

考虑艇身弹性的起落装置着陆仿真分析

顾文华, 穆媛

(中国特种飞行器研究所, 湖北 荆门 448035)

摘要: 目的 研究软式飞艇着陆时, 艇身弹性对起落装置的影响。方法 建立软式飞艇艇身和起落装置的等效模型, 并在 LMS 仿真平台中建立虚拟样机, 仿真出考虑艇身弹性时起落装置着陆的动态响应。结果 仿真结果显示出弹性艇身能够起到吸收和耗散能量的作用, 减轻着陆时起落装置的过载和回弹次数。结论 艇身弹性可以降低起落装置载荷, 延长起落装置寿命, 增加飞艇的安全性。

关键词: 弹性艇身; 飞艇; 起落装置; 虚拟样机; 动态响应

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.05.014

中图分类号: TJ83; V274

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)05-0060-04

Landing Simulation of Landing Gear with Flexible Fuselage

GU Wen-hua, MU Yuan

(China special Vehicle Research Institute, Jingmen 448035, China)

ABSTRACT: **Objective** To study influences of flexible fuselage on landing gear when a blimp airship lands. **Methods** An equivalent model of blimp airship with landing gear and flexible fuselage was established. An airship model with flexible fuselage using virtual prototype was applied in LMS simulation platform. Dynamic responses in landing of landing gear were simulated when the flexible fuselage was considered. **Results** Flexible fuselage was able to contribute to absorbing energy of shock absorber, alleviating overload and reducing rebound times during landing appropriately. **Conclusion** Flexible fuselage can decrease the burdens on landing gear, extend the life of landing gear, and improve the safety of the airship.

KEY WORDS: flexible fuselage; airship; landing gear; virtual prototype; dynamic response

飞艇起落装置是飞艇重要的承力部件, 不具有操纵特性, 但在飞艇着陆、地面牵引和锚泊过程中发挥着重要的作用。目前, 对飞艇起落装置进行动力学分析时, 都是假设艇身为刚体, 这也是目前国内外研究工作中普遍采用的简化方法^[1], 这会对分析结果造成误差^[2]。随着现代飞艇的发展, 特别是中大型飞艇, 仅仅依靠传统方法不能设计出最优的起落装置。

在机身柔性对起落装置设计的影响研究方面, 国内外有很多成果。国内, 史友进等通过对缓冲器引入智能半主动控制, 以解决机体储能着陆功耗耗效率低的难题, 认为起落架的结构设计有必要考虑机体弹性^[3-4]。刘冲冲、牟让科等通过 LMS 仿真平台仿真

分析发现, 柔性机身能够降低着陆载荷峰值, 使功量图更平缓^[5-6]。廖丽涓、贾玉红等通过在 ADAMS/Aircraft 仿真发现弹性机体能起到吸收和耗散能量的作用, 提高起落架缓冲器效率的作用, 延长起落架寿命^[7]。国外, Baluch H A, Lyle K H 等就机体柔性对起落架设计的影响做了大量的研究^[8-11]。

将软式飞艇艇身柔性引入起落装置动力学仿真研究, 国内尚没有报道。文中以某型软式飞艇单点式起落装置为分析对象, 考虑艇身的柔性, 采用仿真软件 LMS Virtual Lab motion 建立起落装置进行动力学模型, 并进行着陆仿真, 根据仿真结果分析艇身柔性对起落装置缓冲性能的影响。

1 动力学分析模型

1.1 起落装置模型

传统的起落装置性能分析是从牛顿经典力学出发,推导动力平衡方程^[12]。飞艇起落装置的动力学分析力学模型可以假设为三质量模型,即艇体质量与附连质量、弹性支撑质量和非弹性支撑质量。由于吊舱与艇身为刚性连接,所以上述的附连质量^[2]是着陆仿真分析必须考虑的参数。因此,弹性支撑质量是缓冲部件上部的质量,包括支柱、过渡框架、支架、缓冲部件等;非弹性支撑质量是缓冲部件下部的质量,包括摇臂、机轮等;艇体质量包括机身(包含内部气体)、尾翼、动力装置等,具体见图1。文中假设飞艇垂直着陆速度匀速向下,飞艇水平速度为零。

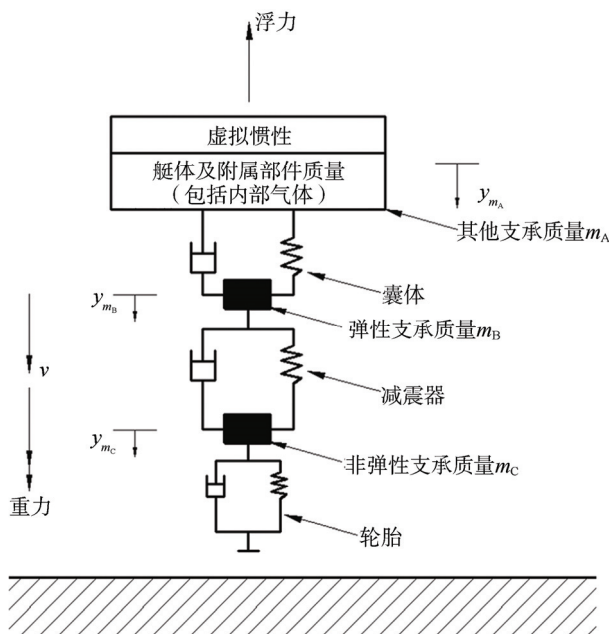


图1 起落装置动力学分析模型

1.2 艇身动力学模型

艇身为充气的弹性体,假设其动力学模型为线性模型,其等效刚度 k 和等效阻尼 c 为定值,其建模比较简单直观。由于浮空器艇身体积较大,且各个部位的刚度不同,测量比较困难,因此通过软件模拟计算艇身与起落装置连接处的等效刚度。艇身与起落装置连接处的压缩模型如图2所示,压缩曲线如图3所示。

对等效刚度曲线进行曲线拟合,艇体的等效刚度 k 约为 48 210 N/m。目前,已经确定艇囊存在阻尼^[2],但还没有关于浮空器囊体等效阻尼的文献。假设囊体的等效阻尼为临界阻尼,即阻尼比 $\zeta=1$,通过公式

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}} \text{ 算得囊体等效阻尼 } c=11\,290。$$

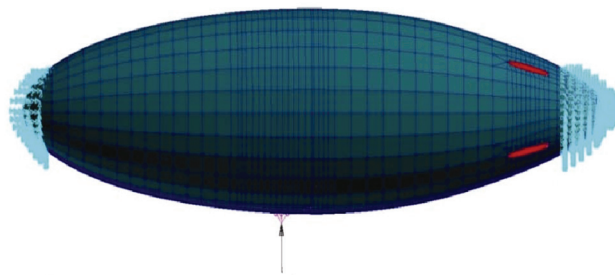


图2 艇身分析模型

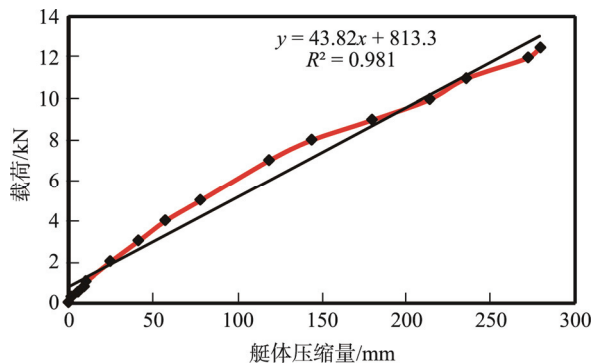


图3 艇身等效刚度曲线

1.3 轮胎模型

轮胎模型根据所选用轮胎的规格建立,轮胎型号为 5.00—5 6 PR TL。由于装备单点式起落装置的飞艇只能垂直起降,因此轮胎只考虑垂直力。垂直力根据轮胎厂家的轮胎特性曲线的第5条得到。假设轮胎模型为线性模型,通过曲线拟合可估算得到轮胎等效刚度为 23 0167 N/m。轮胎阻尼很小,故可忽略不计。

1.4 缓冲部件模型

该飞艇采用的缓冲部件是6组拉伸弹簧,其并联刚度为 76 200 N/m,其中阻尼忽略不计。

2 虚拟样机仿真

在不改变起落装置机构原理且不影响仿真的精度的前提下,需对实际起落装置结构进行简化,以减少计算时间,减轻工作量。综合考虑,在 CATIA 中建立起落装置三维简化模型,设定完成几何参数和物理参数,然后直接导入 LMS Virtual. Lab motion 中建立虚拟样机^[13—16],飞艇起落装置虚拟样机模型如图4所示。

文中不考虑空气动力,着陆俯仰角为 0° 。假设起落装置落震等效质量为 880 kg,根据适航 AC-21-09 起落装置载荷相关规定,下沉速度为 0.9 m/s。在仿真模型中初始条件的各项参数见表1。

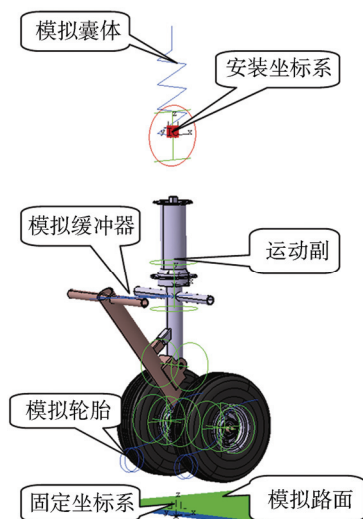


图4 虚拟样机

表1 初始条件参数

	等效刚度 k	等效阻尼 c
囊体	48 210	11 290
缓冲部件	76 200	0
轮胎	230 167	0

3 仿真结果

仿真结果见图5—图8。

从仿真结果可以看出：考虑艇体弹性的影响，轮胎和缓冲装置所受载荷比假设艇体是刚性时的结果小；考虑艇体弹性时，缓冲装置和轮胎的行程比艇体

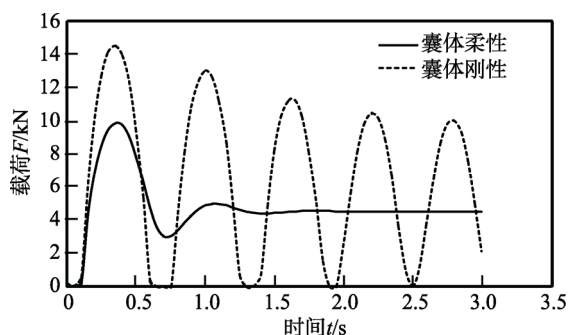


图5 缓冲弹簧力对比

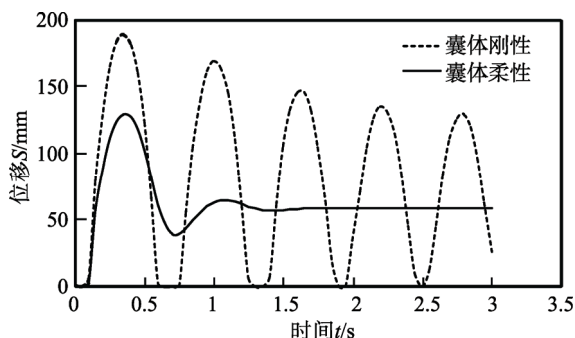


图6 缓冲装置行程对比

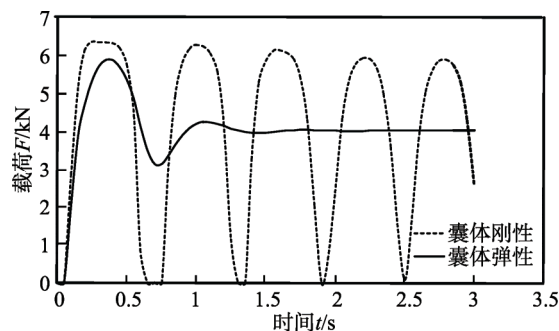


图7 轮胎垂直力对比

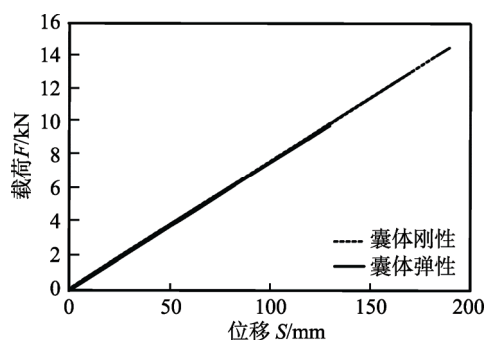


图8 缓冲弹簧功量

刚性的行程小，且回弹次数明显减小；考虑艇体弹性时，由于艇体吸收部分功量，减小了缓冲器的峰值载荷，使缓冲装置需要吸收的功量减小。

4 结论

1) 弹性艇体能够减小轮胎、缓冲部件所受的载荷，延长起落装置寿命。

2) 弹性艇体可以吸收和耗散能量，使得传统的设计方法显得保守，并增加了起落装置质量。因此，在设计软式飞艇起落装置时，应该综合考虑艇体弹性。

3) 由于弹性艇体的作用，能够将飞艇的着陆势能转化为机体的弹性势能，能有效减小飞艇的弹跳次数，增加飞艇安全性。

4) 利用虚拟样机技术能够高效准确地仿真出多体系统的动力学响应。

参考文献：

- [1] 方存光, 王伟. 自主飞艇俯仰角姿态动力学建模及控制[J]. 控制理论与应用, 2004, 21(2): 231—238.
- [2] KHOURY G A, GILLET J D. 飞艇技术(中文版)[M]. 王生, 译. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] 史友进. 柔性飞机起落架智能半主动控制[J]. 机械设计, 2007, 24(3): 23—25.
- [4] 史友进, 张曾铝. 大柔性飞机着陆撞击多质量块等效模型[J]. 航空学报, 2006, 27(4): 635—640.
- [5] 刘冲冲, 牟让科, 马晓利, 等. 考虑机体弹性的起落架

- 着陆仿真分析[J]. 航空工程进展, 2011, 2(2): 188—192.
- [6] 牟让科, 罗俊杰. 飞机结构弹性对起落架缓冲性能的影响[J]. 航空学报, 1995, 16(2): 205—208.
- [7] 廖丽涓, 贾玉红. 弹性机体起落架的动态性能仿真分析[J]. 航空学报, 2008, 29(1): 75—79.
- [8] BALUCH H A, LISANDRIN P. Effects of Flexibility on Aircraft Dynamic Loads and Structural Optimization[R]. AIAA 2007-768, 2007.
- [9] LYLE K H, JACKSON K E, FASANELLA E L. Simulation of Aircraft Landing Gears with a Nonlinear Dynamic Finite Element Code[R]. AIAA 2000-4049, 2000.
- [10] MCPHERSON A E, EVANS J, LEVY S. Influence of Wing Flexibility on Force Time Relation in Shock Strut Following Vertical Landing Impact[R]. NASA TN 1995, 1949.
- [11] FRANCIB E C, MILWITZKY B. Effect of Interaction on Landing Gear Behavior and Dynamic Loads in a Flexible Airplane Structure[R]. NASA CR 1278, 1956.
- [12] 航空航天工业部科学技术委员会. 飞机起落架强度设计指南[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989.
- [13] 江博水. 起落架落震动力学仿真[C]// LMS 中国用户大会论文集. 杭州, 2009.
- [14] 崔飞, 马东立. 基于 LMS Virtual. Lab 的起落架动态性能仿真分析[J]. 计算机辅助工程, 2012, 21(2): 25—29.
- [15] 万晓峰. LMS Virtual. Lab Motion 入门与提高[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2010: 33.
- [16] 赵世春, 喻天翔. 某型起落架收放机构运动学和动力学仿真分析[C]// LMS 中国用户大会论文集. 杭州, 2009.