

民用飞机液压系统仿真设计与研究

李生兰*

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘 要: 民用飞机液压系统是飞机的主要能源系统之一,在飞机起飞和着陆过程中也发挥着重要的作用,液压系统的温度过高或过低都会对飞机的安全产生影响。针对民机液压系统在起飞爬升、巡航以及着陆过程中温度的变化过程,基于 AMESim 软件平台建立了民用飞机液压系统热特性模型,仿真分析了特殊天气条件下液压系统各关键点的温度。仿真结果表明:在高温天气工况下,随着时间的推移,液压系统各关键点的温度都会急剧升高,最高温度是壳体回油出口温度,为 80.4℃,泵入口的温度明显低于泵出口以及壳体回油温度;在低温天气工况下,液压系统在壳体回油处的温度达到了最高,约为 30℃左右,泵入口的温度及各用户的温度明显低于壳体回油温度,这一特性也为后续液压系统的温度包线设计提供了必要的支撑。

关键词: 液压系统;仿真分析;高低温

中图分类号: V233.91

文献标识码: A

OSID:



0 引言

液压系统是民用飞机重要的能源系统,在起飞、巡航和着落过程中,液压系统的温度起着至关重要的作用。根据中国民用航空规章 25 部 981(a),在可能由于燃油或其蒸气的点燃导致灾难性失效发生的燃油箱或燃油箱系统内的任一点不得有点火源存在,且必须符合以下条件:

(1) 确定燃油箱或燃油箱系统的最高温度低于预期燃油箱内或燃油的最低自燃温度,并留有安全裕度。

(2) 证实其内的燃油可能被点燃的每个油箱内,任何一处的温度不会超过本条(a)(1)确定的温度。如果某些部件的工作、失效或故障可能提高油箱内部的温度,则必须在每一部件所有可能的工作、失效和故障条件下满足本条^[1-3]。而飞机在起飞、巡航和着陆过程中液压系统各处的温度至关重要,温度偏高或偏低都会对飞机的安全产生影响。所以亟需建立一套较精确的液压系统热模型,以此

来预测液压系统温度包线,节省各类温度状况的试飞成本。

本文基于 AMESim 软件平台^[4-6]建立了系统级的热特性仿真模型,仿真分析了高低温天气条件下液压系统各关键点处的温度变化,仿真模型在一定程度上为后续液压系统包线设计提供了支撑。

1 民用飞机液压系统简介

民用飞机通常包含多套相互独立的液压系统^[7-8]。液压系统的主要工作原理是将发动机的机械能或者电源电能转化为液压能源,通过液压管路分配至各液压用户,驱动用户作动。典型的民机液压系统^[9-13]一般包含液压泵、液压油箱、蓄压器及油滤组件等。民机液压系统为各大用户输入液压能源,民机液压用户一般包含很多系统,如^[9-13]主飞行控制系统、高升力系统、起落架系统(如前轮转弯、机轮刹车、起落架等),还有其他如冲压涡轮地面收起等。

* 通信作者. E-mail: 5335104355@qq.com

引用格式: 李生兰. 民用飞机液压系统仿真设计与研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2024(3):95-99. LI S L. The simulation design of the civil aircraft hydraulic system[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2024(3):95-99(in Chinese).

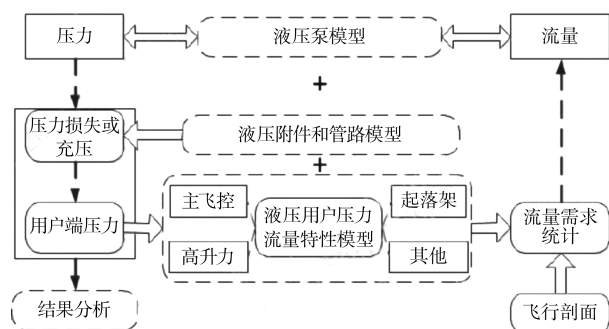


图 1 某民用飞机液压系统简化原理图

2 模型简化

液压油经过油滤和阀件产生的压降较小,因此忽略液压油经过油滤和阀件产生的节流损失生热;液压用户和液压泵的散热量相对较小,因此二者的散热特性可忽略不计;液压用户在液压能源系统的整个运行阶段中作动时间较短,故不考虑用户的机械损失生热,只考虑泄漏节流损失生热;在同一工况下不考虑泵的状态变化,即泵的机械损失和容积损失保持不变;不考虑压力脉动和气穴等。

3 相关元件和系统热力学模型

本文基于 AMESim 平台进行热分析建模,建模采用的元件均来自软件中的元件库。主要包括热液压库(thermal hydraulic)、信号控制库(signal control)等。液压泵基础模型如图 2 所示(其中端口 1 表示泵从油箱吸油,端口 2 表示泵输送给壳体回油的油液,端口 3 表示泵正常输出的油液)。

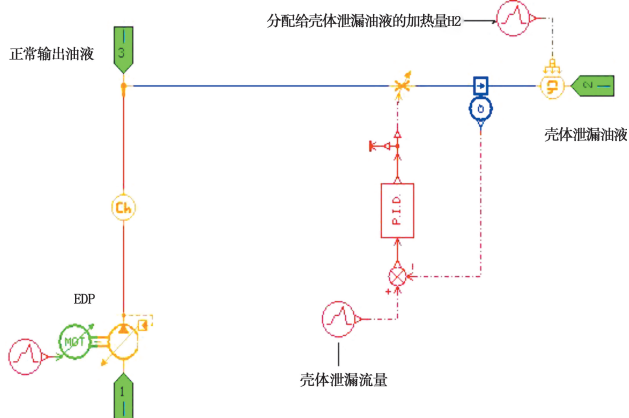


图 2 液压泵 AMESim 热特性模型

3.1 液压泵热特性建模

液压泵采用软件热液压库中的恒压变量泵进行建模。液压系统中液压泵是主要的发热设备,由于油液有压缩、机械损失、泄漏而产生功率损失,故会导致液压泵的温度上升(泵的效率损失主要分为容积功率损失和机械功率损失两部分)。

3.2 液压油箱热特性建模

液压油箱在整个民机液压系统中承担着储存油液和过滤油液的角色,除此之外,液压油箱与飞机外部环境之间有对流换热与辐射换热功能,故液压油箱也是民用飞机液压系统产热的重要设备之一^[14]。液压油箱建模采用软件液压元件设计库中的自增压油箱。液压油箱与外界通过对流和辐射进行热交换,由于油箱具有散热作用,油液经过油箱时温度降低,故进油口油液温度应高于出油口油液温度。液压油箱基础模型如图 3 所示(其中端口 1 表示压力油口,端口 2 表示回油口)。

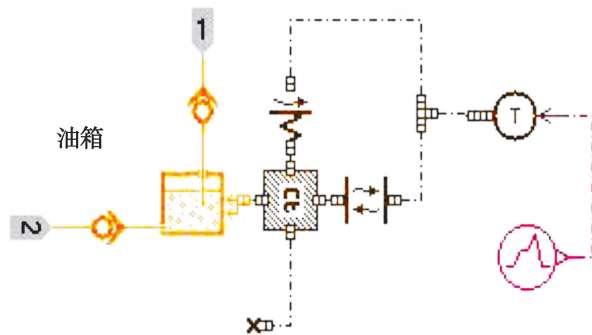


图 3 液压油箱 AMESim 热特性模型

3.3 液压管路热特性建模

由于民机液压系统中含有多种液压元件,液压元件间需要液压管路来连接发挥各自的功效。但液压管路的数量很多,长度也相对较长,导致庞大的液压管路对整个液压系统的温度变化影响大。当外部环境温度低于液压油温度时,周围环境会向油液环境吸收热量,与此同时,液压油本身的温度也会降低。因此,液压管路也是液压系统散热的主要元件^[14]。管路系统的热特性建模及传热过程如图 4 所示。在分析管路热特性时,需要考虑因管路所处位置的不同而导致的环境温度差异^[14]。

3.4 液压用户热特性建模

民用飞机液压系统中大量使用了作动筒。其发热原理与液压泵有着异曲同工之妙。液压用户

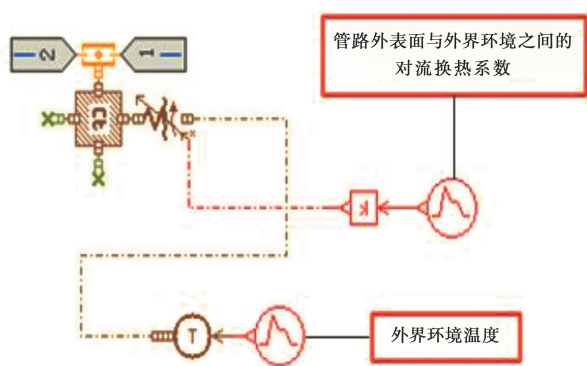


图4 液压管路 AMESim 热特性模型

产生热量的来源一般包含泄漏损失生热和机械效率损失生热。在搭建液压用户模型时主要考虑其容积特性(泄漏损失),忽略机械效率损失。热特性模型如图5所示(其中端口1表示流入液压用户的油液,端口2表示从液压用户输出的油液)。

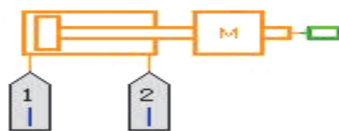


图5 作动筒 AMESim 热特性模型

4 特殊天气下液压系统热仿真分析

4.1 液压系统高温天气热特性仿真分析

建立了系统级仿真模型后,需要进行特殊天气下的热仿真特性研究。模拟某一特定高温天气下,飞机从地面到起飞时的工况。设置地面起始环境温度为一特定值,并设置泵的初始转速。图6和图7是模型仿真结果,分析仿真结果可知,系统各关键点的温度都会急剧升高,其中壳体回油温度最高,最大温度达到了80.4℃,泵入口的温度明显低于泵出口以及壳体回油温度。

4.2 液压系统低温天气热特性仿真分析

除了分析飞机液压系统在高温工况下的性能之外,还需要研究在低温工况下的温度特性。这种工况描述了飞机液压系统在冷天地面运行时的情形,整个运行过程飞机设备舱的温度假设为大气总温。设置起始气象环境温度为某一特定值,并设置泵的起始转速,图8和图9是模型仿真结果。分析仿真结果可知,整个系统在壳体回油处的温度达到了最高,约为30℃,泵入口的温度及各用户的温度

明显低于壳体回油温度。

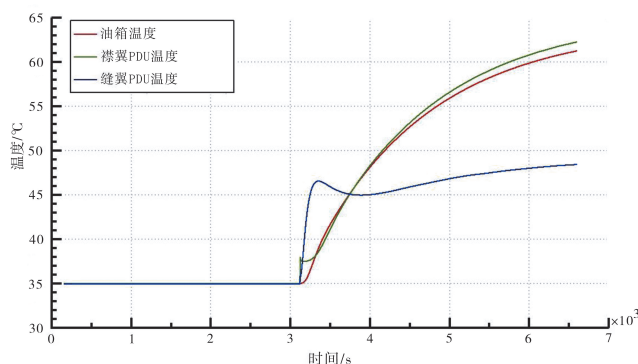


图6 高温地面工况下各关键点温度

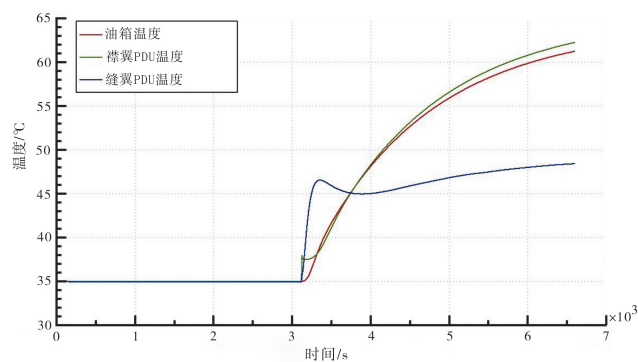


图7 高温地面工况下系统各元件处温度

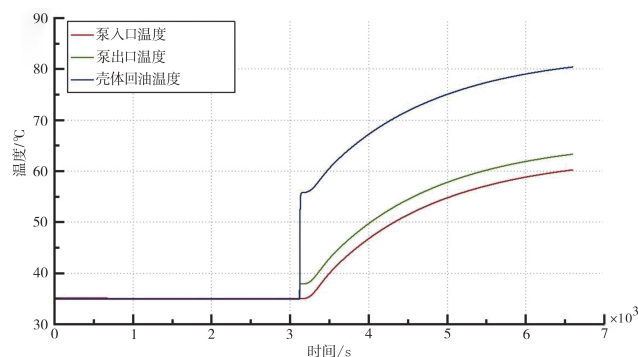


图8 冷天地面工况下系统各关键点温度

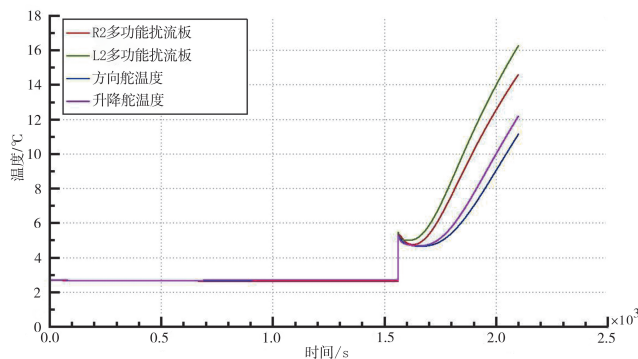


图9 低温地面工况下系统各关键点温度

5 结论

液压系统温度设计在民机设计过程中至关重要,温度过高会存在飞机燃油箱点燃的风险,从而引发起火危险甚至爆炸,威胁乘客生命财产安全。温度过低会影响飞机的正常运行。为了实现后续更严酷温度的预测以及温度包线的设计,本文搭建了液压系统温度模型,为民机液压系统温度设计与验证提供了工程保证:

1) 以某民机的液压系统为例,搭建了液压系统温度模型,模拟了高温环境条件下液压系统各关键点的温度预测。

2) 仿真模拟了低温环境条件下液压系统各关键点的温度预测。

在液压系统模型搭建完成及高低温工况分析后,后续需要采集多种工况下的试飞数据进行模型精确性验证,若多轮试飞数据验证后的模型较精确,即可用该模型预测液压系统的温度包线,进而为民机液压系统温度包线设计提供必要的支撑。

参考文献:

- [1] 张斌,岳鹏,薛勇,等. 民机燃油箱防爆闪电防护新适航要求研究[J]. 民用飞机设计与研究,2015(4): 31-35.
- [2] 雷延生,王澍. 基于 FAA 适航要求的飞机燃油箱防爆技术研究[J]. 民用飞机设计与研究,2011(3): 23-27.
- [3] 李大海. 浅谈民用飞机燃油箱点火源防护适航条款[J]. 科技视界,2017(7):269-270.
- [4] 秦家升,游善兰. AMESim 软件的特征及其应用[J]. 工程机械,2004(12):6-8.
- [5] 吴思. 民机液压系统安全阀下游回油管路动态压力分析[J]. 民用飞机设计与研究,2021(2):79-83.
- [6] 余佑官,龚国芳,胡国良. AMESim 仿真技术及其在液压系统中的应用[J]. 液压气动与密封,2005(3): 28-31.
- [7] 王锴,赵天菲,朱莹. 民用飞机液压能源系统可靠性分析[J]. 液压与气动,2015(8):20-25.
- [8] HE M L, XIANG X D, GUO Y L. New approach on system reliability distribution by component importance in FTA[J]. Safety and Environmental Engineering, 2009, 16(4):62-65.
- [9] 杜瑞,许峰. 大型民用飞机起落架应急断离分析与仿真[J]. 机械设计与制造工程, 2014,43(12):38-42.
- [10] 杨化龙. 民用飞机液压系统液压油渗漏维护[J]. 中国科技信息,2017(12):21-22.
- [11] 杨华勇,丁斐,欧阳小平,等. 大型客机液压能源系统[J]. 中国机械工程,2009,20(18):2152-2159.
- [12] 张瑞华. 民用飞机液压系统对 CCAR25. 981 条款的适航符合性验证研究[J]. 装备制造技术,2017(7): 168-169,178.
- [13] 胡晓青,于文家,王毓柱. 飞机液压系统建模与仿真研究[J]. 机电信息,2023(9):30-33.
- [14] 王宽,黄喜平,王鸿鑫. 基于 AMESim 的大型飞机液压能源系统热特性仿真分析方法[J]. 流体传动与控制,2016(3):23-27.

作者简介

李生兰 女,硕士,工程师。主要研究方向:液压系统热仿真。E-mail: 5335104355@qq.com

The simulation design of the civil aircraft hydraulic system

LI Shenglan *

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

Abstract: Within the complete temperature envelope of the aircraft, it is necessary to ensure the temperature safety of the hydraulic system and eliminate hidden dangers. This article establishes a thermal characteristic model of the aircraft hydraulic system in AMESim through simulation methods. The temperature of each critical point of the hydraulic system under special weather conditions was simulated and analyzed. Under the condition of high temperature weather, with the passage of time, the temperature of each key point of the hydraulic system will rise sharply, the highest temperature is the shell oil return temperature, which is 80.4 °C, the temperature of the pump inlet is significantly lower than pump outlet and the shell oil return temperature, in the low temperature weather conditions, the temperature of the hydraulic system in the shell oil return has reached the maximum, about 30 °C, the temperature of the pump inlet and the temperature of each user are successively lower than the shell oil return temperature, and this characteristic provides strong support for the temperature envelope design of the subsequent hydraulic system.

Keywords: hydraulic system; simulation and analysis; high or low temperature

* Corresponding author. E-mail: 5335104355@qq.com