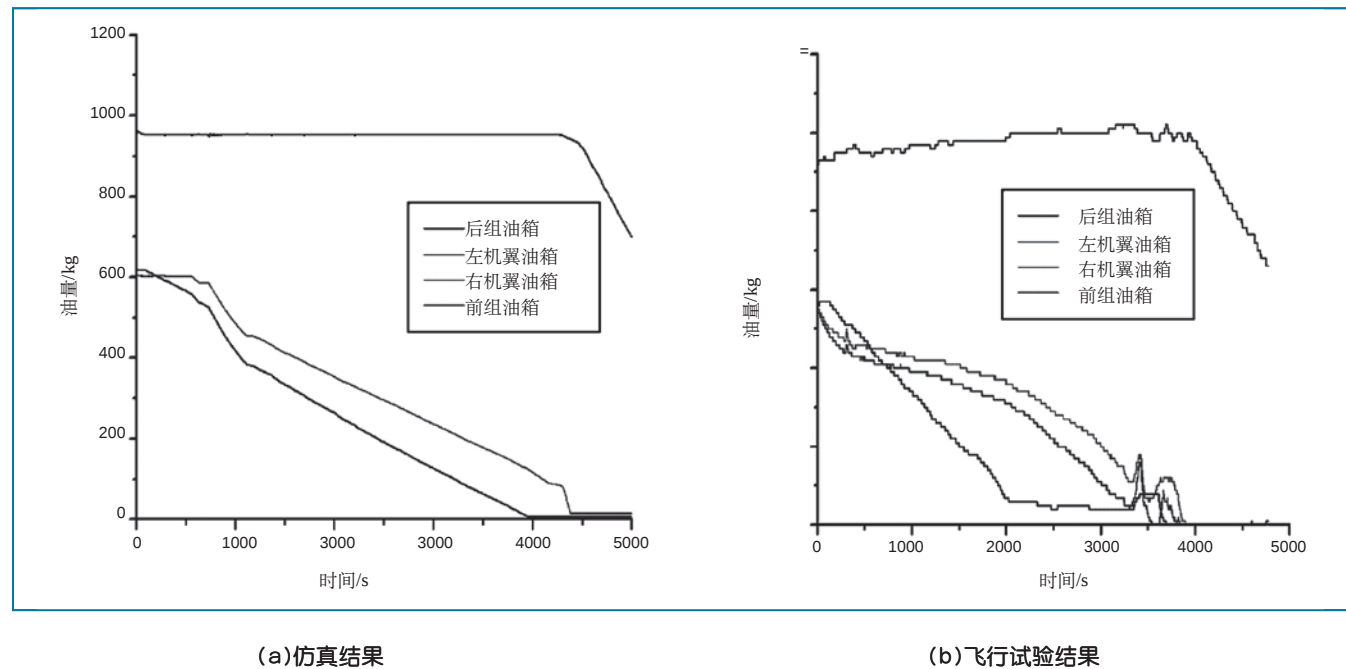


图4 各组油箱油量变化曲线
Fig.4 Fuel quantity of tanks as a function of time

- LI Yanjiang, FENG Yanzhou, LIU Yongshou. Study on simulation analysis for airplane fuel system[J]. Journal of Xi'an Technological University, 2008, (4):401-405. (in Chianes)
- [3] 蔡天赐, 祝小平, 周洲, 唐毅. 高空长航时无人机燃油系统设计与仿真[J]. 科学技术与工程, 2011, (13):2999-3003.
- CAI Tianci, ZHU Xiaoping, ZHOU Zhou, TANG Yi. The design and simulation of HALE UAV fuel system[J]. Science Technology and Engineering, 2011, (13):2999-3003. (in Chianes)
- [4] Flowmaster International Ltd Company. Flowmaster Instruction

V7.0[Z]. London England: Flowmaster International Ltd.

作者简介:

王京(1982-) 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 飞机燃油系统试飞。

Tel: 029-86837285

E-mail: jingyu969@163.com

鲁维(1984-) 女, 硕士, 工程师。主要研究方向: 电气工程及其自动化。

Simulation and Test Study for Airplane Fuel Supply System

WANG Jing*, LU Wei

Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China

Abstract: Whole aircraft fuel supply system model was established by Flowmaster and steady state and transient state for the system were analyzed, by compared to the flight test experiment result, the simulation model can describe the supply and transport mechanics behavior for the airplane fuel supply system very well.

Key Words: airplane fuel supply system; flight test; steady-state analysis; transient analysis

Received: 2013-09-26; **Accepted:** 2013-12-09

Foundation item. Foundation of China Flight Test Establishment(ZWJJ-2013-007)

* **Corresponding author.** Tel. 021-33226651 E-mail: zdw20030612@126.com