

引用格式:陈睿,饶政华,刘继雄,等. 基于LEAP模型的长沙市能源需求预测及对策研究[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 482-489.
[Chen R, Rao Z H, Liu J X, et al. Prediction of energy demand and policy analysis of Changsha based on LEAP Model[J]. *Resources Science*, 2017, 39(3): 482-489]. DOI: 10.18402/resci.2017.03.10

基于LEAP模型的长沙市能源需求预测及对策研究

陈睿, 饶政华, 刘继雄, 谌盈盈, 廖胜明

(中南大学能源科学与工程学院, 长沙 410083)

摘要:能源是城市运行和可持续发展的重要因素,根据城市特点及其实际发展需要进行能源需求预测具有重要意义。本文采用LEAP模型预测了不同情景下湖南长沙市2015-2020年的能源需求,讨论了GDP增速、产业结构和节能目标对未来能源需求的影响。研究表明,GDP增速对能源消费总量和能源强度影响显著,对分部门能源消费结构影响较小;产业结构对分部门能源消费结构影响较显著,对能源消费总量和能源强度影响较小。节能情景(单位GDP能耗2020年较2015年降低15%)下,全市能源消费总量达4014万tce,较基础情景减少317万tce。该情景预测了工业、建筑、交通及居民生活部门实施节能政策的效果,其中第三产业相对节能率最高为13.4%;工业部门其次为6.2%,交通和居民生活部门相对节能率也均超过4%。

关键词:能流图;能源需求预测;LEAP模型;情景分析;能源政策;长沙市

DOI: 10.18402/resci.2017.03.10

1 引言

预测能源消费总量和强度控制目标是制定能源发展规划的重点。然而,中国城市普遍存在能源基础数据不足的现象,且各城市在经济发展、产业结构、资源禀赋和技术水平等方面均存在差异,如何科学合理地将国家及省份的节能约束性指标分解到城市中是当前的重要难题^[1]。其中,准确预测城市能源需求是关键问题,部门分析法、计量经济分析法、投入产出分析法、系统动力学模型、灰色系统理论和神经网络模型等^[2]均是常用的预测方法。LEAP (Long Range Energy Alternatives Planning System, 长期能源可替代规划系统)是一种运用部门分析法建立的能源需求预测模型,已广泛应用于国家、区域、部门和行业的能源战略研究中^[3]。Wang等探讨了核电发展对2030年中国能源消费及碳排放的影响^[4]。Huang等预测了不同能源政策和经济发展情景下台湾中长期能源供应和分部门、分能源品种的能源需求情况^[5]。LEAP模型也被应用

于工业部门^[6]、电力部门^[7,8]、居民生活部门^[9]、交通部门^[10]及可再生能源利用^[11]等领域的能源加工转换、能源消费和碳排放等研究中。近年来,采用LEAP模型进行城市能源系统研究日益受到关注^[12,13],但涉及中国中部地区能源输入型城市在经济发展新常态下的能源需求特征研究未见报道。

中国中部地区省会城市具有经济发展较快、第二、三产业增长迅速、能源对外依存度高等特点,能源需求结构和增长模式呈现相似的特征。本文以湖南长沙市为例,绘制2014年能源流动图,分析其能源供应与消费现状;应用LEAP模型结合情景分析法定量分析其经济发展、产业结构对未来能源需求的影响,预测完成约束性节能目标时长沙市2020年的能源需求。本研究对中部地区其他城市科学制定能源发展规划具有重要的借鉴意义。

2 长沙市能源现状

长沙市能源消费总量由2010年的2270万tce增长至2014年的2934万tce,年均增长6.6%,能源

收稿日期:2016-08-01;修订日期:2016-11-25

基金项目:长沙市政府项目(CSCG-201505040005)。

作者简介:陈睿,女,内蒙古海拉尔人,博士生,研究方向为能源系统工程。E-mail:378853914@qq.com

通讯作者:廖胜明,E-mail:smliao@csu.edu.cn

2017年3月

消费弹性系数为0.552。能源利用效率逐年提高,2010-2014年单位GDP能耗分别下降3.96%、6.04%、4.56%和5.71%。分能源品种看,长沙市以煤炭、电力、成品油和天然气为主,新能源与可再生能源消费比重较小但呈逐年上升趋势。分部门看,第一产业能耗基本保持稳定,第二产业能耗在终端能源消费中占比持续下降,第三产业能耗特别是交通部门和居民生活能耗占比逐渐增加。本文根据有关统计、规划和调研数据^[14,15],绘制了长沙市2014年能源流动图(图1)来描述长沙市能源生产和调入、加工转换及终端消费情况。其中,各能源品种统一以标准煤为单位计算^[16];其它能源包括煤气、液化石油气、液化天然气、热力和生物质能等;煤品燃料、油品燃料加工转换效率以湖南省统计年鉴^[15]为依据计算得到。图1分析表明,长沙本地能源生产和加工转换少,能源对外依存度高;终端能源消费中,第二产业占比最高,其次为第三产业和居民生活部门,第一产业能耗最小。

3 模型结构与情景设置

为提高预测结果可信度,选取可获得数据最新、最全的2014年作为预测基准年。利用LEAP模型的能源需求模块预测并分析不同情景下长沙市2015-2020年的能源需求。

3.1 模型结构

根据目前中国能源统计制度和国际通用的能源消费部门划分方式,将能源消费部门分为第一产业、第二产业、第三产业和居民生活四个部门,其中第二产业分为工业(分为规模以上工业、规模以下工业)和建筑业,第三产业分为交通运输、仓储及邮政业,商业及其他。

3.2 计算方法

终端能源需求总量为各部门能源需求之和,各部门能源需求由部门活动水平(行业增加值、人口等)与能源强度相乘得到。其中,除居民部门外的各部门能源需求总量为各子部门(如规模以上工业、建筑业等)行业增加值与能源强度乘积之和;居民生活部门能源需求总量为人口总数与人均能源消费的乘积。具体计算公式如下:

$$ED(t) = \sum_i ED_i(t) \quad (1)$$

$$ED_i(t) = \sum_j AL_{ij}(t) EI_{ij}(t) \quad (2)$$

式中 $ED(t)$ 为 t 年的终端能源需求; $AL_{ij}(t)$ 为 t 年第 i 部门的生产活动水平或 t 年长沙市人口数; $EI_{ij}(t)$ 为 t 年第 i 部门能源强度,即单位活动水平的能源需求。

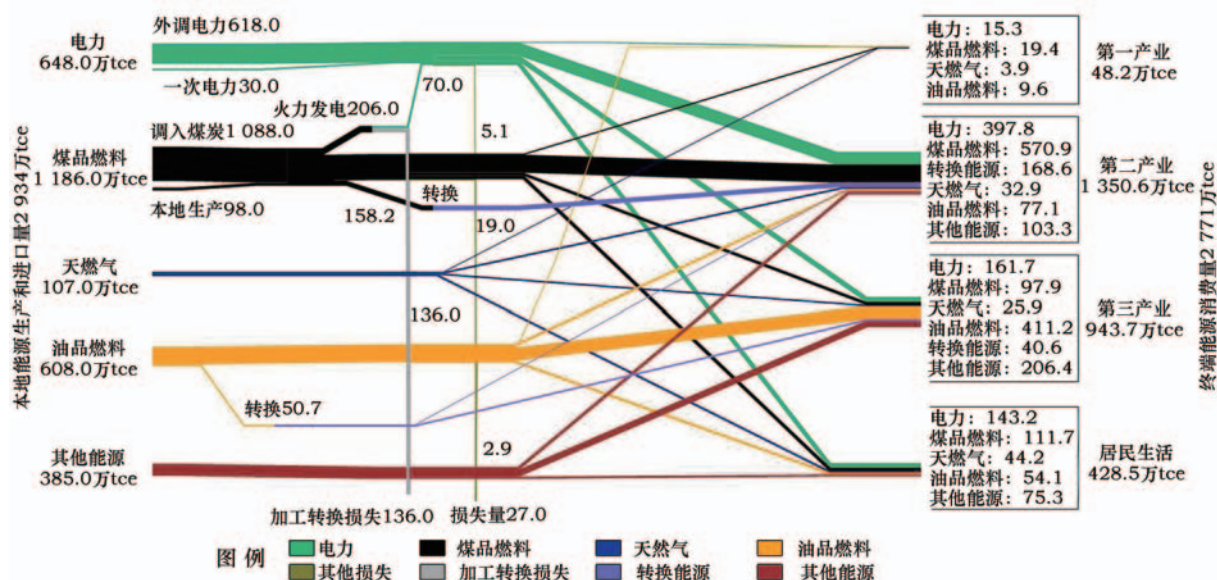


图1 2014年长沙市能源流动

Figure 1 Energy flow diagram of Changsha in 2014

注:图中数据单位为万tce。

3.3 数据来源

本文中基年2014年的社会经济和各部门能源消耗数据来源于2015年长沙市统计年鉴^[14]、部门调研数据和相关的发展规划和研究报告等。宏观经济指标(GDP、产业结构和人口)的具体数值和变化规律是根据历年统计年鉴计算而得^[15],2020年人口总数参考《长沙市城市总体规划(2003-2020)》(2014年修订)^[17]设置。部门技术变量(如耗能设备的能源使用效率、各部门能源强度)等是在综合了长沙市已经出台的城市与部门规划、具体行业及领域的研究报告和国外相关数据的基础上设定的^[18-23]。关于电力、煤炭、汽油、柴油、燃料油、液化石油气、天然气、液化天然气及原油消费量方面来源于部门调研,调研的部门及公司包括:市统计局、市燃气热力局、市商务局、市住建委和湖南省电力公司长沙分公司等。

3.4 情景设置

由于GDP、能源强度、产业结构、人口等均是影响湖南省能源需求的重要因素^[24],本文设计了基础、不同经济增速、不同产业结构、节能和综合等5种情景,定量分析GDP增速、产业结构及节能目标对未来长沙市能源需求的影响。基础设定参数如表1。

3.4.1 基础情景(BS)

基础情景是与其他情景对比的参考情景。该情景下,GDP增速和产业结构按长沙市“十三五”规划^[18]设定,其中2015年GDP增速按长沙市2016年政府报告中公布的数据设定^[20]。另外,假设不采取进一步强化节能的政策与措施,能源需求在過去的基础上自然发展,各部门能源强度在基年的基础上

按2007-2014年的平均变化率变化。

3.4.2 不同经济增速情景(LGDP,HGDP)

不同经济增速情景分为经济低速发展(LGDP)和经济高速发展(HGDP)情景。其中LGDP情景假设GDP年均增速取“十三五”全国经济增速预期值(6.5%)^[21],HGDP情景假设GDP年均增速取“十二五”期间长沙市经济平均增速12%;其余参数与BS情景设置相同。

3.4.3 不同产业结构情景(LIS,HIS)

不同产业结构情景分为低第二产业占比(LIS)和高第二产业占比(HIS)情景。其中,LIS情景假设第二产业占比大幅度下降,三次产业结构调整为3:45:52;HIS情景假设第二产业主导地位不变,产业结构与基年相同为3:56:41。其余参数与BS情景设置相同。

3.4.4 节能情景(ES)

节能(ES)情景假设实施一系列经济和能源政策,实现各部门能源强度降低,具体政策及其量化效果如表2所示^[22,23]。这些政策集中在技术进步和设备升级,多源自增量技术节能。为与国家节能目标设置周期统一,节能情景2020年单位GDP能耗下降率假设与2015年相比较。由于长沙市“十二五”期间超额完成节能目标,假设节能情景2020年单位GDP能耗较2015年下降15%,略低于“十二五”期间16%的节能目标,各部门能源强度下降率的设置如表1所示。

3.4.5 综合情景(MBS,MSS)

综合情景考察在GDP增速、第二产业占比和单位GDP能耗下降率三个因素同时变化时长沙市能

表1 情景输入参数

Table 1 Input parameters in different scenarios

输入参数	基础情景	不同经济增速		不同产业结构		节能情景	综合情景	
	BS	LGDP	HGDP	LIS	HIS	ES	MBS	MSS
2015年GDP增长率/%	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
2016-2020年GDP年均增长率/%	9.0	6.5	12.0	9.0	9.0	9.0	12.0	6.5
2020年产业结构/一产:二产:三产	3:50:47	3:50:47	3:50:47	3:45:52	3:56:41	3:50:46	3:56:41	3:45:52
2020年人口/万	1 000 ^[17]	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
第一产业能源强度年均下降率/%	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
第二产业能源强度年均下降率/%	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	3.0	4.0
第三产业能源强度年均下降率/%	1.0	1.0	5.0	1.0	5.0	3.6	1.0	3.6
居民生活能源强度年均增长率/%	5.0	1.0	5.0	1.0	5.0	4.6	5.0	4.6

2017年3月

表2 重点部门节能政策及措施

Table 2 Energy-saving measures in major sectors

	政策或措施	效果量化
工业部门	淘汰落后产能,工业清洁生产	2020年规模工业万元增加值能耗下降10%,规模下工业万元增加至能耗下降15%。
建筑部门	建筑能源管理及节能改造	2020年基本实现高耗能建筑节能改造;节能设计标准实施率100%;能耗监测节能
	利用绿色建材及节能新技术	10%,大型公共建筑单位面积能耗降低18%,用电设备效率提高30%。
交通部门	发展公共交通及轨道交通	2020年公交出行分担率达42%;新能源和清洁能源公共交通工具比率达65%以上;
	推广节能与新能源汽车	2020年燃料效率提升15%,年均行驶里程同比提高12%,燃料经济性提高20% ^[23] 。
居民生活部门	推广节能生活器具	2020年节能电器占家用电器50%以上,家用用电设备效率提高35%以上;
	居民住宅围护结构改造	居民采暖、制冷能耗降低10% ^[23] 。

源需求的极端情况,体现了经济发展、产业结构、节能政策的交互性影响。包括能源需求最大(MBS)和能源需求最小(MSS)情景,其中 MBS 情景假设 GDP 快速增长,产业结构调整不明显,不实施新的节能政策;MSS 情景假设 GDP 缓慢增长,产业结构调整明显,表2中节能政策实施良好。

4 结果与讨论

4.1 经济增速对能源需求的影响

图2为不同经济增速情景下能源消费总量和能源强度。如图所示,GDP增速越大,能源消费总量越大,能源强度越低,能源消费弹性系数越大。2020年,LGDP、BS 和 HGDP 情景下能源消费总量分别为3939万 tce、4331万 tce和4851万 tce,较基年分别年均增长5.03%、6.71%和8.74%;能源强度为0.492、0.482和0.471,较基年分别下降10.15%、12.04%和13.99%;能源弹性系数为0.727、0.745和0.760,比“十二五”能源弹性系数0.536高了35%以

上。虽然三种情景中各部门的能源强度相同(表1),但是由于居民部门的能源消费总量不随GDP的变化而变化,能源消费总量不随GDP线性增加。表3为不同情景下各部门能源消费占比。与基年相比,LGDP、BS 和 HGDP 情景2020年第一产业能源消费占比基本不变,第二产业能源消费占比大幅下降,第三产业和居民生活能源消费占比有所增加。横向比较三种情景,第一产业由于增加值小,能源消费占比基本不随GDP增速变化;第二产业、第三产业能源消费占比均随GDP增速增大小幅增长;居民部门由于不产生GDP,GDP增速越大,居民生活部门能源消费占比越小。

4.2 产业结构对能源需求的影响

图3为不同产业结构情景下能源消费总量和能源强度。LIS、HIS 情景能源消费总量分别为4338、4322万 tce,与BS 情景能源消费总量4331万 tce相差不足10万 tce;能源强度为0.481和0.483,与BS

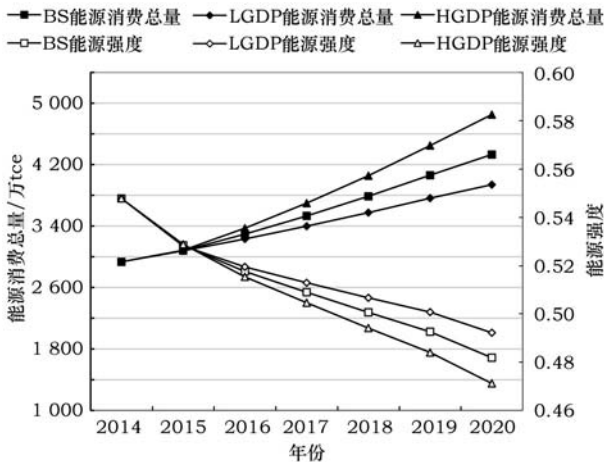


图2 不同GDP增速情景能源消费总量及能源强度

Figure 2 Energy consumption and energy intensity under LGDP、BS and HGDP scenarios

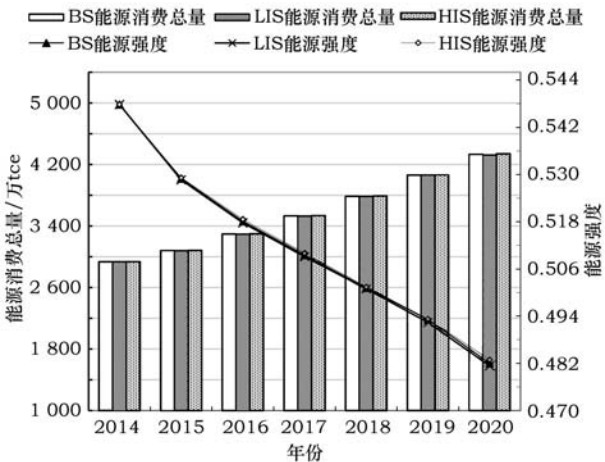


图3 不同产业结构情景能源消费总量及能源强度

Figure 3 Energy consumption and energy intensity under BS、LIS、HIS scenarios

表3 不同情景下分部门能源消费占比

Table 3 Energy consumption structure of sectors under different scenarios									(%)
部门	基年 2014	LGDP2020	BS2020	HGDP2020	LIS2020	HIS2020	ES2020	MBS2020	MSS2020
第一产业	1.62	1.61	1.64	1.68	1.64	1.65	1.77	1.63	2.03
第二产业	49.67	40.06	40.92	41.84	36.77	45.92	41.51	51.48	41.41
第三产业	33.40	39.16	40.00	40.91	44.18	34.96	38.76	35.39	36.96
居民生活	15.00	19.17	17.44	15.57	17.41	17.47	17.96	11.51	19.60

情景能源强度0.482相差0.1%;能源消费弹性系数为0.745和0.740,与BS情景能源弹性系数0.745基本相同。结果表明,由于第三产业和居民生活对能源需求的影响越来越大,大幅度降低第二产业占比并不会明显降低能源消费总量和能源强度。表3显示,2020年LIS、BS、HIS情景下第一产业和居民生活能源消费占比相差不大,第二产业能源需求占比较基年分别降低12.9%、8.75%和3.75%,第三产业能源消费占比较基年提高10.68%、6.60%和0.50%。结果表明,调整产业结构可有效调整第二、第三产业能源消费占比。第二产业主要用能为煤炭、石油等不可再生能源,降低第二产业占比有利于优化能源结构,降低能源消费碳排放。

4.3 节能情景

图4为节能情景下能源消费总量和能源强度。2020年节能情景能源消费总量为4014万tce,较基础情景能源消费总量4331万tce少317万tce;能源强度为0.446,较2015年下降15%,较基年下降18.2%。能源需求较基年年均增长5.43%,能源消费

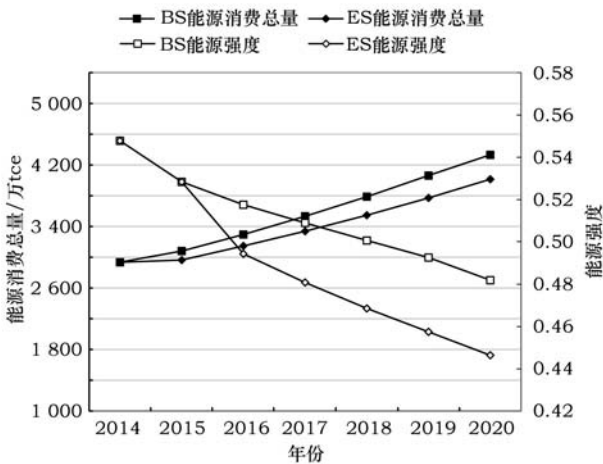


图4 节能情景能源消费及能源强度

Figure 4 Energy consumption and energy intensity under ES scenario

弹性系数为0.6,较基础情景能源弹性系数0.745降低19.5%。表4给出了2020年节能情景各部门较基础情景的相对节能率。其中相对节能率是指节能情景某部门与基础情景对应部门的能源消费总量之差与基础情景该部门能源消费总量之比的绝对值。实施能源政策后,第三产业(商业及其他部门)相对节能率最大(13.4%),工业及建筑业次之(6.2%),居民生活和交通运输部门相对节能率也均超过4%。结果表明,由于服务业和交通运输业的快速发展,第三产业特别是商业及其他已成为节能潜力最大的部门。因为长沙不属于重工业城市,工业单位增加值能耗已明显低于湖南省平均水平加之建筑业能源需求基数小,第二产业节能潜力正逐步减小。另外随着居民生活水平的提高和城镇化进程的推进,居民部门能源刚性需求也将逐步增加,具有较大的节能潜力。

表4 2020年节能情景较基础情景相对节能率

Table 4 Energy consumption and reduction potential of ES sectors in 2020			
部门	节能情景能源需求/万 tce	基础情景能源需求/万 tce	相对节能率/%
第一产业	71.0	71.0	0
工业	1 568.2	1 672.3	6.2
建筑业	98.0	100.1	2.1
交通运输等	573.2	597.6	4.1
商业及其他	982.8	1 134.7	13.4
居民生活	720.8	755.3	4.6

4.4 综合情景

图5为综合情景下能源消费总量和能源强度。2020年MBS、MSS情景能源消费总量为5143万tce和3806万tce,较基年年均增长9.81%和4.43%;能源强度为0.499和0.475。MSS情景能源消费总量较节能情景4014万tce低5.2%,但由于GDP小,其能源强度较节能情景0.466高6.6%。如表3所示,

2017年3月

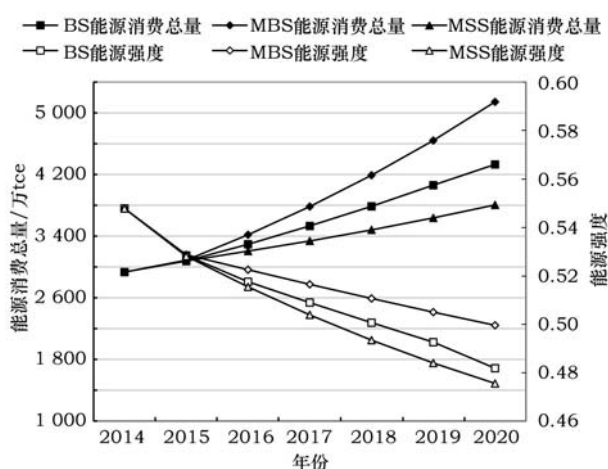


图5 综合情景能源消费总量及能源强度

Figure 5 Energy consumption and energy intensity under BS, MBS, MSS scenarios

MBS 情景第二产业能源消费占比最高,居民生活能源消费占比最低。表明在最不利情况(GDP 高速增长、产业结构不调整、不实施节能政策)下,第二产业能源消费占比仍将大幅增加,能源结构将持续高碳化。MSS 情景居民生活能源消费占比最高,表明在最有利情况(GDP 低速增长、调整产业结构、实施节能政策)下,居民部门能源需求对整体终端能源需求的影响越来越大。

5 结论与相关政策建议

本研究首先分析了长沙市能源供需现状,然后构建了 LEAP 模型,采用情景分析法设置五类情景,讨论了 GDP 增速、产业结构和节能目标对长沙市 2015-2020 年能源需求的影响。

(1)长沙 2015-2020 年能源消费总量仍将继续增长,但能源强度会有所下降。若经济继续高速增长、产业结构调整不明显并且不实施有效的节能政策时,2020 年能源消费总量将达到 5143 万 tce,较 2014 年能源消费总量 2934 万 tce 增加 75.3%。若经济适度发展且有效实施节能政策措施,能源消费总量和能源强度将明显下降,同时适度降低第二产业占比也有利于优化能源结构和降低能源消费。

(2)在制定能源发展规划时,应合理考虑经济发展、产业结构和节能措施等因素对未来能源消费总量和能源强度的影响。适度控制经济发展、平衡第二、第三产业占比,进一步实施节能政策是完成能源消费总量和能源强度控制目标的有效途径。

节能情景假设经济发展和产业结构调整符合《长沙市“十三五”国民经济发展规划》要求,进一步实施节能政策,其预测结果可作为制定“十三五”能源发展规划中约束性指标的参考依据。在此情景下,2020 年长沙市能源消费总量可控制在 4000 万 tce 左右,单位 GDP 能耗下降率控制在 15% 左右。

(3)为保证节能降耗工作的顺利进行,长沙市“十三五”期间应针对社会各部门制定行之有效的节能降耗政策及措施。工业部门应继续淘汰落后产能,强化清洁生产审核;不断发展能源高新技术,推动节能产业发展。交通部门应大力发展城市公共交通系统,推广电动私家车、燃气出租车和节能汽车,实施货运甩挂试点运输工程等。居民生活部门应推进能源惠民建设,推广高能效和节能生活器具等,进一步提高居民节能意识。另外,还应依靠互联网技术打造智慧用能体系,建设能源数据管理和预警系统,提高能源运行管理、监测及服务的智能化与自动化。

参考文献(References):

- [1] 刘晓,熊文,朱永彬,等.经济平稳增长下的湖南省能源消费量及碳排放量预测[J].热带地理,2011,31(3):310-315. [Liu X, Xiong W, Zhu Y B, et al. Prediction on energy consumption and carbon emission based on steady economic growth of Hunan province[J]. *Tropical Geography*, 2011, 31(3):310-315.]
- [2] 丁辉.城市能源系统分析模型研究[M].北京:科学出版社,2012. [Ding H. Analysis Model of Urban Energy System[M]. Beijing: Science Press, 2012.]
- [3] LEAP. User Guide of Long Range Energy Alternative Planning System[M]. Boston: Stockholm Environment Institute, 2011.
- [4] Wang Y, Gu A, Zhang A. Recent development of energy supply and demand in China, and energy sector prospects through 2030 [J]. *Energy Policy*, 2011, 39(11): 6745-6759.
- [5] Huang Y, Bor Y J, Peng C Y. The long-term forecast of Taiwan's energy supply and demand: LEAP model application[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(11): 6790-6803.
- [6] Ates S A, Lund H, Kaiser M J. Energy efficiency and CO₂ mitigation potential of the Turkish iron and steel industry using the LEAP (long-range energy alternatives planning) system[J]. *Energy*, 2015, 90(1): 417-428.
- [7] Perwez U, Sohail A, Hassan S F, et al. The long-term forecast of Pakistan's electricity supply and demand: An application of long

- range energy alternatives planning[J]. *Energy*, 2015, 93: 2423-2435.
- [8] 黄建. 基于 LEAP 的中国电力需求情景及其不确定性分析[J]. 资源科学, 2012, 34(11): 2124-2132. [Huang J. Scenario analysis of Chinese power demands and uncertainty assessment based on the LEAP model[J]. *Resource Science*, 2012, 34(11): 2124-2132.]
- [9] Kadian R, Dahiya R P, Garg H P. Energy-related emissions and mitigation opportunities from the household sector in Delhi[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(12): 6195-6211.
- [10] 周健, 崔胜辉, 林剑艺, 等. 基于 LEAP 模型的厦门交通能耗及大气污染物排放分析[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(11): 164-170. [Zhou J, Cui S H, Lin J Y, et al. LEAP based analysis of transport energy consumption and air pollutants emission in Xiamen city[J]. *Environmental Science and Technology*, 2011, 34(11): 164-170.]
- [11] Kumar S, Madlener R. CO₂ emission reduction potential assessment using renewable energy in India[J]. *Energy*, 2016, 97: 273-282.
- [12] 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 Z, Pan K X. An analysis of Shanghai's long-term energy consumption and carbon emission based on LEAP model[J]. *Contemporary Finance and Economics*, 2014, (1): 98-106.]
- [13] 贾彦鹏, 刘仁志. 基于 LEAP 模型的城市能源规划与 CO₂ 减排研究——以景德镇为例[J]. 应用基础与工程科学学报, 2010, 18(S1): 75-83. [Jia Y P, Liu R Z. Forecasting urban energy and CO₂ emission using LEAP model: A case study in Jingdezhen city, China[J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2010, 18(S1): 75-83.]
- [14] 长沙市统计局. 长沙统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015. [Statistic Bureau of Changsha. *Changsha Statistical Yearbook 2015*[M]. Beijing: Chinese Statistical Yearbook Press, 2015.]
- [15] 湖南省统计局. 湖南统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015. [Statistic Bureau of Hunan Province. *Hunan Statistical Yearbook 2015*[M]. Beijing: Chinese Statistical Yearbook Press, 2015.]
- [16] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 2589-2008, 综合能耗计算通则[EB/OL]. (2008-06-01)[2016-08-01]. http://wenku.baidu.com/link?url=6h9y7NVKzPkWzJ8gPxS6GY5tLuhQxG7ujH71M7Xz6QbPHS4bj7mOTdqu12hU-sQRWmKn774RxZC6nhzKanMpUut1VeoAr9tJq1Gcm3dh_W. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 2589-2008, General Principles for Calculation of the Comprehensive Energy Consumption[EB/OL]. (2008-06-01)[2016-08-01]. http://wenku.baidu.com/link?url=u6h9y7NVKzPkWzJ8gPxS6GY5tLuhQxG7ujH71M7Xz6QbPHS4bj7mOTdqu12hU-sQRWmKn774RxZC6nhzKanMpUut1VeoAr9tJq1Gcm3dh_W.]
- [17] 吴希, 陶芳芳. 千万级人口大都市快步而来[N]. 湖南日报, 2014-08-06(01). [Wu X, Tao F F. Ten Million Population and Walk to [N]. *Hunan Daily*, 2014-08-06(01).]
- [18] 文波, 苏毅, 周小华. 奋力谱写长沙市“十三五”发展新篇章[N]. 长沙晚报, 2016-01-09(01). [Wen B, Su Y, Zhou X H. Changsha, Struggling to Write a New Chapter in the Development of "13th Five-Year"[N]. *Changsha Evening News*, 2016-01-09(01).]
- [19] 周小华. 未来长沙 能量更大 实力更强 城乡更美 民生更爽[N]. 长沙晚报, 2016-01-22(02). [Zhou X H. The Future of Changsha Having a More Powerful Energy, a More Stronger Strength, a More Beautiful Urban and Rural Areas and Living Hood[N]. *Changsha Evening News*, 2016-01-22(02).]
- [20] 舒微. 研究市人大常委会工作讨论政府工作报告和“十三五”规划纲要[N]. 长沙晚报, 2016-01-12(01). [Shu W. Meeting of Study on the Municipal People's Congress Micro Work to Discuss the Government Work Report and the "13th Five-Year" Plan[N]. *Changsha Evening News*, 2016-01-09(01).]
- [21] 习近平. 关于《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》的说明[J]. 实践(思想理论版), 2015, (11): 17-22. [Xi J P. Explanation on the proposal of the central committee of the communist party of China on the development of the 13th five-year plan for national economic and social development[J]. *Practice(Theory of Thought)*, 2015, (11): 17-22.]
- [22] 杨苗苗. 国务院发布能源发展战略行动计划[N]. 中国电力报, 2014-11-20(01). [Yang M M. The State Council Issued the Energy Development Strategy Action Plan[N]. *China Electric News*, 2014-11-20(01).]
- [23] Feng Y Y, Zhang L X. Scenario analysis of urban energy saving and carbon abatement policies: A case study of Beijing city, China[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 13(10): 632-644.
- [24] 向青, 廖胜明. 基于 VAR 模型的湖南省能源需求影响因素分析[J]. 经济论坛, 2015, (11): 18-23. [Xiang Q, Liao S M. An analysis of Hunan's energy demand impact factors based on VAR model[J]. *Economic Forum*, 2015, (11): 18-23.]

Prediction of energy demand and policy analysis of Changsha based on LEAP Model

CHEN Rui, RAO Zhenghua, LIU Jixiong, CHEN Yingying, LIAO Shengming

(Central South University, School of Energy Science and Engineering, Changsha 410083, China)

Abstract: Because energy plays an important role in ensuring the safe operation and sustainable development of cities, it is crucial to forecast energy demands according to actual urban development needs and characteristics. Here, we used LEAP model to predict the total amount of energy demand in Changsha from 2015 to 2020 based on historical economic development and energy consumption data. We used scenario analysis to design five types of scenarios to discuss the impact of GDP growth rate, industrial structure and energy-saving object on future energy demand. These scenarios included baseline scenario, different GDP growth rate scenario, different industrial structure scenario, energy saving scenario and comprehensive scenario. The results showed a significant influence of GDP growth rate on total amount of energy consumption and energy intensity and non-significant effect on the energy consumption structure of sectors. Industrial structure had an impact on the energy consumption structure of sectors and not on the total amount of energy consumption and energy intensity. Under an energy saving scenario (a goal of energy intensity reduction by 15% in 2020 compared to 2015), energy consumption reached 40 140 thousand ton coal equivalent (tce) and less 3170 thousand tce than the baseline scenario. This scenario also predicted the effect of energy-saving policies implemented in the industry, building, transportation and residential sectors. When compared with the baseline scenario, the tertiary industry accounted for the largest proportion of energy-saving with a relative energy-saving rate of 13.4% and industry had a lower energy-saving proportion with a relative energy-saving rate of 6.2%. At the same time, the energy-saving proportion of transportation and residential sector also exceeded 4%.

Key words: energy flow diagram; energy demand prediction; LEAP model; scenario analysis; energy policy; Changsha City