

文章编号:1672-3031(2012)03-0231-05

新能源独立电网海水淡化系统示范工程

张子皿, 冯宾春, 张金接, 符平

(中国水利水电科学研究院 北京中水科水电科技开发有限公司, 北京 100038)

摘要: 海岛地区淡水资源匮乏, 发展新能源海水淡化技术可以充分利用海岛地区丰富的风能、太阳能资源, 缓解当地居民用水困难问题。本文介绍了新能源独立电网海水淡化系统的系统组成、设计方法、示范运行状况及效益分析。现场运行结果表明, 新能源独立电网海水淡化系统能够满足设计要求, 产水水质优于饮用水标准。系统具有自动化程度高和环境适应能力强等优点, 适用于解决远离大陆岛屿的饮用水问题。该工程的应用对离网型海水和苦咸水淡化技术具有重要的参考价值。

关键词: 风光柴互补; 独立电网; 海水淡化

中图分类号: P747

文献标识码: A

海岛淡水资源缺乏一直是限制其经济发展的瓶颈, 大力发展海水淡化是解决海岛地区水资源紧缺的一个重要途径。因此结合当地丰富的风能资源和太阳能资源, 开发利用这些新能源实现海水淡化, 对缓解海岛淡水资源和能源紧缺具有重要意义^[1]。近年来, 我国研究人员对利用新能源进行海水淡化技术及工程应用进行了较多研究。任典勇等^[2]对如何将风力发电与海水淡化装置组合进行了研究, 并以宁波高塘岛为例, 设计了不同功率的风机与海水淡化装置的配比, 并对产水成本进行了分析。陈志莉等^[3]介绍了自主研发的太阳能苦咸水(海水)淡化装置的原理、设计方法及运行情况。王坤林等^[4]对风能、太阳能、波浪能及备用柴油机组成的混合发电站的能量管理系统进行了研究。张希照等^[5]介绍了在浙江舟山大鱼山岛的6kW-5m³/d光伏海水淡化示范工程。本文所述的新能源独立电网海水淡化系统采用“微网”的概念, 完全采用风能、太阳能来源驱动海水淡化系统。该项目位于福建东山县东门屿, 于2011年3月完成工程建设, 目前正进行示范运行及试验研究。

1 新能源独立电网海水淡化系统设计

1.1 总体设计 风能和太阳能资源在时间上具有良好的互补性, 风光互补发电可以提高资源利用效率并降低发电输出功率的波动性, 有利于提高系统的整体性能。为此, 本项目采用风光互补发电为系统提供电力。系统设计总装机20kW, 设计产水20m³/d, 主要由风力发电系统、光伏发电系统、独立电网设备、2台海水淡化装置及自动控制系统组成, 具有兼容常规电网、模块化结构、冗余设计、容量扩充方便等特点。系统结构如图1所示。

首先独立电网设备利用蓄电池组建“微网”——独立交流电网, 然后风力发电机和光伏阵列均通过电力电子装置将发出的电能变换为230V、50Hz交流电并入独立电网, 用电设备直接从独立电网取电, 自动控制系统根据电网及蓄电池状态, 控制各发电设备的投切和用电设备的调节。

1.2 系统配置参数设计 系统详细配置参数设计需要考虑当地自然条件及用电负荷状况^[6], 具体设计过程如下。

(1)基础数据收集。根据当地气象部门统计全年大于4m/s有效风速时间到达7 200h左右, 大风期分布在10月一次年4月, 日照年平均总辐射量大于1 600kWh/(m²·a), 日照小时数2 800h左右, 日照

收稿日期: 2011-09-05

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(201001032)

作者简介: 张子皿(1984-), 男, 河北邢台人, 助理工程师, 主要从事自动控制及新能源技术研究。E-mail: zzm5516@163.com

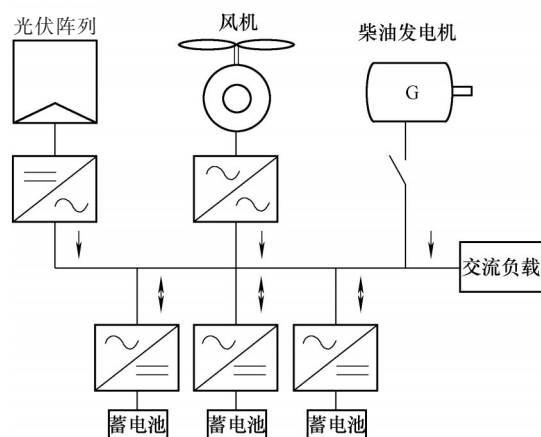


图1 系统结构

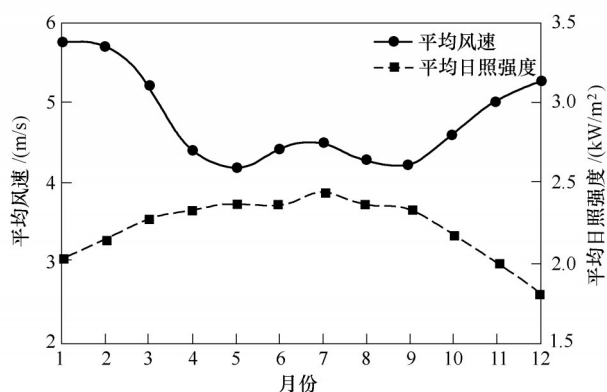


图2 各月平均风速及平均日照强度

强度最高出现于7—10月，各月平均风速及平均日照强度如图2所示，光照倾角为最佳倾角。

(2)负载特性确定。主要用电设备情况如表1所示。

(3)发电装置及蓄电池容量的确定。根据东山地区风资源情况和安装点地形条件，参照其他已运行风电场数据，选择风机年等价小时数2900h，同时考虑风电的波动性和系统运行的经济性，设备工作系数取0.7，计算所需风机功率为14.8kW，系统设计配置风机装机容量15kW。为弥补夏季风电的不足，系统配置互补性好的光伏发电设备，参照当地太阳能资源数据，设计光伏设备装机共5kW，可实现日平均发电量为12.3kW·h。另外采用5kW备用柴油发电机组，以保证在极端天气条件下(如连续数天无风且阴雨天)的基本生活用电。

表1 主要负荷功率及分布时段

用电设备	额定功率/kW	分布时段
海水淡化装置	9.75	全天
预处理设备	0.75	全天
系统用电	0.2	全天
生活用电	0.25	主要为夜间
空调	5	夏季旅游旺季

本项目中设计蓄电池主要用于为发电用电功率波动或快速变化引起的功率不平衡提供支撑作用，同时应避免系统的频繁启停，因此对蓄电池的容量和短时间放电能量有一定的要求。

①蓄电池容量计算公式为：

$$C = \frac{nW_d}{U \cdot DOC_{\max} \cdot \eta_{\text{out}}} \quad (1)$$

式中： n 为蓄电池连续供电天数； W_d 为系统日耗电量； U 为系统工作电压； $DOC_{\max}$ 为蓄电池最大放电深度； η_{out} 为蓄电池到负载的放电回路效率，一般取95%~98%。

经计算，蓄电池容量可选取400Ah。

②1min最大允许放电电流：1CA=400A；

可输出功率：400A×48V=19.2kW>系统最大负荷16kW。系统设计8块12V、200Ah蓄电池分为两组，每组4块串联，再将两组并联构成48V、400Ah蓄电池组。

1.3 海水淡化工艺设计 海水淡化系统工艺流程如图3所示，原海水首先在蓄水池自然沉淀，然后用滤袋过滤，再通过超滤设备做进一步处理，最后再通过10μm微滤和3μm精滤后，海水经高压泵加压进入反渗透膜，2台海水淡化装置造水能力分别为8m³/d和12m³/d，其中12m³/d的装置配有能量回收装置，2台海水淡化装置及超滤装置都具有自动反冲洗功能。

1.4 控制系统设计 控制系统通过监测风机输出状态、蓄电池状态、电网状态参数和海水淡化装置的工作状态，分析整个电网系统的动态变化，然后发出控制指令，调节各环节的工作状态，实现海水淡化装置的变负荷稳定运行。

首先利用蓄电池通过双向逆变器建立起独立电网，当发电设备达到并入独立电网条件时，所发

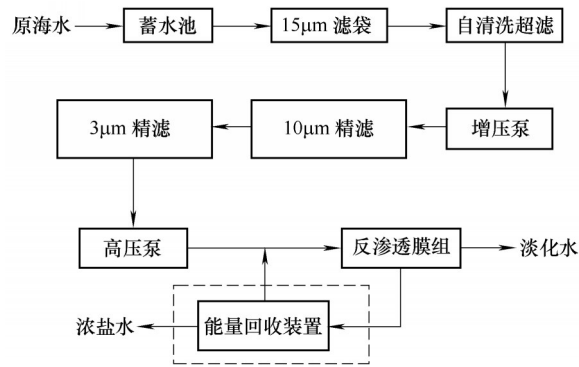


图3 海水淡化工艺流程

出交流电通过电力电子设备直接并入电网，负载直接从电网取电。在系统运行过程中，通过对风机输出功率及蓄电池当前电量判断，必要时对海水淡化装置工作负荷进行调节，同时通过PI闭环控制调节膜组件浓盐水出口侧电动阀开度，实现膜壳内压力稳定。

2 系统运行情况

2.1 系统发电量及产水量 项目在福建东门屿进行示范运行，目前整套系统运行稳定，系统参数正常，截止至2011年8月，风电、光伏累计发电3 796.6kW·h，总计产水368.7m³。系统每日发电量与产水量如图4所示。

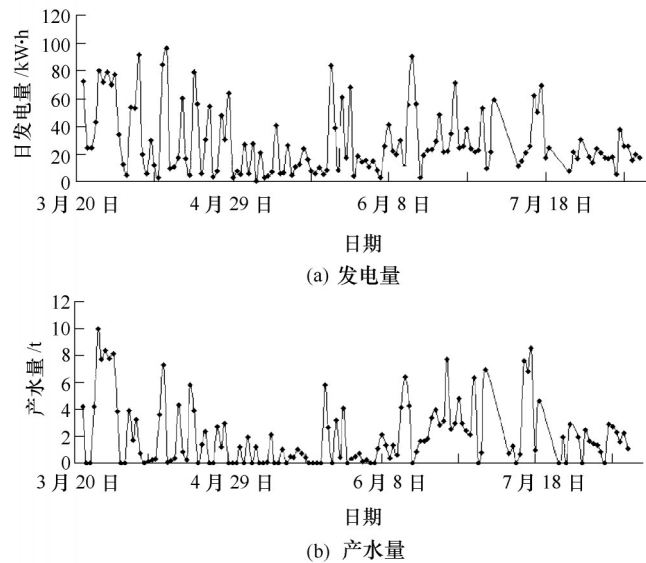


图4 系统每日发电量与产水量

2.2 独立电网运行状况 在风机输入功率大幅波动时，始终能保持系统供电稳定，如图5—6所示，根据电网运行每30s一点的监测数据绘制。

通过长时间运行测试，独立电网运行稳定性表现良好，在各种工况下，始终保持系统稳定。

2.3 海水淡化系统运行状况

(1)预处理效果。RO对进水浊度(NTU)和淤泥密度指数(SDI)有严格要求，分别要求小于1和4^[7-8]。由于本项目采用近岸表层取水，原水水质较差，且受周期性涨/退潮影响严重，浊度最高达到46，通常低潮位时浊度大于10。

在3个月的运行期间，水质化验结果显示，预处理后原水浊度小于0.5，SDI小于2.5，完全满足RO进水要求。

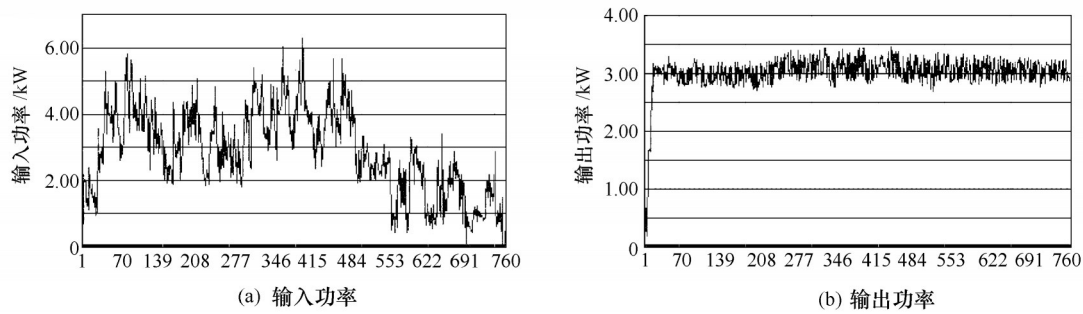


图5 输入、输出功率曲线

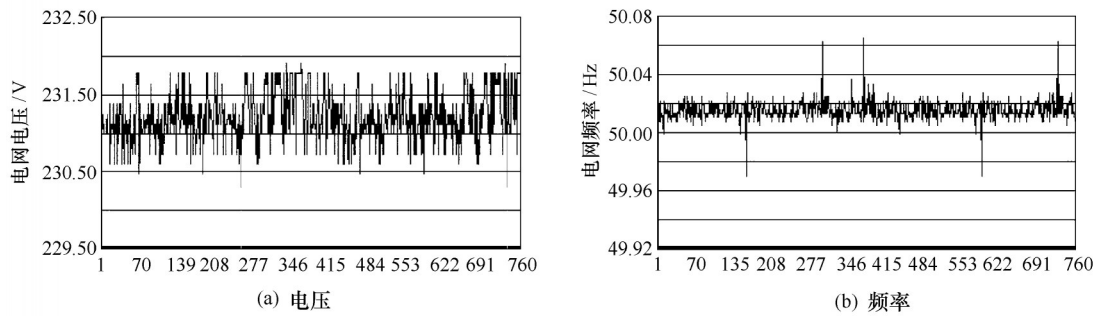


图6 电网电压、频率曲线

(2)产水水质。产水水质经化验达到了国家生活饮用水标准，原水与产水水质对比如表所示。

表2 原水与产水水质对比

参数	原水检测结果	产水检测结果
浊度(NTU)	45.8	0.79
pH	7.98	5.60
电导率/($\mu\text{S}/\text{cm}$)	5.48×10^4	190
TDS/(mg/L)	3.39×10^4	133
碳酸盐/(mg/L)	14.7	未检出
硫酸盐/(mg/L)	2.46×10^3	1.34
钠/(mg/L)	1.02×10^4	36.9
镁/(mg/L)	1.10×10^3	0.25
铁/(mg/L)	0.32	未检出

(3)系统稳定性。2台海水淡化装置经过5个月的连续运行，膜组件的性能良好，脱盐率仍然维持在99.3%以上，运行参数如表所示，2号配有能量回收装置，能耗计算不包括预处理部分。

表3 海水淡化装置运行参数

序号	膜压力/MPa	产水流量/LPM	吨水能耗/($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$)	回收率
1	4.5~5.0	5.2~5.8	12.6	28%~32%
2	4.0~4.2	8.0~8.5	6.8	30%

3 效益分析

我国现有的大规模海水淡化厂的综合成本一般为4~6元/t，产水规模在50m³/d以下的常规海水淡化系统制水成本一般在8~10元/t左右^[9]。考虑到东山地区夏季风速偏小，综合分析本系统年产水量可达3500m³，由此核算单位产水成本约为14元/t，考虑到本系统用于试验研究目的，系统监测配置相

对复杂,初步分析设备投资比相同规模商业化系统高20%以上,同时监测系统自身能耗占比偏高,因此商业化后,小型系统产水成本可以降至10元/t。如果规模化运行,产水成本将进一步下降,预期将降至8元/t以下。对于淡水资源严重缺乏且离大陆较远的岛屿,此水价基本可以为当地居民接受。因此,采用新能源独立电网海水淡化系统,无论从吨水成本角度,还是从节能环保角度考虑,都具有相当可观的社会效益和经济效益。

4 结论

本文提出的新能源独立电网海水淡化系统可自动化运行,实现无人值守,所需蓄电池容量小,并且具有扩展能力强、供电品质高等优点。自投入示范运行以来,该系统工作稳定,各项技术指标达到设计值,充分证明了系统方案设计的正确性。对无电网覆盖且淡水资源匮乏的海岛地区,新能源独立电网海水淡化系统具有广阔的应用前景;同时也为我国离网型海水淡化系统的应用积累了宝贵经验,为我国海岛水利的发展提供有力的技术支持。

参 考 文 献:

- [1] 顾卫东.中国风电产业发展新战略与风电非并网理论[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [2] 任典勇,施慧雄.海岛风能海水淡化组合体系研究[J].海洋学研究,2009,27(2):111-117.
- [3] 陈志莉,何强,庄春龙,等.太阳能苦咸水(海水)淡化系统的运行研究[J].中国给水排水,2009,25(23):61-63.
- [4] 王坤林,游亚戈,张亚群.海岛可再生独立能源电站能量管理系统[J].电力系统自动化,2010,34(14):13-17.
- [5] 张希照,张希建,张建中,等.大鱼山岛光伏太阳能海水淡化示范工程[J].水处理技术,2010,36(12):67-70.
- [6] 杨琦,张建华,刘自发,等.风光互补混合供电系统多目标优化设计[J].电力系统自动化,2009,33(17):86-90.
- [7] 初庆伟,等.大唐汪滩电厂海水淡化系统两年运行经验[J].中国脱盐,2008(4):39-46.
- [8] 周振觉,何海丰,杨升,等.舟山地区海水淡化技术应用状况[J].水处理技术,2010,36(2):15-24.
- [9] 干钢,陈丽雅,等.海岛一体化制水装置研究与应用示范[J].水处理技术,2010,36(4):118-121.

Introduction of a new energy demonstration project with independent power-grid and desalination system

ZHANG Zi-min, FENG Bin-chun, ZHANG Jin-jie, FU Ping

(Chinese Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing IWH Technology CO., Ltd, Beijing 100038, China)

Abstract: Island areas are short of fresh water resources and the development of new energy desalination technology can ease the water stress problem of local residents by taking advantage of island's rich wind energy and solar energy resources. This paper introduces the components, design, operation performance and cost analysis of new energy with independent power-grid and desalination system. The results obtained by operating the system in field show that the new energy system can meet the design requirements and the quality of fresh water, which is superior to the standard of drinking water. The system with its high level automation and strong ability for environment is suitable for solving the drinking problem in islands far from the mainland. The application of this project also can provide an important reference value for the development of off-grid desalination technology.

Key words: wind-solar-diesel complementary; independent power-grid; desalination

(责任编辑:韩 昆)