

第四届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：内蒙古数学会
电话：0471-5220129

邮编：010021

网址：www.tzmcm.cn
Email：2011@tzmcm.cn

第四届“互动出版杯”数学中国 数学建模网络挑战赛 承 诺 书

我们仔细阅读了第四届“互动出版杯”数学中国数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们允许数学中国网站(www.madio.net)公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

我们的参赛队号为：1346

参赛队员（签名）：

队员 1：史春霞

队员 2：郭碧花

队员 3：马成虎

参赛队教练员（签名）：刘俊

参赛队伍组别：本科组

第四届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：内蒙古数学会
电话：0471-5220129

邮编：010021

网址：www.tzmcm.cn
Email：2011@tzmcm.cn

第四届“互动出版杯”数学中国

数学建模网络挑战赛 编号专用页

参赛队伍的参赛队号：（请各个参赛队提前填写好）：
1346

竞赛统一编号（由竞赛组委会送至评委团前编号）：

竞赛评阅编号（由竞赛评委团评阅前进行编号）：

第四届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：内蒙古数学会
电话：0471-5220129

邮编：010021

网址：www.tzmcm.cn
Email：2011@tzmcm.cn

2011 年第四届“互动出版杯”数学中国 数学建模网络挑战赛第二阶段

题 目 对飞机降落仰角以及随波运动状态的分析

关 键 词 降落仰角 航向 冲击力 相应刚体运动 相应圆周运动

摘 要：

由于极端天气，机械故障等原因，飞机的迫降不可避免。客机在水上迫降的安全问题备受人们的关注。要使飞机在有风浪的水面上安全降落，这就使得更加困难。面对这样的情况，应从两方面的因素考虑：飞机着水的姿态、航向和机体结构。即考虑飞机降落于风浪水面的降落仰角和航向。并从顺风浪和逆风浪两方面，分析出飞机降落仰角和航向的不同。

首先，根据 VOF 方法的相关原理，建立起机体所受的冲击力与飞机降落仰角之间的关系式，从而分析出飞机的飞行速度、飞机的降落速度和飞机降落仰角与机体所受冲击力的关系。

其次，再根据 Froude 准则以及相关的物理知识，把飞机降落于风浪时近似看作相应的刚体运动。根据相应的物理知识，建立起机体所受冲击力与降落仰角之间的关系式。从而根据相关的数据，求出了飞机能够安全降落于风浪水面的降落仰角范围和航向。

最后，采用动力学的相关知识以及物理的相关知识，在相应的假设下，建立理想化的圆周运动，并且采用了数学分析的多元微分方程的常系数变易法计算出飞机能够安全降落于风浪水面的飞行速度范围。

参赛队号 1346

所选题目 A

参赛密码 _____
(由组委会填写)

第四届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：内蒙古数学会
电话：0471-5220129

邮编：010021

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2011@tzmcm.cn

英文摘要（选填）

（此摘要非论文必须部分，选填可加分，加分不超过论文总分的 5%）

Because of extreme weather, mechanical failure and other reasons, the aircraft's landing is inevitable. The safety of aircraft landing on the water issue much attention. For the aircraft in a storm to land safely on the water, which makes even more difficulties can. Faced with this situation, the factors should be considered in two ways: the water the aircraft attitude, heading and body structure. That is, considering the plane landed in the rough surface of the land elevation and heading. Waves and wind from the waves along two aspects of the aircraft to land elevation and heading difference.

First, according to the relevant principles of VOF methods, and establish the impact on the body force and the plane landed relationship between elevation to analyze aircraft flight speed, the aircraft's landing speed and elevation and body landing impact force suffered relationship.

Secondly, according to Froude guidelines and related physics, when the plane landed in the storm as the corresponding rigid body approximation. According to the corresponding physical knowledge, and establish a body suffered impact and relationship between land elevation. According to relevant data and thus, find the safe landing of aircraft landing on the rough surface of the scope and course elevation.

Finally, knowledge of the dynamics and physics knowledge, at the appropriate assumptions, the establishment of an idealized circular motion, and the use of mathematical analysis of the multiple differential equations with constant coefficients of variation method to calculate the plane could land safely in the storm water flight speed range.

参赛队号#1346

一、问题的提出与重述

1. 问题的提出

大型客机的两个发动机都被损坏，失去了动力而进行迫降于水面具有相关大的危险性。飞机降于水面时不能放起落架，从而不能通过压缩减震支柱来减缓飞机的下压力。理论上，飞机以平拍降落时最安全，但要达到完全平拍是不可能的，再加上有风浪就更不可能了。风浪对飞机的安全降落有着很大的影响，那么在有风浪的海面上飞机应以何种姿态和航向着水来保证人们的安全。

在允许的着水姿态下，要保证乘客能安全的离开，就要保证机舱在一定时间内不进水。那么在飞机入水时，风浪对机身结构有何冲击作用？应考虑哪些因素，从而使飞机能够以安全姿态和航向着水，来保证乘客的人生财产安全。

2. 问题的重述

由于极端天气、机械故障等原因，飞机的迫降不可避免。近年来，飞机迫降水面的频率变大，发生水上迫降和坠毁事件也越来越多，为此我国民航部门把民航安全问题作为一项重点关注对象。1959年到1991年以来对飞机水上事故的统计，通过对机体结构完整性、破坏性。座舱完整性的观察，分析了造成伤害和死亡的主要因素。指出：飞机水上迫降安全至少需要考虑两方面的因素：飞机着水姿态、航向和结构强度。在有风浪的情况下，为保证人们的安全。在入水的击程中，风浪对飞机的冲击作用与飞机的结构之间有何关系？飞机的飞行速度、降落速度和降落仰角三者之间有何联系？我们又要用何种量来描述飞机的着水姿态和航向？

从飞机着水的姿态和航向上讲，在有风浪的情况下，风浪对机身结构影响很大，面对这样的情况，飞机应以何种姿态和航向着水来保证人们的安全。逆风与顺风对飞机的着水姿态和航向又有何影响？

二、问题的分析

由于极端天气、机械故障等原因，飞机的迫降不可避免。近年来，飞机迫降水面的频率变大，发生水上迫降和坠毁事件也越来越多。题中飞机的左右两个发动机都被损坏，在失去动力的情况下，进行迫降于水面具有相当大的危险性。他不像飞机正常在陆地上落地时，能够提供稳定的着陆道面和坚实的反作用力，好让飞机的起落架通过压缩减震支柱来减缓飞机的下压力。再加上海面上起风浪，飞机的水上降落安全系数大大减小。

由于风浪的原因，水面不是处于静止状态，据镜面效应知道水面表面张力不均匀。在机腹和水面的接触时会形成巨大的爆炸点，所以控制飞机的着水点是很重要的。即控制好飞机的着水姿态和航向是关键。

参赛队号 # 1346

在有风浪的情况下，风浪对飞机的冲击作用与飞机的飞行速度、降落速度和降落仰角三者密切相关。飞机水上迫降安全至少需要考虑两方面的因素：飞机着水姿态、航向和结构强度。

首先，根据飞机的飞行速度、飞机的降落速度和飞机的降落仰角这三者之间的关系。来描述机体结构所受的冲击力与飞机飞行方向冲击力、飞机降落方向冲击力和飞机降落仰角三者的关系。从而控制飞机的降落仰角来使飞机安全降落于水面。

其次，根据 Froude 准则以及相关的物理知识，把机身受到水的碰撞力与飞机的入水仰角联系起来，从而可得飞机对水的冲击速度和飞机水平速度之间的关系。由于飞机降落水面，有一个流固耦合的过程，把飞机着于水浪时看成一个刚体的运动。用转动的角度来衡量飞机的着水姿态和航向。

最后，运用物理学研究动力学的方法以及常微分方程的相关知识，运用物理学中的离心力的相关知识与运动动力学的相关知识解决了有关飞机落水时的速度在什么范围内不会引起飞机做离心运动，运用速度与角度来具体说明飞机的姿态与航向。

三、模型的假设

1. 只考虑水对机体运行方向的冲击力和降落方向的冲击力。
2. 飞机着水后的运动，近似看为相应的刚体运动。
3. 飞机着水后的过程，可近似看为相应的圆周运动。
4. 忽略一些外界因素，对飞机降落的影响。

四、模型的建立与求解

模型（一）

1. 变量的说明：

F_1 : 机体结构所受的冲击力

F_R : 飞机所受降落方向的冲击力

F_H : 飞机所受飞行方向的冲击力

θ : 飞机的降落仰角

F : 飞机机身结构所能承受的冲击力

2. 模型建立与求解

由（一）阶段的动力学控制方程可知，在已知外力的情况下，可求出相应的结构响应；再根据 VOF 方法的基本原理等。可建立相应的模型。

飞机降落于水面时的受力情况示意图，如下图（1）所示：

参赛队号 #1346

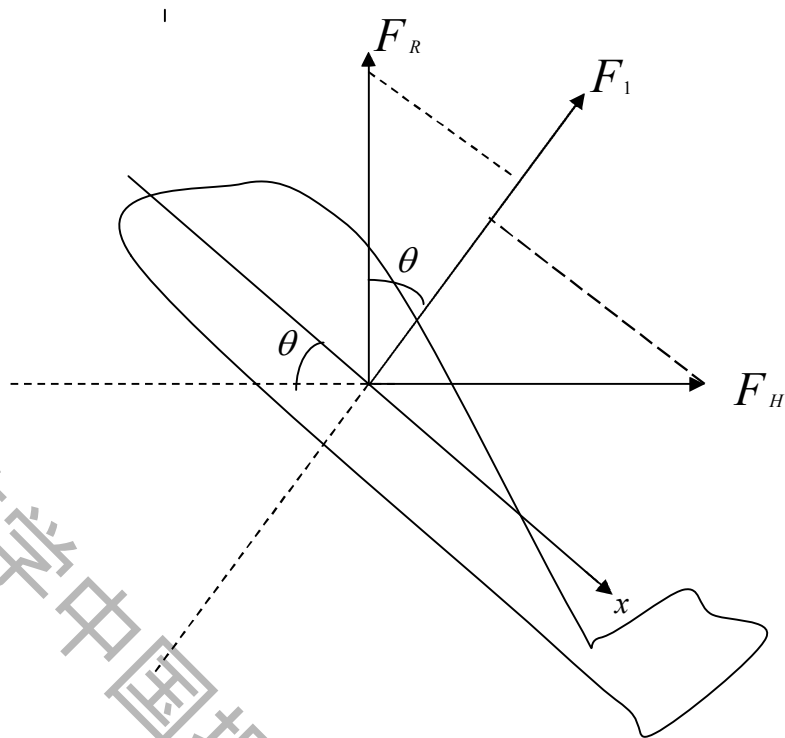


图 (1)

则机体所受的冲击力 F_1 为：

$$F_1 = F_R \cos \theta + F_H \sin \theta$$

$$F_R \cos \theta + F_H \sin \theta$$

$$= \sqrt{F_R^2 + F_H^2} \left(\cos \theta \cdot \frac{F_R}{\sqrt{F_R^2 + F_H^2}} + \sin \theta \cdot \frac{F_H}{\sqrt{F_R^2 + F_H^2}} \right)$$

$$= \sqrt{F_R^2 + F_H^2} (\cos \theta \cdot \cos \varphi + \sin \theta \cdot \sin \varphi)$$

$$= \sqrt{F_R^2 + F_H^2} \cos(\theta - \varphi)$$

其中， $\tan \varphi = \frac{F_H}{F_R}$

参赛队号 #1346

$$\text{则有, } \varphi = \arctan \frac{F_H}{F_R}$$

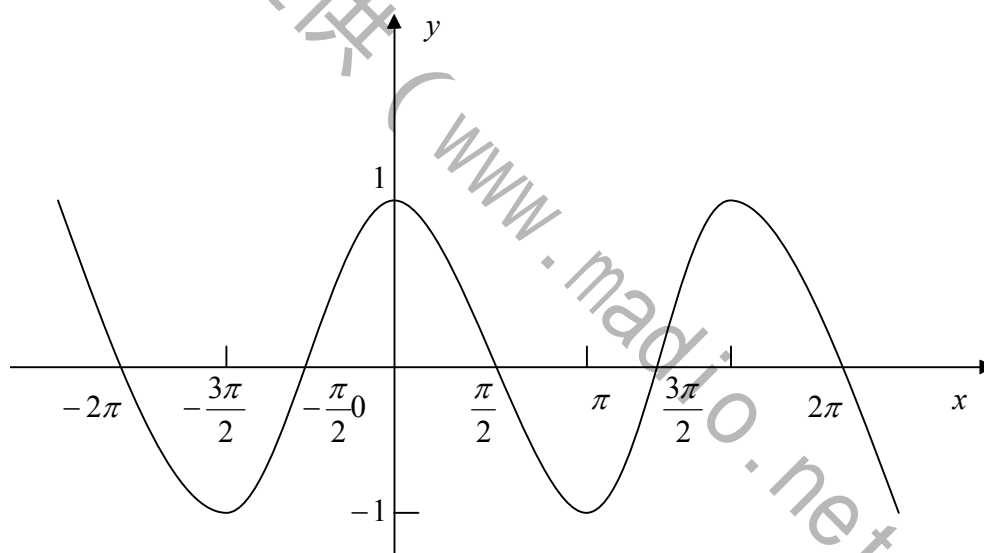
要是飞机能够安全降落，则满足： $F_1 \leq F$

$$\text{即, } F_R \cdot \cos \theta + F_H \cdot \sin \theta \leq F$$

$$\text{从而, } \sqrt{F_R^2 + F_H^2} \cos(\theta - \varphi) \leq F$$

$$\cos(\theta - \varphi) \leq \frac{F}{\sqrt{F_R^2 + F_H^2}}$$

由如下余弦图（2）可知：



图（2）

$$\text{当 } 2k\pi \leq \theta - \varphi \leq \pi + 2k\pi \quad (k \in \mathbb{Z})$$

$$\theta - \varphi \geq \arccos \frac{F}{\sqrt{F_R^2 + F_H^2}}$$

参赛队号 #1346

$$\theta \geq \varphi + \arccos \frac{F}{\sqrt{F_R^2 + F_H^2}}$$

$$\theta \geq \arccos \frac{F}{\sqrt{(F_R^2 + F_H^2)}} + \arctan \frac{F_H}{F_R}$$

当 $-\pi + 2k\pi \leq \theta - \varphi \leq 2k\pi \quad (k \in \mathbb{Z})$

$$\theta - \varphi \leq \arccos \frac{F}{\sqrt{F_R^2 + F_H^2}}$$

$$\theta \leq \varphi + \arccos \frac{F}{\sqrt{F_R^2 + F_H^2}}$$

同样， $\theta \leq \arccos \frac{F}{\sqrt{(F_R^2 + F_H^2)}} + \arctan \frac{F_H}{F_R}$

随着降落仰角的增大，飞机飞行方向冲击力垂直于机身的分量逐渐增大，机体所受的冲击力，还与飞行速度，降落速度有关。

由 VOF 方法中的不同降落速度，飞行速度和降落仰角条件对机身压强随时间变化的规律，可得到降落速度、飞行速度和降落仰角三者之间的对应关系表（1）

降落速度（ m/s）	5	10	15	20
飞行速度（ m/s）	30	60	90	120
降落仰角（° ）	3	6	9	12

表（1）

从而可得到不同降落速度、飞行速度和降落仰角对机身压强影响的图（3）

参赛队号 # 1346

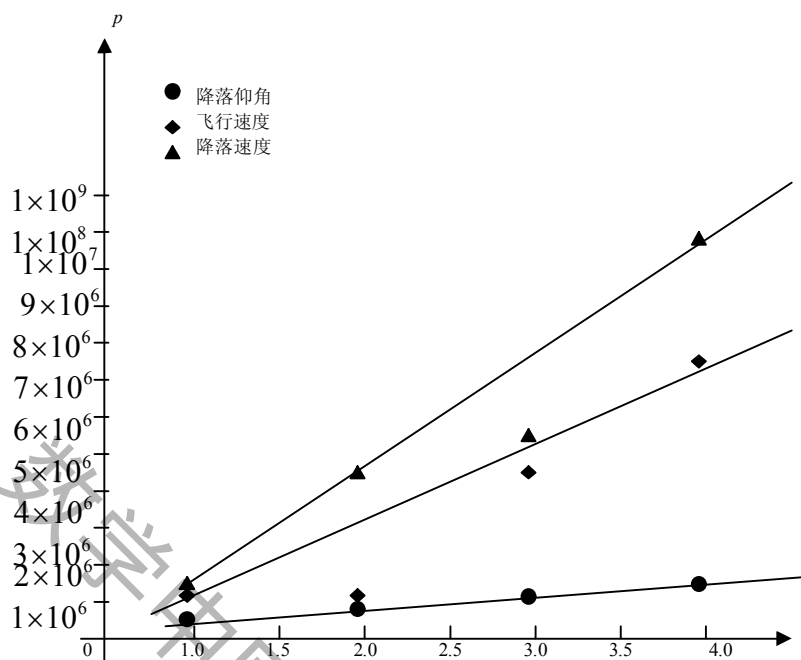


图 (3)

由以上的可得：当顺风浪而航行时，飞机的降落仰角偏小，从而可知，飞机所受到的冲击力越小。

当逆风浪而航行时，飞机的降落仰角偏大，从而可知，飞机所受到的冲击力越相对较大。

模型（二）

1. 变量的说明：

V_H ：飞机着水时的速度

V ：飞机水平方向的速度

F_R ：飞机着水时，机身所受的冲击力

M ：力矩

J ：把波浪看作球体时的转动惯量

β ：飞机着水运动时的角加速度

ω ：飞机着水运动时的角速度

t ：飞机着水过程所用的时间

r ：飞机随波浪转动的半径

2. 模型建立与求解

飞机进入海面后把飞机近似看做波浪上的一个质点随波转动，把波浪看成是球体的转动，其转动惯量为 J 。转动半径为 r 。

如简单的示意图，图（4）所示：

参赛队号 #1346

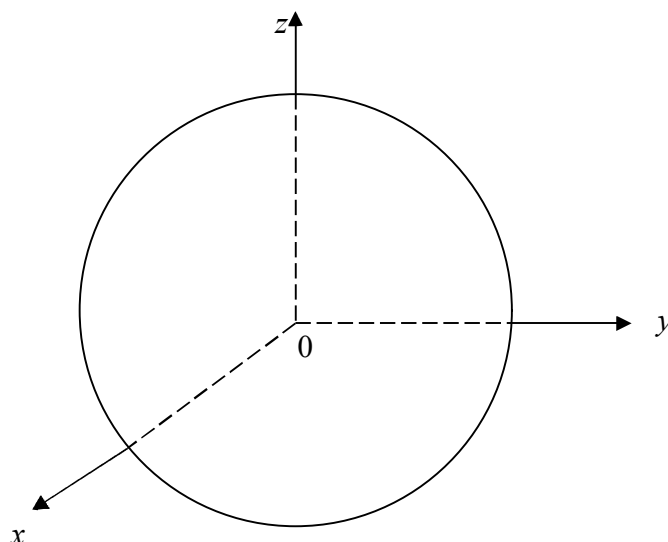


图 (4)

求一个球体的转动惯量：

$$r^2 dm \quad r \text{ 为半径,}$$

$$dm = \rho dr \quad dm \text{ 为质量}$$

又可以求得一个圆盘（二维）的转动惯量

$$\int_0^r r^2 dm = \int_0^r \rho r^2 dr = \frac{1}{3} \rho r^3$$

$$\text{然后再把球（三维）看成一片片的圆盘, } 3J = \int_{-R}^R 4\rho\pi r^2 r^2 dr = \frac{4}{5} \rho\pi r^5 \Big|_{-R}^R = \frac{8}{5} \rho\pi R^5$$

$$m = \frac{4}{3} \rho\pi R^3$$

$$\therefore 3J = \frac{6}{5} m R^2$$

$$\text{即: } J = \frac{2}{5} m R^2$$

从而在飞机着水的过程中，力矩可改变飞机的入水角度和航向。

$$M = J\beta = \vec{r} \times \vec{F} = rF \cos \theta$$

$$\beta = \frac{W}{t} = \frac{V_H}{t^2}$$

由以下的速度图示，图（5）可得：

参赛队号 # 1346

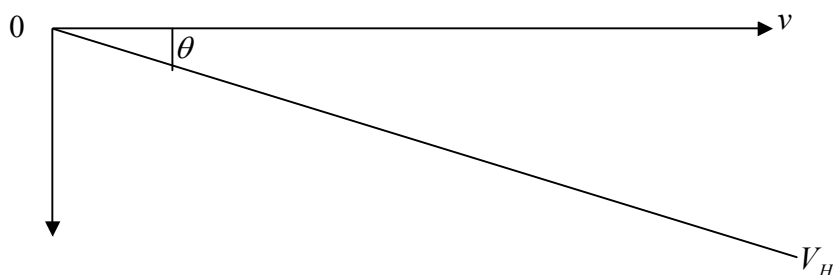


图 (5)

即

$$\begin{cases} F_r = \frac{V_H}{\sqrt{g L_H}} \\ \cos \alpha = \frac{v}{V_H} \end{cases}$$

综合以上四式可得：

$$\frac{JV_H}{t^2} = r F_R \cos \theta \Rightarrow \cos^2 \theta = \frac{JV}{t^2 r F_R}$$

当 $F_R \leq F$ 时，机体所受的冲击力对飞机结构影响不大。飞机的降落仰角 θ 受冲击力 F_R 控制。

即可得：

$$\cos^2 \theta \leq \frac{JV}{t^2 r F} \Rightarrow \cos \theta \leq \sqrt{\frac{JV}{t^2 r F}}$$

由图 (2) 可知：

$$\theta \leq \arccos \sqrt{\frac{JV}{t^2 r F}}$$

由于飞机的绝对平拍不可能实现，则 $\theta > 0$

从而可得： $0 \leq \theta \leq \arccos \sqrt{\frac{JV}{t^2 r F}}$

参赛队号 #1346

用 A380 式的飞机的相关数据，来对此模型进行求解如下：

A380 采用了每平方英寸 5000 磅压力的液压系统，与一般民用飞机采用的每平方英寸 3000 磅压力的液压系统相比，前者可提供更大的动力。压力的增加意味着可使用较小的管道和液压部件传输动力，减轻了重量。

设时间为 3 min，半径为 10 m，速度为 20 m/s，质量为 560000 kg

$$\text{由 } \cos^2 \theta = \frac{Jv}{t^2 r F} \text{、} J = \frac{2}{5} m r^2 \text{ 得 } \cos^2 \theta = \frac{2 m r v}{5 t^2 F}$$

$$\text{即 } \cos \theta = \frac{1}{t} \sqrt{\frac{2 m r v}{5 F}}$$

$$\text{当 } F = 22225 \text{ N 时, } \cos \theta = \frac{1}{120} \sqrt{\frac{2 \times 560000 \times 10 \times 20}{5 \times 22225}} = 0.788655$$

$$\therefore \theta = 37.94 \text{ 度}$$

$$\text{当 } F = 13335 \text{ N 时, } \cos \theta = \frac{1}{180} \sqrt{\frac{2 \times 560000 \times 10 \times 20}{5 \times 13335}} = 0.321935$$

$$\therefore \theta = 71.22 \text{ 度}$$

类型	蒙皮最大承受力(N)	仰角 (°)
A380	22225	37.94
民用飞机	13335	71.22

模型（三）

1. 变量的说明：

m ：飞机的质量

V_H ：飞机的速度

μ ：飞机底部与波浪之间的动摩擦因素

R ：近似圆周运动的半径

r ：曲率半径

φ ：竖直方向与垂直水面方向的夹角

2. 模型建立与求解

飞机着水姿态和航向受飞机速度的影响，可应用物理学中的离心力的相关知识与运动力学的相关知识，用飞机的速度来描述飞机的着水姿态和航向。

简单的受力示意图，如下图（6）所示：

参赛队号 # 1346

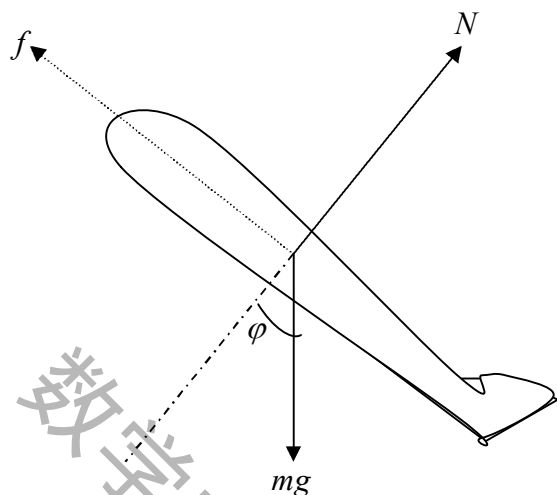


图 (6)

$$ma = m \frac{d_v}{d_t} = mv \frac{d_v}{d_s} \quad (1)$$

$$m \frac{v^2}{r} = N - mg \cos \varphi \quad (2)$$

$$f = \mu N \quad (3)$$

由曲率半径公式可得： $r = \frac{d_s}{d_\varphi} = 4R \cos \varphi$ (4)

联立 (1)、(2)、(3) 试可得： $v \frac{d_s}{d_\varphi} = -g \sin \varphi + M \left(m \frac{v^2}{r} + mg \cos \varphi \right)$ (5)

即 $\frac{1}{2} \frac{d}{d_s} (v^2) - \mu \frac{v^2}{r} = g(\mu \cos \varphi - \sin \varphi)$

联立 (4)、(6) 试可得： $\frac{d}{d_\varphi} (v^2) - 2\mu v^2 = 2g(\mu \cos \varphi - \sin \varphi)$

$$= 4Rg [2(\mu \cos^2 \varphi - \sin \varphi \cos \varphi)]$$

参赛队号 # 1346

$$= 4Rg[\mu(1 + \cos 2\varphi - \sin 2\varphi)] \quad (7)$$

采用常系数变易法求解其齐次方程

$$\text{设 } v^2 = A(\varphi)e^{2\mu\varphi} \quad (8)$$

$$\text{将 (8) 代入 (7) 得: } \frac{d}{d\varphi} A(\varphi) = 4Rg[\mu(1 + \cos 2\varphi) - \sin 2\varphi]e^{-2\mu\varphi} \quad (9)$$

两边积分得:

$$A(\varphi) = 2Rg \left[-e^{-2\mu\varphi} + \frac{\mu e^{-2\mu\varphi}}{1 + \mu^2} (\sin 2\varphi - \mu \cos 2\varphi) + \frac{e^{-2\mu\varphi}}{1 + \mu^2} (\mu \sin 2\varphi + \cos 2\varphi) \right] + C$$

$$\text{当 } v|_{\varphi=\frac{\pi}{2}} = 0 \text{ 时, } A(\varphi)|_{\varphi=\frac{\pi}{2}} = 0$$

$$\text{则 } C = \frac{4Rg}{1 + \mu^2} e^{-\mu\pi} \quad (10)$$

将 (9)、(10) 式代入 (8) 式中有

$$\begin{aligned} v^2 &= -2Rg + \frac{2\mu Rg}{1 + \mu^2} (\sin 2\varphi - \mu \cos 2\varphi) + \frac{2Rg}{1 + (\mu)^2} (\mu \sin 2\varphi + \cos 2\varphi) + \frac{4Rg}{1 + \mu^2} e^{2\mu\varphi - \mu\pi} \\ &= \frac{4Rg}{1 + \mu^2} \left\{ \frac{1}{2} \left[2\mu \sin 2\varphi + (1 - \mu^2) \cos 2\varphi \right] + e^{2\mu\varphi} - \frac{1 + \mu^2}{2} \right\} \end{aligned}$$

把飞机在波浪中的运动理想化为圆周运动, 当飞机运动至最高点时, 应满足如下条件, 才能保证乘客的安全。

$$mg \geq \frac{mv^2}{R} \quad \text{即: } 0 \leq v \leq \sqrt{gR}$$

从而有:

$$0 \leq \frac{4Rg}{1 + \mu^2} \left\{ \frac{1}{2} \left[2\mu \sin 2\varphi + (1 - \mu^2) \cos 2\varphi \right] + e^{2\mu\varphi} - \frac{1 + \mu^2}{2} \right\} \leq gR$$

当飞机的飞行速度在此范围内时, 飞机能够安全降落, 不会造成重大损失。

当飞机的飞行速度不在此范围时, 飞机会做离心运动, 这样就会带来相应的损失。

因此, 为了保证飞机能够安全的降落, 那么必须保证飞行速度在此范围内。

五、模型的评价

飞机要安全降落于水面，不是易事。要安全降落于有风浪的水面就更难了。为了使飞机相对安全降落于有风浪的水面，就需要控制飞机的着水点，即控制飞机的着水姿态与航向。我们对飞机迫降于风浪水面的仰角、飞行速度、机体所受的冲击力等因素进行系统的分析。从而确立相应的方案，使飞机能够安全的降落于风浪水面。

在模型（一）中，建立起了机体所受的冲击力与飞机降落仰角之间的关系式。通过VOF方法的相应原理，综合分析了飞机飞行速度、飞机降落速度和飞机降落仰角三者与机体所受冲击力的关系。找到了飞机安全降落于风浪水面的姿态和航向。但此模型仍然存在一些问题，过于理想化，忽略的外在影响过多，水对机体的冲击作用分析过于简单。

在模型（二）中，主要是根据Froude准则以及相关的物理知识，把机身受到水的冲击力与飞机的降落仰角联系起来。把飞机降落于风浪后的运动看成相应的刚体运动。根据相关的物理知识可得转动惯量、力矩、转动半径、转动速度之间的关系式，由此关系式可以得到俯仰角与冲击力之间的关系，进而可得飞机安全降落时俯仰角的范围。但此模型也存在缺陷，过于理想化，如我们把飞机落水后与浪花共同旋转时浪花不可能是标准的刚体，因为浪花的体型是不规则的；再加上关系式中的碰撞时间我们看做是常量，但在实际碰撞中时间不可能常量；最后是浪花的转动半径也是看成不变的，实际中其转动半径是在不断变化的。

在模型（三）中，采用动力学的相关知识以及物理的相关知识，在相应的假设下，建立理想化的圆周运动。分析得出飞机飞行速度对降落的影响。从而得出：通过控制飞机的飞行速度来保证飞机安全降落。此模型同样存在缺陷，由于对运动过程的过于简化，理想化。对结果产生了影响。相应角度的难于确认，无法获取精确值，就带来了相应的误差。

六、参考文献与网址

1. 参考文献

- [1].刘玉莲、傅沛仁、林玓、苑德馨、刘宁等人所编的数学分析上下册出版地：高等教育出版社，2007年第五版
- [2].姜启源，数学模型，出版地：高等教育出版社，1993年第二版
- [3].刘卫国，MATLAB程序设计教程，出版地：中国水利水电出版社，2005年
- [4].张韵华，奚梅成，陈效群，数值计算方法与算法，出版地：科学出版社，2006年

参赛队号 # 1346

二版

- [5].张宇、赵远，大学物理，出版地：机械工业出版社，第二版
- [6].唐敏中、张伟，全国低跨超声速空气动力学文集，第一卷
- [7].吴介之，NS 方程的精确漩涡解，空气动力学学报，1985 年 3 月第一期
- [8].王尊策、陈伟勤、蒋明虎、刘晓明、赵立新，动态水力旋流器结构参数的优先设计，石油学报，2001 年 7 月第二十二卷第四期
- [9].贺谦、陈效鹏、李磊、岳珠峰，飞机水面降落的机身载荷研究，强度与环境 2009 年 8 月第 36 卷第 4 期
- [10].谢世楞、孙疏华、刘颖、吕江华，关于波浪力的概率分布型式问题

2. 参考网址

<http://www.baidu.com>
<http://zhidao.baidu.com/question/256423259.html?an=0&si=1>
<http://zhidao.baidu.com/question/188556956.html?an=0&si=7>
<http://zhidao.baidu.com/question/11270090.html?an=0&si=5>
http://www.chem17.com/st8378/Product_378074.html
<http://search.cnki.com.cn>