

能源4.0:重塑经济结构

——互联网技术与智慧能源

顾为东

(江苏省宏观经济研究院,南京 210013)

[摘要] 本文根据几十年系统研究,提出与工业4.0相适应的能源4.0概念,其特征是通过互联网与电网,将太阳能、风能、化石能源、核能等供电侧与电解铝、氯碱、大规模海水淡化、制氢、煤炭清洁化、煤化工、冶金等高耗能产业用电侧,构建一个有机的高效、低成本、可持续、可调控的网络,即构建我国产业能源互联网体系,重塑经济结构,实现经济优化升级、成为实现经济新常态的重要抓手。

[关键词] 能源4.0;产业能源互联网;高耗能产业;调峰

[中图分类号] TK01 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)03-0004-06

1 前言

在2014年Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC)会议期间,习近平总书记两次提及能源生产和消费革命,将其与科技革命、产业革命并列为新一轮全球性的“革命”。这也是习总书记在中央财经领导小组第六次会议正式提出能源革命以来,再一次重提能源生产和消费革命。为此,笔者根据几十年来对我国宏观经济的研究积淀和完成国家“973”计划“大规模非并网风电系统的基础研究”取得产业化成果的基础上,从宏观经济和能源科技发展的结合上,对我国能源发展改革和产业结构调整开始了思考,并将自己的思考凝炼提出第四次能源革命和战略定位的理论思想^[1],简称“能源4.0”,核心是建立我国产业能源互联网,重塑中国经济结构,成为经济优化升级、实现新常态的重要抓手。

2 中国需要全球视野下的战略引领与定位

目前,我国经济与社会发展面临的国际、国内环境已与前35年改革开放发生了根本性的变化。经济总量已为全世界第二位,人口红利、环境红利

和资源红利已基本殆尽,经济发展速度也由高速发展进入中高速发展的新常态;国际政治环境与经济形势也更加错综复杂,正进行一场涉及全球的大调整,这就要求我们在新一轮的改革开放中,全面把握全球视野下的战略引领与战略定位。

“能源4.0”是第四次能源革命简称,以互联网技术将非并网多能源协同与高耗能产业实现智能化深度融合、通过大数据云计算形成智慧能源,核心是通过智慧能源建立全球化的产业能源互联网体系,从而推动我国引领全球重塑经济结构。在应用上颠覆传统电网结构,实现用电侧无条件服从供电侧;颠覆传统产业功能,通过科技进步和创新,实现高耗能产业功能升级,达到动态变负荷生产;颠覆传统商业模式,电网实现“零”成本深度调峰同时,数十种经济支柱产业达到结构优化、节能减排、绿色发展和效益上升;重塑我国及世界经济结构,成为我国经济优化升级、实现新常态的重要抓手。

3 重塑中国经济结构:从工业4.0到能源4.0

世界著名思想家、美国著名趋势学家杰里米·里夫金在其所著的《第三次工业革命》中认为,历史

[收稿日期] 2014-12-08

[作者简介] 顾为东,1956年出生,男,江苏盐城市人,博士,主要研究方向为新能源与宏观战略研究;E-mail:guwd@zjzw.net

4 中国工程科学

上的工业革命均是通信技术与能源技术的结合,进而引发重大的经济转型^[2]。第三次工业革命的特征就是互联网技术与可再生能源融合。

第三次工业革命尚在积极探索和规划过程中,德国政府提出了“工业4.0”战略。“工业4.0”,即是以智能制造为主导的第四次工业革命,或革命性的生产方法。该战略旨在通过充分利用互联网信息技术与先进的精密机械工业相结合的手段,将制造业向智能化转型。

回顾人类文明发展史,人类每一次工业革命的原动力均为能源革命。

第一次工业革命,从18世纪60年代到19世纪40年代,以英国为发源地,全世界爆发了第一次工业革命,其显著标志是蒸汽机的发明和使用,是人类成功地用煤炭替代了木柴并推动了蒸汽机,实现了第一次能源革命,成就了大国崛起的梦想。第二次工业革命,内燃机和发电机的发明和使用是标志性成果,是人类用石油代替了煤炭并推动了内燃机,引发了第二次能源革命,为第二次工业革命提供了源动力,并使美国创造了领先世界的辉煌。第三次工业革命,根据里夫金《第三次工业革命》描述,其特征是分散式太阳能光伏发电等可再生能源通过互联网技术集中融合替代了化石能源并通过智能电网规模化使用。对于第三次能源革命,里夫金已向我们展示了这种可能。光伏革命将成为第三次新能源革命的核心引擎,并将在第三次工业革命中扮演重要角色,进而深刻影响人类社会的生产

和生活。

简言之,第一次能源革命是煤炭替代了木柴,并与蒸汽机相结合;第二次能源革命是石油代替了煤炭,并与内燃机相结合;第三次能源革命是里夫金提的以太阳能为主的可再生能源替代化石能源,并与互联网技术相结合;而德国提出工业4.0尽管得到了广泛的认同,但这一次在全球范围内还没有人、研究部门或相关组织提出与其相配合的原动力即第四次能源革命。

通过深度研究,第四次能源革命应是包容性的,它超越了第三次能源革命的范畴,是将所有能源实现多能源协同供电,改变了供电侧的传统模式,并通过互联网技术与用电侧的数十种高耗能产业相融合成为“智慧能源”,重塑经济结构并实现为第四次工业革命工业4.0提供清洁、环保、低耗的绿色能源和加工材料(见表1)。

虽然新能源和可再生能源无疑是未来社会的主导能源^[3],但其发展模式不是第一次、第二次及第三次能源革命那样,以某种特定能源为主体,而是能源多样化的多能源协同供电,其特征是通过互联网与电网,将太阳能、风能、化石能源、核能等供电侧所有能源与电解铝、氯碱、海水淡化、制氢、煤炭清洁化、煤化工、冶金、城市污泥污水处理、绿色交通等高耗能产业用电侧进行深度融合、通过大数据云计算形成智慧能源,构建一个有机的高效、低成本、可持续、可调控的新型能源网络系统^[4]。

表1 能源革命是工业革命得以发生的客观基础

Table 1 The energy revolution is the foundation of the industrial revolution

能源革命	工业革命
第一次能源革命 以人类大规模的煤炭使用为主要标志,为第一次工业革命提供源动力	第一次工业革命 以煤炭推动了蒸汽机为主要标志,机器开始大规模替代人力、畜力、水力等自然力,人类社会开始进入蒸汽机时代。
第二次能源革命 在大规模使用石油和煤炭基础上,以内燃机和发电机的发明为标志,为第二次工业革命提供源动力	第二次工业革命 以电力的广泛应用和一系列电气发明为标志,人类社会开始进入电气化时代
第三次能源革命 实现太阳能、风能、生物质能、潮汐能等新能源的大量使用为基础,实现人类社会新能源使用的清洁化、低碳化为主要特征的能源时代	第三次工业革命 根据里夫金《第三次工业革命》描述,通过互联网信息技术与以太阳能为主的新能源和可再生能源实现深度融合,构建遍布五大洲的全球电网,为人类提供充沛的清洁能源
第四次能源革命(能源4.0) “能源4.0”,即通过互联网将能源及与能源直接相关的高耗能等产业智能化深度融合,使能源结构和产业结构发生革命性变革,实现重塑经济结构	第四次工业革命(工业4.0) “工业4.0”,即是以智能制造为主导的第四次工业革命,或革命性的生产方法。该战略旨在通过充分利用互联网信息技术与先进的精密机械工业相结合的手段,将制造业向智能化转型

可以设想,如果工业4.0没有原动力的能源4.0支撑,工业4.0再智能化,如加工产品的电力仍是传统的能源,加工的原料如铜、铝、氯碱、塑料、生物工程等是用传统能源和粗放式冶炼生产出来的,智能制造业的产品也不能说是绿色、环保、减排和可持续发展的。据此,笔者提出与工业4.0相适应的能源4.0概念,其核心就是建立“产业能源互联网”,重塑中国经济结构,实现新常态可持续发展。

4 能源4.0:启动产业能源互联网模式

能源4.0,利用互联网技术,实现非网多能源之间的互联,达到智能化协同发电;更重要的是,实现多能源协同供电与高耗能产业之间的互联,达到多能源协同电力供给与高耗能产业电力需求之间的耦合和动态平衡^[5]。

能源4.0的产业能源互联网,颠覆了传统能源发展模式,实现了多能源协同发展,能够发挥各种能源的比较优势;颠覆了全球传统电网结构,从传统的发电侧无条件服从于用电侧,变为用电侧无条件服从于发电侧;实现高耗能产业功能升级,个性化地根据电网需求动态改变负荷生产;实现我国煤电、电解铝、氯碱、制氢(新能源汽车、船舶)、海水淡化、清洁煤化工(温室气体零排放和节水)、多能源

单细胞食用蛋白等产业生产成本大幅度下降;实现电网效率大幅度提升,在不增加投入的前提下提高发电效能^[6]。这是一个系统工程,经济效益、社会效益、生态效益影响巨大,事关国家发展的重大战略需求和重整经济结构实现发展新常态。

在产业能源互联网体系中,利用高耗能特性^[7],通过需求侧管理,为电网作深度调峰(见图1),提高电网利用率,让产业结构从外延扩张型向内涵增效型转变。变高耗能产业为高效能产业。以电解铝为例(见图2),通过“多能源协同供电系统”与“余热回收及发电系统”协同工作,达到:电网高负荷、高电价的白天降耗减产“让出负荷”,电网低负荷、低电价的夜间“增大负荷”、大量增产,降低成本。这样无疑使高耗能产业转化为电能的“零”成本储蓄终端,起到与我国大电网配套智能调峰实现动态平衡的超大型蓄电池的作用(见图3)。

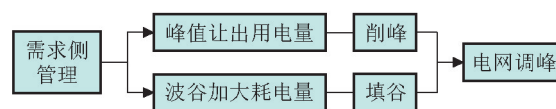


图1 产业能源互联网调峰原理

Fig. 1 The peaking principle of the industry internet & energy

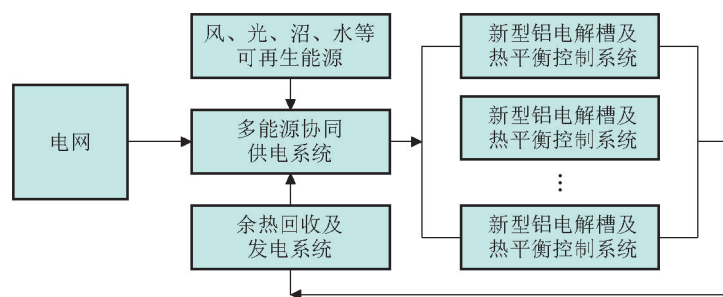


图2 以电解铝为案例在能源4.0中“零”成本电网深度调峰示意图

Fig. 2 “Zero” cost peaking shaving of electrolytic aluminum for power grid in energy 4.0

1997年诺贝尔物理学奖获得者,美国前能源部部长、华裔物理学家朱棣文感慨:人类如果发明了与电网相配套的大型蓄电池,将颠覆人类经济结构和发展方式。美国著名智库洛基山研究所创始人、能源问题专家卢安武则说:发明这一大型蓄电池,

不仅30年内做不到,就是做到,电池本身造价高昂和制造的二次污染,效率只有70%。意思效果有但不是十分理想,笔者提出的高耗能产业对电网实现“零”成本、无损耗的动态平衡调节,将实现朱棣文教授的愿望(见图4)。

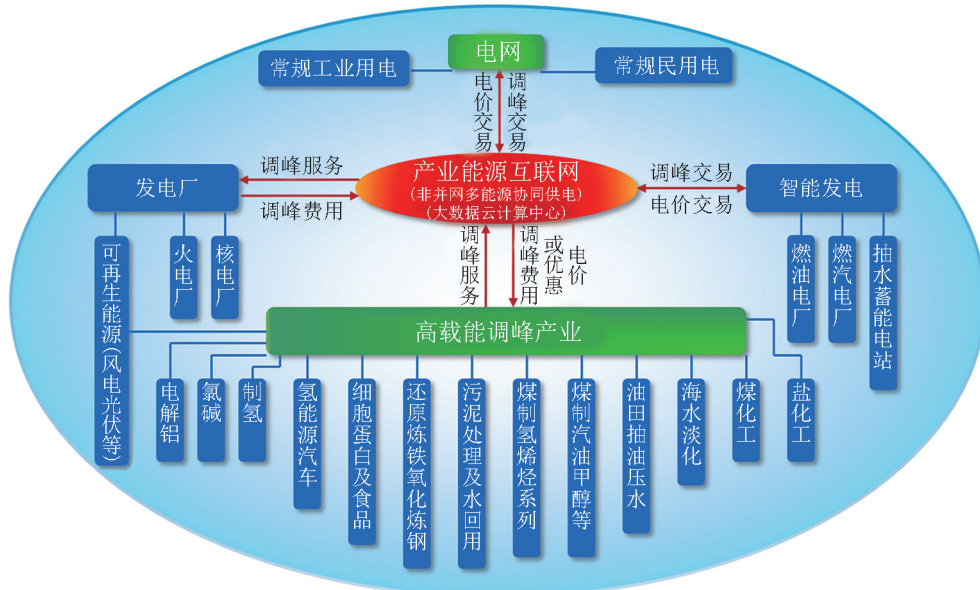


图3 能源4.0多能源协同供电的产业能源互联网系统示意图

Fig. 3 Industry internet & energy, a multi-energy cooperative supply system in energy 4.0

2013年8月29日，习近平总书记考察中国科学院物理化学所时，亲切询问了在研的储能电池规模、产业化应用等问题，指出储能是个重大课题。

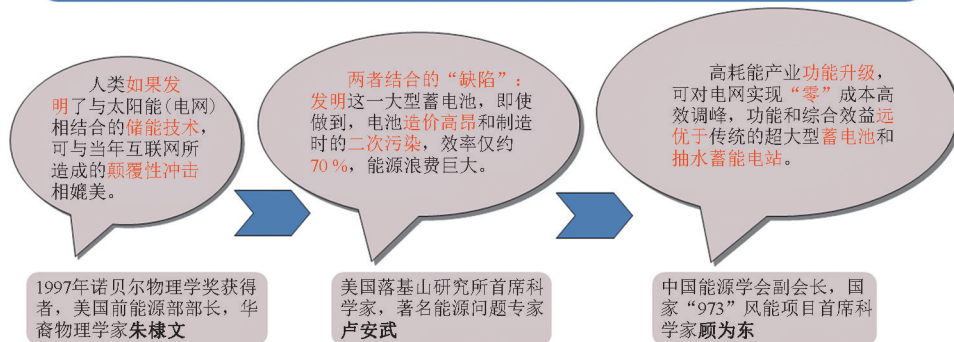


图4 储能调峰对电网和经济结构的重要性

Fig. 4 The importance of peak shaving for power grid and economic structure

能源4.0的产业能源互联网具有以下特征：a.将太阳能、风能、化石能源、核能等各种能源进行优势互补、深度融合，建立智能化的非并网多能源协同发电（供电）系统；b.电解铝、氯碱、煤化工、海水淡化、冶金、制氢等高耗能产业通过必要的技术改造实现功能升级，能够成为电网进行“零”成本的深度调峰的高效能产业，其调节电网功能远优于大型蓄电池和抽水调峰电站；c.电网利用率大幅度提高，并通过互联网信息技术实现“刚性”电网向“柔性”电网转变，为实现智慧能源奠定基础；d.通过互联网信息技术和大数据云计算，将包括火电、核电、水电、风电、光伏等多能源发电系统、电网及用电侧高耗

能产业等集成创新，共同在互联网这个平台上深度融合，构建具有自调节功能的智能化多能源协同供电、用电平衡系统；e.将能源系统、发电系统、产业系统在国家重大战略需求框架下进行耦合，从全国范围内系统解决电网动态平衡、能源结构、产业结构问题，实现多能源协同的电力供给侧与以高耗能产业为主的电力需求侧之间的动态平衡，实现智慧能源、绿色、低碳和高效发展。

5 实现能源4.0, 构建产业能源互联网技术路径

在产业能源互联网系统理论框架下，实施了相

关技术路径研究和实践。以下是在国家“973”计划“大规模非并网风电基础研究”项目基础上形成的多能源协同供电核心技术,在电解铝、氯碱工业、海水淡化、制氢、煤化工、冶金、新能源汽车等高耗能产业^①的功能转变这一课题上取得了研究成果。这些成果的基础理论研究、实验验证及配套的技术转化工作已全部完成,其中一些重点项目与企业合作建设了一批示范工程,已验收,可以大规模商业化、市场化和产业化推广应用。这些项目产业化成功,不仅能够解决我国能源系统的矛盾和难题,还能够创造若干个新兴产业,为建立我国产业能源互联网体系、重塑经济结构实现经济优化升级、成为经济新常态的重要抓手。

这是一个新的系统性工程,列举以下具体研究成果。

1)将我国工业耗电第一、产量占全球48.5%的电解铝产业实现功能升级,让电解铝企业扭亏为盈,其生产电力成本下降50%,经济效益提高4~8倍以上,并拉动国内约10 000亿技术改造投入,形成全球化的万亿元新型铝电解槽高端装备制造业。

2)将工业耗电第二、产量全球第一的氯碱工业功能升级,实现扭亏为盈,其生产电力成本下降40%,经济效益提高2~4倍;在为电网动态零成本调峰时,通过能效管理收益显著;拉动全产业链数十亿元技术改造投入,形成完整自主知识产权、面向全球万亿元市场的新型氯碱电解槽高端装备制造业高地。

3)新能源海水淡化可以风生水起,实现人类的梦想,100%使用风电和光伏等新能源实现大规模海水淡化,解决我国淡水缺乏的世纪难题。所有海水淡化装备全部装进风机塔筒之中,实现高度集约化、一体化、国产化,淡化装备成本下降40%~50%,节省土地50%~80%。商业化后为电网动态调峰相结合,每吨淡水成本2.5~3.5元人民币,将为我国北方地区日提供 $3\times 10^7\sim 5\times 10^7$ t淡水能力变为现实(年供水 $1\times 10^{10}\sim 1.5\times 10^{10}$ t能力);形成完整自主知识产权、面向全球形成万亿元市场的新能源海水淡化的高端装备制造业高地,也将为我国发展海洋产业和海岛建设提供淡水保障。

4)大规模新能源直接制氢(氧),用超低风速直驱风机和太阳能光伏直接电解水制氢(氧),为我国新型加氢天然气和氢内燃机车、氢燃料电池(技术储备)汽车及船舶提供强大的绿色动力。实现我国

各省都是“大油田”、各市都是“炼油厂”,处处都有“加油站”。

5)风(光)/煤多能源系统:通过非并网多能源协同供电,实现煤炭多能源系统的清洁化利用,用新能源直接“嫁接”传统能源,大幅度提升传统能源的效率,商业化后与电网动态调峰相结合,实现煤炭清洁化利用,同样煤制气(油)产量,节煤50%、节水38%、二氧化碳零排放。简言之,汽车烧的油、家里烧的气,有一半是“风吹、日晒”而来。

6)新型太阳能热发电:将太阳能槽式、聚光式发电装置与高耗能产业进行“嫁接”,走出一条新型太阳能热发电之路,系统运行成本可降低40%,度电成本远低于目前的光伏电池,达到世界领先水平;并面向全球市场形成具有完整自主知识产权的新型高端装备制造业。

7)细胞蛋白及食品:通过风光沼等新能源和网电等与煤化工协同,实现工厂化大规模新能源煤基动物蛋白生产,走出一条彻底转变我国食品结构与安全的特色之路,摆脱千百年来靠天吃饭的窘境,解决食品安全瓶颈,并为我国实现城镇化和城乡一体化提供重要食品安全保障(在此基础上可探索高仿真型人工猪、牛、羊、鱼肉和奶及奶制品工厂化生产,最终让“动物走下餐桌”)。同样,生产的动物蛋白中有一半是“风吹、日晒”而来。另一路径是开发“城市牧场”,用城市生活垃圾作为营养基规模化培育生产细胞蛋白及食品。项目实施后,一个年产10万吨级的单细胞蛋白工厂,一年所产的蛋白质相当于56万亩(1亩 ≈ 666.67 m²)土地大豆产量的蛋白质。这为我国真正实现大规模退耕还林、退耕还草、退耕还牧和还我碧水、蓝天、白云奠定基础。

8)镍铁合金与还原炼铁氧化炼钢等的绿色冶炼:新能源(风光沼网)协同供电,商业化后为电网动态调峰相结合,实现镍铁等铁合金和规模化氢还原炼铁的绿色冶炼、节能减排、提高经济效益。

9)城市污泥处理及水回用:新能源(风光沼网等)非并网协同供电与我国城镇化公共事业发展相结合,走出一条中国特色城市(镇)污泥、污水的自然高压、高效处理和废水高效回用、余热回收(供热、供冷)的新路。节省土地40%,为实现市场化、商业化、产业化自负盈亏发展城市大型基础性公共事业奠定基础。

10)新能源煤制氢烯烃系列:通过新能源/煤多能源系统整合发展,商业化后为电网动态调峰相结

合,走出一条中国特色非石油的烯烃产业路线,为下游近千种经济建设和人民生活必需品生产提供优质基础原料。同样,这些产品有一半也是“风吹、日晒”而来。

11)建设“柔性”电网:通过高耗能产业功能升级为电能储蓄终端,起到为电网配套调峰的大型蓄電池作用,将我国以煤电为主的刚性电网转变为柔性电网,电网利用率从约30%提高到50%~55%,跃升世界先进水平。美国电网每提高10%的利用率,年经济效益增加1千亿美元,在能源4.0中,我国电网效率提升,将实现年经济效益增加1万亿(人民币)以上。使全国火力发电机组发电量通过内涵存量资产增加30%~40%,经济效益增长2倍以上(若将增加效益的50%让利于民,可使我国电网度电价格下降20%~40%,有利于提高全民生活质量和推动中小企业创业、大幅度增加就业)。同时,实现我国风电和光伏电全部高效利用并推动风机、光伏等装备制造业井喷式、爆发性增长,新能源贡献率也达到40%以上、全面达到世界先进水平,实现全国10年基本不需要再建大型火电厂,20年不需再新建核电站,为子孙后代消除“核恐惧”。

6 结语

综上所述,通过我国全球最大规模的高耗能产业的功能升级为契机,充分发挥中国特色的比较优势,构建能源4.0,引领全球建立产业能源互联网,发展智慧能源,重塑经济结构、实现我国经济发展新常态。

参考文献

- [1] 杜祥琬. 能源革命——为了可持续发展的未来[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2014, 5: 1-9.
- [2] 杰里米·里夫金. 第三次工业革命: 新经济模式如何改变世界[M]. 张体伟, 孙豫宁译. 北京: 中信出版社, 2012.
- [3] 顾为东. 非并网风电产业发展新战略与风电非并网理论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [4] 顾为东. 大规模非并网风电系统开发与应用[J]. 电力系统自动化, 2008(19): 1-9.
- [5] 顾为东. 非并网风电对超大规模风电利用的战略意义和路径[J]. 上海节能, 2010(5): 8-11.
- [6] 顾为东. 大规模非并网风电产业体系研究[J]. 中国能源, 2008, 30(11): 14-17.
- [7] Gu Weidong. The development and utilization research on large-scale non-grid-connected wind power systems[C]//Proceedings of Non-Grid-Connected Wind Power Systems(ISTP). US: The American Scholars Press, 2008: 159-164.
- [8] Fang Chuanglin, Huang Jinchuan, Zhang Qiang, et al. The development status and strategy of the wind power industry in China[C]//Proceedings of Non-Grid-Connected Wind Power Systems(ISTP). US: The American Scholars Press, 2008: 170-181.

Energy 4.0: Constructing the economic structure, internet technology and smart energy

Gu Weidong

(Jiangsu Institute of Macroeconomic Research, Nanjing 210013, China)

[Abstract] The concept of energy 4.0, which adapts to industry 4.0 is proposed in this work. Its main feature is that it combines the wind energy, solar energy, nuclear energy and other fossil energies which are energy providers with the high-energy-consuming industries such as electrolytic aluminum, chlorine alkali, large-scale desalination of sea water, hydrogen, clean coal, coal chemical and metallurgy industries by the internet of things. This energy & industry internet is a high efficiency, low cost, sustainable, and regulatory network. energy 4.0 will play an important role in industry upgrading and economic restructuring.

[Key words] energy 4.0; the energy & industry internet; high energy consuming industries; peak shaving