

外挂武器对载机飞行性能影响研究

聂光成, 魏贤智, 王 勇
(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘 要:阐述了评估的一般模型及基本原理, 定向评估了外挂武器对载机最大平飞速度、航程和气动系数等的影响, 得出了评估其性能参数的数学模型, 运用数学模型计算了升限的增量, 结果与实际相比具有较好的一致性。

关键词:外挂武器; 飞行性能; 评估模型

中图分类号: V246; TJ81 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 3516(2003)02 - 0024 - 04

为了提高作战飞机的杀伤威力, 在现代作战飞机上都采用挂架挂载各类杀伤武器。当载机外挂这些武器以后, 不仅会增加飞行重量, 减少燃料储备, 而且在挂载或投射这些武器后都将改变载机重心的位置和气动特性, 直接影响载机飞行的战技性能。如何评估外挂武器对载机飞行性能的影响, 当然最确实可靠的方法是进行飞行试验或风洞实验, 但这要花费大量的人力、物力。本文提出一种理论和实验相结合的方法, 可方便而有效地用来定量评估外挂武器对载机飞行性能的影响。

1 挂载武器后载机的运动微分方程组

外挂武器对载机飞行性能影响的一般性评估模型: 它是基于载机运动微分方程组, 其一般表达式可用矩阵表达为

$$\ddot{X} = F(X, \dot{X}, G, Q, M) \tag{1}$$

式中 X 为广义坐标向量, \dot{X} 和 \ddot{X} 分别为广义坐标的一阶和二阶导数; G 是载机重量; Q 是除载机重量外的外力(一般包括空气动力, 发动机推力, 控制力); M 是外力矩(一般包括空气动力矩, 控制力矩); Q_i 和 M_i 分别是 Q 和 M 在广义坐标 X_i 上的分量; $F = [f_1, f_2, \dots, f_n]^T$ 是函数列矢量, $f_i = [x_1, x_2, \dots, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_n, G, Q_i, M_i]$; 对于上式中的每个参数我们均可把它分成两部分值的和, 即载机未挂武器的参数值加上挂载武器后的参数增量, 这些增量可记为 $\Delta x_i, \Delta \dot{x}_i, \Delta G, \Delta Q_i, \Delta M_i$, 由于这些增量同原参数值相比是微量, 这样式(1)可线性化为如下的微分方程组:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \ddot{x}_1 &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_i} \Delta x_i + \frac{\partial f_1}{\partial \dot{x}_i} \Delta \dot{x}_i \right) + \frac{\partial f_1}{\partial G} \Delta G + \frac{\partial f_1}{\partial Q_1} \Delta Q_1 + \frac{\partial f_1}{\partial M_1} \Delta M_1 \\ \Delta \ddot{x}_2 &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_i} \Delta x_i + \frac{\partial f_2}{\partial \dot{x}_i} \Delta \dot{x}_i \right) + \frac{\partial f_2}{\partial G} \Delta G + \frac{\partial f_2}{\partial Q_2} \Delta Q_2 + \frac{\partial f_2}{\partial M_2} \Delta M_2 \\ &\vdots \\ \Delta \ddot{x}_n &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_i} \Delta x_i + \frac{\partial f_n}{\partial \dot{x}_i} \Delta \dot{x}_i \right) + \frac{\partial f_n}{\partial G} \Delta G + \frac{\partial f_n}{\partial Q_n} \Delta Q_n + \frac{\partial f_n}{\partial M_n} \Delta M_n \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

在已知起始条件下, 通过对上述微分方程组进行数值求解, 就可以分析研究挂载武器后对载机飞行性能

收稿日期: 2001 - 12 - 24

基金项目: 军队科研基金资助项目

作者简介: 聂光成(1971 -), 男, 湖北天门人, 讲师, 硕士, 主要从事武器控制和外挂等研究。

的影响。

如果上述诸增量 Δx_i 、 Δx_i 、 ΔG 、 ΔQ_i 、 ΔM_i 不能认为是微量时,可以采用有序渐进加增量的方法,其物理机理是将外挂武器分割为微小部分依次挂载到载机上,而每次挂载之后诸参数的变化是微量^[1],这样就可以反复应用式(2)逐步递推求解,保证所需的精度要求。

2 挂载武器后载机的飞行性能参数计算模型

载机的基本飞行性能(如最大平飞速度、最小平飞速度、航程、航时、上升率、升限、气动系数等)是飞机战技性能的基础,在实际工程应用中,常常需要在挂载武器后对载机基本飞行性能的变化情况有所掌握,可以应用上述基本方法进行定量计算。

2.1 对最大平飞速度的影响

假设载机以最大平飞速度 V 作水平匀速飞行。悬挂武器后载机重量由 G 变为 $G + \Delta G$,升力系数由 C_y 变为 $C_y + \Delta C_y$,迎面阻力系数由 C_x 变为 $C_x + \Delta C_x$,载机速度由 V 变为 $V + \Delta V$,而且由于载机速度变化较小,不会实质地影响到所需发动机最大推力 P 的大小,即认为 $\Delta P = 0$ 。

载机平飞时有如下关系式:

$$P = C_x \frac{\rho V^2}{2} S \quad (3)$$

$$G = C_y \frac{\rho V^2}{2} S \quad (4)$$

飞机升限特性的极曲线方程为

$$C_x = C_{x0} + C_{xi} = C_{x0} + AC_y^2 \quad (5)$$

式(3)~(5)中: S 为飞机的特征面积; C_{x0} 为零升迎面阻力系数, C_{xi} 为诱导阻力系数, A 为诱导阻力因子。在 ΔG 、 ΔC_x 、 ΔC_y 与 G 、 C_x 、 C_y 相比均是微量时,并考虑到 $\Delta P = 0$ 则式(3)~(5)可线性化为

$$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{\Delta C_x}{2C_x} \quad (6)$$

$$\frac{\Delta G^*}{G} = \frac{\Delta C_y}{C_y} + 2\frac{\Delta V}{V} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = \frac{\Delta C_{x0}}{C_x} + 2\frac{\Delta C_{xi} \Delta C_y}{C_x C_y} \quad (8)$$

式中: $\Delta G^* = \Delta G - \Delta Y_e$, ΔY_e 为外挂武器产生的升力增量,如果忽略载机与外挂武器相互间空气动力的影响,并引入 ΔC_{ye} ——折算为飞机特征面积 S 时外挂武器的升力系数后^[2],则有:

$$\frac{\Delta Y_e}{G} = \frac{\Delta C_{ye}}{C_y} \quad (9)$$

联立式(6)~(9)可得:

$$\Delta V = -\frac{V}{1 - \frac{C_{xi}}{C_x}} \left[\frac{\Delta C_{x0}}{2C_x} + \frac{C_{xi}}{C_x} + \frac{C_{xi}}{C_x} \left(\frac{\Delta G}{G} - \frac{\Delta C_{ye}}{C_y} \right) \right] \quad (10)$$

式(10)即可用来估算外挂武器后对最大平飞速度的影响。

2.2 对空气动力系数的影响

如果载机外挂了 l 个挂架和 m 个外挂武器,则外挂武器后引起的迎面阻力增量 ΔR 为

$$\Delta R = \sum_{j=1}^l R_{ej} + \sum_{k=1}^m R_{ek} \quad (11)$$

式中: R_{ej} 和 R_{ek} 是 j 挂架和 k 外挂武器的迎面阻力。如果用 $C_{x_{ej}}$ 和 $C_{x_{ek}}$ 表示其相应的迎面阻力系数, S_{ej} 和 S_{ek} 表示其相应的特征面积,则可求得外挂武器后,迎面阻力系数增量为

$$\Delta C_{x0} = \sum_{j=1}^l C_{x_{ej}} \frac{S_{ej}}{S} + \sum_{k=1}^m C_{x_{ek}} \frac{S_{ek}}{S} \quad (12)$$

对于载机升力系数增量也可采用下式:

$$\Delta C_y = \sum_{j=1}^l C_{y_{ej}} \frac{S_{ej}}{S} + \sum_{k=1}^m C_{y_{ek}} \frac{S_{ek}}{S} \quad (13)$$

式中: C_{y_j} 和 $C_{y_{ek}}$ 分别为 j 挂架和 k 外挂武器的升力系数; S_{q_j} 、 S_{ek} 和 S 分别为 j 挂架、 k 外挂武器和飞机的特征面积。

应用式(12)和(13)可估算外挂武器对迎面阻力系数和升力系数的影响。

2.3 对航程的影响

由飞行力学知,航程 L 的一般公式为

$$L = \int_{G_i}^{G_0} V \frac{dG}{C_h} \quad (14)$$

式中: G_0 和 G_i 是飞机起始和目前的重量; V 是飞行速度; C_h 是小时燃料消耗量。

由发动机原理知,小时燃料消耗量 C_h 与发动机燃料消耗率 C 和推力 P 之间有下述关系^[3]。

$$C_h = CP \quad (15)$$

对于水平匀速飞行的情况,从式(3)、(4)又可得:

$$P = G/K \quad (16)$$

式中: $K = C_y/C_x$ 是飞机的升阻比。

将式(15)、(16)代入式(14),则有:

$$L = \int_{G_i}^{G_0} \frac{VK}{C} \frac{dG}{G} \quad (17)$$

在水平匀速飞行时, $VK/C = \text{const}$, 对上式积分可得:

$$L = \frac{VK}{C} \ln \frac{G_0}{G_i} \quad (18)$$

飞机起始重量 G_0 为飞机自身重量 G_a , 挂架重量 G_c , 外挂武器重量 G_e 和燃料重量 G_f 之和; 飞机目前重量为 $G_0 - \delta G_f$, 其中 δ 是该时刻燃料消耗的份额(起始时 $\delta = 0$, 燃料完全消耗时 $\delta = 1$)^[4], 因此,式(18)可具体化为

$$L = \frac{VK}{C} \ln \frac{G_a + G_c + G_e + G_f}{G_a + G_c + G_e + (1 - \delta)G_f} \quad (19)$$

对式(19)全微分并线性化后可表达为

$$\Delta L = \left(\frac{\partial L}{\partial C_x} \right)_{\Delta C_x=0} \Delta C_x + \left(\frac{\partial L}{\partial C_y} \right)_{\Delta C_y=0} \Delta C_y + \left(\frac{\partial L}{\partial G_e} \right)_{\Delta G_e^*=0} \Delta G_e^* + \left(\frac{\partial L}{\partial G_f} \right)_{\Delta G_f=0} \Delta G_f \quad (20)$$

式中: $\Delta G_e^* = \Delta G_e - \Delta Y_e$, ΔY_e 为外挂武器上的升力增量。

利用水平匀速飞行 $\Delta V = 0$ 的条件, 可得与式(6)~(8)类似的表达式, 整理后可得到:

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = \frac{\Delta C_{x0}}{C_x} + 2 \frac{C_{xi} \Delta C_y}{C_x C_y} \quad (21) \quad \Delta G_f + \Delta G_e^* = G_0 \frac{\Delta C_y}{C_y} \quad (22)$$

将式(21)、(22)关系代入式(20), 并考虑到飞行重量越大则对于水平匀速飞行的状态所需的燃油消耗量也越大, 故认为外挂武器重量的增加等价于燃料的减少, 即 $\Delta G_e = -\Delta G_f$, 最后可得:

$$\Delta L = -L \left\{ \frac{\Delta C_{x0}}{C_x} + \left[1 - \frac{2C_{xi}}{C_x} - \frac{G_f}{(G_0 - G_f) \ln \frac{G_0}{(G_0 - G_f)}} \right] \frac{\Delta C_y}{C_y} + \frac{1}{\ln \frac{G_0}{(G_0 - G_f)}} \times \frac{\Delta G_e}{G_0 - G_f} \right\} \quad (23)$$

式(23)即可估算外挂武器后对航程的影响。

2.4 对其它飞行性能参数的影响

利用类似的方法, 还可以导出外挂武器后对最小平飞速度、航时、上升率、升限等基本飞行性能的影响^[5]。例如对升限的影响如下。根据已知的升限公式:

$$H = a \ln \frac{b}{G \sqrt{C_x}} \quad (24)$$

式中: a, b 为常系数, 仅与飞机性能有关, 挂载武器后并不改变。对式(24)式全微分可得:

$$\Delta H = -a \left(\frac{\Delta G}{G} + \frac{\Delta C_x}{2C_x} \right) \quad (25)$$

系数 a 取值为

$$a = \begin{cases} \frac{420 - H^2}{28} & \text{当 } H < 11 \text{ km} \\ 6.35 & \text{当 } H \geq 11 \text{ km} \end{cases} \quad (26)$$

3 计算举例

在某型飞机上挂载4枚近距红外格斗导弹和6枚中距半主动雷达制导导弹,在相应的挂点上有转轴、过渡梁、航空弹射装置和发射装置。飞机本身重量为23 690 kg(含燃油4 800 kg),加挂导弹后,飞机增加的重量可按各型转轴、过渡梁、航空弹射装置和发射装置、导弹的重量求和取得,为2 670 kg。飞机本身的迎面阻力系数相对值为117,外挂物的迎面阻力系数相对值求和为58。

根据式(25)计算升限的变化量,在无外挂武器时升限为 $H = 17.3 \text{ km}$,计算可得 $\Delta H = -2 290 \text{ m}$,即挂载武器后飞机升限降低了2 290 m,其变化百分比为13.24%。通过比较,该结果与实际情况较好的相符。

4 结论

上面提出的评估模型,从简单的关系式出发,通过微分和适当的假设条件,得到线性化的增量表达式,对基本飞行参数的评估简单易行,评估结果具有一定的准确性,该评估方法在工程应用方面具有一定的价值。

通过上面所述的评估模型,我们可以在计算机上分析和综合各种外挂武器配置方案对载机飞行性能的影响,确定外挂武器的最佳配置方案。另外可通过选取不同的外挂方式,如挂架式外挂,贴合式外挂,半埋式外挂和包装式外挂等,在飞机基本性能要求和飞机运载及投放外挂武器要求之间取得平衡。

参考文献:

- [1] 沈仲书,刘亚飞. 弹丸空气动力学[M]. 北京:国防工业出版社,1983.
- [2] 空气动力手册外挂课题组. 外挂对载机气动特性影响的计算方法[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2001.
- [3] 陈廷楠,王平军. 应用流体力学[M]. 北京:国际工业出版社,2000.
- [4] 飞机飞行性能计算手册[M]. 西安:飞行力学杂志社,1987.
- [5] 陈一坚. 中国新一代超音速歼击轰炸机——“飞豹”[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2001,2(5):1-3.

(编辑:姚树峰)

Analysis of the Effect of External Stores on Aircraft Flight Performance

NIE Guang - shu, WEI Xian - zhi, WANG Yong

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: This paper puts forward a simple yet effective method of evaluating the effect of external stores on aircraft flight performance. First the general model and the basic principle are presented for the evaluation, then the directional evaluation for analyzing the effect of external stores on aircraft maximum speed of level flight, flying range and aerodynamic coefficients, etc. is provided, finally the mathematical model for evaluating the performance parameter is obtained and the ceiling increment is calculated by using the mathematic model.

Key words: external stores; flight performance; evaluating model.