

# 基于LEAP模型的四川省碳排放峰值预测分析

王彦力  
成都理工大学

**[摘要]**四川在全国实现碳达峰、碳中和计划中具有举足轻重的作用，因此加快编制四川省碳达峰、碳中和行动方案对四川实现该计划具有重要的指导意义。本文通过能源-电力-碳排放模型和LEAP模型两者的结合，建立四川省2020-2060年二氧化碳排放预测模型。研究结果表明四川省可以在2028年到达碳达峰，完全符合国家制定的碳达峰计划。

**[关键词]**碳达峰；碳中和；四川；LEAP模型

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.12.1179

## 一、引言

当前全球气温上升，很多国家根据自身情况制定了相应的节能减排计划，中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。并将碳达峰与碳中和目标被写入《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》，作为我国未来五年以及中长期发展的重要战略性指引。可以看出，新达峰目标与碳中和愿景事关我国未来发展国家战略，将对我国经济结构和社会发展方向产生根本性影响，引发一场包括治理方式、能源、技术、消费等在内的深刻变革。因此本文对四川省碳达峰预测进行分析，旨在为政府制定碳达峰与碳中和相关目标规划提供可靠的理论指导，同时也具有较强的现实意义。

## 二、研究现状

随着国际社会减缓和适应气候变化行动的日益深入，碳排放峰值及其相关研究也日趋完善，其中包括不同层面能源相关的碳排放量核算，主要集中在国家、区域和行业层面，通常使用自底向上、自顶向下或混合模型等能源-碳排放模型进行核算。近些年来，国内外学者对于碳排放峰值的研究主要体现在能源消费、碳排放量与经济增长关系的研究以及减少碳排放量政策的研究。常常采用特定模型针对能源或其他领域，研究了具体政策与技术应用所带来的碳减排量，并进行相应的经济性分析。

国际上，有很多方法被用于能源领域的预测。传统的方法如时间序列、回归、计量经济学、ARIMA以及软计算技术如模糊逻辑、遗传算法和神经网络正被广泛应用于能源需求侧管理。P. S. BODGER<sup>[1]</sup>参考新西兰部门数据研究了简单逻辑回归模型预测用电量的潜力，构建能源替代模型，预测了煤、油、气、电等多种二次能源的替代过程。BongChinKim<sup>[2]</sup>基于生产函数模型，采用对数回归方法预测了韩国能源需求的变化趋势，MikikoKainuma等在假定两种社会经济学情景下，同时考虑国家政策干预（碳税或补贴），应用AIM模型预测了日

本的二氧化碳排放量。结果表明碳税可以在一定程度上帮助减少碳排放量<sup>[3]</sup>。Ho-ChulShin等利用LEAP模型分析了韩国增加天然气发电容量对能源市场、发电成本和温室气体排放的影响<sup>[4]</sup>。国内碳排放峰值研究主要体现在对中国整体、省市及重点行业层面能源系统模拟和碳排放的达峰时间和峰值进行预测与研究。第一国家层面，迟春洁等应用情景分析方法和LEAP模型的计算，对中国可供选择的能源供需前景进行探讨，根据中国社会经济发展趋势和发展现状，计算得到不同方案下各时期的能源需求量以及温室气体排放量<sup>[5]</sup>。第二省级层面，高虎等利用LEAP模型，并结合湖南省作为案例，研究了LEAP在省级规划工作中的应用，探讨在省级可再生能源规划中定量分析方法，得到更具有可操作性的规划<sup>[6]</sup>。

## 三、模型构建

当前CO<sub>2</sub>排放主要通过化石能源发电所产生，其次各个部门、行业以及企业通过用电也会产生大量的CO<sub>2</sub>。由此可见，可以通过电能够将能源与碳排放联系起来。

### （一）能源-电力-碳排放模型

#### 1. 模型定义

能电碳模型是建立电力消费与碳排放关联关系的预测模型，以实现通过电力消费数据，直接测算企业和区域碳排放的目标。其本质原理还是基于能源消费结构的演变趋势预测，结合电网实时提供的用电量数据，推算煤、油、气的消费量，继而根据煤、油、气、电的碳排放系数计算排放量。

#### 2. 模型计算方法

该模型主要分为四步，具体步骤如下：

##### 第一步：拟合回归模型

对煤电系数、油电系数、气电系数数据分别进行一元线性回归。以工业部门煤/电比例为例，一元线性回归采用最小二乘法求出a和b。

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

同时以拟合优度模型评价效果, 最终拟合的回归方程为:  $y = a + bx$ 。

第二步: 得到能电联动系数矩阵, 根据拟合的回归模型, 预测未来能电比例变化趋势。形成能电联动系数矩阵 ( $Q_{7 \times 4}$ ), 第三步: 得到完全电碳联动系数矩阵 ( $EE_{7 \times 4}$ ), 首先, 构建碳排放因子矩阵  $EF_{4 \times 4}$ , 再计算电碳联动系数矩阵  $EE_{7 \times 4} = Q_{7 \times 4} \times EF_{4 \times 4}$ , 第四步: 计算碳排放。根据四川各个部门用电数据, 乘以对应的电碳联动系数, 得到各部门煤、油、气、电消费产生的总排放量。

## (二) 碳排放模型

碳达峰模型以具体的活动、技术等详细信息为出发点进行预测, 预测的方法主要为工程学方法, 对技术有详细的描述, 同时假定能源部门和其他部门之间相互独立, 采用线性规划、非线性规划、多目标和规划等理论作为研究方法。碳排放峰值测算边界包括区域内化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放、调入调出电力蕴含的二氧化碳排放。并通过LEAP模型<sup>[7]</sup> (长期能源替代规划系统), 构建碳达峰模型的驱动因素, 从各部门、领域、行业活动水平、能耗强度、能源品种结构、经济增长情况、人口增长情况、可再生能源应用等方面分析预测未来碳达峰实现路径。LEAP拥有灵活的结构, 使用者可以根据研究对象特点、数据的可得性、分析的目的和类型等来构造模型结构和数据结构, 可以用来分析不同情景下的能源消耗和温室气体排放。LEAP模型公式如下:

$$E_{total} = \sum_i \sum_j \sum_k A_{ij} * EC_{ij} * ES_{ijk} * EF_k$$

其中:  $E_{total}$  为第  $i$  年二氧化碳排放量, 单位为吨  
 $A_{ij}$  为第  $i$  个部门第  $j$  子部门的生产总值, 单位为万元  
 $EC_{ij}$  为第  $i$  个部门第  $j$  子部门的能源消费强度, 单位为吨标准煤/万元。

$ES_{ijk}$  为第  $i$  个部门第  $j$  子部门, 能源消费中能源品种  $k$  的占比, 无量纲

$EF_k$  为能源品种  $k$  的二氧化碳排放因子吨/吨标准煤

采用LEAP模型为框架, 构建基于各领域、部门、行业活动水平、能耗强度、能源品种结构的碳达峰测算模型。

## 四、结果分析

基于历史数据, 采用基于统计学的方法, 对能源与碳排放从多维度进行统计分析。利用未来数据, 通过构建“能源-电力-碳排放”模型, 即建立电力与分品种能源消费量、分品种能源碳排放的直接决定关系, 实现仅通过电力数据快速测算碳排放的目的。

### (一) 碳达峰预测

根据四川省2015-2020年的能源消费数据核算碳排放量、计算获得各年份的单位GDP能耗、单位能源消费碳排放量。拟合计算式各参数, 并预测未来年份的地区生产总值、单位GDP能耗和单位能源消费碳排放量可以计算得到未来各年份的碳排放总量, 通过计算得出四川省的碳达峰时间2028年。

## 五、结论与展望

本研究以四川省为例, 并通过能源-电力-碳排放模型和碳达峰模型两者的结合, 建立四川省2021-2060年二氧化碳排放路径。研究表明在四川省可以在2029年甚至更早实现碳达峰。另外该研究存在许多不足之处, 例如, 数据精确度不高, 同时对新能源的开发利用和新兴技术突破等因素考虑不足, 后期将继续完善和升级, 从而更好支撑四川省碳达峰与碳中和研究和决策。

## 参考文献:

- [1] Bodger, P. S., & Tay, H. S. (1987). Logistic and energy substitution models for electricity forecasting: A comparison using New Zealand consumption data. *Technological Forecasting and Social Change*, 31 (1), 27 - 48.
- [2] Kim, B. C., & Labys, W. C. (1988). Application Of the translog model of energy substitution to developing countries. *Energy Economics*, 10 (4), 313 - 323.
- [3] Kainuma, M., Matsuoka, Y., & Morita, T. (2000). The AIM/end-use model and its application to forecast Japanese car bondioxide emissions. *European Journal of Operational Research*, 122 (2), 416-425.
- [4] Shin, H. C., Park, J. W., Kim, H. S., & Shin, E. S. (2005). Environmental and economic assessment of land fill gas electricity generation in Korea using LEAP model. *Energy policy*, 33 (10), 1261-1270.
- [5] 迟春洁, 于渤, 张弛. 基于LEAP模型的中国未来能源发展前景研究[J]. *技术经济与管理研究*, 2004 (05): 73-74.
- [6] 高虎, 梁志鹏, 庄幸. LEAP模型在可再生能源规划中的应用[J]. *中国能源*, 2004, 26 (010): 34-37.
- [7] 龙妍, 丰文先, 王兴辉. 基于LEAP模型的湖北省能源消耗及碳排放分析[J]. *电力科学与工程*, 2016 (5): 1-6.

作者简介: 王彦力(1995年7月-), 男, 汉族, 四川巴中, 成都理工大学在读、硕士, 大数据技术及应用。