

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.009

天然气分布式能源系统在大型数据中心的应用研究

印佳敏, 陈泽韩

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 数据中心电耗大、冷负荷高, 对供能的可靠性要求高。分布式能源系统通过对能源进行梯级利用, 具有高效环保、运行灵活等特点, 适用于为数据中心供能。以广州某数据中心为例, 设计了一套天然气分布式能源系统。评价结果显示该方案增加了数据中心的供能可靠性, 同时可以降低运营费用、减少污染物排放, 具有一定的可行性。

关键词: 数据中心; 分布式能源系统; 天然气

中图分类号: TE09

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)02-0052-05

Application Research of Natural Gas Distributed Energy System in Large Data Center

YIN Jiamin, CHEN Zehan

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: Internet data center (IDC) has a high demand for electricity and cooling, as well as high reliability for the energy supply. Via graded use of energy, the distributed energy system (DES) has the high efficiency and is environment-friendly and flexible operational, accordingly it is adequate for energy supply of IDC. A natural gas DES scheme is designed for a data center in Guangzhou. The results shows that the scheme is feasible since it can increase the reliability of energy supply, reduce operating cost and decrease air pollution.

Key words: IDC; DES; natural gas

大型数据中心一般包含主机房、支持区(冷水机房、空调机房、高/低压配电室、变配电室、电源室、电池室、气瓶间、备件室)、监控室、办公室等功能区域。

数据中心的不间断运行决定其具有耗能大、冷量需求大、对供能可靠性要求高、碳排放量大等特点^[1-4]。

传统的数据中心供能方式是采用市电供电, 同时利用大型集中式电空调制冷。由于此种能源利用方式是通过电力满足冷负荷需求, 即将数据中心的冷、电负荷都转化为电负荷, 因此电负荷很大。同时电力供应以市电为主, 严重依赖电网。虽然按照设计要求, 至少采用两回市电供给, 但是大电网也

有脆弱的一面, 国内外大面积的故障断电时有发生, 数据中心的用能安全性、可靠性受到电网制约^[5]。

1 天然气分布式能源

天然气分布式能源主要是指天然气冷热电三联供, 即 CCHP (Combined Cooling, Heating and Power), 是以天然气为主要燃料带动燃气轮机或内燃机发电机等燃气发电设备运行, 产生的电力满足用户的电力需求, 系统排出的废热通过余热回收利用设备向用户供热、供冷。图 1 为燃气内燃机直接连接的三联供系统示意图。

分布式能源追求能源梯级利用以及资源综合利用, 具有能效利用合理、损耗小、污染少、运行灵活、系统经济性好等特点^[6]。经过能源的梯级利用可使能源利用效率从常规发电系统的 40% 左右提高到 70% 以上, 同时还可以改善电源结构, 削峰填

收稿日期: 2014-12-01

作者简介: 印佳敏(1982), 江苏南通人, 高级工程师, 博士, 主要从事分布式能源系统设计工作(e-mail) yinjiamin@gedi.com.cn。

谷, 提高供电安全和应急能力^[7]。

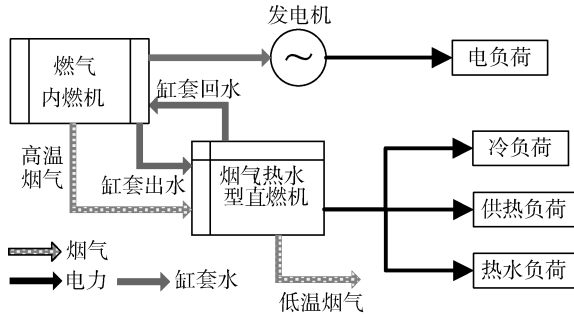


图 1 燃气内燃机直接连接的三联供系统

Fig. 1 CCHP with Gas Engine Directly Connected

对于大型数据中心这样的用能单位来说, 其负荷特点是冷、电需求较大, 一般没有热负荷需求, 并且负荷波动相对较小, 适合采用分布式供能系统进行冷、电联供。

2 案例设计

以广州某拟建数据中心为例, 设计一套分布式供能系统, 分析其可行性和经济性。

2.1 负荷需求

该数据中心负荷需求如表 1 所示:

表 1 数据中心负荷表

Table 1 Table of Loads in Data Center

实际负荷需求预测/kW	计算机荷载/kW	冷负载/kW	其他负载/kW
11 389.8	6 306.2	2 522.5	2 561.2

注: 其他负载包括机楼照明、消防及办公荷载。

总的电负荷为 11 390 kW, 其中计算机荷载和照明、消防及办公荷载等为 8 867 kW, 制冷荷载 2 522 kW。按综合 COP=5 考虑, 冷负荷约为 12 610 kW。

PUE(Power Usage Effectiveness)是国际上比较通行的数据中心电力使用效率的衡量指标, PUE 值是指数据中心消耗的所有能源与 IT 负载消耗的能源之比。PUE 值越接近于 1, 表示一个数据中心的绿色化程度越高。美国数据中心的平均能效约为 2.0, 而我国数据中心整体能效水平偏低, PUE 大多在 2.0 ~ 2.5 范围内, 平均水平约为 2.2^[8]。由上表可知, 该数据中心的 PUE 约为 1.8, 能效水平较高。

2.2 A 级数据中心供电和空调要求

我国 2008 年颁布执行的《电子信息系统机房设计规范》(GB 50174)对 A 级电子信息系统机房做了

严格的技术要求^[9-10], 包括对环境、空气调节、电气技术和电子信息设备供电电源质量要求都作了明确规定。其中, 要求开机时主机房温度为 $23 \pm 1^\circ\text{C}$; 冷冻机组 $N + X(1 \sim N)$ 冗余; 需两个电源同时供电, 两个电源不应同时受到损坏等。

2.3 设计原则

根据 2014 年 10 月颁布的《天然气分布式能源示范项目实施细则》, 符合电力并网条件的天然气分布式能源项目, 电量自发自用、自发自为主、多余上网, 电网企业收购满足自用之外的上网电量, 并鼓励企业探索通过电网直供销售的可能性, 但是并没有详细的上网电价补贴政策。考虑到天然气价格因素, 在没有电价补贴的前提下, 考虑项目并网不上网, 能源站电力仅满足数据中心自身用能。

2.4 供能方式

在数据中心地下室或者周边附近区域建立一套分布式能源系统, 以天然气为燃料, 采用冷热电三联供机组, 电力供给设备用电, 同时通过余热回收设备回收发电所产生的烟气、热水等余热, 作为制冷设备的热源向数据中心供冷。

2.5 分布式能源配置方案

根据本项目的电、冷负荷, 选用的原动机总容量应在 5 MW 以下, 因此燃气内燃机和小型(微型)燃气轮机均可以作为原动机选择。虽然小型(微型)燃气轮机在运行维护、可靠性、振动和噪声及 NO_x 排放方面都优于燃气内燃机, 但燃气内燃机的发电效率较高, 且价格便宜, 总体经济性优于小型(微型)燃气轮机, 并且燃气内燃机单机容量较小, 机组台数多, 运行灵活性会更高。因此本项目选择燃气内燃机作为主机, 采用内燃机 + 烟气热水型溴化锂制冷机的方式满足电、冷需求。

系统组成如下图所示:

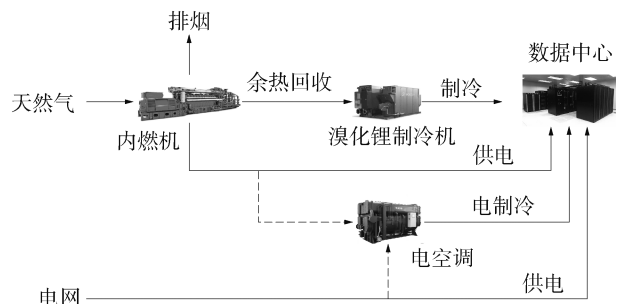


图 2 系统配置图

Fig. 2 System Configuration Diagram

内燃机供电可满足数据中心的用电负荷；高温烟气和高温缸套水通过溴化锂制冷机满足冷负荷需求。制冷不足部分，采用电制冷补充，优先取自发电。

2.6 运行方式

系统可根据数据中心的电、冷需求，确定需要运行的机组数量，以及调节单台机组的负荷。机组可以一台独立运行，又可以多台并联运行，以满足不同功率负荷的用户需求，同时市电作为备用和补充。

主机采用4台单机满负荷出力3.36 MW的内燃机，同时配套4台烟气热水型溴化锂制冷机，单机满负荷制冷量为2.922 MW。正常运行时仅3套机组即可满足数据中心用能需求，另1套机组备用，满足1套机组故障和检修时的供冷和供电需求。机组的年运行小时数为8 000 h。

当天然气供应检修或故障时，所有的电负荷应由电网提供，冷负荷由集中式电空调提供。考虑到天然气供应的高可靠性，断气时间一般较短，但电网配电变压器应该按全容量考虑。

2.7 技术经济指标

由于电力不上网，因此根据电、冷负荷确定内燃机平均负荷率为96.25%。系统技术经济指标如表2所示。

表2 技术经济指标表

Table 2 Table of Technical and Economic Target

项 目	单 位	数 值
单台实际发电量	kW	3 234
单台实际制冷量	kW	2 812
单台实际输入热量	kW	7 418
运行机组台数	套	3
机组年运行小时	h	8 000
天然气热值	MJ/Nm ³	33.285
单台天然气实际耗量	Nm ³ /h	802.31
全年发电量	×10 ⁴ kW·h/a	7 761.6
全年制冷量	×10 ⁴ kW·h/a	6 749.82
全年耗气量	×10 ⁷ Nm ³ /a	1.9 255
综合能源利用效率	%	81.51

3 方案评价

3.1 经济性分析

根据估算，项目的静态总投资10 246.77万元，

建设期贷款利息293.26万元，动态总投资10 540.03万元。项目资本金为动态投资的20%，资本金以外的资金由贷款解决，贷款年利率6.15%，按年计息。

能源站部分暂考虑为独立投资运作，假设电、冷销量均等于产量，假设天然气、水外购，成本按生产成本考虑。

根据2014年10月三部委发布的《天然气分布式能源示范项目实施细则》，为了体现国家允许分布式能源企业享受供电、供热、供冷经营权利，与用户分享节能效益，并鼓励企业探索通过电网直供销售的可能性，在确定售电和供冷价格时，基于能源站与数据中心直接对接的模式，并参考了全国多个数据中心的负荷数据和能源采购指数，再结合当地的物价水平，初步拟定了相对合理的售电和供冷价格。

冷价的制定基于能源站与数据中心直接对接的模式，平衡项目运营方与数据中心之间的利益，在保证本项目经济性的前提下，适当降低数据中心的用冷成本。

在制定售电价的过程中，采用电力直供的运营模式，参考其他项目考虑了电网公司收取0.057元/(kW·h)过网费。

考虑到2015年2月28日，国家发展改革委发出通知，决定自4月1日采暖基本结束后，按照现行天然气价格形成机制，将各省份增量气最高门站价格每立方米降低0.44元，存量气最高门站价格提高0.04元，将存量气和增量气门站价格并轨。广东省现行增量气最高门站价格为3.32元/m³，政策实施后，最高门站价格为2.88元/m³。

财务评价主要计算参数如表3所示：

表3 财务评价计算参数

Table 3 Table of Financial Evaluation Calculation Parameter

项 目	单 位	数 值
气价	元/m ³	3.3
水价	元/m ³	1.0
贷款利率	%	6.15
运营年限	年	20
上网电价	元/(kW·h)	0.793
售电价*	元/(kW·h)	0.85
冷价	元/(kW·h)	0.45

注：*考虑了电网公司收取的0.057元/(kW·h)过网费由能源站部分摊销。

在上述条件的基础上, 测算出总投资收益率为 7.44%, 资本金内部收益率为 17.79%, 投资回收期为 6.83 年。

3.2 敏感性分析

为分析项目抗风险的能力, 将总投资、发电量、供冷量、气价、电价和冷价作为敏感性因素。当敏感性因素变化时, 对资本金内部收益率进行单因素敏感性分析。分析结果见图 3。

由敏感性分析可知, 资本金内部收益率对气价和电价变化十分敏感。当气价变化 $\pm 9\%$ 区间内, 资本金内部收益率由 35.54% 变化至 -2.86% 。而对于电价变化 $\pm 9\%$ 区间内, 资本金内部收益率由 -0.06% 变化至 33.54%。

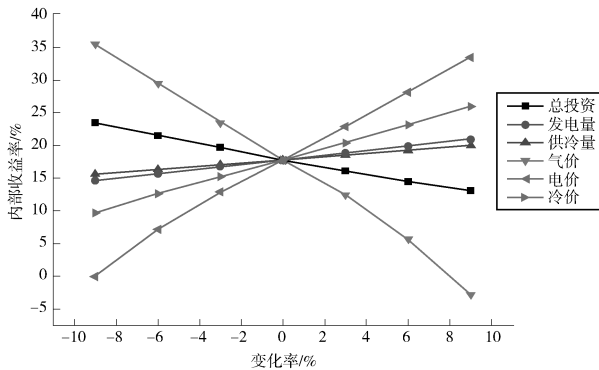


图 3 敏感性分析

Fig. 3 Figure of Sensibility Analysis

3.3 数据中心分布式供能优势

3.3.1 供能安全灵活

分布式能源作为一种独立式电源, 在常规供电系统外, 为数据中心提供了一路可靠的电源和冷源, 可满足数据中心 100% 的电负荷和冷负荷, 摆脱对大电网的依赖。

数据中心还设有一套机组作为备用, 满足 1 套机组故障和检修时的供冷和供电需求, 提高了数据中心用能可靠性。

内燃机高温烟气进入吸收式制冷机产生冷源, 配合电制冷机组共同满足数据中心冷负荷需求, 吸收式制冷与电制冷互为备用, 可以更可靠、更灵活地满足数据中心的冷负荷。

3.3.2 高效环保

该方案实现了能源的梯级利用, 综合能源利用效率高达 81.51%。同时由于采用了清洁能源天然气作为燃料, 每年可减少粉尘排放约 8.1 t, 减少

CO₂ 排放约 2.65×10^4 t, 减少 SO₂ 排放约 26.9 t, 减少氮氧化物排放约 2.96 t (按脱硝后 NO_x 排放量为 75 mg/Nm³ 考虑)。

3.3.3 降低用能成本

本项目冷价和电价的制定基于能源站的电力和冷量直供数据中心的运行模式, 平衡能源站与数据中心之间的利益, 在保证本项目经济性的前提下, 适当降低了数据中心的用能成本, 见表 4。

表 4 用能价格对比表

Table 4 Table of Comparison of Energy Cost

价格项目	单位	传统供能方式	分布式供能方案
售电	元/(kW·h)	0.90	0.85
供冷	元/(kW·h)	0.52~0.55	0.45

由表 4 可知: 与传统的供能方式相比, 分布式供能方案的电价和冷价均有所降低, 提高了数据中心采用分布式供能的积极性。

按用户自己产生空调冷冻水的成本为 0.52 元/(kW·h)、电价 0.912 8 元/(kW·h) 计算, 数据中心每年可节省运行费用 960 万元。

4 结语

数据中心用冷和用电负荷大, 负荷波动较小, 适用于采用分布式能源系统供能。

分布式能源系统保证了数据中心用冷、用电的可靠性, 是对区域电网的补充和保障, 同时综合能源利用率较高、节能减排。将分布式能源系统用于数据中心供能, 在直供的运行模式下, 还能降低数据中心的运营成本, 激发数据中心用能积极性, 有一定的推广意义。

参考文献:

- [1] 徐君强. 分布式能源系统在数据中心的应用 [J]. 科技展望, 2014(12): 92-93.
XU Junqiang. The Application of Distributed Energy System in Data Center [J]. Science and Technology, 2014(12): 92-93.
- [2] 肖蔚然, 孙锦余, 陈钢, 等. 天然气分布式能源在数据中心能源供应的应用研究 [J]. 节能, 2014(2): 4-7.
XIAO Weiran, SUN Jinyu, CHEN Gang, et al. The Research of Natural Gas CCHP for Energy Supply in the IDC [J]. Energy Conservation, 2014(2): 4-7.
- [3] 王强, 夏成军, 唐智文. 分布式能源在数据中心应用的可行性探析 [J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(9): 87-91.
WANG Qiang, XIA Chengjun, TANG Zhiwen. Discussion on the Feasibility for Distributed Energy in Internet Data Center [J]. Power System and Clean Energy, 2013, 29(9): 87-91.

- [4] 贾利访, 王思文, 周宇昊, 等. 美国分布式能源热电联产系统在数据中心的应用分析 [J]. 发电与空调, 2014, 35(3): 1-3.
JIA Lifang, WANG Siwen, ZHOU Yuhao, et al. Applied Analysis of Distributed Generation and Combined Heat and Power (CHP) Systems in Data Centers of the United States [J]. Power Generation & Air Condition, 2014, 35(3): 1-3.
- [5] 张晓红, 熊建文, 胡斐. 分布式能源在数据中心应用的可行性 [J]. 电力与能源, 2012, 33(4): 361-363.
ZHANG Xiaohong, XIONG Jianwen, HU Fei. Briefly Talking About Application of Distributed Energy in Data Center [J]. Power & Energy, 2012, 33(4): 361-363.
- [6] 刘丽红, 袁益超, 刘聿拯. 分布式供能的现状与发展 [J]. 热力发电, 2006, 7(7): 4-7.
LIU Lihong, YUAN Yichao, LIU Yuzheng. Status-quo and Development of Decentralized Energy Supply [J]. Thermal Power Generation, 2006, 35(8): 4-7.
- [7] 陈曦, 吴国青, 万逸芳, 等. 分布式供能技术在南方电网地区应用的前景分析 [J]. 广东电力, 2008, 21(12): 1-4, 12.
CHEN Xi, WU Guoqing, WAN Kuifang, et al. Investigation into Application Prospects of Distributed Energy Supply Technique in China Southern Power Grid [J]. Guangdong Electric Power, 2008, 21(12): 1-4, 12.
- [8] 谷立静, 周伏秋, 孟辉. 我国数据中心能耗及能效水平研究 [J]. 中国能源, 2010, 32(11): 42-45, 29.
GU Lijing, ZHOU Fuqiu, MENG Hui. Research of energy consumption and energy efficiency of data centers in China [J]. Energy of China, 2010, 32(11): 42-45, 29.
- [9] GB 50174-2008, 电子信息系统机房设计规范 [S].
- [10] 宋法明, 李炳华, 王朋友, 等. 初探冷热电三联供系统在 A 级数据中心的应用 [J]. 智能建筑电气技术, 2011, 5(2): 65-68.
SONG Hongming, LEE Binghua, WANG Mingyou, et al. Discussion on the Application of Combined Cooling, Heating and Power in Class A Data Center [J]. Electrical Technology of Intelligent Buildings, 2011, 5(2): 65-68.

(责任编辑 郑文棠)

(上接第 19 页 Continued from Page 19)

- [5] 裴哲义, 范高峰. 中国风电运行消纳相关问题分析 [J]. 中国电力, 2014, 47(4): 1-4.
PEI Zheyi, FANG Gaofeng. The Problems of Chinese Wind Power Running Consumptive Analysis [J]. China Power, 2014, 47(4): 1-4.
- [6] DESAI N, GONZALEZ S. The Economic Impact of CAES on Wind in TX, OK, and NM [R]. Ridge Energy Storage & Grid Services L. P., Texas State Energy Conservation Office, 2005.
- [7] DENHOLM P. Improving the Technical, Environmental and Social Performance of Wind Energy Systems Using Biomass-Based Energy Storage [J]. Renewable Energy, 2006, 31(9): 1355-1370.
- [8] CAVALLO A. Controllable and Affordable Utility-scale Electricity from Intermittent Wind Resources and Compressed Air Energy Storage (CAES) [J]. Energy, 2007, 32(2): 120-127.
- [9] KIM Y M, FAVRAT D. Energy and Exergy Analysis of a Micro-compressed Air Energy Storage and Air Cycle Heating and Cooling System [J]. Energy, 2009, 35(1): 213-220.
- [10] SUCCAR S, WILLIAMS R H. Compressed Air Energy Storage: Theory, Resources, and Applications for Wind Power [R]. Princeton Environmental Institute, Princeton University, 2008.
- [11] SHENGLONG W, GUANGMING C, MING F, et al. A New Compressed Air Energy Storage Refrigeration System [J]. Energy Conversion and Management, 2006(47): 3408-3416.
- [12] MICHAEL N. Compressed Air Energy Storage Turbomachinery Cycle with Compression Heat Recovery, Storage, Steam Generation and Utilization During Power Generation; US Patent, 4765142 [P]. 1988-08-23.
- [13] YAO E R, WANG H R, LIU L, et al. A Novel Constant-Pressure Pumped Hydro Combined with Compressed Air Energy Storage System [J]. Energies, 2015, 8(1): 154-171.
- [14] SALGI G, LUND H. System Behavior of Compressed-Air Energy-Storage in Denmark with a High Penetration of Renewable Energy Sources [J]. Applied Energy, 2008, 85(4): 182-189.
- [15] 魏昭峰. 抽水蓄能电站经济性评价及产业政策研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2004: 7-9, 18-21.
WEI Shaofeng. Evaluation and Industrial Policy Economics Research of Pumped Storage Power Station [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2004: 7-9, 18-21.
- [16] 宋卫东. 国外压缩空气蓄能发电概况 [J]. 中国电力, 1997, 30(9): 53-54.
SONG Weidong. Abroad Overview of Compressed Air Energy Storage Power [J]. China Power, 1997, 30(9): 53-54.
- [17] 刘佳, 夏红德. 新型液化空气储能技术及其在风电领域的应用 [J]. 工程热物理学报, 2010, 31(12): 1992-1996.
LIU Jia, XIA Hongde. The New Liquefied Air Energy Storage Technology and Its Application in the Field of Wind Power [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2010, 31(12): 1992-1996.
- [18] 刘斌, 陈来军, 梅生伟. 多级回热式压缩空气储能系统效率评估方法 [J]. 电工电能新技术, 2014, 33(8): 1-7.
LIU Bin, CHEN Laijun, MEI Shengwei. Evaluation Method of Multistage Heat Recovery Compressed Air Energy Storage System Efficiency [J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2014, 33(8): 1-7.

(责任编辑 张春文)