



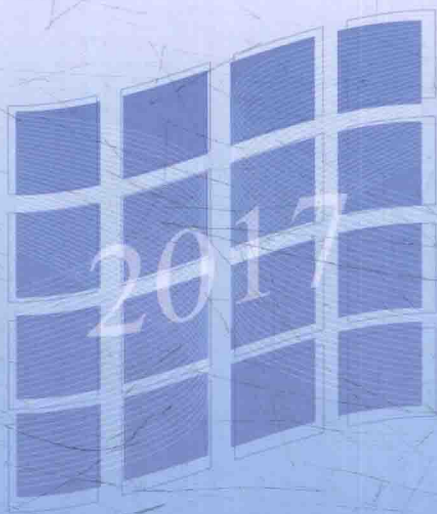
教育部哲学社会科学系列发展报告

MOE Serial Reports on Developments in Humanities and Social Sciences

中国能源发展 报告2017

China Energy Outlook 2017

主 编 林伯强



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



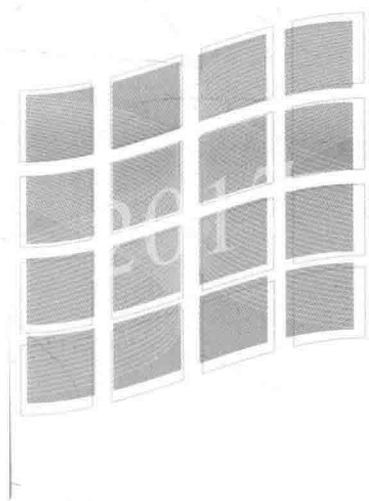
教育部哲学社会科学系列发展报告

MOE Serial Reports on Developments in Humanities and Social Sciences

中国能源发展 报告2017

China Energy Outlook 2017

主 编 林伯强



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

中国能源发展报告. 2017/林伯强主编. —北京:北京大学出版社, 2017. 12

(教育部哲学社会科学系列发展报告)

ISBN 978-7-301-28967-9

I. ①中… II. ①林… III. ①能源发展—研究报告—中国—2017 IV. ①F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 297058 号

- 书 名 中国能源发展报告 2017
ZHONGGUO NENGYUAN FAZHAN BAOGAO 2017
- 著作责任者 林伯强 主编
- 责任编辑 王树通
- 标准书号 ISBN 978-7-301-28967-9
- 出版发行 北京大学出版社
- 地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871
- 网 址 <http://www.pup.cn>
- 电子信箱 zpup@pup.cn
- 新浪微博 @北京大学出版社
- 电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752021
- 印刷者 北京大学印刷厂
- 经 销 者 新华书店
- 730 毫米×980 毫米 16 开本 20.5 印张 400 千字
- 2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷
- 定 价 60.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话: 010-62756370

前言

2016年9月G20峰会期间,中国向联合国递交了《巴黎气候变化协定》(《巴黎协定》)的批准文书。该协定是于2015年末在巴黎气候变化大会上通过,旨在应对全球气候问题的国际法律文本,明确了“把全球平均气温较工业化前水平升高控制在2摄氏度之内,并把升温控制在1.5摄氏度之内”的具体目标。可以预见,如果未来《巴黎协定》生效,在减排压力的推动下,中国政府的低碳经济转型和能源结构调整力度将进一步加大。

除了来自国际上的低碳压力,中国国内能源利用效率 and 环境污染现状也令人堪忧。中国每千克油当量创造的GDP,只有日本的53%、意大利的41%。不仅如此,中国东部地区单位面积的煤炭消耗为全球平均水平的12倍,单位面积的环境负荷是全球平均水平的6倍。2017年新年的第一周,许多地方包括部分南方省市都陷入雾霾之中,虽然有气候的原因,但北方冬季雾霾与燃煤取暖有很大关系,应该是个不争的事实。冬季北方许多城市周边、农村等地区没有集中供暖,大量采用分散燃煤小锅炉等方式取暖,污染物排放量很大。

出于国际减排目标和国内治理雾霾等环境问题的诉求,政府一直在努力推进能源结构调整,促进行业节能减排。现阶段任何致力于清洁低碳发展的政策都具有减排效应。而如何通过市场机制和宏观调控,更有效地提高能源效率和进行节能减排,是中国政府采取应对措施的重要方面。

具有针对性的减少碳排放机制,应首推碳税和碳交易。碳税采取的是价格干预,试图通过相对价格的改变来引导经济主体的行为,以降低排放数量。而碳交易则通过数量干预,在规定排放配额下,由市场交易来决定排放权的分配。碳税短期效果更好,能促使国内高碳、能源密集型产业尽快实现较大减排。而中长期看,基于总量控制的市场碳交易,应该是实现碳减排成本最低、效率最明确的政策工具。

在传统能源方面,能源发展“十三五”规划提出“2020年能源消费总量控制在50亿吨标煤内”和“实现2020年天然气比重提升至10%”的目标。从政策层面鼓励和引导天然气的发展和使用,特别是考虑到雾霾治理的需要,北方许多省市近



几年相继出台政策整改燃煤锅炉和电厂“煤改气”，推动天然气供热和发电。但由于天然气价格优势并不明显，工商业用户和大部分居民“煤改气”动力不足。

对此，一方面，政府要通过行业体制改革和价格改革推动生产、促进市场竞争。在完善天然气定价改革的同时，加快“管住中间，放开两头”的体制改革，增加输气管网长度，实现政府监管自然垄断的管网输配气价格，逐步放开天然气气源和销售价格，促进天然气市场竞争多元化。另一方面，面临国际低油气价格，中国政府仍需要推动非常规天然气生产，鼓励页岩气、煤层气等非常规能源的开采和开发，保持一定比例的煤制油、煤制气。

对于清洁能源，政府需要着力解决“弃风弃光”问题和生物质能发展滞后的问题。中国弃风弃光的核心矛盾在于发电与负荷的空间不匹配。为此，中国新能源需要从模仿、学习向创新、开拓转变，走出一条自己的发展之路；需要在大环境下审视弃风弃光问题；需要根据能源发展“十三五”规划，大力发展抽水蓄能、调峰气电、热电灵活性改造等消纳手段；新能源发电特别是光伏发展重点应逐步向分布式倾斜，向东中部地区倾斜。

中国生物质能源成本相对较高，非粮生物质液体燃料的技术还不成熟，国家在相关领域的科研支持和投入还相对较小，技术发展比较缓慢。在生物质能源发展的鼓励政策上，政府必须十分慎重和具有选择性。在扶持发展生物能源的过程中，政府除了应当把握不能“与粮争地”的基本原则，还必须用相应的财税扶持政策鼓励生物质能源的技术进步和推广。

除此之外，还要大力发展城市轨道交通和推广电动汽车的使用。城市轨道交通将分散的出行方式集中化，提高了运输量和运行速度，既有利于缓解城市交通拥堵和雾霾治理，又有益于减少石油消费，保障国家能源安全。而新能源汽车相对传统汽车有利于减少石油消费和环境保护。

当前中国的“一带一路”建设正在逐步实施，推动中国不断深化与周边各国和区域的战略合作。在能源领域，加强与沿线国家的能源合作是“一带一路”构想的重要着力点，具体包含传统能源领域尤其是油气资源合作以及清洁能源方面的合作。国家能源局发布的《2016年能源工作指导意见》中，明确提出加强国际能源合作，加快推进重大能源装备“走出去”。在相关领域开展合作将使双方资源优势和设备优势形成互补，这对清洁能源的开发利用和实现绿色经济转型和节能减排而言，是一个良好的契机。

《中国能源发展报告2017》力图全方位地研究和报告上述重要和热点问题。主要分为两个部分：第一部分为行业能源发展与利用，第二部分介绍2017年能源热点问题。其中，第一部分包括第一章至第三章，主要介绍轻工业、重工业、服务业及其子行业的能源发展和利用情况以及能源效率、反弹效应、节能潜力和碳排放

放问题的研究;第二部分包括第四章至第八章,主要介绍可再生能源、中国新能源汽车、居民电力消费与电价、碳交易等。

《中国能源发展报告》系列从 2010 年起获得教育部哲学社会科学系列发展报告资助。本书还得到福建省能源经济与能源政策协同创新中心资金、厦门大学繁荣计划特别基金、福建省新华都商学院的资助,新华都能源经济与低碳发展研究院在数据采集、分析处理、模型建立等方面提供了大力支持。

本书是团队合作的结果,厦门大学管理学院、能源政策研究院、能源经济与能源政策协同创新中心以及厦门大学中国能源经济研究中心的陈星、陈先鹏、陈语、陈宇芳、杜之利、葛佳敏、龚旭、贺家欣、李振声、刘畅、刘奎、柳炜升、谭睿鹏、田鹏、王爱伦、仵金燕、吴微、张广璐、张珊珊、赵红丽、郑清英、朱俊鹏、Shirley Lin 等博士研究生、硕士研究生参与了编写。厦门大学能源经济与能源政策协同创新中心及中国能源经济研究中心的所有教师、科研人员、行政人员、研究生为本书编写提供了诸多的帮助。特别感谢我的博士生刘畅和陈子月所做的大量组织和出版协调工作。北京大学出版社编辑对本书的出版做了大量细致的工作,深表感谢。我们深知所做的努力总是不够,不足之处,望读者指正。

林伯强

2017 年 6 月于厦门

目 录

第一部分 行业能源发展和利用

第 1 章 重工业能源发展利用	003
1.1 重工业能源发展利用	003
1.2 重工业——高耗能行业能源发展和利用	012
1.3 重工业——有色金属工业能源发展和利用	026
1.4 重工业——机械工业的能源发展利用	044
第 2 章 轻工业能源发展利用	052
2.1 轻工业的能源发展和利用	052
2.2 轻工业——纺织业能源发展利用	070
2.3 轻工业——造纸行业能源发展利用	080
第 3 章 服务业能源发展利用	093
3.1 服务业能源发展利用	093
3.2 服务业——商业部门的能源发展和利用	104

第二部分 2017 年能源热点问题

第 4 章 能源热点问题之——可再生能源发展	125
4.1 风电行业发展	125
4.2 生物质能发展	138



第5章 能源热点问题之——新能源汽车	159
5.1 环境与能源安全约束下新能源汽车的发展路径	159
5.2 电动汽车购买意愿研究	177
5.3 电动汽车发展对电网的影响	191
第6章 能源热点问题之——居民电力消费与电价	198
6.1 中国居民电力消费	198
6.2 节能减排背景下的居民用电行为与节电意识	200
6.3 中国居民电价与阶梯电价政策	209
6.4 阶梯电价政策目标实现	212
第7章 能源热点问题之——碳交易市场	223
7.1 中国碳交易市场的发展	223
7.2 中国碳交易试点地区运行概况	228
第8章 能源热点问题之——其他问题	249
8.1 中国能源消费和环境污染	249
8.2 产业结构升级与能源转型	265
参考文献	275
附录1 中国能源领域相关数据	283
附录2 2016年国内能源大事记	303
附录3 2016年国际能源大事记	311

第一部分
行业能源发展
和利用

第1章 重工业能源发展利用

1.1 重工业能源发展利用

1.1.1 重工业能源消费现状

重工业指为国民经济各部门提供物质技术基础的主要生产资料的工业。“重工业”是“轻工业”的对称,提供生产资料的部门称为重工业,生产消费资料的部门称为轻工业。重工业包括钢铁、冶金、机械、能源(电力、石油、煤炭、天然气等)、化学、材料学等工业,是为国民经济各部门提供技术装备、动力和原材料的基础工业。它为国民经济各部门(包括工业本身)提供原材料、燃料、动力、技术装备等劳动资料和劳动对象,是实现社会再生产和扩大再生产的物质基础。一个国家重工业的发展规模和技术水平,是体现其国力的重要标志。

从产业链的角度来讲,重工业在产业链中多为上游行业,主要为整体经济运行提供能源和原材料。这就意味着能耗高是重工业的主要特征。从统计数据来看,中国重工业的能源消费量占全国能源消费总量的比重接近 65%,重工业终端电力消费量占全社会用电总量的比重也超过 60%。

进入 21 世纪以来,伴随着经济的快速增长,中国一次能源消费总量也在迅速增长。2009 年,中国正式超过美国,成为世界上最大的能源消费国。2015 年,中国一次能源消费总量约为 30.14 亿吨油当量,占世界总量的 22.92%。而美国的一次能源消费自 2005 年达到 23.50 亿吨油当量的峰值之后,整体上保持平稳并略微下降;与此同时,美国一次能源消费占世界的比重则自 2000 年以来一直保持快速下降的趋势。2016 年美国一次能源消费总量约为 22.80 亿吨油当量,占世界总量的 17.35%(图 1-1)。

中国的能源消费以化石能源为主,迅速增长的能源消费和以化石能源为主的能源结构,导致中国因能源消费而产生的二氧化碳迅速增长。2015 年,中国二氧化碳排放量约为 91.54 亿吨,占当年世界二氧化碳排放总量的 27.3%。随着人们对全球气候变暖问题的日益关注,中国面临着巨大的节能减排压力。

中国的能源消费主要集中在重工业,重工业的能源消费占全国能源消费总量的 65%以上。新中国成立以来,中国建成了门类齐全的工业体系,但行业之间的不同特点往往导致行业之间的能源消费和能源强度存在着巨大的差异。这就要

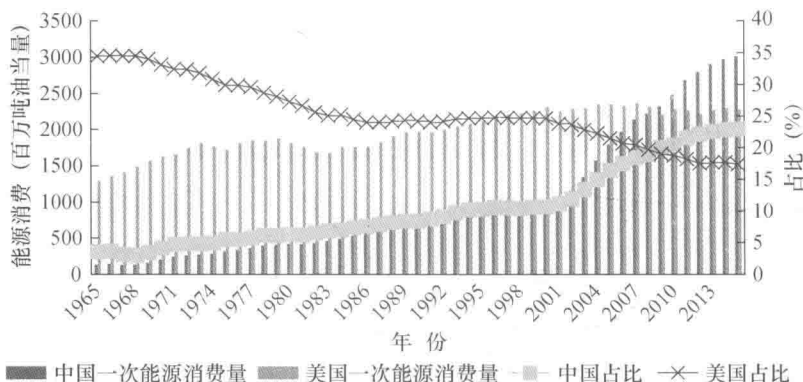


图 1-1 中国和美国一次能源消费及世界占比

求我们在制定节能减排政策的过程中,应该针对不同行业的不同特点做出对应的安排,不能一概而论。

近年来,能源替代被认为是解决人类发展过程中面临的资源约束与环境压力、实现可持续发展的重要途径之一。能源替代分为内部替代和外部替代:前者主要是能源结构优化,包括改变各能源品种在一次能源消费结构中的比重以及可再生能源的开发利用等;后者指包括能源、资本和劳动在内的社会资源有效配置,通常在能源相对价格变化的基础上,通过调节其他要素投入比重来实现能源投入的边际生产最优化进而达到节约能源的目的。由于内部替代受资源禀赋和技术成本等因素的影响较大,因而人们往往更关注于对能源与其他投入要素之间的外部替代问题。

1.1.2 重工业能源替代问题^①

在大多数能源经济问题的实证研究中,采用技术进步中性假设的常替代弹性生产函数(Constant Elasticity of Substitution, CES)最为常见。但是考虑到实际经济系统中各种投入要素对产出的影响并不仅仅与该投入要素的变化相关,而且各种投入要素的技术进步也不相同。显然 CES 不能全面反映投入要素间的相互作用和关系。因此针对能源替代问题的研究大多采用超越对数生产函数来进行。

超越对数生产函数(Translog Production Function, TPF)是一种变弹性生产函数,可以视为任何形式生产函数的二阶泰勒级数近似。但是 TPF 和 CES 在估计能源与其他投入要素之间的替代关系时存在多重共线性的问题。因为 TPF 假设所有的投入要素都是内生的,这样在使用线性回归方法进行分析时会与其假设

^① 本节在参考“Lin Boqiang and Liu Kui, 2017. Energy substitution effect on China's heavy industry: perspectives of a translog production function and ridge regression. Working Paper”的基础上修改完成。

相冲突,进而导致对能源与其他要素之间的替代弹性的估计产生偏差。

从原理上来看,多重共线性并不影响最小二乘法估计量的无偏性和最小方差性(高斯-马尔科夫定理, Gauss-Markov Theory),但是虽然最小二乘估计量在所有线性估计量中是方差最小的,但是这个方差却不一定小,而实际上可以找到一个有偏估计量,这个估计量虽然有较小的偏差,但它的精度却能够较大幅度地高于无偏估计量。

岭回归分析就是根据这个原理,通过引入有偏常数而求得回归估计量的一种能统一诊断和处理多重共线性问题的特殊方法。在多重共线性问题十分严重的情况下,两个共线性的系数之间的二维联合分布是一个山岭状曲面,曲面上的每一个点均对应一种残差平方和,点的位置越高,相应的残差平方和越小,因此山岭的最高点和残差平方和的极小值相对应,相应的参数值便是参数的 OLS 估计值。

岭回归实质上是一种改良的最小二乘估计法,通过放弃最小二乘法的无偏性,以损失部分信息、降低精度为代价,获得回归系数更为符合实际、更可靠的回归方法,对病态数据的耐受性远远强于最小二乘法。

超越对数生产函数模型由克里斯滕森(Christensen et al., 1973)最早提出,一个包含两个投入要素的生产函数的超越对数生产函数形式为

$$\ln(y) = \theta_0 + \theta_1 \ln(x_1) + \theta_2 \ln(x_2) + \theta_3 \ln(x_1)^2 + \theta_4 \ln(x_2)^2 + \theta_5 \ln(x_1) \times \ln(x_2) \quad (1-1)$$

超越对数生产函数属于变弹性生产函数模型,具有易估性和包容性两大优点。易估计的原因在于它是一个简单线性模型,可以直接采用单方程线性模型的估计方法进行估计。包容性则是指它可以近似任何形式的生产函数,如令 $\theta_3 = \theta_4 = \theta_5 = 0$,可转化为 Cobb-Douglas 生产函数,再如令 $\theta_3 = \theta_4 = -0.5\theta_5$,则可转化为常替代弹性生产函数。因此可利用超越对数生产函数有效研究生产函数中各个投入要素之间的相互影响以及各种技术进步的差异。

取中国重工业的年工业增加值(y)作为被解释变量,行业能耗(e)、资本存量(k)及全部从业人员数(l)作为解释变量,我们构建了如下模型:

$$\begin{aligned} \ln(y) = & \theta_0 + \theta_k \ln(x_k) + \theta_l \ln(x_l) + \theta_e \ln(x_e) + \theta_{kk} \ln(x_k)^2 \\ & + \theta_{ll} \ln(x_l)^2 + \theta_{ee} \ln(x_e)^2 + \theta_{kl} \ln(x_k) \times \ln(x_l) \\ & + \theta_{ke} \ln(x_k) \times \ln(x_e) + \theta_{le} \ln(x_l) \times \ln(x_e) \end{aligned} \quad (1-2)$$

要素产出弹性的定义是在技术水平和要素价格不变的前提下,某一要素投入量的相对变动所引起的产出量的相对变动。不同要素之间替代弹性的定义为:在技术水平和要素价格不变的前提下,边际技术替代率的相对变动所引起的生产要素投入比例的相对变动。在模型(1-2)的基础上,可以推算出不同要素间的替代弹性。

在经济增长、效率分析等方面的研究中,资本存量(k)十分重要,其质量对研



究结论往往具有决定性的作用,特别是资本存量这种不可直接观察,只能通过估算获得的变量。目前学术界针对资本存量估算的研究十分丰富,这些研究主要基于戈德史密斯(Goldsmith,1951)开创的永续盘存法。

本文在研究过程中引用陈诗一(2011)的研究结果,根据前文中对重工业的定义,对其所包含的子行业数据加总进而得出重工业的资本存量,并基于同样的研究方法推算了2009—2014年的数据,从而得到完整的1990—2014年重工业资本存量数据,数据统一用1990年不变价表示。

重工业能源消费数据同样来自于其所包含的子行业各自能源消费数据加总,1995—2011年各子行业的能源消费数据来自《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》。由于统计口径变化,1990—1994年统计年鉴中关于行业划分标准与1995年之后有所不同,1995年之后行业划分更加详细。因此1990—1994年重工业能源消费数据来自对区间内重工业所包含的两位数行业数据加总,缺失行业的能源消费数据已包含在其他行业当中。从数据平稳性来看这样的处理方式是合理的。

陈诗一(2011)对1980—2008年工业分行业的工业增加值及从业人员都有详细的统计,本文研究中所采用的工业增加值及从业人员数据同样来自其研究结果,并采用相同的方式对2009—2014年的相关数据进行了估算。

正如前文所述,超越对数生产函数的假设,给实证模型的参数估计带来了多重共线性的问题,导致普通最小二乘估计失效。从表1-1的检验结果来看,重工业的产出同资本、劳动和能源三种投入要素之间存在着显著的多重共线性问题。为了解决模型出现的多重共线性的问题,我们使用岭回归代替普通最小二乘法。

表 1-1 多重共线性检验

		y	k	l	e
y	皮尔逊相关系数	1	0.991**	0.827**	0.976**
	显著性水平		0	0	0
	观测值	35	35	35	35
k	皮尔逊相关系数	0.991**	1	0.854**	0.989**
	显著性水平	0		0	0
	观测值	35	35	35	35
l	皮尔逊相关系数	0.827**	0.854**	1	0.874**
	显著性水平	0	0		0
	观测值	35	35	35	35
e	皮尔逊相关系数	0.976**	0.989**	0.874**	1
	显著性水平	0	0	0	
	观测值	35	35	35	35

注:**表示在1%水平下具有显著的多重共线性。表中各变量的含义依次为, y 是重工业增加值, k 是重工业资本存量, l 是重工业劳动投入, e 是重工业能源投入。

表 1-2 不同 k 值下的可决系数以及系数估计结果

k	RSQ	$\ln k$	$\ln l$	$\ln e$	$\ln k \ln k$	$\ln k \ln l$	$\ln k \ln e$	$\ln l \ln l$	$\ln l \ln e$	$\ln e \ln e$
0.00	0.9984	15.1871	5.7819	-21.2592	-6.4124	-35.1092	35.2057	-5.0518	38.2264	-26.5467
0.05	0.9911	0.0983	-0.1029	0.1913	0.1529	0.0765	0.2100	-0.0784	0.1581	0.2573
0.10	0.9885	0.1282	-0.0760	0.1773	0.1594	0.0905	0.1898	-0.0620	0.1379	0.2150
0.15	0.9862	0.1354	-0.0570	0.1683	0.1579	0.0955	0.1784	-0.0470	0.1298	0.1953
0.20	0.9838	0.1370	-0.0423	0.1615	0.1548	0.0980	0.1701	-0.0343	0.1251	0.1828
0.25	0.9815	0.1365	-0.0303	0.1560	0.1514	0.0993	0.1636	-0.0236	0.1219	0.1737
0.30	0.9792	0.1353	-0.0204	0.1514	0.1481	0.1001	0.1583	-0.0146	0.1195	0.1666
0.35	0.9771	0.1338	-0.0120	0.1474	0.1451	0.1005	0.1537	-0.0069	0.1176	0.1608
0.40	0.9750	0.1321	-0.0049	0.1440	0.1422	0.1007	0.1498	-0.0003	0.1160	0.1560
0.45	0.9731	0.1305	0.0012	0.1409	0.1396	0.1007	0.1463	0.0054	0.1145	0.1518
0.50	0.9712	0.1289	0.0066	0.1382	0.1372	0.1007	0.1432	0.0104	0.1133	0.1481
0.55	0.9693	0.1273	0.0113	0.1357	0.1350	0.1005	0.1404	0.0148	0.1122	0.1448
0.60	0.9675	0.1258	0.0154	0.1335	0.1329	0.1003	0.1379	0.0187	0.1111	0.1419
0.65	0.9658	0.1243	0.0191	0.1314	0.1310	0.1001	0.1356	0.0221	0.1101	0.1393
0.70	0.9641	0.1229	0.0223	0.1295	0.1292	0.0998	0.1334	0.0252	0.1092	0.1369
0.75	0.9624	0.1216	0.0252	0.1277	0.1275	0.0995	0.1315	0.0280	0.1083	0.1346
0.80	0.9607	0.1203	0.0279	0.1260	0.1259	0.0991	0.1296	0.0304	0.1075	0.1326
0.85	0.9591	0.1191	0.0302	0.1245	0.1244	0.0988	0.1279	0.0327	0.1067	0.1307
0.90	0.9575	0.1180	0.0323	0.1230	0.1230	0.0984	0.1263	0.0347	0.1060	0.1289
0.95	0.9559	0.1168	0.0343	0.1216	0.1216	0.0981	0.1247	0.0365	0.1052	0.1272
1.00	0.9544	0.1158	0.0360	0.1203	0.1203	0.0977	0.1233	0.0382	0.1045	0.1256

注: RSQ 表示不同 k 值下的可决系数; $\ln k$ 、 $\ln l$ 、 $\ln e$ 分别表示资本存量、劳动投入和能源投入的对数形式。 $\ln k \ln k$ 、 $\ln k \ln l$ 、 $\ln l \ln l$ 、 $\ln l \ln e$ 、 $\ln e \ln e$ 分别表示 $\ln k$ 、 $\ln l$ 、 $\ln e$ 的乘积项。



敏感性分析表明,结果对于如何选择岭参数的值不是非常敏感。因此,本文通过曲线图和 VIF 来确定最佳 k 值。根据表 1-2 中不同 k 值的 r^2 和岭回归系数的变化,当 k 介于 0.30~0.40 之间时,大多数值变得稳定。当 k 小于 0.30 时,系数值全部不稳定,随 k 变化而变化的幅度较大。

我们还可以从图 1-2 中的超越对数生产函数的变量的岭迹图中看出,当 k 到达 0.35 附近时,岭迹线变得稳定。

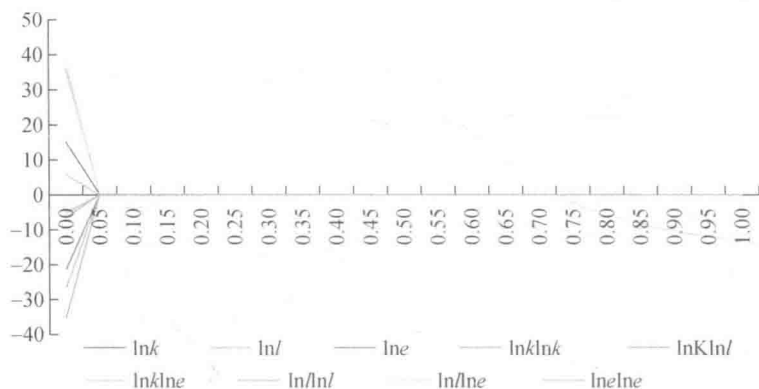


图 1-2 不同 k 值下各变量的岭迹图

注: $\ln k$ 、 $\ln I$ 、 $\ln e$ 分别表示资本存量、劳动投入和能源投入的对数形式。

岭回归结果如表 1-3 所示。相关统计检验显示,岭回归模型结果显著。所有统计测试指标,如调整 R^2 ,标准误差 (SE),回归方程的显著性水平 (F 和 $\text{Sig}F$ 的值)以及方差分析表都反映出它是一个合理的模型。更重要的是,这种模型是否良好不仅取决于岭回归是否有效地克服了多重共线性问题,还取决于估计参数是否合理。从表 1-3 可以看出,由于标准误差较小,系数的统计检验是理想的,其中 66.7% 小于 0.01,且均小于 0.10。因此,岭回归估计是合理的。

表 1-3 岭回归结果

	系 数	标准差	β 系数
$\ln k$	0.179 54	0.011 01	0.133 78
$\ln I$	-0.04 644	0.061 61	-0.012 04
$\ln e$	0.269 51	0.012 93	0.147 41
$\ln k \ln k$	0.009 26	0.000 50	0.145 07
$\ln k \ln I$	0.011 52	0.000 48	0.100 51
$\ln k \ln e$	0.014 83	0.000 68	0.153 73
$\ln I \ln I$	-0.001 60	0.003 64	-0.006 94
$\ln I \ln e$	0.019 45	0.000 72	0.117 58
$\ln e \ln e$	0.023 70	0.001 19	0.160 84
常数项	1.480 61	0.624 12	0.000 00

注: $\ln k$ 、 $\ln I$ 、 $\ln e$ 分别表示资本存量、劳动投入和能源投入的对数形式。

根据岭回归的结果,方程(1-2)可以重新表示为

$$\begin{aligned}\ln(y) = & 1.48061 + 0.17954 \ln(x_k) - 0.04644 \ln(x_l) + 0.26951 \ln(x_e) \\ & + 0.00926 \ln(x_k)^2 - 0.00160 \ln(x_l)^2 + 0.02370 \ln(x_e)^2 \\ & + 0.01152 \ln(x_k) \times \ln(x_l) + 0.01483 \ln(x_k) \times \ln(x_e) \\ & + 0.01945 \ln(x_l) \times \ln(x_e)\end{aligned}\quad (1-3)$$

根据公式(1-3)中的系数,可以得到各投入要素的产出弹性和投入要素之间的替代弹性。结果见表 1-4。

表 1-4 各要素的产出弹性和要素间替代弹性

年 份	资本产出弹性	劳动产出弹性	能源产出弹性	资本劳动替代弹性	资本能源替代弹性	劳动能源替代弹性
1980	0.5115	0.1317	0.7969	0.9406	0.9482	1.0178
1981	0.5123	0.1322	0.7971	0.9407	0.9480	1.0177
1982	0.5148	0.1337	0.8012	0.9411	0.9483	1.0176
1983	0.5181	0.1358	0.8069	0.9415	0.9487	1.0174
1984	0.5220	0.1381	0.8134	0.9420	0.9493	1.0172
1985	0.5260	0.1406	0.8204	0.9425	0.9498	1.0169
1986	0.5303	0.1433	0.8274	0.9430	0.9503	1.0167
1987	0.5340	0.1456	0.8332	0.9435	0.9506	1.0165
1988	0.5378	0.1479	0.8394	0.9439	0.9510	1.0163
1989	0.5405	0.1496	0.8438	0.9442	0.9513	1.0162
1990	0.5428	0.1510	0.8472	0.9445	0.9515	1.0161
1991	0.5457	0.1528	0.8525	0.9448	0.9519	1.0159
1992	0.5484	0.1545	0.8575	0.9451	0.9523	1.0158
1993	0.5513	0.1563	0.8634	0.9454	0.9529	1.0156
1994	0.5543	0.1582	0.8693	0.9457	0.9534	1.0155
1995	0.5586	0.1617	0.8747	0.9461	0.9534	1.0152
1996	0.5612	0.1635	0.8783	0.9464	0.9535	1.0151
1997	0.5629	0.1655	0.8814	0.9466	0.9538	1.0150
1998	0.5623	0.1675	0.8799	0.9466	0.9536	1.0149
1999	0.5627	0.1683	0.8793	0.9466	0.9533	1.0148
2000	0.5636	0.1696	0.8803	0.9467	0.9533	1.0147
2001	0.5655	0.1719	0.8844	0.9469	0.9537	1.0146
2002	0.5672	0.1733	0.8871	0.9471	0.9539	1.0145
2003	0.5723	0.1775	0.8977	0.9475	0.9549	1.0142
2004	0.5789	0.1818	0.9103	0.9481	0.9558	1.0139