

# 起落架系统收放时间仿真及优化分析

## Dynamic Simulation and Optimum Analysis of Landing Gear Extension and Retraction System for Civil Aircraft

吴 双 王汉斌 / Wu Shuang Wang Hanbin

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

### 摘 要:

本研究的主要目标是建立起落架虚拟仿真分析系统,包括起落架机构、液压回路等主要模型。该系统充分考虑模拟起落架收放过程中的运行环境,完成以起落架收放系统正常收放功能、收放时间计算为检测指标的多系统耦合仿真分析,用以验证起落架收放系统的设计方案和关键参数,支持后续优化设计。

**关键词:**起落架;收放时间;联合仿真;优化设计

**中图分类号:**V226

**文献标识码:**A

[Abstract] The aim of this research is building landing gear dynamic simulation system, which includes landing gear and hydraulic system. The system could simulate normal extend and retract action of landing gear and compute the whole time with co-simulation. The design project and key-point parameter could be testified and optimized by computed results.

[Key words] landing gear; extend and retract time; co-simulation; optimum designs

## 0 引言

起落架系统一般采用传统的前三点式布局。它包括一个向前向上收起的前起落架和两个分别向内向上收起的左右主起落架,由单一的飞机液压源提供液压作动能源。

设定 15s 内的收上时间和 18s 内的放下时间要求(收放时间不包括舱门的打开和舱门的关闭),结合起落架系统详细设计的各种相关数据,开展起落架收放仿真分析,计算在现有起落架系统的设计参数下起落架系统的收放时间符合性,为验证和优化起落架收放设计方案提供依据。

## 1 系统工作原理

起落架收放系统正常工作时,当飞行员通过起落架控制手柄发出收放指令后,起落架收上过程如下:(1)起落架和舱门选择阀加电,舱门作动器开始作动并打开舱门。(2)在舱门打开后,通过作动开

锁作动器和收放作动器,起落架下位锁开锁,起落架收上。(3)起落架收上到位时,起落架上位锁上锁。(4)舱门作动器关闭舱门。(5)起落架和舱门选择阀断电到中立位置,所有压力管接通回油,释放压力。

起落架放下过程与起落架收上过程类似,不再赘述。在本文的仿真分析中,由于计算的起落架收放时间不包括舱门开启和关闭时间,且舱门机构和其他起落架机构是相对独立的运动,故建模时省略舱门机构。

## 2 建模仿真工具

### 2.1 Image. AMESim

Image. AMESim 是基于图形化建模环境的多领域一维仿真软件,带有多种领域的专业元件库,其中液压库中包含了大量常用的液压元件。该软件是目前应用最广泛的液压系统仿真工具,具备与许多三维多体动力学软件的联合仿真接口。本文以

AMESim 对某型飞机起落架收放的液压系统进行建模仿真与分析。<sup>[1]</sup>

## 2.2 Virtual. motion

Virtual. Motion 是 LMS 公司 Virtual. lab 平台中用于三维多体动力学仿真分析的工具,适合模拟机械系统的真实运动和载荷。它能够快速调用机构 CAD 模型,设置约束条件和作用力等参数后,即可方便的用于起落架收放机构的三维多体动力学仿真计算研究,并通过接口与液压相关部分的仿真软件进行联合仿真计算。<sup>[2]</sup>

## 3 系统建模与分析

### 3.1 分析内容

按照规定的仿真条件和输入参数,对收放系统的收放过程进行仿真分析,计算起落架的收上和放下时间,形成试验结果曲线;以规定的标准收上、放下时间作为输入,计算收放系统对液压能源系统的最大压力-流量需求。

### 3.2 分析过程

分别建立液压系统和机构模型,可通过联合仿真进行计算,集 AMESim 和 Motion 两者之所长作无缝连接的联合仿真,可以使系统模型计算结果更加可靠和精确。联合仿真接口提供力、位移、速度等参数的相互传递,AMESim 模型输出位移和速度的计算值,并得到作用力的反馈值。Motion 与之相反。

AMESim 和 Motion 的联合仿真可以采用 Co-Sim 和 Coupled 两种接口方式。

(1) Co-Sim 方式以 AMESim 为主,在 AMESim 中进行仿真过程控制(设置仿真时间、采样步长、算法等),仿真过程中,AMESim 与 Motion 各自计算,在规定的每个采样时间段内相互传递数据。

(2) Coupled 方式以 Motion 为主,在 Motion 中进行仿真过程控制,仿真过程中只调用 Motion 的求解算法进行计算(AMESim 不参与计算)。

本文采用 Coupled 方式联合仿真。一般来说,采用 Coupled 方式,仿真结果相对 Co-Sim 方式更加精确。

### 3.3 液压系统模型

采用 AMESim 软件建立起落架收放系统的液压回路模型,根据起落架收放系统的特点,前起落架收放液压回路和主起落架收放液压回路是相对独立的,可建立两个独立的模型系统。下文以主起落

架收放系统的液压回路模型为例,介绍建模思路和简化后的液压回路模型。

在建模中不考虑对于计算结果无明显影响的元部件和参数,如油滤、管路容积效应、液阻等;设置油液温度恒定为 20℃,即不考虑温度变化对系统带来的影响;选择恒压泵作为压力源,总进口油液流量不限制。建立的简化模型如图 1 所示。

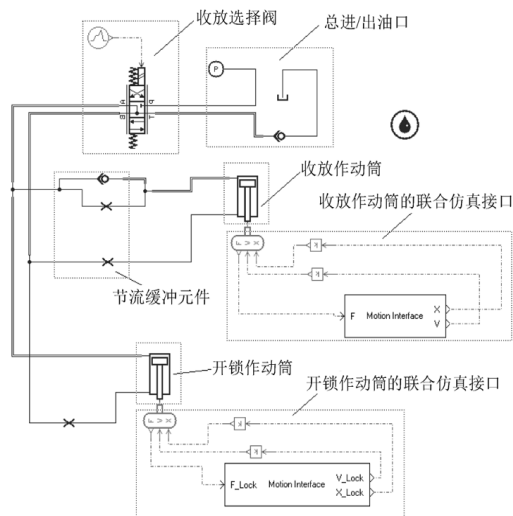


图 1 主起收放液压回路模型图

建好模型后,按照该飞机液压系统相关设计文件输入各种参数,如油液特性、进油/回油口压力,作动筒无杆/有杆腔直径、活塞杆直径、作动筒自由行程、选择阀各出口的最大开启面积、节流缓冲孔直径等。

### 3.4 起落架机构建模

起落架机构本身很复杂,本文主要研究内容只包括参与收放运动过程的主要零件,因此,与收放过程运动无关的零件都没有考虑建多体模型,如管路、弹簧、线缆等。

将所有需建模的机构零件的三维 Catia 数模直接导入 Motion,建立多体动力学模型;添加各零件关节之间的约束,运动副约束设置示意图如图 2 所示,其他零件间的连接均设为固定副约束。

运动副设置以后,按照设计参数设置重力为 1.0G、平均气动载荷力(支柱系统阻力对起落架转轴的力矩,以阻碍起落架收起为正,单位为  $N \cdot m$ )和预紧弹簧力,选定仿真算法和仿真时间;最后与 AMESim 联合仿真,以 AMESim 的力输出作为开锁作动筒和收放作动筒驱动力,进行起落架收放过程模拟。



图2 主起机构运动副约束示意图

## 4 仿真结果分析

仿真计算结束后,查看计算曲线,检验起落架收放机构收放时间是否符合设计要求。在主起落架收上过程中的作动筒行程-时间曲线如图3所示,所有的仿真参数为给定的设计参数,支柱转动到达收上上锁位置,时间约为8s,符合总体设计12s内的收上时间要求。

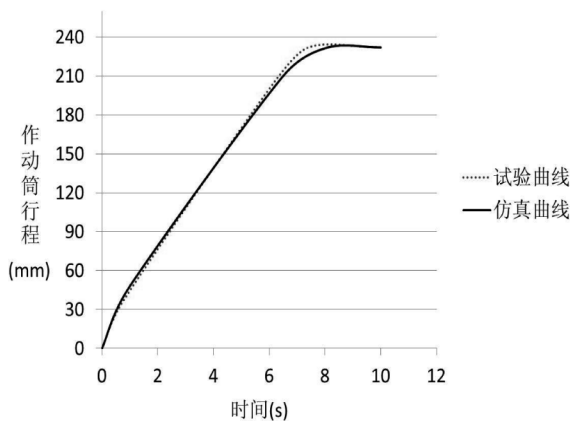


图3 作动筒行程-时间曲线

为验证起落架模型及计算结果的准确性,将仿真计算结果和同等条件下的物理试验结果对比,如表1所示。仿真计算结果和物理试验结果相对误差较小,说明仿真模型的建立和仿真方法都具有较高的可信度。

通过对关键参数在一定可选范围变化的方式进行批量仿真计算,找到符合设计值的最优化参数。例如调节收放作动筒入口前的节流孔大小,范

围2.6 L/min~3 L/min,分三次计算,每次减小0.2 L/min,即分别设置节流孔最大流量为3.0 L/min、2.8 L/min、2.6 L/min,得到图4的扭矩-转角曲线,可见在其他设定参数均不改变的情况下,通过减少节流孔的最大通油量,从而减小作动筒的液压油推力,收放动作更为平稳,但将会显著延长收放时间,权衡后可找到兼顾性能、安全性和经济性的理论最优设计参数。

表1 起落架仿真与试验结果对比

	收上时间	放下时间
仿真结果	7.90	10.30
试验结果	7.40	9.62
误差	6.8%	7.1%

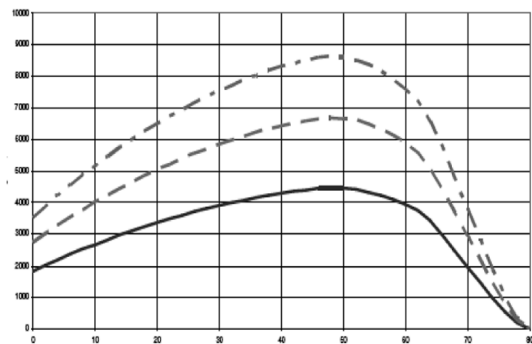


图4 主作动器扭矩-转角曲线

## 5 结论

通过该项目的研究,可实现起落架收放系统的主要运动机构的收放过程仿真,检测机构零部件的运动状态和有干涉情况,引入液压系统的模型计算起落架收放动作对于液压系统的压力、流量需求,实现对系统相关元部件选型和关键参数的分析和优化。本文模块化模型的设计方法便于灵活更新模型结构和修改参数,适用于多种型号的飞机起落架系统的方案验证和参数优化。

### 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, 2006.
- [2] 万晓峰, 刘岚. LMS Virtual. Lab Motion 入门与提高[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2010.