



中国经济文库·应用经济学精品系列(二) ▶▶▶▶▶▶▶▶

李明玉◎著

能源产量预测 和消费量分解

Energy Production Forecast
and Consumption Decomposition



中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE



中国经济文库·应用经济学精品系列（二）

沈阳农业大学经济管理学院学术著作出版基金资助

李明玉◎著

能源产量预测 和消费量分解

Energy Production Forecast
and Consumption Decomposition



中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

能源产量预测和消费量分解 / 李明玉著.

北京: 中国经济出版社, 2014. 7

ISBN 978 - 7 - 5136 - 3276 - 8

I. ①能… II. ①李… III. ①能源—产量预测—研究—中国②能源消费—研究—中国
IV. ①F426. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 116824 号

责任编辑 赵静宜

责任审读 贺 静

责任印制 巢新强

封面设计 华子图文

出版发行 中国经济出版社

印 刷 者 三河市佳星印装有限公司

经 销 者 各地新华书店

开 本 710mm × 1000mm 1/16

印 张 13. 25

字 数 203 千字

版 次 2014 年 7 月第 1 版

印 次 2014 年 7 月第 1 次

书 号 ISBN 978 - 7 - 5136 - 3276 - 8

定 价 49. 00 元

广告经营许可证 京西工商广字第 8179 号

中国经济出版社 网址 www.economyph.com 社址 北京市西城区百万庄北街 3 号 邮编 100037

本版图书如存在印装质量问题, 请与本社发行中心联系调换 (联系电话: 010 - 68330607)

版权所有 盗版必究 (举报电话: 010 - 68355416 010 - 68319282)

国家版权局反盗版举报中心 (举报电话: 12390)

服务热线: 010 - 88386794

序 言

自从 1972 年三名美国学者的《增长的极限》一书出版以来，有限增长的理论逐渐深入人心，研究经济增长与能源环境约束之间关系的理论与方法越来越多，研究领域也越来越广泛。本书基于 Hubbert 理论建立能源产量预测和消费量分解的系统动力学模型，并将其方法用于预测传统能源与新能源发展趋势，对能源预测研究具有重要意义。

Hubbert 理论是基于有限供给原理分析石油能源产量规律而得出的预测理论，现已应用于全球和各个国家石油产量的预测，并扩展用于对其他能源、资源产量的变化规律分析。能源产量分析及其预测一直存在争论。Hubbert 理论属于地质学派，更注重能源储量和单个油井的产量规律，侧重于反映某一种能源产量。而崇尚能源无限供给论的技术经济学派则认为随着技术的发展，勘探、开采能力的提高会增加某种能源的供给，同时当某种能源稀缺导致其价格过高之后会鼓励市场提供其他低成本能源来替代稀缺能源，页岩气的出现就是个典型的例子。从环保和低碳经济发展的角度看，可再生能源的替代更具有发展前景，只是其能量来源差异较大，成本较高，尤其是在技术较为落后的发展中国家发展缓慢，推迟了能源替代的步伐。

即使按照技术经济学派的观点，也存在能源产量预测的必要性。既然可再生能源的能量来源是可再生的，能源供给源源不断，那么可再生能源的产量水平是有限还是无限？这需要考虑资源量的规模，根据当年资源量估算出这种可再生能源产量的极大值，也就是说，对于某一种可再生能源来讲，产量也是存在极大值的。书中给出了水电和木材产量的多峰曲线，分析了可再生能源产量的规律和多峰 Hubbert 模型对产量趋势分析的适用

性，对可再生能源的产量分析提供参考。

经济快速发展与产业结构调整成为影响能源消费变化的主要外在因素。在本书的能源消费研究中，将经济发展和产业结构两个因素与能源效率结合起来，计算各因素对能源消费增长或下降的贡献程度，给出了能源总消费的因素分解模型和能源节约水平。并依据同样道理计算出生物燃料等新能源消费对能源节约的贡献，为开展新能源的节能效果评价提供一种测度方法。

能源产业层面的分析可为宏观经济决策和能源企业的形势判断提供有效的参考，这些工作也是产业研究者和能源领域研究者责无旁贷的工作。李明玉从攻读博士学位期间一直坚持不懈致力于能源问题的研究，现将几年来研究成果总结整理成书，这也是对自己、对关注她成长的师长朋友的一种回报。本书将为读者呈现从不可再生能源到可再生能源研究的一条清晰的脉络，加深读者对能源问题的理解和认识。

李 凯

2014 年 2 月于东北大学

目 录

CONTENTS

序言 / 1

第一章 绪论 / 1

第一节 研究背景 / 2

一、不可再生能源的生产 / 2

二、可再生能源的生产 / 3

三、不可再生能源的消费 / 4

四、可再生能源的消费 / 5

第二节 问题提出 / 5

一、能源供给方面 / 5

二、能源消费方面 / 6

第三节 研究目标与研究思路 / 7

一、研究目标 / 7

二、研究思路 / 8

第四节 本书内容的结构安排 / 8

第五节 研究方法与创新点 / 11

一、研究方法 / 11

二、本书的创新点 / 12

第二章 文献综述 / 14

第一节 Hubbert 理论文献综述 / 15

一、Hubbert 理论的方法研究	/ 15
二、Hubbert 模型在各地区石油产量预测中的应用	/ 17
三、Hubbert 模型对其他能源产量的预测研究	/ 20
第二节 能源消费分解模型的研究综述	/ 21
一、能源消费分解模型的研究进展	/ 21
二、能源消费分解模型的应用研究	/ 23
三、能源消费分解模型在中国的应用研究	/ 24
本章小结	/ 26

第三章 理论基础 / 27

第一节 Hubbert 模型研究方法概述	/ 28
一、与储量相关的概念介绍	/ 28
二、Hubbert 理论的来源与内容	/ 30
三、Hubbert 模型及适用性	/ 32
四、Hubbert 模型的研究要点	/ 35
五、Hubbert 模型的方法局限	/ 36
第二节 能源消费因素分解理论	/ 37
一、能源消费分解的理论基础	/ 37
二、分解模型的基本原理	/ 38
三、完全分解模型	/ 40
四、能源消费分解模型的局限性	/ 41
第三节 系统动力学方法	/ 41
一、系统动力学的起源与理论基础	/ 41
二、系统动力学的基本观点	/ 42
三、系统动力学的因果反馈环原理及图解	/ 43
四、系统动力学的试验方法及其优势	/ 45
五、系统动力学的工具软件及建模方法	/ 46
本章小结	/ 48

第四章 能源产量预测和消费量分解的 SD 模型 / 49

第一节 Hubbert 模型的反馈关系分析 / 50

第二节 Hubbert 理论的系统动力学模型 / 52

第三节 Hubbert 理论 SD 模型的应用

——美国石油产量预测 / 54

一、数据及模型系数设定 / 54

二、美国石油 SD 模型模拟结果 / 56

三、美国石油产量的情景预测 / 58

四、Hubbert 理论 SD 模型预测能力检验 / 59

五、Hubbert 理论 SD 模型预测结果的比较 / 59

六、Hubbert 理论 SD 模型的特点分析 / 62

第四节 完全分解模型的 SD 模型 / 63

一、能源消费分解的 SD 模型 / 63

二、煤炭消费分解的 SD 模型 / 67

三、石油消费分解的 SD 模型 / 69

第五节 能源消费分解 SD 模型的有效性检验

——以辽宁省为例 / 70

一、辽宁省 1990—2004 年的能源消费分解 / 70

二、完全分解模型与 SD 模型的分解结果比较 / 72

本章小结 / 75

第五章 基于 Hubbert 理论的中国煤炭和石油产量预测 / 77

第一节 中国煤炭产量的 Hubbert 曲线 / 78

一、中国煤炭的资源量与产量 / 78

二、中国煤炭的产量高峰 / 79

三、中国煤炭产量的计算结果与情景分析 / 81

第二节 中国石油产量的 Hubbert 曲线 / 84

能源产量预测和消费量分解

一、中国石油的概况介绍 /	84
二、中国石油的产量高峰 /	86
三、中国石油产量的计算结果与情景分析 /	89
第三节 预测结果的讨论 /	91
一、关于中国煤炭产量预测结果的讨论 /	91
二、关于中国石油产量预测结果的讨论 /	93
本章小结 /	95
第六章 可再生能源产量趋势分析——Hubbert 模型的适用性 /	97
第一节 美国可再生能源产量分析 /	99
一、产量概况 /	99
二、美国可再生能源结构分析 /	100
第二节 美国可再生能源产量趋势分类 /	101
一、木材和水电产量呈现钟型曲线趋势 /	101
二、地热和废弃物回收产量呈现 S 形曲线趋势 /	103
三、美国可再生能源发展的启示 /	104
第三节 水电和木材的多峰 Hubbert 曲线 /	108
一、可再生能源产量的 Hubbert 模型 /	108
二、数据及其处理 /	109
三、水电产量的多峰 Hubbert 曲线 /	109
四、木材产量的多峰 Hubbert 曲线 /	110
五、结论与政策建议 /	112
本章小结 /	113
第七章 基于系统动力学模型的中国能源消费需求预测 /	114
第一节 中国能源消费概况 /	115
一、能源消费量与构成 /	115
二、与能源消费相关的因素分析 /	116

第二节	中国能源消费趋势预测	/	118
	一、能源消费分解 SD 模型的误差检验	/	118
	二、中国能源消费的预测结果	/	120
第三节	中国煤炭和石油消费的预测	/	124
	一、能源消费分解 SD 模型扩展的误差检验	/	124
	二、中国煤炭、石油消费及分解的预测结果	/	126
第四节	中国能源消费及结构的情景预测	/	131
	一、情景设计	/	131
	二、情景预测的模拟误差检验	/	131
	三、三个情景的预测结果比较	/	132
第五节	中国能源消费预测结果讨论及政策建议	/	135
	本章小结	/	138

第八章 基于完全分解模型的生物燃料消费量分析 / 140

目 录

第一节	美国生物燃料的消费量	/	141
	一、总消费量简述	/	141
	二、各部门生物燃料的消费量	/	142
第二节	美国的经济增长	/	143
	一、美国 GDP 总量	/	143
	二、美国各部门的 GDP 产值	/	145
	三、美国各部门 GDP 产值的比例	/	146
第三节	美国生物燃料消费量的能源强度	/	147
	一、总能源强度	/	147
	二、各部门的能源强度	/	149
第四节	能源消费的完全分解模型和能源节约模型	/	151
	一、三因素完全分解模型	/	151
	二、能源节约模型	/	152
	三、美国生物燃料消费量变动的分解结果	/	152

四、美国生物燃料消费量变动的能源节约 / 157

五、结论分析 / 159

第五节 中国生物燃料消费的前景分析 / 160

一、中美生物燃料消费影响因素的比较 / 160

二、中国生物燃料消费所面临的问题 / 162

三、促进中国生物燃料消费增长的建议 / 164

本章小结 / 165

第九章 结论与展望 / 166

一、不可再生能源分析的结论 / 166

二、可再生能源分析的结论 / 168

三、进一步研究的问题 / 169

参考文献 / 171

重要术语索引表 / 187

附 录 / 190

后 记 / 199

第一章

绪论

近年来随着中国经济的快速发展,能源供给与需求逐年提高,对经济的支撑作用越来越明显,反过来,经济发展也推动能源供求进一步的增长。与快速发展的经济一样,中国能源的问题也逐渐成为人们关注的焦点,尤其是供求关系和变化趋势的预测。当然,新能源的发展也是能源产业变革的一个重要力量,中国的新能源产量增长较快,能否起到能源供给的补充作用,也要通过供求的变化趋势分析和预测来解决。

第一节 研究背景

一、不可再生能源的生产

随着近代工业不断发展,煤炭、石油和天然气等不可再生能源被大量开采和使用,对经济和社会发展一直起着至关重要的作用。然而,由于这些资源不可再生,剩余储量能否支撑各国经济的发展是个由来已久的话题。近年来中国和印度等新兴工业国家在国际能源市场中的地位凸显,使这个敏感问题备受关注。以石油为例,由于能源市场中新增需求巨大,供不应求使市场价格不断攀升,虽然石油输出国组织不断调整产量以平抑日益高涨的石油价格,但快速上升的需求仍然难以抑制,煤炭和焦炭等基本工业能源都或多或少地存在这样的问题。这也使人们不得不更加谨慎而严肃地面对和讨论不可再生能源的供应能力问题。专家们经常讨论在未来一定时间内是否会发生不可再生能源的枯竭问题,更接近现实生活的议题是不可再生能源的供不应求是否会影响经济发展。

不可再生能源的供给研究有两个主要学派,分别是经济学派和地质学派。经济学派认为随着经济和技术的发展,社会可以提供足够的能源供给;而根据能源供给的各种表现,越来越多的学者开始关注地质学派的有限供给论。自从1990年Campell采用Hubbert模型讨论全球石油产量高峰之后,Hubbert模型的研究再度成为热点问题。Zittel、Szklo和Woodsite采用Hubbert理论分别对英国、巴西和澳大利亚等地石油供给趋势做了分析和预测,中东和北非等重要产油区的石油产量趋势更加引人注意,很多学者计算和预测各主要产油国的石油产量高峰及高峰年份。Hallock、Wood和Laherrere等学者讨论了Hubbert曲线的形状和对称性,在方法上进一步完善Hubbert模型的计算方法。由于能源需求与经济发展的密切关系,学者们采用各种方法预测在经济发展中能源需求的变化趋势,包括神经网络法、模糊逻辑

法、非线性统计法和计量经济模型等方法。

二、可再生能源的生产

如果说 20 世纪 70 年代化石能源供给能力的降低促进了清洁能源的技术研发,那么 21 世纪初减少污染气体排放的低碳经济则使清洁能源的商业推广和普遍消费变成现实。为了迎接环境挑战,世界各国逐渐形成共识,认为发展可再生能源和节能减排是支撑能源体系发展的主要力量。

美欧等国和地区在清洁能源的发展方面取得很多成绩。如美国大力发展风能、生物质能源等新能源,以改善经济增长,其中生物燃料产业在经历了近 10 年快速发展后,产量已跃居世界第一。巴西的生物燃料产业不仅提高了节能减排的能力,还为整个国家的经济发展带来更多机会,是发展中国家技术革新形成支柱产业、带动经济快速发展模式的生动体现,其贡献不仅局限于生物燃料产业的发展,也提供了发展中国家,尤其是同样拥有热带地理环境优势的国家,改善经济发展的经验。

中国自改革开放以来,加快了工业化的进程,重工业和轻工业发展迅速,同时环境问题也层出不穷,石油、天然气的进口依赖程度不断提高。目前中国经济不但面临经济体制、政治体制的转型与深入改革,还需要将经济增长方式向集约型转变,提高资源与要素的使用效率,通过技术创新来提高生产效率和经济效益,实现经济的可持续发展。发展可再生能源产业是增加清洁能源供应、减少碳排放和环境污染的有效途径,但是与发达国家、甚至像巴西这样的发展中国家相比,我国可再生能源产业的发展速度相对较慢,对能源产业供给能力的补充作用有限。

在可再生能源中,美欧等发达国家和地区发展生物燃料是从满足能源供给不足的角度考虑,致力于推动能源替代。我国 2001 年试点推广生物乙醇项目,是在玉米燃料乙醇技术成熟的条件下,解决 1999 年以来粮食大量积压、增加财政负担的问题。由于我国能源作物原材料充足,2009 年即成为继美国、巴西之后第三大生物燃料生产国。产量的上升引起了国内外的关注,也使国际上广泛的生物质能源作为替代能源发展的讨论延伸到我国。研究表明,我国生物质能源的发展可以改善和保护国内环境,明显降低二氧化碳的排放;在保障能源安全方面,生物燃料可以取代电力部门、运输领域、城镇

农村供暖等的部分化石燃料。这些优势提振了政府推动生物燃料产业的信心,增加了鼓励政策和技术研发的投入,企业也增强了融资、扩大生产规模的能力。从积极的角度讲,一代生物燃料的产量分析,可以作为能源替代和能源供给能力变化研究的基础。

三、不可再生能源的消费

对能源消费与经济增长关系的研究开始得较早,人们普遍认为经济增长会拉动能源消费,这些研究普遍关注的是以不可再生能源消费为主的能源消费总量。当经济快速增长时,即国内生产总值 GDP 大幅提高,一方面是由于生产效率得到提高,另一方面是由于创造新增产值的经济活动有所增加。在生产效率一定的情况下,经济活动增加,消耗的能源就会增加。实际上生产效率会逐渐提高,单位 GDP 的能源消耗会随着能源节约呈下降的趋势,但相对经济产值的提高速度,能源节约则要缓慢得多。

许多学者都对能源消费与经济增长的关系进行了实证分析,结论也证实了这种关系,在世界主要经济体维持稳步发展、新兴工业国家不断出现的情况下,世界能源消费总量也逐渐攀高。2004 年全世界能源消费总量为 102.24 亿吨油当量,比上年增长 4.32%。其中中国能源消费量为 13.86 亿吨油当量,比上年增长 15.11%,占世界能源消费量的 13.56%,居美国之后成为世界第二大能源消费国。2007 年全球能源消费总量提高到 110.993 亿吨油当量,在能源消费结构中,石油平均占 35.6% (比 2006 年的 35.8% 下降 0.2%)、煤炭平均占 28.6% (比 2006 年的 28.4% 上升 0.2%),其中中国消费了 18.63 亿吨油当量,占世界能源消费的 16.8%。由此可见,无论从消费数量还是所占比例方面,中国 2007 年的能源消费都比 2004 年有明显增长。

在影响因素的研究中,能源消费分解模型应用较广,方法本身也得到了不同程度的改进,Howarth、Park、Boyd、Liu、Ang 和 Lee 等学者对 Laspeyres 指数算法与 Divisia 指数算法的改进都做出了重要的贡献。其中能源消费分解模型虽然不能预测未来的变化趋势,但能评价影响能源消费增量因素的贡献率。

在 1992 年之前,中国石油生产中有一部分可用于出口创汇,在 1992 年之后,国内需求超过供给能力,成为纯石油进口国。到 2007 年石油对外依存

度已经接近 50% 的水平。以石油为代表的能源价格上涨会使企业生产成本提高,并进一步推动社会商品价格上涨,加剧通货膨胀的压力。另外,前些年能源供应不及时的事件也给人们留下深刻印象,如 2004 年我国出现大面积拉闸限电的现象,给当地经济和企业生产都造成了严重影响,给居民生活带来不便。虽然由于 2008 年之后经济增速下降缓解了能源供求的矛盾,但问题并没有消失,实际上提高能源供给能力是解决供求失衡问题的关键。

四、可再生能源的消费

我国能源产业以往的发展突出了煤炭、石油等化石能源的作用,这与当时的化石能源资源储量较高、生产成本相对较低有关。但是随着经济发展对能源需求快速增长的趋势越发明显,很多煤炭产区资源枯竭,石油和天然气大量依赖进口,地缘政治格局的变化提高了我国获取外国能源的成本,这些都为我国能源产业的发展提出了前所未有的挑战。可再生能源中风能、生物质能源产业在这样的背景下逐渐发展起来,其中以生物燃料为主的生物质能源被寄予厚望,引进技术的吸收,甚至是能源转化技术的研发创新都得到了能源政策的鼓励。

随着国际生物燃料产量不断上升,清洁能源消费的使用理念逐渐为普通消费者所熟悉,包括其他可再生能源在内,都有可能得到更广泛的使用。但是当前中国生物燃料的消费普及还存在一些问题,在消费理念、产品质量和销售模式等方面需要进一步完善,以使我国的能源品种不断增加、消费结构不断优化。

第二节 问题提出

一、能源供给方面

世界能源供求缺口和价格波动不免让人思考:为什么在尚有相当数量的煤炭、石油储量的情况下会出现供给能力不足和价格的大幅上涨? Hubbert 理论讨论的能源供给规律可以回答这个问题。目前对 Hubbert 理论和模型的研究热点主要集中在方法改进和应用研究上,预测某地区或全球的

不可再生能源的产量变化规律。然而,虽然 Hubbert 曲线的计算公式和形状不断改善,但是由于数学研究方法的局限,Hubbert 模型有解析算法支持的特征并没有改变。

中国能源供应以煤为主。据国土资源部 2004 年公布,截至 2002 年底中国煤炭可采储量约为 1886 亿吨,占世界煤炭可采储量的 14%。石油储量相对较少,但近年来的大力勘探和石油进口在不同程度上弥补了储量的不足。在以往产量与储量关系的研究中,多以储采比来衡量剩余储量可以支撑未来生产的年限,即剩余储量与当年产量的比值,这个比值越大说明剩余储量能保证正常能源供应的期限越长。这个线性的比值在一定程度上可以反映剩余储量的富余程度,但是很难反映出能源生产能力的变化,而生产能力直接影响到能源的供求关系。因此,讨论能源生产能力的变化规律对于研究能源供求问题更直接、更具有针对性。

二、能源消费方面

能源消费的变化趋势可以用消费增量来反映。影响能源消费增量的因素有很多,因素分解理论应用到能源消费领域之后,人们普遍将经济增长、技术进步和产业结构等因素作为影响能源消费增长的主要因素,并用量化方法评价出各影响因素对增量的贡献率,为分析增量的动力来源提供非常有效的分析工具。在能源消费分解模型的发展过程中,学者们给出多种分解公式,逐渐剔除分解结果中的误差项。Sun 于 1996 年给出完全分解模型的公式,将误差项也分解到各影响因素的影响效应之中。然而,分解模型的改善与发展都是在解析算法的框架之内,各种公式都是针对过去已有年份的计算和分解,不能预测未来能源消费的变化趋势及其因素贡献率。

中国能源需求的预测也比较引人关注,很多学者采用不同的方法进行分析和预测。比如有研究给出了能源消费随经济增长或技术进步等影响因素变动的时序分析,来预测能源消费的变化趋势,但在这些研究中没有重视中国能源消费主要影响因素共同作用时的贡献。另有学者讨论能源消费的影响因素贡献率,但对于分解模型的改进未能涉及能源消费的需求预测。

另外,在生物燃料的消费方面,各国均以颁布能源政策的方式推动生物