

多轮系多支柱飞机刹车压力 控制系统谐振问题研究

王红玲¹, 田广来¹, 付龙飞¹, 刘劲松², 强刚², 赵文庆²

(1. 西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072; 2. 西安航空制动科技有限公司, 陕西 兴平 713106)

摘 要:多轮系多支柱飞机刹车液压管路振动不仅影响刹车系统的工作性能及寿命,还将严重影响飞机的飞行着陆安全。在首次飞行前,必须对其刹车液压管路系统进行振动机理分析。采用压力控制系统流固耦合分析的方法,通过仿真确定振动发生机理,并将实测结果与仿真结果比较,获得多轮系多支柱飞机刹车压力控制系统谐振的关键参数。为减小刹车系统振动耦合,避免谐振现象提供便捷、可靠的解决途径和措施。

关 键 词:多轮系多支柱飞机,飞机刹车系统,谐振,流固耦合

中图分类号:V219

文献标志码:A

文章编号:1000-2758(2014)04-0646-05

大型军用运输机、民航客机的大载荷使得飞机液压系统愈向高速、高压和大功率的方向发展^[1]。大飞机采用的多轮系多支柱起落架布局以及刹车压力控制系统方案,使得此类飞机的刹车系统更加庞杂。压力控制元件的技术以及系统和元件的耦合性使得系统谐振问题成为一项主要研究课题^[2-3]。多轮系多支柱飞机刹车液压管路系统谐振不仅影响刹车系统的工作性能及元件使用寿命,还将严重影响飞机的飞行着陆安全。

1 谐振机理分析

1.1 振源分析

流体管路系统振动是由流体的压力脉动引起的,而流体的压力脉动主要是流量脉动在系统存在阻抗时产生的^[4-5]。在液压系统中,产生流量脉动的主要根源有2类:①液压泵;②执行机构、控制元件及负载。在刹车液压管路系统中,压力控制阀的控制腔室压力变化和刹车液压缸的负载变化都有可能成为产生振动的原因^[5-7]。

1.2 管路流固耦合机理分析

飞机液压系统管路是一种输流管道系统,具有

管道细长、管壁薄、支承点少、支承基础刚性小和承受载荷大等特点,其流固耦合振动研究一直是人们关注的焦点^[8-9]。输流管流固耦合作用的机理主要有3种:摩擦耦合、泊松耦合、连接耦合,从作用机理而言,摩擦耦合和泊松耦合是管道系统固有的、整体的动力学行为,连接耦合是管道系统的局部行为。

1.3 刹车压力控制系统流固耦合分析

刹车压力控制系统的振动问题,是压力控制元件和刹车系统管路共同作用的振动,是一种典型的流固耦合振动^[3]。液压系统工作流速变化会引起压力波在管路内的传递,如果瞬时流速变化较大,压力波的传递使得液压管路的压力波动峰值加大,这样的波动又会引入刹车压力控制元件,对刹车压力控制元件造成影响,同时压力控制元件的工作又反过来影响管路压力波的状态^[4,10]。

为了减小由压力控制阀及负载引起的压力脉动,可以从2个方面来解决:

1) 改进刹车压力控制阀的特性,例如增加其阻尼,并降低对刹车压力以及回油压力波动的敏感性等;

2) 改进系统管路特性,例如加装节流装置,增大管路压力波动衰减等。

收稿日期:2013-11-03

作者简介:王红玲(1978—),女,西北工业大学博士研究生,主要从事飞机刹车控制系统及其相关刹车附件研究。

2 刹车压力控制系统振动的仿真分析

利用 Advanced Modeling Environment for performing Simulation of engineering systems (AMESim) 仿真软件构建了刹车压力控制系统的仿真模型,并进行动、静态特性仿真^[11-12]。刹车压力控制阀以超级元件的形式出现在模型中,如图1所示。

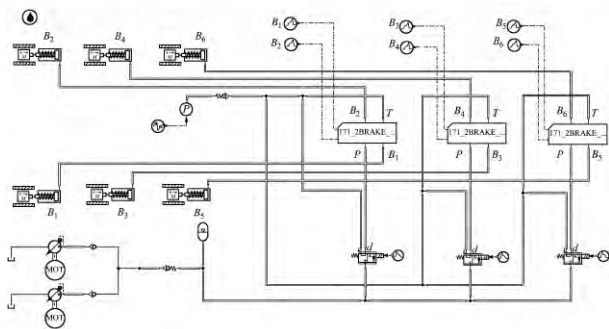


图1 刹车系统仿真模型

根据图1的仿真模型,将控制阀的输入电流信号作为控制量,将刹车装置的输出压力作为观察量,进行刹车系统的频率特性仿真。图2为其仿真曲线,幅频在(-3 dB)时频率为16 Hz,相频在(-90°)时频率为10 Hz。图3为实测的刹车压力控制阀频响特性,幅频在(-3 dB)时频率为11 Hz,相频在(-90°)时频率为21 Hz。在仿真和测试时,阀的刹车控制端通过一个8通径的硬管连接至刹车装置。

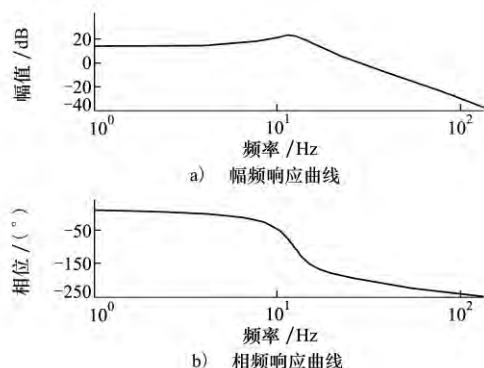


图2 频率特性的仿真曲线(带刹车装置)

在系统的回油管路上引入一个回油背压的干扰信号,仿真表明若系统背压存在波动,刹车压力控制阀的输出压力会随之产生波动,见图4。

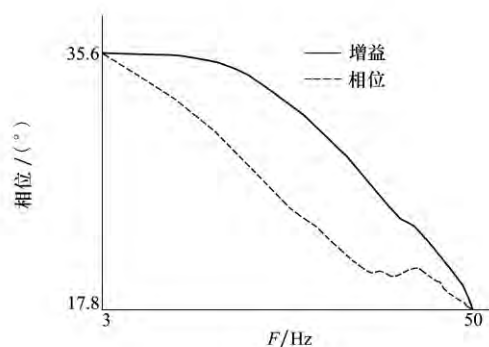


图3 频率特性实测波特图(带刹车装置)

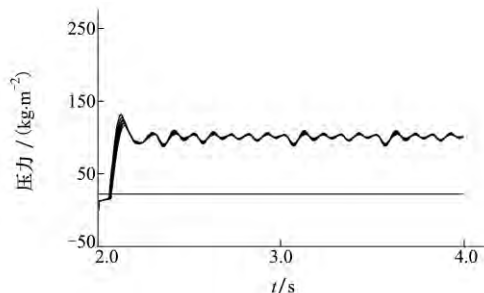


图4 背压波动时的刹车压力波动情况

3 仿真分析结果

仿真分析表明在系统回油背压存在扰动时,刹车控制阀的输出压力将直接受其影响,产生波动,从而引发系统谐振。系统回油背压对刹车控制阀的影响主要有2个方面:

1) 液压放大器:液压放大器的恢复压力和输出效率主要受到供油压力和回油压力的影响,刹车控制阀的液压放大器为半桥型工作方式,根据试验分析回油背压增加时,先导级的输出压力随之增加;

2) 功率级滑阀:回油背压直接参与功率级滑阀的阀芯力平衡,根据受力分析,回油背压增加时,将引起刹车腔的输出压力减小。

4 改进方案措施

为减少回油背压的影响,从以下2个方面考虑对控制阀进行设计改进:

1) 考虑回油背压对射流放大器的影响,将射流放大器的控制方式由半桥型改为全桥型,即利用射流放大器的压差特性^[8]。回油背压波动时,射流放大器及刹车控制阀先导级的输出压力保持恒定;

2) 考虑回油背压对功率级滑阀的影响,更改功率级滑阀的结构形式,将分离式阀芯改为整体式阀芯,以免分离式阀芯串动;

3) 将功率级反馈面积比更改为 $C = 2.56$,减少功率级的压力增益,减小回油压力对滑阀的影响;

4) 将刹车控制阀进行分离,各阀接独立的进、回油管,避免各控制阀之间相互影响。

5) 在先导级组件回油口处增加回油节流孔,能减小回油背压波动对射流放大器的影响,进一步提高稳定性。且实施方便,对系统无影响。

落实改进方案产品试验台架上进行试验,试验结果在台架试验较改前谐振现象明显改善。

5 改进方案仿真分析

对刹车压力控制阀改进方案进行了仿真分析。图 5 为刹车压力控制阀改进方案的仿真模型。

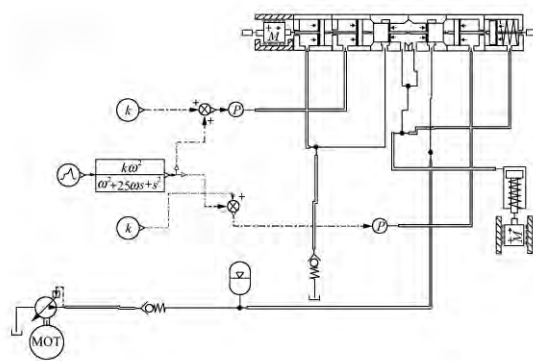


图 5 改进方案的仿真模型

管路选择为计算流体动力学 (computational fluid dynamics, CFD) 子模型^[5]进行了仿真计算:

1) 刹车管: 8 mm/6 m; 回油管: 12 mm/6 m/6 bar; 刹车阀: 100 Hz/0.4。仿真结果如图 6、图 7 所示;

2) 刹车管: 8 mm/6 m; 回油管: 12 mm/12 m/6 bar; 刹车阀: 100 Hz/0.4。仿真结果如图 8、图 9 所示。

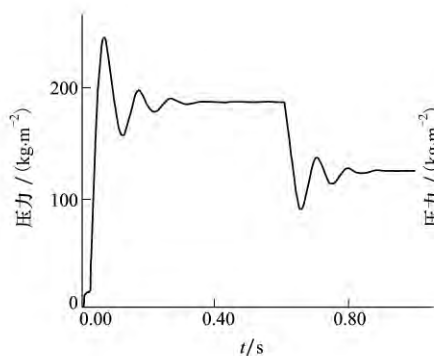


图 6 刹车装置处压力

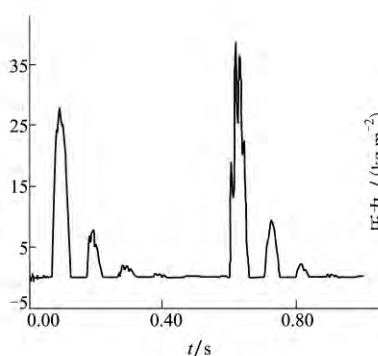


图 7 刹车阀回油压力

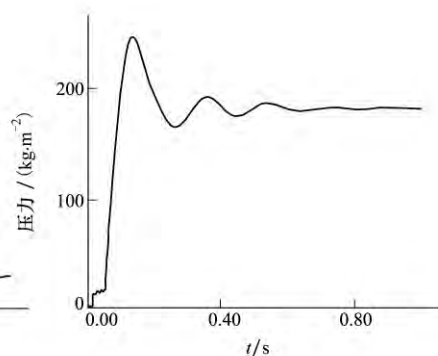


图 8 刹车装置处压力

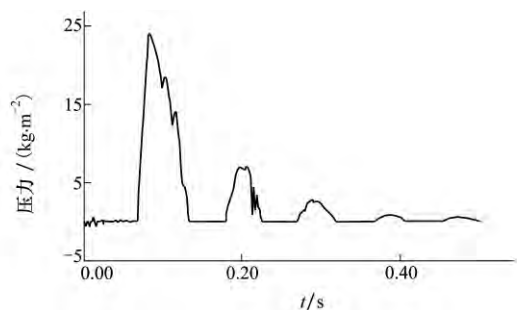


图 9 刹车阀回油压力

分析表明,在相同的条件下,刹车控制阀改进方案未出现压力波动,表明改进方案抗谐振的能力强于改进前。

6 结 论

刹车系统液压管路谐振是由刹车系统管路压力振动同刹车系统压力控制元件引起的压力振动共同引起的,是一种典型的流固耦合振动。

本次研究通过改变刹车压力控制阀的结构解决了液压管路谐振问题,具体的改进措施为前置级射流放大器由单接收器驱动控制改为双接收器差压驱动控制、滑阀功率级将分离式阀芯改为整体阀芯结构、双阀分离共用一个底座。改进后可以提高力矩马达及功率级的压力稳定性,减小振动耦合,避免谐振

现象。

参考文献:

- [1] 李玉忍,马瑞卿,薛晶,等. 飞机防滑刹车系统的变结构控制研究[J]. 西北工业大学学报, 2008, 26(6): 752-755
Li Yuren, Ma Ruiqing, Xue Jing, et al. On Variable Structure Control of Aircraft Anti-Skid Braking Systems[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2008, 26(6): 752-755 (in Chinese)
- [2] 吴华伟,陈特放,胡春凯. 飞机刹车制动引起的谐振解决措施[J]. 航空精密制造技术, 2012(02): 50-53
Wu Huawei, Chen Tefang, Hu Chunkai. Solutions of the Resonance Caused by Aircraft Braking[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2012(02): 50-53 (in Chinese)
- [3] 高锋. 飞机液压系统泵-管路振动特性研究[D]. 杭州:浙江大学, 2013
Gao Feng. Investigation into the Vibration Characteristic of the Pump and Connected Pipeline in the Aircraft Hydraulic System [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013 (in Chinese)
- [4] 魏小辉. 飞机起落架着陆动力学分析及减震技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2005
Wei Xiaohui. Dynamic Analysis of Aircraft Landing Impact and Vibration Attenuating Techniques [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2005 (in Chinese)
- [5] 张伟伟. 基于CFD技术的高效气动弹性分析方法研究[D]. 西安:西北工业大学, 2006
Zhang Weiwei. Efficient Analysis for Aeroelasticity Based Computational Fluid Dynamics [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2006 (in Chinese)
- [6] Liang Bo, Li Yuren, Li Rensuo. Research on Simulation of Aircraft Electro-Hydrostatic Actuator (EHA) Anti-Skid Braking System[J]. Journal of Computers, 2011, 6(12): 2668-2674
- [7] Park K, Lim L. Wheel Slip Control for ABS with Time Delay Input Using Feedback Linearization and Adaptive Sliding Mode Control[C]//Conferences on Control, Automation and System, Korea, 2008: 290-295
- [8] 常飞,何永乐. 基于飞机刹车振动问题的研究[J]. 装备制造技术, 2013(01): 119-121
Chang Fei, He Yongle. Based on the Aircraft Brake Vibration Research[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2013(01): 119-121 (in Chinese)
- [9] 姚念奎. 串列多支柱主起落架布局飞机的起飞载荷研究[J]. 飞机设计, 2009(04): 26-30
Yao Niankui. Take-off Ground Loads For Aircraft Main Landing-Gear with Tandem Multiple Struts[J]. Aircraft Design, 2009 (04): 26-30 (in Chinese)
- [10] 付龙飞,田广来,李玉忍,等. 反馈线性化飞机防滑刹车滑模变结构控制律研究[J]. 西北工业大学学报, 2013, 31(6): 962-966
Fu Longfei, Tian Guanglai, Li Yuren, et al. Designing an Effective Sliding Mode Variable Structure Control Law with Feedback Linearization of Aircraft Anti-Skid Braking System[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2013, 31(6): 962-966 (in Chinese)
- [11] 石晓朋,李曙林,杨哲,等. 机轮刹车振动破坏的仿真分析及优化设计[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2011(03): 20-23
Shi Xiaopeng, Li Shulin, Yang Zhe, et al. Simulation Analysis and Optimization Design on the Vibrant Break of Airplane Wheel [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2011(03): 20-23 (in Chinese)
- [12] 晋萍,聂宏. 起落架着陆动态仿真分析模型及参数优化设计[J]. 南京航空航天大学学报, 2003, 35(05): 498-502
Jin Ping, Nie Hong. Dynamic Simulation Model and Parameter Optimization for Landing Gear Impact[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2003, 35(05): 498-502 (in Chinese)

Study on Resonance of Braking Pressure Control System of Multi-Wheel and Multi-Strut Aircraft

Wang Hongling¹, Tian Guanglai¹, Fu Longfei¹, Liu Jinsong²,

Qiang Gang², Zhao Wenqing²

(1. Department of Automatic Control, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)
(2. Shaanxi Hua Xing Aviation Wheel & Braking System Co. Ltd., Xi'an 713106, China)

Abstract: The vibration hydraulic line in aircraft braking system with multi-wheels and multi-struts not only affects the work performances and life of the system but also affects the landing safety or accident prevention of aircraft landing system seriously. The mechanism of vibration should be tested and analyzed on hydraulic line before maiden flight. We carry out the analysis method based on fluid-structure coupling for aircraft braking pressure control system. We ascertain the mechanism of vibration by means of simulation and key parameters controlling resonance are acquired through the comparison of the measured results with simulation results. A convenient way and reliable measure is proposed for the sake of reducing vibration coupling and avoiding resonance phenomenon.

Key words: accident prevention, aircraft landing, braking, flow rate, resonance, vibration, fluid-structure interaction

2012、2013、2014 上半年两年半《西北工业大学学报》的学术面貌

(一)

《西北工业大学学报》的学术面貌似可定性定量地用重要的 Ei 主题词两年半出现的个数及每个主题词出现的篇数来描述。两年半出现了 560 个 Ei 主题词, 本来大大超过 2012、2013 两年的 577 个, 但删去了一部分 2000 年以前出现在 2 篇以下的 Ei 主题词, 反而略低于 577 个, 其中 228 个是 21 世纪才出现的。重要的 Ei 主题词似为 31 个 21 世纪才出现的及 20 个 2000 年以前已出现的, 31 个词每个词都在 5 篇以上出现, 20 个词每个词都在 25 篇以上出现。

(二) 31 个在 5 篇以上两年半《西北工业大学学报》论文出现的 21 世纪主题词

41 篇 1 个: MATLAB。24 篇 1 个: unmanned aerial vehicles (UAV)。16 篇 1 个: constrained optimization。15 篇 2 个: controllers, flow fields。12 篇 1 个: reliability analysis。11 篇 4 个: computational efficiency, sliding mode control, target tracking, turbulence models。9 篇 3 个: mesh generation, particle swarm optimization (PSO), wireless sensor networks。8 篇 6 个: attitude control, flight control systems, hypersonic vehicles, image fusion, multiobjective optimization, support vector machines。7 篇 4 个: autonomous underwater vehicles, drag reduction, parameterization, variable structure control。6 篇 2 个: drag coefficient, quality of service。5 篇 6 个: cost functions, global optimization, orthogonal frequency division multiplexing, lift drag ration, pulse detonation engines, unmanned vehicles。

(三) 20 个在 25 篇以上两年半《西北工业大学学报》论文出现的 2000 年以前 (含 2000 年) 已出现的 Ei 主题词

129 篇 1 个: mathematical models。117 篇 1 个: algorithms。116 篇 1 个: computer simulation。103 篇 1 个: efficiency。96 篇 1 个: design。64 篇 2 个: calculations, schematic diagrams。57 篇 1 个: experiments。53 篇 1 个: optimization。43 篇 2 个: errors, models。35 篇 2 个: computer software, numerical methods。34 篇 1 个: finite element method。30 篇 3 个: computational fluid dynamics, control, stability。27 篇 1 个: flowcharting。26 篇 1 个: aircraft。25 篇 1 个: Navier Stokes equations。

胡沛泉
2014 年 8 月