

# The Design of Mooring System

Jingpeng Sun, Chao Xian

Department of Science, Shenyang Aerospace University, Shenyang Liaoning  
Email: 1152568626@qq.com

Received: May 1<sup>st</sup>, 2018; accepted: May 15<sup>th</sup>, 2018; published: May 25<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The mooring system is connected with a fixed point by means of a cable or other mechanical device, while the choice of chain is diverse. It is necessary to determine the type, length and mass of the ball, so as to make the buoy's draft depth and swimming area and steel barrel tilt angle as small as possible. Otherwise the anchor will be dragged, which will cause the node shift to be lost. Firstly, the whole stress analysis of mooring system is carried out. Based on setting the angle to be  $\theta_1$  between the end of the anchor chain and the link of the anchor to the sea bed, and setting the buoy's draft depth to be  $h$ , the model of  $\theta_1 - F(h)$  is built. Using MATLAB software to solve the model, the draft depth  $h$  and the angle  $\theta_1$  are obtained. Then, using differential equation method, the function relation of anchor chain is obtained to be a catenary line. Furthermore, the swimming area of the buoy can be determined according to the range of  $\theta_1$ . In order to make the steel barrel meet the requirement of working condition, the adjustment method of weight ball quality is discussed at last.

## Keywords

Mooring System, Stress Analysis, Draft Depth, Balance State

---

# 系泊系统的设计

孙敬鹏, 宪超

沈阳航空航天大学理学院, 辽宁 沈阳  
Email: 1152568626@qq.com

收稿日期: 2018年5月1日; 录用日期: 2018年5月15日; 发布日期: 2018年5月25日

---

## 摘要

系泊系统是通过缆绳或其他机械装置将水面结构实施与固定点连接, 而锚链的选择是多样性的, 需要确定锚链的型号、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, 否

则锚会被拖行, 致使节点移位丢失。首先, 对系泊系统进行整体受力分析, 将锚链末端与锚的链接处的切线方向与海床的夹角设为 $\theta_1$ , 将浮标的吃水深度设为 $h$ , 建立 $\theta_1 - F(h)$ 方程模型 $h$ 与 $\theta_1$ 进行表示, 运用MATLAB软件求解方程 $\theta_1 - F(h)$ , 得到了吃水深度 $h$ 与夹角 $\theta_1$ 。然后, 运用微分方程方法得出锚链的函数关系为悬链线。更进一步, 可以根据 $\theta_1$ 的范围确定浮标的游动区域。为了使得钢桶满足工作状态的要求, 最后讨论了重物球质量的调节方法。

## 关键词

系泊系统, 受力分析, 吃水深度, 平衡状态

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

系泊系统是通过缆绳或其他机械装置将水面结构实施与固定点连接, 被系泊结构物具有抵御一定环境条件的能力, 保证设计环境下的作业需求, 遭遇极端海况时, 能够保证结构物和系泊系统本身安全。典型的系泊系统组成可分为上浮体固定端, 导向装置, 系泊主体, 和海底固定端。由于近浅海观测网的传输节点由浮标系统、系泊系统和水声通讯系统组成。而锚链的选择是多样性的, 为了尽可能的节省锚链的材料、根据不同要求选择不同的锚链型号以保证锚链末端与锚的链接处的切线方向与海床的夹角不超过 $16^\circ$ , 否则锚会被拖行, 致使节点移位丢失。还需要确定锚链的型号、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。

本文主要讨论的问题有二:

对于问题一, 在已知重物球的质量以及锚链的长度下, 将该传输节点放在水深 18 m、海水平坦且海水密度确定的环境下, 分别计算风速为 12 m/s 和 24 m/s 时的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。

在问题二中, 在以上假设条件均不变的情况下, 如何调节重物球的质量才能使钢管的倾斜角度不超过 $5^\circ$ , 锚链在锚点与海床的夹角不超过 $16^\circ$ 。

在讨论上述问题中我们主要采用了基本的几何受力分析方法、微分方程方法和最优化方法优化求解文中 $\theta_1 - F(h)$ 模型, 从而得出结果。

## 2. 计算模型

问题一中, 我们构造了 $\theta_1 - F(h)$ 模型帮助计算吃水深度与各节钢管之间的倾斜角度。此处引用参考文献[1] [2] [3]。

该模型是由以下三个受力分析部分综合而来:

**第一步: 首先对该系泊系统整体进行受力分析(图1):**

水平方向:  $F_{\square} = f_{\text{摩}}$ ;

竖直方向:  $F_{\text{支}} + F_{\text{浮}} = G_{\square}$ ;

其中,  $F_{\text{支}}$  是海床对锚的支持力,  $F_{\text{浮}}$  为系泊系统中所有物体受到的浮力,  $F_{\square}$  为浮标上半部分所受到的风力,  $f_{\text{摩}}$  为锚受到海床的摩擦力。

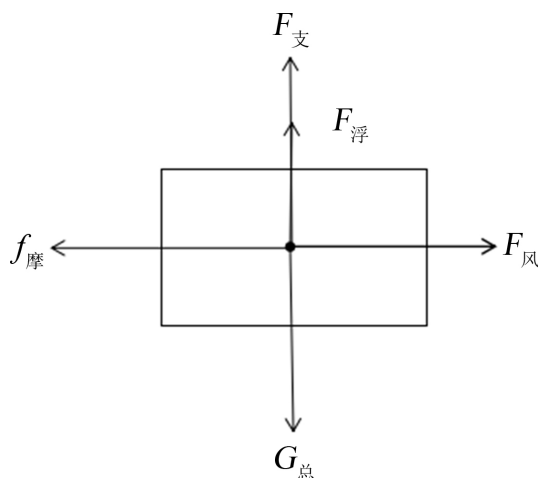


Figure 1. Overall force analysis of mooring system  
图 1. 系泊系统整体受力分析图

由受力分析图得出两个方程:

$$\textcircled{1} \begin{cases} 0.625(2-h)2v^2 = F_{\square} \\ 1.25(2-h)v^2 = F_{\text{支}} \end{cases}$$

其中,  $h$  是浮标的吃水深度,  $v$  是风速。

**第二步: 再对锚单独受力分析(图 2):**

水平方向:  $T \cos \theta_1 = f_{\text{摩}}$ ;

竖直方向:  $F_{\text{锚浮}} + T \sin \theta_1 + F_{\text{支}} = G_{\text{锚}}$ ;

由受力分析得出两个方程:

$$\textcircled{2} \begin{cases} T = [1.25(2-h)v^2] / \cos \theta_1 \\ F_{\text{锚浮}} + [1.25(2-h)v^2] \tan(\theta_1) + F_{\text{支}} = G_{\text{锚}} \end{cases}$$

其中,  $F_{\text{锚浮}}$  是锚所受到的浮力,  $T$  是锚所受锚链的拉力,  $G_{\text{锚}}$  是锚所受到的重力,  $f_{\text{摩}}$  是锚受到海床对它的摩擦力,  $F_{\text{支}}$  是锚受到地面的支持力。

**第三步: 锚以外的系统作总的受力分析(图 3):**

水平方向:  $T \cos \theta_1 = F_{\square}$ ;

竖直方向:  $F'_{\text{浮}} = G' + T' \sin \theta_1$ ;

由受力分析图得出两个方程:

$$\textcircled{3} \begin{cases} T = F_{\square} / \cos \theta_1 \\ F'_{\text{浮}} = G' + F_{\square} \tan(\theta_1) \end{cases}$$

其中,  $F'_{\text{浮}}$  是锚以外的系统所受的浮力,  $F_{\square}$  是浮标所受的风力; 为除锚外系统所受到的重力,  $T'$  为锚对锚链的拉力,  $\theta_1$  是拉力方向与水平方向的夹角。

综合以上①②③, 可得  $h$  关于  $\theta_1$  的方程:  $\theta_1 - F(h)$  函数模型。利用 MATLAB 软件编程, 将  $\theta_1$  作为参量, 令  $m = \theta_1 \times 180/\pi$ ;

$$\begin{cases} G2 = (1000 + 1200 + 40 + 100 + 22.057)9.8 \\ f = ((G2/9.8 - 1000)(1.025/7.85))9.8 \end{cases};$$

其中  $G2$  为该系泊系统所受的出去浮力之后的重力;  $f$  为该系统受到的浮力。

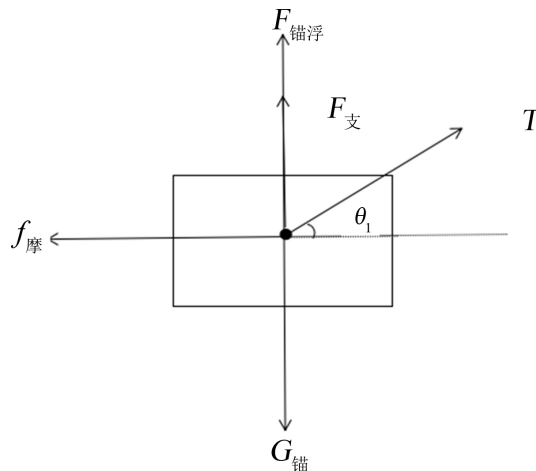


Figure 2. Force analysis of the anchor  
图 2. 锚的受力分析图

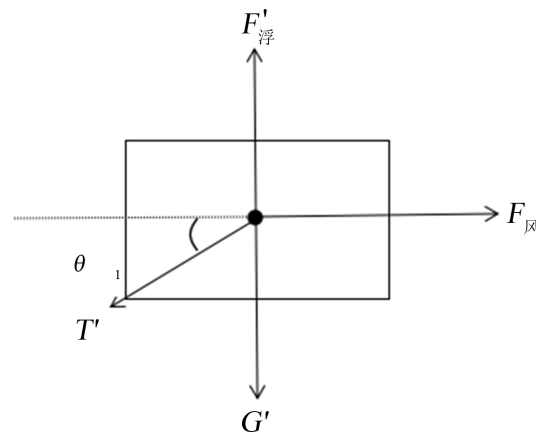


Figure 3. Force analysis of the system except anchor  
图 3. 除锚以外系统受力分析

$$h = (G_2 - f + 2.5v^2 \tan(m)) / (1.25v^2 \tan(m) + 1.025 \times 10^3 \times 9.8\pi)$$

该  $\theta_1 - F(h)$  函数模型用于求解吃水深度与风速之间关系，还可以帮助计算出各节钢管之间的倾斜角度。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 海面风速为 12 m/s 和 24 m/s 时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

通过  $\theta_1 - F(h)$  函数模型，带入以上两个风速可得锚的吃水深度以及各节钢管的倾斜角度，其结果如表 1 展示。

其中钢管的倾斜角度为弧度(rad)。

**对于锚链的形状的模型建立：**此处引用参考文献[4] [5] [6]。

此时设铁桶下方距离海床为  $y$ ，则由题意得：

$$y = 18 - \cos(a_1) - \cos(a_2) - \cos(a_3) - \cos(a_4) - \cos(a_5) - h;$$

其中,  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 和 $a_5$ 分别为第一、第二、第三、第四和第五根钢管相对于竖直方向的偏转角。

通过微分方程可得出:

$$y = a \times \arccos \left[ x/a + \ln(\tan(a) + \sec(a)) \right] - a \times \sec(a);$$

其中,  $a = R/q$  是参量。

**浮标的游动区域的计算:** 此处引用参考文献[7]。

建立相应的平面直角坐标系, 已知  $y$  的范围  $0 \leq y \leq 12.28$ ; 从而得出  $x$  最大值为 6.9448 m;  $x$  的最小值为 6.118 m。

其中  $x$  为所建立的平面直角坐标系的横坐标, 即所求浮动区域的内径。

进而浮标的浮动区域为一个内径为 6.1182 m, 外径为 6.9448 m 的圆环, 圆环面积为 8.4762 m<sup>2</sup>。

### 3.2. 风速为 36 m/s 时模型的结果

通过  $\theta_1 - F(h)$  函数模型得出当风速为 36 m/s 时浮标的吃水深度以及各钢管之间的倾斜角度, 如表 2 所示。

此处引用参考文献[8] [9]。

此时得出  $x$  的范围是  $18.25 \leq x \leq 24.86$ ; 圆环面积为: 223.69 m<sup>2</sup>。

### 3.3. 重物球质量的调节

调节重物球的质量使  $a_5$  的角度小于 5 度; 将第一题中的重物球质量设为  $M$ , 建立一个  $a_5 - (M)$  的函数, 由此得出: 新系统的重物球必须保证能够使钢桶满足偏转角度小于 5 度, 即得出此时为  $M = 2017$  千克(即为  $M$  的最小值)。此处引用参考文献[9]。

同样, 另一方面必须保证整体最大浮力(即当浮标全部没入水中时的浮力)大于整体的重力, 从而此时的重物球质量  $M \leq 6043$  kg。

## 4. 结论

在简化了系泊系统的设计问题上, 采用数值模拟的手段计算系泊系统的各类数值, 主要得出如下主要结论:

- 1) 本文中所得出的锚链的形状符合一般情况下的悬链线方程;
- 2) 在风速为 36 m/s 时, 浮标的吃水深度为 0.7233 m;
- 3) 当风速为 36 m/s 时, 为使钢桶的倾斜角度不超过 5°, 锚链在锚点与海床的夹角不超过 16°, 重物球的质量  $M$  的范围应为  $2017 \text{ kg} \leq M \leq 6043 \text{ kg}$ 。

## 参考文献

- [1] 董江水. 应用 SPSS 软件拟合 Logistic 曲线研究[J]. 金陵科技园学报, 2007, 23(1): 21-24.
- [2] 吕立功, 景勇, 温宝贵, 刘振国. FPSO 系泊系统设计上的考虑[C]//中国造船工程学会. 2005 年度海洋工程学术会议论文集. <http://cpfd.cnki.com.cn/Article/CPFDTOTAL-ZGZC200511001056.htm>, 2016-09-11.
- [3] 船舶百科. 锚链[Z/OL]. <http://wiki.eworldship.com/index.php?doc-view-1486>, 2016-09-11.
- [4] 王丹, 刘家新. 一般状态下悬链线方程的应用[J]. 船海工程, 2007, 36(3): 26-28.
- [5] 李云东. Matlab 软件应用与发展[Z/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/cdaa127202768e9951e738ad.html>, 2011-01-05.
- [6] 郝春玲, 张亦飞, 滕斌, 徐伟, 赵海涛. 流速分布及锚链自身刚度对弹性但锚链系统变性与受力的影响[J]. 海洋学研究, 2006, 24(3): 90-95.
- [7] Wang, J.M., Bi, W.T. and Wei, Q.D. (2009) Effects of an Inclined Rod on Circular Cylinder-Plate Junction Flow. *Ex-*

*periments in Fluids*, **46**, 1093-1104. <https://doi.org/10.1007/s00348-009-0619-4>

- [8] Devenport, W.J. and Simpson, R.L. (1990) Time-Dependent and Time-Averaged Turbulence Structure near the Nose of a Wing-Body Junction. *Journal of Fluid Mechanics*, **210**, 23-55. <https://doi.org/10.1017/S0022112090001215>
- [9] Baker, C.J. (1980) The Turbulent Horseshoe Vortex. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, **6**, 9-23. [https://doi.org/10.1016/0167-6105\(80\)90018-5](https://doi.org/10.1016/0167-6105(80)90018-5)

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7583, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [pm@hanspub.org](mailto:pm@hanspub.org)