

基于能源脑模型的二次能源优化一次能源探讨

苑舜

(国家能源局,北京 100824)

摘要:文中旨在研究优化一次能源结构的最佳方式和技术路径,为我国能源优化发展、技术创新提供方向参考。以理论创新为突破点,在分析全球能源发展现状和趋势的基础上,建立能源脑模型,提出能源生命周期的概念,研究了优化能源系统的途径,并分析探讨了我国能源优化的技术需求和技术路径。揭示了能源行业可自成闭环系统的规律,提出通过二次能源优化一次能源是优化能源系统、实现能源系统生命周期延长最便捷最有效的途径,且电能是二次能源优化一次能源的最佳方式。研究得出,通过一次能源向电能转换、电能传输、储能与能源互联网等3个方向的技术创新,保障电能的持续、稳定供应,可以实现能源系统生命周期的延长,助力构建清洁低碳、安全高效的能源体系。

关键词:能源脑模型;能源系统生命周期;一次能源结构优化;能源体系;技术路径

中图分类号:TM92

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2020)03-0065-06

0 引言

近年来,我国经济的高速发展带动能源消费需求不断增加,我国已成为世界第一大能源消费国,其中煤炭消费占比居高不下。一次能源消费带来的一系列环境和气候变化问题为经济发展和生态文明建设带来了巨大压力与挑战^[1]。与此同时,我国能源对外依存度持续提高,2018年石油对外依存度达到69.8%,高于国际普遍认可的50%安全警戒线^[2]。调整一次能源消费结构,合理控制能源对外依存度,保障国家能源安全迫在眉睫^[3]。

2014年,习近平总书记创造性地提出了“四个革命、一个合作”能源安全新战略,党的十九大报告进一步强调要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。为了实现这一目标,优化一次能源结构,推进非化石能源替代化石能源,实现能源清洁利用、低碳转型是关键^[4-6]。

近年来,能源结构优化、能源转型方面的研究越来越受到关注^[7-9],也有文章对我国能源发展趋势、能源转型方向做出了预测^[10-12]。在吸纳总结现有研究成果的基础上,文中致力于从理论创新出发,探索能源系统运行的规律,发现并论证优化一次能源结构的最佳方式,提出具体技术路径,为我国能源优化发展、能源技术创新提供参考。

1 国内外能源发展现状和趋势

1.1 能源发展现状

随着世界经济规模的不断增大,世界能源消费

总量持续增加,同时能源利用效率不断提高,能源消费增速放缓,世界能源需求长期保持低速增长。2018年,世界一次能源消费量增长了2.9%,虽已达到2010年以来最高增速,但2009年至2018年的平均增速仍仅有1.5%^[13],如图1所示。2018年,中国、美国和印度共贡献了全球能源消费增长的三分之二,中国连续18a成为全球能源增长的最主要来源^[13]。

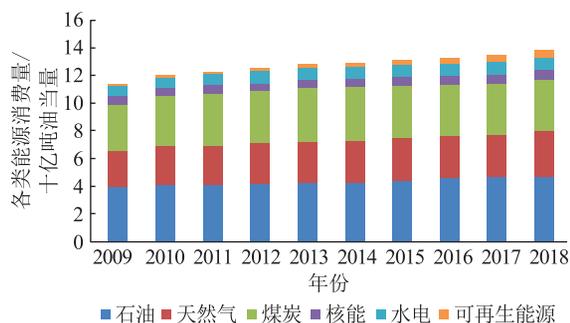


图1 世界一次能源消费量

Fig.1 World primary energy consumption

目前世界能源市场正处于转型期,在科技进步和环境需求的共同驱动下,能源结构正在向更清洁、更低碳的方向转型。2018年世界一次能源消费的增长主要来自天然气和可再生能源,两者的增速分别达到5.3%和14.5%,在一次能源消费中所占比重达23%和4%;煤炭在一次能源消费中所占比重下降至27.2%,为2009年以来最低^[13],如图2所示。中国一次能源消费结构与世界一次能源消费结构存在一定差别,煤炭仍是主导燃料,占一次能源消费量的58%,高于世界平均水平;天然气占比仅为7.4%,具有较大提升空间^[14],如图3所示。

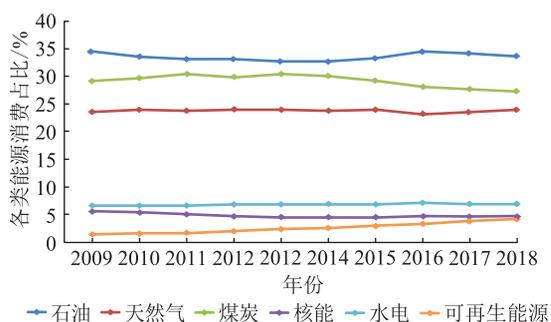


图2 世界一次能源消费占比

Fig.2 Shares of world primary energy consumption by fuel

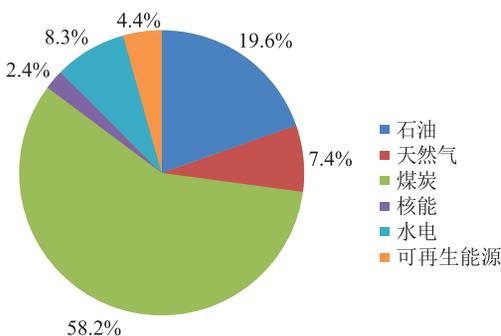


图3 中国一次能源消费占比

Fig.3 Shares of China's primary energy consumption by fuel

1.2 能源发展趋势

未来,世界能源格局将发生重大调整,围绕能源市场和创新变革的国际竞争仍然激烈,能源开发与利用将面临全方位挑战^[15-18]。在较长的一个历史时期内,世界能源低碳化进程将持续推进,天然气和非化石能源将成为能源发展的主要方向。预计2040年天然气在一次能源中占比将高达26.3%,超过煤炭成为第二大能源,并与石油占比相接近;可再生能源在一次能源中的占比将快速增长至14.1%^[19],如图4所示,一次能源结构的优化已是大势所趋。

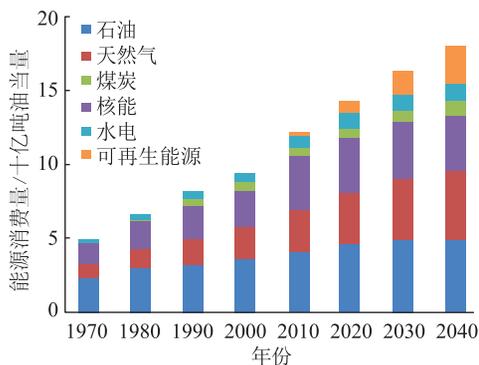


图4 世界各类一次能源消费量及预测

Fig.4 World primary energy consumption and prediction

我国能源发展方向将从保障供应转向更加注重发展质量;更加注重结构调整,降低煤炭消费比重,积极发展天然气,推进非化石能源替代化石能源;更加注重系统优化,提升系统调峰能力,加快智慧能源建设;更加注重市场规律,加快形成统一开放、竞争有序的现代能源市场化体系^[20-22]。其中,优化能源结构,推进非化石能源替代化石能源,构建清洁低碳、安全高效的能源体系将是我国能源发展的重要战略方向。

2 一次能源结构优化方式研究

2.1 能源脑模型

为探索能源系统运行的奥秘,寻找能源优化发展的途径,从理论创新出发,研究建立了能源脑模型,如图5所示。

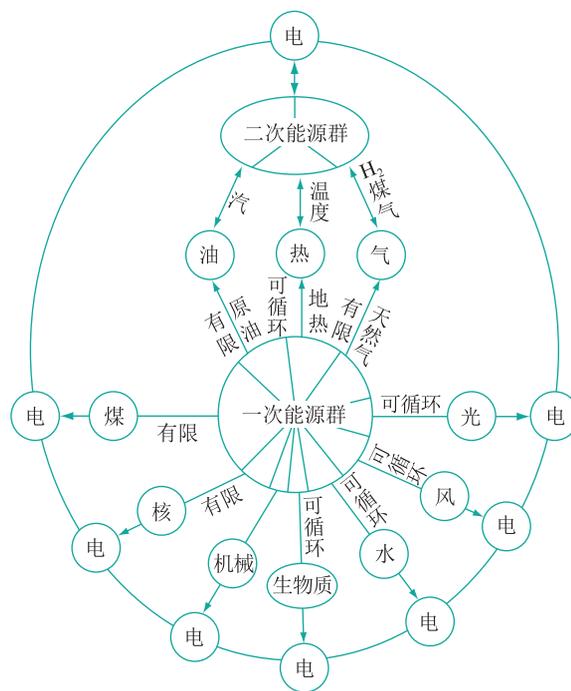


图5 能源脑模型

Fig.5 Energy-brain model

能源脑模型是将各类一次能源之间的关系及一次能源与二次能源之间的关系以象形方式呈现出的模型,因形状和结构形式类似于人脑而得名。能源脑模型揭示了能源行业可自成闭环系统的规律,发现了决定整个能源系统平衡、稳定运行的关键因素,可为提高能源行业运行效率和效果提供解决方案。

能源脑模型中的一次能源群囊括了几乎所有常见的一次能源,包括煤炭、石油、天然气、核能、地热能、太阳能、风能、水能、生物质能、机械能(包括势能、水流动能等)等。其中,煤炭、石油、天然气、

核燃料储量有限,不可循环使用;地热能、太阳能、风能、水能、生物质能可循环使用。各种一次能源看似独立存在,实际可通过一个共性链条相关联,形成闭环能源系统,链条上的关键因子就是二次能源之一的电能。煤炭、核能、太阳能、风能、水能、生物质能、机械能可直接转化为电能;石油、地热能、天然气可先转换为汽油、蒸汽、热水、氢气、煤气等二次能源,再转换为电能。

能源脑模型中,一次能源群类似于人类的大脑,是高级神经中枢,控制着多种高级功能。其中各类一次能源占比由其对应的发电类型装机占比决定,一次能源消费量的占比是否合理决定了能源大脑的运行效率和效果。二次能源群类似于人的小脑,既受大脑控制、执行大脑的指令,又具有二次调节、促进平衡的作用。各类二次能源的大致占比由一次能源的占比决定,又可在一定范围内进行再分配,协助实现整个能源系统的平衡。在各种能源的协调和优化过程中,信息化、感知系统和大数据分析起到了神经网络互联、互动的作用。

能源有生命周期。以煤炭为例,其生命周期指从发现并使用到用尽的过程。当前煤炭还属于第一次被人类使用,处于第一个生命周期,数亿年后再次形成到再次用尽为另一个生命周期。能源系统也有生命周期,指从发现并使用某一类能源到因某些能源用尽导致整个能源系统无法持续稳定运行,最终瓦解的过程。

目前,世界非化石能源替代化石能源的进程在持续加快,能源系统生命周期将获得延长。同时,各国从确保能源战略安全的角度出发,也需要延长能源系统生命周期严防某一类或某几类能源缺失引起的能源系统局部塌陷。为实现能源系统生命周期的延长,需对能源系统进行优化。能源脑模型展示了其中最便捷且最有效的途径,是通过二次能源优化一次能源。

2.2 二次能源优化一次能源结构方式研究

能源脑模型揭示了能源系统中的关键和共性要素,是二次能源之一的电能。通过调节电能来源,可调节能源系统构架,实现闭环系统的高效稳定运转。通过合理配置各种来源电能的比例,可使能源系统更加均衡、运转更加稳定,生命周期获得延长,并可在确保能源安全的基础上,提升系统弹性和协调性,提高运行效率。因此,电能是二次能源对一次能源优化的最佳方式。

要实现电能生命周期的无限延长,需要储能技术做支撑,解决方案如图6所示。非可再生能源发

电与可再生能源发电生命周期的无限延长需要区分研究。煤炭、石油、天然气、核能的能量强大,但受地球内外环境及条件的影响,形成时间过长、内存不可逆,要想延长其生命周期,需进行资源储备、能量储备。水能、风能、太阳能等可以循环利用,其中风电场、光伏电站配备储能装置后,可实现发电的连续性,水电、风电、光伏发电之间也可互补运行,实现生命周期无限延长^[23]。储能装置的储能方式可分为机械储能、热储能、氢气储能、电池储能等,其中电池是最主要的能量存储形式,高密度电池又是最重要的发展方向,并将带动超导体、金属材料行业的技术进步^[24]。

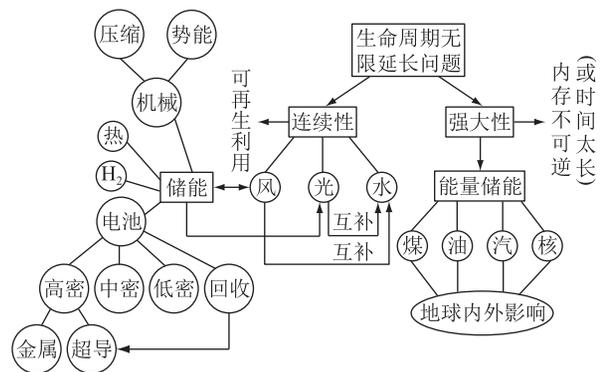


图6 生命周期无限延长问题解决方案

Fig.6 Solution for infinitely extending life-cycle problem

虽然各种来源的电能都需要通过能量储备来实现生命周期的延长,但每种电能的解决方案不尽相同。以风力发电机为例,如图7所示,风机发出的交流电(alternating current, AC)经转换模块转换为直流电(direct current, DC),一部分存入储能装置,另一部分经加工后转换为稳定的交流电并入大电网。由于风能属间歇性资源,当风速不稳定导致所发电能质量较差或风速小于临界值风机无法发电时,储能装置将储存的能量释放出来,与风机发电叠加后转换为交流电并入大电网,实现了向大电网提供持续、稳定、高质量电源的目标。此外,当风机从停机状态重新启动时,储能装置可作为外部电源为控制系统供电,启动风机运行。

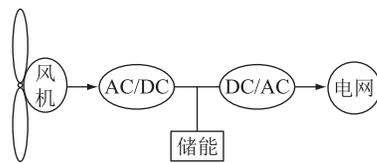


图7 风力发电机储能方案

Fig.7 Energy storage pattern for wind turbine

对于整个电力系统而言,要实现电能的持续、稳定供应,需要综合的电能解决方案,包括做好电

网的顶层设计、弹性设计、分布式管理等,并加强感知和判别体系、物联网方面的技术创新。

2.3 电能优化方案示例

电能优化是一个系统性工程,不可一刀切,需充分考虑资源禀赋、地域特征、发展基础等因素,因地制宜制定优化方案。以保障民生、保证供电为例,我国国土面积达 960 万 km²,南北跨越的纬度近 50°,距离约 5 500 km,南方、北方气候差异巨大,尤其是冬季,南北最大温差接近 50 °C。南方和北方保障民生、保证供电的关键时段及电能需求有所不同,电能优化的区域差异也由此产生,如图 8 所示。

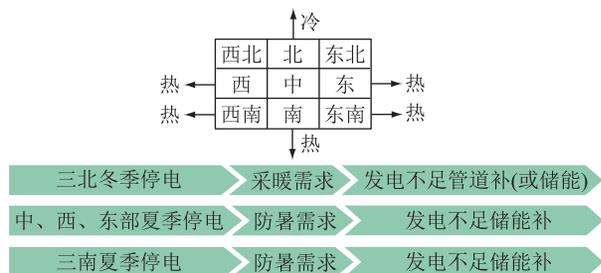


图 8 中国电能优化区域差异

Fig.8 Regional differences of electric energy optimization in China

三北地区冬季寒冷,满足采暖需求是电能优化的重点,可通过管道输送能源或储能设施作为备用和补充,预防电力不足、避免冬季停电,实现电能的持续、稳定供应。中部地区及南方夏季炎热,满足防暑需求是电能优化的重点,可通过储能设施作为备用和补充,预防电力不足、避免夏季停电,实现电能的持续、稳定供应。

3 基于电能优化的一次能源结构优化技术路径探讨

3.1 技术需求分析

技术创新历来是由技术需求推动的。能源脑模型已经揭示,电能是二次能源优化一次能源的最佳方式,解决好电力行业的问题是实现一次能源优化的关键。目前我国电力行业需重点解决以下 4 方面的问题:

(1) 以安全为基础的电力系统发展和控制问题。我国已成为世界电力第一大国,电力系统具有复杂性、脆弱性和强刚性的特点,需要在交直流混网下,形成一套完整的技术和管理体系,保证电力系统安全稳定运行。

(2) 碳源和碳汇失衡带来的负面作用及大气污染问题。需要与电力系统相配合,通过节能减排改造、电替代煤、电替代油等手段,推动碳源和碳汇形

成新的平衡。

(3) 新能源快速发展下的网源协调问题。面对新能源发电装机比例不断提升与局部电网支撑能力有限的矛盾,需要以发展新能源发电、智能配电网、分布式电源技术及优化调节方式为切入点,提高电力系统平衡性和稳定性。

(4) 能源信息网络、大数据分析技术及物联网的开发和应用问题。能源领域的智能化和协调发展,离不开准确的数据判别和大数据分析。通过信息系统的支持,才能更有效地调节能源结构以及不断优化、重构能源结构以满足不同时期的能源需求,实现平衡发展。

3.2 技术路径探讨

基于对能源优化发展解决方案的研究及能源优化技术需求的分析,认为未来五年我国以及世界能源优化发展应以电能优化为突破口,重点关注一次能源向电能转换、电能传输、储能与能源互联网等 3 个方向,全力构建清洁低碳、安全高效的能源体系。

一次能源向电能转换方向,重点攻关清洁燃煤发电技术、可再生能源高效利用技术、安全先进核电技术等 3 类新技术,在进一步提高燃煤发电机组能效、降低污染排放的同时,显著提高可再生能源发电的能量转换效率、经济性和智能化水平,从而实现核反应堆的持续改进创新和安全、经济、高效运行。

电能传输方向,重点攻关高比例可再生能源并网与传输技术、超导输电技术、先进电力电子器件技术、主动配电网技术等 4 类新技术,提升大规模清洁能源消纳能力,提高电网和互联网信息的相互融合水平及源网荷协同水平,实现超导输电、超导储能和超导电力装备的突破,并以智能电网为导向开展先进电力电子器件研究、加强配电网网络建设,为智能化城市建设、智能生活的实现打下基础。

储能与能源互联网方向,重点攻关储能技术、氢能与燃料电池技术、能源互联网技术等 3 类新技术,在大容量储能方面实现突破,推动高性能低成本燃料电池发电产业化,并通过能源流与信息流融合的协同控制技术,实现多种能源的灵活转化、高效存储和优化利用^[25]。

4 结语

当今国际能源开发与利用面临全方位调整,文中分析研究了世界及中国能源发展的现状和趋势,判断一次能源结构的优化已是大势所趋。具体到

中国,优化能源结构,推进非化石能源替代化石能源,构建清洁低碳、安全高效的能源体系将是能源发展的重要战略方向。从理论创新出发,研究建立了能源脑模型,揭示了能源行业可自成闭环系统的奥秘;定义了能源生命周期的概念,提出并阐述了通过二次能源优化一次能源是优化能源系统、实现能源系统生命周期延长最便捷最有效的途径;基于能源脑模型,进一步发现连接各类一次能源的共性要素是电能,论证了电能是二次能源优化一次能源的最佳方式,提出了电能优化的解决方案,通过保障电能的持续、稳定供应,可以实现能源系统生命周期的延长。最后,在分析研究我国能源优化技术需求的基础上,探讨了通过优化电能实现一次能源优化的技术路径,为我国及世界能源优化发展、能源技术创新提供了方向参考。

参考文献:

- [1] 厉桦楠. 中国一次能源消费产出效力影响因素研究[J]. 未来与发展,2019,43(5):65-72.
LI Huanan. Research on the influencing factors of the output of primary energy consumption in China[J]. Future and Development,2019,43(5):65-72.
- [2] 中国石油集团经济技术研究院. 2018年国内外油气行业发展报告[R]. 2019.
CNPC Economic & Technology Research Institute. Domestic and international oil and gas industry development report of 2018[R]. 2019.
- [3] 代红才,张运洲,李苏秀,等. 中国能源高质量发展内涵与路径研究[J]. 中国电力,2019,52(6):27-36.
DAI Hongcai,ZHANG Yunzhou,LI Suxiu,et al. Study on the connotation and path of China's high-quality energy[J]. Electric Power,2019,52(6):27-36.
- [4] 吴磊,詹红兵. 国际能源转型与中国能源革命[J]. 云南大学学报(社会科学版),2018,17(3):116-127.
WU Lei,ZHAN Hongbing. International energy transitions and energy revolution in China[J]. Journal of Yunnan University (Social Sciences Edition),2018,17(3):116-127.
- [5] 莫神星. 论以科技创新推动能源技术革命的路径[J]. 上海节能,2018(3):139-145.
MO Shenxing. Discussion on roadmap of promoting energy technology revolution with scientific and technological[J]. Shanghai Energy Conservation,2018(3):139-145.
- [6] 邹才能,赵群,张国生,等. 能源革命:从化石能源到新能源[J]. 天然气工业,2016,36(1):1-10.
ZOU Caineng,ZHAO Qun,ZHANG Guosheng,et al. Energy revolution:from a fossil energy era to a new energy ear[J]. Natural Gas Industry,2016,36(1):1-10.
- [7] 童光毅. 关于当代能源转型方向的探讨[J]. 智慧电力,2018,46(10):1-3.
TONG Guangyi. Probe into modern energy structure transition [J]. Smart Power,2018,46(10):1-3.
- [8] 孙贤胜,许慧文. 国际能源转型的趋势与挑战[J]. 国际石油经济,2018,26(1):7-10.
SUN Xiansheng,XU Huiwen. Trends and challenges in international energy transformation [J]. International Petroleum Economics,2018,26(1):7-10.
- [9] 王利宁,陈蕊,戴家权. 全球能源转型是大势所趋[J]. 中国石油企业,2018(7):18-21.
WANG Lining,CHEN Rui,DAI Jiaquan. Global energy transformation is an irresistible trend [J]. Chinese Petroleum Enterprise,2018(7):18-21.
- [10] 黄佐菊. 浅谈我国能源结构现状及对策[J]. 石化技术,2018,25(3):43-44.
HUANG Zuoju. The current situation and countermeasures of China's energy structure [J]. Petrochemical Industry Technology,2018,25(3):43-44.
- [11] 李雪慧,史丹,聂新伟. 中国能源供应形势及潜在风险分析 [J]. 中国能源,2018,40(7):25-30,9.
LI Xuehui,SHI Dan,NIE Xinwei. Analysis of China's energy supply situation and potential risks [J]. Energy of China,2018,40(7):25-30,9.
- [12] 李俊江,王宁. 中国能源转型及路径选择[J]. 行政管理改革,2019,117(5):65-73.
LI Junjiang,WANG Ning. China's energy transition and path selection [J]. Administration Reform,2019,117(5):65-73.
- [13] BP集团. BP世界能源统计年鉴2019年版[R]. 2019.
BP p.l.c. BP statistical review of world energy 2019 edition [R]. 2019.
- [14] 林伯强,姚昕,刘希颖. 节能和碳排放约束下的中国能源结构战略调整[J]. 中国社会科学,2010(1):58-71.
LIN Boqiang,YAO Xin,LIU Xiyang. The strategic adjustment of China's energy use structure in the context of energy-saving and carbon emission-reducing initiatives [J]. Social Sciences in China,2010(1):58-71.
- [15] 国家能源局. 能源发展“十三五”规划[R]. 2016.
National Energy Administration. The “13th Five-Year” plan for energy development of people's republic of China [R]. 2016.
- [16] 王坤,王蕾,孙可,等. 浙江乡村能源生产消费现状与发展趋势[J]. 浙江电力,2018,37(11):90-95.
WANG Kun,WANG Lei,SUN Ke,et al. The current situation and development trend of rural energy production and consumption in Zhejiang [J]. Zhejiang Electric Power,2018,37(11):90-95.
- [17] 韩高岩,楼可炜,孙五一,等. 数据中心能源站运行经济性策略分析[J]. 浙江电力,2018,37(12):100-104.
HAN Gaoyan,LOU Kewei,SUN Wuyi,et al. Strategy analysis on operation economy of data center energy station [J]. Zhejiang Electric Power,2018,37(12):100-104.
- [18] 高逸,吴耀武,宋新甫,等. 可再生能源配额政策对新能源发展影响分析及消纳策略研究[J]. 电力需求侧管理,2019,21(1):56-61.
GAO Yi,WU Yaowu,SONG Xinfu,et al. Analysis on the effect

- of renewable portfolio standards on renewable energy development and accommodation strategies study[J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(1):56-61.
- [19] BP 集团. BP 世界能源展望 2018 年版[R]. 2018. BP p.l.c. BP energy outlook 2018 edition[R]. 2018.
- [20] 国家能源局.《能源发展“十三五”规划》辅导读本[M]. 北京:中国电力出版社,2017. National Energy Administration. Tutoring reader of the 《“13th Five-Year” plan for energy development of people’s republic of China》[M]. Beijing: China Electric Power Press,2017.
- [21] 王琴明. 工业园区智慧能源管理系统的探索与应用[J]. 电力需求侧管理,2019,21(1):62-64. WANG Qinming. Exploration and application of industrial park smart energy management system[J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(1):62-64.
- [22] 邓茂云,屈博,邢广进. 能源互联网背景下用户能源服务的商业模式探索[J]. 电力需求侧管理,2019,21(3):59-62. DENG Maoyun, QU Bo, XING Guangjin. Exploring the business model of customer energy service under the energy Internet background[J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(3):59-62.
- [23] 夏新华,高宗和,李恒强,等. 考虑时空互补特性的风光水火多能源基地联合优化调度[J]. 电力工程技术,2017,36(5):59-65. XIA Xinhua, GAO Zonghe, LI Hengqiang, et al. Combined optimization dispatching of multi-source hybrid power bases considering the time-space complementary characteristics[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(5):59-65.
- [24] 刘大贺,韩晓娟,李建林. 基于光伏电站场景下的梯次电池储能经济性分析[J]. 电力工程技术, 2017, 36(6):27-31,77. LIU Dahe, HAN Xiaojuan, LI Jianlin. Economic analysis of echelon battery energy storage based on artificial fish swarm algorithm[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(6):27-31,77.
- [25] 国家能源局. 能源技术创新“十三五”规划[R]. 2016. National Energy Administration. The “13th Five-Year” plan for energy technology innovation of people’s republic of China [R]. 2016.

作者简介:



苑舜

苑舜(1963),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为能源领域政策研究及监督管理,电力系统及其自动化,电气管理及设备故障诊断(E-mail:yuanshun@nea.gov.cn)。

Exploration of the secondary energy optimizing the primary energy based on the energy-brain model

YUAN Shun

(National Energy Administration, Beijing 100824, China)

Abstract: The best way and technical path of optimizing the primary energy structure is studied, so as to provide reference for China’s energy optimization development and technical innovation. Based on the analysis of current situation and trend of global energy development, it has taken theoretical innovation as the breakthrough point, established the energy-brain model, put forward the concept of energy life-cycle, studied the ways to optimize the energy system, as well as analyzed and discussed the technical demand and technical path of energy optimization in China. It has revealed that the energy industry can work as a closed-loop system, pointed out that optimizing primary energy through secondary energy is the most convenient and effective way to optimize the energy system and extend the energy system life-cycle. Furthermore, electric energy is the best choice of secondary energy to optimize primary energy. It has concluded that through the technical innovation in three directions of primary energy to electric energy conversion, electric energy transmission, energy storage & Energy Internet, and the continuous and stable supply of electric energy can be ensured. Meanwhile, the energy system life-cycle can be extended, and the clean, low-carbon, safe and efficient energy system can be built more efficiently.

Keywords: energy-brain model; energy system life-cycle; primary energy structure optimization; energy system; technical path

(编辑 钱悦)