

DOI: 10.7652/xjtuxb201611005

LEAP 模型下的陕西省节能与温室气体 减排潜力分析

邱硕, 王雪强, 毕胜山, 吴江涛, 宋雨田
(西安交通大学能源与动力工程学院, 710049, 西安)

摘要: 为应对日益严峻的气候变化及能源危机,探索高效的节能减排政策,完成相关政策的定量评价,基于陕西省统计年鉴,结合陕西省实际情况,建立了包含终端能源需求、能源加工转换、资源供应及温室气体排放 4 模块的陕西省 LEAP 模型。在对陕西省未来人口、经济发展情况进行预测的基础上,利用该模型对不同政策情景下未来陕西省的能源消耗及温室气体排放情况做出了预测,完成了相关政策的定量评价及节能减排潜力分析。结果表明:随着各项节能减排政策的实施,陕西省的能源消耗量及温室气体排放量均有所降低,在所建立的节能减排综合情景下,2030 年陕西省一次能源消耗量与基准情景相比可望降低 20.35%,温室气体排放量将降低 27.29%;从节能减排技术来看,可再生能源发电技术节能减排成效显著;从用能部门来看,工业、交通及发电部门贡献水平最高。总体来说,陕西省节能减排潜力巨大。

关键词: 节能;减排;LEAP 模型

中图分类号: TK01 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2016)11-0028-08

Analysis of Energy Conservation and GHG Emission Reduction Potential of Shaanxi Province under the LEAP Model

QIU Shuo, WANG Xueqiang, BI Shengshan, WU Jiangtao, SONG Yutian
(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In order to deal with the increasingly severe climate change and energy crisis, explore efficient energy conservation and GHG emission reduction policies and complete the quantitative evaluation of relevant policies, the LEAP model of Shaanxi Province is established according to the Shaanxi statistical yearbook and combined with the actual situation of Shaanxi Province. This LEAP model includes four parts: energy demand module, energy transformation module, resources supply module and GHG emission module. And based on the forecast of the development in population and economy of Shaanxi Province this paper has made a prediction on the energy consumption and GHG emission of Shaanxi Province in different policy scenarios, and conducted an analysis of the energy conservation and GHG emission reduction potential of the relevant policies. The results show that with the implementation of various policies, Shaanxi Province's energy consumption and GHG emission will be decreased with the implementation of various energy conservation and emission reduction policies. The primary energy consumption of Shaanxi Province in 2030 is expected to be decreased by 20.35% compared with the baseline scenario; the GHG emission will be reduced by 27.29% The renewable energy generation

technology has made a great progress in energy conservation and GHG emission reduction, and most contribution to energy conservation and emission reduction was made in industry, transportation and power generation. So, generally speaking, Shaanxi Province has enormous potential in energy conservation and GHG emission reduction.

Keywords: energy conservation; emission reduction; LEAP model

工业革命以来,人类大量使用石油、煤炭等化石燃料,造成了 CO₂ 的大规模排放,加剧了温室效应,带来了海平面上升、生物链断裂、干旱等一系列灾难。按目前的消费水平,石油、天然气最多只能维持不到半个世纪,煤炭也只能维持一二百年^[1]。人类正面临着严重的能源危机与环境危机,寻求高效节能的减排措施是维持人类可持续发展的重要途径。

长期能源替代规划(LEAP)模型是由瑞典斯德哥尔摩环境研究所及美国波士顿大学共同研究开发的一个基于情景分析的能源-环境-经济模型^[2],目前该模型已被广泛应用于全球、国家和城市的能源消费研究及温室气体减排评价,Stephane 等应用 LEAP 模型对全球工业、交通和建筑部门的能耗及 CO₂ 排放进行了情景分析^[3];王灿等应用 LEAP 模型研究了中国电力行业及钢铁行业的 CO₂ 减排潜力^[4-5];常征等应用 LEAP 模型对上海市的能源消费及 CO₂ 排放进行了情景分析^[6]。但是,目前有关 LEAP 模型的应用多集中于城市或国家层面的能源需求与排放预测,由于省级层面下社会、经济发展等宏观影响因素的不确定性较大,所以目前相关研究多局限于单一部门的讨论,对所有产业部门进行节能减排分析的研究很少。

陕西省矿产资源丰富,煤、石油、天然气的保有储量均列全国前茅,是我国的能源大省之一,是我国西煤东运、西气东输、西电东送的主要基地,因此对其能源消费及温室气体排放进行预测分析,探索高效节能的减排政策很有必要。本文以陕西省为例,在对陕西省未来人口、经济发展情况进行预测的基础上,应用 LEAP 模型对各项节能减排政策进行分析,定量评价这些政策的优劣及蕴藏的节能减排潜力,为陕西省节能减排政策的制定提供理论依据。

1 陕西省 LEAP 模型构建

本文在不考虑能源进出口的情况下,以 2012 年为基期,以 2013~2030 年为预测期建立了包含终端能源需求、能源加工转换、资源供应及温室气体排放 4 大模块的 LEAP 模型,如图 1 所示,并利用该模型来计算陕西省能源消耗量与温室气体排放量。

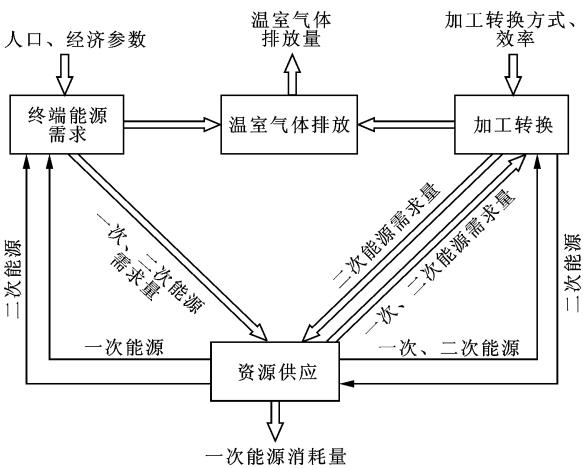


图 1 陕西省 LEAP 模型结构

陕西省 LEAP 模型从终端能源需求出发,基于对陕西省人口、经济参数的假设,通过模拟能源的加工、转换、运输等环节来计算能源消耗量及温室气体排放量。LEAP 模型内部的主要模块为终端能源需求模块、能源加工转换模块、资源供应模块和温室气体排放模块。

终端能源需求模块主要基于陕西省人口、经济等核心参数假设计算各能源消费部门所需的各能源数量。根据陕西省的能源消费特点,本文将陕西省能源需求模块分为农业、工业、建筑业、交通、商业、其他及城市居民生活、农村居民生活 8 大终端能源消费部门。依据各需求部门的活动水平及对应的能源强度,可得各品种一次、二次能源的需求总量

$$D_f = \sum_x \sum_i L_{x,i} I_{x,i} S_f \tag{1}$$

$$D_s = \sum_x \sum_i L_{x,i} I_{x,i} S_s \tag{2}$$

式中: $L_{x,i}$ 为 x 部门 i 子部门活动水平; $I_{x,i}$ 为对应的单位活动水平能源消费量,即能源强度; S_f 为 x 部门 i 子部门能源消费中 f 品种能源占比; S_s 为 x 部门 i 子部门能源消费中 s 品种能源占比。最终终端能源消费部门的能源需求总量为

$$D = D_s + D_f \tag{3}$$

能源加工转换模块主要根据加工转换效率等参数模拟能源的加工、转换、运输等环节。本文将陕西省的能源加工转换模块分为发电、炼油、炼焦、供热

等。通过模拟各部门能源加工转换过程,可得加工转换部门各品种能源投入量

$$T_s = \sum_y \sum_j O_{y,j} e_{y,j,s} \quad (4)$$

$$T_f = \sum_y \sum_j O_{y,j} e_{y,j,f} \quad (5)$$

式中: $O_{y,j}$ 为 y 部门 j 子部门二次能源产出量; $e_{y,j,s}$ 为 y 部门 j 子部门单位二次能源产出所需 s 品种二次能源的数量; $e_{y,j,f}$ 为 y 部门 j 子部门单位二次能源产出所需 f 品种一次能源的数量。

根据终端能源需求模块及能源加工转换模块的计算结果,可知最终陕西省的一次能源消耗量为

$$E = \sum_i (D_i + T_i) \quad (6)$$

温室气体排放主要来源于终端消费部门和加工转换部门,温室气体排放量分别为

$$E_{p1} = \sum_x \sum_i \sum_k D_{x,i,k} F_{x,i,k,p} \quad (7)$$

$$E_{p2} = \sum_y \sum_j \sum_k T_{y,j,k} F_{y,j,k,p} \quad (8)$$

式中: $D_{x,i,k}$ 为 x 终端消费部门 i 子部门的 k 品种能源消费量; $T_{y,j,k}$ 为 y 加工转换部门 j 子部门的 k 品种能源投入量; $F_{x,i,k,p}$ 、 $F_{y,j,k,p}$ 分别为对应能源消费的 p 污染物排放因子。可知,能源利用相关温室气体排放总量

$$E_1 = \sum_p (E_{p1} + E_{p2}) \quad (9)$$

2 情景设置

为了研究各节能减排政策对陕西省能源消耗及温室气体排放的影响,根据陕西省社会经济发展,通过相关计算及对节能减排政策的分析,完成了不同假设情景下模型中的主要参数,例如终端能源需求模块的人口数、人均 GDP、能源强度,能源加工转换模块的转换效率等的预测。

2.1 基准情景参数设定

基准情景是延续当前节能减排政策措施的情景,已有学者从不同的角度对基准情景下人均 GDP、人口数等参数的发展趋势做出了预测。本文在调研前人研究结果的基础上,根据陕西省统计年鉴提供的最新数据,对参数做出更为贴近实际的预测。

Verhulst 认为在一定的环境中种群的增长存在上限,当种群的数量逐渐上升时实际增长率就会逐渐减少,并据此提出了 Logistic 模型^[7]。鉴于 Logistic 模型应用的普遍性及在中长期人口数预测过程中的优势,本文依据不同时间序列的划分利用最小二乘法建立了 6 种不同的 Logistic 模型,并最终

选择其中精度最高、相对误差均值最小的模型对陕西省未来的人口发展情况做出预测。

Logistic 模型也适用于城镇率的预测,目前已有专业人员利用 Logistic 完成了区域及国家的城镇率预测。根据国内外的研究成果,本文以 80% 为上限,依据陕西省 2000~2012 年城镇率数据建立了陕西省城镇率演进的 Logistic 模型,并对陕西省未来城镇率的发展做出预测。

ARIMA 模型 (autoregressive integrated moving average model) 是 70 年代初提出的著名时间序列预测方法,具有结构简单、预测精度高等优点,但该模型的预测精度会随着预测期的延长而逐渐降低^[8]。因此,本文利用 ARIMA(p, d, q) 模型来预测 2013~2017 年陕西省人均 GDP,利用发展研究中心的李善同对中国未来 GDP 增长率的预测^[9]来计算 2018~2030 年陕西省人均 GDP,以提高预测参数的准确度。

已知陕西省 2012 年人均 GDP 为 8 468.86 美元(文中所有美元均以 1990 年美元为度量标准折算),且根据上述人均 GDP 计算结果可知,2030 年陕西省人均 GDP 为 26 827.39 美元。本文截取工业化国家及地区人均 GDP 8 000~27 000 美元之间的各部门能源消费强度曲线,分析其变化趋势,利用趋势线法^[10],计算出 2012~2030 年各部门能源消费强度变化率。

根据陕西省十二五产业结构调整规划,2015 年陕西省三次产业比例由 2010 年的 9.2:54.6:36.2 调整为 8:50:42,本文设定在第三产业生产总值占比达到 42% 前,二、三产业生产总值占比变化率分别为 -0.015%、0.03%。此外,陕西省低碳试点工作实施方案计划到 2020 年第三产业生产总值占比由 2015 年的 42% 提升到 45%,设定陕西省第三产业生产总值占比达到 42% 后,其变化率为 0.013 9%。

陕西省 LEAP 模型基准情景参数设定如表 1 所示,对表 1 所述部分参数的预测准确性进行验证,结果如表 2 所示,参数的预测值与真实值相对误差较小,均在 5% 以下,预测可靠性较高。因此,根据核心参数的预测值并利用陕西省 LEAP 模型来计算基准情景下的能源消耗量与温室气体排放量,可为后续的节能减排潜力分析提供有力的参考。

2.2 节能减排情景设置

本文参考国家能源与碳排放发展情况,依照我国已经出台的相关政策法规,根据与未来能源需求及二氧化碳排放密切相关的主要驱动因素,设定了

表 1 LEAP 模型基准情景参数设定

指标	数学模型	关键节点值			
		2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
人口数/万	Logistic	3 782.0	3 824.7	3 865.6	3 904.6
城镇率/%	Logistic	53.1	59.1	64.1	68.2
人均 GDP/元	ARIMA & 固定增长率	49 143.9	70 808.1	93 223.5	121 998.2
工业能源强度/J·元 ⁻¹	趋势线法	1.80×10 ⁶	1.63×10 ⁶	1.51×10 ⁶	1.38×10 ⁶
第三产业占比/%	固定增长率	37.9	43.3	46.4	49.7

表 2 主要核心参数的预测准确性检验

指标	2013 年			2014 年		
	预测值	真实值	相对误差	预测值	真实值	相对误差
人口数/万	3 764.4	3 764.0	0.01	3 773.3	3 775.0	0.05
城镇率/%	50.51	51.31	1.56	51.83	52.57	1.41
人均 GDP/元	42 743.9	43 052.6	0.72	46 660.7	46 860.9	0.43
第三产业 GDP 占比/%	35.71	34.95	2.17	36.78	36.4	1.04

5 个节能减排情景:大力推进清洁能源替代、加快产业结构调整、加工转换效率提高、消费终端能源利用效率提高及节能减排综合情景,节能减排技术指标和部分情景参数设定如表 3、4 所示。

目前陕西省能源消费主要以化石能源为主,可再生资源占比较小,能源结构不合理。针对这种现象,设定了大力推进清洁能源替代情景,在此情景下,未来陕西省将大力推广可再生能源发电、工业锅炉煤改气、汽车油改气等节能减排技术,逐步削减煤炭的使用量,优化能源结构,构建安全稳定、经济绿色的城市能源支撑体系。

近年来,随着第一产业在陕西省国民经济中的占比大幅下降,第二产业占比飞速上升,陕西省逐渐进入到工业化中期阶段,但第三产业比重有所下降,陕西省产业结构演变过程还存在一定程度的非均匀

性,从而加剧了陕西省的能源消费与污染物排放。本文设定了加快产业结构调整情景,在此情景下,未来陕西省将进一步优化产业结构,推进第三产业发展,加快实现三次产业协调发展。

陕西省炼油、炼焦等技术已达到较高水平,提升空间不大,未来陕西省将积极推进汽轮机通流部分现代化改造,推广超临界机组、超超临界机组及整体煤气化联合循环发电系统的应用,并采用新型节能导线应用技术,全面提高发电效率。

根据国务院 2014 年发布的《能源发展战略行动计划(2014~2020 年)》,未来我国将坚持节能优先,以工业、建筑和交通领域为重点,创新发展方式,形成节能型生产和消费模式。陕西省正处于全面进入工业化中期阶段,重工业的迅速发展使得能源消费总量快速增长,这成为制约陕西节能减排的一个瓶

表 3 节能减排技术指标简介^[11]

节能减排技术	节能减排效果简述	技术发展前景预测
可再生能源发电技术	减少煤耗 350 g/(kW·h),减排 26.3 g/(kW·h)	2030 年可再生能源发电占比为 60%
工业锅炉煤改气技术	效率提高 20%	2030 年推广比例为 100%
汽车油改气技术	减排 NO _x 33%,CO 70%,SO _x 100%	2030 年推广比例为 42%
超超临界机组	供电煤耗 280~290 g/(kW·h),减排 2.1×10 ⁻⁴ t/(W·a)	2030 年推广比例为 40%
超临界机组	供电煤耗 300 g/(kW·h),减排 1.6×10 ⁻⁴ t/(W·a)	2030 年推广比例为 50%
整体煤气化联合循环发电系统	高能效 45%以上,减排 3.0×10 ⁻⁴ t/(W·a)	2030 年推广比例为 10%
汽轮机通流部分现代化改造	供电煤耗下降 18 g/(kW·h),减排 11.9 g/(kW·h)	2030 年推广比例为 100%
新型节能导线应用技术	损耗降低 15%	2030 年推广比例为 100%

表 4 部分情景参数设定

情景名称		指标设置	关键节点值			
			2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
节能减排 综合情景	大力推进清洁能源替代	太阳能发电量与总发电量之比/%	4.4	11.7	19.0	26.3
	加快产业结构调整	第三产业产值占比/%	39.5	44.9	48.2	51.6
	加工转换效率提高	煤电发电效率/%	39.6	41.1	42.5	44.1
	消费终端能源利用效率提高	轻工业产值与工业产值之比/%	22.2	27.6	34.2	42.4

颈。因此,未来陕西省将严格限制高耗能产业和过剩产业扩张,加快淘汰落后产能,积极调整工业行业结构^[12]。交通运输的碳污染排放是目前节能减排面临的巨大难题,未来陕西省将加快淘汰黄标车和老旧车辆,提高公路货运中柴油车、铁路运输中电力机车占比,并优先发展公共交通^[13]。

我国正在大力发展低碳生态城市和绿色生态城区,并计划到 2020 年,城镇绿色建筑占新建建筑的比例达到 50%。陕西省也在推行绿色建筑标准,加强公共建筑节能管理,并计划到“十二五”末,实现 20% 的城镇新建建筑达到绿色建筑标准,并完成既有居住建筑供热计量及节能改造 $8\times10^6\text{ m}^2$,公共机构建筑节能改造 10^7 m^2 ,实施农村危房改造节能示范住房 2 万户。

3 节能减排潜力分析

3.1 政策节能减排潜力分析

在核心参数预测及情景设置的基础上,本文利用陕西省 LEAP 模型对不同政策情景下未来陕西省的能源消耗量与温室气体排放量做出了预测。计算结果表明,基准情景下未来陕西省的一次能源消耗量将随着时间推移快速增长,而各项节能减排政策的实施对一次能源消耗量的快速增长具有一定的控制作用,其中消费终端能源利用效率提高政策的节能效果最为明显,如图 2 所示。2030 年陕西省一次能源消耗量为 $4.51\times10^3\text{ PJ}$,与基准情景相比,降低了 10.38%;大力推进清洁能源替代政策及加快产业结构调整政策次之;加工转换效率提高政策成效最低,仅降低了 2.16%。此外,由图 2 可知,综合情景下 2030 年陕西省一次能源消耗量仅为 $4.01\times10^3\text{ PJ}$,与基准情景相比,降低了 20.35%,18 年间累计降低能耗 $1.03\times10^4\text{ PJ}$,节能效果显著。但是,未来陕西省一次能源消耗量依旧呈现着上升趋势,要遏制这一趋势需要较长的时间。

随着能源消耗量的变化,陕西省温室气体的排放量也在逐年变化,如图 3 所示。基准情景下陕西

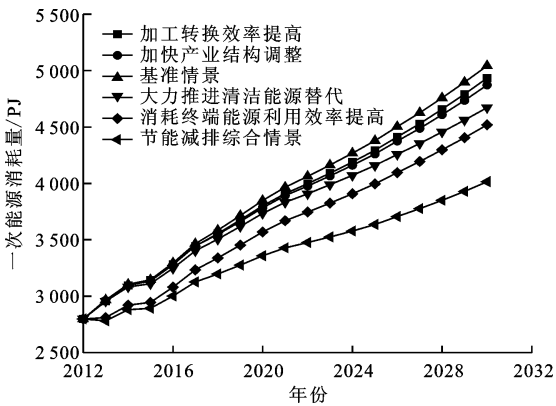


图 2 陕西省一次能源消耗量

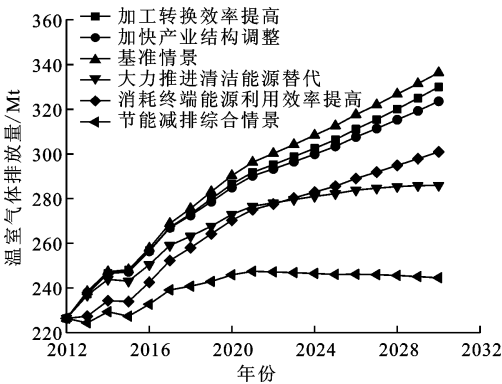


图 3 陕西省温室气体排放量

省的温室气体排放量(本文以 100 年全球变暖潜能来衡量)随着时间推移呈现快速增长的趋势,并于 2030 年达到了 268.0 Mt,而在实施各项节能减排政策时,温室气体排放量明显下降。初期消费终端能源利用效率提高政策减排效果最为显著,后期随着大力推进清洁能源替代情景下清洁能源的占比不断提高,其减排成效逐渐超过了消费终端能源利用效率提高情景。在节能减排综合情景下,温室气体排放量在 2021 年会达到峰值 247.5 Mt,温室效应将得到有效控制。

随着节能减排工作的开展,陕西省的一次能源结构也在逐渐变化,如表 5 所示。在节能减排综合情景下,2030 年天然气与可再生能源在一次能源中

占比分别可达到 27.7%和 17.2%,清洁能源占比高达 45.4%,能源结构显著优化。同时,单位热值 CO₂ 排放量也随之降低,到 2030 年时,在节能减排综合情景下,单位热值 CO₂ 排放量仅为 62.44 t/TJ,与基准情景相比,降低了 8.62%。在各个节能减排政策中,只有大力推进清洁能源替代政策贡献水平较高,大力推进清洁能源替代是实现温室气体减排的实质性手段。

3.2 技术节能减排潜力分析

根据政策情景设定,本文对以技术为导向的大力推进清洁能源替代情景及加工转换效率提高情景中主要技术的节能减排潜力做了定量分析,如表 6 所示。在大力推进清洁能源替代情景下,可再生能源发电技术的节能减排成效最为显著,与基准情景

相比,2030 年共节能 348.2 PJ,减排 35.15 Mt,工业锅炉煤改气技术次之,汽车油改气技术成效最低,2030 年仅可节能 2.3 PJ,减排 0.841 Mt。由此可见,可再生能源发电技术是大力推进清洁能源替代政策的主要支撑,也是减少能源消费及碳排放的最佳手段。此外,工业锅炉煤改气技术、汽车油改气技术虽然节能效果不佳,但对碳减排很有意义。在加工转换效率提高的情景下,超超临界发电机组技术节能减排效果最佳,与基准情景相比,2030 年可节能 38.5 PJ、减排 2.295 Mt。总体来说,5 种技术节能量均在 10~40 PJ 之间,减排量在 0.9~2.3 Mt,节能减排成效相差不大。加工转换效率提高情景是在 5 种技术的共同支撑下,达到最终节能减排的目的。

表 5 各情景下陕西省 2030 年一次能源结构

情景名称	各能源在一次能源中占比/%				单位热值 CO ₂ 排放量/ t · TJ ⁻¹
	天然气	原油	原煤	可再生能源	
基准情景	27.1	15.9	46.1	10.9	68.43
大力推进清洁能源替代	28.9	15.9	38.5	16.7	62.53
加快产业结构调整	27.3	16.6	45.0	11.1	68.05
加工转换效率提高	25.8	16.2	46.8	11.2	68.57
消费终端能源利用效率提高	27.6	14.8	46.5	11.1	68.28
节能减排综合情景	27.7	16.2	38.9	17.2	62.44

表 6 相关技术 2030 年节能减排成效

政策情景	节能减排技术	节能量/PJ	减排量/Mt
大力推进清洁能源替代情景	可再生能源发电技术	348.2	35.15
	工业锅炉煤改气技术	16.9	14.534
	汽车油改气技术	2.3	0.841
加工转换效率提高情景	超超临界机组	38.5	2.295
	超临界机组	15.2	0.909
	整体煤气化联合循环发电系统	12.5	0.947
	汽轮机通流部分现代化改造	27.4	1.629
	新型节能导线应用技术	25.9	0.952

3.3 部门节能减排潜力分析

除对各政策及技术进行节能减排成效分析外,本文还从用能部门出发,对不同部门的节能减排潜力进行了分析。从能源消费终端来看,工业及交通部门节能减排成效最佳,如图 4、5 所示。与基准情景相比,节能减排综合情景下 2030 年工业部门共节能 476.9 PJ,减少温室气体排放 46.2 Mt;交通部门共节能 112.9 PJ,减少温室气体排放 8.1 Mt。

此外,能源加工转换模块也有着一定的节能减

排潜力,且主要体现在发电部门。本文对发电部门的节能减排潜力进行了具体分析,如图 6、7 所示。与基准情景相比,节能减排综合情景下 2030 年发电部门共节约能源 497.8 PJ,随着太阳能利用比重的增加,预计节约天然气 476.9 PJ、节约煤 121.3 PJ。同时,温室气体排放量也随之下降,共计减少温室气体排放 39.1 Mt。由此可见,发电部门蕴藏着巨大的节能减排潜力,未来陕西省可以从发电部门着手开展节能减排工作。

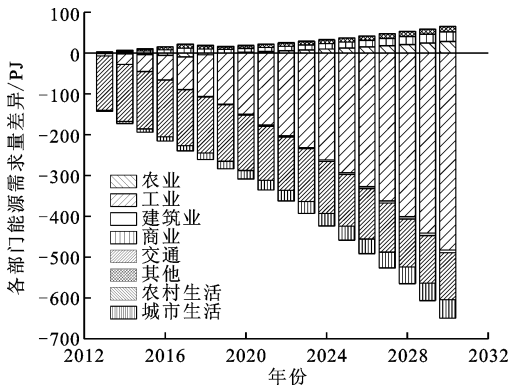


图 4 节能减排综合情景与基准情景相比各终端消费部门能源消费量变化

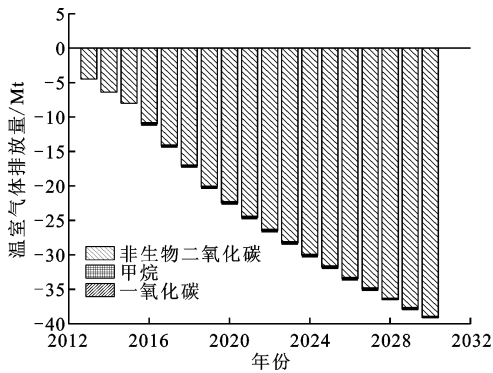


图 7 发电部门节能减排综合情景与基准情景相比温室气体排放量变化

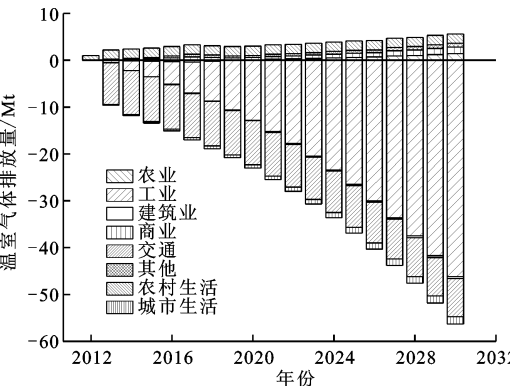


图 5 节能减排综合情景与基准情景相比各终端消费部门温室气体排放量变化

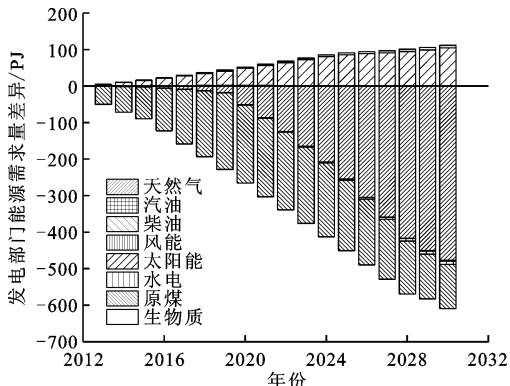


图 6 节能减排综合情景与基准情景相比发电部门能源消费量变化

(1)从节能减排政策来看,各项节能减排政策的实施均有一定的节能减排成效。其中,提高消费终端能源利用效率及大力推进清洁能源替代政策的节能减排效果最好,与基准情景相比,2030 年提高消费终端能源利用效率情景节能 10.38%,减排 10.55%;大力推进清洁能源替代情景节能 7.31%,减排 15.01%。此外,大力推进清洁能源替代情景下与基准情景相比,2030 年时单位热值 CO₂ 排放量降低了 8.62%,从根本上达到了温室气体减排的目的。

(2)节能减排综合情景下,2030 年一次能源消耗量与基准情景相比降低了 20.35%,温室气体排放量降低了 27.29%,且温室气体排放量在 2021 年将达到了峰值,节能减排政策成效显著,陕西省节能减排潜力巨大。

(3)从节能技术来看,可再生能源发电技术节能减排成效显著,是大力推进清洁能源替代政策的主要技术支撑,也是减少能源消费及碳排放的实质性手段。

(4)从用能部门来看,能源消费终端中工业部门及交通部门节能减排贡献水平较高,能源加工转换模块中发电部门节能减排潜力最大,未来陕西省可从这些部门着手开展节能减排工作。

4 结 论

本文基于陕西省实际情况,通过大量的数据统计,建立了包含终端能源需求、能源加工转换、资源供应及温室气体排放 4 大模块的陕西省 LEAP 模型,并从不同节能减排政策出发,研究了包含大力推进清洁能源替代情景、加快产业结构调整情景、加工转换效率提高情景等 5 大情景下未来陕西省的能源消耗及温室气体排放情况,得出以下结论。

参考文献:

[1] 李建刚. 生物质成型设备优化设计及实验研究 [D]: 青岛: 青岛大学, 2012.
[2] 李延峰. 不确定优化方法在能源规划中的应用 [D]: 北京: 华北电力大学, 2010.
[3] STEPHANE DE IA R D, LYNN P. Sectoral trends in global energy use and greenhouse gas emissions [J]. Energy Policy, 2008, 36(4): 1386-1403.
[4] 张颖, 王灿, 王克, 等. 基于 LEAP 的中国电力行业

- CO₂ 排放情景分析 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2007, 47(3): 365-368.
- ZHANG Ying, WANG Can, WANG Ke, et al. CO₂ emission scenario analysis for China's electricity sector based on LEAP software [J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology), 2007, 47(3): 365-368.
- [5] 王克, 王灿, 吕学都, 等. 基于 LEAP 的中国钢铁行业 CO₂ 减排潜力分析 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2006, 46(12): 1982-1986.
- WANG Ke, WANG Can, LU Xuedu, et al. Abatement potential of CO₂ emissions from China's iron and steel industry based on LEAP [J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology), 2006, 46(12): 1982-1986.
- [6] 常征, 潘克西. 基于 LEAP 模型的上海长期能源消耗及碳排放分析 [J]. 当代财经, 2014(1): 98-106.
- CHANG Zheng, PAN Kexi. An analysis of Shanghai's long-term energy consumption and carbon emission based on LEAP model [J]. Contemporary Finance & Economics, 2014(1): 98-106.
- [7] 王学保, 蔡果兰. Logistic 模型的参数估计及人口预测 [J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2009, 27(6): 75-77.
- WANG Xuebao, CAI Guobao. Parameter evaluation of Logistic model and population prediction [J]. Journal of Beijing Technology and Business University(Natural Science Edition), 2009, 27(6): 75-77.
- [8] 孙彩云, 杨晓静. 乘积 ARIMA 模型的建立及应用 [J]. 华北科技学院学报, 2008(2): 85-89.
- SUN Caiyun, YANG Xiaojing. Establish and application of multiply ARIMA model [J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2008(2): 85-89.
- [9] 李善同. “十二五”时期至 2030 年我国经济增长前景展望 [J]. 经济研究参考, 2010(43): 2-27.
- LI Shantong. Prospects of China's economic growth in the period of 12th Five-Year to 2030 [J]. Review of Economic Research, 2010(43): 2-27.
- [10] 徐铭辰, 王安建, 陈其慎, 等. 中国能源消费强度趋势分析 [J]. 地球学报, 2010(5): 720-726.
- XU Mingchen, WANG Anjian, CHEN Qishen, et al. Trend analysis of China's energy consumption intensity [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010(5): 720-726.
- [11] 刘贞, 朱开伟, 阎建明. 电力行业碳减排情景设计与分析评价 [J]. 电网技术, 2012, 36(6): 1-7.
- LIU Zhen, ZHU Kaiwei, YAN Jianming. Scenario design, analysis and evaluation on carbon emission reduction in power industry [J]. Power System Technology, 2012, 36(6): 1-7.
- [12] 齐志新, 陈文颖, 吴宗鑫. 工业轻重结构变化对能源消费的影响 [J]. 中国工业经济, 2007(2): 35-42.
- QI Zhixin, CHEN Wenying, WU Zongxin. The influence of industrial weight structure changes on energy consumption [J]. China Industrial Economy, 2007(2): 35-42.
- [13] 潘鹏飞. 基于 LEAP 模型的河南省交通运输节能减排潜力分析 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.

【本刊相关文献链接】

- 闻德生, 甄新帅, 陈帆, 等. 变频电机-多输出泵调速回路速度特性分析. 2016, 50(10): 99-103. [doi:10.7652/xjtuxb20161015]
- 薛洪武, 吴爱国, 董娜. 制冷系统自抗扰解耦控制. 2016, 50(9): 85-90. [doi:10.7652/xjtuxb201609014]
- 崔宁, 秦四成, 赵丁选. 液压挖掘机并联混合节能动力系统多目标优化控制策略. 2016, 50(6): 116-121. [doi:10.7652/xjtuxb201606018]
- 赖欢, 陈振华, 高荣, 等. 大型高速低温风洞冷量回收的方法研究. 2016, 50(6): 136-142. [doi:10.7652/xjtuxb201606021]
- 汪映, 黄智勇, 柯希春, 等. 液化石油气对二甲醚-柴油双燃料发动机燃烧和排放特性的影响. 2016, 50(5): 19-23. [doi:10.7652/xjtuxb201605003]
- 吴建华, 雷源, 王刚, 等. 往复式冰箱压缩机曲轴动态特性与轴承润滑计算分析. 2015, 49(2): 55-61. [doi:10.7652/xjtuxb201502010]
- 李季碧, 李宾, 任智, 等. 自适应动态功率控制的机会网络节能高效路由算法. 2014, 48(12): 49-56. [doi:10.7652/xjtuxb201412008]
- 文键, 杨辉著, 王斯民, 等. 旋梯式螺旋折流板换热器优化结构的数值模拟. 2014, 48(11): 8-14. [doi:10.7652/xjtuxb201411002]
- 文键, 杨辉著, 杜冬冬, 等. 螺旋折流板换热器换热强化的数值研究. 2014, 48(9): 43-48. [doi:10.7652/xjtuxb201409008]
- 张忆文, 郭锐锋. 硬实时系统周期任务低功耗调度算法. 2014, 48(7): 90-95. [doi:10.7652/xjtuxb201407016]
- 李鹏, 杨玉龙, 黄越辉, 等. 综合热电负荷控制下的省级电网风电并网研究. 2014, 48(2): 69-73. [doi:10.7652/xjtuxb201402012]
- 张雷, 车立新, 毕胜山, 等. 天然气膨胀预冷混合制冷剂液化流程操作条件优化. 2014, 48(2): 111-117. [doi:10.7652/xjtuxb201402019]
- 李千军, 刘光耀, 韩伟, 等. 采用喷射式热泵提高火电机组给水温度的理论研究. 2013, 47(11): 25-28. [doi:10.7652/xjtuxb201311005]

(编辑 赵炜 荆树蓉)