

中原经济区能源消费视角下的 大气环境压力评估

许亚宣¹, 李小敏^{1*}, 于华通², 段宁¹, 胡炳清¹, 马建锋¹, 董林艳¹

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 北京中环博宏环境资源科技有限公司, 北京 100012)

摘 要 研究以能源消费模式为切入点, 分析中原经济区能源消费总量、消费结构和利用效率的现状水平, 并分析能源消费引起的大气环境压力状况。基于经济发展速度调控及节能减排力度的不同, 设置2020年三种能源消费情景, 使用区域能源消费总量优化模型模拟预测不同情景下的能源消费总量, 并分析不同情景下的大气环境压力。结果表明, 快速发展和适度发展 I 情景下, 2020 年区域能源消费总量将比 2012 年增加 4.2×10^8 tce 和 2.4×10^8 tce, 煤炭消费总量将增加 3.1×10^8 tce 和 1.2×10^8 tce, 大气污染物排放压力增加 30% 和 50%; 适度发展 II 情景下, 能源消费总量将增加 0.2×10^8 tce, 煤炭消费总量将下降 0.3×10^8 tce, 大气污染物排放压力将降低 20%。因此, 要实现经济发展稳步增长 (年均增长率 7.7%) 和大气污染物排放总量削减 10% 目标, 重中之重是实现煤炭消费总量“零增长”或“负增长”, 同时力争能源消费总量控制在 $5 \times 10^8 \sim 6 \times 10^8$ tce, 凭借煤炭占比大幅下降 (降至 65% 左右) 最大限度发挥能源供给领域节能效应, 依靠产业结构升级节能效应和技术节能拓展能源消费领域节能空间, 将能效水平提高至 0.6 tce/万元以下。

关键词 中原经济区; 能源消费; 大气环境压力; 情景模拟

中图分类号: F224; X32

文章编号: 1674-6252 (2016) 05-0063-007

文献标识码: A

DOI: 10.16868/j.cnki.1674-6252.2016.05.063

Atmospheric Environmental Pressure Assessment under the Perspective of Energy Consumption in Central Plains Economic Region

XU Yaxuan¹, LI Xiaomin^{1*}, YU Huatong², DUAN Ning¹, HU Bingqing¹, MA Jianfeng¹, DONG Linyan¹

(1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012;

2. China Environmental Resources Technology Co., Ltd., Beijing 100012)

Abstract: Under the perspective of energy consumption mode, the total energy consumption, energy structure and energy utilization efficiency were investigated in Central Plains Economic Region (CPER). Additionally, atmospheric environmental pressure induced by energy consumption was also analyzed. According to economic development speed regulation and energy conservation efforts, three energy consumption scenarios in 2020 were designed including rapid development, i and ii moderate development scenarios. Using the regional total energy consumption optimization model, the total energy consumption and atmospheric environmental pressure were evaluated and predicted under the three given scenarios. The results showed that under the rapid development and i moderate development scenarios, the total energy consumption in 2020 will increase 420 and 240 million tons of coal equivalents than that in 2012, the total coal consumption will increase 310 and 120 million tons, but the emission pressure of atmospheric pollutants will increase 30% and 50%. Under the ii moderate development scenario, the total energy consumption will increase 20 million tons of coal equivalents, the total coal consumption will reduce 30 million tons, and while the emission pressure of atmospheric pollutants will reduce 20%. Therefore, to achieve the steady growth in economic development (7.7% per year) and 10% reduction in emission pressure of atmospheric pollutants, the top priority was to realize “zero growth” or “negative growth” in the total coal consumption. Meanwhile, the total energy consumption should be controlled within 500-600 million tons of coal equivalents. According to a substantial decline of coal proportion (down to 65%) in the total energy consumption, the utmost energy-saving effect can be produced in energy supply

作者简介: 许亚宣 (1980—) 女, 工程师, 硕士, 主要从事大气环境质量模拟与环评技术研究, E-mail: xu_yaxuan@163.com。

* 责任作者: 李小敏 (1971—) 女, 高级工程师, 主要从事战略环境影响评价与环评技术研究, E-mail: lxm1919@126.com。

field. Rely on energy-saving effect by upgrading the industrial structure and energy-saving technologies to expand the saving space in energy consumption field and to raise the energy efficiency under 0.06tce / thousand yuan.

Keywords: Central Plains Economic Region(CPER); energy consumption; atmospheric environmental pressure; scenarios simulation

引言

受经济发展和工业化进程加快的驱动,中国能源消费总量持续攀升,巨大的能源消费及煤炭比重过大的能源结构,加之高投入、低效率、低产出,高污染、高排放的利用模式,已经对中国大气环境造成巨大压力,已有研究显示,工业大气污染中,与能源消费相关的大气污染占 62%^[1]。

中原经济区由于长期以来实施能源原材料基地的发展战略,其能源消费带来的大气环境问题不断升级,因此,对中原经济区开展能源环境的深入研究具有更为直接的意义。目前 3E 系统协调发展普遍采用国外一些权威机构开发的典型能源模型,而我国现有的 3E 模型开发处于起步阶段。由于国际上 3E 模型都是基于特定国家或区域的具体背景开发的^[2],每个模型都是在一些特定假设的前提下运行的,适用范围有限。同时 3E 模型的研究重点是随着人们对能源-经济-环境领域不同关注焦点的变化而变化^[3],故根据本地区的能源系统实际情况,以及不同的情景设计需要,有必要在建模方法上进行探索和积累实践经验。

鉴于此,本研究试图在分析中原经济区能源消费总量、能源消费结构和能源利用效率现状水平的基础上,根据已有研究和模型基础,拟结合相关发展规划通过设置不同约束条件的能源消费情景,采用区域能源消费总量预测模型探索经济发展-能源消费-污染排放之间的关系,研究能源对大气污染物总量减排的压力。

1 数据与方法

1.1 研究范围

中原经济区是以全国主体功能区规划明确的重点开发区域为基础,以中原城市群为支撑,涵盖河南全省、河北南部(邯郸、邢台)、山西东南部(长治、晋城、运城)、安徽西北部(宿州、淮北、阜阳、亳州、蚌埠市和淮南市凤台县、潘集区)、山东西南部(聊城、菏泽、泰安市东平县),区域面积 28.9 万 km²。

1.2 数据来源

研究中现状部分涉及的全国、东部、中部、西部的经济、社会、能源和环境数据主要来自于 2005—2012 年全国各省统计年鉴、《中国环境统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国工业统计年鉴》、《中国环境状况公报》,涉及的中原经济区经济、社会、能源和环境数据主要来自于其所辖的 33 市县(含 30 市 2 县 1 区)的统计年鉴、

环境统计数据。

情景设计中的数据主要来自于“中原经济区战略环境影响评价”项目中的产业专题、大气专题,以及《能源发展“十二五”规划》、《河南省蓝天工程行动计划》等相关政策文件。

1.3 研究方法与模型简介

1.3.1 模型介绍

区域能源消费总量预测模型是一非线性规划模型,以能源消费与经济发展、能源利用效率之间的相互关系为基础进行预测,可以反映能源消费与经济总量之间的相互关系——当经济总量扩大时,对能源要素的引致需求也会增加,同时也反映了能源利用效率的变化对能源需求变化的贡献。

该研究中经济发展速度、人口规模、城镇化对能源消费增长的增速效应主要以经济总量的增长进行表征。同时,根据相关研究,目前的经济存量中,节能潜力大体可通过技术进步、经济转型、提高经济增长的质量来实现^[4]。鉴于影响经济转型产业结构有序演进和技术进步水平等经济存量中节能潜力的不确定因素难以把握,换言之,能源消费领域节能空间本身非常复杂,该研究将上述因素对能源消费增长的减速效应以能源消费领域单位 GDP 能耗的下降进行表征。

区域能源消费总量预测模型的基本结构如下:

目标函数:

$$\text{Min } E_t = \sum_{i=1}^N (\text{GDP}_{it} \times \text{EPG}_{it})$$

约束条件:

I 类约束: GDP_t 约束

$$\text{GDP}_t \text{ Min}_i \leq \text{GDP}_{it} \leq \text{GDP}_t \text{ Max}_i \quad (i=1, 2 \cdots N)$$

II 类约束: EPG_t 约束

$$\text{EPG}_t \text{ Min}_i \leq \text{EPG}_{it} \leq \text{EPG}_t \text{ Max}_i \quad (i=1, 2 \cdots N)$$

III 类约束: TGDP 约束

$$\sum_{i=1}^N \text{GDP}_{it} \geq \text{TGDP} \quad (i=1, 2 \cdots N)$$

IV 类约束: TEPG 约束

$$\frac{\sum_{i=1}^N (\text{GDP}_{it} \times \text{EPG}_{it})}{\sum_{i=1}^N \text{GDP}_{it}} \geq \text{TEPG} \quad (i=1, 2 \cdots N)$$

式中: $\text{Min } E_t$ ——区域能源消费总量控制目标函数(能源消费总量最小);

E_t ——预测年 t 区域的能源消费总量(未考虑能源消费结构调整的值), 10^4tce ;

GDP_i ——预测年 t 区域第 i 控制单元的 GDP, 亿元(2012 年不变价), 决策变量;

N ——区域内控制单元个数, 即全部市县个数, 这里 $N=33$;

EPG_i ——预测年 t 第 i 控制单元的单位 GDP 能耗, $\text{tce}/\text{万元 GDP}$, 决策变量;

TGDP ——预测年 t 区域的 GDP 总量, 亿元(2012 年不变价), 约束值;

TEPG ——预测年 t 区域总体单位 GDP 能耗, $\text{tce}/\text{万元 GDP}$, 约束值。

模型中, 目标函数表示希望获得中原经济区最小的能源消费总量。I 类约束是对各控制点(中原经济区所辖各市县) GDP 总量的约束, 避免某个控制点出现过大或过小的经济总量, 以保证各控制点经济发展的需要; II 类约束是对各控制点单位 GDP 能耗的约束, 避免某个控制点出现过大或过小的能源利用效率值, 以保证各控制点能效水平稳步提高; III 类约束是对区域 GDP 总量的约束; IV 类约束为区域总体单位 GDP 能耗的约束。

1.3.2 能源消费结构调整的引入

根据上述模型中能源消费总量与经济总量、能源利用效率关系的设定, 通过区域能源消费总量优化模型得出的能源消费总量, 并不能反映改善能源消费结构对于降低能源消费总量的影响作用。鉴于能源消费结构是影响能源消费总量的一个重要因素^[3, 7], 该研究在模型预测的基础上, 单独考虑了能源消费结构调整对能源消费增长的减速效应。

能源消费结构调整引入过程如下: 利用以往关于能源消费结构和能源消费总量间的定量研究成果, 霍宗杰、刘晓逸等从经济增长和能源结构与能源消费的长期均衡关系发现能源结构(煤炭的消费占比)每减少 1%, 能源消费总量将下降 1.415% ~ 1.8%^[5, 6], 并根据情景方案设置中的能源消费结构优化数据, 对模型能源消费总量预测结果进行了修正。

1.4 情景设计

该研究结合中原经济区战略环境评价产业专题和大气专题研究成果, 采用情景分析方法, 设定 2012 年为现状年, 设定 2020 年为预测年。同时, 采用区域能源消费总量优化模型, 以经济区能源消费总量最小化为目标, 将经济发展速度、产业结构调整与升级力度、能源绩效水平、能源结构调整、技术进步、人口规模、城镇化发展等作为能源消费变化的主要驱动因素。以不同情景下 GDP 总量预期值为约束, 对 2020 年区域能源消费总量发展趋势设置了三种情景。

2020 年三种情景分别代表不同含义, 情景 1(快速发展): 基于经济发展惯性和地方发展意愿的经济导向情景。中原经济区将保持经济持续、高速增长态势, 各地市 GDP 年均增长保持在 12% 以上的高速度; 三次产业结构从 13:54:33 调整到 10:56:35; 区域总体单位 GDP 能耗比 2012 年下降约 20%; 煤炭占比由 2012 年的 77.3% 下降到 75.6%。

情景 2(适度发展 I): 中原经济区经济增长速度适度放缓, 各地市 GDP 年均增长保持在 11% 左右的水平; 有效推进现代产业结构的演进; 区域总体单位 GDP 能耗下降约 35%; 煤炭占比由 2012 年的 77.3% 下降到 67.3%。

情景 3(适度发展 II): 基于空间和产业结构调整及技术进步的效率导向情景。中原经济区经济增长速度在情景 2 的基础上再放缓, 各地市 GDP 年均增长保持在 8% 左右的水平; 进一步加大调整产业结构的力度, 三次产业结构调整到 11:53:36; 区域总体单位 GDP 能耗比 2012 年下降约 40%; 煤炭占比由 2012 年的 77.3% 下降到 66.6%(煤炭占比达到全国 2012 年平均水平)。

需强调指出: 情景 1 ~ 3 中区域总体单位 GDP 能耗下降幅度包括能源消费领域节能空间和能源供给领域节能空间两方面的节能潜力。

在能源消费领域节能中, 产业结构调整与升级是单位 GDP 能耗下降的重要推动力之一。作为中原经济区内工业重点行业, 同时面临结构调整和空间布局调整的钢铁、水泥、有色冶金行业, 其调整升级力度将很大程度上影响单位 GDP 能耗强度。由于上述产业目前属国家抑制发展及地方重点控制产业, 且产品市场基本饱和, 因而其发展趋势总体下降。“十三五”期间, 在钢铁方面, 区域内的钢铁产能将主要进行整合、集中式发展, 主要向河北邯郸、河南安阳、山东东平和山西运城、长治地区等地集中, 而新乡、济源、信阳地的等小钢厂将逐步趋于淘汰和转型。在有色冶金方面, 区域内的电解铝总体规模将不再扩张, 而是采取空间布局调整, 逐步把产能向几个主要产区集聚(运城、聊城、洛阳), 其余地区则采取产业结构调整, 延伸产业链, 发展后续铝材加工。在水泥方面, 基本上每个地市都提出了水泥产能不再扩张, 处于总体控制生产能力、加快生产线改造阶段。就具体工业比重而言, 钢铁工业比重由 2012 年的 11% 下降至 2020 年的 7%(情景 3)至 8%(情景 1), 有色冶金工业比重由 9% 下降至 8%(三种情景一致), 建材工业比重保持现有比重(情景 1)或由 10% 下降至 9%(情景 3)。

1.5 污染物排放量预测

基于区域能源消费总量预测模型可获得不同情景下 33 市县的能源消费总量和对应的 GDP 总量, 采用单位 GDP 大气污染物排放作为环境绩效指标对大气污染物排

放量进行预测。

$$E_{t,k} = \text{GDP}_t \times \text{PPG}_{t,k}$$

式中： $E_{t,k}$ ——第 t 年第 k 种大气污染物的排放量， t ；
 GDP_t ——第 t 年国民生产总值，亿元；

$\text{PPG}_{t,k}$ ——第 t 年第 k 种大气污染物的单位 GDP 排放量，即环境绩效， t /亿元。

$\text{PPG}_{t,k}$ 由现状环境绩效与环境绩效改善系数获得，其计算公式如下：

$$\text{PPG}_{t,k} = \text{PPG}_{0,k} \times (1+a_k)^t$$

式中： $\text{PPG}_{0,k}$ ——现状年第 k 种大气污染物的单位 GDP 排放量， t /亿元；

a_k ——现状年到预测年 t 的第 k 种大气污染物的单位 GDP 排放量的下降率，无量纲。

通过对中原经济区各市县 2006—2012 年的三种污染物的单位 GDP 排放量的演变趋势分析，得到各地区的 SO_2 、 NO_x 和烟粉尘三种污染物排放的平均下降率，预测 2020 年各市县的单位 GDP 排放水平。并进一步收集和分析了全国及 31 个省会城市 2012 年环境绩效，以 2012 年全国平均环境绩效作为中原经济区 2020 年各市县必须达到的最低要求，以 2012 年 1/4 城市能够达到的环境绩效作为最高要求（若现状好于该绩效，则采用现状值，下降率为 0）。同时，为了进一步体现大气污染物排放控制水平提高，适度发展 I、适度发展 II 情景下的单位 GDP 排放量分别比快速发展情景下降 10%、25%。中原经济区不同情景下的环境绩效指标见表 1。

表 1 中原经济区不同情景下的环境绩效指标

环境绩效	快速发展 / (t/亿元)			适度发展 I / (t/亿元)			适度发展 II / (t/亿元)		
	SO_2	NO_x	烟粉尘	SO_2	NO_x	烟粉尘	SO_2	NO_x	烟粉尘
33 市 县平 均值	28.1	30.6	17.8	27.0	28.4	17.8	15.8	16.4	10.0

2 结果与讨论

2.1 中原经济区现状能源消费与大气环境压力分析

2.1.1 能源消费总体特征

（1）全社会能源消费总量

2012 年中原经济区能源消费总量 $4.5 \times 10^8 \text{tce}$ ，占全国能源消费总量的 12.4%。其中，河南省能源消费总量 $2.4 \times 10^8 \text{tce}$ ，占中原经济区的 53%，占全国能源消费总量的 6.5%，在全国 31 个省（自治区、直辖市）中位列第五名，仅次于山东、河北、广东和江苏。

（2）演变趋势

由于中原经济区部分城市能源消费历史数据缺乏，同时鉴于中原经济区的主体是河南省，河南省的情况基本上与中原经济区一致，因此，本文关于能源消费总量、结构的演变趋势利用河南省数据进行分析研究。

河南省能源消费总量的时序演变见图 1。可以看出，长期以来，河南省的能源消费始终保持旺盛的增长需求，2000—2012 年一次能源消费总量增长近 2 倍，其能源消费总量自 2000 年的 $0.8 \times 10^8 \text{tce}$ 增长到 2012 年的 $2.4 \times 10^8 \text{tce}$ ，平均每年的增幅超过 $1.3 \times 10^8 \text{tce}$ ，期间的年递增速度达到 9.5%，高于全国 7.9% 的年平均增速。其中，“十五”期间河南省能源消费总量增速最快，年平均增速达到 13.1%，“十一五”期间年平均增速为 8.0%，“十二五”前两年年平均增速为 5.0%。

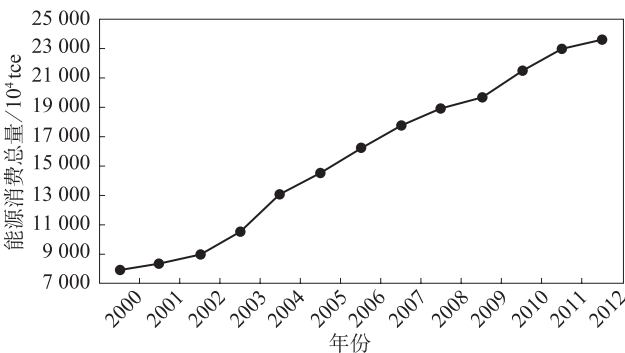


图 1 河南省能源消费总量的时序演变

2.1.2 能源消费结构变化特征

（1）能源消费结构

从中原经济区整体来看，2012 年煤炭在能源消费结构中的比重为 77.3%，远高于全国平均水平 66.6%。

（2）演变趋势

从中原经济区主体河南省历年能源消费构成来看，其能源消费主要是煤炭、石油、天然气、水电。其中，煤炭在能源消费中的比重一直处于高位，1978 年煤炭消费占能源消费总量的比重为 92.3%，到 2000 年，这一比重下降到 87.6%，2000—2009 年，河南省煤炭占比一直在 87% 左右，自 2010 年起煤炭占比才明显下降。截至 2012 年，河南省煤炭占比为 80.2%，仍旧保持在 80% 以上的较高水平。

此外，河南省石油所占比重呈波动上升趋势，2012 年占比为 10.3%，较 2000 年的 9.6% 增长 7 个百分点。天然气、水电等清洁能源在能源消费总量中的比重虽然有所提升，2012 年二者占比之和为 9.5%，较 2000 年增长 2 倍以上，但其总体利用水平明显低于全国同期值，滞后全国平均水平约 6 年。可以看出，近年来石油、天然气、水电等在能源消费结构中的比例上升，对煤炭起到了一定的替代作用，但其替代作用仍非常有限。

总体上，中原经济区能源消费结构调整进展缓慢，2000—2012 年，一次能源消费中，煤炭所占比重仅下降了 7.4%。究其原因可能是由于其自身具有较丰富的煤炭储量，而石油和天然气对外依存程度高，同时受科技因素影响，新能源开发利用程度较低，使得经济区过度依赖煤炭能源消费。因此，尽管该区域煤炭所占比重逐渐下降，但在短期内以煤为主的能源结构特征不会改变。

2000—2012 年河南省能源消费结构的时序演变见图 2。

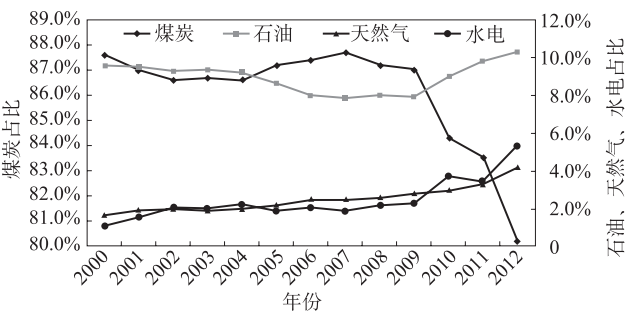


图2 2000—2012年河南省能源消费结构的时序演变

2.1.3 能源利用效率

中原经济区能耗水平总体较差，滞后全国平均水平约 4 年，与东部地区仍有很大差距。

2012 年中原经济区万元 GDP 能耗为 0.97tce/ 万元，劣于全国平均水平（0.70tce/ 万元）40%、中部地区平均水平（0.83tce/ 万元）17%，与东部地区平均水平（0.63tce/ 万元）仍有很大差距，其单位 GDP 能耗约为同期东部水平的 1.6 倍。

中原经济区工业能耗明显高于全国平均水平。2012 年中原经济区万元工业生产总能耗为 0.46tce/ 万元，是同期全国平均值的 1.6 倍，滞后全国平均水平 5 年（表 2）。因此，亟需加快技术进步、产业调整升级，提升能源利用效率水平。

表2 2012年中原经济区万元工业生产总资源环境绩效

地区		能耗 / (tce/ 万元)	SO ₂ 排放 量 / (kg/ 万元)	NO _x 排放 量 / (kg/ 万元)	烟粉尘 排放量 / (kg/ 万元)
2012	河南省	0.30	2.23	2.17	0.97
	中原经济 区	0.46	2.67	2.68	1.62
	全国	0.28	2.10	1.82	1.13
	东部	0.22	1.14	1.16	0.55
	中部	0.40	2.53	2.23	1.52
	西部	0.62	5.48	3.90	2.73
2005	全国	0.67	8.62	/	7.39
2006		0.58	7.06	/	5.28
2007		0.49	5.28	/	3.63
2008		0.41	3.93	/	2.48
2009		0.40	3.40	/	2.06
2010		0.33	2.67	/	1.51
2011		0.29	2.39	2.05	1.30

2.1.4 现状大气环境压力分析

(1) 大气污染物排放总量情况

2012 年三种主要大气污染物 SO₂、NO_x 和烟（粉）尘排放量分别为 2.4 × 10⁶t、2.9 × 10⁶t 和 1.5 × 10⁶t，分别

占全国同期排放量的 11.2%、12.4% 和 12.3%。

从常规污染物排放演变趋势来看，由于自“十一五”以来，各地开展了大力度的污染物总量减排，经济区整体 SO₂ 和烟（粉）尘排放量呈波动缓慢下降趋势，但近两年来 NO_x 有较大幅度的增加。

从单位 GDP 下大气污染物排放强度来看，2012 年中原经济区单位 GDP 的 SO₂ 排放量为 5.2kg/ 万元，NO_x 排放量为 6.4kg/ 万元，烟粉尘排放量为 3.3kg/ 万元。总体上，中原经济区单位 GDP 污染物排放强度高于全国以及东部、中部平均水平，相当于全国 2010 年平均水平。

由于中原经济区是全国重要的能源原材料基地，传统产业所占比重大，高资源依赖、高耗能、高污染产业导致大气结构性污染特征明显。2012 年中原经济区整个工业部门消耗了全社会 83% 的能量量，向大气中排放了 91% 的 SO₂、75% 的 NO_x 和 86% 的烟（粉）尘，其中，七大资源型重工业（煤炭开采和洗选业，石油加工、炼焦及核燃料加工业，化学原料及化学制品制造业，非金属矿物制品业，黑色金属冶炼及压延加工业，有色金属冶炼及压延加工业，电力、热力生产和供应业）消耗了全社会 67% 的能量量，向大气中排放了 72% 的 SO₂、62% 的 NO_x 和 66% 的烟（粉）尘。

2012 年万元工业生产总能耗下的大气污染物排放情况见表 2，可以看出，中原经济区工业污染物排放强度高于全国、东部和中部平均水平。以全国发展轨迹为参照，总体上中原经济区工业污染物排放效率滞后全国平均水平 2 年左右。

(2) 现状大气环境压力分析

2012 年中原经济区以单位面积承载大气污染物量表征的环境压力是全国平均值的 2 倍左右。以地级市为评估单元，2012 年中原经济区所有城市的 PM₁₀ 全面超载，其中，近半数城市严重超载，近 1/4 城市的 NO_x 已经饱和或超载，相当一部分城市的 SO₂ 承载率进入预警区域。2012 年中原经济区大气污染物排放现状压力见表 3。

表3 中原经济区大气污染物排放现状压力

区域	单位面积负荷 / (t/km ²)		
	SO ₂	NO _x	烟粉尘
中原经济区	8.25	10.22	5.34
全国平均	4.45	4.91	2.59

城市环境空气污染，尤其是以 PM_{2.5} 污染为特征的环境空气污染加剧，近年来爆发的区域性灰霾天气呈频发态势，且覆盖范围越来越广，持续时间越来越长。已开展 PM_{2.5} 监测的郑州、开封、晋城、运城、邯郸、邢台，2012 年的 PM_{2.5} 日均浓度达标率不足 50%，均出现较为严重的超标，其中邢台超标最为严重，全年超标率达 80% 以上。

近年来重复出现的大面积重度化灰霾污染已在全国

呈蔓延之势，中原经济区也是灰霾污染的重灾区。从环保部公布的《2013 年中国环境状况公报》中全国灰霾日数分布图可以看出，2013 年中原经济区是全国灰霾污染天数最多的地区之一，灰霾污染程度不亚于毗邻的京津冀地区。

2.2 中原经济区能源消费总量和大气环境压力预测分析

2.2.1 能源消费总量和 GDP 预测

按照引入能源消费结构调整进行修正后的能源消费预测结果，2020 年中原经济区能源消费总量将比 2012 年增加 8.5% ~ 100.8%，增长幅度取决于经济发展速度调控、能源消费结构和节能减排力度。不难看出，中原经济区未来一段时间内，经济的发展仍然依赖于能源驱动，在实施能源发展战略性调整和能源消费模式的革命性转变后，可实现能源消费总量略有增长或维持现状的目标。

但是，要实现能源消费总量略有增长或维持现状的目标，破解经济快速发展和能源消费总量控制矛盾，必须以节能为抓手，一方面要加快经济转型产业结构调整

和深挖技术节能潜力，另一方面要优化能源结构，减少一次能源中煤炭的消费占比。预测结果显示，煤炭消费比重每下降 1%，中原经济区区域总体万元 GDP 能源将下降 0.011tce，这与邱灵等在研究各因素对区域能源利用效率的影响程度中所得的结果相近^[7]。中原经济区不同情景下的能源消费总量与 GDP 预测见表 4。

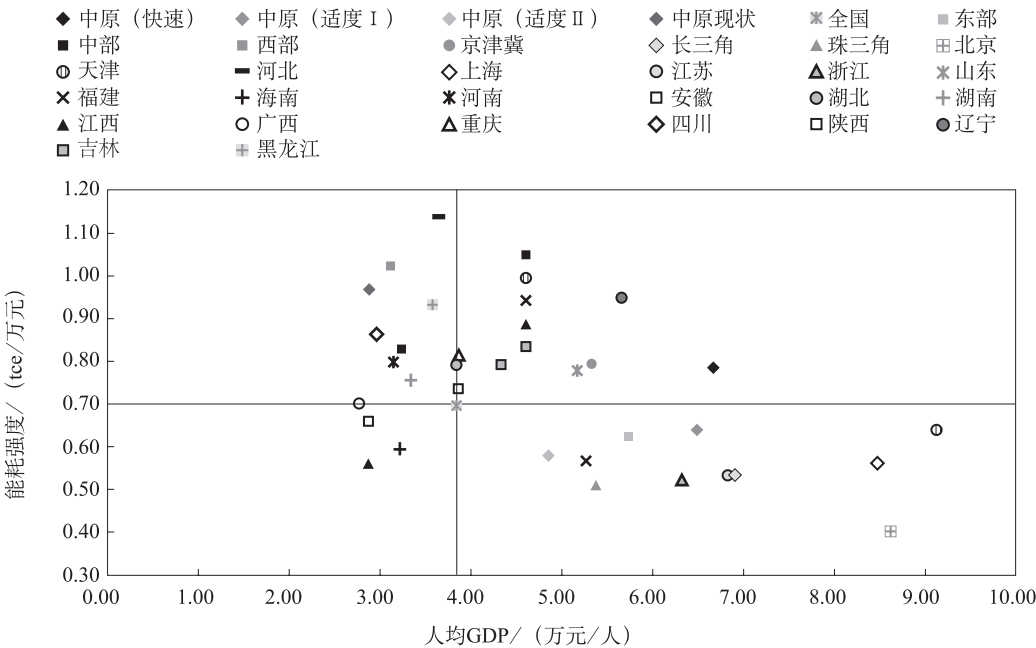
2020 年，在区域 GDP 总量的不同预期下，可实现的单位 GDP 能耗水平在 0.581 ~ 0.785 tce/ 万元之间。区域 GDP 总量达到 11.1 万亿元预期，单位 GDP 能耗强度将落入图 3 中的第 I 象限，表现出以高能耗为代价的增长。

区域 GDP 总量达到 8.1 万亿元和 10.8 万亿元预期，单位 GDP 能耗强度均可进入图 3 中的第 IV 象限，依现有技术水平评估，可实现相对低能耗的经济增长。

按三种情景测算，适度发展 I 和快速发展情景煤炭消费总量将比 2012 年增加 $1.2 \times 10^8 \text{t}$ 和 $3.1 \times 10^8 \text{t}$ ；而在适度发展 II 情景下，2020 年中原经济区整体煤炭占比将由当前的约 80% 降至 66.6%（达到全国 2012 年平均水平），煤炭消费总量将比 2012 年下降约 $0.3 \times 10^8 \text{t}$ 。

表 4 中原经济区不同情景下的能源消费总量与 GDP 预测

水平年	情景设置	能源消费总量 / 10^4tce	GDP/ 亿元	煤炭消费占比	单位 GDP 能耗 / (tce/ 万元)	GDP 年均增长	能源消费年均增长	能源消费弹数
2012	现状	45 018	46 719	77.3%	0.97	8.062%	6.05%	0.46
2020	情景 1: 快速发展	86 940	110 797	75.6%	0.785	12.03%	8.57%	0.71
	情景 2: 适度发展 I	69 074	108 000	67.3%	0.640	11.67%	5.50%	0.47
	情景 3: 适度发展 II	46 993	80 863	66.6%	0.581	7.71%	0.54%	0.07



2.2.2 大气环境压力预测分析

能源消费与污染物排放之间的关系非常复杂,除能源消费总量外,能源结构、能源消费方式及大气污染物排放控制水平(污染物源头和过程控制技术、末端治理技术等)等都是影响污染物排放的关键因素。鉴于能源消费总量预测过程中已考虑了能源结构(能源供需基本一致,现有能源消费方式仍表现为供给约束型)和能源消费方式(重点产业含煤电行业增长态势)因素,以下仅研究不同污染控制水平下的污染物排放压力状态。

按2020年三种情景测算,以当前中原经济区的大气污染物排放控制水平计(污染控制水平不变),SO₂、NO_x和烟粉尘的排放总量将比2012年增加4.4%(情景3)至93.1%(情景1),大气污染物排放压力将增加5%~95%。

在考虑大气污染物排放控制水平提高的情况下,在区域GDP总量10.8万亿元(能源消费量 6.9×10^8 tce)和11.1万亿元(能源消费量 8.7×10^8 tce)预期下,2020年区域大气污染物排放压力将比2012年增加30%~50%;在区域GDP总量8.09万亿元(能源消费量 4.7×10^8 tce)预期下,2020年区域大气污染物排放压力将比2012年降低约20%。

以区域大气污染物排放总量削减10%为约束,按区域GDP总量10.8万亿元和11.1万亿元预期,2020年单位GDP大气污染物排放强度需要实现40%~60%的削减;而按区域GDP总量8.1万亿元预期,单位GDP大气污染物排放强度可实现削减目标。

因此,如果完全按照地方发展愿景(快速发展情景)或经济增长速度适度放缓情景(适度I情景)发展,中原经济区能源消费与资源环境承载之间的矛盾将面临进一步激化的态势,大气环境严重恶化的趋势将难以逆转。

在现有的能源资源禀赋和技术条件下,中原经济区应选择适度发展II策略,2020年区域GDP总量为8万~9万亿元水平,能源消费总量控制在 $5 \times 10^8 \sim 6 \times 10^8$ tce,煤炭消费总量实现“零增长”或“负增长”,即情景3为最优情景。

3 结论

(1)在现状年(2012年),中原经济区能源消费总量为 4.5×10^8 tce,其中煤炭消费总量为 3.5×10^8 tce,三种主要大气污染物SO₂、NO_x和烟粉尘排放量分别为 2.4×10^6 t、 2.9×10^6 t和 1.5×10^6 t。区域煤烟型污染特征依旧突出,并呈现出复合型污染态势,部分地区大气环境承载能力已超出极限。

(2)在快速发展情景下,2020年中原经济区GDP可达11.1万亿元预期,其能源消费总量将达 8.7×10^8 tce,煤炭消费总量将维持在 6.6×10^8 tce水平(较2012年增加 3.1×10^8 tce)。若以2012年中原经济区的大气污染物

排放控制水平计,其大气污染物排放压力将比2012年增加约95%,在考虑大气污染物排放控制水平提高的情况下,其大气污染物排放压力也将比2012年增加50%。

(3)在适度I情景下,2020年中原经济区GDP可达10.8万亿元,其能源消费总量将达 6.9×10^8 tce,煤炭消费总量将维持在 4.6×10^8 tce水平(较2012年增加 1.2×10^8 tce)。若以当前中原经济区的大气污染物排放控制水平计,其大气污染物排放压力将比2012年增加约55%,在考虑大气污染物排放控制水平提高的情况下,其大气污染物排放压力也将比2012年增加30%。

(4)在适度II情景下,2020年中原经济区GDP可达8.1万亿元,其能源消费总量将达 4.7×10^8 tce,煤炭消费总量将控制在 3.1×10^8 tce水平(将比2012年下降约 0.3×10^8 tce)。若以当前中原经济区的大气污染物排放控制水平计,其大气污染物排放压力将比2012年增加约5%,在考虑大气污染物排放控制水平提高情况下,其大气污染物排放压力也将比2012年降低约10%。

(5)根据情景测算可知,中原经济区要实现经济发展与环境保护的“双赢”,换言之,要实现经济发展稳步提高(年均增长率7.7%)和区域大气污染物排放总量削减10%的目标,实现上述目标重中之重是,以控制煤炭消费总量为重点,积极推进能源消费总量和消费强度“双调控”,优化能源消费结构。因此,未来中原经济区缓解大气环境压力的关键在于实现煤炭消费总量“零增长”或“负增长”,同时力争2020年能源消费总量控制在 $5 \times 10^8 \sim 6 \times 10^8$ tce,凭借煤炭占比大幅下降(降至65%左右)最大限度地发挥能源供给领域节能效应,依靠产业结构升级节能效应和技术节能拓展能源消费领域节能空间,将能效水平提高至0.6tce/万元以下。

参考文献

- [1] 周新. 中国的能源消费和改善大气环境质量的战略分析[J]. 环境保护, 2003(7): 47-51.
- [2] 魏一鸣, 吴刚, 刘兰翠, 等. 能源-经济-环境复杂系统建模与应用进展[J]. 管理学报, 2005, 2(2): 159-170.
- [3] 刘刚, 沈镭. 能源环境研究的理论、方法及其主要进展[J]. 地理科学进展, 2006, 25(6): 33-41.
- [4] 戴彦德, 吕斌, 冯超. “十三五”中国能源消费总量控制与节能[J]. 北京理工大学学报: 社会科学版, 2015, 17(1): 1-7.
- [5] 霍宗杰, 周彩云. 我国经济增长、能源结构与能源消费关系的实证分析[J]. 当代经济管理, 2010, 32(5): 10-14.
- [6] 刘晓逸. 基于经济结构调整的能源消费模式改进研究[J]. 中外能源, 2012, 17(5): 5-11.
- [7] 邱灵, 申玉铭, 任旺兵, 等. 中国能源利用效率的区域差异与影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 920-928.