

分布式能源网络系统的探索与实践

朱晓军^{1†}, 朱建华^{1*}, 朱振旗^{2†}, 甘中学²

1. 中国石油大学(北京)化学工程学院, 北京 102249;

2. 新奥科技发展有限公司, 廊坊 065001

† 同等贡献

* 联系人, E-mail: secondzhu@sina.com

2017-05-23 收稿, 2017-07-16 修回, 2017-07-17 接受, 2017-08-30 网络版发表

国家重点基础研究发展计划(2014CB249200)资助

摘要 随着人类社会的不断进步和发展, 人们对能源品质和数量的需求日益提高. 长期以来, 在中国能源结构中, 以煤和石油为代表的化石能源占比过高, 导致区域环境问题不断恶化, 可再生能源利用与分布式能源普及应用是解决这一问题的重要手段之一. 通过对国外分布式能源和微网的发展趋势, 以及对国内分布式能源发展现状和面临的困境进行分析, 提出基于可再生能源和天然气融合的分布式能源网络将成为分布式能源的重要发展方向之一. 本文给出分布式能源网络的定义和特征, 并以中德生态园和河北廊坊分布式能源网络为例, 介绍两个典型的分布式能源网络项目, 包括物理网络结构、系统结构和实施方法与效果. 最后提出分布式能源网络系统的未来发展方向将是能源互联网, 并总结出以能源互联网为代表的未来能源体系的基本特征.

关键词 分布式能源网络, 能源互联网, 系统能效

随着社会的进步, 人类对生活品质的要求开始向多元化发展, 不仅对生活环境、生活质量有了全新的认识和要求, 对不同品质能源及用能的舒适性、智能化需求也在日益提高. 纵观全球能源发展的历程, 人类经历了原始文明时代(薪柴)、农业文明时代(煤炭)、工业文明时代(石油), 直到当前的现代文明(生态文明)时代, 形成煤炭、石油、天然气及“无碳”能源平分天下的能源新格局. 如图1所示, 根据BP报告的预测, 到2035年前, 所有类型的能源消费均有所增长, 其中增长最快的是可再生能源(年均6.4%), 核能(年均1.9%)和水电(年均1.8%)的增速也均高于能源的总体增长速度. 在化石能源中, 天然气消费增长最快(年均1.9%), 并成为超过能源总体增速的唯一化石能源, 石油(年均0.8%)增长最慢, 煤炭(年均1.1%)的增速略高于石油. 全球各种能源的份额正在缓慢变化,

石油的份额继续下降, 其作为主导能源的地位将受到煤炭的挑战, 天然气的份额稳步上升. 到2035年, 化石能源的总体份额将由2012年的86%降至2035年的81%. 三类化石能源的份额均将集中在27%左右, 在非化石能源中, 可再生能源(包括生物能源)的份额将从现在的2%迅速升至2035年的7%, 而水电和核能份额基本不变, 分别为7%和5%^[1].

中国能源消费结构与全球能源消费结构呈相反趋势, 世界上许多国家的清洁能源使用占到70%左右, 而中国煤炭的用量占到了70%左右, 这也是导致中国近年来雾霾天气的重要原因之一, 如今的区域环境问题不断产生, 自然环境已不堪重负^[2], 能源与环境问题的矛盾已经严重制约中国经济的可持续发展. 当前, 可再生能源利用与分布式能源推广已越来越受到中国政府的重视, 从2009年开始, 中国分布式

引用格式: 朱晓军, 朱建华, 朱振旗, 等. 分布式能源网络系统的探索与实践. 科学通报, 2017, 62: 3672–3682

Zhu X J, Zhu J H, Zhu Z Q, et al. Exploration and practice of distributed energy network system (in Chinese). Chin Sci Bull, 2017, 62: 3672–3682, doi: 10.1360/N972017-00576

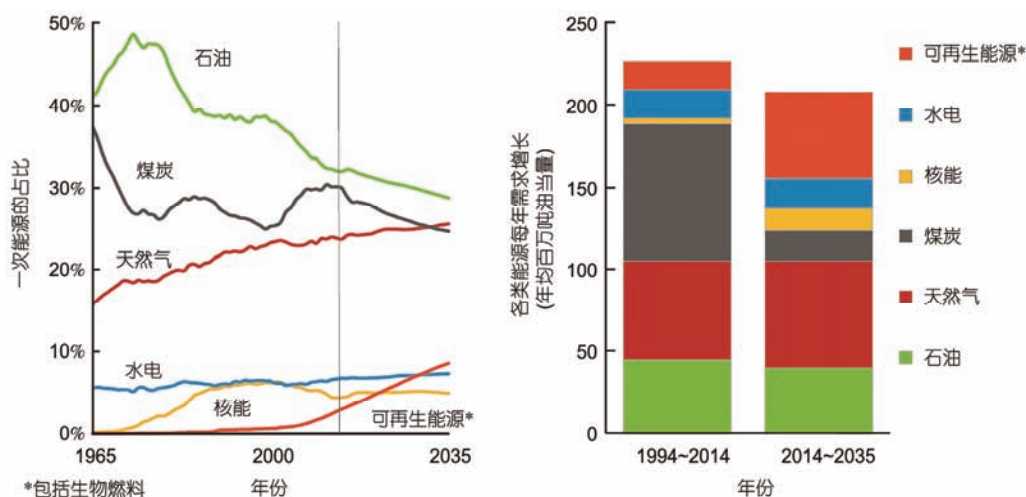


图1 全球能源消费量发展趋势及预测

Figure 1 Global energy consumption trends and forecasts

能源经历了以冷热电多联产起步的初级阶段、逐渐被市场认可的实质性发展阶段及并网合法化后的转折阶段，这与国外分布式能源的政策演变轨迹较为相似，但中国的分布式能源发展过程，无论是从政策还是技术等方面，均落后于国外发达国家，并且分布式能源的发展长期停滞不前。随着欧洲E-energy计划(2009~2012年)实施，中国开始逐渐重视能源的网络化技术，2016年2月，中华人民共和国国家发展和改革委员会(以下简称发改委)在《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》(发改能源[2016]392号)文件中进一步明确了分布式能源网络的建设工作^[3]，促进能源和信息深度融合，推动能源互联网新技术、新模式和新业态发展。同年6月，发改委和国家能源局在《能源技术革命创新行动计划(2016~2030年)》(发改能源[2016]513号)文件中将能源互联网技术创新作为能源技术重点发展方向之一^[4]。中国开始从分布式能源、分布式能源网络到能源互联网方向进行弯道超车，并且随着以大数据和人工智能为代表的信息技术飞速发展，分布式能源网络最终向着能源互联网方向发展。

1 国外分布式能源的发展

分布式能源具有多重社会效益及经济效益，是世界能源供应方式发展的一个重要方向，美国、日本及欧盟等已将发展分布式供能作为能源安全、节能和能源经济发展的重要战略。

美国能源部积极促进以天然气为燃料的分布式

能源系统发展，利用这些系统为基础发展微电网，再将微电网连接发展成为智能电网。美国政府把进一步推进“分布式热电联产系统”的发展列为长远发展规划，并制定了明确的战略目标。美国的热电联产技术以内燃机、蒸汽轮机及燃气轮机为主，约42%的热电联产项目采用小型内燃机，燃气-蒸汽联合循环占项目总数的8%，占分布式发电总装机容量的53%^[5]。

日本分布式能源主要为直接的分布式发电应用方式和微网方式两类，日本微网在工业园区、区域供热上体现了更高的效率和柔和的并网特性，在家庭用户方面广泛应用光伏加储能的小型家庭型微网^[6]。与此同时，日本又提出大量基于燃料电池的微网，并针对不同地区的个性化需求推广应用不同的微网解决方案，但频繁的供需互动需对燃料电池进行调节，影响了燃料电池的效率及经济性^[7-9]。

在德国，分布式可再生能源成为德国电力供应的重要组成部分。如何提高可再生能源电力在能源中的比例，大力发展分布式能源供应，已经成为德国能源结构调整的主要工作内容，除出台一系列的支持政策外，运用信息及通讯技术，有效平衡电力供给与需求的智能电网技术和高效能储能技术，也成为德国发展分布式可再生能源的重要驱动。在欧洲，欧盟在第五、第六和第七框架计划(The 5th, 6th and 7th Framework Programme)的“能源、环境与可持续发展”主题下支持并完成了一系列与可再生能源和分布式发电接入技术有关的研究项目^[10]。随着各项目研究的深入，逐渐明确了基于可再生能源和分布式发电

系统的未来欧洲电网的发展趋势^[11]。

综观世界分布式能源的发展历程,分布式能源的技术已从早期强调的“分布式电源并网”发展到“分布式能源与传统能源网络整合”,分布式能源不再只是一个个单体,而是逐步融合为能源网络。同时,传统电网与之相配合,也将向智能电网方向演变。

从世界主要国家分布式能源的发展经验来看,未来分布式能源将呈现以下特征趋势:

(1) 分布式能源已成为全球能源转型发展的重要选择,并且由以前的单一分布式能源系统开始向以可再生能源为主体的分布式能源网络化方向发展,同时信息网络与能源网络的高度融合也将是未来的重要发展方向之一。

(2) 技术进步不断推动分布式能源的商业化进程,从而呈现技术集成化、服务模块化的特点。与之相对应,分布式能源的用户多元需求逐步从工业用户向商业及住宅用户转变,随之装机规模向小型化及模块化和集成化发展。

(3) 各国政策扶持重点着力从安全供电、提升能效和清洁排放等方面进行推动,同时鼓励分布式能源投融资,激发商业模式创新,形成多元参与机制及利益分享机制。

2 中国分布式能源的现状

用能的安全稳定、经济共赢、节能高效、清洁低碳是中国城市对能源的核心诉求,其中清洁低碳的问题亟待解决,要实现清洁低碳,离不开经济共赢和节约高效这两条必经之路。

进入21世纪后,中国天然气分布式能源的发展仍处于起步阶段,一些规模稍大的分布式能源项目开始陆续在北上广等大城市投入使用,尤其以天然气为燃料的分布式能源系统为代表,但由于其成本较高,故在经济发达及电价承受能力较高的地区试点先行,如广州大学城、上海浦东机场、上海理工大学、北京中关村软件园、北京燃气集团生产指挥调度中心大楼、中国石油科技创新基地能源中心和湖南长沙黄花机场等分布式能源项目^[12,13]。

中国各地根据各自的实际情况积极探索、发展分布式能源系统,通过更多大型项目的成功试点,“分布式能源”概念开始被更多人所接受,并陆续出现在政府的相关文件中。但是目前中国的天然气分布式能源示范项目,由于受多种因素影响,约有半数在运

行,其余的因电力并网、经济效益或技术困难等问题处于半停顿状态^[14,15]。分布式能源系统靠近用户端,其运行易受各类终端用户用能需求变化的影响,另外,由于气候与天气等外部环境因素变化对分布式能源系统运营的影响也很大,加上没有充分利用可再生能源和无法实时满足客户的动态需求,通常情况下分布式能源系统很难长时间维持在最佳工况运行,导致分布式能源系统的投资成本高、系统运行效率不高等问题出现,致使分布式能源系统并未能在国内得到大规模的推广应用。

在目前的技术条件下,分布式能源在电网连接、电网安全、供电质量、能量储备及燃料供应等方面确实存在不少的问题,但这些问题均是发展中出现的问题,因此应以发展的眼光来看待这些问题。可以预测,分布式能源未来将成为智能电网的一个重要补充。因此,有必要发展新型的分布式能源技术来解决当前发展过程中遇到的技术难题,也即本文提出的分布式能源网络化技术。

3 分布式能源的网络化

从世界范围看,当前分布式能源应用技术仍处于初期,还未充分发挥其优势。例如一个分布式发电系统在设计之初,产能与用能是基本匹配的,随着时间的延伸,用能规模及用能规律均有可能发生变化,导致供需不再匹配。设计是静态的,而运行是动态的,这是一个无法避免的规律。除了分布式能源设施的容量匹配问题之外,还有峰谷规律匹配、能源品级匹配等问题,大量实际应用表明,在单个独立的分布式能源系统中这些动态匹配问题不可能得到根本性解决。因此,单体的分布式能源得不到充分利用,没有发挥其应有的价值,具有明显的经济瓶颈。

区域分布式能源单体的联网是发展的必然,根据科学方法形成的网络通常供能更稳定,效率也更高。多个分布式能源系统如果具有互补性,即可组团形成分布式能源网络,形成一种网络互补关系,这种互补不仅仅是能量生产端的产能设备容量互补,还包括用能规律互补,供需关系互补,以及能量品级利用的互补,分布式能源网络具有更稳定、高效、经济的特点,将充分释放分布式能源的优势价值,是分布式能源发展的重要趋势。

在“互联网+”智慧能源的推动下,分布式能源构建多能互补、开放共享的分布式能源网络系统,以此

为基础开展配售电和能源综合服务业务,是分布式能源未来的重要发展方向.2016年12月,国家发改委在《能源发展“十三五”规划》(发改能源[2016]2744号)的主要任务中,提出以智能电网、能源微网、电动汽车和储能等技术为支撑,大力发展分布式能源网络,增强用户参与能源供应和平衡调节的灵活性和适应能力^[16].

4 分布式能源网络定义

分布式能源网络系统是在分布式能源系统基础上演化而成的一种融合多种能源网络、信息网络的新型智能能源网络系统,该分布式能源网络系统与智能电网、天然气主干网和区域供热网相连,同时将区域内的多种可再生能源与天然气以分布式方式与终端用户联接,实现冷、热、电即产即用和双向传输,并通过物质流、能量流和信息流的协同控制,实现整个网络的有序化,从而构建一个高效的分布式能源网络系统.

分布式能源网络须具备以下主要特征:

(1) 以可再生能源为主体的多能源协调互补的能源网络,是一种多种能源形态协同转化、集中式与分布式能源协调运行的能源网络.

(2) 具备双向流动的能量对等交换与开放共享的物理网络,并能实现覆盖电网、气网及热网等能量网络的协同控制功能.

(3) 具备不同能源网络接口设施的标准化、模块化,支持各种能源生产、消费设施的“即插即用”与“双向传输”,可接纳高比例的可再生能源,促进灵活互动的用能行为,并支持分布式能源交易.

(4) 用户端智能化用能,以多能融合、开放共享、双向通信及智能调控为特征,各类用能终端灵活融入的微平衡系统.

(5) 建立各分布式能源间的信息互联互通,形成多能互补、供需协调的新型智慧能源管理系统,具备双向通信和智能调控功能,并支持多种能源的统一计量、交易及结算等经济功能.

与国外以电力网络为核心的微网不同,可再生能源和余能的利用贯穿分布式能源网络的生产、储运、应用和回收各个环节,同时分布式能源网络以电力和天然气为主要的能源实现微网间长距互联方式,在微网内部则是电力网络、天然气网络、冷热网络高度耦合,通过以分布式能源站为节点实现能源的高

效转换、实时优化和有序配置,达到区域能源效率和可再生能源利用率最大化.

5 分布式能源网络的应用实践

分布式能源网络在国内已经有少数项目在进行探索和实践,目前这些项目大多以工业园区和经济技术开发区为主,且主要集中在新建园区.在新建园区中,绝大多数园区都是必须实现清洁能源供应的低碳生态园示范区,其能源利用方式、利用效率、排放标准等指标均要求达到国际先进水平.因此,可再生能源和分布式能源在这些项目中必不可少.

分布式能源网络从整体角度对各种能源(电、气、冷、热)进行统一的控制优化和调度,最大限度地利用园区内的可再生能源和周边工业余能,提高系统能效、减少资源及能源的消耗,并实现燃气、电力、冷热的转换调峰,充分满足当前新建园区的要求.在国内这些项目中,以位于山东青岛的中德生态园分布式能源网络项目,及位于河北省廊坊市的分布式能源网络项目为代表.中德生态园分布式能源网络是国内第一个典型的针对新建园区的分布式能源网络示范项目,而河北廊坊分布式能源网络项目则是国内第一个城市级分布式能源网络项目,同时也是第一个新城建设和旧城改造相结合的分布式能源网络示范项目.

5.1 中德生态园园区分布式能源网络示范项目

如图2所示,中德生态园项目位于中国青岛经济技术开发区的国际生态智慧城内,规划用地面积约10平方千米,产业主要包括节能环保、绿色能源、电动汽车、环保建材、机器人、海洋装备等高端制造业及科技研发、工业设计、电子信息、教育培训、金融服务等现代服务业.园区内共划分为九个区块,用户业态较多,且不同用户的用能在时域和空域上具有很强的互补性,非常适合分布式能源网络的发展.

如图3所示,中德生态园分布式能源网络是由市政电网、市政热网、市政燃气、生物燃气、区域分布式能源站、分布式能源子站,能源运营中心和各个微网等构成的一个有机整体,它面向整个区域,通过各个微网之间调配能量,实现区域级的能源流动.通过能源运营中心,在区域分布式能源站和各分布式能源子站之间调配能源,实现生态园区内的能源分配.中德生态园能源供应系统规划遵循“高能高用,低能低用,削峰填谷,互补保障”的原则.在使用传



图2 中德生态园分布式能源网络鸟瞰图

Figure 2 Aerial view of distributed energy network in Tak Eco Park

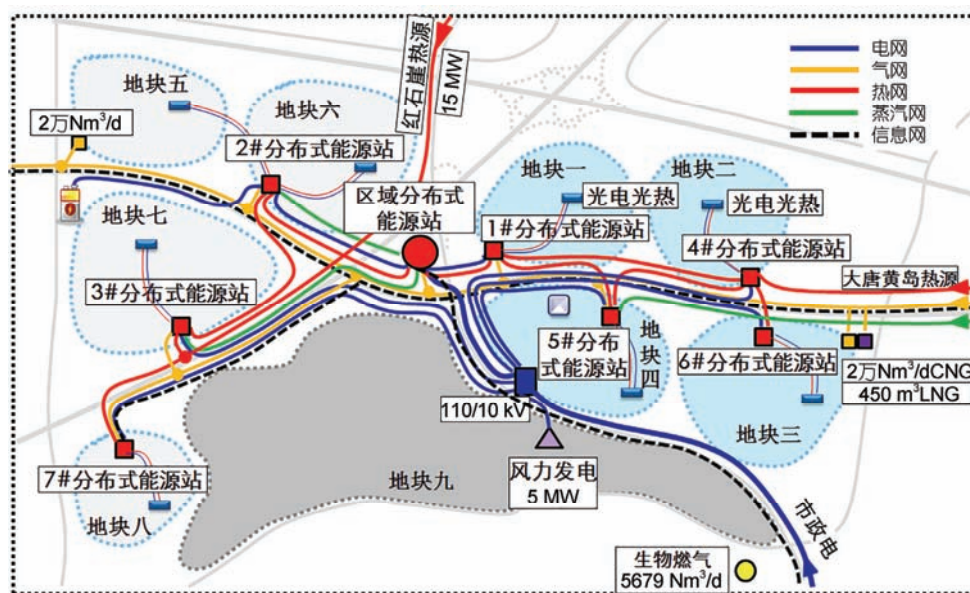


图3 中德生态园分布式能源网络示意图

Figure 3 Sketch map of distributed energy network in Sino German Eco-Park

统市政资源(电)的同时,充分利用清洁能源和可再生能源,建立一个由化石能源和新能源,梯级供能和分散供能,独立系统和混配系统相互耦合的1托N式的分布式和集中式相结合的能源供应系统。

如图4所示,中德生态园分布式能源网络系统采用分布式和集中式的分布式能源网络结构模式,由1个区域分布式能源站匹配6个分布式能源子站,向园区地块一~地块八集中供能。1#~6#的分布式能源子站

间又将通过各类管网全部连通,区域分布式能源站和6个分布式能源子站连成一体后,实现规划区内能源在空间上的互补调配,分布式能源网络系统分别由燃气多联供、地水源热泵、燃气锅炉、电制冷、储冷热等系统提供,此外,还能向产业片区提供工业蒸汽。

为适应园区客户用能需求与环境的不断变化,中德生态园分布式能源网络控制系统被设计成主体与主体间进行自洽供需与调度的模式,它与传统能

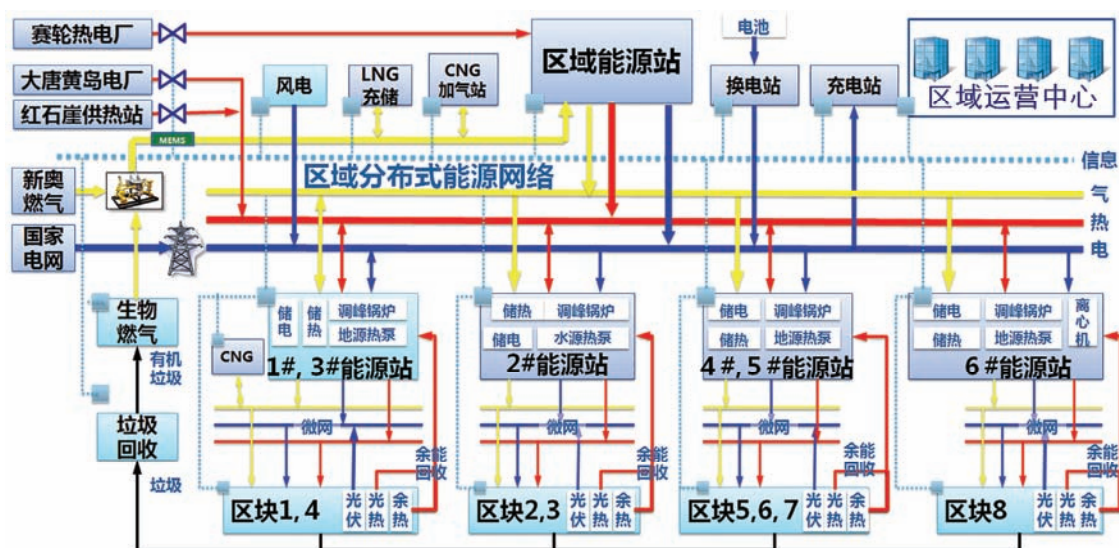


图4 中德生态园分布式能源网络系统图

Figure 4 System diagram of distributed energy network in Sino German Eco-Park

源网络集中式调度机制的核心差异表现在：影响范围小、调度成本低、执行效率高，符合分布式能源网络高度智能化的特征。如图5所示，整个园区的调度方式分为网间调度及网内调度两种，具体如下：

网间调度：根据园区内的能源需求、可再生能源及余能利用情况，与主干网之间通过调配调压站、变电站、换热站等运行策略形成供需协同的智能调度，可利用能源转换与存储设施实现互补调峰。

网内调度：结合分布式能源站、光伏生产、CNG存储及光伏充电站等能源生产供应设施，根据客户用能需求变化，制定能源生产供应策略，实现能源的

有序输配与调度。

整个园区分布式能源网络系统遵循“品位对口、梯级利用、削峰填谷、互补调峰”的设计思路，充分利用清洁能源和可再生能源，在满足园区冷、热、气、生活热水及部分电力需求的同时，对各种能源和资源进行循环与梯级利用，提高能源综合利用效率，降低污染物排放，提升能源系统运行保障水平和生态园区能源供应系统的智能化水平，为园区内的产业发展及未来人们的生活提供安全、稳定及高品质的能源。

如表1所示，中德生态园分布式能源网络各项技

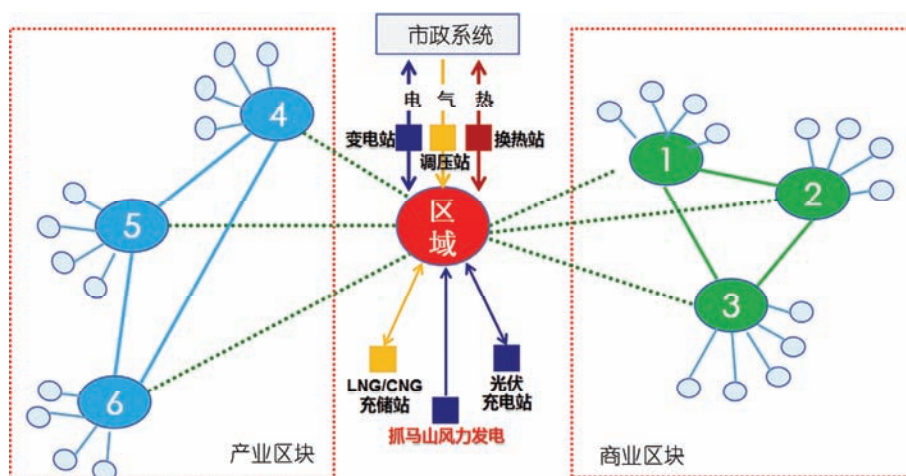


图5 中德生态园分布式能源网络调度示意图

Figure 5 Energy scheduling diagram of distributed energy network in Sino German Eco-Park

表 1 中德生态园各项技术指标

Table 1 Technical indicators of Sino German Eco-Park

技术指标	指标值(%)
综合节能率	50.7
二氧化碳减排率	64.6
清洁能源利用率	80.6
可再生能源利用率	20.6
能源综合利用效率	80.8

术指标均可达到国内先进水平,通过构建以天然气分布式能源为主、可再生能源为辅、智能电网为支撑的分布式能源网络体系,具有科学性和可操作性;采用理念超前、系统整体协同性高的能源利用方式,能够实现能源的高效梯级利用、低碳循环,符合国家的能源发展政策,领先于国际能源利用方式,并满足中德生态园的长期发展需求。

5.2 河北省廊坊市的分布式能源网络示范项目

近年来,位于河北省的廊坊市经济发展保持高速增长,京津冀协同发展作为国家重大战略之一,将极大地改变京津冀三地的发展格局,在交通一体化、生态环境保护、产业协同发展等方面将率先突破,将

给河北、天津两地带来巨大的发展空间,廊坊地处京津之间,是京津冀协同发展战略中的重要组成部分。随着廊坊市经济的高速发展,对能源的需求快速攀升,而目前能源利用模式的简单粗放,使得区域资源和环境约束进一步加剧,大气污染等环境问题日益突出,将严重制约京津冀协同发展战略的落地实施。

分布式能源网络系统通过互联互通的能源设施,充分释放能源系统供应能力,提高能源综合利用效率,实现既可为用户供能,又可消纳用户富余供能能力的用能供能新模式,充分满足廊坊市经济结构调整及长远发展的需求。

如图6所示,整个分布式能源网络项目分为建成区和新建区两类,在不同的区域中,根据区块用户的用能特征、既有能源设施建设与运行情况,结合当地能源资源禀赋,构建多个区域分布式能源网络系统,并分别采用分布式和集中式的分布式能源网络结构模式,由1个区域分布式能源站匹配多个分布式能源子站形成分布式能源网络子系统。由于项目涉及范围广,投资巨大,整个城市级分布式能源网络示范项目采用的分阶段构建和逐步演进的模式,根据实际地理条件,在合理范围内构建互联互通冷、热管网、天然气管网和电力网络,构建若干个分布式能源网

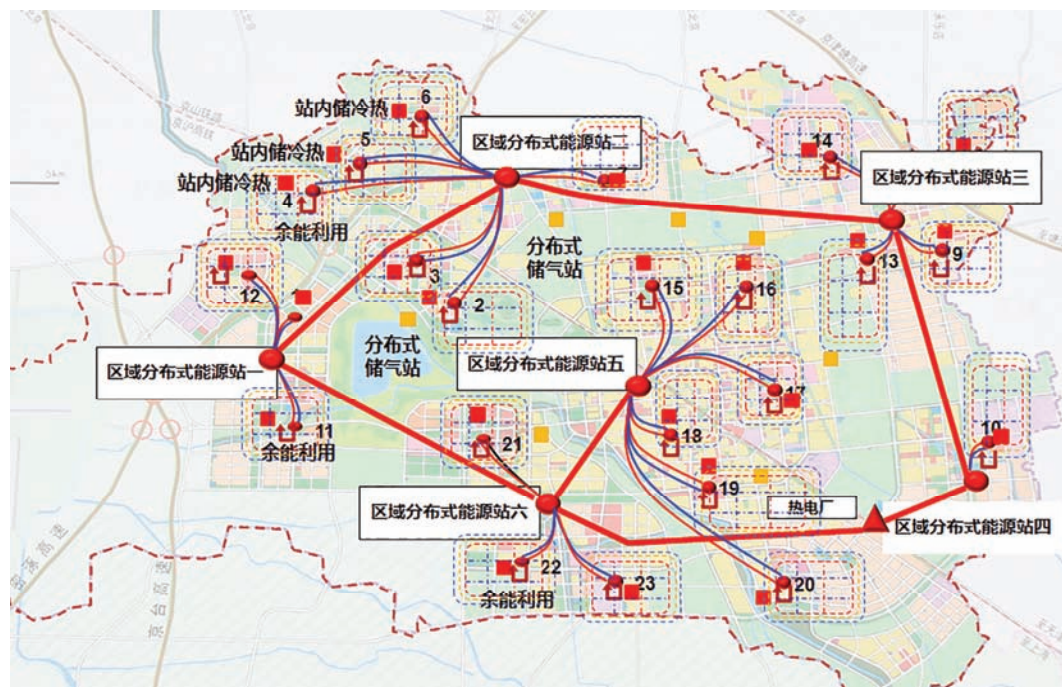


图 6 廊坊市分布式能源网络示意图

Figure 6 Schematic diagram of distributed energy network in Langfang City

络子系统并逐步演进拓展供能范围,最终完成整个城市分布式能源网络这一复杂系统的建设。目前,第一个建成并投入运营的是廊坊新朝阳区块的分布式能源网络系统。

新朝阳区块是廊坊市的核心商住聚集区之一,涵盖了新朝阳购物中心、乐晟广场、北华航、管道局热力三处(国际饭店、设计大厦、管道博物馆及住宅小区)等不同业态,共覆盖人口5.7万人。目前,该片区大多用户以自有设施供能,排放大,设施利用率普遍仅在30%左右,最低的只有18.9%。如果直接采用燃气锅炉替换燃煤锅炉,政府财政补贴压力大,用户用能成本高,燃气公司天然气供应压力大,不但效果不理想,也很难落地实施。

如图7所示,通过构建分布式能源网络系统,提高存量能源设施的利用率,降低整体设施的建设规模,避免简单盲目地“煤改气”,满足微网范围内不同用户的用能需求,同时不影响供能设施对其原有用户的供能,项目投入运营后,大大提高了设备利用率,并降低了用户供能成本,还可节省大量的煤改气投资。与原有的分产供能方案相比,分布式能源网络方可实现更低的排放量,其中减少CO₂排放25755吨,减少SO₂排放24吨,减少NO_x排放41吨,减少烟尘排放20吨。在2015(第十一届)中国分布式能源国际论坛上,廊坊新朝阳微网国家标准化示范项目依托与“互联网+”智慧能源的高契合度、高创新性及显著的综合效应,荣获“2015年度分布式能源优秀项目特等奖”。

未来几年整个廊坊市各大区块将通过分布式能源网络系统的实施解决能源效率及环境保护问题,逐步在整个城市实现城市级分布式能源网络系统的构建,如图8所示,项目投入运营后,将有效缓解廊坊市环境污染问题,通过存量设施的挖潜及增量设施的提效,积极助力整体区域的能源系统的能效提升及社会环保效益的最大化。

6 分布式能源网络的未来发展方向

随着新能源技术的发展,清洁、可再生分布式能源的利用得到了快速发展,在现代能源生产中将发挥越来越重要的作用,而物联网技术和新能源技术融合后,产生了单一能源网向能源互联网转化的新思维,这一新思维无疑将引领能源技术和体制的革命。美国科学家里夫金在其出版的《第三次工业革命》一书中阐述了他对互联网与能源行业“对接”的设想,基本勾勒出里夫金眼里的能源互联网应该是:将可再生能源转换成二次能源电力,通过分布式采集和使用的交互形式,结合互联网平台技术,实现亿万人的实时能源互联和共享^[17]。

然而,基于中国国情,中国的能源互联网以电力和天然气网络为核心,联结电力、燃气和热力耦合的分布式能源网络,形成中国特色的能源体系。针对中国能源互联网当前发展阶段的主要“痛点”而言,能源互联网的“入口”应该是分布式能源网络的推广与普及,同时分布式能源也将向能源互联网的方向发

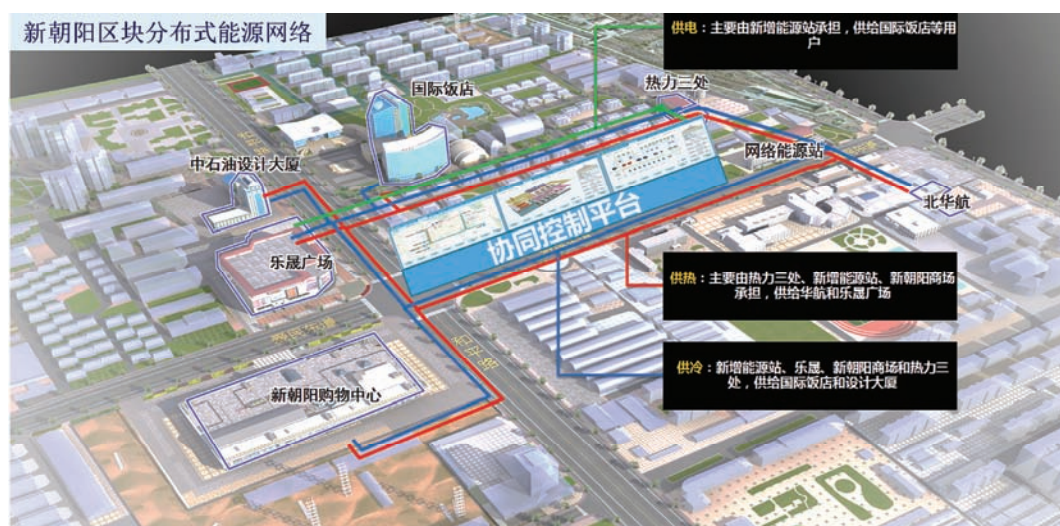


图7 廊坊市新朝阳区块分布式能源网络示意图

Figure 7 Sketch map of distributed energy network in New-Chaoyang District of Langfang City

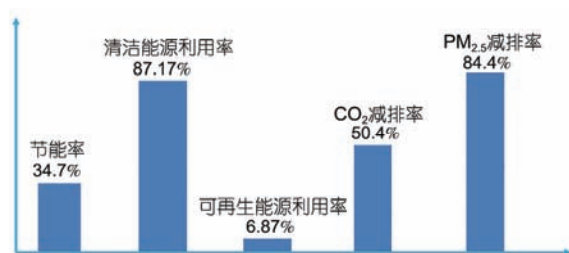


图8 廊坊市分布式能源网络系统技术指标

Figure 8 Technical index of distributed energy network system in Langfang City

展。即在分布式能源网络大范围普及的前提下,综合运用先进的网络技术、信息技术及智能化技术,通过信息网络与能量网络的深度融合,形成能源互联网的雏形,再进一步进行演化和升级,最终形成符合中国国情的能源互联网。

与现行的能源体系不同,以能源互联网为代表的“互联网+”能源重构体系的商业模式是一种全新的能源形态,其未来典型特征即结构生态化、主体多元化、交易多边化、商品标准化和物流智能化。

(1) 结构生态化就是未来“互联网+”智慧能源是以可再生能源为主,以传统能源、特别是清洁的气体能源为支持的能源结构,并与储能深度融合,构建多能互补、灵活柔性的能源系统,因地制宜,充分利用区域内的能源、资源禀赋。

(2) 主体多元化则是“互联网+”能源带来的市场格局的变化,分布式能源会产生众多产能、用能一体化的各种新兴市场单元,从而形成多元的市场主体,使消费者降低对传统大型能源公司依赖,同时拥有更多的自主权和选择权。

(3) 交易多边化则是在主体多元化的基础上,由于在“互联网+”能源结构中,各类主体在这个市场内既自由竞争,又相互协作,最终借助能源交易平台实现能源效率的最优及能源价值的最大化。

(4) 商品标准化是对“互联网+”能源提出的新需

求,利用全新的能源转换装备和能量计量方式,将不同品质的能源进行高效便捷的相互转换和基于能源商品性质的统一计量,以支撑能源的自由交易。

(5) 物流智能化是从立体网络层面上讲,能源网络互通互联,能源可自由接入和最优传输,配合高效的储运体系,实现能源的双向流动,提升整个系统的生产效率,降低系统的运营成本。

在互联网理念、先进信息技术与能源技术深度融合的基础上,通过多能协同互补的能源网络、信息物理高度融合的传感控制网络、创新高效模式下的能源信息一体化平台,以客户为中心,构建的全新的能源生产消费模式,形成去中心化的“无中心网络”,彻底转变现有能源生产和消费模式,为客户带来更低的成本、更优的服务、更自主的选择;同时实现绿色、协调、高效的社会发展,带动经济可持续增长,支撑新时期的能源体系革命。

7 结语

分布式能源网络是将多元的分布式能源系统连接成多种能源和信息网络高度融合的新型智能化能源网络系统,通过将区域内的多种可再生能源与天然气以分布式方式与终端用户联接,实现冷、热、电即产即用和双向传输,并通过物质流、能量流和信息流的协同控制,实现整个网络的有序化,从而构建高效的分布式能源网络系统,这种新兴的分布式能源网络系统是中国未来智能电网及智慧燃气网的有效补充,也是中国能源互联网发展的基础之一。

分布式能源网络系统的发展将破解当前分布式能源发展所遭遇的困境,借助科学的分布式能源网络化技术,不断提升区域能源系统的能效和经济性。以可再生能源和天然气融合为特征的分布式能源网络的发展,将作为我国能源革命的重要战略里程碑之一,大力发展分布式能源网络系统,将重构现代能源体系,并支撑中国能源互联网产业的蓬勃发展。

参考文献

- 1 BP. 2035 World Energy Outlook. <http://www.bp.com>. 2016-04-28
- 2 Dai Y D. Energy Revolution: An interpretation of energy situation and development strategy (in Chinese). Electric Age, 2013, (12): 60-61 [戴彦德. 能源革命进行时—能源形势及发展战略解读. 电气时代, 2013, (12): 60-61]
- 3 National Development and Reform Commission. Guidance on promoting the development of “Internet plus” smart energy (in Chinese). <http://www.ndrc.gov.cn>. 2016-02-24 [中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见. <http://www.ndrc.gov.cn>. 2016-02-24]

- 4 National Development and Reform Commission. Notification on the Issuance of “Innovation Action Plan for Revolutionary of Energy Technology (2016-2030)” (in Chinese). <http://www.nea.gov.cn>. 2016-06-01 [中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于印发《能源技术革命创新行动计划(2016-2030年)》的通知. <http://www.nea.gov.cn>. 2016-06-01]
- 5 Foresight Industry Research Institute. Distributed energy industry research of US (in Chinese). <http://www.qianzhan.com>. 2015-02-28 [前瞻产业研究院. 美国分布式能源行业研究. <http://www.qianzhan.com>. 2015-02-28]
- 6 Yang Y, Ding X C, Ma H T, et al. Analysis and reflection on the development of distributed energy in Japan (in Chinese). *Power Generation Air Condition*, 2012, 148: 11–14 [杨映, 丁小川, 马洪涛, 等. 对日本分布式能源发展的分析与思考. *发电与空调*, 2012, 148: 11–14]
- 7 Morozumi S. Microgrid Demonstration Projects in Japan. *IEEE Power Conversion Conference*, Nagoya, 2007, 635–642
- 8 Fukuda H. Overview of the Microgrid Related Project in NEDO. *International Conference on Renewable Energy in Asia: A challenge for Micro Grid Concept*. Washington, 2008
- 9 Obara S. *Fuel Cell Micro Grids*. London: Springer, 2008
- 10 European Commission. *Towards Smart Power Networks-Lessons learned from European research FP5 projects*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2005
- 11 Bamberger Y, Baptista J, Botting D, et al. Strategic research agenda For Europe’s electricity networks of the future. <http://ec.europa.eu/research/energy>. 2007-1-1
- 12 Liu M P. Research on the restrictive factors and countermeasures of natural gas distributed energy development in China (in Chinese). *Sino-Global Energy*, 2014, 19: 3–10 [刘满平. 我国天然气分布式能源发展制约因素及对策研究. *中外能源*, 2014, 19: 3–10]
- 13 Du D Y, Qin F. Practice and development suggestion of natural gas distributed energy enterprise (in Chinese). *Gas Heat*, 2013, 33: 12–15 [都大永, 秦锋. 天然气分布式能源的企业实践与发展建议. *煤气与热力*, 2013, 33: 12–15]
- 14 Zhang Q. Status and problems of natural gas distributed energy resources (in Chinese). *Popul Sci Technol*, 2012, 14: 93–94 [张勤. 天然气分布式能源的现状与问题. *大众科技*, 2012, 14: 93–94]
- 15 Zhu J W, Shi L, Xie Z G. Study on the development strategy of natural gas distributed cooling, heating and power cogeneration system (in Chinese). *Urban Gas*, 2014, (4): 37–40 [朱建文, 石琳, 谢治国. 天然气分布式冷热电三联供发展对策研究. *城市燃气*, 2014, (4): 37–40]
- 16 National Development and Reform Commission. On the Issuance of the “13th Five-Year” Energy Development Planning (in Chinese). www.ndrc.gov.cn. 2016-12-20 [中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于印发能源发展“十三五”规划的通知. www.ndrc.gov.cn. 2016-12-20]
- 17 Jeremy R. *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World*. New York: Palgrave Macmillan Trade, 2011 [Jeremy R. 张体伟, 孙毅宁, 译. 第三次工业革命: 新经济模式如何改变世界. 北京: 中信出版社, 2012]

Summary for “分布式能源网络系统的探索与实践”

Exploration and practice of distributed energy network system

ZHU XiaoJun^{1†}, ZHU JianHua^{1†*}, ZHU ZhenQi^{2†} & GAN ZhongXue²¹ College of Chemical Engineering China University of Petroleum, Beijing 102249, China;² ENN Science & Technology Ltd., Langfang 065001, China

† Equally contributed to this work

* Corresponding author, E-mail: secondzhu@sina.com

China's energy infrastructure is predominantly fossil fuel based such as coal and petroleum, resulting in the deterioration of surrounding environments. The application of renewable resources, natural gas suppliers and distributed energy systems are a critical component in alleviating the present detrimental situation; by analyzing successful distributed power and micro grid systems internationally and applying it to domestic networks, these systems can be customized and calibrated to maximize efficiency. Furthermore, the demographics of distributed energy users is expanding from exclusive industrial consumers to commercial and residential customers, increasing demand for modular units, attracting the attention of the Chinese central government's environmental policymakers.

Within China, the implementation of distributed energy networks has been limited to industrial parks, economic and technological development zones. In this article, the characteristics of distributed energy networks is defined utilizing case studies involving the Sino German Eco-Park and Langfang City, introducing the mainstream energy networks including infrastructures, system hierarchy, its implementation methods and overall effects. In the Sino German Eco-Park, a distributed energy network is combined with a centralized system composed of one regional and six energy substations, providing electricity for blocks one through eight whose energy scheduling mode being divided into two inter-network and intra-network scheduling. Using the energy operations center, electrical transmission across the blocks is achieved via energy allocation between micro grids combined with the installation of natural gas, renewables and smart power grids; this enables the Sino German Eco-Park technical index to accomplish higher power distribution levels of efficiency. In Langfang City, the first city-level reconstruction and distributed energy project in China, the micro grid at New Chaoyang block is described in detail. Finally, the future of distributed energy network system is the energy internet as summarized an ecological, diversified and multilateral commodity whose logistics are intelligent and standardized.

distributed energy network, energy internet, system efficiency

doi: 10.1360/N972017-00576