

贵州主动配电网冷热电三联供系统运行测试分析

唐学用¹, 糜雨彤², 李庆生¹

(1. 贵州电网有限责任公司电网规划研究中心, 贵州 贵阳 550003;

2. 贵州大学电气工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要:本文针对能源互联网中高比例分布式电源消纳难题开展研究, 目的是通过测试系统将示范工程中提高能源综合利用效率更直观的体现出来。在贵州主动配电网示范工程基础上搭建了一种适用于主动配电网的冷热电三联供测试系统, 建立了相应的分析模型, 且进行了现场测试, 并对现场测试数据进行运行效益分析, 示范工程冷热电三联供系统在90%额定功率工况下综合能源利用效率可达90%以上, 较传统冷热电三联供有较大提高。且该系统能够实现在同样在该热(冷)负荷下, 其上网电功率可在一定范围内调节, 降低天然气价格和提高上网电价是适用于主动配电网的冷热电三联供保证经济运行的基础, 对于用电成本高且有供暖供冷需求的用户, 冷热电三联供系统有较好的经济性。

关键词:分布式能源; 主动配电网; 冷热电三联供系统

文章编号:2096-4633(2019)06-0080-07 **中图分类号:**TM72 **文献标志码:**B

我国化石能源的使用情况一直位居榜首, 化石燃料大量消耗产生的CO₂、氮氧化物和灰尘小颗粒对环境造成了威胁。我国的能源相对匮乏, 并且能源利用效率低, 只占发达国家能源利用率的62%, 能源浪费严重^[1-2]。冷热电三联供(combined cooling heating and power, CCHP)是能源的梯级利用, 具有提高能源利用率和减少环境污染等优点^[3], 可以将普通火电的能源利用率40%提升到70%~90%^[4]。随着人们生活质量的提高, 对室内热环境也提出了更高的要求, 使得我国城市建筑能耗占社会总能耗的30%以上^[5]。“分配得当、各得所需、温度对口、梯级利用”是CCHP的原则, 提高化石能源的综合利用效率, 符合国家可持续发展战略^[6]。欧洲国家大力的发展CCHP系统, 分布式能源发电总量占总发电量百分比比较高, 英国占6.4%、德国占18.0%、丹麦占52.0%^[7]。而中国起步相对较晚, 现也有天津西站、北京南站等CCHP典型系统。

目前国内外对CCHP系统进行了研究, 将并网不上网的CCHP系统中的燃料、燃气轮机进行替换^[8-10], 或加入了太阳能、热泵、储能等^[11-13], 得到系统优化前后的性能比较, 从热力学和应用经济学的角度对优化系统进行了分析和评价。在燃气轮机换为燃烧涡轮机时, 仅夏季性能更优; 将天然气换为生物质气化产物时, 加热模式的性能优于冷却模式

的性能, 并且能够增加一次能源节约率和二氧化碳减排率; 在用天然气和生物质能双燃料时冬季的运行费用更高; 加入热泵和太阳能都有效的增加了一次能源的节约率; “主动储能”在并网不上网的情况下性能最差。而在并网且上网的稠油开采余热利用的冷热电三联供系统中, 构建了系统热力学模型, 按照以电定热的模式进行模拟计算, 系统最多可回收余热 9.25×10^5 MJ/h, 按0.9元/kW·h电价计算, 系统可带来约270万元/年的经济效益^[14], “互联网+智慧能源”的建立让冷热电三联供链接大数据, 以分布式能源及蓄能装置为能源互联网体系的核心, 通过大数据及互联网平台构建能源中心, 进行全局的能源优化分析与决策^[15], 大数据与冷热电三联供相联系符合“互联网+”的能源发展方式^[16]。

随着天然气分布式能源的推广应用, 和各种分布式能源接入配电网^[17], 针对电力市场的研究增多^[18], 并且电力上网的政策已经相继出台, 当前并网且上网的冷热电三联供系统中, 是将以电定热的余电上网, 目前缺少对能适应于间歇式电源的可调冷热电三联供系统研究。

1 测试系统搭建及运行流程分析

如图1、图2所示给出了适用于主动配电网的热电冷三联供系统流程图。该系统主要由原动机、

发电机、吸收式热泵、中温烟气喷淋换热器、低温烟气喷淋换热器、电热泵和蓄能罐组成。

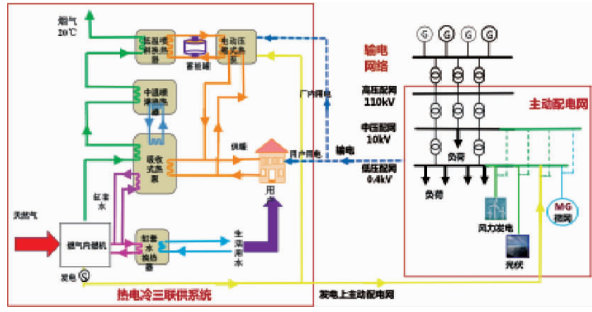


图1 冬季流程图

Fig.1 Flow chart of winter

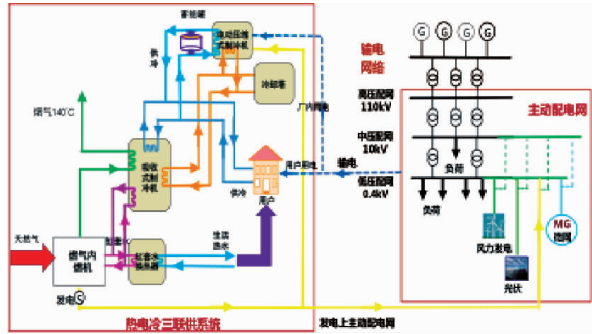


图2 夏季流程图

Fig.2 Flow chart of summer

冬季,当主动配电网的用户用电需求处于低谷期时,主动配电网要求三联供系统少发电,此时,可采取两种措施保证供热量并同时减少发电量,一方面可以降低三联供的出力,减少发电量;另一方面,开启电热泵,消耗系统的电量,通过电热泵将电转化成热,并保证用户的供热量,此时电热泵用来回收低温段的烟气冷凝热用于供热。当需要更深度的调节发电量时,还可加大电热泵的用电消耗,制取冷量一部分用于回收低温段的烟气余热,另一部分回收蓄能罐中蓄存的低温烟气余热。当主动配电网全网的电力需求处于平峰期和高峰期时,希望三联供系统多发电,此时,满足供热需求尽可能增大三联供系统的发电量,关闭电热泵,蓄能罐与低温喷淋换热器联合运行,回收低温烟气余热并储存到蓄能罐中。

夏季吸收式热泵做吸收式制冷机使用,电热泵夏季做电制冷机使用。发电机组所发电量除满足能源站内用电负荷外直接送入主动配电网,发电后的高温烟气驱动吸收式制冷机向用户供冷。当主动配电网的用户用电需求处于低谷期时,主动配电网要求三联供系统减少发电时,开启电制冷机,消耗系统

的发电并向用户供冷,多余冷量存入蓄能罐内;当电力需求处于平峰期和高峰期时,关闭电制冷机,蓄能罐放出冷量满足用户冷负荷。

2 冷热电三联供建模分析

冷热电三联供系统中的能量关系包括5种:
 ①能量平衡:天然气产生的能量满足电负荷的同时满足热负荷和冷负荷的需求;
 ②冷热负荷供能不足:天然气产生的能量能够满足电负荷,但不能满足冷热负荷的需求,此时应启动尖峰锅炉,补充冷热负荷所需的热量;
 ③冷热负荷供能过剩:天然气产生的能量能够满足电负荷,并且超出冷热负荷需求,此时应对过剩的热量进行收集,避免热量的浪费;
 ④电负荷供能不足:天然气产生的能量能够满足冷热负荷,但是不能满足电负荷的需求,此时电网提供相应电量,为电负荷供能;
 ⑤电负荷供能过剩:天然气产生的能量能够满足冷热负荷,同时超出电负荷需求,应采用储能装置对电能进行吸收,避免能量浪费。

其中1为“热电协同”模式,2和3是冷热电三联供的“以电定热”(following the electric load, FEL)模式,4和5是“以热定电”(following the thermal load, FTL)模式。能量流关系如图3所示。

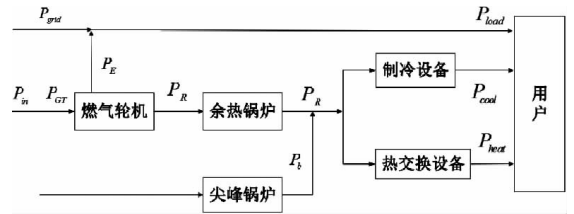


图3 系统功率流

Fig.3 System power flow

根据系统功率流可得余热锅炉发出的功率为:

$$P_R = \frac{P_{cool}}{\eta_{cool}} + \frac{P_{heat}}{\eta_{heat}} \quad (1)$$

(1)式中: P_{cool} 和 P_{heat} 是冷负荷和热负荷的所需的功率; η_{cool} 和 η_{heat} 是制冷装置和制热装置的效率; P_R 是余热锅炉发出的功率,同时可以看成是等效的热功率。

燃气轮机中的功率关系如下式所示:

$$P_E = P_{GT} \cdot \eta_E \quad (2)$$

$$P_h = P_{GT} \cdot (1 - \eta_E) \quad (3)$$

$$P_R = P_h \cdot \eta_R \quad (4)$$

(2)~(4)式分别表述了燃气轮机电功率与输入功率之间的关系,其中 P_E 是输出的电功率, P_{GT} 是燃气

轮机输入功率, η_E 是转换成电功率的效率; 燃气轮机转换成热功率与输入功率之间的关系, 其中 P_h 是转换成的热功率; 热功率进入余热锅炉后为制冷/热装置进行供能转化关系, η_R 是转化效率。结合前述各式可得:

$$P_E = \frac{\eta_E}{\eta_R(1 - \eta_E)} \cdot P_R \quad (5)$$

由(5)式可以看出, 电功率与余热锅炉输出的

$$\left\{ \begin{array}{l} P_E = \frac{\eta_E}{\eta_R(1 - \eta_E)} \cdot P_R \quad (FTL) \\ \frac{\eta_g}{\eta_R(1 - \eta_E)} \cdot P_R(1 - \alpha) \leq P_E \leq \frac{\eta_g}{\eta_R(1 - \eta_E)} \cdot P_R(1 + \alpha) \quad (FEL) \end{array} \right. \quad (6)$$

(6)式中: α 为等效热负荷可调节范围。

在常规的燃气热电冷三联供系统中, 发电和供热(冷)存在耦合性, 即热(冷)电比是不变的, 因此, 当主动配电网限制系统的发电出力时, 其供热(冷)量也减少, 无法实时满足用户的热或冷的需求。为了改善热电冷三联供系统的电力调峰能力, 在系统中增加电热泵, 既可以在电力低谷期消耗系统发电, 又可以冬季向用户供热, 夏季向用户供冷, 通过与蓄能相结合, 继续深度回收烟气余热, 可以使排烟温度降至 20℃。

根据能量守恒, 结合蓄能罐、电热泵后的基本运

$$P_{Eaim} = Max \left\{ \frac{0.3P_{w0}(r_h + COP_{hp}) - P_Q}{COP_{hp}}, \frac{P_Q [P_{w0}(COP_{hp} - 1) - P_{dw}] - \alpha(P_{w0}COP_{hp} + P_{Q0})}{P_{Q0}(COP_{hp} - 1) + P_{Qdw}COP_{hp}} \right\} \quad (13)$$

$$P_{Emax} = Min \left(\frac{P_{w0}(r_h + COP_{hp}) - P_{Qh}}{COP_{hp}}, \frac{P_{Qh}}{r_h} \right) \quad (14)$$

(7) ~ (14) 式中: P_N 为电热泵的耗电功率, kW; P_w 为内燃机组发电功率, kW; P_Q 为瞬时热功率, kW; COP_{hp} 为电动热泵的制热性能系数; r_h 为内燃机热电比; P_{w0} 为内燃机组额定功率; P_{w0} 为吸收机最大供热功率; P_{Q0} 为回收的低温烟气最大热功率; P_{Qdw} 为蓄能罐放热功率, kW; α 为三联供系统负荷率; β 为三联供系统的可调节上网功率上限, kW; P_{Emax} 为三联供系统的可调节上网功率下限, kW。

当用户热功率 P_Q 需求为 400 kW 时, 常规三联供系统按照“以热定电”模式运行, 热电耦合, 按照热电比 $r_h = 1.194$ 计算, 上网发电功率为定值 335 kW。适用于主动配电网的三联供系统可按照“热电协同”模式运行, 按照设计基础参数计算, 三联供系统上网发电功率 P_E 可在 335 kW - 112.4 kW 范围内调度。在满足一定的热功率约束下, 提升了

热功率成正比, 在 FEL 模式下, 输出的电功率与等效的热功率相关, 需要多少热功率就能发出相应的电功率, 因此是一种间歇式的分布式能源; 在 FTL 模式下, 可以发出任意的电功率, 但是在该功率下应该满足一定的热功率约束, 否则会有较大的能源浪费, 此时系统是可控的分布式能源, 其发电特性如下所示。

行模式及额定负荷限制条件列出相应方程来表述上述系统的功率特性:

$$P_W = P_N + P_E \quad (7)$$

$$P_Q = P_W \times r_h + P_N \times COP_{hp} \quad (8)$$

$$\beta \times P_{w0} - P_N = P_E \quad (9)$$

$$\beta \times P_{Qdw} + \alpha = P_N \times (COP_{hp} - 1) \quad (10)$$

$$P_Q = \beta \times P_{Q0} + P_N \times COP_{hp} \quad (11)$$

$$\beta = \frac{P_E + P_N}{P_{w0}} \quad (12)$$

结合前述各式可得:

主动配电网对燃机功率调度能力。

3 冷热电三联供现场测试及环境分析

3.1 项目概述

示范区位于贵州省贵阳市清镇市贵州电网有限责任公司培训与评价中心(贵州电力职业技术学院红枫校区)。本项目采用冷热电三联供系统, 一方面天然气内燃机发电机组发电, 另一方面通过溴化锂吸收机和电动热泵利用内燃机的余热供冷供热, 实现能源的梯级利用, 并参与主动配电网分布式电源调节和多类型分布式能源互补利用。

3.2 现场测试仪表及测试内容

测试仪表包括超声波流量计(FLCS1012)、烟气分析仪(Fluke 330 - 1)、温湿度记录仪(RHLOG - T - H)、温湿度计(HM34)、温度测试系统(34970A)、钳形电力计(PROVA6600)、三相电能分析仪

(HIOKI 3169-20)和精密压力表(YB-150)。

测试内容包括系统溴化锂机组入口温度,出溴化锂机组温度,出中温喷淋换热器温度和出机房处烟道口温度,天然气利用率、内燃机发电量、电动热泵机组耗电功率等等。

3.3 现场测试条件

测试分别在内燃机开机率90%、70%、50%工况下的不同时间内对以下两种运行模式的系统进行测试:

(1)内燃机发电,其余热被溴化锂吸收利用单独供热,电动热泵不开启。此时蓄能罐热水循环泵、冬季低温换热器喷淋水循环泵、冬季中温换热器喷

淋水循环泵、烟气型溴化锂吸收式热泵机组供热循环泵开启。

(2)内燃机发电,其余热被溴化锂吸收利用进行供热,电动热泵开启联合供热。此时蓄能罐热水循环泵、冬季低温换热器喷淋水循环泵、冬季中温换热器喷淋水循环泵、烟气型溴化锂吸收式热泵机组供热循环泵、冬季电动热泵供热循环泵、电动热泵混水泵开启。

4 测试结果分析

4.1 测试结果

(1)测试数据如表1所示

表1 系统性能测试结果表

Tab. 1 Results of system performance test results

测试工况	天然气消耗量 (m^3/h)	天然气输入 热量/ kW	烟气热利用 量/ kW	缸套水有 效热量/ kW	内燃机发 电功率/ kW	系统上网 功率/ kW
90% 工况溴化锂单独供热	138.23	1 297.81	545.98	271.58	450	429.49
90% 工况溴化锂联合供热	138.23	1 297.81	447.94	271.58	450	338.68
70% 工况溴化锂单独供热	110.38	1 036.37	457.57	195.29	350	329.49
70% 工况溴化锂联合供热	110.38	1 036.37	362.3	195.29	350	231.21
50% 工况溴化锂单独供热	80.70	757.70	261.53	81.34	250	229.49
50% 工况溴化锂联合供热	80.70	757.70	283.66	81.34	250	129.71

(2)内燃机热电效率如表2所示

表2 内燃机热电效率表

Tab. 2 Table of internal combustion engine thermoelectric efficiency

测试工况	烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$		内燃机热 效率/ $\%$	热燃机电 效率/ $\%$	内燃机热 电效率/ $\%$
90% 工况溴化锂单独供热	溴化锂机组入口:627.2	出溴化锂机组:146.4	63.00	34.67	97.67
90% 工况溴化锂联合供热	出中温喷淋换热器:28.6	出机房处烟道口:38.0	55.44	34.67	90.12
70% 工况溴化锂单独供热	溴化锂机组入口:617.5	出溴化锂机组:140.3	63.00	33.77	96.77
70% 工况溴化锂联合供热	出中温喷淋换热器:27.6	出机房处烟道口:39.1	53.80	33.77	87.57
50% 工况溴化锂单独供热	溴化锂机组入口:585.5	出溴化锂机组:125.1	45.25	32.99	78.25
50% 工况溴化锂联合供热	出中温喷淋换热器:23.3	出机房处烟道口:30.2	48.17	32.99	81.17

(3)在CCHP系统中处于90%工况,溴化锂单独运行的系统供热量为545.98 kW,燃气消耗量为138.23 m^3/h ,系统上网发电量为429.49 kW,在CCHP系统处于50%工况,溴化锂和电动热泵联合运行的系统供热量为525.67 kW,燃气消耗量为

80.70 m^3/h ,系统上网发电量为129.7 kW。可见在相同的供热负荷下CCHP的上网电量可调。

4.2 冷热电三联供运行效益分析

根据测试结果90%额定功率工况下,天然气内燃机发电机组消耗天然气138.23 m^3/h ,天然气的

输入热量为 1297.81 kW(天然气的低位发热值为 33.86 MJ/m³),内燃机发电功率为 450 kW,上网功率为 430 kW,烟气热利用量 545.98 kW,缸套水有效热量 271.58 kW,系统排烟温度为 28.60℃,内燃机的热效率、发电效率、热电效率分别为 63.00%、34.67%、97.67%,减掉厂用电、管道热量损失、部分未能全部利用的缸套水热量等损耗,示范工程冷热电三联供系统在 90% 额定功率工况下综合能源利用效率可达 90% 以上。

4.2.1 冬季工况经济效益分析

冬季运行工况下的基本数据如表 3 所示

表 3 冬季运行工况下基本数据

Tab. 3 Basic data under winter operating conditions

90% 额定功率工况下溴化锂单独供热				
天然气消耗量 / (m ³ /h)	天然气输入热量/kW	烟气热利用量/kW	缸套水有效热量/kW	内燃机发电功率/kW
138.23	1 297.81	545.98	271.58	450
系统上网功率/kW	电空调制热能效比	天然气价格 /元/m ³	贵州省居民电价/(元/kW·h)	一般工商业及其他用电/(元/kW·h)
430	3	3.27	0.455 6	0.634

4.2.2 夏季工况经济效益分析

夏季运行工况下的基本数据如表 4 所示,冷热电机组给宾馆的供冷收益(通过用电成本考虑供冷收益)为 89.00 元,冷热电机组上网电量收益 195.90 元,冷热电机组供生活热水热量收益 57.39

元,总收益 342.29 元。耗气成本为 452.01 元,三联供系统大修、小修、机油等运维费用平摊成本 36 元,总成本为 488.01 元,因此,在 90% 工况下及当前气价和电价下,每小时亏损 119.34 元,但当气价将至 2.40 元/m³时,收支平衡。

元,总收益 342.29 元。耗气成本为 384.28 元,大修、小修、机油等运维费用成本为 36 元,总成本 420.28 元。

因此,90% 工况下每小时亏损 77.99 元。但当气价降至 2.22 元/m³时,收支将平衡。

表 4 夏季运行工况下基本数据

Tab. 4 Basic data under summer operating conditions

90% 额定功率工况下溴化锂单独供热				
天然气消耗量 / (m ³ /h)	天然气输入热量/kW	烟气热利用量/kW	缸套水有效热量	内燃机发电功率
138.23	1 297.81	545.98	271.58 kW	450 kW
系统上网功率/kW	电空调制热能效比	天然气价格 / (元/m ³)	贵州省居民电价/(元/kW·h)	一般工商业及其他用电/(元/kW·h)
430	3.5	2.78	0.455 6	0.634

4.2.3 回收期分析

按照 2018 年贵州省天然气基准门站价格 1.60 元/m³元和当前电价测算,冬季机组每小时将收益 111.5 元,夏季每小时收益 85.12 元,按照夏季运行三个月平均负荷率 80% 测算利用小时数 1 728,冬季运行四个月平均负荷率 80% 测算利用小时数 2 304 计算全年收益 40.4 万元,按照该示范

工程冷热电三联供系统静态投资 650 万元测算,16 年可以收回成本。

5 结论

本文根据贵州主动配电网示范区冷热电三联供进行建模及现场测试,分析得到的主要结论如下:

(1) 示范工程冷热电三联供系统在 90% 额定功

率工况下综合能源利用效率可达90%以上,较传统冷热电三联供有较大提高。

(2)常规三联供系统在某一热(冷)负荷下,其上网电功率是唯一确定,而适用于主动配电网的三联供系统,同样在该热(冷)负荷下,其上网电功率可在一定范围内调节。

(3)根据2018年贵州天然气及电力销售价格进行测算,示范工程中冷热电三联供系统的冬季和夏季天然气价需降至2.40元/m³和2.22元/m³才能保持收支平衡。

(4)降低天然气价格和提高上网电价是适用于主动配电网的冷热电三联供保证经济运行的基础,对于用电成本高且有供暖供冷需求的用户,冷热电三联供系统有较好的经济性。

参考文献:

[1] 程洁. 基于冷热电三联供系统的综合能源系统设计与研究[D]. 北京:华北电力大学,2017.

[2] 周金辉,徐琛,葛晓慧,等. 基于模型预测控制的分布式热电联供系统优化调度[J]. 浙江电力,2017,36(05):23-28.
ZHOU Jinhui, XU Chen, GE Xiaohui, et al. Optimal scheduling of distributed CHP system based on model predictive control [J]. Zhejiang Electric Power, 2017, 36(05): 23-28.

[3] 胡荣,马杰,李振坤,等. 分布式冷热电联供系统优化配置与适用性分析[J]. 电网技术,2017,41(02):418-425.
HU Rong, MA Jie, LI Zhenkun, et al. Optimal allocation and applicability analysis of distributed combined cooling-heating-power system [J]. Power System Technology, 2017, 41(02): 418-425.

[4] 卢地,魏庆芄. 从公共建筑实际能源需求分析冷热电三联供技术的可应用性[J]. 暖通空调,2018,48(07):131-135.
LU Di, WEI Qingpeng. Applicability of combined cooling heating and power (CCHP) technology based on actual energy demand of public buildings [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2018, 48(07): 131-135.

[5] SCHICKTANZ M D, WAPLER J, HENNING H M. Primary energy and economic analysis of combined heating, cooling and power systems [J]. Energy, 2011, 36(01): 575-585.

[6] 王志贺,刘元园,等. 考虑二氧化碳排放的冷热电联供系统的容量配置[J]. 电力系统及其自动化学报,2017,29(08):104-110.
WANG Zhihe, LIU Yuanyuan, et al. Capacity configuration of CCHP system considering carbon dioxide emissions [J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2017, 29(08): 104-110.

[7] 陈强. 分布式冷热电联供系统全工况特性与主动调控机理及方法[D]. 北京:中国科学院研究生院(工程热物理研究所),2014.

[8] GUANGYA ZHU, T. T. CHOW, K. F. FONG, et al. Design optimisation and performance appraisal of a combined cooling, heating and power system primed with Maisotsenko combustion turbine cycle [J]. Energy Conversion and Management, 2018, 177(09): 90-106.

[9] C. Y. LI, T. DEETHAYAT, J. Y. WU, et al. Simulation and evaluation of a biomass gasification-based combined cooling, heating, and power system integrated with an organic Rankine cycle [J]. Energy, 2018, 158(05): 238-255.

[10] KUN YANG, NENG ZHU, YAN DING, et al. Exergy and exergoeconomic analyses of a combined cooling, heating, and power (CCHP) system based on dual-fuel of biomass and natural gas [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 206(09): 893-906.

[11] JIANGJIANG WANG, YUZHU CHEN, CHAO DOU, et al. Adjustable performance analysis of combined cooling heating and power system integrated with ground source heat pump [J]. Energy, 2018, 163(08): 475-489.

[12] 郑春元,翟晓强,吴静怡,等. 基于TRNSYS的冷热电联供系统建模与蓄能策略分析[J]. 化工学报,2015,66(S2):311-317.
ZHENG Chunguang, ZHAI Xiaoqiang, WU Jingyi, et al. Modeling of CCHP system and analysis of thermal storage strategy by using TRNSYS software [J]. CIESC Journal, 2015, 66(S2): 311-317.

[13] 赵峰,张承慧,孙波,等. 冷热电联供系统的三级协同整体优化设计方法[J]. 中国电机工程学报,2015,35(15):3785-3793.
ZHAO Feng, ZHANG Chenghui, SUN Bo, et al. Three-stage collaborative global optimization design method of combined cooling heating and power [J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(15): 3785-3793.

[14] 胡荣,张必璐,李振坤,等. 计及可平移负荷的分布式冷热电联供系统优化运行[J]. 电网技术,2018,42(03):715-721.
HU Rong, ZHANG Milu, LI Zhenkun, LI Huijuan, MA Jie. Optimal operation for CCHP System considering shiftable loads [J]. Power System Technology, 2018, 42(03): 715-721.

[15] 顾玉新,茅大钧,代宪亚,等. 基于“互联网+智慧能源”的冷热电联供系统的架构分析[J]. 上海电机学院学报,2017,20(03):181-186.
GU Yuxin, MAO Dajun, DAI Xianya, et al. Architecture of combined cooling heating and power system based on internet plus smart energy [J]. Journal of Shanghai Dianji University, 2017, 20(03): 181-186.

[16] 李阳,曹华珍,吴亚雄,等. 考虑能源互联网耦合特性的智慧工业园区协同规划研究[J]. 智慧电力,2018,46(12):15-22.
LI Yang, CAO Huazhen, WU Yaxiong, et al. Collaborative planning of smart industrial park considering coupling characteristics of energy internet [J]. Smart Power, 2018, 46(12): 15-22.

[17] 赵月辉,彭钰莹,顾全,等. 含分布式能源的主动配电网实时

拓扑追踪[J]. 电力大数据,2018,21(06):44-50.

ZHAO Yuehui, PENG Yuying, GU Quan, et al. Real-time topology tracing for active power distribution network with distributed energy[J]. Power Systems and Big Data,2018,21(06):44-50.

- [18] 吴贞龙, 马永碧, 钟臻, 等. 基于大数据的输配电价研究[J]. 电力大数据,2017,20(09):77-80.

WU Zhenlong, MA Yongbi, ZHONG Zhen, et al. Research on transmission and distribution price considering big data [J]. Power Systems and Big Data,2017,20(09):77-80.

- [19] 周金辉, 徐琛, 葛晓慧, 等. 基于模型预测控制的分布式热电联供系统优化调度[J]. 浙江电力,2017,36(05):23-28.

ZHOU Jinhui, XU Chen, GE Xiaohui, et al. Optimal Scheduling of Distributed CHP System Based on Model Predictive Control [J]. Zhejiang Electric Power,2017,36(05):23-28.

收稿日期:2019-03-28

作者简介:



唐学用(1984),男,硕士,高级工程师,主要从事主动配电网运行控制、电网规划、新能源电力系统研究工作

(本文责任编辑:范斌)

Operation test and analysis of combined cooling heating and power supply systems for active distribution network in Guizhou

TANG Xueyong¹, MI Yutong², LI Qingsheng¹

(1. Power Grid Planning & Research Center of Guizhou Power Grid Co., Ltd., Guiyang 550003 Guizhou, China;

2. Electrical Engineering College of Guizhou University, Guiyang 550025 Guizhou, China)

Abstract: This paper focuses on the problem about high proportion of distributed power consumption in energy internet, The purpose is to improve the efficiency of energy comprehensive utilization in demonstration project more intuitively through the test system. The test bench which is on combined cooling heating and power for active distribution network system is based on the demonstration project of active distribution network in Guizhou. The corresponding model was established, and field tests were carried out in the demonstration project. The operation benefit of the field test data is analyzed. The test results show that the comprehensive energy utilization efficiency of the combined cooling heating and power in the demonstration project can reach more than 90% under the condition of 90% rated power, which is significantly higher than that of the traditional combined cooling heating and power. Moreover, the system can realize that the power of the grid can be adjusted within a certain range under the same heat (cold) load. In the demonstration project, the reduction of natural gas price and the increase of feed-in tariff are the basis to ensure the economic operation of combined cooling heating and power supply for the active distribution network. For the users with high electricity cost and heating and cooling demand, combined cooling heating and power supply system has better economy.

Key words: distributed energy resource, active distribution network, combined cooling heating and power