

水陆两栖飞机浮筒设计与横向稳定性计算

韩小红^{1,2,*}, 廉滋鼎^{1,2}, 黄淼^{1,2}, 蒲锦华^{1,2}

1. 中国特种飞行器研究所, 湖北 荆门, 448035

2. 高速水动力航空科技重点实验室, 湖北 荆门, 448035

摘 要: 浮筒是影响水陆两栖飞机横向稳定性的关键部件, 开展了水陆两栖飞机辅助浮筒设计, 详细阐述了浮筒的设计要求、安装位置、排水量和分舱设计, 并对该水陆两栖飞机的横向稳定性进行了计算, 结果表明该飞机具有较强的抗侧风能力及横向稳定性。

关键词: 水陆两栖飞机; 横向稳定性; 浮筒; 抗侧风

中图分类号: V271.5

文献标识码: A

文章编号: 1007-5453(2016)01-0007-04

水陆两栖飞机在水面上起飞、降落、停泊时会受到3种横向倾覆力矩:一是飞机重量产生的船身倾覆力矩,由于水陆两栖飞机一般采用上端翼的结构形式,重心位置比稳心位置高^[1],只要飞机稍有横倾,重心就会产生一定的倾覆力矩;二是侧风产生的侧风倾覆力矩;三是螺旋桨产生的倾覆力矩(仅指螺旋桨式水陆两栖飞机)。飞机受到的倾覆力矩会使飞机产生横倾,小角度的横倾对飞机的性能、安全性基本没有影响,但是当横倾角继续增大到一定程度时,机翼翼尖会触水或是使得螺旋桨入水,从而有发生危险的可能。对于大型水陆两栖飞机而言,浮筒是保证飞机横向稳定的重要部件,当飞机停泊于水中横倾到一定角度时浮筒开始触水,随着横倾角的增大,浮筒提供的浮力不断增大,恢复力矩也随着增大。水陆两栖飞机在允许横倾角范围内的浮筒的最大恢复力矩大于倾覆力矩,则飞机在横向是静稳定的。如果浮筒的恢复力矩功大于倾覆力矩功,则飞机是横向动稳定的。

大型水陆两栖飞机的浮筒分为支撑浮筒和辅助浮筒两种形式^[2],两种浮筒均安装在翼下方,支撑浮筒排水体积较大,安装位置靠近机身,带有支撑浮筒的水上飞机具有良好的航海性能,但由于浮筒容积和横剖面积很大,其空气动力和水动力特性较差、重量较大。辅助浮筒排水体积较小,安装位置靠近翼尖,辅助浮筒具有重量轻、空气阻力小(迎风面积小)、水阻力小(在起飞滑跑时能迅速离开水面)的特点,大型水陆两栖飞机一般采用辅助浮筒。

本文的研究目的是建立起完整的水陆两栖飞机浮筒设

计和横向稳定性计算流程,包括浮筒体积的计算与校核、安装位置、分舱设计,以及横向稳定性计算方法,为水陆两栖飞机的浮筒设计和横向稳定性计算提供指导。

1 浮筒设计

1.1 浮筒的设计要求

在进行浮筒设计时,首先须满足水陆两栖飞机静态漂浮和抗极限侧风的横稳性,另外还须考虑飞机的飞行性能、水面机动性以及飞机安全性等。因此,在设计浮筒时要考虑到以下几方面的要求:

- (1) 浮筒的排水体积要合适,以防止在规定浪级和侧风情况下翼尖入水;
- (2) 浮筒的安装位置要合适,避免飞机在静态和起飞初始阶段发生过大角度的横倾;
- (3) 浮筒底部应具有良好的水动外形;
- (4) 浮筒顶部应具有良好的气动外形,以减少空气阻力。

1.2 浮筒的体积

增大浮筒体积能有效改善飞机的横向稳定性,参考一般水陆两栖飞机辅助浮筒的水上飞机,设计浮筒的最小排水量按如下经验公式计算确定:

$$\delta_{\min} = \frac{2W_{\text{TO}}}{L_{\text{fl}}} \left[\frac{1}{2W_{\text{TO}}} (0.17 + 0.38\theta_b) \rho_a v_w^2 S_w b_w + \overline{GM} \times \sin \theta_b + 0.0141 \sqrt[3]{W_{\text{TO}}} \right] \quad (1)$$

收稿日期: 2015-07-14; 退修日期: 2015-08-28; 录用日期: 2015-09-03

基金项目: 航空科学基金(2013A60505R)

*通讯作者: Tel.: 13477353191 E-mail: hshl_605@163.com

引用格式: HAN Xiaohong, LIAN Ziding, HUANG Miao, et al. Pontoon design and lateral stability computation of an amphibian[J].

Aeronautical Science & Technology, 2016, 27(01): 07-10. 韩小红, 廉滋鼎, 黄淼, 等. 水陆两栖飞机浮筒设计与横向稳定性计算[J].

航空科学技术, 2016, 27(01): 07-10.

最小排水体积为:

$$\nabla_{\min} = \frac{\delta_{\min}}{\rho_w} \quad (2)$$

式中: L_n 为两浮筒纵剖面距离, m; $\overline{GM}$ 为横稳心高, m; θ_b 为浮筒全部入水时的横倾角, °; W_{TO} 为水面最大起飞重量, kg; ρ_a 为空气密度, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; v_w 为侧风风速, m/s; S_w 为机翼面积, m^2 ; b_w 为机翼翼展, m; ρ_w 为海水密度, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

浮筒实际体积一般要大于上述计算的最小排水体积, 浮筒体积的最终确定要根据适航条款进行校核, 根据运输类飞机适航标准^[3], 当翼下支撑浮筒完全浸入水中时, 产生的恢复力矩不小于倾覆力矩的1.5倍。

1.3 浮筒的安装位置

浮筒间距、安装高度对飞机横向稳定性有很大的影响, 飞机横稳性随着浮筒间距的增大、浮筒安装高度的降低而改善。辅助浮筒一般安装在靠近翼尖的位置, 这样能有效地增大浮筒间距, 但浮筒安装位置不能太靠近翼尖, 必须保证浮筒完全入水时翼尖不触水。浮筒安装高度的确定要考虑对起飞滑跑阻力的影响, 一般要求浮筒在飞机横倾角为1°~2°时浮筒开始接触水面。

1.4 浮筒外形设计

浮筒外形应考虑具有良好的水动力特性, 艏部要高, 以防止汹涛时完全埋入水中, 同时应具有艏弯, 以减弱喷溅。浮筒底部外形应是一个良好的滑行面, 低速滑行时稍增加吃水深度就能很快的增加静浮力和流体动升力。

浮筒甲板处的横截面应呈圆形, 以利于完全沉入波峰后能好的出水。浮筒底部斜升角的分布既要考虑静浮力, 也要有良好的滑行性能, 同时防止滑行时产生吸力, 底部应设计有断阶。浮筒设计在保证水动性能不发生很大变化的情况下, 充分考虑到尽可能减小气动阻力、简化工艺、方便结构布置, 最终确定浮筒的主尺寸及型值。

1.5 浮筒分舱设计

根据参考文献[4]的规定, 翼尖浮筒最少应有两个水密隔框, 将浮筒分为大致相等的几个水密空间, 并保证在规定的水文、气象条件下, 当任一水密隔间破坏时, 仍能保持一定的横稳性。

因此, 浮筒至少要设计有3个水密舱, 每个舱室均不大于40%浮筒总容积的设计要求。水密隔框的位置还应考虑结构方面的布置。

1.6 浮筒设计实例

以某型水陆两栖飞机为例, 根据该飞机总体技术要求, 已知的参数包括: 起飞重量 W_{TO} 、机翼面积 S_w 、翼展 b_w 、抗侧风风速 v_w 、两浮筒纵剖面距离 L_n 、浮筒入水角 θ_b , 利用船舶原理中的等体积倾斜法可以计算出飞机的横稳心高 $\overline{GM}$, 那么根

据式(1), 式(2)的计算得出浮筒的最小排水体积为:

$$\nabla_{\min} = 3.139 \text{ m}^3$$

根据浮筒外形设计, 该浮筒实际排水体积为 3.313 m^3 , 根据参考文献[3]适航条款的要求, 浮筒全部入水时提供的恢复力矩要大于船身倾覆力矩的1.5倍, 该浮筒全部入水时提供的恢复力矩为 $50693 \text{ kg}\cdot\text{m}$, 船身倾覆力矩与螺旋桨反作用力矩之和为 $21690 \text{ kg}\cdot\text{m}$, 可以看出浮筒全部浸没在水中时浮筒提供的恢复力矩为飞机受到的倾覆力矩的2.34倍, 所以浮筒的设计体积满足要求。

此外, 浮筒全部入水时的横倾角度 $\theta_b = 6.24^\circ$, 机翼触水角度为 8.52° , 浮筒入水角比机翼触水角小且有较大余量, 故浮筒安装位置也较为合理。

2 横向稳定性计算

水陆两栖飞机的横向稳定性的衡量指标包括极限均匀侧风风速和极限突风风速, 与之对应的还有极限静横倾角和极限动横倾角, 表征的意义是飞机在该侧风风速的影响下出现的最大横倾角, 且飞机不会出现侧翻、机翼触水等危害飞行安全的情况。横向稳定性的计算就是利用力矩平衡法和功平衡法分别计算极限静横倾角、极限均匀侧风风速和极限动横倾角、极限突风风速。

水陆两栖飞机在横倾角度一般小于 10° , 可以认为是等体积倾斜, 此时飞机的稳心 M 位置基本保持不变, 且机身浮力的作用线始终通过稳心^[5], 在计算各力矩时将其参考点取在稳心位置。

2.1 各种力矩和力矩功的计算

全机恢复力矩 M_θ :

$$M_\theta = M_{\text{恢}} - M_{\text{倾}} - M_{\text{反}} \quad (3)$$

式中:

$M_{\text{恢}}$ 为浮筒提供的恢复力矩:

$$M_{\text{恢}} = \delta \times \frac{L_{f1}}{2} \times \cos \theta \quad (4)$$

$M_{\text{倾}}$ 为船身的倾覆力矩:

$$M_{\text{倾}} = W_{TO} \times \overline{GM} \times \sin \theta \quad (5)$$

$M_{\text{反}}$ 为螺旋桨有效反作用力矩, 其计算公式为^[6]:

$$M_{\text{反}} = \frac{N \times 716 N_B}{n} \times 0.7 \quad (6)$$

N 为螺旋桨的个数, N_B 发动机功率, n 为发动机转速。

全机恢复力矩功 Ω_θ :

$$\Omega_\theta = \int_0^\theta M_\theta d\theta = \frac{1}{2} \delta L_{f1} \sin \theta - W_{TO} \cdot \overline{GM} \cdot (1 - \cos \theta) - \frac{N \times 716 N_B \times \theta}{n} \times 0.7 \quad (7)$$

侧风倾覆力矩 M_w :

$$M_w = (0.17 + 0.38 \times \theta) \frac{\rho_a \times v^2 \times S_w \times b_w}{2} \quad (8)$$

侧风倾覆力矩功 Ω_w :

$$\begin{aligned} \Omega_w &= \int_0^\theta M_w d\theta = \int_0^\theta (0.17 + 0.38 \times \theta) \frac{\rho_a \times v^2 \times S_w \times b_w}{2} d\theta \\ &= (0.17 \times \theta + 0.19 \times \theta^2) \frac{\rho_a \times v^2 \times S_w \times b_w}{2} \end{aligned} \quad (9)$$

水陆两栖飞机的侧风倾覆力矩曲线与全机恢复力矩曲线相切的点所对应的风速称为极限均匀侧风风速,该切点对应的横倾角称为极限静横倾角,侧风倾覆力矩功曲线与全机恢复力矩功曲线相切的点所对应的风速称为极限突风风速,该切点对应的横倾角称为极限动横倾角。

2.2 计算结果

计算时所需要的参数包括:飞机起飞重量 W_{TO} ,两个浮筒对称面之间的距离 L_n ,横稳心高 $\overline{GM}$,发螺旋桨个数 N ,动机功率 N_B , n 发动机转速,机翼面积 S_w ,翼展 b_w 以及浮筒在不同横倾角时的排水量 δ ,计算结果分别如下:

(1) 静横倾角

船身倾覆力矩与浮筒恢复力矩曲线的交点对应的角度为飞机的静横倾角,由图1可知静横倾角 $\theta_0 = 2.03^\circ$ 。

(2) 极限静横倾角和极限均匀侧风风速

绘制全机恢复力矩和侧风力矩曲线图,如图2所示,可以得到则极限静横倾角 $\theta_c = 5.9^\circ$,极限均匀侧风风速 $V_c = 18.8\text{m/s}$ 。

(3) 极限动横倾角和极限突风风速

绘制全机恢复力矩功和侧风风速功曲线图,如图3所示,可以得到极限动横倾角 $\theta_d = 6.1^\circ$,极限突风风速 $V_d = 21.8\text{m/s}$ 。

2.3 蒲式风速与水面风速的换算

由于空气黏性的影响,风速沿垂向的分布是不均匀的,

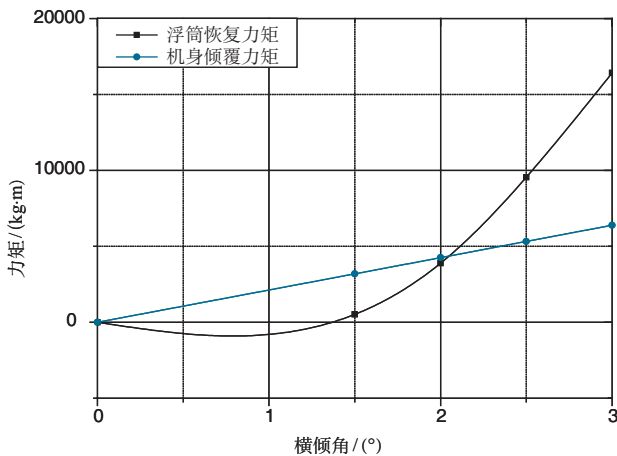


图1 浮筒恢复力矩和船身倾覆力矩曲线

Fig.1 Curve of float righting moment and hull overturning moment

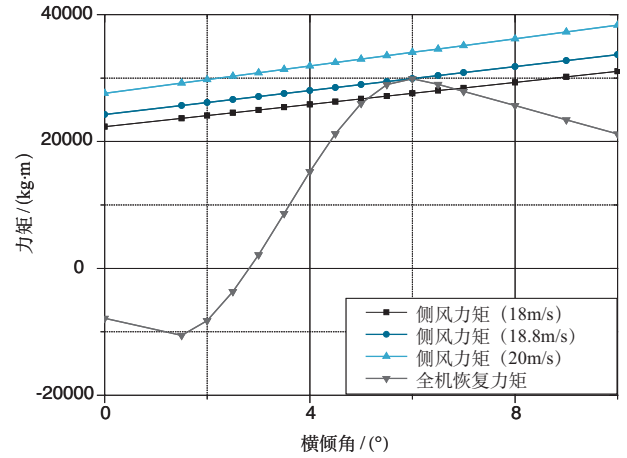


图2 全机恢复力矩与侧风力矩曲线

Fig.2 Curve of full-aircraft righting moment and side-wind moment

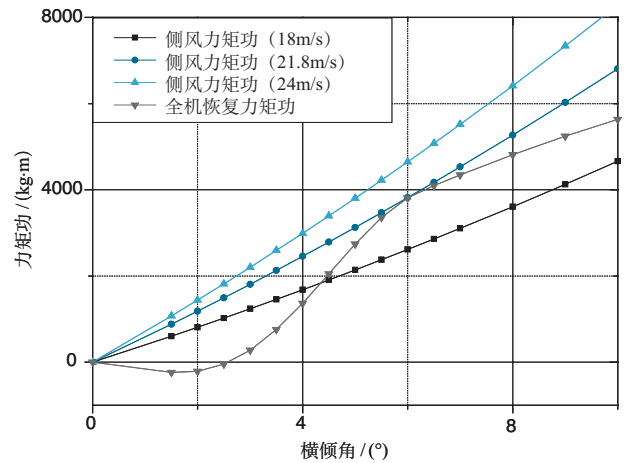


图3 全机恢复力矩功与侧风力矩功曲线

Fig.3 The work of full-aircraft righting moment and side-wind moment

1946年国际气象会议规定,以高度10m处的平均风速作为确定蒲式风级的标准。在正常条件下,10min内平均的海上风速随高度的变化,可用对数分布表示:

$$\frac{V_z}{V_{10}} = \frac{\lg(z/z_0)}{\lg(10/z_0)} = \frac{\lg z - \lg z_0}{1 - \lg z_0} \quad (10)$$

式中: V_z 为水面以上 $z(\text{m})$ 高度处的平均风速; V_{10} 为水面以上10m高度处的平均风速; z_0 为粗糙长度(m),当风速小于15m/s时, $\lg z_0 = -3.8$,当风速超过15m/s时, $\lg z_0 = -2.4$ 。

风速换算时, z 取为飞机侧面迎风面积的形心与水面的距离, $z = 1.465\text{m}$ 。根据式(10)的换算,可以得到换算成蒲式风速后该飞机的极限均匀侧风风速和极限突风风速分别为19.5m/s和22.6m/s。

查询蒲式风级表,8级风平均风速为17.2~20.7m/s,9级风平均风速为20.8~24.4 m/s,因此,仅从横向稳定性方面考

虑,该飞机具有抗侧风蒲式风级8级风的能力。

3 结论

本文阐述了水陆两栖飞机浮筒设计的流程及设计要求,包括安装位置、排水量和分舱设计。计算得到了飞机横向稳定性指标,包括静横倾角、极限静横倾角、极限均匀侧风风速、极限动横倾角和极限突风风速。结果表明该飞机的抗侧风能力达到蒲式风级8级,具有优良的横向稳定性。 **AST**

参考文献

- [1] 褚林塘.水上飞机水动力设计[M]. 北京:航空工业出版社, 2014:169-171.
- CHU Lintang. Hydrodynamic design of seaplane[M]. Beijing: Aviation Industry Press,2014:169-171.(in Chinese)
- [2] TOM II.水上飞机的流体力学[M]. 中国人民解放军总字916部队,1963.
- TOM II. The hydrodynamic of a seaplane[M]. Chinese people's liberation army general character 916 troops, 1963. (in Chinese)
- [3] 中国民用航空总局.CCAR-23-R3,运输类飞机适航标准[S].2001.
- Civil Aviation Administration of China.CCAR-25-R3,Airworthiness standards:transport category airplane[S].2001. (in Chinese)
- [4] 航空工业部六三〇所.GJB 185-1986,有人驾驶飞机(固定翼)飞行品质[S].1986.
- No.630 research institute of AVIC. GJB 185-1986,The flight quality of manned fixed wing aircraft[S]. 1986. (in Chinese)
- [5] 盛振邦,刘应中.船舶原理(上册)[M]. 上海:上海交通大学出版社,2003:50.
- SHENG Zhenbang, LIU Yingzhong. Principle of watercraft(first part)[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2003:50. (in Chinese)
- [6] 中国特种飞行器研究所.某型水陆两栖飞机横向稳定性计算报告[R]. 2012.
- China Special Vehicle Research Institute. The later stability computation report of a seaplane[R]. 2012. (in Chinese)

作者简介

韩小红(1982—) 男,专科,助理工程师。主要研究方向:水陆两栖飞机水动力性能试验。

Tel: 13477353191 E-mial:hshl_605@163.com

廉滋鼎(1982—) 男,本科,高级工程师。主要研究方向:水陆两栖飞机水动力性能设计。

Tel: 0724-2329335 E-mial:hshl_605@163.com

黄森(1985—) 男,硕士,工程师。主要研究方向:水陆两栖飞机水动力性能设计。

Tel: 0724-2329198 E-mial:hshl_605@163.com

蒲锦华(1988—) 男,本科,助理工程师。主要研究方向:水陆两栖飞机水动力性能试验。

Tel: 0724-2328208 E-mial:hshl_605@163.com

Pontoon Design and Lateral Stability Computation of an Amphibian

HAN Xiaohong^{1,2,*}, LIAN Ziding^{1,2}, HUANG Miao^{1,2}, PU Jinhua^{1,2}

1. China Special Vehicle Research Institute, Jingmen 448035, China

2. Key Aviation Scientific and Technological Laboratory of High-Speed Hydrodynamic, Jingmen 448035, China

Abstract: The float is the vital component for the lateral stability of a amphibian, the assistant float design work of a amphibian was conducted, the design requirements, install location, tonnage and tonnage design were also expatiated expatiate, then the lateral stability of this amphibian was computed, the results reveal that this amphibian has excellent counteracting sidewind ability and lateral stability.

Key Words: amphibian; later stability; float; counteracting sidewind

Received: 2015-07-14; **Revised:** 2015-08-28; **Accepted:** 2015-09-03

Foundation item: Aeronautical Science Foundation of China (2013A60505R)

*Corresponding author. Tel. : 13477353191 E-mail: hshl_605@163.com