

基于微分方程和模拟退火算法的系泊系统设计

September 12, 2016

摘要

本文针对系泊系统各组成部分的受力分析,建立了锚链,钢桶,钢管和浮标各个部分的约束模型,并利用 Mathematica 和 Matlab 求解复杂方程,以及使用了模拟退火算法来进行参数优化。

针对问题(1),将离散的锚链模型简化为连续的绳索并运用微元法求出悬链线的方程及相关参数方程。在此基础上和其余部分的静力学方程联立,运用符号计算软件 Mathematica 进行化简得到只关于两个参量的方程,输入 Matlab 并代入风速 $v=12\text{m/s}$ 和 $v=24\text{m/s}$,解出钢桶和各节钢管的倾斜角度、锚链形状、浮标的吃水深度和游动区域。在过程中发现,风速 $v=12\text{m/s}$ 时悬链线有一部分已经拖在地上,之前的模型就不再适用。于是我们改变了几个方程,设 $\alpha=0$,重新代入数据计算得到正确的结果。

针对问题(2),我们将 $v=36\text{m/s}$ 代入(1)中的模型,解得钢桶的倾斜角和锚链与海床的夹角均超过了题目给定的工作条件。于是我们调整了重物球的质量,画出了钢桶倾斜角、锚链与海床的夹角、吃水深度、游动半径等重要参数和重物球质量的关系。并通过和工作条件的比较,得出最小重物球质量应满足使得锚链与海床夹角 $\alpha=16^\circ$ 的条件,重新代入(1)中的模型求解方程组得到最小的重物球质量。

针对问题(3),我们在(1)中模型的基础上加入了水流对于各个组成部分静力学方程的修正。为了简化问题和便于求解,我们重点讨论了当海水流速和风速夹角在 $0-90^\circ$ 之间的情况,并通过分析得到在重物球质量和锚链长固定的时,流速和风速同向的情况下钢桶倾斜角和锚链与海床的倾斜角最大。于是我们针对二者同向的情况建立模型,进行系统设计。由于本题中水深不固定,我们先在(1)的条件下画出水深对于钢桶倾斜角、锚链与海床的夹角、吃水深度和游动区域关于水深的图像,得出之间的单调关系,并以此确定最大倾角、夹角、吃水深度和游动区域的方程。

由于本题希望系泊系统满足钢桶倾斜角、吃水深度,游动半径都要最小的多个目标,属于优化问题中的多目标优化问题,我们使用线性加权的方案给出优化的目标函数,在此基础上利用模拟退火算法求出目标函数最小的方案,作为我们的系泊系统设计参数。除了重点讨论了这种情况,我们也定性的分析了夹角大于 90° 时可能的系泊系统的静力学方程,并给出了此问题的复杂性分析。

最后,我们给出了对于我们(1)(2)(3)问建立的模型的分析,并对下一步模型的优化和改进提出了一些想法。

关键词:系泊系统 悬链线方程 多目标优化 模拟退火

1 问题重述

一个由浮标，系泊，水声通讯系统组成的近海观测传输节点，可以简化为以下模型：

1. 浮标系统：一个由底面直径和高皆为 $2m$ ，质量为 $1000kg$ 的圆筒浮标。
2. 系泊系统：4 根长 $1m$ ，重 $10kg$ ，直径 $50mm$ 的钢管，长 $1m$ 外径 $30cm$ 的钢桶，重物球，电焊锚链，和特制抗拖移锚组成。
3. 水声通讯系统：上述钢桶及安装在上述钢桶中的设备（总质量为 $100kg$ ）。

连接方式如下：

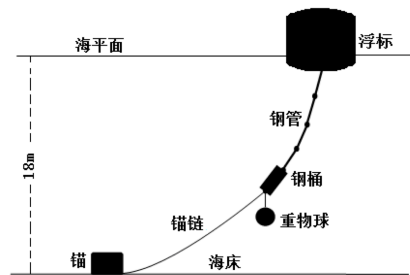


Figure 1: 模型简图 [1]

要求

1. 锚链末端与锚相连处切线与海床的夹角小于等于 16° 。
2. 钢桶竖直时效果最佳，倾斜不超过 5° 时效率高。
3. 通过改变重物球质量，选择锚链型号，调整倾斜角。

我们的任务是给出合适的系泊系统设计，即给出锚链型号长度和重物质量，来使在满足以上要求的前提下，使浮标吃水深度小，游动区域小，且钢桶倾角小。

题目给出了以下几个问题：

1. 假设使用 II 号锚链，长度为 $22.05m$ ，重物质量 $1200kg$ ，水深 $18m$ ，海床平坦，海水密度 $\rho_{seawater} = 1.025 \times 10^3$ 且海水静止。求风速为 $v = 12m/s$ 与 $v = 24m/s$ 时各节钢管和钢桶的倾角，以及锚链形状、浮标吃水深度和运动区域。
2. 在 1 的假设下，再计算风速 $v = 36m/s$ 时，各节钢管和钢桶的倾角，以及锚链形状、浮标吃水深度和运动区域。再通过调整重物质量，使钢桶倾角小于等于 5° ，锚链末端与锚相连处切线与海床的夹角小于等于 16° 。
3. 若水深在 $16m \sim 20m$ 之间。海水速度最大为 $1.5m/s$ ，风速最大 $36m/s$ 。求考虑风力，水流粘滞力，和水深变化的情况下，系泊系统怎样设计，分析不同设计下，钢管、钢桶的倾角、锚链形状、浮标吃水深度和游动区域。

2 问题分析

- 由于题目假设海水是静止的，且风速保持一定，那么这就可以简化为一个比较典型的物理静力学问题。对于这类问题，物理学中的经典方法是对该平衡系统做受力分析，对模型每一段写出它的受力平衡方程和力矩平衡方程。通过解方程，即可得出各处的倾角，知道了各处倾角，自然可以推出锚链的形状方程，及其他各项参数。

- 问题 2 和问题 1 是在同样假设条件下进行的，所以只需用同样模型，将改变后的风速代入即可求得结果。由于风速过大，求出结果后，若发现不满足要求，自然考虑到可以通过选取一定步长，逐步增加重物质量，代入求得倾角及其他参数，并绘图，找出其中的关系，得到倾角满足要求的时候重物的质量。
- 问题 3 比前两问明显要复杂得多。第一，要考虑锚链、钢桶、钢管和浮标所受的水流力。第二，它是一个多目标优化的典型问题。要求倾角和游动区域尽量小。在只改变重物质量和锚链型号的情况下，倾角小和浮动区域小是一致的，然而，当锚链长度改变的时候，倾角变小则游动半径增大，浮动半径见效则钢桶倾角增大。这就需要我们构造综合指标，全面衡量三个优化目标，将多目标问题转化为单目标问题求解。求解过程可以用模拟退火算法。除此之外，对于风速水速更复杂的夹角要分为 > 90 和 < 90 分别讨论。

3 基本假设和符号说明

3.1 基本假设

对之后所有模型，我们做如下假设：

1. 求解的模型都是静态平衡的，且各层水流速度（如果有）和风速方向相同。
2. 假设锚链可以简化为一根柔软重绳，即其位置方程的一阶导数是连续的。
3. 假设钢管为刚性的，链条等不会扭转旋转。
4. 假设浮标是圆柱底面朝下。
5. 题目数据真实可靠。
6. 假设钢管和锚链都是通过铰链连接在钢桶和浮标上，且连接在钢桶和浮标的中心。

基本假设的合理性分析

- 静态平衡假设：

本题中系泊系统的功能是保证水声通讯系统的稳定，即理想状态下系统应处于静止状态。查阅论文等资料显示^[3]

由题目可知，单节锚链的长度 dl 最大为 0.18m，而题目样例中的锚链长度 L 为 22.05m，满足 $dl \ll L$ ，故认为锚链可等效为一根柔软重绳。

- 圆柱形浮标的底面向下且下底面完全浸没，同时上底面不会浸入水中

浮标有两种可能的形态，即“横放”和“竖放”。

由于浮标底部受钢管的拉力，简单分析可知这种情况下浮标一定可以达到稳定平衡，在小扰动下不会产生翻倒的现象。由于题目所给图片中浮标为底面向下的“竖放”状态，为简便起见，我们假设此即为浮标的正常形态。

浮标下底面完全浸没，上底面不浸没保证了我们计算的正确性，在后面的计算中我们也可以看到这一假设将得到满足。

- 锚链钢管无旋转假设这一假设可排除扭矩等因素对计算造成的影响，同时根据本题描述，在实际情况下锚链、钢管等的旋转可以忽略。
- 铰链中心连接假设由于题目所给信息不具体，为方便计算补充此假设。

Table 1: 符号说明表

| 符号 | 符号描述 |
|-------------------------|-----------------------------|
| φ | 浮标与竖直方向夹角 |
| α | 锚链末端与海床平面夹角 |
| θ_b | 钢桶轴线与竖直方向夹角 |
| $\theta_i/\theta_{r,i}$ | 第 i 段钢管的与竖直方向夹角 |
| $\theta_{c,i}$ | 第 i 段锚链微元与竖直方向的夹角 |
| ρ | 海水密度 |
| F_f | 浮标所受总浮力 |
| $F_{c_k,y}$ | 第 k 段锚链微元受到右端物体的力 |
| $F_{r_k,y}$ | 第 k 根钢管受到右端物体的力 |
| F_y | 浮标受到钢管的力的竖直分量 |
| F_x | 浮标受到钢管的力的水平分量 |
| $F_{r_k,x}$ | 每段钢管对其下面物体力的水平分量 |
| G_{c_k} | 第 k 段锚链微元受到的的等效重力 (重力减浮力) |
| G_{r_k} | 第 k 段钢管受到的的等效重力 |
| G_b | 钢桶受到的等效重力 |
| G_B | 重物球受到的等效重力 |
| m_b | 钢桶质量 |
| M_B | 重物球质量 |
| R | 浮标半径 |
| r_r | 钢管半径 |
| r_b | 钢桶半径 |
| r_c | 锚链半径 |
| h | 浮标高度 |
| a | 浮标吃水深度 |
| L_r | 钢管长度 |
| L_b | 钢桶长度 |
| v_1 | 风速 |
| v_2 | 水流速度 |
| k_1 | 风载荷计算系数 |
| k_2 | 水流力计算系数 (对非锚链部分) |
| k_3 | 水流力计算系数 (对锚链) |
| x_{max} | 悬链线水平投影长度 |
| y_{max} | 悬链线竖直投影长度 |
| X_{MAX} | 浮标游动区域半径 |
| Y_{MAX} | 水深 |

3.2 符号说明

3.2.1 浮标的模型建立

浮标在自身重力、钢管拉力，浮力和风荷载的作用下达到平衡，由于钢管拉力与竖直方向之间存在夹角 φ ，造成风向法平面投影面积 S 与 φ 之间有一函数关系：

$$S = 2R(2R - a) \cos(\varphi) + \frac{1}{2}\pi R^2 \sin(\varphi)$$

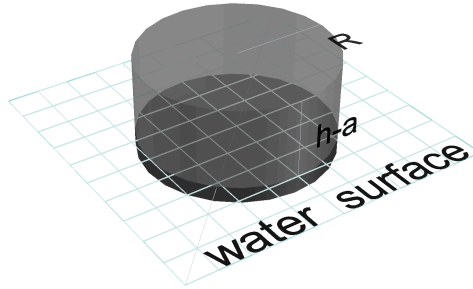


Figure 2: 浮标示意图

由此我们可以得到浮标水平方向受力平衡方程：

$$F_x = 0.625v^2 \left(2R(2R - a) \cos(\varphi) + \frac{\pi}{2}R^2 \sin(\varphi) \right) \quad (1)$$

和浮标竖直方向的受力平衡方程：

$$m_f g + F_y = \rho \pi R^2 a g \quad (2)$$

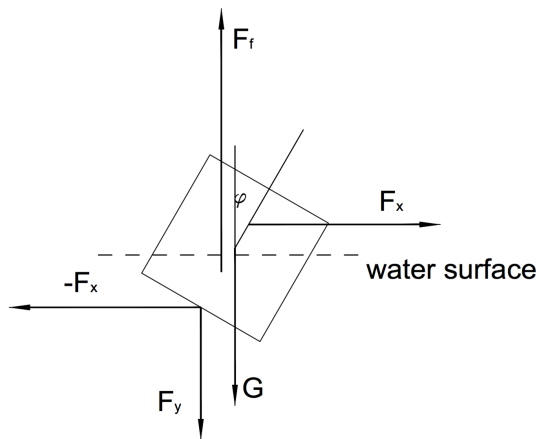


Figure 3: 浮标受力分析

我们将浮力拆成三个部分，如图 4所示。

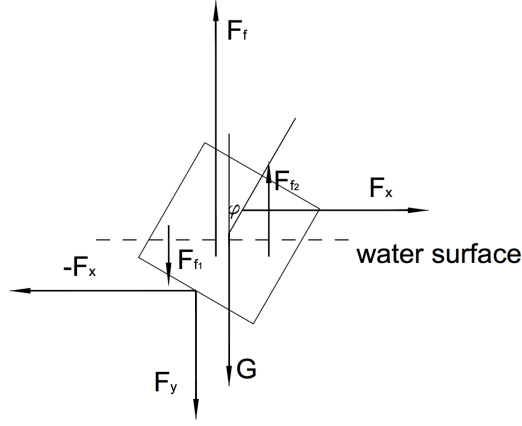


Figure 4: 浮标所受力矩示意图

对图中界面为三角形的部分：
其体积

$$\Delta V = \iint y \tan(\varphi) dx dy = \int_0^\pi \tan(\varphi) \sin(\theta) d\theta \int_0^R r^2 dr = \frac{2}{3} R^3 \tan(\varphi)$$

得浮心坐标

$$x_{fc} = \frac{\iint \tan(\varphi) y dx dy}{V} = \frac{3\pi R}{16} \quad y_{fc} = \frac{\iiint zr dr d\theta dz}{V} = \frac{3\pi R \tan(\varphi)}{32}$$

由此得浮力矩平衡方程：

$$F_x (y_w + a \cos(\varphi)) + m_f g R \sin(\varphi) = \rho \pi R^2 g \frac{a^2}{2} \sin(\varphi) + \frac{1}{8} \pi \rho R^4 g \tan(\varphi) \frac{2 \cos^2(\varphi) + \sin^2(\varphi)}{\cos(\varphi)} \quad (3)$$

其中 y_w 为风的等效作用点，可由积分得到：

$$y_w = \frac{\frac{2}{3} R^3 \sin(\varphi) - (2R - a)^2 R \cos^2(\varphi)}{2R(2R - a) \cos(\varphi) + \frac{\pi}{2} R^2 \sin(\varphi)} + (2R - a) \cos(\varphi)$$

3.2.2 系泊系统模型的建立

考虑锚链各段和钢管钢桶的外力只有自身重力、自身浮力和前后两段对它的作用力，我们将它们都简化为细棒细绳。在对锚链使用微元法分成 n 份后，对每段进行受力分析，如图所示，每个受力分析几乎都是相同的。

对几乎每段钢管和几乎每段锚链微元都可以做类似受力分析。假设段长为 l 列得力矩平衡方程：

$$G_{i,k} \frac{l \sin(\theta_{i,k})}{2} + F_x l \cos(\theta_{i,k}) = F_{i,k+1,y} l \sin(\theta_{i,k}) \quad (k_1)eq : k1$$

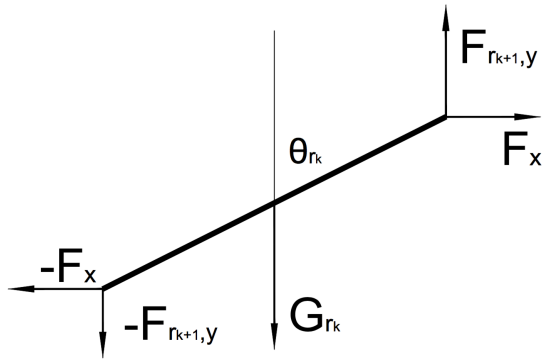


Figure 5: 钢管受力分析

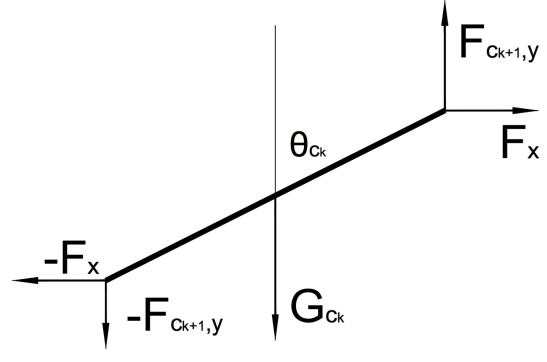


Figure 6: 锚链微元受力分析

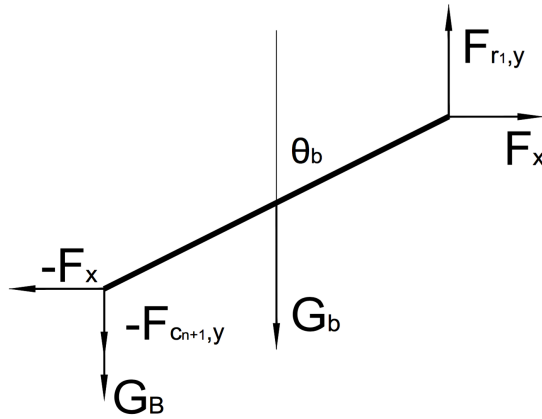


Figure 7: 钢桶受力分析

和受力平衡方程：

$$G_{i,k} + (-F_{i_k,y}) = F_{i_{k+1},y} \quad (k_2)$$

其中 i 可为 r 或 c 。当 $i=r$ 时， k 可为 1、2、3 或 4，特别的，当 $k=4$ 时， $F_{i_{k+1},y}$ 与浮标分析中的 F_y 大小相等方向相反（即为一对作用力和反作用力）。当 $i=c$ 时， k 可为 $1 \sim n$ 的所有实数，特别的，当 $k=1$ 时， $\theta_{c_k} = \theta_{c_1} = \alpha$ （由 α 定义，见 11）。

相似的，对于钢桶，我们可以列出如下方程：

$$\begin{aligned} G_b \frac{l \sin(\theta_b)}{2} + F_x l \cos(\theta_b) &= F_{r1,y} l \sin(\theta_b) \\ G_b + (-F_{c_{n+1},y}) + G_b &= F_{r1,y} \end{aligned} \quad (4)$$

到此，模型已经基本建立完毕。

悬链线的模型建立^[4]

在只有重力和锚链两端拉力作用的情况下，锚链的形状是一条悬链线。由于锚链的悬链

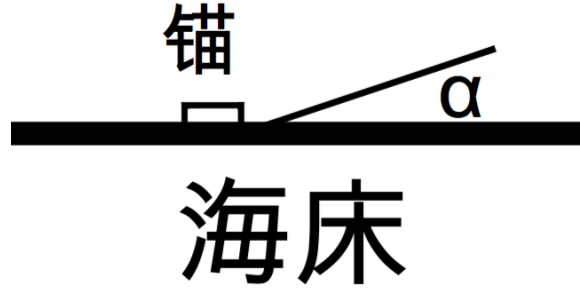


Figure 8: 锚链与平坦海床夹角示意图

线模型已有前人做过充分的推导，此处我们不再赘述，仅引用得到的结论：悬链线方程：

$$y = a \cosh \left[\frac{x}{a} + \ln (\tan \alpha + \sec \alpha) \right] - a \sec \alpha$$

锚链长度：

$$L = a \sinh \left[\frac{x}{a} + \ln (\tan \alpha + \sec \alpha) \right] - a \tan \alpha$$

其中， $a = \frac{F_x}{\lambda g}$ ， α 为锚链末端与海床的夹角， $\alpha = \arctan \frac{F_{ya}}{F_{xa}}$

我们利用锚链长度 L 反解出锚链在 x 、 y 方向的投影长度 x_{max} 和 y_{max} 。

3.2.3 模型的求解

联立所有方程得： $L_r = 1$

$$m_r = 10 * (1 - 1/7.86 * 1.025)$$

$$m_b = 100 - 1025 * \pi * 0.15^2 * 1$$

$$L_b = 1$$

$$\lambda = 7 * (1 - 1/7.86 * 1.025)$$

$$g = 9.80665$$

$$v = 12$$

$$R = 1$$

$$m_f = 1000$$

$$\rho = 1025$$

$$Y_{MAX} = 18$$

$$M_{BI} = 1200$$

$$M_{B0} = M_{BI} * (1 - 1/7.86 * 1.025)$$

$$L = 22.05$$

$$F_y = 4 * m_r * g + m_b * g + M_{B0} * g + F_{yc}$$

$$a = (m_f * g + F_y) / (\rho * \pi * R^2 * g)$$

$$F_x = 0.625 * v * v * (2 * R * (2 * R - a) * \cos(\varphi) + \pi/2 * R * R * \sin(\varphi))$$

$$F_{ya} = F_{yc} - \lambda * L * g$$

$$\alpha = \arctan(F_{ya} / F_x)$$

$$x_{\max} = (F_x / \lambda / g) * (\operatorname{arcsinh}(L * g * \lambda / F_x + \tan(\alpha)) - \log(\tan(\alpha) + \sec(\alpha)))$$

$$y_{\max} = (F_x / (\lambda * g)) * \cosh((x_{\max} * (\lambda * g) / F_x) + \log(\tan(\alpha) + \sec(\alpha))) - (F_x / (\lambda * g)) * \sec(\alpha)$$

$$\theta_b = \arctan(F_x / (M_{B0} * g + F_{yc} + 1/2 * m_b * g))$$

$$\Delta y_b = L_b * \cos(\theta_b)$$

$$F_{yb} = m_b * g + M_{B0} * g + F_{yc}$$

$$F_{yr0} = F_{yb}$$

$$F_{yr1} = F_{yr0} + m_r * g$$

$$\theta_{r1} = \arctan(F_x / (F_{yr0} + 1/2 * m_r * g))$$

$$\Delta y_{r1} = L_r * \cos(\theta_{r1})$$

$$F_{yr2} = F_{yr1} + m_r * g$$

$$\theta_{r2} = \arctan(F_x / (F_{yr1} + 1/2 * m_r * g))$$

$$\Delta y_{r2} = L_r * \cos(\theta_{r2})$$

$$F_{yr3} = F_{yr2} + m_r * g$$

$$\theta_{r3} = \arctan(F_x / (F_{yr2} + 1/2 * m_r * g))$$

$$\Delta y_{r3} = L_r * \cos(\theta_{r3})$$

$$F_{yr4} = F_{yr3} + m_r * g$$

$$\theta_{r4} = \arctan(F_x / (F_{yr3} + 1/2 * m_r * g))$$

$$\Delta y_{r4} = L_r * \cos(\theta_{r4})$$

$$\Delta y = y_{\max} + \Delta y_b + \Delta y_{r1} + \Delta y_{r2} + \Delta y_{r3} + \Delta y_{r4}$$

$$y_w =$$

$$(2/3 * R * R * R * (\sin(\varphi)) * (\sin(\varphi)) -$$

$$(2 * R - a) * (2 * R - a) * R * (\cos(\varphi)) * (\cos(\varphi))) /$$

$$(2 * R * (2 * R - a) * \cos(\varphi) + \pi/2 * R * R * \sin(\varphi)) + (2 * R - a) * \cos(\varphi)$$

可以解得决定该系统的所有参数。为了求解这个庞大的方程组，我们先使用 Mathemat-

ica 进行符号计算，将总方程的个数缩减到两个，之后导入 Matlab 进行数值计算求解。得到数值解后，我们再将解带回 Mathematica 中，从而求得所有参数的值。（具体求解代码详见附录）

如前所述，锚链为一悬链线，计算得到锚链的形状如下：

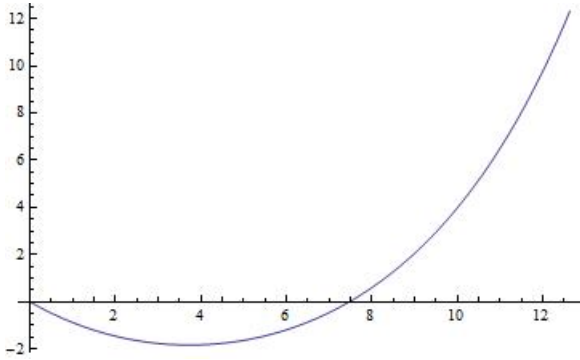


Figure 9: 风速为 12m/s 锚链形状

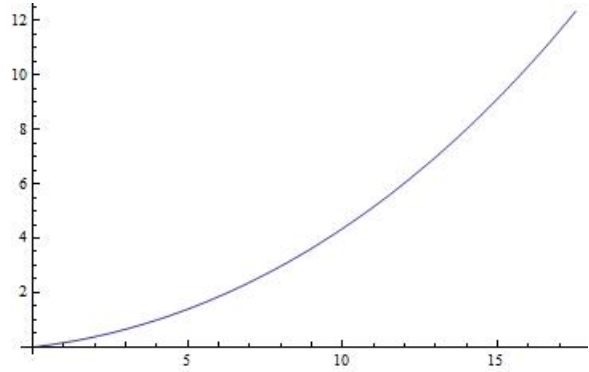


Figure 10: 风速为 24m/s 锚链形状

观察 3.2.3 与 3.2.3，我们发现 3.2.3 有在海床之下的部分，实际中，是不应该出现这种情况的。事实上，这是当 y 方向上力为 0 时，产生的现象。此时，锚链不再像假设的那样，只受重力，浮力，互相的拉力，还受到海床的支持力。对长接近 8 米（由图中估计）的铁链的支持力，对于本系统来说至关重要，不能忽略。

于是我们对模型进行改进，考虑到了可能的来自海床的支持力，对风速为 12m/s 的情况进行重新计算（24m/s 的情况由于没有收到海床支持力，不需要重新计算），得到了以下图像：

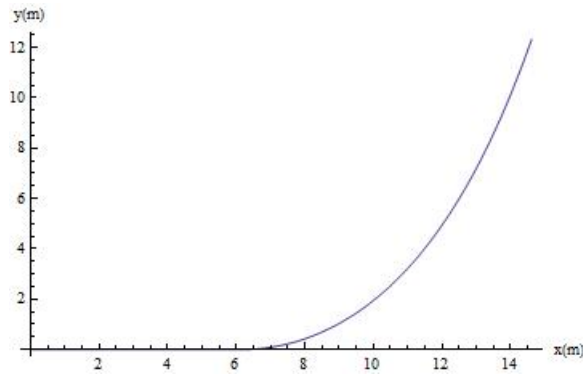


Figure 11: 风速为 12m/s 锚链形状 2

这是一个比较符合实际情况的解。

求解结果 接着求出模型的其它参量

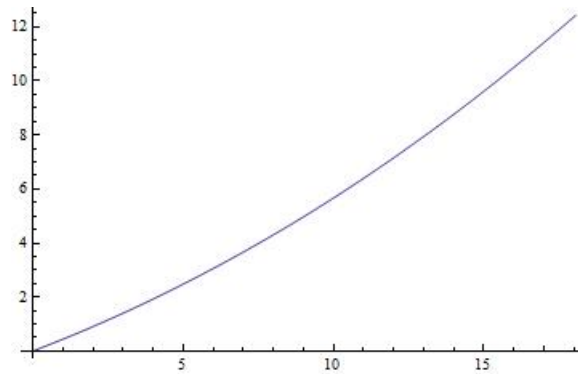


Figure 12: 风速为 $36m/s$ 锚链形状

Table 2: 求解结果

| $v/(m/s)$ | $\theta_b/^\circ$ | $\theta_1/^\circ$ | $\theta_2/^\circ$ | $\theta_3/^\circ$ | $\theta_4/^\circ$ | a/m | $\alpha/^\circ$ | $XMAX/m$ |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|-----------------|----------|
| 12 | 1.24 | 1.221 | 1.212 | 1.203 | 1.195 | 0.684021 | 0 | 14.725 |
| 24 | 5.051 | 4.977 | 4.942 | 4.908 | 4.874 | 0.700008 | 7.514 | 17.964 |

¹ v 代表风速, a 代表吃水深度, α 代表锚链底端和海床平面的夹角, $XMAX$ 代表游动半径。

² θ_b 代表桶的倾斜角, $\theta_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 是从下往上数四根钢管的倾角。

看数据不难发现, 风速为 $12m/s$ 时, 符合题目要求的; 风速为 $24m/s$ 时, 钢桶的倾角在临界值附近。

至此, 第一问求解完毕。

3.3 第二问的求解

3.3.1 第一小问求解

Table 3: 求解结果

| $v/(m/s)$ | $\theta_b/^\circ$ | $\theta_1/^\circ$ | $\theta_2/^\circ$ | $\theta_3/^\circ$ | $\theta_4/^\circ$ | a/m | $\alpha/^\circ$ | $XMAX/m$ |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|-----------------|----------|
| 36 | 10.744 | 10.599 | 10.531 | 10.464 | 10.397 | 0.728282 | 23.132 | 18.974 |

本小问与问题一相同, 只需改变风速, 重新求解即可。结果如 3 所示。不难发现, 此时无论是锚链末端与海床的夹角, 还是钢桶的倾角, 都是不满足要求的, 我们需要改变系统中的某些参数。

3.3.2 第二小问求解

根据题目提示和要求, 我们通过改变重物质量来调整。经过简单分析, 我们知道减小重物质量的效果, 与我们所需要的减小倾角 θ_b 和夹角 α 的目标是背道而驰的, 所以我们只考虑增加重物球质量。

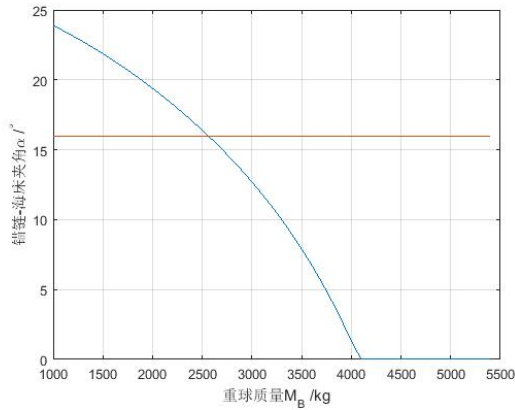


Figure 13: 锚链海床夹角随重物质量变化

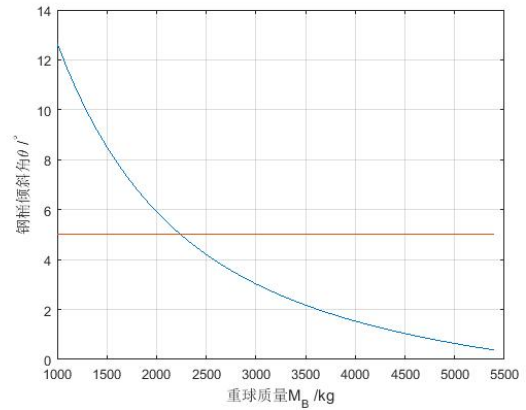


Figure 14: 钢桶倾角随重物质量变化

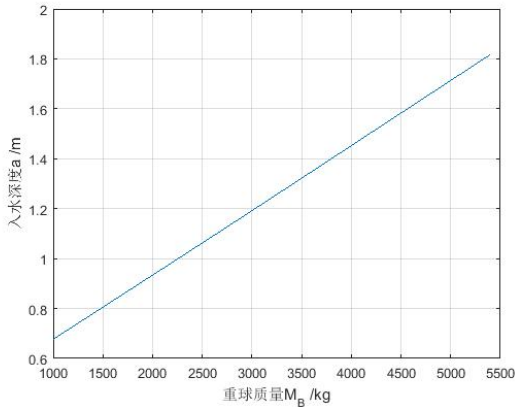


Figure 15: 吃水深度随重物质量变化

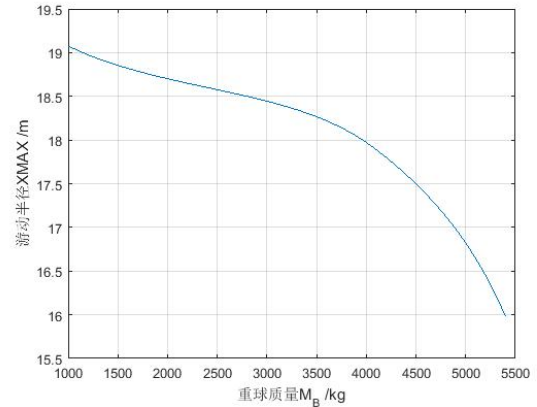


Figure 16: 浮动半径随重物质量变化

取步长为 100kg ，从 1200kg 开始，代入第一问的方程中计算，得出各主要参数与重物球质量的关系变化曲线如图所示。通过对比??与 3.3.2，我们发现，当满足锚链末端与海底夹角 α 小于 16° 时，钢桶倾角 θ_b 一定小于 5° 。所以，所需要最小钢桶质量为锚链末端与海床夹角 α 等于 16° 时，钢桶的质量。

将 $\alpha = 16^\circ$ 2552kg

至此，第二问求解完毕。

3.4 第三问的模型和求解

我们在第一第二问的假设，极大地方便了我们解决问题，现在我们来研究更一般的情况，即，当水深在一定区间内浮动，锚链长度和型号不定而且还要考虑水流速度的情况下，怎样选择锚链和重物，使钢桶倾角和浮动半径尽量小。

由于没有了前面海床平坦的假设，我们对 α 的定义不能再是和海床的夹角了，我们将定义为与海平面（水平面）的夹角，假设海床不平，我们设其与水平面的夹角为 $\beta (\beta \geq 0)$

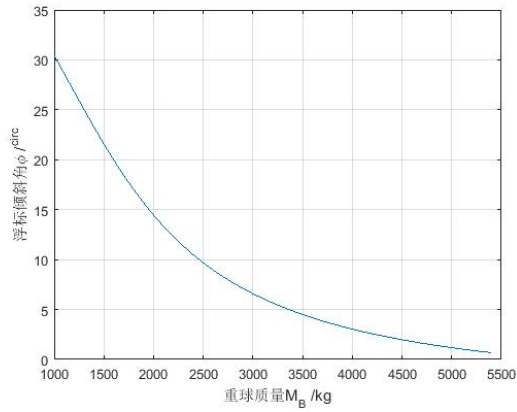


Figure 17: 浮标倾角随重物质量变化

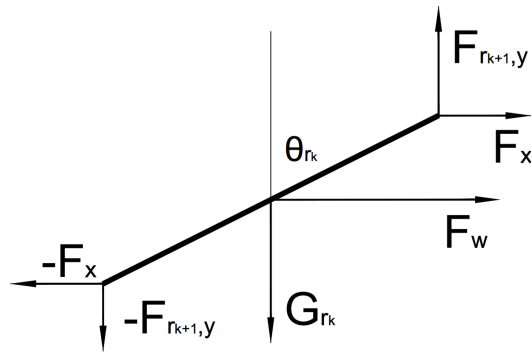


Figure 18: 锚链微元受力分析

则，我们在海水和风速方向改变的情况下，很容易得出 α 、 β 应该满足的条件：

$$\alpha + \beta \leq 16^\circ$$

$$\alpha - \beta \leq 16^\circ$$

由于 $\beta \geq 0^\circ$ α 满足

$$\alpha + \beta \leq 16^\circ$$

即可达标。于是可以得出 这就是在海床倾斜的条件下， α 必须满足的方程。特别的当 $\beta \geq 16^\circ$ $\alpha \leq 0^\circ$,

3.4.1 问题三模型的特例：水流与风同向

水流与风同向时，该模型仍为一二维问题，受力分析图如下：

从受力分析中我们可以看出，此时第三问的模型与第一问基本相同，只是每一个微元都额外受到一个水平方向的水流力。据此调整第一问的方程，得到如下方程组： $k1 = 0.625 * v1^2$

$$k2 = 374 * v2^2$$

$$rB = (MB0 / (4/3 * rho * Pi))^{1/3}$$

$$Fw1 = k1 * (2 * R * (2 * R - a) * Cos[phi] + 1/2 * Pi * R^2 * Sin[phi])$$

$$Fw2 = k2 * (2 * R * a * Cos[phi] + 1/2 * Pi * R^2 * Sin[phi])$$

$$yw1 = \frac{2/3 * R^3 * (Sin[phi])^2 - (2 * R - a)^2 * R * (Cos[phi])^2}{2 * R * (2 * R - a) * Cos[phi] + 1/2 * Pi * R^2 * Sin[phi]} +$$

$$(2 * R - a) * Cos[phi]$$

$$yw2 = \frac{-2/3 * R^3 * (Sin[phi])^2 + a^2 * R * (Cos[phi])^2}{2 * R * a * Cos[phi] + 1/2 * Pi * R^2 * Sin[phi]} - a * Cos[phi]$$

$$Ff = Fy + mf * g$$

$$a = Ff / (rho * Pi * R^2 * g)$$

$$Fx = Fw1 + Fw2$$

$$Fy = 4 * mr * g + mb * g + MB0 * g + Fyc$$

$$Fyr4 = Fy$$

$$Fyr3 = Fyr4 - mr * g$$

$$Fyr2 = Fyr3 - mr * g$$

$$Fyr1 = Fyr2 - mr * g$$

$$Fyr0 = Fyr1 - mr * g$$

$$Fxr4 = Fx$$

$$Fxr3 = Fxr4 + k2 * (2 * rr * Lr * Cos[thetar4] + Pi * rr^2 * Sin[thetar4])$$

$$Fxr2 = Fxr3 + k2 * (2 * rr * Lr * Cos[thetar3] + Pi * rr^2 * Sin[thetar3])$$

$$Fxr1 = Fxr2 + k2 * (2 * rr * Lr * Cos[thetar2] + Pi * rr^2 * Sin[thetar2])$$

$$Fxr0 = Fxr1 + k2 * (2 * rr * Lr * Cos[thetar1] + Pi * rr^2 * Sin[thetar1])$$

$$Deltayr4 = Lr * Cos[thetar4]$$

$$Deltayr3 = Lr * Cos[thetar3]$$

$$Deltayr2 = Lr * Cos[thetar2]$$

$$Deltayr1 = Lr * Cos[thetar1]$$

$$Fyb = Fyr0$$

$$Fxb = Fxr0$$

$$Deltayb = Lb * Cos[thetab]$$

$$Deltay = Deltayr1 + Deltayr2 + Deltayr3 + Deltayr4 + Deltayb + ymax$$

$$Fxc = Fxb + k2 * (2 * rb * Lb * Cos[thetab] + Pi * rb^2 * Sin[thetab] + Pi * rB^2)$$

$$k3 = k2 * 2 * rc$$

$$\begin{aligned}
F_{xa} &= F_{xc} + k_3 * y_{max} \\
F_{ya} &= F_{yc} - \lambda * L * g \\
\alpha &= \text{ArcTan} \left[\frac{F_{ya}}{F_{xa}} \right] \\
F_{w1} * (y_{w1} + a * \text{Cos}[\phi]) + F_{w2} * (y_{w2} + a * \text{Cos}[\phi]) + m_f * g * R * \text{Sin}[\phi] &== \\
F_f * (a/2) * \text{Sin}[\phi] + 2/3 * \rho * \text{Tan}[\phi] * R^3 * g * 2 * & \\
(3/16 * \text{Pi} * R * \text{Cos}[\phi] + 3/32 * \text{Pi} * R * \text{Sin}[\phi] * \text{Tan}[\phi]) & \\
(F_{yr4} - m_r * g/2) * \text{Sin}[\theta_4] &== \\
F_{xr4} * \text{Cos}[\theta_4] + k_2 * r_r * L_r * (\text{Cos}[\theta_4])^2 + & \\
1/2 * k_2 * \text{Pi} * r_r^2 * \text{Sin}[\theta_4] * \text{Cos}[\theta_4] & \\
(F_{yr3} - m_r * g/2) * \text{Sin}[\theta_3] &== \\
F_{xr3} * \text{Cos}[\theta_3] + k_2 * r_r * L_r * (\text{Cos}[\theta_3])^2 + & \\
1/2 * k_2 * \text{Pi} * r_r^2 * \text{Sin}[\theta_3] * \text{Cos}[\theta_3] & \\
(F_{yr2} - m_r * g/2) * \text{Sin}[\theta_2] &== \\
F_{xr2} * \text{Cos}[\theta_2] + k_2 * r_r * L_r * (\text{Cos}[\theta_2])^2 + & \\
1/2 * k_2 * \text{Pi} * r_r^2 * \text{Sin}[\theta_2] * \text{Cos}[\theta_2] & \\
(F_{yr1} - m_r * g/2) * \text{Sin}[\theta_1] &== \\
F_{xr1} * \text{Cos}[\theta_1] + k_2 * r_r * L_r * (\text{Cos}[\theta_1])^2 + & \\
1/2 * k_2 * \text{Pi} * r_r^2 * \text{Sin}[\theta_1] * \text{Cos}[\theta_1] & \\
(F_{yb} - m_b * g/2) * \text{Sin}[\theta_b] &== \\
F_{xb} * \text{Cos}[\theta_b] + k_2 * r_b * L_b * (\text{Cos}[\theta_b])^2 + & \\
1/2 * k_2 * \text{Pi} * r_b^2 * \text{Sin}[\theta_b] * \text{Cos}[\theta_b] & \\
Y_{MAX} &== y_{max} + \text{Deltay}_b + \text{Deltay}_1 + \text{Deltay}_2 + \text{Deltay}_3 + \text{Deltay}_4 \\
y''[x] - \frac{y[x] * y'[x]}{F_{xa} - k_3 * y[x]} - \frac{\lambda * g * \sqrt{1 + (y'[x])^2}}{F_{xa} - k_3 * y[x]} &== 0, y[0] == 0, \\
y'[0] &== \frac{F_{ya}}{F_{xa}}
\end{aligned}$$

我们使用了类似于第一问方程组的方式进行求解，只是此时锚链的形状不再为悬链线，且经尝试微分方程没有解析解。使用数值方法，我们求得了这个方程组的解。

我们使用 II 号锚链，在重物质量 $M_B = 5000\text{kg}$ ，且 $L = 22.05\text{m}$ 的情况下，解得了吃水深度 a 、钢桶倾角 θ ，游动半径 X_{MAX} 和锚链底端与海床夹角 α 与水深 Y_{MAX} 的关系图。

从图中容易看出，水深最大的时候，吃水深度 a 和锚链底端和海床夹角 α 也是最大的，而钢桶倾角 θ 和游动半径 最小。更直观的结论是，此时的吃水深度、锚链底端和海床夹角随水深增而单调增，钢桶倾角和吃水深度随水深增加而单调减。从而在水深为 20m 的时

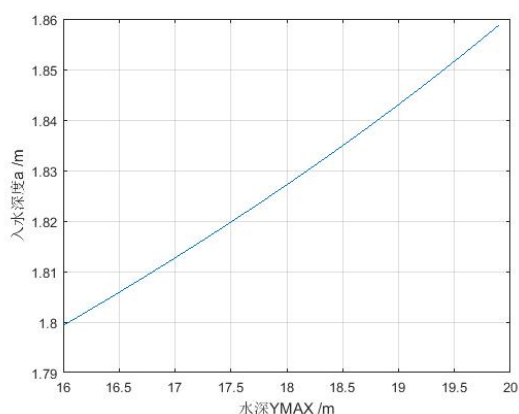


Figure 19: 吃水深度与水深关系图

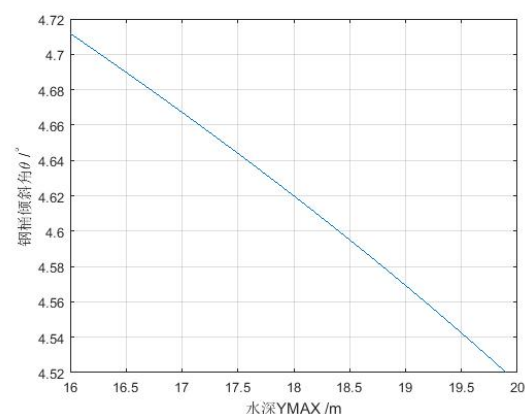


Figure 20: 钢桶倾角与水深关系图

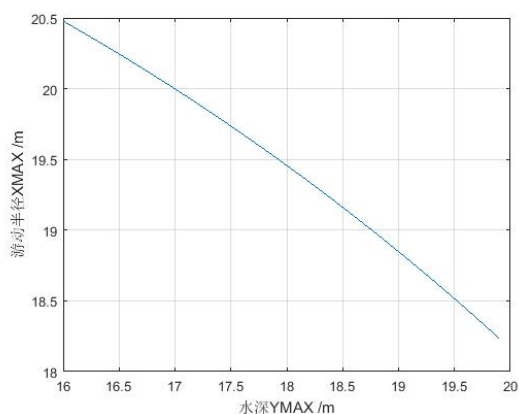


Figure 21: 游动半径与水深关系图

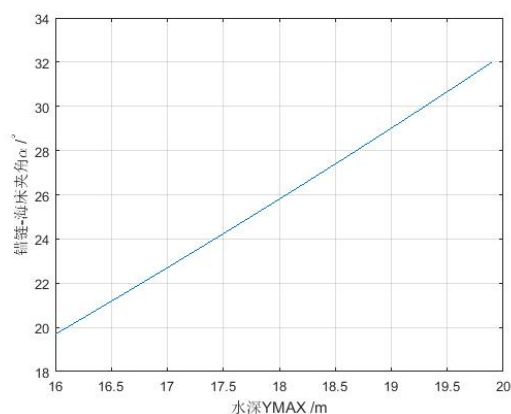


Figure 22: 锚链底端和海床夹角与水深关系图

候钢桶倾角和游动半径达到了最小值，水深为 16m 的时候吃水深度和锚链底端和海床夹角达到了最小值。

多目标优化 我们知道当钢桶倾斜角越小时，探测器的测量结果越可靠；吃水深度越小时，应对各种情况的能力越强；游动半径越小，测量的结果越精确。但这三个目标并不等价，相反还会有所矛盾。而为了达到这三个目标，我们可以选择合适的锚链、重物球质量和锚链长度来尽可能的满足这三个目标。这就构成了一个典型的多目标优化问题。通常情况下求解多目标优化问题的常用手段是化为单目标问题。这里我们采用线性加权的做法使得问题转化为单一目标函数最小的优化问题，然后我们就可以利用模拟退火的算法来进行最优化。

多目标的加权 首先将三个目标函数 (X_{MAX} , $theta_b$, a) 无量纲化, 分别除以它们的标准值, 然后使用线性加权和法中的 α -法计算得到权系数

$$U(x) = \alpha_1 \theta_b + \alpha_2 X_{MAX} + \alpha_3 a$$

$$\alpha_1 = 0.4658$$

$$\alpha_2 = 0.0290$$

$$\alpha_3 = 0.5864$$

使用模拟退火算法求得 $U(x)$ 的最小值。

模拟退火算法 [5]

1. 模拟退火简介

模拟退火算法是模拟自然界中的高温物体随着温度缓慢下降的过程当中, 内部分子从无序状态转变为有序的最低内能状态的过程的算法。其中我们将适应度函数作为分子的内能。

2. 组成部分

—待优化函数, 在这里指线性加权后的综合指标函数 —一个环境变量, 用来控制每一个解移动到下一个解的可能性 —控制温度随着迭代次数的下降速率 Metropolis 准则—如果当新解比原有解优则替代原有解, 否则按照一定概率替代原有解

3. 模拟退火的使用在这道题当中, 我们直接应用 MATLAB 中的模拟退火算法工具箱 (SAT) 进行优化求解, 各种参数例如初始温度和退火进度表都应用默认设置。我们对于每一种锚链选择合适的初始值, 然后进行优化, 得到最优解的搭配, 具体结果如下图所示。

4. 结果分析

根据如上的结果图, 我们可以发现选用 III 型 46.7720m 长锚链和重物球为 5027.1kg 可以达到最优解状态。但特别需要说明的是, V 型锚链我们尝试了各种初始解的组合, 都没有找到一组可行解, 并且模拟退火算法也没有找到任何可行解, 于是我们认为 V 型锚链不能够成为我们的选择。

3.4.2 一般情况: 风速与水速不同向

首先回顾水风同向的情况。将 F_x 分解为由水流产生的分量 F_1 和由风载荷产生的分量 F_2 , 当两者同向时, 有 $F_x = F_1 + F_2$ 。对钢管部分进行分析, 由于 5° , 故可认为其是小角。

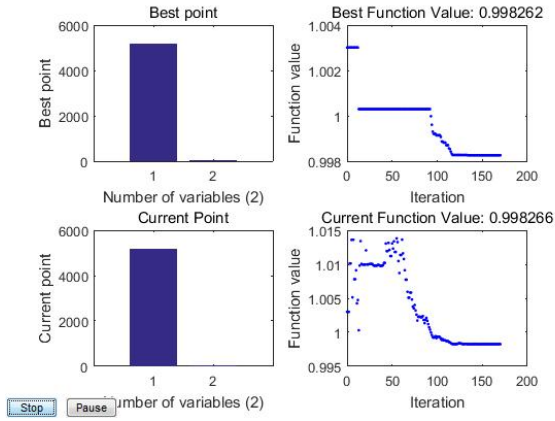


Figure 23: I 型锚链最小吃水深度

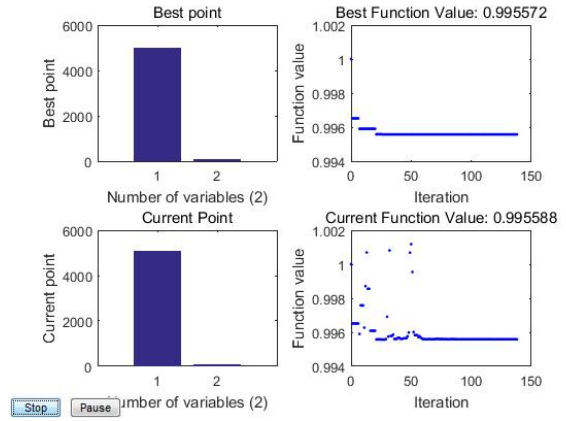


Figure 24: II 型锚链最小吃水深度

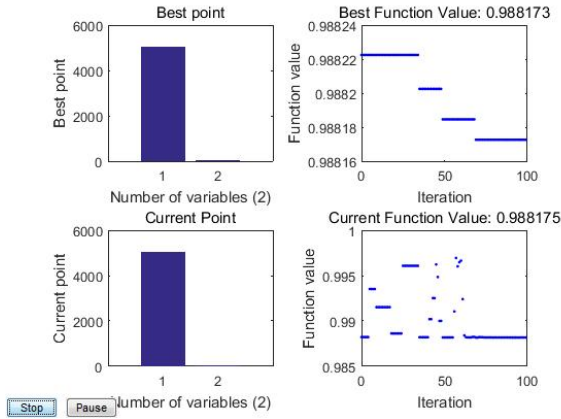


Figure 25: III 型锚链最小吃水深度

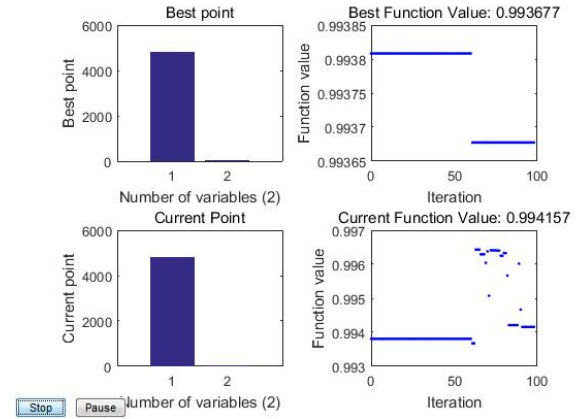


Figure 26: IV 型锚链最小吃水深度

因此经水平旋转，截面积可认为不变，故水流力设为常数 f 。由此，我们可得到 θ 的表达式：

$$\tan(\theta) = \frac{F_x + \frac{1}{2}f}{F_z - \frac{1}{2}mg} = \frac{F_1 + F_2 + \frac{1}{2}f}{F_z - \frac{1}{2}mg}$$

接下来我们讨论水风不同向的情况。令 $F_x = F_1, F_y = F_2$ ，我们可列出三维力矩平衡方程如下：

$$\tan(\psi) = \frac{F_y}{F_x + \frac{1}{2}f}$$

$$F_x + \frac{1}{2}f + \frac{1}{2}mg \tan(\theta) \cos(\psi) = F_z \tan(\theta) \cos(\psi)$$

$$F_y + \frac{1}{2}mg \tan(\theta) \sin(\psi) = F_z \tan(\theta) \sin(\psi)$$

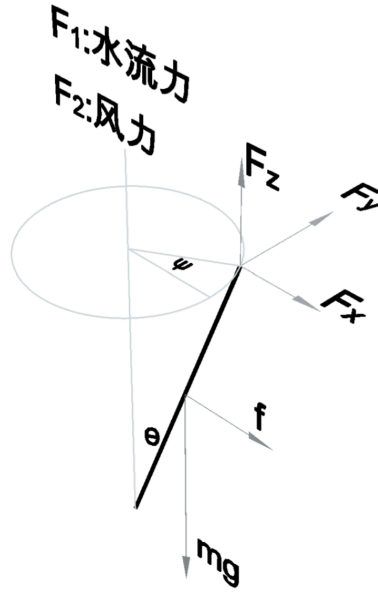


Figure 27: 水流速与风速方向不同受力示意图

消去 ψ 解得:

$$\tan(\theta^*) = \frac{\sqrt{F_y^2 + (F_x + \frac{1}{2}f)^2}}{F_z - \frac{1}{2}mg}$$

比较以上两种情况的 θ , 由三角不等式易知:

$$\tan(\theta) > \tan(\theta^*)$$

即当水速风速不同向时, θ^* 一项比水风同向时的 θ 要小, 故在优化钢桶倾角及游动区域时, 只考虑水风同向即可。

接下来, 我们对水风不同向时的 α 进行讨论。我们将研究对象换为锚链上的一个微元, 此时受力分析与上面对钢管的受力分析相同 (m 改为 $dm \rightarrow 0$, f 改为 $df \rightarrow 0$, 此时小角度近似不再适用, 但因 $d \rightarrow 0$ 故对原式无影响)。

对任意一点 α 与 θ 互为余角, 即 $\tan(\theta^*) = \frac{F_1}{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}}$ (忽略一阶小量)。将此方程与第一问中海水静止时的方程进行对比: 海水静止时, $F_1 = 0$, $\tan(\alpha) = \frac{F_z}{F_2} > \tan(\alpha^*)$, 故水风不同向时, 锚链与海床夹角 α^* 一定小于无水速时的 α 。

最后讨论吃水深度 a 。由于 a 与重球质量 M_B 基本成线性关系, 与水速近似无关, 故此水风不同向基本对 a 没有影响。

综上，由于我们已经详细讨论过水速为 0，水风同向的情况，当以上两情况满足所有的约束条件时，水风不同向情况的约束条件一定得到满足，故没有必要对水风不同向情况作专门讨论。

3.4.3 水速和风向相反

由于近海浅层水体的运动通常是由风引起的，故水速和风向相反的情形在实际生活中基本不会出现。为了模型的完整起见，我们依旧对这一问题进行了讨论，但因结果较为复杂，故没有详细求解。接上一节的方程，此时 $\tan(\theta)$ 可如下表示：

$$\tan(\theta) = \frac{|F_1 + \frac{1}{2}f - F_2|}{F_z - \frac{1}{2}mg}$$

- 当 $F_1 - F_2 > 0$ 时， F_x 的方向中途不会发生变化，整体模型与水风同向的模型相近。
- 当 $F_1 - F_2 < 0$ 时，又可分为以下几种情况：

当初始风力略大于水流力，即 $F_1 - F_2$ 较小时， F_x 初始为负值，在中途某一点 F_x 变为 0，之后再变回正值。反映到模型中，即为钢管和锚链弯曲的方向发生改变，形成下图所示的形状。

当风力远大于水流力，即 $F_1 - F_2 < 0$ 一直成立时，钢管和锚链的形状将变为上凸的，如下图所示。

4 结论

- 问题 1 由于题目假设海水是静止的，且风速保持一定，那么这就可以简化为一个比较典型的物理静力学问题。对于这类问题，物理学中的经典方法是对该平衡系统做受力分析，对模型每一段写出它的受力平衡方程和力矩平衡方程。通过解方程，即可得出各处的倾角，知道了各处倾角，自然可以推出锚链的形状方程。问题也就迎刃而解了。
- 问题 2 和问题 1 是在同样假设条件下进行的，所以只需用同样模型，将改变后的风速代入即可求得结果。求出结果后，若发现不满足要求，则可以不断改变重物质量，代入求得倾角，并绘图，找出其中的关系，得到倾角满足要求的时候重物的质量。
- 问题 3 是一个多目标优化的典型问题。要求倾角和游动区域尽量小。在只改变重物质

量和锚链型号的情况下，倾角小和浮动区域小是一致的，然而，当锚链长度改变的时候，倾角变小则游动半径增大，浮动半径见效则钢桶倾角增大，需要进行进一步的分析。

5 模型评价与改进

5.1 模型的评价

5.1.1 模型的优点

在模型中，我们将锚链简化成柔软重绳，这使得我们的方程简化，形式变得更加优美，也方便了计算。初等模型的可扩展性强，第三问模型可有第一问经过简单推倒得来。

整个模型的建立中，只有做了锚链简化为柔软绳子的简化，其它结果皆由计算得到，所以模型中的系统误差来源比较单一。

对第三问的求解，先确定步长，对全局进行搜索，紧接着运用了模拟退火算法，搜索其最（较）优解。这种搜索方式既节省了时间，又确保得到的解足够优，提高了执行效率。

5.1.2 模型的缺点

虽然将锚链简化为绳子使方程形式更加优美，但是也引进了一定误差。

在考虑第三问的时候，假设了水中隔层速度大小方向都相同，然而实际情况下，这种条件几乎不可能。在实际应用中，需要根据实际情况，得到隔层水流速度模型，来计算锚链、钢桶、钢管和浮标所受的水流力。同时，风速和水流速度也应该有一个函数关系，而不应该是像模型中的那样，互相独立的。 $12m/s$ 的风速已经非常大了，而 $36m/s$ 已经是强台风了，这样强的风，对水流的影响无论如何都是不能忽略的。

5.1.3 模型的改进

针对模型的缺点，我们可以对水速模型与风与水的相互作用进行进一步讨论，让我们的模型能够更加广泛地应用到实际当中去。

References

- [1] 2016 年高教社杯全国大学生数学建模竞赛题目 B 图片, 2016.9.9
- [2] Ojanen H, Mathematica Expression to Matlab m-file,
[http://library.wolfram.com/infocenter/MathSource/577/ Converter\[OL\]](http://library.wolfram.com/infocenter/MathSource/577/Converter[OL]), 2016.9.10
- [3] 浮标系泊系统静力计算, 潘斌
- [4] 王丹, 刘家新, 一般状态下悬链线方程的应用, 船海工程
- [5] 郁磊, MATLAB 智能算法 30 个案例分析, 北京航空航天大学出版社, 2015 年
- [6] GBT 549-2008, 电焊锚链 [S]
- [7] GB/T 18669-2002, 船用锚链圆钢 [S]

附录

1 Q1方程-绳子绷紧

(*初始化与常数*)

```
Clear["Global*"]
```

```
Import["ToMatlab.m", "Package"]
```

```
Lr = 1;
```

```
mr = 10*(1 - 1/7.86*1.025);
```

```
mb = 100 - 1025*Pi*0.15^2*1;
```

```
Lb = 1;
```

```
lambda = 7*(1 - 1/7.86*1.025);
```

```
g = 9.80665;
```

```
R = 1;
```

```
mf = 1000;
```

```
rho = 1025;
```

```
YMAX = 18;
```

```
MB0 = MBI*(1 - 1/7.86*1.025);
```

```
L = 22.05;
```

(*符号计算*)

```
Fy = 4*mr*g + mb*g + MB0*g + Fyc;
```

```
a = (mf*g + Fy)/(rho*Pi*R^2*g);
```

```
Fx = 0.625*v*v*(2*R*(2*R - a)*Cos[phi] + Pi/2*R*R*Sin[phi]);
```

```
Fya = Fyc - lambda*L*g;
```

```
alpha = ArcTan[Fya/Fx];
```

```
xmax = (Fx/lambda/g)*(ArcSinh[L*g*lambda/Fx + Tan[alpha]] - Log[Tan[alpha] + Sec[alpha]]);
```

```
ymax = (Fx/(lambda*g))*Cosh[(xmax*(lambda*g)/Fx + Log[Tan[alpha] + Sec[alpha]]] - (Fx/(lambda*g))*Sec[alpha];
```

```
thetab = ArcTan[Fx/(MB0*g + Fyc + 1/2*mb*g)];
```

$$\text{Deltayb} = \text{Lb} * \text{Cos}[\text{thetab}];$$

$$\text{Fyb} = \text{mb} * g + \text{MB0} * g + \text{Fyc};$$

$$\text{Fyr0} = \text{Fyb};$$

$$\text{Fyr1} = \text{Fyr0} + \text{mr} * g;$$

$$\text{thetar1} = \text{ArcTan}[\text{Fx}/(\text{Fyr0} + 1/2 * \text{mr} * g)];$$

$$\text{Deltayr1} = \text{Lr} * \text{Cos}[\text{thetar1}];$$

$$\text{Fyr2} = \text{Fyr1} + \text{mr} * g;$$

$$\text{thetar2} = \text{ArcTan}[\text{Fx}/(\text{Fyr1} + 1/2 * \text{mr} * g)];$$

$$\text{Deltayr2} = \text{Lr} * \text{Cos}[\text{thetar2}];$$

$$\text{Fyr3} = \text{Fyr2} + \text{mr} * g;$$

$$\text{thetar3} = \text{ArcTan}[\text{Fx}/(\text{Fyr2} + 1/2 * \text{mr} * g)];$$

$$\text{Deltayr3} = \text{Lr} * \text{Cos}[\text{thetar3}];$$

$$\text{Fyr4} = \text{Fyr3} + \text{mr} * g;$$

$$\text{thetar4} = \text{ArcTan}[\text{Fx}/(\text{Fyr3} + 1/2 * \text{mr} * g)];$$

$$\text{Deltayr4} = \text{Lr} * \text{Cos}[\text{thetar4}];$$

$$\text{Deltay} = \text{ymax} + \text{Deltayb} + \text{Deltayr1} + \text{Deltayr2} + \text{Deltayr3} + \text{Deltayr4};$$

$$\text{yw} = (2/3 * R * R * R * (\text{Sin}[\text{phi}] * (\text{Sin}[\text{phi}]) - (2 * R - a) * (2 * R - a) * R * (\text{Cos}[\text{phi}] * (\text{Cos}[\text{phi}])))/(2 * R * (2 * R - a) * \text{Cos}[\text{phi}]);$$

$$(2 * R - a) * \text{Cos}[\text{phi}];$$

(*输入Matlab的方程*)

$$\text{ToMatlab}[\text{Fx} * (\text{yw} + a * \text{Cos}[\text{phi}]) + \text{mf} * g * R * \text{Sin}[\text{phi}] ==$$

$$\text{rho} * \text{Pi} * R^2 * a * g * a/2 * \text{Sin}[\text{phi}] + 4/3 * \text{rho} * R^3 * g * \text{Tan}[\text{phi}] * ((3 * \text{Pi})/16 * R * \text{Cos}[\text{phi}] + (3 * \text{Pi})/32 * R * (\text{Sin}[\text{phi}]$$

$$\text{ToMatlab}[\text{Deltay} + a * \text{Cos}[\text{phi}] == \text{YMAX}]$$

(*求解题目中的参数*)

thetab

thetar1

thetar2

thetar3

thetar4

a

alpha

xmax + Lb * Sin[thetab] + Lr * (Sin[thetar1] + Sin[thetar2] + Sin[thetar3] + Sin[thetar4])

Plot[(Fx/lambda/g) * Cosh[(x * g * lambda/Fx) + Log[Tan[alpha] + Sec[alpha]]] - (Fx/lambda/g) * Sec[alpha], {x, 0, xmax}]

(Matlab的计算结果*)

(*v=12*)

phi = 0.059938096532878111453366659184216

Fyc = 1060.8102680156636427385640667854

(*v=24*)

phi = 0.24444967669191807427554388180916

Fyc = 1454.1085796450650547068708066353

(*v=36*)

phi = 0.46828423942795539236980349931603

Fyc = 2346.94566109029847909254376889

2 Q1 方程-绳子拖地

(**)

Clear["Global*"]

Import["ToMatlab.m", "Package"]

Lr = 1;

mr = 10 * (1 - 1/7.86 * 1.025);

mb = 100 - 1025 * Pi * 0.15^2 * 1;

Lb = 1;

lambda = 7 * (1 - 1/7.86 * 1.025);

```

g = 9.80665;
R = 1;
mf = 1000;
rho = 1025;
YMAX = 18;
MB0 = MBI*(1 - 1/7.86*1.025);
(**)
alpha = 0;
Fya = Fx*Tan[alpha];
Fyc = lambda*L*g + Fya;
Fy = 4*mr*g + mb*g + MB0*g + Fyc;
a = (mf*g + Fy)/(rho*Pi*R^2*g);
Fx =
0.625*v*v*(2*R*(2*R - a)*Cos[phi] + Pi/2*R*R*Sin[phi]);
xmax = (Fx/lambda/g)*
(ArcSinh[L*g*lambda/Fx + Tan[alpha]] -
Log[Tan[alpha] + Sec[alpha]]);
ymax =
(Fx/(lambda*g))*
Cosh[(xmax*(lambda*g)/Fx) + Log[Tan[alpha] + Sec[alpha]] -
(Fx/(lambda*g))*Sec[alpha]];
thetab = ArcTan[Fx/(MB0*g + Fyc + 1/2*mb*g)];
Deltayb = Lb * Cos[thetab];
Fyb = mb*g + MB0*g + Fyc;
Fyr0 = Fyb;
Fyr1 = Fyr0 + mr*g;
thetar1 = ArcTan[Fx/(Fyr0 + 1/2*mr*g)];

```

```

Deltayr1 = Lr * Cos[thetar1];
Fyr2 = Fyr1 + mr * g;
thetar2 = ArcTan[Fx/(Fyr1 + 1/2 * mr * g)];
Deltayr2 = Lr * Cos[thetar2];
Fyr3 = Fyr2 + mr * g;
thetar3 = ArcTan[Fx/(Fyr2 + 1/2 * mr * g)];
Deltayr3 = Lr * Cos[thetar3];
Fyr4 = Fyr3 + mr * g;
thetar4 = ArcTan[Fx/(Fyr3 + 1/2 * mr * g)];
Deltayr4 = Lr * Cos[thetar4];
Deltay = ymax + Deltayb + Deltayr1 + Deltayr2 + Deltayr3 + Deltayr4;
yw =
(2/3 * R * R * R * (Sin[phi]) * (Sin[phi]) -
(2 * R - a) * (2 * R - a) * R * (Cos[phi]) * (Cos[phi])) /
(2 * R * (2 * R - a) * Cos[phi] + Pi/2 * R * R * Sin[phi]) +
(2 * R - a) * Cos[phi];
(*Matlab*)
ToMatlab[Fx * (yw + a * Cos[phi]) + mf * g * R * Sin[phi] ==
rho * Pi * R^2 * a * g * a/2 * Sin[phi] +
4/3 * rho * R^3 * g * Tan[phi] *
((3 * Pi)/16 * R * Cos[phi] +
(3 * Pi)/32 * R * (Sin[phi])^2 / (Cos[phi]))]
ToMatlab[Deltay + a * Cos[phi] == YMAX]
(*v=12*)
phi = 0.060891998435258381534405416746671
L = 15.901957863402258013943806916168
(**)

```

```

thetab
thetar1
thetar2
thetar3
thetar4
a
xmax + Lb * Sin[thetab] +
Lr * (Sin[thetar1] + Sin[thetar2] + Sin[thetar3] + Sin[thetar4])
xx = 22.05 - L;
Plot[
Piecewise[
{{0, x < xx},
{(Fx/lambda/g)*
Cosh[((x - xx) * g * lambda/Fx) +
Log[Tan[alpha] + Sec[alpha]]] -
(Fx/lambda/g) * Sec[alpha], x > xx}}, {x, 0, xmax + xx},
AxesLabel -> {"x(m)", "y(m)"}]

```

3 Q1-equ

```

1 function du = equ(t,u)
2 global lambda0
3 global rc
4 global Fxa;
5 du = zeros(2,1);
6 du(1) = u(2);
7 du(2) = (u(1) * u(2) + 8.52779*lambda0*sqrt(1+u(2)^2))/(Fxa -
1683.*rc*u(1));

```

4 Q1-equ2

```

1 function y = equ2(x)

```

```

2 global ymax
3 global sol
4 y=ymax-deval(sol, linspace(x,x,1));

```

5 Q1-solve equation

```

1 clear all
2
3 v = 12.0;
4 % v = 24.0;
5 % v = 36.0;
6 MBI = 1200;
7
8 syms phi Fyc;
9 f1=(0.980665E4.*sin(phi)+0.625E0.*v.^2.*(2.*(2+(-0.316669E-4)
10     .*( ...
11     0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(
12     phi)).*( ...
13     0.316669E-4.*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(2+(
14     ...
15     -0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)
16     +(2.*(2+ ...
17     (-0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)
18     +(1/2) ...
19     .*pi.*sin(phi)).^(-1).*((-1).(2+(-0.316669E-4).(0.104179E5
20     +Fyc+ ...
21     0.852779E1.*MBI)).^2.*cos(phi).^2+(2/3).*sin(phi).^2))==(
22     ...
23     0.158335E-4.*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI).^2.*sin(phi)+
24     ...
25     0.134024E5.*tan(phi).*((3/16).*pi.*cos(phi)+(3/32).*pi.*sin
26     (phi).* ...
27     tan(phi)));
28 f2=(0.316669E-4.*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI).*cos(phi)+
29     ...
30     0.1047E-1.*v.^2.*cosh(1.E0.*(asinh(0.210602E4.*v.^(-2)
31     .*(2.*(2+( ...
32     -0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)
33     +(1/2).* ...
34     pi.*sin(phi)).^(-1)+0.16E1.*((-0.131626E4)+Fyc).*v.^(-2)
35     .*(2.*(2+( ...
36     -0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)
37     +(1/2).* ...
38     pi.*sin(phi)).^(-1))+(-1).*log(0.16E1.*((-0.131626E4)+Fyc).*
39     v.^( ...

```

25 $-2) \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \dots$
26 $\cos(\phi) + (1/2) \cdot \mathbf{pi} \cdot \sin(\phi) \cdot (-1) + (1 + 0.256E1 \cdot ((-0.131626E4) + \dots$
27 $Fyc) \cdot v^2 \cdot v^{-4} \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + Fyc + \dots$
28 $0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos(\phi) + (1/2) \cdot \mathbf{pi} \cdot \sin(\phi) \cdot (-2) \cdot \dots$
29 $\log(0.16E1 \cdot ((-0.131626E4) + Fyc) \cdot v^{-2} \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot \dots$
30 $0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos(\phi) + (1/2) \cdot \mathbf{pi} \cdot \sin(\phi) \cdot \dots$
31 $-1) + (1 + 0.256E1 \cdot ((-0.131626E4) + Fyc) \cdot v^2 \cdot v^{-4} \cdot (2 \cdot (2 + (\dots$
32 $-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos(\phi) \cdot \dots$
33 $\mathbf{pi} \cdot \sin(\phi) \cdot (-2) \cdot (1/2) \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot \dots$
34 $Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos(\phi) + (1/2) \cdot \mathbf{pi} \cdot \sin(\phi) \cdot \dots$
35 $\cdot v^2 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \dots$
36 $\cos(\phi) + (1/2) \cdot \mathbf{pi} \cdot \sin(\phi) \cdot (1 + 0.256E1 \cdot ((-0.131626E4) + Fyc) \cdot \dots$
37 $\cdot v^2 \cdot v^{-4} \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 \cdot \dots$
38 $MBI)) \cdot \cos(\phi) + (1/2) \cdot \mathbf{pi} \cdot \sin(\phi) \cdot (-2) \cdot (1/2) \cdot \dots$
39 $(0.135072E3 + Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI) \cdot (-2) \cdot v^4 \cdot (2 \cdot (2 + (\dots$
40 $-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos(\phi) \cdot \dots$
41 $\mathbf{pi} \cdot \sin(\phi) \cdot (-2) \cdot (-1/2) + (1 + 0.390625E0 \cdot (0.312783E3 + Fyc + \dots$
42 $0.852779E1 \cdot MBI) \cdot (-2) \cdot v^4 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot \dots$
43 $Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos(\phi) + (1/2) \cdot \mathbf{pi} \cdot \sin(\phi) \cdot (-2) \cdot \dots$
44 $1 + 0.390625E0 \cdot (0.398061E3 + Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI) \cdot (-2) \cdot v^4 \cdot (2 \cdot (\dots$
45 $2 + (-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos(\phi) \cdot \dots$
46 $1/2) \cdot \mathbf{pi} \cdot \sin(\phi) \cdot (-2) \cdot (-1/2) + (1 + 0.390625E0 \cdot (0.483339E3 + Fyc + \dots$
47 $0.852779E1 \cdot MBI) \cdot (-2) \cdot v^4 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot \dots$
48 $Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos(\phi) + (1/2) \cdot \mathbf{pi} \cdot \sin(\phi) \cdot (-2)$

```

    .^(-1/2)+( ...
49  1+0.390625E0.*(0.568617E3+Fyc+0.852779E1.*MBI).^(-2).*v
    .^4.*(2.*( ...
50  2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi
    )+( ...
51  1/2).*pi.*sin(phi)).^2).^(-1/2))== (18);
52  s=solve([f1, f2],[phi, Fyc]);
53  s.phi
54  s.Fyc
55
56
57  syms phi L;
58  f1=(0.980665E4.*sin(phi)+0.625E0.*v.^2.*(2.*(2+(-0.316669E-4)
    .*( ...
59  0.104179E5+0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*
    pi.* ...
60  sin(phi)).*(0.316669E-4).(0.104179E5+0.596946E2.*L+0.852779
    E1.* ...
61  MBI).*cos(phi)+(2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+0.596946E2.*L+
    ...
62  0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(2.*(2+(-0.316669E-4).(0.104179
    E5+ ...
63  0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(phi
    )).^2( ...
64  -1).*((-1).(2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+0.596946E2.*L+
    ...
65  0.852779E1.*MBI)).^2.*cos(phi).^2+(2/3).*sin(phi).^2))==(
    ...
66  0.158335E-4).(0.104179E5+0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI).^2.*
    sin( ...
67  phi)+0.134024E5.*tan(phi).*((3/16).*pi.*cos(phi)+(3/32).*pi
    .*sin( ...
68  phi).*tan(phi));
69  f2=(0.316669E-4).(0.104179E5+0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI).*
    cos(phi) ...
70  +(-0.1047E-1).*v.^2.*(2.*(2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+ ...
71  0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(phi
    ))+ ...
72  0.1047E-1.*v.^2.*cosh(1.E0.*asinh(0.955113E2.*L.*v.^(-2)
    .*(2.*(2+( ...
73  -0.316669E-4).(0.104179E5+0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI)).*
    cos( ...
74  phi)+(1/2).*pi.*sin(phi)).^(-1)).*(2.*(2+(-0.316669E-4).(
    ...
75  0.104179E5+0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*
    pi.* ...

```

```

76  sin (phi) +(1+0.390625E0.*(0.135072E3+0.596946E2.*L+0.852779
    E1.* ...
77  MBI).^(-2).*v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4)*(0.104179E5
    +0.596946E2.* ...
78  L+0.852779E1.*MBI)).*cos (phi)+(1/2).*pi.*sin (phi)).^2)
    .^(-1/2)+(1+ ...
79  0.390625E0.*(0.312783E3+0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI).^(-2)
    .* ...
80  v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4)*(0.104179E5+0.596946E2.*L+ ...
81  0.852779E1.*MBI)).*cos (phi)+(1/2).*pi.*sin (phi)).^2).^(-1/2)
    +(1+ ...
82  0.390625E0.*(0.398061E3+0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI).^(-2)
    .* ...
83  v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4)*(0.104179E5+0.596946E2.*L+ ...
84  0.852779E1.*MBI)).*cos (phi)+(1/2).*pi.*sin (phi)).^2).^(-1/2)
    +(1+ ...
85  0.390625E0.*(0.483339E3+0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI).^(-2)
    .* ...
86  v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4)*(0.104179E5+0.596946E2.*L+ ...
87  0.852779E1.*MBI)).*cos (phi)+(1/2).*pi.*sin (phi)).^2).^(-1/2)
    +(1+ ...
88  0.390625E0.*(0.568617E3+0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI).^(-2)
    .* ...
89  v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4)*(0.104179E5+0.596946E2.*L+ ...
90  0.852779E1.*MBI)).*cos (phi)+(1/2).*pi.*sin (phi)).^2).^(-1/2)
    )==( ...
91  18);
92  s=solve ([f1 , f2] , [phi , L]);
93  s.phi
94  s.L
95  \end{doublespace}

```

6 Q2方程-alpha=16

```

(**)
Clear["Global*"]
Import["ToMatlab.m", "Package"]
Lr = 1;
mr = 10*(1 - 1/7.86*1.025);
mb = 100 - 1025*Pi*0.15^2*1;
Lb = 1;

```

```

lambda = 7*(1 - 1/7.86*1.025);
g = 9.80665;
R = 1;
mf = 1000;
rho = 1025;
YMAX = 18;
MB0 = MBI*(1 - 1/7.86*1.025);
alpha = 16/180*Pi;
(**)
Fx = 0.625*v*v*(2*R*(2*R - a)*Cos[phi] + Pi/2*R*R*Sin[phi]);
Fya = Tan[alpha]*Fx;
Fy = 4*mr*g + mb*g + MB0*g + Fyc;
a = (mf*g + Fy)/(rho*Pi*R^2*g);
xmax = (Fx/lambda/g)*
(ArcSinh[L*g*lambda/Fx + Tan[alpha]] -
Log[Tan[alpha] + Sec[alpha]]);
ymax =
(Fx/(lambda*g))*
Cosh[(xmax*(lambda*g)/Fx) + Log[Tan[alpha] + Sec[alpha]] -
(Fx/(lambda*g))*Sec[alpha]];
thetab = ArcTan[Fx/(MB0*g + Fyc + 1/2*mb*g)];
Deltayb = Lb * Cos[thetab];
Fyb = mb*g + MB0*g + Fyc;
Fyr0 = Fyb;
Fyr1 = Fyr0 + mr*g;
thetar1 = ArcTan[Fx/(Fyr0 + 1/2*mr*g)];
Deltayr1 = Lr * Cos[thetar1];

```

```

Fyr2 = Fyr1 + mr * g;
thetar2 = ArcTan[Fx/(Fyr1 + 1/2 * mr * g)];
Deltayr2 = Lr * Cos[thetar2];
Fyr3 = Fyr2 + mr * g;
thetar3 = ArcTan[Fx/(Fyr2 + 1/2 * mr * g)];
Deltayr3 = Lr * Cos[thetar3];
Fyr4 = Fyr3 + mr * g;
thetar4 = ArcTan[Fx/(Fyr3 + 1/2 * mr * g)];
Deltayr4 = Lr * Cos[thetar4];
Deltay = ymax + Deltayb + Deltayr1 + Deltayr2 + Deltayr3 + Deltayr4;
yw =
(2/3 * R * R * R * (Sin[phi]) * (Sin[phi]) -
(2 * R - a) * (2 * R - a) * R * (Cos[phi]) * (Cos[phi])) /
(2 * R * (2 * R - a) * Cos[phi] + Pi/2 * R * R * Sin[phi]) +
(2 * R - a) * Cos[phi];
(*Matlab*)
ToMatlab[Fx * (yw + a * Cos[phi]) + mf * g * R * Sin[phi] ==
rho * Pi * R^2 * a * g * a / 2 * Sin[phi] +
4/3 * rho * R^3 * g * Tan[phi] *
((3 * Pi) / 16 * R * Cos[phi] +
(3 * Pi) / 32 * R * (Sin[phi])^2 / (Cos[phi]))]
ToMatlab[Deltay + a == YMAX]

```

7 Q2-plot

```

1 clear all
2

```

```

3 v = 36.0;
4
5 syms phi Fyc L;
6 %MBI = 1000:2500:100;
7 N=30;
8 m=zeros(1, N);
9 t=zeros(1, N);
10 a=zeros(1,N);
11 ph=zeros(1,N);
12 alpha=zeros(1,N);
13 XMAX=zeros(1,N);
14 fya=zeros(1,N);
15 fxa=zeros(1,N);
16
17 for ii = 1:1:N
18     MBI=900+ii*100;
19     f1=(0.980665E4.*sin(phi)+0.625E0.*v.^2.*(2.*(2+(-0.316669E
20         -4).*( ...
21         0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*pi.*
22         sin(phi)).*( ...
23         0.316669E-4.*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI).*cos(phi)
24         +(2+( ...
25         -0.316669E-4).*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(
26         phi)+(2.*(2+ ...
27         (-0.316669E-4).*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(
28         phi)+(1/2) ...
29         .*pi.*sin(phi)).^(-1).*((-1).*(2+(-0.316669E-4)
30         .*0.104179E5+Fyc+ ...
31         0.852779E1.*MBI)).^2.*cos(phi).^2+(2/3).*sin(phi).^2))
32         ==(...
33         0.158335E-4.*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI).^2.*sin(
34         phi)+ ...
35         0.134024E5.*tan(phi).*((3/16).*pi.*cos(phi)+(3/32).*pi.*
36         sin(phi)).* ...
37         tan(phi)));
38     f2=(0.316669E-4.*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI).*cos(phi)
39         )+ ...
40         0.1047E-1.*v.^2.*cosh(1.E0.*(asinh(0.210602E4.*v.^(-2)
41         .*2.*(2+( ...
42         -0.316669E-4).*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(
43         phi)+(1/2).* ...
44         pi.*sin(phi)).^(-1)+0.16E1.*((-0.131626E4)+Fyc).*v.^(-2)
45         .*2.*(2+( ...
46         -0.316669E-4).*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(
47         phi)+(1/2).* ...
48         pi.*sin(phi)).^(-1))+(-1).*log(0.16E1.*((-0.131626E4)+

```

```

Fyc) * v.^ ( ...
35 -2) .* (2 .* (2 + (-0.316669E-4) .* (0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 .*
    MBI)) .* ...
36 cos (phi) + (1/2) .* pi .* sin (phi) ) .^ (-1) + (1 + 0.256E1
    .* ((-0.131626E4) + ...
37 Fyc) .^ 2 .* v.^ (-4) .* (2 .* (2 + (-0.316669E-4) .* (0.104179E5 + Fyc
    + ...
38 0.852779E1 .* MBI)) .* cos (phi) + (1/2) .* pi .* sin (phi) ) .^ (-2))
    .^ (1/2)) + ...
39 log (0.16E1 .* ((-0.131626E4) + Fyc) .* v.^ (-2)
    .* (2 .* (2 + (-0.316669E-4) .* ( ...
40 0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 .* MBI)) .* cos (phi) + (1/2) .* pi .*
    sin (phi) ) .^ ( ...
41 -1) + (1 + 0.256E1 .* ((-0.131626E4) + Fyc) .^ 2 .* v.^ (-4)
    .* (2 .* (2 + ( ...
42 -0.316669E-4) .* (0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 .* MBI)) .* cos (
    phi) + (1/2) .* ...
43 pi .* sin (phi) ) .^ (-2) ) .^ (1/2)) .* (2 .* (2 + (-0.316669E-4)
    .* (0.104179E5 + ...
44 Fyc + 0.852779E1 .* MBI)) .* cos (phi) + (1/2) .* pi .* sin (phi) )
    + (-0.1047E-1) ...
45 .* v.^ 2 .* (2 .* (2 + (-0.316669E-4) .* (0.104179E5 + Fyc + 0.852779
    E1 .* MBI)) .* ...
46 cos (phi) + (1/2) .* pi .* sin (phi) ) .* (1 + 0.256E1 .* ((-0.131626E4
    ) + Fyc) ...
47 .^ 2 .* v.^ (-4) .* (2 .* (2 + (-0.316669E-4) .* (0.104179E5 + Fyc
    + 0.852779E1 .* ...
48 MBI)) .* cos (phi) + (1/2) .* pi .* sin (phi) ) .^ (-2) ) .^ (1/2)
    + (1 + 0.390625E0 .* ...
49 (0.135072E3 + Fyc + 0.852779E1 .* MBI) .^ (-2) .* v.^ 4 .* (2 .* (2 + (
    ...
50 -0.316669E-4) .* (0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 .* MBI)) .* cos (
    phi) + (1/2) .* ...
51 pi .* sin (phi) ) .^ 2) .^ (-1/2) + (1 + 0.390625E0 .* (0.312783E3 + Fyc
    + ...
52 0.852779E1 .* MBI) .^ (-2) .* v.^ 4 .* (2 .* (2 + (-0.316669E-4)
    .* (0.104179E5 + ...
53 Fyc + 0.852779E1 .* MBI)) .* cos (phi) + (1/2) .* pi .* sin (phi) ) .^ 2)
    .^ (-1/2) + ( ...
54 1 + 0.390625E0 .* (0.398061E3 + Fyc + 0.852779E1 .* MBI) .^ (-2) .* v
    .^ 4 .* (2 .* ( ...
55 2 + (-0.316669E-4) .* (0.104179E5 + Fyc + 0.852779E1 .* MBI)) .* cos
    (phi) + ( ...
56 1/2) .* pi .* sin (phi) ) .^ 2) .^ (-1/2) + (1 + 0.390625E0 .* (0.483339
    E3 + Fyc + ...
57 0.852779E1 .* MBI) .^ (-2) .* v.^ 4 .* (2 .* (2 + (-0.316669E-4)

```

```

58      *(0.104179E5+ ...
      Fyc+0.852779E1.*MBI) .* cos(phi)+(1/2) .* pi .* sin(phi) ).^2)
59      .^(-1/2)+( ...
      1+0.390625E0.*(0.568617E3+Fyc+0.852779E1.*MBI).^(-2) .* v
60      .^4.*(2.*( ...
      2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .* cos
      (phi)+( ...
61      1/2) .* pi .* sin(phi) ).^2).^(-1/2))==(18);
62      s=solve([f1,f2],[phi,Fyc]);
63      m(ii)=MBI;
64      t(ii)=atan(0.625E0.*(0.135072E3+s.Fyc+0.852779E1.*MBI)
      .^(-1) .* v.^2.*(2.*( ...
65      2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+s.Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .*
      cos(s.phi)+( ...
66      1/2) .* pi .* sin(s.phi) ));
67      aa=0.316669E-4.*(0.104179E5+s.Fyc+0.852779E1.*MBI);
68      t(ii)=t(ii)/pi*180;
69      m(ii)=MBI;
70      a(ii)=aa;
71      ph(ii)=s.phi/pi*180;
72      alpha(ii)=atan(0.16E1.*((-0.131626E4)+s.Fyc) .* v.^(-2)
      .* (2.*(2+(-0.316669E-4) .* ...
73      (0.104179E5+s.Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .* cos(s.phi)+(1/2) .*
      pi .* sin(s.phi) ) ...
74      .^(-1))/pi*180;
75      XMAX(ii)=0.1047E-1 .* v.^2 .* (asinh(0.210602E4 .* v.^(-2)
      .* (2.*(2+(-0.316669E-4) .* ...
76      *(0.104179E5+s.Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .* cos(s.phi)+(1/2)
      .* pi .* sin(s.phi) ) ...
77      .^(-1)+0.16E1.*((-0.131626E4)+s.Fyc) .* v.^(-2)
      .* (2.*(2+(-0.316669E-4) .* ...
78      *(0.104179E5+s.Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .* cos(s.phi)+(1/2)
      .* pi .* sin(s.phi) ) ...
79      .^(-1))+(-1) .* log(0.16E1.*((-0.131626E4)+s.Fyc) .* v.^(-2)
      .* (2.*(2+( ...
80      -0.316669E-4).(0.104179E5+s.Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .* cos(
      s.phi)+(1/2) .* ...
81      pi .* sin(s.phi) ).^(-1)+(1+0.256E1.*((-0.131626E4)+s.Fyc)
      .^2 .* v.^(-4) .* ( ...
82      2.*(2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+s.Fyc+0.852779E1.*MBI)
      ) .* cos(s.phi)+ ...
83      (1/2) .* pi .* sin(s.phi) ).^(-2) ).^(1/2) ) )
      .* (2.*(2+(-0.316669E-4) .* ( ...
84      0.104179E5+s.Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .* cos(s.phi)+(1/2) .* pi
      .* sin(s.phi) )+ ...
85      0.625E0.*(0.135072E3+s.Fyc+0.852779E1.*MBI).^(-1) .* v

```

86 $^2 \cdot (2 \cdot (2 + (\dots$
 $-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos ($
 $s \cdot \phi) + (1/2) \cdot \dots$
 87 $\pi \cdot \sin (s \cdot \phi)) \cdot (1 + 0.390625E0 \cdot (0.135072E3 + s \cdot Fyc$
 $+ 0.852779E1 \cdot MBI) \cdot ^{(\dots$
 88 $-2) \cdot v \cdot ^4 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + s \cdot Fyc$
 $+ 0.852779E1 \cdot MBI) \dots$
 89 $) \cdot \cos (s \cdot \phi) + (1/2) \cdot \pi \cdot \sin (s \cdot \phi)) \cdot ^2 \cdot ^{(-1/2) + 0.625E0$
 $\cdot (0.312783E3 + \dots$
 90 $s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI) \cdot ^{(-1) \cdot v \cdot ^2 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E$
 $-4) \cdot (\dots$
 91 $0.104179E5 + s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos (s \cdot \phi) + (1/2) \cdot \pi$
 $\cdot \sin (s \cdot \phi)) \cdot (\dots$
 92 $1 + 0.390625E0 \cdot (0.312783E3 + s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI) \cdot ^{(-2) \cdot v$
 $\cdot ^4 \cdot (2 \cdot (\dots$
 93 $2 + (-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot$
 $\cos (s \cdot \phi) + (\dots$
 94 $1/2) \cdot \pi \cdot \sin (s \cdot \phi)) \cdot ^2 \cdot ^{(-1/2) + 0.625E0 \cdot (0.398061E3 + s$
 $\cdot Fyc + \dots$
 95 $0.852779E1 \cdot MBI) \cdot ^{(-1) \cdot v \cdot ^2 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4)$
 $\cdot (0.104179E5 + \dots$
 96 $s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos (s \cdot \phi) + (1/2) \cdot \pi \cdot \sin (s \cdot \phi$
 $) \cdot (1 + \dots$
 97 $0.390625E0 \cdot (0.398061E3 + s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI) \cdot ^{(-2) \cdot v$
 $\cdot ^4 \cdot (2 \cdot (2 + (\dots$
 98 $-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos ($
 $s \cdot \phi) + (1/2) \cdot \dots$
 99 $\pi \cdot \sin (s \cdot \phi)) \cdot ^2 \cdot ^{(-1/2) + 0.625E0 \cdot (0.483339E3 + s \cdot Fyc$
 $+ 0.852779E1 \cdot \dots$
 100 $MBI) \cdot ^{(-1) \cdot v \cdot ^2 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + s \cdot$
 $Fyc + \dots$
 101 $0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos (s \cdot \phi) + (1/2) \cdot \pi \cdot \sin (s \cdot \phi))$
 $\cdot (1 + 0.390625E0 \cdot (\dots$
 102 $0.483339E3 + s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI) \cdot ^{(-2) \cdot v$
 $\cdot ^4 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \dots$
 103 $\cdot (0.104179E5 + s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos (s \cdot \phi) + (1/2)$
 $\cdot \pi \cdot \sin (s \cdot \phi)) \dots$
 104 $\cdot ^2 \cdot ^{(-1/2) + 0.625E0 \cdot (0.568617E3 + s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)$
 $\cdot ^{(-1) \cdot \dots$
 105 $v \cdot ^2 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + s \cdot Fyc + 0.852779$
 $E1 \cdot MBI)) \cdot \dots$
 106 $\cos (s \cdot \phi) + (1/2) \cdot \pi \cdot \sin (s \cdot \phi)) \cdot (1 + 0.390625E0$
 $\cdot (0.568617E3 + s \cdot Fyc + \dots$
 107 $0.852779E1 \cdot MBI) \cdot ^{(-2) \cdot v \cdot ^4 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4)$
 $\cdot (0.104179E5 + \dots$
 108 $s \cdot Fyc + 0.852779E1 \cdot MBI)) \cdot \cos (s \cdot \phi) + (1/2) \cdot \pi \cdot \sin (s \cdot \phi$

```

    )).^2).^(-1/2);
109 fya(ii)=(-0.131626E4)+s.Fyc;
110 fxa(ii)=0.625E0.*v.^2.*(2.*(2+(-0.316669E-4).*(0.104179E5+
    s.Fyc+0.852779E1.* ...
111 MBI)).*cos(s.phi)+(1/2).*pi.*sin(s.phi));
112 if alpha(ii) < 0
113
114 f1=(0.980665E4.*sin(phi)+0.625E0.*v
    .^2.*(2.*(2+(-0.316669E-4).*( ...
115 0.104179E5+0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)
    +(1/2).*pi.* ...
116 sin(phi)).*(0.316669E-4.*(0.104179E5+0.596946E2.*L
    +0.852779E1.* ...
117 MBI).*cos(phi)+(2+(-0.316669E-4).*(0.104179E5
    +0.596946E2.*L+ ...
118 0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(2.*(2+(-0.316669E-4)
    *(0.104179E5+ ...
119 0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*pi
    .*sin(phi)).^( ...
120 -1).*((-1).*(2+(-0.316669E-4).*(0.104179E5+0.596946
    E2.*L+ ...
121 0.852779E1.*MBI)).^2.*cos(phi).^2+(2/3).*sin(phi)
    .^2))==( ...
122 0.158335E-4.*(0.104179E5+0.596946E2.*L+0.852779E1.*
    MBI).^2.*sin( ...
123 phi)+0.134024E5.*tan(phi).*((3/16).*pi.*cos(phi)
    +(3/32).*pi.*sin( ...
124 phi).*tan(phi));
125 f2=(0.316669E-4.*(0.104179E5+0.596946E2.*L+0.852779E1
    .*MBI).*cos(phi) ...
126 +(-0.1047E-1).*v.^2.*(2.*(2+(-0.316669E-4)
    *(0.104179E5+ ...
127 0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*pi
    .*sin(phi))+ ...
128 0.1047E-1.*v.^2.*cosh(1.E0.*asinh(0.955113E2.*L.*v
    .^(-2).*(2.*(2+( ...
129 -0.316669E-4).*(0.104179E5+0.596946E2.*L+0.852779E1
    .*MBI)).*cos( ...
130 phi)+(1/2).*pi.*sin(phi)).^(-1)).*(2.*(2+(-0.316669
    E-4).*( ...
131 0.104179E5+0.596946E2.*L+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)
    +(1/2).*pi.* ...
132 sin(phi))+(1+0.390625E0.*(0.135072E3+0.596946E2.*L
    +0.852779E1.* ...
133 MBI).^(-2).*v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4).*(0.104179E5
    +0.596946E2.* ...

```

```

134      L+0.852779E1.*MBI) ).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(phi))
      .^2).^(-1/2)+(1+ ...
135      0.390625E0.*(0.312783E3+0.596946E2.*L+0.852779E1.*
      MBI).^(-2).* ...
136      v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+0.596946E2
      .*L+ ...
137      0.852779E1.*MBI) ).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(phi)).^2)
      .^(-1/2)+(1+ ...
138      0.390625E0.*(0.398061E3+0.596946E2.*L+0.852779E1.*
      MBI).^(-2).* ...
139      v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+0.596946E2
      .*L+ ...
140      0.852779E1.*MBI) ).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(phi)).^2)
      .^(-1/2)+(1+ ...
141      0.390625E0.*(0.483339E3+0.596946E2.*L+0.852779E1.*
      MBI).^(-2).* ...
142      v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+0.596946E2
      .*L+ ...
143      0.852779E1.*MBI) ).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(phi)).^2)
      .^(-1/2)+(1+ ...
144      0.390625E0.*(0.568617E3+0.596946E2.*L+0.852779E1.*
      MBI).^(-2).* ...
145      v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+0.596946E2
      .*L+ ...
146      0.852779E1.*MBI) ).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(phi)).^2)
      .^(-1/2))==( ...
147      18);
148      s=solve([f1, f2], [phi, L]);
149      t(ii)=atan(0.625E0.*(0.135072E3+0.596946E2.*s.L
      +0.852779E1.*MBI).^(-1).* ...
150      v.^2.*(2.*(2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+0.596946E2
      .*s.L+ ...
151      0.852779E1.*MBI) ).*cos(s.phi)+(1/2).*pi.*sin(s.phi))
      )/pi*180;
152      a(ii)=0.316669E-4.*(0.104179E5+0.596946E2.*s.L
      +0.852779E1.*MBI);
153      ph(ii)=s.phi/pi*180;
154      alpha(ii)=0/pi*180;
155      XMAX(ii)=0.1047E-1.*v.^2.*asinh(0.955113E2.*s.L.*v
      .^(-2)).*(2.*(2+( ...
156      -0.316669E-4).(0.104179E5+0.596946E2.*s.L+0.852779
      E1.*MBI) ).*cos( ...
157      s.phi)+(1/2).*pi.*sin(s.phi)).^(-1))
      .*(2.*(2+(-0.316669E-4).*( ...
158      0.104179E5+0.596946E2.*s.L+0.852779E1.*MBI) ).*cos(s.
      phi)+(1/2).*pi.* ...

```

159 $\sin(s.\text{phi}) + 0.625E0 \cdot (0.135072E3 + 0.596946E2 \cdot s.L$
+ $0.852779E1 \cdot \text{MBI}) \cdot ^{\wedge}(\dots$
160 $-1) \cdot v.^{\wedge}2 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5$
+ $0.596946E2 \cdot s.L + \dots$
161 $0.852779E1 \cdot \text{MBI})) \cdot \cos(s.\text{phi}) + (1/2) \cdot \pi \cdot \sin(s.\text{phi}))$
 $\cdot (1 + 0.390625E0 \cdot (\dots$
162 $0.135072E3 + 0.596946E2 \cdot s.L + 0.852779E1 \cdot \text{MBI}) \cdot ^{\wedge}(-2) \cdot v$
 $\cdot ^{\wedge}4 \cdot (2 \cdot (2 + (\dots$
163 $-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + 0.596946E2 \cdot s.L + 0.852779$
 $E1 \cdot \text{MBI})) \cdot \cos(\dots$
164 $s.\text{phi}) + (1/2) \cdot \pi \cdot \sin(s.\text{phi})) \cdot ^{\wedge}2 \cdot ^{\wedge}(-1/2) + 0.625E0$
 $\cdot (0.312783E3 + \dots$
165 $0.596946E2 \cdot s.L + 0.852779E1 \cdot \text{MBI}) \cdot ^{\wedge}(-1) \cdot v$
 $\cdot ^{\wedge}2 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \dots$
166 $\cdot (0.104179E5 + 0.596946E2 \cdot s.L + 0.852779E1 \cdot \text{MBI})) \cdot \cos$
 $(s.\text{phi}) + (1/2) \cdot \dots$
167 $\pi \cdot \sin(s.\text{phi})) \cdot (1 + 0.390625E0 \cdot (0.312783E3 + 0.596946$
 $E2 \cdot s.L + \dots$
168 $0.852779E1 \cdot \text{MBI}) \cdot ^{\wedge}(-2) \cdot v \cdot ^{\wedge}4 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4)$
 $\cdot (0.104179E5 + \dots$
169 $0.596946E2 \cdot s.L + 0.852779E1 \cdot \text{MBI})) \cdot \cos(s.\text{phi}) + (1/2)$
 $\cdot \pi \cdot \sin(s.\text{phi})) \cdot ^{\wedge}2 \dots$
170 $\cdot ^{\wedge}(-1/2) + 0.625E0 \cdot (0.398061E3 + 0.596946E2 \cdot s.L$
+ $0.852779E1 \cdot \text{MBI}) \cdot ^{\wedge}(-1) \dots$
171 $\cdot v \cdot ^{\wedge}2 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + 0.596946$
 $E2 \cdot s.L + \dots$
172 $0.852779E1 \cdot \text{MBI})) \cdot \cos(s.\text{phi}) + (1/2) \cdot \pi \cdot \sin(s.\text{phi}))$
 $\cdot (1 + 0.390625E0 \cdot (\dots$
173 $0.398061E3 + 0.596946E2 \cdot s.L + 0.852779E1 \cdot \text{MBI}) \cdot ^{\wedge}(-2) \cdot v$
 $\cdot ^{\wedge}4 \cdot (2 \cdot (2 + (\dots$
174 $-0.316669E-4) \cdot (0.104179E5 + 0.596946E2 \cdot s.L + 0.852779$
 $E1 \cdot \text{MBI})) \cdot \cos(\dots$
175 $s.\text{phi}) + (1/2) \cdot \pi \cdot \sin(s.\text{phi})) \cdot ^{\wedge}2 \cdot ^{\wedge}(-1/2) + 0.625E0$
 $\cdot (0.483339E3 + \dots$
176 $0.596946E2 \cdot s.L + 0.852779E1 \cdot \text{MBI}) \cdot ^{\wedge}(-1) \cdot v$
 $\cdot ^{\wedge}2 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4) \dots$
177 $\cdot (0.104179E5 + 0.596946E2 \cdot s.L + 0.852779E1 \cdot \text{MBI})) \cdot \cos$
 $(s.\text{phi}) + (1/2) \cdot \dots$
178 $\pi \cdot \sin(s.\text{phi})) \cdot (1 + 0.390625E0 \cdot (0.483339E3 + 0.596946$
 $E2 \cdot s.L + \dots$
179 $0.852779E1 \cdot \text{MBI}) \cdot ^{\wedge}(-2) \cdot v \cdot ^{\wedge}4 \cdot (2 \cdot (2 + (-0.316669E-4)$
 $\cdot (0.104179E5 + \dots$
180 $0.596946E2 \cdot s.L + 0.852779E1 \cdot \text{MBI})) \cdot \cos(s.\text{phi}) + (1/2)$
 $\cdot \pi \cdot \sin(s.\text{phi})) \cdot ^{\wedge}2 \dots$
181 $\cdot ^{\wedge}(-1/2) + 0.625E0 \cdot (0.568617E3 + 0.596946E2 \cdot s.L$
+ $0.852779E1 \cdot \text{MBI}) \cdot ^{\wedge}(-1) \dots$

```

182         .*v.^2.*(2.*(2+(-0.316669E-4).*(0.104179E5+0.596946
           E2.*s.L+ ...
183         0.852779E1.*MBI)).*cos(s.phi)+(1/2).*pi.*sin(s.phi))
           *(1+0.390625E0.*( ...
184         0.568617E3+0.596946E2.*s.L+0.852779E1.*MBI).^(-2).*v
           .^4.*(2.*(2+( ...
185         -0.316669E-4).*(0.104179E5+0.596946E2.*s.L+0.852779
           E1.*MBI)).*cos( ...
186         s.phi)+(1/2).*pi.*sin(s.phi)).^2).^(-1/2)+22.05-s.L;
187     end
188 end
189 m
190 t
191 a
192 ph
193 alpha
194 fxa
195 fya
196 figure(1);
197 stand_t=m+m+5;
198 plot(m,t,m,stand_t);
199 grid on;
200 figure(2);
201 plot(m,a)
202 grid on;
203 figure(3);
204 plot(m,ph)
205 grid on;
206 figure(4);
207 stand_alpha=16+m-m;
208 plot(m,alpha,m,stand_alpha);
209 grid on;
210 figure(5);
211 plot(m,XMAX);
212 grid on;

```

8 Q2-min-M-B

```

1 clearvars;
2 v = 36.0;
3 L = 22.05;
4 syms phi MBI Fyc;
5 f1=(0.980665E4.*sin(phi)+0.625E0.*v.^2.*(2.*(2+(-0.316669E-4)
           .*( ...
6     0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(

```

```

    phi)) .* ( ...
7  0.316669E-4.*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI) .* cos(phi)+(2+(
    ...
8  -0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI) .* cos(phi)
    +(2.*(2+ ...
9  (-0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI) .* cos(phi)
    +(1/2) ...
10 .* pi .* sin(phi) ).^(-1) .* ((-1) .* (2+(-0.316669E-4).(0.104179E5
    +Fyc+ ...
11  0.852779E1.*MBI) ).^2 .* cos(phi) .^2+(2/3) .* sin(phi) .^2) ) == (
    ...
12  0.158335E-4.*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI) .^2 .* sin(phi)+
    ...
13  0.134024E5 .* tan(phi) .* ((3/16) .* pi .* cos(phi) +(3/32) .* pi .* sin(
    phi) .* ...
14  tan(phi) ) );
15 f2=(0.316669E-4.*(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)+0.1047E-1.*v
    .^2 .* ...
16  cosh(1.E0 .* ( asinh(0.210602E4 .* v.^(-2) .* (2.*(2+(-0.316669E-4)
    .* ( ...
17  0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .* cos(phi) +(1/2) .* pi .* sin(
    phi) ).^( ...
18  -1)+0.16E1 .* ((-0.131626E4)+Fyc) .* v.^(-2) .* (2.*(2+(-0.316669E
    -4) .* ( ...
19  0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .* cos(phi) +(1/2) .* pi .* sin(
    phi) ).^( ...
20  -1) )+(-1) .* log(0.16E1 .* ((-0.131626E4)+Fyc) .* v.^(-2)
    .* (2.*(2+( ...
21  -0.316669E-4) .* (0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .* cos(phi)
    +(1/2) .* ...
22  pi .* sin(phi) ).^(-1) +(1+0.256E1 .* ((-0.131626E4)+Fyc) .^2 .* v
    .^(-4) .* ( ...
23  2.*(2+(-0.316669E-4) .* (0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .* cos
    (phi)+ ...
24  (1/2) .* pi .* sin(phi) ).^(-2) ).^(1/2) ) )+log(0.16E1 .* ((-0.131626
    E4)+ ...
25  Fyc) .* v.^(-2) .* (2.*(2+(-0.316669E-4) .* (0.104179E5+Fyc
    +0.852779E1 .* ...
26  MBI) ) .* cos(phi) +(1/2) .* pi .* sin(phi) ).^(-1) +(1+0.256E1 .* ((
    ...
27  -0.131626E4)+Fyc) .^2 .* v.^(-4) .* (2.*(2+(-0.316669E-4)
    .* (0.104179E5+ ...
28  Fyc+0.852779E1.*MBI) ) .* cos(phi) +(1/2) .* pi .* sin(phi) ).^(-2) )
    .^(1/2) ...
29  ) ) .* (2.*(2+(-0.316669E-4) .* (0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI) )
    .* cos( ...

```

```

30 phi)+(1/2).*pi.*sin(phi))+(-0.1047E-1).*v.^2.*(2.*(2+( ...
31 -0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)
    +(1/2).* ...
32 pi.*sin(phi)).*(1+0.256E1.*((-0.131626E4)+Fyc).^2.*v.^(-4)
    .*2.*( ...
33 2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)
    )+( ...
34 1/2).*pi.*sin(phi)).^(-2)).^(1/2)+(1+0.390625E0.*(0.135072E3
    +Fyc+ ...
35 0.852779E1.*MBI).^(-2).*v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4)
    *(0.104179E5+ ...
36 Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(phi)).^2)
    .^(-1/2)+( ...
37 1+0.390625E0.*(0.312783E3+Fyc+0.852779E1.*MBI).^(-2).*v
    .^4.*(2.*( ...
38 2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)
    )+( ...
39 1/2).*pi.*sin(phi)).^2).^(-1/2)+(1+0.390625E0.*(0.398061E3+
    Fyc+ ...
40 0.852779E1.*MBI).^(-2).*v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4)
    *(0.104179E5+ ...
41 Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(phi)).^2)
    .^(-1/2)+( ...
42 1+0.390625E0.*(0.483339E3+Fyc+0.852779E1.*MBI).^(-2).*v
    .^4.*(2.*( ...
43 2+(-0.316669E-4).(0.104179E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)
    )+( ...
44 1/2).*pi.*sin(phi)).^2).^(-1/2)+(1+0.390625E0.*(0.568617E3+
    Fyc+ ...
45 0.852779E1.*MBI).^(-2).*v.^4.*(2.*(2+(-0.316669E-4)
    *(0.104179E5+ ...
46 Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(phi)).^2)
    .^(-1/2)) ...
47 == (18);
48 f3=(atan(0.123457E-2.*((-0.131626E4)+Fyc).*((2+(-0.316669E-4)
    *( ...
49 0.110005E5+Fyc+0.852779E1.*MBI)).*cos(phi)+(1/2).*pi.*sin(
    phi)).^( ...
50 -1))/pi*180==16);
51 s=solve([f1 , f2 , f3] , [phi , MBI , Fyc] );
52 s.phi
53 s.MBI
54 s.Fyc

```

9 Q3-plot-instruction-photo

```

1 clearvars
2
3 global ymax
4 global sol
5 global Fxa;
6 L=15;
7 global MBI;
8 global YMAX;
9 MBI=5000;
10 lambda0=7;
11 rc=0.0160722;
12
13 N=40;
14 thetb = zeros (1,N);
15 alp = zeros (1,N);
16 XMA = zeros (1,N);
17 YMA = zeros (1,N);
18 ph = zeros (1,N);
19 a = zeros (1,N);
20 dd= zeros (1,N);
21 for ii = 1:1:N
22     YMAX = ii * 0.1 + 15.9;
23     f = @(x) [(quadl(@(t) ((t+0.197355E3.*lambda0.^(-1).*rc
24         .*(1+t.^2).^(-1/2)).^(-1)) ,...
25         (x(1)+(-0.852779E1).*L.*lambda0).^(-1).* (0.1683E4.*rc
26         .*((-5)+YMAX+( ...
27         -0.316669E-4).* (0.104179E5+x(1)+0.852779E1.*MBI) .*cos(x
28         (2)))+( ...
29         0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).* (0.482513E3+x(1)
30         + ...
31         0.852779E1.*MBI).^(-1).* (0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
32         ).^(-1).* ( ...
33         0.138149E11+0.875586E8.*x(1)+0.183028E6.*x(1)
34         .^2+0.126225E3.*x(1).^3+ ...
35         0.746682E9.*MBI+0.312166E7.*x(1).*MBI+0.322926E4.*x(1)
36         .^2.*MBI+ ...
37         0.133104E8.*MBI.^2+0.275385E5.*x(1).*MBI.^2+0.782808E5.*
38         MBI.^3+( ...
39         0.358604E12+0.199501E-2.*x(1).^4+x(1).^3.*(0.326368E4
40         +0.680523E-1.* ...
41         MBI)+0.19355E11.*MBI+0.344538E9.*MBI.^2+0.202403E7.*MBI
42         .^3+ ...
43         0.10551E2.*MBI.^4+x(1).^2.*(0.473766E7+0.83496E5.*MBI
44         +0.870504E0.* ...
45         MBI.^2)+x(1).* (0.226964E10+0.808036E8.*MBI+0.712037E6.*
46         MBI.^2+ ...

```

35 0.494898E1.*MBI.^3)).*cos(x(2))+(0.285293E12+0.259417E4
.*x(1).^3+ ...
36 0.153967E11.*MBI+0.274023E9.*MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x
(1).^2.*(...
37 0.376802E7+0.663676E5.*MBI)+x(1).(0.180548E10+0.642658
E8.*MBI+ ...
38 0.565969E6.*MBI.^2)).*sin(x(2)))+0.8415E3.*(0.5E
-1+(0.311957E3+x(1)+ ...
39 0.852779E1.*MBI).^(-1).(0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
).^(-1).(...
40 0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).(0.567791E3+x(1)
+ ...
41 0.852779E1.*MBI).^(-1).(0.316208E8+0.200472E6.*x(1)
+0.419169E3.* ...
42 x(1).^2+0.289149E0.*x(1).^3+0.170958E7.*MBI+0.714917E4.*
x(1).*MBI+ ...
43 0.739741E1.*x(1).^2.*MBI+0.304833E5.*MBI.^2+0.630836E2.*
x(1).* ...
44 MBI.^2+0.179321E3.*MBI.^3+(0.704118E9+0.39172E-5.*x(1)
.^4+x(1).^3.*(...
45 0.640822E1+0.13362E-3.*MBI)+0.380035E8.*MBI+0.676499E6.*
MBI.^2+ ...
46 0.397418E4.*MBI.^3+0.207168E-1.*MBI.^4+x(1)
.^2.*(0.930237E4+ ...
47 0.163944E3.*MBI+0.170923E-2.*MBI.^2)+x(1).(0.445643E7
+0.158657E6.* ...
48 MBI+0.139808E4.*MBI.^2+0.971731E-2.*MBI.^3)).*cos(x(2))
+(...
49 0.560172E9+0.509364E1.*x(1).^3+0.302314E8.*MBI+0.538042
E6.*MBI.^2+ ...
50 0.315892E4.*MBI.^3+x(1).^2.*(0.739849E4+0.130313E3.*MBI)
+x(1).(...
51 0.354505E7+0.126186E6.*MBI+0.111128E4.*MBI.^2)).*sin(x
(2)))+ ...
52 0.8415E3.*(0.3E0+0.108347E-1.*MBI.^(2/3)+(0.105331E3+x
(1)+ ...
53 0.852779E1.*MBI).^(-1).(0.311957E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
).^(-1).(...
54 0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).(0.482513E3+x(1)
+ ...
55 0.852779E1.*MBI).^(-1).(0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
).^(-1).(...
56 0.710394E12+0.677896E10.*x(1)+0.238447E8.*x(1)
.^2+0.366698E5.* ...
57 x(1).^3+0.208187E2.*x(1).^4+0.578096E11.*MBI+0.406685E9
.*x(1).*MBI+ ...

58 $0.938137E6.*x(1).^2.*MBI+0.710152E3.*x(1).^3.*MBI$
 $+0.173406E10.* \dots$

59 $MBI.^2+0.800024E7.*x(1).*MBI.^2+0.908404E4.*x(1).^2.*MBI$
 $.^2+ \dots$

60 $0.227415E8.*MBI.^3+0.516445E5.*x(1).*MBI.^3+0.110104E6.*$
 $MBI.^4+(\dots$

61 $0.794944E13+0.141019E-3.*x(1).^5+x(1).^4.*(0.23074E3$
 $+0.601292E-2.* \dots$

62 $MBI)+0.645222E12.*MBI+0.193047E11.*MBI.^2+0.252554E9.*$
 $MBI.^3+ \dots$

63 $0.122031E7.*MBI.^4+0.636007E1.*MBI.^5+x(1).^3.*(0.407234$
 $E6+ \dots$

64 $0.787082E4.*MBI+0.102554E0.*MBI.^2)+x(1).^2.*(0.265455E9$
 $+ \dots$

65 $0.104184E8.*MBI+0.100681E6.*MBI.^2+0.874558E0.*MBI.^3)+x$
 $(1).*(\dots$

66 $0.75661E11+0.452749E10.*MBI+0.888461E8.*MBI.^2+0.572392$
 $E6.*MBI.^3+ \dots$

67 $0.372902E1.*MBI.^4)).*\cos(x(2))+(0.632431E13+0.183371E3$
 $. *x(1).^4+ \dots$

68 $0.513284E12.*MBI+0.153555E11.*MBI.^2+0.200843E9.*MBI.^3+$
 \dots

69 $0.969789E6.*MBI.^4+x(1).^3.*(0.323852E6+0.6255E4.*MBI)+x$
 $(1).^2.*(\dots$

70 $0.21115E9+0.828524E7.*MBI+0.80012E5.*MBI.^2)+x(1)$
 $.*(0.601895E11+ \dots$

71 $0.360129E10.*MBI+0.706548E8.*MBI.^2+0.454884E6.*MBI.^3))$
 $. * \sin(x(2)) \dots$

72 $))) \dots$

73 $, \dots$

74 $x(1).^(-1).*(0.105331E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1)$
 $.*(0.311957E3+ \dots$

75 $x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.397235E3+x(1)+0.852779$
 $E1.*MBI).^(-1) \dots$

76 $.*(0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3$
 $+x(1)+ \dots$

77 $0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.210775E16+0.34455E14.*x(1)$
 $+0.207646E12.* \dots$

78 $x(1).^2+0.590471E9.*x(1).^3+0.802701E6.*x(1)$
 $.^4+0.42075E3.*x(1).^5+ \dots$

79 $0.326037E14.*MBI.^(2/3)+0.62112E12.*x(1).*MBI.^(2/3)$
 $+0.405558E10.* \dots$

80 $x(1).^2.*MBI.^(2/3)+0.121087E8.*x(1).^3.*MBI.^(2/3)$
 $+0.170024E5.* \dots$

81 $x(1).^4.*MBI.^(2/3)+0.911744E1.*x(1).^5.*MBI.^(2/3)$
 $+0.293825E15.* \dots$

82 MBI+0.354153E13.*x(1).*MBI+0.151062E11.*x(1).^2.*MBI
+0.273811E8.* ...

83 x(1).^3.*MBI+0.179403E5.*x(1).^4.*MBI+0.529678E13.*MBI
.^(5/3)+ ...

84 0.691703E11.*x(1).*MBI.^(5/3)+0.309782E9.*x(1).^2.*MBI
.^(5/3)+ ...

85 0.579973E6.*x(1).^3.*MBI.^(5/3)+0.388758E3.*x(1).^4.*
MBI.^(5/3)+ ...

86 0.151007E14.*MBI.^2+0.128823E12.*x(1).*MBI.^2+0.35025
E9.*x(1).^2.* ...

87 MBI.^2+0.305983E6.*x(1).^3.*MBI.^2+0.294935E12.*MBI
.^(8/3)+ ...

88 0.264175E10.*x(1).*MBI.^(8/3)+0.741884E7.*x(1).^2.*MBI
.^(8/3)+ ...

89 0.66305E4.*x(1).^3.*MBI.^(8/3)+0.366192E12.*MBI
.^3+0.199124E10.* ...

90 x(1).*MBI.^3+0.260936E7.*x(1).^2.*MBI.^3+0.750944E10.*
MBI.^(11/3)+ ...

91 0.421775E8.*x(1).*MBI.^(11/3)+0.565435E5.*x(1).^2.*MBI
.^(11/3)+ ...

92 0.424522E10.*MBI.^4+0.11126E8.*x(1).*MBI.^4+0.899203E8
.*MBI.^(14/3) ...

93 +0.241096E6.*x(1).*MBI.^(14/3)+0.189761E8.*MBI
.^5+0.411203E6.* ...

94 MBI.^(17/3)+(0.185351E17+0.199501E-2.*x(1).^6+x(1)
.^5.*(0.326464E4+ ...

95 0.102078E0.*MBI)+0.246347E16.*MBI+0.122853E15.*MBI.^2+
...)

96 0.291785E13.*MBI.^3+0.333143E11.*MBI.^4+0.147237E9.*
MBI.^5+ ...

97 0.767301E3.*MBI.^6+x(1).^4.*(0.629918E7+0.139201E6.*
MBI+ ...

98 0.217626E1.*MBI.^2)+x(1).^3.*(0.470493E10+0.214872E9.*
MBI+ ...

99 0.237415E7.*MBI.^2+0.247449E2.*MBI.^3)+x(1)
.^2.*(0.168933E13+ ...

100 0.120368E12.*MBI+0.274858E10.*MBI.^2+0.202463E8.*MBI
.^3+ ...

101 0.158265E3.*MBI.^4)+x(1).*(0.288875E15+0.288125E14.*
MBI+ ...

102 0.102647E13.*MBI.^2+0.156262E11.*MBI.^3+0.863279E8.*
MBI.^4+ ...

103 0.539859E3.*MBI.^5)).*cos(x(2))+(0.147459E17+0.259417
E4.*x(1).^5+ ...

104 0.195977E16.*MBI+0.977277E14.*MBI.^2+0.232084E13.*MBI
.^3+ ...

```

105      0.264916E11.*MBI.^4+0.116999E9.*MBI.^5+x(1)
      .^4.*(0.500913E7+ ...
106      0.110613E6.*MBI)+x(1).^3.*(0.374227E10+0.170867E9.*MBI
      +0.188656E7.* ...
107      MBI.^2)+x(1).^2.*(0.134383E13+0.957398E11.*MBI
      +0.218568E10.*MBI.^2+ ...
108      0.160882E8.*MBI.^3)+x(1).*(0.22981E15+0.229198E14.*MBI
      + ...
109      0.816449E12.*MBI.^2+0.12426E11.*MBI.^3+0.685986E8.*MBI
      .^4)).*sin( ...
110      x(2)) ...
111 )+log(0.117264E0.*x(1).*(0.117264E0.*x(1)+(-0.1E1).*L.*
      lambda0).^(-1));
112 (((0.324343E4+0.31588E-7.*x(1).^2+x(1).*(0.658161E
      -3+0.538751E-6.* ...
113      MBI)+(0.561266E-2+0.229718E-5.*MBI).*MBI).*cos(x(2)).^2+
      ...
114      0.254469E4.*cos(x(2)).*sin(x(2)))+(0.980665E4+(-0.21E2).*
      sin(x(2))).* ...
115      sin(x(2)))-((sin(x(2))).*(0.789468E4+0.158335E
      -4.*(0.104179E5+x(1)+ ...
116      0.852779E1.*MBI).^2+0.394734E4.*tan(x(2).^2))))];
117 x = fsolve(f, [5000, 0], optimset('MaxFunEvals',600));
118 ph(ii)=x(2);
119 thetb(ii)=(0.105331E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1)
      .*(0.126225E3+(0.397235E3+ ...
120      x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.482513E3+x(1)+0.852779E1
      .*MBI).^(-1) ...
121      .*(0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.138149E11+
      ...
122      0.875586E8.*x(1)+0.183028E6.*x(1).^2+0.126225E3.*x(1)
      .^3+0.746682E9.* ...
123      MBI+0.312166E7.*x(1).*MBI+0.322926E4.*x(1).^2.*MBI
      +0.133104E8.* ...
124      MBI.^2+0.275385E5.*x(1).*MBI.^2+0.782808E5.*MBI
      .^3+(0.358604E12+ ...
125      0.199501E-2.*x(1).^4+x(1).^3.*(0.326368E4+0.680523E-1.*
      MBI)+ ...
126      0.19355E11.*MBI+0.344538E9.*MBI.^2+0.202403E7.*MBI
      .^3+0.10551E2.* ...
127      MBI.^4+x(1).^2.*(0.473766E7+0.83496E5.*MBI+0.870504E0.*
      MBI.^2)+ ...
128      x(1).*(0.226964E10+0.808036E8.*MBI+0.712037E6.*MBI
      .^2+0.494898E1.* ...
129      MBI.^3)).*cos(x(2)))+(0.285293E12+0.259417E4.*x(1)
      .^3+0.153967E11.* ...

```

```

130 MBI+0.274023E9.*MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x(1)
    .^2.*(0.376802E7+ ...
131 0.663676E5.*MBI)+x(1).*(0.180548E10+0.642658E8.*MBI
    +0.565969E6.* ...
132 MBI.^2)).*sin(x(2)))+0.8415E3.*(0.5E-1+0.19635E
    -2.*(0.311957E3+x(1)+ ...
133 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.210375E2+(0.397235E3+x(1)
    +0.852779E1.* ...
134 MBI).^(-1).*(0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1)
    .*(0.567791E3+ ...
135 x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.138149E11+0.875586E8.*x
    (1)+ ...
136 0.183028E6.*x(1).^2+0.126225E3.*x(1).^3+0.746682E9.*MBI
    +0.312166E7.* ...
137 x(1).*MBI+0.322926E4.*x(1).^2.*MBI+0.133104E8.*MBI
    .^2+0.275385E5.* ...
138 x(1).*MBI.^2+0.782808E5.*MBI.^3+(0.358604E12+0.199501E
    -2.*x(1).^4+ ...
139 x(1).^3.*(0.326368E4+0.680523E-1.*MBI)+0.19355E11.*MBI
    +0.344538E9.* ...
140 MBI.^2+0.202403E7.*MBI.^3+0.10551E2.*MBI.^4+x(1)
    .^2.*(0.473766E7+ ...
141 0.83496E5.*MBI+0.870504E0.*MBI.^2)+x(1).*(0.226964E10
    +0.808036E8.* ...
142 MBI+0.712037E6.*MBI.^2+0.494898E1.*MBI.^3)).*cos(x(2)))+(
    ...
143 0.285293E12+0.259417E4.*x(1).^3+0.153967E11.*MBI
    +0.274023E9.* ...
144 MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x(1).^2.*(0.376802E7+0.663676
    E5.*MBI)+ ...
145 x(1).*(0.180548E10+0.642658E8.*MBI+0.565969E6.*MBI.^2))
    .*sin(x(2))) ...
146 ));
147 alp(ii)=atan((x(1)+(-0.852779E1).*L.*lambda0).*(0.1683E4.*
    rc.*((-5)+YMAX+( ...
148 -0.316669E-4).*(0.104179E5+x(1)+0.852779E1.*MBI).*cos(x
    (2)))+( ...
149 0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.482513E3+x(1)
    + ...
150 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
    ).^(-1).*( ...
151 0.138149E11+0.875586E8.*x(1)+0.183028E6.*x(1)
    .^2+0.126225E3.*x(1).^3+ ...
152 0.746682E9.*MBI+0.312166E7.*x(1).*MBI+0.322926E4.*x(1)
    .^2.*MBI+ ...
153 0.133104E8.*MBI.^2+0.275385E5.*x(1).*MBI.^2+0.782808E5.*

```

MBI.^3+(...
 154 0.358604E12+0.199501E-2.*x(1).^4+x(1).^3.*(0.326368E4
 +0.680523E-1.* ...
 155 MBI)+0.19355E11.*MBI+0.344538E9.*MBI.^2+0.202403E7.*MBI
 .^3+ ...
 156 0.10551E2.*MBI.^4+x(1).^2.*(0.473766E7+0.83496E5.*MBI
 +0.870504E0.* ...
 157 MBI.^2)+x(1).*(0.226964E10+0.808036E8.*MBI+0.712037E6.*
 MBI.^2+ ...
 158 0.494898E1.*MBI.^3)).*cos(x(2))+(0.285293E12+0.259417E4
 .*x(1).^3+ ...
 159 0.153967E11.*MBI+0.274023E9.*MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x
 (1).^2.*(...
 160 0.376802E7+0.663676E5.*MBI)+x(1).*(0.180548E10+0.642658
 E8.*MBI+ ...
 161 0.565969E6.*MBI.^2)).*sin(x(2)))+0.8415E3.*(0.5E
 -1+(0.311957E3+x(1)+ ...
 162 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
).^(-1).*(...
 163 0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x(1)
 + ...
 164 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.316208E8+0.200472E6.*x(1)
 +0.419169E3.* ...
 165 x(1).^2+0.289149E0.*x(1).^3+0.170958E7.*MBI+0.714917E4.*
 x(1).*MBI+ ...
 166 0.739741E1.*x(1).^2.*MBI+0.304833E5.*MBI.^2+0.630836E2.*
 x(1).* ...
 167 MBI.^2+0.179321E3.*MBI.^3+(0.704118E9+0.39172E-5.*x(1)
 .^4+x(1).^3.*(...
 168 0.640822E1+0.13362E-3.*MBI)+0.380035E8.*MBI+0.676499E6.*
 MBI.^2+ ...
 169 0.397418E4.*MBI.^3+0.207168E-1.*MBI.^4+x(1)
 .^2.*(0.930237E4+ ...
 170 0.163944E3.*MBI+0.170923E-2.*MBI.^2)+x(1).*(0.445643E7
 +0.158657E6.* ...
 171 MBI+0.139808E4.*MBI.^2+0.971731E-2.*MBI.^3)).*cos(x(2))
 +(...
 172 0.560172E9+0.509364E1.*x(1).^3+0.302314E8.*MBI+0.538042
 E6.*MBI.^2+ ...
 173 0.315892E4.*MBI.^3+x(1).^2.*(0.739849E4+0.130313E3.*MBI)
 +x(1).*(...
 174 0.354505E7+0.126186E6.*MBI+0.111128E4.*MBI.^2)).*sin(x
 (2)))+ ...
 175 0.8415E3.*(0.3E0+0.108347E-1.*MBI.^(2/3)+(0.105331E3+x
 (1)+ ...
 176 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.311957E3+x(1)+0.852779E1.*MBI

```

    ).^(-1).* ( ...
177 0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.482513E3+x(1)
    + ...
178 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
    ).^(-1).* ( ...
179 0.710394E12+0.677896E10.*x(1)+0.238447E8.*x(1)
    .^2+0.366698E5.* ...
180 x(1).^3+0.208187E2.*x(1).^4+0.578096E11.*MBI+0.406685E9
    .*x(1).*MBI+ ...
181 0.938137E6.*x(1).^2.*MBI+0.710152E3.*x(1).^3.*MBI
    +0.173406E10.* ...
182 MBI.^2+0.800024E7.*x(1).*MBI.^2+0.908404E4.*x(1).^2.*MBI
    .^2+ ...
183 0.227415E8.*MBI.^3+0.516445E5.*x(1).*MBI.^3+0.110104E6.*
    MBI.^4+( ...
184 0.794944E13+0.141019E-3.*x(1).^5+x(1).^4.*(0.23074E3
    +0.601292E-2.* ...
185 MBI)+0.645222E12.*MBI+0.193047E11.*MBI.^2+0.252554E9.*
    MBI.^3+ ...
186 0.122031E7.*MBI.^4+0.636007E1.*MBI.^5+x(1).^3.*(0.407234
    E6+ ...
187 0.787082E4.*MBI+0.102554E0.*MBI.^2)+x(1).^2.*(0.265455E9
    + ...
188 0.104184E8.*MBI+0.100681E6.*MBI.^2+0.874558E0.*MBI.^3)+x
    (1).* ( ...
189 0.75661E11+0.452749E10.*MBI+0.888461E8.*MBI.^2+0.572392
    E6.*MBI.^3+ ...
190 0.372902E1.*MBI.^4)).*cos(x(2)))+(0.632431E13+0.183371E3
    .*x(1).^4+ ...
191 0.513284E12.*MBI+0.153555E11.*MBI.^2+0.200843E9.*MBI.^3+
    ...
192 0.969789E6.*MBI.^4+x(1).^3.*(0.323852E6+0.6255E4.*MBI)+x
    (1).^2.*( ...
193 0.21115E9+0.828524E7.*MBI+0.80012E5.*MBI.^2)+x(1)
    .*(0.601895E11+ ...
194 0.360129E10.*MBI+0.706548E8.*MBI.^2+0.454884E6.*MBI.^3))
    .*sin(x(2)) ...
195 ))).^(-1));
196 Fxa=0.1683E4.*rc.*((-5)+YMAX+(-0.316669E-4).*(0.104179E5+x
    (1)+ ...
197 0.852779E1.*MBI).*cos(x(2)))+(0.397235E3+x(1)+0.852779E1
    .*MBI).^(-1) ...
198 .*(0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x
    (1)+ ...
199 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.138149E11+0.875586E8.*x(1)
    +0.183028E6.* ...

```

200 $x(1)^2 + 0.126225E3 * x(1)^3 + 0.746682E9 * MBI + 0.312166E7 * x(1) * MBI + \dots$
 201 $0.322926E4 * x(1)^2 * MBI + 0.133104E8 * MBI^2 + 0.275385E5 * x(1) * \dots$
 202 $MBI^2 + 0.782808E5 * MBI^3 + (0.358604E12 + 0.199501E-2 * x(1)^4 + \dots$
 203 $x(1)^3 * (0.326368E4 + 0.680523E-1 * MBI) + 0.19355E11 * MBI + 0.344538E9 * \dots$
 204 $MBI^2 + 0.202403E7 * MBI^3 + 0.10551E2 * MBI^4 + x(1)^2 * (0.473766E7 + \dots$
 205 $0.83496E5 * MBI + 0.870504E0 * MBI^2) + x(1) * (0.226964E10 + 0.808036E8 * \dots$
 206 $MBI + 0.712037E6 * MBI^2 + 0.494898E1 * MBI^3) * \cos(x(2)) + (\dots$
 207 $0.285293E12 + 0.259417E4 * x(1)^3 + 0.153967E11 * MBI + 0.274023E9 * \dots$
 208 $MBI^2 + 0.160882E7 * MBI^3 + x(1)^2 * (0.376802E7 + 0.663676E5 * MBI) + \dots$
 209 $x(1) * (0.180548E10 + 0.642658E8 * MBI + 0.565969E6 * MBI^2) * \sin(x(2)) + \dots$
 210 $0.8415E3 * (0.5E-1 + 0.19635E-2 * (0.311957E3 + x(1) + 0.852779E1 * MBI)^{\dots$
 211 $-1) * (0.210375E2 + (0.397235E3 + x(1) + 0.852779E1 * MBI)^{-1}) * (\dots$
 212 $0.482513E3 + x(1) + 0.852779E1 * MBI)^{-1} * (0.567791E3 + x(1) + \dots$
 213 $0.852779E1 * MBI)^{-1} * (0.138149E11 + 0.875586E8 * x(1) + 0.183028E6 * \dots$
 214 $x(1)^2 + 0.126225E3 * x(1)^3 + 0.746682E9 * MBI + 0.312166E7 * x(1) * MBI + \dots$
 215 $0.322926E4 * x(1)^2 * MBI + 0.133104E8 * MBI^2 + 0.275385E5 * x(1) * \dots$
 216 $MBI^2 + 0.782808E5 * MBI^3 + (0.358604E12 + 0.199501E-2 * x(1)^4 + \dots$
 217 $x(1)^3 * (0.326368E4 + 0.680523E-1 * MBI) + 0.19355E11 * MBI + 0.344538E9 * \dots$
 218 $MBI^2 + 0.202403E7 * MBI^3 + 0.10551E2 * MBI^4 + x(1)^2 * (0.473766E7 + \dots$
 219 $0.83496E5 * MBI + 0.870504E0 * MBI^2) + x(1) * (0.226964E10 + 0.808036E8 * \dots$
 220 $MBI + 0.712037E6 * MBI^2 + 0.494898E1 * MBI^3) * \cos(x(2)) + (\dots$
 221 $0.285293E12 + 0.259417E4 * x(1)^3 + 0.153967E11 * MBI + 0.274023E9 * \dots$
 222 $MBI^2 + 0.160882E7 * MBI^3 + x(1)^2 * (0.376802E7 + 0.663676E5 * MBI) + \dots$

223 $x(1) \cdot (0.180548E10 + 0.642658E8 \cdot \text{MBI} + 0.565969E6 \cdot \text{MBI}^2)$
 $\cdot \sin(x(2))) \dots$
224 $) + 0.8415E3 \cdot (0.3E0 + 0.108347E-1 \cdot \text{MBI}^{2/3} + 0.706858E$
 $-1 \cdot (\dots$
225 $0.105331E3 + x(1) + 0.852779E1 \cdot \text{MBI} \cdot (-1) \cdot (0.126225E3$
 $+ (0.397235E3 + \dots$
226 $x(1) + 0.852779E1 \cdot \text{MBI} \cdot (-1) \cdot (0.482513E3 + x(1) + 0.852779E1$
 $\cdot \text{MBI} \cdot (-1) \dots$
227 $\cdot (0.567791E3 + x(1) + 0.852779E1 \cdot \text{MBI} \cdot (-1) \cdot (0.138149E11 +$
 \dots
228 $0.875586E8 \cdot x(1) + 0.183028E6 \cdot x(1)^2 + 0.126225E3 \cdot x(1)$
 $\cdot^3 + 0.746682E9 \cdot \dots$
229 $\text{MBI} + 0.312166E7 \cdot x(1) \cdot \text{MBI} + 0.322926E4 \cdot x(1)^2 \cdot \text{MBI}$
 $+ 0.133104E8 \cdot \dots$
230 $\text{MBI}^2 + 0.275385E5 \cdot x(1) \cdot \text{MBI}^2 + 0.782808E5 \cdot \text{MBI}$
 $\cdot^3 + (0.358604E12 + \dots$
231 $0.199501E-2 \cdot x(1)^4 + x(1)^3 \cdot (0.326368E4 + 0.680523E-1 \cdot$
 $\text{MBI}) + \dots$
232 $0.19355E11 \cdot \text{MBI} + 0.344538E9 \cdot \text{MBI}^2 + 0.202403E7 \cdot \text{MBI}$
 $\cdot^3 + 0.10551E2 \cdot \dots$
233 $\text{MBI}^4 + x(1)^2 \cdot (0.473766E7 + 0.83496E5 \cdot \text{MBI} + 0.870504E0 \cdot$
 $\text{MBI}^2) + \dots$
234 $x(1) \cdot (0.226964E10 + 0.808036E8 \cdot \text{MBI} + 0.712037E6 \cdot \text{MBI}$
 $\cdot^2 + 0.494898E1 \cdot \dots$
235 $\text{MBI}^3) \cdot \cos(x(2)) + (0.285293E12 + 0.259417E4 \cdot x(1)$
 $\cdot^3 + 0.153967E11 \cdot \dots$
236 $\text{MBI} + 0.274023E9 \cdot \text{MBI}^2 + 0.160882E7 \cdot \text{MBI}^3 + x(1)$
 $\cdot^2 \cdot (0.376802E7 + \dots$
237 $0.663676E5 \cdot \text{MBI} + x(1) \cdot (0.180548E10 + 0.642658E8 \cdot \text{MBI}$
 $+ 0.565969E6 \cdot \dots$
238 $\text{MBI}^2) \cdot \sin(x(2)) + 0.8415E3 \cdot (0.5E-1 + 0.19635E$
 $-2 \cdot (0.311957E3 + x(1) + \dots$
239 $0.852779E1 \cdot \text{MBI} \cdot (-1) \cdot (0.210375E2 + (0.397235E3 + x(1)$
 $+ 0.852779E1 \cdot \dots$
240 $\text{MBI} \cdot (-1) \cdot (0.482513E3 + x(1) + 0.852779E1 \cdot \text{MBI} \cdot (-1)$
 $\cdot (0.567791E3 + \dots$
241 $x(1) + 0.852779E1 \cdot \text{MBI} \cdot (-1) \cdot (0.138149E11 + 0.875586E8 \cdot x$
 $(1) + \dots$
242 $0.183028E6 \cdot x(1)^2 + 0.126225E3 \cdot x(1)^3 + 0.746682E9 \cdot \text{MBI}$
 $+ 0.312166E7 \cdot \dots$
243 $x(1) \cdot \text{MBI} + 0.322926E4 \cdot x(1)^2 \cdot \text{MBI} + 0.133104E8 \cdot \text{MBI}$
 $\cdot^2 + 0.275385E5 \cdot \dots$
244 $x(1) \cdot \text{MBI}^2 + 0.782808E5 \cdot \text{MBI}^3 + (0.358604E12 + 0.199501E$
 $-2 \cdot x(1)^4 + \dots$
245 $x(1)^3 \cdot (0.326368E4 + 0.680523E-1 \cdot \text{MBI}) + 0.19355E11 \cdot \text{MBI}$
 $+ 0.344538E9 \cdot \dots$

```

246     MBI.^2+0.202403E7.*MBI.^3+0.10551E2.*MBI.^4+x(1)
      .^2.*(0.473766E7+ ...
247     0.83496E5.*MBI+0.870504E0.*MBI.^2)+x(1).*(0.226964E10
      +0.808036E8.* ...
248     MBI+0.712037E6.*MBI.^2+0.494898E1.*MBI.^3)).*cos(x(2)))+(
      ...
249     0.285293E12+0.259417E4.*x(1).^3+0.153967E11.*MBI
      +0.274023E9.* ...
250     MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x(1).^2.*(0.376802E7+0.663676
      E5.*MBI)+ ...
251     x(1).*(0.180548E10+0.642658E8.*MBI+0.565969E6.*MBI.^2))
      .*sin(x(2))) ...
252     ));
253     Fya=x(1)+(-0.852779E1).*L.*lambda0;
254     ymax = -5+YMAX+(-0.316669E-4).*(0.104179E5+x(1)+0.852779E1
      .*MBI).*cos(x(2));
255     sol = ode45(@equ,[0 30],[0,Fya/Fxa]);
256     XMA(ii)=fsolve(@equ2,20);
257     YMA(ii) =YMAX;
258     a(ii)=0.316669E-4.*(0.104179E5+x(1)+0.852779E1.*MBI);
259
260     end
261     figure(1);
262     plot(YMA,thetb/pi*180);
263     grid on;
264
265     figure(4);
266     plot(YMA,ph/pi*180);
267     grid on;
268
269     figure(2);
270     plot(YMA,alp/pi*180);
271     grid on;
272
273     figure(3);
274     plot(YMA,XMA);
275     grid on;
276
277     figure(5);
278     plot(YMA,a);
279     grid on;

```

10 SA-function

```

1 function y=SA_function(ss)

```

```

2
3 MAX_FITNESS = 500;
4 global lambda0;
5 global rc;
6 global Fxa;
7 global ymax;
8 global sol;
9
10 lambda0=7.0;
11 rc=0.014;
12
13
14 MBI=ss(1);
15 L=ss(2);
16
17 YMAX = 20;
18 try
19     f = @(x) [(quadl(@(t) ((t+0.197355E3.*lambda0.^(-1).*rc
20         .*(1+t.^2).^(-1/2)).^(-1)) ,...
21         (x(1)+(-0.852779E1).*L.*lambda0).^(-1).*0.1683E4.*rc
22         .*((-5)+YMAX+( ...
23         -0.316669E-4).*0.104179E5+x(1)+0.852779E1.*MBI).*cos(x
24         (2)))+( ...
25         0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*0.482513E3+x(1)
26         + ...
27         0.852779E1.*MBI).^(-1).*0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
28         ).^(-1).* ( ...
29         0.138149E11+0.875586E8.*x(1)+0.183028E6.*x(1)
30         .^2+0.126225E3.*x(1).^3+ ...
31         0.746682E9.*MBI+0.312166E7.*x(1).*MBI+0.322926E4.*x(1)
32         .^2.*MBI+ ...
33         0.133104E8.*MBI.^2+0.275385E5.*x(1).*MBI.^2+0.782808E5.*
34         MBI.^3+( ...
35         0.358604E12+0.199501E-2.*x(1).^4+x(1).^3.*(0.326368E4
36         +0.680523E-1.* ...
37         MBI)+0.19355E11.*MBI+0.344538E9.*MBI.^2+0.202403E7.*MBI
38         .^3+ ...
39         0.10551E2.*MBI.^4+x(1).^2.*(0.473766E7+0.83496E5.*MBI
40         +0.870504E0.* ...
41         MBI.^2)+x(1).*0.226964E10+0.808036E8.*MBI+0.712037E6.*
42         MBI.^2+ ...
43         0.494898E1.*MBI.^3)].*cos(x(2))+(0.285293E12+0.259417E4
44         .*x(1).^3+ ...
45         0.153967E11.*MBI+0.274023E9.*MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x
46         (1).^2.*( ...
47         0.376802E7+0.663676E5.*MBI)+x(1).*0.180548E10+0.642658

```

E8.*MBI+ ...

34 0.565969E6.*MBI.^2)).*sin(x(2)))+0.8415E3.*(0.5E
-1+(0.311957E3+x(1)+ ...

35 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
).^(-1).*(...

36 0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x(1)
+ ...

37 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.316208E8+0.200472E6.*x(1)
+0.419169E3.* ...

38 x(1).^2+0.289149E0.*x(1).^3+0.170958E7.*MBI+0.714917E4.*
x(1).*MBI+ ...

39 0.739741E1.*x(1).^2.*MBI+0.304833E5.*MBI.^2+0.630836E2.*
x(1).* ...

40 MBI.^2+0.179321E3.*MBI.^3+(0.704118E9+0.39172E-5.*x(1)
.^4+x(1).^3.*(...

41 0.640822E1+0.13362E-3.*MBI)+0.380035E8.*MBI+0.676499E6.*
MBI.^2+ ...

42 0.397418E4.*MBI.^3+0.207168E-1.*MBI.^4+x(1)
.^2.*(0.930237E4+ ...

43 0.163944E3.*MBI+0.170923E-2.*MBI.^2)+x(1).*(0.445643E7
+0.158657E6.* ...

44 MBI+0.139808E4.*MBI.^2+0.971731E-2.*MBI.^3)).*cos(x(2))
+(...

45 0.560172E9+0.509364E1.*x(1).^3+0.302314E8.*MBI+0.538042
E6.*MBI.^2+ ...

46 0.315892E4.*MBI.^3+x(1).^2.*(0.739849E4+0.130313E3.*MBI)
+x(1).*(...

47 0.354505E7+0.126186E6.*MBI+0.111128E4.*MBI.^2)).*sin(x
(2)))+ ...

48 0.8415E3.*(0.3E0+0.108347E-1.*MBI.^(2/3)+(0.105331E3+x
(1)+ ...

49 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.311957E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
).^(-1).*(...

50 0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.482513E3+x(1)
+ ...

51 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
).^(-1).*(...

52 0.710394E12+0.677896E10.*x(1)+0.238447E8.*x(1)
.^2+0.366698E5.* ...

53 x(1).^3+0.208187E2.*x(1).^4+0.578096E11.*MBI+0.406685E9
.*x(1).*MBI+ ...

54 0.938137E6.*x(1).^2.*MBI+0.710152E3.*x(1).^3.*MBI
+0.173406E10.* ...

55 MBI.^2+0.800024E7.*x(1).*MBI.^2+0.908404E4.*x(1).^2.*MBI
.^2+ ...

56 0.227415E8.*MBI.^3+0.516445E5.*x(1).*MBI.^3+0.110104E6.*

```

    MBI.^4+( ...
57 0.794944E13+0.141019E-3.*x(1).^5+x(1).^4.*(0.23074E3
    +0.601292E-2.* ...
58 MBI)+0.645222E12.*MBI+0.193047E11.*MBI.^2+0.252554E9.*
    MBI.^3+ ...
59 0.122031E7.*MBI.^4+0.636007E1.*MBI.^5+x(1).^3.*(0.407234
    E6+ ...
60 0.787082E4.*MBI+0.102554E0.*MBI.^2)+x(1).^2.*(0.265455E9
    + ...
61 0.104184E8.*MBI+0.100681E6.*MBI.^2+0.874558E0.*MBI.^3)+x
    (1).*( ...
62 0.75661E11+0.452749E10.*MBI+0.888461E8.*MBI.^2+0.572392
    E6.*MBI.^3+ ...
63 0.372902E1.*MBI.^4)).*cos(x(2))+(0.632431E13+0.183371E3
    .*x(1).^4+ ...
64 0.513284E12.*MBI+0.153555E11.*MBI.^2+0.200843E9.*MBI.^3+
    ...
65 0.969789E6.*MBI.^4+x(1).^3.*(0.323852E6+0.6255E4.*MBI)+x
    (1).^2.*( ...
66 0.21115E9+0.828524E7.*MBI+0.80012E5.*MBI.^2)+x(1)
    .*(0.601895E11+ ...
67 0.360129E10.*MBI+0.706548E8.*MBI.^2+0.454884E6.*MBI.^3))
    .*sin(x(2)) ...
68 ))) ...
69 ,...
70 x(1).^(-1).*(0.105331E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1)
    .*(0.311957E3+ ...
71 x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.397235E3+x(1)+0.852779
    E1.*MBI).^(-1) ...
72 .*(0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3
    +x(1)+ ...
73 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.210775E16+0.34455E14.*x(1)
    +0.207646E12.* ...
74 x(1).^2+0.590471E9.*x(1).^3+0.802701E6.*x(1)
    .^4+0.42075E3.*x(1).^5+ ...
75 0.326037E14.*MBI.^(2/3)+0.62112E12.*x(1).*MBI.^(2/3)
    +0.405558E10.* ...
76 x(1).^2.*MBI.^(2/3)+0.121087E8.*x(1).^3.*MBI.^(2/3)
    +0.170024E5.* ...
77 x(1).^4.*MBI.^(2/3)+0.911744E1.*x(1).^5.*MBI.^(2/3)
    +0.293825E15.* ...
78 MBI+0.354153E13.*x(1).*MBI+0.151062E11.*x(1).^2.*MBI
    +0.273811E8.* ...
79 x(1).^3.*MBI+0.179403E5.*x(1).^4.*MBI+0.529678E13.*MBI
    .^(5/3)+ ...
80 0.691703E11.*x(1).*MBI.^(5/3)+0.309782E9.*x(1).^2.*MBI

```



```

104         +0.218568E10.*MBI.^2+ ...
0.160882E8.*MBI.^3)+x(1).*(0.22981E15+0.229198E14.*MBI
105         + ...
0.816449E12.*MBI.^2+0.12426E11.*MBI.^3+0.685986E8.*MBI
106         .^4)).*sin( ...
x(2))) ...
107 )+log(0.117264E0.*x(1).*(0.117264E0.*x(1)+(-0.1E1).*L.*
lambda0).^(-1));
108 (((0.324343E4+0.31588E-7.*x(1).^2+x(1).*(0.658161E
-3+0.538751E-6.* ...
109 MBI)+(0.561266E-2+0.229718E-5.*MBI).*MBI).*cos(x(2)).^2+
...
110 0.254469E4.*cos(x(2)).*sin(x(2)))+(0.980665E4+(-0.21E2).*
sin(x(2))).* ...
111 sin(x(2)))-((sin(x(2)).*(0.789468E4+0.158335E
-4.*(0.104179E5+x(1)+ ...
112 0.852779E1.*MBI).^2+0.394734E4.*tan(x(2).^2))))];
113 x = fsolve(f, [5000, 0], optimset('MaxFunEvals',600));
114 alpha=atan((x(1)+(-0.852779E1).*L.*lambda0).*(0.1683E4.*rc
.*((-5)+YMAX+( ...
115 -0.316669E-4).*(0.104179E5+x(1)+0.852779E1.*MBI).*cos(x
(2)))+( ...
116 0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.482513E3+x(1)
+ ...
117 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
).^(-1).*( ...
118 0.138149E11+0.875586E8.*x(1)+0.183028E6.*x(1)
.^2+0.126225E3.*x(1).^3+ ...
119 0.746682E9.*MBI+0.312166E7.*x(1).*MBI+0.322926E4.*x(1)
.^2.*MBI+ ...
120 0.133104E8.*MBI.^2+0.275385E5.*x(1).*MBI.^2+0.782808E5.*
MBI.^3+( ...
121 0.358604E12+0.199501E-2.*x(1).^4+x(1).^3.*(0.326368E4
+0.680523E-1.* ...
122 MBI)+0.19355E11.*MBI+0.344538E9.*MBI.^2+0.202403E7.*MBI
.^3+ ...
123 0.10551E2.*MBI.^4+x(1).^2.*(0.473766E7+0.83496E5.*MBI
+0.870504E0.* ...
124 MBI.^2)+x(1).*(0.226964E10+0.808036E8.*MBI+0.712037E6.*
MBI.^2+ ...
125 0.494898E1.*MBI.^3)).*cos(x(2)))+(0.285293E12+0.259417E4
.*x(1).^3+ ...
126 0.153967E11.*MBI+0.274023E9.*MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x
(1).^2.*( ...
127 0.376802E7+0.663676E5.*MBI)+x(1).*(0.180548E10+0.642658
E8.*MBI+ ...

```

128 $0.565969E6.*MBI.^2)).*\sin(x(2)))+0.8415E3.*(0.5E$
 $-1+(0.311957E3+x(1)+...$
129 $0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI$
 $).^(-1).*(...$
130 $0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x(1)$
 $+...$
131 $0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.316208E8+0.200472E6.*x(1)$
 $+0.419169E3.*...$
132 $x(1).^2+0.289149E0.*x(1).^3+0.170958E7.*MBI+0.714917E4.*$
 $x(1).*MBI+...$
133 $0.739741E1.*x(1).^2.*MBI+0.304833E5.*MBI.^2+0.630836E2.*$
 $x(1).*...$
134 $MBI.^2+0.179321E3.*MBI.^3+(0.704118E9+0.39172E-5.*x(1)$
 $).^4+x(1).^3.*(...$
135 $0.640822E1+0.13362E-3.*MBI)+0.380035E8.*MBI+0.676499E6.*$
 $MBI.^2+...$
136 $0.397418E4.*MBI.^3+0.207168E-1.*MBI.^4+x(1)$
 $).^2.*(0.930237E4+...$
137 $0.163944E3.*MBI+0.170923E-2.*MBI.^2)+x(1).*(0.445643E7$
 $+0.158657E6.*...$
138 $MBI+0.139808E4.*MBI.^2+0.971731E-2.*MBI.^3)).*\cos(x(2))$
 $+(...$
139 $0.560172E9+0.509364E1.*x(1).^3+0.302314E8.*MBI+0.538042$
 $E6.*MBI.^2+...$
140 $0.315892E4.*MBI.^3+x(1).^2.*(0.739849E4+0.130313E3.*MBI)$
 $+x(1).*(...$
141 $0.354505E7+0.126186E6.*MBI+0.111128E4.*MBI.^2)).*\sin(x$
 $(2)))+...$
142 $0.8415E3.*(0.3E0+0.108347E-1.*MBI.^(2/3)+(0.105331E3+x$
 $(1)+...$
143 $0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.311957E3+x(1)+0.852779E1.*MBI$
 $).^(-1).*(...$
144 $0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.482513E3+x(1)$
 $+...$
145 $0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI$
 $).^(-1).*(...$
146 $0.710394E12+0.677896E10.*x(1)+0.238447E8.*x(1)$
 $).^2+0.366698E5.*...$
147 $x(1).^3+0.208187E2.*x(1).^4+0.578096E11.*MBI+0.406685E9$
 $.*x(1).*MBI+...$
148 $0.938137E6.*x(1).^2.*MBI+0.710152E3.*x(1).^3.*MBI$
 $+0.173406E10.*...$
149 $MBI.^2+0.800024E7.*x(1).*MBI.^2+0.908404E4.*x(1).^2.*MBI$
 $).^2+...$
150 $0.227415E8.*MBI.^3+0.516445E5.*x(1).*MBI.^3+0.110104E6.*$
 $MBI.^4+(...$

```

151      0.794944E13+0.141019E-3.*x(1).^5+x(1).^4.*(0.23074E3
      +0.601292E-2.* ...
152      MBI)+0.645222E12.*MBI+0.193047E11.*MBI.^2+0.252554E9.*
      MBI.^3+ ...
153      0.122031E7.*MBI.^4+0.636007E1.*MBI.^5+x(1).^3.*(0.407234
      E6+ ...
154      0.787082E4.*MBI+0.102554E0.*MBI.^2)+x(1).^2.*(0.265455E9
      + ...
155      0.104184E8.*MBI+0.100681E6.*MBI.^2+0.874558E0.*MBI.^3)+x
      (1).*( ...
156      0.75661E11+0.452749E10.*MBI+0.888461E8.*MBI.^2+0.572392
      E6.*MBI.^3+ ...
157      0.372902E1.*MBI.^4)).*cos(x(2))+(0.632431E13+0.183371E3
      .*x(1).^4+ ...
158      0.513284E12.*MBI+0.153555E11.*MBI.^2+0.200843E9.*MBI.^3+
      ...
159      0.969789E6.*MBI.^4+x(1).^3.*(0.323852E6+0.6255E4.*MBI)+x
      (1).^2.*( ...
160      0.21115E9+0.828524E7.*MBI+0.80012E5.*MBI.^2)+x(1)
      *(0.601895E11+ ...
161      0.360129E10.*MBI+0.706548E8.*MBI.^2+0.454884E6.*MBI.^3))
      .*sin(x(2)) ...
162      ))).^(-1));
163      a=0.316669E-4.*(0.104179E5+x(1)+0.852779E1.*MBI);
164      YMAX = 16;
165      f = @(x) [(quadl(@(t) ((t+0.197355E3.*lambda0.^(-1).*rc
      *(1+t.^2).^(-1/2)).^(-1)), ...
166      (x(1)+(-0.852779E1).*L.*lambda0).^(-1).*0.1683E4.*rc
      .*((-5)+YMAX+( ...
167      -0.316669E-4).*0.104179E5+x(1)+0.852779E1.*MBI).*cos(x
      (2)))+( ...
168      0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*0.482513E3+x(1)
      + ...
169      0.852779E1.*MBI).^(-1).*0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
      ).^(-1).*( ...
170      0.138149E11+0.875586E8.*x(1)+0.183028E6.*x(1)
      .^2+0.126225E3.*x(1).^3+ ...
171      0.746682E9.*MBI+0.312166E7.*x(1).*MBI+0.322926E4.*x(1)
      .^2.*MBI+ ...
172      0.133104E8.*MBI.^2+0.275385E5.*x(1).*MBI.^2+0.782808E5.*
      MBI.^3+( ...
173      0.358604E12+0.199501E-2.*x(1).^4+x(1).^3.*(0.326368E4
      +0.680523E-1.* ...
174      MBI)+0.19355E11.*MBI+0.344538E9.*MBI.^2+0.202403E7.*MBI
      .^3+ ...
175      0.10551E2.*MBI.^4+x(1).^2.*(0.473766E7+0.83496E5.*MBI

```

```

+0.870504E0.* ...
176 MBI.^2)+x(1).*(0.226964E10+0.808036E8.*MBI+0.712037E6.*
    MBI.^2+ ...
177 0.494898E1.*MBI.^3)).*cos(x(2))+(0.285293E12+0.259417E4
    .*x(1).^3+ ...
178 0.153967E11.*MBI+0.274023E9.*MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x
    (1).^2.*( ...
179 0.376802E7+0.663676E5.*MBI)+x(1).*(0.180548E10+0.642658
    E8.*MBI+ ...
180 0.565969E6.*MBI.^2)).*sin(x(2)))+0.8415E3.*(0.5E
    -1+(0.311957E3+x(1)+ ...
181 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
    ).^(-1).*( ...
182 0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x(1)
    + ...
183 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.316208E8+0.200472E6.*x(1)
    +0.419169E3.* ...
184 x(1).^2+0.289149E0.*x(1).^3+0.170958E7.*MBI+0.714917E4.*
    x(1).*MBI+ ...
185 0.739741E1.*x(1).^2.*MBI+0.304833E5.*MBI.^2+0.630836E2.*
    x(1).* ...
186 MBI.^2+0.179321E3.*MBI.^3+(0.704118E9+0.39172E-5.*x(1)
    ).^4+x(1).^3.*( ...
187 0.640822E1+0.13362E-3.*MBI)+0.380035E8.*MBI+0.676499E6.*
    MBI.^2+ ...
188 0.397418E4.*MBI.^3+0.207168E-1.*MBI.^4+x(1)
    .^2.*(0.930237E4+ ...
189 0.163944E3.*MBI+0.170923E-2.*MBI.^2)+x(1).*(0.445643E7
    +0.158657E6.* ...
190 MBI+0.139808E4.*MBI.^2+0.971731E-2.*MBI.^3)).*cos(x(2))
    +( ...
191 0.560172E9+0.509364E1.*x(1).^3+0.302314E8.*MBI+0.538042
    E6.*MBI.^2+ ...
192 0.315892E4.*MBI.^3+x(1).^2.*(0.739849E4+0.130313E3.*MBI)
    +x(1).*( ...
193 0.354505E7+0.126186E6.*MBI+0.111128E4.*MBI.^2)).*sin(x
    (2)))+ ...
194 0.8415E3.*(0.3E0+0.108347E-1.*MBI.^(2/3))+0.105331E3+x
    (1)+ ...
195 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.311957E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
    ).^(-1).*( ...
196 0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.482513E3+x(1)
    + ...
197 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI
    ).^(-1).*( ...
198 0.710394E12+0.677896E10.*x(1)+0.238447E8.*x(1)

```

```

    .^2+0.366698E5.* ...
199 x(1).^3+0.208187E2.*x(1).^4+0.578096E11.*MBI+0.406685E9
    .*x(1).*MBI+ ...
200 0.938137E6.*x(1).^2.*MBI+0.710152E3.*x(1).^3.*MBI
    +0.173406E10.* ...
201 MBI.^2+0.800024E7.*x(1).*MBI.^2+0.908404E4.*x(1).^2.*MBI
    .^2+ ...
202 0.227415E8.*MBI.^3+0.516445E5.*x(1).*MBI.^3+0.110104E6.*
    MBI.^4+( ...
203 0.794944E13+0.141019E-3.*x(1).^5+x(1).^4.*(0.23074E3
    +0.601292E-2.* ...
204 MBI)+0.645222E12.*MBI+0.193047E11.*MBI.^2+0.252554E9.*
    MBI.^3+ ...
205 0.122031E7.*MBI.^4+0.636007E1.*MBI.^5+x(1).^3.*(0.407234
    E6+ ...
206 0.787082E4.*MBI+0.102554E0.*MBI.^2)+x(1).^2.*(0.265455E9
    + ...
207 0.104184E8.*MBI+0.100681E6.*MBI.^2+0.874558E0.*MBI.^3)+x
    (1).*( ...
208 0.75661E11+0.452749E10.*MBI+0.888461E8.*MBI.^2+0.572392
    E6.*MBI.^3+ ...
209 0.372902E1.*MBI.^4)).*cos(x(2))+(0.632431E13+0.183371E3
    .*x(1).^4+ ...
210 0.513284E12.*MBI+0.153555E11.*MBI.^2+0.200843E9.*MBI.^3+
    ...
211 0.969789E6.*MBI.^4+x(1).^3.*(0.323852E6+0.6255E4.*MBI)+x
    (1).^2.*( ...
212 0.21115E9+0.828524E7.*MBI+0.80012E5.*MBI.^2)+x(1)
    .*(0.601895E11+ ...
213 0.360129E10.*MBI+0.706548E8.*MBI.^2+0.454884E6.*MBI.^3))
    .*sin(x(2)) ...
214 ))) ...
215 ,...
216 x(1).^(-1).*(0.105331E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1)
    .*(0.311957E3+ ...
217 x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.397235E3+x(1)+0.852779
    E1.*MBI).^(-1) ...
218 .*(0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3
    +x(1)+ ...
219 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.210775E16+0.34455E14.*x(1)
    +0.207646E12.* ...
220 x(1).^2+0.590471E9.*x(1).^3+0.802701E6.*x(1)
    .^4+0.42075E3.*x(1).^5+ ...
221 0.326037E14.*MBI.^(2/3)+0.62112E12.*x(1).*MBI.^(2/3)
    +0.405558E10.* ...
222 x(1).^2.*MBI.^(2/3)+0.121087E8.*x(1).^3.*MBI.^(2/3)

```

+0.170024E5.* ...
 223 $x(1)^4 * MBI^{2/3} + 0.911744E1 * x(1)^5 * MBI^{2/3}$
 +0.293825E15.* ...
 224 $MBI + 0.354153E13 * x(1) * MBI + 0.151062E11 * x(1)^2 * MBI$
 +0.273811E8.* ...
 225 $x(1)^3 * MBI + 0.179403E5 * x(1)^4 * MBI + 0.529678E13 * MBI$
 $^{5/3} + \dots$
 226 $0.691703E11 * x(1) * MBI^{5/3} + 0.309782E9 * x(1)^2 * MBI$
 $^{5/3} + \dots$
 227 $0.579973E6 * x(1)^3 * MBI^{5/3} + 0.388758E3 * x(1)^4 * MBI$
 $^{5/3} + \dots$
 228 $0.151007E14 * MBI^2 + 0.128823E12 * x(1) * MBI^2 + 0.35025$
 $E9 * x(1)^2 * \dots$
 229 $MBI^2 + 0.305983E6 * x(1)^3 * MBI^2 + 0.294935E12 * MBI$
 $^{8/3} + \dots$
 230 $0.264175E10 * x(1) * MBI^{8/3} + 0.741884E7 * x(1)^2 * MBI$
 $^{8/3} + \dots$
 231 $0.66305E4 * x(1)^3 * MBI^{8/3} + 0.366192E12 * MBI$
 $^3 + 0.199124E10 * \dots$
 232 $x(1) * MBI^3 + 0.260936E7 * x(1)^2 * MBI^3 + 0.750944E10 * MBI$
 $^{11/3} + \dots$
 233 $0.421775E8 * x(1) * MBI^{11/3} + 0.565435E5 * x(1)^2 * MBI$
 $^{11/3} + \dots$
 234 $0.424522E10 * MBI^4 + 0.11126E8 * x(1) * MBI^4 + 0.899203E8$
 $* MBI^{14/3} + \dots$
 235 $+ 0.241096E6 * x(1) * MBI^{14/3} + 0.189761E8 * MBI$
 $^5 + 0.411203E6 * \dots$
 236 $MBI^{17/3} + (0.185351E17 + 0.199501E-2 * x(1)^6 + x(1)$
 $^5 * (0.326464E4 + \dots$
 237 $0.102078E0 * MBI) + 0.246347E16 * MBI + 0.122853E15 * MBI^2 +$
 \dots
 238 $0.291785E13 * MBI^3 + 0.333143E11 * MBI^4 + 0.147237E9 * MBI$
 $^5 + \dots$
 239 $0.767301E3 * MBI^6 + x(1)^4 * (0.629918E7 + 0.139201E6 * MBI$
 $+ \dots$
 240 $0.217626E1 * MBI^2) + x(1)^3 * (0.470493E10 + 0.214872E9 * MBI$
 $+ \dots$
 241 $0.237415E7 * MBI^2 + 0.247449E2 * MBI^3) + x(1)^2 * (0.168933E13 + \dots$
 242 $0.120368E12 * MBI + 0.274858E10 * MBI^2 + 0.202463E8 * MBI$
 $^3 + \dots$
 243 $0.158265E3 * MBI^4) + x(1) * (0.288875E15 + 0.288125E14 * MBI$
 $+ \dots$
 244 $0.102647E13 * MBI^2 + 0.156262E11 * MBI^3 + 0.863279E8 * MBI$
 $^4 + \dots$
 245 $0.539859E3 * MBI^5) * \cos(x(2)) + (0.147459E17 + 0.259417$

```

E4.*x(1).^5+ ...
246 0.195977E16.*MBI+0.977277E14.*MBI.^2+0.232084E13.*MBI
.^3+ ...
247 0.264916E11.*MBI.^4+0.116999E9.*MBI.^5+x(1)
.^4.*(0.500913E7+ ...
248 0.110613E6.*MBI)+x(1).^3.*(0.374227E10+0.170867E9.*MBI
+0.188656E7.* ...
249 MBI.^2)+x(1).^2.*(0.134383E13+0.957398E11.*MBI
+0.218568E10.*MBI.^2+ ...
250 0.160882E8.*MBI.^3)+x(1).*(0.22981E15+0.229198E14.*MBI
+ ...
251 0.816449E12.*MBI.^2+0.12426E11.*MBI.^3+0.685986E8.*MBI
.^4)).*sin( ...
252 x(2)) ...
253 )+log(0.117264E0.*x(1).*(0.117264E0.*x(1)+(-0.1E1).*L.*
lambda0).^(-1));
254 (((0.324343E4+0.31588E-7.*x(1).^2+x(1).*(0.658161E
-3+0.538751E-6.* ...
255 MBI)+(0.561266E-2+0.229718E-5.*MBI).*MBI).*cos(x(2)).^2+
...
256 0.254469E4.*cos(x(2)).*sin(x(2)))+(0.980665E4+(-0.21E2).*
sin(x(2))).* ...
257 sin(x(2)))-((sin(x(2))).*(0.789468E4+0.158335E
-4.*(0.104179E5+x(1)+ ...
258 0.852779E1.*MBI).^2+0.394734E4.*tan(x(2).^2))))];
259 x = fsolve(f, [5000, 0], optimset('MaxFunEvals',600));
260 thetab=(0.105331E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.126225
E3+(0.397235E3+ ...
261 x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.482513E3+x(1)+0.852779E1
.*MBI).^(-1) ...
262 .*(0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.138149E11+
...
263 0.875586E8.*x(1)+0.183028E6.*x(1).^2+0.126225E3.*x(1)
.^3+0.746682E9.* ...
264 MBI+0.312166E7.*x(1).*MBI+0.322926E4.*x(1).^2.*MBI
+0.133104E8.* ...
265 MBI.^2+0.275385E5.*x(1).*MBI.^2+0.782808E5.*MBI
.^3+(0.358604E12+ ...
266 0.199501E-2.*x(1).^4+x(1).^3.*(0.326368E4+0.680523E-1.*
MBI)+ ...
267 0.19355E11.*MBI+0.344538E9.*MBI.^2+0.202403E7.*MBI
.^3+0.10551E2.* ...
268 MBI.^4+x(1).^2.*(0.473766E7+0.83496E5.*MBI+0.870504E0.*
MBI.^2)+ ...
269 x(1).*(0.226964E10+0.808036E8.*MBI+0.712037E6.*MBI
.^2+0.494898E1.* ...

```

```

270     MBI.^3) .* cos(x(2)) +(0.285293E12+0.259417E4.*x(1)
      .^3+0.153967E11.* ...
271     MBI+0.274023E9.*MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x(1)
      .^2.*(0.376802E7+ ...
272     0.663676E5.*MBI)+x(1) *(0.180548E10+0.642658E8.*MBI
      +0.565969E6.* ...
273     MBI.^2) .* sin(x(2)))+0.8415E3.*(0.5E-1+0.19635E
      -2.*(0.311957E3+x(1)+ ...
274     0.852779E1.*MBI).^(-1) *(0.210375E2+(0.397235E3+x(1)
      +0.852779E1.* ...
275     MBI).^(-1) *(0.482513E3+x(1) +0.852779E1.*MBI).^(-1)
      *(0.567791E3+ ...
276     x(1) +0.852779E1.*MBI).^(-1) *(0.138149E11+0.875586E8.*x
      (1)+ ...
277     0.183028E6.*x(1).^2+0.126225E3.*x(1).^3+0.746682E9.*MBI
      +0.312166E7.* ...
278     x(1) .*MBI+0.322926E4.*x(1).^2.*MBI+0.133104E8.*MBI
      .^2+0.275385E5.* ...
279     x(1) .*MBI.^2+0.782808E5.*MBI.^3+(0.358604E12+0.199501E
      -2.*x(1).^4+ ...
280     x(1).^3.*(0.326368E4+0.680523E-1.*MBI) +0.19355E11.*MBI
      +0.344538E9.* ...
281     MBI.^2+0.202403E7.*MBI.^3+0.10551E2.*MBI.^4+x(1)
      .^2.*(0.473766E7+ ...
282     0.83496E5.*MBI+0.870504E0.*MBI.^2)+x(1) *(0.226964E10
      +0.808036E8.* ...
283     MBI+0.712037E6.*MBI.^2+0.494898E1.*MBI.^3) .* cos(x(2)) +(
      ...
284     0.285293E12+0.259417E4.*x(1).^3+0.153967E11.*MBI
      +0.274023E9.* ...
285     MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x(1).^2.*(0.376802E7+0.663676
      E5.*MBI)+ ...
286     x(1) *(0.180548E10+0.642658E8.*MBI+0.565969E6.*MBI.^2)
      .* sin(x(2))) ...
287     );
288     Fxa=0.1683E4.*rc.*((-5)+YMAX+(-0.316669E-4) *(0.104179E5+x
      (1)+ ...
289     0.852779E1.*MBI) .* cos(x(2)))+(0.397235E3+x(1) +0.852779E1
      .*MBI).^(-1) ...
290     *(0.482513E3+x(1) +0.852779E1.*MBI).^(-1) *(0.567791E3+x
      (1)+ ...
291     0.852779E1.*MBI).^(-1) *(0.138149E11+0.875586E8.*x(1)
      +0.183028E6.* ...
292     x(1).^2+0.126225E3.*x(1).^3+0.746682E9.*MBI+0.312166E7.*
      x(1) .*MBI+ ...
293     0.322926E4.*x(1).^2.*MBI+0.133104E8.*MBI.^2+0.275385E5.*

```

```

x(1).* ...
294 MBI.^2+0.782808E5.*MBI.^3+(0.358604E12+0.199501E-2.*x(1)
.^4+ ...
295 x(1).^3.*(0.326368E4+0.680523E-1.*MBI)+0.19355E11.*MBI
+0.344538E9.* ...
296 MBI.^2+0.202403E7.*MBI.^3+0.10551E2.*MBI.^4+x(1)
.^2.*(0.473766E7+ ...
297 0.83496E5.*MBI+0.870504E0.*MBI.^2)+x(1).*(0.226964E10
+0.808036E8.* ...
298 MBI+0.712037E6.*MBI.^2+0.494898E1.*MBI.^3)).*cos(x(2)))+(
...
299 0.285293E12+0.259417E4.*x(1).^3+0.153967E11.*MBI
+0.274023E9.* ...
300 MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x(1).^2.*(0.376802E7+0.663676
E5.*MBI)+ ...
301 x(1).*(0.180548E10+0.642658E8.*MBI+0.565969E6.*MBI.^2))
.*sin(x(2)))+ ...
302 0.8415E3.*(0.5E-1+0.19635E-2.*(0.311957E3+x(1)+0.852779
E1.*MBI).^ ...
303 -1).*(0.210375E2+(0.397235E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1)
.*( ...
304 0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.567791E3+x(1)
+ ...
305 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.138149E11+0.875586E8.*x(1)
+0.183028E6.* ...
306 x(1).^2+0.126225E3.*x(1).^3+0.746682E9.*MBI+0.312166E7.*
x(1).*MBI+ ...
307 0.322926E4.*x(1).^2.*MBI+0.133104E8.*MBI.^2+0.275385E5.*
x(1).* ...
308 MBI.^2+0.782808E5.*MBI.^3+(0.358604E12+0.199501E-2.*x(1)
.^4+ ...
309 x(1).^3.*(0.326368E4+0.680523E-1.*MBI)+0.19355E11.*MBI
+0.344538E9.* ...
310 MBI.^2+0.202403E7.*MBI.^3+0.10551E2.*MBI.^4+x(1)
.^2.*(0.473766E7+ ...
311 0.83496E5.*MBI+0.870504E0.*MBI.^2)+x(1).*(0.226964E10
+0.808036E8.* ...
312 MBI+0.712037E6.*MBI.^2+0.494898E1.*MBI.^3)).*cos(x(2)))+(
...
313 0.285293E12+0.259417E4.*x(1).^3+0.153967E11.*MBI
+0.274023E9.* ...
314 MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x(1).^2.*(0.376802E7+0.663676
E5.*MBI)+ ...
315 x(1).*(0.180548E10+0.642658E8.*MBI+0.565969E6.*MBI.^2))
.*sin(x(2)))) ...
316 )+0.8415E3.*(0.3E0+0.108347E-1.*MBI.^(2/3)+0.706858E

```

```

-1.*( ...
317 0.105331E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.126225E3
+(0.397235E3+ ...
318 x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.482513E3+x(1)+0.852779E1
.*MBI).^(-1) ...
319 .*(0.567791E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.138149E11+
...
320 0.875586E8.*x(1)+0.183028E6.*x(1).^2+0.126225E3.*x(1)
.^3+0.746682E9.* ...
321 MBI+0.312166E7.*x(1).*MBI+0.322926E4.*x(1).^2.*MBI
+0.133104E8.* ...
322 MBI.^2+0.275385E5.*x(1).*MBI.^2+0.782808E5.*MBI
.^3+(0.358604E12+ ...
323 0.199501E-2.*x(1).^4+x(1).^3.*(0.326368E4+0.680523E-1.*
MBI)+ ...
324 0.19355E11.*MBI+0.344538E9.*MBI.^2+0.202403E7.*MBI
.^3+0.10551E2.* ...
325 MBI.^4+x(1).^2.*(0.473766E7+0.83496E5.*MBI+0.870504E0.*
MBI.^2)+ ...
326 x(1).*(0.226964E10+0.808036E8.*MBI+0.712037E6.*MBI
.^2+0.494898E1.* ...
327 MBI.^3)).*cos(x(2)))+(0.285293E12+0.259417E4.*x(1)
.^3+0.153967E11.* ...
328 MBI+0.274023E9.*MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x(1)
.^2.*(0.376802E7+ ...
329 0.663676E5.*MBI)+x(1).*(0.180548E10+0.642658E8.*MBI
+0.565969E6.* ...
330 MBI.^2)).*sin(x(2)))+0.8415E3.*(0.5E-1+0.19635E
-2.*(0.311957E3+x(1)+ ...
331 0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.210375E2+(0.397235E3+x(1)
+0.852779E1.* ...
332 MBI).^(-1).*(0.482513E3+x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1)
.*(0.567791E3+ ...
333 x(1)+0.852779E1.*MBI).^(-1).*(0.138149E11+0.875586E8.*x
(1)+ ...
334 0.183028E6.*x(1).^2+0.126225E3.*x(1).^3+0.746682E9.*MBI
+0.312166E7.* ...
335 x(1).*MBI+0.322926E4.*x(1).^2.*MBI+0.133104E8.*MBI
.^2+0.275385E5.* ...
336 x(1).*MBI.^2+0.782808E5.*MBI.^3+(0.358604E12+0.199501E
-2.*x(1).^4+ ...
337 x(1).^3.*(0.326368E4+0.680523E-1.*MBI)+0.19355E11.*MBI
+0.344538E9.* ...
338 MBI.^2+0.202403E7.*MBI.^3+0.10551E2.*MBI.^4+x(1)
.^2.*(0.473766E7+ ...
339 0.83496E5.*MBI+0.870504E0.*MBI.^2)+x(1).*(0.226964E10

```

```

340     +0.808036E8.* ...
      MBI+0.712037E6.*MBI.^2+0.494898E1.*MBI.^3)).*cos(x(2)))+(
341     ...
      0.285293E12+0.259417E4.*x(1).^3+0.153967E11.*MBI
342     +0.274023E9.* ...
      MBI.^2+0.160882E7.*MBI.^3+x(1).^2.*(0.376802E7+0.663676
343     E5.*MBI)+ ...
      x(1).*(0.180548E10+0.642658E8.*MBI+0.565969E6.*MBI.^2))
344     .*sin(x(2))) ...
      ));
345     Fya=x(1)+(-0.852779E1).*L.*lambda0;
346     ymax = -5+YMAX+(-0.316669E-4).*(0.104179E5+x(1)+0.852779E1
      .*MBI).*cos(x(2));
347     sol = ode45(@equ,[0 150], [0,Fya/Fxa]);
348     XMAX=fsolve(@equ2,10);
349     if alpha/pi*180 > 16
350         y = MAX_FITNESS;
351     elseif thetab/pi*180 > 5
352         y = MAX_FITNESS;
353     elseif a > 2
354         y = MAX_FITNESS;
355     else
356         y=0.4658*thetab/(5/180*pi)+0.0290*XMAX/(45)+0.5864*a
           /2;
357     end
358 catch
359     y=MAX_FITNESS;
360 end

```

11 SA

```

1  clear
2  clc
3
4  ObjectiveFunction = @SA_function;
5  X0 =[5000,45];
6  lb = [0 15];
7  ub = [7000 100];
8  options = saoptimset('MaxIter', 500, 'StallIterLim', 500, '
      TolFun',1e-100,'AnnealingFcn',@annealingfast,'
      InitialTemperature',100,...
9      'TemperatureFcn', @ temperatureexp, 'ReannealInterval',
      500, 'PlotFcns', {@saplotbestx,@saplotbestf,@saplotx,
      @saplotf});
10 [x,fval] = simulannealbnd(ObjectiveFunction,X0,lb,ub,options);

```