

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

网址：www.tzmcm.cn

Email: 2011@tzmcm.cn

邮编：010021

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：

参赛队员（签名）：

队员 1：

队员 2：

队员 3：

参赛队教练员（签名）：

参赛队伍组别：A 题组

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

网址：www.tzmcm.cn

Email: 2011@tzmcm.cn

邮编：010021

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）：

#1135

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

网址：www.tzmcm.cn

邮编：010021

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 风浪环境下客机海面迫降姿态问题的建模探究

关 键 词 风浪 迫降姿态 海浪模型 随机性模拟 连续离散化

摘 要：

本文解决了客机在有风浪的情况下在海面迫降的相对安全的姿态和航向的问题。

针对风浪条件的约束，采用有限元法建立起客机的三维空间结构模型，以随机性模拟对真实的海面风浪情况进行模拟。通过建立起质心转动坐标系，把飞机部件连续离散化，研究关于客机机身瞬态压力分布的微分方程模型及其优化模型，综合可能出现的复杂海况，根据机体实际承受限度求解相关影响参数范围，并采用控制变量法找到影响水面迫降安全系数的主要的姿态和航向因素。

文章特色在于着重的探讨了风浪的影响，较好地结合了模拟的真实海况，利用随机性生成带有部分不确定因素的表面函数，而非进行简单的理想假设。模型的求解沿用这种合理的不确定的结果，并将其带入受力分析中去。再者，基于质心坐标系的转动模型，

可将复杂的运动用力矩 $M_{\text{总}} = \int_{\frac{1}{2}l-r'}^{\frac{1}{2}l} \frac{\text{volume} \cdot \rho \cdot v_{\text{实际}i} \sin(\alpha + \theta)}{r' \Delta t} r_F dr_F$ 与合力简单地表示出

来，使拟合出的各点瞬时作用力 $f_{\text{微元}}$ 计算简便。并且由于可以多次生成，因此使最后得到的结果范围具有预测的现实意义。

通过模型求解发现，飞机迫降的难易程度和风浪的级数关系确实比较大。在波浪模型图及受力分析中，若在与风浪主方向相一致的航向下，飞机机翼水平度保持较佳。其中风级数为1到3级的影响不大，可以以9°至11°左右俯仰角的姿态迫降；当风力在4到6级时受随机性影响就比较大了，即使以合适角度也具有一定的危险性；当7、8级或以上时，飞机可能就会有被吞没的危险。结合实际，这种结果也是比较合理的，因此我们建立起来的数学模型，可以比较好地解决客机在有风浪的情况下在海面迫降的相对安全的姿态和航向的问题。

参赛队号 #1135

所选题目 A 题

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.cnEmail: 2011@tzmcm.cn

英文摘要

In this paper ,we discuss a math model about a forced loading on sea of airplanes without power on conditions of wind and wave ,in which we advance a way to solve the problems of airplanes' safe forced loading attitude and heading .

According to the constraint condition of wind, we establish a space structure model of airplane by the finite element model .Then we use matlab to construct random waves model to simulate real situation . Again we establish centroid rotating coordinate system to study the transient stress of airliner fuselage distribution .Considering the complex sea and according to the actual inherit limit,we solve relevant influence parameter scope. And we use the control variable method to find the main factors about forced loading on the sea .

This paper is typical of simulating the real sea, and using random to generate the surface function with uncertainty factors but simple ideal hypothesis. Then we can use the reasonable uncertain outcome., with which we can do the mechanics analysis .Then as we use centroid coordinates rotation model ,the moment can be easily showed and the instantaneous forces of every point can be also produced. What' s more ,the result which has been showed above can be produced more times ,so it has the significance of predicting .

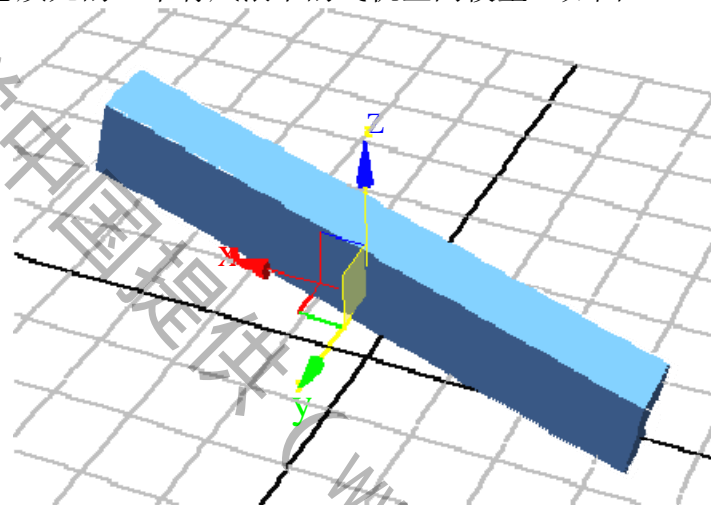
In our model , we can get that the difficulty of forced loading has something with the series of the wind .in this paper some parameters of A320 are used ,from which we can get the plane loading with horizontal position and following wind is safe . Specific we can get the wind with low series (1-3) has few influence on loading .And the airplane should land on the sea with nine ° to 11 ° .And with wind in four to six level ,the influence is obvious. there will be still much danger .even if land on the sea with a relatively appropriate level .Last , with the level of wind 7, the plane is in danger of being engulfed by the waves . Considering the real situation ,the results we have got above is reasonable .With the results we have obtained we solve the problem of forced loading on the sea .

风浪环境下客机海面迫降姿态问题的建模探究

一、问题的分析

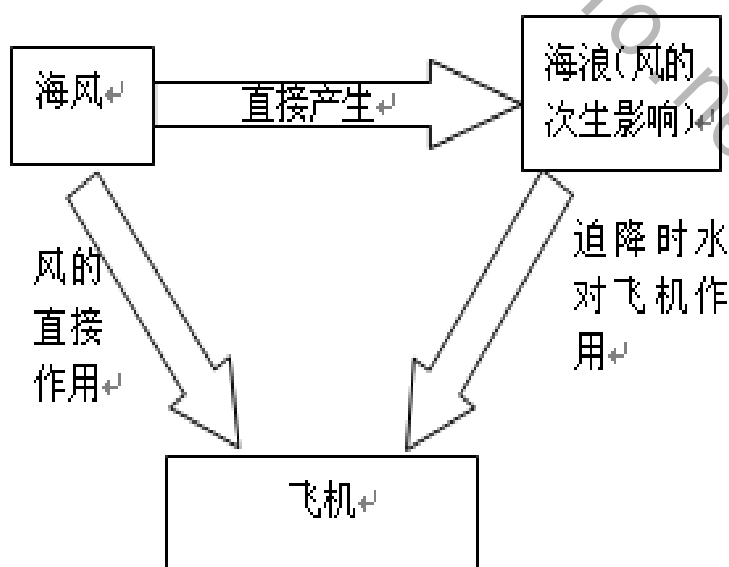
飞机在越洋飞行即有风浪的情况下进行迫降，比在平静更加危险，这主要是由于海面复杂的状况决定的。受贴于海面海风的影响，水面形成一个随机或不规则的波浪域，因而使飞机与水面碰撞时有一个复杂的力学过程且与在平静水域迫降时不尽相同。同时风力对飞机机身的作用也不能忽视，因此需要考虑多方面的影响来进行综合建模及求解。

首先可以考虑质元的一个有风浪下的飞机空间模型（如图一）：



图一 有风浪情况下的飞机迫降模型图

我们来研究目前情况的特殊性，得知最初主要是海风造成的环境的特殊，然后由其产生的各种综合影响造成了此时迫降难度和特殊性（见图二）：



图二 风浪对飞机海面迫降的影响分析图

参赛队号 # 1135

(一) 风与浪的关系

级别	风速 m/s	浪高[m]	级别	风速 m/s	浪高[m]
0	小于 0.3		7	13.9-17.2	4
1	0.3-0.6	0.1	8	17.2-20.8	5.5
2	1.6-3.4	0.2	9	20.8-24.5	7
3	3.4-5.5	0.6	10	24.5-28.5	9
4	5.5-8.0	1	11	28.5-32.7	11.5
5	8.0-10.8	2	12	32.7 以上	14
6	10.8-13.9	3			

由此我们可以知道浪高（振幅）与风浪级数之间的关系。

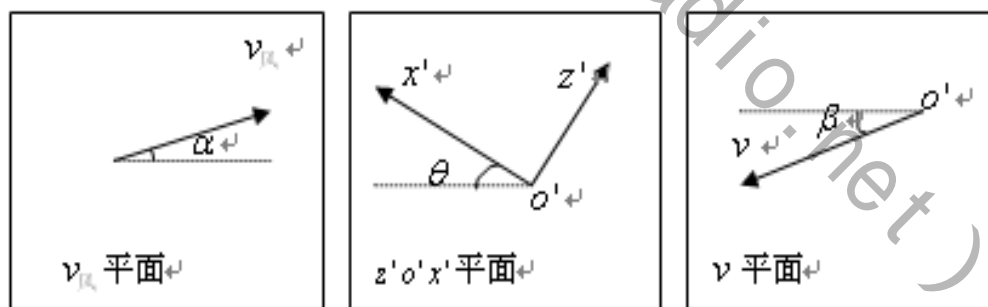
(二) 风对飞机的直接作用表达

随着风级数的变化，飞机的操纵难易性也会随之变化。因此我们将飞机在某风力级数下的操纵情况设为可操作与不可操纵^[1]。

当风力大到不可操作时(对大多数飞机是 9 级以上，要参照具体型号)，飞机难以在风中控制方向或是难以以顺风或逆风而行，因此会受到侧风的影响，可能产生翻滚或导致机翼先触水，因而此种情况下迫降会给飞机带来巨大危险。飞机对侧风大小的要求大于顶峰或顺风要求，因此我们暂时不考虑这种情况。

当飞机可以操作时，飞机为了尽可能避免侧风产生的转滚影响，因此会使飞机保持顺风或逆风的飞行姿态，此时风的速度平面（ v_w 平面）应和飞机速度平面（同时也是 $z'o'x'$ 平面）平行，如图三：

风的级数	飞机是否可操作
较小	可操作
较大	不可操作



图三 风浪条件中风的速度示意图

(三) 浪在迫降时的作用

为了研究海浪在迫降时对飞机的作用，我们需要先建立一个海浪模型（请参看模型的构建中的海浪模型）。

二、模型的假设

1) 假设飞机采取近岸海域迫降，因为远离海岸的深海区迫降使得救援困难。

参赛队号 # 1135

2) 假设近岸海域的风浪符合我国颁布的海况浪级标准，且不考虑如达到 12 级等风力的迫降情况。

3) 假设不规则海浪全部由各向的规则波叠加而成^[2]。

4) 假设飞机按比例缩小为机身是立方体、机翼承载的风阻可以等效为其对机身的作用效果。

5) 飞机接触海浪时视为瞬间不发生形变的刚体，同时不计算海水的粘性对飞机产生的影响。

6) 题目要求“相对安全”的迫降，因此假设两点：飞机接水前呈现水平平稳的流线型降落姿态、飞机接水后保持机身完整使得乘客安全得到保障（允许在一定的风浪条件下出现机翼断裂或者机身在可承受范围内发生谐振式横摇）。

三、符号的说明

符号	说明	符号	说明
θ	飞机俯仰角	$v_{\text{风}}$	风速
φ	飞机转滚角	v	接水时飞机速度
α	风速与水平面夹角	$v_{\text{初}}$	飞机初始速度
β	机速与水平面夹角	s'	接水面积
$F_{\text{水}}$	水对飞机作用力	G	飞机重力
$M_{\text{总}}$	飞机与水作用的力矩	$d\vec{L}$	飞机对质心角动量
l_i	质元到机首距离	Δt	飞机与水作用时间
M	飞机的等效质量	g	重力加速度
f_n	飞机质元在法向受力	f_t	飞机质元切向受力
p	风浪级数	ξ	海浪波的传播主方向
z	海浪波的振幅	ω	海浪波圆频率
n	海浪的随机数	λ	波长
k	规则波的波数	φ	主波相位延迟
$x、y$	次方向波波幅	T	海浪运动的某一时间
r	质元与质心距离	ρ	空气密度
S	迎风面积	volume	作用排开水的体积

参赛队号 #1135

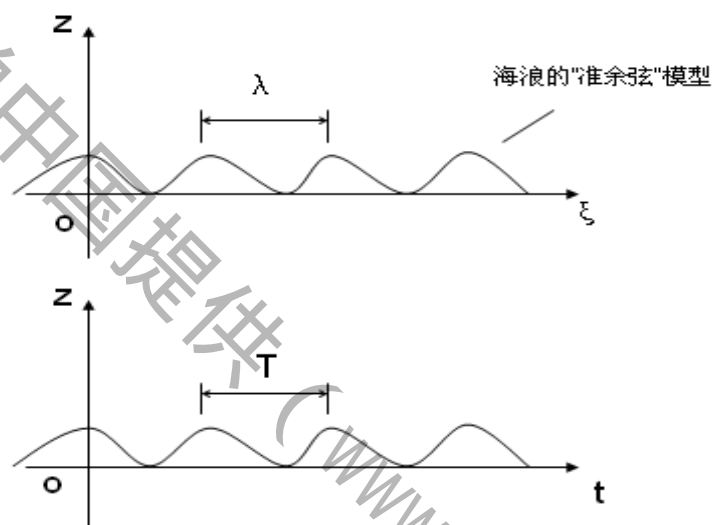
四、模型的构建

(一) 海浪模型：

为了更好的表达风浪对迫降的客机造成的影响，我们首先来建立起关于海面风浪的数学模型，以求得风浪波形的动力学特征。

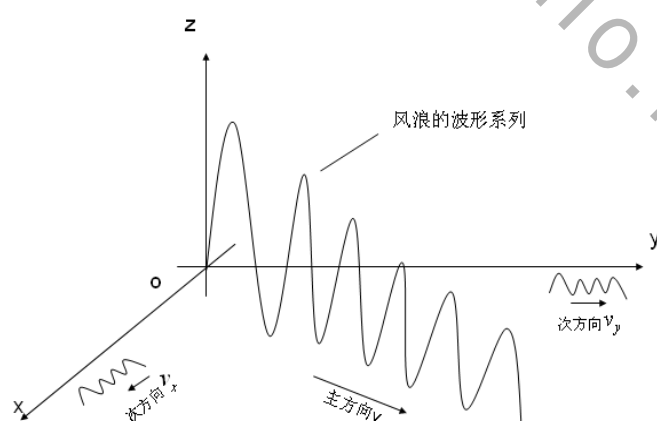
风浪是由于风直接作用于海浪，形成的一种极不规则的随机波浪，其传播方向并不是唯一的。对此，为了有利于数学模型的建立，我们在分析风浪对迫降的客机产生的作用时，将风浪分解成为大量的均匀的细小的规则波叠加而成。

因此，风浪可以有許多不同方向的规则波组成。分解出来的风浪波形，是一系列沿着同一个主方向传播且振幅不断起伏的“准余弦波”，而各个次方向的波在主方向进行叠加，最终可以模拟产生不规则的随机海浪^[3]。



图四 海浪的二维“准余弦”模型图

建立坐标系 $O-xyz$ ，其中 O 是坐标系原点， xoy 平行于海平面， oz 垂直于海平面。



图五 不规则海浪的叠加模型图

在物理中，根据流体力学的原理，单独一系列规则波的风浪沿着主方向的传播波形表达式是：

$$z = z_0 \cos(k\xi \pm \omega t) \quad (1)$$

参赛队号 #1135

其中波高 z 是关于时间 t 和位置 ξ 的函数。

为了方便分析风浪对客机的影响，我们假设风浪的波峰、波高和周期都是随机变化着的，在 matlab 中为了模拟真实情况，我们用 rand() 来产生这种合理的随机性。这些单元规则波经过叠加之后，沿着一个固定的主方向前进，于是在主方向传播的规则波的叠加：

$$z = \sum_{n=1}^n z_0 \cos(k\xi \pm \omega t + \varphi) \quad (2)$$

其中 φ 是主方向上任意两个系列的“准余弦波”的相位延迟。

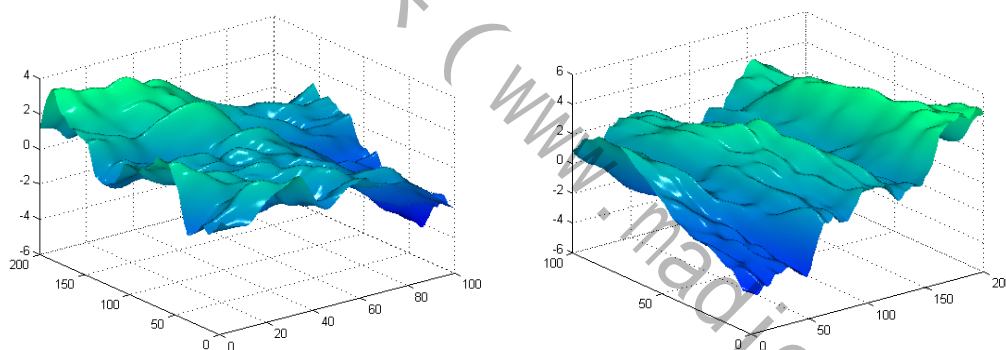
实际波浪是有许多个方向的一系列波混合成的，其次方向上的波形为

$$z' = \sum_{n=1}^n \cos(x_0 \cos \omega t + y_0 \sin \omega t) \quad (3)$$

综合主方向、次方向上的各种波形进行线性叠加，可以得到我们所模拟的客机进行迫降时的海面的风浪模型^[4]：

$$Z = \sum_{n=1}^n \cos[k\xi \pm \omega t + \varphi + (x_0 \cos \omega t + y_0 \sin \omega t)] \quad (4)$$

取风浪坐标的随机位置，再加入风力级数、浪高等海况参量，用 Matlab 进行模拟（相关代码见附录1），建立了海浪模型（风力级数，对高度的切分量，对相位的切分量）：



图六 海面风浪的数学模拟图

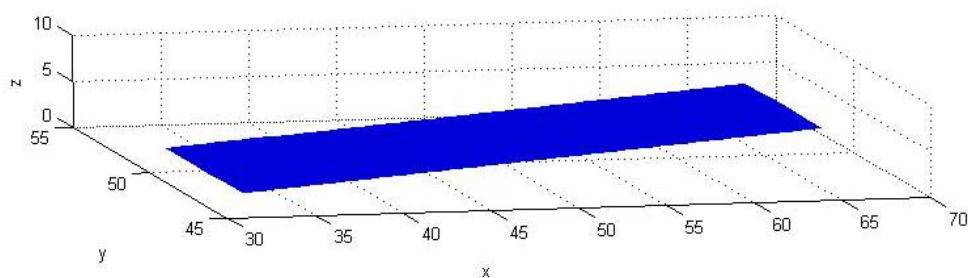
通过建立起海面风浪的数学模型，得到主方向上的风浪叠加波形，对海风在波面上的应力、线速度、能量等进行分析，可以比较好的进一步讨论客机迫降过程中海面风浪对客机的冲击力的影响。

（二）碰撞瞬间浪与机身作用关系

对于我们来说飞机撞击波浪的瞬间，即使风力级数、浪高等是已知量，但由于具体的海面情况一般是未知的，对于我们来说即此时的海面状况随机。如果此时假设一个理想的触水方式来分析受力情况，最终只能得到一个假设的特定解，因而不严谨。因此应利用随机波浪模型来进行可能的受力预测。

因涉及飞机，且主要研究飞机的下表面和水的作用，因此先建立下表面模型，涉及关键代码见附录二：

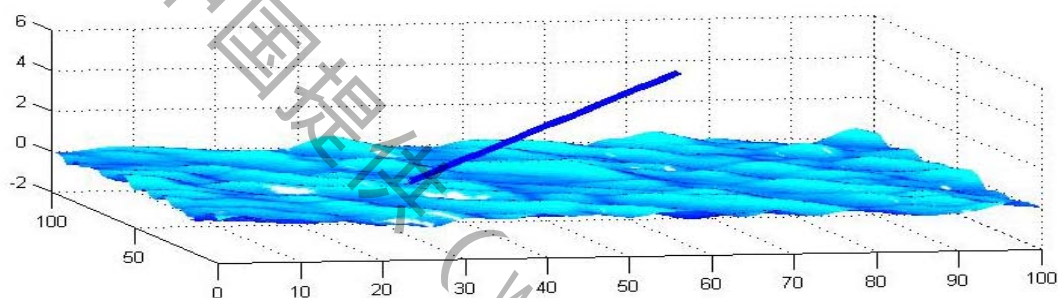
参赛队号 # 1135



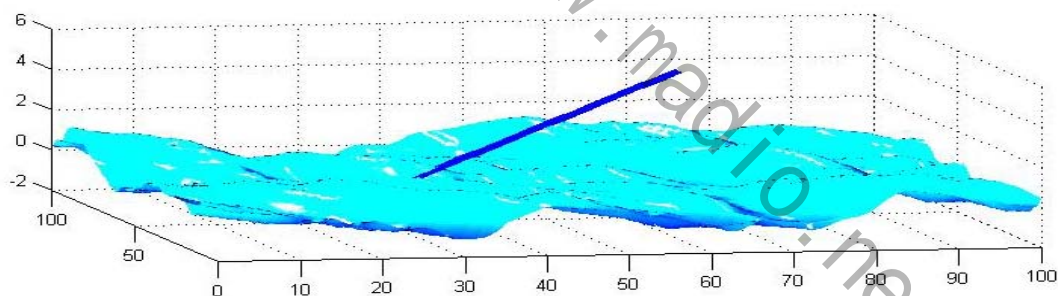
图八 飞机接水的平面模型（此图示的参量为中心坐标（50,50）、俯仰角为 9° 、机尾垂直距海面0米、飞机长33.84、宽5米）

然后将海浪模型的代码进行改编，并加入飞机下表面模型，使之能便于计算某一瞬间被飞机排开的水的体积，涉及关键代码及参数取值见附录三：

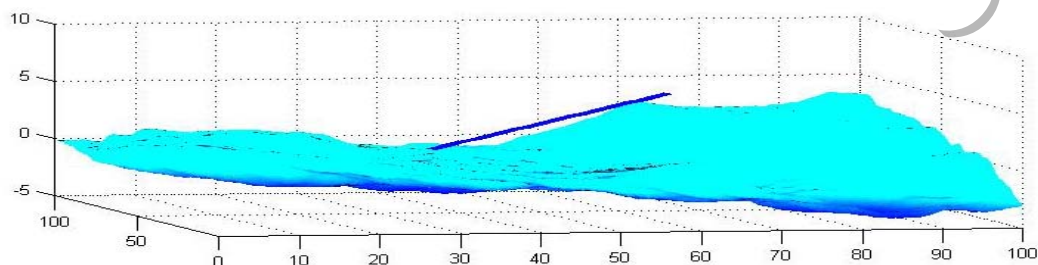
首先考虑在飞机触水是发生在一个很短时间内的，在这种情况下可以看出，随着风力级数的不同，瞬时排开的水的体积也不同，代码中用volume表示：



（二级风的情况）

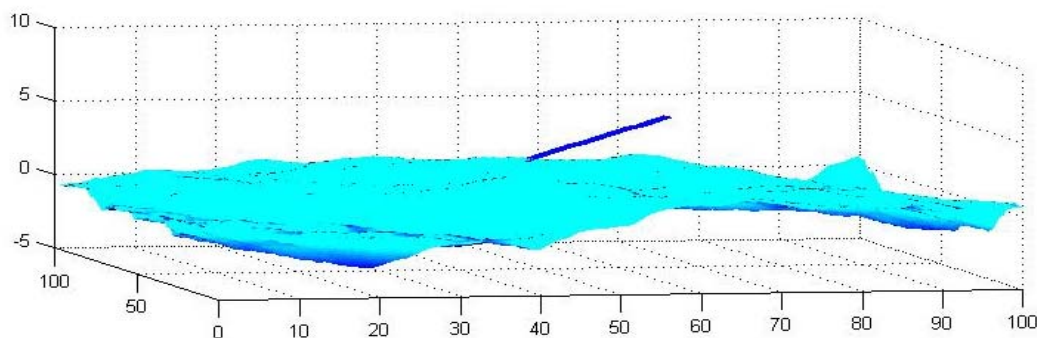


（四级风的情况）



（六级风的情况）

参赛队号 # 1135



(八级风的情况)

图九 各风级下波浪与客机碰撞示意图

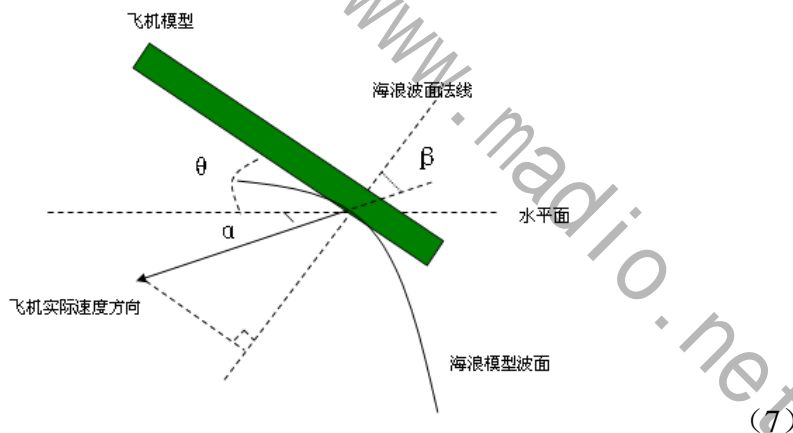
可见，波浪情况对飞机受力影响较为巨大。我们可设碰撞瞬间的时间间隔为 Δt ，对这一部分被排开的水，由冲量定理得：

$$F_{\text{水}} \Delta t = \Delta m v_{\text{水}} \quad (5)$$

由于碰撞时飞机撞击水面，因此排开水的速度应与撞击速度 $v_{\text{撞}}$ 一致，并且 Δm 可以由我们计算的水的体积和水的密度 ρ 得出。然后由牛顿第二定理，我们可得飞机此时受力为：

$$F = \frac{\text{volume} \cdot \rho \cdot v_{\text{撞}}}{\Delta t} \quad (6)$$

我们现在要分析撞击速度，因此由图七可知：



图十 飞机接触海浪瞬间模型图

其中 $v_{\text{实际}i}$ 为速度的量值，因为碰撞时总是波面上法向向量和飞机法向向量平行的点先和飞机碰撞，因此可将碰撞速度和水对飞机的力 F 表示出来：

$$F = \frac{\text{volume} \cdot \rho \cdot v_{\text{实际}i} \sin(\alpha + \theta)}{\Delta t} \quad (8)$$

(三) 风浪下碰撞瞬间综合受力模型

我们选取质心（即 o' 点）为转动中心，由于机体均会受到风力作用，在密度均匀，风力均一的情况下，可以将风力看做只改变质心的平动状态而产生力矩较小。同理，对于重力的作用，由于转动中心为质心也可看作不贡献力矩^[5]。

因此此时的合力矩 $\overline{M}_{\text{总}}$ 等于水对飞机的合力矩 $\overline{M}_{\text{水}}$ 可以由如下表示：

参赛队号 #1135

$$M_{\text{总}} = M_{\text{水}} = \int F_{(v_{\text{初}}, r, \alpha, \theta, t)} dr \quad (9)$$

设逆时针为转动正方向。由于受到的是面力，考虑到 x 方向上的特殊性，我们将飞机下表面分解为 x 方向上长条状微元(r' 为接触水的径向长度， r_F 为设的积分变量)^[6]：

$$\begin{aligned} M_{\text{总}} = M_{\text{水}} &= \int_{\frac{1}{2}l-r'}^{\frac{1}{2}l} \frac{F_{\text{max}}}{r'} r_F dr_F \\ &= \int_{\frac{1}{2}l-r'}^{\frac{1}{2}l} \frac{\text{volume} \cdot \rho \cdot v_{\text{实际}i} \sin(\alpha + \theta)}{r' \Delta t} r_F dr_F \end{aligned} \quad (10)$$

从另一边来看由角动量定理，我们得知 F 的力矩是角动量的变化率，即是对每一个微元 $S\rho dr$ 的都有一个相同的角动量变化率。对距质心 r 的单个微元分析，用 $S\rho$ 表示每个小微元的质量， v 表示该微元的法向速度，如图三，因此我们可由(1)得出标量表达式：

$$\frac{dL}{dt} = \frac{d(rS\rho v)}{dt} = \frac{d(r^2 S\rho \omega)}{dt} \quad (11)$$

将非时间变量独立，得到变式：

$$\frac{dL}{dt} = r^2 S\rho \frac{d\omega}{dt} \quad (12)$$

可以发现，由于我们将碰撞瞬间飞机看成刚体，因此角速度 ω 对时间的微商应守恒。故针对不同 r 处的微元，可以利用这一性质建立等式：

$$\frac{M_{\text{总}}}{r_F^2 m_{\text{总}}} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\text{微元}}}{r^2 S\rho} \quad (13)$$

将(3)式代入(6)式中：

$$M_{\text{微元}} = r^2 S\rho \int_{\frac{1}{2}l-r'}^{\frac{1}{2}l} \frac{\text{volume} \cdot \rho \cdot v_{\text{实际}i} \sin(\alpha + \theta)}{r' r_F^2 m_{\text{总}} \Delta t} r_F dr_F \quad (14)$$

积分解出后，可得微元所受力 $f_{\text{微元}}$ ：

$$f_{\text{微元}} = \frac{M_{\text{微元}}}{r} = r S\rho \frac{\text{volume} \cdot \rho \cdot v_{\text{实际}i} \sin(\alpha + \theta)}{r' m_{\text{总}} \Delta t} \ln \frac{\frac{1}{2}l}{\frac{1}{2}l-r'} \quad (15)$$

经讨论我们发现，对于我们划分的每一个微元，除了自身受到一份来自水反作用力的扭力（或叫切应力），还将提供之后微元的扭力^[7]。因此可将 $f_{\text{微元}}$ 进行优化：

$$f_{\text{微元}}' = \int_{\frac{1}{2}l}^r r S\rho \frac{\text{volume} \cdot \rho \cdot v_{\text{实际}i} \sin(\alpha + \theta)}{r' m_{\text{总}} \Delta t} \ln \frac{\frac{1}{2}l}{\frac{1}{2}l-r'} dr \quad (16)$$

在考虑到重力的作用，由于类似的原因，微元除受自身重力外，还要提供之前的微

参赛队号 # 1135

元支持力。因此，此次讨论的微元受到重力叠加的、在切应力方向上的分力为：

$$G'_{\text{微元}} = \int_{-\frac{1}{2}l}^r S \rho g \cos \theta dr \quad (17)$$

同理，考虑到风力的作用，据空气阻力的公式： $F_{\text{空}} = \frac{c \rho_{\text{空}} S_{\text{迎风面}} V^2}{2}$ （ C 为空气阻力系数； ρ 为空气密度； S 物体迎风面积； V 为物体与空气的相对运动速度）换成每个微元上受到的力：

$$F'_{\text{空}} = \frac{a F_{\text{空}}}{S_{\text{迎风面}}} = \frac{c a \rho_{\text{空}} V^2}{2} = \frac{c a \rho_{\text{空}} [v \cos(\frac{\pi}{2} - \theta - \beta) + v_{\text{风}} \cos(\frac{\pi}{2} - \theta - \alpha)]^2}{2} \quad (18)$$

因此，综合（9）、（10）（11）和之前取的正方向，我们得出 r 处微元切应力方向所实际受力为：

$$f_{\text{微元}} = \frac{1}{2} \left(r^2 - \frac{l^2}{4} \right) \cdot S \rho \frac{\text{volume} \cdot \rho \cdot v_{\text{实际}} \sin(\alpha + \theta)}{r' m_{\text{总}} \Delta t} \ln \frac{\frac{1}{2}l}{\frac{1}{2}l - r'} - S \rho g \cos \theta \left(r + \frac{1}{2}l \right) + \frac{c a \rho_{\text{空}} [v \cos(\frac{\pi}{2} - \theta - \beta) + v_{\text{风}} \cos(\frac{\pi}{2} - \theta - \alpha)]^2}{2} \quad (19)$$

因此，我们得到了微元关于参数 θ 、 $v_{\text{初}}$ ，在不同 r 处的切应力方向受力的模型。

五、模型的优化——风浪危险系数和迫降临界条件分析

至此，我们通过建立起海浪模型，利用海浪波面的动力学性质^[8]，结合物理原理，最终建立起了风浪下客机海面迫降的数学模型。为了更好的解决迫降的“相对安全”的问题，我们将对上述模型进行进一步的优化，为此，我们引入了海面风浪的危险系数，以及分析迫降过程中客机所达到的临界条件。

海浪模型采用了国家海洋局颁布的海况风浪标准作为客机迫降的环境，实际上海洋风浪远比这复杂得多，因此我们在海况风浪标准上加入了风浪随机性因子，从而形成了更具普遍性的迫降环境，称之为风浪危险系数。

由于在海面进行迫降，加入随机因子后迫降的临界条件将发生一定的变化，主要体现在可以由于风浪而产生一定的机翼谐振横摇，甚至机翼发生断裂，但是，出于相对安全的考虑，必须使客机实现水平流线型降落，保持机身的完整。

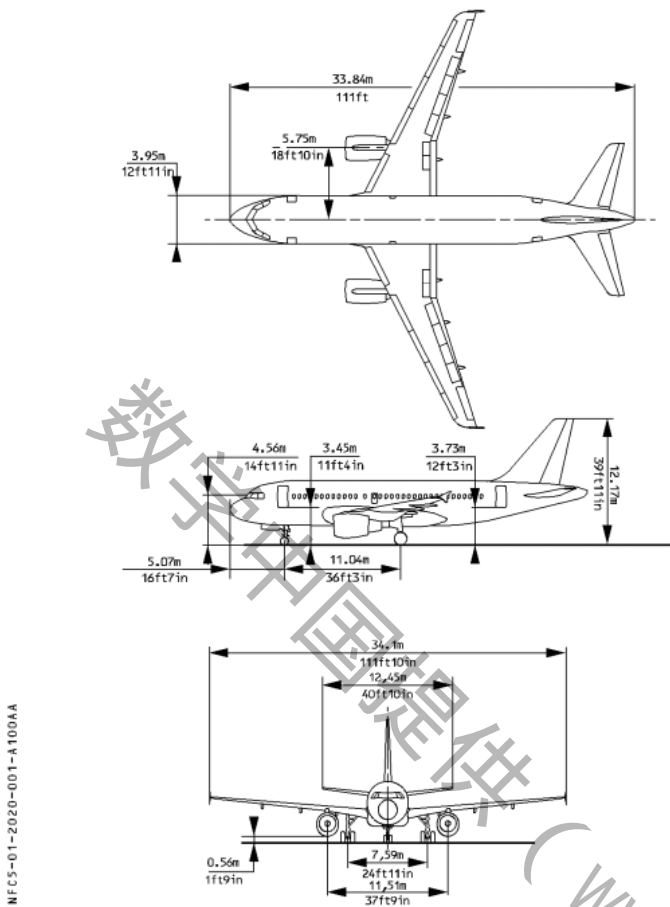
六、模型的求解与分析

针对客机在有风浪的条件下进行海面迫降的问题，为了寻找客机相对安全的迫降方式，我们从建立起来的数学模型着手分析，分别对客机迫降的姿态角（俯仰角）、客机平衡的转滚角、客机降落的航向等方面用 matlab 进行计算。

其中，我们着重考虑风浪条件对客机迫降产生的影响。带入 airbusA320 的参数数据，我们对某一海况下、某一飞机迫降方式进行了模拟求解，相关代码见附录四：

参赛队号 # 1135

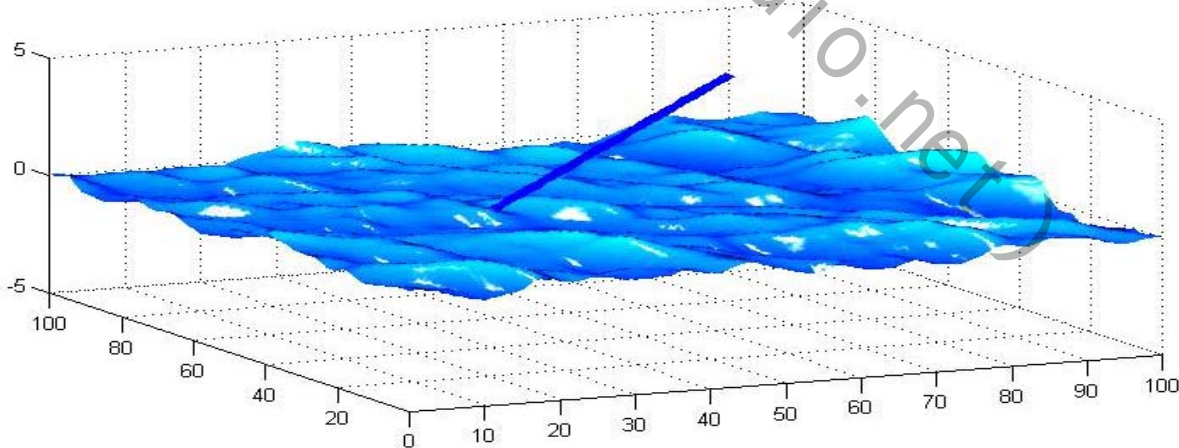
PRINCIPAL DIMENSIONS



飞机相关			
机长 l	33.84m	机宽 a	3.95m
转滚角 θ	9°	机尾接触距 zr	0
o' 坐标 xo	50	o' 坐标 yo	50
波浪域相关			
对相位的切分量 $p1$	20	对高度的切分量 jd	30
风级 fj	3		
其他			
作用时间 Δt	0.0100		
更多参量请见附录五			

图十一 airbusA320 示意图

为了预测和模拟，我们会多次运行程序，在模拟同时也给出了相应的三维图像，下图是其中一幅：



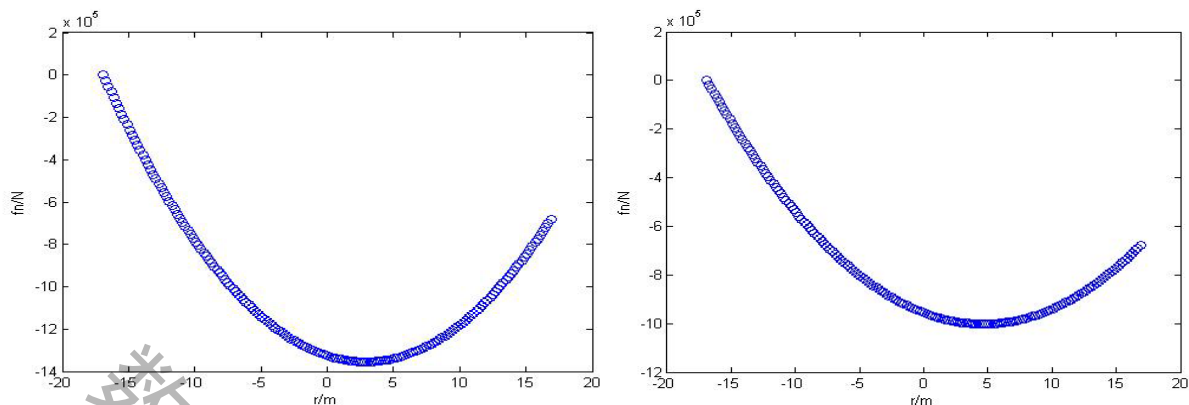
图十二 三维模拟图

模拟结果 volume(m^3)			
7.1024	1.9557	0.6205	3.5021
4.4415	4.7844	2.8689	5.8463

参赛队号 # 1135

将 volume 值代入式(19)中，得（只选两种情况画出）：

Volume=7.1024; Volume=4.4415



图十三 应力模型的计算结果图

得出此种情况下的一个应力分布的可能范围，是合理的预测。

根据我们的模型，然后还可以改变 θ ， v 等量值，用控制变量法来研究这些姿态对飞机安全的情况，因此客机海面迫降姿态问题便可得到解决。

七、总结与讨论

在解决有风浪条件下客机海面迫降问题的过程中，采用了有限元模型^[9]建立了飞机的空间结构模型，然后进行随机性模拟分析了海面的风浪状况，结合碰撞过程中对客机质元的连续离散化，最终建立起关于风浪条件下影响客机迫降的因素的数学模型，并对微分模型进行 Matlab 求解，得出了有风浪条件下客机迫降的相对安全的姿态和航向。

海面风浪具有随机和不规则性，和在客机触水的瞬间风浪对其造成的影响进行定性定量的处理上，给建立客机迫降数学模型带来了一定的困难，这也是我们需要进一步解决和优化的地方。

参考文献：

- [1] 王大国，周亚龙等. 波浪对圆柱体作用的三维耦合计算模型[J]. 中国海洋平台. 2010-25（5）.
- [2] 康凤举，杨惠珍. 基于线性海浪作用理论的海浪数值模拟. 系统仿真学报. 2005, 17（5），1037.
- [3] 祝明波，董巍. 海浪建模综述. 2010, 197（11）.
- [4] 程丽，郭保东. 某型客机水上迫降的着水冲击力学性能数值研究. 民用飞机设计与研究. 2002.
- [5] 盛其虎，张亮. 信天翁近海面飞行时的气动力研究. 应用数学和力学. 2005—26（09）.
- [6] 陈占晖，卢永锦. 初始因素对高速物体抨击水面后动特性的影响. 船舶工程. 2010-32（02）.
- [7] 林守利. 随机海浪作用下船上物体保持水平的预测控制研究. 沈阳工业大学. 2003.
- [8] Peter D. Hicks and Frank T. Smith. 《Skimming impacts and rebounds on shallow liquid layers》. 2010-10.
- [9] 李元生，贺谦. 基于 ALE 方法的飞机水面降落过程. 爆炸与冲击. 2010, 30（02）

参赛队号 # 1135

附录一：

```

function [z]=hl(fj,pl,jd)%f~·çÁ¼¼Êÿ,¶Ô,ß¶ÈµÄÇÐ·ÖÁ¿,¶Ôİàİ»µÄÇÐ·ÖÁ¿f©
hlmin = [2.438306 1.462983 1.044989 0.812770 0.664988 0.562683 0.487659
0.430288];%1µ½8¼¶°£ÀË×İ,ß,ß¶È
hlmax = [2.90190 3.288826 3.794799 4.484760 5.481373 7.047480 9.866469
16.444115];%1µ½8¼¶°£ÀË×İµİ,ß¶È
hlp=[4.053570 2.432142 1.737244 1.351190 1.105519 0.935439 0.810714 0.715336];
u=[3,5,7,9,11,13,15,17];
fi=fj;
wmin=hlmin(fi);
wmax=hlmax(fi);
wp=hlp(fi);
ui=u(fi);
M=pl;
N=jd;
hln=(wmax-wmin)/M;
thn=pi/N;
x=[0:1:100];
y=[0:1:100];
[x,y]=meshgrid(x,y);
z=zeros(size(x));
for wi=1:M
    for ki=1:N
        th=-pi/2+(ki-1)*thn;
        epsin=rand*2*pi;%ÖËÈÈ×İ
        w=wmin+(wi-1)*hln+hln/2;
        swi=0.81*exp(-7400/(w*ui+eps).^4)*2*(cos(th)).^2/(pi*(w.^5+eps));
        an=sqrt(2*swi*hln*th);
        z1=w*w*x*cos(th)/9.8+w*w*y*sin(th)/9.8+epsin;
        z=an*cos(z1)+z;%µ½Ö
    end
end
surf(x,y,z);
shading interp;
lightangle(-45,30);
set(findobj(gca,'type','surface'),'FaceLighting','phong','AmbientStrength',
.3,'DiffuseStrength',.8,...
'SpecularStrength',.9,'SpecularExponent',200);
axis([0 100 0 100 auto auto]);

```


参赛队号 #1135

附录二：

```
function [zf]=fly(xo,yo,zr,o,l,a)%f~xf~yf~z,o,l,af@
x=[(xo-l*cos(o/180)/2):1:(xo+l*cos(o/180)/2)];
y=[(yo-a/2):1:(yo+a/2)];
[x,y]=meshgrid(x,y);

zf=zr+(x-(xo-l*cos(o/180)/2)).*tan((o/180)*pi);

surf(x,y,zf);
shading interp;
lightangle(-45,30);
set(findobj(gca,'type','surface'),'FaceLighting','phong','AmbientStrength',
.3,'DiffuseStrength',.8,...
'SpecularStrength',.9,'SpecularExponent',200);
```

附录三：（画示意图用）

```
fj=3;
pl=20;
jd=30;
xo=50;
yo=50;
zr=0;
o=9;
l=33.84;
a=5;

hlmin = [2.438306 1.462983 1.044989 0.812770 0.664988 0.562683 0.487659
0.430288];%°£ÀÈ×îµí,ß¶È£¬¶ÔÓ|µÈ¼¶
hlmax = [2.90190 3.288826 3.794799 4.484760 5.481373 7.047480 9.866469
16.444115];%°£ÀÈ×î,ß,ß¶È£¬¶ÔÓ|µÈ¼¶
hlp=[4.053570 2.432142 1.737244 1.351190 1.105519 0.935439 0.810714 0.715336];
u=[3,5,7,9,11,13,15,17];
fi=fj;
wmin=hlmin(fi);
wmax=hlmax(fi);
wp=hlp(fi);
ui=u(fi);
M=pl;
N=jd;
hln=(wmax-wmin)/M;
thn=pi/N;
x=[0:1:100];
y=[0:1:100];
[x,y]=meshgrid(x,y);
z=zeros(size(x));
for wi=1:M
    for ki=1:N
        th=-pi/2+(ki-1)*thn;
        epsin=rand*2*pi;
        w=wmin+(wi-1)*hln+hln/2;
        swi=0.81*exp(-7400/(w*ui+eps).^4)*2*(cos(th)).^2/(pi*(w.^5+eps));
        an=sqrt(2*swi*hln*th);
        z1=w*w*x*cos(th)/9.8+w*w*y*sin(th)/9.8+epsin;
        z=an*cos(z1)+z;
    end
end
surf(x,y,z);
shading interp;
lightangle(-45,30);
```


参赛队号 #1135

```

        swi=0.81*exp(-7400/(w*ui+eps).^4)*2*(cos(th)).^2/(pi*(w.^5+eps));
        an=sqrt(2*swi*hln*th);
        z1=w*w*x*cos(th)/9.8+w*w*y*sin(th)/9.8+epsin;
        z=an*cos(z1)+z;
    end
end
surf(x,y,z);
shading interp;
lightangle(-45,30);
set(findobj(gca,'type','surface'),'FaceLighting','phong','AmbientStrength',
.3,'DiffuseStrength',.8,...
'SpecularStrength',.9,'SpecularExponent',200);
axis([0 100 0 100 -5 5]);

volume=0;
for i=1:100
    if (xo-l*cos(o/180)/2)<x(i)<(xo+l*cos(o/180)/2)
        for j=100
            if (yo-a/2)<y(j)<(yo+a/2)
                zz=(zr+(x-(xo-l*cos(o/180)/2)).*tan((o/180)*pi))-z;
                zz=(zz+abs(zz))/2;
            end
        end
    end
end

for e=1:length(zz)
    volume=volume+zz(e);
end
v=100;
t=0.01
p=1025;
volume=abs(volume)
waterm=abs(volume*p)
f=v*waterm/t

```

附录五:

```

m=70000;
t=0.100;
l=33.84;R=8.865;
r=-l/2:0.2:l/2;
o=9*pi/180;b=88*pi/180;
ao=2*pi/180;
sp=m/l;
g=9.8;
v=200.7;
volume= 4.4415 %7.1024;
p=1025;
c=0.08;
a=3.95;
pk=11.691;
v2=4.4;

f=1/2*(r.^2-l^2/4)*sp*((volume*(p*v*sin(ao+o)))/R/m/t)*log(l/(2*(l/2-R)))-s
p*g*(r+l/2)*cos(o)+0.5*c*a*pk*(v*cos(pi/2-o-b)+v2*cos(pi/2-o-ao));
plot(r,f,'o')
xlabel('r/m')
ylabel('fn/N')

```