

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2017.09.005

舰速和风速对舰载机下滑着舰性能的影响

张超*, 任江涛

航空工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

摘要: 为了研究舰速、风速对舰载机下滑着舰时下滑角和下沉率的影响, 从舰载机着舰过程的运动方程着手, 通过着舰过程情景模型的建立, 分析了舰速和风速对着舰性能的影响。结果表明, 风速、舰速影响下实际下滑角和下沉率会变小, 并与舰速、风速呈线性关系, 该结论为舰载机下滑着舰提供了设计依据。

关键词: 舰载机; 下滑角; 下沉率; 舰速; 风速

中图分类号: V271.492 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2017) 09-0005-05

航空母舰(航母)以其具备舰队防空、对地打击、对舰打击、电子战、反潜等全面作战能力而成为各国舰队体系建设的核心。舰载机作为航空母舰上的主要武器系统, 是海军航空兵主要的作战手段之一, 是在海洋战场上夺取和保持制空权、制海权的重要力量^[1], 其能否安全、高效地起降将直接影响航母战斗群作战能力的发挥。

相较于陆基起降飞机, 舰载机对起降要求更为严格, 尤其在着舰过程中, 需要精确的轨迹及稳定性控制^[2]。考虑到舰载机着舰安全性要求, 需要在整个着舰航线上精确地完成飞行, 着舰航线上任何条件的变化都会对下滑着舰造成一定影响, 自然风和航母运动作为主要的影响因素均对飞机下滑着舰性能有重要影响。为保证飞机在预定的理想着舰点与航空母舰的拦阻索啮合, 必须考虑航空母舰的海上运动和自然风所造成的理想着舰点位置的变化。本文以 F/A-18F 舰载机为例, 分析研究航母行进运动和自然风对舰载机下滑着舰性能的影响。

1 舰载机着舰特性

1.1 环境及参数分析

目前所使用的航空母舰均采用斜、直两段式甲板, 供舰

载机起降使用。直飞行甲板在航母的前部, 专供飞机起飞; 斜飞行甲板, 位于直甲板左侧, 其纵轴中线与航空母舰首尾中线存在夹角, 一般为 $6^{\circ} \sim 13^{\circ}$, 上面装有四根拦阻索, 供飞机降落使用, 其甲板布局示意图如图 1 所示。



图 1 航空母舰甲板示意图
Fig.1 Diagram of carrier deck

现有航母着舰区总长度为 220~270m, 为陆基跑道长度的 1/10 左右。舰载机着舰时的理想着舰点应位于拦阻索的第二条和第三条之间, 这样飞机的挂钩能有效挂在钢索上而使飞机被有效拦阻^[3]。基于舰载机的着舰特性, 其采用无平飘、固定下滑角的着舰方式, 这种下滑方式可以较好地控制下滑航迹使飞机准确落在指定位置。由于航母运动的影响, 航空母舰上的着舰点是一个变化的动点, 舰载机下滑轨迹会发生变化, 着舰过程特别是着舰最后阶段, 飞机必须能够响应这种变化。下滑角和下沉率是影响飞机下滑轨迹的重要

收稿日期: 2017-07-07; 退修日期: 2017-08-14; 录用日期: 2017-08-17

* 通信作者. Tel.: 029-86832501 E-mail: 574925111@qq.com

引用格式: ZHANG Chao, REN Jiangtao. Influence of wind speed and carrier speed on carrier landing performance of carrier-based aircraft [J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28 (09): 05-09. 张超, 任江涛. 舰速和风速对舰载机下滑着舰性能的影响 [J]. 航空科学技术, 2017, 28 (09): 05-09.

因子,故要控制飞机在理想着舰点上安全着舰,必须明确实际着舰过程中飞机下滑角和下沉率。

舰载机一般以 $3.5^\circ \sim 4^\circ$ 的固定光学下滑角进场着舰,最大下滑角 4° 是受垂直下沉率强加于飞机结构上的载荷所约束,过大的下滑角将使飞机起落架及机体的法向过载难以承受,甚至造成着舰时起落架折断。最小下滑角则是受精确操纵及舰尾扰流所约束,对于竖直方向相同高度偏差的触舰点,下滑角越小,引起的水平距离偏差越大,同时过小的下滑角使得飞行员精确控制下滑轨迹的难度增加。

下沉率即着舰下沉速度,是舰载机在航母上着舰时飞机速度在竖直方向的分量,它既是舰载机着舰撞击严重程度的重要标志,也是影响起落架性能的主要设计参数,其量值直接影响起落架载荷,进而影响起落架及机体机构的重量^[4]。

在航母运动和自然风的影响下,舰载机下滑着舰时的实际下滑角和下沉率都会发生变化,研究航母运动和自然风对舰载机着舰下滑性能的影响对设计舰载机的下滑速度、下滑着舰时的航速、风速允许范围等有着重要作用。研究分析航母运动和自然风对舰载机下滑着舰性能影响主要是研究舰速、风速对舰载机下滑着舰时下滑角和下沉率的影响。

1.2 情景模型建立

根据美国海军联合适用规范及现有舰载机着舰可用的一些计算和验证标准,舰载机在假定甲板风速为 0、气温 32.3°C (89.8°F) 的条件下,以 4° 的等光学下滑角下滑着舰。图 2 给出了航母行进且存在自然风的下滑着舰情景示意图。定义对地坐标系: x 轴水平向前,与舰速平行; y 轴铅垂向下; z 轴按右手定则水平向左。斜甲板纵轴中线与航空母舰首尾中线夹角为 η ,风速与航母首尾中线夹角为 γ ,在航母静止且无风的情况下,光学下滑角为 θ ,在舰速或风速影响下,实际下滑角变为 θ' 。

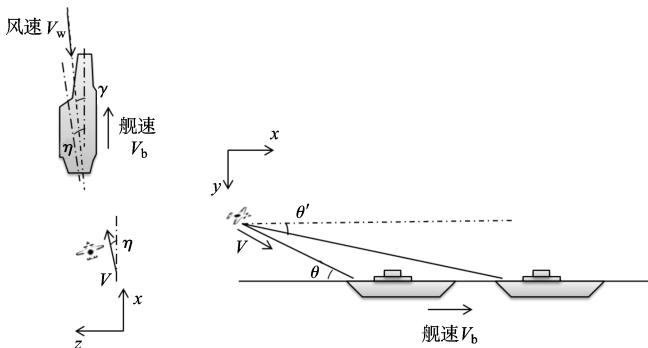


图 2 舰载机下滑着舰情景示意图

Fig.2 Diagram of carrier-based aircraft landing situation

依据建立的舰载机下滑着舰情景模型,研究分析航母运动、自然风对下滑着舰时下滑角和下沉率的影响。首先采用控制变量的方法单独分析风速、舰速的影响,然后考虑舰速、风速的综合影响,研究舰载机着舰下滑角和下沉率的变化规律。

2 风速影响规律分析

自然风是舰载机着舰不可避免的一个影响因素,对于舰载机一般要求在 6 级海况下仍能在航母上起降。假定航母静止,自然风速为 V_w ,逆风为正,对飞机下滑着舰状态进行分析,此时飞机的飞行空速 V 在坐标系三个轴向的分量为:

$$\begin{cases} V_x = V \cdot \cos \theta' \cos \eta \\ V_z = V \cdot \cos \theta' \sin \eta \\ V_y = V \cdot \sin \theta' \end{cases} \quad (1)$$

以航母为参考点,飞机相对于航母的速度在三个坐标轴方向的速度分量分别为:

$$\begin{cases} V'_x = V \cdot \cos \theta' \cos \eta - V_w \cdot \cos \gamma \\ V'_z = V \cdot \cos \theta' \sin \eta - V_w \cdot \sin \gamma \\ V'_y = V \cdot \sin \theta' \end{cases} \quad (2)$$

由光学下滑角 θ 可得飞机相对于航母的速度分量之间有如下关系:

$$\tan \theta = \frac{V'_y}{\sqrt{V'^2_x + V'^2_z}} \quad (3)$$

基于以上公式可求得实际下滑角 θ' ,进而可得到飞机下降率为:

$$V_y = V \cdot \sin \theta' \times 1.05 \quad (4)$$

式 (4) 中系数 1.05 是因为舰载机在着舰时由于要考虑到着舰失败复飞的情况,飞行员会推油门全速前进,使得飞行速度增加,进而导致下沉率增加,故给出 5% 的速度增量。

F/A-18F 舰载机不同重量的着舰速度范围在 $240 \sim 275 \text{ km/h}$ 之间^[5]。本文计算中航母斜甲板与航空母舰首尾中线夹角 η 取 10° ,为使飞机着舰时尽量不受侧风影响,风速与飞机下滑速度的夹角越小越好,理论上风速与斜甲板中线平行最佳,即与航母首尾中线夹角 γ 取 10° ,但由于斜角式甲板航空母舰上舰载机可同时进行起飞与着舰,为了兼顾起飞和着舰,本文计算分析中取风速与航母中线夹角为 5° 。考虑到舰载机的着舰能力要求,风速取 $0 \sim 37 \text{ km/h}$ (20 kn) 范围。不同空速下滑角和下沉率随风速的变化趋势如图 3 和图 4 所示。

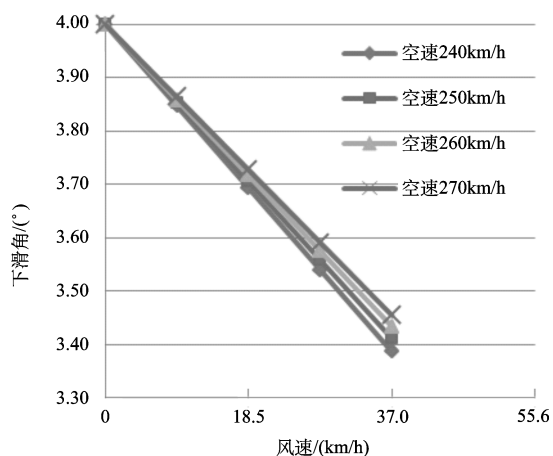


图3 不同空速下滑角随风速变化图

Fig.3 Glide angle change with wind speed in different air speed

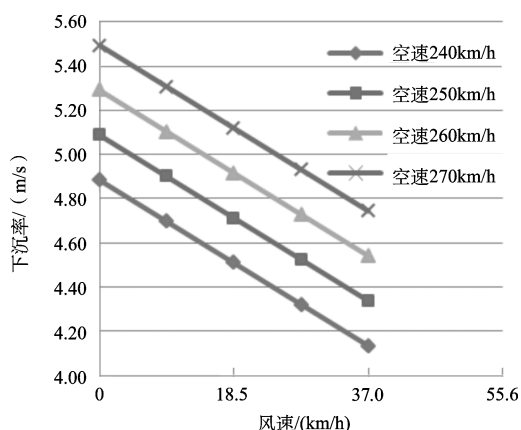


图4 不同空速下沉率随风速变化图

Fig.4 Sinking velocity change with wind speed in different air speed

由图3、图4可知给定空速下,下滑角和下沉率随风速增加而线性减少;风速每增加18.5km/h(10kn),下沉率平均减少0.37m/s,风速越大,下滑角随空速变化量越大;给定风速下,下降速度每增加10km/h,下沉率约增加0.2m/s。

3 舰速影响规律分析

实际情况中,舰载机着舰时航空母舰处于行进状态,因此要考虑航母运动对舰载机下滑着舰的影响。采用控制变量的方法,假设自然风风速为0,分析航母行进速度对舰载机下滑着舰时下滑角和下沉率的影响。在考虑航母速度 V_0 的情况下,以航母为参考点,飞机相对于航母的速度在三个坐标轴方向的速度分量变为:

$$\begin{cases} V'_x = V \cdot \cos \theta' \cos \eta - V_0 \\ V'_z = V \cdot \cos \theta' \sin \eta \\ V'_y = V \cdot \sin \theta' \end{cases} \quad (5)$$

依据式(3)、式(4)可进一步求得实际下滑角和下沉率。航母通常以55.6km/h(30kn)的典型速度行驶,在此取舰速范围为27.8~55.6km/h,其余计算条件与前文相同。不同空速下滑角和下沉率随舰速变化规律如图5和图6所示。

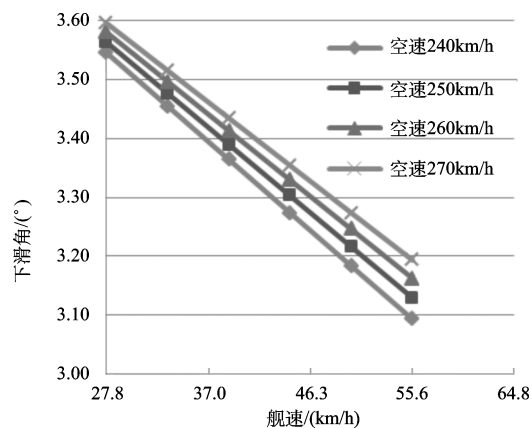


图5 不同空速下滑角随舰速变化图

Fig.5 Glide angle change with carrier speed in different air speed

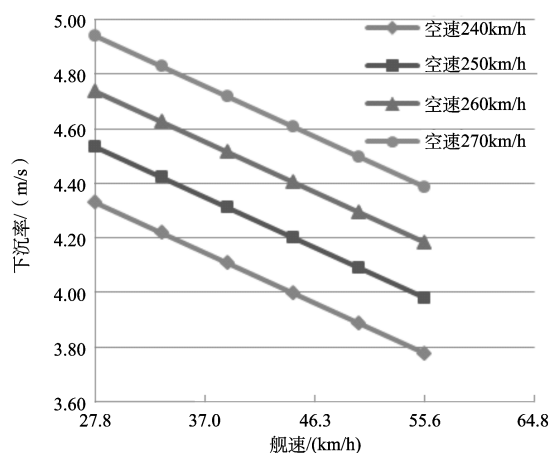


图6 不同空速下沉率随舰速变化图

Fig.6 Sinking velocity change with carrier speed in different air speed

由图5、图6可知,下滑角和下沉率随舰速增加呈线性变化关系;给定下降速度,舰速每增加18.5km/h,下沉率约减少0.37m/s;给定舰速,下滑速度每增加10km/h,下沉率平均增加0.2m/s;下滑角的变化量随下滑速度的增加而减少。

4 甲板风影响规律分析

国军标规定甲板风为着舰速度与舰上拦阻速度之差,而实际上甲板风是由自然风和航母运动共同作用引起的。舰载机在实际着舰时,通常是既有自然风,又有航母运动,此时应综合考虑自然风和航母运动对舰载机下滑着舰性能的

影响,即甲板风的影响。甲板风 V_d 为自然风速与舰速的矢量差,几何关系如图 7 所示。

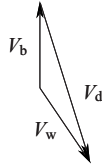


图 7 甲板风、自然风和航母运动速度矢量关系

Fig.7 The relationship of velocity vector among deck wind, wind and carrier

在考虑甲板风的条件下,根据甲板风与自然风、舰速的矢量关系,式(2)中飞机相对于航母的速度在三个坐标轴方向的速度分量变为:

$$\begin{cases} V'_x = V \cdot \cos \theta' \cos \eta - V_b - V_w \cdot \cos \gamma \\ V'_z = V \cdot \cos \theta' \sin \eta - V_w \cdot \sin \gamma \\ V'_y = V \cdot \sin \theta' \end{cases} \quad (6)$$

根据式(3)、式(4)可得到舰载机下滑着舰时的实际下滑角和下沉率。舰载机下滑角和下沉率随甲板风的变化趋势如图 8、图 9 所示。

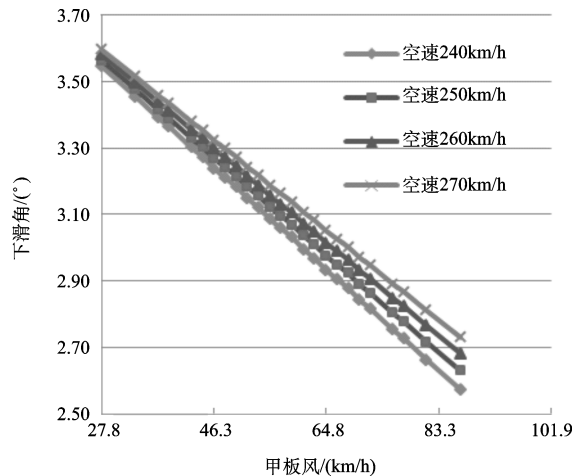


图 8 不同空速下滑角随甲板风变化图

Fig.8 Glide angle change with carrier speed in different air speed

由图 8、图 9 可知给定速度下,下滑角和下沉率随甲板风的变化跟自然风、舰速的影响一样,也是基本呈线性变化关系,并且甲板风每增加 18.5km/h,下沉率平均减少 0.37m/s,甲板风越大,不同着舰速度下的下滑角差值越大。给定甲板风,着舰速度每增加 10km/h,下沉率增加约 0.2m/s。

引入速度比 $\mu = V_d/V$,下滑角随速度比 μ 的变化趋势如图 10 所示,对于不同着舰速度, μ 相同的情况下,其下滑角相同,且速度比 μ 每增加 10%,下滑角平均减小 0.4°。

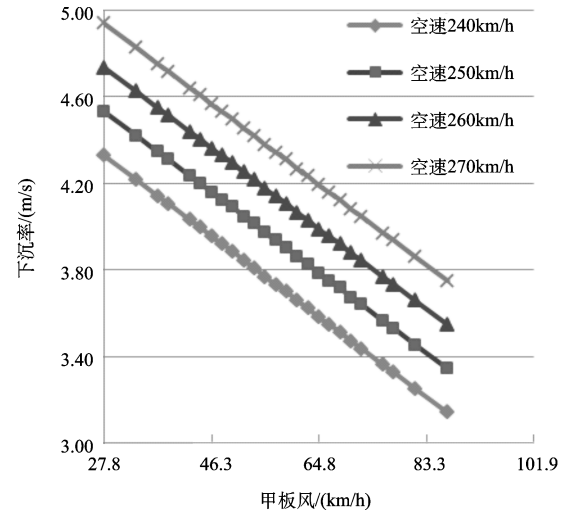


图 9 不同空速下沉率随甲板风变化图

Fig.9 Sinking velocity change with deck wind speed in different air speed

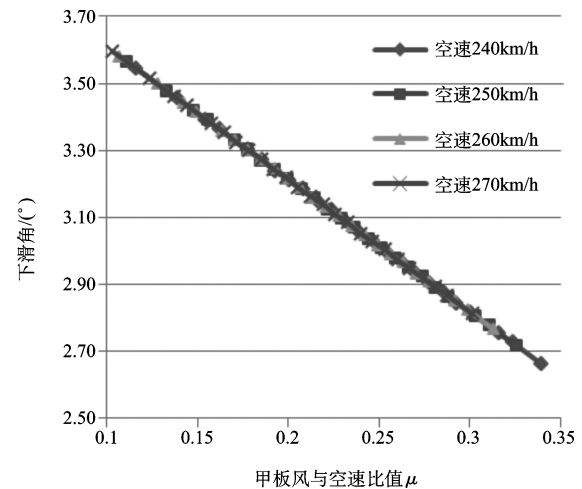


图 10 下滑角随甲板风与空速比值变化图

Fig.10 Glide angle change with the ratio of deck wind speed to air speed

5 结束语

本文以 F/A-18F 舰载机为例,分析了风速、舰速对舰载机下滑着舰性能参数下滑角和下沉率的影响,得到以下结论:

(1) 自然风和航母运动对舰载机下滑着舰性能参数影响可统一归结为甲板风的影响。不同甲板风下,下沉率的变化量与着舰速度无关,只与甲板风的大小呈线性关系;甲板风与着舰速度的比值与下滑角呈线性变化关系,且不同着舰速度下,当甲板风与着舰速度的比值相同时,其实际下滑角相同。

(2) 舰载机下滑着舰过程中, 可根据甲板风和着舰速度的大小, 得出实际下滑角和下沉率, 通过改变甲板风和着舰速度可得到合适的下滑角和下沉率, 进而保证舰载机沿着适当轨迹精准着舰并拦阻成功。

AST

参考文献

- [1] 聂宏, 彭一明, 魏小辉, 等. 舰载飞机着舰拦阻动力学研究综述 [J]. 航空学报, 2014, 35 (1): 1-12.
NIE Hong, PENG Yiming, WEI Xiaohui, et al. Overview of carrier-based aircraft arrested deck-landing dynamics [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2014, 35 (1): 1-12. (in Chinese)
- [2] 陈胜杰, 焦晓辉, 王鹏. 舰载机着舰中侧风和常值甲板风的影响研究 [J]. 航空科学技术, 2016, 27 (04): 41-45.
CHEN Shengjie, JIAO Xiaohui, WANG Peng. Research on effect of crosswind and const deck wind in carrier aircraft landing [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27 (04): 41-45. (in Chinese)
- [3] 许东松, 刘星宇, 王立新. 变化风场对舰载飞机着舰安全性影响 [J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36 (01): 78-81.
XU Dongsong, LIU Xingyu, WANG Lixin. Influence of changeful wind on landing safety of carrier-based airplane [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2010, 36 (01): 78-81. (in Chinese)
- [4] 冯蕴雯, 刘思宏, 薛小锋, 等. 基于实测值的舰载机着舰下沉速度影响性分析 [J]. 航空学报, 2015, 36 (11): 3578-3585.
FENG Yunwen, LIU Sihong, XUE Xiaofeng, et al. Sinking velocity impact analysis of carrier-based aircraft based on test data [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2015, 36 (11): 3578-3585. (in Chinese)
- [5] 陈稗, 昂海松. F/A-18F 舰载飞机起降特性分析 [J]. 南昌航空大学学报: 自然科学版, 2011, 25 (03): 66-74.
CHEN Bai, ANG Haisong. Analysis of take-off and landing characteristics of F/A-18F carrier-based aircraft [J]. Journal of Nanchang Hangkong University: Natural Sciences, 2011, 25 (03): 66-74. (in Chinese) (责任编辑 王萧一)

作者简介

张超 (1990—) 男, 硕士, 助理工程师。主要研究方向: 飞行器飞行性能设计。

Tel: 029-86832501

E-mail: 574925111@qq.com

Influence of Wind Speed and Carrier Speed on Carrier Landing Performance of Carrier-based Aircraft

ZHANG Chao*, REN Jiangtao

AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

Abstract: The influence of wind speed and carrier speed on carrier landing performance was analyzed by establishing the situation model of carrier landing which was based on the equation of motion for carrier aircraft landing, in order to analyze the influence of wind speed and carrier speed on glide angle and sinking velocity of carrier-based aircraft. The results show that actual glide angle and sinking velocity are linearly related to wind speed and carrier speed, and will diminish under the influence of wind speed and carrier speed, which provide design basis for carrier aircraft landing.

Key Words: carrier-based aircraft; glide angle; sinking velocity; carrier speed; wing speed

Received: 2017-07-07; Revised: 2017-08-14; Accepted: 2017-08-17

*Corresponding author. Tel.: 029-86832501 E-mail: 574925111@qq.com