

“多能互补”技术发展与应用

章 凯¹, 陈 博²

(1. 中国电建集团 西北勘测设计研究院有限公司, 西安 710065; 2. 中国石油长庆油田分公司 第五采油厂, 西安 710200)

摘要:随着可再生能源、储能等产业的蓬勃发展,能源生产消费进入了多元化时代,“多能互补”成为能源可持续发展的新潮流。介绍了多能互补的含义、模式,提出了多能互补的主要方式,并就其应用情况提出了相关典型案例。

关键词:多能互补;清洁能源;风(光)电;微电网

中图分类号:TK01 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2018)11-0092-08

能源是国民社会发展的重要物质基础,在世界经济深度调整期,新一轮能源革命蓄势待发。在“和平、发展”大环境主题下,中国经济长期而稳定的向好的形势没有改变,但提质增效、转型升级的需求更加紧迫,能源发展面临多重挑战。

一方面,由于风电和光电具有波动性、间歇性、随机性等特点,而电力系统调峰能力却不足,调度运行和调峰成本补偿机制不健全,暂时难以适应大规模新能源电力并网消纳需求,“弃风(光)”限电现象严重,新能源消纳问题突出;另一方面,随着我国能源系统转型升级和能源革命的推进,能源整体需求放缓,能源大系统中不平衡、不协调、不可持续的问题尤为突出,能源供给暂时难以很好地适应能源消费季节性与波动性变化。

十九大报告指出,要“建立健全绿色低碳循环发展的经济体系”,“壮大节能环保产业、清洁生产产业、清洁能源产业。推进能源生产和消费革命,构建清洁低碳、安全高效的能源体系”。毫无疑问,多能互补将是提高综合能效、促进能源转型的重要能源投资项目。因此,大力推行多种能源互补运行,不仅有利于促进新能源消纳,增强能源供需协调能力,而且可以提高能源综合利用效率,推动清洁、低碳环保、安全高效的现代能源体系建设。

多能互补的定义:它是指按照不同资源条件和用能对象,采取多种能源互相补充,以缓解能源供需矛盾,合理保护利用自然资源,同时获得良好的环境效益的用能方式。目前情况下,可以参与作为多能互补典型构成要素如图1所示。

1 多能互补发展历程

多能互补相关技术一直受到世界各国的重视,不同国家往往结合自身需求和特点,各自制定适合自身的综合能源发展战略。国内专家学者也进行了大量研究。

中国科学院的路甬祥等人^[1]讨论了分布式可再生能源和智能微网在能源结构调整和转变中的意义、作用和发展潜力;上海交通大学的艾芊等人^[2]选取能源互联网在多能互补集成优化方面的关键技术为对象进行了研究;钟迪等人^[3]以多能互补能源综合利用中的关键技术研究现状和发展趋势进行了研究;陈铮等人^[4]从多能互补集成优化发展和前景等方面进行了研究;王社亮等人^[5]研究西北地区多能互补,建立了相对系统、完善的多能互补理论体系与研究方法;谭忠富等人^[6]阐述了多能互补系统在我国能源变革中的地位,指出了适应能源系统形态演变规律的多能互补发展的关键技术;艾斌等人^[7]研究提出利用CAD进行风光互补发电系统优化设计的方法;茆美等人^[8]提出了风光发电系统变结构仿真模型;彭军等人^[9]调研了内蒙古自治区锡林郭勒盟苏尼特右旗牧区户用型可再生能源发电系统使用情况,并提出了相关建议;孙可等人^[10]研究了微型燃气轮机系统在分布式发电中的应用。

随着研究的逐步深化,多能互补项目逐渐拉开了示范建设的大幕,2000年中国长江源自然保护区安装了独立运行的风光互补发电系统(容量为1 000 W/400 W_p);2004年华能南澳54 MW/100 kW_p风光互补发电场成功并网,成为中国第一个正式商业化

收稿日期:2018-07-26

作者简介:章凯(1982—),男,陕西西安人,中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司,工程师,学士学位,研究方向:新能源发电设计。

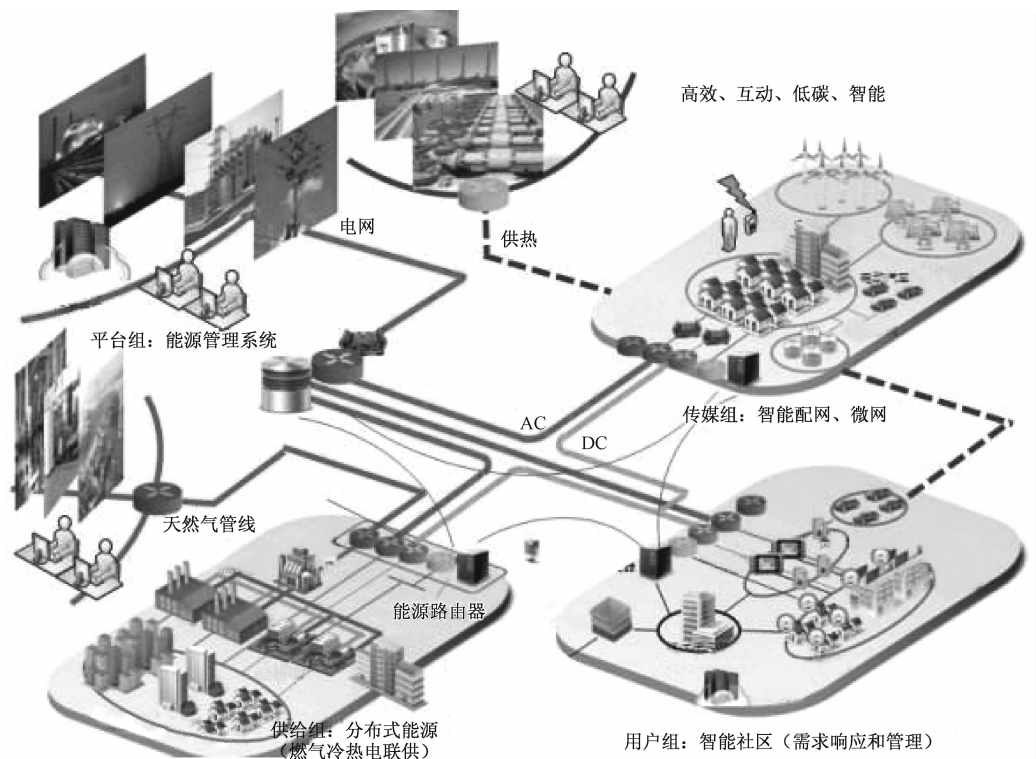


图 1 多能互补典型构成要素图



图 2 风光水火储多能互补系统

运行的风光互补发电系统；2009 年西藏那曲地区建成了 50 kW 的离网型风光互补发电站。

随着能源需求的多样化和分布化,国内以多能互补为中心的工程实践逐步展开。2013 年新疆新华和田波波娜水光互补 20 MW_p 电站并网发电；2014 年中国风光火打捆送出的首个特高压工程—哈密至郑州特高压直流工程投运；2015 年全球最大的水光互补工程—龙羊峡水光互补 850 MW_p 工程并网发电；2011—2015 年期间,建设了 50 余项微电网工程,

2016 年西藏双湖县可再生能源局域网工程投运；2017 年国家还确定了 23 个多能互补集成优化示范工程和 28 个新能源微网示范项目。

2 多能互补系统的分类

多能互补系统有两种模式：

1)风光水火储多能互补系统——电源侧。通过电力系统中水电、风电、光电、火电、抽水蓄能等多种电源的联合互补运行,充分发挥各类电源自身优势,满足用电需求,保障电网安全稳定运行,促进可再生

能源发展和消纳,同时获得良好的经济效益、社会效益与环境效益。

此类工程主要针对电源侧,包括的形式有“水电—风(光)电”互补、“火电—风(光)电”互补、“抽水蓄能—风(光)电”互补、“储能—风(光)电”互补、风光水火储等多种能源互补方式。

2)终端一体化集成供能系统——用户侧。面向

终端用户电、热、冷、气等多种用能需求,因地制宜、统筹开发、互补利用传统能源和新能源,优化布局建设一体化集成供能基础设施,通过天然气分布式能源(比如天然气热电冷三联供)、分布式可再生能源和能源智能微网(分为并网型和离网型)等方式,实现多能协同供应和能源综合梯级利用。此类工程主要针对用户侧。

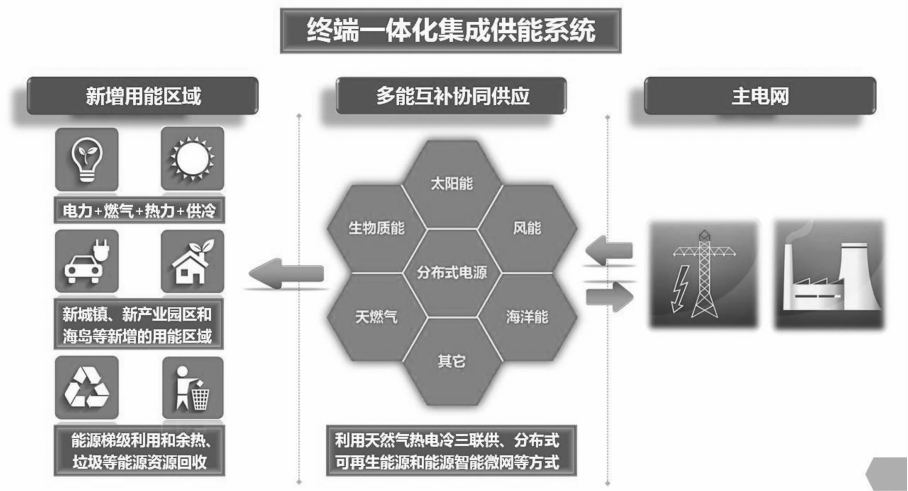


图 3 终端一体化集成供能系统

3 多能互补的主要方式及应用

3.1 电源侧多能互补

3.1.1 “水电—风(光)电”互补方式及应用

将新能源视为“虚拟的水电机组”,与具有日调节能力的水电站作为同一个电源点,利用水电站的送出通道接入电网。在水电站水量平衡的基础上,结合水

库调节能力和水电机组快速调节性能,当新能源出力较大时,水电站适当减少出力、水库蓄水;当用电高峰期时,水库放水,水电站加大出力。利用水电快速反应能力,最大限度保证新能源出力,实现了间歇电源的平滑出力,为电网提供更加友好的电源。

“水电—风(光)电”互补运行方式示意图见图 4。

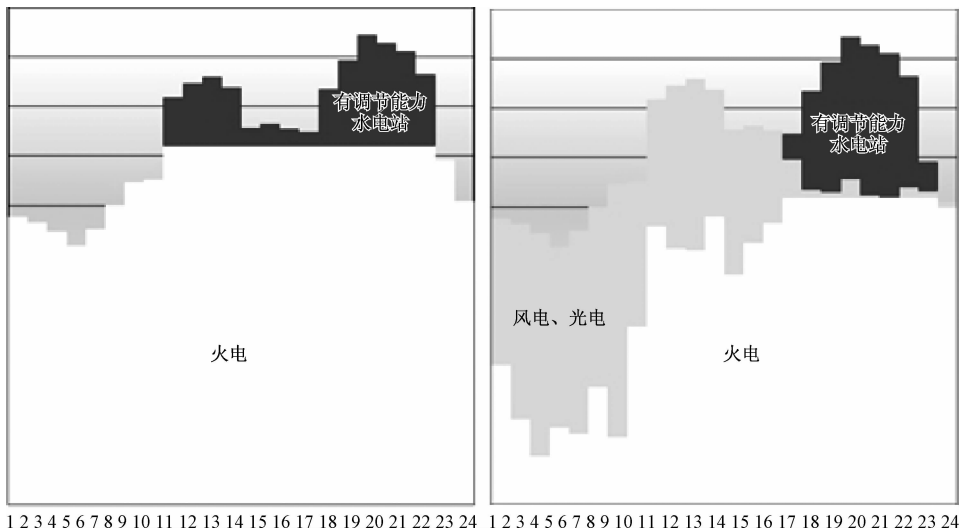


图 4 “水电—风(光)电”互补运行方式示意图

案例:龙羊峡水电站位于青海省共和县和贵南县交界处,总装机容量 1 280 MW,水库调节库容 193.5

亿 m³，具有多年调节性能，以 330 kV 一级电压送出，其中 5 个出线间隔已使用，1 个出线间隔备用。光伏电站位于青海省共和县光伏发电园区内，总装机容量 850 MW，距离龙羊峡水电站直线距离约 30 km。光

伏电站以一回 330 kV 线路接入龙羊峡水电站的空闲备用间隔，通过龙羊峡水库调节对光伏电站补偿，以两个电源组合后的电力电量，利用龙羊峡水电站送出通道送入电网。



图 5 龙羊峡水光互补项目工程

3.1.2 “火电—风(光)电”互补方式及应用

当电力系统内没有水电或水电规模较小时，将风(光)电等新能源与常规火电利用同一特高压输电线路，以风光火打捆送出的形式接入电网。在电力系统用电低谷期，当新能源出力较大时，火电站适当减少

出力；用电高峰期时或新能源出力减小时，火电站加大出力。利用火电的调峰调频能力，减缓新能源出力对电网影响，提高新能源消纳，减少化石能源消耗。

“火电—风(光)电”互补运行方式示意图见图 6。

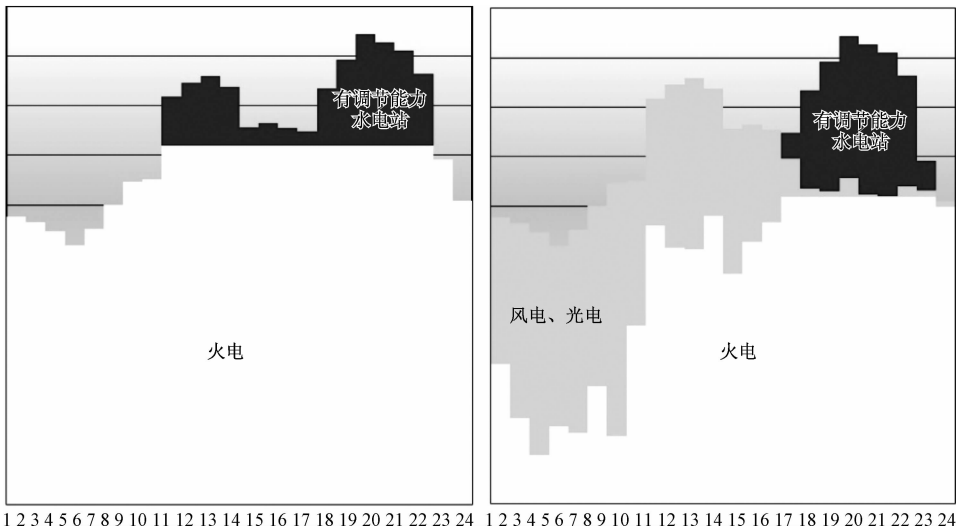


图 6 “火电—风(光)电”互补运行方式示意图

案例：哈密—郑州±800 千伏特高压直流风光火打捆外送工程是我国第一个通过特高压直流输电线路，采用风光互补并与火电机组打捆外送的方式输送清洁能源。工程建设送出火电规模 504 万 kW、风电规模 800 万 kW、光伏发电规模 125 万 kW。

工程承担着将新疆火电、风电和光电打捆外送的重要任务，具有远距离、大容量、低损耗、环保、节约土地资源等优点，有利于促进大型能源基地的综合开发利用，实现大煤电的集约化开发，提高能源资源的开发和利用效益，缓解中国中东部地区的缺电局面。



图 7 哈密—郑州±800 千伏特高压直流风光火打捆外送工程

3.1.3 “抽水蓄能—风(光)电”互补方式及应用

“抽水蓄能—风(光)电”互补主要是利用抽水蓄能电站的储能作用,进行风能的储存和转化。在电网负荷低谷时段,利用新能源富裕电量将工作水体从低处通过水泵抽至高处进行势能储存;在电网负荷高峰

时段,再通过水轮机将工作水体由高处泄放至低处,将储存的势能转化为电能释放回归电网,解决电网调峰填谷的需求,平抑新能源发电出力的不稳定性对电网的影响,提高本地电网接纳新能源能力。“抽水蓄能—风(光)电”互补运行方式示意图见图 8。

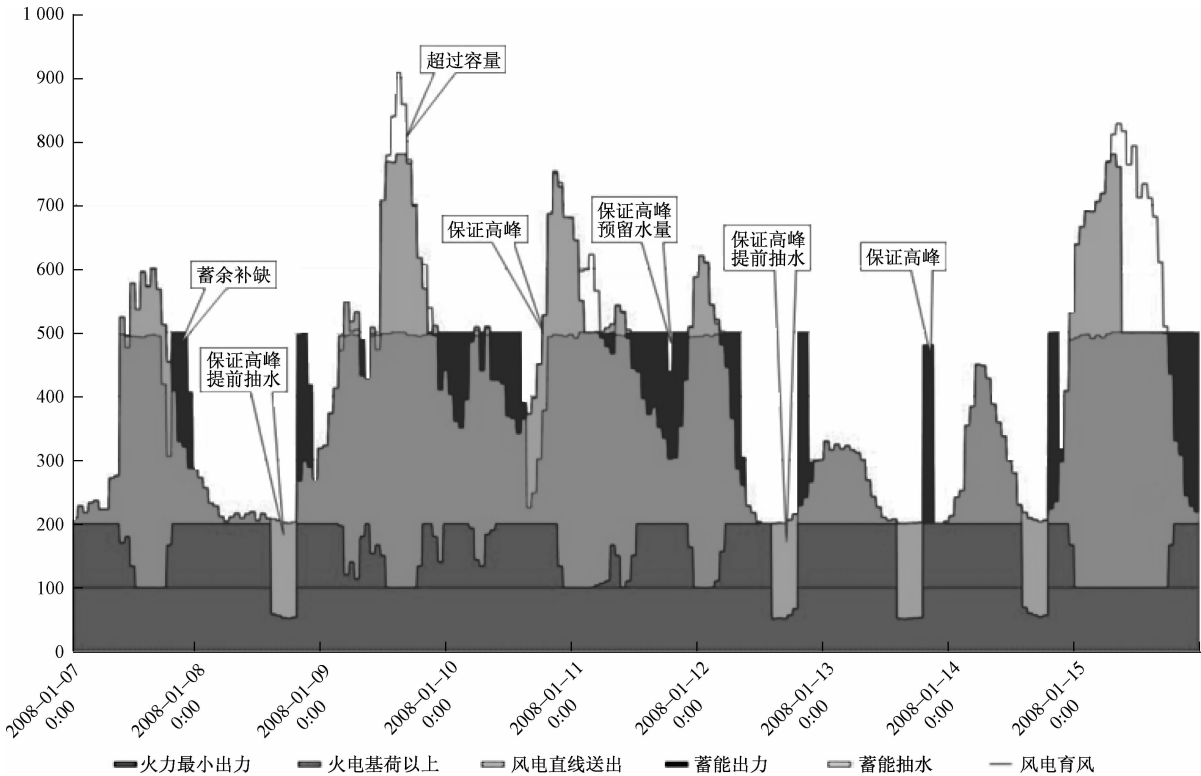


图 8 “抽水蓄能—风(光)电”互补运行方式示意图

案例:哈密抽水蓄能电站位于新疆哈密地区,距离哈密市约 55 km,地处哈密地区大型风电基地和火电基地附近,为日调节抽水蓄能电站,装机容量 1 200 MW,日调节库容约 723 万 m³,设计年发电量 13.68 亿 kWh,设计年抽水用电量 18.23 亿 kWh,综合效率约为 75%,在哈密外送输电平台中配合新能源的送出,平抑风电出力波动,提高新能源消纳能力,保障送出系统安全运行,提高远距离输电系统经济性。

3.1.4 “储能—风(光)电”互补方式及应用

风电和光伏发电等新能源固有的波动性、随机性、间歇性等特点,存在难预测、难调度和难控制等技术难题,制约了大规模集约化开发建设,因此,利用储能系统能够快速吸收和释放有功及无功功率、平滑新能源出力等作用,在用电“低谷”期将多余的新能源电能储存,在用电“高峰”期将储存的电能售给电网,并通过风光储联合发电运行模式的多组态切换,具备平滑出力、跟踪计划、削峰填谷、调频等功能,在一定程度上实现了新能源发电的可预测、可控制、可调度。

“储能—风(光)电”互补运行方式示意图见图 9。

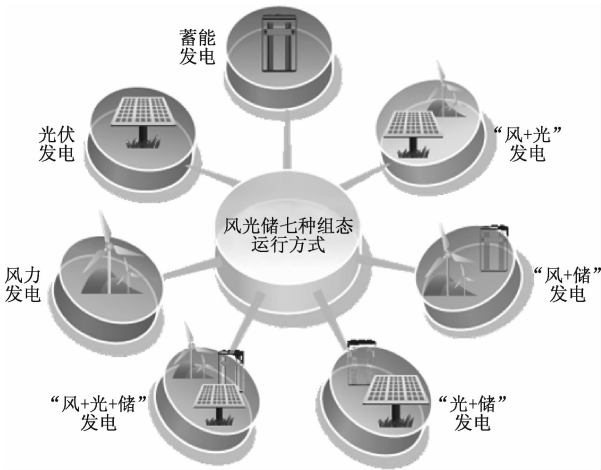


图 9 “储能—风(光)电”互补运行方式示意图

案例:国家风光储输示范工程位于中国位于河北省张家口市张北县西部的大河乡及尚义县东部套里庄乡交界处,是世界上规模最大、综合利用水平最高,集“风力发电、光伏发电、储能系统、智能输电”于一体、首个集中体现风光储输联合发电先进性和创新性的新能源综合性示范项目。工程规划建设风电 500 MW,光伏 100 MW,储能 70 MW;其中一期工程规划建设风电 100 MW、光伏 40 MW、储能 20 MW,已于 2011 年 12 月 25 日建成投产;二期工程规划建设风电 400 MW、光伏发电 60 MW、储能 50 MW。



图 10 国家风光储输示范工程

3.2 用户侧多能互补

3.2.1 天然气热电冷三联供及应用

是指以天然气为主要燃料带动燃气轮机、微燃机或内燃机发电机等燃气发电设备运行,燃烧后获得的高温蒸汽首先用于发电,发电后的中温蒸汽用于供热或制冷。通过这种方式大大提高整个系统的一次能源利用效率,实现了能源的梯级利用。还可以通过与电网或区域内其他微型分布式能源(风电、光伏、太阳能集热装置等)的协同运行,实现削峰填谷和对新能源的规模化利用。

天然气热电冷三联供工艺流程示意图见图 11。

案例:上海世博 B 片区央企总部能源中心(示范)项目是国内首个大型全地下布置冷、热、电三联供项目,为 B 片区 14 家央企总部大楼集中供冷、供热。主要包括:燃气内燃机+烟气热水型溴化锂机组、燃气热水锅炉、离心式冷水机组、蓄冷(热)装置,以及相应的配套设施。所有设备全部布置在世博 B 片区 B03 地块内的电力大楼及规划二路地以下,占地面积约 4 200 m²,地下最深处达—18 m,主体机房为地下 2 层结构,局部为地下 4 层。

3.2.2 能源智能微电网及应用

能源智能微电网是指由分布式电源、用电负荷、配电设施、监控和保护装置等组成的小型发配电系统。微电网分为并网型和独立型,可实现自我控制和自治管理。并网型微电网通常与外部电网联网运行,且具备并离网切换与独立运行能力。

微电网示意图见图 12。

案例:西藏双湖县可再生能源局域网工程是国家解决西藏部分无电地区电力建设的内容之一,工程位于西藏那曲地区双湖县城,项目建设的主要目标是解决县城及周边地区政府及居民电力供应问题。

工程方案采用了通过储能技术建立以光储柴为主要电力保障的独立可再生能源局域网系统。建设内容包括新建光伏发电及储能系统的电源部分和城

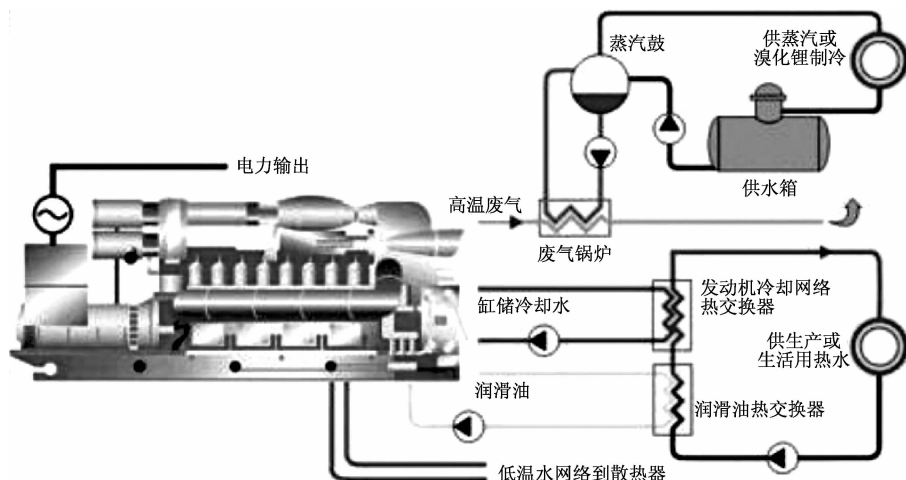


图 11 天然气热电冷三联供工艺流程示意图

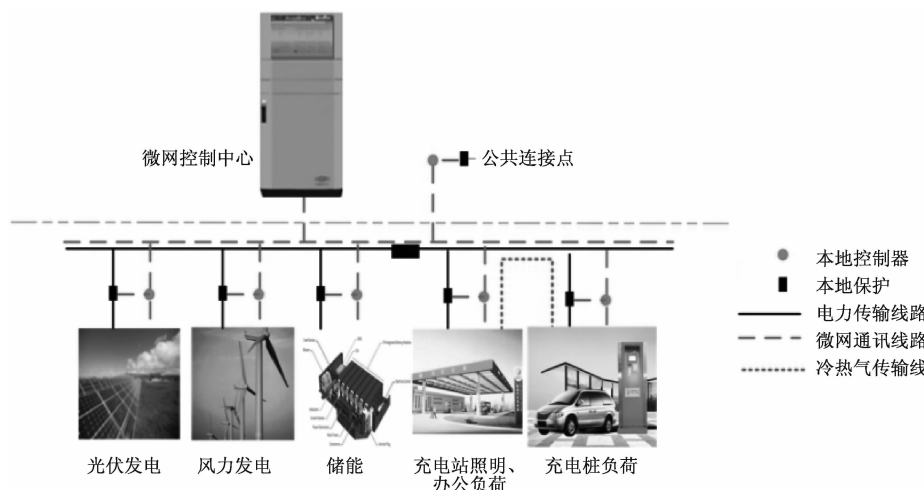


图 12 微电网示意图

区电网改造部分。电源部分包括 13 MW 光伏发电系统和 7 MW/23.5 MWh 锂离子电池储能系统，安装了两种类型的锂离子电池组，磷酸铁锂 3 M/10.08 MWh 和三元锂 4 M/13.44 MWh；电源系统还设置了 2 台 1 000 kW/10 kV 高压柴油发电机，作为整个电力系统的备用电源。配电网改造包括对城区已有 10 kV 架空线路的增容改造和用户 0.4 kV 电缆改造，以及户用电量计量表安装，实现分户计量。

4 结语

当前，我国正处在传统能源体系向现代能源体系转型的关键时期。以建立清洁、低碳、高效的多种能源生产供给体系为目标，以市场需求为主导，构建多种供能方式协同、多元主体开发共享、多品种能源融合、供需智慧互动的现代能源体系，需要从能源的结构、供应方式及供需关系等方面进行根本性的变革。

多能互补作为一种新的能源生产利用的方式，能

够有效地促进可再生能源的消纳，改善电能质量，提高输电效率，提高能源使用效率；能够更好地改善局域供能系统，促进能源集成化、智能化、高效化应用；能够更大程度地实现离网区域的能源可及，减少无电缺电人口。因此，多能互补正是传统能源体系向现代能源体系过渡的重要措施手段。

参考文献

- [1] 路甬祥. 大力发展分布式可再生能源应用和智能微网[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(2): 157-164, 152, 265.
- [2] 艾芊, 郝然. 多能互补、集成优化能源系统关键技术及挑战[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(4): 2-10, 46.
- [3] 钟迪, 李启明, 周贤, 彭烁, 王保民. 多能互补能源综合利用关键技术研究现状及发展趋势[J]. 热力发电, 2018, 47(2): 1-5, 55.
- [4] 陈铮, 陈敏曦. 多能互补集成优化发展和前景[J]. 中国电力企业管理, 2017(28): 16-18.

[5] 王社亮,冯黎,张婷,吴来群. 多能互补促进新能源发展[J]. 西北水电,2014(6):78—82.

[6] 谭忠富,谭清坤,赵蕊. 多能互补系统关键技术综述[J]. 分布式能源,2017,2(5):1—10.

[7] 艾斌,杨洪兴,沈辉,廖显伯. 风光互补发电系统的优化设计(I) CAD 设计方法[J]. 太阳能学报,2003(4):540—547.

[8] 茆美琴,余世杰,苏建徽,沈玉梁. 风/光复合发电系统变结构仿真建模研究[J]. 系统仿真学报,2003(3):361—364.

[9] 孙可,韩祯祥,曹一家. 微型燃气轮机系统在分布式发电中的应用研究[J]. 机电工程,2005(8):55—60.

[10] 彭军,李丹,王清成,余岳峰. 户用型可再生能源发电系统在苏尼特右旗应用的调查分析[J]. 农业工程学报,2008(9):193—198.

The Development and Application of “Multiple Complementary”

ZHANG Kai¹, CHEN Bo²

(1. Northwest Engineering Corporation Limited,Xi'an 710065,China;
2. Oil Production Plant 5 of Petrochina Changqing Oilfield Company,Xi'an 710200,China)

Abstract: With the vigorous development of renewable energy, energy storage and other industries, energy production and consumption have entered a pluralistic era. “Multiple complementary” has become a new trend of energy sustainable development. This paper introduces the meaning and mode of multi energy complementarity, puts forward the main ways of multi energy complementarity, and puts forward some typical cases for its application.

Key words: multi-energy complementary; clean energy; wind power(solar power); micro-grid