

海底观测网电能管理控制系统研究

于伟经^{1,2} 李智刚¹ 孙 凯¹ 秦宝成¹ 李默竹¹ 冯迎宾^{1,2}

(1.机器人学国家重点实验室 中国科学院沈阳自动化研究所 辽宁 沈阳 110016 2.中国科学院 研究生院 北京 100049)

摘 要 海底观测网的电能是由陆地电网通过光电复合缆和接驳盒提供的,为了实现海底观测设备电能供给状态的在线实时监测和控制,提高海底供电系统的可靠性和用能效率,设计了一套海底观测网电能管理控制系统。系统通过检测各舱体内的温度和漏水情况、电缆绝缘情况以及内外部负载的用电情况,诊断故障并采取保护措施,然后将监测数据通过光纤以太网上传至上位机,实现了岸基站控制台对系统的远程控制和管理。试验表明,该系统能够可靠稳定地运行,为海底观测网长期运行提供了保证。

关键词 海底观测网 接驳盒 电能管理控制系统 海底供电系统

中图分类号:TH16;V242.3;TP273 文献标识码:A 文章编号:1001-3997(2013)05-0252-04

Study on Power Management and Control System for Ocean Cabled Observatory

YU Wei-jing^{1,2}, LI Zhi-gang¹, SUN Kai¹, QIN Bao-cheng¹, LI Mo-zhu¹, FENG Ying-bin^{1,2}

(1.State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Liaoning Shenyang 110016, China 2.Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The land Grid transmits continuous electrical power to ocean cabled observatory through optic-electric hybrid cables and junction boxes. A power management and control system is designed for ocean cabled observatories. It also helps to implement online real time monitoring and increase the reliability and efficiency of the undersea power supplement for scientific instruments. By measuring temperature and leakage of vessels, ground fault and the power consumptions of internal and external loads, system diagnoses faults and takes protection measures. The data monitored is uploaded to the remote console located at the shore station though optic-fiber Ethernet. Thus, remote control and management can be achieved by the shore station console. Experimental results validate that the system is reliable and is an important guarantee for the long term operation of ocean cabled observatory.

Key Words Ocean Cabled Observatory; Junction Boxes; Power Management and Control System; Undersea Power System

1 引言

海洋占地球表面积的 71%,海底蕴藏着丰富的石油、天然气、锰结核、热液硫化物等矿产资源,勘测和开发海底资源对人类的生存和可持续发展至关重要^[1]。海底观测网是近年开始研究的新课题^[2-3]。对于海洋科学研究、资源探测、环境保护和灾害预防等方面具有非常重要的作用。到目前为止,海底观测网在国际上有很多的实际应用案例。然而我国真正的海底观测网的建设才刚刚起步。

海底观测网实质上是海底实验室,把各种观测设备放在海底,通过光电复合缆给各个观测点提供电能、收集信息,不受海洋风浪、能源等限制,能长期连续实时原位地观测海底地震、地壳内流体和生物等的活动。岸基站通过电缆源源不断地将电能输送到海底观测网中,为水下观测设备提供电能,维持各个观测设备的正常运行。电能是海底观测网络的命脉,没有了电能整个海底观测网络就不能运作,海底供电系统的可靠性是海底观测网长期连续运行的关键。为此设计了一套海底观测网电能管理控制系统。

2 系统结构

高压交流输电和高压直流输电是现在两种较为成熟的远距离输电方式。高压交流传输方式对电缆要求比较高,并且线路与海水、大地构成较大的电容,长距离传输功率损失严重。相对而言,高压直流输电对电缆要求比较低,传输过程中不受电容的影响,损耗较小。海底电缆超过 40km 时,高压直流输电无论是经济上还是技术上都较为合理^[4-6]。海底观测网采用单极高压直流输电方式^[7-9],用海水作为输电回路的正极,利用一根导线作为输电回路的负极传输高压直流电。在海底观测网的供电系统中,首先海岸基站的交直流转换器将陆地电网输送的 380V 交流电转换为 10kV 负高压直流电。其次,通过海底光电复合缆把 10kV 负高压直流电输送到海底主接驳盒,然后,通过主接驳盒中的中压-低压 DC/DC 转换器把 10kV 高压直流电转换成 375V 直流电,再把 375V 直流电送到主接驳盒的控制舱和次级接驳盒中,最后,通过主接驳盒控制舱和次级接驳盒中的 DC-DC 转换器转换成

来稿日期 2012-07-14

作者简介:于伟经(1987-)女,山东东营人,在读研究生,主要研究方向:海底观测网电能管理;

李智刚(1970-)男,辽宁沈阳人,研究员,硕士生导师,主要研究方向:水下机器人控制系统

24VDC 给内部控制电路和外部观测设备提供电能。

海底观测网电能管理控制系统由岸基站控制台、水下主接驳盒监控节点、水下次接驳盒监测节点和海底观测设备组成 如图 1 所示。主要用于实现对观测设备的用电分配以及电能传输过程的实时在线监测和控制,提高海底电力系统的可靠性和用能效率。岸基站控制台的两个基本功能是接受海底接驳盒采集的数据并实时显示设备运行状态 接受用户输入的控制指令并发送给海底接驳盒中的控制器 实现了对观测设备的远程控制和管理。水下主接驳盒监控节点和水下次接驳盒监控节点的基本功能是相同的 不同的是水下主接驳盒的外部负载是次接驳盒 而次接驳盒的外部负载是观测设备。水下接驳盒监控节点对各个腔体的温度和漏水情况、直流变换器的运作状态、电缆绝缘情况以及内外部负载的电压电流进行实时监控和异常处理,同时将监测数据上传至岸基站控制台,另外还能迅速响应岸基站控制台下发的各种控制指令。

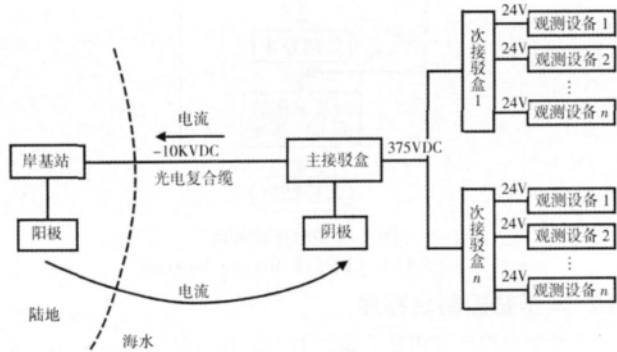


图 1 电能管理系统总体结构

Fig.1 Overall Structure of Power Management and Control System

3 硬件设计

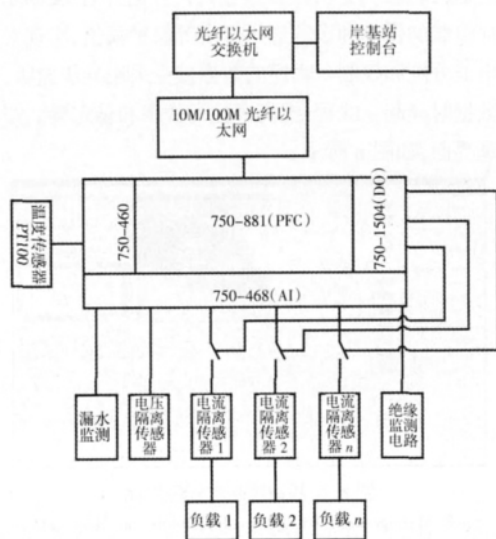


图 2 电能管理控制系统硬件节结构框图

Fig.2 Hardware Structure of Power Management and Control System

电能管理控制系统总体硬件框图 如图 2 所示。水下接驳盒监控节点由控制器和电源管理板组成。采用万可 PLC 作为主接驳盒和次接驳盒的控制器,它由可编程现场总线控制器 750-881、数字量输出模块 750-531、模拟量输入模块 750-468 以及温度模块 750-460 组成,其主要优点是可靠性高,适应复杂环境能

力强、扩展方便。电能管理板采用电量隔离传感器采集供电电压以及各个负载的工作电流,采用绝缘检测模块检测电缆的绝缘情况,另外配有漏水检测电路和 PT100 以确保舱体内正常的工作环境。这些测量数据首先通过 750-468 送到 750-881,再经过信号处理和分析判断系统是否存在过压、过流、过温、漏水和绝缘等故障。当 750-881 检测到故障时,通过 750-531 给开关模块发送命令,关闭相应的供电电源或者负载。可编程现场总线控制器 750-881 可以通过 10M/100M 光纤以太网和岸基站控制台通信,实现各种采集数据和控制命令的上下传达。主次接驳盒中监控节点的实物图 如图 3 所示。

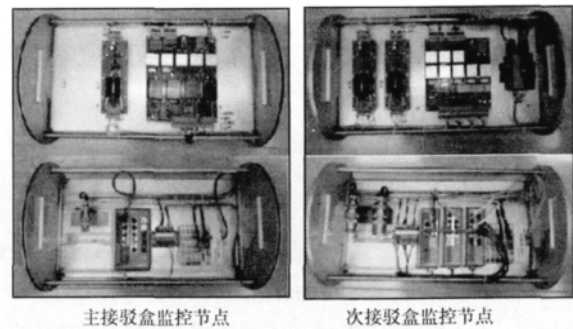


图 3 接驳盒监控节点实物照片

Fig.3 Picture of Node that Monitors Junction Box

3.1 电量测量模块

系统中供电电压(375VDC 和 24VDC)以及各个负载的工作电流,采用电量隔离传感器 WB121 测量,可以把现场信号与低压数据采集系统完全隔离,避免数据采集系统受到强信号的干扰,从而提高系统的可靠性。如图 4 所示,通过电量隔离传感器将电压和电流转换为 PLC 可以处理的电压值,然后与设定的阈值比较,当发现过流、过压和欠压,便驱动开关模块切断相应的供电电源或者负载,并发出报警信息给基站。由于电量隔离传感器的输出信号跟踪输入信号的变化,输出信号波形为输入信号波形和 DC-DC 电源波形的叠加,并且输出有可能超出模拟量输入模块 750-468 的极限电压,所以在传感器的输出端设置滤波电路和限幅保护电路。

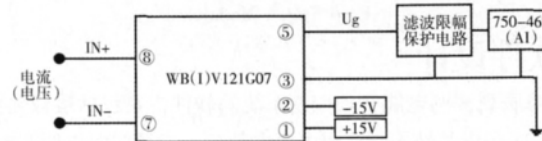


图 4 电量测量模块

Fig.4 Power Measurement Module

3.2 绝缘检测模块

主接驳盒和次接驳之间以及次接驳盒和观测设备之间是通过水密电缆连接的。与陆地电缆相比,水密电缆有其特有的结构和运行方式,而且所处的环境更为复杂。水密电缆长时间受到海流的扰动,容易造成插头松动或者绝缘层破坏,从而发生绝缘故障。当发生绝缘故障时,会引发严重的后果。设计了一种注入直流电的方法对每条支路的绝缘故障实现在线带电实时巡回检测。绝缘监测电路 如图 5 所示。图中直流电源和负载的供电电源是隔离的,直流电源的负极通过一个电阻和舱体连接,正极通过继电器和每个支路相连,对每个支路循环检测。如图,当 D 支路出

现绝缘故障时,通过海水形成电流回路,电阻中有电流流过,通过检测电阻两端的电压判断绝缘故障。当发现某支路出现绝缘故障时,通过继电器将该支路隔离,防止影响整个供电系统。

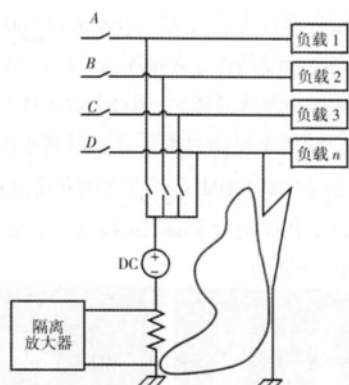


图5 绝缘监测模块
Fig.5 Insulation Monitor Module

3.3 开关模块

开关模块处于电源系统和负载系统之间,用于电能分配和异常情况的保护和隔离,是海底电能系统进行控制与管理的基础。如图6所示,开关模块采用功率 MOSFET 和电磁继电器串联的方案。MOSFET 开关速度快、可靠性高,但是不能实现完全理想的电气隔离,关断后的漏电流会造成金属的电化学腐蚀。电磁继电器能够实现完全电气隔离,但是容易发生电弧放电,损坏触点。功率 MOSFET 和电磁继电器串联使用实现两者性能互补,提高开关模块的可靠性和稳定性。功率 MOSFET 有导通电阻,容易发热损耗而损坏,通过功率 MOSFET 并联解决这一问题。机械继电器在功率 MOSFET 切断电流后再动作,避免触点损坏,并且实现了完全电气隔离。

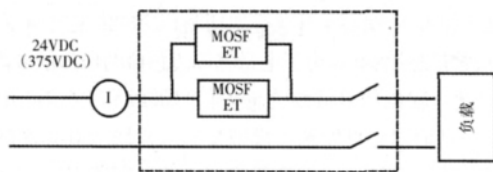


图6 开关模块
Fig.6 Switch Module

4 软件设计

海底观测网电能管理控制系统的软件主要包括接驳盒监控节点程序和岸基站控制台程序两大部分,二者如何协调职能,最大限度的保障系统稳定性是海底观测网电能管理系统需要优先考虑的问题。因为海底观测网长期运行于海底,需要极高的稳定性和故障保护能力,如果将设备从海底打捞进行修复需消耗很高的成本。经过考虑,系统采用PLC检测、控制接驳盒内电子电路,上位机发送操作人员控制命令和显示接驳盒状态的职能分工方式。这样一来,当通讯网络出现故障时可以由PLC接管接驳盒控制系统,检测系统状态并执行相关操作或必要时将电路电源关闭。

4.1 接驳盒监控节点程序

接驳盒监控节点程序主要分为三个部分:通信部分、命令处理部分和状态监测部分。通信部分主要负责岸基站命令数据的接受和与水下接驳盒系统采集数据的上传,命令处理部分按照规定的协议对接收到的命令进行解析并执行相应的控制指令,通过对开

关模块的控制,实现对海底观测设备的电能分配,状态监测部分主要测量各负载的工作电流电压、接驳盒腔体内部温度和漏水情况以及电缆的绝缘故障,对采集到各路数据进行异常检测和处理。接驳盒监控节点程序下的流程图如图7所示。

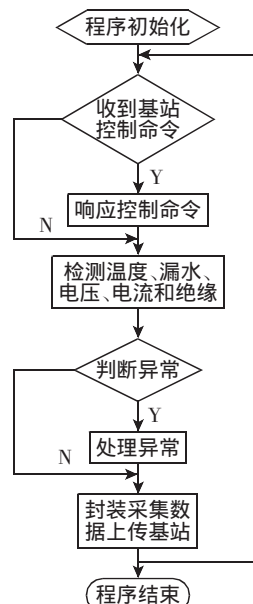


图7 监控程序流程图
Fig.7 Flow Chart of Monitor Program

4.2 岸基站控制台程序

控制台程序采用基于面向TCP/IP协议的Socket通信机制^[10]的C/S结构,采用C#编写。岸基站控制台的程序主要实现与水下接驳盒的网络通信,对接驳盒上传的数据按照规定的协议解析并进行实时动态显示,通过人机监控界面能够直观地了解到海底各个负载的运行状态。另外,还要通过人机界面开启、关断水下接驳盒内任何负载的供电和设置过压过流等保护阈值,实现对海底接驳盒的电能分配和控制。程序的数据接受采用异步监听方式,无需接收数据时挂起主线程,提高了执行效率和稳定性。岸基站控制台管理界面如图8所示。



图8 岸基站控制台管理界面
Fig.8 Management Interface of Console on Basestation

5 系统测试与试验

海底观测网络的直流输电系统的局限性和观测设备的贵重程度决定了电源管理控制系统需要对异常情况做出相应措施,而异常响应时间的快慢则是能够实现有效防护的关键。对于响应时间要求高的异常情况是过压和过流,当电源管理控制系统监测到过压过流时应该快速的从负载处断开,以免对观测设备造成永久性的损害。系统对各路子系统的过压、过流的响应时间分别进行

了测试,各路测试结果基本一致,ADCP子系统的测试结果如图9所示。过压情况下最大响应时间如图9(a)所示。过流情况下的最大响应时间如图9(b)所示。因此,电能管理控制系统能够在出现异常时及时响应处理,保证了海底观测设备的运行安全。

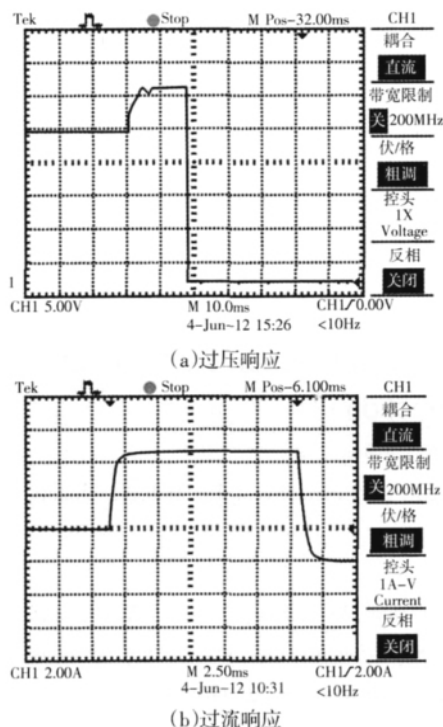


图9 过压过流响应时间测试结果

Fig.9 Test Result of Response Time to Overvoltage and Overcurrent

6 结论

提出了一种集现场监控、网络通信、系统管理于一体的智能化海底观测网电能管理控制系统,详细设计了系统的总体结构以及各个重要组成部分。在实验室里,使用大功率电阻模拟观测设备,对电能管理控制系统进行了模拟试验,实现了海底观测网络电力系统运行状态的在线监测、远程控制和对异常的实时处理。通过较长时间的测试,该电能管理系统具有较强的稳定性、可靠性和实用性,能够提高海底观测网络电能供给的安全性和自动化水平,为海底观测网络系统的长期运行提供了重要保障。

参考文献

[1] 陈鹰,杨灿军,陶春辉,等.海底观测系统[M].北京:海洋出版社,2006.
(Chen Ying, Yang Can-jun, Tao Chun-hui, et al. Ocean Cabled Observatory System[M]. Beijing: Maritime Press, 2006.)

[2] 陈鹰,杨灿军,顾临怡.基于载人潜水器的深海资源勘探作业技术研究[J].机械工程学报,2003,39(11):38-42.
(Chen Ying, Yang Can-jun, Gu Lin-yi. DSV-Specific tool-box for the deep-sea resources exploitation [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39(11): 38-42.)

[3] 汪品先.关于建设海底观测平台的建议[J].学会,2005(5):52-53.
(Wang Pin-xian. Suggestion for construction of underwater observation platform [J]. Xuehui, 2005(5):52-53.)

[4] 吴承璇,曲君乐,王秀芬,等.海底观测网直流输电设计[J].山东科学,2010,23(6):61-64.
(Wu Cheng-xuan, Qu Jun-le, Wang Xiu-feng, et al. Design of high-voltage dc submarine observation network [J]. Shandong Science, 2010, 23(6):61-64.)

[5] 潘卓洪,张露,谭波.高压直流输电入地电流在交流电网分布的仿真分析[J].电力系统自动化,2011,35(21):110-115.
(Pan Zhuo-hong, Zhang Lu, Tan Bo. Simulation and analysis of hvdc earth-return currents distribution in AC power grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(21):110-115.)

[6] 袁清云.特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[J].电网技术,2005,29(14):1-3.
(Yuan Qing-yun. Present state and application prospect of ultra HVDC transmission in China [J]. Power System Technology, 2005, 29(14):1-3.)

[7] J. Kojima, K. Asakawa, B. Howe, H. Kirkham, Power Systems for Ocean Regional Cabled Observatories, OCEANS '04. MTS/IEEE TECHNO-OCEAN '04, IEEE Oceans Conference, 4, 2176-2181, Kobe, Japan, 9-12 November, 2004.

[8] B. Howe, H. Kirkham, V. Vorperian, Power System Considerations for Undersea Observatories IEEE, [J]. Ocean. Eng., 2000, 27(2): 267-274.

[9] B. Howe, T. Chan, M. El-Sharkawi, M. Kenney, S. Kolve, C.C. Liu, S. Lu, T. McGinnis, K. Schneider, and C. Siani, H. Kirkham, V. Vorperian, P. Lancaster, Power System for the MARS Ocean Cabled Observatory, Proceedings, the Scientific Submarine Cable 2006 Conference, Marine Institute, Dublin Castle, Dublin, Ireland, 7-10 February 2006:121-126.

[10] 王鹏,王琨琦.数控系统中混合型网络化通信系统研究[J].机械设计与制造,2011(5):140-142.
(Wang Peng, Wang Kun-Qi. The research on hybrid network communication system in NC system [J]. Machinery Design & Manufacture, 2011(5):140-142.)

(上接第251页)

(Wang Zhen-qian. Analysis on impact resulted from gearing between involute sprocket of shearer and conveyor pin-rail [J]. Coal Mine Machinery, 2007, 28(3): 50-51.)

[5] 李本军,唐立军,张红艳.基于ANSYS Workbench的采煤机行走轮弯曲强度分析[J].煤矿机电,2011(4):88-90.
(Li Ben-jun, Tang Li-jun, Zhang Hong-yan. Bending strength analysis of shearer's driving wheel based on ANSYS Workbench [J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2011(4): 88-90.)

[6] 郎国军,苑雪涛,虞文敏.行走轮断齿现象分析[J].煤矿机电,2010(3):34-35.
(Lang Guo-jun, Yuan Xue-tao, Yu Wen-min. Analysis of tooth-break fault on shearer's walking wheel [J]. Colliery Mechanical &

Electrical Technology, 2010(3): 34-35.)

[7] 陈伟,杜长龙,夏丽建,等.基于ANSYS Workbench采煤机行走轮与销轨啮合瞬态动力分析[J].矿山机械,2011,39(2):20-23.
(Chen Wei, Du Chang-long, Xia Li-jian, et al. Transient dynamic analysis of engagement of walking gears and pin-tracks of shearers based on ANSYS Workbench [J]. Mining & Processing Equipment, 2011, 39(2): 20-23.)

[8] 游维操.新型采煤机行走轮材料的制备及其性能研究[J].煤矿机械,2010,31(3):128-130.
(You Wei-cai. Preparation and Properties of Novel Traveling Wheels for Coal Shearer [J]. Coal Mine Machinery, 2010, 31(3): 128-130.)