

楼宇型天然气分布式能源系统的典型案例分析

陈卉, 刘颖, 赵龙生

引用本文:

陈卉, 刘颖, 赵龙生. 楼宇型天然气分布式能源系统的典型案例分析[J]. 南方能源建设, 2021, 8(1): 25–30.

CHEN Hui, LIU Ying, ZHAO Longsheng. Typical Case Analysis of the Building-type CCHP System[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(1): 25–30.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

天然气分布式能源系统在大型数据中心的应用研究

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

南方能源建设. 2015, 2(2): 52–56 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.009>

基于热电互动的分布式能源系统优化研究

Research on Optimization of Distributed Energy System Based on Thermo–electric Interaction

南方能源建设. 2019, 6(3): 59–63 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.010>

广州大学城分布式能源站供冷系统选型设计

Research on Central Cooling Design for Distributed Energy Station in Guangzhou University Town

南方能源建设. 2017, 4(4): 34–36 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.007>

天然气网络对含新能源电力系统短期调度运行影响

Impact of Natural Gas System on Short-term Scheduling with Volatile Renewable Energy

南方能源建设. 2019, 6(1): 1–7 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.001>

分布式供能系统协同电网调峰是历史的必然

Distributed Energy System in Coordination with Peak Load Regulation of Power System is Historically Inevitable

南方能源建设. 2016, 3(4): 8–12 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.04.002>

楼宇型天然气分布式能源系统的典型案例分析

陈卉^{1,✉}, 刘颖², 赵龙生¹

(1. 东南大学建筑设计研究院有限公司, 南京 210096; 2. 南京工业职业技术学院, 南京 210096)

摘要: [目的] 以各类建筑全年典型日冷、热、电负荷需求作为计算基础, 得出分布式能源系统优化配置和运行策略。[方法] 能源站配置了内燃机、烟气-热水型溴化锂机组、离心式电制冷(热泵)机组、地源热泵、天然气热水锅炉及水蓄冷(热)罐等多种节能节资装置, 实现了能源的梯级利用, 更好地匹配用户端负荷需求。[结果] 研究结果表明, 在技术、经济上具有一定的可行性。[结论] 能源站合理配置机组可节省投资, 环保节能。利用峰谷电价差, 降低运行费用, 提高系统效益。

关键词: 楼宇型天然气分布式能源系统; 冷热电负荷; 节能减排

中图分类号: TK01; TK43

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)01-0025-06

开放科学(资源服务)二维码:



Typical Case Analysis of the Building-type CCHP System

CHEN Hui^{1,✉}, LIU Ying², ZHAO Longsheng¹

(1. Southeast University Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Nanjing 210096, China;

2. Nanjing Vocation Institute of Industry Technology, Nanjing 210096, China)

Abstract: [Introduction] The paper aims to obtain optimal configuration and operation strategy of the distributed energy system which is based on the calculation of the annual typical daily cooling, heating and electric load demand of various buildings. [Method] The energy station was equipped with a variety of energy-saving and cost saving equipments, such as internal combustion engine, flue gas and hot water lithium bromide unit, centrifugal electric refrigeration (heat pump) unit, ground source heat pump, gas-fired hot water boiler and water storage (heat) tank, which realized the gradient utilization of energy and better match the load demand of the client. [Result] The results show that it is feasible in technology and economy. [Conclusion] Reasonable allocation of units in the energy station can save investment, protect environment and save energy. Make use of the difference between peak and valley electricity prices which can reduce operating costs and improve system efficiency.

Key words: building type natural gas distributed energy system; combined heat (cooling) & electric power load; energy saving and emission reduction

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

冷、热、电三联供(即CCHP系统)是以天然气为原料, 能源利用有三个层级。第一层是用天然气发电, 第二层利用发电余热制冷或采暖, 实现冷、热、电三联供, 能源综合利用率一般都会达70%以上^[1]。由于天然气分布式能源对电力体系形

成了重要的补充, 可改善我国能源结构^[2-3], 具有利用效率高、环境污染小、管理体系先进、可靠性高和综合效益好等优势, 受到了市场的极大关注。

1 冷、热、电负荷分析

1.1 电负荷分析

能源中心电负荷主要是空调系统、照明、电梯、消防系统、办公设备和能源中心数据机房动力设备的耗电。根据对能源中心功能分区分析并结合《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)和《公共

收稿日期: 2020-06-09 修回日期: 2020-08-23

基金项目: 苏发改能源发“苏州吴中太湖新城核心区分布式能源站项目”([2018]1145)

建筑节能设计标准》(GB 50189—2015)对各类建筑物(办公室、营业厅、客房、医院建筑、学校内建筑等)的平均照明密度提出的明确规定,包括标准值和目标值,对能源中心用电负荷进行预估,电负荷如表 1 所示。

表 1 电负荷一览表

Tab. 1 Table of electrical load

用电类别	平均负荷/kW
数据中心	4 800
电制冷/水水热泵	5 964
照明	80
合计	10 844

1.2 冷、热负荷分析

根据《城镇供热管网设计规范》(CJJ34—2010)中空调热指标、冷指标的推荐值及对应的负荷如表 2~表 3 所示。

表 2 空调冷、热负荷指标推荐值

Tab. 2 Table of cooling and thermal load index for air conditioner

建筑物类型	冷负荷指标/(W·m ⁻²)	热负荷指标/(W·m ⁻²)
办公楼	80~110	80~100
医院	70~100	90~120
商店/展览馆	125~180	100~120
旅馆/宾馆	80~110	90~120

表 3 空调冷、热负荷

Tab. 3 Table of cooling and thermal load of air conditioner

建筑名称	建筑空调面积/m ²	夏季空调		冬季空调
		冷负荷/MW	热负荷/MW	热负荷/MW
能源中心	10 300	6. 920	0	0
医院	109 110	12. 089	6. 580	6. 580
地下空间	27 068	3. 715	1. 469	1. 469
D05 地块	217 841	27. 666	10. 239	10. 239
E08 商业综合体	101 922	15. 594	6. 950	6. 950
合计	466 241	65. 984	25. 238	25. 238
考虑折减系数 0.7		46. 189	17. 667	17. 667

用能端夏季典型日逐时冷、热负荷如图 1 和图 2 所示。

能源站的供能设计负荷如表 4 所示。

能源站的全年逐时负荷如图 3 所示。

2 能源站装机方案

该能源站位于苏州市吴中区,为其能源中心配套的供能系统,除对能源中心供应冷热电负荷,还

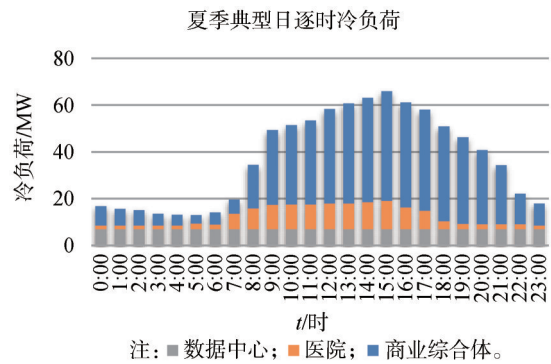


图 1 夏季典型日逐时冷负荷

Fig. 1 Hourly cooling load of typical days in summer

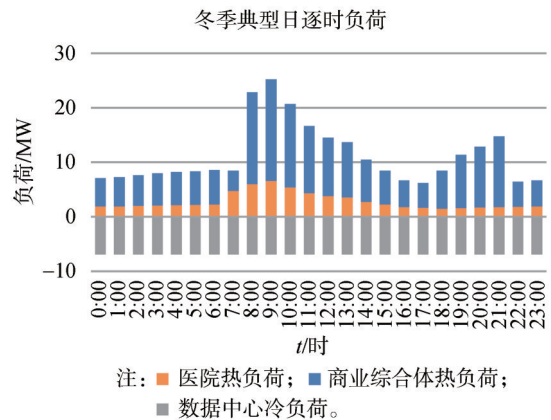


图 2 冬季典型日逐时热负荷

Fig. 2 Hourly heat load of typical day in winter

表 4 能源站用能需求

Tab. 4 Energy demand of energy station MW

名称	数值
平均电力负荷	10. 844
平均空调冷负荷	46. 189
平均空调热负荷	17. 667

注:能源中心夏季全天用电负荷峰谷比约 1.2 : 1;日平均负荷与最小负荷之比为 4.4 : 1;能源中心过渡季全天用电负荷峰谷比约 1.3 : 1;日平均负荷与最小负荷之比为 1 : 1;能源中心冬季全天用电负荷峰谷比约 1.1 : 1;日平均负荷与最小负荷之比为 2.7 : 1。

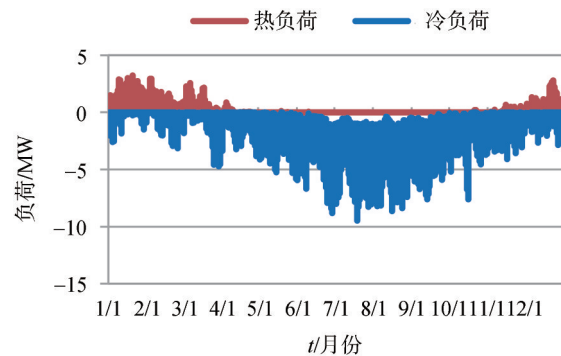


图 3 全年逐时负荷

Fig. 3 Figure of the annual hourly load value

对外供应冷/热负荷。天然气分布式能源系统按“以热(冷)定电、自发自用、余电上网”为原则进行设计, 以满足冷/热负荷需求、满足能源中心备用电源需求^[4]。

通过比较分析, 得出该分布式能源站推荐方案, 即 2 台单机装机容量 2 MW 内燃发电机组+2 台单机装机容量 3 MW 内燃发电机组+配套 4 台烟气-热水型溴化锂冷(温)水机组+4 台 6.3 MW 的离心式电制冷(热泵)机组+1 台 2.1 MW 的地源热泵机组+2 台 7 MW 的天然气热水锅炉(补充、备用)+2

台 6 800 m³水蓄冷(热)系统^[5-6], 能源工艺由天然气冷、热、电三联供系统、地源热泵系统、蓄能(冷、热)系统及电制冷调峰系统等组成, 形成能源梯级利用的综合系统。结合能源站所在地当地资源, 充分利用天然气、土壤能等清洁、低品位的能源, 采用天然气三联供、蓄能(冷、热)技术达到天然气、电力移峰填谷的目的, 充分发挥天然气管网、电网的效率。楼宇式分布式能源系统示意图如图 4 所示。

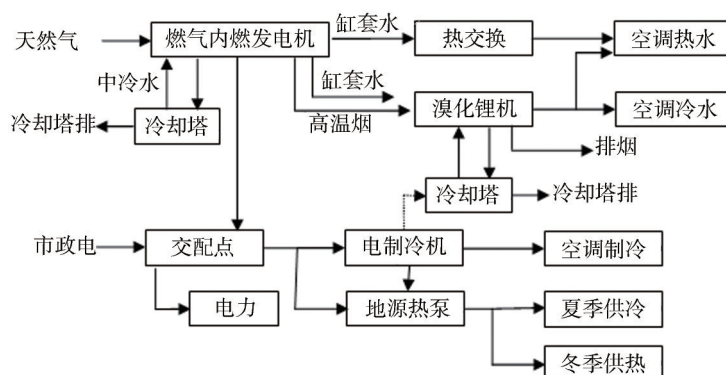


图 4 楼宇型分布式能源系统示意图

Fig. 4 Diagram of the building-type CCHP system

供能站配置的内燃机主要参数如表 5 所示^[7]。

表 5 内燃机主要参数

Tab. 5 The main parameters of internal combustion engine generator

名称	数值	数值
数量/台	2	2
输出功率/MW	1.970	2.955
烟气余热回收功率/MW	1.012	1.518
缸套水回收余热/kW	978	1467
天然气消耗量/(Nm ³ ·h ⁻¹)	499	739
燃料最小压力/kPa	8	8
燃料最大压力/kPa	15	15
烟气温度/°C	424	390
缸套水进口温度/°C	80	80
缸套水出口温度/°C	93	93
发电效率/%	43.7	44
回收热效率/%	43.3	42.1

利用天然气燃烧产生的高品位热能发电, 为能源中心提供电能, 燃烧后的烟气热量及高温缸套水热量进入烟气-热水型溴化锂冷(温)水机组, 溴

化锂机组与发电机一一对应, 1 台 2 MW 内燃机制冷/热量为 1.907 MW, 1 台 3 MW 内燃机制冷/热量为 3.083 MW, 4 台烟气-热水-型溴化锂冷(温)水机组的总制冷量为 9.98 MW, 夏季最小冷负荷量为 13.298 MW, 最大冷负荷量 65.894 MW, 冷负荷波动较大; 过渡季冷负荷量为 6.92 MW; 冬季冷负荷量为 6.92 MW (信息中心), 最大热负荷量 25.238 MW, 最小热负荷量 6.452 MW。

1) 为充分利用地下浅层地热资源, 采用地源热泵系统。采用双 U 换热器, 设计埋管间距 5 m×5 m, 有效换热井深 120 m, 共设 242 口地源井。竖直埋管管材采用 HDPE, 管径 D32×3.0, 公称压力 1.6 MPa。地源侧水通过地源收集井接至电制冷机房。

2) 水蓄冷空调系统按节能运行模式设计, 可以有效地减少冷水机组白天运行时间, 保证冷水机组运行在高效区间。对于时峰、谷电差价较大地区, 可显著降低空调系统的运行费用, 同时对电网可起到平衡、削峰填谷的作用^[8]。根据冷、热平衡的计算, 能源站设置 2 个直径为 16 m, 高 30 m 的蓄能水罐, 提高系统的稳定性和安全性。单个蓄能水罐

的有效容积为6 800 m³，单罐蓄冷量为65.031 MWh，单罐蓄热量为76.507 MWh（按10℃温差）。蓄水罐的设计液面标高为13 m，兼做系统定压装置。

3) 采用10 kV上网方案。设置10 kV母线段。4台发电机分为2组，每组发电机出口处分别设置1段10 kV母线段，通过10 kV联络线并入电网，10 kV采用单母线分段的接线形式。电制冷机组和水水热泵从10 kV母线引出，溴化锂冷水机组、地源热泵、水泵、冷却塔风机及其他用电设备通过厂用变从400 V母线引接。

3 能源站供能运行方案

能源站内燃发电机与市电并列运行，内燃机只带基本负荷，不足部分由市电补充，夜间内燃机不运行^[9]。

夏季利用内燃机发电余热提供空调冷水，制冷水温5.5/12.5℃，内燃发电机组发电产生的烟气和缸套水作为余热进入烟气热水型溴化锂机组制冷，冷量不足部分由电制冷机组补充。白天供冷高峰时，离心式制冷机根据供需情况确定开启台数及负荷进行调峰。

冬季利用内燃机发电余热提供空调热水，制热水温75/45℃，内燃机产生的烟气进入烟气热水型溴化锂机制热，缸套水通过板式换热器直接供热。冬季夜间低谷时段，两台离心机制冷机组运行在制冷工况，为数据中心提供冷负荷，另外两台运行在制热工况，制冷工况的离心机的冷却水作为制热工况的离心机的热源。

另设蓄冷罐2台，一台离心式电制冷机组利用夜间0~8点低谷时的电能进行蓄冷，产生4℃的冷水，存储于蓄冷罐内，白天放冷^[10-11]，单台蓄冷罐日存放量如图5所示。

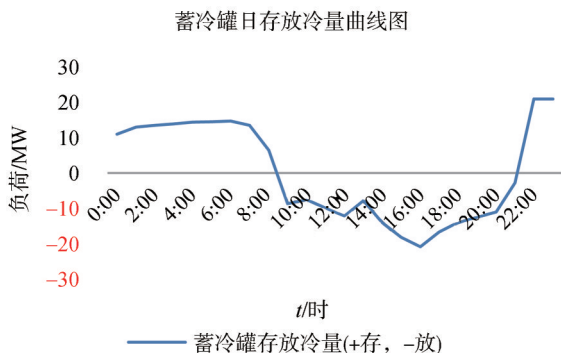


图5 单台蓄冷罐日存放冷量曲线图

Fig. 5 Daily storage capacity curve of single cold storage tank

4 技术经济性分析

4.1 约束条件

对于供、用电，其能量平衡公式如下：

$$P_{e,m,h} = P_{g,e,m,h} + P_{e,e,m,h} - P_{u,e,m,h} - P_{d,e,m,h} - \sum P_{ec} \quad (1)$$

式中： $P_{e,m,h}$ 代表供应用户端电量； $P_{g,e,m,h}$ 代表内燃机发电量； $P_{e,e,m,h}$ 代表电网上下行电量； $P_{u,e,m,h}$ 代表电制冷机消耗电量； $P_{d,e,m,h}$ 代表地源热泵消耗电量； $\sum P_{ec}$ 代表制冷或采暖水泵及风机等消耗电量总和。

对于供冷设备，其能量平衡公式如下：

$$Q_{c,e,m,h} = Q_{yc,e,m,h} + Q_{dc,e,m,h} + Q_{ec,e,m,h} \quad (2)$$

式中： $Q_{c,e,m,h}$ 代表供用户端冷、热量； $Q_{yc,e,m,h}$ 代表烟气-热水型溴化锂机组供冷/热量； $Q_{dc,e,m,h}$ 代表地源热泵供冷/热量； $Q_{ec,e,m,h}$ 代表电制冷机组供冷/热量。

对于供热设备，其能量平衡公式如下：

$$Q_{s,e,m,h} = Q_{ys,e,m,h} + Q_{ds,e,m,h} + Q_{es,e,m,h} \quad (3)$$

式中： $Q_{s,e,m,h}$ 代表供用户端冷/热量； $Q_{ys,e,m,h}$ 代表烟气-热水型溴化锂机组供冷/热量； $Q_{ds,e,m,h}$ 代表地源热泵供冷/热量； $Q_{es,e,m,h}$ 代表电制冷机组供冷/热量。

4.2 算例分析

4.2.1 技术指标

通过分析，得出能源站的主要技术指标如表6所示。

4.2.2 经济指标

1) 边界条件

能源站的经济指标需要在一定的边界条件下进行计算，供能站的边界条件如表7所示。

2) 经济指标

在上述边界条件下，供能站的内部回收期等主要经济数据如表8所示。

经过敏感性分析，能源站经济上是可行的^[12]。能源站的敏感性分析情况如图6所示。

5 节能及环境效益分析

5.1 节标煤量及节能率

经计算，能源站可节标煤量12 564 t/年。节能率：

$$r = 1 - \frac{B \times Q_L}{\frac{3.6W}{\eta_{eo}} + \frac{Q_1}{\eta_o} + \frac{Q_2}{\eta_{eo} \times COP_o}} \quad (4)$$

表 6 能源站技术指标(内燃机 ISO 工况)

Tab. 6 The technical index of energy station (ISO condition of internal combustion engine generator)

名称	数值
发电功率/MW	9.850
空调冷功率/MW	46.189
空调热功率/MW	17.667
年制冷利用小时数/h	3 672
年供热利用小时数/h	2 160
过渡季利用小时数/h	2 928
内燃机年发电量/GW	43.19
内燃机年上网电量/GW	1.60
年空调供冷量/GW	152.41
年空调供热量/GW	24.32
年耗天然气量/m ³	1.091×10 ⁷
年用网上电量/GW	31.76
发电天然气气耗率 ⁽¹⁾ /(Nm ³ ·MWh ⁻¹)	173
供冷天然气气耗率 ⁽¹⁾ /(Nm ³ ·GJ ⁻¹)	29.54
能源综合利用率(不含地源热泵、水水热泵)/%	73.6
分布式能源热电比(不含地源热泵、水水热泵)/%	102.2
能源综合利用率(含地源热泵、水水热泵)/%	119
分布式能源热电比(含地源热泵、水水热泵)/%	257

注: (1) CCHP 系统; (2) 天然气低位发热量 34.2 MJ/Nm³。

表 7 边界条件

Tab. 7 Table of boundary condition

名称	数值
天然气价格/(元·m ⁻³)	3.2
冷价/(元·kWh ⁻¹)	0.65
热价/(元·kWh ⁻¹)	0.65
水价/(元·t ⁻¹)	3.5
波峰电价/(元·kWh ⁻¹)	1.069 7
波谷电价/(元·kWh ⁻¹)	0.641 8
平段电价/(元·kWh ⁻¹)	0.313 9
上网电价/(元·kWh ⁻¹)	0.784

$$\eta_{eo} = 122.9 \times \frac{1 - \theta}{M} \quad (5)$$

式中: r 代表节能率; W 代表联供系统年净输出电量 (kWh); Q_1 代表联供系统年余热供热总量 (MJ); Q_2 代表联供系统年余热供冷总量 (MJ); B 代表联供系统年天然气总耗量 (Nm³); Q_L 代表天然气低位发热量, $Q_L=34.2$ MJ/Nm³; η_{eo} 代表常规供电方式的平均供电效率, 计算结果为 38.57%; η_o 代表常规供热方式的天然气锅炉平均热效率; COP_o 代表常规供冷方式的电制冷机平均性能系数, 可按

表 8 经济指标一览表

Tab. 8 Table of economic indicators

名称	指标
总投资/万元	21 998
年均销售收入/万元	12 522.4
年均销售利润(税后)/万元	846.40
内部收益率(税前)/%	7.60
投资回收期(税前)/年	12.23
内部收益率(税后)/%	5.98
投资回收期(税后)/年	13.90
资本金净利润率/%	14.80
总投资收益率/%	5.44
资本金内部收益率/%	8.72
资本金投资回收期/年	7.59

注: 能源站以租赁能源中心部分负一楼及一楼形式, 不考虑建筑主体及土地费用投资。

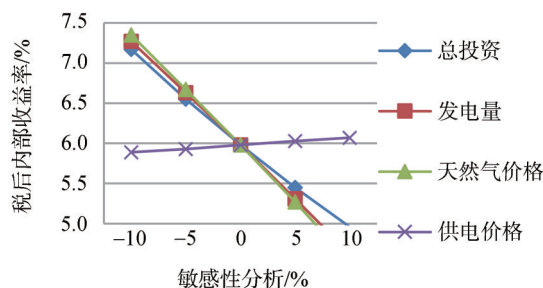


图 6 敏感性分析

Fig. 6 Figure of sensibility analysis

5.0 取值; M 代表电厂供电标准煤耗 (g/kWh), 可取上一年全国统计数据, 本工程取 298 g/kWh; θ 代表供电线路损失率, 可取上一年全国统计数据, 本工程取 6.47%。

CCHP 系统节能率 20.7%, 满足并高于国家标准《燃气冷热电联供工程技术规范》(GB 51131—2016) 中节能率大于 15% 的要求。

5.2 环境效益

能源站 CCHP 系统污染物减排情况如表 9 所示。

表 9 能源站污染物减排一览表

Tab. 9 Table of the pollutant reduction (t·a⁻¹)

项目	烟尘	SO ₂	NO _x	CO ₂
CCHP 系统	0	1.31	16.4	20 993
国家电网供电排放量	3.42	18.27	51.45	23 681
减排量	3.42	16.96	35.05	2 688

6 结 论

能源站内燃机带基础电负荷运行, 高温烟气进入烟气-热水型溴化锂冷(温)水机组供部分冷热负荷, 保障了能源的梯级利用, 不足部分由电制冷机组及地源热泵等机组供应。分布式能源系统选用成熟可靠的技术设备, 在技术上是可行的。

另外, 楼宇型分布式能源站还设置蓄冷/热装置, 可以达到削峰填谷, 降低容量配置的作用, 可节省投资, 利用峰谷电价差, 降低运行费用, 同时提高运行灵活性和系统效益, 节能减排效果显著。

参考文献:

- [1] 黄镜欢, 施海云. 分布式能源站燃气内燃机的余热利用方式探讨 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(2): 66-69.
HUANG J H, SHI H Y. Discussion on heat recovery of gas engine on distributed energy system [J]. Energy Construction, 2015, 2(2): 66-69.
- [2] 朱建文, 石琳. 天然气冷热电联产系统的应用与发展 [J]. 华电技术, 2014, 36(10): 73-76+80.
ZHU J W, SHI L. Application and development of natural gas cogeneration system [J]. Huadian Technology, 2014, 36(10): 73-76+80.
- [3] 印佳敏, 陈泽韩. 天然气分布式能源系统在大型数据中心的应用研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(2): 52-56.
YIN J M, CHEN Z H. Application research of natural gas distributed energy system in large data center [J]. Energy Construction, 2015, 2(2): 52-56.
- [4] 金红光, 郑丹星, 徐建中. 分布式冷热电联产系统装置及应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
JIN H G, ZHENG D X, XU J Z. Distributed CCHP system and its application [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.
- [5] 史汝涛. 基于燃气内燃机与溴化锂制冷机的冷热电联供系统仿真研究 [D]. 济南: 山东大学, 2015.
SHI R T. Simulation research on CCHP system based on the gas engine and lithium bromide chiller [D]. Jinan: Shandong University, 2015.
- [6] 张军, 孙依帆, 陈伟, 等. 楼宇型分布式能源主要设备选型及经济性分析 [J]. 发电设备, 2020, 34(1): 24-26+31.
ZHANG J, SUN Y F, CHEN W, et al. Main equipment selection and economic analysis of building-type distributed energy systems [J]. Power Equipment, 2020, 34(1): 24-26.
- [7] 秦渊, 常丽, 李晨. 楼宇型分布式能源站内燃机的选择 [J]. 中国电业(技术版), 2014(10): 102-104.
QIN Y, CHANG L, LI C. Selection of internal combustion engine for building distributed energy station [J]. China Electric Power Industry (Technical Edition), 2014(10): 102-104.
- [8] 黄庆河, 曹连华, 蔡宇. 水蓄冷技术在数据中心的应用研究 [J]. 暖通空调, 2016, 46(10): 13-17.
HUANG Q H, CAO L H, CAI Y. Research on application of chilled water storage technology to data centers [J]. Journal of HV&AC, 2016, 46(10): 13-17.
- [9] 刘青荣, 阮应君, 朱群志, 等. 分布式能源系统及其运行特性分析 [J]. 上海电力学院学报, 2009, 25(5): 427-432.
LIU Q R, RUAN Y J, ZHU Q Z, et al. Distributed energy system and its operation characteristics analysis [J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2009, 25(5): 427-432.
- [10] 胡稚鸿, 陆琼文, 李华峰, 等. 浦东国际机场区域供冷系统水蓄冷模式研究 [J]. 能源技术, 2002(5): 194-197.
HU Z H, LU Q W, LI H F, et al. Journal of pudong international airport cooling and storage system [J]. Energy Technology, 2002(5): 194-197.
- [11] 孙铁. 水蓄能在空调系统节能中的应用 [D]. 重庆: 重庆大学, 2018.
SUN T. Application of chilled water thermal storage in air condition energy efficiency [D]. Chongqing: Chongqing University, 2018.
- [12] 王智, 尹楠, 杨佳霖. 楼宇型分布式能源系统优化设计与敏感性分析 [J]. 热力发电, 2020, 49(3): 45-52.
WANG Z, YIN N, YANG J L. Optimization design and sensitivity analysis of building-type distributed energy system [J]. Thermal Power Generation, 2020, 49(3): 45-52.

作者简介:



陈卉

陈卉 (通信作者)

1987-, 女, 江苏南京人, 工程师, 动力工程及工程热物理硕士学位, 主要从事电厂相关设计的工作 (e-mail) huichen_seu@163.com。

刘颖

1980-, 女, 江苏南京人, 副教授, 动力工程及工程热物理硕士, 主要从事分布式发电专业的教学工作 (e-mail) 123167135@qq.com。

赵龙生

1965-, 男, 江苏南京人, 高级工程师, 动力工程及工程热物理硕士, 主要从事电厂相关设计的工作 (e-mail) njzls@163.com。

(责任编辑 李辉)