

General Design of Intelligent Hybrid Electricity System for Marine Energy

Shuting Huang¹, Meizheng Li², Guangxin Gong¹

¹Department of Ocean Engineering, College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao

²Department of Automation, College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao

Email: huangshutingyellow@163.com

Received: Mar. 19th, 2014; revised: Apr. 10th, 2014; accepted: Apr. 20th, 2014

Copyright © 2014 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

Abstract

On account of its high instability, marine energy is difficult to generate electricity independently or realize electricity incorporation. To solve this problem, multi-energy complement electric scheme is proposed. The intelligent hybrid electricity system for marine energy in this paper utilizes wave energy, tidal energy, offshore wind energy and solar energy comprehensively, filling in gaps of pluripotent complementary power supply system in the use of marine energy. The intelligent electricity system is composed of marine energy power generation devices, grid-connected control cabinet, bus switch cabinet, console, and energy storage system. The power input of multipath marine energy power generation devices can be changed into three-phase AC output of 380 V/50 Hz. Power generation dispatching and system security function can be realized. The intelligent electricity system solves the stable output problem of marine energy, makes it possible to access the electric grid, and benefits the comprehensive development and utilization of marine energy.

Keywords

Marine Energy, Pluripotent Complementary Power Supply, MicroGrid

海洋能多能互补智能供电系统总体设计

黄淑亭¹, 李美征², 宫广新¹

¹中国海洋大学工程学院海洋工程系, 青岛

²中国海洋大学工程学院自动化系, 青岛

Email: huangshutingyellow@163.com

收稿日期: 2014年3月19日; 修回日期: 2014年4月10日; 录用日期: 2014年4月20日

摘要

为解决海洋能不稳定、难以实现独立或并网供电的问题, 提出多能互补发电方案。本文所设计的海洋能多能互补智能供电系统综合利用波浪能、潮流能、海上风能和太阳能, 填补了多能互补供电系统在海洋能利用领域的空白。该系统包括海洋能发电装置、并网控制柜、汇流开关柜、操控台和储能系统, 可将多路海洋能发电装置的电力输入转为三相380 V/50 Hz交流输出, 具有发电调度功能和可靠的系统安全保护功能, 解决了海洋能多路输入、平稳输出的问题, 实现了海洋能的并网供电, 对海洋能的综合开发利用有着重要影响。

关键词

海洋能, 多能互补, 微电网

1. 引言

伴随着化石燃料能源危机和环境污染等问题的压力, 可再生能源的开发与利用取得了很大发展, 作为主要可再生能源之一的海洋能备受关注。海洋能通常指海洋中所特有的、依附于海水的可再生能源, 主要包括潮汐能、波浪能、潮流能、温差能和盐差能[1]。其储量丰富, 约有 2×10^3 TW 能量[2]。然而同常规能源相比, 海洋能具有极高的不稳定性, 无法提供持续、稳定、不间断的电力输出, 难以实现独立或并网供电。因此, 综合利用海洋能、波浪能、海上风能等进行多能互补, 是持续利用海洋能的最佳途径。为达到这一目的, 需建立多能互补智能供电系统。

多能互补电力系统, 又称混合发电系统或新能源微网, 指充分利用可再生能源形成多种能源互补的小型电力系统[3]。国内外对多能互补电力系统的研究已取得很多成果。我国已有综合利用多种海洋能源的海岛独立供电系统示范工程, 如珠海市担杆岛[4]和即墨市大管岛[5]。国外也已有以可再生能源为主的希腊 Kythnos 岛独立供电系统。然而相比于风光互补发电系统等多能互补电力系统, 针对海洋能发电装置的通用型海洋能多能互补智能供电系统的研究仍然十分缺乏。

本文设计的海洋能多能互补智能供电系统为交流电网形式的独立电力系统, 可接入类型不同、装机容量各异、发电效率不等的海洋能发电装置, 综合利用波浪能、潮流能、海上风能和太阳能进行多能互补, 填补了多能互补供电系统在海洋能利用领域的空白, 推动了海洋能开发利用的发展进程。

2. 系统组成

海洋能多能互补智能供电系统由海洋能、风能及太阳能发电装置、并网控制柜、汇流开关柜、操控台(智能管理中心)和储能系统构成, 调试阶段还需设有电子负载(如图 1)。

2.1. 发电装置

本供电系统适用于以下发电装置: 波浪能发电装置、潮流能发电装置、海上风能发电装置和太阳能发电装置。设计接入 6 组海洋能发电装置, 每路额定功率为 100 kW, 额定电压为 400 VAC, 频率和电压可以不稳定。接入端口为通用端口, 不区分海洋能种类。

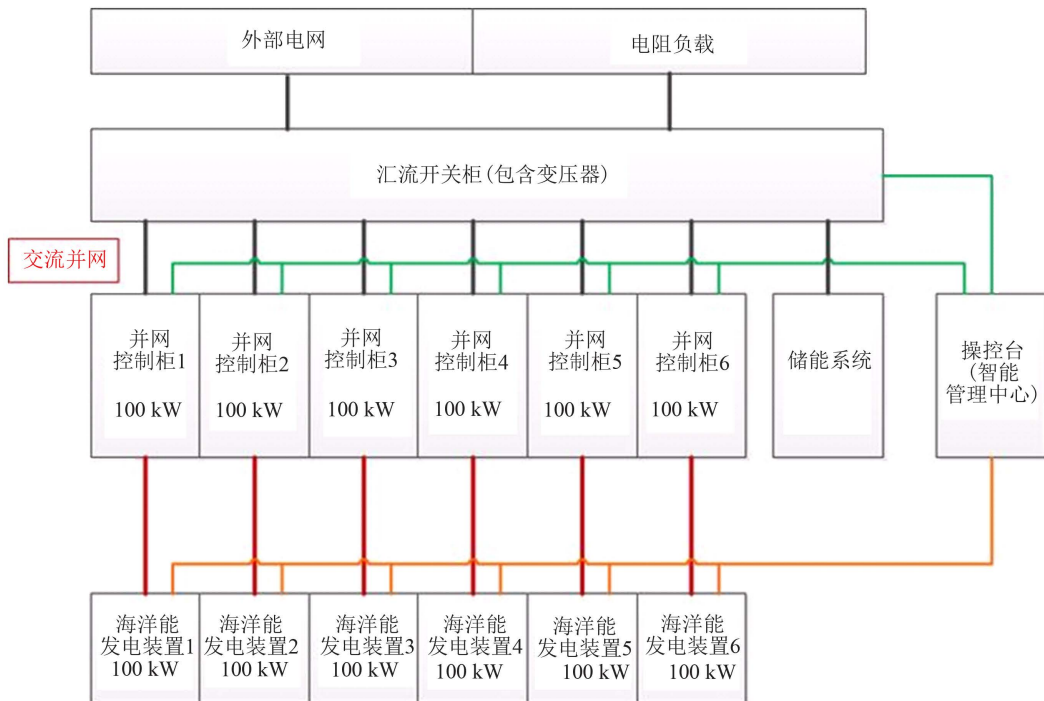


Figure 1. Structure chart: intelligent hybrid electricity system
图 1. 系统结构图

2.2. 并网控制柜

6 台海洋能发电装置的电力输入由 6 个并网控制柜负责接入。并网控制柜中设有 V/F(电压/频率)变流器或 P/Q(有功功率/无功功率)变流器。

V/F 变流器可创建微电网，提供其他变流器设备并网的电压和频率标准，此外，还可为其他变流器柜、汇流开关柜及操作台内的控制回路提供电源支持。P/Q 变流器通过对有功功率和无功功率的解耦控制，实现对并网微电源的出力控制。

各海洋能发电装置和风电发电装置发出的三相交流输出，经变流器实现交流 - 直流 - 交流的能量转换，变为 380 V/50 Hz 的三相交流输出。太阳能发电装置因其为直流输出，只需进行直流 - 交流能量转换即可。

2.3. 汇流开关柜

各并网控制柜内转换后的微电源在此柜中并网建立微电网，并将并网的电能通过电子负载消耗或并入外部大电网。汇流开关柜中设有变压器，将并网的 380 V/50 Hz 三相交流电能转换成稳定的 220 V 单相电源，满足用电设备需要，为整个系统的控制回路及照明风扇灯设备供电。

2.4. 操控台(智能管理中心)

操控台包括 HMI(人机接口)面板、系统结构框图、实时数据监测显示及一系列控制开关和指示灯。HMI 操作面板可以浏览和存储系统变流器的数据、故障等的实时信息和历史数据，并输出报表，而且可以与 PLC(可编程控制器)通信，完成对系统的控制。系统结构图给出了整个系统的框架结构，并且配置电能监测模块对系统关键节点的数据进行监测和面板显示，对人工观测系统运行状态起到了重要作用。操作台面板上还设有系统控制回路的一系列开关、旋钮，便于操作。

操作台上还设有 UPS 不间断电源，在供电系统黑启动环节，接收光伏蓄电池逆变得到的稳定单相电

源，给系统控制回路供电，并在微电网建立后，光伏蓄电池断开时，缓冲负载的电能需求，接入微电网电源，使整个系统开始独立运行。

2.5. 储能系统

储能系统利用蓄电池组的充放电原理储存用户负载消耗不掉的能量，在负载需求超过发电能力时提供电力补偿。储能系统的设立解决了海洋能发电装置因受海洋能资源分布制约，无法保证多能互补智能供电系统全天候连续供电的问题。在发电装置的发电高峰和用户的用电高峰之间进行调节，保证了电能稳定输出，提高了发电系统的稳定性。

2.6. 电子负载

电子负载是微电网电能质量监测的重要指标。负责在调试阶段消耗微电网并网后产生的电能，调试完成与大电网并网后可将电子负载撤出，另外电子负载端的 PAC3200 电能记录模块还可提供微电网并网后的一些电力信息，便于 PLC 对变流器的控制。电子负载可通过操作台面板上的控制旋钮进行控制。

3. 实施方式

设备启动前，应先选择变流器控制方式(手动或自动)，并确定发电机转速大于变流器正常工作所需的最小转速，以保证 V/F 变流器能够稳定地向系统供电。

选择后进入黑启动环节，光伏蓄电池逆变得到的稳定单相电源给 UPS 供电，确保系统控制回路供电。若此时 V/F 变流器为自动控制状态，PLC 会根据检测数据进行分析比对，确定是否将发电机电能接入 V/F 变流器；若为手动控制状态，则需人工分析确定接入发电机电能的时间点。

发电机和 V/F 变流器接入后，会控制其母线侧断路器合闸。自动控制状态下 PLC 调节其参数，手动控制状态下需人工通过 HMI 设置参数，建立微网电源。V/F 变流器电阻柜可在微电网建立前平衡 V/F 变流器的输出功率，防止其输出功率过高。

建立微网电源后，将通过电子负载侧的 PAC3200 电能监测模块分析微电网的电能质量，并将稳定的三相交流电转换为稳定的单相电源，为整个系统供电进行准备。满足条件后，PLC 将控制光伏蓄电池断开，此时由 UPS 缓冲负载的电能需求，接入微电网电源，整个系统开始独立运行。

微电源接入母线后，控制 P/Q 变流器和电机侧合闸，使其处于待并网阶段。通过对其电力数据的分析，自动控制状态下由 PLC 控制 P/Q 变流器并网并调节其参数，手动控制状态下人工控制 P/Q 变流器并网并通过 HMI 调节其参数。此时微电网建立，并进入稳定运行阶段。微电网并入大电网后，可将调试阶段消耗电能的电子负载撤去，真正由大电网的电能需求控制 P/Q 变流器的出力大小。

当装置遇到故障时，按下急停按钮，P/Q 变流器的安全链运作使其停止工作，并由 PLC 给变流器下软停止命令，控制 V/F 变流器停止工作，母线侧断路器断开。此时，系统控制回路失去了微网电源，PLC 控制光伏蓄电池端断路器合闸，继续给系统控制回路供电，整个系统进入由备用电池供电的待机状态，等待故障处理完成后再次接入微网电源。

实施流程图如图 2。

4. 方案对比

本文设计的海洋能多能互补智能供电系统与课题组在斋堂岛示范基地的现有供电系统有诸多不同，在此对两个多能互补智能供电系统进行对比(图 3)。

斋堂岛示范基地现有的多能互补智能供电系统为 600 V 直流并网形式的独立供电系统，由 7 台发电装置(1 台 200 kW 发电装置，6 台 50 kW 发电装置)、对应的并网控制柜、操控台、储能系统、柴油发电

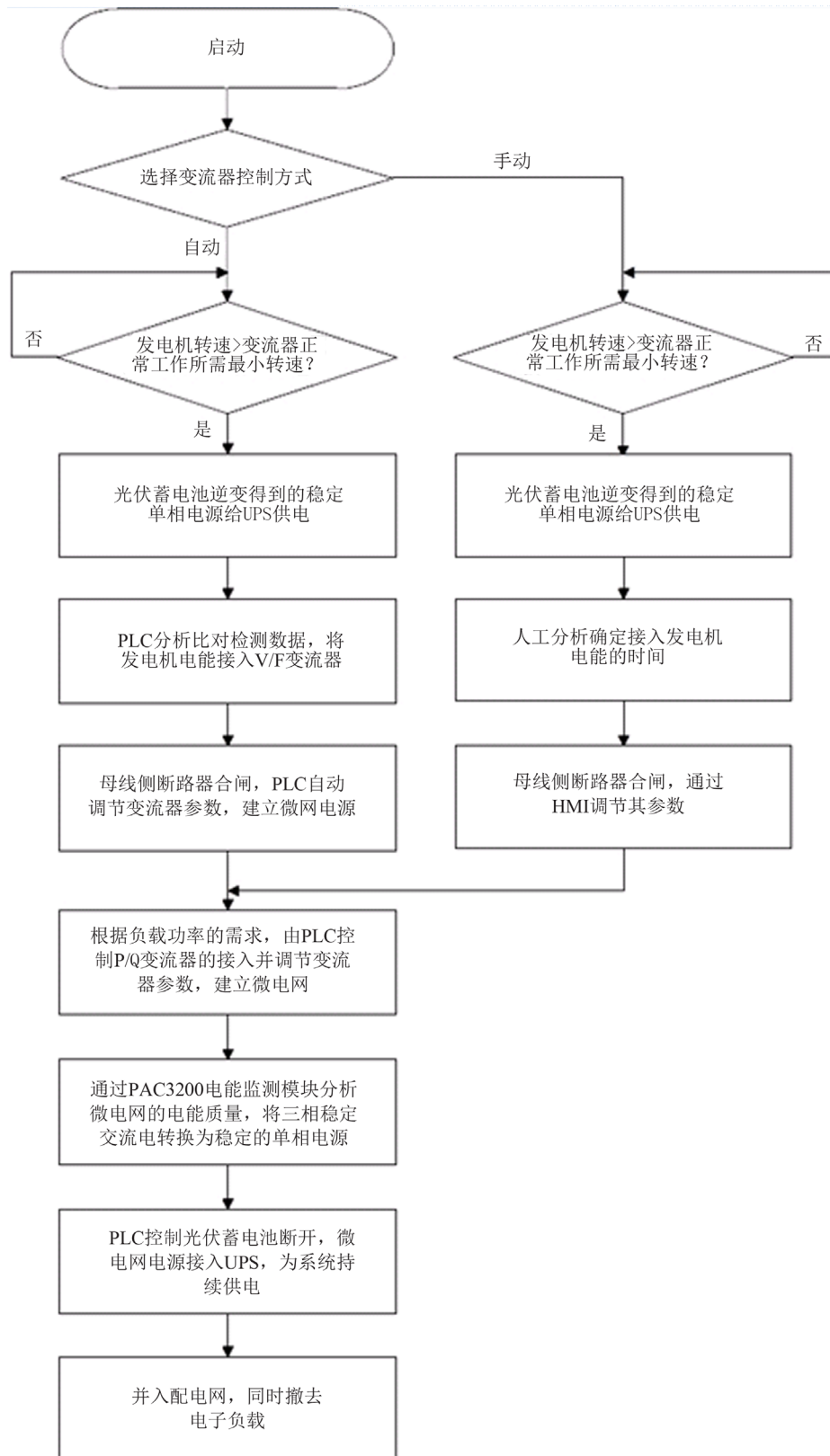


Figure 2. Flow chart: implement progress
图 2. 实施方式流程图

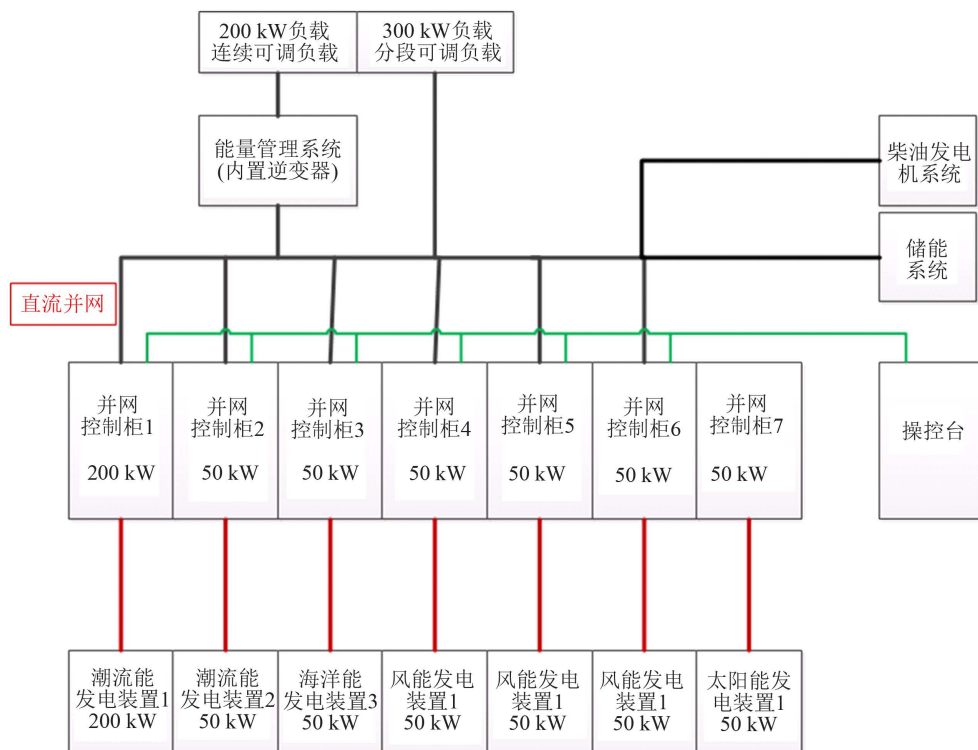


Figure 3. Structure chart: hybrid electricity system of Zhaitang Island
图 3. 斋堂岛现有多能互补智能供电系统

系统、能量管理系统和可调负载组成。并网控制柜分别接入相对应的发电装置，不通用。因系统为直流并网形式，设有能量管理系统，内置大容量逆变器，将并网的直流电逆变为交流电输出，输出电能由电阻负载消耗。

本文所设计的海洋能多能互补智能供电系统为 380 V/50 Hz 交流并网形式，无需大容量逆变器逆变，直接输出稳定的三相交流电。输出电能可由电阻负载消耗，也可并入大电网，回馈用户。并网控制柜不区分海洋能发电装置类型，可随意接入符合要求的发电装置，通用性好。比较可知，本文所设计的海洋能多能互补智能供电系统具有一定的优点。

首先，该系统兼容性、通用性良好。对不同的海洋能发电装置，均可将不同频率不同电压的电流输入转变为 380 V/50 Hz 的稳定交流输出。因此，可因地制宜地对接入的海洋能发电装置进行组合，灵活性高。此外，输出电能可直接并入外部电网，也提高了外部电网的供电可靠性，改善了其电能质量。

其次，该系统利用微电网技术，解决了包括海洋能在内的可再生能源利用中分布式电源并网有可能造成电力系统不可控、不安全、不稳定的问题，充分发挥其优势，消除其对电网的负面影响。

最后，该系统通过对多种海洋能的综合利用，无需通过大型化就提高了能量供应，降低了海洋能发电成本，真正意义上实现了海洋能的广泛应用，为海洋能资源的综合开发利用和产业化奠定了坚实的基础。

5. 应用前景

本文所研发的海洋能多能互补智能供电系统，立足我国近海海况，解决了多路海洋能发电装置的智能接入与平稳输出的问题，完成了海洋能向可用电力供应的关键转换，突破了海洋能产业的发展瓶颈。

该系统研制成功后，可用于海岛独立供电，使用海岛用户附近的海洋能发电装置生产的电能直接为

用户供电,有效减少了对集中式大型发电厂电力生产的依赖,减少了远距离电能传输、多级变送的损耗,降低了用电成本,提高了智能化。同时,也具有极高的国防价值。当海洋能发电装置所发电功率小,不足以满足用电负载的供电需要时,还可以利用电储热技术,将所发电能转换成热能,用于海水养殖及供暖等,推动相关产业发展。

本文仅对海洋能多能互补智能供电系统进行总体设计,目前该系统仍处在制作阶段,尚未接入海洋能发电装置运行。制作完成后,将就近利用斋堂岛示范基地现有的海洋能发电装置进行运行检测。

海洋能的开发和利用因其重要意义得到了许多国家特别是海洋能资源丰富国家的重视。由于其发电系统运行环境恶劣、研究难点多等问题,海洋能的开发和利用相对滞后于其他可再生能源。但随着研究的不断深入和技术的不断成熟,海洋能必将发挥出其巨大潜力。海洋能多能互补智能供电系统等海洋能综合利用技术在海洋能产业化进程中具有至关重要的作用,需各国学者共同努力。

致 谢

本文撰写过程中,得到了很多支持与帮助,在此一并感谢。

对史宏达老师、刘臻老师、黎明老师在海洋能发电装置及其开发利用、供电系统相关技术等方面的教育指导表示感谢。对斋堂岛基地现有海洋能发电装置的相关开发及运行人员表示感谢。

本文得到了国家国际科技交流与合作专项和青岛市战略性新兴产业培育计划项目的支持,在此表示感谢,分别为:

- 1) 国家国际科技交流与合作专项(2010DFB64030);
- 2) 青岛市战略性新兴产业培育计划项目(13-4-1-38-hy)。

参考文献 (References)

- [1] 王传崑 (2008) 海洋能及其分类. *太阳能*, **9**, 17-18.
- [2] Toshiaki, K. (2010) Dream of marine-topia: New technologies to utilize effectively renewable energies at offshore. *Current Applied Physics*, **10**, s4-s8.
- [3] 孟涛 (2012) 多能互补独立电力系统控制策略及动态仿真分析. 硕士论文, 华北电力大学, 北京.
- [4] 王坤林, 游亚戈, 张亚群 (2010) 海岛可再生独立能源电站能量管理系统. *电力系统自动化*, **14**, 13-17.
- [5] 熊焰, 王海峰, 崔琳, 黄勇, 郭毅 (2008) 大管岛多能互补独立供电系统总体设计研究. *海洋技术*, **4**, 78-82.