

冷热电联供型微电网容量规划优化研究

崔恒志¹, 黄奇峰¹, 杨世海¹, 战丽萍², 周赣²

(1.江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103; 2.东南大学 江苏南京 210096)

摘要:与普通能源利用形式相比,冷热电联供型微电网具有能源利用效率高、利用形式多样、就地解决综合能源需求等特点,可以很好地满足综合能源用户的需求。目前在运或在建的冷热电联供项目往往存在设备配置比例不合理,设备利用率低或无法实现较高的能源利用效率。介绍了几种典型的联供型微电网形式,进行了微电网容量规划优化建模,并在CPLEX环境下编程实现该模型,通过算例分析验证了该模型的有效性。

关键词:冷热电联供;微电网;容量规划;优化

中图分类号:TM611.3

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0039-03

冷热电联供型微电网是指可以同时供应电负荷、热负荷、冷负荷的分布式能源利用形式,由于其具有能源利用效率高、能源利用形式多样、能就地解决综合能源需求等特点,可以很好地满足综合能源用户的需求,其研究利用也越来越受到重视^[1-3]。在经历了1973~1974年和1979~1980年2次能源危机后,热电联供开始受到西方国家的重视,美国和欧洲已有许多在运行的项目。日本从1981年开始支持天然气冷热电联供系统的发展,并制定了一系列的保护政策和法规。截止2003年,日本民用燃气热电(冷)项目总装机容量达到1429kW,项目达到2915个。中国自上世纪90年代初期也开始重视冷热电联供系统,并开始了相关的探索和研究,上海浦东机场和天津西站也分别采用了冷热电联供型的供能形式^[4-7]。然而,目前在运行或在建的冷热电联供项目往往由于设备配置比例不合理,使得设备利用率低,或无法达到原理上高达80%的能源利用效率。在联供系统设计时,比较经典的“以热定电”或“以电定热”原则并不能给出较优的系统配置策略。已投入商业应用的设计软件如DeST^[1]和HOMER也只能简单的依据峰值负荷信息和简单的比例原则给出系统的设备配置方案和设计。

冷热电联供型微电网供能形式多样,设备组合策略较多,如何提出一种通用性较强的联供型微电网的优化规划方法很重要。文中分析了不同冷热电联供型微电网的特性,然后研究了联供型微电网通用规划模型,最后在CPLEX中编程实现该规划模型并用算例进行验证,结果显示该规划模型通用性较强,且规划结果也较优。

1 典型联供型微电网

冷热电联供型微电网中原动机可采用(微型)燃气轮机、内燃机、燃料电池、斯特林发动机等,余热吸

收利用中可采用换热器、余热锅炉、余热吸收式制冷机等,在热负荷或冷负荷较大时还可以采用加入燃气锅炉的形式加以补燃。另外还可以根据系统的储能需求加入一定容量的蓄热或蓄冷装置。

由于燃料电池和斯特林发动机并没有商业应用,下面介绍典型的联供型微电网是只考虑原动机为微型燃气轮机和内燃机的情况。

类型一。以内燃机或燃气轮机为原动机,采用换热器、余热锅炉进行余热回收利用以供应热负荷,冷负荷供应分产系统采用吸收式制冷机和电制冷机组,并网不上网,如图1^[1]所示。

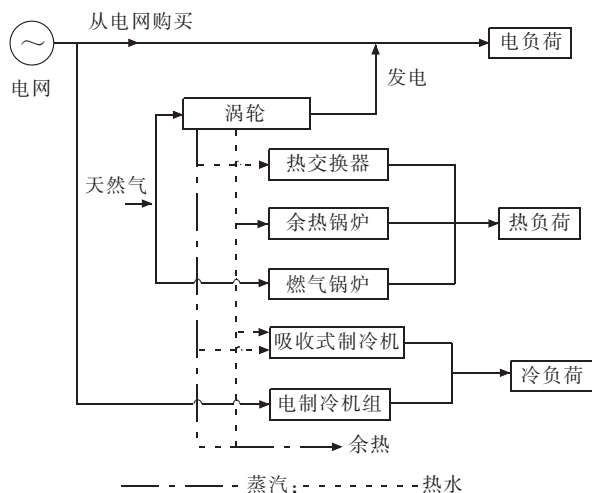


图1 典型联供型微电网类型一

类型二。与类型一的主要区别在于类型二联供型微电网包含蓄能罐/箱,在夏季可以蓄冷,冬季可以蓄热,如图2^[1]所示。

类型三。与类型一的差别在于,类型三联供型微电网中的吸收式制冷设备可由燃气锅炉供热或采用部分直燃式的制冷机组。

2 容量规划优化建模

在联供型微电网的规划定容中,需要确定各分产

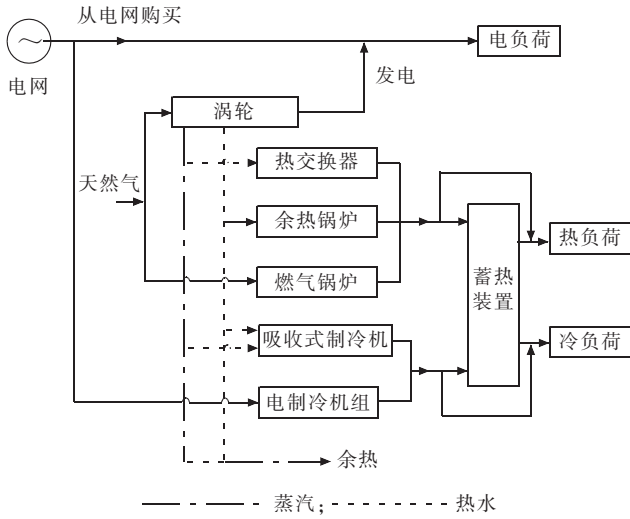


图2 典型联供型微电网类型二

系统中主要设备的最佳容量及分产系统间的最佳设备组合。因而文中规划模型的变量选定为 T, B, A, E, S , 分别为微型燃气轮机 / 内燃机、燃气锅炉、吸收式制冷机、电制冷机、蓄能罐的容量。由决策变量数组 Z 确定系统的组成, $Z[i]$ 的值可取 0 或 1。

2.1 目标函数

电力规划中, 考虑资金的时间价值是进行方案比较的基础。电力规划模型的目标函数是与项目的经济评价准则相关联的, 常用的电力规划目标函数有净现值最大、内部收益率大于基准收益率、总费用最小及年费用最小 4 种。然而由于项目未来收益的难预测性及规划模型的计算复杂度较高, 前两种规划模型的目标函数应用并不多^[8]。微电网的规划亦如此。

文中联供型微电网规划模型的目标函数选定为初期投资和年运行成本分别乘以权重系数后相加最小, 记为式(1)。

$$\begin{cases} \min (\alpha_1 C_1 + \alpha_2 C_2) \\ C_1 = C_1^{\text{Fix}}(T, B, A, E, S, Z) \\ C_2 = \sum \sum C_2(T, B, A, E, S, Z) \end{cases} \quad (1)$$

2.2 约束条件

微电网内负荷平衡约束, 包括电负荷、热负荷、冷负荷的平衡, 方程为:

$$\begin{cases} T_{\text{out},i} + G_i - E_{\text{in},i} = EL_i \\ T_{\text{H},i} + B_{\text{out},i} - A_{\text{in},i} \geq HL_i \\ A_{\text{out},i} + E_{\text{out},i} \geq CL_i \end{cases} \quad (2)$$

式中: EL_i, HL_i, CL_i 分别为逐时电负荷、热负荷、冷负荷需求; G_i 为微电网与电网的功率交换量。

安全约束包括系统中设备出力约束、设备运行爬坡和下坡约束、微电网联络线上潮流约束等。

$$X_{\min} \leq X_{\text{out},i} \leq X_{\max} \quad (3)$$

$$X_{\text{down}} \leq X_{\text{out},i+1} - X_{\text{out},i} \leq X_{\text{up}} \quad (4)$$

$$\begin{cases} G_i \leq L_{\text{in}} & G_i \geq 0 \\ |G_i| \leq L_{\text{out}} & G_i < 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中: $L_{\text{in}}, L_{\text{out}}$ 分别为微电网与大电网联络线上吸收或输出功率, 对于并网不上网的微电网形式, L_{out} 为 0。

3 算例分析

算例取自文献[1], 北京某新建四星级酒店, 建筑面积为 7.3 万 m^2 , 其中客房面积 4.2 万 m^2 , 餐厅宴会面积 1.5 万 m^2 , 车库及其他等为 1.6 万 m^2 , 其等效热负荷-电负荷($Q-E$)散点如图 3 所示。

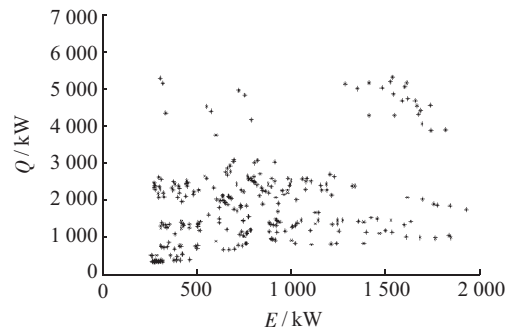


图3 酒店负荷 $Q-E$ 散点

在 CPLEX 环境下编程实现文中提出的规划模型。规划模型中的目标函数中初期投资和年运行成本的权重定为 1:1。

分析该酒店的负荷数据及能源价格 (见表 1), 并在此基础上制定数据输入文档。该酒店的最大电负荷为 2 000 kW, 最大热负荷为 2 700 kW, 最大生活热水负荷为 1 200 kW, 最大冷负荷为 4 900 kW。

在该微电网容量规划模型中, 燃气轮机采用经典变工况运行模型^[9-11]。

$$\begin{cases} \eta_* = 2.745W_* - 2.816W_*^2 + 1.07W_*^3 \\ f_* = 0.288 + 0.624W_* + 0.088W_*^2 \end{cases} \quad (6)$$

式中: η_*, W_* 和 f_* 分别为燃气轮机发电效率、输出功率和消耗燃料与额定的比值, 即标么值。

联供微电网系统中余热利用供冷设备常用的为吸收式制冷机组。包括单效或双效的溴化锂吸收式制冷机组和氨水制冷机组等。其中溴化锂制冷机组以水为制冷剂, 溴化锂容易为吸收剂, 一般热源 (低压蒸汽 0.12 MPa 以上或热水 75 $^{\circ}\text{C}$ 以上) 均可满足要求, 且易于自动化实现, 在负载率 10%~100% 范围内可以实现制冷量的自动、无级调节。氨水制冷机组以氨作为制冷剂, 能够制取 0 $^{\circ}\text{C}$ 以下的低温, 变工况性能良好, 在负载率 30%~100% 范围内调节时, 装置的经济性无明显变化^[2]。

系统中可采用蓄能罐蓄热或蓄冷, 比较常见的有

自然分层水蓄能装置,其冬天可蓄热,夏天蓄冷,数学模型如下:

$$R = \rho V C_p \varepsilon \alpha \Delta t \quad (7)$$

式中: R 为蓄能罐中可用能量; ρ 为水的密度; V 蓄能罐中可用水的体积; C_p 为水的比热容; Δt 为蓄能罐进出水温差; ε 蓄能罐的完善度; α 蓄能罐容积的利用率。能源价格如表1^[1]所示。

表1 能源价格

项目	时间	价格
天然气	全年	1.8元/m ³
峰电价	8:00~10:00, 18:00~22:00	1.065元/(kW·h)
平电价	7:00, 11:00~17:00	0.678元/(kW·h)
谷电价	23:00~6:00	0.313元/(kW·h)

根据输入的不同状态变量数组 Z 得到优化配置结果,结果如表2所示。其中,原动机模型选用的是微型燃气轮机模型,额定发电效率0.3;吸收式制冷机组采用的是双效溴化锂吸收式制冷机组,COP=1.2;蓄能罐采用自然分层水蓄能罐,蓄热密度31.78 kW·h/m³,蓄冷密度8.47 kW·h/m³。

表2 微燃机系统容量优化配置结果

设备	类型一	类型二	类型三	DeST 类型一
燃气轮机/kW	400	1 700	400	500
燃气锅炉/kW	2 100	0	2 100	2 600
吸收式制冷机/kW	600	2 800	1 400	340
电制冷机组/kW	4 300	800	3 500	4 600
储能罐/m ³		1 080		
初期投资/百万元	10.71	18.32	10.93	11.70
年运行成本/百万元	5.56	2.02	5.53	5.57
投资回收年限/年	7.8	3.7	7.8	8.7

原动机选用的是内燃机,其他设备模型同上。同样根据输入的不同状态变量数组 Z 得到优化配置结果,结果如下表3所示。

表3 内燃机系统容量优化配置结果

设备	类型一	类型二	类型三	DeST 类型一
内燃机/kW	500	2000	500	625
燃气锅炉/kW	2 200	0	2 200	2 300
吸收式制冷机/kW	500	2 100	1 400	320
电制冷机组/kW	4 400	1 200	3 500	4 600
储能罐/m ³		1319		
初期投资/百万元	11.40	19.97	11.57	12.06
年运行成本/百万元	5.08	1.93	5.02	5.03
投资回收年限/年	6.1	4.0	6.0	6.4

表2中,联供型微电网系统以微型燃气轮机为原动机,类型一系统的容量规划结果采用通用型容量规划算法比DeST软件的规划结果较优,初期投资减少8.5%,投资回收期也降低10%。表3中,以内燃机为原

动机,容量规划优化结果也较优。配备蓄能的类型二联供系统的经济性远远优于其他类型的联供系统。

由以上几个算例结果可知,采用文中提出的通用型规划模型可对不同的系统进行容量配置的优化,且优化配置结果可有效地提高系统的经济性,降低运行成本。

4 结束语

在分析几种典型的冷热电联供型微电网系统的基础上提出了一种通用的容量配置优化模型,并在CPLEX环境中进行建模,在描述规划模型的同时,实现系统的优化计算。通过对北京某酒店算例的计算分析,并与前人工作的对比,验证了该模型的有效性和可靠性,研究表明该冷热电联供型微电网容量规划优化算法具有较好的通用性和可靠性。

参考文献:

- [1] 付林,李辉.天然气热电冷联供技术及其应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 葛斌.热电冷联产原理与技术[M].北京:中国电力出版社,2011.
- [3] 孔祥强.冷热电联供[M].北京:国防工业出版社,2011.
- [4] 忻奇峰.冷热电三联供系统在浦东国际机场的应用[J].电力需求侧管理,2004,6(5):40-42.
- [5] 赵奕.天津西站冷热电三联供系统经济与节能性分析[J].铁路工程造价管理,2010,25(3):1-3,14.
- [6] HU Y F, WANG B, GUO L, et al. Combined Cooling, Heating and Power Microgrid System with MW Class Micro Turbine in China [C]. 20th International Conference on Electricity Distribution, 2009.
- [7] WANG J J, ZHANG C F, JING Y Y. Multi-criteria Analysis of Combined Cooling, Heating and Power Systems in Different Climate Zones in China [J]. Applied Energy, 2010, 14(4): 2263-2278.
- [8] 电网规划基础及应用[M].北京:中国电力出版社,2011.
- [9] 冯志兵,金红光.燃气轮机冷热电联产系统与蓄能变工况特性[J].中国电机工程学报,2006,26(4):25-30.
- [10] 左远志,杨晓西,丁静,等.微型燃气轮机的生产厂商与性能影响因素[J].煤气与热力,2007,27(3):76-79.
- [11] 和彬彬,杨勇,段立强,等.微型燃气轮机冷热电联供系统变工况性能研究[J].热能动力工程,2008,23(6):615-619.

作者简介:

崔恒志(1971),男,江苏南通人,高级工程师,从事电能计量、电力通信管理工作;
黄奇峰(1968),男,江苏盐城人,高级工程师,从事计量管理工作;
杨世海(1976),男,安徽淮北人,高级工程师,从事计量检测与管理
工作;
战丽萍(1990),女,山东济宁人,硕士研究生,从事微电网规划与能
量优化方面的研究;
周赣(1978),男,江苏丹阳人,讲师,从事冷热电联供微电网方面
的研究工作。

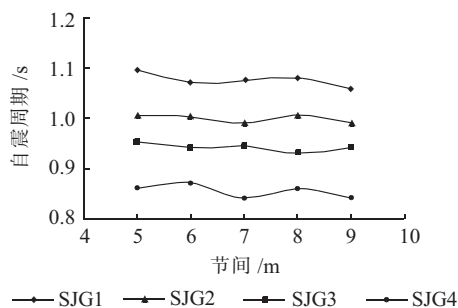


图9 横隔节间-自震周期特点

间对自振周期影响不明显,4种转角塔的自振周期在0.8~1.1 s之间。

综上所述,节间对整塔的影响不大,因此选择任意一个节间都可以,但是节间小可降低主管以及横隔的规格,所以文中选择5 m节间作为最终结果。

4 结束语

研究开发了220/110 kV混压四回路的新型Q460高强窄基四柱钢管塔,并通过模拟分析以及真型塔试验2种方法研究其结构性能,得到如下主要结论:采用Q460有利于降低杆塔结构的用钢量,同时符合结构设计采用高强材料的趋势;转角塔SJG1、SJG2、SJG3

的主管以及横隔的控制工况都为90°大风,4型转角塔则为覆冰工况,同时影响各杆件应力水平的主要因素均为构件的弯矩,主管为压弯受力,横隔为弯剪受力;窄基四柱钢管塔的塔重随根开减小而降低,顶点位移以及自振周期则随根开减小而增大;节间的变化对四柱钢管塔的塔重以及自振周期影响较小,但随着节间的增大,顶点位移会缓慢降低。

参考文献:

- [1] 孙竹森,程永锋,张强,等. 输电线路钢管塔的推广与应用[J]. 电网技术,2010,34(6):186-192.
- [2] 杨靖波,李茂华,杨风利,等. 我国输电线路杆塔结构研究新进展[J]. 电网技术,2008,32(22):77-83.
- [3] 韩军科,杨靖波,杨风利,等. 特高压钢管塔主材长细比及壁厚比的取值[J]. 电网技术,2009,33(19):17-20.
- [4] DL/T 5154—2002, 架空送电线路杆塔结构设计规定[S].
- [5] GB 50017—2003, 钢结构设计规范[S].
- [6] GB 50009—2001, 建筑结构荷载规范[S].
- [7] 日本铁塔协会, 输电钢管铁塔制作标准[S]. 1995.

作者简介:

刘德标(1961),男,江苏盐城人,工程师,从事线路设计工作;
钱统亚(1967),男,江苏盐城人,工程师,从事线路设计工作;
张大长(1971),男,江苏南京人,教授,从事特种钢结构研究工作。

Optimization Design of a New Type Narrow-base Four-column Steel Pipe Tower for 220/110 kV Mixed Voltage 4-circuit Transmission Line

LIU De-biao¹, QIAN Tong-ya¹, ZHANG Da-chang²

(1. Yancheng Electric Power Design Institute, Yancheng 224002, China;

2. College of Civil Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: This paper studied a new type of Q460 high-strength narrow-base four-column steel pipe tower for 220/110 kV mixed voltage 4-circuit Transmission line. Examining the steel consumption, vertex deflection and natural frequency of structure, the structural optimization and analysis on leg spans and beam intervals are carried out. The reasonable values and selection method of the leg spans and beam intervals of 220/110 kV mixed voltage 4-circuit narrow-base steel pipe tower are proposed.

Key words: mixed voltage 4-circuit; Q460 high-strength steel; narrow-base four-column steel pipe tower; optimization design

(上接第41页)

Capacity Planning of Combined Cooling, Heating, and Power Micro-grids

CUI Heng-zhi¹, HUANG Qi-feng¹, YANG Shi-hai¹, ZHAN Li-ping², ZHOU Gan²

(1. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: With the advantage of high energy efficiency, variety using types and solving energy demand on the spot, combined cooling, heating and power (CCHP) micro-grids can satisfy the demand of integral energy users compare to normal energy utilization types. However, CCHP projects in operation or under construction currently are often unreasonable allocated, the energy utilization efficiency of the systems are far lower than the expected, and the production efficiency of the devices is low. The optimal model of capacity planning for CCHP micro-grid is proposed in this paper. Firstly, several typical types of cogeneration micro-grid systems are introduced. Then, the optimal model for capacity planning of CCHP micro-grid is built. Finally, the model is realized in CPLEX language and the effectiveness of the model is verified by example analysis.

Key words: CCHP; micro-grid; capacity planning; optimal