

引用格式:刘固望,闫强,羊建波. 基于交通部门“S”形模型的全球石油需求展望[J]. 资源科学, 2018, 40(3): 547-557. [Liu G W, Yan Q, Yang J B. World oil demand based on S-Curve Model of the transport sector[J]. *Resources Science*, 2018, 40(3): 547-557.] DOI :10.18402/resci.2018.03.09

基于交通部门 S 形模型的全球石油需求展望

刘固望^{1,2}, 闫强^{1,2}, 羊建波^{1,2}

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2. 中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心, 北京 100037)

摘要:各国对石油需求实证研究日益关注,需求预测方法涉及不同形式的模型和估算方法。但这些方法存在着不同程度的局限,如适用性有限、误差大、未能体现石油消费与经济发展、经济结构等因素间的内在关联等。本文构建了一套基于交通部门终端能源消费“S”形模型的石油需求预测方法,预测不同发展阶段国家集团以及典型国家未来20多年的石油需求量。结果表明,全球石油需求增速明显放缓,并且在2040年前可能到达峰值,需求量为51.69亿t左右。美英等为代表的后工业化国家的石油需求呈现下降趋势;俄罗斯为代表的工业化晚期国家以及中国为代表的工业化中期国家的石油需求整体呈现先增后降的趋势,峰值点分别出现在2025年和2030年前后;工业化早期国家和前工业化国家石油需求呈持续增长趋势。全球石油需求的先增后降趋势主要是受汽车能效提高、新能源汽车发展、碳减排约束等多重因素的影响,这将对全球石油供需格局乃至地缘政治带来深刻变化。

关键词:石油需求;交通部门;S形模型;新能源汽车

DOI :10.18402/resci.2018.03.09

1 引言

石油对保障国家能源安全和经济发展发挥着重要作用。全球各国对石油需求实证研究日益关注,研究方法涉及不同形式的模型和估算方法^[1,2]。目前,中国石油对外依存度高达65%以上,这迫使政府不得不出台一系列包括提高机动车能源效率、石油投资、推广新能源汽车等措施来应对这一困境。未来全球石油需求格局、政策制定和战略布局等均以未来石油需求格局和趋势为基础。准确预测全球及中国未来石油需求趋势及全球石油需求格局变化,对中国石油安全战略、石油对外投资布局以及国内相关能源政策制定具有十分重要的参考意义。

目前,国内外能源(石油)需求预测方法众多,可分三类:

(1)传统分析方法,如部门分析法、时间序列分

析法、战略规划法、灰色预测模型(GM)、投入产出分析法、回归分析法、人工神经网络、趋势递推法等^[3-9]。该类预测方法应用最为广泛,只需要较少的数据样本和信息即可完成预测。研究人员经常选择现有的回归模型,如基于人工神经网络的灰色预测模型等^[10]。Günay应用时间序列的人工神经网络模型预测了土耳其电力年度需求,其涉及的数据为1975—2013年的人口、人均GDP、通货膨胀率以及电力消费相关参数^[11]。Wang等构建了基于卷积积分的灰色预测模型GMC(1, N)预测中国工业部门能源,结果显示预测数据要比传统的SARMA和GM(1, 1)更加准确^[12]。Li等基于数据序列的GM-ARIMA模型、GM(1, 1)模型和ARIMA模型预测山东省2016—2020年的能源需求,通过分析平均相对误差,发现采用GM-ARIMA模型预测未来的能源需求数据有较高的精度^[13]。

收稿日期:2017-08-22 修订日期:2018-02-07

基金项目:国家国际科技合作专项项目(2014DFG22170);中国地质调查局地质矿产调查评价专项(12120115057001)。

作者简介:刘固望,男,江西吉安人,博士,助理研究员,主要研究领域为能源经济,能源战略等。E-mail: lgw110@126.com

通讯作者:闫强, E-mail: cagsyq@163.com

(2)非线性方法,如计量经济模型(格兰杰因果分析、协整分析、误差修正模型等)、弹性模糊回归、Logistic模型、LEAP、EIA(U.S. Energy Information Administration)与IEA(International Energy Agency)的全球能源预测模型等^[14-19]。陈睿等采用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^[20]。Haldenbilen等应用了包含GDP、人口和机动车行驶距离等的遗传算法预测了交通部门的能源需求^[21]。为克服采用常规的优化方法求解模型参数难的问题,纪利群采用先进的直接搜索算法——模式搜索法进行模型参数的优化求解,并用Logistic模型和改进的Logistic模型描述中国历年石油消费量数据,并在此基础上进行预测^[22]。此外,Yu等提出一种基于谷歌趋势的在线大数据驱动的石油消费预测模型,该模型在大量搜索结果的基础上,精细地反映了各种相关因素。模型包括协整检验与格兰杰因果分析显著关系分析和将有效的谷歌趋势引入到石油消费趋势和价值的预测方法中^[23]。近年来,王安建等首次创立了能源与矿产资源需求和经济发展间的S形模型,并应用该理论进行需求预测^[24-26]。

(3)组合模型,如SFGM(1,1)与灰色系统理论组合模型、SFGM(1,1)与GM(1,1)组合模型等^[27-30]。文炳洲等选用灰色系统模型、三次指数平滑模型和BP神经网络模型三种预测模型,应用Shapley值权重分配法确定各预测模型的权重,从而构建组合预测模型并对中国能源消费进行组合预测^[31]。李振宇等采用因子分析法和Logistic模型,建立基于情景分析的石油消费需求预测模型,并对模型进行了校验和误差分析^[32]。为了提高预测精度,Li等采用了26种组合模型,对组合模型的结果进行对比分析,发现TCM-NNCT组合模型最可行和有效^[33]。

对于中长期能源(石油)需求预测方法的选择应该包含三方面信息^[34]:

- (1)在特定地区具有适用性;
- (2)有必要对需求预测结果进行不确定性评估;
- (3)预测方法组合能够充分利用模型所携带的信息。

上述需求预测方法有些仅适用于短期预测,若

用于中长尺度预测时误差较大,与石油消费影响因素结合不紧密,适用性相对有限,不利于全面推广。另一方面,石油消费与经济发展密切相关^[35,36],受到包括人口、经济结构、消费结构等社会经济因素和交通汽车(机动车)、石化工业、节能与石油替代、科技进步等因素影响^[32,33]。现有方法未能考虑到不同经济发展阶段,能源(石油)消费的差异性。同时,国际尤其是发达国家所体现出的能源消费的内在特征或规律也未能较好地体现于预测模型之中。Suganthi等对预测方法进行归类后发现灰色模型和统计模型更简明,数据量少,参数密集^[37]。特别是,统计方法很容易应用到多层次的信息分析,并可以估计模型的不确定性。在实际工作中,根据已有统计关系和所确定的驱动因素来预测能源需求是很常见的。

本文旨在提供一种以大数据分析得到发达国家交通终端能源消费“S”形规律为基础的石油需求预测方法体系,并引入机动车保有量、汽车能效变化、新能源汽车发展等控制参数,预测2017—2040年全球、不同发展阶段国家集团及典型国家的未来石油需求量。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

根据全球大多数发达国家或地区100多年来的历史统计数据发现,一次能源消费^[24-26]、工业部门终端能源消费^[38]及交通部门终端能源消费^[39]与经济发展呈现“S”形变化,即前工业化、工业化早期、工业化中期、工业化晚期、后工业化五个不同发展阶段的能源消费分别呈现缓慢增长、加速增长、减速增长、零增长(负增长)。再则,美、英、德、法、澳、加、日等发达国家和中、印等发展中国家的石油消费均以交通为主,占比达65%以上。公路交通是交通部门的主要领域,发达国家机动车石油消费占交通部门比重均在85%以上,中国亦超过80%,且呈现持续上升趋势。发达国家的经验表明,机动车保有量决定着交通部门石油消费量,交通部门石油消费量及其变化趋势决定着石油总需求量。

为此,本文构建了一个以交通部门终端能源消费的“S”形规律为基础的石油需求预测方法思路(图1):基于交通部门终端能源消费的“S”形规律预

2018年3月

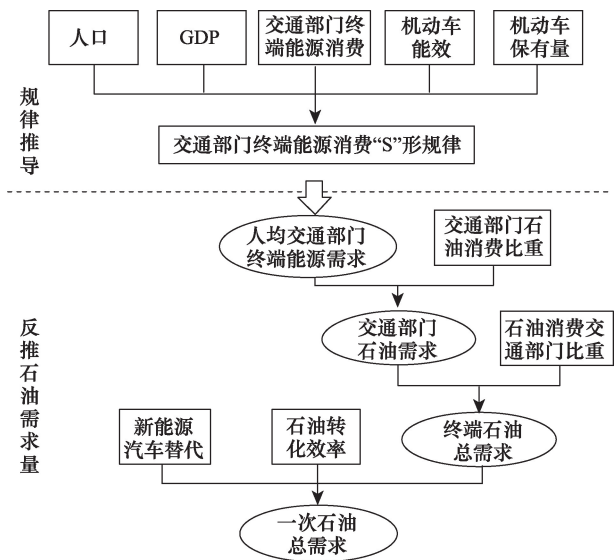


图1 基于交通部门S形模型的石油需求预测方法

Figure 1 Method of global oil demand forecasting based on the transport sector S-curve model

测未来人均交通部门终端能源消费量,再结合未来交通部门能源结构、石油消费结构、石油转化效率和新能源汽车替代反推算出石油总需求量。

预测分三种方案:

(1)高增长方案:GDP增速较高,机动车能效保持现状,新能源汽车发展较慢;

(2)参考方案:GDP增速居中,机动车能效有一定提高,新能源汽车按照各国发展规划;

(3)低增长方案:GDP增速较低,机动车能效显著提高,新能源汽车发展速度较快。

2.2 数据来源

文中石油需求预测所涉及的数据包括1965—2016年37个典型国家和地区的交通部门终端能源消费量、交通部门石油消费量、石油消费总量、GDP、人口、机动车保有量等(表1)。其中,各国和地区交通部门终端能源消费量、交通部门石油消费量和石油消费总量数据来源于国际能源署(IEA)^[40];GDP采用美国经济咨商局经济数据库的1990年不变价的GDP(GK美元)^[41];人口引自联合国经济和社会事务部(DESAUN)^[42];机动车保有量数据来源于世界汽车组织(OICA)^[43]。

3 交通部门终端能源消费“S”形规律

研究表明,发达国家和地区交通部门终端能源消费呈现“S”形规律^[40];随着经济发展水平(人均GDP)的不断提高,人均交通部门终端能源消费量呈现出“缓慢增长-加速增长-减速增长-零增长或负增长”的“S”形轨迹(图2)。“S”形曲线关键点有三个非常重要的转变点:

(1)起飞点,集中于人均GDP 5000美元左右。对一个国家而言,此时正处在工业化社会的初期,带动着交通部门进入加速增长期;

(2)转折点,多数国家的人均交通部门终端能源消费量转折点集中于人均GDP 10 000~12 000美元(美国对应于人均GDP 15 000~17 000美元);

(3)零增长点,发达国家和地区人均交通部门终

表1 国家和地区集团划分及2016年相关指标

Table 1 Countries and region classification and related indicators in 2016

	后工业化国家和地区	工业化晚期国家	工业化中期国家	工业化早期国家	前工业化国家
人口总数/万人	100 911	39 200	221 596	211 479	126 504
人口占比/%	14.1	5.5	30.9	29.5	17.7
人均GDP范围/ 1990年GK美元	≥20 000	10 000~20 000	6 000~10 000	3 000~6 000	<3 000
人均GDP均值/ 1990年GK美元	24 080	10 826	8 878	3 632	1 423
GDP总量/1990年 GK亿美元	263 261	44 081	208 810	94 209	29 566
GDP占比/%	41	7	33	15	5
国家(地区)数量/个	28	21	25	22	27
典型国家(地区)名	美国、日本、德国、英国、法国、意大利、加拿大、西班牙、韩国、澳大利亚、中国台湾	俄罗斯、智利、哈萨克斯坦、波兰、马来西亚、阿根廷	中国、巴西、墨西哥、土耳其、泰国、伊朗	印度、印度尼西亚、南非、越南、菲律宾、乌克兰、埃及	巴基斯坦、尼日利亚、孟加拉国、缅甸、肯尼亚、埃塞俄比亚、刚果(金)

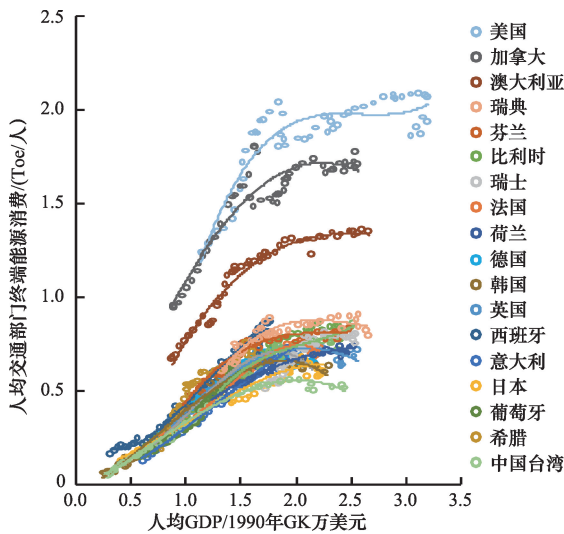


图2 交通部门终端能源消费的“S”形物理模型

Figure 2 S-curve physical model of end-use energy consumption in the transport sector

端能源消费量的零增长点集中于人均GDP 20 000~22 000美元(美国对应于人均GDP 25 000美元左右)。

需要说明的是,交通部门终端能源消费“S”形曲线有别于传统Logistics曲线,表现在:传统Logistics曲线的前端和后端是平坦曲线,而交通部门终端能源消费“S”形曲线则为非平坦。

与此同时,机动车保有量与交通部门能源消费紧密关联。随着经济发展,机动车保有量呈现出Gompertz曲线^[44, 45]或“S”形曲线^[39];人均GDP在20 000~22 000美元(1990 GK美元)时,一个国家的千人机动车保有量将达到饱和而不再增长。可见,“S”形曲线关键点与机动车保有量存在明显对应关系(图3):起飞点对应于千人机动车保有量曲线的快速增长点,转折点对应于千人机动车保有量增速由快到慢的拐点;零增长点则对应于机动车保有量的饱和点。

为了实现需求量化预测,交通部门终端能源消费“S”形曲线可由一般普适性数学方程——双曲正

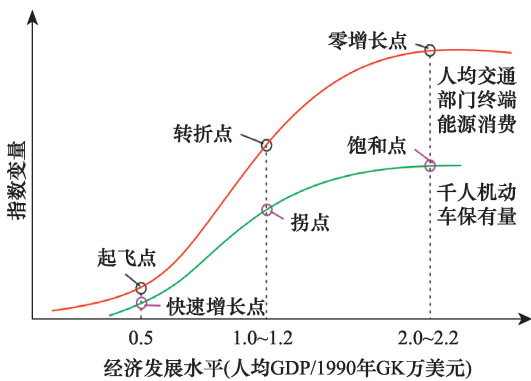


图3 交通部门终端能源消费“S”形模型

Figure 3 S-curve model of end-use energy consumption in the transport sector

切函数模型表达,该数学模型是在传统Logistics曲线函数基础上变形而来。人均交通部门终端能源消费(E)与人均GDP(G)曲线的非平坦式方程式为^[46]:

$$E - E_i = A \frac{\exp(\alpha_1(G - G_i)) - \exp(-\alpha_3(G - G_i))}{2 \cosh(\alpha_2(G - G_i))} \quad (1)$$

式中 α_1 、 α_2 、 α_3 为指数常数; G_i 、 E_i 分别为曲线在转折点对应的人均GDP值和人均交通部门终端能源消费; A 为趋势关系方程(1)的振幅值。

4 石油需求预测

4.1 五类国家和地区集团划分

不同国家和地区间存在着经济发展水平及所处发展阶段的差异,如果以全球作为预测对象可能造成误差叠加,为此有必要进行国家分类并分别预测。按照经济发展程度和交通部门S形曲线三个关键点,本文将全球各国由高到低划分为五类国家和地区集团,结合其经济社会指标的变化趋势,预测未来全球石油需求趋势(表1)。

4.2 GDP增速和人均GDP

在参考了世界银行、国际货币基金组织、国际主要投资银行以及有关学者的研究成果后,结合对各

表2 2017—2040年各类国家和地区GDP增速

Table 2 GDP growth rate in various types countries and region from 2017 to 2040

(%)

	2017—2019年	2020—2024年	2025—2029年	2030—2034年	2035—2040年
后工业化国家和地区	2.0~2.5	2.0~3.0	2.0~3.0	2.0~3.0	2.0~3.0
工业化晚期国家	2.5~3.5	2.5~3.5	2.0~3.0	2.0~3.0	2.0~3.0
工业化中期国家	4.0~6.0	3.0~5.0	3.0~5.0	3.0~5.0	3.0~4.0
工业化早期国家	4.5~5.5	5.0~6.0	6.0~7.0	6.0~7.0	5.0~6.0
前工业化国家	3.5~5.5	4.0~5.0	5.0~6.0	5.0~6.0	6.0~7.0

2018年3月

国经济形势的分析,本文做出了2017—2040年各国家和地区集团增速的判断(表2)。依据增速及当前GDP可计算出,参考情景下,五类国家和地区GDP总量2040年为167万亿美元(1990年GK, PPP,下同),年均增长3.9%。

人口是影响能源(石油)需求的重要因素之一。可计算出参考情景下,全球人均GDP将由2015年的9193美元增长到2040年的19 441美元,年均增长3%,突破10 000美元的时间为2018年。工业化晚期国家和地区将于2036年突破20 000美元;工业化中期国家于2016年突破10 000美元,2033年突破20 000美元;工业化早期国家将于2033年突破10 000美元(图4)。

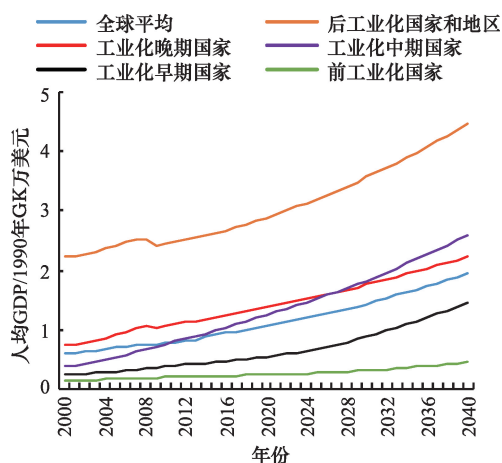


图4 2000—2040年五类国家和地区人均GDP走势

Figure 4 The trend of GDP per capita in 5 types of countries and region from 2000 to 2040

4.3 新能源汽车替代

全球新能源汽车销量和保有量在参照IEA^[47]预测成果基础上,对中国部分进行结果重新预测。结果表明,2020年以后,全球新能源汽车保有量增速较快,2035年以后,随着基数增大,增速逐步放缓(表3)。到2020年,全球新能源汽车保有量1097万辆;2030年9833万辆;2040年29 036万辆¹⁾。

1) 英国将于2040年起禁止销售汽油和柴油汽车,进一步推进该国空气净化进程^[48];②法国能源部长当天(2017年7月6日)在巴黎气候计划会上表示,到2040年,法国将禁止销售柴油和汽油汽车,以使法国成为碳中和国家,目标是到2050年前使法国成为碳零排放国家^[49];③2016年6月,德国经济部副部长Rainer Baake提出了一项新规定指出,到2030年,德国将禁止出售传统内燃机汽车,达到新车零排放的目标^[50]。

2) 《汽车产业中长期发展规划》指出:到2020年,乘用车新车平均燃料消耗量达到5 L/100 km;到2025年,乘用车新车平均燃料消耗量比2020年降低20%^[51]。

表3 2020—2040年全球新能源汽车的石油替代量

Table 3 World oil replacement demand of electric vehicle from 2020 to 2040

年份	100 km 油耗/L	单车油耗 /(t/年)	新能源汽车 保有量/万辆	石油替代量 /亿t
2020	6.3	1.26	1 097	0.14
2025	5.5	1.10	4 212	0.46
2030	5.0	1.00	9 833	0.98
2035	4.9	0.98	18 332	1.80
2040	4.6	0.92	29 036	2.67

根据新能源汽车循序渐进的替代水平,可估算出对应年份全球新能源汽车对石油需求的替代量。依据IEA预测,未来全球汽车平均油耗将逐步降低,由2016年的8 L/100 km分别降至2020年的6.3 L/100 km,2030年的5.0 L/100 km和2040年的4.6 L/100 km。至此,2020年新能源汽车节约油量0.14亿t,2030年为0.98亿t,2040年为2.67亿t(表3)。

《汽车产业中长期发展规划》^[51]明确提出:到2020年,中国新能源汽车年产量达到200万辆;到2025年,新能源汽车销量占总销量比例达到20%。预计未来能源汽车保有量总体将呈较快增长态势。到2020年,中国新能源汽车保有量613万辆;2030年9359万辆;2040年26 515万辆(表4)。

表4 2020—2040年中国新能源汽车的石油替代量

Table 4 China oil demand for electric vehicle replacement from 2020 to 2040

年份	油耗 ²⁾ (L/100 km)	单车油耗 /(t/年)	新能源汽车 保有量/万辆	石油替代量 /亿t
2020	6.5	0.98	613	0.06
2025	5.5	0.83	3 243	0.27
2030	5.0	0.75	9 359	0.70
2035	4.8	0.72	18 018	1.31
2040	4.5	0.68	26 515	1.81

未来中国机动车平均燃料消耗量将逐步降低,由2016年的8L/100 km分别降至2020年的6.5L/100 km,2030年的5.0L/100 km和2040年的4.5L/100 km。可估算出对应年份中国新能源汽车的石

油替代量分别为:2020年新能源汽车节约油量0.06亿t,2030年0.70亿t,2040年1.81亿t(表4)。

4.4 预测结果及对比

基于交通部门终端能源消费的“S”形规律,算出人均交通部门终端能源消费,通过石油消费结构结合石油转化效率可推算石油总需求量(图5)。2017—2040年,全球石油需求增速明显放缓,呈现出先增后减的趋势。参考方案下,全球石油需求峰值点大致在2034年,对应石油需求量为51.69亿t;高方案时,全球石油需求峰值点大致也在2032年,对应石油需求量为52.76亿t;低方案时,全球石油需求峰值点大致在2030年,石油需求约为50.55亿t。

后工业化国家和地区石油需求整体呈现下滑趋势,到2040年石油需求将持续下降至13.65亿t(图6)。其中,到2040年,美国石油需求量将下降至

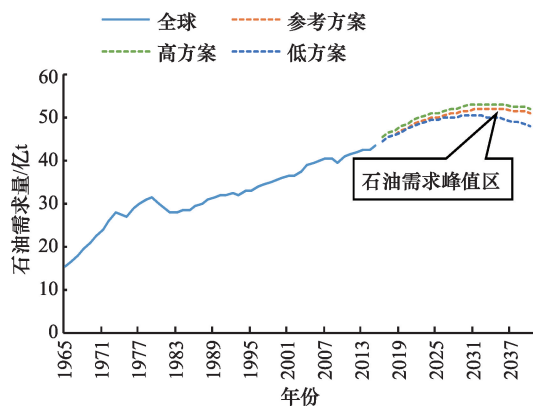


图5 2017—2040年全球石油需求

Figure 5 World oil demand from 2017 to 2040

注:虚线为预测值。

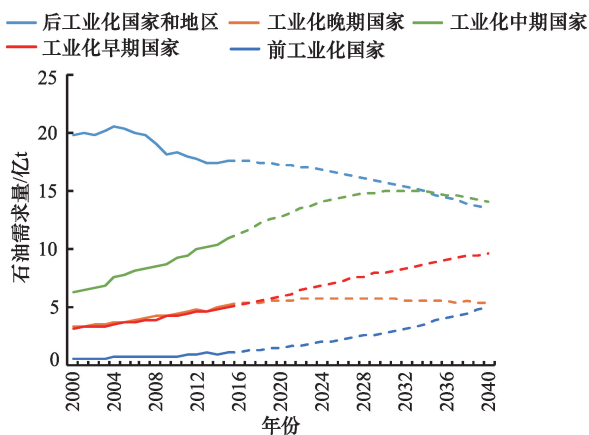


图6 2017—2040年五类国家和地区石油需求

Figure 6 Oil demand of 5 types countries and region from 2017 to 2040

注:虚线为预测值。

6.35亿t,年均下降了0.81%;英国为5160万t,年均下降0.52%;日本为1.21亿t,年均下降1.73%;法国为6080万t,年均下降0.59%;德国为8690万t,年均下降0.59%(图7)。

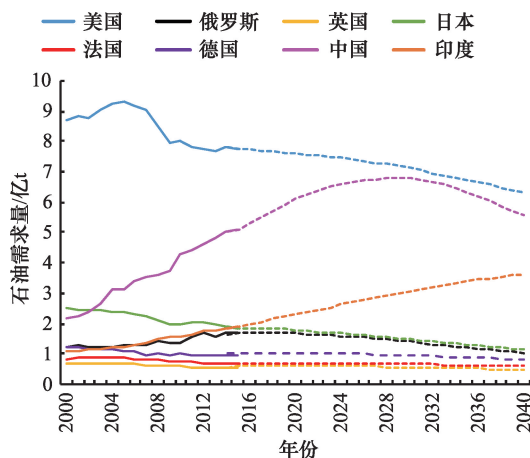


图7 2017—2040年典型国家石油需求

Figure 7 Oil demand of typical countries from 2017 to 2040

注:虚线为预测值。

工业化晚期国家石油需求整体呈现先增后降的趋势,峰值点出现在2025年前后,对应的石油需求量约为5.81亿t(图6)。其中,2020年前后,俄罗斯石油需求总量均达到峰值点,为1.70亿t,之后分别下滑到2030年的1.42亿t,2040年的1.04亿t(图6)。

受中国走势主导,工业化中期国家石油需求将在2030年前后达到顶点,到2040年石油需求将下降至14.06亿t(图6)。中国将在2030年左右,石油需求总量达到峰值,为6.79亿t(图7)。

工业化早期国家和前工业化国家石油需求呈持续增长趋势,到2040年石油需求分别达到9.63亿t和3.77亿t(图6)。其中,印度是其中最大的石油需求国,石油需求总量持续增长,到2040年为3.61亿t,并已显现出增速放缓的迹象(图7)。

目前,权威的国际能源组织和国内机构长期关注全球中长期石油需求趋势(表5)。参考情形下,IEA(2016年)认为2040年全球石油需求52亿t;EIA(2016年)为60亿t;OPEC(2016年)为54亿t。这三大机构认为全球需求基本呈持续增长趋势。BP(2017年)认为2035年全球石油需求为53亿t,并可能在2045—2050年出现峰值。中石油石油经济技术研究院认为全球石油需求将在2030年到达51.57

2018年3月

表5 2020—2040年全球石油需求预测结果对比

Table 5 Comparison of world oil demand prediction results from 2020 to 2040

(亿t)

预测机构	预测情景	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
EIA ^[18]	参考情形	49.93	52.02	54.30	57.07	60.20
IEA ^[17]	新政策情形	47.76	48.75	49.75	50.64	51.54
	低油价	48.30	49.80	51.09	52.29	53.38
BP ^[52]	—	—	—	—	52.78	—
OPEC ^[53]	—	48.95	50.96	52.53	53.70	54.48
王安建等 ^[54]	参考情形	44.89	47.65	49.61	50.55	50.97
中石油石油经济技术研究院 ^[55]		48.10	50.18	51.57	51.34	50.41
本文结果	参考情形	47.45	49.96	51.44	51.60	50.71

亿t。综合而言,各机构的全球石油需求预测结果差异加大,2040年预测结果范围为50亿~61亿t。本文认为,全球石油需求峰值必然出现,其主要是因为①发达经济体石油消费负增长与不同发展程度发展中国家石油消费增速、增量变化综合导致了全球增速放缓;②全球机动车能源(石油)效率将得到较大幅度的提升。IEA 2012年称,2030年全球机动车能耗效率将提高一倍^[56];③新能源汽车的替代,未来30年各国对新能源汽车发展持积极推动作用,届时新能源汽车替代石油量不可小视。

IEA、EIA 和 OPEC 等国际机构一致认为中国2040年前石油需求一致保持持续增长,为7.7亿~8.5亿t;中石油石油经济技术研究院和本文均认为中国石油需求峰值将在2030年左右到来,需求量约为6.7亿~6.8亿t。本文认为中国较大的机动车能效提高潜力和新能源汽车替换速度双重作用,使得中国石油需求将在2030年前后达到峰值。2030年以后,随着国家对新能源汽车支持力度的加大,新能源汽

车对石油的替换也会加快(表6)。

5 结论与探讨

本文首先构建一个基于以国际经验为视角,大数据得到交通部门终端能源消费“S”形模型的石油需求预测方法;然后从全球、五类国家和地区及典型国家三个层面预测未来20多年的石油需求量。该预测方法综合考虑了未来的经济发展、人口、交通能源结构、石油消费结构、机动车能效以及新能源汽车发展等因素对石油需求的影响。通过分析,得到如下结论:

(1)全球石油需求峰值或将在2040年前后到来。预测结果显示,2020—2040年,全球石油需求增速明显放缓,并在2035—2040年可能出现峰值。峰值点时的全球需求将达到51.69亿t。这一预测的依据是:一是全球石油需求增速减缓,2017—2040年年均增速为0.6%;二是机动车能效将得到较大提高。2030年全球机动车能耗效率将提高一倍。2005—2013年,全球轻型汽车平均油耗从8.3L/100 km

表6 2020—2040年中国石油需求预测结果对比

Table 6 Comparison of China oil demand prediction results from 2020 to 2040

(亿t)

预测机构	预测情景	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
EIA ^[18]	参考情形	6.33	6.88	7.38	7.79	8.15
IEA ^[17]	新政策情形	6.22	6.87	7.32	7.52	7.62
	低油价	6.27	6.97	7.42	7.72	7.87
BP ^[52]	—	—	—	—	9.46	—
OPEC ^[53]	—	6.08	6.77	7.41	8.00	8.54
王安建等 ^[54]	参考情形	6.20	6.80	7.00	—	—
中石油石油经济技术研究院 ^[55]		6.18	6.63	6.74	6.56	6.14
李振宇等 ^[32]	基准情景	5.94	6.53	6.83	7.00	6.90
本文结果	参考情形	6.10	6.66	6.79	6.31	5.57

下降至 7.1L/100 km, 年均下降 2.2%。其中, OECD 国家从 8.6L/100 km 下降至 6.9L/100 km, 年均下降 2.6%; 非 OECD 国家从 7.3L/100 km 下降至 7.2L/100 km, 年均下降 0.2%^[56]; 三是新能源汽车的替代, 这是一个缓慢、循序渐进的过程。2020 年, 全球新能源汽车的石油替代量为 0.14 亿 t, 石油替代率为 0.3%; 2030 年, 替代量为 0.98 亿 t, 替代率为 2.1%; 2040 年, 替代量为 2.67 亿 t, 替代率为 5.4%。需要说明的是, 石油需求出现峰值是因为, 2030 年以后工业化早期国家和前工业化国家的石油需求增长量不足以填补后工业化国家和地区、工业化晚期和工业化中期国家石油需求的下降量。

(2) 英美法等发达经济体石油需求呈下滑趋势。一方面, 千人机动车保有量将达到饱和而不再增长。另一方面机动车能效提高和新能源汽车双重驱动造成石油需求持续下滑。

(3) 中国石油需求将于 2030 年前后达到 6.79 亿 t 的峰值。中国人均 GDP 将于 2030 年达到 2 万美元以上, 成为发达国家。届时千人机动车保有量将不再增长。工信部发布了《汽车产业中长期发展规划》^[51], 足以显示出国家对新能源汽车发展的鼓励, 石油需求必然下滑。

(4) 2040 年前, 印度及东盟将成为下一个全球石油消费增长点。基于印度的政治体制、民族宗教、经济发展模式、资源禀赋和国际经济环境判断, 印度很难走中国这种快速工业化的发展道路。预计 2030 年, 印度 GDP 总量将达到 12 万亿美元, 人均 GDP 达到 1.35 万美元。尽管目前印度人均 GDP 已越过 3000 美元, 但因其工业发展落后, 社会财富(如机动车)相对薄弱, 其发展潜力不可忽视。一旦进入工业化, 其石油需求必然快速增长, 到 2040 年石油需求将达到 3.61 亿 t。东盟人口超过 5 亿, 人均 GDP 超过 5000 美元, 已进入资源消费的加速阶段。随着经济发展, 机动车保有量快速增长, 工业快速发展, 石油需求必然进入高速增长。

(5) 本文提供了一种新的石油需求预测思路。需求预测结论为制定保障中国石油安全相关政策提供参考依据。

参考文献(References):

- [1] Ziramba E. Price and income elasticities of crude oil import demand in South Africa: a co-integration analysis [J]. *Energy Policy*, 2010, 38(12): 7844-7849.
- [2] Ekonomou L. Greek long-term energy consumption prediction using artificial neural networks [J]. *Energy*, 2010, 35(2): 512-517.
- [3] 徐平, 王本, 范莹. 基于 BP 神经网络的我国石油需求预测[J]. 大庆石油学院学报, 2007, 31(2): 82-84. [Xu P, Wang B, Fan Y. Forecast of oil consumption based on BP neural network [J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2007, 31(2): 82-84.]
- [4] 李宏勋, 李元庆, 王海军. 基于 BP 神经网络模型的中国石油需求预测研究[J]. 中国石油大学学报(社会科学版), 2015, 31(3): 8-11. [Li H X, Li Y Q, Wang H J. Research on prediction of China's oil demand based on the BP neural network model [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Social Sciences)*, 2015, 31(3): 8-11.]
- [5] 王书平, 胡爱梅, 吴振信. 基于灰色模型的国际能源需求预测[J]. 工业技术经济, 2012, (12): 39-43. [Wang S P, Hu A M, Wu Z X. Forecasting of international energy demand based on gray model [J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2012, (12): 39-43.]
- [6] Seval E, Nursel O. Grey modelling based forecasting system for return flow of end-of-life vehicles [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2017, 115: 155-166.
- [7] Wu L F, Liu S F, Yao L G, et al. Gray system model with the fractional order accumulation [J]. *Communications in Nonlinear Science & Numerical Simulation*, 2013, 18(7): 1775-1185.
- [8] 张兴旺, 陈希敏. 基于成分数据视角的我国能源需求结构变动及其预测[J]. 生态经济, 2017, 33(2): 24-27. [Zhang X W, Chen X M. An empirical research based on the composition data perspective forecast on energy demand structure and its variation in China [J]. *Ecological Economy*, 2017, 33(2): 24-27.]
- [9] 喜文飞, 鲁彦举, 陈青, 等. 基于动态 GM(1, 1) 模型预测我国石油需求量的研究[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2015, 35(4): 41-45. [Xi W F, Lu Y J, Chen Q, et al. Forecast of China's oil demand based on the dynamic GM(1, 1) model [J]. *Journal of Yunnan Normal University*, 2015, 35(4): 41-45.]
- [10] Ma X, Hu Y, Liu Z. A novel kernel regularized nonhomogeneous gray model and its applications [J]. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2017, 48: 51-62.
- [11] Günay M E. Forecasting annual gross electricity demand by artificial neural networks using predicted values of socio-economic indicators and climatic conditions: Case of Turkey [J]. *Energy Policy*, 2016, 90: 92-101.
- [12] Wang Z X, Hao P. An improved gray multivariable model for predicting industrial energy consumption in China [J]. *Math Model*, 2016, 40(11-12): 5745-5758.
- [13] Li S, Li R. Comparison of forecasting energy consumption in Shandong, China using the ARIMA model, GM model, and ARIMA-

2018年3月

- GM model [J]. *Sustainability*, 2017, 9(7): 1–19.
- [14] Azadeh A, Khakestani M, Saberi M. A flexible fuzzy regression algorithm for forecasting oil consumption estimation [J]. *Energy Policy*, 2009, 37(12): 5567–5579.
- [15] 张建珍, 王小琛, 台啟龙, 等. 海南省交通运输业能源需求与碳排放预测分析[J]. 海南大学学报自然科学版, 2017, 35(2): 164–170. [Zhang J Z, Wang X S, Tai Q L, et al. Forecasting of energy demands and carbon emission of transportation in Hainan Province [J]. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2017, 35(2): 164–170.]
- [16] Liu N, Tang Q, Zhang J, et al. A hybrid forecasting model with parameter optimization for short-term load forecasting of micro-grids [J]. *Energy*, 2014, 129: 336–345.
- [17] International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2016 [EB/OL]. (2016–11–16)[2017–02–13]. http://www.iea.org/bookshop/750-World_Energy_Outlook_2016.
- [18] U.S. Energy Information Administration (EIA). Annual Energy Outlook 2016 [EB/OL]. (2016–09–15)[2017–02–13]. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/>.
- [19] Behrang M A, Assareh E, Ghalambaz M, et al. Forecasting future oil demand in Iran using GSA (Gravitational Search Algorithm) [J]. *Energy*, 2011, 36(9): 5649–5654.
- [20] 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.]
- [21] Haldenbilen S, Ceylan H. Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey [J]. *Energy Policy*, 2005, 33(1): 89–98.
- [22] 纪利群. 采用改进 Logistic 模型预测中国石油消费量[J]. 中国石油大学学报(社会科学版), 2011, 35(4): 177–181. [Ji L Q. A modified Logistic for forecasting petroleum consumption in China [J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Social Sciences)*, 2011, 35(4): 177–181.]
- [23] Yu L, Zhao Y Q, Tang L, et al. Online big data-driven oil consumption forecasting with Google trends [J]. *International Journal of Forecasting*, 2018, doi: 10.1016/j.ijforecast.2017.11.005.
- [24] 王安建, 王高尚, 陈其慎, 等. 能源与国家经济发展[M]. 北京: 地质出版社, 2008. [Wang A J, Wang G S, Chen Q S, et al. *Energy and National Economic Development* [M]. Beijing: Geological Publishing Press, 2008.]
- [25] 王安建, 王高尚, 陈其慎, 等. 矿产资源需求理论与模型预测[J]. 地球学报, 2010, 31(2): 137–147. [Wang A J, Wang G S, Chen Q S, et al. The mineral resources demand theory and the prediction model [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(2): 137–147.]
- [26] Wang A J, Wang G S, Chen Q S, et al. S-curve model of relationship between energy consumption and economic development [J]. *Natural Resources Research*, 2014, 24(1): 53–64.
- [27] 周扬, 吴文祥, 胡莹, 等. 基于组合模型的能源需求预测[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(4): 63–68. [Zhou Y, Wu W X, Hu Y, et al. Energy demand forecasting based on combined model [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(4): 63–68.]
- [28] 卢二坡. 组合模型在我国能源需求预测中的应用[J]. 数理统计与管理, 2006, 25(5): 505–511. [Lu E P. The application of combined model in forecasting of energy demand [J]. *Application of Statistics and Management*, 2006, 25(5): 505–511.]
- [29] 付立东, 张金锁, 冯雪. GA-SA 模型预测中国能源需求[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(3): 780–789. [Fu L D, Zhang J S, Feng X. GA-SA model forecasting China's energy demand [J]. *System Engineering-Theory & Practice*, 2015, 35(3): 780–789.]
- [30] Tascikaraoglu A, Uzunoglu M. A review of combined approaches for prediction of short-term wind speed and power [J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2014, 34(6): 243–254.
- [31] 文炳洲, 索瑞霞. 基于组合模型的我国能源需求预测[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(20): 45–53. [Wen B Z, Suo R X. China's energy demand forecast based on combined model [J]. *Mathematical Practice and Theory*, 2016, 46(20): 45–53.]
- [32] 李振宇, 卢红, 任文坡, 等. 我国未来石油消费发展趋势分析[J]. 化工进展, 2016, 35(6): 1739–1747. [Li Z Y, Lu H, Ren W P, et al. China's oil consumption and its future development trend analysis [J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2016, 35(6): 1739–1747.]
- [33] Li J R, Wang R, Wang J Z, et al. Analysis and forecasting of the oil consumption in China based on combination models optimized by artificial intelligence algorithms [J]. *Energy*, 2018, 144: 243–264.
- [34] Yuan X C, Sun X, Zhao W G, et al. Forecasting China's regional energy demand by 2030: a Bayesian approach [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, 127: 85–95.
- [35] Behmiri N B, Manso J R P. The linkage between crude oil consumption and economic growth in Latin America: the panel framework investigations for multiple regions [J]. *Energy*, 2014, 72(7): 233–241.
- [36] Parka S Y, Yoo S H. The dynamics of oil consumption and economic growth in Malaysia [J]. *Energy Policy*, 2014, 66(3): 218–223.
- [37] Suganthi L, Samuel A A. Energy models for demand forecasting—a review [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 6(2): 1223–1240.
- [38] 刘固望, 王安建. 工业部门的终端能源消费“S”形模型研究[J]. 地球学报, 2017, 38(1): 30–36. [Liu G W, Wang A J. S-curve model of end-use energy consumption in industrial sector [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2017, 38(1): 30–36.]
- [39] 刘固望. 部门终端能源消费模型及其应用—以工业部门和交通

- 部门为例[D].北京:中国地质大学(北京),2016.[Liu G W. Research on the Model and Application of Sector Final Energy Consumption: Based on the Industry and Transport Sector [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016.]
- [40] International Energy Agency (IEA). IEA World Energy Statistics and Balances [EB/OL]. (2017-01-10)[2017-02-01]. <http://wds.iea.org/>.
- [41] The Conference Board. Total Economy Database [EB/OL]. (2016-05-01)[2016-11-26]. <https://www.conference-board.org/economics/database.cfm>.
- [42] The Department of Economic and Social Affairs of United Nations (DESAUN). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision [EB/OL]. (2014-07-01)[2017-02-01]. <http://esa.un.org/unpd/wup/CD-ROM/>.
- [43] OICA. Vehicles in Use [EB/OL]. (2017-04-14)[2017-07-15]. <http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>.
- [44] Dargaya J, Gately D, Sommer M. Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960-2030 [J]. *Energy Journal*, 2007, 28(4): 143-170.
- [45] Dargaya J, Gately D. Income's effect on car and vehicle ownership, worldwide: 1960-2015[J]. *Transportation Research, Part A: Policy and Practice*, 1999, 33(2): 101-138.
- [46] 阎坤. 数据曲线间断区域的自适应连接方程研究[J]. 地球物理学进展, 2011, 26(1): 162-171. [Yan K. Research on adaptive connection equation for data curve discontinuity region [J]. *Progress in Geophysics*, 2011, 26(1): 162-171.]
- [47] International Energy Agency (IEA). Global EV Outlook 2016 [EB/OL]. (2016-09-25)[2017-02-17]. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/global-ev-outlook-2016.html>.
- [48] UK. Clean Air Zone Framework: Air quality: Clean Air Zone Framework for England [EB/OL]. (2017-05-05)[2017-08-01]. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/612592/clean-air-zone-framework.pdf.
- [49] Electrek. France Announces Ban on Petrol and Diesel Cars in 2040-Going All-Electric [EB/OL]. (2017-07-06)[2017-08-01]. <https://electrek.co/2017/07/06/france-ban-petrol-diesel-cars-2040-electric/>.
- [50] Tech Web. 德国计划2030年起在欧盟全境禁止汽油柴油车 [EB/OL]. (2016-10-09)[2017-08-01]. <http://www.techweb.com.cn/it/2016-10-09/2406183.shtml>. [TechWeb. Germany Announces Ban on Petrol and Diesel Cars in 2030 Throughout the EU [EB/OL]. (2016-10-09)[2017-08-01]. <http://www.techweb.com.cn/it/2016-10-09/2406183.shtml>.]
- [51] 中华人民共和国工业和信息化部. 工业和信息化部 国家发展改革委 科技部关于印发《汽车产业中长期发展规划》的通知(工信部联装[2017]53号)[EB/OL]. (2017-04-25)[2017-07-01]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5600433/content.html>. [Ministry of Industry and Information Technology of China. Circular of the Ministry of Industry and Information Technology, National Development and Reform Commission and Ministry of Science and Technology on Issuing "The Long-Term and Long-Term Development Plan for the Automotive Industry" [EB/OL]. (2017-04-25)[2017-07-01]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5600433/content.html>.]
- [52] BP. Bp-Energy-Outlook-2017 [EB/OL]. (2017-01-01)[2017-02-28]. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html>.
- [53] OPEC. 2016 World Oil Outlook [EB/OL]. (2016-12-01)[2017-04-05]. http://www.opec.org/opec_web/en/publications/340.htm.
- [54] 王安建,王高尚,闫强,等. 我国能源矿产资源2020~2030年保障程度论证综合报告[R]. 北京,2015. [Wang AJ, Wang GS, Yan Q, et al. Demonstration research on Guarantee degree of China mineral resources in 2020-2030 [R]. Beijing, 2015.]
- [55] 中石油石油经济技术研究院(中石油石经院). 2050年世界与中国能源展望 [EB/OL]. (2016-07-12)[2017-02-13]. <http://www.in-en.com/article/html/energy-2255134.shtml>. [Economics & Technology Research Institute CNPC. World and China Energy Outlook 2050 [EB/OL]. (2016-07-12)[2017-02-13]. <http://www.in-en.com/article/html/energy-2255134.shtml>.]
- [56] International Energy Agency (IEA). International Comparison of Light-Duty Vehicle Fuel Economy: Evolution Over 8 Years from 2005 to 2013 [EB/OL]. (2014-01-12)[2017-06-01]. http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/iea-report-update-2014_0.pdf.

World oil demand based on S-Curve Model of the transport sector

LIU Guwang^{1,2}, YAN Qiang^{1,2}, YANG Jianbo^{1,2}

(1. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Empirical research on oil demand forecasting has received increasing attention spanning different models and estimation methods. There are various defects in current methods, such as limited applicability, large error and failure to reflect the internal relationship between oil consumption and economic development, economic structure and so on. Based on the S-curve model of end-use energy consumption in the transport sector, a method of oil demand forecasting is constructed. Here, we predict oil demand in 5 types of countries at different stages of development and typical countries in the next 20 years after national classification. The results show a sharp slowdown in global oil demand growth and a possible peak before 2040 of 5.2 billion tons. Oil demand has shown a downward trend as a whole in post industrialized countries represented by the USA and UK. A trend of first increasing and then decreasing in late industrialized countries was found for Russia and middle industrialized countries such as China, when peaks appear around 2025 and 2030 respectively. Demand for oil in other types of countries continues to grow. The trend of first increasing and then falling in global oil demand is affected by improvements in vehicle energy efficiency, the development of electric vehicles and restriction in carbon emission reduction. This will result in profound changes in the patterns of global oil supply and demand, and geopolitics.

Key words: oil demand; transport sector; S-Curve Model; electric vehicle