

多能优化调度在智慧能源管控平台中的应用

张 舵¹, 马 超¹, 李嘉逸²

(1. 中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021;

2. 中国电力工程顾问集团智能电网技术中心, 四川 成都 610021)

摘 要: 综合能源系统对于提高能源利用效率、节能减排、加强能源安全、优化能源结构方面起到积极作用。结合新型智慧能源运营公司配用售一体化管理以及综合能源管控的实际业务需求, 分析区域智慧能源管控平台的物理架构、功能需求, 并指出平台开发中所应用的关键技术。在考虑智慧园区多能平衡、多样化用户需求和多变场景的基础上, 介绍面向智慧园区的综合能源能量管理系统架构及功能, 并且建立了智慧园区日前经济优化调度模型, 给出了最优调度运行结果。

关键词: 综合能源系统; 多能优化调度; 实时调度; 能源服务; 智能运维

中图分类号: TM315 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2019)05-0005-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.05.002

Application of Multi-energy Scheduling Optimization to Smart Energy Control Platform

Zhang Duo¹, Ma Chao¹, Li Jiayi²

(1. Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd., CPECC, Chengdu 610021, Sichuan, China;

2. Research & Development Center for Smart Grid, CPECC, Chengdu 610021, Sichuan, China)

Abstract: Integrated energy system plays an active role in improving energy efficiency, energy saving and emission reduction, strengthening energy security and optimizing energy structure. The physical architecture and functional requirements of the regional intelligent energy management and control platform are analyzed, and the key technologies used in the platform development are pointed out. Finally, considering the multi-energy balance in diversified user needs and changeable scenarios, the integrated energy management system and its functions are introduced. A 24-hour economic optimization model has been established to demonstrate the most economic way of energy dispatching.

Key words: integrated energy system; multi-energy scheduling optimization; real-time scheduling; energy service; intelligent operation and maintenance

0 引 言

国家电网公司在 2019 年工作会议中指出, 要聚焦建设世界一流能源互联网企业, 推动公司转型升级, 打造“三型”(枢纽型、平台型、共享型)企业, 建设运营“两网”(坚强智能电网、泛在电力物联网)^[1], 并将综合能源服务作为主营业务, 积极推进综合能源服务业务发展。

综合能源系统利用化石燃料(以天然气为主), 通过微型燃气轮机、余热锅炉、燃气锅炉和制冷装置, 实现发电、制冷、供热, 使得能源多级利用并以此

提高能源利用效率, 综合能源利用效率在 90% 以上, 明显优于传统集中式发电厂效率。综合能源系统的核心问题包括对终端能源单元系统的管理以及其如何处理与传统社会供能系统的协调配合^[2]。

1 智慧能源系统的实现形式

在能源互联网能量管理系统的研究和建设方面, 美国 FREEDM 中心、普渡大学和加州大学伯克利分校^[3]提出能源互联网的体系结构。该理论以骨干大电网、局域网等网络关联为研究对象, 强调借鉴互联网开放的思想及理念提出了新型的能源网。

德国提出的“E - Energy”^[4]计划强调将信息网络定位为能源互联网的支持决策网,在现有电力能量管理系统的基础上增加通信宽带以及信息收集、分析和决策,从而指导能源网络的运行调度。日本提出“intenergy”^[5]的概念,强调互联网技术和能源网络的深度融合,采用集中式和分布式耦合的分层递阶的能量管理系统。在中国,目前清华大学能源互联网研究院提出融合了信息网和能源网的能源互联网架构,并采用能量路由器作为其核心单元^[6]。“energy hub”是瑞士联邦理工学院研究团队基于计算机科学中集线器的概念,用以刻画多能耦合单元的关系模型。在该模型中能量耦合单元被称为能源集线器,负责能源的耦合与转换(冷、热、电),它是对现有各类综合能源单元方案的一种高度的抽象化。

2 智慧能源综合管控平台

随着多能源互联程度的不断提高以及配售电业务市场次第放开,多能源的联合供给将成为未来能源服务商(拥有配电网资产的售电公司)抢夺终端用户的主要竞争手段。如何实现多种能源供应、用户需求管理、设备运维、生产调度等多种功能需求的一体化管控,将是未来售电公司急需解决的问题。

相比于电网公司、发电公司、设备厂家,电力设计院除具有包括电源、电网、技经、系统、通信、计算机等完备的专业体系以及涵盖电力系统整体与分项工程从规划、设计、施工、运营、调控的工程经验之外,还与电力系统各利益相关方(政府、发电企业、电网企业、售电公司、交易中心、调度中心、科研院所)都具有良好关系,位置中立,经常与各方合作,既熟悉政策又明白各方需求,同时还有一定的科研开发能力,具备开发一套发供配用售营一体化综合管控平台的基础条件。

2.1 系统架构

智慧能源管控平台是提供以需求为导向的数据挖掘与精准服务应用,通过开发相关工具与产品,提升与客户的互动参与度,为项目提供从规划设计到调度运维的全生命周期增值服务的大数据平台。平台可支持统计分析、数据挖掘、机器学习、边缘计算等技术,为平台用户提供用能预测、潜在客户分析、设备故障感知与预警、能效提升、风光储新能源消纳评估以及需求侧响应柔性负荷评估等多元化的综合

能源服务。

智慧能源综合管控平台是基于大数据平台技术,由多个分布式子站系统集成的综合能源大数据处理云平台,图 1 展示了智慧能用管控平台的功能架构,该平台由数据仓库模块、算法引擎模块、功能组件模块、应用方案以及应用业务组成,可提供智慧能源大容量的数据存储、查询、分析、应用等功能。

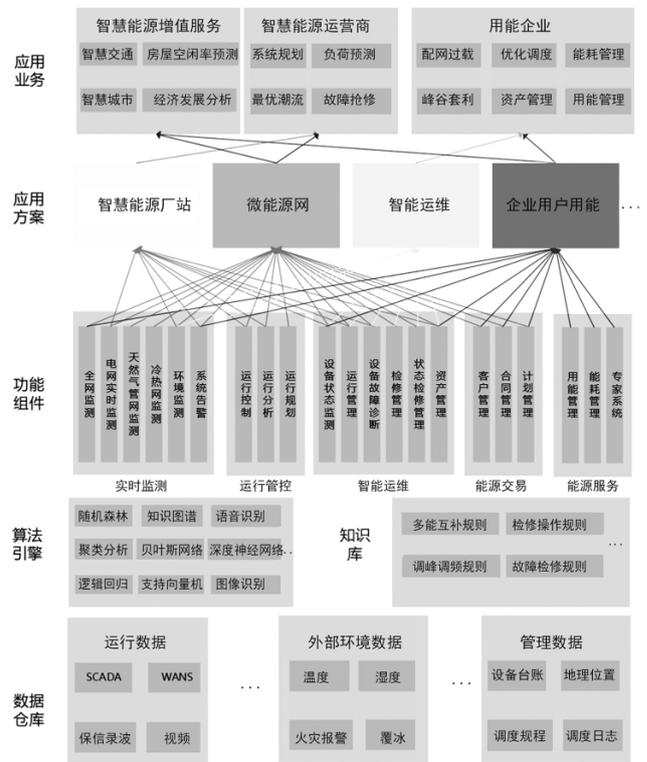


图 1 智慧能源管控平台功能架构

通过“数据 + 规则”的训练方式实现对历史数据的学习和规则的理解,模拟政府、智慧能源发输配售企业、用户等的思维决策,提供负荷预测、新能源出力预测、多能优化互补、能耗分析等服务。平台可实现的功能如下:

- 1) 多能流信息可监控。将电、水、气、热多能信息统一采集处理;光伏、储能等多能源系统深度耦合;能源生产使用消费统一管控,实现能源生产和使用的友好互动。
- 2) 全寿命周期可管理。从项目的长期经济利益出发,全面考虑项目的规划、设计、建设、运行、检修、更新或改造。
- 3) 多源数据可挖掘。通过深度学习等大数据挖掘手段对智慧能源系统进行诊断、优化和预测。
- 4) 根据用户需求,平台主要功能及业务模块可

定制,可自由组合,可集成,也可分散。

2.2 功能组件

主要功能组件如下^[6]:

1) 多能流实时监测。平台能对所监控园区内多个分布式能源厂站如光伏发电、风力发电、冷热电三联供厂站、储能站、电动汽车充(换)电站等场景,以保证供电(冷热)安全性、经济性为目标,可提高电站发电(供热)效益,最大限度提高厂站监控、运维水平。

2) 多能优化调度。平台将所得到的能源系统数据进行动态模拟,优化调度运行,合理安排调度计划,促进多能耦合及转化能力,实现多能互补和能源综合利用。

3) 能源销售一体化管理。系统打通传统业务相互隔离的信息壁垒,通过数据集成及信息融合,实现发配用一体化管理。

4) 智能运维。通过科学合理的安排检修工作,以最少的资源保持设备的安全、经济、可靠的运行能力。

5) 智慧能源增值服务。能够利用其大规模存储、数据分析以及可视化展示等相关技术从海量数据中获取有价值的信息,更好地支撑智慧能源的建设。

3 多能优化调度策略

运行管控策略可分为启发式调度策略和优化调度策略两种类型,其中优化策略又可分为混合目标优化和日前经济调度优化。启发式调度策略以事先拟定的设备启停优先级制定运行规则,该优先级不随系统的运行环境发生改变;其中,日前优化策略以经济性最优为目标,通过日前调度区域内各供能设备(光伏、燃气轮机、燃气锅炉、溴化锂制冷机、蓄热蓄冷设备)的运行方式和出力,可以降低系统的日运行费用并保持区域内的排放最优。

1) 启发式调度模式

作为综合能源系统中最常见的两种调度策略,“以电定热”和“以热定电”模式在应用场景和研究对象的差别较大。文献[7]将提升能源利用效率为目标,将集成边界(IPC)为约束,通过楼宇型冷热电三联供系统证明了控制策略的可行性。文献[8]以热电联供系统为研究对象,不同热电比下系统运行

状态,并找出了最优热电平衡点下的最大经济和节能效益。

2) 日前优化模式

要保证冷热电混合能源系统能够高效地正常运行,必须对系统控制中心下发日前调度运行计划,该计划类似电网日前发电计划。在日前调度运行计划中,以日前经济优化调度的研究最多。文献[9]面向商务楼宇型冷热电混合能源系统,以系统的日运行费用最小为优化目标建立了系统的日前优化调度模型,结果表明通过应用所提调度策略,该商务楼宇系统可节约11%的年运行费用,同时减少8%的年碳排放量。

4 多能优化调度模型

园区智慧能源系统包括热、电和气3种能源形式,具有负荷种类多样、供能设备丰富的特点。下面在MATLAB环境下对多种供能设备(含电储能)进行建模,采用CPLEX求解混合整数规划问题,并建立智慧能源系统日前经济优化调度模型。

基于某工业园区分布式能源站工程的系统供能架构及边界条件,建立智慧园区系统日前经济优化调度模型,模型的输入包括热电联产机组、燃气锅炉、蓄电池、光伏、风力发电机设备型号及容量,还包括购电价格、电热负荷、风速和光照强度,如图2所示。

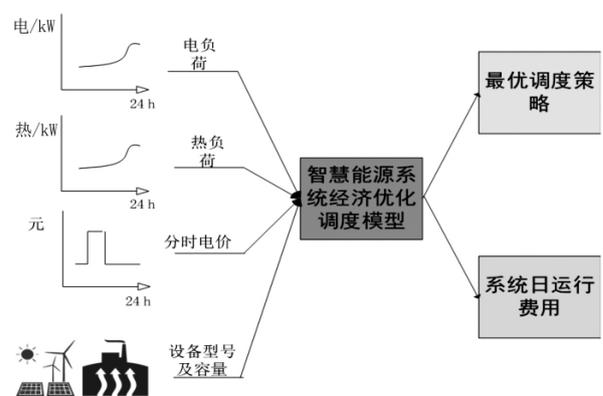


图2 日前经济优化调度运行模型框架

在建立多种设备数学模型的基础上,考虑购电电价影响,建立系统的经济性优化目标函数,通过求解经济优化模型,达到合理制定运行策略的目的。假设系统的设备出力是连续变量,并且在优化运行期间无故障导致设备停运。

4.1 目标及约束

1) 目标函数

使智慧能源系统日运行费用最小的目标函数为

$$\min C_{\text{ost}} = \min(C_{\text{grid}} + C_{\text{fuel}}) \quad (1)$$

式中: C_{grid} 为与电网交互的功率费用; C_{fuel} 为燃料费用。

2) 约束条件

约束条件包括功率平衡约束、设备容量约束及设备运行约束。

$$\sum_{i=1}^{n_{\text{CHP}}} P_i^l + \sum_{i=1}^{n_{\text{distrib}}} P_{\text{distrib}}^l + P_{\text{Grid}}^l + P_{\text{stor}}^l = P_{\text{Load}}^l \quad (2)$$

式中: P_i^l 为第 i 个微型燃气轮机的发电功率; P_{distrib}^l 为分布式发电设备功率; P_{Grid}^l 为与购电的功率; P_{stor}^l 为储能电池的功率; P_{Load}^l 为电负荷。

$$\sum_{i=1}^{n_{\text{CHP}}} Q_i^l + \sum_{i=1}^{n_{\text{boiler}}} Q_{\text{boiler}}^l = Q_{\text{load}}^l \quad (3)$$

式中: Q_i^l 为第 i 个微型燃气轮机通过余热锅炉回收的热值; Q_{boiler}^l 为第 i 个燃气锅炉的产热值; Q_{load}^l 为热负荷。

对于微型燃气轮机:

$$P_i^{\min} \leq P_i^l \leq P_i^{\max} \quad i \in n_{\text{CHP}} \quad (4)$$

对于燃气锅炉:

$$0 \leq H_{\text{boiler}}^l \leq H_{\text{boiler}}^{\max} \quad i \in n_{\text{boiler}} \quad (5)$$

对于蓄电池:

$$S_{\text{stor}}^{\min} \leq S_{\text{stor}}^l \leq S_{\text{stor}}^{\max} \quad (6)$$

式中, S_{stor}^l 为蓄电池的荷电状态。

4.2 算例场景及边界条件设定

系统采用自发自用,并网不上网原则。主要设备有燃气轮机、余热锅炉、燃气锅炉、蓄电池、分布式光伏发电系统及分布式光伏发电系统。该系统通过一个公共并网点和电网交换电力,在电力系统供应不足时向国网购电,在系统电力富余时向储能系统充电,储能电池选用磷酸铁锂电池组。

按照当前电价,设定容量电价和功率电价为 0,电度电价采用分时电价。丰枯季节、峰谷时段划分,即丰水期为 6 至 10 月,枯水期为 1 至 4 月、12 月,平水期为 5 月、11 月。销售侧丰枯电价调整为枯水期电价上浮 5%,丰水期电价下浮 5%。峰谷分时浮动电价继续按高峰时段在丰枯浮动基础上上浮 50%,低谷时段在丰枯浮动基础上下浮 50%。该地区天然气价和不同季节、不同时段的电价如表 1 所示。

算例中的相关参数如表 2、表 3 所示。

4.3 仿真与结果

通过求解经济优化调度模型,得到该智慧能源系统各类供能及储能设备的调度计划和各类负荷平衡曲线,见图 3。

表 1 园区购电电价(丰、枯、平期)

价格类型	价格 / (元/kWh)	时间段
容量电价	0	
功率电价	0	
电度电价(丰)	0.374 6	23:00 - 7:00
	0.749 2	11:00 - 19:00
电度电价(枯)	1.123 8	7:00 - 11:00, 19:00 - 23:00
	0.410 2	23:00 - 7:00
电度电价(平)	0.820 3	11:00 - 19:00
	1.230 5	7:00 - 11:00, 19:00 - 23:00
天然气	0.394 3	23:00 - 7:00
	0.788 6	11:00 - 19:00
	1.182 9	7:00 - 11:00, 19:00 - 23:00
天然气	1.8 元/Nm ³	

表 2 功能设备参数

设备	机组数量 /台	参数	功率 /MW
燃气轮机 + 余热锅炉	2 台	额定发电(供热)	14.4
		最小发电(供热)	3.9
燃气锅炉	2	额定供热	14
		最小供热	4.2
光伏		额定发电	3
风电		额定发电	0.3
储能		额定	2

表 3 储能设备参数

可用容量 /kW	最大充电功率 /kW	充放电成本 /(次/元)	DOD	初始荷能状态
2857	500	1300	0.7	0.3

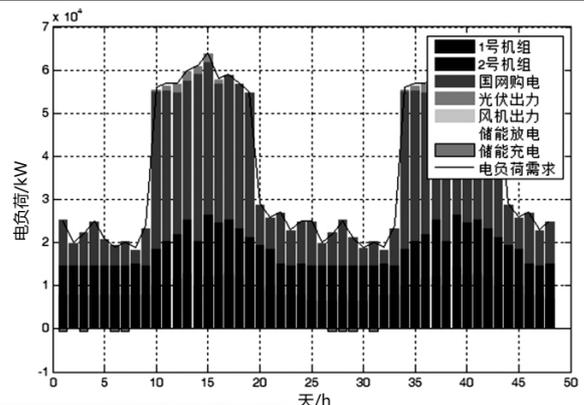


图 3 电负荷平衡日前优化调度设备出力曲线

由图3可知,系统在电价较低时段0:00-7:00启动储能系统充电,同时燃气轮机开始工作,以满足系统的电负荷需求;光伏在10:00-17:00进入可发电时刻,光伏按照预测出力满发,以减少系统内的电力供应需求。在0:00-24:00向国网购电以弥补系统发电不足,其中在7:00-20:00由于受燃气轮机最大出力限制,此时段外购电量约占全天的70%,同时储能系统在此时向系统放电,以赚取峰谷价差。

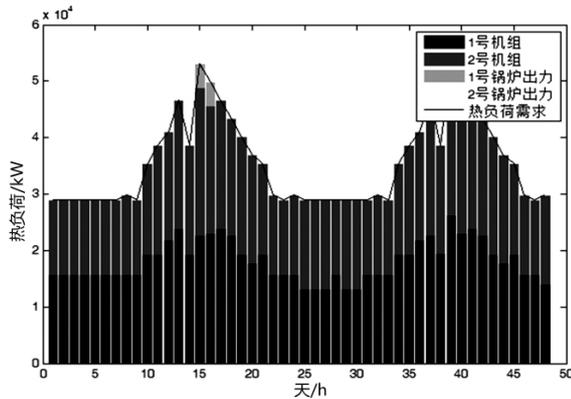


图4 热负荷平衡日前优化调度设备出力曲线

由图4可知,系统的蒸汽热负荷需求由余热锅炉及燃气锅炉提供,在0:00-7:00时,燃气轮机处于低负载率运行,在8:00-21:00时,燃气轮机处于高负载率运行,同时为了满足高峰负荷需求,在16:00-18:00时1号燃气锅炉开启。

综上,优化后的供能方案可以满足智慧园区能源系统的全部能源需求,系统未出现弃风、光和弃热现象。表4给出了系统优化前后的日运行费用对比。

表4 不同调度策略下系统日运行费用

控制策略	日运行费用/元
优化后	220 947.21
未优化(仅采用燃气轮机+燃气锅炉供能)	328 562.84

其中,优化后的系统采用所提的调度策略,日运行费用为220 947.21元;未优化是指系统的电负荷全部由公共电网接入,热负荷由燃气机组和燃气锅炉提供,日运行费用为328 562.84元。系统在使用了优化调度策略后可以使运行费用降低32.7%,因此通过智慧能源系统内各供能设备的运行方式和出力,可以显著降低系统的日运行费用,实现智慧能源系统的经济优化运行。

5 结 语

由仿真结论得知,多能优化调度功能可显著降低系统日运行费用。多能优化调度作为智慧能源系统的核心功能,可有效提高系统的能源利用效率、促进资源的优化配置以及提高运行经济性。

智慧能源管控平台的建设,首先应搭建多能互补的智慧能源基础设施网络,监测并上传智慧能源系统的运行、环境及基础数据,实现数据集成与数据传输;之后建立广泛参与的“泛在能源物联网”;最后通过培养多样化的能源商业新模式,实现业务与方案的统一。

参考文献

- [1] 李征. “三型两网”建设需打破创新瓶颈[EB/OL]. 中国电力新闻网, 2019-03-04. http://www.cpn.cn/cn/cpn_zt/2019-1h/1hft/201903/t20190308_1124638.html.
- [2] 王成山,王守相. 分布式发电供电系统若干问题研究[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(20): 1-4.
- [3] Vermesan O, Blystad L C, Zafalon R, et al. Internet of Energy - connecting Energy Anywhere Anytime [M]. Springer Berlin Heidelberg, 2011: 33-48.
- [4] Boyd J. An Internet-inspired Electricity Grid[J]. IEEE Spectrum, 2013, 50(1): 12-14.
- [5] 曹军威,孟坤,王继业,等. 能源互联网与能源路由器[J]. 中国科学: 信息科学, 2014(6): 714-727.
- [6] 刘长运,王庆平,李博. 区域能源综合管控系统的研究与设计[J]. 新技术新工艺, 2017(9): 26-30.
- [7] Geidl M, Klokl B, Koeppl G, et al. Energy Hubs for the Futures [J]. IEEE Power & Energy Magazine, 2007, 5(1): 24-30.
- [8] 任洪波,吴琼,任建兴. 基于需求侧视角的天然气分布式热电联产系统节能效益研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(17): 4430-4438.
- [9] Fang Wang. A Novel Optimal Operational Strategy for the CCHP System Based on Two Operating Modes [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2012, 27(2): 1032-1041.

作者简介:

张 舵(1988), 硕士, 工程师, 研究方向为智能电网技术、电力系统继电保护等。

(收稿日期: 2019-04-11)