

Design and Case Analysis of Transmission Nodes in Offshore Observation Network

Jiayuan Li, Yacong Yan

Faculty of Mathematics and Computer Science, Guangdong Ocean University, Zhanjiang Guangdong
Email: 1027383984@qq.com, congcongyee@163.com

Received: Oct. 9th, 2018; accepted: Oct. 24th, 2018; published: Oct. 31st, 2018

Abstract

The transmission nodes of offshore observation network are composed of buoy system, mooring system and underwater acoustic communication system. The mooring system has a significant impact on the underwater acoustic communication capability of the equipment. Considering the specific sea area of Beibu Gulf, this paper simplifies the mooring system and establishes the mathematical model of optimal matching with the objective of minimizing the relative error of the vertical height of the anchor chain. By solving the nonlinear equations, the optimal calculation of stratified variables is carried out.

Keywords

Beibu Gulf, Offshore Observation, Multi-Objective Optimization, Nonlinear Equations

近海观测网传输节点的设计与实例分析

李嘉源, 颜亚聪

广东海洋大学数学与计算机学院, 广东 湛江
Email: 1027383984@qq.com, congcongyee@163.com

收稿日期: 2018年10月9日; 录用日期: 2018年10月24日; 发布日期: 2018年10月31日

摘要

近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, 其中系泊系统对设备的水声通讯能力影响显著。本文考虑北部湾具体海域情况, 将系泊系统进行简化, 建立锚链的垂直高度相对误差最小为目标的优化匹配的数学模型。通过求解非线性方程组, 进行分层变量优化计算。

关键词

北部湾, 近海观测网, 多目标优化, 非线性方程组

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

近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, 其中系泊系统对设备的水声通讯能力影响显著。北部湾是我国大西南的出海口。随着中国 - 东盟战略伙伴关系的建立以及迅速发展, 环北部湾地区作为中国与东盟跨海战略的纽带, 海上经济合作海洋石油和天然气开发越来越频繁, 对北部湾生态环境造成的影响越来越显著。有必要加强北部湾近海观测网的建设。

北部湾目前拥有的观测系统为近岸观测系统, 以沿岸站台的连续监测为主。但是, 近海的环境过程与近岸的差距很大, 近岸获得的数据不能代表近海的海洋现象。近浅海观测网是海洋监测事业的一个重要分支, 其传输节点由浮标系统、系泊系统和水声通讯系统组成。本文的工作是针对北部湾的具体情况对系泊系统的设计, 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并对系泊系统进行模型优化。

通过建立北部湾近海观测网, 可以对海上活动形成环境保障能力, 对近岸海洋灾害形成远程预警能力, 对海洋环境质量形成综合检测能力, 对我国海上的军事活动形成实时保障能力。

2. 数据收集

1) 从美国国家海洋和大气管理局网站及英国海洋数据中心分别获取了全球海洋风速、水流速数据以及海洋水深度数据, 通过数据处理筛选得到北部湾海域(107.5°E: 109.5°E, 20.5°N: 21.5°N)的风速、水流速和水深的简化后的数据如表 1。

2) 系泊系统所使用的锚链, 由于型号众多, 我们从 96 年发布的电焊锚链国家标准中选取了一部分无档锚链型号及参数如表 2。

3. 符号说明

如表 3。

4. 模型分析与设计

选用一类传输节点模型如图 1, 其浮标系统可简化为底面直径 2 m、高 2 m 的圆柱体, 浮标的质量为 1000 kg, 重物球的质量为 1200 kg, 锚的质量为 600 kg。钢管共 4 节, 每节长度 1 m, 直径为 50 mm, 每节钢管的质量 10 kg。水声通讯系统安装在一个长 1 m、外径 30 cm 的密封圆柱形钢桶内, 设备和钢桶总质量为 100 kg。钢桶上接第 4 节钢管, 下接电焊锚链。在钢桶与电焊锚链链接处悬挂重物球控制钢桶的倾斜角度。

根据历史经验, 为保证设备的工作效果, 钢桶竖直时, 水声通讯设备的工作效果最佳, 倾斜超过 5° 时, 设备的工作效果较差。锚链末端与锚的连接处的切线与海床的夹角超过 16° 时, 锚可能被拖动, 丢失监测节点[1]。

Table 1. Results of data filtering
表 1. 数据筛选结果

项目(单位)	最小值	最大值	历史平均值
风速(m/s)	0	20	6
水流速(m/s)	0.2	3	1.6
水深(m)	1	46	20

Table 2. Some anchor chain models and their parameters
表 2. 部分锚链型号及其参数

型号	链径 d (mm)	单位长度的质量(kg/m)
I	11	2.63
II	19	7.83
III	24	12.50
IV	30	19.50
V	36	28.12

注: 长度 $L = 5d$ 。

Table 3. Symbol used and its description
表 3. 所用符号及其说明

符号	说明	符号	说明	符号	说明
m_0	浮标重量	ω_j	从上往下第 j 个链环的倾斜角	$G_{球}$	球所受重力
F_{ml}	锚链所受浮力	$\theta_{桶}$	桶的倾斜角	$G_{管}$	四根钢管所受重力
F_f	风力大小	$m_{铁}$	链环质量	$G_{链}$	锚链所受重力
F_0	浮标所受浮力	$m_{链}$	锚链质量	r	浮标半径
F_{fj}	钢桶所受浮力	β	锚链上端与竖向夹角	h_{ml}	锚链在竖向的投影长度
F_g	4 根钢管所受浮力	α	锚链下端与海床夹角	n	链环节数
G_0	浮标所受重力	h_g	4 根钢管在竖向的投影	$\rho_{铁}$	钢的密度
$G_{桶}$	桶所受浮力	h_{fj}	桶在竖向的投影长度	l_g	每节钢管长度
h	浮标吃水深度	l_{fj}	钢桶长度	l_{ml}	每节链环长度
θ_i	从上往下第 i 个钢管的倾斜角				

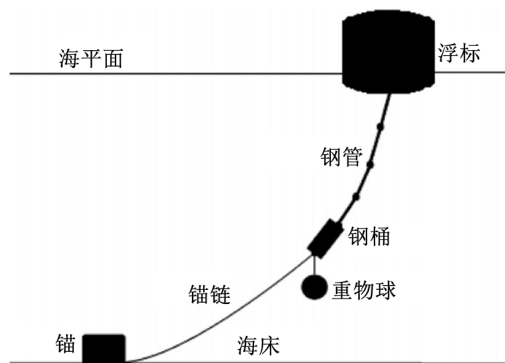


Figure 1. Schematic diagram of a transmission node
图 1. 某型传输节点示意图

在受力模型中, 无论风力和水流力在哪个方向, 都可分解成水平方向和竖直方向的合力。但这些问题并未对模型造成影响。因为这里只需要讨论临界情况即可, 而水平方向的情况正好的是临界情况。

利用受力分析与总深度, 通过不断逼近得到吃水深度范围。当风速过大会使钢桶过于倾斜且锚点与水平面的夹角过大, 通过增加重物球的质量并求出质量所需达到的临界值。如果仅考虑减少浮标的吃水深度, 只需减少重物球等水下物体的重量即可, 如果仅考虑浮标的游动区域和钢桶的倾角, 则只需增加重物球的质量。

通过上述分析, 本文将分层次进行模型的设计和建立:

首先假设海水静止, 选用 III 型锚链 21.6 m, 当水深为平均值 20 m, 计算海面风速为平均值 6 m/s 和最大值 20 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。判断是否钢桶的倾斜角度超过 5° , 锚链在锚点与海床的夹角超过 16° [2]。

然后针对北部湾海域的具体实测水深以及布放点的海水速度、风速等, 给出结合风力、水流力和水深情况下的系泊系统设计, 分析不同情况下钢桶、钢管的倾斜角度、锚链形状、浮标的吃水深度和游动区域。

5. 模型建立与求解

浮标受到的重力, 浮力和风力的计算公式分别是:

$$G_0 = m_0 g, F_0 = \rho g r^2 h g, F_{\text{风}} = 0.625 \times 2 \times (2 - h) \times v_{\text{风}}^2.$$

从上往下第 1 根钢管与浮标连接点进行分析, 将浮标看成整体 1, 四根钢管、钢桶、重力球、锚链和锚作为另外整体 2, 通过受力分析, 可以用这个合力的方向近似地表示钢管的倾斜方向, 通过将第一根钢管再提取出来作为新的整体 1 [3], 可以得到:

$$\begin{aligned} \tan \theta_j &= \frac{F_f}{F_0 + (j-1) \rho \pi (0.05/2)^2 g - G_0 - (j-1) \times 10 \times 9.8} \quad (j=1, 2, 3, 4), \\ \tan \theta_{\text{桶}} &= \frac{F_f}{F_0 + 4 \rho \pi (0.05/2)^2 g + F_{\text{浮}} - (G_0 + 10 \times 9.8)}, \\ \tan \beta &= \frac{F_f}{F_0 + 4 \rho \pi (0.05/2)^2 g + F_{\text{浮}} - (G_0 + 4 \times 10 \times 9.8 + G_{\text{桶}} + G_{\text{球}})} = \tan^{-1} \alpha. \end{aligned}$$

对于锚链, 用微分的思想分成很多的小段, 得到:

$$\tan \omega_j = \frac{F_f}{F_0 + 4 \rho \pi (0.05/2)^2 g + F_{\text{浮}} + F_{\text{浮}} + \rho j \frac{m_{\text{铁}}}{\rho_{\text{铁}}} g - (G_0 + 4 \times 10 \times 9.8 + G_{\text{桶}} + G_{\text{球}} + G_{\text{链}} + j m_{\text{铁}} g)}$$

于是可得:

$$h_{\text{ml}} = l_{\text{ml}} \times \sum_{j=1}^n \cos \theta_j, h_g = l_g \times (\cos \theta_1 + \cos \theta_2 + \cos \theta_3 + \cos \theta_4),$$

而游动半径:

$$x_r = l_g (\sin \theta_1 + \sin \theta_2 + \sin \theta_3 + \sin \theta_4) + l_2 \sin \theta_{\text{桶}} + l_3 \times \sum_{j=1}^n \sin \omega_j$$

接着建立起一个关于多元非线性方程组, 通过 matlab 程序求解得到。

由表 4 和表 5 可得, 在特定情形平均风速和最大风速下, 钢桶倾斜角度和锚链末端与锚的链接处的切线方向与海床的夹角都没有超过临界值。

下面结合北部湾的实际情况进行讨论。由于获取的水深数据中有相当一部分是 10 m 以内的数据, 这一部分海域投放系泊系统不适合, 于是我们把适合投放节点的水深范围定为 10 m~42 m。

当结合水流力以后, 模型发生一些改变。针对风力和水流力的影响, 对系统形成一个合力, 我们来讨论最大值和最小值[4]。

当风力和水流力大小相等方向相反时, 合力最小, 根据风力和水流力计算公式有:

$$0.625 \times S_1 \times v_{\text{风}}^2 = 374 \times S_2 \times v_{\text{水}}^2$$

由于

$$\begin{cases} S_1 = 2 \times (2 - h), \\ S_2 = 2h + 4 \times 1 \times 0.05 + 1 \times 0.3, \end{cases}$$

故 $\frac{v_{\text{风}}^2}{v_{\text{水}}^2} = \frac{748 \times h + 187}{2.5 - 1.25 \times h}$, 此时合力取得最小值。

当风速和水流速达到最大值且方向相同时, 取得最大值 $F_{\text{合}} = 6232 \times h + 2683$ 。

$$0 < F_{\text{合}} < 6232 \times h + 2683.$$

在考虑水流力情况下, 有:

$$h_g = l_g \times \sum_{i=1}^4 \frac{F_0 + i\rho\pi\left(\frac{0.05}{2}\right)^2 g - G_0 - 4 \times 10 \times g}{\sqrt{F_{\text{合}}^2 + \left(F_0 + i\rho\pi\left(\frac{0.05}{2}\right)^2 - G_0 - 4 \times 10 \times g\right)^2}}$$

$$h_f = l_f \times \frac{F_0 + i\rho\pi\left(\frac{0.05}{2}\right)^2 g - G_0 - 4 \times 10 \times g}{F_{\text{合}}^2 + \left(F_0 + i\rho\pi\left(\frac{0.05}{2}\right)^2 - G_0 - 4 \times 10 \times g\right)^2}$$

$$h_{ml} = l_{ml} \times \sum_{i=1}^n \frac{F_0 + 4\rho\pi\left(\frac{0.05}{2}\right)^2 g + \rho\pi\left(\frac{0.3}{2}\right)^2 g + \rho\frac{m_{\text{球}}}{\rho_{\text{铁}}}g + \rho\frac{m_{\text{链}}}{\rho_{\text{铁}}}g - G_0 - G_{\text{管}} - G_{\text{球}} - G_{\text{链}}}{\sqrt{F_{\text{合}}^2 + \left(F_0 + 4\rho\pi\left(\frac{0.05}{2}\right)^2 + \rho\pi\left(\frac{0.3}{2}\right)^2 g + \rho\frac{m_{\text{球}}}{\rho_{\text{铁}}}g + \rho\frac{m_{\text{链}}}{\rho_{\text{铁}}}g - G_0 - G_{\text{管}} - G_{\text{球}} - G_{\text{链}}\right)^2}}$$

要满足 $\theta_{\text{桶}} < 5^\circ, \alpha < 16^\circ$, 则

$$\begin{cases} \tan 0^\circ \leq \frac{F_{\text{合}}}{F_0 + F_g - G_0 - G_g} \leq \tan 5^\circ \\ \tan 0^\circ \leq \frac{F_0 + F_g + F_f + F_{ml} - G_0 - G_g - G_{\text{桶}} - m_{\text{球}}g - m_{\text{链}}g}{F_{\text{合}}} \leq \tan 16^\circ \end{cases}$$

通过不等式组所得到的临界值, 使用 matlab 程序求得结果如表 6。

Table 4. The parameters of wind speed 6 m/s
表 4. 风速 6 m/s 时各项参数

吃水深度		从上至下第 i 根钢管倾斜角					钢桶倾斜角	游动半径
h (m)	θ_1 (°)	θ_2 (°)	θ_3 (°)	θ_4 (°)	$\theta_{桶}$ (°)	(°) α	X_r (m)	
0.70255	0.2704	0.2721	0.2739	0.2756	0.2774	0	3.9699	

Table 5. The parameters of wind speed 4 m/s
表 5. 风速 4 m/s 时各项参数

吃水深度		从上至下第 i 根钢管倾斜角					钢桶倾斜角	游动半径
h (m)	θ_1 (°)	θ_2 (°)	θ_3 (°)	θ_4 (°)	$\theta_{桶}$ (°)	(°) α	X_r (m)	
0.71796	0.28545	0.28719	0.28896	0.29075	0.29256	0	13.7647	

Table 6. Parameter table of each model
表 6. 各型号参数表

型号	所需链节数	锚链长度(m)	锚链质量(m)	重物球质量(kg)	游动区域半径(m)
I	2253	123.915	325.89645	6603.2918	119.1793
II	1023	97.185	760.95855	6168.2297	90.36788
III	715	85.8	1072.5	5856.6883	77.56693
IV	505	75.75	1477.125	5452.0633	65.8447
V	380	68.4	1923.408	5005.7803	56.85045

我们要确定锚链的型号、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。从表中看,若以游动区域尽量小为目标的话,我们应该选取锚链型号为型号 V。

于是选取 V 号锚链 68.4 m, 重物球质量 5005.7803 kg。

基金项目

本论文得到广东海洋大学大学生创新创业实践项目(项目名称:北部湾近海观测网传输节点的设计与优化,编号:CXXL2017122)的资助。

参考文献

- [1] 曹红红. 近浅海观测网的系泊系统设计[J]. 工程建设, 2016, 48(7): 69-71.
- [2] 廖青, 张伟泉, 吴宁, 王志勇. 系泊系统的优化设计模型[J]. 实验科学与技术, 2017, 15(6): 11-15.
- [3] 方子帆, 余红昌, 郑小伟, 何雪辉, 葛旭甫, 徐浩, 谢旭光. 浮标系泊结构的参数优化匹配方法研究[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(11): 69-74.
- [4] 麻云, 张霞, 刘明, 盛延亮, 汤毓蓉, 张泽彬, 刘家辰. 系泊系统在不同海况下的适应性分析与设计[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 15-25.

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：2324-7991，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：aam@hanspub.org