

Comprehensive Optimization Programming of Multi-Energy System Based on Energy Internet

Li Zhang¹, Qunyan Han², Siyuan Liu³, Yangyang Song⁴

¹Power Research Institute of SINOPEC Shengli Oilfield Power Company, Dongying Shandong

²Power Dispatching Center of SINOPEC Shengli Oilfield Power Company, Dongying Shandong

³Power Utilities Center of SINOPEC Shengli Oilfield Power Company, Dongying Shandong

⁴China University of Petroleum, Qingdao Shandong

Email: zhangli218.slyt@sinopec.com, liusiyuan.slyt@sinopec.com, hanqunyan.slyt@sinopec.com, 604765963@qq.com

Received: Nov. 15th, 2018; accepted: Nov. 26th, 2018; published: Dec. 12th, 2018

Abstract

Based on the concept of energy Internet, the multi-energy system optimization programming considering complementarity and sharing of electricity, heat and cold is the basis to improve the multi-energy utilization. The multi-energy system is supplied by multiple distributed energy stations, which are connected by the power supply network and heating network on the basis of self-balancing capability. The multi-source complementarity is realized, and the "generation-grid-load-storage" coordination strategy is put forward. Considering the sizing cost and the typical scenario operation revenue, carbon emissions and primary energy consumption, and the feasibility and security constraints, multi-energy system optimal programming mathematical model is established. Analysis shows that the multi-energy system programming scheme which is considering the typical scenarios operation achieves the optimal effect of sizing cost and running comprehensive benefit.

Keywords

Energy Internet, Distributed Energy Station, Optimization Programming, Multi-Source Complementary

基于能源互联网的多能源系统综合优化规划

张利¹, 韩群雁², 刘思圆³, 宋阳阳⁴

¹中国石化胜利油田电力分公司电力研究所, 山东 东营

²中国石化胜利油田电力分公司电力调度中心, 山东 东营

³中国石化胜利油田电力分公司电力公共事业中心, 山东 东营

⁴中国石油大学(华东), 山东 青岛

Email: zhangli218.slyt@sinopec.com, liusiyuan.slyt@sinopec.com, hanqunyan.slyt@sinopec.com, 604765963@qq.com

收稿日期：2018年11月15日；录用日期：2018年11月26日；发布日期：2018年12月12日

摘要

基于能源互联网理念，综合考虑电、热、冷互补共享的多能源系统优化规划是提高综合能源利用率的基础。多能源系统由多个分布式能源站供电，各能源站在具备自平衡能力的基础上通过供电网络和供热网络互联，实现横向多源互补。综合考虑能源配置的成本和典型场景系统网络运行的收益、碳排放量和一次能源消耗量，计及可行性约束和安全性约束，研究多能源系统优化规划数学模型。算例分析表明，兼顾典型场景运行的多能源系统规划方案达到了配置成本和运行综合效益最优的效果。

关键词

能源互联网，分布式能源站，优化规划，多能互补

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

石油、天然气和煤炭等化石能源在过去的两个世纪，为经济的发展和人类的进步做出了巨大贡献。然而，对化石能源长期、大规模的使用致使有限资源逐步枯竭[1] [2] [3]，与此同时，化石能源燃烧过程中带来的环境污染问题不容小觑，能源与环境问题已成为制约当今世界经济和社会发展的重要方面，传统的依赖化石能源的增长方式已经不能维持我国的经济增长，新能源和化石能源互补的多能源时代必将代替以石油和煤炭为核心的化石能源时代[4] [5] [6]。

已有的文献中大多是将优化调度与配置分离优化的。文献[7] [8]以配置经济性为目标，建立了含储能的多能源系统优化配置模型，达到了配置最优的效果，文献[9] [10] [11]以运行经济性和环保性为目标，建立了冷热电联供系统的优化调度模型，文献[12] [13]以综合能源系统运行经济性为目标，建立了多能源系统优化调度模型，达到了运行最优的效果。文献[14]综合考虑了可再生能源消纳率与微电网的运行成本，建立了一个含有可再生能源以及冷、热、电多种能源形式的微网优化运行模型。以上文献中，均将优化调度与运行分离优化，且仅考虑了供能侧多能互补优化，未引入需求侧灵活因素参与优化运行。

本文基于能源互联网理念，将供能侧的多样化能源互联，通过优化配置和优化运行两方面融合，实现综合能源利用和互补，在需求侧引入柔性负荷，从而增加系统灵活因素。以多能源系统配置的成本和典型场景系统网络运行的综合效益最优为目标，计及可行性约束和安全性约束，建立多能源系统优化规划数学模型，与已有文献相比，充分考虑了配置方案的运行经济性、环保性、节能性，从而实现多能源系统配置和运行的综合优化。

2. 多能源系统互补协调

2.1. 横向多源互补简介

多能源系统由多个分布式能源站与负荷区块组成，分布式能源站包括风机、光伏电池板、热电联产系统(CHP)、燃气锅炉、地源热泵、吸收式制冷装置及储能装置。为提高能源利用率，在分布式能源配置过程中引入“横向多源互补”理念。能源互联网中的“横向多源互补”是指分布式能源站中多种能源资源之间的互补协调，突出各类能源之间的“可替代性”。

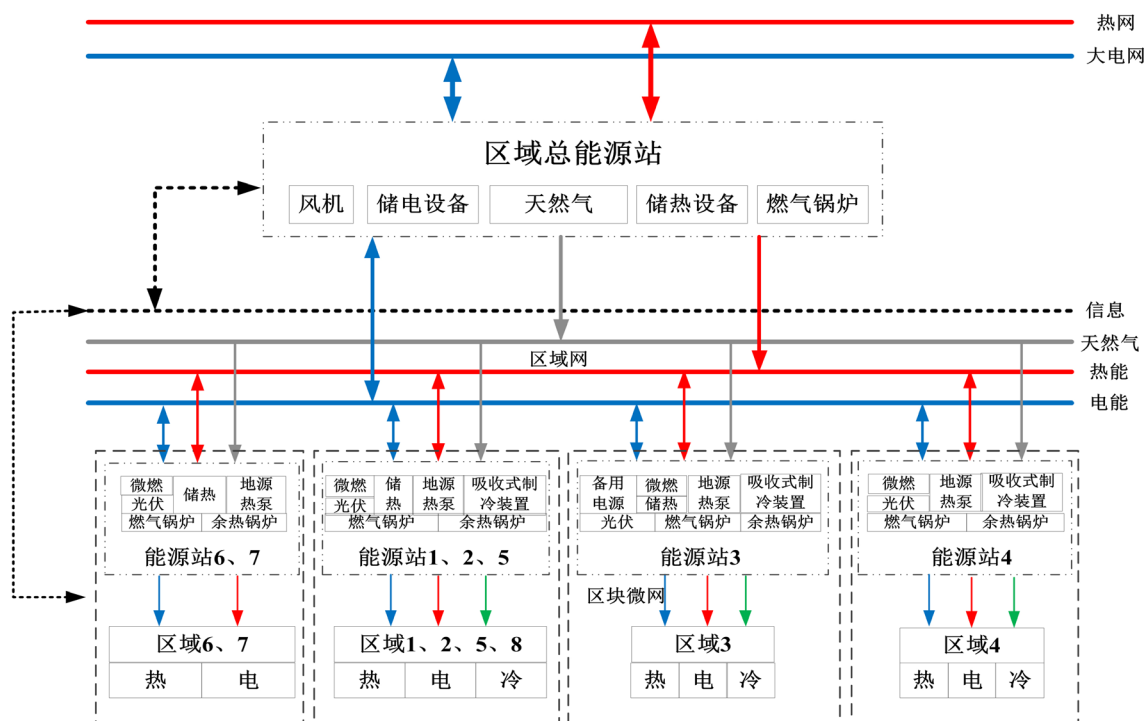


Figure 1. Multi-energy system construction
图 1. 多能源系统框架结构

如图 1，以含 8 区块的多能源系统为例，该多能源系统融合了多样化能源种类，实现供电、供热、供冷一体化。供能侧系统采用分布式和集中式的结构模式；各个能源区块具备自平衡能力，又通过管网全部连通，实现规划区内能源在空间上的互补调配。

2.2. 纵向“源-网-荷-储”协调策略

为了提高能源综合利用率，在分布式能源调度过程中引入纵向“源-网-荷-储”协调的理念。由于用户侧用能的随机性和可再生能源出力的随机性，提出“源-网-荷-储”协调策略，如图 2。

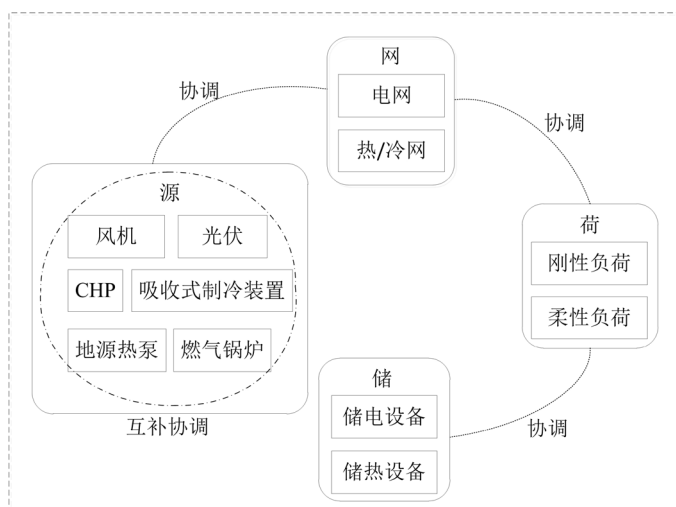


Figure 2. Technology roadmap of double trace
图 2. “源-网-荷-储”协调策略

源-网-荷互补协调：首先，在负荷侧引入需求侧响应，采用直接负荷控制手段，使可削减负荷追踪风机和光伏出力，即在可再生能源出力高峰时段，可削减负荷不削减；在可再生能源出力低谷时，可削减负荷减至最小。其次，配合调整 CHP 系统的出力，实现可再生能源与可控能源互补协调，降低可再生能源出力随机性对网络运行的不利影响。最后，考虑可控能源可行性约束，由外网补偿供需不平衡量，当能源站产能过剩时，将多余能量输送至外网；当能源站产能短缺时，由外网补充。

荷-储互补协调：首先，储能装置通过预调度来平滑用户热/电负荷曲线，储能装置在负荷高峰时段作为源供电，在负荷低谷时段作为荷储能，在负荷平时段不工作，从而得到预调度后的等效负荷曲线(刚性负荷 + 储能)。其次，可平移负荷平滑等效负荷曲线，将其平移至等效负荷低谷时段，降低用户侧用能随机性对多能源系统供电的不利影响。

3. 多能源系统优化规划数学模型

为提高多能源系统的综合利用率，保证其运行的安全性和经济性，需对其进行合理规划，在合理规划多能源系统过程中综合考虑多能源系统配置成本和典型场景系统网络运行综合效益，建立多能源系统优化规划目标函数，综合考虑电/热/冷功率平衡、CHP 系统出力特性、分布式能源极限功率、联络线和热输管道上限功率、储能设备充放能、柔性负荷等可行性约束和备用容量安全性约束，建立多能源综合优化规划数学模型。

$$\max F = -f_1 + f_2 \quad (1)$$

s.t.

$$P_{CHP.e,t} + P_{grid.e,t} + P_{new,t} = L_{e,t} - L_{cut.e,t} + P_{BT.e,t} + P_{HP.e,t} \quad (2)$$

$$P_{CHP.h,t} + P_{GB.h,t} + P_{HP.h,t} + P_{grid.h,t} = L_{h,t} - L_{cut.h,t} + P_{BT.h,t} + P_{AC.h,t} \quad (3)$$

$$P_{AC.c,t} = L_{c,t} \quad (4)$$

$$0 \leq P_{j.grid.e,t} \leq P_{j.grid.e,max} \quad (5)$$

$$0 \leq P_{j.grid.h,t} \leq P_{j.grid.h,max} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} P_{i.e,max} + P_{grid.e,max} > \max(L_e - P_{new})(1+10\%) \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{n_2} P_{i.h,max} + P_{grid.h,max} > L_{h,max}(1+10\%) \quad (8)$$

式中， f_1 为多能源系统的配置成本，元； f_2 为多能源系统运行综合效益，元； $P_{CHP.e,t}, P_{CHP.h,t}$ 分别为 t 时段 CHP 系统发电功率和产热功率，kW； $P_{HP.e,t}, P_{HP.h,t}$ 分别为 t 时段地源热泵耗电功率和产热功率，kW； $P_{GB.h,t}$ 为 t 时段燃气锅炉产热功率，kW； $P_{new,t}$ 为 t 时段可再生能源发电功率，kW； $P_{AC.h,t}, P_{AC.c,t}$ 分别为 t 时段吸收式制冷装置耗热功率和供冷功率，kW； $P_{BT.e,t}$ 为 t 时段储电装置充放电功率，正为储电，负为放电，kW； $P_{BT.h,t}$ 为 t 时段储热装置充放热功率，正为储热，负为放热，kW； $L_{e,t}, L_{h,t}, L_{c,t}$ 分别 t 时段为用户电/热/冷负荷，kW； $L_{cut.e,t}, L_{cut.h,t}$ 分别 t 时段为用户电/热负荷削减量，kW； $P_{j.grid.e,t}, P_{j.grid.h,t}$ 分别为能源站 j 的联络线功率、热输管道功率，kW； $P_{j.grid.e,max}, P_{j.grid.h,max}$ 分别为能源站 j 的联络线功率上限、热输管道功率上限，kW。

多能源系统的配置成本为。

$$\min f_1 = \sum_{j=1}^8 \sum_{i=1}^N C_i \times P_{j,i,max} \frac{r(1+r)^{y_i}}{(1+r)^{y_i} - 1} \quad (9)$$

式中, f_1 为多能源系统总配置成本, 元; N 为分布式能源种类数目; C_i 为分布式能源 i 单位容量初始投资, 元/kW; $P_{j,i,\max}$ 为能源站 j 分布式能源 i 的配置容量, kW; r 为折现率; y_i 为分布式能源 i 的工程寿命, 年。

以配置方案为前提, 考虑多能源系统运行的收益、碳排放量和一次能源消耗量的多能源系统综合效益

$$\max f_2 = g_1 - \beta_2 g_2 - \beta_3 g_3 \quad (10)$$

其中:

$$g_1 = \sum_{t=1}^{24} [C_{sale,t} - C_{buy,t} - C_{OM,t}] \quad (11)$$

$$g_2 = \sum_{t=1}^{24} [Q_{gas,t} \times \mu_{gas} + P_{grid,e,t} \times \mu_e] \quad (12)$$

$$g_3 = \sum_{t=1}^{24} Q_{gas,t} \times \sigma_{gas} + P_{grid,e,t} \times \sigma_e \quad (13)$$

$$C_{sale,t} = C_{e,t} \times L_{e,t} + C_{h,t} \times L_{h,t} + C_{c,t} \times L_{c,t} \quad (14)$$

$$C_{buy,t} = \frac{Q_{gas,t}}{LHV_n} \times C_{gas,t}(Q_{gas,t}) + P_{grid,e,t} \times C_{e,t} + P_{grid,h,t} \times C_{h,t} \quad (15)$$

$$Q_{gas,t} = \frac{P_{CHP,e,t}}{\eta_{CHP}} + \frac{P_{GB,h,t}}{\eta_{GB}} \quad (16)$$

$$C_{gas,t}(Q_{gas,t}) = \begin{cases} C_{n,p} & Q_{gas,t} \in [Q_{p,\min}, Q_{p,\max}] \\ C_{n,f} & Q_{gas,t} \in [Q_{f,\min}, Q_{f,\max}] \\ C_{n,v} & Q_{gas,t} \in [Q_{v,\min}, Q_{v,\max}] \end{cases} \quad (17)$$

$$C_{OM,t} = \sum_{i=1}^N P_{i,t} \times C_{OM,i} \quad (18)$$

式中, β_2, β_3 分别为环保折算惩罚系数和一次能源消耗经济惩罚系数, β_2 取 0.164 元/kg, β_3 取 0.4 元/kg; g_1, g_2, g_3 分别为多能源系统网络运行的收益、碳排放量和一次能源消耗量; $C_{sale,t}, C_{buy,t}, C_{OM,t}$ 分别为 t 时段供能收入、购能成本和运行维护费用, 元; μ_{gas}, μ_e 分别为每千瓦时电量和天然气所对应的二氧化碳排放系数, kg/kWh; σ_{gas}, σ_e 分别为每千瓦时电量和天然气所对应的一次能源的转化系数, kg/kWh; $C_{e,t}, C_{h,t}, C_{c,t}$ 分别为电/热/冷分时价格, 元; $Q_{gas,t}, LHV_n$ 分别为 t 时段系统消耗天然气功率和天然气低热值, 取 9.7kW/m³; η_{CHP}, η_{GB} 分别为 CHP 系统发电效率和燃气锅炉产热效率; $C_{gas,t}(Q_{gas,t})$ 分别为 t 时段多能源系统燃气价格, 元; $C_{n,p}, C_{n,f}, C_{n,v}$ 分别为峰平谷燃气价格, 元; $[Q_{p,\min}, Q_{p,\max}]$, $[Q_{f,\min}, Q_{f,\max}]$, $[Q_{v,\min}, Q_{v,\max}]$ 分别为峰平谷燃气价格对应的天然气消耗功率范围, kW; $C_{OM,i}$ 为分布式能源 i 的运行维护成本系数, 元/kWh。

4. 算例分析

某城区含学校、商场、酒店、医院、数据中心、食品加工厂、化妆品制造厂、航空设备加工及研发基地、多处居民楼和办公楼, 其各建筑供冷季节、供暖季节耗能情况见表 1 和表 2, 各分布式能源投资运行成本参数以及功率约束见表 3, 燃气、供电、供热、供冷的分时价格见图 3, 政府补贴风力发电 0.28 元/kWh、光伏发电 0.42 元/kWh。

Table 1. Energy consumption characteristics of buildings
表 1. 建筑能耗特点[15]

建筑功能	用能需求	时间特性	建筑功能
商业建筑	采暖供冷空间、办公用电	连续运行	商业建筑
住宅建筑	采暖供冷空间、生活用电	间歇运行	住宅建筑
办公建筑	采暖空间、办公用电	日间运行	办公建筑
学校	采暖空间、办公用电	日间运行	学校
医院	采暖供冷空间、设备、办公用电	连续运行	医院
数据中心	采暖供冷空间、设备、办公用电	连续运行	数据中心
轻工业建筑	采暖供冷空间、办公用电	间歇运行	轻工业建筑
重工业建筑	采暖供冷空间、办公用电	连续运行	重工业建筑
地铁站	采暖供冷空间、照明	间歇运行	地铁站

Table 2. Daily cooling heating and electrical load of buildings
表 2. 建筑日冷/热/电负荷

建筑负荷	供冷季节日负荷			供暖季节日负荷	
	电负荷 MWh/d	热负荷 MWh/d	冷负荷 MWh/d	电负荷 MWh/d	热负荷 MWh/d
医院	289.1	3.664	169.2	396.1	320.8
学校	142.03	1.663	77.02	118.45	114.49
商场	346.19	4.008	200.04	296.8	232.27
酒店	38.37	2.949	61	37.396	29.59
数据中心	32.06	1.839	20.817	28.469	18.48
食品厂	53.893	3.179	16.168	49.315	33.06
化妆品厂	32.404	1.765	9.721	29.169	17.73
航空设备研发基地	107.42	8.546	25.993	95.477	85.536
办公楼	3.346/万 m ²	0.18/万 m ²	3.443/万 m ²	2.728/万 m ²	2.255/万 m ²
居民楼	2.45/万 m ²	0.20/万 m ²	3.774/万 m ²	2.082/万 m ²	4.422/万 m ²
地铁	21.979	1.574	18.118	19.48	11.688

Table 3. Parameters of distributed energy resource
表 3. 分布式能源参数

设备类型	额定容量/kW	初始投资/万	维修费用元/年	工程寿命/年	等值投资元/年	运维费用元/kWh
地源热泵	280	17.6	5280	20	16,223	0.04
燃气锅炉	300	24	7200	20	22,122	0.03
余热锅炉	200	28	8400	20	25,597	0.045
燃气轮机	400	20	6000	20	18,435	0.04
储热设备	100	10	3000	20	10,000	0.02
储电设备	50	2	600	5	5000	0.02
制冷装置	300	28.2	8460	10	39,535	0.048
光伏	1	2.5	750	20	2304	0.02
风机	10	8	2400	20	7374	0.02

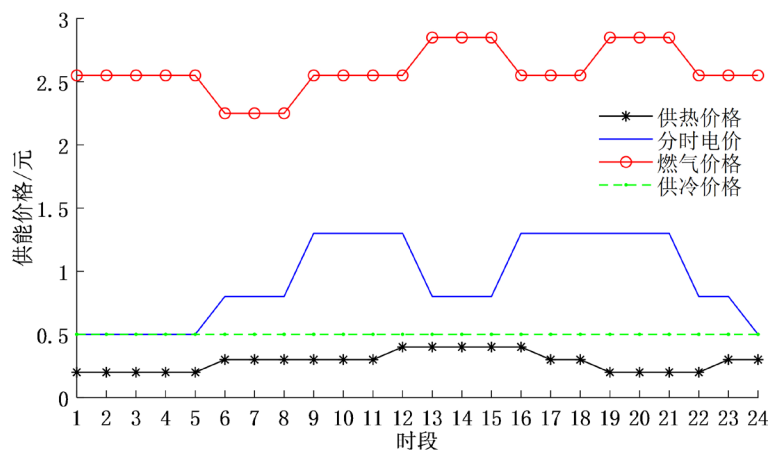


Figure 3. Time-of-use energy price
图 3. 供能分时价格

4.1. 基于区块划分的能源站分布

根据各建筑类型、地理位置和用能特性，对城区进行区块划分。学校与办公楼的用能特性相似，划分为同一区块；居民楼按地理位置划分为两个区块，与学校和办公楼相邻，可实现能源空域互补；商场与酒店位于市中心位置，划分为同一区块，实现区内用能时域互补；医院与数据中心属于一级负荷，划分为同一区块，增加备用容量，提高供能可靠性；食品加工厂与化妆品制造厂处于城区边缘，用能特性相似，划分为同一区块；航空设备加工及研发基地占地面积巨大，划分为一个区块。区域块规划结果如图 4 所示。

为实现各区块自平衡能力，在城区中配置 1 个分布式能源总站(风机、燃气锅炉、储电设备、储热设备)和 7 个分布式能源子站(光伏、CHP 系统、燃气锅炉、地源热泵、吸收式制冷装置、储热设备)分别为各区块供能。多能源系统能量流动如图 1 所示。

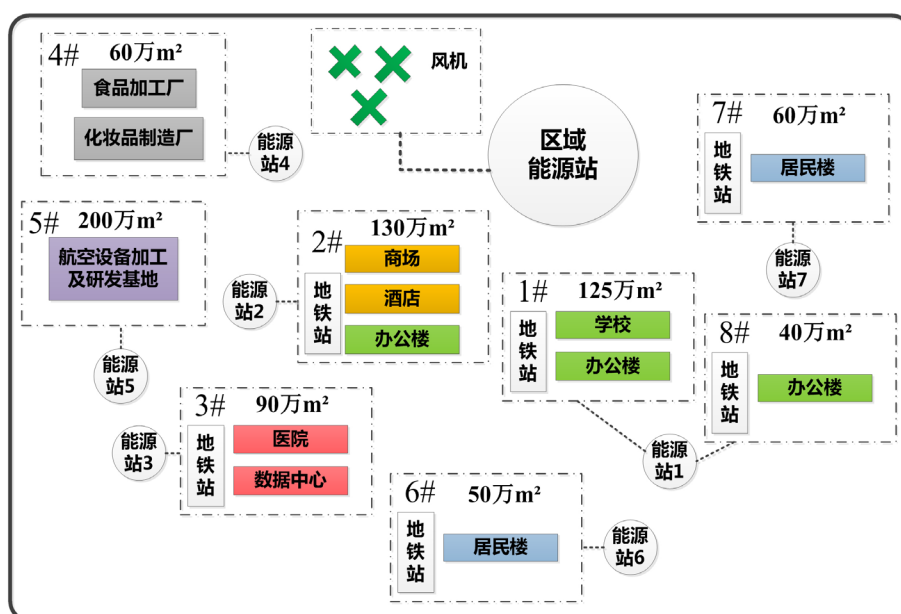


Figure 4. Programme of area blocks
图 4. 区域块规划图

4.2. 兼顾运行的多能源系统优化规划结果分析

本文提出的多能源系统优化规划模型,在考虑配置成本的基础上,兼顾规划方案在实际运行中的收益、碳排放量和一次能源消耗量,实现了多能源系统分层嵌套一体规划,得出各能源站优化配置规划方案如表 4 所示。对计及配置成本和运行综合效益的规划模型($\beta_2 = 0.164, \beta_3 = 0.4$)和仅考虑配置成本的规划模型($f_2 = 0$)进行比较,其各项指标对比如表 5 所示。

Table 4. Optimal sizing result of the energy stations
表 4. 各能源站优化配置规划方案

设备站	站 1/MW	站 2/MW	站 3/MW	站 4/MW	站 5/MW	站 6/MW	站 7/MW	总站/MW
燃气轮机	32	38	30.4	7.6	11.2	32.8	36	-
余热锅炉	5.6	8	7	1.2	2.4	4	5.4	-
燃气锅炉	7.8	7.2	6	0.6	1.5	5.7	6.9	6
地源热泵	9.24	12.32	9.52	1.4	2.24	6.72	9.24	-
储热设备	2.7	4.1	2.9	-	1.8	1	1	6
储电设备	-	-	-	-	-	-	-	9.4
光伏	1.97	1.5	1.63	2.01	1.99	2.98	2.98	-
风机	-	-	-	-	-	-	-	1.01
吸收式制冷装置	17.1	16.2	13.2	1.5	1.2	-	-	-

Table 5. The indexes comparisons between different optimal sizing methods
表 5. 不同规划方案各项指标对比

不同目标 的方案	供暖季节 运行收益元/季	供冷季节 运行收益元/季	年等值 投资费用元/年	净收益元/年	回收年限/年	碳排放量 kg/年	一次能源 消耗量 kg/年	需求侧响应 节省费用元/年
方案①	2.2512×10^8	2.0235×10^8	0.7801×10^8	3.4946×10^8	1.80	2.1147×10^8	1.0598×10^9	-
方案②	2.6015×10^8	2.2670×10^8	0.8425×10^8	4.0260×10^8	1.29	1.4164×10^8	7.9290×10^8	6.0961×10^6

由表 5 分析,方案①仅考虑配置成本,方案②计及配置成本和运行综合效益。在经济性指标方面,方案②由于配置过程中增加了对高节能、高环保设备和低运行成本设备的投资(风机、光伏、地源热泵),年等值投资费用增加了 6.24×10^6 元,但运行收益增加了 5.938×10^7 元,由于运行收益增量大于年等值投资增量,净收益增加了 5.314×10^7 元,成本回收年限缩短了 0.51 年。在环保性指标方面,方案②的碳排放量降低了 6.983×10^7 kg,折合成的经济效益为 2.095×10^6 元;在节能性指标方面,一次能源消耗量降低了 2.6690×10^8 kg,折合成的经济效益为 1.067×10^8 元。由此可见,计及配置成本和运行综合效益的规划方法与仅考虑配置成本的规划方法相比,其经济性、环保性和节能性都有明显的提高。方案②引入需求侧响应后,实现了“源-网-荷-储”协调策略,可削减负荷追踪可再生能源出力,增加了可再生能源的消纳,可平移负荷与储能设备配合,平滑了负荷曲线,降低了负荷峰值,减少了多能源系统购能费用,每年节省费用 6.0961×10^6 元。

5. 结论

综合考虑多能源系统配置成本和典型场景系统运行收益、碳排放量和一次能源消耗量,计及安全性和可行性约束,建立多能源系统优化规划数学模型。

1) 兼顾典型场景运行效益的多能源系统规划方案, 年净收益增加的幅值远大于年等值投资成本, 缩短了多源系统投资回收年限。

2) 在规划方案中考虑了系统运行的碳排放和一次能源消耗量, 大幅度降低了碳排放量和一次能源消耗量, 提高了多能系统的环保性和节能性。

3) 在需求侧响应的基础上, 通过“源-网-荷-储”协调策略, 跟踪风机和光伏出力, 平滑了负荷曲线, 降低了多能源系统购能成本。

参考文献

- [1] Rifkin, J. (2011) *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, Economy, and the World*. Palgrave MacMillan, New York, 46-48.
- [2] Stanislav, P., Bryan, K. and Tihomir, M. (2009) Smart Grids Better with Integrated Energy System. 2009 *IEEE Electrical Power & Energy Conference (EPEC)*, Montreal, QC, 22-23 October 2009, 1-8.
- [3] 曾鸣. 我国向清洁能源转型及其实现过程中的两个关键问题[N]. 国家电网报, 2014-09-26(1).
- [4] 曾鸣. 混合能源背景下的电力规划[N]. 上海证券报, 2014-10-16(A1).
- [5] 曾鸣, 杨雍琦, 武赓, 等. “源-网-荷-储”协调优化是构建能源互联网的关键[Z]. 电力系统自动化微文, 2015.
- [6] 曾鸣, 杨雍琦, 李源非, 等. 能源互联网背景下新能源电力系统运营模式及关键技术初探[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(3): 681-691.
- [7] Masood, E. and Ali, K. (2013) Sizing the Prime Mover of a Residential Micro-Combined Cooling Heating and Power (CCHP) System by Multi-Criteria Sizing Method for Different Climates. *Energy*, **54**, 291-301.
- [8] 肖小清, 阚伟民, 杨允, 等. 有蓄能的联供系统超结构优化配置[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(32): 8-14.
- [9] 吴利辉, 杨洪海, 吴植华. 三联供系统配置及运行策略的多目标优化分析[J]. 建筑热能通风调, 2012, 31(1): 16-18.
- [10] 荆有印, 白鹤, 张建良. 太阳能冷热电联供系统的多目标优化设计与运行策略分析[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(20): 82-87.
- [11] Yokoyama, R. and Ito, K. (2004) Optimal Design of Gas Turbine Cogeneration Plants in Consideration of Discreteness of Equipment. Capacities. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2004: Power for Land, Sea, and Air*, Vienna, 14-17 June 2004.
- [12] 甘霖, 陈瑜玮, 刘育权, 等. 含可再生能源的微网冷-热-电多能流协同优化与案例分析[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(6): 275-281.
- [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.
- [14] 段绍辉, 汪伟, 刘中胜, 等. 含光伏的冷热电联供微网系统优化调度方案[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25(4): 150-155.
- [15] 王艳艳. 基于可再生能源的城区建筑能源体系规划研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2015.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8763, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: sg@hanspub.org