

齐继阳,刘英豪,佟士凯,等. 风电安装船嵌入式升降监控系统的开发[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2019,34(1): 64-69. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2019.01.010

Qi J Y, Liu Y H, Tong S K, et al. Development of Embedded Supervisory Control System of Offshore Wind Turbine Installation Vessel's Jack-up Assembly [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2019,34(1): 64-69. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2019.01.010

# 风电安装船嵌入式升降监控系统的开发

齐继阳<sup>1,2\*</sup>, 刘英豪<sup>1</sup>, 佟士凯<sup>1</sup>, 苏世杰<sup>1</sup>

(1.江苏科技大学 机械工程学院,江苏 镇江 212003;2. 江苏省机电产品循环利用技术重点建设实验室,江苏 常熟 215500)

**摘要:**为实现对风电安装船升降过程的远程监控,本文以移动终端作为上位机,西门子 S7-1200 系列 PLC 作为下位机开发了风电安装船分布式升降监控系统.下位机 PLC 基于 USS 协议实现对现场变频器的控制,基于 Modbus 协议与现场数据采集模块通讯,实时采集现场数据,下位机 PLC 负责对风电安装船升降过程的实时控制;上位机移动终端负责过程监视和人机交互,操作人员通过上位机移动终端对风电安装船升降过程远程监控.上位机与下位机之间通过 TCP/IP 协议进行通讯.系统试运行表明,该系统运行稳定,操作简单,能够满足风电安装船升降过程远程监控的要求.

**关键词:**风电安装船;升降系统;远程监控;自动调平

**中图分类号:**TP277

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-9102(2019)01-0064-06

## Development of Embedded Supervisory Control System of Offshore Wind Turbine Installation Vessel's Jack-up Assembly

Qi Jiyang<sup>1,2</sup>, Liu Yinghao<sup>1</sup>, Tong Shikai<sup>1</sup>, Su Shijie<sup>1</sup>

(1.School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Recycling and Reusing Technology for Mechanical and Electronic Products, Changshu 215500, China)

**Abstract:** In order to control and monitor jack-up assembly of wind turbine installation vessel, a distributed control system was developed. In the system, a Siemens S7-1200 PLC was used as lower controller and a mobile terminal was used as upper controller. The inverters based on USS protocol were controlled by PLC, and the data acquisition equipment was communicated with protocol based on Modbus to acquire the on-site data. The PLC was used for real-time control of wind turbine installation vessel. The mobile terminal was used for process supervisory control and human-computer interaction. The remote operator controlled and monitored jack-up assembly of offshore wind turbine installation vessel on the internet. The PLC communicated with the mobile terminal based on TCP/IP protocol. The test shows that the system is reliable, easy to operate and meet the requirements of remote supervisory control of the installation vessel's jack-up assembly.

**Keywords:** wind turbine installation vessel; jack-up assembly; remote supervisory control; automatic levelling process

当今世界能源极度匮乏,传统能源的煤和石油,不仅存储量有限和不可再生,而且对环境的污染严重.

收稿日期:2017-04-09

基金项目:江苏省机电产品循环利用技术重点建设实验室开放课题资助(RRME-KF1605)

\*通信作者,E-mail: jyqi@just.edu.cn

风能作为一种可再生的绿色能源,越来越受到世界各国的高度重视.由于海上的风况远远优于陆地,风力发电正逐渐地由陆地延伸至海洋,海上风能的开发与利用已成为新能源开发的重点.风电安装船作为海上安装风电设备的重要工程装备,其中以升降机构最为核心,升降机构工作性能的好坏直接影响了风电设备安装的效率与安全<sup>[1-2]</sup>.

目前,国内外风电安装船升降控制系统多采用 PLC 作为下位机,触摸屏作为上位机,PLC 根据布置在各处传感器所采集的信号,对各桩腿的升降过程进行协调控制,触摸屏负责过程监视和人机交互,两者共同实现对风电安装船升降过程的监控<sup>[3-4]</sup>.但由于海上工作情况恶劣、远离陆地,上述方法仅限于对风电安装船升降过程的现场监控.本文探讨如何基于现代网络技术,使用移动终端(手机和平板电脑)作为远程监控端,突破距离的限制,实现随时随地对风电安装船升降过程的监控,这对新型风电安装船升降远程监控系统的研究具有重要的理论意义和应用价值.

1 风电安装船结构及升降过程概述

如图 1 所示<sup>[5]</sup>,风电安装船为四桩腿式,主要由船体、桩腿、桩靴和升降机构组成.升降机构采用齿轮齿条式传动,主要包括齿轮、齿条和固桩架,齿条固连在桩腿两侧,每个齿条与一个齿轮啮合,齿轮由三相异步电机驱动,实现风电安装船的升降功能,固桩架由液压缸驱动,用于风电安装船升降过程中相对位置的固定.

在风电安装船到达指定工作地点后,其升降过程是:(1)放桩,船体漂浮于海面,通过电机驱动齿轮带动桩腿下降至海底;(2)预压,桩腿下降至海底,以低速完成桩腿对海底的预压,保证船体更稳定地停在预定位置;(3)船体上升,此时桩腿已牢固地插入海底,无法再继续下降,电机继续驱动齿轮,船体开始上升,到达指定位置,固桩架锁紧,使船体固定在当前位置;(4)船体下降,完成作业后,固桩架松开,电机驱动齿轮使船体下降,直至船体漂浮于海面;(5)拔桩,电机低速运行,直至桩腿从海底拔出;(6)提桩,电机继续运行,直至桩腿回到初始位置为止<sup>[6]</sup>.

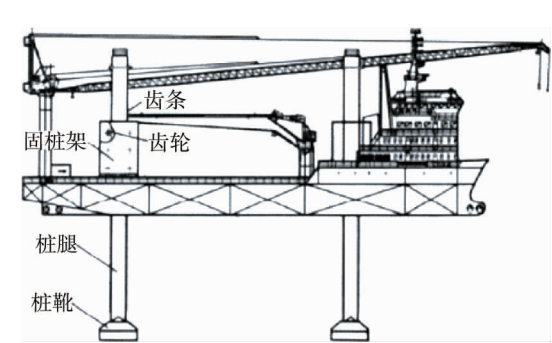


图 1 风电安装船结构

2 总体方案设计

2.1 功能需求分析

本文以风电安装船升降控制系统为研究对象,利用该系统完成风电安装船在船体上升和船体下降 2 个工作过程中的平衡调节,同时对船体、桩腿、三相异步电机和固桩架的工作状态进行实时监测<sup>[4]</sup>,具体监测对象如表 1 所示.

2.2 监控系统方案设计

风电安装船有 4 条桩腿,每条桩腿由齿轮齿条驱动船体上升或下降,固桩架实现船体上升和下降过程中对桩腿的锁紧或松开.如图 2 所示,监控系统

由管理层、单元层和设备层所组成.管理层负责远程监控任务,由移动终端和 PC 机所组成,移动终端主要包括手机和平板电脑;单元层负责采集设备层各个模块的信息,以及控制各个模块的运行,并为管理层提供所需的数据;设备层负责现场信号的采集以及现场设备的控制<sup>[7-8]</sup>.

为实现风电安装船升降过程中各桩腿之间的协调控制,风电安装船分布式控制系统以移动终端作为上位机,西门子 1200 系列 PLC 作为下位机,在每个桩腿处布置有变频器和 Modbus I/O 模块,PLC 通过 USS 协议控制变频器的运行,从而实现对驱动桩腿升降的电动机调速控制,此外 PLC 作为 Modbus 的主

表 1 风电安装船升降控制系统监测对象

名称	监控对象	监控要求
船体	倾斜度	安全范围内
	载荷	安全范围内
	伸出长度	符合设定数值
桩腿	载荷	安全范围内、载荷均衡
	应力	安全范围内
电机	转速	平台倾斜度在安全范围内
固桩架	液压缸	工作位置
	电磁阀	工作状态

站,分布在每个桩腿处的 Modbus I/O 模块作为 Modbus 从站,构成了 Modbus 网络,用于现场信号的采集.现场路由器通过卫星天线接收来自宽带卫星传送来的数据,实现路由器与 Internet 的连接<sup>[9-10]</sup>,PLC,网络摄像头和现场 PC 通过路由器连接 Internet,这样远程用户通过 Internet 实现对现场设备的远程监控.

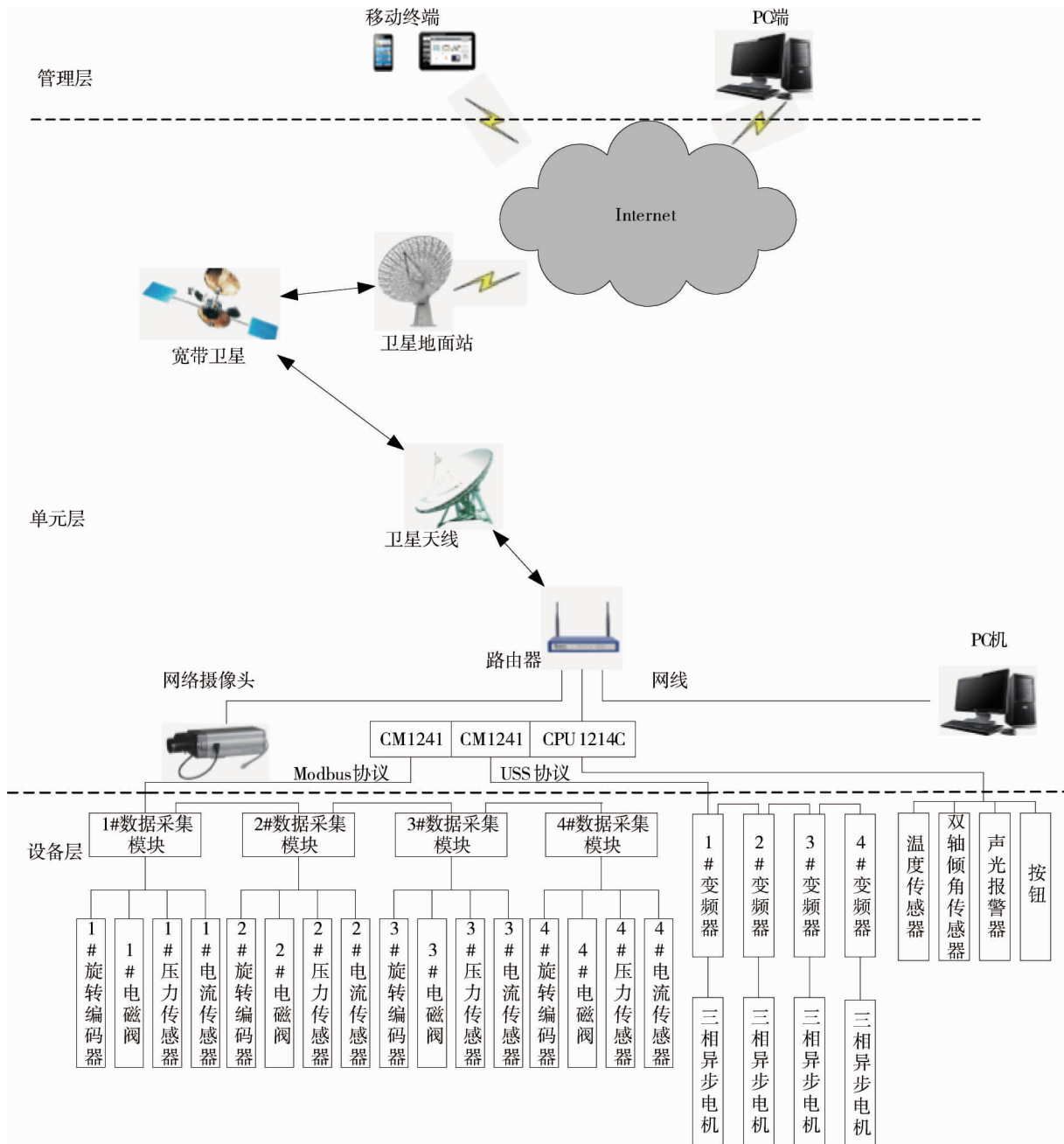


图2 风电安装船升降控制系统结构

### 3 下位机程序的开发

本文以西门子 1214C 型 PLC 作为控制系统的下位机,通过 USS 协议实现 PLC 对变频器的控制,进而控制 4 台三相异步电动机的运行状态.另外,在每个桩腿附近安装基于 Modbus 协议的 I/O 模块,PLC 基于 Modbus 协议与 I/O 模块通信,获取现场信号,进而控制电磁阀等执行件的工作状态,实现对桩腿升降过程的监控.

下位机系统要求能够实现在船体上升或下降的过程中,通过控制 4 条桩腿的上升或下降的速度来实现船体平衡的自动调节,保证船体的倾斜度始终在设定的范围之内,当出现异常情况时,系统会自动报警

提示,同时系统要允许操作人员对单个桩腿进行操作和调试.

3.1 自动调平原理分析

为实现风电安装船升降过程中的姿态监控,在船体上安装了双轴倾角传感器,用来监测船体在  $X$  和  $Y$  方向的倾斜角度,通过对倾斜角度的分析与计算,判断出当前船体的倾斜姿态,以其中 1 条桩腿作为参考对象,调整其余 3 条桩腿的运行速度,从而达到对船体倾斜姿态的控制.

如图 3 所示为风电安装船船体倾斜姿态示意图, $A, B, C, D$  这 4 点代表 4 条桩腿当前位置,其中  $ABCD$  为初始状态时船体的倾斜姿态, $A'B'C'D'$  为运行过程中船体的倾斜姿态, $\alpha$  和  $\beta$  为倾角传感器检测出来的船体倾斜角度,以船体在升降过程中船体的最低点所在桩腿作为参考点,桩腿的调速以调慢不调快为原则,通过调节其他 3 条桩腿的升降速度来调节船体的平衡.本文以船体  $X$  和  $Y$  方向倾斜角  $\alpha, \beta$  范围在  $\pm 5^\circ$  内为自动可调节角度,当倾斜角度超出此范围时需人工调节船体平衡,当倾斜角  $\alpha, \beta$  范围在  $\pm 3^\circ$  内即为设定的平衡状态,无需再对船体平衡进行调节,具体情况分类见表 2.

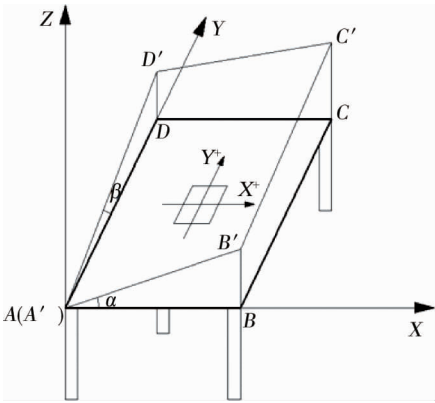


图 3 船体倾斜姿态

表 2 船体倾斜状况

船体升降过程	$X$ 方向倾角 $\alpha/(^\circ)$	$Y$ 方向倾角 $\beta/(^\circ)$	平台最低点	调整方式
船体下降	$ \alpha  \leq 3$	$-5 \leq \beta \leq -3$	$C, D$	$C, D$ 降速
	$ \alpha  \leq 3$	$3 \leq \beta \leq 5$	$A, B$	$A, B$ 降速
	$-5 \leq \alpha \leq -3$	$ \beta  \leq 3$	$B, C$	$B, C$ 降速
	$3 \leq \alpha \leq 5$	$ \beta  \leq 3$	$A, D$	$A, D$ 降速
	$-5 \leq \alpha \leq -3$	$-5 \leq \beta \leq -3$	$C$	$C$ 降速
	$-5 \leq \alpha \leq -3$	$3 \leq \beta \leq 5$	$A$	$A$ 降速
	$3 \leq \alpha \leq 5$	$-5 \leq \beta \leq -3$	$D$	$D$ 降速
	$3 \leq \alpha \leq 5$	$3 \leq \beta \leq 5$	$B$	$B$ 降速
船体上升	$\alpha \leq 3$	$-5 \leq \beta \leq -3$	$C, D$	$A, B$ 降速
	$\alpha \leq 3$	$-5 \leq \beta \leq -3$	$A, B$	$C, D$ 降速
	$-5 \leq \alpha \leq -3$	$ \beta  \leq 3$	$B, C$	$A, D$ 降速
	$3 \leq \alpha \leq 5$	$ \beta  \leq 3$	$A, D$	$B, C$ 降速
	$-5 \leq \alpha \leq -3$	$-5 \leq \beta \leq -3$	$C$	$A, B, D$ 降速
	$-5 \leq \alpha \leq -3$	$3 \leq \beta \leq 5$	$A$	$B, C, D$ 降速
	$3 \leq \alpha \leq 5$	$-5 \leq \beta \leq -3$	$D$	$A, B, C$ 降速
	$3 \leq \alpha \leq 5$	$3 \leq \beta \leq 5$	$B$	$A, C, D$ 降速

3.2 PLC 程序设计方案

PLC 程序采用模块化设计思想设计,包括 1 个主程序和初始化子程序、船体自动调平子程序、船体自动升降子程序、船体手动升降子程序 4 个子程序.当风电安装船升降监控系统启动后,首先调用初始化子程序对系统进行初始化处理,接着进行操作模式的判别,如果手动模式,则调用船体手动升降子程序,若为自动操作模式,则对船体倾斜角度进行检测,当船体倾斜角度超过设定的安全范围,系统从自动模式立即切换至手动模式,通过手动进行调平,直到船体的倾斜角度回到所设定的安全范围内,再切换回自动模式,当船体倾斜角度不大时,系统自动调用船体调平子程序,如此循环,直至系统停止(如图 4 所示).

4 远程客户端程序设计

4.1 myPROJECT Designer 与自动化系统通讯

上位机监控系统的开发采用 myPROJECT Designer 组态软件,上位机监控系统为了采集所监控对象的



数据,就必须建立与 PLC 之间的连接.myPROJECT Designer 软件支持多种与 PLC 之间的通讯协议,如 Modbus, Siemens S7, OPC UA 等<sup>[11]</sup>.本项目中,下位机选用的是西门子 1214C 型 PLC,上位机与 PLC 之间采用 Siemens S7 通讯协议,安装在移动终端的风电安装船升降监控系统 APP 通过 Internet/Intranet 即可对目标 PLC 进行访问,从而实现对现场设备的监控,另外,移动终端和 PC 端也可以通过浏览器访问风电安装船升降监控系统的 Web 服务器,通过服务器访问 PLC,同样实现对现场设备的监控(如图 5 所示).

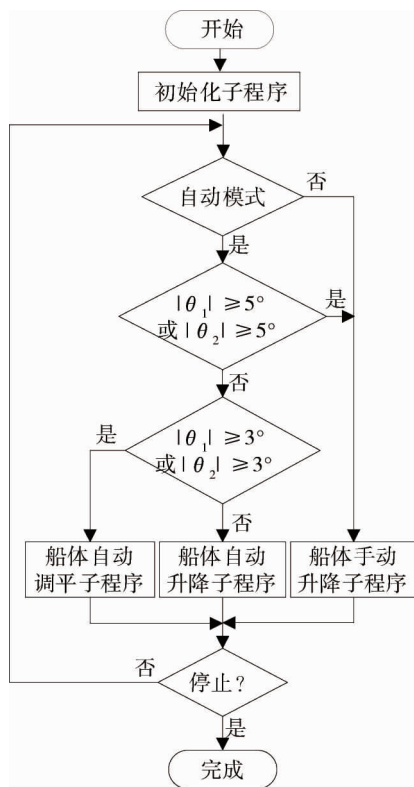


图4 PLC程序逻辑

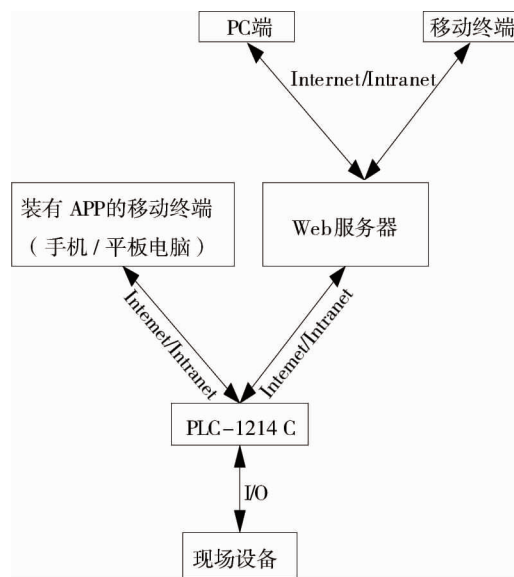


图5 远程客户端与PLC数据交换机制

#### 4.2 监控程序的开发与试验验证

为方便操作人员随时随地通过移动终端实时监控升降系统的运行状态,客户端的 APP 采用模块化设计,其模块主要分为用户、操作、设置和帮助 4 个功能模块.用户模块实现对 APP 操作人员权限的管理,包括增加、删除、修改用户和修改个人资料等;操作模块包含自动模式和手动模式,在自动模式下,风电安装船的 4 条桩腿能自行完成船体的上升与下降,当有风电安装船出现倾斜异常发生时,系统会有报警提示,并自行处理系统设定范围内的异常情况,当有异常情况超程序自动处理的范畴时,运行会立即停止,并发出另一种报警提示,此时需操作人员及时处理现场状况,在手动模式下,操作人员可以对风电安装船的任一条桩腿进行单独操作,控制桩腿的上升与下降,手动模式多用于操作人员对船体平衡的调试过程;设置模块主要用于实现 APP 内语言种类和字体大小的修改;帮助模块提供 APP 的相关版本信息以及 APP 的使用指南,帮助操作人员更好地了解 APP 的功能.

为验证本文中所设计方案的正确性,开发了一套基于海上风电安装船模型的原型控制系统,该模型按照 1 : 100 的比例缩小制成(如图 6 所示).控制系统以安卓手机作为上位机,西门子 1214C 型 PLC 作为下位机.安卓手机端安装有 myPROJECT Designer 所开发的风电安装船控制系统 APP,并通过 WiFi 接入试验现场路由器的局域网内,PLC 通过网线接入路由器,实现了通过安卓手机客户端 APP 对模型升降过程的监控.手机端 APP 部分监控界面如图 7 和图 8 所示,图 7 为风



图6 风电安装船试验模型

电安装船控制系统 APP 用户操作主界面,图 8 是自动模式下的控制界面,显示了当前桩腿的速度以及船体倾斜角度趋势图,并可以控制船体的上升与下降。

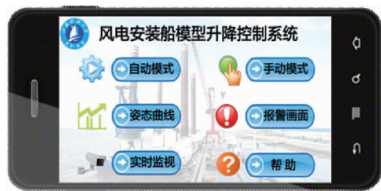


图 7 APP 主界面

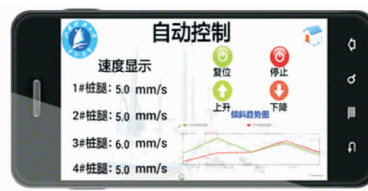


图 8 自动模式画面

## 5 结论

1) 以移动终端作为上位机,PLC 作为下位机开发了风电安装船分布式升降监控系统,随时随地实现对风电安装船分布式升降过程的远程监控,将会是未来发展的方向。

2) 根据船体  $X$  和  $Y$  方向的倾角变化,判断出当前船体的倾斜姿态,以其中 1 条桩腿作为参考对象,调整其余 3 条桩腿的运行速度,能够有效地实现对船体倾斜姿态的控制。

3) 随着网络带宽的增加,工业设备的远程监控将得到越来越广泛的应用。

## 参考文献:

- [1] Kim Y K, Shin J R, Yoon D Y. A Design of Windmill Turbine Installation Vessel Using Jack-up System[C]//The Twenty-second International Offshore and Polar Engineering Conference. International Society of Offshore and Polar Engineers, 2012.
- [2] Schutz W, Schroter F. Development of Heavy Steel Plate for Mayflower Resolution, Special Purpose Vessel for Erection of Offshore Wind Towers[J]. Materials Science and Technology, 2005, 21(5): 590-596.
- [3] 赵亚楠,郝军,汪莉,等. 自升式风电安装船桩腿及升降系统现状与发展[J]. 船舶工程, 2010,32(1):1-4.
- [4] Yang W, Jiang J. Wind Turbine Condition Monitoring by the Approach of SCADA Data Analysis[J]. Renewable Energy, 2013, 53:365-376.
- [5] 王玲玲. 基于 PROFIBUS 的海上风电安装船升降控制系统研究[D]. 镇江:江苏科技大学, 2012.
- [6] 齐继阳,何文灿,鲁鼎. 自升式风电安装船升降系统的远程监控设计[J]. 机械设计与制造,2013(9):206-209.
- [7] 孙斌,王东. 大数据环境下的微信息蜜罐监测[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版),2017,32(4):69-78
- [8] 陈奇,耿雪樵,万步炎,等.基于海底钻机的多功能原位测试系统开发与应用[J].湖南科技大学学报(自然科学版), 2017,32(3):10-15
- [9] Cola T D, Tarchi D, Vanelli Coralli A. Future Trends in Broadband Satellite Communications: Information Centric Networks and Enabling Technologies[J].International Journal of Satellite Communications and Networking, 2015, 33(5): 473-490.
- [10] Lee S. Design and Analysis of Mobile Learning Management System based on Web App [J]. International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2015, 10(1): 417-428.
- [11] Evans M J, Clemens G, Casey C, et al. Developing a Mobile App for Remote Access to and Data Analysis of Spectra[J]. Vibrational Spectroscopy, 2014, 72: 37-43.