

# 含可再生能源的独立微电网优化配置研究

葛晓慧, 周金辉, 张雪松

(浙江省电力公司电力科学研究院, 杭州 310014)

**摘要:** 采用含风、光等可再生能源的独立微电网供电是解决偏远地区和海岛用电难问题的有效手段之一。以某海岛为例, 对含可再生能源的独立微电网系统进行系统配置优化计算, 对不同配置组合以及影响系统配置和运行参数的因素进行分析, 得出独立微电网系统设计的关键因子及其具体影响, 为独立微电网系统初期设计提供了有益的指导和参考。

**关键词:** 可再生能源; 独立微电网; 优化配置; 系统设计

中图分类号: TM711.1

文献标志码: A

文章编号: 1007-1881(2012)12-0001-04

## Research on Optimal Configuration of Isolated Microgrid with Renewable Energy

GE Xiao-hui, ZHOU Jin-hui, ZHANG Xue-song

(Z(P)EPC Electric Power Research Institute, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** Isolated microgrid with renewable energy such as wind and light is an effective means to solve the power supply problem in the remote areas and islands. By taking an island for instance, system configuration optimization of the isolated microgrid with renewable energy is made, and different configurations and factors influencing system configuration and operating parameters are analyzed. Finally, the key factors and specific impacts on system design of isolated microgrid are concluded, providing guidance and reference to initial design of isolated microgrid.

**Key words:** renewable energy; isolated microgrid; optimal configuration; system design

目前, 世界上还有 5.3 亿人未能使用电力, 我国有近 2 000 万偏远地区居民没有正常的电力供应。对于偏远地区及远离大陆的海岛地区, 利用大电网延伸解决供电问题时成本较高, 且存在一定的难度。如何有效解决偏远地区的供电问题, 是长期困扰政府和电力公司的难题。随着可再生能源发电技术的发展, 采用含可再生能源的微电网为偏远地区及海岛居民供电是可行且符合能源发展趋势的有效途径。

在相关问题研究中, 如何合理有效地对含可再生能源的微电网进行配置设计是需要解决的首要问题。文献[1]和[2]采用遗传算法对独立系统配置进行分析, 但文献[1]仅针对风光储系统, 文献[2]则以成本作为主要目标函数, 未充分考虑其他

因素; 文献[3]—[5]采用数学模型进行计算分析, 以成本为主要优化目标, 函数变量较多, 不能对多种情况进行快速对比分析。与遗传算法和数学模型方法相比, 使用 HOMER 软件将更加便捷, 可以方便地对成百上千种备选方案进行计算分析, 以寻求最佳配置组合。

## 1 优化配置

HOMER 是专门针对可再生发电系统配置分析的仿真软件, 可以仿真并网和独立的微电网系统。HOMER 基于技术和经济特性来比较不同的设计方案, 在备选方案中寻求经济最优解, 同时可以帮助分析输入数据(如可再生能源发电装置容量、柴油发电机容量、储能系统容量以及自然

资源数据等)的变化及不确定性所带来的影响。

### 1.1 系统仿真

以浙江某海岛为例,该岛远离大陆,未与大电网相连,一直依靠柴油发电机供电。现阶段日平均负荷 3 326 kWh,小时最大负荷为 238 kW,全年小时负荷曲线如图 1 所示。

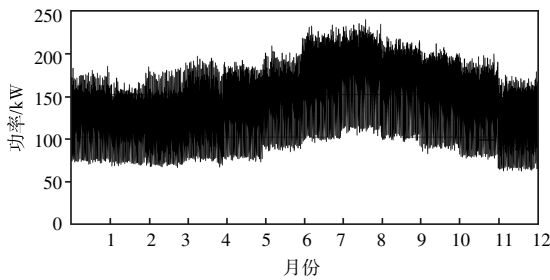


图 1 全年小时负荷曲线

据气象观测站统计,该岛 18 m 高度年平均风速 6.50 m/s,月平均太阳辐射量 3.45 kWh/m<sup>2</sup>·d,风、光资源较好,在该岛建设含可再生能源的微电网可有效解决海岛供电难问题。由于可再生能源的波动性和间歇性,需要配置备用柴油发电机 1 台,其他设备可选择 50 kW 风机和 2 V/1 500 Ah 蓄电池,待确定的变量为柴油发电机容量、风机台数、光伏容量、变换器容量以及蓄电池个数。仿真计算时需预先给变量设定一定的范围,HOMER 将会从设定的取值范围内寻求最优的配置组合。系统结构如图 2 所示。

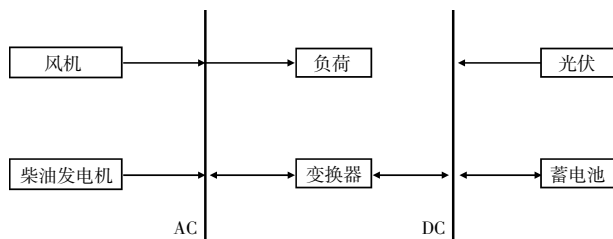


图 2 含可再生能源的微电网结构

HOMER 根据输入的系统配置、负荷特性以及风速、太阳能辐射数据得到全年 8 760 h 的发电量,将每小时发电与负荷进行比较,决定发电富余和不足时所采取的措施。以 1 h 为仿真步长能够获取负荷和发电的重要特性,不会减慢仿真速度,并且有利于进行优化和敏感性分析。

HOMER 按照总净现成本(NPC)列出系统配置,并计算有关的运行参数,结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出,在当前资源情况下,风光柴蓄的组合是最佳配置,其可再生能源发电比例达 73%,相对于仅靠柴油发电机供电的情况,柴油发电机的运行时间减少 56.2%,大大减少了柴油的使用量以及柴油燃烧所带来的环境污染。

### 1.2 容量配置

虽然在当前资源条件下风光柴蓄是最佳的配置组合,但不同的容量配置也会有不同的计算结果,需进一步对系统容量配置进行研究分析,选择合适的最优配置。

风光柴蓄系统配置有上百种组合,表 2 列出了部分不同容量配置的计算结果,其可再生能源发电比例均达到 60%以上。

表 2 不同容量配置结果

光伏/kW	风机/台	柴/kW	蓄/个	变/kW	NPC/元	柴发/h
150	5	200	360	300	17 720 178	3 836
100	5	200	360	300	17 898 678	3 989
50	5	200	360	300	18 095 026	4 136
100	5	200	240	300	18 403 796	4 279
50	5	200	240	300	18 556 692	4 401
100	4	200	360	300	19 236 350	4 664
50	4	200	360	300	19 647 718	4 883

从表 2 可知,相同类型组合下,不同容量配置的计算结果有较大差异。总体看来,可再生能源容量越大,柴油发电机运行时间越少,与实际设计原则相符。

表 1 HOMER 计算结果

光伏	风机	柴	蓄	变	光伏/kW	风机/台	柴/kW	蓄/个	变/kW	NPC/元	可再生发电/%	柴发/h
√	√	√	√	√	150	5	200	360	300	17 720 178	73	3 836
/	√	√	√	√	/	4	200	360	300	20 134 620	56	5 121
/	√	√	/	/	/	5	200	/	/	20 749 964	59	5 671
√	√	√	/	√	150	3	200	/	300	23 933 914	51	6 836
√	/	√	√	√	150	/	300	240	300	37 824 960	13	8 640
/	/	√	/	/	/	/	300	/	/	38 377 988	0	8 760
/	/	√	√	√	/	/	300	2 400	300	39 169 528	0	8 756

综合考虑,总净现成本最小的配置并不一定是最合理的选择,例如有的系统配置总净现成本略大,但蓄电池可以避免深度放电,从而有利于延长蓄电池的使用寿命,或可以有效减少柴油发电机的运行时间。因此,最终系统配置不仅仅由系统总净现成本决定,还需要根据优先考虑的因素并综合其他各种因素,如光伏阵列占地、蓄电池运行与维护等各方面来进行选择。

下面选择总净现成本最小的配置结果做进一步分析。在此配置下,每月平均发电量和发电明细如图3和表3所示。

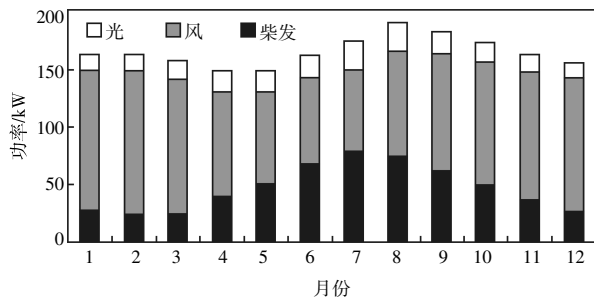


图3 每月平均发电量

表3 发电明细

名称	年发电量/kWh	百分比/%
光伏	159 882	11
风机	893 131	62
柴油发电机	399 144	27
总量	1 452 157	100

总净现成本最小的配置结果中,系统过剩电量占12.5%。因此,当系统发电量大于负荷时,可投入可调负荷,以减少可再生能源不必要的浪费。其中,具有储能功能的可调负荷(如抽水蓄能)可以起到削峰填谷的作用,对系统的稳定运行有重要作用。在海岛地区,制冰厂和海水淡化也是比较理想的可调负荷。

## 2 分析

HOMER的3个主要任务是仿真、优化和敏感性分析。敏感性分析有助于确定输入数据的变化及不确定性所带来的影响,下面就上述选定的风光柴蓄系统进行详细分析。

### 2.1 最佳配置影响

在已有资源条件下,风光柴蓄是系统的最佳组合。但当风速和太阳辐射强度发生变化时,最

佳组合也会发生相应变化,如图4所示。

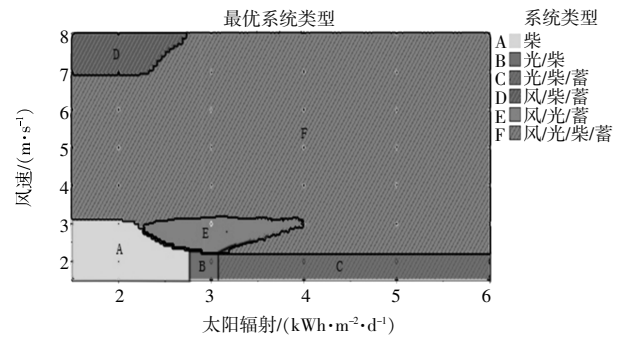


图4 最佳组合示意图

从图4可知,风速和太阳辐射强度都很小时,柴油发电机独立供电是最佳选择;当风速较小,而太阳辐射强度大于 $2.8 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{d}$ 时,光柴或光柴蓄是最佳组合;当太阳辐射强度较小,而风速大于 $7 \text{ m/s}$ 时,风柴蓄是最佳组合;当风速和太阳辐射强度都较大时,风光柴蓄是最佳组合。同时,风速和太阳辐射强度大小对最佳组合的影响也影响到系统运行控制策略的制定,当风速和太阳辐射强度较小时,开启柴油发电机对负荷供电;当风速和太阳辐射强度较为理想时,由可再生能源供电,柴油发电机作为后备电源。

### 2.2 资源条件影响

在风光柴蓄组合确定的情况下,风速和太阳辐射强度变化对系统运行参数有一定影响,现以对柴油发电机运行时间的影响为例进行分析。

风速和太阳辐射强度对柴油发电机运行时间的影响如图5所示(注:初始设定值为太阳能辐射 $3.45 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{d}$ ,风速 $6.50 \text{ m/s}$ )。在容量配置确定的情况下,风速和太阳辐射强度越小即与初始设定值的比值越小,则柴油发电机运行时间越长。

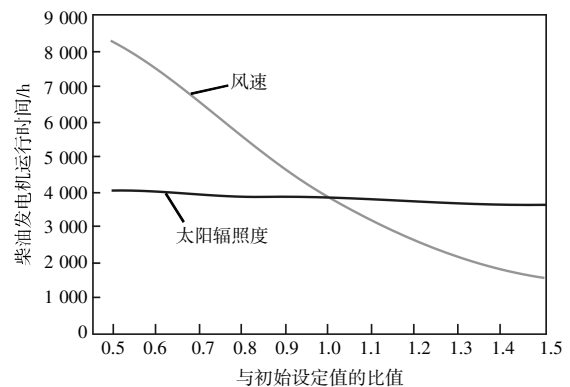


图5 风速和太阳辐射强度对柴油发电机运行时间的影响

与太阳辐照度曲线相比,风速曲线斜率较大,说明风速对柴油发电机运行时间的影响效果明显。太阳辐照度曲线斜率较平稳,风速曲线在比值大于1后斜率变小,但随着比值的增大,柴油发电机运行时间仍会继续减少。由此可以看出,在该岛独立风光柴蓄系统中,风速比太阳辐射强度更具影响力,是影响系统运行状态的关键因子。

### 2.3 装机容量影响

首先定义:

$$\eta_x = \frac{C_x}{C_p + C_w + C_g + C_b} \quad (1)$$

式中:  $C_p$  为光伏容量;  $C_w$  为风机容量;  $C_g$  为柴油发电机容量;  $C_b$  为蓄电池容量;  $C_x$  为其中一种电源的容量;  $\eta_x$  为电源  $C_x$  占总电源容量的比例。现已确定  $C_g$  为 200 kW,  $C_b$  为 360 kW(最大放电深度为 50%), 取风光柴蓄组合, 固定  $C_p$  为 150 kW, 风机装机比例对柴油发电机运行时间的影响如图 6 所示。

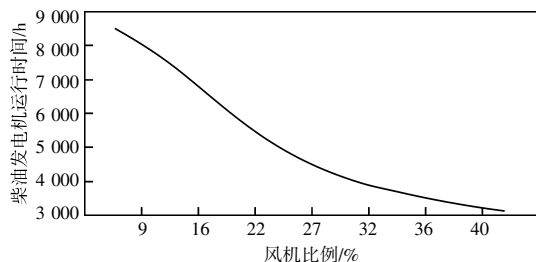


图 6 风机比例对柴油发电机运行时间影响

风机装机比例与柴油发电机运行时间近似线性关系,随着风机装机比例的增大,柴油发电机运行时间由初始约 8 000 h 锐减到约 3 000 h。

取风光柴蓄组合,固定风机容量  $C_w$  为 250 kW,分析光伏比例对柴油发电机运行时间的影响,如图 7 所示。

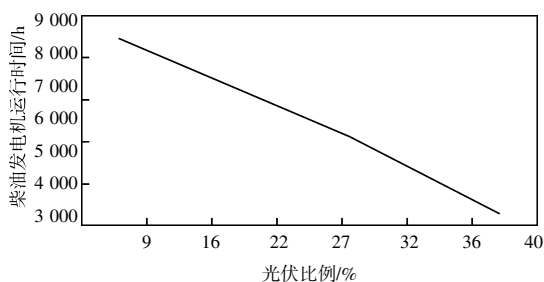


图 7 光伏比例对柴油发电机运行时间影响

光伏比例与柴油发电机运行时间基本成线性关系,随着光伏比例的增大,柴油发电机运行时间由初始约 4 300 h 减到约 3 400 h。

从图 6 和图 7 可以看出,在海岛现有资源条件下和风光柴蓄系统中,风机装机比例对有效减少柴油发电机运行时间起主导作用,增加风机容量比增加光伏容量更加有效,说明该岛利用风资源更为有利。同时,在实际工程中,光伏占地面积远远大于风机所需面积。因此,在海岛风资源良好、用地紧张的情况下,合理增加风机容量比例是有一定理论依据的。

但另一方面,风机比例对系统运行参数的影响也最大,说明风机是风光柴蓄系统中较不稳定的电源,随着风速减小,风机出力也相应减小,这将会对系统运行状态产生较大影响。

### 3 结语

含可再生能源的微电网尤其是风光柴蓄系统,对解决偏远地区和海岛供电问题有重要作用。本文使用 HOMER 软件对含可再生能源的微电网配置进行仿真分析,得出风光柴蓄系统在多数情况下是较为合理的系统配置,其中风速和风机容量是影响系统运行的关键因子,这对今后的相关研究及工程设计有一定的指导作用。

### 参考文献:

- [1] 徐大明,康龙云,曹秉刚.风光互补独立供电系统的优化设计[J].太阳能学报,2006,27(9):919-922.
- [2] TOMONOBU SENJYU,DAISUKE HAYASHI,ATSUSHI YONA,et al..Optimal configuration of power generating systems in isolated island with renewable energy[J]. Renewable Energy,2007(32):1917-1933.
- [3] 刘志煌.风光互补发电系统的优化设计研究[D].广州:广东工业大学,2009.
- [4] M.A.ELHADIDY.Performance evaluation of hybrid (wind/solar/diesel) power systems[J].Renewable Energy,2002(26):401-413.
- [5] 茆美琴.风光柴蓄复合发电及其智能控制系统研究[D].合肥:合肥工业大学,2004.

收稿日期:2012-10-15

作者简介:葛晓慧(1981-),女,山东烟台人,博士,高级工程师,主要研究方向为新能源发电及其并网技术等。

(本文编辑:龚皓)