

飞机超低空投弹安全性研究

张欣¹, 吕新波^{2,*}

1. 中国飞行试验研究院, 陕西 西安 710089

2. 中航工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

摘要: 建立了某型飞机超低空投弹的数学模型, 分别研究了本体飞机投弹后的动态响应、自动驾驶仪打开时飞机投弹后的动态响应以及在风扰动下投弹后的动态响应。研究表明, 飞机超低空单侧投弹在自动驾驶仪打开时飞机纵向和横航向动态响应较小, 可以满足投弹的要求; 超低空飞行风扰动对飞机动态响应有一定的影响, 但飞机仍具有投弹的能力。给出了超低空投弹的安全操纵策略, 对工程应用有一定的参考价值。

关键词: 超低空; 投弹; 安全性; 动态响应

中图分类号: V212.1

文献标识码: A

文章编号: 1007-5453 (2016) 02-0033-04

在100m以下高度飞行称为超低空飞行。超低空突防因其独特的优势在现代战争中备受各国重视, 并且目前仍是一项主要的战术形式^[1]。西方发达国家在军事演习中发现^[2]: 飞机高度为200~250m时, 防空导弹杀伤概率为14%, 而高度降为60m时, 杀伤概率下降为5%。超低空投弹距离目标很近, 所以命中率很高。为了保证超低空空投炸弹对飞机安全的影响, 目前很多国家研究出了低阻低空爆破炸弹, 适合于超低空投放。另外, 反跑道炸弹也需要飞机超低空投放, 超低空投放反跑道炸弹时, 距离地面一定高度点火, 将炸弹嵌进跑道后爆破, 从而摧毁跑道混凝土表层、形成难以修复的弹坑, 以达到阻止敌机起飞的目的^[3]。海湾战争中, 英国空军大量使用反跑道炸弹破坏伊拉克的空军基地, 使伊空军飞机不能起飞, 对赢得初期制空权起到关键作用。

就作战需求而言, 飞机需要超低空投弹, 通常投弹时先投放一枚, 待飞机恢复平衡状态后再对称投放另一枚。单侧投放弹会对飞机产生俯仰及滚转干扰力矩, 飞机固有特性自然不能平衡这一干扰力矩, 需要飞行员或自动驾驶仪操纵舵面来平衡这一力矩, 恢复并稳定飞机的运动。因此, 本文重点研究了飞机超低空单侧投弹后本体飞机和自动驾驶仪打开时纵向和横航向飞机动态响应特性, 同时对超低空飞行时风扰动下的单侧投弹的动态响应进行了计算分析, 最后给出了超低空投弹的安全操纵策略。

1 数学模型

假设飞机右侧投弹后, 弹本身具有的重量以及瞬间弹射力会对飞机产生一个附加的低头力矩。如果没有飞行员和自动驾驶仪的操纵, 该附加力矩必然对飞机产生一定的动态响应。

飞机投弹后, 在飞行员不操纵飞机的情况下, 采用式(1)加入干扰后的纵向小扰动运动方程对飞机动态响应进行计算。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \alpha \\ \Delta \omega_z \\ \Delta \theta \\ \Delta H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{X}_v & \bar{X}_\alpha + g & 0 & -g & \bar{X}_H \\ -\bar{Z}_v & -\bar{Z}_\alpha & 1 & 0 & -\bar{Z}_H \\ \bar{M}_v - \bar{M}_\alpha \bar{Z}_v & \bar{M}_\alpha - \bar{M}_\alpha \bar{Z}_\alpha & \bar{M}_q + \bar{M}_\alpha & 0 & \bar{M}_H - \bar{M}_\alpha \bar{Z}_H \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & V_* & 0 & -V_* & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \alpha \\ \Delta \omega_z \\ \Delta \theta \\ \Delta H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\Delta \bar{Y}_g \\ \Delta \bar{M}_{zg} - \bar{M}_z^\alpha \Delta \bar{Y}_g \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: 加号左侧矩阵为纵向小扰动方程系数, 右侧干扰力和力矩如下:

$$\Delta \bar{Y}_g = \Delta Y_g / mv \quad (2)$$

$$\Delta \bar{M}_{zg} = \Delta M_{zg} / I_z \quad (3)$$

式中: ΔY_g 包括导弹的重量和弹射力; ΔM_{zg} 包括 ΔY_g 所产生的力矩和投弹后 Δm_{z0} ; 其余变量说明参见文献[4]。

在投弹的过程中通常使用自动驾驶仪, 纵向开通高度保

收稿日期: 2015-09-08; 退修日期: 2015-10-26; 录用日期: 2015-10-30

*通讯作者: Tel.: 15229318512 E-mail: lvxinbo771107@163.com

引用格式: ZHANG Xin, LV Xinbo. Research on aircraft's launching missile safety at minimum altitude [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27(02): 33-36. 张欣, 吕新波. 飞机超低空投弹安全性研究[J]. 航空科学技术, 2016, 27(02): 33-36.

持模态功能。自动驾驶仪高度保持分为气压高度保持和无线电高度保持,气压高度在高空中使用,无线电高度在低空中使用。图1给出了自动驾驶仪高度保持原理框图,飞机的高度信号与接通高度保持时的高度偏差做控制指令到控制增益回路,采用垂直速度反馈可明显改善高度保持的动态过程。

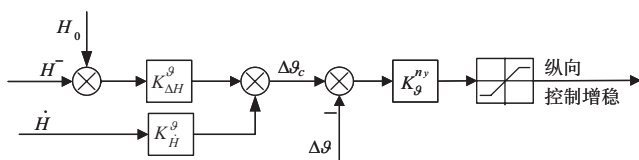


图1 自动驾驶仪高度保持
Fig.1 Autopilot altitude hold

假设飞机右侧投弹后,除了对飞机纵向动态特性影响外,另外一个重要的影响为由于一侧弹本身一定的重量的减小以及瞬间弹射力使飞机产生一定的左滚转,在飞行员或自动驾驶仪不操纵的情况下,对飞机横航向动态特性有较大的影响。

飞机投弹后,飞行员不操纵飞机的情况下,采用式(1)加入干扰后的横航向小扰动运动方程对飞机动态响应进行计算。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \beta \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}^\beta & \alpha_* & 1 & \frac{g}{v_*} \cos \vartheta_* \\ \bar{M}_x^\beta & \bar{M}_x^{\omega_x} & \bar{M}_x^{\omega_y} & 0 \\ \bar{M}_y^\beta & \bar{M}_y^{\omega_x} & \bar{M}_y^{\omega_y} & 0 \\ 0 & 1 & -tg \vartheta_* & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \bar{Z}_g \\ \Delta \bar{M}_{xg} \\ \Delta \bar{M}_{yg} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

右侧干扰力和力矩如下:

$$\Delta \bar{Z}_g = \Delta Z_g / mv \quad (5)$$

$$\Delta \bar{M}_{xg} = \Delta M_{xg} / I_x \quad (6)$$

$$\Delta \bar{M}_{yg} = \Delta M_{yg} / I_z \quad (7)$$

式中: ΔM_{xg} 为主要扰动量, ΔM_{xg} 导弹的重量减小和瞬间弹射力所产生的滚转力矩;其余变量说明见文献[4]。

在投弹的过程中通常使用自动驾驶仪,横航向开通航稳模态功能。图2给出了自动驾驶仪航稳原理框图,飞机航向角与接通航稳时的航向角比较,指令保持此时的航向角。

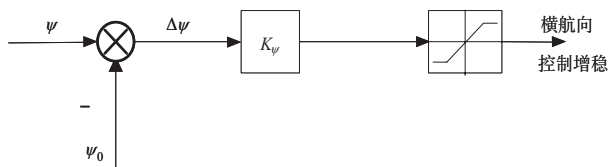


图2 自动驾驶仪航稳
Fig.2 Autopilot course stability

2 仿真分析

对以某一飞行速度在50m高度超低空飞行的某型飞机进行仿真分析,得出没有驾驶员操纵下飞机本体以及自动驾驶仪定高功能打开时一侧投弹后飞机纵向动态响应对比。图

3~图6给出了飞机高度、俯仰角速度、过载和迎角的动态响应对比,0时刻为投弹时刻。由图3~图6可知飞机本体在投弹后2s高度降低约2m,自动驾驶仪无线电高度保持功能打开在投弹后2s高度降低不超过0.5m;自动驾驶仪无线电高度保持功

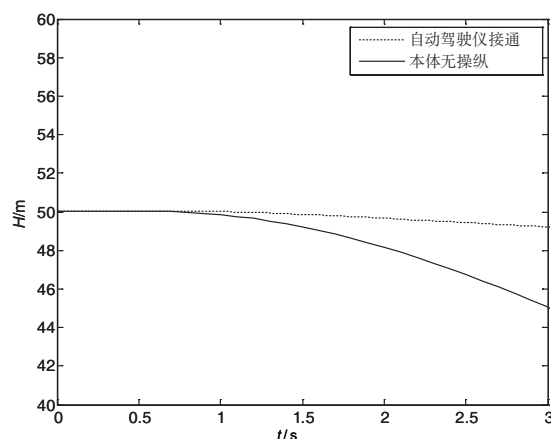


图3 投弹后高度仿真曲线
Fig.3 Altitude simulation curve after launching the missile

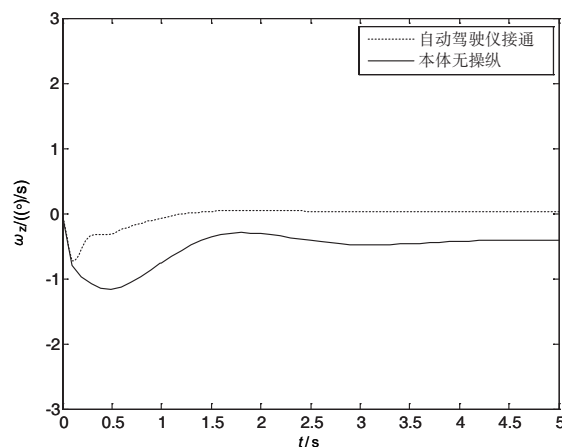


图4 投弹后俯仰角速度仿真曲线
Fig.4 Pitch angle velocity simulation curve after launching the missile

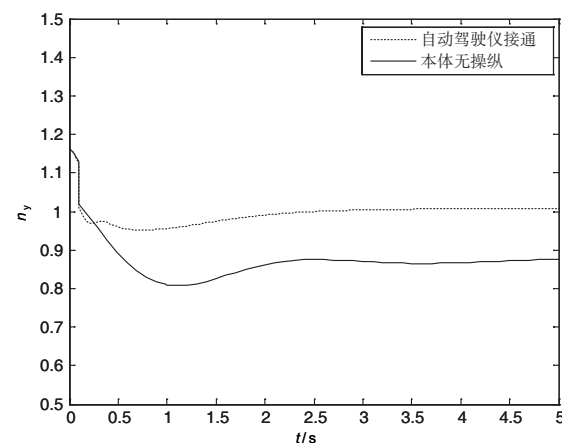


图5 投弹后过载仿真曲线
Fig.5 Overload simulation curve after launching the missile

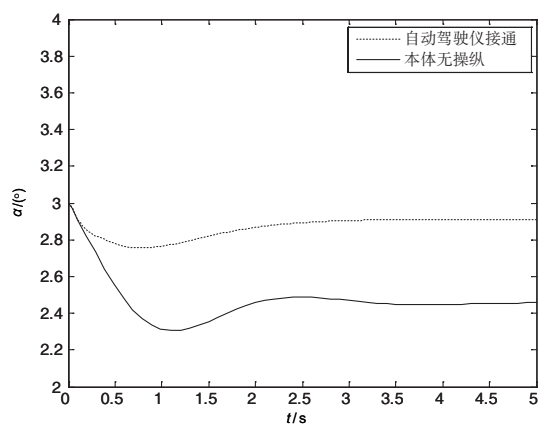


图6 投弹后迎角仿真曲线

Fig.6. Angle of attack simulation curve after launching the missile

能打开后纵向的俯仰角速度、过载和迎角动态响应非常小,其动态响应均比飞机本体小很多,表明此时飞机的纵向稳定性较好,投弹干扰对纵向影响可以满足要求。

选取同样飞行速度,对以50m高度超低空飞行的某型飞机进行仿真分析,对比没有驾驶员操纵下飞机本体以及自动驾驶仪航稳模态打开时一侧投弹后飞机横航向动态响应。图7给出了飞机滚转角的动态响应对比,0时刻为投弹时刻。由图7可知,在横航向驾驶员不工作时,飞机单侧投弹对横航向姿态影响很大,单侧投弹2s后,因不对称外挂和弹射力影响产生的滚转角超过40°;而自动驾驶仪航稳模态打开,单侧投弹后2s,因不对称外挂和弹射力影响产生的滚转角仅为3°左右。因此,自动驾驶仪打开后飞机横航向动态响应较小,表明飞机此时飞机的横航向稳定性较好,可以满足投弹的要求。

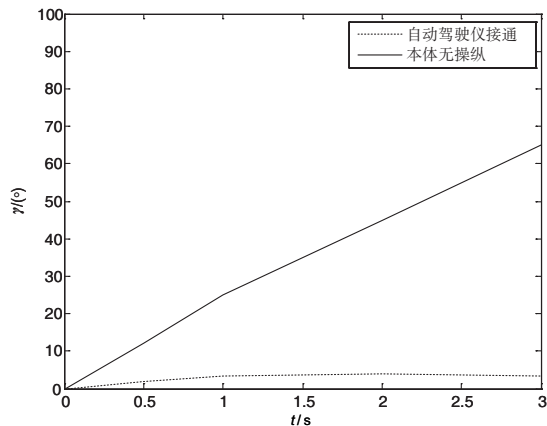


图7 投弹后滚转角仿真曲线

Fig.7 Roll angle simulation curve after launching the missile

3 大气扰动的影响分析

大气扰动是飞机超低空飞行时影响飞机飞行特性的主

要因素之一。随高度的降低,飞机遭遇紊流的概率明显增加,当飞行高度 h 大于300m时概率 P 约为45%,而当 h 为60m左右时, P 则将大于75%。低空大气紊流的形式和变化比较复杂,一方面受天气的影响,另一方面还要受到地形、地貌和地物的影响。这种大气紊流具有各种不同的波长,而且是随机的,没有明显的规律性。在低空飞行时,垂直阵风会改变飞行迎角,在低速时会因迎角增加而失速,而垂直阵风引起的负过载会对飞机造成更大危险。

由于垂直突风对低空飞行安全影响最大,因此本文重点研究了阶跃垂直突风对飞机投弹时的纵向动态影响,此时通过 $\alpha_g = v_g/v$ 可以将垂直风转化为干扰迎角,干扰迎角会产生相应的干扰力和力矩,然后代入式(1)中,即可求得飞机在垂直风作用下的动态响应。图8和图9给出了垂直向下10m/s风的

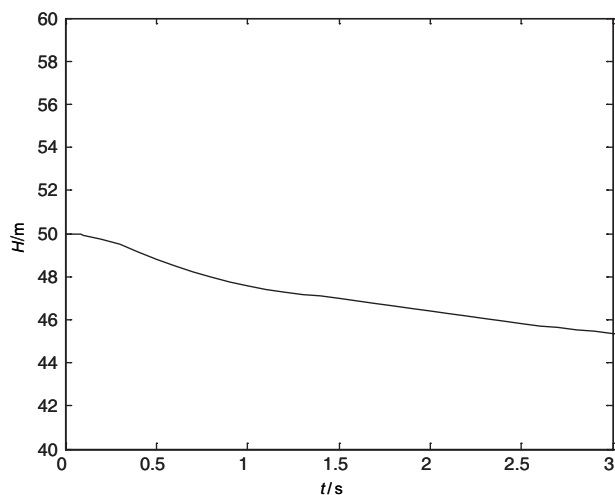


图8 垂直向下10m/s风的干扰下飞机投弹时高度仿真曲线

Fig.8 Altitude simulation curve after dropping the bomb with the disturbance of 10m/s vertical downward wind

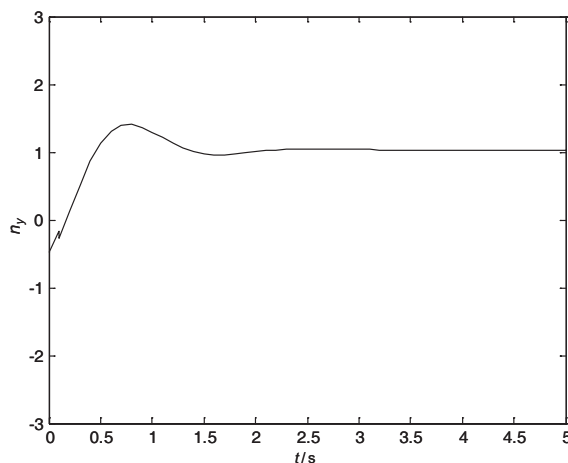


图9 垂直向下10m/s风的干扰下飞机投弹时过载仿真曲线

Fig.9 Overload simulation curve after launching the missile with the disturbance of 10m/s vertical downward wind

干扰下飞机投弹时本体响应曲线,0时刻为投弹时刻。由计算结果可知,在飞行员不操作时,飞机本体在投弹2s后高度降低约3.5m,过载变化不超过1.5,因此超低空飞行风对飞机动态响应有一定的影响,但飞机仍具有投弹的能力。

4 结论

仿真结果表明,飞机超低空单侧投弹在自动驾驶仪打开时飞机纵向和横航向动态响应较小,可以满足投弹的要求;超低空飞行风扰动对飞机动态响应有一定的影响,但飞机仍具有投弹的能力。因此,在超低空投弹时,如果在海平面或者地势平缓的平原最好打开自动驾驶仪,保证飞机动态响应最小。针对超低空特点,同时也要注意相关操作技巧,在出现意外情况时,应先上升高度,在保持好飞行状态的前提下进行处置,防止顾此失彼。

AST

参考文献

- [1] 徐安德.由现代局部战争看航空兵器未来超低空突防模式[J].航空兵器,1999(4):73-78.
XU Ande. Perspective on aviation weapon's minimum altitude penetration mode in the future referring to the modern local war [J]. Aviation Weaponry, 1999(4): 73-78. (in Chinese)
- [2] 傅百先,朱玉兵,赵维义.轰六丁飞机超低空突防飞行性能分析[J].飞行力学,1997,15(4):73-78.

FU Baixian, ZHU Yubing, ZHAO Weiyi. Analysis on minimum altitude penetration flight performance of H6-D aircraft [J]. Flight Dynamics, 1997, 15(4): 73-78. (in Chinese)

- [3] 离子鱼.从世界反跑道炸弹的发展看维护祖国统一[J].现代兵器,2008(6):47-54.
LIZI Yu. Perspective on safeguarding the unity of the motherland referring to the development of the world anti runway bomb [J]. Modern Weaponry, 2008(6): 47-54. (in Chinese)
- [4] 方振平,陈万春,张曙光.航空飞行器飞行动力学[M].第1版.北京:北京航空航天大学出版社,2005:196-203.
FANG Zhenping, CHEN Wanchun, ZHANG Shuguang. Flight dynamics of aerial vehicle [M]. First edition. Beijing: Beihang University Press, 2005: 196-203. (in Chinese)
- [5] 吕新波,张欣,刘振钦.农林飞机超低空飞行大气紊流影响研究[J].飞行力学.2008,26(2):64-68.
LV Xinbo, ZHANG Xin, LIU Zhenqin. The atmospheric turbulence effects study of agricultural aircraft flying at minimum altitude[J]. Flight Dynamics, 2008, 26(2): 64-68. (in Chinese)

作者简介

张欣(1980—)女,工程师。主要研究方向:航空安全。
Tel:15229318512
E-mail:lvxinbo771107@163.com

Research on Aircraft's Launching Missile Safety at Minimum Altitude

ZHANG Xin¹, LV Xinbo^{2,*}

1.Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China

2.The First Aircraft Institute of AVIC, Xi'an 710089, China

Abstract: This paper established the launching missile model of an aircraft flying at minimum altitude. The dynamic response of launching missile with no control of pilot, using autopilot and under the effect of atmospheric turbulences was studied. The results show that the dynamic responses of launching missiles at minimum altitude using autopilot were smaller and it can meet the requirements of launching missile. The atmospheric turbulences can effect the dynamic response of launching missile at minimum altitude. However the aircraft has the ability of launching missile. In the last, the paper provided the safety control method of launching missile at minimum altitude and the results of research have some reference value that could be used to engineering applications.

Key Words: minimum altitude; launching missile; safety; dynamic response

Received: 2015-09-08; Revised: 2015-10-26; Accepted: 2015-10-30

*Corresponding author. Tel.: 15229318512 E-mail: lvxinbo771107@163.com