

# 中部地区崛起的能源需求及碳达峰路径研究

程云鹤<sup>1</sup>, 董洪光<sup>1</sup>, 耿纪超<sup>1</sup>, 何继善<sup>2</sup>

(1. 安徽理工大学经济与管理学院, 安徽淮南 232001; 2. 中南大学, 长沙 410083)

**摘要:** 能源革命是经济、社会、环境协调可持续发展的内在要求, 其实施需要与地区发展战略相结合, 统筹规划、协同发展。本文运用 Kaya 恒等式, 将中部地区崛起的能源消费需求分解为生产性、生活性两部分, 考虑中部地区的国内生产总值 (GDP) 增长、产业结构、城镇化、能源效率、人均收入、生活能源等驱动因素, 构建中部地区崛起的能源需求情景, 据此分析能源革命背景下的低碳发展路径。结果表明: 随着城镇化、工业化发展路径的延续, 中部地区 5 个省份的能源需求量将持续上升, 2035 年能源需求总量约为  $8.4 \times 10^8 \sim 1.01 \times 10^9$  tce; 构建多元能源供应体系将助力实现能源清洁低碳安全高效、支持 2030 年前实现碳排放拐点等目标。针对性提出发展建议: 大力发展节能技术、清洁能源技术、可再生能源技术; 优化产业结构, 构建多能互补体系; 加大能源体制改革, 实现区域能源共济。

**关键词:** 能源革命; 中部地区崛起; Kaya 恒等式; 情景分析; 碳达峰

**中图分类号:** F251 **文献标识码:** A

## Energy Demand and Carbon Emission Peak Paths for the Rise of Central China

Cheng Yunhe<sup>1</sup>, Dong Hongguang<sup>1</sup>, Geng Jichao<sup>1</sup>, He Jishan<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, Anhui, China;

2. Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** Energy revolution is essential for the coordinated and sustainable development of economy, society, and the environment, and it should coordinate with regional development strategies. Using the Kaya identity, this study categorizes the energy consumption demand brought by the rise of Central China into production and living demand. Energy demand scenarios for the rise of Central China are constructed considering factors such as gross domestic product, industrial structure, urbanization, energy efficiency, per capita income, and residential energy. Accordingly, the low-carbon development paths under energy revolution are analyzed. Urbanization and industrialization will promote the total energy demand in Central China up to  $8.4 \times 10^8 \sim 1.01 \times 10^9$  tce in 2035. Moreover, the establishment of a diversified energy supply system can help achieve low-carbon emission, energy security, and efficient utilization of energy; a carbon emission peak is expected to reach before 2030. China should vigorously develop technologies regarding energy conservation and clean and renewable energies. A multi-energy complementary system should be established in China by optimizing the industrial structure, and the existing energy system should be reformed to realize energy cooperation among regions.

**Keywords:** energy revolution; rise of Central China; Kaya identity; scenario analysis; carbon emission peak

**收稿日期:** 2020-10-18; **修回日期:** 2020-12-11

**通讯作者:** 程云鹤, 安徽理工大学经济与管理学院副教授, 研究方向为能源经济; E-mail: chengyh674@163.com

**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

## 一、前言

使用煤炭、石油等化石能源,在为经济社会发展提供基本动力的同时,也产生了硫化物、氮化物、可吸入颗粒物等污染物和 CO<sub>2</sub>,带来了环境污染和全球气候变化,因此推动能源转型一直是国际社会的热点和前沿问题 [1,2]。我国自 2006 年起成为世界上最大的能源消费和 CO<sub>2</sub> 排放国,2019 年煤炭消费量占世界的 51.7%、CO<sub>2</sub> 排放占世界的 28.8%,以煤为主的能源结构面临着国内要求改善环境、国际上减少 CO<sub>2</sub> 排放的压力。此外,我国的石油、天然气对外依存度较高,能源安全面临潜在威胁。因此,推动我国能源转型、进行能源结构优化,是能源、经济、环境可持续协调发展亟需解决的问题。

国家高度重视能源转型问题,作出了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等战略部署 [3,4]。学术界开展了较多研究,试图将能源发展战略规划与新时代中国特色社会主义建设实践相结合:探讨能源革命背景下的煤炭产业、可再生能源产业、煤层气产业的前沿技术、发展路径、风险因素等 [5~7];研究提出要将能源转型与国情结合,走一条具有特色的能源转型道路 [8];研究指出能源生产和消费革命的核心是能源供给侧、能源消费改革与创新,对促进低碳清洁转型起到重要作用;还有研究认为,通过促进能源生产和消费改革,加快能源价格机制和能源体制改革,完善能源制度 [9]。也要注意,我国幅员辽阔,地区间的能源禀赋和发展水平差异较大,能源革命必然要因地制宜并与区域发展战略相结合 [10],而目前有关将能源革命与具体区域发展战略相结合的文献尚不多见。尤其对于中部地区,其工业化、城镇化水平与沿海地区发展差异较大,地区崛起意味着更多、更高质量的能源需求。应对国家宏观要求 [11],将能源革命战略与中部地区崛起战略相结合,从能源革命推动中部地区高质量发展的角度开展研究,具有现实意义。

能源革命助推中部地区相关省份(河南省、安徽省、湖北省、湖南省、江西省,以下称“中部五省”)崛起,不仅是经济水平的单一提升,更应是经济、社会、生态环境的全方位提升。①在经济维度上,能源革命指保障中部地区经济发展的能源安

全、满足经济发展的高品质能源需求;在生产投入上积极利用科技进步来合理配置能源,推动产业转型升级、能源效率提升;在产出上积极推动能源质量变革、动力变革,提升产出的能源品质及相应经济效益。②在社会维度上,能源革命应使中部地区居民共享高质量生活,推动由发展不平衡不充分向和谐社会发展;区域差距、城乡差距、收入差距是经济发展中的客观现实,能源消费水平作为生活质量高低的一个重要参考指标,不仅要缩小与东部沿海地区的差距,更要弥合城乡差距、居民收入差距。③在生态维度上,长期以来中部地区资源开采和应用造成了生态破坏和环境污染,生态效率与节能减排技术水平均低于东部地区 [12];中部地区崛起战略可能加剧中部地区城市的环境污染问题 [13],能源革命需要扭转和消除这种生态退化状况。中部地区的高质量崛起,需要以高品质能源为支撑;能源革命应助推中部地区经济、社会、环境多个维度协调发展、高质量崛起(见图 1)。因此,本文尝试将能源革命战略与中部地区崛起战略相对接,对中部地区在工业化、城镇化、现代化进程中的能源需求与 CO<sub>2</sub> 排放峰值路径等开展初步探讨,以期为中心地区能源发展提供理论参考。

## 二、中部地区崛起的能源需求预测模型

### (一) 工业化和城镇化发展的能源需求建模

Kaya 恒等式以简洁的数学公式描述社会、经济、能源、碳排放等宏观总体因子之间的关系,原理清晰简明,分解出的驱动具有可观测性、可控性、解释性 [14]。为了捕捉能源在地区经济、社会、环境中的特征,文中将能源消费需求分解为生产性、生活性两部分:前者对应中部地区经济发展中产业结构优化的能源需求,反映能源革命推动经济维度的发展;后者对应中部地区城镇化进程中城乡社会结构优化而引致的需求,反映能源革命推动社会维度的进步。此外,以能源碳含量的降低来代表能源结构的优化,反映能源革命对生态环境的保护作用。

文中参考调整的方程式有公式(1)~(5),有关变量的解释性说明见表 1。其中,公式(1)考察工业化与城镇化的能源需求;公式(2)主要运用产业结构演化规律来体现不同产业发展的能源需

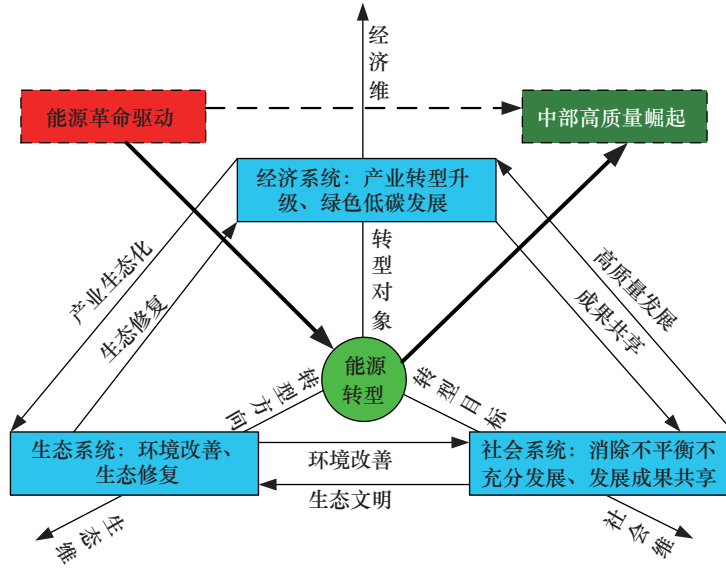


图 1 能源革命推动中部高质量崛起的内在机理

表 1 变量名称及其设计思路与来源

变量	名称	变量设计思路或依据
$EI_{GDP}$	能耗强度	整个社会能源消费量与GDP的比值
$E_p$	生产能源量	第一、第二、第三产业能源消费总量
$E_R$	生活能源量	城市和农村能源消费总量
$E_{PP}$	第一产业能源消费量	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$E_{PS}$	第二产业能源消费量	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$E_{PT}$	第三产业能源消费量	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$S_i$	三次产业产值占比	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$I_i$	三次产业能耗强度	产业能耗量与产业增加值比值
$E_{UR}$	城市生活能源消费量	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$E_{RR}$	农村生活能源消费量	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$e_{UR}$	城市人均生活能源消费量	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$e_{RR}$	农村人均生活能源消费量	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$I_U$	城镇可支配收入	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$I_R$	农村可支配收入	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$R_U$	人口城镇化率	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$CI_{GDP}$	碳强度	化石能源含碳量与GDP比值
$EF_E$	能源碳排放因子	根据不同能源测算
$E_{s,i}$	不同能源占比值	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据
$ef_i$	不同能源含碳因子	数据来源于统计年鉴（2010—2019年），后续为预测数据

求；公式（3）和（4）中引入可支配人均收入中间变量，体现人均可支配收入的提高会提高生活质量并进而增加对能源需求；公式（5）表示清洁低碳的能源品质，可据此测算CO<sub>2</sub>排放量。

$$EI_{GDP} = \frac{E}{GDP} = \frac{E_p + E_R}{GDP} \quad (1)$$

$$\frac{E_p}{GDP} = \frac{E_{PP} + E_{PS} + E_{PT}}{GDP} = \sum_{i=1-3} (S_i I_i) \quad (2)$$

$$\frac{E_R}{GDP} = \frac{E_{UR} + E_{RR}}{GDP} = \frac{e_{UR}}{I_U} \times \frac{I_U}{GDP} \times R_U + \frac{e_{RR}}{I_R} \times \frac{I_R}{GDP} \times (1 - R_U) \quad (3)$$

$$CI_{\text{GDP}} = \frac{\text{CO}_2\text{排放量}}{\text{GDP}} = \frac{E}{\text{GDP}} \times \frac{\text{CO}_2\text{排放量}}{E} = EI_{\text{GDP}} \times EF_E \quad (4)$$

$$EF_E = \sum_i (E_{s,i} ef_i) \quad (5)$$

## (二) 模型基础参数设定

能源需求预测的基础参数有 2010—2019 年 GDP、人均 GDP、三次产业结构、产业能耗强度、城镇化进程等, 预测时间跨度为 2020—2035 年; 其中模型分析的情景驱动因素为 GDP、人口规模、产业结构、能源效率、城镇化、生活能源、人均收入等。模型的基础参数涉及人口数、第二产业和第三产业结构、第二产业能耗强度、城镇化率、GDP 增长率、人均 GDP (见表 2), 具体包括: ①依据现有人口增长情况 (以第六次全国人口普查数据为依据), 基于中部五省 2010—2018 年的人口总和生育率情况, 考虑到“二孩”政策因素, 采用 PADIS-INT 人口预测软件 (设定河南省、安

徽省、湖北省、湖南省、江西省的总和生育率分别为 1.9、1.8、1.75、1.85、1.85), 预测 2035 年之前中部五省常住人口; ②第二产业和第三产业结构参数依据 2010—2018 年各省产业结构演化规律进行外推; ③三次产业能耗强度根据 2010—2018 年各省产业能耗变化规律进行外推; ④城镇化率依据 2010—2018 年各省城镇化政策和规律, 结合发达国家城镇化规律进行推演得到; ⑤ GDP 增长率依据各省 2010—2018 年 GDP 增长率趋势进行拟合外推; ⑥人均 GDP 以 2005 年为基期乘以 GDP 增长率, 再除以人口总数得到。

## 三、中部地区崛起的能源需求情景设计

### (一) 产业结构和能耗情景设计

根据中部地区 2010—2018 年经济、社会、生态环境发展走势, 综合了影响中部地区未来能源需求的驱动因子, 将产业结构优化设置为基准情景、加速情景 (见表 3): 前者主要是各省份过去

表 2 中部地区崛起的基础参数设定 (2020—2035 年)

省份	时间/年	人口/万人	第二产业和第三产业结构比值	第二产业能耗强度变化/%	城镇化率/%	GDP增长率/%	人均GDP/万元
河南省	2020	9710	43.7:48.3	-5.3	53.33	7.0	4.9
	2025	9768	38.7:55.1	-4.8	57.45	6.1	6.6
	2030	9710	35.5:59.9	-4.3	61.73	5.5	8.8
	2035	9579	32.5:63.8	-3.8	66.18	5.0	11.5
安徽省	2019	6285	43.6:48.3	-5.2	56.01	7.2	3.9
	2025	6320	38.0:55.6	-4.7	59.31	6.0	5.3
	2030	6286	34.4:60.4	-4.2	62.64	5.1	7.0
	2035	6201	32.2:63.4	-3.7	66.00	4.4	9.1
湖北省	2020	5979	41.3:50.5	-5.0	61.51	6.7	5.3
	2025	6023	36.9:56.6	-4.5	64.49	5.3	7.0
	2030	5990	32.9:62.0	-4.0	67.44	4.4	8.8
	2035	5909	30.3:65.6	-3.5	70.36	3.6	10.8
湖南省	2020	6861	37.8:54.5	-3.2	57.60	7.0	4.6
	2025	6908	33.9:60.2	-2.7	61.59	6.1	6.1
	2030	6878	31.5:63.9	-2.2	65.70	5.5	7.8
	2035	6785	30.2:66.3	-1.7	69.91	5.0	9.7
江西省	2020	4693	44.5:47.9	-4.9	57.58	7.8	4.1
	2025	4724	39.6:54.7	-4.4	61.57	6.9	5.8
	2030	4717	35.2:60.4	-3.9	65.68	6.2	8.0
	2035	4654	31.3:65.4	-3.4	69.89	5.7	10.8

注: 表中数据根据中部五省历年统计年鉴数据测算得到, 负值表示下降。

表3 中部地区三次产业能源强度变化的预测(2020—2035年)

省份	时间/年	第一产业能耗年变化率/%		第二产业能耗年变化率/%		第三产业能耗年变化率/%	
		基准情景	加速情景	基准情景	加速情景	基准情景	加速情景
河南省	2018—2020	2.2	1.7	-5.3	-5.8	-5.7	-6.2
	2021—2025	1.7	1.2	-4.8	-5.3	-5.2	-5.7
	2026—2030	1.2	0.7	-4.3	-4.8	-4.7	-5.2
	2031—2035	0.7	0.2	-3.8	-4.3	-4.2	-4.7
安徽省	2019—2020	5.5	5.0	-5.2	-5.5	-1.9	-2.0
	2021—2025	4.5	4.0	-4.7	-5.0	-1.8	-1.9
	2026—2030	3.5	3.0	-4.2	-4.5	-1.7	-1.8
	2031—2035	2.5	2.0	-3.7	-4.0	-1.6	-1.7
湖北省	2018—2020	3.4	2.9	-5.0	-5.5	-4.3	-4.8
	2021—2025	2.9	2.4	-4.5	-5.0	-3.8	-4.3
	2026—2030	2.4	1.9	-4.0	-4.5	-3.3	-3.8
	2031—2035	1.9	1.4	-3.5	-4.0	-2.8	-3.3
湖南省	2018—2020	1.5	1.0	-3.2	-3.7	-6.5	-7.0
	2021—2025	1.0	0.5	-2.7	-3.2	-6.0	-6.5
	2026—2030	0.5	0.1	-2.2	-2.7	-5.5	-6.0
	2031—2035	0.1	0.1	-1.7	-2.2	-5.0	-5.5
江西省	2018—2020	2.2	2.7	-4.9	-5.4	-4.6	-5.1
	2021—2025	1.7	2.2	-4.4	-4.9	-4.1	-4.6
	2026—2030	1.2	1.7	-3.9	-4.4	-3.6	-4.1
	2031—2035	0.7	1.2	-3.4	-3.9	-3.1	-3.6

注：表中负值表示下降。

趋势的延伸，后者假设未来能源革命即将实施的额外市场导向机制。能源革命推进产业结构高级化，即地区经济发展重点或产业结构重心由第一产业向第二产业、第三产业逐次演化的历程，体现着中部地区经济发展水平的高低和发展阶段与方向。

## (二) 城镇化进程及城乡生活能源消耗情景设计

2019年，我国城镇化率为60.6%，城镇化已进入中后期；预计2030年，我国城镇化水平达到70%，之后进入后期发展阶段，发展速度将会趋缓[15]。中部五省中，只有湖北省(61%)略高于全国平均水平，而其他省份均不同程度地低于全国平均水平；各省份的城镇化速度也存在差异，如河南省、安徽省、湖北省、湖南省、江西省的相应数值分别为1.55%、1.19%、1.0%、1.4%、1.4%。鉴于中部地区现实情况，文中以0.1个百分点为间隔，设置3种城镇化情景预测。

应同时强调中部地区的协调发展，即重点促进

城乡区域协调发展。尽管河南省、安徽省、湖北省、湖南省、江西省的城乡收入差距比分别由2005年的3.02、3.21、3.03、3.05、2.64下降到2018年的1.52、2.46、2.30、2.30、2.34，而国际劳工组织资料(2012年)显示[16]，大多数国家的城乡收入差距比约为1.5；中部地区唯有河南省接近这个比例，而安徽省的城乡差距比最高，湖南省、湖北省、江西省的城乡收入差距比居中。

中部地区崛起必然是城乡收入差距逐步缩小的过程，主要表现为：随着工业化和新型城镇化的推进，中部五省的城镇人口比例会逐步提升，收入水平也会相应提高，到2035年基本实现现代化；在此过程中，人均收入水平由中等收入向高收入组别过渡，同时还需要完成缩小城乡收入差距的目标。为此，在设定农村居民收入弹性时，农村居民的可支配收入增长速度高于城镇居民；在此假定下，编制了收入弹性系数的高、低、基准情景，并假设该系数在过渡点附近保持在1或更高水平。表4给出了居民收入方面的3种备选方案，用于比较分析。

表 4 中部五省收入弹性系数预测情景 (2020—2035 年)

省份	时间/年	城镇人均可支配收入弹性系数			农民人均纯收入弹性系数		
		高增长情景	基准情景	低增长情景	高增长情景	基准情景	低增长情景
河南省	2020—2025	0.92	0.87	0.82	1.01	0.96	0.91
	2025—2030	0.97	0.92	0.87	1.02	0.97	0.92
	2030—2035	1.02	0.97	0.92	1.07	1.02	0.97
安徽省	2020—2025	0.90	0.85	0.80	0.97	0.92	0.85
	2025—2030	0.95	0.90	0.85	1.02	0.97	0.92
	2030—2035	1.00	0.95	0.90	1.05	1.02	0.97
湖北省	2020—2025	1.13	1.08	1.03	1.15	1.10	1.05
	2025—2030	1.15	1.10	1.05	1.17	1.12	1.07
	2030—2035	1.17	1.12	1.07	1.19	1.14	1.09
湖南省	2020—2025	1.01	0.96	0.91	1.04	0.99	0.94
	2025—2030	1.06	1.01	0.96	1.09	1.04	0.99
	2030—2035	1.11	1.06	1.01	1.14	1.09	1.04
江西省	2020—2025	1.01	0.96	0.91	1.04	0.99	0.94
	2025—2030	1.06	1.01	0.96	1.09	1.04	0.99
	2030—2035	1.11	1.06	1.01	1.14	1.09	1.04

随着经济发展、人均收入水平增长、居住条件和家用电器的普及,居民生活能源消费水平将稳步增长。从国际经验来看,在经济合作与发展组织的国家中,家庭住宅能源消耗平均占据能源消费总量的 19% (不含私人交通能源消费) [17]。合理预计,中部地区的生活能源消费量将持续攀升,2020 年后人均生活能源消耗量在能源消费“量”和“质”两个方面均会提升。

文中参照上海市等一线城市的发展规律来设定中部五省城乡能源消费的弹性系数,从而体现中部地区崛起并缩小与东部地区的差距。选取上海市作为参考基准,这是因为上海市已经率先完成了由中等收入向高收入水平的过渡,走过的历程可作为中部省份城镇化生活能源消费的参照。具体而言:在人均 GDP 方面,上海市从 2005 年的 6138 美元增长到 2017 年的 18 756 美元,中部五省当前的人均收入正处于该区间;上海市的能源消耗弹性表现为“由低到高再向低”,转折点出现在 2011 年;相关趋势在北京市、深圳市等一线城市同样存在 [17]。至于农村居民能源消费弹性系数,当前中部五省能源消费量的绝对水平仍然较低,但随着收入增长,能源需求潜力增量较大;假设该系数开始时为 1,城乡收入差距缩小一段时间后逐渐减小。表 5 给出了用于比较分析的生活能源消费弹性预测。

### (三) 能源革命助推能源结构转型的情景设计

能源革命的核心是发展清洁低碳能源,在能源消费量上表现为能源结构的变化。中部五省的能源消费结构以煤为主,煤炭消费占总能源的比重较高。近年来,得益于技术创新驱动,煤炭直接消费的比例呈现下降趋势,煤炭的清洁转换率有了较大提高;各省份大力发展风能、光能、水能、生物质能等可再生能源,形成风光互补、水光互补等多能体系;区域能源合作中的“西气东输”“西电东送”“北煤南运”、特高压智能电网等,为中部地区能源结构转换提供了便利条件;据此构建了能源革命推动中部地区能源结构转变情景(见表 6)。

借鉴文献 [18] 研究思路,文中在给定的变量和假设条件下共有 144 个不同崛起路径的能源消费情景组合。总结这些情景,根据 GDP 增长率的高、中、低来设定 3 类主要情景,然后在主要情景中研究选择 GDP 增长率基准情景,高增长率、低增长率情景下的 4 种关键子情景。不同崛起路径下的能源需求情景总体描述见表 7。

## 四、能源革命助推中部地区崛起的路径选择

### (一) 中部地区崛起不同路径的能源需求

将中部地区崛起过程中的各种宏观总体因子,

表5 中部五省生活能源消费弹性预测（2020—2035年）

省份	时间/年	城镇		农村	
		基准情景	加速情景	基准情景	加速情景
河南省	2020—2025	0.66	0.56	0.73	0.63
	2025—2030	0.56	0.46	0.63	0.53
	2030—2035	0.46	0.36	0.53	0.43
安徽省	2020—2025	0.92	0.82	0.96	0.94
	2025—2030	0.82	0.80	0.86	0.84
	2030—2035	0.72	0.62	0.76	0.74
湖北省	2020—2025	0.62	0.52	0.72	0.62
	2025—2030	0.52	0.42	0.62	0.52
	2030—2035	0.76	0.66	0.52	0.42
湖南省	2020—2025	0.60	0.55	0.74	0.64
	2025—2030	0.55	0.50	0.64	0.54
	2030—2035	0.50	0.45	0.54	0.44
江西省	2020—2025	0.70	0.65	0.67	0.62
	2025—2030	0.65	0.60	0.62	0.57
	2030—2035	0.60	0.55	0.57	0.52

表6 中部五省一次能源结构情景（2020—2035年）

省份	时间/年	基准发展情景/%				能源革命情景/%			
		煤炭	石油	天然气	可再生能源	煤炭	石油	天然气	可再生能源
河南省	2020	68.3	15.9	6.8	9.0	68.0	15.9	6.8	9.3
	2025	57.7	19.5	8.5	14.2	57.4	19.5	8.5	14.5
	2030	48.7	20.7	10.6	20.0	48.4	20.7	10.6	20.3
	2035	41.4	21.3	13.4	23.9	40.9	21.3	13.4	24.4
安徽省	2020	70.5	18.0	5.2	6.3	70.0	18.0	5.2	6.8
	2025	66.4	18.2	8.1	7.3	63.8	18.2	8.1	9.9
	2030	61.3	18.4	9.3	11.0	58.0	18.4	9.3	14.3
	2035	56.0	18.6	10.1	15.3	53.3	18.6	10.1	18.0
湖北省	2020	47.3	21.7	5.4	25.6	47.0	21.7	5.4	25.9
	2025	43.4	21.9	8.8	25.9	43.1	21.9	8.8	26.2
	2030	37.4	22.2	14.2	26.2	37.1	22.2	14.2	26.5
	2035	32.5	22.5	18.5	26.5	32.2	22.5	18.5	26.8
湖南省	2020	63.7	16.4	3.0	16.9	63.4	16.4	3.0	17.2
	2025	60.3	16.6	4.8	18.3	60.0	16.6	4.8	18.6
	2030	55.6	16.9	7.8	19.7	55.3	16.9	7.8	20.0
	2035	51.8	17.1	10.1	21.0	51.5	17.1	10.1	21.3
江西省	2020	68.8	18.2	4.1	8.8	68.5	18.2	4.1	9.1
	2025	63.1	18.5	6.7	11.7	62.8	18.5	6.7	12.0
	2030	53.4	18.7	10.8	17.1	53.1	18.7	10.8	17.4
	2035	44.6	19.0	14.0	22.4	44.3	19.0	14.0	22.7

表 7 中部地区崛起产业结构优化、城镇化情景设定的总体描述

情景	类型	SE11	SE12	SE13	SE14	SE21	SE22	SE23	SE24	SE25	SE31	SE32	SE33	SE34
GDP	高增长	✓	✓	✓	✓									
	基准情景					✓	✓	✓	✓	✓				
	低增长										✓	✓	✓	✓
产业结构	加速情景	✓	✓					✓	✓				✓	✓
	基准情景			✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓		
城镇化	高速情景	✓	✓	✓	✓					✓				
	基准情景					✓	✓	✓	✓					
	低速情景										✓	✓	✓	✓
能源效率	加速情景	✓		✓			✓		✓			✓		✓
	基准情景		✓		✓	✓		✓		✓	✓		✓	
人均收入	高速情景	✓	✓	✓	✓					✓				
	基准情景					✓	✓	✓	✓					
	低速情景										✓	✓	✓	✓
生活能源	高速情景	✓	✓	✓	✓					✓				
	基准情景					✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓

如经济增长、产业发展、新型城镇化、能源效率、人均收入和生活能源等整合为发展路径的不同选项，通过政策的引导实施以获得不同的发展路径及相应效果。根据不同的情境设定，可以得到中部五省 2020—2035 年在不同路径下的能源需求量。

以经济高增长情景为例（见图 2），至 2035 年，中部地区崛起的能源需求呈现递增趋势，没有出现拐点，能源需求量约为  $8.45 \times 10^8 \sim 1.0 \times 10^9$  tce。如采用能源革命推动产业结构优化和提升能源效率（SE11 路径），2035 年能源需求量约为  $9.12 \times 10^8$  tce；如果能源革命不能推动产业结构优化和提升能源效率，同时城镇化进程加速（SE14 路径），则能源的需求量约为  $1.0 \times 10^9$  tce；如果推动产业结构升级、提升能源效率二者选一，即为 SE12、SE13 路径，但 SE13 路径的能源需求量要比 SE12 路径低  $4.55 \times 10^7$  tce，这表明能源技术效率的提升效应要高于产业结构优化。

在基准经济增长背景下，至 2035 年，中部五省的能源需求量约为  $9.01 \times 10^8 \sim 9.74 \times 10^8$  tce。在产业结构升级和能源效率提升的情况下（SE24 路径），中部地区的能源需求量约为  $9.01 \times 10^8$  tce；如果能源革命无法推动产业结构升级、提升能源效率，则能源需求量约为  $9.74 \times 10^8$  tce；其他情况介于二者之间。能源革命中如果调整产业结构、提升能源效率同步（SE22 路径），则能源需求约为  $9.11 \times 10^8$  tce；

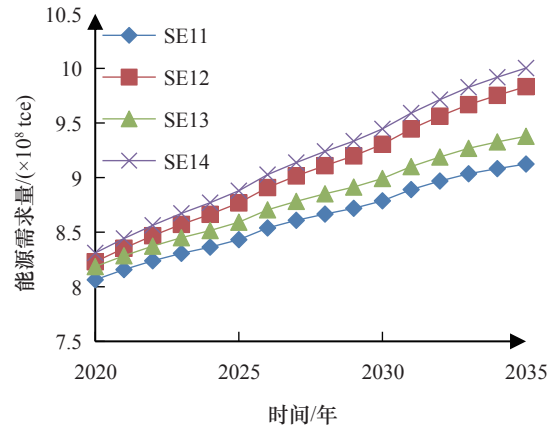


图 2 经济高增长情景的能源需求量

仅推动产业结构升级而不提升能源效率（SE23 路径），则能源需求量约为  $9.60 \times 10^8$  tce；在城镇化加速的背景下，产业结构和能源效率保持不变（SE25 路径），能源的需求量约为  $9.58 \times 10^8$  tce。

在经济低增长背景下，至 2035 年，能源需求分为 4 种情况：基准情景（SE31 路径），能源需求量约为  $9.11 \times 10^8$  tce；基准情景且能源革命提升能源效率（SE32 路径），能源需求量约为  $8.57 \times 10^8$  tce；SE32 路径附加能源革命加速产业结构优化升级（SE33 路径），能源需求量约为  $8.99 \times 10^8$  tce；SE33 路径附加能源革命既促进产业结构优化又提升能源效率，能源需求量约为  $8.45 \times 10^8$  tce。



由此可见，能源革命在推动中部地区崛起的过程中，推进产业结构优化、提升能源效率起着至关重要的作用：一方面可以节约能源消费量，即能源消费革命；另一方面可为中部地区崛起提供了路径选择。

## （二）中部地区崛起 CO<sub>2</sub> 排放量拐点出现路径

能源革命的核心任务之一是推进能源转型，即通过优化能源结构，朝着清洁低碳方向发展。根据不同的崛起路径假设，加上能源革命、基准能源供给情景假设，共有 432 个不同崛起路径的 CO<sub>2</sub> 排放情景组合。总结这些情景，将经济基准增长、经济高增长、低增长与能源革命、能源基准发展情景相组合，可以得到能源碳达峰的拐点年份情况。

同样以经济高增长为例，如果中部地区能源按照基准情景发展（见图 3），在 4 种不同崛起路径下的中部地区 CO<sub>2</sub> 排放量均在 2022 年达到峰值，2022 年之后开始缓慢下降。对比基准情景和能源革命情景（SE11、SE13 路径），CO<sub>2</sub> 排放量峰值年份均为 2020 年，但能源革命情景下（见图 4）的总排放量更少。对于 SE12、SE14 路径，基准情景下的峰值年份为 2022 年，能源革命情景下的峰值年份为 2021 年；同样，能源革命情景下的总排放量更少。

在经济基准增长背景下，如果中部地区能源按照基准情景发展，在 5 种不同崛起路径下，中部地区的 CO<sub>2</sub> 排放峰值均出现在 2021 年，此后随着能源结构的转型呈现出逐年递减趋势。关于 CO<sub>2</sub> 排放量，能源革命情景较基准能源结构条件低  $1.434 \times 10^7 \sim 1.474 \times 10^7$  tce。

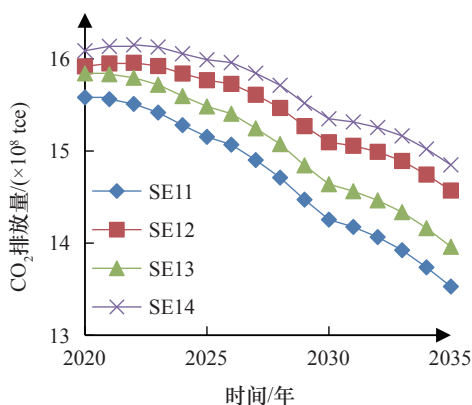


图 3 经济高增长 + 能源基准路径的 CO<sub>2</sub> 排放

在经济低增长背景下，如果中部地区能源按照基准情景发展，在 4 种不同崛起路径下，中部地区 CO<sub>2</sub> 排放峰值均出现在 2021 年，此后随着能源结构的转型呈现出逐年递减趋势。同样，能源革命将明显降低 CO<sub>2</sub> 排放量，有利于全球气候变化治理，也有利于区域环境改善。

由此可见，能源革命战略与中部地区崛起战略相结合，有助于促进中部地区高质量发展。能源革命以转变能源结构、提升能源效率的方式，推进中部地区产业结构转型升级，为地区新型城镇化发展、居民生活水平提高发挥积极作用。

## 五、对策建议

在综合考虑经济增长、产业发展、城镇化、现有节能政策等条件下，中部地区的能源需求将随着工业化、城镇化的推进而持续上升，2035 年之前不会出现拐点，但能源效率提升、产业结构优化有助于降低能源需求量；以构建多元互补能源体系为目标的能源革命情景，有助于中部地区碳达峰时间尽快到达，促进中部地区经济、社会、环境的协调发展。应对中部地区崛起的时代背景，对地区能源革命提出如下发展建议。

### （一）重点发展节能清洁技术，提升能源效率和清洁低碳能源供给

中部地区能源消费主要以煤炭为主，煤炭在一次能源中的主导地位短期内难以改变。由于火电是我国煤炭转化的主要方式，开展火电技术创新是相关清洁化技术发展的重要方面。煤炭的清洁利用是

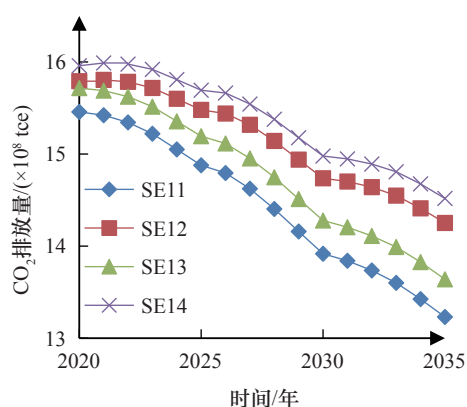


图 4 经济高增长 + 能源革命路径的 CO<sub>2</sub> 排放

未来能源革命的重点,节能提效是我国能源战略之首 [19];一方面加大中部地区火电机组升级换代、小规模机组淘汰的力度,对区域内各产业的能源投入产出效率进行调控,持续提升能源的利用效率;另一方面规划和实施水电、风电、光伏、生物质能等可再生能源的发展。

## (二) 加大产业结构调整力度,向绿色低碳生态化转型

能源革命推动中部地区崛起,不仅是能源产业结构本身的问题,更是区域内整个产业结构发展高度化、生态化的问题。在生态优先、绿色发展的新理念下,中部地区应改变传统的依赖资源的粗放发展方式,聚焦产业转型升级,因地制宜推动产业结构调整,朝着低碳生态化方向发展。建议将生态文明建设纳入产业转型升级过程,发展新型工业化以调整优化产业结构;改变工业文明“资源-产品-废物排放”产业模式,逐步转向生态文明、人与自然和谐共生的发展方式;采用先进技术改造提升传统产业,实施传统工艺改造升级,运用信息技术、新能源技术来推动产业生态化发展。

## (三) 推动能源体制变革,构建多能竞争市场体制

新能源发展壮大离不开市场突破,我国当前的“煤电联营”“煤电一体化”运行体制事实上形成了煤电对电网的独占,而风能、光伏等新能源在价格上已基本具备与传统火电竞争的条件。建议发挥新能源分散性特点,结合“美丽乡村”“安全社区”等工程建设,采用先农村后城市、由生活到生产的发展路径,设计竞争市场,更好发挥市场在资源配置中的决定性作用。鉴于风能、太阳能分布的区域性差异,建议中部地区各省份构建协商机制、打破行政分割,在新能源使用方面充分加强区域协作;推动能源体制变革,破除体制约束并打破区域间隔,倡导可再生能源的优先发展、优先利用,更好落实生态优先发展理念。

### 参考文献

[1] Podobnik B. Global energy shifts: Fostering stability in a turbulent age [M]. Philadelphia: Temple University Press, 2006.  
[2] Smil V. Energy transitions: History, requirements, prospects [M]. Santa Barbara: Praeger Publishers, 2010.

[3] 新华网. 习近平: 积极推动我国能源生产和消费革命 [EB/OL]. (2014-06-13)[2020-10-09]. [http://www.xinhuanet.com/politics/2014-06/13/c\\_1111139161.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2014-06/13/c_1111139161.htm).  
Xinhuanet. Xi Jinping: Actively promote my country's energy production and consumption revolution [EB/OL]. (2014-06-13)[2020-10-09]. [http://www.xinhuanet.com/politics/2014-06/13/c\\_1111139161.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2014-06/13/c_1111139161.htm).  
[4] 新华网. 习近平: 决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告 [EB/OL]. (2017-10-27)[2020-10-09]. [http://www.xinhuanet.com/2017-10/27/c\\_1121867529.htm](http://www.xinhuanet.com/2017-10/27/c_1121867529.htm).  
Xinhuanet. Xi Jinping: Report to 19th CPC National Congress. secure a decisive victory in building a moderately prosperous society in all respects and strive for the great success of socialism with Chinese characteristics for a new era [EB/OL]. (2017-10-27)[2020-10-09]. [http://www.xinhuanet.com/2017-10/27/c\\_1121867529.htm](http://www.xinhuanet.com/2017-10/27/c_1121867529.htm).  
[5] 樊金璐. 能源革命背景下中国洁净煤技术体系研究 [J]. 煤炭经济研究, 2017, 37(11): 11-15.  
Fan J L. Study on China clean coal technology system under the background of the energy revolution [J]. Coal Economic Research, 2017, 37(11): 11-15.  
[6] 马丽梅, 史丹, 裴庆冰. 中国能源低碳转型 (2015低碳转型): 可再生能源发展与可行路径 [J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2): 8-18.  
Ma L M, Shi D, Pei Q B. Low-carbon transformation of China's energy in 2015—2050: Renewable energy development and feasible path [J]. China Population Resources and Environment, 2018, 28(2): 8-18.  
[7] 张永胜, 牛冲槐. 能源革命背景下中国煤层气产业发展风险因素及策略研究 [J]. 科学管理研究, 2019, 37(2): 68-73.  
Zhang Y S, Niu C H. Research on risk factors and strategies of China's CBM industry development under the background of energy revolution [J]. Scientific Management Research, 2019, 37(2): 68-73.  
[8] 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 L, Zhan H B. International energy transitions and energy revolution in China [J]. Journal of Yunnan University (Social Sciences Edition), 2018, 17(3): 116-127.  
[9] 林伯强. 能源革命促进中国清洁低碳发展的“攻关期”和“窗口期” [J]. 中国工业经济, 2018 (6): 15-23.  
Lin B Q. The period of carrying out energy revolution to promote low carbon clean development in China [J]. China Industrial Economics, 2018 (6): 15-23.  
[10] 谢克昌. 能源革命要与区域发展战略结合 [J]. 电力设备管理, 2020 (9): 1.  
Xie K C. Energy revolution should be combined with regional development strategy [J]. Electric Power Equipment Management, 2020 (9): 1.  
[11] 新华网. 习近平: 贯彻新发展理念推动高质量发展 奋力开创中部地区崛起新局面 [EB/OL]. (2019-05-22)[2020-10-09]. [http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2019-05/22/c\\_1124529225.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2019-05/22/c_1124529225.htm).  
Xinhuanet. Xi Jinping: Implement the new development con-

- cept to promote high-quality development and strive to create a new situation in the rise of the Central Region [EB/OL]. (2019-05-22)[ 2020-10-09]. [http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2019-05/22/c\\_1124529225.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2019-05/22/c_1124529225.htm).
- [12] 汪克亮, 孟祥瑞, 程云鹤. 技术的异质性、节能减排与地区生态效率——基于2004—2012年中国省际面板数据的实证分析 [J]. 山西财经大学学报, 2015, 37(2): 69–80.  
Wang K L, Meng X R, Cheng Y H. Heterogeneous technology, energy saving and emission reduction, and regional eco-efficiency—An empirical analysis based on China’s provincial panel data over the period 2004—2012 [J]. *Journal of Shanxi University of Finance and Economics*, 2015, 37(2): 69–80.
- [13] 纪祥裕. 中部地区崛起战略对城市环境质量的影响研究——基于PSM-DID方法的分析 [J]. 经济问题探索, 2020 (8): 157–169.  
Ji X Y. Research on the impact of Central China’s rising strategy on urban environmental quality—An analysis based on PSM-DID method [J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2020 (8): 157–169.
- [14] 袁路, 潘家华. Kaya恒等式的碳排放驱动因素分解及其政策含义的局限性 [J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(3): 210–215.  
Yuan L, Pan J H. Disaggregation of carbon emission drivers in Kaya identity and its limitations with regard to policy implications [J]. *Climate Change Research*, 2013, 9(3): 210–215.
- [15] 时晓莉. 《人口与劳动绿皮书: 中国人口与劳动问题报告No.19》发布 [EB/OL]. (2019-01-04)[ 2020-10-09]. [http://cass.cssn.cn/baokanchuban/201901/t20190104\\_4806617.html](http://cass.cssn.cn/baokanchuban/201901/t20190104_4806617.html).
- Shi X L. Green paper on population and labor: Report on China’s population and labor issues No.19 released [EB/OL]. (2019-01-04)[ 2020-10-09]. [http://cass.cssn.cn/baokanchuban/201901/t20190104\\_4806617.html](http://cass.cssn.cn/baokanchuban/201901/t20190104_4806617.html).
- [16] 王红茹, 朱杉. 《中国城市发展报告No.4——聚焦民生》发布 [EB/OL]. (2011-09-20)[2020-10-09]. <https://www.chinanews.com/cj/2011/09-20/3339971.shtml>.  
Wang H R, Zhu S. China Urban Development Report No. 4—Focus on people’s livelihood [EB/OL]. (2011-09-20)[2020-10-09]. <https://www.chinanews.com/cj/2011/09-20/3339971.shtml>.
- [17] International Energy Agency. Energy balance for OECD countries 2013 [EB/OL]. (2013-07-03)[2020-10-15]. [https://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-balances-of-oecd-countries-2013\\_energy\\_bal\\_oecd-2013-en](https://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-balances-of-oecd-countries-2013_energy_bal_oecd-2013-en).
- [18] Yuan J H, Xu Y, Hu Z, et al. Peak energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in China [J]. *Energy Policy*, 2014, 68: 508–523.
- [19] 杜祥琬. 能源转型推动高质量发展 [N]. 中国财经报, 2018-08-18(02).  
Du X W. Energy transition promotes high-quality development [N]. *China Financial and Economic News*, 2018-08-18(02).