

# 舰载机着舰中侧风和常值甲板风的影响研究

陈胜杰\*, 焦晓辉, 王鹏

中国飞行试验研究院, 陕西 西安 710089

**摘 要:** 舰载机要安全着舰, 需要精确控制全着舰航线轨迹及其稳定性, 风是影响舰载机着舰航线的主要因素。论文主要研究了侧风和常值甲板风对舰载机着舰飞行产生的影响, 建立了影响舰载机着舰飞行的不同侧风、甲板风的数学模型。根据数学模型计算了不同甲板风和侧风下着舰飞行轨迹参数, 从而提出了着舰飞行修正方法。

**关键词:** 舰载机; 下滑着舰; 甲板风; 侧风

中图分类号: U661.1

文献标识码: A

文章编号: 1007-5453 (2016) 04-0041-05

相较于陆基起降飞机而言, 舰载机对起降要求更为严格, 尤其在着舰过程中, 需要十分精确的轨迹及稳定性控制。考虑到安全着舰的要求, 需要在整个着舰航线上均较为精确地完成飞行, 着舰航线上任何条件的变化都会对着舰进程近有一定影响, 气象风作为一项主要的影响因素对飞机航线、下滑及着舰等均有较大影响。气象风可分解为垂直方向的侧风及水平方向的常值甲板风分量, 本文将对两种风对飞行的影响进行研究。

## 1 舰载机着舰航线

舰载机着舰航线如图1所示, 在母舰右后方加入着舰航线, 完成第一次转弯后, 放下起落架襟翼, 配平飞机至最优攻角, 到达与着舰点平行的正侧方点后, 根据甲板风情况计时, 完成第二次转弯, 之后按照指挥及助降系统完成下滑着舰。

由于舰载机着舰过程中, 母舰一直处于运动状态, 因此在分析风作用时需考虑母舰运动产生的影响。这里引入甲板风, 即母舰甲板上能感受的风, 是对母舰运动与风的合成。由于母舰运动方向与飞机下滑运动方向基本一致, 因此, 甲板风只考虑飞机速度方向的逆/顺风。

本文选取F-18作为研究对象, 飞机配平后速度为 $V_0=259\text{km/h}$ , 航线宽度为 $1.1\sim 1.3\text{nm}$ (本文选取 $1.2\text{nm}$ , 约 $2.22\text{km}$ )。这里第二边认为是稳定平飞, 即飞机高度速度均不变化的等速直线运动, 第二次转弯认为是稳定盘旋, 即盘旋角速度及速度均不变化的匀速转弯, 第二次转弯中滚转角为 $\varphi=28.4^\circ$ 。

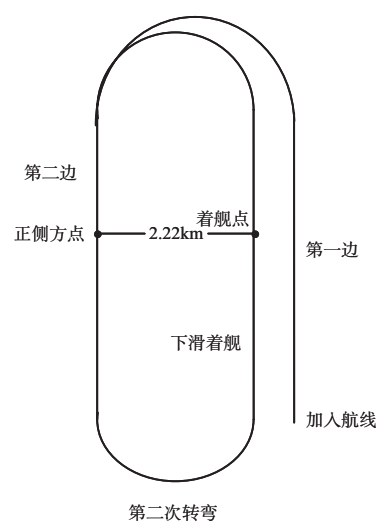


图1 舰载机着舰航线

Fig.1 Carrier aircraft landing route

## 2 风对舰载机飞行影响分析

### 2.1 甲板风对航线飞行影响

在舰载机着舰飞行中, 为实现安全高效的舰载机回收, 要求飞机下滑着舰时间在各种气象风条件下为固定值。对于F-18, 要求其在 $15\sim 18\text{s}$ (为计算统一起见, 本文后续采用 $15\text{s}$ ), 如图2所示, 在无甲板风情况下过正侧方后计时 $15\text{s}$ 后完成转弯, 则下滑时间为 $15\text{s}$ , 但存在甲板风的情况下, 若要下滑时间为 $15\text{s}$ , 则必须减少计时时间。此时要求飞机在计时时间 $t$ 及转弯时间 $t_1$ 所产生沿母舰运动方向距离, 与 $t_2$ 时间

收稿日期: 2015-12-14; 退修日期: 2016-01-09; 录用日期: 2016-01-18

\*通讯作者: Tel.: 13720549054 E-mail: chen\_3455253@163.com

引用格式: 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. 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.

所产生的距离相等。

计时时间 $t$ 产生的距离 $S$ :

$$V=V_0+V_w$$

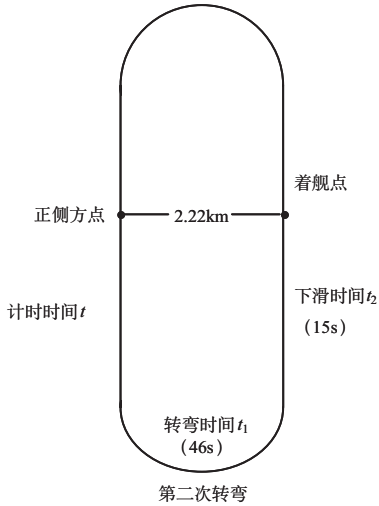


图2 舰载机计时示意图

Fig.2 Diagram of carrier aircraft timekeeping

$$V_0=259/3.6=71.9\text{m/s}$$

式中: $V_w$ 为甲板风。

则, $S=V\times t=(V_0+V_w)\times t$

转弯时间 $t_1$ 产生的距离 $S_1$ :

$$V_1=V_w$$

则, $S_1=V_1\times t=V_w\times t_1$

第二次转弯角速率 $\omega$ 及转弯时间 $t_1$ :

$$\omega=V_0/(\cos\varphi)^{1/2}/R=3.9(^{\circ})/\text{s}$$

$$t_1=180/\omega=46\text{s}$$

下滑时间 $t_2$ 产生距离 $S_2$ :

$$V=V_0-V_w$$

$$S=V\times t=(V_0-V_w)\times t_2$$

则有,

$$S+S_1=S_2$$

即, $(71.9+V_w)\times t+V_w\times 46=(71.9-V_w)\times 15$

可得, $t=((71.9-V_w)\times 15-V_w\times 43)/(71.9+V_w)$

表1及图3为F-18不同甲板风下对应侧方计时计算结果。由计算结果可知,每增加1m/s的甲板风,侧方计时时间减少约1s,甲板风达到15m/s时计时时间仅1.9s,实际飞行中飞行员可根据该计算方法在不同甲板风情况下选择不同侧方计时时间,以达到下滑时间15s的要求。

图4为不同甲板风下飞机第二次转弯轨迹图。由图可知,为保证下滑时间固定15s,随甲板风增加过侧方后转弯距离逐渐减小,甲板风15m/s时,转弯距离仅160m。

表1 不同甲板风下侧方计时表

Table 1 Side timekeeping in different deck winds

| 甲板风<br>/(m/s) | 第二次转弯<br>时间/s | 下滑时间<br>/s | 基础速度<br>/(m/s) | 侧方计时<br>/s |
|---------------|---------------|------------|----------------|------------|
| 0             | 46            | 15         | 71.9           | 15.0       |
| 1             | 46            | 15         | 71.9           | 14.0       |
| 2             | 46            | 15         | 71.9           | 12.9       |
| 3             | 46            | 15         | 71.9           | 12.0       |
| 4             | 46            | 15         | 71.9           | 11.0       |
| 5             | 46            | 15         | 71.9           | 10.1       |
| 6             | 46            | 15         | 71.9           | 9.1        |
| 7             | 46            | 15         | 71.9           | 8.3        |
| 8             | 46            | 15         | 71.9           | 7.4        |
| 9             | 46            | 15         | 71.9           | 6.5        |
| 10            | 46            | 15         | 71.9           | 5.7        |
| 11            | 46            | 15         | 71.9           | 4.9        |
| 12            | 46            | 15         | 71.9           | 4.1        |
| 13            | 46            | 15         | 71.9           | 3.4        |
| 14            | 46            | 15         | 71.9           | 2.6        |
| 15            | 46            | 15         | 71.9           | 1.9        |

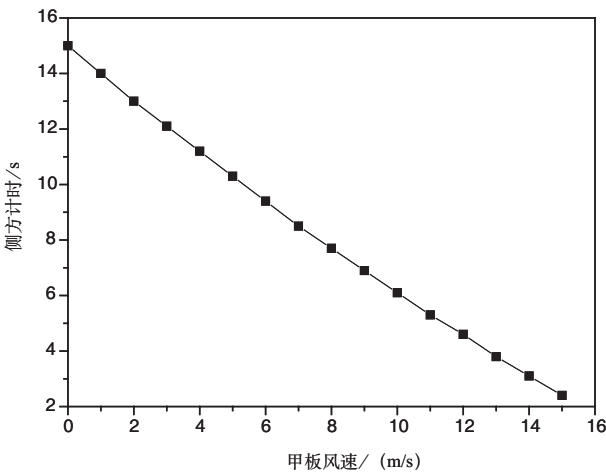


图3 不同甲板风下侧方计时

Fig.3 Side timekeeping in different deck winds

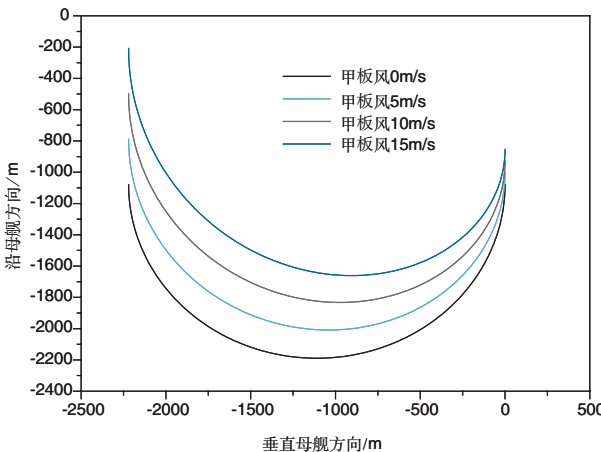


图4 不同甲板风下飞机第二次转弯轨迹图

Fig.4 The 2nd turn tracks of the aircraft in different deck winds

2.2 侧风对航线飞行影响

舰载机着舰飞行中, 母舰运动方向通常尽量与气象风方向保持一致, 这样在下滑过程中使得飞机不会受到大侧风的影响。但由于气象风并非各个高度均保持一致, 因此在相对较高的航线上飞机可能会受到垂直于运动方向的侧风影响, 该情况下如果不及时修正, 飞机会出现较大偏差, 如图5所示。在航线上有左侧风时, 不修正的情况下飞机会出现轨迹不断右飘现象, 这会对飞机后续第二次转弯及下滑着舰有较大影响, 因此需及时对侧风进行修正。

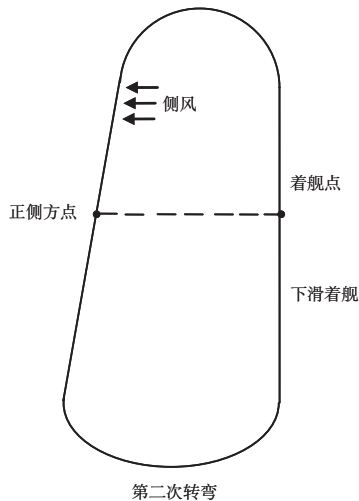


图5 侧风对飞机轨迹影响图  
Fig.5 Influence of side wind on aircraft track

目前比较常用的修正方法是飞机机头向侧风方向偏转一个角度, 此时飞机会沿预定轨迹运动。如图6所示, 飞机偏转的角度计算方法如下:

$$\tan\theta = V_w / V_0 \quad (13)$$

$$\theta = \arctan(V_w / V_0), \quad (14)$$

式中:  $V_0 = 71.9 \text{ m/s}$ 。

计算表2不同气象风对应偏流角度, 由结果可知, 每增加  $1 \text{ m/s}$  的侧风, 偏流角度增加  $0.8^\circ$ , 实际飞行中飞行员可根据侧风情况, 向侧风反方向偏转一个对应的偏流角, 即可保证飞机沿预定轨迹飞行。该方法也适用于下滑着舰前段。

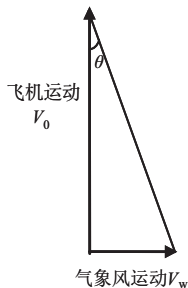


图6 飞机偏流角度计算示意图  
Fig.6 Calculation schematic of aircraft bias angle

表2 不同侧风下偏流角度计算结果

Table 2 Calculating results of bias angle in different side winds

| 序号 | 侧风/(m/s) | 飞机基础速度/(m/s) | 偏流角度/(°) |
|----|----------|--------------|----------|
| 1  | 0        | 71.9         | 0.0      |
| 2  | 1        | 71.9         | 0.8      |
| 3  | 2        | 71.9         | 1.6      |
| 4  | 3        | 71.9         | 2.4      |
| 5  | 4        | 71.9         | 3.2      |
| 6  | 5        | 71.9         | 4.0      |
| 7  | 6        | 71.9         | 4.8      |
| 8  | 7        | 71.9         | 5.6      |
| 9  | 8        | 71.9         | 6.4      |
| 10 | 9        | 71.9         | 7.1      |
| 11 | 10       | 71.9         | 7.9      |

2.3 侧风对第二次转弯飞行影响

舰载机着舰飞行过程中, 第二次转弯作为下滑前最后一个阶段, 会对最终着舰有较大影响, 因此要求飞行中尽可能精确地按照航线数据完成第二次转弯。在无侧风影响情况下, 根据转弯半径  $R$  为  $1110 \text{ m}$ , 基础速度  $V_0$  为  $259 \text{ km/h}$ , 计算出所需滚转角  $\phi$  为  $28.4^\circ$ , 具体计算过程如下:

由于飞机在稳定平飞时有:

$$L_0 = 1/2 \rho V_0^2 S C_L = G \quad (15)$$

转弯时有:

$$L_1 \times \cos\phi = G \quad (16)$$

$$L_1 \times \sin\phi = G/g \times V_1^2/R \quad (17)$$

$$L_1 = 1/2 \rho V_1^2 S C_L \quad (18)$$

式中:  $C_L$  为升力系数。

综上有:

$$\sin\phi = V_0^2/g/R \quad (19)$$

$$\phi = 28.4^\circ \quad (20)$$

$$V_1 = 294.4 \text{ km/h} \quad (21)$$

但存在侧风的情况下, 如果不进行修正, 会产生较大的垂直母舰运动方向的偏差。图7为不同侧风下第二次转弯实际飞行轨迹, 表3为完成第二次转完后飞机相对于母舰垂直方向的偏差, 由上可知在侧风较大情况下如果不进行修正, 飞机将会产生很大的偏差, 此时再对正母舰会浪费飞行员很多精力且很难较快完成。因此, 实际飞行中, 飞行员会根据侧风情况及时修正。

有两种修正侧风偏差的方法, 一种是调整航线宽度, 另一种是调整转弯时飞机滚转角。

第一种方法按照表3计算结果, 根据不同侧风将第二边向相反方向平移相应距离, 按  $1 \text{ m/s}$  的侧风平移距离  $45 \text{ m}$  来控制, 则飞行航线会按照预定轨迹完成。

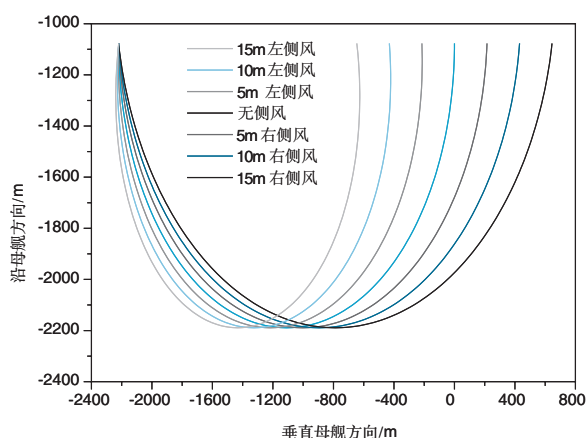


图7 不同侧风下飞机第二转弯运动轨迹

Fig.7 The 2nd turn tracks of the aircraft in different side winds

表3 第二次转弯后垂直母舰方向偏差表

Table 3 lateral direction deviation after the 2nd turn

| 序号 | 侧风/(m/s) | 垂直方向偏差/m |
|----|----------|----------|
| 1  | -15      | 645      |
| 2  | -10      | 430      |
| 3  | -5       | 215      |
| 4  | 0        | 0        |
| 5  | 5        | -215     |
| 6  | 10       | -430     |
| 7  | 15       | -645     |

第二种方法,假设侧风分量为 $V_{cr}$ ,转弯滚转角为 $\varphi$ ,由于整个转弯垂直母舰方向平移距离2220m没有变,则飞机实际的转弯半径:

$$R=(2220+V_{cr} \times t)/2 \quad (22)$$

转弯时间:

$$t=3.14/\omega \quad (23)$$

转弯角速度:

$$\omega=V_0/\cos\varphi/R \quad (24)$$

那么有:

$$R=(2220+V_{cr} \times 3.14/(V_0/(\cos\varphi)^{1/2}/R))/2 \quad (25)$$

同时由于:

$$\sin\varphi=V_0^2/g/R \quad (26)$$

整理得:

$$1110 \times g \times \sin\varphi + 1.57 \times V_{cr} \times V_0 \times (\cos\varphi)^{1/2} = V_0^2 \quad (27)$$

利用二分法插值迭代出不同侧风下的滚转角,计算结果见表4。

由结果可知,为保证第二次转弯沿预定轨迹运动,在不同侧风下调整滚转角大小不同,在15m/s左侧风时需滚转角调整至38°,15m/s右侧风时需滚转角调整至19°。

实际飞行中可综合两种方法进行侧风修正,在侧风较

表4 第二次转弯为保证预定轨迹不同侧风下对应滚转角计算结果

Table 4 The 2nd turn roll angle calculating results to ensure a predetermined trajectory in different side winds

| 序号 | 侧风/(m/s) | 滚转角/(°) | 对应速度/(km/h) | 实际转弯半径/m | 转弯时间/s |
|----|----------|---------|-------------|----------|--------|
| 1  | -15      | 37.9    | 291         | 859      | 33     |
| 2  | -10      | 34.7    | 285         | 927      | 37     |
| 3  | -5       | 31.6    | 280         | 1007     | 41     |
| 4  | 0        | 28.4    | 276         | 1110     | 45     |
| 5  | 5        | 25.2    | 272         | 1240     | 51     |
| 6  | 10       | 22.1    | 269         | 1403     | 59     |
| 7  | 15       | 18.9    | 266         | 1629     | 69     |

小时可适当调整坡度进行修正,侧风较大时可通过调整航线宽度进行轨迹修正。

### 3 结论

本文主要研究了侧风及常值甲板风对舰载机着舰的影响,通过对不同气象风(侧风、甲板风、偏流等)对舰载机影响建立数学模型,并进行计算,得出结论,给出修正方法。

甲板风会影响飞机下滑时间,通过减少侧风计时可以修正甲板风影响;侧风会在第二边上形成偏流,不及时修正会产生轨迹向一侧偏移,通过向反方向偏航飞行可修正偏流;侧风会对下滑道起始位置产生较大偏差,通过调整航线宽度或调整转弯时滚转角可以修正侧风影响。

AST

### 参考文献

- [1] 杨一栋译.舰载机进场着舰规范评估[M].北京:国防工业出版社,2007.
- [2] YANG Yidong translated. Carrier aircraft landing specification evaluation[M]. Beijing: Defense Industry Press,2007.(in Chinese)
- [3] SA-FIM-01. Carrier suitability testing manual, Revision 2[M].1994.
- [4] 中国飞行试验研究院.苏-33飞机培训手册[M].北京:航空工业出版社,2009.
- Chinese Flight Test Establishment. Su-33 training manual[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2009.(in Chinese)
- [4] 杨一栋.舰载机着舰飞行训练认证指南[M].北京:国防工业出版社,2007.
- YANG Yidong. Carrier aircraft landing flight training certification guide[M]. Beijing: Defense Industry Press, 2007.(in Chinese)

### 作者简介

陈胜杰(1986— ) 男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机性能试飞相关。

## Research on Effect of Crosswind and Const Deck Wind in Carrier Aircraft Landing

CHEN Shengjie\*, JIAO Xiaohui, WANG Peng

*Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China*

**Abstract:** During carrier landing, the flight path and the stability of carrier landing route needs to be very accurate. The main influencing factor impacted on final landing is the wind. In this paper, the influence of the cross wind and constant deck wind to carrier landing were researched. The mathematical model of different cross wind and deck wind was built with the mathematical model. The flight path under different cross wind and deck wind were calculated, and the correction method was proposed.

**Key Words:** carrier aircraft; carrier landing; deck wind; crosswind

---

**Received:** 2015-12-14;      **Revised:** 2016-01-09;      **Accepted:** 2016-01-18

**\*Corresponding author. Tel. :** 13720549054      **E-mail:** chen\_3455253@163.com