

基于园区的综合能源系统仿真工具搭建及案例分析

邓茂云¹, 王毅², 屈博³, 于海波⁴

(1. 西南石油大学工程学院 四川 成都 610500; 2. 国网吉林综合能源服务有限公司 吉林 长春 130000; 3. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192; 4. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 首先, 介绍了基于园区的综合能源系统仿真工具整体架构和数据结构, 通过修正Matlab软件中的optimization优化工具箱提出综合能源系统核心优化方法。其次, 介绍了综合能源系统仿真工具的功能, 分别从数据采集、算法分析和应用展示几方面阐述系统功能。最后, 通过仿真工具建立天津某园区综合能源系统模型, 分别对典型夏季日和典型冬季日进行分析, 并模拟高负载率下该系统运行情况。

关键词: 综合能源; 仿真工具; 功能设计; 模拟

Research on construction of hybrid simulation tool system based on integrated energy system

DENG Maoyun¹, WANG Yi², QU Bo³, YU Haibo⁴

(1. College of Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2. State Grid Jilin Integrated Energy Services Co., Ltd., Changchun 130000, China; 3. China Electrical Power Research Institute, Beijing 100192, China; 4. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: First the overall architecture and data structure of the integrated energy system simulation tool based on the park are introduced, and the core optimization method of the integrated energy system by correcting the optimization toolbox in Matlab software is built. Secondly, the function of integrated energy system simulation tool is introduced, and the system function is expounded from the aspects of data acquisition, algorithm analysis and application display. At last, a comprehensive energy system model of a park in Tianjin is established by means of simulation tools. The typical summer day and typical winter day are analyzed respectively, and the operation of the system is simulated under high load rate.

Key words: integrated energy; simulation tool; functional design; simulation

0 引言

目前, 我国对于园区级综合能源系统集成及能源优化运行缺乏定量分析模型, 多数园区

设计容量冗余, 运行效率低下^[1], 设备选型与系统方案优化设计、系统优化调度以及系统综合效益分析与评价仍然不成熟^[2-6]。在政策推动下, 电、冷和热等二次能源的交易市场逐步形成, 综合能源服务公司数量呈现爆发式增长^[7-8]。

南充市科技战略合作专项 (NC17SY4003)

本文基于综合能源系统运行优化方法，构建面向园区能源规划的系统描述及优化仿真分析工具，从系统建模、负荷预测等方面仿真园区综合能源系统实时运行情况，为园区综合能源系统建设提供评估服务，为综合能源系统建设和运行提供决策依据。

1 综合能源系统仿真工具架构设计

1.1 整体构架

以用户为中心的综合能源服务系统需要借助云计算、信息通信、智能感知和大数据分析等技术与物理网络和信息通信控制网络相集成^[9]。综合能源系统仿真工具的整体架构包括采集层、网络层和应用层三层，基于统一的数据平台，实现任意时间段内的最优成本计算及综合能源系统各子系统输出曲线展示等功能。

(1) 采集层

综合能源系统仿真工具采集层包含数字量采集和模拟量采集。采集内容包含电气量、热工量和设备状态量。模拟量通过传感器采集电信号和热信号，并存储、分析，形成检测数据信息。数字量通过标准化的数据格式输入或者人工输入采集数据。

(2) 网络层

网络层是实现采集数据可靠、安全传输的基础，是连接采集层与上层应用的通道。网络层采用有线的方式，连接采集层与应用层。

(3) 应用层

应用层包含综合能源系统成本优化模型、光伏电池模型、风力发电模型、太阳能光热模型、蓄电池模型、储热箱和储冷箱模型、电锅炉模型、地源热泵模型、电制冷机模型、吸收式制冷机模型和燃气轮机模型，通过系统运行进行数据分析和展示。

1.2 数据架构

综合能源系统仿真工具的数据架构分为数据源、支撑数据和分析数据三层。数据源包含了从传感器上传的以及从其他现场导入的基础

数据；支撑数据基于数据源生成，进行初步数据筛选及格式校验，包含客户信息、历史数据和实时数据；分析数据是系统运行优化结果数据。输入数据的示例如图1所示。

图1 输入数据的示例

Fig. 1 Example of entering data

2 综合能源系统仿真工具功能设计

2.1 综合能源总体优化运行计算

仿真工具需输入文件名、仿真起始时间和模拟总天数，点击“运行仿真”。以某综合能源系统为例，起始时间选择2017年2月1日，总天数为1天，得到此种场景下最优的总成本，为71 559.859元，如图2所示。



图2 计算最优成本视图

Fig. 2 Calculating the optimal cost view

2.2 综合能源子系统运行情况分析 & 展示

以上述综合能源系统，起始时间为2017年2月1日，总天数为1天的场景为例，展示子系统情况视图如图3所示。子系统下拉菜单包括能源、冷负荷、热负荷、热水、电动冷水机、双工况（冷模式）、双工况（热模式）、电锅炉、地源热泵（热模式）、地源热泵（冷模式）、能量存储、热存储、冷存储以及热水存储。当选择能源菜单时，便会出现与图2类似的能源供需曲线，包括光伏（PV）、电网购电、向电网输出、电负荷需求以及价格的曲线。

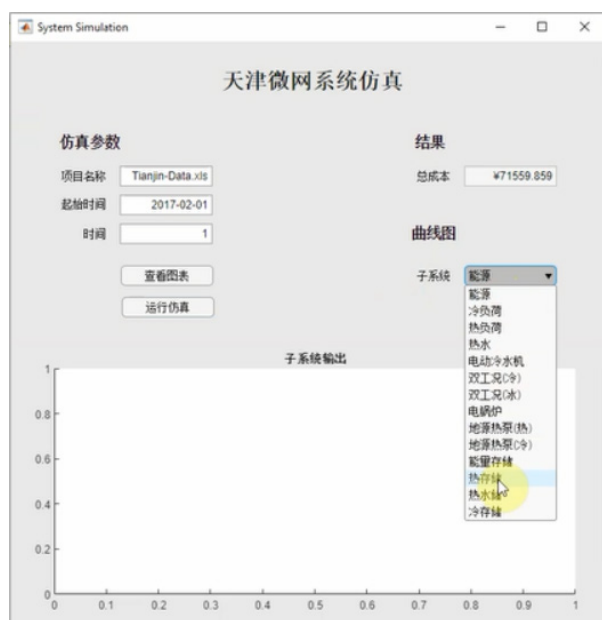


图3 展示子系统情况视图

Fig. 3 Showing subsystem situation view

3 案例分析

采用天津地区某产业园区案例进行仿真分析。项目一期工程共有10栋建筑单体，分两大功能区。生产核心区由研发一楼~四楼组成；后勤辅助区由研发五楼~十楼组成，主要是公共服务楼和5个换班宿舍。二期建筑有两栋建筑单体，主要是生产核心区。一期建筑面积为14.22万 m^2 ，除地下室不进行制冷、供暖外，其余建筑均需制冷、供暖，面积为11.563万 m^2 。配电容量为24 200 $\text{kV}\cdot\text{A}$ ，最大设计电负荷为13 878 kW ，最大设计冷负荷为13 000 kW ，最大设计热负荷

为7 600 kW ，最大设计热水负荷为3 200 kW 。

3.1 能源系统搭建

该园区综合能源网由8个子系统构成，包含光伏发电系统、光储微电网系统、地源热泵系统、冰蓄冷空调系统、蓄热式电锅炉系统、太阳能空调系统和太阳能热水系统等。综合能源系统结构如图4所示。

本文收集了案例综合能源系统从2017年1月1日~7月26日的每小时数据，总共近5 000 h的数据。

3.2 运行结果

3.2.1 典型夏季日概述

本文选取2017年7月20日数据作为典型夏季日，当日的园区风速、太阳辐射和温度如图5~图7所示，当日的用电负荷、供冷负荷、供热负荷和热水负荷如图8、图9所示。

当系统运行于夏季工况时，园区无热负荷需求，但仍有热水需求，能源综合系统只须满足用户的电、冷负荷。

(1) 供电设备日逐时出力情况

图10显示了典型夏季日供电设备日逐时最优出力曲线。针对典型夏季日园区太阳辐射和温度曲线，由于夏季气温和光照强度较强，光伏电池组能在光照较强的8:00~17:00输出电能，而其余时段电功率可忽略不计。

(2) 典型夏季日（常规需求）优化策略

图11显示了典型夏季日（常规需求）供电设备日逐时最优出力曲线，一台冷模式热泵与一台冰模式双制冷机共同满足用户的冷负荷。其中，冷模式热泵大部分时段保持高负载运行状态，冰模式双制冷机分别在5:00~9:00时段和13:00~19:00时段高负载状态运行。

3.2.2 典型冬季日概述

本文选取2017年2月1日数据作为典型冬季日，当日的用电负荷、供冷负荷、供热负荷和热水负荷如图12、图13所示。

当系统运行于冬季工况时，园区无冷负荷需求，热水需求强烈，能源综合系统只须满足

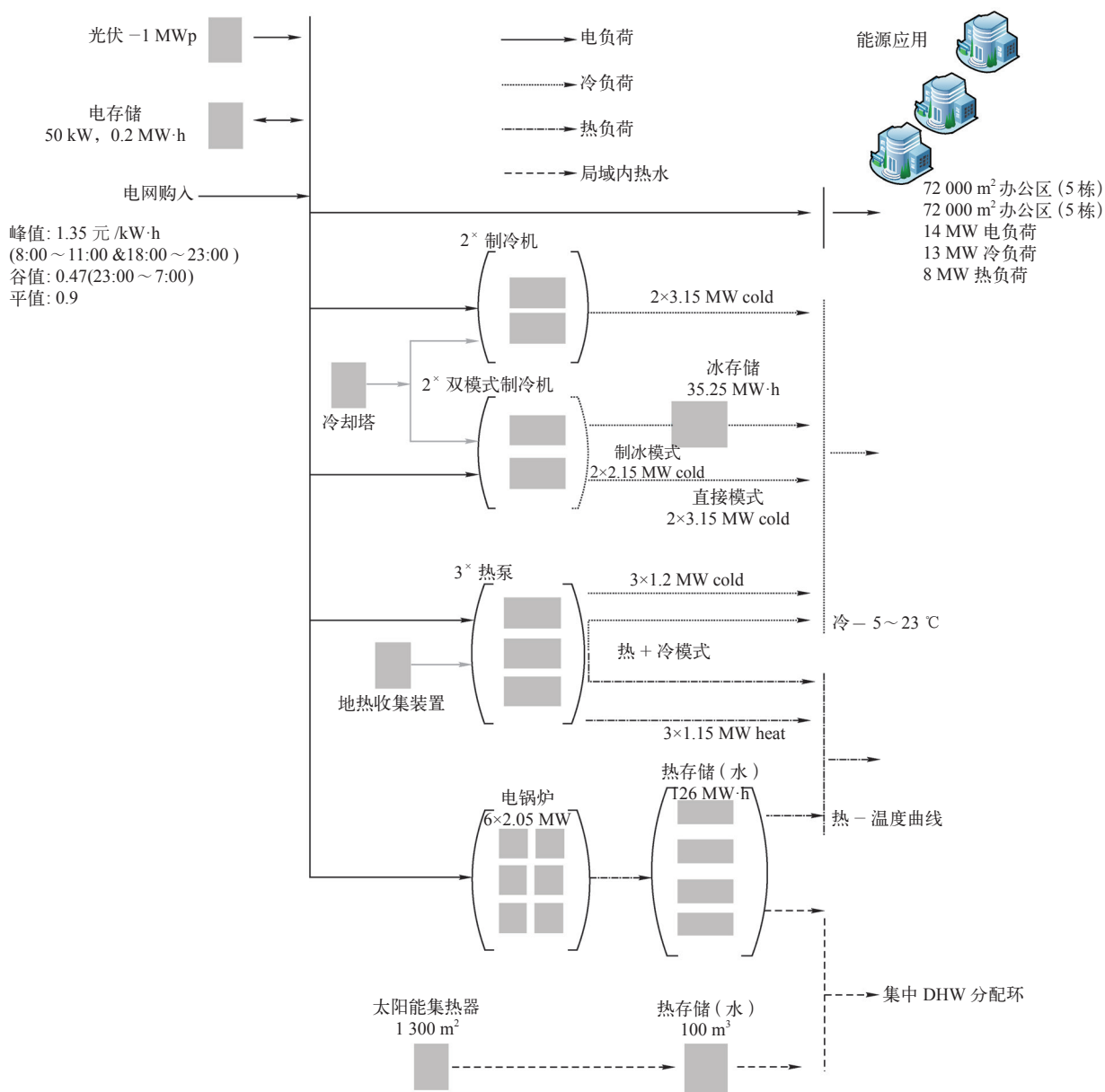


图4 综合能源系统结构

Fig. 4 Integrated energy system structure

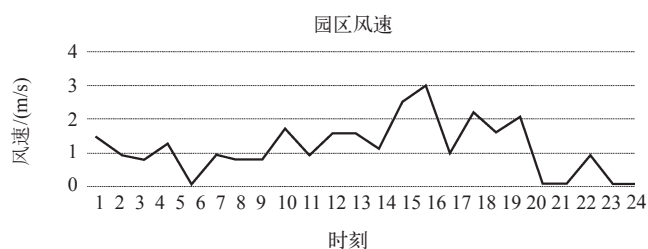


图5 典型夏季日园区风速

Fig. 5 Typical summer day park wind speed

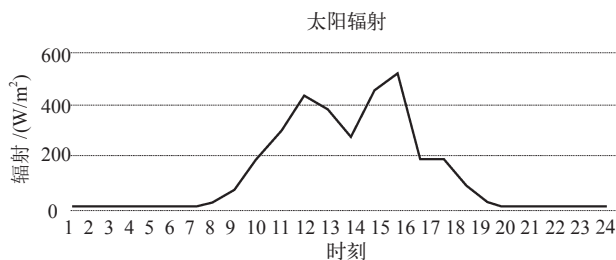


图6 典型夏季日园区太阳辐射

Fig. 6 Typical summer day park solar radiation

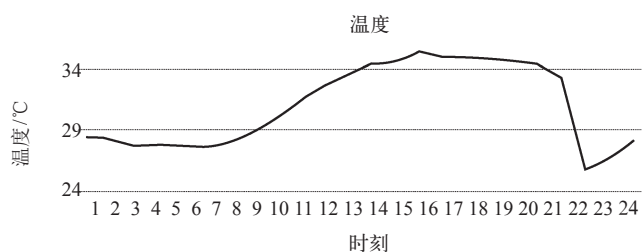


图7 典型夏季日园区温度

Fig. 7 Typical summer day park temperature

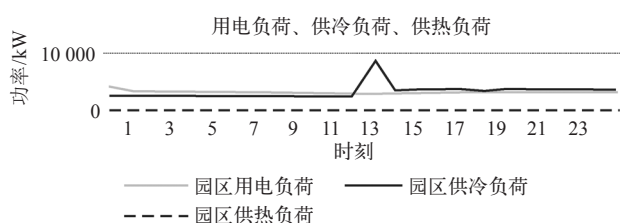


图8 典型夏季日园区用电负荷、供冷负荷和供热负荷

Fig. 8 Typical summer day park power load, cooling load, heating load



图9 典型夏季日园区热水负荷

Fig. 9 Typical summer day hot water load in the park

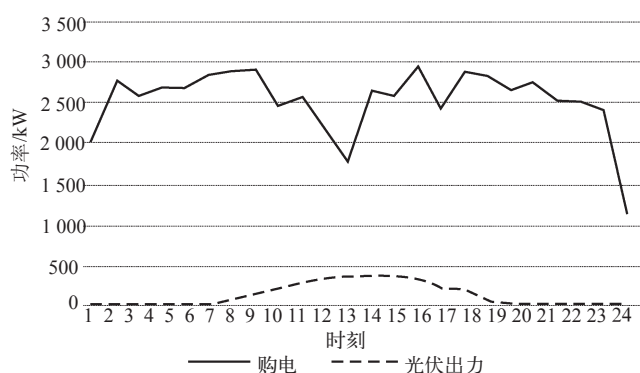


图10 典型夏季日供电设备日逐时最优出力曲线

Fig. 10 Hourly optimal output curve of typical summer day power supply equipment

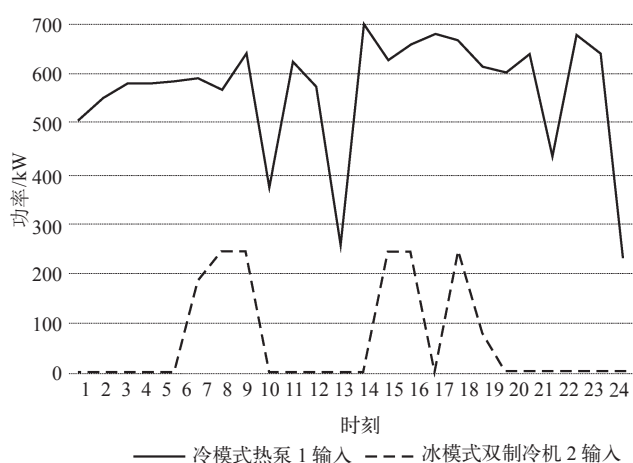


图11 典型夏季日供电设备日逐时最优出力曲线

Fig. 11 Hourly optimal output curve of power supply equipment on typical summer day (conventional demand)

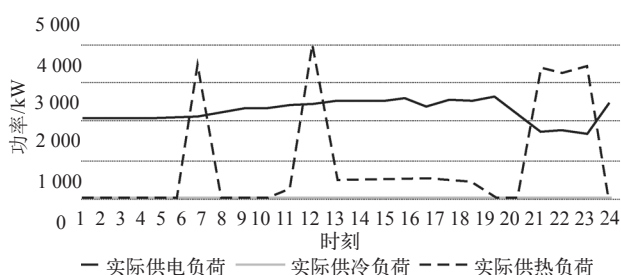


图12 典型冬季日园区用电负荷、供冷负荷和供热负荷

Fig. 12 Typical winter day park power load, cooling load, heating load

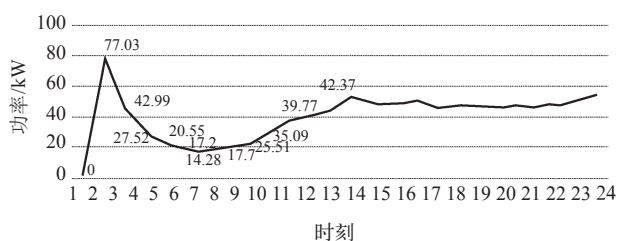


图13 典型冬季日园区热水负荷

Fig. 13 Typical winter day park hot water load

用户的电、热负荷以及热水负荷。

(1) 供电设备日逐时出力情况

图14显示了典型冬季日供电设备日逐时最优出力曲线。针对典型冬季日园区太阳辐射和温度曲线,由于冬季气温和光照强度较弱,光伏电池组能在光照较强的9:00~17:00输出电能,而其余时段电功率可忽略不计。

(2) 典型冬季日 (常规需求) 优化策略

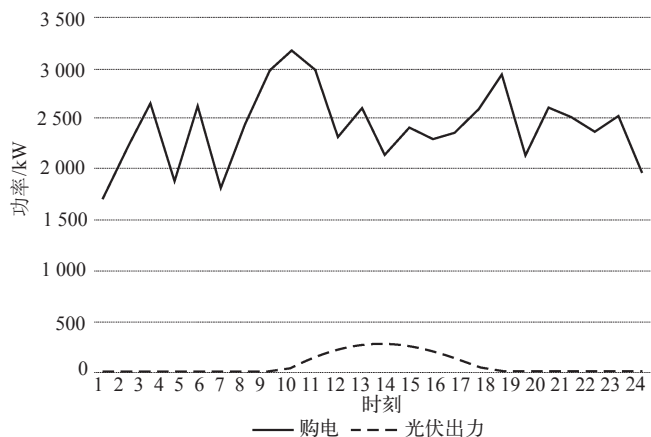


图14 典型冬季日供电设备日逐时最优出力曲线

Fig. 14 Hourly optimal output curve of typical winter day power supply equipment

图15显示了典型冬季日 (常规需求) 供电设备日逐时最优出力曲线, 仅需要一台热模式热泵满足用户的热负荷。

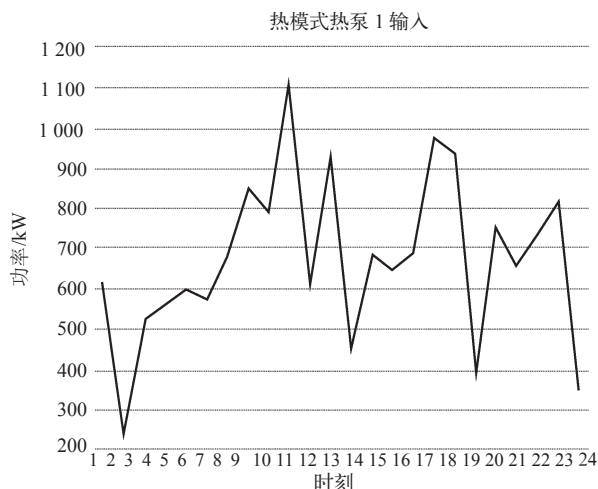


图15 典型冬季日供电设备日逐时最优出力曲线

Fig. 15 Hourly optimal output curve of power supply equipment on typical winter day (conventional demand)

4 结束语

本文搭建了综合能源系统混合仿真工具系统。首先, 介绍了综合能源系统混合仿真工具系统的整体架构和数据架构, 通过修正Matlab软件中的optimization优化工具箱来搭建综合能源系统核心优化方法。其次, 介绍了综合能源系统混合仿真工具系统的建设功能, 分别从数据采集、算法分析和应用展示几方面阐述系统

功能。最后, 本文以天津综合能源系统为例进行案例分析, 分别对典型夏季日和典型冬季日进行分析, 提出不同场景下的优化策略, 为综合能源系统建设和运行提供决策依据。

参考文献

- [1] 华贲. 低碳时代的中国城市能源规划[J]. 建筑科学, 2010(12): 1-6.
- [2] 王成山, 洪博文, 郭力, 等. 冷热电联供微网优化调度通用建模方法[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(31): 26-33.
- [3] 余晓丹, 徐宪东, 陈硕翼, 等. 综合能源系统与能源互联网简述[J]. 电工技术学报, 2016, 31(1): 1-13.
- [4] WANG J J, JING Y Y, ZHANG C F. Optimization of capacity and operation for CCHP system by genetic algorithm[J]. Applied Energy, 2010, 87(4): 1325-1335.
- [5] 胡小坚, 张雪梅, 蔡路茵. 冷热电三联供系统(CCHP)的优化研究进展[J]. 能源研究与管理, 2010(2): 13-16.
- [6] 王进, 李欣然, 杨洪明, 等. 与电力系统协同区域型分布式冷热电联供能源系统集成方案[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(16): 16-21.
- [7] 龙惟定. 建筑节能管理的重要环节—区域建筑能源规划[J]. 暖通空调, 2008(3): 31-38.
- [8] 何礼鹏, 李琳玮, 郭子暄, 等. 基于双层优化的季节旅游岛综合能源定容方法研究[J]. 电力需求侧管理, 2019, 21(2): 24-29.
- [9] 李扬, 宋天立, 王子健. 基于用户数据深度挖掘的综合能源服务关键问题探析[J]. 电力需求侧管理, 2018, 20(3): 1-5.

作者简介



邓茂云

邓茂云 (1964—), 男, 副教授, 从事互联网+能源的研究工作。

(收稿日期: 2019-06-25) **EA**