

DOI:10.3969/j.issn.2097-0706.2022.09.004

# 基于燃气分布式的综合能源系统碳减排分析

Carbon emission reduction analysis for gas-based distributed integrated energy systems

江婷<sup>1,2</sup>, 赵雅姣<sup>1</sup>

JIANG Ting<sup>1,2</sup>, ZHAO Yajiao<sup>1</sup>

(1. 中国华电科工集团有限公司, 北京 100070; 2. 国家能源分布式能源技术研发中心, 北京 100070)

(1. China Huadian Engineering Company Limited, Beijing 100070, China; 2. National Energy Distributed Energy Technology R&D Center, Beijing 100070, China)

**摘要:**综合能源系统因具有横向“电热冷热水”能源多品种供应及纵向“源网荷储用”多环节协同,是现阶段一种优秀的电力供能系统。根据国家核证自愿减排量方法学与《企业温室气体排放核算方法与报告指南发电设施》研究了基于燃气分布式的综合能源系统碳减排量计算方法,定义了属于该类型项目的基准参照系统。同时结合北京地区某基于燃气分布式的综合能源项目,进行系统碳减排分析。经过研究,该项目在现有电力系统下具有良好的节能减排效应,2016—2020年在运行工况下每年碳减排量约为3 000 tCO<sub>2</sub>。随着可再生能源发电的大规模并网,当电网排放因子降低到0.34 tCO<sub>2</sub>/(MW·h)以下时,现有项目方式将不再具有节能减排效应,但是仍可采取项目改造、增加可再生能源供能比例等方式提升碳减排能力。本研究为基于燃气分布式的综合能源系统发展及“双碳”目标的实现提供了良好的理论基础。

**关键词:**燃气分布式;综合能源系统;基准参照系统;电网排放因子;碳排放;碳减排;碳中和;碳达峰

**中图分类号:**TK 01;TK 47

**文献标志码:**A

**文章编号:**2097-0706(2022)09-0027-06

**Abstract:** Integrated energy system is regard as an excellent power supplier at current stage for its capabilities of horizontally adjusting electric power, heat, cold energy, gas and hot water, and vertically coordinating source, network, load, storage and consumption links. CCER methodology and *Guidelines On Enterprises Greenhouse Gas Emissions Accounting and Reporting—Power Generation Facilities* provide a calculation method for the carbon emission reduction of gas-based distributed integrated energy systems and the reference system. A carbon emission reduction analysis was made on a gas-based distributed integrated energy system in Beijing. The system worked well in energy saving and emission reduction in current power system for realizing 3 000 tCO<sub>2</sub> emission reduction from 2016 to 2020 annually. With the large-scale grid-connection of renewable energy generators, the greenhouse gas emission factor for grid will drop to 0.34 tCO<sub>2</sub>/(MW·h) or below. At that time, the existing system can no longer save energy or reduce carbon emissions, unless the proportion of power supply made by renewable energy can be increased. The study lays a sound theoretical foundation for the development of gas-based distributed integrated energy systems and the realization of "dual carbon" target.

**Keywords:** gas-based distributed energy; integrated energy system; reference system; greenhouse gas emission factor for grid; carbon emissions; carbon emission reduction; carbon neutrality; carbon peak

## 0 引言

随着社会经济的发展,全球温室气体排放导致全球气候极端变化、全球变暖、冰川消融、海平面上升等威胁人类生存与发展的重大问题。2020年9月的联合国大会上,我国明确提出将努力争取2060年实现碳中和<sup>[1-4]</sup>。电力行业是节能减排的主力军,随着能源领域改革的深入推进,我国受资源禀赋和特性制

约,原来传统单一能源经过高速发展后,现阶段必须通过多元供应、多能互补、协调发展的能源电力系统来保障能源电力供应<sup>[5-8]</sup>。“自发自用,就近消纳”的综合能源系统开始受到关注,综合能源系统将打破不同能源品种单独规划、单独设计、单独运行的传统模式,实现横向“电热冷热水”能源多品种之间、纵向“源网荷储用”多供应环节之间的协同及生产侧和消费侧的互动<sup>[9-13]</sup>。国内外学者对类似综合能源系统碳减排及相关经济性均做了相应的研究<sup>[14-15]</sup>。

收稿日期:2022-05-09;修回日期:2022-06-15

基金项目:中国华电科工科技项目(CHECKJ22-01-74)

李蕊<sup>[16]</sup>针对我国热电联产项目的发展情况和特点,介绍了较为适合国情的碳减排计算方法,分析了热电联产碳减排计算的难点及建议。王卫权等<sup>[17-18]</sup>对国内温室气体自愿减排方法学《CM-034-V01 现有电厂的改造和/或能效提高(第一版)》的适用条件、项目边界、基准线识别及减排量计算等方面进行了分析,并将该方法学应用到江西某燃煤电厂改造项目,通过案例实际应用,得出燃煤电厂改造可获得较好的碳减排效益,是降低燃煤电厂碳排放的有效措施之一。但是,目前针对综合能源系统配置的研究较多,对于系统的CO<sub>2</sub>排放与减排均没有统一的计算方法,综合能源系统碳减排计算方法亟待研究。

## 1 基于燃气分布式的综合能源系统

基于燃气分布式的综合能源系统比常规的供能系统更为复杂,燃料输入端包括太阳能、风能、地热能及天然气等多种形式的能源,本研究针对的系统目前以天然气为主要燃料,并包括容量较小的光伏发电系统。输出端包括电、热、气等多种形式的能源。图1为基于燃气分布式的综合能源系统,由图1可见,综合能源系统的设备端包括主机设备系统和调峰设备系统。

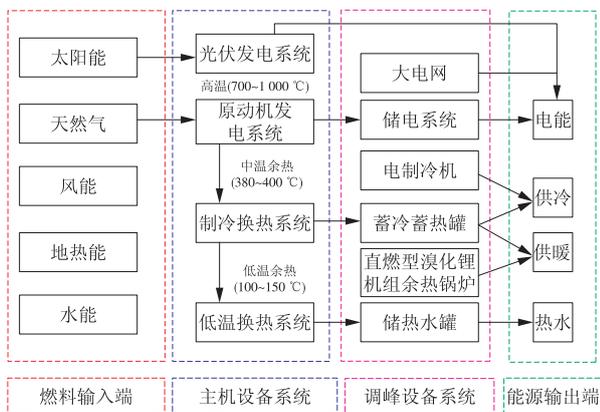


图1 基于燃气分布式的综合能源系统

Fig. 1 A gas-based distributed integrated energy system

主机设备系统主要包括原动机发电系统、吸收式制冷换热系统及低温换热系统。天然气输入原动机发电系统燃烧后发电,发电产生的中温烟气进入制冷换热系统,夏季提供冷媒水,冬季提供供暖水。换热后的低温烟气进入低温换热系统,为用户提供60℃左右的热热水。自发自用综合能源系统一般配置有调峰设备系统,配置储能系统并连接电网进行电力调峰,电制冷机进行供冷调峰,直燃性溴化锂机组或余热锅炉进行供暖调峰,储热水罐进行热水调峰。

本研究针对基于燃气分布式的综合能源系统的CO<sub>2</sub>排放及碳减排量计算方法,同时结合北京某综合能源项目进行碳减排潜力分析。

## 2 数学模型

关于不同项目的CO<sub>2</sub>减排量,国家发改委于2012年3月至2017年3月的5年间批准了12个批次共200个国家核证自愿减排量(CCER)方法学<sup>[19]</sup>。经过研究,这些方法学并不能完全涵盖基于燃气分布式的综合能源系统CO<sub>2</sub>减排量的计算。因此,根据CCER方法学与《企业温室气体排放核算方法与报告指南 发电设施(2022年修订版)》研究基于燃气分布式的综合能源系统的CO<sub>2</sub>减排量计算方法,可用于计算新建或已建项目在现有电力系统情况下的CO<sub>2</sub>减排量。

### 2.1 CO<sub>2</sub>减排基准参照系统

计算发电系统CO<sub>2</sub>减排最主要的参数是现有系统碳排放与基准参照系统的差值。CO<sub>2</sub>减排基准参照系统是指在不建设该发电项目的情况下,所有真实可信的替代情景中可能性最大的情景。基于燃气分布式的综合能源系统CO<sub>2</sub>减排基准参照系统应包括4部分:电力替代系统、供冷替代系统、供暖替代系统与供热水替代系统。经过研究,一般园区级基于燃气分布式的综合能源系统CO<sub>2</sub>减排基准参照系统应为:电网供电,电制冷机供冷,燃气锅炉供暖,热水锅炉供热水。

### 2.2 综合能源系统CO<sub>2</sub>减排计算模型

现有基于燃气分布式的综合能源系统CO<sub>2</sub>排放量由式(1)~(4)计算。

$$PE_{\text{sys, CO}_2} = PE_{\text{sys, gas}} + PE_{\text{peak, gas}} + PE_{\text{grid, y}}, \quad (1)$$

式中: $PE_{\text{sys, CO}_2}$ 为现有基于燃气分布式的综合能源系统CO<sub>2</sub>总排放量,t; $PE_{\text{sys, gas}}$ 为主机设备消耗燃气燃烧产生的CO<sub>2</sub>排放量,t; $PE_{\text{peak, gas}}$ 为调峰设备消耗燃气燃烧产生的CO<sub>2</sub>排放量,t; $PE_{\text{grid, y}}$ 为购入电力产生的CO<sub>2</sub>排放量,t。

$$PE_{\text{sys, gas}} = E_{\text{sys, gas}} \times EF_{\text{gas}}, \quad (2)$$

式中: $E_{\text{sys, gas}}$ 为主机设备所耗燃气量,m<sup>3</sup>; $EF_{\text{gas}}$ 为消耗燃气对应的CO<sub>2</sub>排放因子,tCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>。

$$PE_{\text{peak, gas}} = E_{\text{peak, gas}} \times EF_{\text{gas}}, \quad (3)$$

式中: $E_{\text{peak, gas}}$ 为调峰设备所耗燃气量,m<sup>3</sup>。

$$PE_{\text{grid, y}} = E_{\text{grid, y}} \times EF_{\text{grid}}, \quad (4)$$

式中: $E_{\text{grid, y}}$ 为系统从电网中购入的电量,MW·h; $EF_{\text{grid}}$ 为电网排放因子,tCO<sub>2</sub>/(MW·h)。

燃气燃烧排放量是统计期内基于燃气分布式的综合能源系统统计期内燃气产生CO<sub>2</sub>排放量的加

总。电网排放因子可由《CMS-002-V01 联网的可再生能源发电》方法学计算得出,也可采用生态环境部发布的最新数值(为简便计算,可统一采用 2020 年数据 0.610 1 tCO<sub>2</sub>/(MW·h)。在进行精确计算时,可根据不同区域选择省级电网公司公布的排放因子,取值不同只影响数值大小,不影响变化趋势。

基于燃气分布式的综合能源系统的 CO<sub>2</sub>减排基准参照系统排放量的计算如式(5)~(10)所示。

$$BE_{sys, CO_2} = BE_{ele} + BE_{cooling} + BE_{heating} + BE_{hw}, \quad (5)$$

式中:BE<sub>sys, CO<sub>2</sub></sub>, BE<sub>ele</sub>, BE<sub>cooling</sub>, BE<sub>heating</sub>, BE<sub>hw</sub> 分别为基准参照系统 CO<sub>2</sub>总排放量及供电量、供冷量、供暖量、供热量分别对应的 CO<sub>2</sub>排放量, t。

$$BE_{ele} = E_{ele} \times EF_{grid}, \quad (6)$$

式中:E<sub>ele</sub>为基于燃气分布式的综合能源系统供电量, MW·h。

$$BE_{cooling} = \frac{E_{cooling} \times EF_{grid}}{COP}, \quad (7)$$

式中:E<sub>cooling</sub>为基于燃气分布式的综合能源系统供冷量, GJ; COP为基准参照系统采用电制冷机的制冷系数, 计算时取值为 5。

$$BE_{heating} = \frac{E_{heating} \times EF_{gas}}{\eta_{he}}, \quad (8)$$

式中:E<sub>heating</sub>为基于燃气分布式的综合能源系统供暖量, GJ; η<sub>he</sub>为基准参照系统采用燃气锅炉供暖的热

效率。

对于供热系统,若基准参照系统采用燃气锅炉,用式(9)计算减排量;若采用电锅炉,则用式(10)计算减排量。

$$BE_{hw} = \frac{E_{hw} \times EF_{gas}}{\eta_{hw, gas}}, \quad (9)$$

$$BE_{hw} = \frac{E_{hw} \times EF_{grid}}{3600 \times 1000 \times \eta_{hw, ele}}. \quad (10)$$

式中:E<sub>hw</sub>为基于燃气分布式的综合能源系统供热量, GJ; η<sub>hw, gas</sub>及 η<sub>hw, ele</sub>分别为为基准参照系统采用燃气锅炉和电锅炉供热水的热效率。

综上所述,基于燃气分布式的综合能源系统 CO<sub>2</sub>减排量可由式(11)计算。

$$ER_{sys, CO_2} = BE_{sys, CO_2} - PE_{sys, CO_2}, \quad (11)$$

式中:ER<sub>sys, CO<sub>2</sub></sub>为基于燃气分布式的综合能源系统 CO<sub>2</sub>减排量, t。

### 3 案例分析

#### 3.1 概况

北京某基于燃气分布式的综合能源系统如图 2 所示。

由图 2 可见,项目采用天然气与光伏发电互补,站内设 2 台单机装机容量为 3349 kW 内燃机发电机组,内燃机烟气及缸套水余热由烟气-热水溴化锂机组回

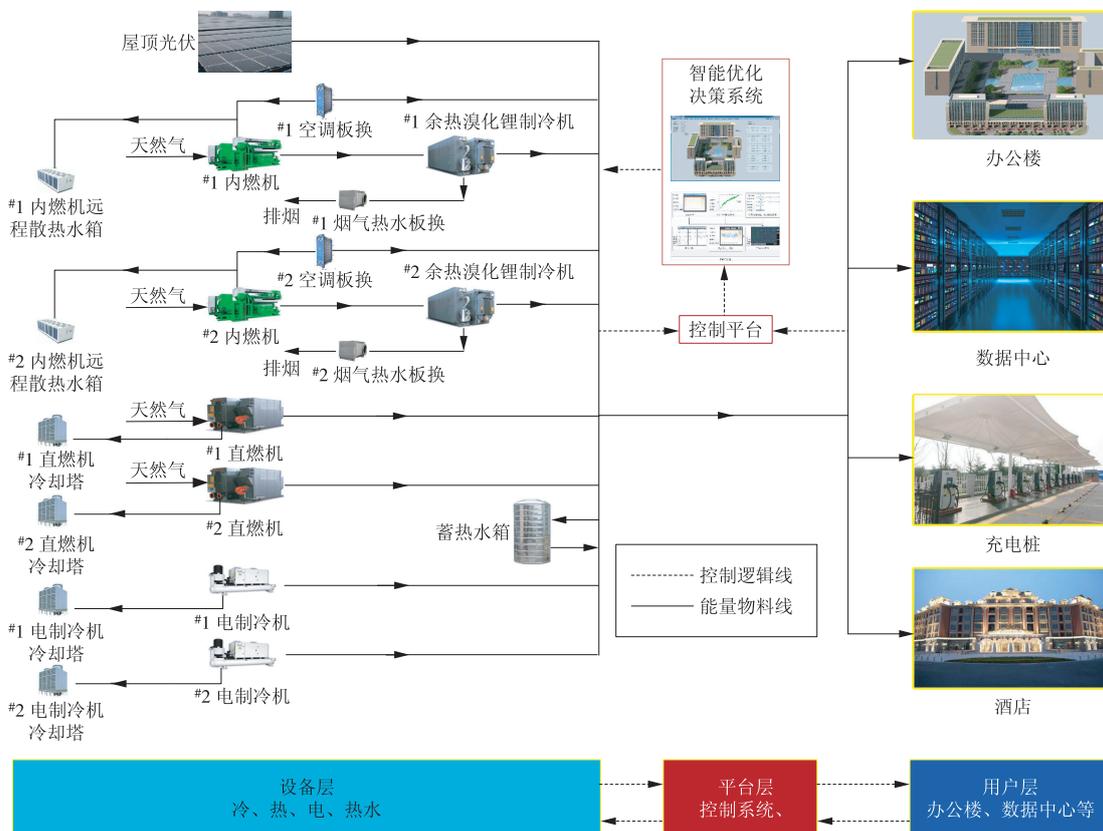


图 2 案例项目系统

Fig. 2 System in a case project

收利用,作为园区的分布式供能中心进行供冷、供暖、供热水和供电。调峰设备方面,采用2台直燃机和2台电制冷机,同时项目还配备光伏发电系统。该项目为整个园区 25 万 m<sup>2</sup> 供能,是典型的基于燃气分布式的综合能源系统。

### 3.2 设计工况碳减排分析

根据 2.2 节提出的数学模型,分析该基于燃气分布式的综合能源系统在设计工况下供电、暖、热水、冷量以及相应的碳排放量。在设计工况下,系统全年发电量、供暖量、供热水量以及供冷量分别为 2 1462.3 MW·h, 30 314 GJ, 10 583 GJ 及 43 661 GJ,对应的 CO<sub>2</sub> 排放量分别为 13 094, 1 892, 660 及 1 479 t。

图 3 及图 4 分别为该基于燃气分布式的综合能源系统设计工况下供电、暖、热水、冷量及基准参照系统碳排放占比。由图 3 及图 4 可见,在基准参照系统中,当供电量占比为 47.75% 时,所产生的碳排放占比高达 76.46%;而在供冷量占比为 26.98% 时,所产生的碳排放占比仅为 8.64%。

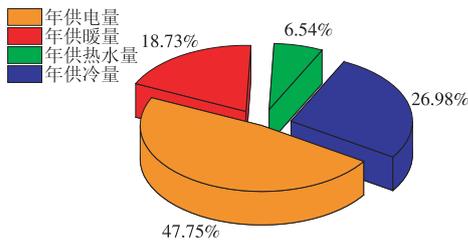


图 3 基于燃气分布式的综合能源系统设计工况下供电、暖、热水、冷量

Fig. 3 Power supply, heating, domestic hot water supply and cooling of the gas-based distributed integrated energy system under the design condition

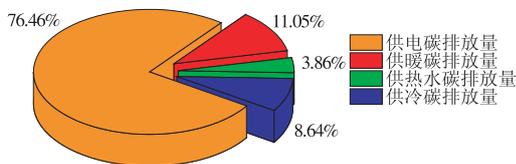


图 4 基准参照系统碳排放量占比

Fig. 4 Proportion of carbon emissions in the baseline reference system

图 5 为综合能源系统与基准参照系统设计工况下供电、暖、热水、冷的碳排放占比,其中综合能源系统供电、暖、热水、冷的碳排放量按照其各自占所耗燃气总热量百分比计算。由图 5 可见,综合能源系统的供电碳排放远小于基准参照系统,而供冷碳排放则远大于基准参照系统,这说明电能的产生是释放碳排放的最主要路径,而在终端制冷条件下,电制冷产生的碳排放较低。

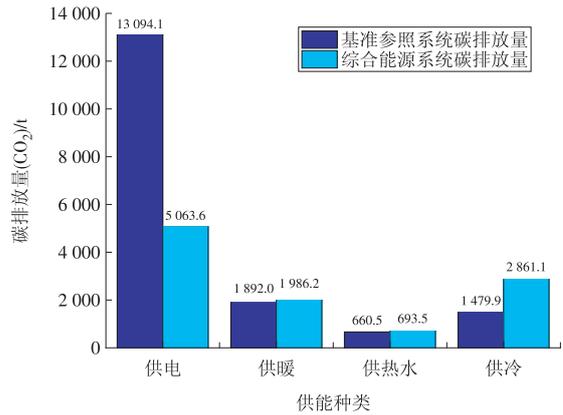


图 5 综合能源系统与基准参照系统碳排放量对比

Fig. 5 Comparison of carbon emissions between comprehensive energy system and benchmark reference system

### 3.3 运行工况碳减排分析

对该综合能源系统项目 2016—2020 年的全年运行工况下的碳排放量及减排情况进行分析。图 6 为基于燃气分布式的综合能源系统 2016—2020 年实际供电、暖、热水、冷量。由图 6 可见,系统外供各类负荷逐年升高,这是因为该源系统配套的用户逐步完善,体现了综合能源系统自发自用、灵活运行的特点。

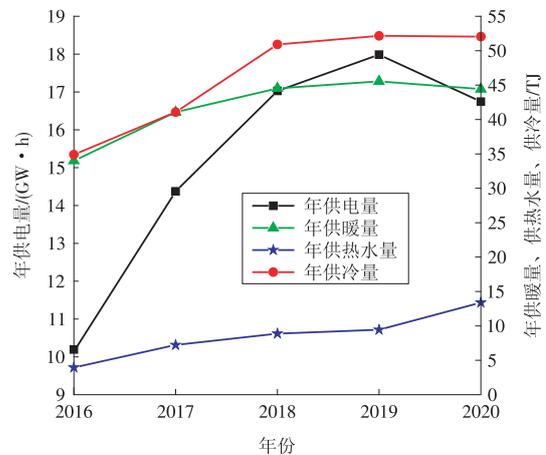


图 6 案例系统 2016—2020 年实际供电、暖、热水、冷量

Fig. 6 Case system actual power supply, heating, hot water, cooling capacity from 2016 to 2020

图 7 为基准参照系统 2016—2020 年供电、暖、热水、冷量对应的碳排放量。由图 7 可见,碳排放量的变化趋势与供能量变化趋同,但与图 6 对比发现基准参照系统的供冷量碳排放较低,这是由于基准参照系统采用电网购电进行制冷,供冷碳排放计算采用的电网排放因子包含了可再生能源发电排放,加之目前电制冷技术较为成熟,制冷系数较高,从碳排放的角度说明终端电气化的趋势较为正确。

图 8 为综合能源系统及基准参照系统的碳排放量对比,由图 8 可见,2016—2020 年系统的碳减排量 (CO<sub>2</sub>) 基本维持在 3 000 t,具有良好的节能减排潜

力。碳减排量(CO<sub>2</sub>)与设计工况下 6 000 t 有差距,这是由于系统上网电价较低,为了维持系统经济性系统采取少发电的模式。由图 8 可见,基于燃气分布式的综合能源系统在现有电力系统下仍具有良好的节能减排效应,后续随着光伏、光热、地热等能源的加入,综合能源系统的碳减排能力将会更强。

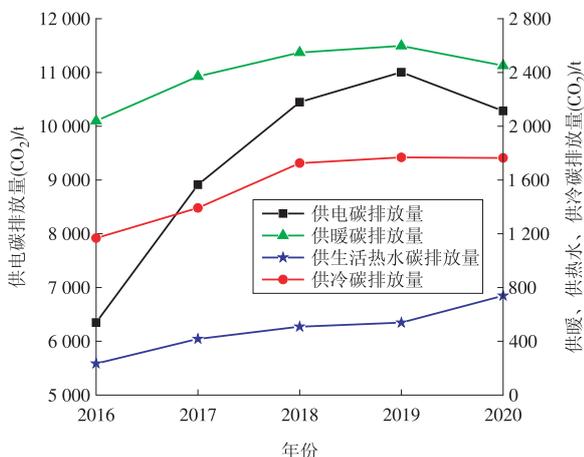


图 7 基准参照系统 2016—2020 年实际供电、暖、热水、冷量对应的碳排放量

Fig. 7 Carbon emissions from power supply, heating, hot water supply and cooling of the reference system from 2016 to 2020

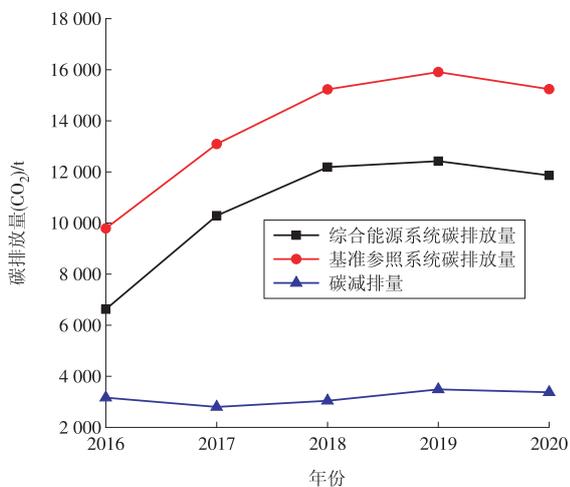


图 8 综合能源系统碳排放量与基准系统总碳排放量对比  
Fig. 8 Comparison between carbon emissions of comprehensive energy system and total carbon emissions of benchmark system

### 3.4 影响碳排放因素分析

由于本研究计算基准参照系统电力碳排放采用电网排放因子,随着可再生能源发电大规模接入电网,电网排放因子会持续降低,根据该综合能源系统设计工况,研究了电网排放因子对基于燃气分布式的综合能源系统碳排放量影响,如图 9 所示。由图 9 可见,在不改变现有基于燃气分布式的综合能源系统运行方式的条件下,随着电网排放因子的降低,碳减排量随之降低,当电网排放因子为 0.34 tCO<sub>2</sub>/(MW·h) 时,该综合能源系统碳减排量接近于

0。但是,该综合能源系统可增加可再生能源利用来提升碳减排潜力。

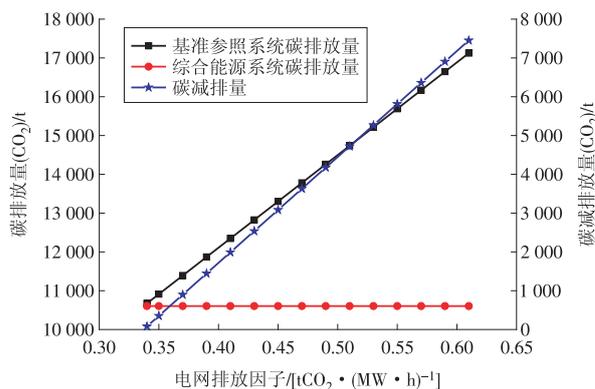


图 9 电网排放因子对系统碳排放量的影响

Fig. 9 Impact of greenhouse gas emission factor for grid on the carbon emissions of the system

## 4 结束语

针对基于燃气分布式的综合能源系统,根据 CCER 方法学与《企业温室气体排放核算方法与报告指南 发电设施》,定义了 CO<sub>2</sub> 减排计算基础参照系统,研究了该系统 CO<sub>2</sub> 减排数学模型,同时结合北京某燃气分布式综合能源项目,进行综合能源系统碳减排潜力分析,得出结论如下。

(1)一般园区级燃气分布式综合能源系统的 CO<sub>2</sub> 减排基准参照系统应为:电网供电,采用电制冷机供冷,采用燃气锅炉供暖,采用热水锅炉供热水。在案例中,基准参照系统中在供电量占比为 47.75% 的情况下,所产生的碳排放占比高达 76.46%,而在供冷量占比为 26.98% 情况下,所产生的碳排放占比仅为 8.64%,终端制冷条件下,电制冷产生的碳排放较低。

(2)基于燃气分布式的综合能源系统在现有电力系统下仍具有良好的节能减排效应,当电网排放因子降至 0.34 tCO<sub>2</sub>/(MW·h) 以下时,现有项目方式将不再具有节能减排效应,但仍可采取项目改造如增加可再生能源供能比例的方式提升碳减排能力。

### 参考文献:

[1] 韩肖清,李廷钧,张东霞,等.双碳目标下的新型电力系统规划新问题及关键技术[J].高电压技术,2021,47(9):3036-3046.  
HAN Xiaoqing, LI Tingjun, ZHANG Dongxia, et al. New issues and key technologies of new power system planning under double carbon goals [J]. High Voltage Engineering, 2021, 47(9): 3036-3046.  
[2] 秦海岩.加快发展新能源,支撑落实“双碳”目标[J].可持续发展经济导刊,2021(z2):23-25.

- [3] 喻小宝, 郑丹丹, 杨康, 等. “双碳”目标下能源电力行业的机遇与挑战[J]. 华电技术, 2021, 43(6): 21-32.  
YU Xiaobao, ZHENG Dandan, YANG Kang, et al. Opportunities and challenges faced by energy and power industry with the goal of carbon neutrality and carbon peak [J]. Huadian Technology, 2021, 43(6): 21-32.
- [4] 张俊锋, 许文娟, 王跃琦, 等. 面向碳中和的中国碳排放现状调查与分析[J]. 华电技术, 2021, 43(10): 1-10.  
ZHANG Junfeng, XU Wenjuan, WANG Yueqi, et al. Investigation and analysis on carbon emission status in China on the path to carbon neutrality [J]. Huadian Technology, 2021, 43(10): 1-10.
- [5] 宋晓华. 基于低碳经济的发电行业节能减排路径研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- [6] YUAN Y, WENG B H, GONG H, et al. Energy efficiency under the constraint of carbon emission reduction [J]. International Journal of Education and Economics, 2021, 4(4): 275-276.
- [7] 李亚飞. 低碳经济背景下电力行业节能减排路径研究[J]. 科技经济市场, 2021(4): 89-90.
- [8] BELTRAMI F, FONTINI F, GROSSI L. The value of carbon emission reduction induced by renewable energy sources in the Italian power market [J]. Ecological Economics, 2021(4), 189-196.
- [9] 刘梦男. 新建燃煤热电联产项目的碳减排量化分析[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2016.
- [10] 尹硕, 郭兴五, 燕景, 等. 考虑高渗透率和碳排放约束的园区综合能源系统优化运行研究[J]. 华电技术, 2021, 43(4): 1-7.  
YIN Shuo, GUO Xingwu, YAN Jing, et al. Study on optimized operation on integrated energy system in parks with high permeability and carbon emission constraints [J]. Huadian Technology, 2021, 43(4): 1-7.
- [11] GUO Y, XIANG Y. Low-carbon strategic planning of integrated energy systems [J/OL]. Frontiers in Energy Research, 2022. (2022-03-10) [2022-06-14]. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.858119>.
- [12] LEE H, LEE M. Recent advances in ammonia combustion technology in thermal power generation system for carbon emission reduction [J]. Energies, 2021, 14(18): 5604.
- [13] WANG R, WEN X, WANG X, et al. Low carbon optimal operation of integrated energy system based on carbon capture technology, LCA carbon emissions and ladder-type carbon trading [J]. Applied Energy, 2022, 311: 118664.
- [14] HUANG Y, WANG Y, LIU N. Low-carbon economic dispatch and energy sharing method of multiple integrated energy systems from the perspective of system of systems [J]. Energy, 2022, 244: 122717.
- [15] 徐文涛, 张晶, 马红明, 等. 计及多能转化效率的区域综合能源系统协同优化模型研究[J]. 电网与清洁能源, 2021, 37(10): 98-106.  
XU Wentao, ZHANG Jing, MA Hongming, et al. Research on the collaborative optimization model of comprehensive energy system considering multi-energy conversion efficiency [J]. Power System and Clean Energy, 2021, 37(10): 98-106.
- [16] 李蕊. 燃煤热电联产碳减排计算方法研究[J]. 云南化工, 2017, 44(12): 110-112.  
LI Rui. Study on carbon emission reduction calculation method for coal fired cogeneration [J]. Yunnan Chemical Technology, 2017, 44(12): 110-112.
- [17] 王卫权, 于洋, 马丽芳. 燃煤电厂改造项目碳减排量化方法的应用[J]. 中国煤炭, 2019, 45(3): 108-113, 120.  
WANG Wei-quan, YU Yang, MA Li-fang. Application of quantitative method to calculate the GHG reduction in the coal-fired power plant renovation project [J]. China Coal, 2019, 45(3): 108-113, 120.
- [18] 马双忱, 杨鹏威, 王放放, 等. “双碳”目标下传统火电面临的挑战与对策[J]. 华电技术, 2021, 43(12): 36-45.  
MA Shuangchen, YANG Pengwei, WANG Fangfang, et al. Challenges and countermeasures of traditional thermal power under the goals of carbon neutrality and carbon peaking [J]. Huadian Technology, 2021, 43(12): 36-45.
- [19] 刘芭, 章玉, 倪德先, 等. CCER 方法学对天然气车船温室气体减排量核算方法的适用性分析[J]. 交通节能与环保, 2019, 15(1): 45-48.  
LIU Ba, ZHANG Yu, NI Dexian, et al. Applicability of CCER methodology for accounting method of greenhouse gas emission reduction for natural gas vehicles and vessels [J]. Transport Energy Conservation & Environmental Protection, 2019, 15(1): 45-48.

(本文责编: 惠忻)

#### 作者简介:

江婷(1991), 女, 工程师、经济师, 硕士, 从事综合智慧能源系统集成优化研究工作, [jiangt@chec.com.cn](mailto:jiangt@chec.com.cn);

赵雅姣(1991), 女, 工程师, 硕士, 从事电气设计研究及政工管理工作, [zhaoyajiao@chec.com.cn](mailto:zhaoyajiao@chec.com.cn)。