

# 基于AMESim的某型客机舵面液压系统仿真分析

## Simulation Research on Hydraulic System Rudders Based on AMESim

是贤珠 曹丹青 / 上海飞机设计研究院

**摘要:** 当某型客机飞控舵面作为液压能源系统的用户时, 应用AMESim仿真软件, 在相应的载荷作用下, 对液压系统所需压力、流量以及相关液压附件参数的设置进行分析, 并对舵面的仿真运动结果进行动画演示。

**关键词:** AMESim; 液压系统压力/流量; 舵面加载; 动画演示

**Keywords:** AMESim; hydraulic system pressure/flow; rudder loading; animation display

### 0 引言

AMESim是多学科领域复杂系统建模与仿真平台, 为工程师提供了一个协同系统仿真的软件环境。AMESim软件有2个标准库和28个专业库, 本研究中运用了AMESim的机械库、液压库、信号控制库和平面机构库。其中, 加入平面机构库进行联合建模, 主要用于满足仿真结果动画演示的需求。

### 1 液压系统建模与分析

主要针对液压系统流量负载如泵源、伺服阀、液压缸、舵面等开展初步分析研究。对飞机液压系统进行元件级至系统级压力流量建模, 液压系统模型简化思路如图1所示。



图1 液压系统简化模型图

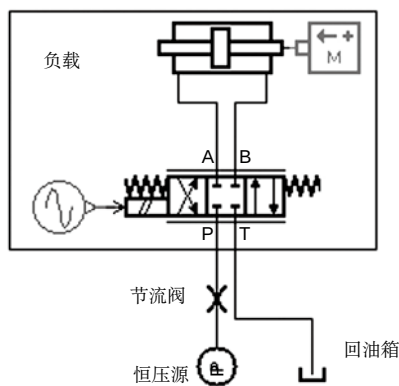


图2 泵源建模

泵, 出口压力设置为210bar(3000psi)进行仿真。根据系统流量需求, 为简化模型, 泵源模型由恒压源和节流阀组成。恒压源向系统提供恒定210bar压力, 节流阀既可形成压降, 又可以节流。泵源模型如图2所示, 泵源模块的仿真模型中各单元的参数设置如表1所示。

表1 泵源系统仿真模型设置各单元参数表

| 单元名称 | 参数    | 设计值 | 单位  |
|------|-------|-----|-----|
| 恒压源  | 压力值   | 210 | bar |
| 节流阀  | 阀开口直径 | 2.5 | mm  |
| 回油油箱 | 油箱压力  | 10  | bar |

#### 2) 负载模块

负载模块研究负载在相应载荷下, 在一定的时间和行程范围内运动所需流量。综合考虑液压系统原理, 忽略单向阀等辅助阀块带来的沿程损失, 可将大部分液压用户简化为传统的阀控缸模型。由于飞机各舵面液压工作原理相似, 以副翼为例说明。

由于飞机舵面作为液压系统用户, 并不需要验证其子系统的内部功能, 因此, 在用AMESim仿真软件建模时, 可简化飞控舵面模型。通过AMESim的机械模块和平面机构模块, 搭建如图3所示副翼模型。使用一个位移传感器组成位移反馈模块, 与输入载荷一起形成对作动器的闭环控制, 表2中的载荷以ASCII文件形式输入。液压缸与副翼的连接方式为转轴连接。阀为电控阀, 输入的信号通过控制阀的开口大小和开

口时间来控制流量的大小和流通时间。按伺服阀的控制电流和负载的运动特性设置信号源的幅值和时间。各单元参数设置如表3所示。

### 3) 飞行剖面

完整的飞行过程十分漫长,如果按照完整的飞行过程进行仿真,仿真时间将很长。为节约仿真时间、便于观察系统压力流量,取液压系统在飞行过程中所需流量最大的飞行剖面进行仿真,所需最大流量为13.77加仑/s,即52L/s。

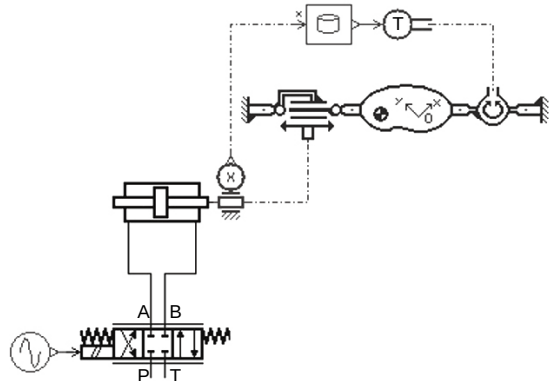


图3 副翼模块AMESim模型

表2 单块副翼舵面载荷要求(单位N·m)

| $\delta$ (°) | -20 | -15 | -10  | 0    | 10    | 15   | 20   |
|--------------|-----|-----|------|------|-------|------|------|
| $M_j$        | 161 | 121 | -100 | -821 | -1171 | -934 | -661 |

注: 1 舵面偏度方向以舵面后缘向下为正  
2 舵面加载精度为:  $\pm 10\%$ (FS)

表3 副翼模块参数设置表

| 单元名称        | 参数      | 设计值  | 单位    |
|-------------|---------|------|-------|
| 伺服阀<br>信号源  | 正弦波频率   | 0.05 | Hz    |
|             | 起始点     | 0    | null  |
|             | 振幅      | 20   | null  |
|             | 周相移动    | 180  | °     |
| 三位四通<br>伺服阀 | P到A最大流量 | 80   | L/min |
|             | T到B最大流量 | 80   | L/min |
|             | P到B最大流量 | 80   | L/min |
|             | T到A最大流量 | 80   | L/min |
|             | 压降      | 10   | bar   |
|             | 额定电流    | 20   | mA    |
|             | 响应频率    | 80   | Hz    |
| 液压缸         | 活塞直径    | 40   | mm    |
|             | 杆径      | 20   | mm    |
|             | 行程      | 0.12 | m     |
| 加载载荷        | 见表2     |      |       |

## 3 仿真结果分析

### 1) 泵源模块仿真分析

由于泵源采用恒压变量泵,在仿真过程中,泵源压力维持在210bar左右,流量随着负载的运动而变化,如图4所示,与铁鸟地面模拟试验时所测实际流量的误差小于10%。通过对比仿真结果与试验结果,证明仿真模型的建立和解算是正确可信的。

### 2) 负载(副翼)模块仿真分析

以副翼为例,进行负载模块的仿真分析。由图5可知,副翼在相应载荷下,

运动角度和运动时间满足系统实际工作要求。由图6可知,由于模型的复杂性和建模时处于简化计算等因素,理论上模型存在着一定误差,但理论计算的结果仍可用于飞机液压系统压力流量变化趋势的预测。

## 4 动画演示

AMESim仿真软件具有动画演示功能,在建模仿真的基础上加入平面机构模块,即可实现动画演示。以副翼为例,模型建好后,在相应载荷的作用下

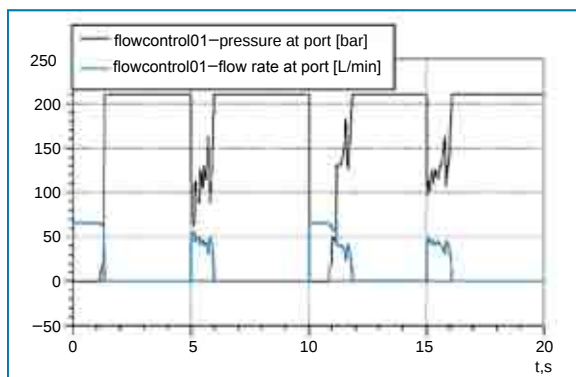


图4 泵源压力/流量-时间曲线

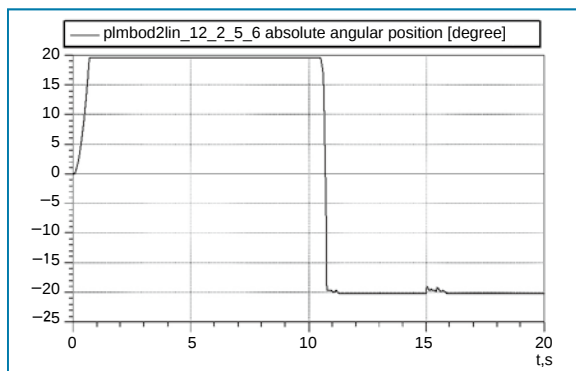


图5 副翼运动位移-时间曲线

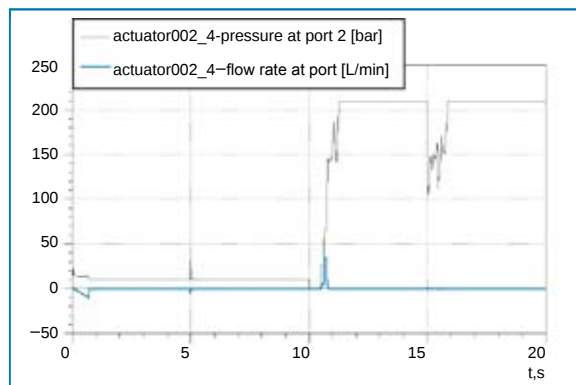


图6 副翼运动压力-流量曲线

绕固定转动轴在规定角度范围内做往复运动,液压缸和转动轴是固定的,设置其绝对坐标值,而副翼是运动的,设置其相对坐标值,绝对坐标与相对坐标必须联合设置,才能达到理想效果。在设置绝对坐标时,其值应大于液压

缸的行程范围,见图7和图8。设置副翼的相对坐标时,通过多次调试,发现在一定载荷下,X值的大小与副翼的运动模式有关,且X值的绝对值越小,副翼可运动的角度范围越大;Y值与运动方向有关,Y值的绝对值越大,其相应运动方向的角度值也越大。

副翼的相对坐标设置见图9。建模结束进入动画界面后,由于该软件中包含的三维动画模型较为简单,无法描绘复杂的三维模型,因此可先在CATIA软件中绘制较为复杂的三维模型,通过AMESim导入后调整模型的比例尺寸,使导入的CATIA模型尺寸与AMESim模型尺寸相匹配。最后将所需演示的仿真结果导入动画模型中,即可进行动画演示。图10为飞机舵面动画演示模型。

## 5 结论

1) AMESim具有超强的交互仿真能力。对液压系统进行仿真时,各元件的数学模型及其子模型中的参数设置起着决定性作用,对这些参数进行精确设置往往较为困难。因此,只有对AMESim帮助文档中各元件的注释和数学模型进行仔细研究,才能更好地理解各参数的真正含义。

2) 用AMESim建模进行液压系统压力流量分析时,可将复杂的模型简化,

虽然理论模型存在一定误差,但只要模型参数设置准确,误差范围可小于10%,且通过仿真结果与试验结果的对比,证明仿真模型的建立和解算是正确可信的。因此理论计算结果可用于预测飞机液压系统的压力流量变化趋势,对液压系统的设计有指导意义。

3) 用AMESim对仿真结果进行动画演示时,可与CATIA进行联合仿真来演示复杂的三维动画,但应注意模型比例和尺寸的设置。坐标值的设置对仿真结果产生直接影响,相对坐标下,载荷一定,X值的绝对值越小,机构可运动的角度范围越大;Y值绝对值越大,相应运动方向的角度值越大。绝对坐标与相对坐标必须联合设置,才能使仿真和动画演示达到理想的效果,是工程中系统理论模型展示的一种快捷准确的方式。

AST

## 参考文献

- [1] 付永领,祁晓野.AMESim 系统建模和仿真[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [2] 彭晓源.系统仿真技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [3] 李永堂,雷步芳,高雨苗.液压系统建模与仿真[M].北京:冶金工业出版社,2003.

## 作者简介

是贤珠,工程师,主要从事基于AMESim软件的某型飞机液压系统的建模和仿真分析。

曹丹青,研究员,主要负责某型飞机液压系统的设计和试验。

| Title                               | Value | Unit   | Name   |
|-------------------------------------|-------|--------|--------|
| absolute angular position of x axis | 0     | degree | theta  |
| absolute x position at port 1       | 3     | m      | xa1    |
| absolute y position at port 1       | 0     | m      | ya1    |
| artificial depth (Z) for animation  | -21   | m      | zdepth |

图7 液压缸坐标值

| Title                               | Value | Unit   | Name   |
|-------------------------------------|-------|--------|--------|
| absolute angular position of x axis | 0     | degree | theta  |
| absolute x position at port 1       | 3.3   | m      | xa1    |
| absolute y position at port 1       | 0     | m      | ya1    |
| artificial depth (Z) for animation  | -21   | m      | zdepth |

图8 转动轴坐标值

| Title                                     | Value    | Unit             | Name       |
|-------------------------------------------|----------|------------------|------------|
| artificial depth (Z) for animation        | 0        | m                | zdepth     |
| reference frame index                     | 0        |                  | findex     |
| use optional contour file                 | no       |                  | usecontour |
| coordinates reference                     | relative |                  | option     |
| initial absolute angular position         | 0        | degree           | theta0     |
| O: initial absolute x position            | 0        | m                | Ox         |
| O: initial absolute y position            | 0        | m                | Oy         |
| initial absolute angular velocity         | 0        | rev/min          | omega0     |
| O: initial absolute x velocity            | 0        | m/s              | Ovx        |
| O: initial absolute y velocity            | 0        | m/s              | Ovy        |
| G: x position                             | 0        | m                | Gxr        |
| G: y position                             | 0        | m                | Gyr        |
| x position at port 1                      | 0        | m                | xr1        |
| y position at port 1                      | 0        | m                | yr1        |
| joint relative angular position at port 1 | 0        | degree           | alpha1     |
| x position at port 2                      | -0.2     | m                | xr2        |
| y position at port 2                      | -0.07    | m                | yr2        |
| joint relative angular position at port 2 | 0        | degree           | alpha2     |
| mass                                      | 30       | kg               | m          |
| moment of inertia around Gz axis          | 0.01     | kgm <sup>2</sup> | inerti     |

图9 副翼坐标值

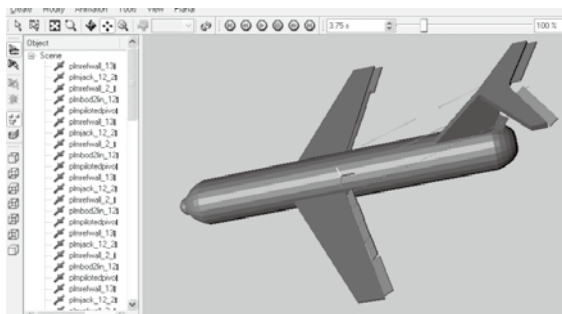


图10 飞机舵面动画演示模型