

文章编号:1674-8190(2015)03-341-06

某型飞机起落架收放系统仿真与性能分析

朱伟,高萌,黄伟峰

(中航飞机研发中心 飞控液压设计研究所,西安 710089)

摘要: 起落架收放系统的性能对整机的安全性和舒适性具有直接影响。以国产在研某型飞机起落架收放系统为研究对象,利用该型飞机起落架收放机构的数学模型,采用 LMS Virtual, Lab Rev 的 Motion 模块和 LMS Imagine, Lab AMESim 软件进行起落架机构 3D 和起落架液压控制系统 1D 联合仿真,利用该联合仿真模型研究气动载荷对起落架收放系统的影响和上位锁阻尼参数对起落架收放性能的影响。结果表明:采用理论计算数值能够实现起落架在有限时间里的收放任务,考虑了气动载荷情况的仿真结果符合实际趋势;上位锁阻尼可作为优化设计的优先选取参数。

关键词: 起落架;收放;缓冲器;气动载荷;联合仿真

中图分类号: V227⁺4; N945.13

文献标识码: A

Simulation and Performance Analysis of Landing Gear Extension/ Retraction System of a Certain Aircraft

Zhu Wei, Gao Meng, Huang Weifeng

(Flight Control and Hydraulic Pressure Institute, Xi'an Aircraft International Corporation
Research & Development Center, Xi'an 710089, China)

Abstract: The performance of landing gear extension/retraction system is of direct influence of safety and comfortable for an aircraft. The landing gear extension/retraction system of certain domestic plane is taken as study object. The mathematic model of the retraction/extension mechanism is presented, and it's performance simulation is based on the 3D model of the landing gear and the 1D model of the hydraulic control system by LMS Imagine, Lab AMESim and LMS Virtual, Lab Rev Motion software. With the help of the co-simulation model, the influence of aerodynamic load on extension/retraction system and the influence of the parameters of the uplock damping on the extension/retraction performance are studied. The result shows that this retraction/extension mechanism with theoretical values can complete its extending-and-retracting task during a limited time. The simulation results which consider aerodynamic load are in good agreement with actual trend and can be as a design reference, and the parameters of the uplock damping can be prior selected during the extension/retraction optimization progress.

Key words: landing gear; extension/retraction; shock absorber; aerodynamic load; co-simulation

0 引言

飞机起落架系统是飞机最重要的系统之一,是飞机起飞和着陆时的主要支撑机构。在飞机飞行

时,为了减小阻力应将起落架收藏于机身或机翼内^[1]。起落架的收放功能是影响飞机安全的一个重要因素,收放功能是由液压操作和电动控制的^[2]。对于复杂而又有精度要求的控制系统,若需获取准确的性能参数,传统的方法是进行工程试验。工程试验具有工作量大、试验周期长、费用高的特点^[3]。为了解决这一问题,国际上目前采用先进的设计技术,包含设计方法学、优化设计技术、有

限元技术、控制技术、系统仿真技术及 CAD 技术等^[4]。采用计算机虚拟系统仿真技术,可以大幅缩短研发周期和降低研发成本^[5]。

20 世纪末,以波音公司和空客公司为代表的国外公司全面采用数字化设计与数字仿真技术。进入 21 世纪后,半物理仿真作为辅助或替代物理样机试验与测试的有效手段,贯穿于整个产品生命周期,从方案论证、设计研制到地面试验,乃至后续改型和故障分析,有效地提高了产品开发效率^[6]。西门子公司和空客公司使用 LMS 软件对 A350 飞机起落架收放系统在研制全周期进行仿真分析,完成了收放系统仿真、收放系统与液压系统和飞控系统联合仿真,仿真效果非常理想。国内研究起落架收放系统的重点在收放液压系统设计,收起和放下的上位锁和下位锁可靠性分析,收放运动过程中的主要承力构件的强度与刚度分析等,而对起落架收放机构中各构件的运动干涉以及运动学性能的分析研究较少^[7]。大量研究成果是分散、孤立的,在起落架系统多学科设计/协同仿真分析方面研究较少^[8],更没有作为模型、算法或程序模块集成于一套先进、实用、高效的起落架专业 CAD/CAE 软件系统供设计师使用^[9]。随着我国新型民机 C919、ARJ21 和 MA700 的研制,飞机各系统联合仿真技术的应用和虚拟铁鸟的搭建,将我国飞机研制水平与国外先进飞机制造公司研制水平的差距逐步缩小。

针对某型在研飞机起落架收放机构设计要求,本文利用 LMS Virtual. Lab Rev 的 Motion 模块和 LMS Imagine. Lab AMESim 软件将起落架结构的 3D 模型和液压部件的 1D 模型进行联合仿真,研究该型飞机起落架收放机构采用理论计算值的收放性能。

1 起落架收放控制系统的工作原理

某型飞机起落架收放控制系统如图 1 所示,系统主要由起落架选择阀、应急放选择阀、单向阀及液压管路组成。起落架选择阀是一个三位四通电磁阀,实现起落架收上和放下管路油液的切换。应急放选择阀是一个两位四通机械阀,在正常收放系统失效的情况下,采用机械方式拉动应急放选择阀阀芯,将收放管路与回油沟通。单向阀可以阻止液压系统的回油压力脉冲,防止液压冲击对系统的

影响。起落架在正常收放和应急收放时,其收放控制液压系统的供油压力为 3 000 psi,回油压力为 55 psi。图中 1 为单向阀;2 为收放选择阀;3 为应急放选择阀;4 为右主起落架收放作动筒;5 为右起落架下位锁开锁作动筒;6 为右起落架上位锁开锁作动筒;7 为左主起落架收放作动筒;8 为左起落架下位收放作动筒;9 为左起落架上位收放作动筒;10 为前起落架收入作动筒;11 为前起落架下位开锁作动筒;12 为前起落架上位开锁作动筒。

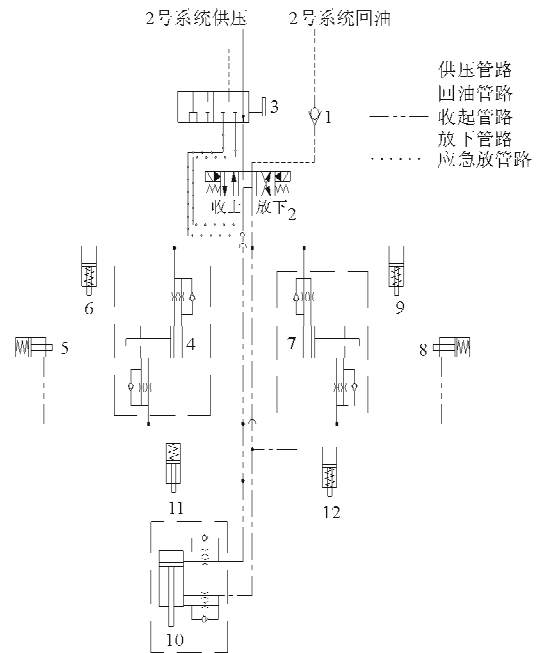


图 1 起落架收放系统

Fig. 1 Landing gear extension/retraction system

2 起落架收放系统模型与参数设置

2.1 起落架收放系统模型

起落架收放系统包含起落架结构和收放控制系统,采用 LMS Virtual. lab Rev 的 Motion 模块和 LMS Imaging. lab AMESim 软件分别建立起落架结构动力学模型和收放系统液压控制模型,如图 2~图 4 所示^[10]。起落架收放液压控制系统采用 AMESim 软件建立,主要用于搭建起落架收放系统液压模型,包括收放选择阀模型、作动筒模型、节流阀模型、液压管路模型以及载荷模型。AMESim 软件提供丰富的软件接口,能够与 LMS Virtual. Lab Rev 的 Motion 模块进行联合仿真^[11]。起落架动力学建模采用 Motion 进行建立,在 Motion

定义机构运动副、设置各个构件的重量参数、起落架撑杆锁弹簧参数、接触力以及气动力的作用点,为了与 AMESim 软件进行联合仿真,在 Motion 模型中定义各个驱动部件的输入输出节点以及气动力的输入节点。动力学模型将起落架收放作动筒和上位锁开锁作动筒的状态信息(速度、位移)传递给液压控制模型,控制模型再将产生的流体作用力反馈给动力学模型,从而完成联合仿真^[12]。

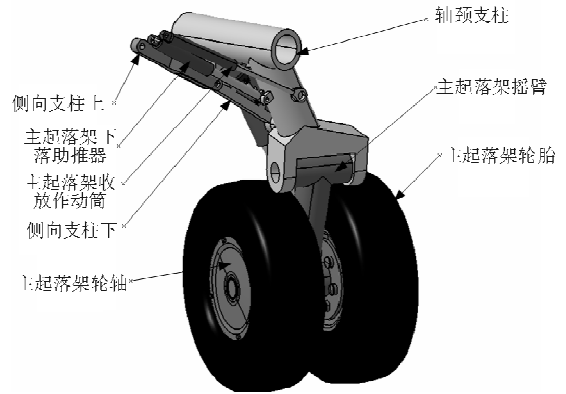


图 3 主起落架模型

Fig. 3 Main landing gear model

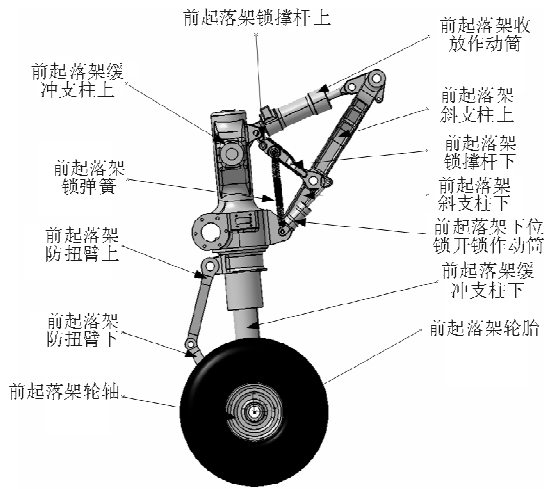


图 2 前起落架模型

Fig. 2 Nose landing gear model

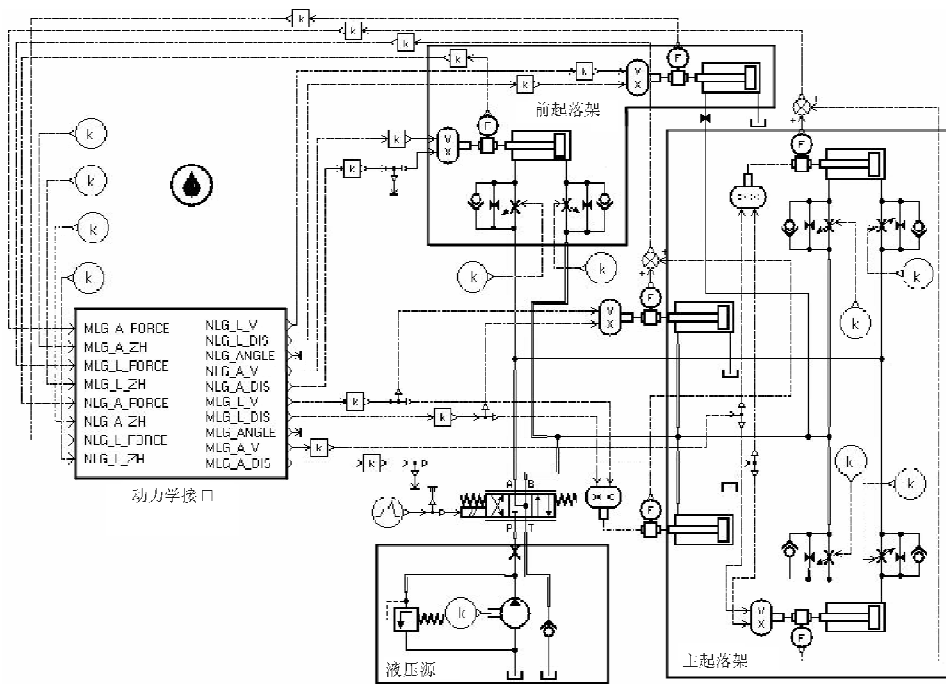


图 4 起落架收放系统液压仿真模型

Fig. 4 Hydraulic simulation model of landing gear extension/retraction system

2.2 主要仿真参数设置

起落架作动筒的参数如表 1 所示。

表 1 起落架作动筒参数

Table 1 Landing gear actuator parameter

部件名称	油液作用面直径/mm	有效作动行程/mm
前起落架收放作动筒	收上:60 放下:34~60	190
前起落架下位锁开锁作动筒	20~32	64
前起落架上位锁开锁作动筒	30	13.5
主起落架收放作动筒	收上:34~96 放下:86	366
主起落架下位锁作动筒	22~32	35
主起落架上位锁作动筒	30	20

前起落架气动载荷采用飞机侧滑角为 0°、迎角为 12°工况时的载荷,不同收放角时的气动载荷如表 2 所示。

表 2 前起落架气动载荷

Table 2 Nose landing gear pneumatic load

收放角度/(°)	F_x/N	F_y/N	F_z/N	$M_x/(Nm)$	$M_y/(Nm)$	$M_z/(Nm)$
0	0	0	0	0	0	0
30	647	0	-205	-677	-411	-2 131
47	737	0	59	196	537	-2 447
70	861	0	-155	-524	-303	-2 912
89	1 068	0	-78	-273	8	-3 712

主起落架气动载荷采用飞机侧滑角为 0°、迎角为 12°工况时的载荷,不同收放角时左主起落架的气动载荷如表 3 所示。

表 3 左主起落架气动载荷

Table 3 Left main landing gear pneumatic load

收放角度/(°)	F_x/N	F_y/N	F_z/N	$M_x/(Nm)$	$M_y/(Nm)$	$M_z/(Nm)$
0	0	0	0	0	0	0
24	834	-211	-1 059	-1 009	-756	-439
48	2 945	3	-1 151	-832	-2 378	-1 380
72	3 671	-770	-482	-715	-3 274	56
94.74	3 442	-716	-280	749	-2 644	1 134

管路模型的参数如下:前起落架收放主管路的内径为 6 mm,主起落架收放主管路的内径为

6 mm,主回油管路的内径为 18 mm。

3 仿真结果及分析

3.1 气动载荷对起落架舱门的影响

在有气动载荷情况下,前起落架舱门载荷的仿真数据如图 5 所示,主起落架及主起落架舱门载荷的仿真数据如图 6 所示。

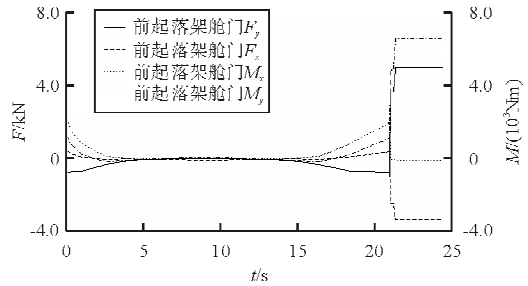


图 5 前起落架舱门载荷

Fig. 5 Nose landing gear door load

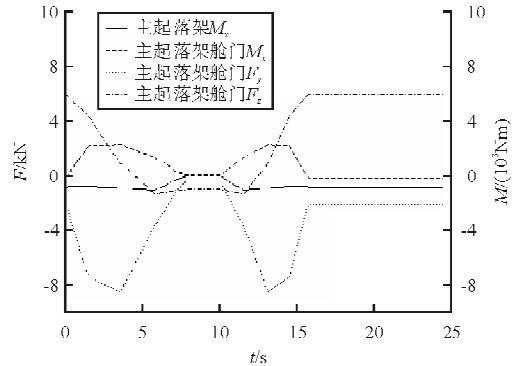


图 6 主起落架和主起落架舱门载荷

Fig. 6 Main landing gear and main landing gear door load

从图 5 可以看出:前起落架舱门的气动载荷在前起落架越接近收上位置时越小,且收起时最大载荷比放下时最大载荷小,这是由空气阻力所致。

从图 6 可以看出:在 x 轴方向的主起落架舱门扭矩比主起落架的扭矩大,这是由主起落架舱门面积比主起落架面积大所致。

3.2 气动载荷对起落架作动筒位移的影响

气动载荷对前、主起落架收放位移影响的仿真数据如图 7 所示。

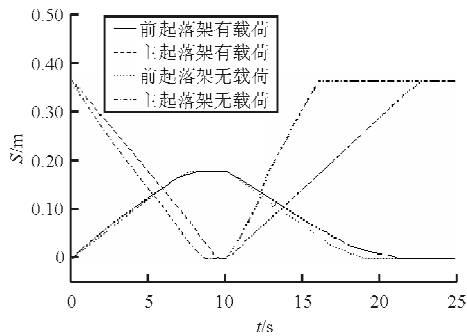


图 7 前、主起落架作动筒位移

Fig. 7 Displacement of nose landing gear and main landing gear extension/retraction actuator

从图 7 可以看出:有无气动载荷对前起落架收上几乎无影响,在有载荷时前起落架放下较快,这是由气动载荷助力前起落架放下所致;气动载荷对主起落架的收放都有显著影响,尤其是在放下时,这是因为气动载荷对主起落架舱门的影响较大,可参照图 6 所示。

3.3 上位锁阻尼对起落架收上品质的影响

起落架作动筒的受力如图 8 所示。

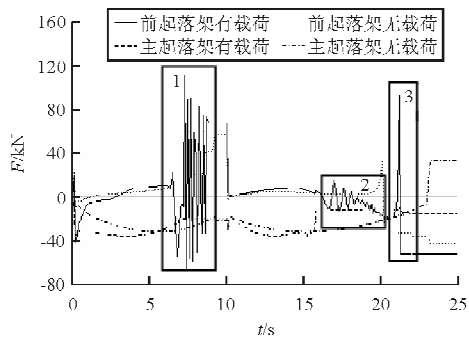


图 8 作动筒受力

Fig. 8 Load of extension/retraction actuator

从图 8 中 1 处可以看出:前起落架收放作动筒在前起落架收上锁住时波动较大,这是因为上位锁阻尼不合适,需要优化前起落架上位锁的阻尼参数,消除较大的波动。从图 8 中 2 处可以看出:起落架在将要放下到位时有波动,这是由收放作动筒末端节流所致。从图 8 中 3 处可以看出:较大的波动是由起落架放下上锁时下位锁(撑杆锁)过挠度所致。

3.4 气动载荷对收放系统液压流量的影响

前、主起落架的流量对比如图 9 所示。

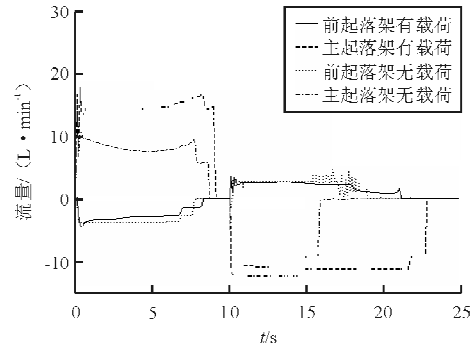


图 9 前、主起落架流量对比

Fig. 9 Comparison of flow between nose landing gear and main landing gear

从图 9 可以看出:气动载荷对前、主起落架的流量都有影响,尤其是对于主起落架,有气动载荷比无气动载荷时的主起落架流量小;有气动载荷时,前、主起落架流量的峰值流量及平均流量比无气动载荷的都有所减少。

3.5 气动载荷对收放系统液压总流量的影响

对两种情况下的液压系统总流量进行对比,如图 10 所示。

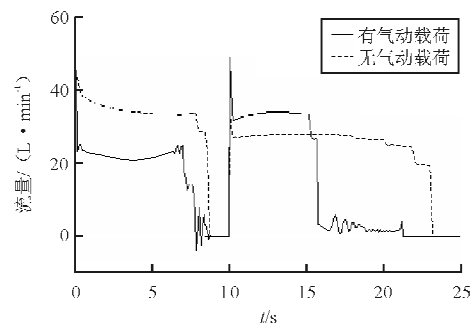


图 10 仿真中气动载荷对总流量的影响

Fig. 10 The impact of aerodynamic load of overall flow in the simulation

从图 10 可以看出:在有气动载荷情况下,起落架收上时,由于收放作动筒移动速度较慢,总流量较小;在放下时由于前起落架所受气动载荷加速前起落架放下,总流量比无气动载荷时有所增加。

起落架收放系统液压总流量的铁鸟台架试验结果与有载荷时的仿真结果对比如图 11 所示。

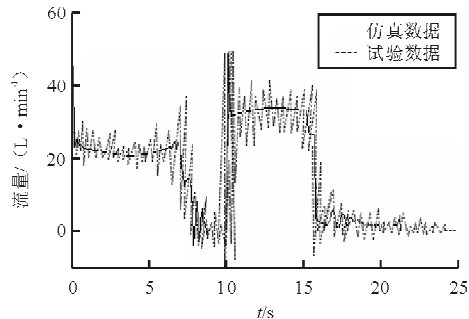


图 11 仿真总流量与试验总流量对比

Fig. 11 Comparison of the overall flow between simulation result and experimental result

从图 11 可以看出:仿真结果与试验结果比较相近,仿真结果基本符合实际趋势。

4 结 论

(1) 起落架各部件在运动过程中不存在相互干涉,能够在规定的时间内完成收放功能。

(2) 起落架上位锁阻尼参数不合适,造成前起落架在收上锁住时振动较大,需要调节上位锁阻尼,消除前起落架收放液压系统较大的波动。

(3) 在设计起落架收放系统时必须考虑气动载荷对起落架和舱门的影响,否则误差较大,可能造成返工。

(4) 收上时有气动载荷的总流量比无载荷的总流量小,放下时有气动载荷的总流量比无载荷的总流量大,起落架收放控制液压系统最大流量满足总体设计对起落架收放系统的要求,根据仿真结果,可在方案中减小收起阶段流量需求,增大放下阶段流量需求;对比起落架收放系统液压总流量需求仿真结果与试验数据,证明仿真结果基本符合实际趋势。

参考文献

[1] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册: 第 14 册——起飞着陆系统设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002: 442. General Editorial Board of *aircraft design manual*. Aircraft design manual; Vol 14—take off and landing system design [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2002: 442. (in Chinese)

[2] 刘畅. 支线客机起落架系统的收放功能简述[J]. 科技创新

导报, 2010(4): 71.

Liu Chang. Extension/retraction system of regional aircraft introduce[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2010(4): 71. (in Chinese)

- [3] 张强, 于辉, 董明波. 某型飞机起落架收放过程仿真[J]. 流体传动与控制, 2009, 7(2): 29-31. Zhang Qiang, Yu Hui, Tong Mingbo. Simulation of extending and retracting process for aircraft landing gear[J]. Fluid Power Transmission and Control, 2009, 7(2): 29-31. (in Chinese)
- [4] 王洪亮. 飞机起落架收放动态性能研究及试验验证[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009. Wang Hongliang. Analysis and test for dynamic performance of landing gear retraction and extension[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2009. (in Chinese)
- [5] 鲁金直. 异构仿真系统联合仿真技术研究及在航空领域的应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013. Lu Jinzhi. Co-simulation for heterogeneous simulation system and application for aerospace[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)
- [6] 诺曼·斯·柯里. 起落架设计手册[M]. 北京: 航空工业部, 1982. Norman S Currey. Manual of landing gear design[M]. Beijing: Ministry of Aeronautical Industry of China, 1982. (in Chinese)
- [7] 张锐. 某型飞机前起落架收放机构及舱门开度分析[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011. Zhang Rui. Analysis of the retraction extend mechanism and the door open size of a type of nose landing gear[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011. (in Chinese)
- [8] 聂宏, 魏小辉. 大型民用飞机起落架关键技术[J]. 南京航空航天大学学报, 2008, 40(4): 427-433. Nie Hong, Wei Xiaohui. Landing gear key technology of civil aircraft[J]. Nanjing: Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 40(4): 427-433. (in Chinese)
- [9] 晋萍. 飞机起落架动态性能仿真分析[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2003: 1-2. Jin Ping. Simulation analysis of dynamic behavior for airplane landing gear abstract[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2003: 1-2. (in Chinese)
- [10] 吉国明, 董萌, 付珍娟. 某型飞机起落架收放机构性能仿真[J]. 火力与指挥控制, 2012, (37)3: 169-173. Ji Guoming, Dong Meng, Fu Zhenjuan. Performance simulation of retraction/extension mechanism of a certain aircraft[J]. Fire Control & Command Control, 2012, (37)3: 169-173. (in Chinese)
- [11] 郭军, 吴亚峰, 储妮昇. AMESim 仿真技术在飞机液压系统中的应用[J]. 计算机辅助工程, 2006, 15(2): 42-45.

(下转第 365 页)

- [8] 郭云涛, 白思俊, 徐济超, 等. 基于粒子群算法的资源均衡[J]. 系统工程, 2008, 26(4): 99-103.
Guo Yuntao, Bai Sijun, Xu Jichao, et al. The resource leveling based on particle swarm optimization[J]. Systems Engineering, 2008, 26(4): 99-103. (in Chinese)
- [9] 单汨源, 邓莎, 吴娟, 等. 一种求解项目调度中资源均衡问题的粒子群算法[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(22): 5805-5809.
Shan Guyuan, Deng Sha, Wu Juan, et al. Particle swarm algorithm for solving resource leveling problem in project scheduling[J]. Science Technology and Engineering, 2007, 7(22): 5805-5809. (in Chinese)
- [10] Shi Y. Particle swarm optimization[J]. IEEE Connections, 2004, 2(1): 8-13.
- [11] 舒湘沅, 杨铭, 王延平. 航空项目资源均衡优化问题的蚁群—模拟退火算法[J]. 航空制造技术, 2010(13): 77-81.
Shu Xiangyuan, Yang Ming, Wang Yanping. Ant colony-simulated annealing algorithm of aviation project resource leveling and optimizing problems[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010(13): 77-81. (in Chinese)
- [12] Shi Y, Eberhart R. A modified particle swarm optimizer [C]// Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence. The 1998 IEEE International Conference on, IEEE, 1998: 69-73.
- [13] Clerc M, Kennedy J. The particle swarm—explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(1): 58-73.
- [14] Zhang H, Li X D, Li H, et al. Particle swarm optimization-based schemes for resource-constrained project scheduling[J]. Automation in Construction, 2005, 14(3): 393-404.

作者简介:

于海夫(1978—),男,博士研究生。主要研究方向:航空项目管理。

薛惠锋(1964—),男,博士,教授,博导。主要研究方向:系统工程及管理科学。

(编辑:赵毓梅)

(上接第 346 页)

- Guo Jun, Wu Yafeng, Chu Nisheng. Application of AMESim in aircraft hydraulic system[J]. Computer Aided Engineering, 2006, 15(2): 42-45. (in Chinese)
- [12] 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: 231-233.
Wan Xiaofeng. LMS Virtual. Lab Motion accident and advance[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2010: 231-233. (in Chinese)

作者简介:

朱伟(1985—),男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机起落架收放控制系统设计。

高萌(1987—),男,工程师。主要研究方向:飞机起落架系统设计。

黄伟峰(1983—),男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机起落架收放控制系统设计。

(编辑:赵毓梅)