

文章编号:1674-8190(2014)04-435-06

鸭翼对盒式翼布局气动特性的影响研究

解望,高超,张正科,胡旭

(西北工业大学 航空学院,西安 710072)

摘要: 盒式翼布局带有前置鸭翼对飞机纵向力矩特性产生显著的影响。针对某盒式翼布局无人机,采用数值模拟方法研究鸭翼对盒式翼布局气动性能的影响,以及鸭翼安装角、鸭翼沿机身轴线的纵向位置和鸭翼面积对巡航状态下盒式翼布局气动性能的影响。结果表明:鸭翼可以提高盒式翼布局的最大升力系数和失速迎角,可以有效地调节纵向力矩,但是会使最大升阻比略微减小;在巡航迎角 3° 、巡航速度 50 m/s 状态下,鸭翼安装角和鸭翼面积对盒式翼布局气动特性影响较大,而鸭翼纵向位置对盒式翼布局气动特性影响较小。综合考虑鸭翼的上述参数,可以显著提高盒式翼布局的气动性能。

关键词: 盒式翼布局;鸭翼;升力;阻力;升阻比

中图分类号: V221+.3

文献标识码: A

A Study of Canard's Influence on the Aerodynamic Performance of Box-wing Layout

Xie Wang, Gao Chao, Zhang Zhengke, Hu Xu

(School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The box-wing layout with canard could significantly improve the whole vehicle's longitudinal pitching moment properties. For the box-wing layout of UAV, the canard's influence on the aerodynamic performance of box-wing layout, and the influence of the canard installation angle, canard longitudinal position along the body axis, and canard area on the aerodynamic performance of box-wing layout under cruising flight are studied through numerical simulation. Results show that: canard can increase the box-wing layout's maximum lift coefficient and the stall angle of attack, and can effectively regulate the longitudinal pitching moment, but will slightly reduce the maximum lift-to-drag ratio; under cruising angle of attack of 3° and cruising speed of 50 m/s , the installation angle and area of canard will have a great influence on the aerodynamic performance of box-wing layout while the canard longitudinal position will affect less on the box-wing layout. Above all, it can be concluded that the canard can significantly improve aerodynamic performance of the box-wing layout with the comprehensive consideration of these parameters of canard.

Key words: box-wing layout; canard; lift; drag; lift-to-drag ratio

0 引言

盒式翼布局的概念由美国的 Wolkovitch 在 20 世纪 70 年代首先提出。盒式翼布局飞机的机翼由盒式前翼(主机翼)、后翼以及端板组成。前翼

后掠、后翼前掠、后翼翼尖和前翼翼尖通过端板相连接,形成一个盒式框架结构^[1-2]。与常规布局相比,盒式翼布局具有很多优点,例如强度刚度较高、升力系数大、操纵性和稳定性良好、气动效率高、诱导阻力小、起降性能容易满足等^[3-5]。

随着近代航空控制技术、推进技术和流动控制技术的发展,盒式翼布局飞机的发展进入了一个新的阶段。近年来已引起很多国家的重视,并且国内外多家科研单位都对该布局进行了研究,例如,R.

收稿日期:2014-02-24; 修回日期:2014-04-26

通信作者:解望,163xiewang@163.com

Sivaji 等^[6]采用雷诺平均的 N-S 方程研究了连翼布局探测无人机的气动特性,郑诚行等^[7]对连翼布局的气动弹性问题做了研究。

与此同时,带前置鸭翼的布局已经应用的非常多。对于带前置鸭翼的布局,鸭翼是一个重要的升力面^[8],可使全机总升力提高,同时前置鸭翼产生的尾迹涡对主机翼翼面流动产生有利干扰^[9-10],在一定范围内具有稳定主翼上边界层的作用,从而实现控制边界层流动,延迟气流分离,在较大迎角时不产生失速现象^[10],获得比无前置鸭翼时更高的升力系数^[11-12];前置鸭翼可以改善飞机的纵向力矩特性、调节飞机的纵向操纵性和稳定性、增加飞机的可控余度。

将盒式翼优点与鸭翼优点相融合,形成一种鸭翼一盒式翼布局的飞行器,目前国内外对带前置鸭翼的盒式翼布局的研究非常少。近年来,短距起降、低速长航时无人机发展迅速,这类无人机主要用于执行探测、侦查等任务。

本文以上述无人机为背景,对鸭翼一盒式翼布局(鸭翼的主要作用是增加飞机的可控余度)进行初步探讨,研究鸭翼安装角、鸭翼纵向位置以及鸭翼面积对盒式翼布局巡航状态气动性能的影响,以期鸭翼一盒式翼布局低速无人机的设计提供参考。

1 研究模型及研究方法

盒式前翼翼型为 LS0417,前缘后掠角 17° ,展弦比 2.18;后翼翼型与盒式前翼相同,前缘前掠角 71° ,展弦比 4.24^[13],将端板和前后翼交接处改为平滑过渡。机身长 4.4 m,重心位置定在盒式前翼 1/2 根弦处(距离机头约 2.7 m),前翼翼根与机身融合,上翼翼根与垂尾顶端相接,垂尾底端与机身相接。在盒式布局的基础上,加上鸭式前翼,即本文所研究的模型,其示意图如图 1 所示。

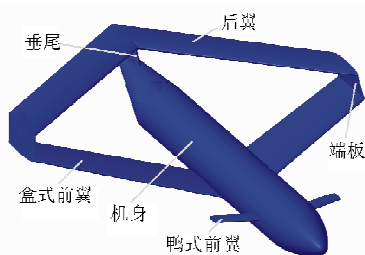


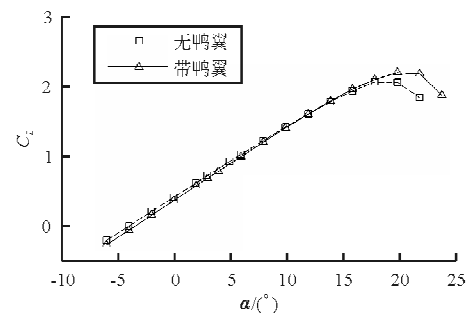
图1 鸭翼一盒式翼布局

Fig. 1 A canard-box-wing layout

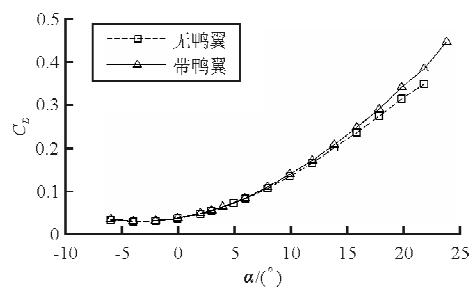
采用非结构网格、RANS 方法、S-A 湍流模型进行数值模拟,网格规模约为 800 万。参考面积均为盒式前翼的投影面积 (4.5 m^2),参考长度均为盒式前翼平均气动弦长 (1.02 m)。鸭式前翼的可变参数包括安装角、纵向位置以及面积。计算条件为高度 $H=1\ 000 \text{ m}$,巡航速度 $v=50 \text{ m/s}$ 。

2 无鸭翼和有鸭翼布局气动性能

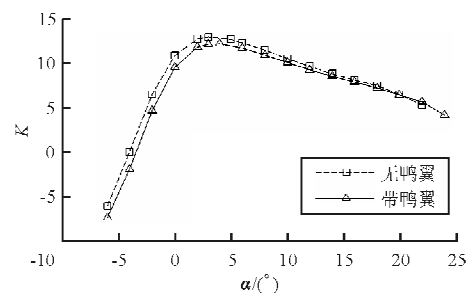
无鸭翼布局为上述基础盒式布局,有鸭翼布局为在无鸭翼布局基础上加上鸭翼,按照盒式前翼的展长和弦长进行缩小得到鸭翼外形,即鸭翼展长和弦长均为前翼展长和弦长的 35%,鸭翼安装角 3° ,上反角 3° ,鸭翼前缘距离机头 0.5 m。计算得到两种布局的升力系数、阻力系数、升阻比以及压心与重心的距离随迎角变化的曲线(如图 2 所示)。图 2 中的 $PG-G$ 为压心与重心的距离, PC 为压心与机头的距离, G 为重心到机头的距离,若 $PG-G$ 为正,说明压心位于重心之后,若为负,说明压力中心位于重心之前。



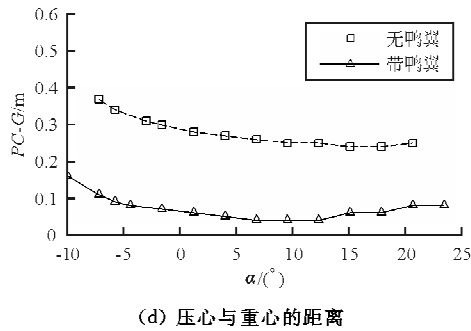
(a) 升力系数



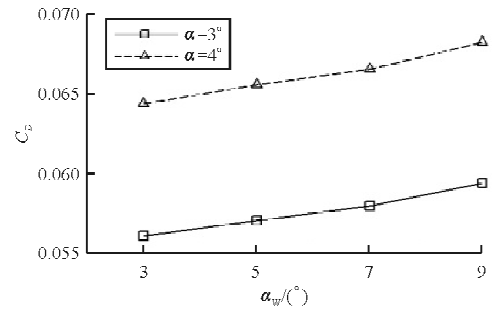
(b) 阻力系数



(c) 升阻比



(d) 压心与重心的距离



(b) 阻力系数

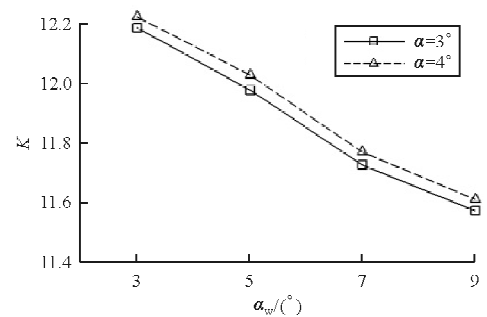
图 2 无鸭翼和有鸭翼布局气动性能的比较

Fig. 2 Comparison of aerodynamic performance between the layout with canard and the one without canard

从图 2 可以看出:两种布局的最大升阻比出现在巡航迎角附近(迎角 $\alpha=3^\circ$ 左右),这对于低速长航时无人机来说是非常有利的。

同时从图 2 可以看出:盒式翼带有前置鸭翼后,升力系数在巡航迎角附近(迎角 $\alpha=3^\circ$ 左右)略微有所减小,最大升力系数增加,并且失速迎角也增大;巡航状态下阻力系数相差不大;最大升阻比有所下降;压力中心与重心的距离明显减小,保证了巡航状态下的飞行操纵效率,增加了飞机的可控余度。

由此可见,盒式布局飞机带有前置鸭翼后,若鸭翼参数取舍适当,则会在尽量不影响飞机气动性能的情况下,显著改善飞机的操纵效率。

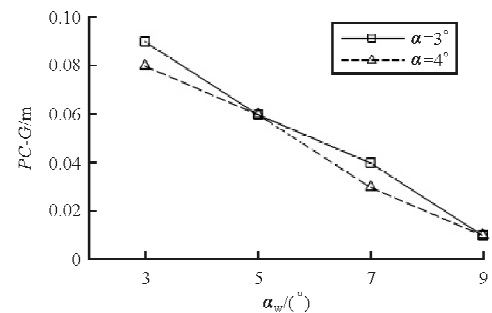


(c) 升阻比

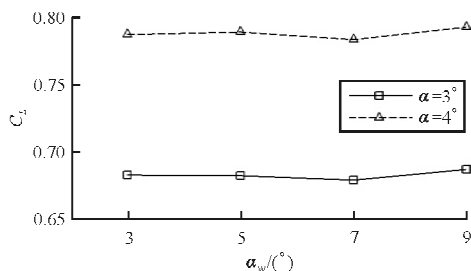
3 鸭翼参数对总体气动特性的影响

3.1 鸭翼安装角

本节研究巡航迎角(α)为 3° 和 4° 情况下,鸭翼安装角对盒式翼布局气动性能的影响。鸭翼的其他参数与上节相同。鸭翼安装角(α_w)分别为 3° 、 5° 、 7° 、 9° 。在巡航迎角附近,鸭翼不同安装角盒式翼布局全机的气动性能,如图 3 所示。



(d) 压心与重心距离



(a) 升力系数

图 3 鸭翼安装角的影响

Fig. 3 Influence of canard's angle of incidence

从图 3 可以看出:随着鸭翼安装角的增大,阻力系数逐渐增大,压力中心逐渐前移(接近重心),升阻比逐渐减小;升力系数在比较小的范围内波动。

为了详细了解鸭翼安装角对飞机升力的影响,提取飞机各部件的升力进行研究。飞机盒式前翼、后翼、机身和鸭翼的升力系数(参考面积均为盒式前翼投影面积)随鸭翼安装角变化的曲线,如图 4 所示。

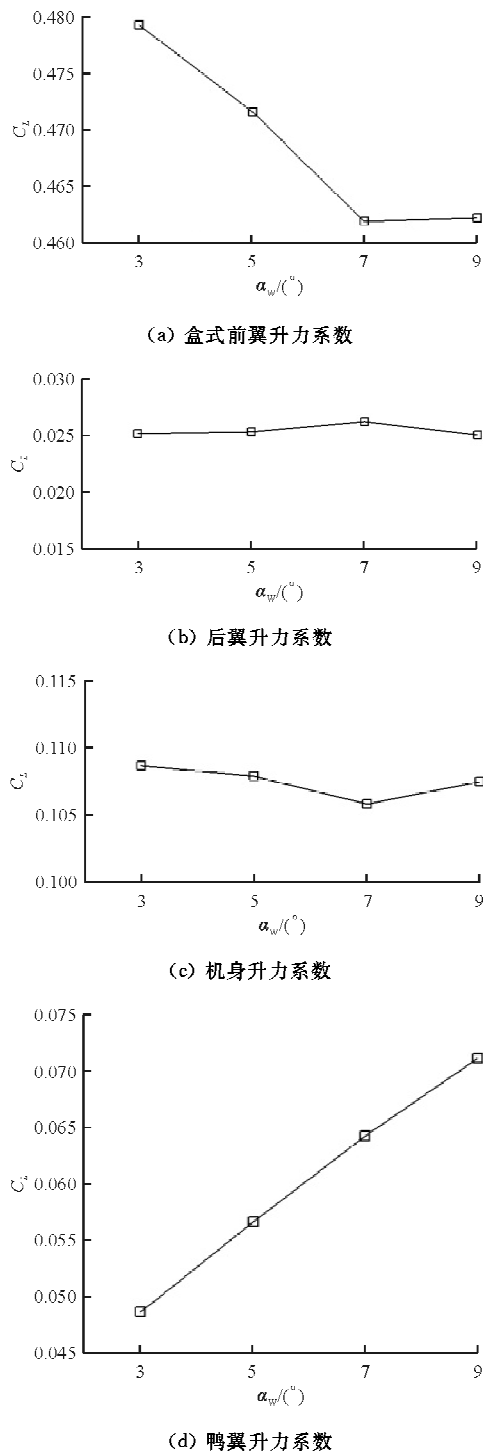


图4 鸭翼安装角对飞机各部件气动性能的影响
Fig. 4 Influence of canard's angle of incidence on some components of aircraft

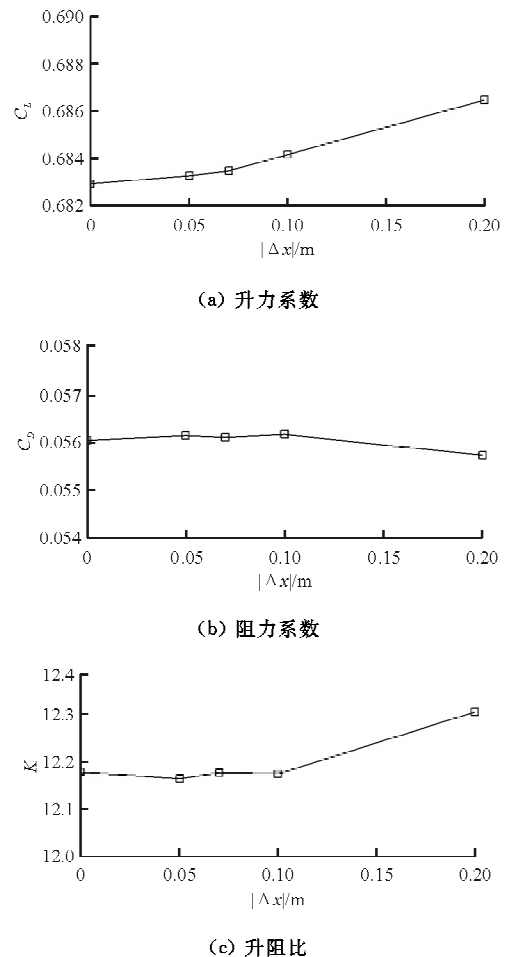
从图4(a)可看出:随着鸭翼安装角的增大,盒式前翼的升力逐渐减小,表明增加鸭翼安装角会对前翼产生不利干扰,导致前翼升力下降。而图4(b)和图4(c)中,后翼和机身的升力变化很小,可

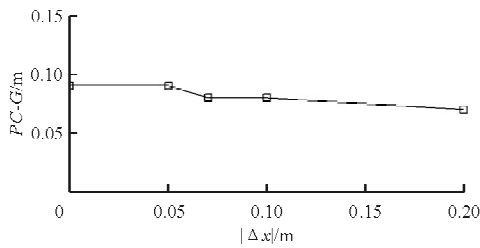
以忽略。图4(d)中鸭翼升力一直随着安装角的增加而增大,表明鸭翼未失速。由此可见,四个主要升力部件中,盒式前翼和鸭翼的升力变化对全机升力变化起主要作用,正是这两个部件升力的变化导致了全机升力随安装角在比较小的范围内波动。

综上所述,在一般的巡航迎角下,随着鸭翼安装角的增大,盒式翼布局阻力逐渐增大,升阻比减小,压心逐渐前移,升力在较小的范围内波动。在升力系数变化不大的条件下,选用升阻比最高的鸭翼安装角作为鸭翼前后位置和鸭翼面积研究的基础,即 3° 鸭翼安装角。

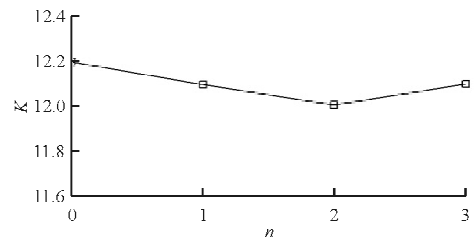
3.2 鸭翼纵向位置

以3.1节的鸭翼纵向位置作为初始位置(即鸭翼前缘距机头0.5 m),鸭翼分别沿纵轴向机头方向平移($|\Delta x|$ 为0.05、0.07、0.10、0.20 m),安装角均为 3° ,其余参数不变,得到鸭翼前后位置对巡航状态($\alpha=3^\circ$)下盒式翼布局气动性能的影响(如图5所示)。





(d) 压心与重心距离



(c) 升阻比

图 5 鸭翼纵向位置的影响

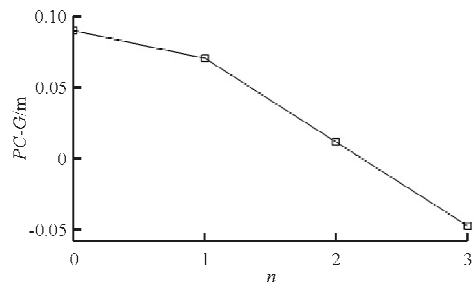
Fig. 5 Influence of canard's longitudinal position

从图 5 可以看出:随着鸭翼沿机身轴线向前移动,全机升力系数缓慢增大,阻力系数基本不变,压心前移。由此可见,在巡航迎角下,鸭翼纵向位置对盒式翼布局的升力系数和阻力系数影响较小。

3.3 鸭翼面积

由于鸭翼纵向位置对升力系数、阻力系数影响较小,将鸭翼的初始位置(即鸭翼前缘距机头 0.5 m)作为基础,研究鸭翼面积的影响。

在巡航状态($\alpha=3^\circ$)下,研究鸭翼面积对气动特性的影响,鸭翼是通过缩比盒式前翼的展长和弦长得到的,鸭翼面积分别为 0.35×0.35 (即鸭翼展长为前翼的 35%,弦长为前翼的 35%,下同)、 0.40×0.35 、 0.40×0.40 、 0.40×0.45 ,结果如图 6 所示,图中 n 为 0、1、2、3,是按照鸭翼面积从小到大依次编号的。



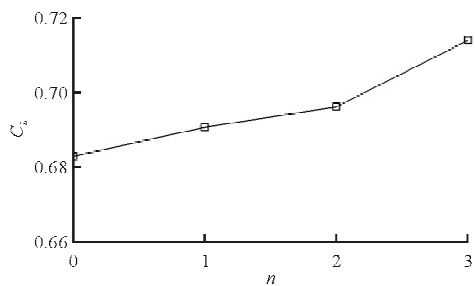
(d) 压心与重心距离

图 6 鸭翼面积的影响

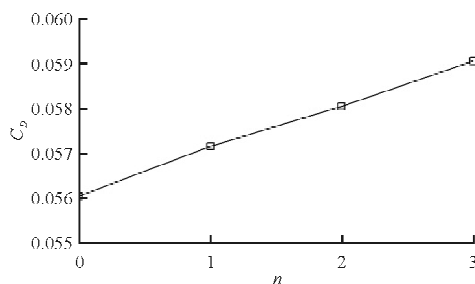
Fig. 6 Influence of canard's area

从图 6 可以看出:随着鸭翼面积的增加,升力系数增大,阻力系数也缓慢增大,升阻比变化不大,压心前移明显。

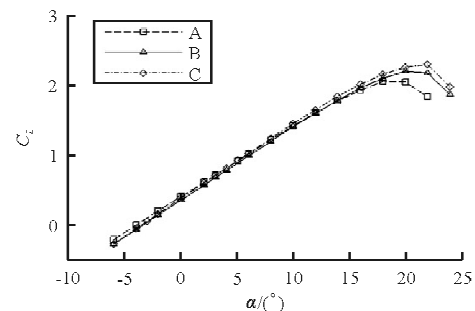
为了提高操纵效率,可适当放宽稳定性限制,因此选用较大鸭翼面积(0.40×0.45)的方案,得出升力系数、阻力系数、升阻比以及压心随迎角变化的曲线,如图 7 所示。图中 A 表示无鸭翼气动布局,B 表示有鸭翼但未进行鸭翼参数改进(即鸭翼面积为 0.35×0.35 ,鸭翼安装角 3° ,上反角 3° ,鸭翼前缘距离机头 0.5 m)的气动布局,C 表示经过鸭翼参数改进(即鸭翼面积为 0.40×0.45 ,鸭翼安装角 3° ,上反角 3° ,鸭翼前缘距离机头 0.5 m)的气动布局。



(a) 升力系数



(b) 阻力系数



(a) 升力系数

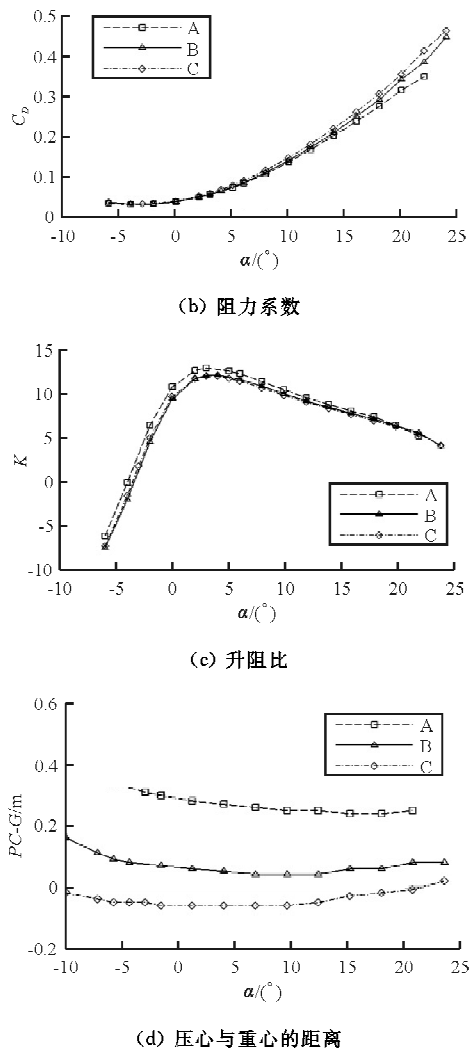


图7 鸭翼改进后的性能比较

Fig. 7 Performance comparison among the three configurations

从图7可以看出:鸭翼参数改进后的性能提高主要体现在升力系数上;通过改进鸭翼参数,飞机的最大升力系数增大,失速迎角略有增大,并且在巡航状态下阻力系数变化不大,升阻比基本不变,压力中心与重心的距离大幅度减小。

4 结论

(1) 盒式翼布局带前置鸭翼后,若鸭翼参数适当,可显著改善全机气动性能,例如增大最大升力系数和失速迎角,但是升阻比可能会有所下降;通过前置鸭翼调节飞机巡航状态压心位置,调节纵向飞行操纵性和稳定性。

(2) 在其他参数不变的情况下,随着鸭翼安装

角的增大,在一定范围内,盒式翼布局的升力系数变化不大,阻力增加,升阻比减小,压心前移。

(3) 在巡航状态下,只改变鸭翼安装的纵向位置,对盒式翼布局总体气动性能影响不大,因此这可以作为调节飞机巡航状态压心位置的一种途径。

(4) 在一定范围内,随着鸭翼面积的增加,盒式翼布局飞机的升力系数提高,阻力增加较小,升阻比变化不大,压力中心前移,可以作为调节飞机巡航状态压心位置的另一种途径。

参考文献

- [1] 马振琨. 联结翼无人机气动性能分析及布局优化[D]. 西安: 西北工业大学, 2013.
Ma Zhenkun. Aerodynamic performance analysis and distribution optimization of joined-wing UAV [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2013. (in Chinese)
- [2] 程蕾, 张彬乾, 沈冬, 等. 盒式机翼布局几何参数初步研究[J]. 机械科学与技术, 2010, 29(11): 1493-1496.
Cheng Lei, Zhang Binqian, Shen Dong, et al. A study of the geometry parameters of a box-wing configuration[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2010, 29(11): 1493-1496. (in Chinese)
- [3] 郭亚军. 连翼气动布局研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2012.
Guo Yajun. A study of a joined-wing configuration[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2012. (in Chinese)
- [4] Wolkovitch J. The joined wing: an overview[J]. Journal of Aircraft, 1986, 23(3): 161-178.
- [5] 吴光辉, 王妙香, 张健. 盒式布局飞机的纵向气动参数优化研究[J]. 飞行力学, 2007, 25(4): 5-7.
Wu Guanghui, Wang Miaoxiang, Zhang Jian. Research on longitudinal aerodynamic parameter optimize of a joined-wing configuration aircraft[J]. Flight Dynamics, 2007, 25(4): 5-7. (in Chinese)
- [6] Sivaji R, Ghia U, Ghia K, et al. Aerodynamic analysis of the joined-wing configuration of a HALE aircraft [R]. AIAA-2003-606, 2003.
- [7] 郑诚行, 肖小玲. 翼尖连接机翼布局弹性气动力探讨[J]. 空气动力学学报, 2005, 23(1): 93-96.
Zheng Chengxing, Xiao Xiaoling. The exploration of elastic aerodynamics for a joined wing configuration [J]. Acta Aerodynamica Sinica, 2005, 23(1): 93-96. (in Chinese)
- [8] 展京霞, 王晋军. 前掠翼气动布局中鸭翼高度影响的实验[J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31(9): 994-998.
Zhan Jingxia, Wang Jinjun. Experimental investigation on the effects of the height of distant canard wing of a forward-swept configuration[J]. Journal of Beijing University of

(下转第462页)

- [7] 宋笔锋, 裴扬. 飞机作战生存力计算理论与方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 32-50.
Song Bifeng, Pei Yang. The theory and method of aircraft combat survivability computation [M]. Beijing: National Defense Industry, 2011: 32-50. (in Chinese)
- [8] 黄广炎, 冯顺山, 刘沛清. 战斗部破片对目标打击迹线的计算方法[J]. 爆炸与冲击, 2010, 30(4): 413-418.
Huang Guangyan, Feng Shunshan, Liu Peiqing. A visual C++ and Matlab based computational method for shot-lines of warhead fragments to a target[J]. Explosion and Shock Waves, 2010, 30(4): 413-418. (in Chinese)
- [9] 杨超, 刘生发. 预制破片战斗部爆炸冲击波仿真分析[J]. 计算机仿真, 2010, 27(3): 8-11.
Yang Chao, Liu Shengfa. Simulation and analysis of explosion shock wave of prefragmented warhead[J]. Computer Simulation, 2010, 27(3): 8-11. (in Chinese)
- [10] Robert E Ball. The fundamentals of aircraft combat survivability analysis and design[M]. 2nd ed. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2003: 601-655.

作者简介:

韩 璐(1988—),女,博士研究生。主要研究方向:飞机生存力、战斗部威力场仿真等。

韩 庆(1969—),男,博士,副教授。主要研究方向:飞行器生存力、飞行器综合优化设计等。

(编辑:赵毓梅)

(上接第 440 页)

- Aeronautics and Astronautics, 2005, 31(9): 994-998. (in Chinese)
- [9] 任智静, 王旭, 刘文法. 前掠翼布局中鸭翼气动影响的数值模拟[J]. 航空学报, 2010, 31(7): 1318-1323.
Ren Zhijing, Wang Xu, Liu Wenfa. Numerical simulation on aerodynamic influence of canard on forward-swept configuration[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2010, 31(7): 1318-1323. (in Chinese)
- [10] 展京霞, 王晋军, 赵霞, 等. 近距鸭翼高度对鸭翼一前掠翼布局纵向气动特性影响的实验研究[J]. 实验流体力学, 2006, 20(2): 50-54.
Zhan Jingxia, Wang Jinjun, Zhao Xia, et al. Investigation on the effects of the height of close canard wing on the aerodynamic characteristics of a forward-swept configuration[J]. Journal of Experiments in Fluid Mechanics, 2006, 20(2): 50-54. (in Chinese)
- [11] Lombardi G, Morelli M, Waller D. Boundary-layer transition on a forward-swept wing in canard configuration[J]. Journal of Aircraft, 1996, 33(6): 1202-1204.
- [12] Breitsamter C, Laschka B. Vortical flowfield structure at forward swept-wing configurations[J]. Journal of Aircraft, 2001, 38(2): 193-207.
- [13] 郭亚军, 高超, 肖虹, 等. 盒式机翼布局气动特性研究[J]. 航空计算技术, 2012, 42(2): 39-41.
Guo Yajun, Gao Chao, Xiao Hong, et al. Research on aerodynamic characteristics of a box-wing configuration [J]. Aeronautical Computing Technique, 2012, 42(2): 39-41. (in Chinese)

作者简介:

解 望(1989—),男,硕士研究生。主要研究方向:飞行器气动布局设计、计算流体力学。

高 超(1960—),男,博士,教授。主要研究方向:计算流体力学、实验空气动力学。

张正科(1961—),男,博士,教授。主要研究方向:计算流体力学、实验空气动力学。

胡 旭(1990—),男,硕士研究生。主要研究方向:飞行器气动布局设计、计算流体力学。

(编辑:赵毓梅)