

# 2020 高教社杯全国大学生数学建模竞赛

## 承 诺 书

我们仔细阅读了中国大学生数学建模竞赛的竞赛规则。

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

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

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

我们参赛的题目是：\_\_\_\_\_ 基于的目标规划模型的系泊系统设计\_\_\_\_\_

我们的参赛报名号为（如果赛区设置报名号的话）：\_\_\_\_\_

所属学校（请填写完整的全名）：\_\_\_\_\_ 上海交通大学\_\_\_\_\_

参赛队员（打印并签名）： 1、\_\_\_\_\_  
2、\_\_\_\_\_  
3、\_\_\_\_\_

指导教师或指导教师组负责人（打印并签名）：\_\_\_\_\_

日期：\_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

\_\_\_\_\_  
赛区评阅编号（由赛区组委会评阅前进行编号）：

# 2020 高教社杯全国大学生数学建模竞赛

## 编 号 专 用 页

赛区评阅编号（由赛区组委会评阅前进行编号）：

赛区评阅记录（可供赛区评阅时使用）：

评 阅 人										
评 分										
备 注										

全国统一编号（由赛区组委会送交全国前编号）：

全国评阅编号（由全国组委会评阅前进行编号）：

# 基于的目标规划模型的系泊系统设计

## 摘要

本题意在考察分析系泊系统在不同的外界环境参数影响下工作状态的变化情况，进而对重物球质量参数进行调整，完成系泊系统的设计以满足一定的工作条件，使得该系统能够达到预期的工作效果。

**针对问题一** 建立二维平面内的力学模型，以浮标的受力为切入点，按照自上而下的顺序，对系泊系统的各个组成部分进行递推式受力分析。对于锚链建立悬链线模型，悬链线模型中的坐标方程与力学平衡方程相联立，从而得出各物理量数值。由于锚链根据风力大小不同可能出现两种情况，锚链全部浮起以及锚链部分沉底。为此我们分情况进行了讨论。计算结果为：风速为  $12m/s$  时，钢桶倾斜角  $1.0083^\circ$ ，吃水深度  $0.7348m$ ，游动半径  $14.3061m$ ，沉底长度  $6.8219m$ ，锚链参数  $3.3198$ ；风速为  $24m/s$  时，钢桶倾斜角  $3.8498^\circ$ ，吃水深度  $0.7489m$ ，游动半径  $17.4255m$ ，沉底长度  $0.3158m$ ，锚链参数  $13.3108$ 。

**针对问题二** 在风速为  $36m/s$  时，计算结果：钢桶倾斜角  $8.0708^\circ$ ，吃水深度  $0.7700m$ ，游动半径  $18.7156m$ ，锚链参数  $29.0460$ 。再根据题目要求对重物球质量进行调整，明确了重物球质量参数的调节方向为增大，以原始数据为起点进行定长搜索，根据条件的上、下界，大致确定临界条件下的重物球质量所在区间，进而在该区间内运用二分法确定满足一定精度要求的重物球质量参数的数值。求解结果为：重物球质量下界  $1746.58kg$ 。

**针对问题三** 一共有四个目标变量：吃水深度、游标浮动区域、钢桶倾斜角度、锚链底端切线水平仰角。同时有六个自变量：风速、水速、水深、锚链型号、锚链长度、重物球重量。由于目标变量过多，我们采取基于优先等级法逐步优化的方式。先分析锚链长度和重物球重量两个变量，采取了离散化水深（ $16m, 18m, 20m$ ）、固定风速水速的方式进行模型简化。遍历锚链长度  $L$  以及重物球重量  $G_s$ ，指定其他参数，出四个目标变量关于  $L, G_s$  的三维图像，进而确定可行域范围。再作出两个参数的等高线图，进一步明确可能最优解域。为了对模型参数进行评价，引入了评价函数，并在可行域范围内寻找最优解。对 5 种锚链型号和不同水深，使用上述算法分别获得这 15 种情况的最优解以及评价函数值，最后通过分析这些数据，得出最优的参数选择方法。

关键词 MATLAB 主成分分析 神经网络拟合

# 1 问题重述

## 1.1 问题背景

海洋是地球生命的摇篮、资源的宝库，正逐渐成为各国激烈争夺的重要战略目标。继海洋调查船和遥感卫星之后，海洋观测网络成为人类探测深海的又一种重要平台。海底观测网络在地理上遵循一定分布，包含地区性的观测网络和节点，能够长期、实时、连续地对所观测海域进行物理、生物、化学、地理等方面观测，能够有效地服务于科学研究、资源研发、环境保护等与海洋相关的领域。

## 1.2 问题的提出（题目重述）

近浅海观测网的传输节点中的系泊系统设计问题，要求确定锚链的型号、长度和重物球的质量，使得浮标的吃水深度和游动区域及钢桶的倾斜角度尽可能小。现将某传输节点的浮标简化为圆柱体，系泊系统由钢管、钢桶、重物球、电焊锚链和特制的抗拖移锚组成，其中浮标系统和系泊系统的各组成部件质量、尺寸等参数已知，要求将锚链末端与锚的链接处的切线方向与海床的夹角以及钢桶的倾斜角限制在一定范围，其中为了控制钢桶的倾斜角度，可在钢桶与电焊锚链链接处悬挂重物球。

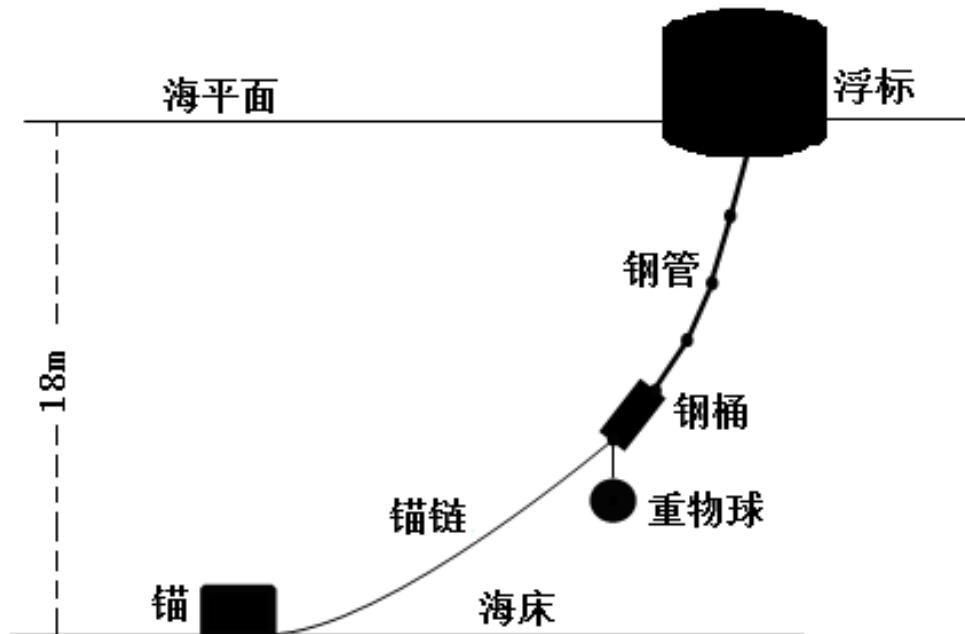


图 1: 传输节点示意图 (仅为结构模块示意图，未考虑尺寸比例)

(1)

## 2 模型假设

1.

## 3 假设说明

1.

2.

## 4 符号说明

表1列出了本文需要的符号。

表 1: 符号说明

符号	符号描述	符号	符号描述
----	------	----	------

## 5 问题分析

### 5.1 问题一的分析

出库出库数据表中的数量主要受空调本身的属性、天气和经济数据影响。而组织机构对空调销量的影响，主要就体现在天气与经济上。考虑到对于不同的地区，天气与经济的变化趋势均不相同，因此我们可以对每个组织机构分别训练通过时间预测天气与经济的模型，再结合空调属性训练预测空调销量的模型。

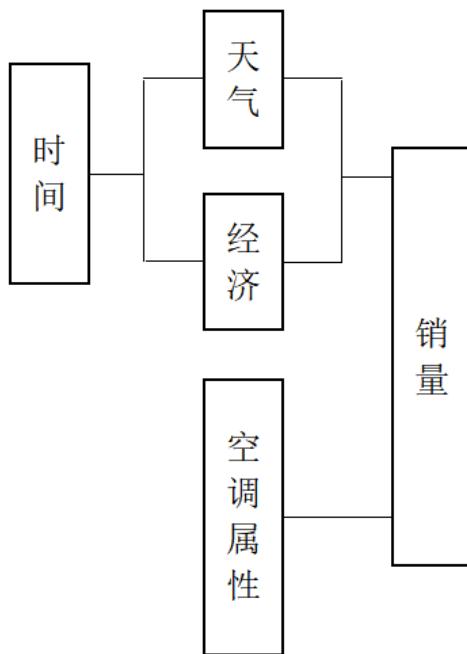


图 2: 问题一分析

### 5.2 问题二的分析

### 5.3 问题三的分析

## 6 问题的解答

### 6.1 问题 1 的解答

由于提供的数据中大量指标都是用中文描述，无法直接进行定量分析，因此需要将各个数据表中的数据进行量化与合并。

### 6.1.1 数据的量化与处理

#### 1. 天气指标的处理

在 air\_temperature 表中，需要量化的指标有天气现象，“风力风向”，“最高气温”与“最低气温”。首先处理天气现象列，将其中的各种天气按照恶劣程度从 0 至 10 编号，规则如表2所示。然后对每个单元格中的两个天气取平均值，得到一天的天气量化结果。

表 2: 天气量化方法

天气名称	量化结果	天气名称	量化结果
晴	0	小雨-中雨	4
薄雾	0	小到中雨	4
少云	0	雨夹雪	5
晴间多云	0	沙尘暴	5
阴	1	冻雨	5
多云	1	中雨-大雨	5
浮沙	1	中到大雨	5
局部多云	1	雷阵雨	5
刮风	1	暴雨	6
小雨	2	大到暴雨	6
阵雨	2	小到中雪	7
扬沙	2	暴雨到大暴雨	7
雾	2	中雪	8
中度霾	2	中到大雪	8
中雨	3	大暴雨到特大暴雨	8
零散阵雨	3	雷阵雨伴有冰雹	8
重度霾	3	大雪	9
零散雷雨	4	大到暴雪	10
雷阵雨	4		

接着处理“风力风向”列。由于风向不易量化，因此仅提取出每个单元格中所有的风力大小，并求和取平均值。若单元格中没有风力大小，则用风力大小的平均值填充。最后处理“最高气温”与 maxairtemperature 列，先对最高温与最低温取平均值得到一天的平均气温，再对于数据缺失的单元格填充平均值。经过量化、删除无关指标“获取时间”、并且将时间指标改写为距 2016 年 1 月 1 日的天数后的 air\_temperature 表部分如下。

表 3: 处理后的 air\_temperature 表

date(天)	province	city	天气现象	风力风向	最高气温 (°C)	最低气温 (°C)
0	贵州	六盘水	4	4	6	4
0	贵州	贵阳	3	3.333333333	10	6
0	贵州	安顺	4	3.333333333	10	6
0	贵州	遵义	3	3.5	12	6

对数据进行量化处理后，就可以分析某一地点时间与各项天气指标的相关性，来确定使用哪些指标来代表天气。首先使用神经网络对四项天气指标关于时间的变化进行拟合，以重庆为例得到的结果如下。

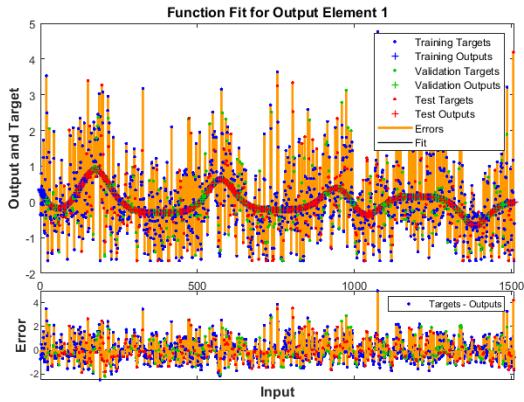


图 3: 天气现象关于时间的拟合结果

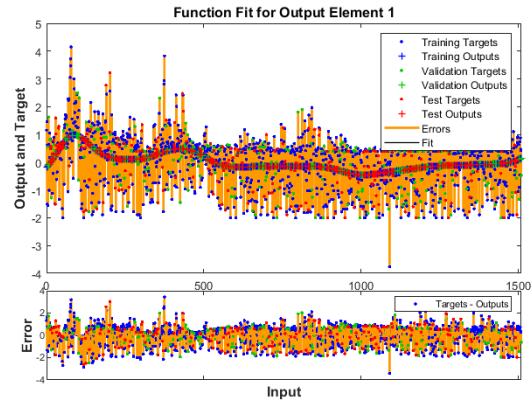


图 4: “风力风向”关于时间的拟合结果

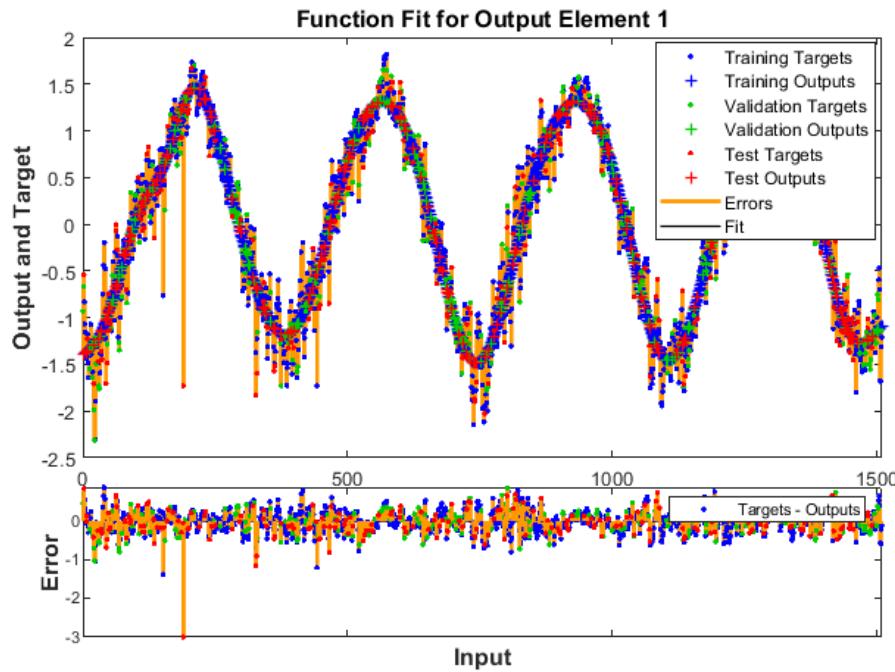


图 5: 平均气温关于时间的拟合结果

各项指标的方程确定系数  $R$  如表4所示。

表 4: 各项指标的方程确定系数  $R$

天气现象	风力风向	平均气温
3.468	2.448	9.276

由于  $R$  越接近 1 代表拟合结果越准确，而天气现象与“风力风向”的拟合结果中  $R$  值均较低，因此可以认为天气现象与“风力风向”的变化与时间没有明显相关性，而平均气温拟合的

## 2. 空调指标的量化

由于空调本身的性能也会影响空调销量，因此需要量化空调指标。由于许多指标并不能直接判断优劣，因此需要通过该指标与销量的关系确定

## 3. 经济指标的处理

由于 model\_stats\_new\_data 表中除了全国的经济数据其他记录均有大量数据缺失，所以在筛选数据时只考虑全国经济数据。在各项指标中，由于“制造业固定资产投资额 \_ 累计值”、“国有资产投资额 \_ 累计值”、“建筑工程固定资产投资完成额 \_ 累计值”、“综合 PMI 产出指数”这四项指标的数据有大量缺失，因此舍弃，其他缺失的数据用平均值填充。

由于各项经济指标之间可能相互影响，因此使用主成分分析进行降维，得到结果如下。

$$\begin{bmatrix} -0.0299 & -0.2834 & 0.2571 & 0.3842 & -0.3014 & 0.0083 \\ 0.0498 & 0.3054 & 0.1461 & -0.0301 & -0.3150 & 0.5692 \\ -0.0754 & -0.3801 & 0.1526 & 0.3004 & -0.1140 & -0.1200 \\ 0.1968 & 0.2864 & -0.2604 & 0.2115 & -0.0242 & -0.0021 \\ 0.1968 & 0.2864 & -0.2604 & 0.2115 & -0.0242 & -0.0021 \\ -0.2352 & 0.1885 & 0.0647 & -0.0523 & 0.1785 & 0.4359 \\ -0.1448 & -0.1089 & 0.2108 & 0.1802 & 0.6028 & -0.0088 \\ -0.0701 & 0.0834 & -0.2041 & 0.5533 & 0.1978 & 0.2196 \\ 0.1836 & -0.1261 & 0.1716 & 0.0946 & 0.3246 & 0.0477 \\ 0.1694 & 0.1306 & -0.4186 & 0.0320 & 0.0201 & -0.4219 \\ 0.3545 & -0.1473 & 0.1128 & -0.0520 & -0.0724 & 0.0476 \\ 0.3520 & -0.1527 & 0.1189 & -0.0581 & -0.0743 & 0.0471 \\ 0.3688 & -0.0768 & 0.0946 & -0.0247 & -0.0544 & 0.0924 \\ 0.3654 & -0.0999 & 0.0886 & -0.0826 & -0.0436 & 0.0195 \\ 0.2947 & -0.1357 & -0.1587 & 0.2702 & -0.0068 & 0.1535 \\ 0.3014 & -0.0202 & -0.0355 & 0.1519 & 0.3134 & 0.1820 \\ 0.2455 & 0.0934 & 0.1100 & -0.3800 & 0.3635 & 0.0099 \\ 0.0575 & 0.3527 & 0.3489 & 0.1547 & -0.0503 & -0.2412 \\ 0.0459 & 0.3127 & 0.3652 & 0.1426 & 0.0528 & -0.3336 \\ 0.0857 & 0.3463 & 0.3483 & 0.1490 & -0.0656 & -0.0579 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \\ x_{10} \\ x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \\ x_{14} \\ x_{15} \\ x_{16} \\ x_{17} \\ x_{18} \\ x_{19} \\ x_{20} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$y_i (i = 1 \dots 6)$  即为求得的 6 个主成分。

### 6.1.2 指标分析

#### 1. 天气指标的分析

作销量和平均气温关于时间的折线图如下

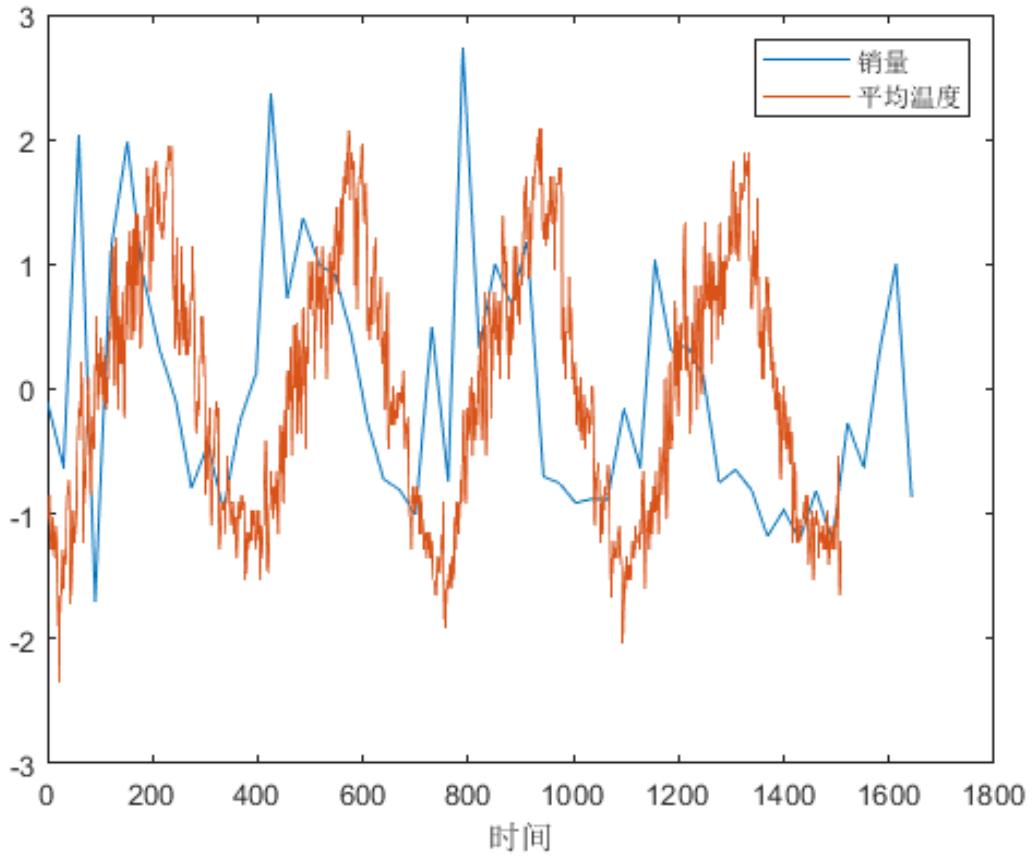


图 6: 销量和平均气温随时间的变化图

从图6中可以看出，空调销量与平均气温都呈周期性变化，周期约为一年，且空调销量的变化要晚于平均气温的变化。

## 2. 经济指标的分析

对 6 个主成分分别作其和空调销量关于时间的折线图

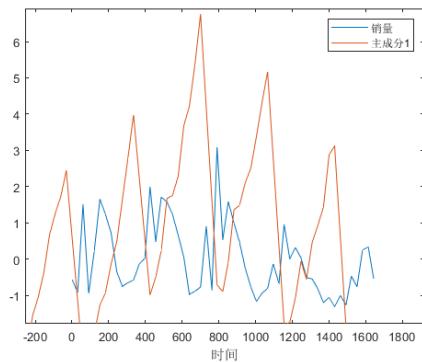


图 7: 销量和  $y_1$  随时间的变化图

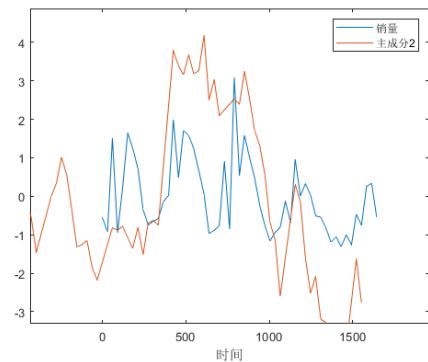


图 8: 销量和  $y_2$  随时间的变化图

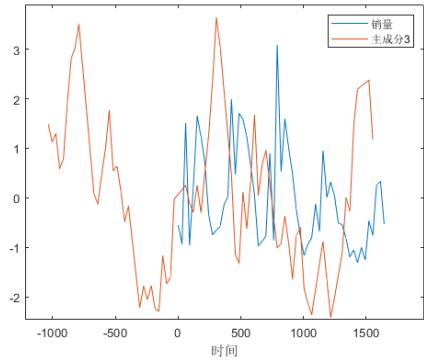


图 9: 销量和  $y_3$  随时间的变化图

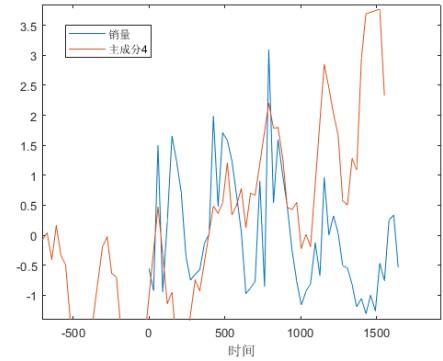


图 10: 销量和  $y_4$  随时间的变化图

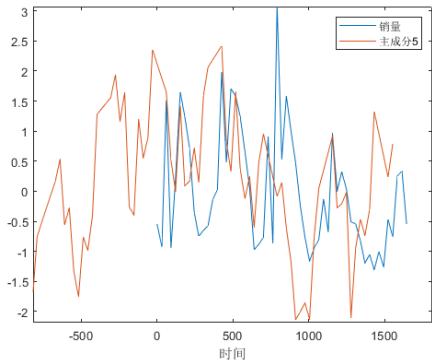


图 11: 销量和  $y_5$  随时间的变化图

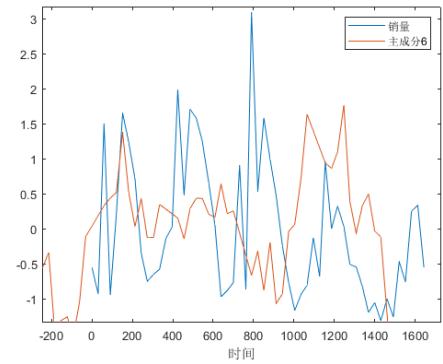


图 12: 销量和  $y_6$  随时间的变化图

从上图可以看出 6 个主成分与空调销量没有明显的联系，还需要进行进一步的分析。

### 6.1.3 销量预测

## 6.2 问题 2 的解答

在问题一的假设下，将海面风速为 36m/s 时的各项计算结果如表5和表6，锚链形状如图13。

表 5: 问题二部分计算结果

风速 (m/s)	钢桶倾斜角 ( $^{\circ}$ )	吃水深度 (m)	游动半径 (m)	锚链参数 $a$
36	8.0708	0.7700	18.7156	29.0460

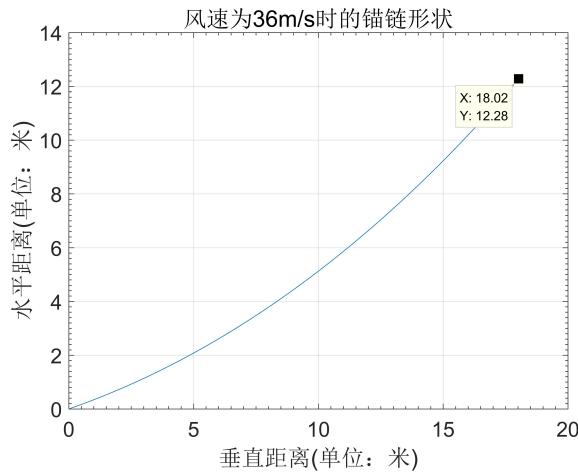


图 13: 风速为  $36m/s$  时的锚链形状

表 6: 问题二钢管倾斜角计算结果

风速 ( $m/s$ )	钢桶倾斜角 1	钢桶倾斜角 2	钢桶倾斜角 3	钢桶倾斜角 4
36	7.8454	7.8876	7.9302	7.9733

由之前问题 2 的分析, 我们的目标在于寻找重球重力的最小值, 使得重球重力大于这个最小值时满足  $\theta$  和  $\beta$  的限制条件。

求  $G_s$

$$s.t. \begin{cases} \theta \leq 5^\circ \\ \beta \leq 16^\circ \end{cases}$$

通过定长搜索得到  $\theta$  和  $\beta$  随  $G_s$  的变化趋势如图14和图15:

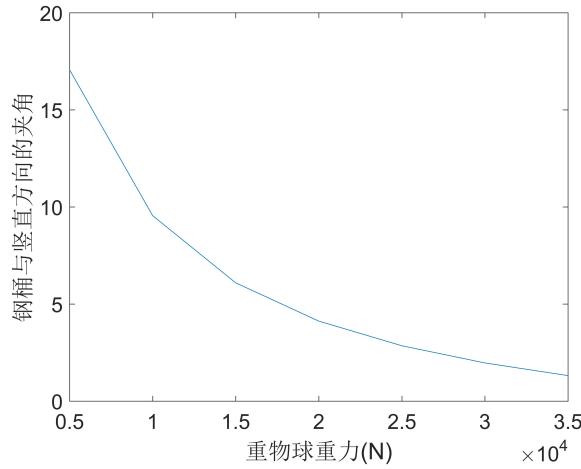


图 14:  $\theta$  随  $G_s$  变化曲线

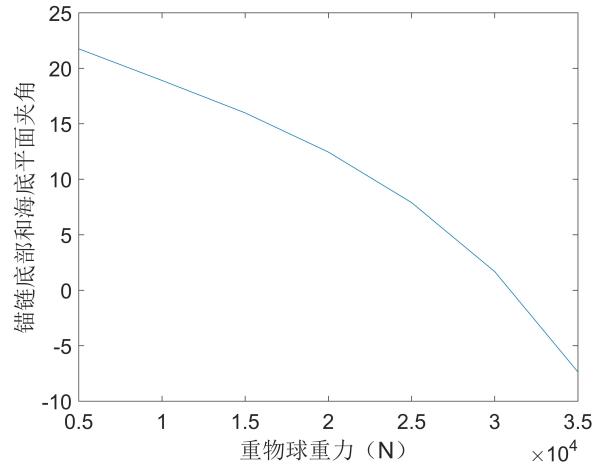


图 15:  $\beta$  随  $G_s$  变化曲线

可以看到两者均为单调函数, 故只有一个下限和上限, 并可用二分法加快求解, 算法如算法1:

---

**Algorithm 1** Binary search

---

**Input:** Upperbound left,lowerbound right and error restrictions 0.01

**Output:** The weight of the ball

```
1: while  $|right - left| \geq 0.01$  and  $\text{angle}(x_0) \neq 5$  do
2:   if  $\text{angle}(x_0) > 5$  then
3:      $left \leftarrow x_0$ 
4:   else
5:      $right \leftarrow x_0$ 
6:   end if
7:    $X_0 \leftarrow (left + right)/2$ 
8: end while
```

---

根据图14和图15可对下限与上限进行二分法搜索, 搜索结果为重物球质量的范围 [1746.58,3172.29] (单位: kg)。

### 6.3 问题三的解答

题目描述中, 海水速度最大为  $1.5m/s$ , 风速最大为  $36m/s$ 。为简化模型, 我们取海水速度以及风力速度均为最大值。我们将风速海速称为环境恶劣程度。将浮标、四节钢管看成一个整体, 从直观上来看当环境越恶劣, 即风速和水速越大时, 这个整体受到钢桶的水平力  $T_{5x}$  越大, 而  $T_{5x}$  对钢桶的力矩为顺时针转动, 使得  $\theta$  越大, 从问题一二的结果也可以验证这个猜想。故如果系泊系统在最恶劣环境下能够满足工作要求, 那么系统肯定能够在平稳的环境中正常运行。

为了模型的建立, 我们做了如下简化:

1. 通过计算, 水流对钢桶的力最大为  $252N$ , 对钢管的力最大为  $42N$ , 相对于拉力大小可以忽略不计。
2. 我们将水深  $16m \sim 20m$  的连续范围其离散化为三组  $16m, 18m, 20m$  分别进行计算。

首先我们尝试用锚链型号 II 和水深  $18m$  进行模型计算。由于限定了水深风速, 对向量  $(L, G_s)$  ( $L$  表示锚链长度,  $G_s$  表示重球质量) 可以唯一确定一个系泊系统状态。我们在一定合理范围内遍历  $(L, G_s)$ , 对钢桶倾斜角  $\theta$ 、锚链底端切线与水平面夹角  $\beta$ 、浮标露出水面高度  $h$ 、浮标游动范围半径  $distance$  求值并作三维图像, 如图16、图17、图18和图19。

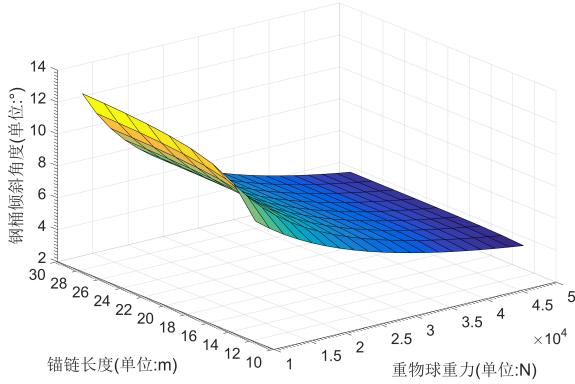


图 16:  $\theta$  变化图

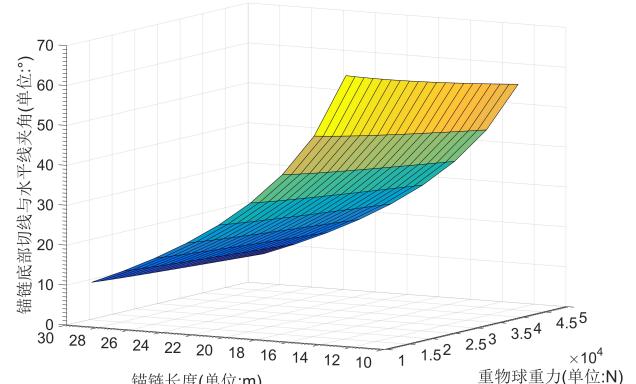


图 17:  $\beta$  变化图

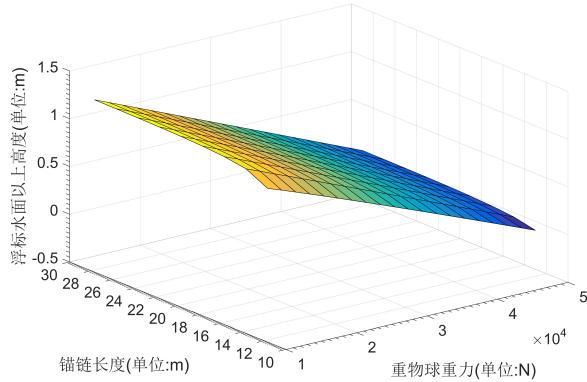


图 18:  $h$  变化图

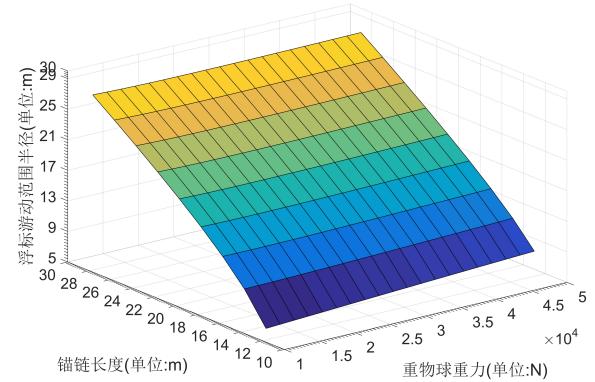


图 19:  $distance$  变化图

记重物球重力为  $x$  轴, 锚链长度为  $y$  轴, 各变化量为  $z$  轴, 且正向均为增大的方向。可行域为满足限定条件  $\theta \leq 5, \beta \leq 16$  的区域。

简单地观察各图易知, 每个图总会在  $x$  方向或  $y$  方向变化不大, 而几乎仅仅受某一变量的影响。这就导致我们可以简单地确定可行解域的大体位置, 如图16中, 由  $\theta \leq 5$  条件限制的可行解域即为整个遍历范围的右侧一部分; 如图16中, 由  $\beta \leq 16$  条件限制的可行解域即为整个遍历范围的上侧一部分。(此处以  $x$  轴正方向为右,  $y$  轴正方向为上) 两者交叉即得可行解域大致为整个遍历范围的右上角一部分。我们可以通过绘制等高线的方法直观地将这片区域表示出来, 如图20所示:

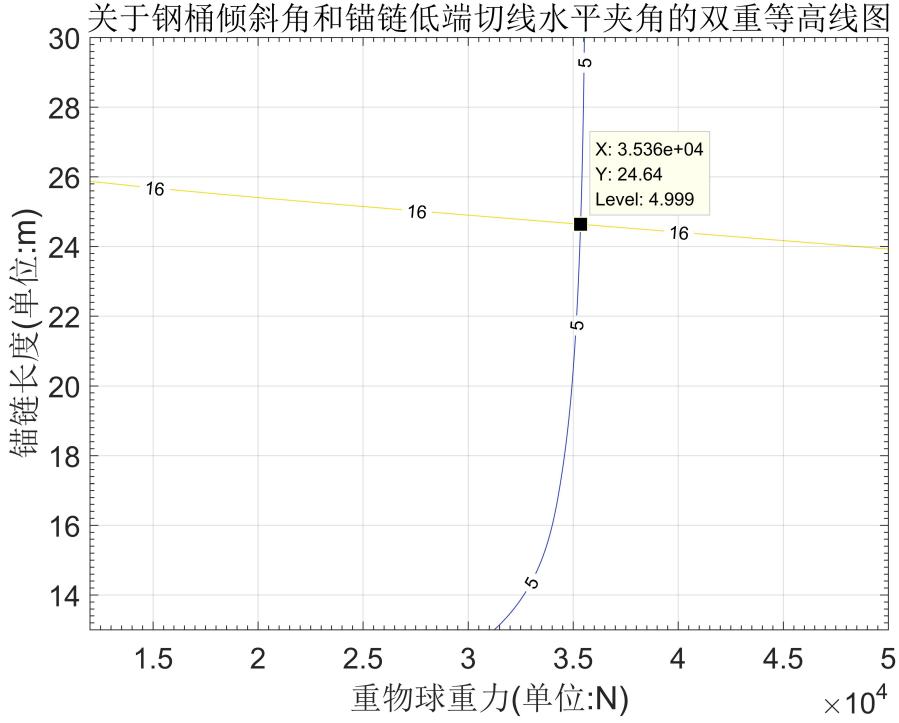


图 20: 关于钢桶倾斜角和锚链底端切线水平夹角的双重等高线图

从图中可以看到  $\theta = 5$  的等高线变化幅度不是很大,  $\beta = 16$  的等高线有一定倾斜度, 因此我们把可能最优解域定为两等高线交点右侧  $\beta$  等高线上的点。

进一步分析另外两个目标变量, 在可行解域上,  $h$  可近似认为仅随  $x$  的减小而增大,  $distance$  可近似认为仅随  $y$  的减小而减小。因而为了使  $distance$  尽可能小, 可能的最优解一定在可行

解域的下部边界上。

再考虑边界上的最优解。由于  $\theta$  与  $h$  关于  $x$  的变化方向相反，而两者又都是需要优化的量，故必须确定一个新的目标量将这两者综合起来考虑。题目中没有给出两者的权重分配如何，我们采用赋权值的多目标规划模型 [1]，转化为单一目标规划，目标函数定义如式2：

$$V_{target} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\theta}{5} + \frac{2-h}{2} \right) \quad (2)$$

综上所述，对于某一个特定条件，即水深、锚链型号固定的情况下，寻找其锚链长度和重物球重量的最优解的算法如下：

1. 遍历两个变量的所有合理值，作出两条等高线
2. 用两条等高线的数据线性拟合为两个直线方程，用这两个方程求出两条等高线的交点。
3. 遍历交点右侧  $\beta$  等高线的目标函数2值，作出下凸函数图像，求出最小值点的横纵坐标，即为最优解。

现在我们考虑不同锚链型号和不同水深对最优解以及最优解条件下游动区域的影响，使用以上算法求出数据如下：

表 7: 重物球重力 ( $\times 10^4 N$ )

锚链型号	水深 $m$		
	16	18	20
I	4.6410	4.6357	4.6324
II	4.6207	4.5361	4.5305
III	4.5163	4.5065	4.4238
IV	4.3991	4.3831	4.3712
V	4.3671	4.2529	4.2283

表 8: 锚链长度 (m)

锚链型号	水深 $m$		
	16	18	20
I	24.67	28.90	32.91
II	20.77	24.16	27.33
III	17.98	20.80	23.54
IV	16.05	18.59	21.01
V	14.61	16.99	19.26

表 9: 评价函数

锚链型号	水深 $m$		
	16	18	20
I	0.861395	0.861392	0.861391
II	0.861404	0.861408	0.861395
III	0.861391	0.861402	0.861399
IV	0.861405	0.861391	0.861414
V	0.861410	0.861394	0.861401

表 10: 游动半径 ( $m$ )

锚链型号	水深 $m$		
	16	18	20
I	23.21	26.94	30.41
II	18.89	21.61	24.06
III	15.62	17.62	19.48
IV	13.25	14.80	16.20
V	11.35	12.63	13.74

分析表7、表8、表9和表10中的数据得出以下结论:

1. 水深增大, 重物球重力和锚链长度都在增大, 又因为若想满足两个角度限制的条件, 必须选择最大的重物球重力和最长的锚链长度。故对于每个锚链型号, 都应选择水深 20 米时的结果。
2. 相同水深情况下, 锚链密度越大, 游动半径越小。
3. 不管水深和锚链型号为多少, 评价函数的值几乎没有差别。
4. 综合以上两点考虑, 最终得出的最优解为长度为 19.26 米的 V 型锚链和重力为  $42283N$  的重物球。

外部条件为风速  $36m/s$ , 水速为  $1.5m/s$ , 水深为  $20m$  的情况下, 求出的各项数据结果如表11和表12所示:

表 11: 问题三部分计算结果

风速 ( $m/s$ )	钢桶倾斜角 ( $^\circ$ )	吃水深度 ( $m$ )	游动半径 ( $m$ )	锚链参数 $a$
36	4.1441	1.7911	14.3234	48.8752

表 12: 问题一钢管倾斜角计算结果

风速 ( $m/s$ )	钢桶倾斜角 1	钢桶倾斜角 2	钢桶倾斜角 3	钢桶倾斜角 4
36	0.99743	0.99742	0.99741	0.99740

## 7 模型总结

### 7.1 模型优点

1. 由于本模型通过求解物理力学方程以及悬链线方程得到解，只需输入外部条件参数和锚链型号即可给出需要的重物球重量和锚链长度。对于问题一类型的问题可以快速求解。
2. 当一个参数不确定时，可以通过二分法求解出其范围，得到最优解。对于问题二类型的问题也可以快速地得到解决。
3. 对于问题三，本模型采用基于加权系数法和优先等级法的多目标规划模型，逐步排除了某些自变量对某些维度的影响，并且将某些目标量合并为一种目标量，极大降低了模型复杂度，提高了求解速度。

### 7.2 模型缺点

1. 本模型建立在优先等级法之上，这种方法本身可能会导致模型落入局部最优解。
2. 对于加权系数法的权值设定过于简单，没有考虑真正的实际情况，而直接做相同比重处理。这样会可能导致对某一要素的优化程度过低。
3. 模型中使用拟合曲线对数据进行拟合时可能输入数据范围太小，或应该使用高次多项式拟合和非线性拟合，以达到更好地效果。

## 参考文献

- [1] 姜启源 and 谢金星. 数学模型（第四版）. 高等教育出版社, 2011.

## 附录

### A 模型求解代码

```
1      % 下标指定:  
2      % f1 浮标  
3      % p 钢管  
4      % b 钢桶  
5      % s 重物球  
6      % c 锚链  
7      format short;  
8      syms h;% 浮标露出水面高度  
9      v = 24;% 第一题风速  
10     u = 1.5;  
11     d_f1 = 2;% 浮标底面直径  
12     g = 9.8;% 重力加速度  
13     rho = 1025;% 海水密度  
14     H = 2;% 浮标高度  
15     Fw = 0.625*v^2*d_f1*h;% + 374*u^2*d_f1*(H-h);% 水力+风力  
16     f_f1 = rho*g*(H-h)*d_f1^2*pi/4;% 浮力  
17     G_f1 = 1000*g;% 浮标重力  
18     T(1,:) = [Fw,f_f1-G_f1];% 第一个结点的受力  
19     % 钢管  
20     G_p = 10*g;% 钢管重力  
21     f_p = (1*0.05^2*pi/4)*rho*g;% 钢管浮力  
22     % T表示六个结点处的受力, 其中T(1)到T(5)有递推关系如下:  
23     for i = 2:5  
24         T(i,:) = [T(i-1,1),T(i-1,2)-G_p+f_p];  
25     end  
26     % 钢桶  
27     G_s = 1200*g;% 重物球重力  
28     f_b = (0.3^2*pi/4)*1*rho*g;% 钢桶浮力  
29     G_b = 100*g;% 钢桶重力  
30     % 第六个结点  
31     T(6,:) = [T(5,1),T(5,2)+f_b-G_b-G_s];% 锚链上端结点受力  
32     % 锚链上方高度  
33     for i=1:4  
34         temp = (T(i+1,1)+T(i,1))/(T(i+1,2)+T(i,2));  
35         t(i) = sqrt(1/(1+temp^2));% t(1~4)为每根钢管倾斜角度的余弦值  
36         k(i) = sqrt(temp^2/(1+temp^2));  
37     end
```

```

38 temp = (T(6,1)+T(5,1))/(T(5,2)+T(6,2)+G_s);% 钢桶倾斜角度的正切值
39 length = sum(t) + sqrt(1/(1+temp^2));% 锚链上方高度
40 length2 = sum(k)+sqrt(temp^2/(1+temp^2));%x方向长度投影
41
42 % 锚链
43 w = 7*g;%单位长度锚链重力
44 R = T(6,1);% 水平方向受力
45 L = 22.05;% 锚链长度
46 a = R/w;% 悬链线方程参数
47 % 以锚链底端为原点, 水平方向为横轴, 垂直方向为纵轴建立平面直角坐标系
48 % 考虑没有铺底的情况
49 syms x;% 第六个结点的横坐标
50 % 铺底的方法
51 x1 = solve(sinh(x/a)==T(6,2)/T(6,1),x);% 将x以h表示
52 y1 = a*cosh(x1/a)-a;% 求出第六个结点的纵坐标
53 L_right = a*sinh(x1/a);
54 % 解方程
55 fun1 = matlabFunction(length+y1(1)+H-h-18);
56 [hres1,fval1,exitflag1] = fsolve(fun1,1);
57 fun2 = matlabFunction(length+y1(2)+H-h-18);
58 [hres2,fval2,exitflag2] = fsolve(fun2,1);
59 % 通过检验exitflag值, 决定哪一个方程有解
60 % 判断哪个是解
61 if exitflag1<0
62     hres = hres2;
63     flag = 2;
64 else
65     hres = hres1;
66     flag = 1;
67 end
68 L_right = eval(subs(L_right,h,hres));
69 if L > L_right
70     %铺底的情况
71     yres = eval(subs(y1(flag),h,hres));% 第六个节点高度
72     L_right = eval(subs(L_right(flag),h,hres));% 锚链在水平线上方的长度
73     x1 = eval(subs(x1(flag),h,hres));% 锚链水平方向长度
74     length2 = eval(subs(length2,h,hres));% 第六个节点上方水平方向长度
75     distance = L-L_right+length2+x1; %水平偏移
76     theta = eval(subs(atan(temp)*180/pi,h,hres));% 钢桶倾斜角度
77     pipetheta = eval(subs(acos(t)*180/pi,h,hres));% 钢管倾斜角度
78     a = eval(subs(a,h,hres));

```

```

79     theta
80     pipetheta
81     x1
82     yres
83     hres
84     distance
85 else
86 % 不铺底的情况
87 beta = (T(6,2)-w*L)/T(6,1);% 锚链低端切线斜率
88 x2 = solve(beta*cosh(x/a) + sinh(x/a)*(beta^2 + 1)^(1/2)==T(6,2)/T(6,1),x
89 );% 将x以h表示
90 y2 = a*beta*sinh(x2/a) + a*cosh(x2/a)*(beta^2 + 1)^(1/2)-a*sqrt(beta
91 .^2+1);% 求出第六个结点的纵坐标
92 fun1 = matlabFunction(length+y2(1)+H-h-18);
93 hres1 = fsolve(fun1,1.2);
94 fun2 = matlabFunction(length+y2(2)+H-h-18);
95 hres2 = fsolve(fun2,1.2);
96 if isreal(hres1)
97     hres = hres1;
98     flag = 1;
99 else
100     hres = hres2;
101     flag = 2;
102 end
103 betatemp = eval(subs(beta,h,hres));
104 betares = atan(betatemp)*180/pi;% 锚链底部切线与水平线夹角
105 x2 = eval(subs(x2(flag),h,hres));% 第六个结点横坐标
106 length2 = eval(subs(length2,h,hres));% 第六个节点上方水平方向长度
107 distance = length2+x2; %水平偏移
108 theta = eval(subs(atan(temp)*180/pi,h,hres));% 钢桶倾斜角度
109 yres = eval(subs(y2(flag),h,hres));% 第六个节点纵坐标
110 pipetheta = eval(subs(acos(t)*180/pi,h,hres));% 四个钢管的倾斜角
111 a = eval(subs(a,h,hres));% 悬链线参数
112 theta
113 pipetheta
114 x2
115 yres
116 hres
117 a
118 pipetheta
119 betatemp

```

```
118     betares  
119 end
```

## B 二分法搜索代码

```
1 % 对指定参数进行二分法搜索  
2 function result = qsearch()  
3     result=zeros(20,3);  
4     left = 2500*9.8;right = 3500*9.8;  
5     % 迭代次数为20  
6     for i = 1:20  
7         x = (left+right)/2;  
8         [a,b]=t2(x);  
9         result(i,2:3)=[a,b];  
10        result(i,1)=x/1000;  
11        if a>0  
12            left = x;  
13        else  
14            right = x;  
15        end  
16    end  
17 end
```

## C 问题三代码

```
1 clear;clc;  
2 result = zeros(3,3);  
3 for depthindex = 1:3  
4     m = 20:1:30;mi=size(m);mi=max(mi);  
5     n = 30000:1000:40000;ni=size(n);ni=max(ni);  
6     H = zeros(mi,ni);  
7     D = zeros(mi,ni);  
8     T = zeros(mi,ni);  
9     B = zeros(mi,ni);  
10    for i = 1:mi  
11        for j = 1:ni  
12            [hres,distance,theta,betares,xres,yres] = t3(m(i),n(j),14+  
13                depthindex*2);  
14            H(i,j) = hres;  
15            D(i,j) = distance;
```

```

15         T(i,j) = theta;
16         B(i,j) = betares;
17     end
18 end
19 [x,y] = meshgrid(n,m);
20 figure(depthindex*2-1);
21 v1 = [5,5];
22 [Ct1,ht1] = contour(x,y,T,v1);
23 clabel(Ct1,ht1);
24 x1 = Ct1(1,:);y1 = Ct1(2,:);
25 y1(x1<35000) = [] ;x1(x1<35000)=[] ;
26 y1(x1>36000) = [] ;x1(x1>36000)=[] ;
27 a = polyfit(x1,y1,1);
28 hold on;
29 v2 = [4,7];
30 [Ct2,ht2] = contour(x,y,T,v2);
31 clabel(Ct2,ht2);
32 v3 = [16,16];
33 [Cb1,hb1] = contour(x,y,B,v3);
34 x2 = Cb1(1,:);y2 = Cb1(2,:);
35 y2(x2<35000) = [] ;x2(x2<35000)=[] ;
36 y2(x2>36000) = [] ;x2(x2>36000)=[] ;
37 k = polyfit(x2,y2,1);
38 clabel(Cb1,hb1);
39 v4 = [10,22,28];
40 [Cb2,hb2] = contour(x,y,B,v4);
41 clabel(Cb2,hb2);
42 syms t;
43 xres = solve(a(1)*t+a(2)==k(1)*t+k(2),t);
44 xres = max(xres);
45 yres = k(1)*xres+k(2);
46 xres=eval(xres);
47 yres = eval(yres);
48 plot(xres,yres,'.');
49 [hres,distance,theta,betares,x6,y6] = t3(yres,xres,14+depthindex*2);
50 x3 = linspace(xres,50000,20);
51 num = max(size(x3));
52 y3 = k(1)*x3+k(2);
53 evalfunc = zeros(1,num);
54 for j = 1:num
55     [hres,distance,theta,betares,x6,y6] = t3(y3(j),x3(j),14+depthindex*2);

```

```
56         evalfunc(j) = (theta/5+(2-hres)/2)/2;
57     end
58     figure(depthindex*2);
59     plot(x3,evalfunc);
60     [val_opt,index] = min(evalfunc);
61     x_opt = x3(index);
62     y_opt = y3(index);
63     result(depthindex,:) = [x_opt,y_opt,val_opt];
64
65 end
66
67 result
```