

长三角现代化能源大系统建设战略研究¹

翁史烈，黄震，于立军，谢晓敏，由婷，张庭婷

(上海交通大学机械与动力工程学院，上海 200240)

【摘要】长江三角洲(长三角)地区是我国经济发展最活跃、开放程度最高、创新能力最强的区域之一。进一步推进长三角地区能源革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系，促进长三角地区经济、能源和生态环境的协调发展，对推动“长江三角洲区域一体化发展”国家战略具有重要意义。本文结合长三角地区特点，提出建设长三角现代化能源大系统的构思，深入阐述了该系统的主要特征、关键问题和总体集成等，并通过模型计算和定性分析预测了现代化能源大系统建设对长三角地区发展带来的经济效益、环境效益和社会效益。最后，从成立长三角区域内统一的能源领导机构，打造长三角能源一体化先行示范区；深化能源体制改革，培育能源市场；实施“互联网+”智慧能源发展战略，开展能源高质量发展；加大投入，设立长三角能源科技创投基金等方面提出了构建长三角现代化能源大系统的对策建议。

【关键词】长三角一体化；现代化能源大系统；情景分析；能源系统；能源信息管理中心

【中图分类号】TK01 **【文献标识码】**A

DOI 10.15302/J-SSCAE-2021.01.008

一、前言

由上海、江苏、浙江、安徽“三省一市”组成的长江三角洲（长三角）地区，区域面积共约 $3.58 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，是改革开放 40 多年来我国经济发展最活跃、开放程度最高、创新能力最强、吸纳外来人口最多的区域之一，在国家现代化建设大局和全方位开放格局中具有举足轻重的战略地位。2018 年 11 月，习近平总书记在首届中国国际进口博览会上宣布，支持长江三角洲区域一体化发展，并上升为国家战略，明确提出构建现代化经济体系。2019 年 12 月，《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》发布，为长三角一体化发展的全面实施绘就了蓝图，提出了到 2035 年现代化经济体系基本建成的发展目标。毋庸置疑，现代化经济体系需要有现代化能源系统的支撑。近年来，长三角地区在能源领域不断取得进展，但区域内仍面临着“保供、提质、增效、优化、清洁”等问题。因此，推进长三角地区能源生产与消费革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系，对支撑现代化经济体系建设具有现实的必要性和紧迫性。

二、长三角能源系统的特点

2019 年，长三角地区常住人口达 2.27×10^8 人[1]，占我国总人口的 16.2%，地区生产总值约为 2.37×10^{13} 元[1-4]，占全国国

¹收稿日期：2020-11-20；修回日期：2020-12-08

通讯作者：翁史烈，上海交通大学机械与动力工程学院教授，中国工程院院士，研究方向为热力系统性能仿真、先进热力循环技术；E-mail:slweng@sjtu.edu.cn

资助项目：中国工程院咨询项目“推进能源生产和消费革命(2035)——能源革命推动经济社会发展和生态环境保护战略研究”(2018-ZD-11)本刊网址：www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

内生产总值（GDP）的 23.9%[5],人均 GDP 是全国平均水平的 1.47 倍[1],但长三角地区的区域面积仅为我国国土面积的 3.7%,这从侧面表明,为满足区域内巨大的能源消费需求,长三角能源系统为经济社会快速发展提供了强有力的保障。同时不可避免的是,长三角地区能源发展仍然面临供需不平衡、结构待优化等问题。

（一）能源资源较为匮乏，能源高度依赖外部输入

在化石能源方面,长三角地区煤炭、石油、天然气等化石能源资源储量少,本地自产的化石能源有限。2018 年,长三角地区煤炭、石油、天然气的产需缺口分别约为 $4.8 \times 10^8 \text{t}$ 、 $1.06 \times 10^8 \text{t}$ 、 $5.17 \times 10^{10} \text{m}^3$,煤炭、石油、天然气对外进口和外省（市）调入量分别占区域内煤炭、石油、天然气总消费量的 79.1%、98.3%、95.1%（见图 1）。长三角地区煤炭资源主要依赖外省调入,石油资源依赖国外进口,天然气资源则二者兼顾[6]。尽管安徽省内煤炭资源在长三角地区相对较为丰富,但仍需从外省调入以满足本省的煤炭需求。在可再生能源方面,长三角地区风能资源属于第 IV 类资源区[7],太阳能资源属于第 III 类资源区[8],开发潜力均有限。在外调电方面,2019 年,长三角净外调电量为 $3.36 \times 10^{11} \text{kW} \cdot \text{h}$,约占区域内总消费电量的 22.6%[9],安徽省是区域内唯一对外净输出电量的省。

（二）化石能源在能源消费结构中占主导地位

长三角地区能源消费结构中化石能源依然占比较高。2018 年,长三角地区的煤炭消费量约为 $6.07 \times 10^8 \text{t}$,石油消费量为 $1.08 \times 10^8 \text{t}$,天然气消费量为 $5.44 \times 10^{10} \text{m}^3$ [6],分别占全国的比例为 15.9%、17.7%、20.0%。在地区能源消费结构方面,化石能源约占长三角地区能源消费总量的 89.4%,其中煤炭占 55.4%,石油占 27.2%,天然气占 6.8%;非化石能源约占长三角地区能源消费总量的 10.6%（见图 2）。其中,浙江省 2018 年风光水核一次发电量达到 $8.98 \times 10^{10} \text{kW} \cdot \text{h}$,江苏、安徽、上海分别为 $5.68 \times 10^{10} \text{kW} \cdot \text{h}$ 、 $2.08 \times 10^{10} \text{kW} \cdot \text{h}$ 和 $2.38 \times 10^9 \text{kW} \cdot \text{h}$,上海、江苏、浙江、安徽三省一市风光水核发电量占发电总量的比例分别为 2.8%、11.1%、25.8%和 7.6%[6]。

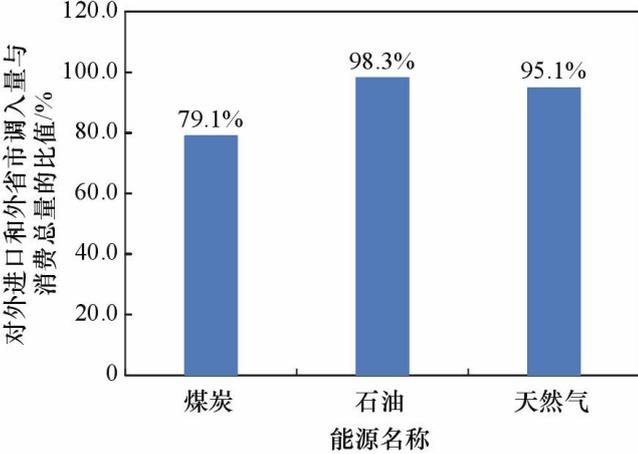


图 1 长三角地区 2018 年的能源对外依存度情况 [6]

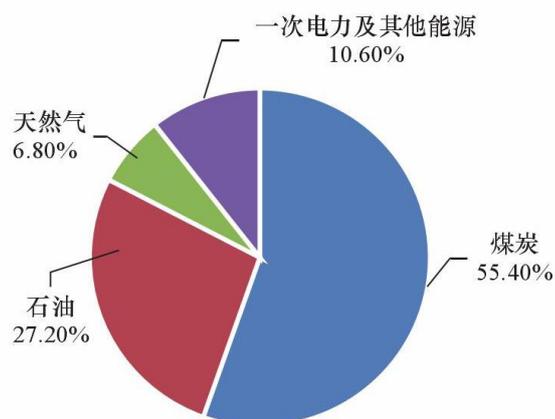


图 2 长三角地区 2018 年的能源消费结构

(三) 能源装备制造业实力雄厚

以核电、气电、高效清洁煤电以及可再生能源如光伏、风电为代表的装备制造业，在长三角地区发展强劲。具体来看，依托区域内核电基地，基本形成了较完整的核电产业链，一批实力雄厚的龙头企业形成了批量生产能力和市场竞争力；燃气轮机和超超临界装备制造也具备较好的自主研发能力和产业发展基础；风电装备制造业产业链完备，2018 年长三角地区海上风电制造企业的累计装机容量在全国中的占比超过 70%[10]；光伏产业制造主要集中在产业链中下游，全国逆变器、组件、电池制造企业有 50% 以上集中在长三角地区。

(四) 电力体制改革稳步推进

目前，长三角地区电力体制改革稳步推进，如完成了“三省一市”电力交易中心的组建，多家售电公司完成注册，电量直接交易规模稳中有进；启动省级电网输配电价改革试点工作，公布了具体输配电价；推进增量配电网改革，区域内共建立了 48 个增量配电业务试点，初步形成售电侧市场竞争机制；新建立的浙江省电力现货市场，是国家电网有限公司供电区域范围内第一个能源净输入省份的电力现货市场。

另外，长三角地区的电力体制改革仍需继续深化，如由于尚未形成有效的市场化调峰机制，电力峰谷差问题突出。根据调研数据显示，2017 年，上海市、江苏省、浙江省的最大峰谷差分别为 $1.31 \times 10^7 \text{kW}$ 、 $2.5 \times 10^7 \text{kW}$ 、 $2.60 \times 10^7 \text{kW}$ ，最大峰谷差率分别为 40%、24.2%、40.7%，巨大的峰谷差对电网的安全运行造成不利影响。

综上，基于长三角能源系统的现有特点，结合未来发展趋势，研究认为，长三角能源系统发展面临的诸多问题不能用传统的、粗放的办法去解决，而须从现有能源系统全面的、真实的客观实际出发，以国家关于能源生产和消费革命的战略为指导，站在科技发展前沿、遵循科技发展方向，提出长三角能源系统改革的思路 and 对策，把能源“四个革命”和建设“互联网+”智慧能源的任务在长三角地区落到实处。基于此，本文提出通过能源革命建设长三角现代化能源大系统，用现代化能源大系统支撑长三角现代化经济体系，推动长三角地区经济社会、科技文化的创新发展。

三、现代化能源大系统的主要特征

能源大系统是一个复杂系统，包括能源的采集、生产、加工、转换、运输、交易、分配、储存、使用以及环境保护等多个环节，各环节彼此制约，相互影响。关于能源大系统的发展目标，党的“十九大”报告提出的“构建清洁低碳、安全高效的能

源体系”以及“互联网+”智慧能源发展战略是对其最明确的表述。而要实现这一目标，必须要依靠信息互联网并充分利用大数据技术、人工智能(AI)技术等，实现能源大系统的智能化，我们将这样的能源大系统命名为现代化能源大系统，其主要特征是：

(1)一流的能源科技支撑，保证一流的能源采集效率、转化效率、输运效率、利用效率、储能效率。

(2)一流的信息技术(含互联网技术)融入，实现能源流与信息流的深度融合。

(3)一流的环保科技应用，生态环境友好。

(4)一流的管理水平，确保多能协同、统一集中管理与分块优化调控相结合。

(5)合理的能源结构，推进绿色低碳转型。

(6)培育能源市场，促进能源生产、消费新方式，推动能源资源的优化配置。

四、长三角现代化能源大系统建设的关键问题

(一)技术支持

1. 能源技术

先进的能源技术是建设现代化能源大系统的重要支撑。需要从能源采集、能源转化、能源输运、能源存储和能源消费等能源大系统的多个环节全面推动先进能源技术的研发与应用。①在能源转化环节，长三角地区关键在于突出重点、掌握核心技术，如开展清洁高效煤电、可再生能源发电、先进核电以及重型燃气轮机等能源装备的技术攻关与工程应用；②在能源输运环节，长三角应重视传统能源网（包括电网、油气管网、煤炭物流网以及热网）的改造升级工作，建设适应大规模可再生能源接入的智能电网，加大对大型油气管网优化运行的研究力度、建设智能化油气管网等；③在能源存储环节，加强储能基础设施建设、因地制宜继续推广抽水蓄能电站等；④在能源消费环节，推广节能产品，提高用能效率。

2. 环保技术

先进的环保技术可实现现代化能源大系统大幅减少能源生产、利用各过程中的污染排放，提供更清洁的能源产品，加强能源伴生资源综合利用，实现能源大系统和生态环境系统的友好共存。当前，长三角地区火电占比高达90%^[11]，其中，煤电占比约为78.5%，这对燃煤电厂通过环保减排技术的集成应用、持续创新和有效降低污染物排放提出了更高要求。长三角地区燃煤电厂超低排放改造升级技术具有一定先发优势，今后的关键是要进一步推广应用。

3. 信息技术

现代化能源大系统的建设必须得到信息技术的有力支撑才能深刻地反映时代特征，在信息互联网、大数据、AI技术的支持下，实现信息流和能源流的深度融合，对能源大系统的运行进行优化调度，即实现能源大系统智能化（“互联网+”智慧能源）的目的。

信息技术支撑现代化能源大系统的领域为：①大数据技术。包括监控大数据建模技术、全过程信息规范技术、数据标签技术以及文本处理技术，在这些大数据技术的支持下，使能源大系统的监控管理实现信息全过程管控、能源网监控告警事件化、

设备缺陷自动发现、监控异常深度巡视等功能。②AI 技术，包括群体智慧、深度学习平台、图像处理、机器学习平台、AI 优化硬件和决策管理。③各级能源信息管理中心，这是一个全新的机构，需要结合相应的能源管理体制来运行。

（二）体制保障

1. 成立长三角地区能源领导机构，做好能源大系统革命和建设的顶层设计

建设现代化能源大系统，必须实现能源系统的多能协同、智能调控。这需要各部门、各行业、各省市的基础设施互联互通，运行数据共享共用，调控指令精确执行，确保能源系统在多种智能技术的支撑下和各级能源信息管理中心的运行中，真正形成能源流与信息流深度融合。长三角地区目前尚缺乏卓有成效的能源管理体制，因此，未来要实现长三角能源大系统的现代化，除去相应的技术支撑外，还要建立相应的能源管理体制，尽快成立长三角地区能源领导机构，做好顶层设计，高瞻远瞩，统揽大局。

2. 建设各级能源信息管理中心，信息共享、多能协同、信息流与能源流深度融合，逐步实现能源大系统的智能调控

长三角现代化能源大系统各级能源信息管理中心的基本构思为：在长三角能源系统中，按照管辖范围由上到下建立三级管理中心，即长三角能源信息管理中心、能源信息管理城市中心、能源信息管理区域中心。

长三角能源信息管理中心负责采集管辖范围内所有能源信息管理城市中心的上传信息；能源信息管理城市中心（见图 3a）负责采集管辖范围内所有能源信息管理区域中心的上传信息；能源信息管理区域中心（见图 3b）负责采集管辖范围内分散的各类能源用户的生产生活以及各种微型能源系统运行产生的信息。各级能源信息管理中心在完成信息采集的同时，对管辖范围内各个区域的能源状况做出正确的分析判断，向下发出必要的调控指令，向上上传必要的运行信息。

在各级能源信息管理中心中，区域中心最复杂，它不仅包含了传统的分散用户，还包括形式多样的微型能源系统（见图 4）。这里的微型能源系统不仅指微电网，还包括天然气分布式供能系统、热电联供以及风光互补、气电协同、功能完备的综合性微型能源系统等。

微型能源系统虽然形式多样，但都具有一些共同的特点：有独立自治能力；可以孤岛运行，也可与能源大系统联合运行；既消耗能源也生产能源；大多按总能理论来设计，实现能量的梯级利用。微型能源系统是整个能源大系统中最活跃、最具生命力、最健康的“细胞”，而能源信息管理区域中心则负责将这些“细胞”和区内“传统散户”集中起来统一管理，因此，优先理顺区域中心这一层级的能源数据采集、信息处理、指令调控等，有利于下一步推动能源信息管理城市中心和长三角能源信息管理中心的建设。

（三）市场培育

现代化能源大系统离不开灵活、多样、高效的能源交易。结合能源市场化改革进程，长三角地区具有率先推进电力市场培育的优势，可以通过电力市场化来推进长三角现代化能源大系统的引领建设。长三角地区电力市场培育的措施有：推进电力交易机构建设，扩大跨省、跨区电力交易规模；培育售电主体；以混改促电改，推进增量配电网建设；结合微网系统，促进分布式电源余电交易；以配额制激励可再生能源的需求与供给，促进多种能源的协调；建立完善的信息共享机制，探索能源区块链技术。

（四）总体集成

现代化能源大系统的总体架构如图 5 所示。现代化能源大系统并非重构已有的能源系统，而是对其进行现代化改革。因此，关于现代化能源大系统的总体集成可表述为：

(1) 就本质而言，现代化能源大系统仍是一个能源系统，包括能源的采集、转化、运输、储存、消费、交易等环节。

(2) 社会发展需要的煤炭、石油、天然气、电、热等能源在这些环节中流转，形成能源大系统中的能源流。

(3) 能源流的各种数据信息，在现代化能源大系统中既能有效地采集，又能通过互联网上传至各级能源信息管理中心。能源信息管理中心有能力分析处理能源流的数据信息，结合能源市场的交易情况和生态环境的实际，判定能源系统的运行状态，生成能源流的调控指令，上传下达，完成整个能源大系统的智能调控，实现信息流和能源流的深度融合。

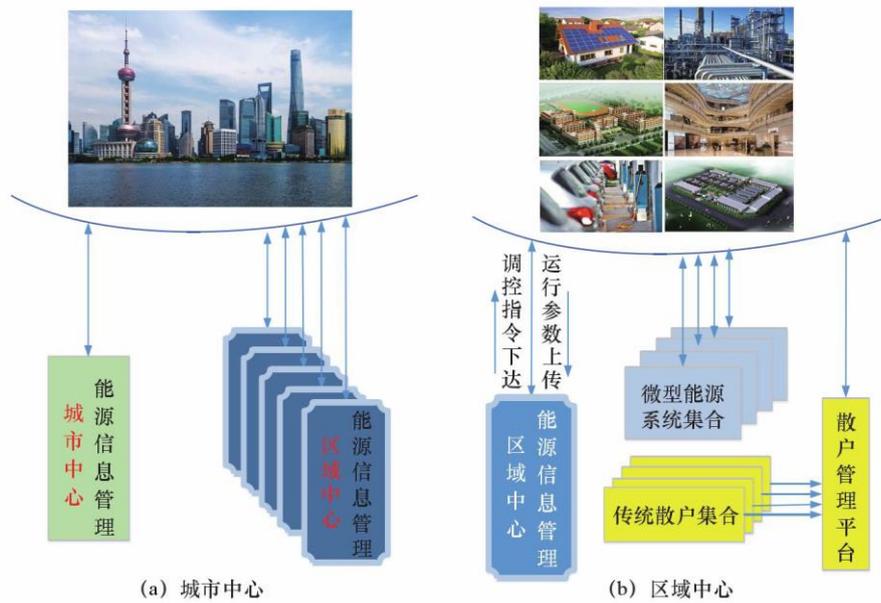


图 3 能源信息管理城市中心及区域中心示意图



图 4 能源信息管理区域中心示意图

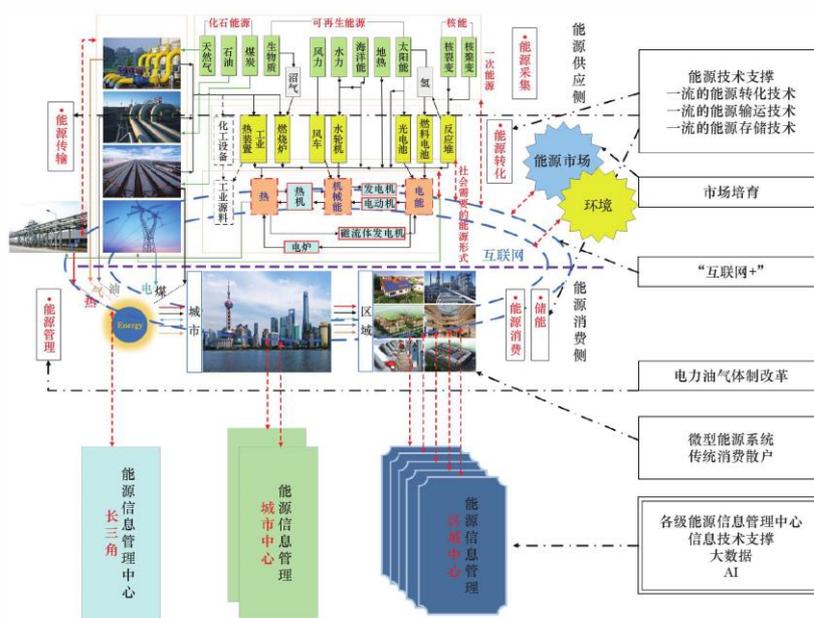


图5 现代化能源大系统示意图

(4) 现代化能源大系统不是互联网，而是利用互联网，是由能源科技、环保科技、信息技术支撑的能源系统。

(5) 在第三次工业革命和第四次工业革命交错的今天，“互联网+”智慧能源是现代化能源大系统一个比较确切的表达。

(6) 现代化能源大系统建设的最终目标是建成一个清洁低碳、安全高效的能源体系。

五、长三角现代化能源大系统的

效益分析

为探索现代化能源大系统建设对长三角地区经济社会发展的推动作用，本文运用模型预测与定性分析相结合的研究方法，剖析了构建现代化能源大系统所带来的经济、环境效益和社会效益。

(一) 经济效益和环境效益

基于瑞典斯德哥尔摩环境研究所开发的 low emission analysis platform (LEAP) 模型，建立了长三角地区的能源消耗与碳排放预测模型。同时，结合现代化能源大系统的构建，根据可能的政策取向和发展路径，设置了基准情景、低碳情景、强化低碳情景一和强化低碳情景二 4 种发展模式。基准情景即延续当前发展模式的情景；低碳情景则是在基准情景基础上调整产业结构，并按照当前政策情景推动低碳发展；强化低碳情景一和强化低碳情景二则是在低碳情景的基础上，以不同的力度推动现代化能源大系统的建设。选取 2015 年为基准年，结合 2016 年和 2017 年的实际数据，预测长三角地区 2020—2050 年的能源需求及碳排放情况。本文所用的关键参数来源于国家、省市级的各类统计年鉴、发展规划、行业统计数据、行业专项规划以及实地调研的相关数据等 [6, 11~16]。

1. 能源需求和能源结构

根据模型测算，不同情景下长三角地区能源需求情况，如图 6 所示。长三角地区若分别按照低碳情景、强化低碳情景一和

强化低碳情景二的模式发展,今后的能源需求情况为:预计到2035年,长三角能源需求总量将分别下降至 $9.5 \times 10^8 \text{t}$ 、 $8.4 \times 10^8 \text{t}$ 、 $8.2 \times 10^8 \text{t}$,相较于基准情景模式($1.16 \times 10^9 \text{t}$),分别下降18.2%、27.9%、29.3%;预计到2050年,能源需求总量将分别下降至 $1.07 \times 10^9 \text{t}$ 、 $9.4 \times 10^8 \text{t}$ 、 $9.1 \times 10^8 \text{t}$,与基准情景模式($1.53 \times 10^9 \text{t}$)相比,分别下降了30.2%、39.4%、40.5%。在化石能源需求总量方面,预计到2035年长三角化石能源需求总量相较于基准情景模式将分别下降26.0%、42.1%和55.5%,到2050年分别下降40.8%、57.9%和73.7%。不同情景下长三角地区化石能源消费量的差异主要归因于可再生能源的发展程度与利用规模。因此,通过建设现代化能源大系统,长三角地区未来能源需求增势将明显放缓,化石能源需求总量也会降幅明显。

长三角地区不同情景下的能源结构预测情况如图7所示。通过能源技术的不断创新与政策的融合推进,长三角能源结构清洁化程度也将不断提高。到2035年,长三角地区的煤炭、石油、天然气、本地非化石能源和外调电占比较于基准情景模式的49.3%、21.3%、12.8%、9.1%和7.4%,可调整至强化低碳情景二模式的23.9%、15.2%、13.4%、35.9%和]1.7%,到2050年可调整至9.3%、9.5%、17.3%、50.2%和13.7%。

2. 碳排放

长三角地区不同情景下2020—2050年的碳排放预测结果如图8所示。按照低碳情景、强化低碳情景一、强化低碳情景二的模式发展,未来长三角碳排放总量均有不同程度下降。若按强化低碳情景二的模式发展,2050年长三角地区碳排放总量将下降至 $6.8 \times 10^8 \text{t}$,下降趋势非常显著。从单位GDP碳排放结果来看,预计到2030年,在基准情景、低碳情景、强化低碳情景一、强化低碳情景二4种模式下,长三角地区单位GDP碳排放较2005年将分别下降60.4%、70.1%、76.9%、79.9%,均能完成《巴黎协定》中我国承诺的2030年实现碳强度相较2005年降低60%~65%的目标。结合碳排放总量预测,在基准情景下,是无法实现碳排放尽早达峰的要求,因此,长三角地区应通过着力提升能源技术、大幅提高能效水平、持续改善能源结构、注重体制机制协同等方式,推动长三角地区现代化能源大系统建设,实现既能完成减排目标又能使碳排放提前达峰。

(二) 社会效益

在长三角区域一体化高质量发展的国家战略牵引下,区域经济社会发展对能源系统不断提出新的需求,亟需长三角地区开展能源革命;反之,进一步推进长三角地区能源革命,构建现代化能源大系统,也将推动长三角地区经济社会全方位的创新与发展,带来显著社会效益。

根据现代化能源大系统的建设构思,“三省一市”可共同制定长三角能源一体化发展规划,实现区域内各类能源采集、转化、运输、交易、储备、消费的合理布局,各类能源基础设施共建共享、互联互通,能源供应的互济互保,促进整个能源系统运行调度的数字化、信息化和智能化。因此,现代化能源大系统的建设可助推长三角地区能源体制创新,打破长三角能源管理的省际壁垒和行业壁垒,为区域一体化发展做出重要贡献。

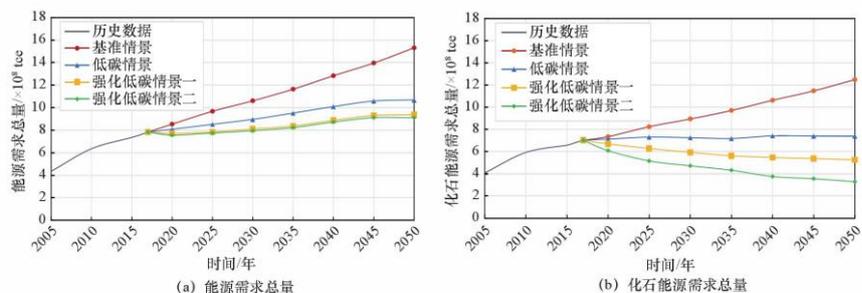


图6 不同情景模式下长三角地区2020—2035年能源需求总量预测结果

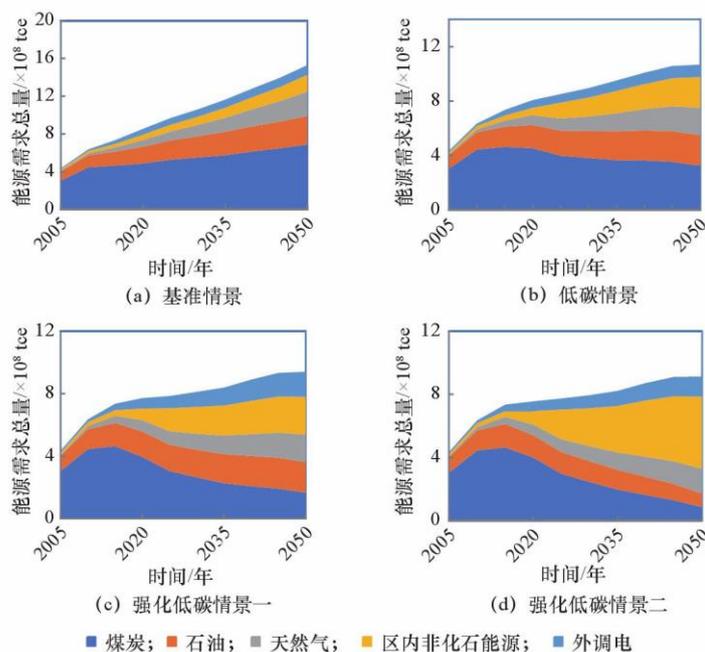


图7 不同情景模式下长三角地区2020—2050年能源结构

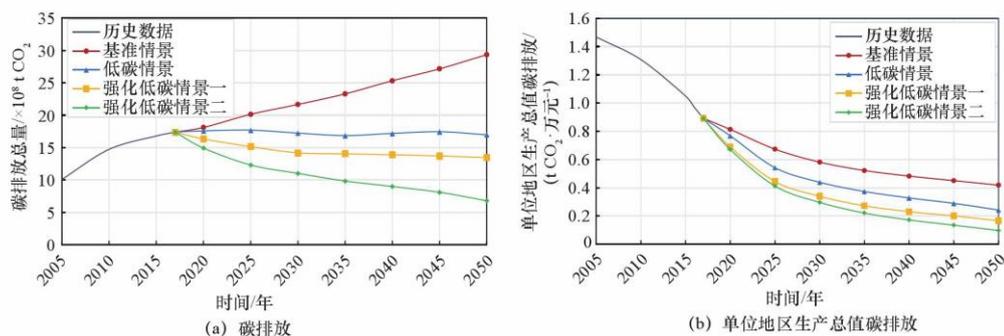


图8 不同情景模式下长三角地区2020—2050年碳排放预测结果

现代化能源大系统深度融合能源技术与信息技术，不仅可以带动先进能源技术的发展，还将会促进大数据技术、AI技术和传感技术等能源领域的创新发展。在现代化能源大系统的建设过程中，必将形成灵活参与、竞争充分的新型能源市场交易体系，不断创新能源市场的商业运营模式，助推长三角统一市场的培育。同时，技术与市场的推动也将使各类能源用户提升理性用能习惯、增强节能意识和环保理念，进一步推动长三角社会文明进步。

六、对策建议

(一) 顶层布局，加强引导

长三角地区要做好能源革命和建设的顶层设计。建议长三角地区建立区域内统一的能源领导机构，共同制定长三角能源一体化发展规划，共同建设和完善长三角地区电网和天然气管网等基础设施，共同构建统一的、多能协同的能源管理信息平台，共同守住生态保护红线等。依托长三角一体化发展示范区，打造长三角能源一体化先行示范区，推动现代化能源大系统建设，并总结经验、逐步推广，在长三角一体化发展示范区内电力一体化初具雏形的基础上，纳入更多的能源种类和更新的能源管理

模式，把能源合作从单一的项目合作发展成为全面深度一体化合作。

(二)深化能源体制改革，培育能源市场

深化能源体制改革，以打破行业壁垒、省际壁垒为重点，实现互联互通、多能协同、优化组合。建议长三角地区坚持能源市场化改革方向，深入实施重点领域和关键环节的改革，建立健全区域内能源利益协调和补偿机制，打破能源管理体制壁垒，提升长三角能源互济互保互给能力。大力培育能源市场，在市场运行中建立能源价格形成机制，实现资源优化配置。可在长三角地区率先推进电力市场化改革，建立开放统一的电力市场，合理推进电网输配价格，推进跨省跨区电力用户与发电企业直接交易；完善峰谷电价，通过电价机制鼓励智能家居的布局，对家用光伏电池、储能系统进行合理补贴等多种措施，实现电力削峰填谷，保障供电安全。此外，完善清洁能源价格机制，建立长三角跨省跨区清洁能源消纳政策。

(三)实施“互联网+”智慧能源发展战略，开展能源高质量发展

在长三角地区推动现代化能源大系统规划建设，率先实现国家提出的“互联网+”智慧能源发展战略，建议长三角地区抓住科技发展机遇，推进多能协同的能源系统信息化建设，开展能源流与信息流深度融合的研发工作，同时研究长三角能源一体化建设，实施数据共享，建立一体化标准协议与数据接口；推进大数据技术、AI 技术等能源系统中的应用。大力发展各种类型的微型能源系统，充分发挥科研优势，加快区域内“政产学研用”一体化科技创新体系 and 创新能力建设，着力突破微型能源系统领域的关键核心技术，积极探索实施一批微型能源系统示范工程。因地制宜探索分布式能源微网的建设，为长三角地区率先构建现代化能源大系统提供有益示范。依托长三角地区地区雄厚的能源装备制造制造业基础，突出重点，进一步掌握核心技术，着力突破燃气轮机、超超临界发电、核电、氢能和燃料电池等领域的技术攻关，进一步降低风电、光伏装备制造成本，提高性价比，实现储能由研发示范向商业化初期过渡，继而实现向规模化发展转变。总之，推动长三角能源产业率先实现“质量变革、效率变革、动力变革”，引领全国能源产业高质量发展。

(四)加大投入，设立长三角能源科技创投基金

建议设立长三角能源科技创投基金，做好高新科技的培育与孵化，基金可以参股形式设立，不仅可以有效降低企业在前沿或颠覆性技术的开发风险，还能从获得技术成果的项目中获取投资收益，形成重大项目的持续培育能力；同时鼓励更多社会力量积极投入到能源科技研发当中，为先进能源技术创新发展提供良好的市场保障。

七、结语

当前，正处于第三次工业革命和第四次工业革命交叠的时代，新科技浪潮风起云涌，长三角地区能源革命必须深刻反映这个时代特征。建设长三角现代化能源大系统，通过先进的能源技术和环保技术，提升能源系统的运行效率和清洁排放，充分利用大数据技术、AI 技术等实现能源系统运行调度的智能化，改革能源管理体制，进一步培育能源市场，助力我国最终建成清洁低碳、安全高效的能源体系。

参考文献

[1]上海市统计局. 2019 年上海市国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2020-03-09) [2020-08-19]. <http://tjj.sh.gov.cn/tjgb/20200329/05f0f4abb2d448a69e4517f6a6448819.html>.

Shanghai Municipal Bureau of Statistics. Statistical communique on the national economy and social development of Shanghai in 2019 [EB/OL]. (2020-03-09) [2020-08-19], <http://tjj.sh.gov.cn/tjgb/20200329/05f0f4abb2d44>

8a69e4517f6a6448819.html.

[2]江苏省统计局. 2019 年江苏省国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2020-03-03) [2020-08-19]. http://tj.jiangsu.gov.cn/art/2020/3/3/art_40318993801.html.

Jiangsu Provincial Bureau of Statistics. Statistical communique on the national economy and social development of Jiangsu province in 2019 [EB/OL]. (2020-03-03) [2020-08-19], http://tj.jiangsu.gov.cn/art/2020/3/3/art_40318993801.html.

[3]浙江省统计局. 2019 年浙江省国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2020-03-05) [2020-08-19]. <http://tjj.zj.gov.cn/art/2020/3/5/art156201242101962.html>.

Zhejiang Provincial Bureau of Statistics. Statistical communique on the national economy and social development of Zhejiang province in 2019 [EB/OL]. (2020-03-05) [2020-08-19]. http://zj.gov.cn/art/2020/3/5/art_156201242101962.html.

[4]安徽省统计局. 安徽省 2019 年国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. (2020-03-11) [2020-08-19]. <http://tjj.ah.gov.cn/ssah/qwfbjd/tjgb/sjtjgb/115405421.html>.

Anhui Provincial Bureau of Statistics. Statistical communique on the national economy and social development of Anhui province in 2019 [EB/OL]. (2020-03-11) [2020-08-19]. <http://tjj.ah.gov.cn/ssah/qwfbjd/tjgb/sjtjgb/115405421.html>.

[5]国家统计局. 中华人民共和国 2019 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2020-02-28) [2020-08-19]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202002/t20200228_1728913.html.

National Bureau of Statistics of China. Statistical communique of the People's Republic of China on the 2019 national economic and social development [EB/OL]. (2020-02-28) [2020-08-19]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202002/t20200228_1728913.html.

[6]国家统计局. 中国统计年鉴 2019 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.

National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook 2019 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2019.

[7]国家发展和改革委员会. 国家发展改革委关于完善风电上网电价政策的通知[EB/OL]. (2019-05-25) [2020-08-19]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-05/25/content_5394615.htm.

National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Notice of the National Development and Reform Commission on improving the feed-in tariff policy for wind power [EB/OL]. (2019-05-25) [2020-08-19], http://www.gov.cn/xinwen/2019-05/25/content_5394615.htm.

[8]李柯, 何凡能. 中国陆地太阳能资源开发潜力区域分析[J]. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1049-1054.

Li K, He F N. Analysis on mainland China's solar energy distribution and potential to utilize solar energy as an alternative energy source [J]. Progress in Geography, 2010, 29(9):1049-1054.

[9]中国电力行业企业联合会. 中国电力行业年度发展报告 2020 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2020.

China Electricity Council. China power industry annual development report 2020 [M]. Beijing: China Building Materials Press, 2020.

[10]中国可再生能源学会风能专业委员会. 中国风电产业地图 2018 [R]. 北京: 中国可再生能源学会风能专业委员会, 2018.

Chinese Wind Energy Association. Map of China wind power industry 2018 [R]. Beijing: Chinese Wind Energy Association, 2018.

[11]国家统计局. 中国能源统计年鉴 2017[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.

National Bureau of Statistics of China. China energy statistical yearbook 2017 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.

[12]国家统计局. 中国能源统计年鉴 2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.

National Bureau of Statistics of China. China energy statistical yearbook 2018 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.

[13]上海市统计局, 国家统计局上海调查总队. 2018 上海统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.

Shanghai Municipal Bureau Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Shanghai. Shanghai statistical yearbook 2018 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.

[14]江苏省统计局, 国家统计局江苏调查总队. 江苏统计年鉴 2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.

Jiangsu Provincial Bureau Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Jiangsu. Jiangsu statistical yearbook 2018 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.

[15]浙江省统计局, 国家统计局浙江调查总队. 浙江统计年鉴 2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.

Zhejiang Provincial Bureau Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Zhejiang. Zhejiang statistical yearbook 2018 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.

[16]安徽省统计局, 国家统计局安徽调查总队. 安徽统计年鉴 2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.

Anhui Provincial Bureau Statistics, Survey Office of the National Bureau of Statistics in Anhui. Anhui statistical yearbook 2018 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.