



科学人文

The Myth of Resource Efficiency: The Jevons Paradox



[美]约翰·M·波利梅尼 [日]真弓浩三 [西]马里奥·詹彼得罗 [英]布莱克·奥尔科特 著 许洁 译

John M. Polimeni

Kozo Mayumi

Mario Giampietro

Blake Alcott

杰文斯悖论

技术进步能解决资源难题吗

上海世纪出版集团

杰文斯悖论

——技术进步能解决资源难题吗

[美] 约翰·M·波利梅尼

[日] 真弓浩三

[西] 马里奥·詹彼得罗

[英] 布莱克·奥尔科特 著

许 洁 译

图书在版编目(CIP)数据

杰文斯悖论：技术进步能解决资源难题吗/(美)
波利梅尼(Polimeni, J. M.)等著；许洁译. —上海：
上海科学技术出版社，2014.1
(世纪人文系列丛书)
ISBN 978 - 7 - 5478 - 2111 - 4

I. ①杰… II. ①波… ②许… III. ①技术进步—作
用—节能—悖论—研究 IV. ①F062.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 284730 号

责任编辑 廖承琳 朱 洪 张 晨

杰文斯悖论——技术进步能解决资源难题吗

出 版 世纪出版集团 上海科学技术出版社
(200235 上海钦州南路 71 号 www.ewen.cc www.sstp.cn)
发 行 上海世纪出版集团发行中心
印 刷 上海商务联西印刷有限公司
开 本 635×965 mm 1/16
印 张 15.75
字 数 185 000
版 次 2014 年 1 月第 1 版
印 次 2014 年 1 月第 1 次印刷
ISBN 978 - 7 - 5478 - 2111 - 4/N · 79
定 价 40.00 元

世纪人文系列丛书编委会

主任

陈 昕

委员

丁荣生	王一方	王为松	毛文涛	王兴康	包南麟
叶 路	何元龙	张文杰	张英光	张晓敏	张跃进
李伟国	李远涛	李梦生	陈 和	陈 昕	郁椿德
金良年	施宏俊	胡大卫	赵月瑟	赵昌平	翁经义
郭志坤	曹维劲	渠敬东	韩卫东	彭卫国	潘 涛

出版说明

自中西文明发生碰撞以来,百余年的中国现代文化建设即无可避免地担负起双重使命。梳理和探究西方文明的根源及脉络,已成为我们理解并提升自身要义的借镜;整理和传承中国文明的传统,更是我们实现并弘扬自身价值的根本。此二者的交汇,乃是塑造现代中国之精神品格的必由进路。世纪出版集团倾力编辑世纪人文系列丛书之宗旨亦在于此。

世纪人文系列丛书包含“世纪文库”、“世纪前沿”、“袖珍经典”、“大学经典”及“开放人文”五个界面,各成系列,相得益彰。

“厘清西方思想脉络,更新中国学术传统”,为“世纪文库”之编辑指针。文库分为中西两大书系。中学书系由清末民初开始,全面整理中国近现代以来的学术著作,以期为今人反思现代中国的社会和精神处境铺建思考的进阶;西学书系旨在从西方文明的整体进程出发,系统译介自古希腊罗马以降的经典文献,借此展现西方思想传统的生发流变过程,从而为我们返回现代中国之核心问题奠定坚实的文本基础。与之呼应,“世纪前沿”着重关注二战以来全球范围内学术思想的重要论题与最新进展,展示各学科领域的新近成果和当代文化思潮演化的各种向度。“袖珍经典”则以相对简约的形式,收录名家大师们在体裁和风格上独具特色的经典作品,阐幽发微,意趣兼得。

遵循现代人文教育和公民教育的理念,秉承“通达民情,化育人心”的中国传统教育精神,“大学经典”依据中西文明传统的知识谱系及其价值内涵,将人类历史上具有人文内涵的经典作品编辑成为大学教育的基础读本,应时代所需,顺时势所趋,为塑造现代中国人的人文素养、公民意识和国家精神倾力尽心。“开放人文”旨在提供全景式的人文阅读平台,从文学、历史、艺术、科学等多个面向调动读者的阅读愉悦,寓学于乐,寓乐于心,为广大读者陶冶心性,培植情操。

“大学之道,在明明德,在新民,在止于至善”(《大学》)。温古知今,止于至善,是人类得以理解生命价值的人文情怀,亦是文明得以传承和发展的精神契机。欲实现中华民族的伟大复兴,必先培育中华民族的文化精神;由此,我们深知现代中国出版人的职责所在,以我之不懈努力,做一代又一代中国人的文化脊梁。

上海世纪出版集团
世纪人文系列丛书编辑委员会
2005年1月

杰文斯悖论

前 言

约瑟夫·A·泰恩特

事物的要旨是这样的，从任何一项成功，都会产生出某种东西，使更伟大的斗争成为必要。

沃特·惠特曼《大路之歌》

2002年1月，我结束在马里的撒哈拉野外工作，踏上了返回美国的旅程。我每次往返马里都要途经巴黎，在那里我经常稍作停留。这一次，我安排在那里与朋友们见面吃饭，有一位瑞典地理学家加入了我们的会面。于是，我们海阔天空地聊了起来，话题还涉及即将来临的大选中的绿党(Green Party)论坛。当谈及环境问题时，这位瑞典朋友告诉我们，他最近做过一个调查研究。在这个调查研究中，他向瑞典人提出了这样一个问题：“如果要你在日常饮食中少吃肉，你计划如何使用因此节省下来的钱？”调查结果显示，如果瑞典人少吃肉，他们会用节省下来的钱外出旅游。旅游当然会带来环境成本，其

成本正好等于吃肉的环境成本。减少肉类的消费可能并不会减少环境破坏，自然更不可能消除环境破坏，这种结论多少与我们的直观感觉相左。但是，这正是杰文斯悖论(Jevons Paradox)的本质。某种保护资源的行动减少了日常生活的成本，而节约下来的成本，又被各种环境破坏所需成本抵消掉了。威廉·斯坦利·杰文斯(William Stanley Jevons, 1835~1882)早就预料到了这一结果。

在其1865年的著作《煤炭问题》(*The Coal Question*)中，杰文斯表达了他的担忧：由于易开采的煤矿储备不可避免地会枯竭，英国将会失去其经济动力和全球经济领先地位。当然，他并没有预见到石油会占统治地位，甚至还否定这种可能性。因此，该书担心的主要问题被证明是错误的。但是，《煤炭问题》中有一颗宝石，它使得这本书成为资源经济学中最为重要的著作之一。这颗宝石就是我们如今所知的杰文斯悖论。对此，没有人比杰文斯自己在其维多利亚时代的散文中表达得更清楚了：

认为燃料的节约使用就等于消费的减少，这完全是一个误导人的观点。相反的观点恰恰是真理。(Jevons, 1866, p123)

一般来说，新的经济模式会导致消费的增加……
(Jevons, 1866, p123)

举例来说，如果现在用于高炉的煤炭数量与煤炭产出相比，在逐渐减少，那么，这一行业的利润将会增加，新的资本会被吸引过来，生铁的价格将下降。但是，对煤炭的需求在增长，最终更多数量的炉子所增加的煤炭消耗将超过它们所减少的煤炭消耗。(Jevons, 1866, pp124~125)

总之，当技术进步提高了资源使用的效率，那么这一资源的总消耗量可能会增加，而不是减少。这一悖论对工业化国家的能源未来有着非常重要的启示作用。它表明，效率、节约和技术进步——那些关心未来能源供应的人所推动的事情，实际上可能会使能源的前景更加糟糕。

本书是论述杰文斯悖论的著作中最为与众不同者之一。作者们因他们创新和兼收并蓄的研究而闻名。本书所涉及的多个话题，将在各章分别论述。在第2章中，布莱克·奥尔科特(Blake Alcott)从历史的角度，回顾了杰文斯以18世纪和19世纪早期经济学奠基者的研究为基础的工作。在第3章中，马里奥·詹彼得罗(Mario Giampietro)和真弓浩三(Kozo Mayumi)继续探讨认识论，并且从热力学视角讨论了社会能量代谢。他们将效率和适应性的关系看成阴阳关系，讨论效率和适应性之间的重要平衡关系。在第4章中，约翰·波利梅尼(John Polimeni)通过技术分析判断杰文斯悖论是否在全球不同国家和地区都产生了影响。本书的每一章都是独立论述的，它们对第4章都有借鉴意义。作者们用非常严谨的方法调查研究这样一个问题：在期望和预期能源使用效率不断提高的基础上，发达国家是否可以继续沿用它们目前的发展模式。

杰文斯悖论质疑了一个普遍的假设，这一假设在口头交流甚至在许多学术讨论中也是常见的，即：可持续的产生是消费减少的消极结果。这种假设产生了两种不同的观点。悲观的观点认为，为了变得更加可持续，人们有必要自愿减少他们的资源消费。比如，淋浴时间更短、用水温度更低，使用公共交通工具，喝自来水而不是瓶装水，或者少吃肉。这有时被称为悲观的可持续路径。乐观的观点，也是更为许多经济学家和大多数政治家所接受的，认为未来的技术创新以及面

向服务-信息型经济的转型，将会减少我们的资源消耗，其减少的程度可使未来变得可持续，而不需要人们牺牲现有的享乐。这种观点认为，在未来，技术的进步将允许我们所消耗的每一单位资源生产出比现在更多的国内生产总值，因而可以维持我们现在的生活方式。这正是杰文斯在上面第三段引文中所提到的错误假设。在他那个年代，所采取的技术解决方案涉及高炉、煤炭和生铁。现在，所采取的解决方案更广泛地涉及能源和我们的生活方式。杰文斯悖论是基于经济学的基本原理：任何时候，只要某种有价值的资源的消费成本降低了，人们就会更多地消费这种资源。或者，就如在本文开篇所提到的，人们会消费更多的其他东西，这也许会导致没有净节约，甚至还会产生更多的总消费。就如著名的记者埃里克·塞瓦赖德(Eric Sevareid)曾经说过的，“问题产生的主要原因，就是问题的解决方案。”

正如布莱克·奥尔科特在本书中所述，杰文斯悖论与经济史上其他著名经济学家的工作研究是有联系的。如肯尼斯·博尔丁(Kenneth Boulding)曾经从托马斯·罗伯特·马尔萨斯(Thomas Robert Malthus)的研究中提出了三条定理，并且把这三条定理写在马尔萨斯的《人口论：第一篇》(*Population: The First Essay*)的前言中。博尔丁把他的第一定理称为灾难定理：

如果人口增长最终靠灾难来抑制，那么人口会一直增长，直到有足够大的灾难来抑制人口增长。(Boulding, 1959, pvii)

第二定理被称为完全灾难定理：

只要灾难还是抑制人口的唯一途径，任何技术的进步仅能在短期内缓解灾难，技术的进步仍然会使人口增长，并且很快就会使更多的人在灾难中生活。因此，技术进步的最后结果是提高了人口的均衡水平，而这，又增加了人类灾难的总量。（Boulding, 1959, pvii; 强调部分原文即有）

博尔丁的第三条定理被称为温和快乐型灾难定理：

如果在灾难和饥荒之外还能找到什么途径可以抑制人口繁荣，那么人口就没有必要在灾难和饥荒时停止增长，而是保持稳定的繁荣状态。（Boulding, 1959, pxi）

博尔丁发现，如何实施温和快乐型灾难定理，“是一个难题，这一问题至今还没有一个完全令人满意的答案”（1959, pxi）。

当然，人们认识到，这些定理不只适用于人口方面。完全灾难定理与杰文斯悖论尤为一致，并且看起来实际上就是对杰文斯悖论的有限重述。虽然博尔丁把他的定理限定在技术进步和人口方面，但是就如杰文斯的分析所暗示的那样，同样的原理可以应用到人们所得到的任何宝贵东西的效率提高上，无论这些东西是孩子、汽车还是牛排。杰文斯和博尔丁认为，孩子抚养成本的降低会使人们抚养更多的孩子。

杰文斯悖论已经影响了世界历史，罗马帝国就是这个悖论的实证。在罗马帝国早期，当它还是一个小城邦时，罗马为生存与其近邻打仗。随着时间的推移，罗马不断取胜，他们打败并征服了这些挑战者。早期的罗马人采用了一个聪明的战略：把打败的对手的人力和物

力合并到罗马的战争机器中。相应地，这些意大利的前对手们在罗马的法律和政治系统内被赋予了精心设计的等级权利。每次罗马打败对手，就会产生一个更安全更强大的罗马。到了公元前3世纪，罗马扩张到意大利以外，此时罗马可以调动意大利的大部分资源，包括大量的人力。而当罗马帝国扩张到整个地中海盆地和西北欧时，它还是继续推行这一战略的大部分内容，将被征服国家的资源为其所用。比如，公元前167年，罗马人夺取了马其顿人的财富，并且迅速免除了他们的税收。公元前130年，当帕加马(Pergamon)被吞并的时候，国家的财政预算增加了一倍。公元前63年，征服叙利亚后，庞贝(Pompey)又增加了70%的预算。尤利乌斯·恺撒(Julius Caesar)从高卢人那里拿走大量黄金，致使罗马黄金的价格下降了36%(Tainter, 1988)。根据杰文斯悖论，罗马战略导致征服成本的大幅度下降。被征服国家承担了罗马进一步扩张的成本。当发现征服是如此实惠，罗马就去征服更多的国家。杰文斯肯定已经发现，这种征服的新经济模式没有让人知足，反而增强了他们对敌对国家的征服欲望。杰文斯在讨论罗马历史时写道：“正是这种(征服)经济给罗马带来了大量的就业机会”(1866, p124)。

除了在如人口、资源以及国家命运等重要大事中能发现杰文斯悖论的存在，在许多日常大小生活琐事中，也能发现这一悖论的存在。由于本书作者已经从技术角度分析了杰文斯悖论，我将趁此机会分析日常生活中的一些例子。我现在正坐在键盘前，这让我很自然地想起了文字处理工作。在我职业生涯的早期阶段，专业写作必须由打字机来完成，那时即便是创作一篇普通长度的新文章，也是一件成本昂贵的事情，更不用说是创作一本新书了。这些成本包括时间、劳动力、手和肩膀的酸痛以及精神的疲劳等方面。1983年，当我开始用我的第

一台个人电脑做文字处理工作时，我天真地以为这将会让我的工作省力不少。许多早期电脑使用者都有类似的想法。那个时期，大家普遍认为，我们从此将节省大量的纸张，于是形成了无纸化办公室的说法。然而，事实证明并非如此。文字处理降低了撰写一篇文章草稿的成本，以至于我现在每发表一篇文章都要编辑和生成6~8份草稿。而在打字机时代，我往往只产生两份草稿。虽然对此我没记录过，不过我强烈怀疑，我撰写文章所投入的时间和劳动，随着可用时间的增多以及节省劳动力的文字处理器的出现而增多了。对于文章而言，由于大多数草稿都被打印出来，因此我比以前消耗了更多的纸张。什么时候人们才不再期望无纸化办公室？正如杰文斯所注意到的，经济的新模式如文字处理将会导致消费的新增长，甚至工作量的增长。

杰文斯悖论影响了那些需要镇压暴力犯罪嫌疑人的执法官员。一个用枪射击嫌疑人的警官所支付的私人潜在成本非常高。在审查委员会调查枪击事件时，该警官会被停职一段时间。在审查期间，毫无疑问，该警官还要付出很高的情感代价。警官可能会被错误地解除武装。在这个案例中，警官可能因嫌疑人或嫌疑人家人的起诉而被开除，甚至会遭到检控和逮捕。在过去的几年里，美国的很多警察部队已经为其警员配备了被称为“泰瑟枪”的装备。手枪和泰瑟枪都是能制服嫌疑人的高能装备。泰瑟枪能发出50 000伏的电击，可使嫌疑人马上不能动弹，但往往不会致命。它甚至可以在几米外开火。泰瑟枪最初是作为一种人道的装备出现的，使用这种装备可使警察不用手枪便可制服暴力反抗者。使用这种枪的好处（这一好处被忽略了）是：它减少了警官使用高能武器制服罪犯时的个人成本和风险。除非被泰瑟枪所击的嫌犯死掉，或者事件被录像（两者几乎不可能同时发生），否

则不会有委员会审查该装备是否被正常使用。现在，由于警察使用高能武器所面临的个人代价降低，他们更愿意经常使用这种武器。在撰写此文时，美国有 11 500 个警察部队使用泰瑟枪。可以预计，今后会有越来越多的人投诉警察过多使用泰瑟枪（《今日美国报》，2007）。不管泰瑟枪使用是否合理，很显然，它们的频繁使用足以引起争论。杰文斯不会因此感到惊讶。如果在他的那个时代，他知道此类事情，他也许会写下一些类似“认为减少使用高能武器的个人成本将导致高能武器使用的减少，完全是一个误导人的观点。相反的观点恰恰是真理”（Jevons, 1866, p123）的话语。

在我的家乡新墨西哥州的科拉莱斯（Corrales）社区，像任何一个负责任的城市一样，有一个监督城市规划和区划的委员会。科拉莱斯是一个小社区，却居住着许多聪明、具有创造力的人们，包括许多在新墨西哥大学和桑迪亚国家实验室（Sandia National Laboratories）工作的人员。他们是一群具有企业家精神的人，这个村庄是许多从家庭运营开始的小企业的发源地。规划和区划委员会负责批准颁发家庭工作许可证。有一天晚上，我参加了该委员会的一次会议。我目睹了一位先生的创业方案，他想在家从事安装和维修软饮料自动售卖机的生意。这将是退休后的收入来源之一。他的专长是在仅有几个人工作的小办公室安装售卖机。有人可能会想，在小办公室里安装这些机器怎么会赢利呢？答案是：自动售卖机的技术创新已经减少了它们的能源消耗。新的机器符合美国环境保护署能源之星项目的要求。由于能源消耗减少，即便每日仅有少得可怜的人购买软饮料，经营售卖机依然有利可图。新的机器甚至还安装了移动探测器，当潜在顾客靠近时，前仪表板的灯会亮。这些机器也会监测周边的温度并且“记住”顾客的习惯。有一个品牌的自动售卖机生产商声称，其产品每年会节

约46%的运营成本。所有这些能源节约会产生什么结果呢？这些机器现在可以在一些小型办公室和曾认为安装它们不够经济的地方被发现。小型办公室的数量比大型办公室的数量多，因此自动售卖机的数量比以往增多了。安装自动售卖机的净效应是节省能源还是消耗更多能源？想想杰文斯可能会这样叙述：“交易的利润会增加，新的资本会被吸引过来，（贩卖商品的）价格将下降。但是，对贩卖商品的需求在增长，最终更多数量的自动售卖机所增加的能源消耗，将超过它们所减少的能源消耗”（Jevons, 1866, pp124~125）。

美国曾经有一个陈旧的空中交通控制系统，其计算机技术和显示屏是电子管时代的。一套新系统已经准备了好几年，它自然带有最新电子的神奇力量，但这仅仅是一个开始。目前，大的商业飞机采用点对点(post-to-post)飞行系统。也就是说，它们在地面雷达的监控下直线飞行到某一点，然后稍微转变一下航线，再直飞到下一个点，依次类推，直至横越大陆。结果是，飞机必须沿着略微有些像Z字形的航线飞行，这增加了运输过程中的时间和燃料消耗。新技术可以使飞机利用全球卫星定位系统飞行。这样，飞行过程中将不再需要Z字形路线。飞机可以直飞到它们的目的地（这里的“直”是指在地球曲率限制范围内），这不仅减少了飞机在空中的时间，也使整个空中交通运行变得更加有效率。飞行员们不需再像现在那样在两架飞机靠近时保持很远距离。这个系统被称为“广播式自动相关监视系统”（Automatic Dependent Surveillance-Broadcast, ADS-B）。美国联合包裹运送服务公司（United Parcel Service, UPS）在肯塔基州路易斯维尔市（Louisville）的航空枢纽早期实施ADS-B的结果显示，飞机滑行的时间缩短了，并且由于必须在空中盘旋等待降落的飞机越来越少，飞机排放物和噪声也急剧减少了。UPS公司预计其117架飞机一年可以节

省 900 000 加仑* 的燃料(Doyle & Gillies, 2007)。在正常情况下,这种技术进步将被视为一个巨大的进步。我们将享受更高效的空中交通和更安全的空中旅行,并节省时间和燃料。但是,从长远来看,这种技术会节约时间和燃料吗?再思考一下杰文斯深刻的见解吧:“一般来说,新的经济模式会导致消费的增加”(1866, p123)。不管 ADS-B 系统会带来什么样的节约,它无疑会鼓励更多的空中旅行和空中飞行。从长远来看,花在空中旅行的时间会增加,同样地,燃料的消耗也会增加。博尔丁可能会这样写道:“只要灾难是唯一抑制空中旅行的途径,技术进步就会使空中旅行增加,并且很快就会使更多的人在灾难中旅行”(1959, pvii)。

我们该对杰文斯悖论做点什么呢?片面和短视地思考问题是人类的共同倾向(Tainter, 2007)。历史上,人类从来没有因物竞天择的压力而从更大的时间和空间范围来思考问题。由于人类没有进化到开阔地思考问题,因此,我们中的大多数人也没有这种思维。这意味着,人们不会因为对未来资源供应的抽象推测而放弃目前花费得起的消费。因而,杰文斯悖论不可能通过自我约束或者其他的自由主义方式来规避。詹彼得罗和真弓浩三建议,税收可以弥补任何因效率提高而带来的节约,从而可以避免杰文斯悖论的产生。这种方法在美国,至少在政治上,是不可行的,不过总的观点听起来不错:避免杰文斯悖论产生的关键,就是遵循降低消费成本的原则,这一原则既不是要提高效率,也不是要减少其他任何资源的使用(包括主动节约行为)。这是一种实施温和快乐型灾难定理的方式。这里,我可以再次通过描述我个人的经历来说明这一原则是有用的。

* 1 美制加仑=3.785 升。——译者注

1992年，新墨西哥州阿尔伯克基市(Albuquerque)发现，该市正在取水的地下蓄水层比想象中的要浅。阿尔伯克基市曾经计划用这一地下蓄水层为城市未来的发展提供水源。现在，很显然，这一计划必须修改了。值得赞扬的是，该市的官员立即行动起来，实施了一些节水措施(包括对过度用水进行罚款)，并且安排用地表水取代地下水。这一项目获得了初步成功：人们减少了水耗，以至于该市的自来水公司突然发现，其收入不足以满足新投资的需要，因此有必要提高水费。人们自然会抱怨：他们已经尽了节约用水的义务，可不仅没有获得现金回报，反倒因为节约用水而付出更多。这一困境的意外结果是：更高的费率给了人们持续节约的激励，并使他们继续坚持节约。2005年，尽管当时阿尔伯克基市的人口已经增长了33%，而该市的水消耗量却达到自1985年有记录以来的最低(美国水新闻，2005)。该市继续鼓励人们节约用水。毫无疑问，这种持续地鼓励节约用水的信息对节约用水也有帮助。而水费的提高以及罚款，也有助于规避杰文斯悖论。

波利梅尼在他那一章中着力考察杰文斯悖论发生作用的那些国家和地区。我为他的研究鼓掌。为了让技术专家们信服，这一研究是必要的。不过，这里的简要论述提示，我们可以反过来问：杰文斯悖论在哪里不发生作用？

参考文献

Boulding, K. E. (1959) 'Foreword', in Thomas Robert Malthus (author) *Population: The First Essay*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, ppv-xii

Doyle, T. and Gillies, A. T. (2007) 'Smarter skies', *Forbes*, vol 179, no 4, available at <http://members.forbes.com/forbes/2007/0226/055.html>

Jevons, W. S. (1866) *The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the*

Nation and the Probable Exhaustion of our Coal-Mines, 2nd edition, Macmillan, London

Tainter, J. A. (1988) *The Collapse of Complex Societies*, Cambridge University Press, Cambridge

Tainter, J. A. (2007) 'Scale and dependency in world systems: Local societies in convergent evolution', in Alf Hornborg, J. R. McNeill and Joan Martinez-Alier (eds) *Rethinking Environmental History: World System History and Global Environmental Change*, AltaMira Press, Lanham, MD, pp361 – 377

USA Today (2007) 'Taser incidents renew debate over usage', article by John Curran on *USA Today* website, available at www.usatoday.com/news/nation/2007-08-23-1769869495_x.htm (accessed 17 October 2007)

US Water News (2005) 'Albuquerque water use at lowest since 1985', *US Water News* online edition, January 2005, available at www.uswaternews.com/archives/arconserv/5albuwatel.html (accessed 17 October 2007)

目录

1 图表目录

1 前言

1 第1章 绪论

8 第2章 杰文斯悖论的历史文献综述

107 第3章 杰文斯悖论：复杂自适应系统的演化和
科学分析面临的挑战

179 第4章 杰文斯悖论的实证研究

218 第5章 结论

图表目录

图目录

- 111 图 3.1 美国经济的能源效率与人均 GDP
- 113 图 3.2 美国经济的总能源消耗、人口和人均能源消耗
- 115 图 3.3 大象是老鼠减物质化的版本吗
- 119 图 3.4 汽车的演变
- 125 图 3.5a 海岸线的地理方位
- 126 图 3.5b 空间的两个非均衡视角（表示）
- 132 图 3.6 合弄的两个面：美国总统
- 133 图 3.7a 同样的为什么对应着许多如何做
- 134 图 3.7b 同样的如何做对应着许多为什么
- 135 图 3.8 由于观察者目标的变化而导致的突现
- 139 图 3.9 结构类型和功能类型的三种实现方式
- 140 图 3.10 结构特性和功能特性的区别

143	图 3.11	复杂时间：四个离散时间间隔
146	图 3.12	燃油经济与汽车速度
155	图 3.13	日本经济(1971~2001 年)能源新陈代谢的四个变量
156	图 3.14	日本经济三部门(生产部门、交通部门、服务部门)的经济能源强度
157	图 3.15	日本经济四部门(生产部门、农业部门、交通部门、服务部门)的劳动时间分配
161	图 3.16	跨范围的效率和适应性的自我制约
163	图 3.17	用 EL-MSL 表现的杰文斯悖论平面图
165	图 3.18	在 EL-MSL-SIZE 空间里表现的杰文斯悖论
194	图 4.1	1960~2004 年美国能源消耗
194	图 4.2	1960~2004 年美国能源强度
198	图 4.3	1980~2004 年欧洲 16 国能源消耗
198	图 4.4	1980~2004 年欧洲 16 国能源强度
204	图 4.5	1980~2004 年亚太地区 12 个经济体能源消耗
205	图 4.6	1980~2004 年亚太地区 12 个经济体能源强度
211	图 4.7	1980~2004 年巴西能源消耗
212	图 4.8	1980~2004 年巴西能源强度
220	图 5.1	因大量使用普罗米修斯技术而导致的人口演化的重要中断
221	图 5.2	全球主要能源需求的地区分布

表目录

189	表 4.1	I= PAT 的变量对应
-----	-------	--------------

195	表 4.2	美国能源消耗回归结果
200	表 4.3	欧洲 16 国能源消耗回归结果：模型 1~5
203	表 4.4	欧洲 16 国能源消耗回归结果：模型 6~7
206	表 4.5	亚太地区的个案研究回归结果
209	表 4.6	巴西的个案研究回归结果

第 1 章 绪 论

能源政策是当今世界所面临的诸多问题中最重要的问题之一。这很容易通过观察我们星球上发生的三个巨大变化来解释：第一，人口爆炸——在过去的一个世纪里，世界人口数量比 1900 年（大约 17 亿）增加了 2 倍多，到 2000 年，世界人口已经超过 60 亿。但更为惊人的是世界人口的增幅。世界人口从 20 世纪 70 年代初的 35 亿增加到 2005 年的 65 亿。在短短 35 年的时间里，世界人口增长了 30 多亿——这一数字超过了过去 3.5 万年人口增长的数量！第二，在过去的一个世纪里，世界经济的巨大增长引发了经济全球化进程。就如“千年生态系统评估”¹（Millennium Ecosystem Assessment）所评述的那样，技术进步已经能够很好地处理人类社会规模的巨大增长这一问题：

自 1960 年以来，随着人口数量的翻倍，经济活动增长了 5 倍，食品生产增加了 2.5 倍，食品价格下降，水消耗加

倍，为做纸浆而砍伐的木材增加了 2 倍，水力发电增加了 1 倍²。

第三，由于人口和财富的同时飞速增长，环境和自然资源的压力逐渐增加。再引述一段“千年生态系统评估”的发现：

在过去的 50 年里，人类对生态系统的改变，比历史上任何一个可比较的时期都更加快速、广泛。这已经给地球上的生物多样性带来了不可挽回的重大损失³。

考量这些变化的综合影响，显然，经济问题与满足快速增长的能源需求联系在一起，同时又要考虑环境，这已经成为一项越来越不可能完成的任务。事实上，如果我们承认，与能源消耗特别是化石燃料消耗增加相联系的自然资源消耗的增加，是为了给更多的人生产更多的人均产品和服务以使之消费更多，那么，我们也必须承认，经济增长迟早会不可避免地面临生物物理的限制。就如戴利(Daly)所说的，当前的经济增长是在一个“满的世界”中发生的(Daly, 1996)。

在能源政策领域里，一直有两个占主导地位的重要争议：首先，石油峰值(因为化石能源不可再生——它不是生产出来的，而是从存量中提取的——它们有限的存量和不断增长的消耗速度迟早会让石油和天然气消耗殆尽)。石油峰值就是曲线上新发现储量的速度开始比现有储量消耗速度低的那一点。这与银行账户由于支出(提取)超过收入(存款)而逐渐耗尽相似。其次，全球变暖与温室效应相关[全球经济活动所产生的 CO₂ 和其他气体的累积正在影响盖亚(Gaia)⁴的正常运行]。

它们都承认，在资源有限的地球上，不可避免地存在着各种生物

物理限制，而这些生物物理限制影响着“经济永久增长”的可行性。这里有两种途径可以解决这一巨大困境：

1. 考虑选择权，即人类应该开始寻求另外一种替代发展模式，这种发展模式不再以GDP最大化为基础；或者

2. 依然与意识形态的陈述相关联，即认为：人口和人均消费的指数增长，可以因技术的进步能持续提供“灵丹妙药”而永远持续下去。

事实上，传统的经济理论认为，全球经济扩张中所体现出的生物物理限制问题，会通过市场来解决。该理论认为：

由于能源需求的增加和生产能源的自然资源供应的减少，能源的价格将会提高。这些价格信号会促进节能科技进步的投资。(Hicks, 1932, pp124~125)

世界上的政策制定者抓住了希克斯(Hicks)的“诱导性创新”假设，并且使它成为他们国家能源和环境政策的中心内容之一。技术将会在最低程度地影响经济的同时改善环境(Foster, 2000)。

对进步力量和技术力量的信心，为拒绝考虑寻求另外一种替代发展路径的假设提供了正当理由。的确，人类进步的伟大成就(可参见第一个“千年生态系统评估”引言)似乎为这种思想狂欢提供了辩护。20世纪技术的进步为人类提供了一种过去从未想到过的能力。然而，这种技术进步是由能源消耗——化石能源消耗——的大幅增加而推动的。换句话说，自工业革命以来，人类技术的成功依赖于化石能源消耗速度的不断提高。可化石燃料用完后又该怎么办呢？

这就是为什么许多人相信，为了把主流文明从可能的衰退或者从

重新讨论现有优先方案的压力中解脱出来，需要另外的良方，即改进节能技术。有人宣称，问题解决的形式必须是为了应对能源短缺，或者，从广义上说，是为了应对环境退化。实际上，许多政策制定者、传统的经济学家和普通大众也都相信这一解决方案。而在本书中，我们将对这一认知发起挑战。

当然，也许有人会认为，能源效率提高会减少能源消耗，并且还会提高特定供给的使用效力。然而，我们本书要陈述的观点是：事实并不总是这样的。我们旨在说明：能源效率的提高会带来能源需求和能源消费的增长。这一假设是对杰文斯悖论的扩展：当资源利用效率的提高导致了资源消耗的中长期增加，而不是减少，就是对这一假设的验证(Giampietro & Mayumi, 2006)。

正如前面所提到的，能源需求的不断增长是由许多原因造成的，最主要的原因是收入水平的不断提高、人口总量的不断增加、能源的更容易获得以及国际贸易的不断增加。这意味着，在能源部门存在着大量的杰文斯悖论。杰文斯悖论主要表现为，以市场的方式不能解决当今能源以及与能源相关的环境问题。当前有一半以上的世界人口不能获得商业性能源(Banerjee, 2005, p2)。而那些接近于发达水平的国家和地区还将继续现代化，这意味着它们对能源的需求还将进一步增长。因此，能源与环境的关系正处于关键阶段。

当今世界几乎所有消费产品都是利用不可再生的能源——化石燃料生产的。传统的思想让你相信，解决方案在于提高技术，使能源利用更加有效。然而，就如你在本书中会看到的那样，情况并非如此。杰文斯悖论在学术圈之外很少有人知道，但是我们认为，对这一悖论的正确理解，不论是对政策制定者，还是对利益相关者以及普通公众，都是非常重要的。

本书发出了一个警告：只依赖能源效率和技术作为解决方案，是鲁莽草率的。本书的结构安排旨在向读者完整地介绍杰文斯悖论——从杰文斯悖论的理论来源，到这一主题的理论框架，最后到实践研究的应用。

第2章详细梳理了杰文斯悖论的历史背景，并且从历史角度提出了问题。在这里，奥尔科特完整而又细致地介绍了这个主题。他特别回顾了杰文斯悖论的历史根源，考查了杰文斯悖论的理论个案，并且赋予它一个现代称呼——反弹效应。奥尔科特还对杰文斯悖论与劳动力效率提高导致就业效应进行了类比，并对这些争论进行了分析。最后，他讨论如何将杰文斯的发现与关于反弹的争论吸收到可持续发展的政策中。

第3章从认识论的视角和热力学视角考察了杰文斯悖论，并且提出了传统经济学方法的替代模型，模拟了经济与环境的相互作用。詹彼得罗和真弓浩三在第2章的基础上提出了模拟演化代谢系统的认识论挑战。这一章也呈现了杰文斯悖论的热力学分析。这样的讨论是重要的，因为社会系统是不不断演化的开放系统，不可能逃脱由热力学定律决定的约束条件。在更大的整体系统里，能源市场仅仅是一个子系统。本章的主要目的是为全面理解杰文斯悖论提供一个综合的理论框架。同时，本章也证明了杰文斯悖论反映了与以嵌入式层级架构组织起来的演化代谢系统分析相联系的标准认识论困境——社会系统与生态系统是这些系统的典型例子。当我们感知、描绘和分析这些系统时，总能发现杰文斯悖论的存在。

第4章的实证分析为杰文斯悖论可能会在国家和地区两大层级上同时出现提供了证据。波利梅尼对不同国家和地区进行了实证分析，结果表明，杰文斯悖论会在能源消耗的宏观水平上发生作用。特别

是，他利用一些被认为是引起能源消耗增加的主要变量和节能技术改善的指标，来解释能源效率到底是不是导致能源消耗增加的主要因素。以往的实证研究已经显示，杰文斯悖论会在单一能源或多种能源的消耗使用中出现，但是几乎没有研究从宏观角度来考察这个问题。这种分析很重要，因为政策制定者正依赖技术来反驳能源需求增加的效应及因此而增加的自然资源消耗。

本书以对杰文斯悖论含义的发现和讨论的简要总结结尾。第5章是对可替代能源政策的考察，这些政策可能会被用以反击全球目前所走的依赖节能技术为解决方案的路径。

注 释

1. 找执行摘要演示中的第2张幻灯片

(见www.millenniumassessment.org/documents/document.360.aspx.ppt)。

2. 找执行摘要演示中的第1张幻灯片

(见www.millenniumassessment.org/documents/document.360.aspx.ppt)。

3. www.millenniumassessment.org/documents/document.360.aspx.ppt。

4. “盖亚”(Gaia)是指地球应该被看作一个复杂的自我创生系统，这个系统充当了一种整体的超级有机体。这一思想最初由洛夫洛克(Lovelock)和马古利斯(Margulis)(1974)提出，并且在洛夫洛克(1979)的著作中得到详细阐述。盖亚的名字被用来代称地球，它被希腊人用来表示众神之母。

参考文献

Banerjee, B. P. (2005) *Handbook of Energy and the Environment in India*, Oxford University Press, New Delhi

Daly, H. (1996). *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*, Beacon Press, Boston, MA

Foster, J. B. (2000). 'Capitalism's environmental crisis — Is technology the answer?' , *Monthly Review*, vol 52, no 7, pp1 - 13

Giampietro, M. and Mayumi, K. (2006) 'Efficiency, Jevons's paradox and the evolution of complex adaptive systems' , in A. Sinha and S. Mitra (eds) *Economic Development, Climate Change and the Environment*, Routledge, New Delhi, pp203 - 223

Hicks, J. (1932) *The Theory of Wages*, Macmillan, London

Lovelock, J. E. (1979) *Gaia: A New Look at Life on Earth*, Oxford University Press, Oxford

Lovelock, J. E. and Margulis, L. (1974) 'Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: The Gaia hypothesis', *Tellus*, vol 26, no 1, pp2 - 10

第 2 章 杰文斯悖论的 历史文献综述

在资本和人口静止的状态下……工业技术也会同以前一样得到悉心培育，不断得到改进，区别只在于，工业进步不再仅仅为增加财富服务，而是会产生其应有的结果，即缩短人们的劳动时间。到目前为止，机械方面的各种发明是否减少了人们每天繁重的劳动量，仍然很值得怀疑。这些发明使更多的人过上了同样艰苦和贫困的生活，使更多的制造商和其他人得以发财致富。(Mill, 1848, pp756~757)

引 言

上述引语出自杰文斯的前辈约翰·斯图尔特·密尔(John Stuart Mill)。根据该论述，工业进步的应有结果，如效率的提高，将减少人均工作量。其结果是在同等富裕的情况下使劳动效率提高成为可能。当前技术效率的环境战略，同样支持能效提高的应有结果是在同等甚

至更高富裕的程度下消耗更少的能源这一观点。杰文斯提出了一个问题，并得到了让他满意的回答。他的问题是：是否是能源效率自身导致了所期望的结果，或者，是否是它引起了更高速度的能源消耗？他将其 1865 年出版的《煤炭问题》的第 7 章冠名为“论燃料经济”，这一章使我们面对“悖论”，即每单位设备燃料消耗的减少产生了更大的总消耗(p141)。每单位设备燃料的节约根本不可能为后代利用燃料提供空间(p155)。

被质疑的燃料是煤炭，英国因煤炭得到了财富、国家实力和文明；令人担心的是煤炭特别是早期开采的矿井煤炭供给正在迅速减少。一些专家认为用不着担心，因为蒸汽机和冶炼等对煤炭的利用正变得越来越高效。杰文斯在其长达 460 页的论著中批驳了这一观点，他认为“正是煤炭使用的经济性导致了煤炭的大量消耗。”(p141)当前对燃料的担忧更多的是它的污染而不是其耗尽，不过杰文斯悖论依然存在。这就是为什么事实上所有的政府机构、绿色环保团体以及大部分公共舆论更愿意通过提高效率来降低总消耗的增长速度。但是，许多持杰文斯观点的学者对此持怀疑态度。

杰文斯在其论文中颇为自信地增加了简短的陈述：

理解这一悖论是如何产生的并不难……只需要对当前我们整个巨大的工业系统和其煤炭消耗的结果做一点点冷静思考，便可以看到悖论主要产生于接二连三的经济手段。
(pp141~142)

然而，现在，悖论的解决需要有更多的思考，本书是这些思考的一部分。莱昂纳多·布鲁克斯(Leonard Brookes, 1978 和 1979)和丹

尼尔·卡哈祖(Daniel Khazzoom, 1980)使杰文斯的论证再度流行,他们两位质疑了汽车、电冰箱、住房以及电灯泡效率标准的环境效益,这些效率标准是在罗马俱乐部报告¹出版和石油输出国组织(OPEC)国家燃料价格上涨的那个十年中制定实施的。他们的质疑开启了一场热烈的讨论。用卡哈祖的话来说:

……电器效率的变化会引起价格的变化……随着生产能力的提高,商品的有效价格会下降,并且……需求并不是始终不变……而是趋于提高。(Khazzoom, 1980, pp22~23)

尽管这种认为效率提高会触发某种额外的投入消耗的新(旧)见解——即为大家所知的技术术语“反弹”——被大家乐于接受,但有一支思想流派仍认为这是“不重要的”(Lovins, 1988, pp156~157)或“微不足道的”(Schipper & Grubb, 2000, pp367~368 和 pp394~386),他们认为更高的效率的确会带来资源的净节约。尽管实证测度整个经济范围的反弹已经失败了,但是理论家们已经对杰文斯偏激而又非常重要的论点进行了正反两方面的论证,认为反弹不仅重要,且在当设备变得更有效率而需求保持不变的情况下,实际反弹比理论上可能的节约更大。

我们称理论上的“工程节约”超过100%的反弹为“回火”,因为在这种情况下,环境激励效率的措施是达不到预期目标的。就如我们所看到的,杰文斯之前的经济学界前辈们在数不清的政治经济原理讨论中,阐述了卡哈祖的反弹必要性观点。然而,关于杰文斯的回火论题,他们大多保持沉默:该问题还没有被提出。不管怎么说,他们那些经过时间检验的真知灼见,可以帮助我们找到以下问题的确切答

案：当前更多的能源消耗如何因更高的能源效率而产生。这对因在定义、分类和方法论上遇到困难而深受侵扰的争论，是一个非常及时的帮助(Sorrell & Dimitropoulos, 2006)。

一些开放性问题如下：

* 什么样的证据看起来可以支持或反对回火？

* 反弹的严格定义是什么？确切来说，它的百分比是多少？

* 什么是能源效率？当能源投入可能比较容易界定和测量时，什么样的输出可以用来与输入比较？它们是物质的、货币的，还是福利单位？

* 我们还需要理论上可能的节约、反弹和回火的概念吗？或者，比如，我们能否描述一个生产函数并标注，是否某个要素，如能源，变得相对富有生产力，对它的需求的增长比它本身所拥有的更多？

* 我们能够完全追踪消费者对由更低价格带来的购买力提高(收入效应)的反应吗？

* 例如，我们能测量价格的效率弹性、商品与服务需求的价格弹性以及主要能源投入的价格弹性吗？

* 存在着许多近似的直接反弹，换言之，能源消耗的增加是由于更高的能源效率造成了商品和劳务消费的增加。然而，对许多消费者预算范围内的其他产品而言，间接反弹又是怎样的呢？

* 宏观经济实证研究——把能源消耗作为因变量，能源效率作为自变量的回归分析——实际上可能吗？(见第4章)

* 在什么样的范围内，这种工作是富有成效的？把研究限定在部门、国家或者国家组织[通常是经合组织(OECD)国家]是有益的吗？

* 标准的能源消耗模型可以继续把人口规模和GDP完全当作外

生变量吗？或者，它们是能源效率函数的一部分吗？

* 我们可以假设人口数量将继续倍增，并且挥霍不是因减少生育、生产和产品所得到的“效能红利”吗？

* 过去三个世纪，劳动力投入效率的提高有哪些经验？这些导致了人口数量和就业的减少吗？换句话说，劳动效率的提高所导致的反弹低于100%吗²？

反弹研究的状况令人沮丧，我从杰文斯论著第1章的标题“先辈作者的观点”中得到了灵感，于是我开始关注古典政治经济学家。的确，杰文斯研究的不是政治经济方面的老前辈，而是地理学家、政治家以及矿业工程师。然而，不管怎么说，很明显，19世纪的经济学论文让杰文斯对自己的论文更有信心，并且使后继经济学家对挑战失去信心³。在1906年作者死后的《煤炭问题》第3版出版时，石油毫无疑问已经分担了煤炭的压力，就如同当初煤炭分担了木材的压力一样（Jevons, pp183~185; Hearn, 1864, pp194~195），但是，除非大家一致认为悖论问题已经解决了，否则后继经济学家怎么能抵挡得住去尽力解决悖论的诱惑呢⁴？比如，索尔斯坦·凡勃伦（Thorstein Veblen）就确认潜在的需求会吞噬因效率提高的所得（1899, pp32、110和241），而哈罗德·霍特林（Harold Hotelling）则写道，传统的资源节约目标，要么是通过直接禁止生产实现，要么是通过采纳效率低下的生产方式实现（1931, p137）。

出于对效率难题——如每一单位的效率怎么会被大量消耗单位所抵消——的重视而非仅仅确定悖论是一个明显的自相矛盾的命题，我们应该研究梳理威廉·配第（William Petty, 1675）、理查德·坎蒂隆（Richard Cantillon, 1755）、亚当·斯密（Adam Smith, 1776）、让·巴蒂斯特·萨伊（Jean-Baptiste Say, 1803）、洛德·劳德戴尔（Lord

Lauderdale, 1804)、大卫·李嘉图(David Ricardo, 1817)、让·西蒙德·德·西斯蒙蒂(Jean Simonde de Sismondi, 1819)、托马斯·罗伯特·马尔萨斯(Thomas Robert Malthus, 1820)、约翰·麦卡洛克(John McCulloch, 1825)、理查德·琼斯(Richard Jones, 1831)、查尔斯·巴比奇(Charles Babbage, 1832)、约翰·雷(John Rae, 1834)、约翰·斯图尔特·密尔(1848)、威廉·赫恩(William Hearn, 1864)和卡尔·马克思(Karl Marx, 1867)等人的主要著作⁵。杰文斯谈到并且特别赞同的只有巴比奇、密尔和赫恩,不过所有经济学家都直接讨论了效率问题,并且在他们的阐述中,将之视为欧洲和北美人口和财富明显增长的原因。不同领域的效率正在增加,包括单个劳动者的、生产组织的、社会制度的、工具使用技术的、工厂的、机器的、能源和材料使用的等,最后一个效率来源是杰文斯和我们所感兴趣的领域。尽管对他们来说,对劳动力、土地、煤炭和金属的需求增长情况是不够清楚的,但他们对我们的疑问——财富的增加是否引起了对产生财富的投入消耗的增加——间接地给予了阐述。然而,因为他们和杰文斯的分析包含了当前辩论的所有概念,他们为厘清我们的思考提供了可能性。的确,当前争论的焦点是,当前更大的投入消耗是要归功于(Brookes, 2000, p356; Moezzi, 2000, pp525~526)还是无关乎(Howarth, 1997, p3; Schipper & Grubb, 2000, p370)效率的提高,这一争论在杰文斯 1865 年的著作出版前一直存在。

然而,我们的前辈学者是通过对劳动力而非对能源效率的冗长论述来接近论题的主要思想。除了要拥有能源、空间和材料,还要有工作时间的投入,否则生产是不可能的;并且,事实上,正是依据劳动生产率,农业和制造业的进步才得以界定,如同杰文斯提到的节约人力的火药发明一样(p105)。他们制作针、书本、袜子、金属和面粉等

的效率，以每个工人或每一工时的产出来表现，并且因此类推到能源投入上，人们可以且已经证明这种“进步”意味着失业。在杰文斯对这种论证的简单排斥过程中(p140)，他坚持直接辩论，这场辩论不仅卷入了卢德分子、欧文主义者以及工业主义者，也包括了萨伊和他的反对者西斯蒙蒂、更含糊点的马尔萨斯、麦卡洛克及他们反对的李嘉图(及后来的马克思，第四卷，第15章)。关于现今的争论，西斯蒙蒂认为，工作效率提高导致总工作量变少的这种观点，与当今认为能源效率造成小于平均数的反弹观点相似，就是说，失业要么是因劳动效率提高引起的，要么是因化石燃料效率提高引起的。在其他条件不变的情况下，如果劳动投入实际上因对其使用效率的提高而节省了，那么任何工作时间(包括人口)的增长肯定是由于其他原因引起的。萨伊则持相反的观点，他坚持认为，尽管那些失业人员通常不再从事他们原先的职业，但是这些悲惨的失业人员将找得到工作。这就是“回火”：每单位劳动力的节省将会造成总工作量的增加——我们的悖论。

这一章的结构不是按年代而是根据现今争论中使用的概念和论据来安排的。前辈们的论述充实了类似的当代观点。内容包括：

- * 什么是产出/投入效率？
- * 产出作为分子是如何界定的？
- * 效率的提高会引起财富的增长吗？
- * 效率的变化如何影响价格和赢利能力？
- * 效率提高是社会免费的午餐吗？
- * 反弹被证明了吗？
- * 消费者是选择进一步消费还是怠惰？
- * 回火被证明了吗？

- * 我们如何处理人口增长问题？
- * 有没有技术性失业？
- * 如果技术效率没有提高，资源和劳动力消耗会怎么样？

杰文斯自己的结论和论据已在前面论述(Alcott, 2005)并且贯穿全文。

请时刻记住下列研究方法论的观点：

* 我们的疑问：是否每单位产品更低的能源或劳动力投入会导致总体经济的更低消耗投入。因此，我们的自变量是一个比率变量。而另一方面，我们的因变量是一个总量或者绝对量，也就是资源消耗或排放。这是环境问题影响的价值标准。因为，打个比方来说，环境并不关心投入产出的比率，或者每人或每单位 GDP 或者每个贫穷或富裕国家的消耗或污染比率⁶。所有反弹的度量所面临的正式问题是，绝对量从一个比率中导出或者在一个比率中变化均是不可能的；没有进一步的实际信息，一个“容量”数据是不可能从一个“强度”数据引出来的(Giampietro & Mayumi, 2000, pp183~187 和 191；本书第 3 章)。

* 我们必须寻求必然联系吗？在我们的例子中，这涉及对人类本质和人类社会特殊性的假设，主要是消费者，包括边缘的消费者，是否已经饱和。认为所有商品和服务已经完全饱和意味着反弹等于 0；收入效应将会消失，因为人们会选择挣钱并减少消费，理论上的“工程”节约将等于实际节约。但是，在任何正需求价格弹性作用下，我们会有一些额外的消费。因此，我们必须经常计算或判断消费者将或多或少地会继续做他们父辈所做事情的可能性(Jevons, pp192~196)⁷。

* 全球范围的回归分析一定要包含能源效率、能源消耗和能源

价格的数据。后两种数据肯定可以跟踪到⁸，不过就如我们将看到的，效率存在着数据缺乏和界定困难的难题。由于产品和活动不时地变化，我们的比率中的产出部分也是一个不断变化的对象（Rosenberg, 1982 和 1994；见第 3 章）。我们必须选择有缺陷的 GDP 指标吗？或者，我们可以找到实体产出的度量标准如“有用功”、“火用（exergy）”、吨、体积或者是非总和的度量标准吗？我们也必须控制其他因素如非技术效率提高⁹和部分外生的人口和财富因素¹⁰。不管如何，几乎没有人否定技术效率已经提高了，并且回归分析提供了无可置疑的深入见解（见第 4 章）。

* 直接反弹是研究中的一个热点，但是这个问题本身和环境政策并没有多大关系，它需要知道总体经济的反弹从而调整具体能源的交易。不管怎么样，如果计算出来了，研究者应该向我们说明如何利用反弹来计算总反弹，至少，必须消除掉许多讨论反弹的文献中存在的歧义（Greening et al, 2000, pp390~392; Berkhout et al, 2000, pp425~431）。

请回忆一下这一政策问题的迫切性。资源枯竭问题当前看来也许并不重要，尽管它们依然既是不可阻挡的又受伦理约束的。杰文斯在许多富有情感的文章中证明了煤炭问题的“宗教重要性”，在那里，他痛斥了“一种不产生年息的资本”或是引述了戴登（Drayton）所忧虑的钢铁工业对燃料的贪婪：“钢铁时代根本不考虑子孙后代”（pp14、412、373 和 136）。而且，杰文斯主张把利用煤炭带来的繁荣传递给子孙后代，并且在煤炭有限的情况下采用软着陆方式（ppxlvi~xlvii、4、37、156、184、195、200、232、274~275 和 455；Boulding, 1966）。然而，化石燃料耗尽可能要等很长一段时间，或者改善化石燃料作为具体能源在可再生能源装置上的使用来延长化石燃料的耗尽过

程。但是，其他两方面的问题使得这种延期是不可能的：首先，很显然，我们当前的以及仍在不断加剧的地球温室气体具有其福利影响；其次，也是当前经常被忽视的，机械和基础设施的副作用——噪声、事故、公共丑闻、地方空气污染、淡水的过度使用、单调的工作等，使能源效率成为可能并且使能源效率具体化。生态和环境经济学家群体应不失时机地对这一问题做出明确且在政策上有用的判断：效率是解决方案的一部分，还是问题的一部分？

何谓效率

像所有成本削减带来的效率提高一样，能源效率直到最近才专门服务于实现更大利润和更高富裕水平的目标。迄今为止，效率的引入成本可以被分期摊销，它们还是与往常一样寻求物质财富最大化。当提高能源效率被挑选出来用以实现降低每年能源消耗及(或)污染速度等对比鲜明的环境目标时，这一事实如今常常被轻视或忽略。不过，无论它们是通过哪种方式被觉察到的，它们都是我们考察的出发点和逻辑中心。就这点而论，它们是谨慎定义和分类的依据。

纵观下述作者对效率的定义，都认为效率用比率表示是不证自明的。分子是产出，分母是(能源)投入。“效能”、“效果”，或者更含糊的“能力”，用来比较不考虑成本或投入的情况下一定数量产出的因果关系。从本体论来看，造成事物效率大小的是投入。在古语中，能力属于劳动力和自然的投入，以一定量的劳动力和自然能产出多少产品来衡量；古典的生产函数是 $Q = F(\beta M, M, \alpha L, L)$ ，这里的 M 是物质或能量， L 是劳动力， α 是生产率系数¹¹。普遍存在的“生产力”经典概念就如出自拉丁文的效率(efficiency)这一术语，隐含着“制作”和“产出什么东西”两种含义。效率的反面是强度，就如当

前在环境效率的讨论中已经广为熟悉的“生产的物质强度”（Schmidt Bleek, 1994; Hinterberger et al, 1997; von Weizsäcker et al, 1997）。此外，比率描述的是每单位产出的投入数量。最后，我们没有研究消耗效率问题，如，冲一杯咖啡需要烧开多少水（Hannon, 1975, p96; Etzioni, 1998, p630; Prettenthaler & Steininger, 1999; Norgard, 2006）¹²。

威廉·配第问道，一块固定面积的土地“能养活多少人”，这一问题隐含着每平方米的食物产量这一产出/投入的比率以及保持每人所需食物不变，他提供了改良土地的农业生产率数据（1676, pp286~288）。坎蒂隆同样地采用大米/平方米或者产量/播种这种农业范式（1755, pp26 和 128）。从空间距离出发，配第也证明了大宗商品的水路运输和陆路运输的交通效率差别，他采用的方法是用一定的大宗商品产出量乘以距离，通过更少的（水路）或者更多的（陆路）时间投入以及内外部能源投入来比较（pp255 和 293~294）。以磨面和印刷为例，配第的计算显示，如果减少劳动力后磨坊的产出相当于4个男人5年的劳动量总和，则其效率提高了20倍；印刷厂的效率提高了100倍；四轮马车是指“一匹马依靠轮子来运东西，其运载能力相当于它们的背上驮了5倍的货物”（pp249 和 256）。

配第试图解释：为什么国家大小和人口规模都相似的欧洲国家，富裕水平会不一样。像马尔萨斯（1824, p265）、密尔（p100）和索罗（1957）所论述的那样，配第论述的结果证明，富裕水平不一的原因，并不是这些国家的土地和劳动力的绝对数量不同，而是它们的生产率水平高低不一：英国的生产率更高，因此它比法国或荷兰更富裕。但愿我们现在能够使用配第和索罗的方法来解释能源投入¹³。但是，除非我们可以用GDP来恰当地代表产出，否则这条路是行不通的：

GDP 的减物质化和用 GDP 尺度定义什么是减物质化，构成了对能源投入解释的最大困难。从时间序列来看，两个非贸易国家除了技术效率水平不同外，其他各个方面的天然禀赋都是相似的。

为了预言现今理论上“工程”节约的计算结果，配第甚至估计了创新所带来的货币节约(pp255~257)。换言之，生产成本下降，留下了至少与以前同等数量的面粉、印刷品和运输工具，而社会也会因此有了剩余的购买力¹⁴。配第明确证实了大量劳动力节约(pp306~308)，但是他唯一与劳动力反弹有关的言论是：劳动力反弹是由于工艺进步，成千上万的劳动力可以工作，但不是“倾向于或需要劳动力”(pp249 和 307)。这暗示了一个规范性问题，而这一问题在萨伊、西斯蒙蒂、麦卡洛克、密尔和马克思的辩论中被混淆了，即，假设工作从根本上来说是痛苦的，是令人讨厌的牺牲，那么失业则是一件好事情，并且就如现今对待能源投入一样，我们必须期待低反弹或者无反弹¹⁵。但是，在缺乏政治手段公正地分配工作的情况下，通过利用购买力安排工作成了一件好事情。

就如他的标题和引言所揭示的，斯密的解释对象是财富或“生产”，这两个术语的定义往往从物质方面给出的(I. v、I. viii. 21、IV. ix. 38和 V. ii. e. 10)¹⁶。他最喜欢的解释变量是某一(劳动)生产力的强度，它主要由一些变量来解释，包括劳动分工、熟练程度、工作的组织程度以及机械化程度，而这些变量自身又是由人类本性所具备的倾向……互通有无、物物交换来解释的(I. i 和 I. ii. 1)。唯一提高生产的其他因素是劳动力数量的增加(I. intro. 3~4、II. iii. 32 和 IV. ix. 34~36)。生产力是“工作量(如生产钉子)，也就是……相同数量的人所能完成的工作数量”，其完成工作数量的增加被称为“生产力进步”(I. i. 5 和 I. i. 6)。在人口和生产不断增加的背景下，斯密没

有用产出恒定而投入下降的方式来界定效率是不足为奇的。事实情况是，大头针的数量增加了(达到大约 240~2 800 个)，而社会并没有减少生产大头针的时间(I. i. 3)。斯密也用其他术语来定义生产率，他用承载量(吨)/人这一比率举例证明了水路运输比陆路运输效率高，和大头针的状况一样，伦敦和利兹之间的运输更多地采用了水路(I. iii. 3和 I. xi. b. 5)。杰文斯后来指出运河降低了煤价，这是一个更高的交通效率增加了煤炭消耗的例子(pp121~122 和 166)。

斯密的生产率的分母有时是空间(土地、土壤)，产出是食物或羊毛(I. xi. b. 2~6 和 IV. ix. 5~6；也见 Say, p295)，有时是不同丰饶程度的矿山(可以想象为立方米)(I. v. 7 和 I. xi. c. 10~11)。土壤和矿山的生产率反过来部分地决定了劳动力效率。再者，数量同时是生产力和物质本身的量及劳动量(用资本可以提高两者的生产率)的函数。在萨伊那里，这种物质因素指的是活泼的自然(agens naturels)或生产型服务(services productifs)，它们的作用表明“自然力”及自然力的强度决定着土壤和矿山的“生育力”或“繁殖力”——这里没有涉及劳动力投入(pp40、63~77、101、127、301 和 395)。类似地，杰文斯证明了这种“自然力”也存在于煤炭之中——这是通过提高效率而使煤炭变得便宜的力量(pp145~146 和 186)。与后来的新古典主义忽略物质因素作为生产要素相比，他坚持认为，“迄今为止，我们的成功是我们拥有的自然至少和我们拥有的能力一样多”(p318)。同样地，煤炭和石油、煤矿和油田，无论是化学物质还是开采的难易程度，都因其内在的丰饶程度不同而不同。李嘉图确认了存在于物质效率概念中的这一歧义，他认为，“农业的进步有两种情况：一是提高土地的生产力；一是通过改进我们的机械装备，让我们能够以较少的劳动投入获得土地产品”(p80；也参见 Smith, I. xi. d. 1； Mill, pp724~725)。

就如大头针和钉子的例子中所显示的，斯密一点也没有忽略制造业，如“毛纺厂”，在那里原料加工量的增加得益于“各种新机械”（I. xi. o. 12 和 II. intro. 3）。不过他通常的分母是指劳动投入（I. ix. 34~35 和 I. xi. 4）：假设土地的肥力恒定，那么更多的生产仅仅是因为能力更大的“人力工业（= 劳动，不是制造）生产出了更多的羊毛和生皮”（I. xi. m. 14）。特别值得注意的是，“进步”常常被表述为“任一特定工作”上劳动力投入的减少（I. xi. o. 1）。这种表述认为产出保持不变，并且其关于比率的观点可以在李嘉图那里找到。对李嘉图而言，“节约使用劳动”或劳动减少——如使用发动机——意味着更低或至少没有更高的“生产费用”（pp25、26、41、69 和 397）。但是，更多情况下，斯密的比率变化是在保持投入不变而“工作量（= 产品，不是劳动）大幅度提高”得出的（I. i. 5）；在良好的土地资本和最好的设备条件下，同样数量和质量的劳动力会做多得多的工作（II. II. 7；I. viii. 3 和 I. xi. o. 12）¹⁷。马尔萨斯所提出的效率变化同样描述了“制造业中的机械……能够用比以前少的支出生产出更多产成品”（p145）。

我们把效率提高定义为“每单位产出的更少投入”还是“每单位投入的更多产出”，是有区别的，这就如同问一只玻璃杯是一半空的还是一半满的一样。尽管在技术上，两者是相等的，但前者倾向于在坚持产出不变的条件下思考可以节约什么，而后者则倾向于考虑在可能没有节约的情况下强调提高产出。一个简单的例子是用陶瓷炉子替代开放式壁炉：这种炉子可以将相同大小的空间加热至相同温度，因而实际上是节约了木材，或者使用同样的木材而使房间变得更加暖和¹⁸。从资源（在它们被宣布每单位可以产出更多后）依然能满足更多的经济活动需要的思想脉络出发，有利于观察发现巨大的反弹；用哈

恩(Hearn)的话来说,更高的效率“使一些商品……或……材料得到解放”(p271)。

萨伊的分母既包括劳动,也包括物质如土地、水、矿山、风以及其他自然要素。在一些例子中,“工具和机械……扩大了我们的手和手指的有限能力”;在中国,用“打眼播种的方法代替撒播的方法提高了土地生产率”(pp85和394)。在其他例子中,“有用的机械”正增强和帮助提升自然生产力,而其他属于当今能源使用效率的类别减少了(p357)。他坚持效率的比率等于更高的分子(产出)与更低的分母(投入)之比:

每一生产成本(费用)节约,意味着要么生产厂商用更少的投入购买等量产品(数量相同/花费少),要么用同等的投入获得更多的产品(数量更多/投入相同),这两者说的是同一件事情。(Say, p301; 也见 pp86、88、201、204和395)

然而,尽管萨伊有时因此强调“生产力量的节约”(p395),但令他兴奋的是另一个相反的例子,即,“同等数量的劳动力生产更多产品。这是工业的宏大目标和最高点(登峰造极)”(p86)。

注意,他有一个例子对劳动效率提高(αL)进行了描述:只有1个人的磨坊厂,在用畜力磨面机后,其生产能力相当于之前以翼板风车为磨面动力的10个人的磨坊厂(pp74~75)¹⁹。很显然,这是劳动效率提高的例子,是一个“资本扩大生产力”的例子,而不是风效率(βM)提高的例子——除非这种效率提高是从零开始。类似地,第一台内燃机并没有提高燃料经济性,而是仅仅在时间和劳动力方面提高了交通经济性。因此,创新看来并不总是会被纳入效率提高一类。萨

伊明确提示了通过发明——首次使用自然资源——与通过新“工艺”来“生产”……老产品以取得更强的经济效益的区别，比如，采用一种新的“减少物体间摩擦力的方法”（pp329 和 433）²⁰。另外，利用硫酸来破坏“植物油中的黏液”是一个讨巧的例子，黏液破坏后的植物油可以用来替代昂贵的鱼油，并且效率提高。从广义上说，植物油替代鱼油“也替换了所使用的油灯……这涉及几乎每个阶层”（p116）。在这里，流明(lumens)的产生更有效率了，但是这并不是说植物油生产流明更有效率，因为植物油以前没有使用过。另一方面，布林德利(Brindley)观察发现，纽科门(Newcomen)发动机的效率不足以使煤炭“替代马力、风力或空气动力”（Jevons, p143）。这似乎是一个通过使用外在能源来提高效率的案例，并且已经在磕磕绊绊中使用了，替代着那些效率潜力已经耗竭的能源。

在讨论反弹时，我们必须认真辨别创新与技术效率之间的这一区别：切割工具从钢铁变为陶瓷再到硬质合金(钻石)，提高了切割效率，但是没有提高所用切割材料的效率(Rosenberg, 1982, pp3~4 和 65)。马尔萨斯更抽象地阐述了机械发明与用效率更高或最好的机械替代效率欠佳的机械之区别(pp145、170 和 229)。雷对两者差别的区分更为直接——对“新工艺”和已实际采用的工艺改善进行区分(pp15；也见 224 和 253)。他的例子也包括：犁与更好的犁、碎石路与石块路、不同钢制工具之间的差别(pp87、114、226~228 和 259)。此外，他还追溯了蒸汽机的发明和改进与煤矿的联系，和杰文斯的观点几乎一致(Rae, pp245~248；Jevons, pp142~153；McCulloch, pp97~99)²¹。哈恩写道：

改善，我认为不是对先前不知道或者未使用的自然媒介

的发现；而是对已知媒介的重新组合……这些改善提高了现有媒介(煤炭)的效率……与那些缩减劳动力、用机械力替代劳动力的发明不同。(pp99~100)²²

首先，比如，天然橡胶被用来制造新东西，然后，通过硫化和硫化处理，它变得更加有效率了；同样地，煤炭首先被用来替代木炭，然后通过热风熔炼而变得更有效率(Hearn, pp100~102)。

问题的关键在于，最初因发明而导致的更多资源消耗不应该被列为反弹。也就是马尔萨斯曾指出过的，发明“是进步和文明的自然结果”(p281)。换句话说，效率的提高可以导致发明和新用途的出现²³。之后，不管怎么说，是用新产品还是用质量更好的产品来度量效率变化，是一件棘手的事情，这甚至可能会导致效率下降。雷哀叹，自亨利七世以来，当财富毫无疑问地已经大幅度增长时，这已经“不仅仅是财富增长，而是一个变化了”(pp18~19；也见第3章)。

马尔萨斯用“效率”这个词，不仅是指“生产力”和“繁殖率”，同时也指生产或得到产出的“便捷性”或“困难性”，而且几乎都是根据劳动力投入而言。他有时强调，在产生“既定效果”(pp128、152和170)的同时要“节约劳动”或者“解放劳动”，有时指的是生产更多的产品(pp281~283；Malthus, 1824, p63)，有一次指出还要同时实现“更多地完成工作”和“更少地花费”的目标(p145)。参阅萨伊写的“土地可以被视为一台生产谷物的大机器，这台机器依靠耕种实现改造和保养；或者把一群羊视为一台出产羊肉或羊毛的机器”(Say, p86 注释和 p318 注释)，马尔萨斯写道：

地球有时可以比作一台巨大的机器，它通过自然为人类

提供了食品和原材料；然而，为了使这一比喻更恰当，只要它们允许比较，我们应该把土壤当作大量的机械，是给人类的礼物，通过对它们投入资本使这些土壤可以得到持续改善，而它们的初始质量和生产率是不同的。（pp144~145；也见 pp66、111、115 和 168；McCulloch, p278）

萨伊也多次谈到“自发的自然禀赋”，如空气、水、光、火、地球引力、压力和钢铁（pp63、71、75、86、286 和 362），所有这些禀赋都可以通过工业得到改善，而工业必须“唤醒、促进或者完成自然系统的运作”（pp63~64、74 和 86；Smith, II. iii. 3）。

毫无疑问，受萨伊和他自己在加拿大农村所观察到的事实的影响，雷也反复描述生产的物质因素和它们的“生产力”（pp10~12）；他看到“火和水转变成听话的苦力”（p14），我们的“工具……使材料商店出现”，“其结构的改善……使得在国家范围内开设新店”（pp19 和 68）；北美印第安人改良“野生李子树”或者为“水量严重不足的小溪筑坝”（p83）。教条主义认为效率比率是这样的：

与野蛮人相比，文明人的知识给了他们用同样的材料建造多得多的工具的能力。（p99）

正像配第和斯密区分劳动量和其劳动生产率那样²⁴，雷对物质间作用问题的分析，将“材料的数量”从“材料的效率”中分离出来（pp112~113），但他又讨论了“工具”而不是物质或大或小的内在自然力对物质效率的影响（pp87~110）。“工具”大致指的是资本，换句话说，是指任何为满足未来生产需要的人造东西，包括田地，甚至食物（用古

典术语来说，可称为“流动资本”)²⁵。

超越其他作者研究视野的是，雷因此分析了物质投入而不是劳动投入(p99)。他也使效率的成本概念化，曾经把效率定义为某工具(直到它耗尽)的总生产量除以制造它的成本——以劳动力单位为度量标准；这就是“能力……成本比率”(pp259；也见 pp173 和 354～355)²⁶。斯密早已经提出贴切的见解：

适当地花在固定资本上面的任何费用，总是能很快地带回很大的利润，而且，由此而增加的年产物价值，会比这类改良物所必需的维持费大得多。(II. ii. 7)

就斯密举例说明的更耐用的厨房用具，雷指出，尽管(因为?)它们“变得更贵”，它们“扩大……国家资本……对社会有利”并且也被“优秀的经济学家所推崇”(p21)。能源效率的(能源)成本与反弹的相关性存在争议。一种解决办法，是在更有效率的工具运行时简单地将成本从理论的可能节约中扣除——这样就降低了反弹率(Jevons, p446)²⁷。

雷同时区分了“有效率”和“有效果”(仅仅是为了让工作做好)，因为打谷器不仅节省了劳动力，而且，与用连枷的方式打谷相比，能更好地分离谷物(p20)。这再一次提出了在分子中改变产出质量的问题。另外，雷的解决方案与萨伊的很接近，如强调更低投入的比率与更高产出的比率相等(pp66、92、131 和 259)。若说有什么不同的话，就在于他对后者有偏见。如果有什么加到制造资本中，那么会：

影响社会生产力的提高，也就是说，使它们具备以更少的花费生产同样数量产品的能力，这无疑必然会使产出增加。(p70)

这样的表述与社会生产可能性边界向外延伸相近。这是关于反弹的关键断言和证据，如果不是回火效应，我们不用费更多精力、时间和物质就可以生产和消费更多。于是，是否包含回火效应，取决于消费者行为，或者，说得更好听一些，取决于需求的效率弹性。

雷和马尔萨斯——后者的著作《人口论》(*Principle**)最后一版在雷的著作出版后两年得以出版——都描述了一种现象，即我们调查的出发点：人类从同样数量的自然中汲取更多的能力。雷的同事麦卡洛克早他几年就用平常术语写道，劳动分工“节约劳动”，但是工具和发动机的发明和改良引起变量的上升——“同样数量的人使用原材料的数量逐渐上升”(McCulloch, pp96 和 99)。在他这里，“产出”一词更多地用原材料而不是实物来表达。麦卡洛克也提出了假定整个经济效率在一夜之间提高以及由此而产生的后果(pp166~167; Mill, pp723~725)。然而，当今苏格兰斯特拉斯克莱德大学(Strathclyde**)的研究者们类似地假设了5%的“效率休克”(Allan et al, 2006, pp5 和 36)，麦卡洛克却假设了10%²⁸！萨伊后来用夸张的语句假设“机械必然取代人力”——100%的劳动效率休克(p88)！

最后，密尔对效率的特征描述让人想起经济效率或帕累托效率。他的因果链是从“市场的扩张”(外生性的)到更细的“劳动分工”再到更有效的“社会生产力分配”(pp87~88 和 281)。哈恩(p68)在其引

* 全称为 *An Essay on the Principle of Population*。——译者注

** 该大学位于苏格兰格拉斯哥市(Glasgow)。——译者注

用的体现杰文斯理论思想的一段话中提出，“任何自然中的物体或力量应用到工业中，可以使同样数量和强度的劳动生产出更多的产品”（Jevons, p106）²⁹。然而，更多的消费只是被动地被激发出来的：同样被激发的，还有劳力投入和物料投入的实际节约。我们在两者之间做出折中选择。

密尔关于生产能力的许多解释可概括为古典分析（pp93、99、106、118、129、153~154、710 和 724）³⁰。然而，尽管他因对稳态的捍卫而著名（pp752~757），人们对他的认识还是因为他对经济增长的评论，即“劳动效率的提高……往往意味着同样的劳动产出更多，而非仅仅从更少的劳动投入中得到同等产出”（p133，强调部分为新加）。他同时声称，“除非犁地能增加土地的收益，使制犁匠的劳动得到充分回报，否则谁也不会制作或使用犁”（p31）。从宏观上说，整个社会用“同样的产出、更少的投入”来描述是不可能的。这反映了当今不确定的经济增长所坚持的规范立场，斯密对此进行过概括，杰文斯在其扉页中引用了这段话：

进步状态实是社会各阶级快乐旺盛的状态。静止状态是呆滞的状态，而退步状态则是悲惨的状态。（I. viii. 43）

正如后来所示的那样，马尔萨斯孤身反对我们可以真正选择“怠惰”（pp258、267~268、283、284、320 和 337）。密尔更中立，他在其生产节俭理论中提出：

这样，无需做太多不必要的说明，我们可以说，生产的必要条件是劳动、资本和土地。因此，生产的增长取决于这

些要素的性质。生产增长或是这些要素本身增长的结果，或是其生产力提高的结果。生产增长规律肯定是这些生产要素规律的结果。(p154)

这些规律使两个极端成为可能：（每单位）工程节约强度最大化而工作更少，资源消耗更少(Alcott, 2005, p10)；或者，生产和消费的增加如此之多，以至于最后导致更多的工作和物质资源投入到经济过程中去。正是其他关于人类本性和欲望、消费和再生产的规律而非生产的规律，客观上决定了我们最终在两个极端之间的什么位置从事生产(Jevons, pp25 和 191 ~ 201; Princen, 1999; Sanne, 2002; Alcott, 2004)。

何谓产出

能源经济学文献提供了许多术语可以用在我们公式的分子上：GDP、“服务”单位、产品和服务、不同的物质总量、“产品”以及把上述用语模糊为“经济活动”。在衡量“生态效率”时，任吉德(Reijnders)列举了五个效率尺度：“一种产品(如汽车)、一种服务(如在既定距离内以特定速度运行的交通)、某一领域的需要(如衣服)、某一经济部门(如能源的供给和需求)或者是整体经济”(1998, p14)。让我们区分三个大类：货币(GDP)、效用和物质。

1. GDP 广为人知的缺陷，包括忽视经济的大部分并且把经济所失当作所得(Daly & Cobb, 1989, pp401~455)。能源模型中的具体问题由罗森堡(Rosenberg)(1982, pp23 和 55)、雅尼克等(Jänicke et al)(1989, pp14 和 391)、施佩尔和迈耶斯(Meyers)(1992, p54)，卡夫曼(Kaufmann, 1992, p54)和克利夫兰(Cleveland)和鲁斯(Ruth,

1998, p35)进行了详细的论述,史密尔(Smil)用货币术语对能源强度的概念进行了解构(2003, pp66、71~78和81)³¹。在杰文斯和他的先辈的文献中找不到这种当代选择的货币度量。

2. 占反弹文献主流的效用或服务概念假定用“能源服务”如“载客·千米”来表示。不管如何,两个人一坐上车,效率将会翻倍而技术没有发生任何变化,而当一辆重型车替代一辆轻型车,尽管有技术变化,特别是与环境影响有关的技术变化,其效率依然保持不变。再者,效用忽视了废物——一个以人类为中心的概念——意指产生的成吨废气和肥料。整合它们,从计算和减少外部效应方面来说,是一项复杂的任务。这些是否应该被排除在分子之外?关于对这一概念困境的直接分析可参见艾尔斯(Ayres)的论述(1978, pp50~67)。此外,统一定义“能源服务”是无效的:既然每一种服务(产品)涉及具体的及(或)可使用的能源投入,任何区分“非能源服务”的提法必然是武断的³²。

3. 物质的度量标准(包括废物)可能是吨、卷、化学成分、热、火用及用力和方向定义的功或者非聚集性的产品清单。杰文斯用“英尺·磅*”来衡量每磅**煤的“有用功”,解释热力学效率(pp137~138、148和186)³³。文献管理应对了这一挑战,通常希望集合³⁴有时试图整合物质、效用/货币度量方法³⁵。同时,在效率政策方面,可能所有的技术效率变化的努力都容易受到物理学定义的影响:吨·千米替代了“载客·千米”,用在特定的空间和时间内一定温度的提高替代了“热舒适度”,用一次能源使用量替代了千瓦时。剩下的问题是由于热力学第一定律输出总是等于输入,没有给我们留下比率!也

* 1英尺·磅=1.356焦耳。——译者注

** 1磅=0.454公斤。——译者注

许只留下一系列消费者和资本品(以及它们的利用率),并且用一个集合的物理度量标准是不可能的。

在讽刺了“大量的固体产品和有用的服务”后,琼·罗宾逊(Joan Robinson)寻找了技术进步的非货币度量方法,她选择了资本/劳动比率,其中资本用有形的“依据商品的存货价值”或者用“一定时间的设备、在产物品及材料和劳动”来度量(1956, pp19、65 和 122)。然而她总结道,“指数含糊不清的问题是不能解决的”(pp64~65 和 115),并且“经济学是关于财富的科学研究,然而我们不能测量财富”(p24)³⁶。古典经济学家同样为界定财富而头疼。对斯密(I. vii. 3~9 和 23、IV. ix. 38 和 V. ii. e. 10)、马尔萨斯(pp20~28 和 294)、密尔(pp48~49 和 55)来说,财富属于物质或者产品。李嘉图也认为“财富”(riches)是根据普遍存在的“必需品、方便性和享乐(有时是奢侈品和娱乐)”的概念来确定的,这些概念与货币或其他物品的交换价值无关(pp275~276)。雷批判斯密对财富有多个定义,并且认为财富与资本含义相同,认为财富就是实体商品和设备(pp387~399、14、18、21 和 171)。但是所有的概念都承认它们在(使用或交换)价值方面对我们有一些具体差异。用劳德戴尔的代表性言论来说,财富是“人们渴望得到的物品的丰富程度,包括土地、房子、交通工具、金银币、商品、货物、餐具、家具等”(1804, pp146 和 42; Malthus, 1824, pp29 和 258~259)。为避免类似劳德戴尔对斯密强调耐用物品的批评,密尔选择了令人质疑的形而上学的表述:“耐久效用……不论这种效用体现在人身上还是体现在任何其他生物和非生物身上”(p48)。

如果对效率的定义必须包括质量或价值要素,那么让我们仔细思考萨伊对其将变成热力学第一定律的深刻见解³⁷的反应。他说我们面

对的是：

物质的质量不能被增加或减少。人类能做的是把现有材料再制成另外一种形式，这可能使它们具备以前没有过的效用，或者仅仅是增大它们已经呈现的效用。所以，事实上，不是物质的创造，而是效用的创造；我将之称为**财富的生产**。生产是创造，不是物质的创造，而是效用的创造，所以消费意味着效用的破坏，而不是物质或物体的破坏。（pp62和387，强调部分为新加）³⁸

此外，“创造物质……不只是自然本身可以做的事情”（p65）。因此，萨伊更强调效用而不是商品本身。并且，他假定这种东西是“非物质产品”（pp62和119~124）。不过他也坚持认为，“国家税收比率总的来说是由产品的数量而不是产品的价值决定的”，并且从来不否认有些材料是黏附在效用上的必需品，如音乐家和律师提供服务时需要消耗其食品和教育及其资本（pp122、124和295；Malthus, 1824, pp258~259；Costanza, 1980）。

如果我们的定义中包括有效性，那么我们如何处理对环境都有影响的有害物和浪费呢？尽管在密尔的观点中，浪费是有形的，包括“潜水钟下沉到海里”和过多使用马匹和人力去犁地（pp8和51~52），哈恩举了关闭平行矿井的例子（p208），雷的“关于浪费”章节论述了欺骗、贸易限制、交易成本等的经济无效率——他们用完全不同的方式证明了较低的效率意味着较低的生产和消费（pp313~319）。另外，在古典经济学家中，一些诸如是否只有将人造的事物计入财富，还是也要包括“空气、水和光”（Say, p63；Mill, pp8和153）的争

论，开启了关于水和钻石的使用价值相对于交换价值和稀缺性的讨论。附带地，杰文斯把浪费的减少视为“经济”的增长(pp30 和 271~272)。

大量的当代文献因而根据理想的产出讨论环境(或能源)效率的各种度量标准³⁹。它们试图放弃纯定量方法，在采用火用来测度投入时引入了能源的质量概念(Ayres & Warr, 2005)。类似地，在关于能源及其转化的综述之后，杰文斯提出了效率的定义：

现在很容易看到自然资源几乎是无限的，但是经济的意义在于以尽可能最小量资源的发现和提取来满足最大可能的欲望。(p163; 也见 p170)

他在其他地方使用“有用功/动力”比率(pp186~1870)，这冒着将物质和效用标准混为一谈的风险，就像艾尔斯和范登堡(van den Bergh)在强调计算高熵的“过程浪费”时经济系统做功和所有输入的火用的差异一样(2005, p103)。因为火用已经被界定为以人为中心的有用能或者可用能，它不像能源那样在使用中被毁灭(Ayres, 1978, p52)，而且它自身也是令人满意的产出。即便在分子和分母中用质量代替能量——在这里产出表现为物质产出(产成品)的质量——也不能脱离一个事实，即我们需要一些人类中心主义的标准来确定产成品⁴⁰。

麦卡洛克在承认物质守恒定律后，制定了以下原则：

因此，我们不是以所消费产品的大小、重量或数量来衡量消费，而是完全以产品的价值来衡量。不管价值有时会压

缩到多么小，大量消费都是大量价值的破坏。(p390)

可是环境研究能忽视那些已经生产出来却没有价值的东西吗⁴¹？所有的氧化分子，除非它们通过进一步的能源投入跟碳封存一样再循环利用，否则它们必须计入“最终”产出。空间采暖可以定义为空间从所要求的温度恢复到(较低的)周边环境温度所需要的时间，不过高熵能源仍然是产出的一部分。虽然可以用流明而不是“照明服务”来衡量采暖，可是光污染和热作为副产品也是产出的一部分。钢铁生产不可能不产生废料。由于“热力学第一定律”比率必须是一对一的，效率必须是可变的，也许对一些效用的概念毫无办法：我们必须通过与我们想要的产出进行比较来计量投入。尽管 GDP 总体上并不令人满意，但是物质的或者物质/效用联合的度量方法尚未被发现。

效率与产出提高的相关性

无论产出是什么样的，杰文斯的前辈密尔得出了经典的结论，即正式来说，生产能力相当于以更少的土地或劳动投入获得更多的产品，也就是每天观察所显示的“更大的绝对量生产”或“长期连续地减少劳动力和提高产量的发明”(pp180、189 和 706；Smith, I. xi. g.20 和 II. iii. 33)⁴²。杰文斯在 1865 年写道：

当我们从农业转到机械和更新的技术，无论是所雇佣的人数还是它们生产的产品数量，两者的对比都是非常强烈的。但主题还是老一套，任何一种报纸、书籍以及国会的当选都充斥着这样的主题：工厂和工作、拥挤的码头和满载货物的卡车是我们物质进步的证明。(p244；也见 pp187~188)

但是就如雷所哀叹的那样，“所有我们看到的是生产数量的变化，增长的事实比增长所采用的方法更容易被确定”（p19）。所以，尽管在杰文斯之前的所有著述者都会用几十个段落来论述效率提高与产品增加的关系，但他们很少正式宣称两者的联系是必然的。例如密尔宣称：

人们将看到，一国将积累的甚或能够积累的资本量，以及一国将生产的甚或能够生产的总产量，是同该国现有的生产技术状况相适应的；每一项改良纵然暂时会减少流动资本和总产量，但最终却会为两者腾出大量的增长空间，使两者比以前都有所增长。（p98）

“腾出空间”，生产的可能性增长了，但这两者之间并没有普遍的因果关系。

杰文斯赞扬了哈恩的《富政论》（*Plutology*），称之为“现有的对政治经济既正确又有独创性的最高深论著”（Jevons, p168 注释）。哈恩自己在雷（参见 Rae, p260）和尤斯图斯·冯·李比希（Justus von Liebig）（1851）基础上直接描述了生产可能性边界的移动：

不言而喻，就如密尔先生已经发现的，一个人的劳动生产能力受制于其对生活技艺的掌握。并且，任何生活技艺的进步，任何自然的物和力在工业用途上的应用改善，都能使同样数量和强度的劳动力产生更大的产出。（Hearn, p68, 强调部分为新加；也见 p184）

于是，杰文斯贡献了两个新思想：用煤炭替代劳力；从产量而非投入消耗角度进一步提出效率影响的问题。一方面，这一原理有着严谨的条件，但另一方面，它又坚持没有“技艺”的改善增长是不可能的——其后的以增长理论闻名的经济学家们已经用统计的方法得出了这一结论（如见 Solow, 1957 和 1970）。

记住效率的古典概念包括个人、组织以及制度，同时也包括物质或技术类型，这常常在同一段文章中得到证实⁴³。经济效率的开创性陈述也直接表现为在一定的自然肥力和技术条件下社会生产什么与社会可以生产什么的对比（Smith, I. ix. 15; Say, pp166 和 380; Malthus, pp266 和 304）。尽管古典经济学讨论的不是我的知识所长，但是我牢记土地和劳动投入是相互依存的。也就是说，在 $Q = f(\beta M, M, \alpha L, L)$ 中，公式右边所有的项是相互影响的，用这一简化表达式表达两者关系不太恰当。

因为不仅看到更多的食品消费，还看到由于土地改良和人口密度导致的“马车及其部件和家用家具”消费的增加，甚至还看到交通效率提高导致邮费增加，配第对古典的增长理论给出了他的说法（pp287~305; Smith, I. xi. c. 7）。坎蒂隆预测马尔萨斯的人口原理以及以人类和老鼠为例的承载力，认为人口的维持依赖其自身土地的功能和矿产的丰饶度以及能源和人口中劳动力的丰富程度（Cantillon, pp43~44、46、62 和 128）。不清楚他说的劳动力概念是仅指劳动力数量还是同时也包括劳动效率，但是在任何一个案例中，更大的人口规模总是与更多的消费相伴随。如后文所述，人口也是被生产出来的这一观点——完全被后来的著述者概念化——是讨论杰文斯悖论的关键，（能源）消费模型或财富模型一般把人口当作完全外生的、必要的明显低估的反弹⁴⁴。

如果财富是“必需品、便利品和娱乐品”或者是购买这些物品的商品(Smith, I.intro.1~4, I.v.1和9; IV.i.17~18),除了李嘉图以外,所有著述家都证明和赞美了它们的增长⁴⁵。例如,雷通过实证宣称英国的财富10倍于亨利八世时期的财富(pp14和18)。斯密看到了逐渐扩展的“普遍繁荣”(I.i.10)或至少“几乎可算是普遍繁荣”(I.xi.g.20),到同一世纪中叶,密尔关于经济增长的论述成为公理:

生产不是固定不变的,而是不断增长的。工业(劳动)生产只要不受到有害的制度或低下的技术水平的阻碍,就总是趋于增加。生产不仅受到生产者扩大其消费手段的欲望的刺激,还受到消费者数量不断增加的刺激。在政治经济学中,没有什么比弄清楚生产增长的规律更重要了。(p153)

杰文斯报告了许多关于18世纪以来人均财富和人口同时增加的统计数字(ppvi, 196~200和457)。此外,他还赞美和担忧英国的繁荣和强大,因为“煤炭时代”使得——

人口倍增,总有人们生存的空间;国家总收入不断增长,并伴以税收缩减;资本积少成多,同时利润和利息不断上升。这算是好事成堆了,这几乎没有什么国家曾经享受过,并且也没有哪个国家可以指望长期享受……这就是文明的幸福快乐……(没有煤炭)……我们肯定……沦落为贫困并且开始职业倒退。(pp2、231、11、201和454~460;强调部分原著即有)

他引用了李比希男爵 (Baron Liebig) 所说的文明“是动力的经济” (pp142 和 156)。对杰文斯而言, 更强大的煤炭经济不仅提高了富裕程度, 同时也加快了煤炭的耗竭速度, “我们必须在短暂而伟大和长久而平庸之间做出选择” (p460)。当前的讨论也包含了政治的期望, 也就是能源效率是幸福繁荣和节省自然资源的关键。此刻我们决不能忽视这一规范性假设。

的确, 没人能够否认消费和效率之间的相关性所反映出来的因果关系。自配第起, 认为土地、劳动或资本的数量不足以解释国家财富规模的观点已经明显占据优势地位⁴⁶。更多的财富、产品、财产、回报和剩余的原因, 往往是因为在发明和机械的协助下土地和劳动有了更高的生产力⁴⁷。密尔甚至证明“改良……光从它们得到这个称号来看, 就使回报增加了” (p93), 并且在某些地方将“产品的数量”等同于“劳动生产率”。如今这还是不证自明的。

即便是马尔萨斯, 尽管他观察发现我们总是可以选择通过怠惰或干脆不消费来实现节约, 其理论还是认为“劳动力的增加会自然地引起商品供应的增加” (p63, 强调部分为新加)。萨伊提出, 尽管更低的投入和更多的产出在数学上是同一件事, 两者都必定会导致产品的增加, 但对生产者和消费者来说, “每一份节约都是重大所得” (pp301 和 357)。由于从增加资本到提高劳动分工程度再到财富增加这一标准的因果链得到了认同, 雷把重点从组织效率转到了技术效率, 他认为是有发明能力的从业人员的意图创造和改良了机器设备, 增加了“必需品、便利品或过剩品”, 产生了“更大的回报”、“供给”、“绝对资本和存量”、“税收”以及对未来需要的供给能力 (pp67 和 258~260; 也见 Brewer, 1991)。对他而言, “积累有效欲望”是“增加存量和资本”的必要但非充分条件, 后者还需要通过发明不断实现增长

(pp205~209 和 264 和 Chapter VI、VII; 也见 Malthus, p339)。并且因为发明导致了更高的效率,所以因果箭头从效率指向“更大的供给……以满足整个社会的未来需要”(p165)。由于机器设备的构造意味着当前的成本和稀缺性,“不使未来变得更好的……机器设备……是不会造出来的”,然而这个结果只有在更高效率的情况下才能达到(pp19、110~118 和 171)⁴⁸。

应该强调的是,没有一个古典经济学家会声明,他描述的只不过是两者的相关性而不是因果关系。并且,任何关于 19 世纪的经济描述中,由于所有的财富要求物质投入,所以反弹是肯定的,并且毫无疑问是低反弹。效率没有提高,且在假设只有一定量的物质资源和劳动的情况下,不会有太多的食物或其他商品出现。除非我们完全独享这些(劳动)效率提高,以及它们带来的工作减少而闲暇增多,否则不可能有改良某一消费出现。这种消费取决于劳动和物质的投入。然而,直到杰文斯,理论都没有证明回火效应。在考察新古典主义对商品和服务的新消费重要性的观点之前,让我们通过介绍价格和价格下降导致产品生产的投入下降,将对它们的描述与当前的争论紧密联系起来。

价格下降

1815 年,李嘉图写信给詹姆斯·密尔,他说:“我知道,我很快就会因‘价格’一词而停止研究,因此我必须寻求你的意见和帮助”(Sraffa, 1951, pxiv)。没有哪个经济学家不警告货币和财富的冲突,因为“价值”一词导致了两者之间模糊不清的生活方式⁴⁹。但是作为经济学家,以往的著述者也都不能避免“货币”这一术语。当价格可以通过其他商品的交换价值有形地表现出来时,那么用货币尺度是很方便的。所有这些都已经由卡哈祖(Khazzoom)在重新讨论杰文斯悖

论时预示到了，即效率提高具有“价格内容”（1980，p22）。例如，据斯密分析：

改良的天然效应……是逐渐减少几乎所有产品的真实价格⁵⁰……更好的机器、更熟练的工人以及工作安排更加合理的结果是……用更少的劳动力执行任一具体工作成了生产的必须。并且，尽管在社会繁荣的情况下，劳动的真实价格将大幅上扬，然而劳动量的减少将不只是抵偿劳动价格的最大增长。（I. xi. o. 1 和 I. viii. 57；也见 Jones, p238；Marx, p379）

尽管在这里，斯密屈从于把不明确的“社会繁荣状态外生化”的趋势，但这一点做得很好，因为改良不仅仅是补偿投入价格，它也会导致产出价格的下降。他于是考察了过去三个世纪“原材料”和金属投入价格的涨落与产出价格的比较（I. xi. o. 2~13；也见 Barnett & Morse, 1963）。

马尔萨斯构想，“我们都认为当生产的成本下降时，价格下降几乎是普遍的结果”（p60；也见 pp87~88 和 145）⁵¹。最好的实证例子通常是棉布，尤其是袜子⁵²。印刷品同样也经历了真实而不可否认的单册定价下降（Say, pp88 和 302）。雷喜欢生产效率更高而价格更便宜的面包例子（p259；Mill, p181），而密尔喜欢萨伊的扑克牌这一仍然有（说服）力的例子（p123）。巴贝奇（Babbage）的铆接油箱的例子说明了价格极度下降（p100）。马尔萨斯甚至区分了“必需品价格下降……防止因生产费用下降而可能造成长期的供给过剩”和即便“劳动力增加”但价格因“商品供应增加”而下降的差别（pp56~57 和 63）⁵³。

从效率提高到价格下降，以及因此而导致的消费增加，关键步骤在于生产者行为。“生产者竞争使得产品的价格逐渐达到与生产费用相等的水平”，消除了临时性的高额利润(Say, pp93 和 395)。当然，这必须首先要等到专利到期或者秘密公开后，但最终“面粉厂厂主实际得到的利润，大概不比过去多，而消费者所付的面粉费，现在比过去低得多”(Say, p89)。雷则依然用货币术语表述：

每一商品的出售者都希望尽可能多地出售商品，他们常常通过以低于邻里的售价出售商品来达到这一目的，在自由竞争条件下价格会逐渐下降，直到经销商得到的利润仅仅是资本累积的有效需求，并且社会改良的进步也通过价格测量出来。(p307)⁵⁴

密尔同时指出，生产者“低于市价抛售的持久力”“仅仅来源于劳动效用提高”(p133 和 495)。杰文斯基于盈利能力(profitability)的争论依据这一论点(pp8、141 和 156)，将贝塞麦(Bessemer)、吉尔克里斯特(Gilchrist)和托马斯(Thomas)提出的“一系列发明”命名为“减少最有价值材料的成本、导致无限需求的经济模式”(p390)。

由此，雷解决了利润悖论：“现在我理解了由改良带来的高利润不会减少国内外商品的销售，因为它们不会引起价格的上升，而是下降”(p263)。多马(Domar)后来的观点是，“任一产业全要素生产率的肯得里克的(Kendrick)指数快速增长减少了其产出的价格，并且由此刺激了销售”(1962, p605)⁵⁵。马尔萨斯曾经严厉批评李嘉图忽视了这一点，以及他实际上假设维持高利润——“百分之百的利润”(Malthus, p291)。此外，不管一个垄断者利润最大化的价格政策如

何，甚至不管如何花掉垄断利润，用萨伊的话说，是因为生产者同时也是消费者（p89；也见 Smith, I. xi. o. 4; Ricardo, pp386~387 和 392~394）。这一事实，投射出对现今市场失灵度高的部门反弹比较低这一观点的怀疑（Grubb, 1990b, pp783~785; 4CMR, 2006, pp5 和 14）⁵⁶。

经典理论认为，产出的价格是投入价格或生产成本的总和（Ricardo, p397）。萨伊谈到“价格实际下降，或换句话说，所支付生产劳动价格减少”（p303，强调部分为新加）⁵⁷。产出与投入的价格是成正比的。供给成本下降，价格下降，有效需求上升，所售产品数量上升；这就是现今所说的效率提高的“价格和收入效应”⁵⁸。因此，反弹就是减去另一不再售卖商品的数量（ Q_s ）后新售卖商品的数量（ Q ）的函数，如果有的话，就是新的更有效率的产品替代了原有产品。

关于价格的需求弹性，马尔萨斯写道：“由于机械的进步，众所周知，棉产品总价值增加量是惊人的”，并且给出了“曼彻斯特、格拉斯哥和其他一些棉纺业繁荣地区人口迅速增加”的实证证据（p192；也见 pp281~282; Rae, p292）。萨伊同样观察到“亚眠（Amiens）、兰斯（Rheims）、博韦（Beauvais）……鲁昂（Rouen）及整个诺曼底（Normandy）地区”首次因地方工业受到摧毁而发生大规模抗议，并且进一步给出了价格惊人下降的例子（pp147~148 和 300~304）。此外，他不能想象价格会下降至零，这会马上达到“财富的终极”并且意味着“政治经济学作为科学的死亡”（p304）。最后，密尔用宏观经济的实证证明过去两个世纪价格的下降，“是由过去 70 年或 80 年的机械发明推动的”（p182）。所有这些经济学家通过价格下降描述了一个非常高的“需求的弹性效率”（Sorrell & Dimitropoulos, 2006, p7）。但是，是对什么的需求呢？是对更便宜的新商品的需求，

还是对后一部分中所描述的任何东西的需求？或者，是对利息、物质和劳动投入的需求？

但是，只要我们还在用货币术语思考，用以支付如今每单位更便宜商品的货币总量会发生怎样的变化呢？就是与物理测量的新数量(Q)和萨伊所提的“共计”或总量($p450$)相对应的每单位商品的新价格乘以新数量($P \times Q$)。他举了一个有关“印刷技术”直接回火的描述性例子：

由于使用这种快速印刷方法，一本著作的印数增多，每一本书的印刷成本只相当于从前抄本的 $1/20$ 。所以，如果总需求强度和从前一样，所销售的册数应只比从前多 20 倍，但现在所销售的册数大抵比从前多一百倍。因此，从前只有一册价值等于 12 美元的抄本……现在却有一百册印本，总价值等于 60 美元，不过每本价值减低到从前的 $1/20$ 。
(p302; 也见 Rae, pp216、249~250)

假设价格和成本相等，并且用“美元”替代“劳动时间”或“物质总量”，我们可以估算出投入消耗。用 12 美元替代 12 小时的劳动，如果价格的需求弹性是 20 : 100，最后需要 60 小时的劳动；如果没有效率提高，所需劳动投入就会比其本来所需的高。考虑到现在的能源效率，萨伊可能会类似地描述“直接回火”。

依然考虑仅仅是为了使生产的商品而不是整个经济更便宜，马尔萨斯写道：

制造部门通过采用改良的机器和有效的劳动分工……不

仅制造品数量大大增长，而且因为国内外的需求由于制造品价格低廉而扩大，产品价值(价格，成本)总量($P \times Q$)也有了增加……读者会充分了解，某些商品价格的大大下跌……不仅和一国总产品交换价值的持续大量增长毫不矛盾，而且和这些商品本身的总交换价值的继续大量增长也是毫不矛盾的。(pp135 和 314)⁵⁹

卡哈祖假设在所有正的价格需求弹性下证明反弹效应(1980, p22)，马尔萨斯描述了一个非常高的弹性。用萨伊的话来说，关键问题是，“每次价格的实际下降，不仅没有减少产品的名义价值，实际上反而增加了产品的名义价值”(p303)。产品或 X 部门的 $P \times Q$ 增加了，价格因生产率提高而下降。根据萨伊所述，工作是由自然力(如化石燃料)和人类完成的，换言之，是经过“生产耗费”完成的(pp40、63、74~75、90 和 245 注释；Rae, pp246 和 256~258)，我们设定任一 X、 $P_{\text{劳动}}$ 和 $P_{\text{原料}}$ 同时作为价格和成本。效率提高后的 $Q \times P_{\text{原料}}$ 与效率提高前相比， Q 上涨任何幅度，都可以证明直接反弹。 Q 的增长和 $P_{\text{原料}}$ 的相关程度决定了直接反弹的大小。

那么，那些没有受生产率提高影响的部门会发生什么情况呢？或者，如果没有货币供应增加，总体经济如何增加其价值？如果不能增加，需求变少势必会产生那些没有享受到生产效率提高好处的商品⁶⁰。并且在货币上，消费者所得可能等于生产者所失。货币分析同时也伴随着那些新的较便宜商品替代另一商品的具体案例，于是货币分析也测度价格和替代弹性。难道反弹研究必须丢弃货币的面纱，仅仅用焦耳来处理 Q ，用每单位 Q 而不是 $P \times Q$ 的焦耳来比较效率休克前后的比率来衡量反弹程度，就像使用每单位 GDP 的能源强度概念

一样吗？

密尔勇敢地尝试将价格、使用价值、交换价值区别开来，并且它们在具体商品上的应用与总体经济不同，把“商品价格”与货币联系起来，把“交换价值”与经济过程中货币分配联系起来，换句话说，

“拥有这一物品对一般可购商品所具有的支配力”（p457）⁶¹。他同时提出，“如果所有商品在生产中都有相同程度的发明和改进，那么相对交换价值就不会有任何变化”（p710）。但是萨伊（p303 和 305）和马尔萨斯（p135）即使在使用“交换价值”术语时，指的也不是部门的价格或物品相对于其他物品的价格，而是指总体经济的价格，相信在其他国家是可以用来买卖其他物品的。密尔在未点名批评其先辈后，得出结论认为，“一切物品的货币价格都可能提高。但是，价值的普遍提高确实是不可能的”（p459）。

密尔有一个观点：如果如马尔萨斯稍微有些循环论述的那样，“交换价值是一种物品与其他一种或多种物品在交换中的关系”（p51），那么交换的概念在财富增长分析中就没有用。并且，在某种程度上，价格对于数百万的交换价值是一个抽象的代名词，货币概念同样也可能不能应用。用马尔萨斯的话说：

当人们说商品的交换价值是由**其他货物**（other goods）的购买力决定时，可以极其合理地问：那是些什么货物呢？绝对不可能把所有货物都当作一种尺度。（p97 注释）

这并不妨碍马尔萨斯在别处谈论“用劳动来估计总产品交换价值的增长”（p192），甚至讨论用劳动来表示货币的价值（p144 脚注）。并且，在列举所有价值尺度的缺陷后——这让人想起当今对 GDP 的批评——

马尔萨斯认为如果仅仅是做不同经济体之间总产品的比较，那价值尺度中的每一条都不能缺(pp247~248 和 255~256)。用“总量价值”整合交换和价格的概念的困难，出现在雷解决以价格计算的有限的交换价值与更大的财富共存的悖论中，他总结认为，至关重要的是“绝对资本和存量”实实在在地增长了(pp259~260)⁶²。

无论总体经济如何，价格下降和以低于市价的价格销售能效更高的产品，会提高它们的相对吸引力。杰文斯使用了常用的经典措辞，即煤炭支配着铁和蒸汽动力(p2; Martinez-Alier, 1987, p161); 在需要用到铁和蒸汽的产品中，凡是较便宜或较高能效的事物，就会有较高的需求。如果我能够用自行车、公交车、马车、小汽车或者是步行通勤，更有效率的马达就会使小汽车具有优势。这意味着，高水平总体经济或总反弹甚至是回火——即便总体经济 Q 或 $P \times Q$ 没有增加——一种完全替代效应，与收入效应及它们衍生的直接和间接反弹概念是完全不同的。

纯物理学的观点告诉我们，蒸汽发动机、小汽车或电灯泡在其生命周期内所需煤炭或石油的实际数量下降了，这令我们关注价格或交换价值对投入本身的影响，而非对诸如袜子之类的产出的影响：在产出不变的情况下，较低的原始需求会降低投入价格，反过来，相对于其他产品的较低价格又会增加需求。下面两部分把上述观点和收入效应结合起来讨论，如比尔尼约(Burniaux)等写道：

技术进步、产出价格和真实收入之间存在联系，能源生产率的提高使有关能源的价格趋于下降，因而产生了从非能源产品到能源产品的替代效应。总的来说，自发的能源效率提高也导致真实收入的增加，它将促使更多的能源和非能源

产品消费的增加。最终结果是，当自发的能源效率(AEE)提高时，排放并没有同比例下降，因为能源的节约效应部分地被相对价格和收入效应抵消了。(1995, p246; 也见 Hearn, p99)

这种由投入价格决定的反弹效应的大小也取决于供给的价格弹性，比如石油。无论如何，实证工作必须分析能源价格以及效率变化和“产出”的消费变化⁶³。

社会收入效应

斯密所说的“看不见的手”并非总是看不见，这只不过是一个起源于工作效率提高的机制的名称，换句话说，是从灵巧、劳动分工、贸易和机器开始的一种机制的名称。这一机制“指引……产业去生产具有最大价值的产品”——“最大价值”有不同的叫法：“财富”、“社会年收入”、“购买力”或“整个产业年产品的交换价值”(IV. ii. 4和9、I. iv13、I. vi. 17 和 II. ii. 21)。收入或购买力的概念更接近于消费而不是生产，它们被分割成劳动(工资)、资本(利润)和土地(地租)，李嘉图已经对其配置问题做出了政治经济学的界定(pp5 和 347)⁶⁴。而其他人在这个问题上做出了很多努力⁶⁵，他们主要考虑的是范围或规模问题以及生产和消费的增长问题(Daly, 1992)。马尔萨斯甚至点名批评李嘉图，他写道：“如果在研究国民财富的性质及其原因时，根据其对总产品的比例来估计地租和工资，就会产生无穷无尽的混乱和错误”(Malthus, p164)。萨伊对地主和资本家的评论更客气些，他说：“公众只需了解他们对财富的生产各有贡献就足够了，不必计算他们的贡献到底是多少”(p74, 注释)。

雷把“获取”(acquiston)和“增加”(augmentation)[有时为“累积”(accumulation)]最重要的区别给概念化了。前面一词仅仅是指财富在个人、群体或国家之间的转移,后者则是指产品总数(或人均)的增加(pp11~12、24、264和307; Say, p85; Malthus, p35; Mill, p62)。根据萨伊的观点(pp70和117~118),他将这命名为“创造财富”,并声称“不同个体和不同国家追求的目标是不同的。这个人的目标是获取,那个人的目标则是去创造”(Rae, p15)。“当个体所占现有财富的比例越来越大,通常他也越来越富有,国家则是通过前所未有的财富生产变得越来越富裕的”(Rae, p12)。并不是斯密所说的看不见的手,而是国家或“社区”必须促进和鼓励“工艺进步”、“发现新工艺”和“发现国家已经实际使用的改良工艺”(Rae, pp15和12)。

萨伊对社会收入增加的阐述最清晰:

……总效用将增加;同等(总)价格下可购产品的额度将增加……但是没有人因为这些增加的享受、增长的财富付出代价,它们到底从何而来呢?——来自人类智慧对生产力和大自然慷慨提供的作用力支配能力的提高。一个从前未知或未直接为人类目标所利用的力量现已被加以使用了;或者一个从前已知并使用过的力量,现在被用得更巧妙、更有效了,如机械改良帮助和扩大了人力或兽力。(p299)

萨伊把分析的系统边界扩大到整个世界,通过用雷的观念,描述国与国之间的销售情况,并且坚持“世界上现存的财富总量……可以仅仅因为某种新效用的生产而扩大”(p305, 强调部分为新加; 也见

p318)。后来马尔萨斯论述，这种社会供给曲线的变迁是由更低的生产成本导致的，并且是“对消费者有利的供给条件”的变化(1825, p303)⁶⁶。密尔也界定“总购买力”的提高是由于诸如“机器的发明，使得绒面呢纺织只需过去成本的一半”，对他来说，“所有的改良使得劳动力在同等工资收入下生活境况得到改善”(pp457~458和751)。

“没有人为财富付出代价吗？”终究还是有免费的午餐吗？(Jones, pp288~289)一旦发明家研究和改良并且将投入的减少具体表现为成本的降低，答案显然是肯定的。关键是，免费午餐的来源是效率。生产能力提高要么由于事物的性质提高，如技巧的提高、人类教育水平的提高和有更好的材料可选，要么由于它们自身的组织方式和制造材料或转化物质效用方式的进步(Gantillon, p2; Say, pp62、65和387; McCulloch, p61; Rae, pp81~83)⁶⁷。在每单位投入不变的情况下，未开垦的土地、未开采的矿山以及人口增长可以带来更多的产出，但是甚至在这些事物到达极限或者接近于极限时，效率也会带来上述的结果。

萨伊曾经指出这一双赢的过程，他用挖苦的语气反对加里亚尼(Galiani)和福邦奈(Forbionnais)的观点，从而为自己的观点辩护，因为他们认为一方所得必定是另一方所失，巩固了“所有短视商人的制度”(Say, pp16、31注释和70)。他的看法则更具启蒙意义，且再度体现了对“价值”的挑战——

如果不同的商品按不同的比率降价……它们彼此间必然有着多种多样的相对价值……价格的实际变动和相对变动有这个差异，即前者是由生产费用变更所引起的价值变动，而

后者却是由一种货物和其他货物价值比率的变更所引起的变动。实际变动时对买者有利，对卖者无损，反过来也一样。但就相对变动而言，卖者如果得利，买者就要受损，反过来也是一样。(Say, p304; 也见 Mill, pp457~458)

他的结论是：

在商业和制造业领域中，更经济或更快速方法的发现、更熟练地使用自然力如运河对公路的替代，或者困难的排除，是利用自然或人类制度进行干预的，减少了生产成本，并且取得了消费者有所得而生产者并无所失的结果。生产者降低价格没有给他自身造成损害，因为他的花费和预付款也可因此下降。(Say, p101, 也见 pp89 和 301)

萨伊随后又根据自身特定产品的数量而非货币，用数据表达了购买力。一旦袜子生产更便宜，糖商人可以用更少的糖得到同样多的袜子(p300)。于是，他假定糖和袜子的价格同时下降，并且问我们现在是否这样——

难道不能以此为根据下结论说，这种下降是积极性下降，跟商品的相对价格没有关系吗？难道不能下结论说，一般商品可能在同一时间下降，有的降得多些，有的降得少些，而价格的降低，可能不给任何人带来损失吗？(pp300~301)

麦卡洛克反对消费者所得可能与生产者所失相当的断言，并且他在嘲笑李嘉图时也看到了一个“利润增长，而它们的增长并没有引起工资下降”的双赢案例(p372)。分配不是双赢的原因。马尔萨斯也以实证证明了利润增长，而且惟恐让人担心消费萎缩，资本家提高了“奢侈品、享乐品和馈赠品”的支出(p293)。当证明劳动效率导致失业时，西斯蒙蒂忽略了劳动力的需求也是由利润产生的这一关键点(Sismondi, vol.2, pp322~324 和 335)。杰文斯后来补充认为，甚至当利润通过竞争下降到最低点的时候，社会还有净收益(1871, p254)。

然而，供给者的利润作为购买力总量可能会下降看起来是真的。查尔斯·巴贝奇(Charles Babbage)强烈关注厂商，细致地探知“在其制造的商品价格有一定下降的情况下，他会增加多少新客户”，以避免由盈利转向亏损，并且他还提到价格下降将迫使工厂进一步争取效率所得(pp98~99, 也见 Say, p87)⁶⁸。比如老产品的生产成本比较贵，它必须亏本卖掉(即使消费者有所得)(Say, pp305 和 390; Ricardo, p274; Malthus, p282)⁶⁹。生产者物质投入的利润——如能源或矿业公司——也会下降，因为他们至少经历了初始的较低需求并且必然会降低价格。不过，在长期范围内，由更低投入价格引起的反弹重新恢复了利润。

斯密描述了新实现的无代价繁荣的总体经济的收入效应，例如，他写道：“一切东西实际上会变得更便宜”，“机械的改良……常被视为对每个社会都有利”，农村的剩余产物、劳动分工以及与城市间的商业贸易会同时增加农村和城市的收入(I. viii. 4、II. ii. 7、III. i、IV. vii. c. 88、IV. ix. 51、IV. ix; Mill, pp119~122)。雷认为，“所有机械在其逐渐耗尽的过程中所获得的回报都要超过其构建的成本”

(p118), 并且, “用一半的劳动力和燃料生产的好面包……不仅仅对面包商有好处, 对整个社会同样有好处” (p259)。效率就像是玉米种子, 一粒可生成 100 粒。杰文斯后来也写道, 利润降到最低意味着一切东西都变得更便宜了, 并且“要么是劳动者自身, 要么是普通公众如消费者, 获得一切**剩余的利益**” (1871, pp254 和 257, 强调部分为新加)。最后, 密尔引用了雷对中国稳态社会的对比分析 (Mill, pp168~169), 并称财富的自由增长是由改良——不断增多的享乐方式——引起的 (Mill, p724)。

如果我们现在试图着手解决反弹而同时又忽略价格, 就如最后一部分所建议的那样, 我们可以假设在效率提高前生产等于 $10X$, 其中每 X 等于 10 焦耳 ($10 \text{ 焦耳}/X$), 即等于 100 焦耳的投入。假设之后的生产等于 $12X$, 其中每 X 等于 9 焦耳 ($9 \text{ 焦耳}/X$), 就会等于 108 焦耳的投入, 换句话说产生了回火效应。我们的著述者常常声称这是一个普通案例: 如果效率提高 10%, 我们不是仅仅多生产 10% 的 X , 而是 20%。这一切是无中生有吗? 生产 $11X$ 产品会使用 99 焦耳的投入, 换句话说 100% 的反弹, 这很容易理解。那么第 12 个 X 从何而来呢? 只能来自因 X 的价格下降而提高的购买力 (这里购买力被视为收入效应), 或者是由于生产中的竞争因素如劳动的减少, 或者是由于所投入焦耳的价格下降。

因此, 关于回火可能性的争论, 并不依赖于社会收入效应的概念甚或总产出的增长: 如果生产的某一特定要素变得更强, 用经典术语来说, 对这一要素的需求将会使有关的相对要素的生产增加, 这些相对要素的生产率保持不变 (Marx, p354; Brooks, 1990 和 2000; Saunders, 1992 和 2000a)。布鲁克斯写道:

更高效燃料市场比那些欠高效燃料市场大，或者……对一种资源而言，在世上找到其自身更有效的利用，是它在享受具有显性(燃料)需求的隐性价格的降低。(2000, p355)

杰文斯同样在其“论燃料经济”一章中得出结论，强调投入和产出消耗的必要增加：

如果以往经济是我们进步和煤炭消耗增长的主要根源，那么在未来，同样的原因将产生同样的结果。经济乘上我们主要物质的价值和效率，将无限地增加我们的财富和生存手段，并且将引起我们人口、工作和商业的扩张，这些目前是令人满意的，但是它必将提前结束。经济发明本是我所期盼的有可能维持我们消费增长速度的行为。(p156)⁷⁰

再说，如果我们从金钱角度解释社会收入效应，我们就会碰到这样一个悖论：一个拥有高效家电的消费者，他向供电者支付的费用更少了，但其收入、购买力或消费水平都降低了。在需求的价格弹性很高的地方(如 Say, p302 或 Malthus, p192 的例子)，我们会遭遇一笔没人负担的费用：如果之前有一个有效率的事物计 36 个单位，每单位售价是 £ 2(即 2 英镑)， $P \times Q = £ 72$ ，在这里需求的价格弹性为 1， $72 \times £ 1$ 也等于 £ 72。如果需求的价格弹性等于 2，那么 144 个单位的销售收入为 £ 144。这额外的 £ 72 来自何处？如果是从先前被特殊照顾的部门提取出来的，我们必须从反弹中减去这一额外数字。此外，在这里，很容易清楚地发现，同样的成本有更多的产出。如果社会购买力是 £ 100 万，并且新生产的高效产品现在已经便宜了 £ 1 000，那

么，我们现在就有一个货币空洞需要物质商品来填补。

高反弹

现在可得出的一个结论是，就如某些投入一样，效率引发的产出消耗显示了反弹效应。在进一步考察高反弹的经典论述之前，某些分类法是有用的⁷¹。社会大范围的购买力提高是由生产产品 X 的平均单位效率提高造成的，而与此相对应的 Y 代表了所有其他产品。此时，就如马尔萨斯所说，“必须有一个相当大的阶级，他们愿意也能够消费掉比其所生产的数量更多的物质财富”（p319）。新的需求会是：

1. 以往消费产品 X 的消费者 A 对产品 X 的新增加量；
2. 消费者 A 对某些 Y 产品的需求；
3. 新增消费者 B 对产品 X 的新增需求；
4. 消费者 B 在消费了 X 后还有“消费者剩余”，产生对某些 Y 产品的需求；并且
5. 为了休闲——在极端情况下，所有消费者选择降低他们的购买力，以尽可能精明地理财。

除了收入效应的这些变量，更有效的生产因子是用另外一个因子来替代，即替代效应。

第一个例子被称为“直接反弹”，以当今主要的交通工具为例，如果我的新车每公里耗用的汽油减少，那么我现有的购买力允许我行驶更多的里程。这就是卡哈祖所说的需求的特殊价格弹性（1980，p22）。汽车总成本，包括其使用成本，已经下降了，这让部分收入解放出来了。

第二个例子，用马尔萨斯的话来说，则与第一个例子完全不同，并且适合以下情况：当“用机器制造的那种商品并不因价格低廉而扩

大消费”，但是“有一部分收入被解放出来用于购买新的商品”（pp282~283）。假设有更高的购买力，当新的廉价产品需求的价格弹性较低时，就会产生非直接反弹（甚至具有价格高效率弹性的产品也会产生这种情况）。对于宣称马尔萨斯对这一观点视而不见的不公正断言，麦卡洛克给出了清楚的解释：

假定棉织品的价格由十减到一，假如棉纺品的需求不能扩大，毫无疑问，投放在棉织业的十分之九的资本和劳动，将会被抛出那个行业。但也同样可以肯定，对其他产业部门产品的需求将正比例扩大。必须记住，从前用以高价购买棉织品的钱财，不会因为它们的生产力提高和价格下降而减少。他们仍然有同样资本可资运用和同量收入可资花费。（pp177~178 和 188，强调部分为新加）

萨伊也对上述第二和第四类非直接反弹评论道：

新的机器部分地取代劳动力，但并不减少产品数量；如果机器真的会减少产品数量，那采用机械便是极其荒谬的。当使用液压发动机取代挑水夫来给一个城市供水，该城市居民照样可得到水的供给。该地的收入（购买力）在数目上至少是一样的，但是其使用转变了方向……生产费用的降低意味着消费者的收入受益了。（pp86~87）

萨伊著述的译者普林塞普(Prinsep)明确指出：“我们的收入因产品 X 成本的降低而扩大”，并且我们可以自由地“用它们购买其他物

品(第2和4类),或者扩大同一物品的生产(第1和3类)(p296 注释)”。李嘉图也引用了斯密关于对食物之外的其他物品欲望无限的证词,举例说,使用改进的机器,在雇佣劳动力不变的情况下使袜子的产量增加了三倍,而袜子的需求仅增加一倍,导致了“某些其他商品的生产”。在马尔萨斯看来:

尽管这时原有购买者的意愿和能力可能并没有降低,但由于无需表现出过去那样的需求强度就能够获得这种商品,这种需求也就不会表现出来了。(p55)

基于这种消费者剩余,需求可以并将会在其他地方显示出来。

在上述分类中,商品 Y 也可能是新产品,换句话说,这一产品在效率提高时并不存在,但其供给和消费依赖于效率的增长。例子有很多,如铁路随着更好的蒸汽发动机和更便宜的钢铁而产生,或者说,电子邮件随着数据传输中对电力更高效的使用而产生。在雷看来,交通、制粉、印刷以及玻璃制造等消费市场的开拓都是因为效率(pp116~117、245~250 和 291~292),而哈恩则预感到杰文斯对新用途和新产品的强调,他观察到:

在许多地区,煤炭的价格已经下降了 30%~40%,并且其应用的用途最终已经被大幅度扩展。(p274)

杰文斯反复强调了这一普遍观点(pp141~142 和 197),同时为煤炭在冶金和交通中的新用途命名(见脚注 23)。马丁内斯-阿列尔(Martinez-Alier)指出电力的使用不是取代了煤炭,而是增加了对煤

炭的需求(1987, p88; Jevons, p181)。由于火力发电厂效率的提高使电力变得便宜,桑妮(Sanne)为此对电力的新用途进行了比较(2000, p489)。

当达比(Darby)的大功率鼓风式冶炼炉要求以煤替代水,杰文斯称这种新消费为“技术的反作用和技术间的相互依赖”(pp372和385)。并且,斯密对生产力开辟新市场的一个基本现象早已进行了概述(I. xi. c. 36),并由萨伊(pp89~90)和雷(pp245、247和253)进行了补充。但是,假定“许多更重要的替代都是因为煤炭”是正确的(Jevons, p134),那么净效应是什么?煤炭效率意味着由于铁路的原因消费更少的马匹和燕麦,就像现今电力生产效率和电力使用也许意味着因电子邮件的使用而更少地使用纸质邮件。再者,很难或者根本不可能决定有多少这种新消费来自反弹效应,而如今它被归入到“总体经济”中而不是直接或间接反弹中。这点被所有反弹研究所忽略。比如巴贝奇、冯·李比希(1851)、西波拉(Cipolla, 1962)、罗森堡(1982和1994)、克拉普(Clapp, 1994)或西弗尔(Sieferl, 2001)等被证实的新论。

第三个例子关于直接反弹,在这个例子中,边际消费者B购买商品X,所有著述者发现,效率引致的商品X价格下降使得边际消费者能买得起这类商品;但有多少需求是真正新产生的,即不是由对商品Y的需求转移而来的,还是一个尚待解决的问题。萨伊写道:

假如……每件毛织背心值2美元钱……那些只有1.5美元的人肯定不能购买。如果同样的商品可以用1.5美元的价格生产,那么后者可能买得起并成为这些背心的消费者;如果售价只有1美元钱,那么这些背心的消费范围将进一步扩

大。这样，一些以前只有富人才买得起的产品，现在几乎所有阶级都买得起，比如袜子。(p288)

马尔萨斯回应了萨伊的观点，他说：

由于更多购买者具有购买商品的能力，商品的需求扩大了，这就使得新机械制造的全部商品的价值远远超过了以前的价值(Malthus, p281; 也见 p314)。

根据公式 $I = PAT$ [这里，影响(Impact) = 人口(Population) × 富裕程度(Affluence) × 技术(Technology)]， $(P \times A)_{后} > (P \times A)_{前}$ 。不过，西斯蒙蒂提醒这些经济学家，由于这些失业的工人不再具有购买力，市场的扩张受到了抑制(vol. 2, pp251、316~317 和 326~327)。我们可进一步询问萨伊和马尔萨斯，在背心价格从2美元钱下降之前，边际消费者将其1.5美元用在何处？无论在背心价格下降之前会消费什么，他们现在都不会再消费了，毕竟在某种程度上这构成了你赢我输的局面。

第四类也是间接反弹的一种类型，在这里，边际消费者对商品 X 的需求证明了消费者剩余，有部分购买力来购买商品 Y。这四类汇总起来，等于总反弹或社会收入效应。现今所有的反弹研究者承认，追溯这些反弹效应，从直接反弹到间接反弹再到反弹的实质，也就是总反弹或总经济反弹，是一件很困难的事情。维尔(Wirl)注意到，将“边际消费者”排除在外，不仅会遭遇“节约或能源悖论”，还会导致对反弹的低估(1997, pp19~32、36 和 112)。罗伊(Roy)相信，随着任何一种技术效率的改良，都会产生终端使用者全面的行为反应，尽

管这些行为反应可能根本不可直接追溯。(2000, p433)⁷²。我们该如何看待阿兰(Allan)等主张的“反弹是一个经验问题……只从理论角度来决定反弹和回火的程度显然是不可能的”(2006, pp21~22; 也见 pp3 和 10)呢?

马尔萨斯也看到了这一点。他说,假设在受影响的部门潜在需求很低:

在一个地区中被节省下来而无法使用的资本和劳动,究竟能够使别的地区富裕到什么程度,那是很难说的。在这一问题上,由于我们不能用事实纠正人们的说法,什么意见都可能被提出来(p286)⁷³。

我们当前是否已经有数据或事实显示某一部门在一定增长情况下造成另一部门效率的非直接反弹,是值得怀疑的。直接反弹显然更容易估计。某些行业研究计算了高直接反弹甚或总反弹(Dahmus & Gutowski, 2005; Allan et al., 2006; Herring, 2006; Fouquet & Pearson, 2006)。而一些研究则或直接或间接地支持环境效率战略,显示总反弹低达 26%,从而显示有真实的能源节约(4CMR, 2006, pp6、9 和 66)⁷⁴。还有其他一些研究证实了低反弹不仅将自身限制在直接反弹,而且还使直接反弹和总反弹两者模棱两可(Greening et al., 2000; Berkhout et al., 2000)。

第五类(在此类中,休闲是可选择的)很关键:如果需求的价格弹性是垂直的,反弹可以是零。就像在下一部分显示的,只有马尔萨斯重视这种可能的反作用,其他人则都同意雷的“改良被无价值的事物给吞噬了”(pp289~290)或者杰文斯所认为的后辈将继续做其先辈做

的事情(p199)的观点。也就是说，人类发现他们自身处于远未饱和的状态。证实反弹仅仅证明了短期的总消费者满足度，理论上的投入节约从未完全实现，而回火则依赖于很强的低饱和度前提。第六类是替代效应，它包括投入价格相对于其他价格的下降而造成的影响，这在杰文斯和其他古典文献中很少得到直接的关注。

古典的投入衡量标准不总是限于劳动力、土地面积和矿藏。密尔曾经发现，“在生产中改良的趋势常常是节省而从来不是提高一定生产条件下种子或原料的花费”(p99)。并且，可再生能源资源使得他在其分析中关心风车和水车的发明(p28)。雷的表达则更加直接：

每一个社会都拥有一定量的能够变为工具的材料。在它领土表面，它那埋于地表下的各种矿物，它的森林，它的水……所有的都可以看成是材料，这些材料通过社会成员的劳动作用可能会转变为工具。这种在任何状态下、任何居民都具备的转变为工具的能力大小……无论如何都是可变的，并且是随着他们对那些材料和事件(产品)性质的知识的增长而增长，其结果是能够使转变工具变成现实，转变能力也能提高。知识……给了(人类)以同样的材料建造更多工具的能力。(p99)

这导致了雷对发明的长篇大论——发明常常或是通过改变材料或者把现有的材料应用到新技术中来为效率服务的(pp224~229、242~249和258~259)。在斯密(I. xi. o. 12)、萨伊(pp89~90)和雷(pp242~244)看来，没有发明，水和风根本就不能利用，但是一旦有合适的装置，能量就可以越来越多地被利用。从发明到效率的纽带，建立在杰

文斯对萨弗里(Savery)燃煤蒸汽发动机和纽科门及瓦特的蒸汽发动机之区别联系密切又令人啼笑皆非的观察上：萨弗里的发动机“不烧煤，因为煤的消费价格太高了”（p143）。一旦有了发明，投入的消耗肯定与其使用的效率成比例——肯定会产生反弹但不一定会产生回火。

剩余与怠惰

马尔萨斯的破坏因素阻止了产出增长机制的运作，斯密、萨伊、李嘉图和他自己都曾对增长机制进行了描述：

有人假定，如果一些农场主与一些工厂主一向互相交换他们的剩余食物和衣物，并且现在他们的生产能力骤然增加了，双方除了能够以同样的劳动生产以前的东西，还可以生产奢侈品，那在需求方面就不会遇到什么困难……但是在这一相互满足的交换中，有两点被认为是理所当然的，而这正是争论的焦点。他们认为人们总是追求奢侈品而不喜爱怠惰；同时认为相当部分的利润都被双方作为收入而消费掉了。人们怠惰偷安而不追求奢侈品的结果，显然成为上面假定的在生产能力增加情况下所生产的产品缺乏需求，从而使劳动者失业的理由。（Malthus, p258, 也见 p9）

随着效率提高而产生的更多消费不是必要的，而只是“几乎总是发生的”（p170）。马尔萨斯问道，假如“生活必需品得到满足后，工人认为游手好闲比享用那些需要通过进一步劳动才能获得的東西更加让人快乐”（p268），那会怎么样呢？“那些可能被说服增加额外劳动

时间以生产茶叶或烟草的农夫，可能更愿意怠惰偷安，而不是再想要一件新衣服”（p283）。同样地，在较富裕的社会，“社会的嗜好和品位阻止了消费的增长”，并且“会很快减少对奢侈品和便利品的需求”（pp191 和 288；也见 Mill, p105）。这是当今充足(sufficiency)战略的愿景(Alcott, 2007)⁷⁵。马尔萨斯证明了“要教化一个野蛮人，他必然会被激发出新的需求和欲望”（Malthus, pp103~104）的观点。

马尔萨斯的《人口论》已经关注到对产品需求的限制（1798, pp95 和 120）。不过他知道“自然法则已经规定了休闲或社会中一定比例的个人服务”，并且这些有闲阶层的品位和嗜好（Veblen, 1899）可能因为商品的国际贸易，能支撑他们大量的奢侈品消费（Malthus, pp317 和 284）。这里的问题不是“萨伊定律”——过量生产仅仅是临时的，而是人类的心理问题。杰文斯明确认为，我们不能计算消费或再生产欲望减弱，甚至声称这是“主题的主旨”（p194）。他知道他那关于燃料是特别经济的争论是关于欲望、饱和与需求弹性假设的问题的一部分，也就是“（增长的）自然法则支配了消费”（pp25 和 275）必须在能源使用的模型中严格假设。的确，他在下述条件下提出了人口增长和对物质财富欲望越来越多的经典见解：

如果我们父母的收入增长了一倍，或者铁的使用增加了一倍，或者国家农产品生产增加了一倍，那么我们也必须做到这些，除非我们要么改变性格，要么改变环境。（pp193~194、232 和 275）

但是没有其他什么是可以预期的（p199）。同样，有许多后继著述者推测，如果消费者饱和是个事实，或者如果我们将效率提高所得休

闲红利估价更高，那么不确定的过度消费和高自然资源反弹将得到缓解(Schor, 1992 和 1999; Grubb, 1990a; Sanne, 2000, pp489~490 和 494~495)。

尽管萨伊曾经因某种原因慎重地写道，“这样解放出来的生产力可直接用以增加生产”(p295, 强调部分为新加)，但只有麦卡洛克认真对待了这种非消费的可能性：

如果工人所能支配的生活必需品和舒适品，突然较现在的数量上升了十倍，那么他的消费和储蓄无疑将会大大地增加，但是他不一定要继续不断地运用他的全部力量。在这样的一个社会状况下，工人不会每天从事十二或十四小时的繁重劳动，小孩子也不至于从幼年起就禁闭在纺织厂内工作。工人能够在不影响其生计的情况下，将大部分时间用于娱乐和智力开发。(pp167~168)

本节的主题显示，主流观点几乎不选择怠惰。的确，密尔仅把“较少闲暇”部分地归于无限的需求，他同时描绘了人口增长和农业收益的下降(p12)。实际上，如果马尔萨斯自己的人口原理被认真对待的话，并且“倍增……可能被认为是无限的”，那么，对更有效生产的食品和服装的需求，可能支配着“消费的能力……使之无力去消费”那些已经生产了的物品(Mill, pp34 和 154)。斯密的观点也与马尔萨斯的观点不同，他认为胃的容量是有限的，而我们进一步购买的欲望却是无限的(Smith, I. xi. c. 7)。最后，麦卡洛克自己无保留地支持这一观点(pp167~168; 也见 Petty, p307)。因而经济理论同意“财富有限从来不是因为消费者的不足，而是因为生产者和生产力的不

足” (Mill, p68)这一观点。

雷也认为“所有的现有工具都仅仅是为了提供所需物品”(p166)。他提供了关于为什么怠惰不能积累的心理学理论作为证据：“生产设备的增强……也大部分已经被无价值的东西所吞噬了”(p289)。在他认真对待休闲和怠惰并把劳动当作成本(pp98、118、141和209)的同时，显示消费最终取得胜利(p271)。实际上，他的那章“论奢华”详细叙述了人类炫耀、竞争或显赫消费的趋势(Rae, pp265~292)，预示了凡勃伦著名的“炫耀性消费”(1899, pp32、110和241; Sismondi, vol.2, p318)。根据定义，这种相关消费是无限的(Alcott, 2004)。

与凡勃伦不同，雷在他“论个人消费——动机和结果”一章广泛引用了其他作者如普利尼(Pliny)、斯密、海因里希·弗里德里希·冯·斯多奇(Heinrich Friedrich von Storch)和萨伊相似但不系统的分析(Rae, pp401~411)。在最早对可持续的呼吁中，雷赞扬了为了社会情感对“未来”、“勤俭节约”和储蓄的关心(pp60、265和275)，这一点在杰文斯对子孙后代煤炭枯竭的担忧中得到强烈支持(pp3~6、373、412和454~455)。但是这些很大程度上让步于无价值的东西：

最后，在某些方面，改良开始被接受。我们发现伴随这一变化最显著的现象是什么呢？是花费的减少——以及加强节约——以前所不知道的节俭？我相信不是这样的。(Rae, p23)

密尔甚至将这种建立在投资和怠惰基础上的消费力纳入其政治经

济学定义中。正是这种消费力“使其他每一个人的热情和动机完全抽象化，除了那些可能被认为是满足财富欲望的永久敌对原则，也就是厌恶劳动和付出高昂代价地沉迷于眼前享乐”（Bladen 引自 Mill, pxxix）。第五类（非）反弹支持极端观点：在消费者完全饱和的情况下，每一次效率的提高都将给予我们自由的时间，并会给予子孙后代相对多的资源。

回 火

马尔萨斯是最担心市场供应过多或“市场扩张”不足的经济学家（pp285 和 288）⁷⁶。但是，他最后也证明了在劳动投入方面的高反弹甚至是直接回火，如棉产品制造，“尽管是节约劳动的，但是在工厂中反而需要更多的人手而不是更少”（p281）。他因此辩护“自己并不与以机械为敌的西斯蒙蒂为伍”（p282 注释）。在其《人口论》的第 1 版（1820 年）和去世后出版的第 2 版（1836 年）之间，即便实际发生了消费者饱和现象，很多著述者已经在理论领域中禁止了消费者饱和的思想。麦卡洛克简单讲述了这一故事：

资本积累和劳动分工相互作用和影响。同等数量劳动力所能工作的原材料数量大幅度提高，因为劳动分工越来越细，以及每一工人所承担的工序更加确定和简单，他有更多机会了解使其劳动更便利并缩短其劳动时间的机械和程序。因此，产业劳动的数量不仅提高了其在每一个国家动态的存量或资本，而且，作为这一提高的结果，这种劳动分工进一步扩大，新的更有力的手段和机器被发明出来，等量的劳动因此可以生产更多数量的商品（p96；也见 Jones, pp237～

244)。

这一段论述有三点值得注意：首先，麦卡洛克似乎更关注原料而非劳动投入。其次，流动资本和固定资本一样是内生的（也见 pp94~95；Mill, p63）。第三，如果原料产出（商品）的增长真的和他说的的一样多，那么回火效应非常有可能发生。巴贝奇也讨论了材料或能源效率、时间效率，并且认为经济的增长太明显而不必提及（如见 pp100、112、222；Mill, p106）。雷与麦卡洛克的话几乎一模一样（Rae, pp67~68）。

如果麦卡洛克现在来看我们，他会认为他的“无限”之说是一个夸张的术语吗？他会在任何情况下看到其观点的保守性：“哈格里夫斯(Hargreaves)、阿科克莱特(Arkwright)和其他人的优良机械发明，能够使我们的纺纱数量是普通纱锭纺纱数量的上百倍、上千倍”（p99）。如雷所设想的，如果“某个古代的人从墓中苏醒过来并站起来”，看到十倍于过去的产量，“他可能会询问我们如何获得能力，能使这个世界发生如此大的变化”（p14）。

让我们照麦卡洛克的字面意思来理解：没有机器赋予我们的效率提高，我们生产的纱线会少得多。在杰文斯看来，“经济使得使用煤炭更加有利可图，因此对煤炭的需求增加了，……无法假设没有煤炭——而不是仅有少量的煤炭——我们该怎么办”（pp8、9 和 190）。这种想法是激进的。当今的环境效率战略声称，更有效的投入利用降低了消耗的速度。而其相反（必然的）结果就是变得更低效，我们对投入品的消耗速度会更快。或者，如果技术效率的提高程度没有变化——停滞不前了，例如大约在 1781 年引入的“瓦特的发动机、煤炭炼铁炉以及棉花厂”（Jevons, p270）——根据这一消耗策略，在经历

两个多世纪的效率提高后，我们现在消耗的劳力、棉花或燃料增加了成百上千倍，或者更多。为了保持反弹低于 100%，我们必须为这一结论辩护。

杰文斯问道：“我们能够希望萨弗里、纽科门、达比、布林德利和瓦特没有提高工业效率吗？（p457）”萨伊通过想象某一现有道路交通效率依然低下的情况，展望了冷冻技术的前景。他说，我们不能衡量道路消费者的所得，因为没有道路，“运输根本不可能发生”（p443 注释）。马尔萨斯也写过类似的话，“如果英格兰的道路和运河突然遭到破坏和毁灭……英格兰就会发生最令人震惊的价值和财富缩减”（p243）。如上所述，与杰文斯的例子有可比性的，是萨弗里的蒸汽发动机“不消耗煤炭，因为其消耗速度太快……它是如此不经济（尽管煤炭的价格很便宜）以至于根本不能被广泛使用”（pp143 和 118；Rae, pp247~248）。马克思后来总结道，如果没有机器，那么“2 000 英镑的资本在原有状态下雇佣的工人是 1 200 个而非 40 个”（p393）。密尔更是简单地把劳动分工作为效率改进的原因，并且说明“没有某种职业的分化，生产出来的东西会非常非常少”（p118）。

萨伊更进一步论述了这一心理问题。他把关于印刷业的描述作为一个效率引致价格下降的直接回火的例子：

迟早有一天……廉价会因对我所能获得的所有物品的消费和需求而消失，需求的增加总是超过生产方法改进所引起的生产力增加。（pp87 和 302，强调部分为新加）

也就是说，他假定“供给和需求的相对强度”决定价格（Say, p290），如平坦的需求曲线和陡峭的供给曲线所显示的那样。现在，

他说：

……假设……生产费用最终减少到零。……人所需要的每一个物品都将和空气或水一样，不需要生产或购买就可消费。同样地，由于每一个人都能给自己供给空气，所以他也能给自己供给一切其他可想象的物品。(pp303~304)

在效率无限的状态下，并且商品和它们的投入是免费且无限的情况下，总的、全部的、绝对的资源消耗量是会更低，还是会更高？

斯密对此问题提出了疑惑，他写道，如果“资本……是自发产生的，那么它在交换中是无价值的，并且对社会财富的增加毫无意义”(II. v. 5)。不过萨伊也从相反的角度论述了这一问题：

根据对立规律，价格的实际上涨总是由于同样的生产手段下所生产的产品不足，所以紧随其后的是总财富存量的减少。(p320；也见 Smith, I. xi. o. 6)

也就是说，在效率下降的情况下更可能产生更多的财富吗？如果我们投入时间、物质、能源和空间，并且假设知道历史上所有的效率，我们很可能达到狩猎采集社会可持续生活的人口和人均产品水平。

萨卡斯姆(Sarcasm)也区分了1826年一篇关于技术失业的机械问题的匿名文章：

如果机械的使用被认为是减少支持吸纳劳工的基础，那

么放弃使用犁和耙而回到田园生活状态，或者从地里讨生活，土壤的生产力将足够支持吸纳更多的劳动力。英格兰现在仍有许多劳工，他们在机械方面有足够的技巧和灵活性，但是由于我们依赖于尚不完善的机械，劳工的数量和支持吸纳他们的基础将逐渐按比例提高，因此，最后当我们完全失去它们的帮助时，土壤的生产力及英格兰未来的人口将远远超过地球上任何现有国家。(Anon, 1826, p102)⁷⁷

该作者批评韦克菲尔德(Wakefield)先生和查墨斯(Chalmers)博士，同时也斥责李嘉图在这个问题上的观点转变——对这一问题，最后一部分将有更多阐述。

萨伊两次用投入术语来描述消费增长。需求超过效率存在于：

对同一生产手段起作用的生产中。因此，生产手段能力的扩大会引起对它需求的扩大，为生产因生产方法改良而变得便宜的产品做准备。……当对任何产品的需求都是真实的，通过生产方式可单独获得的生产能力，也正处于需求活跃期，这必然提高生产的价值比率：这对每一种生产能力而言都是真实的。(pp302 和 324)

如果“价值比率”指的是投入前后的比值，那么进步可能等于价值比率与每单位价格的乘积，萨伊正确预言了杰文斯的处境。同样地，根据有人对斯密“基础”的诠释，萨伊也证明了反弹大于1，在那里他声称“节约……一定会增加推动产业的基础，从而最终增加土地和劳动的年生产量。”(II. ii. 25)

如前面分析，雷经常用“材料”而不是“劳动”一词来构建他的分析，但是在他谈到“材料转变为器械的效率”时，他往往仅把材料嵌入到工具、机械、设备中(p112)。然而，由于土地和食物也是工具，我们可以推断在某些案例中，效率是指物品投入的增加而不是知识的增加(pp112~113)：“每一个社会都拥有一定数量的能转化为工具的材料”(pp99和187)。对雷而言，工具的更高效率意味着它能产生更快的回报(p164)。总体而言：

改良的结果是让工具产生更快的回报……更大范围的材料在现有的基本原理所及范围内被使用，最后产生了新的工具。……因而，所有的改良都是在现有的基本原理范围内安放了更大范围的材料，并且还引发了更多数量工具的建造。(pp261、131和365)⁷⁸

再者，“工具的倍增是完全没有用的，除非它们得到某些额外的东西用以操作”，并且我们的“工具……产生了材料备用品”，“它们设计的改良……又在国家范围内产生了新的备用品”(Rae, pp29、19和68)。另外，“各种各样的农业改良……农业的发明增强了不列颠的技术……使大量以前没有被采用的材料开始投入使用”(p261)。

最后，他在讨论现今常见的反弹效应例子时，评论碎石路“方便了运输，引发了运输量的增加”(p114)。哈恩同样写道，发明“可以使劳动者的劳动对象拓展到以前所不能及的材料”(pp181~183)。这些观察整合起来，可以说就是对回火的描述：最后，效率导致了更快的材料消耗。由于每一工具——一块地、一个蒸汽发动机——不仅是工具的具体体现，同时也是运转的对象，从雷的分析我们可以推断在

投入方面没有多少节约。他继续分析工具的进步增加了耕地的数量，并且使得“岩石被开采出来，森林被砍伐，石灰被煅烧，金属从矿山中开采出来”（pp261~262）。Q 的提高肯定与反弹相伴，并且最后可能变成回火。

密尔的摘要几乎囊括了所有截至目前介绍过的概念。回顾一下，“流动资本”包括了所有食品、燃料和其他投入到生产中的材料。就在考虑“稳态”和“经济进步达到什么目标”之前（p752），他写道：

从这些考虑中已经发现，流动资本转化为固定资本，不管是铁轨或是工厂、轮船、机器、运河、矿山还是排水系统和灌溉系统，在任何一个富裕国家，都不太可能减少总产量或者劳动雇佣量。当我们考虑这些资本的转型是生产进步的本质而不是最终减少流动资本，那么资本转型的加强是其增长的必要条件，因为它们仅使一国不断获得资本扩张而不使利润下降以至于停止资本的积累。固定资本几乎没有任何增长，不能使国家最后容纳超过其自身限制的更大规模的流动资本，因为几乎没有一个固定资本的创造，如果被证明有效的话，不使日常购置的商品变得便宜。土地永久改良中的所有资本沉没减少了食物和原料的成本，几乎所有的机器改良都会使劳动力的衣服或住宿或供他们劳作的工具变得更便宜，迁移工具的改良如铁路，降低了消费者从远方购买的所有物品的价格。（pp750~751，也见 p344）

引语后的几页表达了密尔对任何劳动力节约都是因节约劳动力的设备而引起的怀疑。这一古典思想的成果落在杰文斯身上。

人口原理

自古典经济时代开始，人口规模的重要性似乎已经降低至因变量地位，然而过去两个世纪人口的 10 倍增长肯定是首先需要解释的问题。没有一个古典经济学家挑战过生产力的因果关系。相反，现在这一关系已经被否定了，如施佩尔(Schipper)和格拉布(Grubb)，尽管他们“把人口或者 GDP 用绝对量来规范化”，他们还是没有看到能源效率的提高显著地激发了人口的增长(2000, p368)。也许是羞于面对人类确实因缺乏生活资料而死亡的现实，经合组织国家几乎所有研究方向都避免把农业和制造业的效率作为一个独立变量。然而，如果人口增长至少因效率提高而变得可行，那么在能源-消费模型中把人口作为完全外生变量就是错误的(如 Schipper et al., 1996, p174; Howarth, 1997, p4; Lantz & Feng, 2006, p235)。这也意味着对反弹的低估。

预感到 $I = PAT$ ，杰文斯认为“煤炭消耗的数量实际上有两个维度的数量，人口的数量和人均消耗的平均数”(p196)。马尔萨斯在他的两本主要著作中都把人口数量内生，他用比喻性的措辞论述道：

“当生活必需品适当分配后，他们自身的需求通过养育若干数量的需求者而产生”(p113；也见 pp114、130、181、223 和 251)。然后他指出，如果“生产能力”提高并不是人口增加的必要条件，那么“地球完全有可能早在这个时期以前(19 世纪中期)就至少已经容纳了 10 倍于目前地球上所养活的人数”(pp251 和 288)。在解释财富方面，他说

“认为人口可以大量而持续地增长，这只是用未定问题作为论据的臆断。我们也可以马上假设财富可以如此增加”(p252)。(具有讽刺意味的是，无数反弹的塑造者实际上就是这么做的，他们把 GDP、经济活动或总产出外生化！⁷⁹)如前所述，古典经济学几乎完全把增长内生

化，把土地和劳动力的年产量规模部分地归因于“改良”——就如密尔在前面引述的那样。进步增加了生活资料的供给（尽管农业的回报下降），提高了市场化程度，这反过来又允许更多的劳动分工和更大更昂贵机器的使用，而这又反过来能养育更多的人口（Mill, pp33, 129~131、190 和 712~714）。

也许是以配第的思想（p255）为基础，马尔萨斯简单叙述道：“工人数量因食品数量的增加或者土地不断改良和耕种的变化而增加”（Ixi. c. 7）。在萨伊思想的基础上（pp71 和 292~295），麦卡洛克写道：“对于为什么人类不能把自己当作自然资本的组成部分这个问题，任何理由都不能成为好的理由。人类的劳动生产能力和用其自身能力建造的机器一样多”（p115；也见 Mill, pp40~41）。马尔萨斯提到了训练“一个偷猎者的成本”与训练一个普通劳动者或一个煤炭搬运工的费用比较（p180；也见 Jones, p196）。雷则抽象却又直截了当地把“发明”称为“国家和人民的真正发动机”（pp31 和 323）。生活资料不仅包括食品也包括取暖、住房和基本健康（Say, pp301 注释、373 和 378, Mill, pp154~159）。劳动（和人）的数量是劳动数量和质量（人力资本）的函数。

从配第关于土地会养育多少人口开始，所有前辈学者都信奉人口原理，马尔萨斯用“趋势”、生活资料、结婚和生育的决定对繁荣的影响等措辞来表述这一原理（1798, pp20~26、33~34、41、52、70 和 74~75）⁸⁰。当然，杰文斯凭经验把这与煤炭联系在一起：“由于廉价煤炭的供给，以及我们对煤炭利用的技术进步……我们日益变得富裕和人口众多”（pp199~200）。根据（负面的）环境影响的生产函数 $I = PAT$ ，这里的影响是由人口、富裕程度和技术导致的，我们应该写 $I = f(P, A, T)$ 。 $A = f(T)$ 表示我们变得更加富裕，而 $P = f(T)$ 表

示人口变得更多。这里的人口因素不只被前辈学者认可，它也被最近的研究者所阐述与认可（如 Giampietro, 1994, pp680 ~ 681; Hannon, 1998, p215)⁸¹。斯默克勒(Schmookler)有意识地把人口既当作内生变量又当作外生变量(1966, pp104 ~ 106; Rosenberg, 1982, p141)。此外，如果人口和经济规模是部分内生的，那么在文献中随处可见的有关增长的结果和效率之间的竞争是不正确的(Levett, 2004, p1015)⁸²。当增长和效率被认为是互相竞争时，回火问题被回避了，但是竞争的说法再一次显示了悖论：效率的提高，是补偿了增长，还是导致了增长？

另一个在大多数反弹分析中与人口相关的问题，是在一定的商品、服务或支出条件下的能源强度概念，在此“能源成本通常是拥有和运行用能设备总成本的组成部分”(Howarth, 1997, p2)。“总能源成本一般占 GDP 的几个百分点”，并且任何反弹的大小或者再开销的影响(购买力得到释放用以购买其他的含能服务)，与这一百分比都是成比例的(Grubb, 1990b, p784; Greening et al, 2000, p391)⁸³。如在分析直接反弹时，有人比较了新旧支出的能源强度以帮助衡量能源消耗的变化。如在马尔萨斯为自然价格的概念辩护中，这种能源份额和其他强度如劳动或资本，加起来总和是 100(pp66~67)。

然而，就如前面讨论萨伊的“非物质对象”所示，劳动购买也意味着劳动者在物质和能量上的消耗，用老话讲是“劳动力再生产”。卡夫曼描述这种对资本和劳动的反作用是在当这些要素被能源所替代时，资本和劳动也有能源成本，而这一能源成本“抵消了小部分的直接能源节约，并且减少了因价格引致的微观经济替代所节约的能源量”(1992, p49)。密尔举例详细分析了一条面包(的成本)，称面包师傅、耕作者、制犁匠、木匠、瓦匠、为保护农作物而修建围篱和挖沟

的工人、矿工和冶炼工等分担了面包价格(成本)(p31)。当从古典意义上把它们看成是先前的物化劳动,那么劳动和资本越多,伴随的能源消耗也就越多,并且不存在能源中性(Costanza, 1980)。密尔也在这些分析中附带地否定了完全替代的含义:

当两个条件对于结果的产生同样必不可少时,说一种条件产生多少结果而另一条件又产生多少结果是毫无意义的;这就如同试图确定剪刀的哪一半在剪切中起的作用最大,或者说,下列两个因子,5和6,哪一个对乘积30的贡献最大。(pp28~29)

无论如何,“非能源”成本对能源消耗没有影响的看法一定要被否定:一旦包括人口的出生和供养,出席一场音乐会并非如声称的那样是个环保行动。边际能源强度随收入提高而降低的观点——也归因于社会收入效应——必须受到质疑。

全球人口以及技术上所达到的富裕水平,伴随着人类对植物的生存空间和其他动物种群的侵害,引发了人们对如空间或土地的进一步生产投入的利用(仅视为 m^2 、 $\lambda m^2 \uparrow \rightarrow m^2 \uparrow$)可能反弹的热衷。不只是农业效率,交通和建筑效率也可以用土地利用的数量来表达,如提出了更有效的耕种是否可以减少森林的压力这样的问题(Jevons, p200; Pascual, 2002, p497)。每当古典文献提出这一问题,回答都是:随着农业的改良我们不会再让土地荒芜⁸⁴。

工作悖论

由于它们直接提高人口数量,劳动效率和能源效率的提高因而间

接增加了工作时间或雇佣人数。不过，假设工作日时间长度有限，在人口数量不变的情况下，结果还是如此吗？劳动反弹会很小，但就如密尔所说的，最有可能的结果是工作时间并不减少。记得在杰文斯之前，经济学家们把各种各样的效率变化——不仅仅是技术效率变化——概念化，但明确要求只是劳动投入后而不是物质投入后的最终结果。他们的具体讨论涉及是否机器导致了长期的失业。杰文斯当然意识到“每一次发动机改良……手工劳动进一步被机械劳动所替代”，而在农业领域“劳动节约使得劳动力过剩”（pp152~153和243），同时通过自由贸易制度，效率“把劳动经济提高到最高点”（p413）。但是他证明了对劳动力的需求显然也因此增长：

一般来说，根据在许多类似情况中所认可的原则，新的经济模式将会导致消费的增长。劳动经济会因引入新机器而暂时解雇劳动力。但是随着对廉价产品需求的增加，就业领域最终会被大大地拓宽。（p140）

就如其前辈以印刷和棉纺为例那样，他以女裁缝、煤矿工和钢铁工人等实例为证据（pp130~131、140、153、213~218和277~278）。就如我们将看到的，马克思对这一结果并不清楚，李嘉图和西斯蒙蒂也没有看到这一点，而同时代的杰文斯在著述提到了这一结果。

这一问题与所讨论的初级能源投入问题相同：生产投入节约系统是永久减少还是永久提高初级能源投入的消耗呢？我们甚至可以称之为“萨伊悖论”，因为在证明廉价的产品产生额外的工作后，他写道：

不管这看起来多么矛盾，在所有阶层中，劳动阶层在促进人类劳动经济方面最让人感兴趣，因为这个阶层是从物价总体廉价水平中获益最多的，并且也是从总体高价中受害最大的。(p89 注释)

20 位不幸从面粉厂被解雇的人中，有 19 位会重新找到其他工作，这一结果对他来说无疑很“突然”(1820, p63)⁸⁵。但他声称，在印刷业，即便机器已经让 200 个印刷工人中的 199 个失业了，也许还有 20 000 个人仍靠从事印刷营生(p88)。

然而，许多能源效率提高会引起劳动效率的提高，而这被当作副作用——如果仅仅是采矿和每单位产品的能源分配——如果仅考虑替代效应的话，劳动力节约的变化如新机器、家用小电器或者工厂系统往往会降低每单位能源效率。这种介于 βM 和 αL 的反馈，可以用劳动或者能源消费的完整模型来研究(Rae, p20; Marx, pp386~387; Binswanger, 2001, pp127~128)。再举一个陶瓷炉取代平炉的例子：加热时，所需劈木材和堆放木材的时间减少，所需木材量也减少了（也见 Jones, pp249~250; Mill, pp106~107; Martinez-Alier, 1987, p3）。哈恩概括的见解是：“劳动力和……时间都空余出来，被应用于其他工业目的”；“替代人力的自然力的引入，或除人力外的自然力的引入，解放了一些商品”（pp183~185 和 271）。但是杰文斯悖论仅考虑 $M = f(\beta M)$ ，并没有考虑 $M = f(\alpha L)$ 。

通过对价格下降、盈利能力和收入效应的辩论，得出了一个几乎一致的盛行观点。该观点涉及产出增长和劳动投入增长——密尔对此概括的妙语出现在我们的引语中。在几年之前爆发的关于机器与人的辩战中，斯密声称：

资本的积累必须……在分工之前……劳动分工的进步……如果雇佣工人数量不变，那么预先储备的工人的食物数量可以不变，而预先储存的原料和劳动工具却要比在未进步以前多。然而，随着行业分支越来越细，其在各个分支所需要的工人数量一般来说也越来越多……在任何社会中，实际雇佣的有用劳动力数量的增加，必须同时依赖于其所利用资本的增加。(II. intro. 3、IV. ix. 36)

记住资本包括固定资本和流动资本(在这个例子中，指在生产期间以食品和供应物的形式表现的工资)，并且固定资本总是引起效率提高(Jevons, pp150~155)，斯密认为技术效率(“工具”)和组织效率(“劳动分工”)是工作数量增多的条件。没有任何迹象说明机器导致工人失业。

不过，在直觉上，劳动经济和燃料经济一样充满矛盾，事实是机器的确明显和局部地替代了人工，并且在19世纪20年代早期已经孕育了萨伊、罗伯特·欧文、李嘉图、西斯蒙蒂和马尔萨斯等人的理论立场。萨伊在他1803年的著作第1版第九章中首次讨论人工替代，在后来的版本以及在第四封《致马尔萨斯的信》(1820)中，他做出了重要改变，但是依然坚持他的结论。劳德戴尔也系统地讨论过机器取代劳动，首次同意斯密关于纺织制造业中较低的劳动成本降低了纺织品价格以及机器通常会增加财富这一观点，但是同时他也证明了对“文盲制造商自身”替代的净损失，并为“引入各种各样机器零部件所发生的混乱”寻找合理的理由(pp168~171、184、189~192和206)。

回想当今关于反弹的许多微观工作，大多数参与者追溯了因效率提高而资本货币量或收入节约却减少的结局。制造和维护机器增加了

就业机会，但是当生产过程需要更少人工时，就业机会却又少了；雇主花更多的利润在奢侈品或仆人的消费上，使就业机会增加了，但是如果对其他产品的需求减少，就业机会又会减少。货币的例子可以在李嘉图(pp16 和 388~391)、西斯蒙蒂(vol. 2, pp324~326)、萨伊(1820, pp60~61 和 65~67)、马尔萨斯(pp192~194 和 282~283)、麦卡洛克(pp179~182)和马克思(pp392~393)的著作中发现。他们观测的参数包括：(1) 劳动效率提高百分比与价格下降百分比的对比(常常视为相等)；(2) 总的固定资本；(3) 总流动资本在不同部门的工人之间以及工人和资本家之间流动；(4) 对其他产品需求的收入效应；(5) 制造和维护机器的劳动需求；(6) 机器的使用期限；(7) “非生产劳动”和“仆役”的需求，这些著作者并不把它们算作“劳动力”；(8) 外国的需求；(9) 劳动的短期替代。

大多数参数出现在李嘉图自相矛盾的讨论中。在他 1821 年的第 3 版著作中，李嘉图承认了他某些想法的变化，但没有明确地回应萨伊。他早先相信“纯收入”(租金和利润)增加往往伴随着“总收入”(包括工资和隐性工作)的增加，他还在议会上反对欧文的对立观点(Sraffa, 1951, plviii)。在他的新章节“论机器”中，他认为：因为雇主减少了“流动资本……他雇佣劳动力的手段也会减少”(p389)；但是随着机器采用后利润的增加，“(纯产品)的商品购买力可以大幅度增加”(pp389~390)。在断言“对劳动的需求必然会减少，人口也将会过剩”时，他的系统边界还是停留在单个工厂和部门，换句话说，他忘记了非直接反弹(p390)；然而，由于“机器的采用使商品的价格降低……不一定会有任何人口过剩的现象了”(p390；也见 p392)。

然后他似乎忘记了价格下降，比如他怀疑对毛呢大幅度供给的需求(p391)。在用马力替代人力的简单例子中，他看到了总收入下降而

纯收入提高的情形(p394)；然而，即便在这里，农场主的收入依然是如此巨大，或者“土地的产出(如此)增加”，所有的失业者都能在“制造业领域受雇或被雇佣为仆役”(pp394~395)。一方面，他说：

所有我要证明的，就是机器的发明与采用可能伴随着总生产的减少……劳动阶级的利益会因此受到损害，因为其中一部分人将会失业。……一个国家净产品的增加和总生产的减少是可以相容的。……一部分资本投入改良的机器，会降低劳动需求增加的速度。(pp390、392 和 397)

另一方面，他相信“一个国家不鼓励人们采用机器总是不妥当的，机器必须……被鼓励”——不仅因为它的采用是缓慢的，还因为，如果不采用机器的话，甚至机械产业所容纳的工作机会也会转移到海外(pp395~396)。用现今的争论来讲，李嘉图讨论的是反弹永远不会大于100%，而是倾向于小得多。

萨伊在其《政治经济学概论》(pp86~90)和第四封《致马尔萨斯的信》(1820)中直接抨击了这个问题。在信中，他直接结合他的案例做了以下分析：第一，价格大幅下降和需求的高价格弹性(1820, pp56~57)；第二，对其他商品的潜在需求因收入效应(他很不公平地将之归咎于西斯蒙蒂的疏忽)而得到满足(1820, pp60~62)；第三，事实上，机器可以简单地比人力做更多的工作(1820, pp58~59)；而第四，归根到底，工厂生产同等数量的产品用来消费，而被解雇的那些工人因为生计将会做其他事情(1820, pp61~63)。密尔较温和地回应了最后一点，他声称“如果人们有劳动能力，有食物给他们吃，则总可以雇佣他们生产某种东西”(p66, 强调部分为新加)。同时，自然资

源不适用这个目的却适用于其他目的，现在这已经是司空见惯的了。

萨伊继续令人信服地说明西斯蒙蒂的货币例子包含了一些不现实的假设，但是他自己也犯了两个数字错误(Say, pp60~61)。他于是经验主义地呼吁其身边的高就业和不断提高的就业率(p63)并做了一个历史回顾，这是一个精确的完美预测：

如果技术仍然进步……它们会用更少的开支生产更多产品，而且成百万新手工人在几年里会生产出物品，这会刺激我们的大脑，如果我们能够见到这成为事实，这种惊喜将不亚于伟大的阿基米德(Archimedes)和普林尼所体验到的，如果他们可以再一次造访我们。(p64)⁸⁶

和前面经典的辩论一样，两种模棱两可的状况妨碍了对劳动和物质或能源投入的比较。首先，物质节约绝对是好的，然而劳动力节约却相反，因为相对于物质，人们必须吃。人口保持不变，工作效率提高，同样或更多的工作比其他(反弹 100%或回火)更能保证生活。与劳动是痛苦又讨厌的观点多少有些对立，反弹大于 1，因而是有好处的。相反，当资源消耗明显对富裕有好处时，因为资源稀缺和污染问题的存在，资源的过度消耗和因此而造成的回火是不好的。

其次，正如争论的参与者提供的簿记显示，社会或生活或充分就业的问题是可以解决的：产出的数量并没有减少！或者，就如李嘉图承认的，从收入而非生产的角度看，如果雇主解雇了 10 个工人中的 5 个，他们还是继续保持了雇佣 10 个人时的购买力(1820~1822, p355)。如果之前充分实现了的社会生产可能性能供养每个人，那么它也能因此在日常实现的所有大大小小的生产力提高后供养每个人。

因此，即使那些持有效率节约已经实际发生了的观点的人，也指责既没有较短的工作时间也没有就业保障的厂房或资本主义制度。许多人如欧文(Sraffa, 1951, pp1vii~lx; Berg, 1980; Greenberg, 1990, pp710~712)和西斯蒙蒂(vol.2, pp312~313 和 317)因此混淆了伦理或社会主义论点与经济的论点。甚至于马克思——一方面坚持认为，不仅是短期内资本控制下的节省劳动力的生产力提高意味着“工作日的延长”——也写道：

劳动者(必须)通过资本分辨机器和其使用，引导他们的攻击不要针对生产的物质装置，而是针对使用这些装置的方式。(pp351、356 和 374)

尽管他的学说认为机器和工人处于竞争状态；虽然新资本可以雇佣许多新失业者，虽然实际上许多或更多生活必需品仍在生产，但是需求的充分提高仍然是不确定的(pp37 和 384~386)。

因此，如果剩余工作和(或)同样多或不断新增的产出平均分配，计算劳动效率的总就业效应问题将会失去其社会因素。再者，所有人同意萨伊的观点，认为即便风力驱动的面粉机做了 18 个人的工作，这“18 个多余的人理论上也会拥有生活必需品”(p90；也见 Rae, p259)。和能源投入类似的是，一台机器所做工作效率翻倍后(一吨煤顶两吨用)，煤炭和使用煤炭的方法继续保留。然而，尽管萨伊、马尔萨斯、麦卡洛克和密尔确信随之而来的是更多的劳动(回火)，他们认为减少失业工人困难的一些方法是合乎情理的。密尔甚至设想一个“仁慈的政府”会确保工作分配公平，换句话说，是收入分配公平(p67)。就如爱德华·贝拉米(Edward Bellamy)在他的《回溯过去：

2000~1887》(*Looking Backward**) (1887)一书中所详细解释的那样,人们一致认为,在力所能及的范围内,不管最后的就业水平如何,必须将充分就业看成是一个社会问题,而不是经济问题。

结果是,如果产品至少保持不变,工作时间100%反弹可能没有任何额外的成本。就像马尔萨斯所声称的那样,“净生产”往往可以雇佣“非生产劳动力”如“仆役、士兵和水手”(p191)。不过相反情况也是可能的。在那段为他赢得主张劳动反弹低于1的倡导者声誉的晦涩难懂的文字中,他说,甚至随着“总产品可交换价值”的提高,可能导致就业不变或萎缩,也就是说,当“奢侈品和便利品”的生产增加是以牺牲生活必需品的生产为代价时;但是,他更重要的主张是否定了固定资本和流动资本之间的任何比例关系,也否认了效率和需求的任何比例关系:这与他在《人口论》中的论述一致,这仅取决于“社会劳动阶级用以换取食品、衣着、住宿和燃料的手段”(pp190~191)。

如果总产量较高,富裕程度的提高和人口的增加会有着某种联系。然而,如果我们假设在效率提高前每个工人都正按最长工作时间工作,若没有人口的增加,劳动回火在逻辑上是不可能发生的(Malthus, pp62~63)。(类似的能源反弹极限可能会通过稀缺性或热动力极限而出现。)事实上,马尔萨斯得出结论认为,如果“固定资本的采用”是逐步的,并且用于“维持劳动的基金”用某种方法跟上了固定资本增长的脚步,结果是“造成劳动力的大量需求,人口大量增加,并且因此也没有必要担心固定资本的采用……将减少劳动的有效需求”(p193;也见 pp281~289)。1836年,他因此为自己“与西斯蒙

* 书的全称为 *Looking Backward: 2000 - 1887*。——译者注

蒂一起被(麦卡洛克)列为机器的敌人”(p282 注释)辩护,他也拒绝李嘉图的怀疑和“西斯蒙蒂和欧文先生”关于节约劳动的机器是“巨大不幸”的观点(p295 注释)。

麦卡洛克实际上和萨伊一样确信“机器的普及和改良总是对劳动力有利”(p165),不过,这不仅仅是因为产生了更多的工作时间。他最初的观点是:如果机器因劳动生产率提高而降低了对劳动的需求,那么“有关工人的科学、手艺和劳动的进步”也会产生这样的结果。因此,“西斯蒙蒂会……毫不犹豫地谴责这种进步是一种极大的罪恶”(pp165~166)。如上所述,麦卡洛克假设宏观经济10倍效率的提高将会带来更多的闲暇时间(pp166~168; Mill, pp105~106)。结果是造成大量的物质(能源)消耗的反弹,没有产生劳动消耗的回火,而是产生了实实在在的劳动投入节约,并且,想象中的富饶会使社会在政治上保证充分就业⁸⁷。但是,他假定没有人口增长。如果人口和(或)工作时间增加,劳动回火(L-backfire)会随之发生。

微观上,麦卡洛克直接证明了标准价格的下降、需求的高价格弹性和间接反弹(pp176~180)。在他关于缩短工作时间的所有自相矛盾的远景中,他基于理论和观察,说明了“哈格里夫斯、阿科克莱特和瓦特”发明的机器为“成千上万的工人”创造了就业机会(p117)。这又一次引出了我们的悖论:根据多罗蕾丝·格林伯格(Dolores Greenberg)所述,欧文·约翰·布鲁克斯(Owenite John Brooks)在1836年计算出英国和爱尔兰的机器所做工作不少于6亿人所做的工作(Greenberg, 1990, p711; Jevons, p411)。我们可以从中推断,有6亿人因此而失业——也许甚至会以为他们已经挨饿或尚未出生?如果机器所做工作仅仅相当于3亿人所做的,就业会两倍于前者吗?

杰文斯的某些人口数据和替代的统计数字暗示了这些问题:

粗略来说，人口已经是19世纪初的4倍，煤炭的消耗却已经增加了16倍甚至更多。人均消耗因此已经增加了4倍。
(p196)

与当今的“可再生能源”讨论有关，比如他推断因为“普通风车具有相当于34个劳动力或者最多7匹马的功率……所以，达莱斯钢铁厂……需要不少于1000架大型风车”（pp164~165；也见pp203~205）。然而，当他写道“不能认为，没有煤炭，我们能做的事情会超过我们利用煤炭能做的事情”，我们可以问这里的“我们”是多少人（p9），我们的富裕程度如何，因为“有了煤炭，几乎任何成就都是可能的或简单的，而没有它，我们又会被扔回早期的艰辛贫苦中”（p2）⁸⁸。

萨伊、马尔萨斯和麦卡洛克没有肯定地说明劳动回火。他们给我们展示的，不是我们更多的工作时间必然导致劳动回火，而是更少的工作时间必然不会导致劳动回火。比如，西斯蒙蒂甚至看到了工人们显得多余不是由于织袜机导致的，而仅仅是由于审美变化、人口增加、财富增加三个外生因素所致（vol.2, pp316~317 和 330~331）⁸⁹。但是在一般情况下，与萨伊所声称的对他的嘲笑相反（1820, pp61~62），西斯蒙蒂确实说到袜子变得廉价，因此这类需求的增加就归因于部门中的收入效应，与受效率提高影响的需求无关。但是西斯蒙蒂认为，总购买力并不比之前花在代价高昂的争吵上更高，甚至比之更低：“新需求将不会与因解雇工人所造成的需求减少成相同比例”（vol.2, pp317 和 322~324；也见 McCulloch, pp186~187）。更进一步的缺乏确定性的标记，是萨伊的经验主义主张：在一定的需求函数下，在棉纺业和印刷业中，回火效应也许已经被证明了，但是这仅仅

是在行业研究中发生的，并不意味着在整体经济中都出现这种效应（p57）。

西斯蒙蒂对于低反弹的论据之一是，因为袜子的价格不仅仅包括劳动力成本，当一台机器削减了99%的劳动力成本，价格不可能与所解雇的工人数成比例下降（vol.2, pp323~324）。再者，当今的许多争论是由于能源成本只占GDP的很小一部分，所以价格的效率弹性低（Howarth, 1997, pp2~3; Allan et al., 2006, pp18~19）。尽管如果反弹表现为不是总体经济活动而仅仅是潜在工程节约的一部分，这一争论就会失去效力，但是这可以作为杰文斯悖论之所以成为悖论的一个说得过去的理由。如果价格下降50%，那么无论如何，无论给定投入的效率是提高了51%还是99%，经济都有了更多的真实购买力；也许价格的效率弹性概念就相当于苹果和梨的关系。

最后，密尔遇到了问题，即我们前面提到的：购买力被吸引到更便宜、更高效生产的商品上去，而以前购买过的旧商品缺乏购买吸引力，因而这些部门容纳就业的能力降低了。一方面他证明了：

资本的每一次增加，要么会带来更多的就业机会，要么会增加劳动报酬……如果能找到更多的人手去工作，总产量会增加。如果人数不变，他们可得到更大的份额。甚至在后一种情况下，由于劳动力受到刺激后会更卖力地干活，产量本身也会扩大（p68，也见 p87）。

不过他补充道，标准的论点——通过更便宜的商品、更有效的生产及在这一部门采用固定资本和流动资本得到的更多工作机会：

并不像通常所认为的那么有力……如果这种资本是抽自其他行业，如果替补昂贵的机器投资的资金不是由改良带来的更多储蓄所提供，而是抽自社会的总资本，那么劳动阶级怎样会从这种单纯的转移中得到好处呢？流动资本转变为固定资本带给劳动阶级的损失，难道仅仅会由于一部分剩余的流动资本从老行业转到新行业而得到补偿吗？（p96）

在此，密尔设想了一个零和过程，如果从金钱角度测量恒定的货币供应经济，的确是这样的。也许他认为以下假设——资本必须是从其他已有的行业部门抽取的，而不是从实际增多的产量或每单位投入的回报中抽取的——是错误的。这一答案本该由萨伊给出，结果却由雷给出。尽管密尔后来试图否定自己论点的努力并没有获得成功，但他还是用萨伊的观点做结论，即工作机会最终并没有受到威胁，反而是增加了（pp119~120、133~134 和 749~751）。

现在，没有人期望或害怕劳动效率提高不会产生劳动回火。在过去的两个世纪，人们已经接受了这些“进步”会伴随着就业机会和人口增加的观点。一个因果关系甚至更加明确了：各方面的效率提高，如自由贸易、低交易成本、产业的重组整合以及每天生产流水线的工作过程，都被认为是进一步推动经济增长的原因，而就业市场的扩张又依赖于经济增长。但是，不同的目标和期望，对物质（能源）投入的认知也是不同的。正像过去对“劳动力是成本”还是“劳动力是收入的体现”这一模棱两可的问题的讨论一样，现今的讨论也自相矛盾地将任何一种效率称赞为降低环境影响和促进经济与财富增长的工具。然而，如果能源反弹接近或大于 1，那么用直接手段如税收和定量配给更能促进环境目标的实现（Hannon, 1975; Sanne, 2000, pp488 和

491~492; Fawcett, 2004; Simms, 2005)⁹⁰。

结 论

杰文斯开启了燃料经济的重要篇章(他用了“效率比率”一词),他引用了冯·李比希的一段话:

教化是一种经济力量。科学教会了我们用最小的力量支出(投入)获得最大的效果(产出)这一最简单的方法,以及用某种方法产生最大的力量。在农业、工业部门、科学和社会经济中,能量的无效发挥和力量的浪费是野蛮状态或真正文明缺失的特征。(von Leibig, 1851, p642)⁹¹

于是就如现在,力量和因此造成的富裕和文明建立在化石燃料基础上。但是污染和即将发生的稀缺揭露了如此受欢迎的繁荣背后的黑暗面。粗略地说,按照上面所述部门的先后次序,可以得出结论:在其他条件不变的情况下,是否更高的效率,不仅会使富裕程度和人口数量提高,还会减缓环境压力。

效率是人类和其他自然媒介以及资本和组织的属性,不过总是表现为产出/投入比率。就如古典经济学家们通常做的,把效率看成更大的产出,我们具有找到貌似有理的高反弹的倾向;把效率看成更小的投入,我们倾向于看到低反弹和真实的节约。“反弹”一词本身是一个描述弹力球的比喻说法,但是一次反弹直达回火程度并不能客观公正地意味着永恒运动或其他。在保持消费不变的情况下,对能源消耗的分析可能不能推导出工程节约,因而也没有反弹和回火的概念。

在回归分析中,为了解释不断提高的能源消耗(速度),可以用“技术效率”作为自变量。但是,如何测量这一变量随着时间的变化在所有部门、所有经济体中的变化,并且整合成新产品?充分的度量标准,无论是货币的、效用的还是物理术语,都是很难获得的,而其短缺又使得实证研究非常困难。测度有形产出、与环境相关最大的路径,必须寻求暗含着以人类为中心、不受度量标准限制的词汇,如损耗、有效性、质量、服务和价值,因为这些词把环境与富裕的标准合在一起⁹²。不过更不科学的是,我们都假设技术效率不断提高。古典经济学家也证明了这一点,并且不仅将这与财富生产的增长联系在一起,有时还与劳动力和物质投入数量增长联系在一起。如杰文斯提供了关于回火的实证证据,和煤炭消耗的增加相比,人口和富裕程度也在燃料经济中增长,举例来说,在35年中,生铁的生产增长了大约7倍(pp145, 196, 261~271和387~388;也见 Martinez-Alier, 1987, pp86)。

丰富的实证研究成果必须有足够大的规模,以不仅能证明所有部门的非直接反弹,还能够获取具体进口能源的经济消耗情况(Jevons, p317)。这需要最终涵盖所有的部门以及经济状况得到普遍认可⁹³。如麦卡洛克说的,我们必须研究“在贝克莱大主教所谓铜墙包围下的一个国家”的效率效应(p185),这是对全球的精彩描述。还有更重要的原因,那就是环境问题是全球性的,我们的研究必须是全球化的,并且要测量总反弹而不仅仅是直接反弹。

但是在缺乏确凿的实证结果的情况下,我们必须求助于理论,实际上,双方在现今效率的环境影响争论中都“从反事实的角度”提问,换句话说,在没有效率提高的情况下,能源消耗会怎么样(Khazzoom, 1980, pp22~31; Howarth, 1997, p3; Brooks, 2000, p356; Moezzi, 2000, pp525~526; Schipper & Grubb, 2000, p370)。

那么，哪个模型能更好地预测这种相互关系呢？杰文斯的模型也许可以被量化成包含略大于100%的技术反弹因素，或者在生产函数中的效率系数，大约1.01。保持所有变量不变，这一模型在预计能源消耗的增加方面比假定反弹小于1的模型好。这导致预测的消耗和实际消耗之间形成了巨大的差距，这一差距往往由外生的GDP来填补。此外，如果效率不提高，这种模型必须显示究竟是什么原因在实际上导致了消耗的增加⁹⁴。而且，这些原因必须足够强大，以至于能超越更高效率引起的消耗减少效应⁹⁵。

所有来源的效率提高已不断地扩展了世界经济的生产可能性边界，从而导致消费边界的扩张。从实物上来理解——包括消费中的实物投入——可以避免在用收入效应和社会购买力等词做微观货币分析时所出现的某些困难。然而，当这直接显示似乎可信的巨大反弹时，直接推断回火会回避我们的整个问题。必须认真对待杰文斯悖论。无论如何，在没有关于物质需求(非)饱和与更大生产对人口规模的效应的假设或经验证据时，答案是无法给出的。

政策状况是值得注意的。理论和实际投入节约完全相同的可能性是零。某些反弹是毫无争议的，并且最低的宏观总反弹估计在25%~40%。因而，真正令人惊讶的是，除了少数例外⁹⁶，政府机构和政策评估公司不会校正它⁹⁷，而是用纯工程手段使真实的节约等于技术上可能的节约。然而，一个0.5的反弹系数，在当前状态下可被证明为合理的，会显著地改变对效果的效率和其成本效益的估计。

值得注意的是，斯密关于“人类的胃”这一段文字——230年之前写的——几乎涵盖了处理我们问题的所有概念：

然而通过土地的改良和耕种，一个家庭的劳动可为两家

人提供食物，一半社会劳动力足以为整个社会提供食物。因此，另外一半，或至少它们中的大部分劳动力就可以解放出来，提供别的东西或满足人类的其他需要和喜好。服装、住房、家具以及被称为车马的东西，是大部分需要和喜好中的主要对象。富人可能不会比其贫穷的邻居消费的食物多。然而，他们所消费食品的质量可能差异很大，并且其食品的选择和制作可能会要求更多的劳动力和工艺，但是，从数量上看，它们基本相同。不过，把前者拥有的宽敞豪宅和巨大衣橱与后者拥有的陋室和几件破衣服相比，你会感到他们在服装、住房以及家具上的差距，无论是在数量上还是在质量上，都是非常大的。对食物的需求受到每个人胃容纳能力的限制，但是对便利品和房屋装饰品、服装、车马和家具的需求似乎没有什么边界和限制。因此，那些拥有超出自身所能消费的食物量的人，总是愿意将其剩余部分或者类似东西的价值，来交换足以满足自身其他需求的東西。用满足有限的需求之外所剩余的物品，来换取无限欲望的满足。而穷人为了得到食物，努力让富人的喜好得到满足，并且为了使自己对食物的获取更加具有确定性，他们用更廉价和更完美的工作互相竞争。随着食品数量的增长，或者随着土地的不断改良和耕作，工人的数量也随之不断增长。由于他们的行业性质允许劳动的极大分工，所以他们所能使用的原料数量的增加比其人数增加的比例更大。因此，对人类发明可供采用的各种材料的需求产生了——如，对在建筑、穿着、车马和家具等方面有实际使用意义的材料的需求，或对装饰用的材料的需求；对深藏于地球深处的化石和矿产的需求，对贵金属

和贵重宝石的需求。(I. xi. b. 7)⁹⁸

在此我们发现，效率就是“改良”和“劳动分工”，是更大的产出和扩张的生产边界，如食物剩余、内生的更多人口、不相关服务的能源比例、从质量到数量的减少、无穷的潜在需求、边际消费者、与效率如影相随的消耗的经验事实，以及由此引起的对包括化石燃料在内的物质投入的大量需求。

更大的技术效率使我们能在既定投入下产出更多有用的物质，或者使我们在全天 24 小时中有更多的非工作时间(Sanne, 2000, pp487 和 494)。这就是杰文斯的“快乐的繁荣”状态(p276)。但是，如果它同时增加了对自然资源投入的需求，我们必须面对富裕和可持续性之间的均衡。因为，当今现有的证据和找到问题答案的紧迫性，使我们需要一个正确的判断。如果当今的政策制定者要求我们回答是否可以依靠更高的能源效率来降低能源消耗，有多少经济学家可以十分有把握地说“是”呢？

致 谢

感谢 Len Brookes, Marcel Hänggi, Ashleigh Hildebrand, Reinhard Madlener, Cecilia Roa, Christer Sanne, Irmis Seidl, Steve Sorrell, Steve Stretton, Peng Wang, Özlem Yazlık 和 Zentralbibliothek Zürich 的全体职员。

注 释

1. Meadows et al, 1972.

2. 在我们的引语中，密尔阐述道，劳动“节约”的生产过程已经导致了对劳动力的更

大需求。用 α 表示效率系数, $\alpha L \uparrow \rightarrow L \uparrow$ 。通过阅读密尔的这段文字, 卡尔·马克思撰写了“机械和现代工业”一章(1887, p323), 而索尔斯坦·凡勃伦则第一次打破他从不引用任何人的观点的规矩(1899, ppix 和 111)。杰文斯断言, 如果把 E 作为燃料, 把 β 作为效率系数, 那么 $\beta E \uparrow \rightarrow E \uparrow$ 或者 $E = f(\beta E)$ 。

3. 我所知道的唯一一次重要挑战, 来自芒德拉(Mundella)(1878)。

4. 在承认重农学派关于土地生产剩余优先的正确性后, 斯密开玩笑说(也许是对当前杰文斯悖论的解释): “由于人们喜欢悖论, 并且喜欢显得能理解超出普通人理解范围的东西, 持续存在的悖论, 考虑到制造业劳动力的非生产性质, 对增加其赞赏者也许没有起到一点作用”(IV. ix. 37~38)。

5. 除了萨伊(第4版, 1819)、李嘉图(第3版, 1821)、西斯蒙蒂(第2版, 1827)、马尔萨斯(第2版, 1836)和杰文斯(第3版, 1906)外, 这里所引用的出版物的年份都是指它们第1版的年份。上述这些专著的日期在所有参考文献中被省略。如果引用了这些作者的其他著作, 著作日期会用括弧表示, 如(Malthus, 1798)或(Say, 1820)。

6. 大多数环境库兹涅兹曲线(EKC)研究都面临着用竖轴表示比率的致命弱点; 批评性观点见以下书中的论述: Jänicke et al, 1989; Opschoor, 1995; De Bruyn & Opschoor, 1997; Alcott, 2006, Section 3.5; Luzzati & Orsini, 2007; Giampietro & Mayumi, 本书。

7. 这仅仅是在其他条件不变的情况下马尔萨斯人口原理的两个假定, 也就是说, 我们需要食物和两性间的情欲(1798, p19)。马尔萨斯坚称, 随着劳动效率的提高, 我们总是选择“怠惰”(p258)。

8. 比如, 参见 Jevons, pp85, 91 和 256; Schurr & Netschert, 1960; Cleveland et al, 1984; Schurr, 1985; Smil, 2003, pp6~14, 22~34 和 82~88。

9. 比如, 源于教育、培训、更多的精力投入、泰勒式劳动组织、自由贸易、科学标准、私有产权和交易成本的进一步减少等方面的效率提高。

10. 实证的行业相关性见 Jevons, pp193~194, 232, 275, 154 和 387~388; Greenhalgh, 1990; Rudin, 2000; Dahmus & Gutowski, 2005; Fouquet & Pearson, 2006; Herring, 2006。

11. 然而, 导致效率变化的原因可能本身存在于资本或组织——活塞、热空气流、工厂系统的转变, 并不是煤炭、铁矿石或人的变化。不过传统的资本往往是减少劳动和土地, 正如熊彼特(1912, pp20~21, 29, 37 和 210~219)坚持的那样。这一历史话题是工作中的主题。如见 Smith, II. ii. 25, 33~34; Say, p293; Rae, pp91, 256 和 258; Mill, pp100, 154 和 182。

12. 足够的消费者行为, 如消费者和生产效率, 也会有反弹。

13. 桑德斯顺便引用索罗的“打破习惯很困难……‘因子强化’并不意味着‘因子节约’”(1992, p131)的话语。

14. 如后面所示, 如果用货币表示, 消费者的收入效应可以被生产者的“损失效应”抵消。

15. 萨伊代表所有为工作负效用作证的经济学家说: “劳动……意味着麻烦(惩罚)”(p85; 也见 Smith, I. v. 4 和 I vi. 2; Mill, p25)。凡勃伦取笑我们对“令人厌恶的”劳动貌似的热爱(1899, ppix, 18~19)。

16. 也见 Say, pp61~62; Rae, pp1, 15 和 21。

17. 有时斯密明确插入“资本”——一些能产生更多产出的固定量——作为投入, 在生

产函数中增加 K 和 γK (IV. ix. 6; 也见 Mill, pp100 和 154)。

18. 这个例子揭示了伴随反弹研究的进一步结果：(1) 节约下来的木材可以用于建筑，这样就不会有节约；(2) 节省下来的劈木材和堆木材的时间可以用于其他的挣钱和消费行为。

19. 也见 Jevons, p177。

20. 也见 Jevons, pp119、159 和 389。

21. 于是，雷提供一个对不同性能和工具、机械的收益回报速度的成熟分析，一个关于它们的生产成本、耐用年限和它们效率的函数(pp87~110)，这与马尔萨斯(pp71~73)的思想极为相似。见斯彭格勒(Spengler)(1959)的分析。

22. 也见 Jevons, p188; Schumpeter, 1912, pp297~306。杰文斯也举了很多因采用新媒介而与“随后的进步截然相反”的例子(p119; 也见 pp113~134 和 147~148)。

23. Jevons, pp125~130、141~144、152~156、196~199、245、368~378 和 405; Sieferle, 2001, pp115~124。

24. “当我们想让土地的产出加倍时，仅仅让劳动力加倍，是不可能实现目标的”(Jevons, p195; 也见 Smith, I. intro. 1 和 5、I. viii. 57、II. intro. 4、II. iii. 32、IV. ix. 34; Say, pp70~71 和 303; Mill, pp154 和 413~414)。

25. 像麦卡洛克(pp92~95)一样，雷承认他过度使用这一概念，他界定他的关键概念“工具”包括了几乎所有(由人类产生的)社会存在，不仅包括传统上理解的工具，也包括田地、马匹以及食物等维持人力资本的手段(pp86~88 和 115)。尽管密尔采用了资本的广义定义，但和雷一样，他知道该定义过于宽泛而不能被普遍接受。

26. 配第具有可比性的例子是：“一个人在磨坊里半年干的活，将等于四个人在五年里干的活”(p256)。

27. “生命周期”的角度和循环利用一样，都可以是对产出-投入效率的节约，就如雷在显示一顶更昂贵但是更耐用的帽子总体上节约了穿戴者的劳动投入(pp200~201)时所阐述的那样。他也以建筑物中又厚又坚固的墙和好钢制造的工具为例，两者都提高了加热或切割效率并且能用得更久(pp109 和 114)。

28. 当然，当麦卡洛克在考察产出数量(Q)的影响时，相信“生产力……成千上万倍地提高了”，斯特拉斯克莱德的研究者们考察投入数量的影响时曾经采用 5% 的效率提高。

29. 也见 Malthus, 1824, p303; McCulloch, p99; Sanne, 2000, p487。

30. 密尔提高了李嘉图(p80)的两种类型农业改进的准确度，确定某些改进“没有提高生产的能力”，仅仅是减少了劳动力(Mill, p180)；这些不能提高农场的总产出——这里的比率是产出/农场——就像一些普通员工的效率，可能提高的不是工厂单元生产率，而是劳动单位生产率。

31. 也见 Robinson, 1956, p18; Radetzki & Tilton, 1990, p21; Manne & Richels, 1990; Saunders, 2000a, p442; Alcott, 2006, Chapter 6。

32. 见 Howarth, 1997, p3; Wirl, 1997, p14; Berkhout et al, 2000, p427; Saunders, 2000b; Binswanger, 2001, pp120~121; Sorrell & Dimitropoulos, 2006, p3。

33. Sorrell & Dimitropoulos, 2006, pp3~9。

34. 比如 Ayres, 1978, pp53~66; Birol & Keppler, 2000, p461; Ayres & van den Bergh, 2005, pp102~103; 但也见 Weisz et al, 2006。

35. 比如 Cleveland & Ruth, 1998, p35; van den Bergh, 1999, pp551 和 559;

Dahlström & Ekins, 2006, pp509 和 515~518。

36. 也见 Solow, 1957, pp316~317; Rosenberg, 1982, pp23 和 55; Victor, 1991, pp204~206。

37. 和 Cantillon's(p2)。

38. 也见 McCulloch, pp61~63; Rae, pp15 和 81~83; Mill, pp25, 27 和 46。

39. 也见 Ayres, 1978, pp39~66; van den Bergh, 1999; Birol & Keppler, 2000, p461; Schipper & Grubb, 2000, p369。

40. 德文中, 术语质量(mass)和测量(measure)非常接近(Masse, Mass); “pound” 在英国既是重量单位(磅)又是货币单位(镑), 西班牙的比索(peso)也是(Smith, I. iv. 10)。

41. 密尔区分了实际缺乏“快感”效用的“非生产性劳动力”的“绝对浪费”和“生产性劳动力”的“相对浪费”——在诸如一个农民坚持用三匹马和两个人来犁田而实际上只要两匹马和一个人就足够时造成的——的区别(pp50~51; 也见 p28; Say, pp42~43, 121 和 404; Alcott, 2004, pp770~776)。

42. 密尔暗示在讨论更多的生产而“没有相应增加劳动力”时众多关于效率的正式表达(p180): “相应”一词意味着弹性, 即效率也提高了, 比如, 在极端情况下, 投入和产出都下降, 但是前者的百分比率比后者大。

43. 比如 Petty, pp256, 261~264 和 300; Smith, I. xi. o. 1, IV. ix. 17 和 34~35; Say, pp127, 286 和 432~438; Rae, pp29, 310, 327; Mill, pp87~88, 133~135, 184~189, 706 和 723; 也见 McCulloch, pp73~143。

44. 见 Smith, I. viii. 18, 23 和 39, IV. ix. 12; Malthus, pp61, 130 和 180; Mill, p33; Jevons, p213; Giampietro, 1994。

45. 比如 Smith, I. viii. 21, IV. ii. 9, IV. ix. 38; McCulloch, p99; Rae, p7; Mill, p159。

46. 比如 Smith, II. iii. 32, IV. ix. 34; Malthus, p252; Rae, pp12~13; Marx, p358; Solow, 1957。

47. 比如 Smith, I. viii. 3, III. i. 1; Ricardo, pp273~274; Say, pp71, 86 和 295; Malthus, p296; McCulloch, pp97~102, 166~167 和 411; Jones, pp237~250; Rae, pp15, 99, 216 和 253; Mill, pp88 和 98。

48. 也见 McCulloch, pp187~188; Mill, pp133~134。

49. 比如 Smith, I. xi. c. 7 和 II. ii. 23; Say, pp240~248; Ricardo, pp274~275; Sismondi, vol.1, pp373~387; Malthus, pp97 和 255; Mill, pp71~72 和 410; 也见 Robinson, 1956, pp18, 24, 65 和 122; Binswanger, 2006。

50. 大概来说, “真实的”、“内在的”或“天然的”价格是长期的, 并且是由生产成本所决定的, 而“市场”价格是短期的, 仅仅是由供给和需求所导致的; “名义”价格是根据货币(金或银)来说的。见密尔的“必需品的价格或价值”(p471)。

51. 也见 Jevons, pp120, 140, 154, 156 和 Chapter V。

52. 比如 Say, pp300 和 303; Ricardo, pp25 和 52; Malthus, pp281~282; McCulloch, pp117, 176 和 278。

53. 在斯密、萨伊、李嘉图和马尔萨斯的类似段落中, 有几个问题经常被同时提出: (1) 财富为什么增长以及如何增长; (2) 它们在租金、工资和利润之间如何分配; (3) 在短期内, 供给、需求以及价格如何相互作用。

54. 也见 Say, p300; Jevons, pp8 和 140~142; Schumpeter, 1912, pp297~306。

55. 也见 Mill, pp133~134; Hotelling, 1931, p137。

56. 格拉布含糊地补充道：“当能源的价格或可用性限制了需求……表面上因使用更多更高效技术所产生的节约，将会因宏观经济的反应而在很大程度上被抵消——其趋势是使用更多的能源服务，因为能源服务变得更廉价了”（1990b, p783）。这就是他所证明的在通常情况下的巨大反弹。

57. 萨伊实际上称“价格”（*prix*）是对“价值”（*valeur*）的衡量，而“价值”又是对“效用”（*utilité*）的衡量（p62）。但是，如果价格反映效用，并且效用与生产成本截然不同，那么价格则使环境分析更加难以理解。效用不是一个与环境相关的概念。然而，如果密尔是正确的，价格在向“自然价格”长期运行过程中，仅仅1%反映效用，有99%反映效率（或“难度”或生产成本）（pp462~464），那么，这一异议减弱，价格成为反映环境影响的令人满意的代用品。

58. 比如 Wackernagel 和 Rees, 1996, pp127~128; Wirl, 1997, p41; Binswanger, 2001, p120。

59. 也见 Malthus, pp190~192、296、319~322 和 339; Jones, pp237~239; Babbage, pp112 和 232~233; Rosenberg, 1982, p106。

60. 如果总质量是 $X + Y$ ，其中 X 是新的更高效生产的产品， Y 是除 X 以外的产品，那么 $\Delta P \times Q_x$ 将等于 $\Delta P \times Q_y$ 。

61. 也许密尔的父亲詹姆斯曾引导李嘉图区别“净收获”或说“财富”和“净收获的价值”（ $P \times Q$ ），前者常随着效率增加而增加，后者“可能……并不增加”（pp16 和 391~392），将破译的工作留给密尔。

62. 效率及其后果可以被实在地领会到。斯密依靠这种方法解决“生产力……提高”不仅伴随着价格下降也伴随着包括劳动力在内的许多事物表面上的价格提高这一悖论（I. viii. 4; also I. i; Malthus, p215）。

63. 桑德斯表明，在资本、劳动力和能源的生产函数中，当能源生产率提高时，回火与不变价格是一致的（1992）。

64. 如“购买力”一词，可以明确地在以下论著中找到：Smith, I. v. 3、I. xi. m、19~20、II. ii. 21; Malthus, pp42、49、53 和 80; McCulloch, pp171 和 177; Mill, pp67 和 458。

65. 如 Smith, I. vi. 6~18; Say, pp15 和 77; Malthus, Book I, Chapters III、IV 和 V; Mill, p235。

66. 也见 Mill, pp477~487; Khazzoom, 1980, pp22~24。

67. 生态经济学在这里与萨伊不同，他声称这些“自然的自发礼物……既不是通过生产可得到的，也不是通过消费可以破坏的”，它处于政治经济范围之外（pp63 和 86）。在古典经济学频繁地强调交换中，如环境经济学强调配置，人们可以看到新的生物物理学的现实和限制使得重新定义政治经济成为必要（Boulding, 1966; Daly, 1992）。

68. 萨伊也指出，效率是大量税收的结果（p473），有一点在现今的讨论中也很清楚，比如皮尔斯（Pearce）指出，通过效率，某些生态税的影响会令人大吃一惊（1987, p14）。

69. 我一个批发计算尺的朋友，有一次在计算器出现时扔掉了几千把尺子——这一过程很难并入得失计算中，并且再一次提出了关于不想要的产出或浪费的问题。

70. 布鲁克斯同意杰文斯的观点：一种物质的节约实际上减少了该物质的充裕性

(Brookers, 1990 和 2000)。

71. 见 Sanne, 2000, pp488~489; Binswanger, 2001, p122 注释。

72. 也见 Khazzoom, 1980, p32; Grubb 1990a, pp235 和 195; Rosenberg, 1994, pp165 和 166; Schipper & Grubb, 2000, pp368、383 和 387; Sorrell & Dimitropoulos, 2006, p3。

73. 萨伊有时也避免实证研究(p102 注释), 李嘉图不太明确地分享了这一观点(1820~1822, pp362~363)。

74. 也见 Howarth, 1997, pp4 和 7; Schipper & Grubb, 2000, p384。

75. 他的判断也是经验性的: “经历充分解释”了这点(pp284 和 268)。

76. 密尔也问, 谁愿意购买目前每天在斯密工厂里生产的 48 000 枚针, 继续为了更大的市场提出一些条件, 包括人口和交通基础设施(pp129~130)。

77. 密尔将之归功于威廉·埃利斯(William Ellis)(Mill, p736)。

78. 也见 Mill, pp725~726; Price, 1998; Wirl, 1997, pp51~56 和 81~87。

79. 比如 Manne & Richels, 1990, p51; Schipper & Meyers, 1992, pp58~60; Howarth, 1997, p2; Saunders, 2000a, p442; Schipper & Grubb, 2000, pp368 和 370。

80. 也见 Cantillon, pp43~44; Smith, I. viii. 21~39、I. xi. b. 1 和 c. 7、IV. ix. 36; Ricardo, p16; Say, pp189、322、371~381 和 450; McCulloch, p278; Rae, pp28~31、96、160 和 324; Mill, pp153~159 和 187~190; Jevons, pp222~225 和 420。

81. 也见 Cipolla, 1962, pp49~53、94~95 和 105; Martinez~Alier, 1987, pp99~116; Abernethy, 1993; Pimentel et al, 1994; Bartlett, 1994; Clapp, 1994; Johnson, 2000; Giampietro & Mayumi, 2000。

82. 也见 Besiot & Noorman, 1999, pp375~377; Binswanger, 2001, p120; SwissEnergy, 2004, pp3~4。

83. 不过, 反弹必须界定为工程节约的百分比, 而不是 GDP 的百分比。

84. Smith, I. xi. b. 2~6 和 IV. ix. 5~6; Say, p295; Malthus, pp139~140; Jones, pp196 和 242; Rae, pp116、259 和 261; Mill, pp173~185 和 724~729。

85. 很奇怪, 这一说法在拉斯基(Laski)的英文版翻译中被忽略了(p63)。

86. 他赞美人类因机械而摆脱了劳苦(p64)。

87. 见 Bellamy, 1887。

88. 农业生产率提高带来人口的增加, 这是明显的; 制造业和燃料使用效率的提高通过更好的住房和穿着、更好的医疗条件、更有效的交通方式等对人口的增加作用不太明显。(Jevons, pp200、205、233、243~245 和 369)。

89. 与施佩尔、迈耶斯(1992)和施佩尔等人(1996)的独立变量非常相似, 西斯蒙蒂因此回避了几个问题。

90. 不过杰文斯反复指出, 这种对煤炭问题的回答受英国“自由工业体系”的限制(pp5; 也见 xlix、13、136 和 442~447)。

91. 此处, 杰文斯错误引证了冯·李比希的话, 写成了“文明是一种经济力量”(Jevons, pp142 和 163)。杰文斯完成他的篇章, 把英国的伟大归因于煤炭和技术, 而冯·李比希在其文章中间指出, 原因在于农业生产率。

92. 比如一个 CO₂ 分子并不在人类价值中计分。

93. 比如 Saint-Paul, 1995; Cleveland & Ruth, 1998, pp44~45; Giampietro &

Mayumi, 2000, pp182、185~186 和本书; Weisz et al, 2006, p694; 剑桥气候变化减缓研究中心(4CMR), 2006, pp24 和 52~53; Rhee & Chung, 2006; Polimeni, 本书。

94. 见 Saunders, 2005。

95. 见 Howarth, 1997, pp2~4 和 7; Schipper & Grubb, 2000, p384; Solow, 1970, pp33~35 和 38。

96. 反弹系数突然出现在英国环境、食品与农村事务部(Defra), 2002, p4; 美国科学研究委员会, 2002, Section 4.1 和 5.24~5.25; 剑桥气候变化减缓研究中心(4CMR), 2006, pp5、12、21、35 和 72~75。

97. EEB, 2000, p32; INFRAS, 2003; CEPE, 2003, pp6、32、35、44 和 55; DTI, 2006, pp36~60 和 149; Energie Schweiz, 2007。

98. 也见 Ricardo, p293; 见萨伊关于更便宜的玉米及“服装和家用家具”的论述(p301)。

参考文献

当有两个出版时间时, 第一个代表首次出版的时间, 第二个代表所引用版本的出版时间。

4CMR (Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research) (2006) 'The macro-economic rebound effect and the UK economy', final report to Defra, 18 May, www.defra.gov.uk/environment/climatechange/uk/energy/research

Abernethy, Virginia (1993) 'Why the demographic transition got stuck', *Population and Environment*, vol 15, pp85 - 87

Alcott, Blake (2004) 'John Rae and Thorstein Veblen', *Journal of Economic Issues*, vol 38, no 3, pp765 - 786

Alcott, Blake (2005) 'Jevons' Paradox', *Ecological Economics*, vol 54, no 1, pp9 - 21

Alcott, Blake (2006) 'Assessing energy policy: Should rebound count?', dissertation for the degree of Master in Philosophy in Land Economy, Cambridge University, UK, www.blakealcott.org

Alcott, Blake (2007) 'The sufficiency strategy: Would rich-world frugality lower environmental impact?', *Ecological Economics*, forthcoming

Allan, Grant, Hanley, Nick, McGregor, Peter G., Swales, J. Kim and Turner, Karen (2006) 'The macroeconomic rebound effect and the UK economy. Final report to Defra', www.defra.gov.uk/environment/climatechange/uk/energy/research

Anonymous (1826) 'Effect of the employment of machinery & c. upon the happiness of the working classes', *The Westminster Review*, vol V (January 1826), pp101 - 130

Ayres, Robert U. (1978) *Resources, Environment and Economics: Applications of the Material/Energy Balance Principle*, John Wiley and Sons, New York

Ayres, Robert U. and van den Bergh, Jeroen C. J. M. (2005) 'A theory of economic growth with material/energy resources and dematerialization: Interaction of

three growth mechanisms' , *Ecological Economics*, vol 55, no 1, pp96 - 118

Ayres, Robert U. and Warr, Benjamin (2005) 'Accounting for growth: The role of physical work' , *Structural Change and Economic Dynamics*, vol 16, pp181 - 120

Babbage, Charles (1832) *On the Economy of Machinery and Manufactures*, Knight, London
Barnett, Harold J. and Morse, Chandler (1963) *Scarcity and Growth: The Economics of Natural Resource Availability*, Resources for the Future/John Hopkins, Baltimore, MD
Bartlett, Albert A. (1994) 'Reflections on sustainability, population growth and the environment' , *Population and Environment*, vol 16, no 1, pp5 - 35

Bellamy, Edward (1887 [1917]) *Looking Backward: 2000 - 1887*, Riverside Press, Cambridge, MA

Berkhout, Peter, Muskens, Jos and Velthuisen, Jan (2000) 'Defining the rebound effect' , *Energy Policy*, vol 28, nos 6 and 7, pp425 - 432

Berg, Maxine (1980) *The Machinery Question and the Making of Political Economy*, CUP, Cambridge, UK

Besiot, W. and Noorman, K. J. (1999) 'Energy requirements of household consumption' , *Ecological Economics*, vol 28, pp367 - 383

Binswanger, Hans Christof (2006) *Die Wachstumsspirale*, Metropolis, Marburg, Germany
Binswanger, Mathias (2001) 'Technological progress and sustainable development: What about the rebound effect?' *Ecological Economics*, vol 36, no 1, pp119 - 132

Birol, Fatih and Keppler, Jan Horst (2000) 'Prices, technological development and the rebound effect' , *Energy Policy*, vol 28, no 6/7, pp457 - 469

Boulding, Kenneth E. (1966) 'The economics of the coming spaceship earth' , in Henry Jarrett (ed) *Environmental Quality in a Growing Economy*, Johns Hopkins, Baltimore, MD

Brewer, Anthony (1991) 'Economic growth and technical change: John Rae's critique of Adam Smith' , *History of Political Economy*, vol 23, no 1, pp1 - 11

Brookes, Leonard (1978) 'Energy policy, the energy price fallacy and the role of nuclear energy in the UK' , *Energy Policy*, vol 6, no 1, pp94 - 106

Brookes, Leonard (1979) 'A low energy strategy for the UK' , *Atom*, vol 269 (March), pp73 - 78

Brookes, Leonard (1990) 'The greenhouse effect: The fallacies in the energy efficiency solution' , *Energy Policy*, vol 18, no 2, pp199 - 201

Brookes, Leonard (2000) 'Energy efficiency fallacies revisited' , *Energy Policy*, vol 28, nos 6 and 7, pp355 - 366

Burniaux, Jean-Marc, Martin, John P., Oliveira-Martins, Joaquim and van der Mensbrugge, Dominique (1995) 'Carbon abatement, transfers and energy efficiency' , in Ian Goldin and L. Alan Winters (eds) *The Economics of Sustainable Development*, CUP, Cambridge, UK

Cantillon, Richard (1755 [1931]) *Abhandlung über die Natur des Handels im allgemeinen*, translation by Hella Hayek, introduction by Friedrich A. Hayek, Verlag von

Gustav Fischer, Jena, Germany

CEPE (Centre for Energy Policy and Economics) (2003) *Begleitende Evaluation der Wirkungsanalyse 2002 von EnergySchweiz*, SwissEnergy, Bern, Germany

Cipolla, Carlo M. (1962 [1974]) *The Economic History of World Population*, 6th edition, Penguin, Harmondsworth, UK

Clapp, Brian William (1994) *An Environmental History of Britain since the Industrial Revolution*, Longman, London and New York

Cleveland, Cutler, Costanza, Robert, Hall, Charles A. S. and Kaufmann, Robert (1984) 'Energy and the U.S. economy: A biophysical perspective', *Science*, vol 225, pp890 - 897

Cleveland, Cutler J. and Ruth, Matthias (1998) 'Indicators of dematerialization and the materials intensity of use', *Journal of Industrial Ecology*, vol 2, no 3, pp15 - 50

Costanza, Robert (1980) 'Embodied energy and economic evaluation', *Science*, vol 210, pp1219 - 24

Dahlström, Kristina and Ekins, Paul (2006) 'Combining economic and environmental dimensions: Value chain analysis of UK iron and steel flows', *Ecological Economics*, vol 58, no 3, pp507 - 519

Dahmus, Jeffrey B. and Gutowski, Timothy G. (2005) 'Efficiency and production: Historical trends for seven industrial sectors', working paper, U.S. Society for Ecological Economics Conference, July 2005, Takoma, Washington

Daly, Herman E. (1992) 'Allocation, distribution, and scale: Towards an economics that is efficient, just, and sustainable', *Ecological Economics*, vol 6, pp185 - 193

Daly, Herman E. and Cobb, Clifford W. (1989) *For the Common Good*, Beacon, Boston, MA

De Bruyn, Sander and Opschoor, John B. (1997) 'Developments in the throughput-income relationship: Theoretical and empirical observations', *Ecological Economics*, vol 20, no 3, pp255 - 268

Defra (UK Department of the Environment, Food, and Rural Affairs) (2002) Energy Efficiency Commitment, www.defra.gov.uk/environment

Domar, Evsey D. (1962) 'On total productivity and all that', *Journal of Political Economy*, vol 70, no 5, pp597 - 608

DTI (UK Department of Trade and Industry) (2006) 'The energy challenge: Energy review report', July 2006, www.berr.gov.uk/files/file31890.pdf

Etzioni, Amitai (1998) 'Voluntary simplicity: Characterization, select psychological implications and societal consequences', *Journal of Economic Psychology*, vol 19, pp619 - 643

EEB (European Environmental Bureau) (2000) Document 2000/021, Sarah Keay-Bright, www.eeb.org/publication/general.htm

EnergieSchweiz (2007) 'Wirkungsanalyse', www.bfe.admin.ch/energie/00588/

Fawcett, Tina (2004) 'Carbon rationing and personal energy use', *Energy and*

Environment, vol 15, no 6, pp1067 - 1083

Fouquet, Roger and Pearson, Peter J. G. (2006) 'Seven centuries of energy services', *Energy Journal*, vol 27, no 1, pp139 - 177

Giampietro, Mario (1994) 'Sustainability and technological development in agriculture', *BioScience*, vol 44, no 19, pp677 - 689

Giampietro, Mario and Mayumi, Kozo (2000) 'Multiple-scale integrated assessments of social metabolism: Integrating biophysical and economic representations across scales', *Population and Environment*, vol 22, no 2, pp155 - 210

Greenberg, Dolores (1990) 'Energy, power and perceptions of social change', *American Historical Review*, vol 95, no 3, pp693 - 714

Greenhalgh, Geoffrey (1990) 'Energy conservation policies', *Energy Policy*, vol 18, no 4, pp293 - 299

Greening, Lorna A., Greene, David L. and Difiglio, Carmen (2000) 'Energy efficiency and consumption — The rebound effect — A survey', *Energy Policy*, vol 28, nos 6 and 7, pp389 - 401

Grubb, Michael J. (1990a) *Energy Policies and the Greenhouse Effect*, vol. 1, Dartmouth Publishing Co., Aldershot, UK

Grubb, Michael J. (1990b) 'Communication: Energy efficiency and economic fallacies', *Energy Policy*, vol 18, no 8, pp783 - 785

Hannon, Bruce (1975) 'Energy conservation and the consumer', *Science*, vol 189, pp95 - 102

Hannon, Bruce (1998) 'Letter to the Editor', *Ecological Economics*, vol 27, no 2, pp215 - 216

Hearn, William Edward (1864) *Plutology: Or the Theory of the Efforts to Satisfy Human Wants*, Macmillan and George Robertson, London and Melbourne

Herring, Horace (2006) 'Energy efficiency — A critical view', *Energy*, vol 31, pp10 - 20

Hinterberger, Friedrich, Luks, Fred and Schmidt-Bleeck, Friedrich (1997) 'Material flows vs. "natural capital": What makes an economy sustainable?', *Ecological Economics*, vol 23, no 1, pp1 - 14

Hotelling, Harold (1931) 'The economics of exhaustible resources', *Journal of Political Economy*, vol 39, no 2, pp137 - 175

Howarth, Richard B. (1997) 'Energy efficiency and economic growth', *Contemporary Economic Policy*, vol XV, no 4, pp1 - 9

INFRAS (2003) 'Begleitende Evaluation der Wirkungsanalyse 2002 von EnergieSchweiz', Energie Schweiz, Bern

Jänicke, Martin, Mönch, Harald, Ranneberg, Thomas and Simonis, Udo E. (1989) 'Structural change and environmental impact', *Intereconomics*, vol 24 (Jan-Feb), pp24 - 35

Jevons, William Stanley (1865 [1965]) *The Coal Question*, 3rd edition, Augustus M. Kelley, New York

Jevons, William Stanley (1871 [1911]) *The Theory of Political Economy*, 5th edition, Augustus M. Kelley, New York

Jones, Richard (1831) *Essay on the Distribution of Wealth and the Sources of Taxation*, Murray, London

Kaufmann, Robert (1992) 'A biophysical analysis of the energy/real GDP ratio: Implications for substitution and technical change', *Ecological Economics*, vol 6, pp35 - 56

Khazzoom, J. Daniel (1980) 'Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances', *Energy Journal*, vol 1, no 4, pp21 - 40

Lantz, V. and Feng, Q. (2006) 'Assessing income, population and technology impacts on CO₂ emissions in Canada: Where's the EKC?' *Ecological Economics*, vol 57, no 2, pp229 - 238

Lauderdale, Earl of (1804) *An Inquiry into the Nature and Origin of Public Wealth and into the Means and Causes of Its Increase*, Arch. Constable and Co., Edinburgh

Levett, Roger (2004) 'Quality of life eco-efficiency', *Energy and Environment*, vol 15, no 6, pp1015 - 1026

Lovins, Amory B. (1988) 'Energy saving from more efficient appliances: Another view', *Energy Journal*, vol 9, pp155 - 162

Luzzati, Tomasso and Orsini, Marco (2007) 'Natural environment and economic growth: Looking for the energy-EKC', in Sergio Ulgiati (ed) *Proceedings of the 5th Biennial Workshop in Advances in Energy Studies*, Porto Venere, Italy, 12 - 16 September 2006, ORT and VERLAG

Malthus, Thomas Robert (1798 [1976]) *An Essay on the Principle of Population*, Philip Appleman (ed), W. W. Norton, New York

Malthus, Thomas Robert (1820 [1986]) *Principles of Political Economy*, 2nd edition, E. A. Wrigley and David Souden (eds), Pickering, London

Malthus, Thomas Robert (1824 [1986]) 'On political economy', in E. A. Wrigley and David Souden (eds) *Essays in Political Economy*, Pickering, London

Malthus, Thomas Robert (1825) *Essays on Political Economy*, edited by E. A. Wrigley and David Souden. Pickering, London

Manne, A. S. and Richels, R. G. (1990) 'CO₂ emission limits: An economic cost analysis for the USA', *Energy Journal*, vol 11, no 2, pp51 - 74

Martinez-Alier, Juan (1987) *Ecological Economics: Energy, Environment and Society*, Blackwell, Oxford

Marx, Karl (1887) *Capital: A Critical Analysis of Capitalist Production*, London/MEGA (Karl Marx Friedrich Engels Gesamtausgabe), Dietz Verlag, Berlin

McCulloch, John Ramsay (1825) *The Principles of Political Economy*, William and Charles Tait, Edinburgh and Longman and Co., London

Meadows, Donella H., Meadows, Dennis L., Randers, Jørgen and Behrens, William W. III (1972) *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, Potomac Associates/Earth Island, London

Mill, John Stuart (1848 [1965]) *Principles of Political Economy, with Some of their Applications to Social Philosophy*, J. M. Robson (ed), University of Toronto and Routledge and Kegan Paul, Toronto and London (1848 edition published by John W. Parker, West Strand, London)

Moezzi, Mithra (2000) 'Decoupling energy efficiency from energy conservation', *Energy and Environment*, vol 11, no 5, pp521 - 537

Mundella, Anthony J. (1878) 'What are the conditions on which the commercial and manufacturing supremacy of Great Britain depend, and is there any reason to think they have been, or may be, endangered?' , *Journal of the Statistical Society of London*, March, pp87 - 126

Netting, Robert McC. (1981) *Balancing on an Alp*, CUP, Cambridge, UK

Norgard, J. S. (2006) 'Consumer efficiency in conflict with GDP growth', *Ecological Economics*, vol 57, no 1, pp15 - 29

NRC (National Research Council) (2002) *Effectiveness and Impact of Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards*, National Academies Press, Washington, DC

Opschoor, Hans (1995) 'Ecospace and the fall and rise of throughput intensity', *Ecological Economics*, vol 15, no 2, pp137 - 140

Pascual, Unai (2002) 'Land use intensification potential in slash-and-burn farming through improvements in technical efficiency', *Ecological Economics*, vol 52, no 4, pp497 - 511

Pearce, David (1987) 'Foundations of an ecological economics', *Ecological Modelling*, vol 38, pp9 - 18

Perlin, John (1989) *A Forest Journey: The Role of Wood in the Development of Civilization*, Norton, New York

Petty, William (1675 [1899]) 'Political Arithmetik', in Charles Henry Hull (ed) *The Economic Writings of Sir William Petty*, CUP, Cambridge, UK

Pimentel, David, Harman, Rebecca, Pacenza, Matthew, Pecarsky, Jason and Pimentel, Marcia (1994) 'Natural resources and an optimum human population', *Population and Environment*, vol 15, no 5, pp347 - 369

Prettenthaler, Franz E. and Steininger, Karl W. (1999) 'From ownership to service use lifestyle: The potential of car sharing', *Ecological Economics*, vol 28, pp443 - 453

Price, B. B. (1998) 'Rae's theory of the history of technological change', in O. F. Hamouda, C. Lee and D. Mair (eds) *The Economics of John Rae*, Routledge, London

Princen, Thomas (1999) 'Consumption and environment: Some conceptual issues', *Ecological Economics*, vol 31, no 3, pp347 - 363

Radetzki, Marian and Tilton, John E. (1990) 'Conceptual and methodological issues', in John E. Tilton (ed) *World Metal Demand: Trends and Prospects*, Johns Hopkins for Resources for the Future, Baltimore, MD

Rae, John (1834 [1964]) *Statement of Some New Principles on the Subject of Political Economy, Exposing the Fallacies of the System of Free Trade, and of Some Other Doctrines Maintained in the 'Wealth of Nations'*, Augustus M. Kelley, New York

- Reijnders, Lucas (1998) 'The factor X debate: Setting targets for eco-efficiency' , *Journal of Industrial Ecology*, vol 2, no 1, pp13 - 22
- Rhee, Hae-Chun and Chung, Hyun-Sik (2006) 'Change in CO₂ emission and its transmissions between Korea and Japan using international input-output analysis' , *Ecological Economics*, vol 58, no 4, pp788 - 800
- Ricardo, David (1817 [1951]) *On the Principles of Political Economy and Taxation*, 3rd edition, Piero Sraffa (ed), CUP, Cambridge, UK
- Ricardo, David (1820 - 1822) *Notes on Malthus' Principles of Political Economy*, Piero Sraffa (ed), CUP, Cambridge, UK
- Robinson, Joan (1956 [1965]) *The Accumulation of Capital*, 2nd edition, Macmillan, London
- Rosenberg, Nathan (1982) *Inside the Black Box: Technology and Economics*, CUP, Cambridge
- Rosenberg, Nathan (1994) *Exploring the Black Box: Technology, Economics, and History*, CUP, Cambridge
- Roy, Joyashree (2000) 'The rebound effect: Some empirical evidence from India' , *Energy Policy*, vol 28, nos 6 - 7, pp433 - 438
- Rudin, Andrew (2000) 'Let's stop wasting energy on efficiency programs — energy conservation as a noble goal' , *Energy and Environment*, vol 11, no 5, pp539 - 551
- Saint-Paul, Gilles (1995) 'Discussion' , in Ian Golding and L. Alan Winters (eds) *The Economics of Sustainable Development*, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Sanne, Christer (2000) 'Dealing with environmental savings in a dynamical economy — How to stop chasing your tail in the pursuit of sustainability' , *Energy Policy*, vol 28, nos 6 and 7, pp487 - 495
- Sanne, Christer (2002) 'Willing consumers — Or locked in? Policies for a sustainable consumption' , *Ecological Economics*, vol 42, pp273 - 287
- Saunders, Harry D. (1992) 'The Khazzoom-Brookes postulate and neoclassical growth' , *Energy Journal*, vol 13, no 4, pp131 - 148
- Saunders, Harry D. (2000a) 'A view from the macro side: Rebound, backfire and Khazzoom-Brookes' , *Energy Policy*, vol 28, nos 6 and 7, pp439 - 449
- Saunders, Harry D. (2000b) 'Does predicted rebound depend on distinguishing between energy and energy services?' , *Energy Policy*, vol 28, nos 6 and 7, pp497 - 500
- Saunders, Harry D. (2005) 'A calculator for energy consumption changes arising from new technologies' , *Topics in Economic Analysis and Policy*, vol 5, no 1, article 15
- Say, Jean-Baptiste (1803 [1836]) *A Treatise on Political Economy*, translation by Prinsep, introduction by Munir Quddus and Salim Rashid, Transaction, New Brunswick, NJ, and London
- Say, Jean-Baptiste (1820 [1936]) *Letters to Malthus*, translation by Harold J. Laski, George Harding's Bookshop Ltd. , London
- Schipper, Lee and Meyers, Stephen (1992) *Energy Efficiency and Human Activity*, CUP, New York

Schipper, Lee, Haas, R. and Sheinbaum, C. (1996) 'Recent trends in residential energy use in OECD countries and their impact on carbon dioxide emissions; A comparative analysis of the period 1973 - 1992', *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol 1, no 2, pp167 - 196

Schipper, Lee and Grubb, Michael (2000) 'On the rebound? Feedbacks between energy intensities and energy uses in IEA countries', *Energy Policy*, vol 28, nos 6 and 7, pp367 - 388

Schmidt-Bleek, Friedrich (1994) *Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS — Das Mass für Ökologisches Wirtschaften*, Birkhäuser, Berlin

Schmookler, Jacob (1966) *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press, Cambridge, MA

Schor, Juliet (1992) *The Overworked American: The Unexpected Decline of Leisure*, Basic Books, New York

Schor, Juliet (1999) *The Overspent American: Upscaling, Downshifting and the New Consumer*, Basic Books, New York

Schumpeter, Joseph A. (1912 [1926]) *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, 2nd edition, Duncker und Humblot, Leipzig, Germany

Schurr, Sam H. and Netschart, Bruce C. (1960) *Energy in the American Economy, 1850 - 1975*, Johns Hopkins, Baltimore, MD

Schurr, Sam (1985) 'Energy conservation and productivity growth: Can we have both?' *Energy Policy*, vol 13, no 2, pp126 - 132

Sieferle, Rolf Peter (2001) *The Subterranean Forest*, White Horse Press, Cambridge

Simms, Andrew (2005) *Ecological Debt: The Health of the Planet and the Wealth of Nations*, Pluto, London

Sismondi, Jean Charles Léon Simonde de (1819 [1827]) *Nouveaux Principes d'Économie Politique ou de la Richesse dan ses Rapports avec la Population*, 2 vols, 2nd edition, Delaunay, Paris

Smil, Vaclav (2003) *Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties*, MIT Press, Cambridge, MA

Smith, Adam (1776 [1976]) *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, R. H. Campbell, A. S. Skinner and W. B. Todd (eds), Clarendon Press, Oxford

Solow, Robert (1957) 'Technological change and the aggregate production function', *Review of Economics and Statistics*, vol 39, pp312 - 320

Solow, Robert (1970) *Growth Theory: An Exposition*, Clarendon Press, Oxford

Sorrell, Steve and Dimitropoulos, John (2006) 'The rebound effect; Microeconomic definitions, extensions and limitations', working paper, April 2006, UKERC/SPRU, London

Spengler, Joseph J. (1959) 'John Rae on economic development; A note', *Quarterly Journal of Economics*, vol 73, pp393 - 406

Sraffa, Pierro (1951) 'Introduction', in Ricardo, David (1817 [1951]) *On the*

Principles of Political Economy and Taxation, 3rd edition, Pierro Sraffa (ed), CUP, Cambridge, UK

SwissEnergy (2004) 'Partner for the climate; Annual Report of SwissEnergy 2003/2004', Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation and Bundesamt für Energie, Bern

van den Bergh, Jeroen C. J. M. (1999) 'Materials, capital, direct/indirect substitution, and mass balance production functions', *Land Economics*, vol 75, no 4, pp547 - 561

Veblen, Thorstein (1899 [1998]) *The Theory of the Leisure Class*, Prometheus Books, Amherst, NY

Victor, Peter A. (1991) 'Indicators of sustainable development; Some lessons from capital theory', *Ecological Economics*, vol 4, no 3, pp191 - 213

von Liebig, Justus (1851) *Familiar Letters on Chemistry*, Taylor, Walton and Mabeley, London

von Weizsäcker, Ernst, Lovins, Amory B. and Lovins, L. Hunter (1997) *Factor Four: Doubling Wealth —Halving Resource Use*, Earthscan, London

Wackernagel, Mathis and Rees, William (1996) *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, New Society, Gabriola Island, DC

Wackernagel, Mathis and Rees, William (1997) 'Perpetual and structural barriers to investing in natural capital; Economics from an ecological footprint perspective', *Ecological Economics*, vol 20, no 3, pp3 - 24

Weisz, Helga, Krausmann, Fridolin, Amann, Christof, Eisenmenger, Nina, Erb, Karl-Heinz, Hubacek, Klaus and Fischer-Kowalski, Marina (2006) 'The physical economy of the European Union; Cross-country comparison and determinants of material consumption', *Ecological Economics*, vol 58, no 4, pp676 - 698

Wirl, Franz (1997) *The Economics of Conservation Programs*, Kluwer Academic, Boston, MA

第 3 章 杰文斯悖论：复杂 自适应系统的演化和 科学分析面临的挑战

引言：对不同尺度和维度的分析建模时效率界定的不可能性

对于能源效率的提高是否会促进能源节约的问题，在 1973 年因石油输出国组织实施石油禁运导致石油危机时就已经讨论过了。许多环境主义者认为，提高能源使用效率是减少全球 CO₂ 排放的一种有效政策工具。另一方面，相反的观点（所谓的“Khazzoom-Brookes 假说”，即认为能源效率提高会导致经济增长，经济增长反过来又会使能源消费增加）坚持认为，作为微观经济层面的特征，能源效率的提高会发生“回火”，导致能源使用在宏观经济层面的增加而不是减少（Brooks, 1979; Khazzoom, 1980; Herring, 1999; Saunders, 2000）。奥尔科特在本书第 2 章对这一问题进行了详细论述。

关于能源效率提高与反弹效应的关系的实证调查，不得不面临尚需充分探讨的三个概念性问题，这一现实使得这个问题变得棘手。首

先，在不同层级间处理复杂自适应系统¹的多重任务运行中，如何界定和测量能源效率？比如，个人为不同的目的投入使用不同的精力，这只能在不同的时间尺度上进行定义。这些目的可以是获得日常的膳食、建一所住房、为孩子们提供教育或者为人类的文化遗产贡献力量。如果我们要计算个人使用“精力”或其他资源来实现所有这些目标的效率，那么我们必须使用不同的变量，这些变量仅仅用于不同层级之间的分析，并需采用不同的时间尺度。这使得用一种简单的计算去为多样化的任务做一个全面统一的效率评估变得不可能。第二个概念性问题是，如何区分因技术参数变化（当系统完成同样的转型而效率更高）而导致的能源效率变化和因所要完成任务状况的变化（当系统发现用更便捷的方法来完成某些任务而不是用原有的转换模式）而导致的能源效率变化。这是在一个宏观层面上考虑能源消费时价格引致替代的案例。第三个概念性的问题是，如何把由于容量变量——如人口的增加——导致的变化效应，与由于强度变量²——如能源效率提高——导致的变化效应区分开来。例如，在一定时期内，一个国家所采用的汽车效率可以两倍于旧汽车。然而，如果同时这个国家人口的急剧增长需要三倍甚至更多的汽车流动，那么人口增加会完全抵消汽车效率的提高。在这个例子中，整个国家的能源消耗总数据必须分解，并且必须把容量变量（汽车流动的数量）和强度变量（车队的平均里程）结合起来比较分析。

本章的目的，是为有关效率提高和可持续性关系的讨论提供一个不同的视角。也就是说，我们想要讨论与对杰文斯悖论演化的解释有关的这一关系。接受这一视角会导致我们需要解决两个不同的问题。第一个问题是演化对定量分析提出的认识论挑战：生命系统在不断演进过程中，具有变成其他东西（结构和功能的变化）的同时又维持其

不变(保留他们的个性)的特殊能力。第二个问题是演化对定量分析提出的热力学分析的挑战：两个有着对照关系的热力学原理为演化系统提供了一种类似阴-阳关系的张力。效率的提高(把我们目前想做的做得更好)使得更大比例的可利用资源有可能拨付到适应性方面(学习如何做不同的事情)。但是，当前为了提高效率，有的人不得不从现有的工具包中减少过时的解决方法——过去我们曾经这样做过。比如，农业的技术进步已经让畜力在发展中国家的农场中消失了。这意味着，在一定背景下(在此例中，是石油时代的耕种)，效率提高从长远来看(如果我们耗尽了石油)，确实意味着适应性的降低。此外，投资适应性意味着社会成本(在短期内)——比如大部分投资于科研与开发的资源——并不产生有用的结果。然而，在边界条件变化(在长期内)的情况下，投资适应性是寻求提供更高效率的新方案的唯一可利用的选择。

因此，从演化的视角分析杰文斯悖论，我们可以说，“能源效率的提高总是促进可持续性”的观点过于简单化了。在处理复杂的适应性系统的多尺度运行问题时，一个替代方法是要求在分析它们的绩效时与可持续性联系在一起。也就是说，描述和分析在嵌套式层级下不断演化的新陈代谢系统时，需要理论框架的创新，也许可以以此来解决循环因果关系——换句话说，是鸡和蛋的悖论——和多尺度分析问题。这要求超越简化论的范式³。

本章的内容安排如下：第一部分提供了两个有关杰文斯悖论的有用故事，然后我们介绍了一些理论议题，以便更好地理解领会与这一悖论分析有关的认识论挑战的实质。这些理论议题讨论了多尺度、跨层级组织的生命系统的特殊有机构造。合弄(holon)和合弄结构(holarchies)的概念以及对强度变量和容量变量区分的必要性，是两

个尤其需要讨论的重要概念。讨论这类理论议题，是理解在预知演化系统未来行为模式中系统失灵的关键。这些理论议题意味着，在处理演化路径时不可能使用效率概念来规划最优行动路线。接下来的部分，利用热力学叙述探讨杰文斯悖论的实质和界定两个不同的效率概念。这两个效率概念的界定，指的是在某一时间范围内两个非均衡选择，在这里，可以对某一新陈代谢系统的稳定性进行评价。从这一角度，我们可以发现杰文斯悖论反映了两条对比原则（最小的熵增和最大的能量流动）⁴中存在的自然张力。从表面看来，对比原则指的是演化过程中不同的表现。结合前面部分的系列概念和认识论工具，对比原则的分析提供了解决悖论的理论方案。也就是说，杰文斯悖论恰恰反映了与演化相关的自然模式，它必须针对不同目标，设定不同的方向，并且仅仅界定为在不同的层级和范围内的演化。它表现为悖论，可能仅仅是因为，那些利用传统科学分析工具的人，在被迫讨论演化过程的观点和展示演化过程时，往往是困惑不清的。最后一部分对这一章的详细分析进行了总结。

杰文斯悖论再考察：两个有用的故事

发达经济体减物质化的秘密：大象是老鼠减物质化的版本吗

如前面指出的，对技术进步引致变化的合理分析，必须明确指出强度变化和容量变化的不同影响。如果这一点不能做好，那么它很容易被复杂演化系统的反直觉行为引入歧途。发达国家减物质化的秘密，可以作为由于利用强度变量分析社会经济系统变化所产生的系统误差的典范。这显示了这里所讨论的发达国家减物质化的系统误差，就好比大象与老鼠的新陈代谢系统。

能源效率的经济学定义建立在对所谓的经济能源强度(EEI)大小

的计算基础上。这一数字反映了经济体消耗的(用能源术语计算的生物物理投入)能源的兆焦耳(MJ)与经济体生产的 GDP(经济产出的结果,一年内用某一货币衡量的经济产出值的加和)的比值。于是,这常被用来研究社会经济系统演化中的变化。然而,通过这种方法,人们会得出错误的印象,认为技术进步减少了现代经济对能源的依赖。比如,看美国经济的能源经济强度和人均 GDP(GDP_{PC}),很多人似乎打消了技术进步与能源经济强度下降和人均 GDP 上升相关的疑虑。事实上,1950~2005 年间的历史数据(图 3.1)证实了能源经济强度的稳步下降和人均 GDP 的持续上升,这支持了新古典经济学的观点。

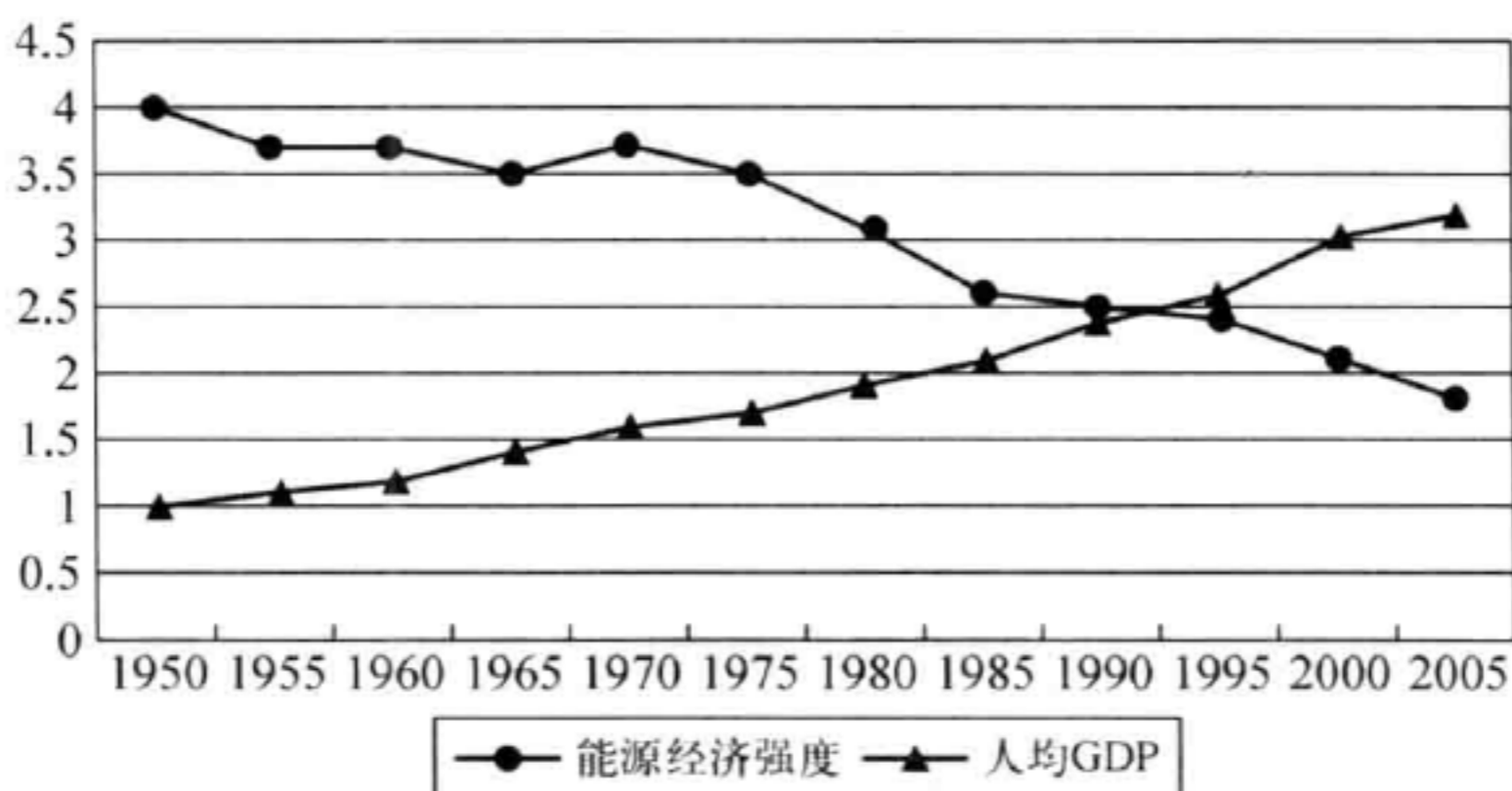


图 3.1 美国经济的能源效率与人均 GDP

资料来源: 根据赫斯顿等人(Heston et al., 2006)的著述和《年度能源评估》(Annual Energy Review)(2006)中的数据编辑

然而,用经济学术语来解释“进步”,反映出只选择使用涉及强度变量(能源经济强度和人均 GDP)数据。但是,这些强度变量并不一定对检验社会经济过程和生态过程的兼容性有用,换句话说,并不一定对讨论可持续问题有用。赫尔曼·戴利(Herman Daly)(1996)用他的方法对系统误差的描述提出了有效而关键的比喻:

总生态系统和经济子系统之间跨边界的物质交换，构成了环境宏观经济学的主题。从它们相对于生态系统的范围或总量而言，这些流动被认为是与生态系统有关的范围或总量的流动，而不是与这些流量和子系统有关的总流动中某一要素价格的流动，更不是人类经济甚或生态系统中非人类部分总流量中每一部分的定价和配置。……在经济中，一定范围内资源流动的最优配置是一回事（微观经济问题）。相对于生态系统而言，总体经济的最优范围是一个完全不同的问题（宏观经济问题）。微观配置问题类似于在一条船上对一定的重量进行最优分配。但重量的最佳相对位置一经确定下来，仍还存在船舶绝对重量承载能力的问题。代表承载的绝对最优规模的普利姆索尔线（Plimsoll line，也叫载重线）已经得到海事机构的公认。当水位线触碰到普利姆索尔线时，就表示船满了，它已经达到了它的安全装载能力极限了。当然，如果船上的重量分布很糟糕，水将很快触碰到普利姆索尔线。但是最终，由于绝对承载量增加，哪怕船的装载是最优分布的，水还是将达到普利姆索尔线。在重量太大的情况下，最优装载的船还是会沉没，即使它们可能是最优沉没！（Daly, 1996, pp48~50）

考虑到一个国家可利用的环境服务规模和社会规模的关系，现在让我们认真考虑两个容量变量的相对变化，这也描述了美国在1950~2005年间发生的变化。这两个容量变量是总能源消耗（TEC）和人口。这两个变量的比率（总能源消耗/人口）提供了另外一个强度变量（人均能源消耗， EC_{PC} ）。考量这两个容量变量，会发现1950~2005年间美

国经济变化图发生了巨大的变化。图 3.2 给出了在同一时间内总能源消耗、人口和人均能源消耗的历史数据。容量变量人口在不同时期稳步增加。强度变量人均能源消耗在 1970 年左右开始达到了某种程度的饱和⁵。然而，当考虑总能源消耗的整体变动（反映了人均能源和人口相结合的转变），没有证据表明经济的减物质化。根据乔治斯库-罗根（Georgescu-Roegen）的生物经济学观点，美国已经经历了人力规模（换句话说，是人类行动受体内部能量的新陈代谢系统驱动）和机械规模（人类行动由受外部能源新陈代谢驱动的外部装备产生）的稳步增长⁶。

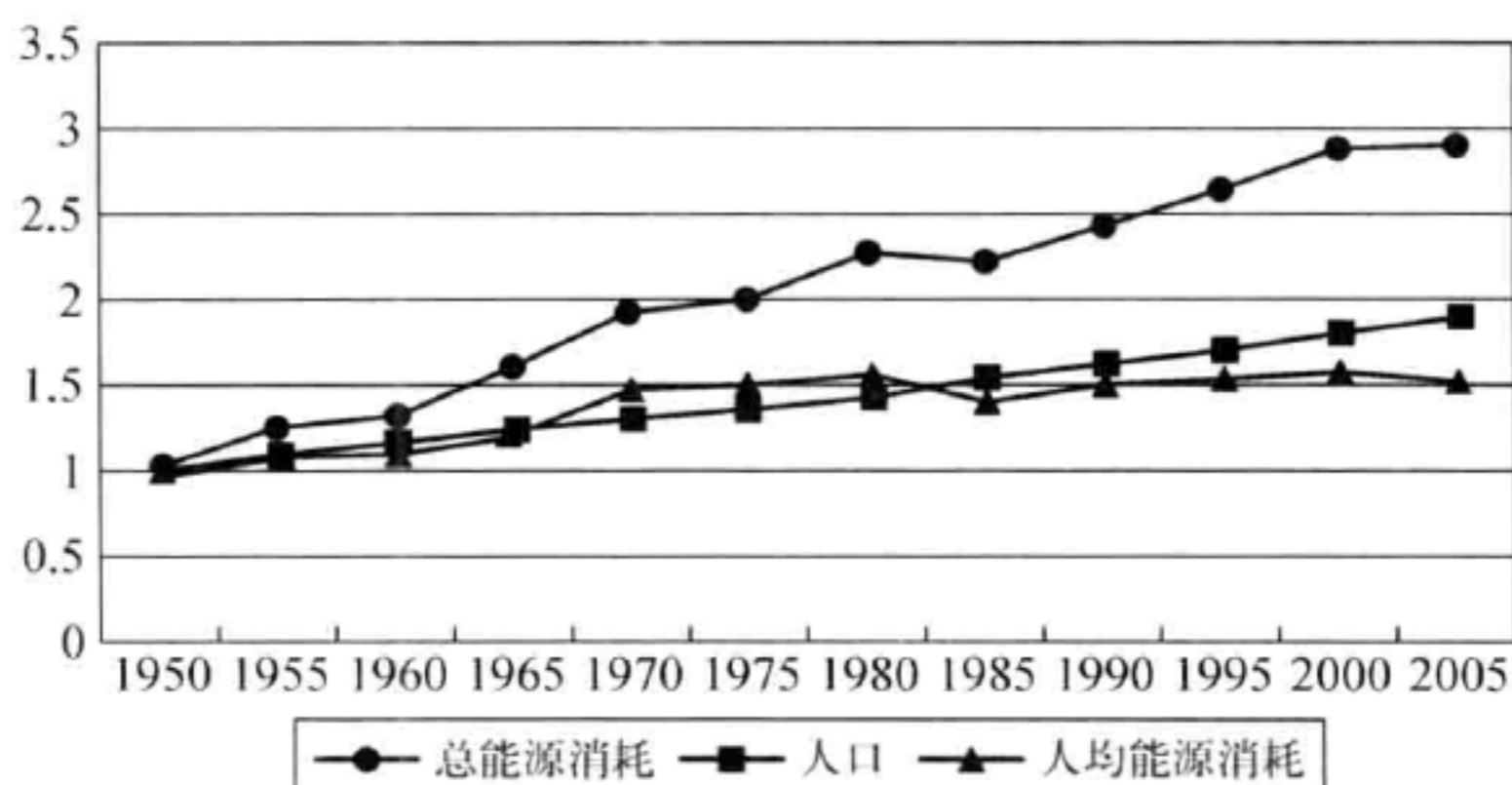


图 3.2 美国经济的总能源消耗、人口和人均能源消耗

资料来源：根据赫斯顿等人的著述和《年度能源评估》（2006）中的数据编辑

最后，美国经济中由技术进步引致的减物质化程度，可以通过分析由图 3.1 和图 3.2 提供的两种观点来核实。在两图所考察的历史时段，经济的能源效率增长超过了 2 倍（经济能源强度——每单位 GDP 所耗能源——的减少），而美国经济的商业能源总消耗增长了近 3 倍！就如在图 3.2 中所显示的，美国总能源消耗增加，不仅是因为人均消耗增加了，还因为人口规模增长了。后一现象不仅可以由出生率和死亡率的差异来解释，还可以由移民来解释，而移民是由经济吸引力驱动的，因为国家之间生活水平的巨大梯度——由效率梯度产

生——容易驱使劳动力从较穷国家流向较富国家 (Giampietro, 1998):

比如, 加利福尼亚州过去 10 年中能源效率的巨大提高 (根据有用能源/能源输入这一强度变量) 未必会抑制全州的总能源消耗。目前和未来的技术进步似乎因来自美国国内外移民的惊人增长而变得无效, 移民的增长使得加州成为全世界人口增长最快的区域。再则, 从根本上与直觉不一致的是, 我们发现, 用由技术变化引致的边界条件变化来解释这一现象, 是系统性失效。(Giampietro, 2003, p12)

同样的系统误差在比较发达国家和发展中国家的绩效时是很明显的。比如:

……在 1991 年, 美国的经济能源强度值比中国的经济能源强度值好得多 (分别为 12.03 MJ/\$ 和 69.82MJ/\$)。另一方面, 由于经济能源强度效率更高, 美国设法使人均 GNP 比中国高很多 (分别为 \$22 356/年和 \$364/年)。也就是说, 如果我们将描绘变化的办法改为容量变量 (用每单位 GNP 的能源消耗乘以人均 GNP), 情况就完全相反了。除了经济能源效率显著提高外, 每个美国公民的能源消费是中国公民能源消费的 11 倍。(Giampietro, 2003, p11)

注意, 这段引文使用了 GNP 而不是 GDP 来计算经济能源强度 (这不影响讨论的有效性)。

与发达经济体减物质化的神话相关，在比较社会经济系统和生物组织惊人相似性时，有必要提及两个相关变量：代谢强度和代谢大小。众所周知，在生物学中，较小体形的动物其每公斤生物量的能量代谢速度快。大量的文献描述了这一现象：彼得(1986)用实证分析对此提供了清晰的概述，布朗和韦斯特(West)(2000)对最近更多的理论应用进行了描述。利用有效数据(用表格的形式或用可应用于不同动物类型学的方程式参数)，我们可以计算不同类型哺乳动物的大小和新陈代谢强度的关系，如图 3.3 所示。比如，一只雄性鼠体重 20 克——容量变量——其新陈代谢速度为 0.06 瓦(焦耳/秒)，产生了按体重计算的每秒 3 瓦/公斤的雄性鼠新陈代谢速度——强度变量。与此形成鲜明对比的是，一只体重 6 000 公斤的雄性大象的总新陈代谢速度为每秒 2 820 瓦，产生按体重计算的每秒 0.5 瓦/公斤的雄性大象新陈代谢速度，或者说比雄性鼠的代谢速度慢 6 倍(Peter, 1986, p31)。

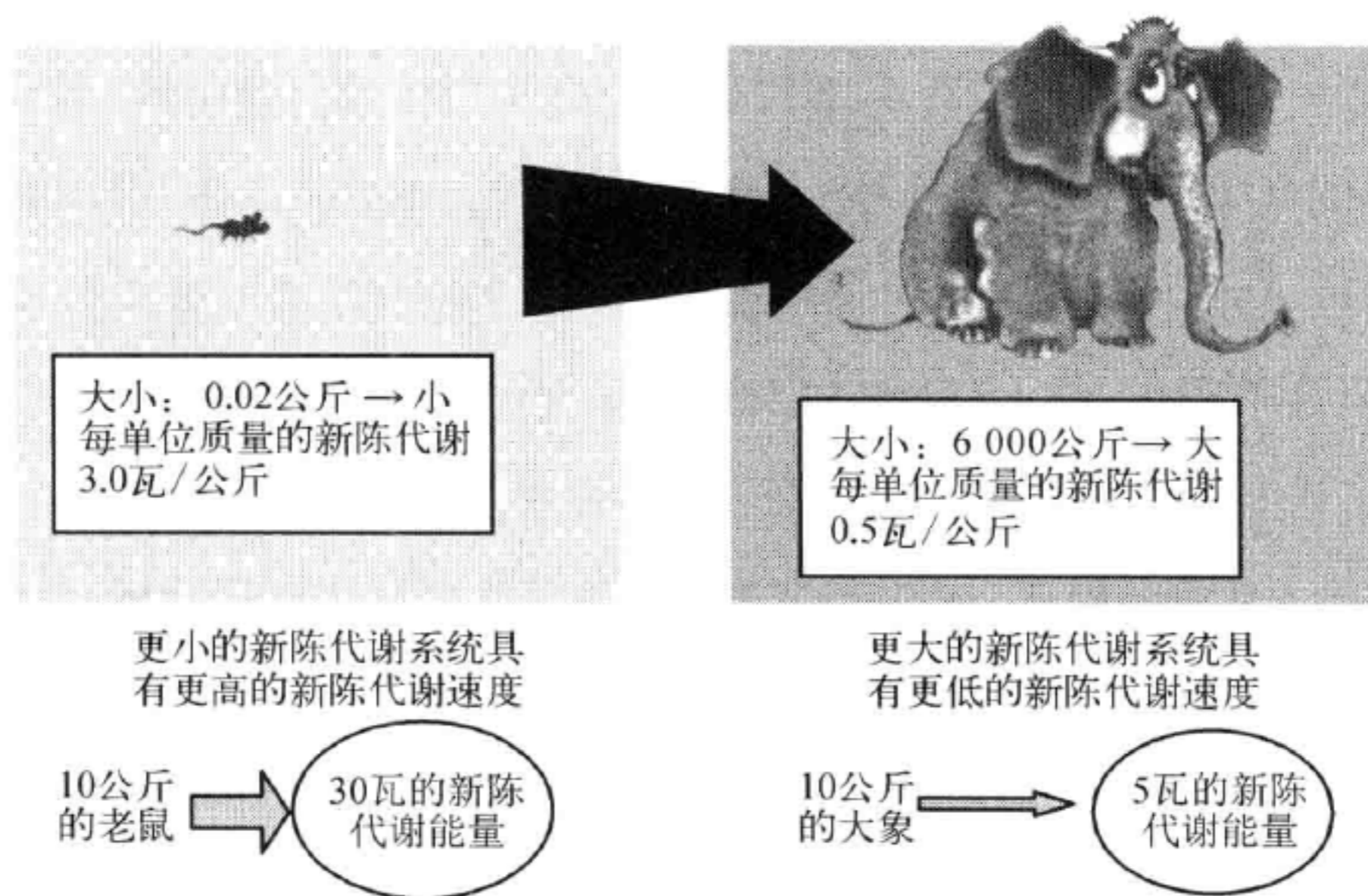


图 3.3 大象是老鼠减物质化的版本吗

如果在这个例子中，我们采用与一些新古典经济学家们相同的逻辑——使用强度变量评定经济能源强度来描述现代经济中减物质化的过程——我们会发现一个怪诞的结果。考察动物生物量的演化排序和利用强度变量评估每单位生物量的能量消耗，我们可以发现一个非常特别的界定哺乳动物减物质化过程的方式。由于10 000公斤的大象消耗4 700瓦而10 000公斤的老鼠消耗30 000瓦，我们可以得出结论：大象由于其每单位生物量的能源强度低，必然会被认为是单位生物量能源强度高的老鼠的减物质化版本，如图3.3所示。总之，这正是新古典经济学家们告诉我们的理论。根据这一观点，极贫困国家（基于特定区域的仅能维持生存的经济体）演进到庞大的发达国家（基于全球经济的生产和消费类型的模式）的过程，可以描述为全球经济减物质化的过程！

杰文斯悖论和汽车革命

除了新古典经济学四大奠基者之一的杰文斯，有人在能源分析文献中对回火效应进行了细致研究。杰文斯悖论⁷（Jevons, 1990; Giampietro & Mayumi, 1998; Mayumi et al., 1998; Clark & Foster, 2001; Alcott, 2005; Polimeni & Polimeni, 2006）首次由杰文斯在其1865年的著作《煤炭问题》中系统阐述（Jevons, 1865）（在第2章中进行了详细的历史分析）。概括而言，它说明了利用资源的效率——产出/投入比例的提高，从中长期来看，会导致资源使用量的增加而不是减少。在当时，杰文斯讨论了未来煤炭消耗的可能趋势，并反驳了那些忽略日益增长的消耗速度的技术乐观主义者所鼓吹的观点。就如当今还在发生的，某些与杰文斯同时代的人相信，人类可以通过大幅度提升蒸汽发动机“经济”以减少煤炭消耗。面对这样的断言，杰文

斯正确地指出，效率更高的发动机会增加煤炭的消耗，既增加既有使用途径的煤炭使用量，又可能扩展人类活动中的煤炭使用途径。因此，效率的提高会提升而非降低现有煤炭储备的消耗速度。

杰文斯悖论看来是真的，因为它不仅考虑到煤炭和其他化石能源资源的需求，还考虑到总资源需求。过去50年，每公顷食物生产效率翻番（绿色革命）并没有解决饥饿问题。不幸的是，效率翻倍实际上使得食物短缺问题变得更为糟糕，因为它提高了人们对食物的需求量，提高了日常饮食中动物制品的比例和营养不良人数的绝对量（Giampietro, 1994）。同理，道路数量翻番并不能解决交通问题，而是使交通问题更为糟糕，因为它鼓励使用更多的个人交通工具（Newman, 1991）。石油价格的提高催生了能源效率更高的汽车，而汽车能源效率的提高又使得美国汽车拥有者驱车兜风的次数更多（Cherfas, 1991）。与汽车预期性能提高相随的，是汽车行驶里程数的增加；而且，美国公民越来越多地驾驶重型汽车，如微型货车、皮卡和四轮驱动的汽车。更进一步举例来说，冰箱变得更高效，但是体积更大了（Khazzoom, 1987）。经济体能源效率在微观层面的提高，会导致能源消耗在整个社会宏观层面上的增加（Herring, 1999）。我们可以用经济学术语将这些过程描述为长期内供给增长推动了需求的增加，这是一个比萨伊的市场定律⁸更有说服力的现象。

杰文斯悖论有不同的名称和不同的应用：能源文献中的“反弹效应”和与公共健康相关的“预防悖论”。后一悖论包含了这样一个事实：因预防了某些特定疾病而节省下来的金钱，会在长期内导致整个卫生部门账单戏剧化的增长。由于人迟早都会死亡（这一事实看来在其他条件不变情

况下的效率分析中被忽视了)，人口预期寿命的任何增长都会直接导致医疗保健支出的增长。除了人口中更高比例的退休人口需要更多医疗保健，众所周知，老龄人的住院治疗费用比青年人的住院治疗费用高得多。(Giampietro, 2003, p7)

最后的例子直指悖论的核心。过程效率中的技术进步意味着强度变量的提高，在其他条件不变的情况下(其他一切事物保持不变)，被定义为每单位事物的改进。然而，效率的进步只有在演化过程中响应效率进步但不改变现有行为组合时，才会引起资源的节约。事实上，演化的新陈代谢系统，特别是人类系统，很容易快速又有效地适应效率进步的任何改变。一旦一系列“技术进步”被引入到社会系统，就会在原有的选择空间下，为进一步扩张目前的活动水平提供更多的空间(如人们会更更多地利用他们的旧汽车)、为新增的可能类别和活动提供更多的选择空间(如新车型包括诸如拥有空调、加速更快或每人的空间更大等新特征)。

更抽象地说，第一类扩张指的是容量变量的数量变化。容量变量指的是把一定的形式特性分配给所分析的观测系统的变量。通过形式特性，我们可以解释一套与所观测系统相关的属性，解释描绘所观测系统如何运行的一套代理变量和它们的相关性。在这种情况下，在系统同样的选择空间和最初的形式特性下，活动的范围变得更大(同样的旧车开得更多)。第二类扩张指的是因性质变化而产生的对将新概念、新范畴和新变量引入到新种类的正式形式中的需求(某一新车型能拥有更多的功能和各种不同的小配件)⁹。在这种新的范畴中，“汽车”代表着消费者所寻找的可用交通工具选择多样性的增加。选择空间的扩展为“汽车”一词的传统含义增加了“新的意义”。新意义的引入可以视为外部参照物之间新关系的产生——比如某种要素和它的

关系，在我们想象一辆汽车时已经在我们脑海里——以及在模拟系统中所表现的形式特性。

区分强度变量和容量变量对效率变化建模具有重要意义。一个正式模型可以仅靠维持同一套属性、同一套代理变量(强度的和容量的)和它们在模型系统中与形式特性相关联的函数关系来处理定量变化。因此，在既定的模型中，处理定量变化仅仅要求更新给定的所选变量值。不幸的是，定性变化不能通过使用所调查研究的同一旧有的形式特性来处理。如果汽车款式涉及一些不同的东西，汽车设计制造者必定会增加新的属性，以获得模型系统的新定量特征——如菲亚特(Fiat)实用型新车的演化变迁(如图 3.4 所示)。当所涉及车辆款式比原有款式更为舒适时(如四轮驱动、空调、更大的功率或更大的载重)，那么，仅从汽油消耗来比较两辆汽车的性能就毫无意义。

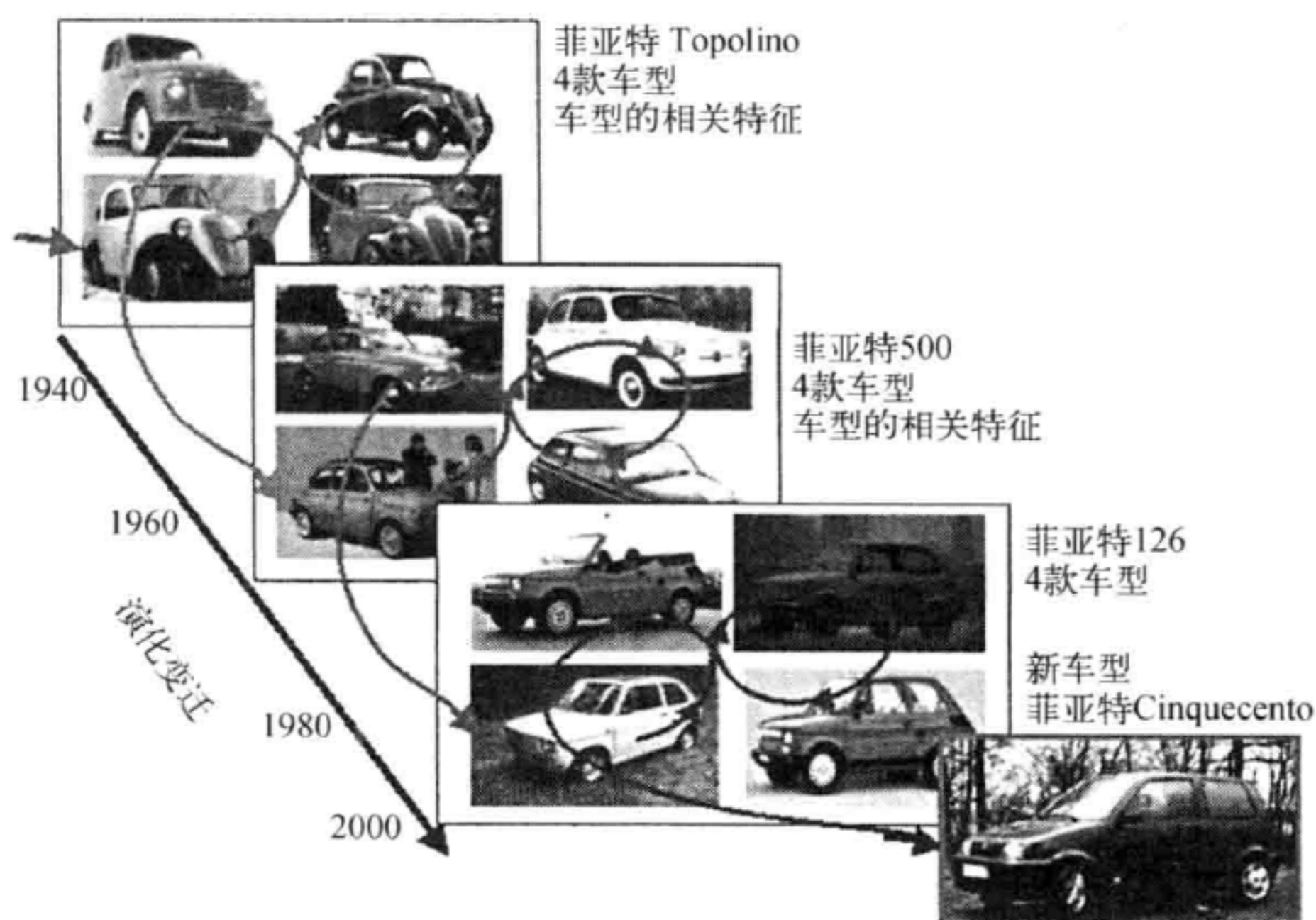


图 3.4 汽车的演变

通过观察汽车随时间变化的演进过程，我们可以说，更高效汽车发动机的引入，决定了某些特征——如空调器——现在已经成为现代

汽车的标准配置了，而在过去，这些曾经只是可选配置。因此，某一属性的性能效率提高——发动机发电功率——导致从消费者角度产生了一套对“什么是现代汽车，现代汽车应该怎么样”的新标准属性定义。效率提高也使得引入汽车新类型如小型货车或 SUV 成为可能。这体现了消费者所寻找的可用交通工具的多样性选择的增加。这种可选择空间的扩展为“汽车”一词的最初含义增加了“新的内涵”。这些新内涵的引入，可以视为外部参照物（我们脑海里对汽车的固有印象）与应用于模型中的用数学表达的形式特性（汽车的语法形态）的最新结合。正因为如此，SUV 性能的定量表述所使用的变量与属性，与小型汽车性能定量表述所使用的变量与属性不同。

换言之，在对待演化进程时，在对有关效率提高的影响的理解和期望方面，有可能产生分歧。这种分歧的特性如下：首先，如果我们假设在未来模型中的形式特性将保持相关性和有用性——这意味着在其他条件不变的情况下，无论是对观察对象还是对观察者而言，该假设都是有效的——那么我们可以说，效率提高如超过了既定的设置，将导致能源消耗的减少。在逻辑分歧这一面，我们在预计效率提高的影响时，是在假设其他条件不变的情况下展开的。其次，如果我们假设模型中所使用的形式特性将会不断发生变化，那么我们必须承认，理解“汽车”这一词语的意义是一个系统问题。在逻辑分歧这一面，当汽车建模是开放的并不断扩展时，属性和知识类别的集合需要抓住潜在的相关特征。这可以归因于所观察的汽车模型是不断演进的，或者所期望的消费者（决定所观察的属性）适时演进的事实。与汽车——一个现有的模型——某一形式特征相关的多种功能效率的提高战略，将为未来汽车增加新特色和属性开启一个机会窗口，并且因此为潜在的购买者赋予了新意义。换句话说，更高效汽车的生产能力将不可避免地扩

大当前对汽车性能的期望，因此会导致不同类型汽车的生产。这些新型汽车会要求使用不同的形式特性，包括新的范畴和新的代理变量，以便反映新型汽车新增的功能和运行情况。因此，从这一逻辑分歧来看，我们是在假设“突现”现象的出现是演化中不可避免的现象。“突现”需要在正式的表述(用计量模型)中利用新概念、新范畴和新变量。由于突现现象的产生，最初在模型中所使用的形式特性失去了它的有效性，并且不得不再被另外的形式特性所取代。因此，新现象的产生使得预知效率提高的影响变得不可能，而是依然利用最初的效率概念的形式。

我们争论的要点是，“系统将如何扩展”和“扩展的结果是什么”，这些问题在原始模型下利用旧的形式特性来研究系统时是无法回答的。这两个问题也不能在假设其他条件不变的情况下给定一套属性，并通过推理得到答案。换言之，在某一正式模型某一过程效率提高的情况下——我们通过使某一过程变得更高效而“试图拯救世界”——我们无意中提高了突现现象产生的可能性。这意味着一种Catch-22对正式模型的有用性¹⁰：这些模型对效率的提高越有用，现状的改变也就越快，并且这些正式模型从长期来看也越有可能变得无用。这就是为什么在进行演化分析时，所采纳的有关变化的补充观点是很关键的：稳态观点使得在短期内解决诸如效率、更好地设计、可靠性概念成为可能，而与演化观点相关联的是，它使得在长期内解决可替代的有用概念诸如适应性、多样性和不确定性变得可能。

与杰文斯悖论相关的理论问题：对简化论在解决演化问题时的失败的解释

认识论僵局的概述

对复杂自适应系统演化的科学表述和分析引发了一系列重大认识

论挑战。这要归因于新陈代谢系统的特殊特征，它们是多层级嵌套的组织形式，并且具有在不同规模之间同时演化和学习的能力。处理社会或生态系统演化时所面临的这些认识论挑战，在传统的还原论科学应用领域没有遇到过。事实上，社会和生态系统是必然会遇到这些挑战的：

1. 开放系统不能处于热力学均衡状态；这使得它们必须与外部环境进行物质和能量的交换，并在此基础上确立系统的结构和功能¹¹（Prigogine, 1961；Glansdorff & Prigogine, 1971；Nicolis & Prigogine, 1977）；

2. 在多层级组织和多重的时空空间范围内运行（Allen & Starr, 1982；O'Neill, 1989；Ahl & Allen, 1996）——因此在不同的层级中所表达的特有结构、行为模式和变化是在不同的时间速度中演化的（Giampietro, 2003）；

3. 自创生系统（Maturana & Varela, 1980 和 1998）——*poiesis* 的字面意思是指“创新”或“生产”，自创生指的是生命系统的“循环组织”和把生命系统当作统一体的专门的自治动力学（Maturana & Varela, 1980）；

4. 特殊形式的嵌套式多层级组织建立在合弄（holon）概念基础上（Koestler, 1967、1969 和 1978）。这一概念在后面会详细解释。

下面我们将简要阐述这四个关键特征的含义。

复杂自适应系统是耗散系统并且因而是合适的系统

由于它们的第一个特征，也就是它们的新陈代谢属性，社会系统与生态系统的演化，或者与环境的共同演化，常常既是定性的，同时又呈现出定量的特性。根据普里高津（Prigogine）（1987）提出的生动形象，对这些系统的模拟总是与他们往往“变成”其他什么东西的事实

有关。这种特征使得真实、正式地表现它们的变化基本上变得不可能¹²。由于这种不可避免的演化属性，arithmomorphic 模型¹³（微分方程和其他传统的推理系统）——自然科学学科的标准工具——远不能满足呈现和模拟它们演化的需要。

突现现象 (phenomena of emergence)，就如讨论汽车的演化那样，是显而易见的，但又常常被忽略。事实是，一个新陈代谢系统必然会成为“合适的系统”，并因此需要所选属性与代理变量以及它们的相互关系不断升级——把形式特性分配给所观察的系统——用来描述它的行为。事实上，一个模型本身，尽管过去曾成功使用，但根据其选择的变量和方程式，还是不能及时地表现其演化状况，而模拟的系统却能够经受持续的质变。因而，一旦在所观察系统中为形式特性所选的属性与系统的预期行为变得不再相关，代理变量和它们的分析关系必须自动废弃。于是，必须再引进一套新的属性和代理变量及关系。在做好这些选择后，一个新的形式特性（一个给定的和有限的相关属性，它们可以用一套给定的和有限的代理变量来表现）和一个新的推理系统（一组数量有限的原理、规则和算法）必然被引入进来。因此，采用任何一种正式模型来表现演化的新陈代谢系统的行为，我们都需要处理两种类型的变化——形式特性的变化和推理系统的变化。这就是为什么我们必须接受呈现有关演化的新陈代谢系统时不可避免地会出现的不确定性和无知。形式表现中的任何变化，都会引起引入新的测量方案、新的数据搜集方法的需要，它们用来对在不同的初始条件、边界条件和时间间距下对所观察系统的行为进行模拟。

复杂自适应系统是多层级和跨范围组织的

第二个认识论问题产生于生命进化系统是分层级组织和跨多个时空范围运行这一事实。这意味着，在研究一个生命系统演化时，可替

代而又完全合理的描述方法可以同时存在(Whyte et al., 1969), 并且不同层级典型的组织和行为模式会随着时间的推移以不同的速度不断演进(Giampietro, 2003)。这可以解释为什么效率的可替代(同时也是对比性的)评估可以在同时考虑不同时间范围的任务时被发现。这里, 我们举一个对比性的科学陈述的例子, 它们是由对同一观察系统用非均衡描述的前分析决策来决定的。

在曼德尔布罗特(Mandelbrot)(1967)具有深刻洞察力的见解基础上, 我们提供一个与某一正式陈述的解释相关的有关歧义的小案例。美国缅因州的海岸线可被认为和描述为面向东、面向南、面向西或面向北(图 3.5a)。在这个例子中, 因认识歧义而产生的截然不同的陈述与对“海岸线地理方位”的解释有关。在大陆层面($n+1$ 层级), 缅因州位于美国的东海岸。在这个例子中, 我们可以认为缅因州为 n 层级, 在北美背景下为 $n+1$ 层级。不过在国家层面上, 又被界定为 $n-1$ 层级。作为一个州, 缅因州海岸线面向南方。再看更低的层级——所选郡县的城镇从 $n-2$ 层级水平看——缅因州有某部分海岸线是面向西部的。再进一步向下看另一个低层级, 我们发现一个单个的海滩面向北方[在图中, 它指的是沛马奎特(Pemaquid)镇的波利(Polly)海滩]。所有这些例子, 都可以用严谨的实验证明每个方位的正确性。不过, 截然不同的陈述还会继续存在, 因为在定义“海岸线地理方位”时就存在初始的认识论歧义, 它们可以合乎逻辑地被发现, 并因此可在不同范围用非均衡的方式表达出来。事实上, 曼德尔布罗特(1967)最初的例子——“不列颠的海岸线有多长?”——完全把注意力集中于用一定的度量衡, 同时用不同方式跨不同范围的物体, 来界定形式化的不可能性。在他这篇有重大影响的论文中, 他提出, 对不列颠海岸线长度的数字评估, 不仅依赖于所观察对象的特性, 还依赖于用于

描绘海岸线地图范围的选择。对如何观察不规则物体的选择会影响相关的表述和量化。

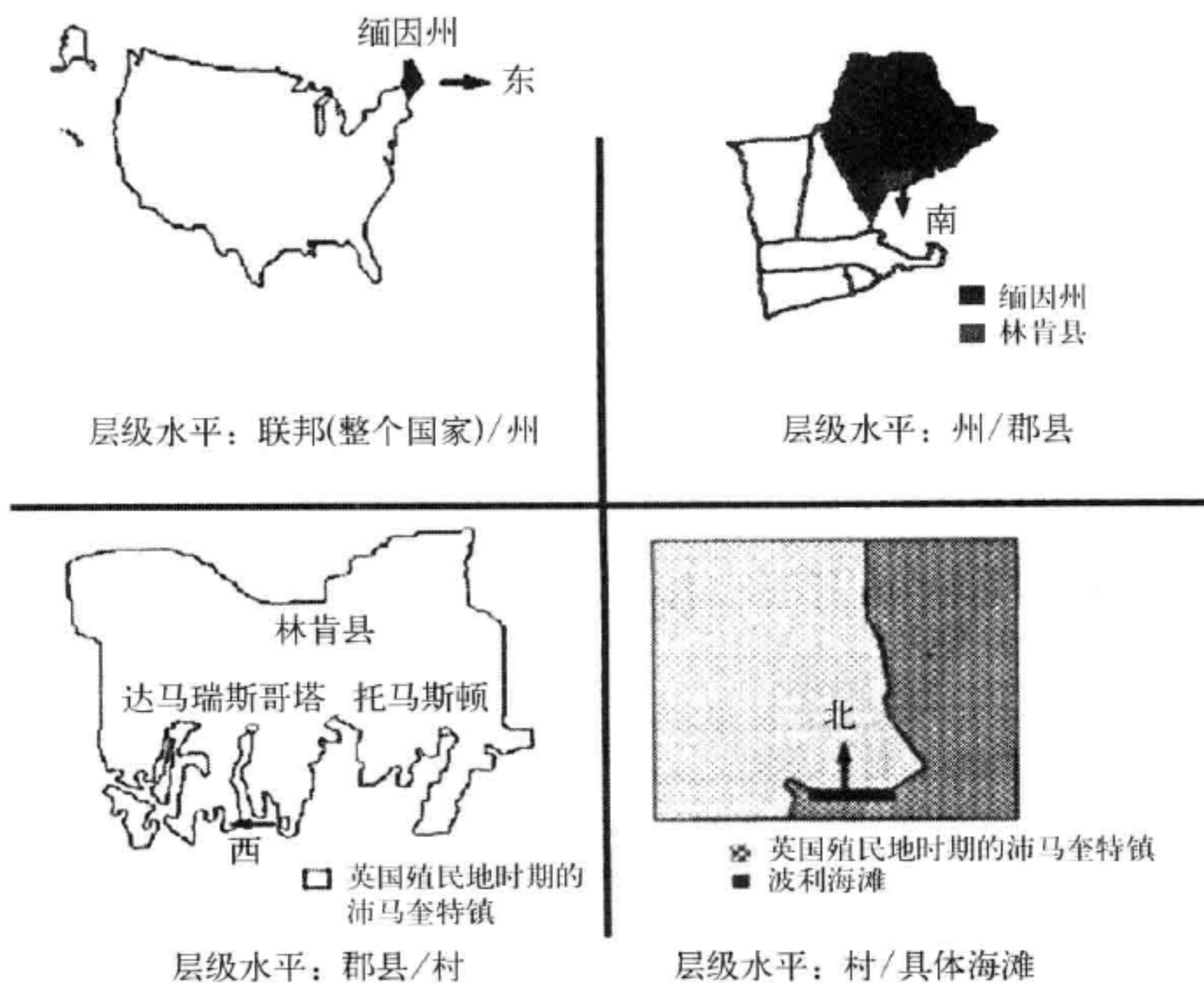


图 3.5a 海岸线的地理方位

在界定缅因州位于美国北部的东海岸方位时，我们通过把地球仪上大陆的相对位置作为外部参考物来确定“海岸线地理方位”表示的意义。在这里，大陆是整体的重要部分，它们的相对位置由一个球体来界定。图 3.5b 的上半部分描绘了这一方法。另一方面，当确定波利海滩的方向向北时，我们站在沙滩上用指南针作为外部参考物来指明方向。这种对当地沙滩的定位方法来源于用平面地图来表达这个地区的位置，如图 3.5b 下半部分的描述。在这种叙述中，指向北极的磁力线被认为是相对正式的平行线。现在，有可能把基于平面地图的表示（图 3.5b 的下半部）与地球仪上不同平面地图的相对位置联系起来。然而，这种指向北极的空间相互关系，在不同的规模条件下，是不均

等的，且是不可缩小的。

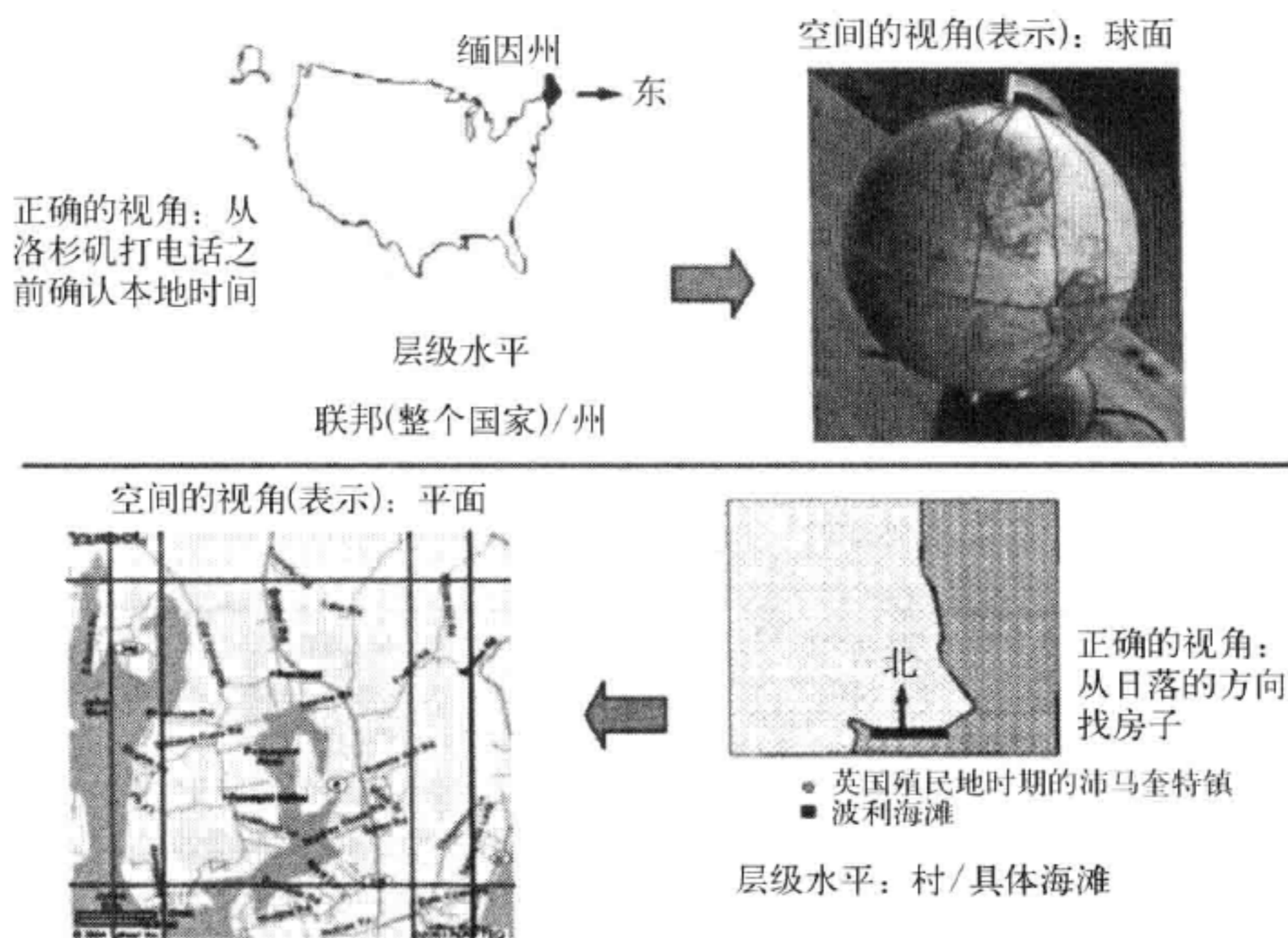


图 3.5b 空间的两个非均衡视角(表示)

如果我们想从洛杉矶打电话到缅因州，并且我们想计算时差，那么大陆相对位置的信息，就提供了一个有用的分析。海边的指南针给予的指示信息不仅无用而且会带错路。如果我们想在波利海滩边上买一幢阳台面朝日落方向的房子，那么要做到分析中肯，就需要在一张子午线永远不会聚集的平面地图上有关于波利海滩面向北方的信息。

我们举这个例子主要想说明，涉及不同规模间复杂系统运行的概念量化——新陈代谢系统中默认的种类——不是独立存在的，往往依赖于为了既定目标在一定背景下如何发现和表现系统过程的一致性。

类似地，上述例子描述了效率的不均等界定和测量如何成为可能。反过来说，这些关于效率的不均等界定，可能导致每一个组成部分以及整个系统在其影响方面的相反评价。在同时考察指向不同时空

条件的工作任务时，这些不均等评估是不可避免的，这一点将会进一步讨论。

自创生引起非直谓性(处理鸡和蛋的悖论)

第三个认识论的困境，与生命系统演变的循环因果有关。这一认识论困境在传统科学讨论中已经被系统忽略。事实上，接受生命中循环因果存在的事实，会产生还原论的一个主要认识论问题。这意味着，在某一时段仅集中关注线性因果关系和单一尺度，往往会产生某一事态的局部分析。也就是说，不同要素产生的自创生过程不仅可以用一套不同空间-时间尺度来观察和展现，也意味着其相关过程不能像简化论那样用实质性术语来形式化。实际上，两个事件之间因果方向的感知和表现，是由选择特定模型时所选择的属性和规模决定的。以下曾经被詹彼得罗(2003，第3章)讨论过的熟悉例子，就是关于这种困境的：

1. 消费者民主的概念——也就是说，这种观点基于他们的购买，由消费者决定生产什么样的商品和服务。从更大范围来说，消费者统治了经济。换句话说，从局部范围来看，消费者仅能选择已经生产了的产品——那些已经在市场上出售的产品。

2. 当从特定的时间维度考察这两者关系的时候，(会发现)猎食动物的数量影响着被猎食动物的数量。但是，当我们从另一个不同的时间维度考察同样的被猎食与猎食关系时，我们可以发现一种反向因果关系——被猎食动物的数量影响着猎食动物的数量。这种非直谓性的过程在生态学领域已经以定量的方式被清楚地证明了(Carpenter & Kitchell, 1987)

3. 在民主国家，政府和议会影响单个公民的行为，而公民在时间维度上通过一些选举影响政府和议会的行为。

非直谓性的困境比较难以让人接受，因为它深深违背了与还原论相联系的简化原理。另一方面，生命系统因其自组织而严重依赖于非直谓性(Rosen, 2000)。这一特征是解释它们快速“自创生”能力的关键。非直谓性与我们熟悉的“鸡和蛋的逻辑悖论”相关——你需要知道，鸡的存在就其本身而言是为了生蛋，但与此同时，你必须首先有蛋来孵出小鸡。伯特兰·罗素(Bertrand Russell)称与非直谓性相关的困境为循环论证(引自 Rosen, 2000, p90)¹⁴，并且因为这个原因，它往往被传统的正式分析所回避(Kleene, 1952; Lietz & Streicher, 2002)。

然而，必须注意到，甚至在理论物理中，在还原论方面一个最保守的科学领域，我们现在可以证实这种概念也得到认可，比如超弦理论。诺贝尔物理学奖获得者盖尔曼(Gell-Mann)(1994)在解释下面的概念时明确提到了这一靴带原理(基于古谚说的男人当自立自强)：

……粒子，如果被假定存在，产生了它们之间相互束缚的力；导致束缚态的是同样的粒子，并且每一粒子所携带的力是一样的。这种粒子系统，如果存在的话，就会产生它们自己。(Gell-Mann, 1994, p128)

这一段的基本意思是，一旦不同要素的自我限定过程——被界定为平行的不同层次——都是存在的并且在起作用，那么这一过程将会使自身变得稳定。这一自创生过程于是就达到这样一个点，在这个点上产生了可预测和可检测的实体，这一实体可以被已经了解它的观察者将之从噪声中区分出来。

总之，我们可以说，非直谓性需要考虑在不同范围中同时发生的

事件，也因此需要对时间的不同感知和表达进行选择——换句话说，是时间的差异化和时间的维度。这又转变成对非均等模型的需要，这一模型是不可还原、不可测量、逻辑上独立的，或者用物理术语说，是无内聚性的(Giampietro et al., 2006a)。换句话说，它们会要求同时使用不同的时间尺度来发现和表达不同方向的因果关系。正是因为这种特殊的认识论挑战，非直谓性循环不属于传统分析工具的分析范畴。

相反，传统的分析工具是在假设所有现实的现象是可以采用线性因果界定来解释的范式中发展起来的。我们可以用技术术语说，传统的分析工具是假设所有现实的现象可以在同一描述性范畴(有关空间和时间的同一实体性定义)中使用一套简化模型来描述(Rosen, 2000)。这种假设把同一事件具有两种或者两种以上的叙述方式可能性排除在外，这些叙述方式在逻辑上相互独立，因此它们会对事件提出不同的解释。这就是说，还原论假设如果两个社会参与者对特定状态与什么有关的看法截然不同，那么二者必有其一是坏的模型。换句话说，面对特定状态，该状态与什么有关以及应该如何做的所有对比鲜明的观点中，只有一个观点是对的，其余都是错误的。

然而，在分析中，有关什么是相关的以及什么是有用的那些相反却合理的观点，不仅是可能的，而且也是保持多元化所必需的。关于杰文斯悖论，最后一种认识论挑战可以用来解决在效率的非均等定义和热力学原理之间显而易见的矛盾，如熵增最小化和能量流动最大化。就如下面要讨论的，演化的成功生存之道必须能够在效率提高(短期内非常重要的属性)和适应性提高(长期内非常重要的属性)之间建立一个非直谓性循环。如果仅采用了这两个战略中的一个——通过降低效率而提高适应性，或者通过提高效率而降低适应性——那么，

不管是从短期还是从长期来看，负面作用都会逐渐增加。如果两种战略能有效地联合并得到巩固，那么一个跨越多个范围的、和谐的自创生(*autopoietic*)过程就产生了。

合弄概念及其难以捉摸的特性介绍

复杂自适应系统的最后特征——嵌套式多层级的特殊组织构成了“合弄”——普通公众对之知之甚少，本部分将对此进行详细阐述。合弄的概念是由阿瑟·库斯勒(*Arthur Koestler*)(1967、1969 和 1978)作为处理复杂生命系统的有用认识工具提出来的。库斯勒的合弄，是由两个希腊文词语合起来的，*holos* 是指由宏观角度约束下的全部，加后缀 *on*，是指由微观角度约束的部分或微粒(如质子和中子)。这种合弄具有“全部”和“部分”的双重属性。这也是构成新陈代谢系统的要素如社会系统和生态系统的典型特征。新陈代谢系统的结构和功能可以表现为一个自组织嵌套式的合弄层级。这种合弄层级被称为合弄结构(*Koestler, 1967*)。部分(整体)的二元性必须能用一个在结构和功能上相关的有效特性来表达(也见 *Allen & Starr, 1982, pp8~16*)¹⁵。所以，“合弄”一词可能与东方的阴阳二元论概念相关。合弄必须能同时被感知和表现，与两个方面有关。这两个方面，受以下两点决定：

1. 如何做/是什么(结构类型的实现¹⁶——比如飞机或气球)；和
2. 为什么/是什么(功能类型的实现——比如某物能够把物体带到空中)。

“如何做/是什么”观点集中于局部的视野，以便能界定合适的结构类型及其构造——换句话说，界定在整体中部分是如何行动的。另一方面，“为什么/是什么”观点必须采用大范围的视野，以便能界定相关的功能类型及其行为——换句话说，界定在相关背景中整体是如

何行动的。

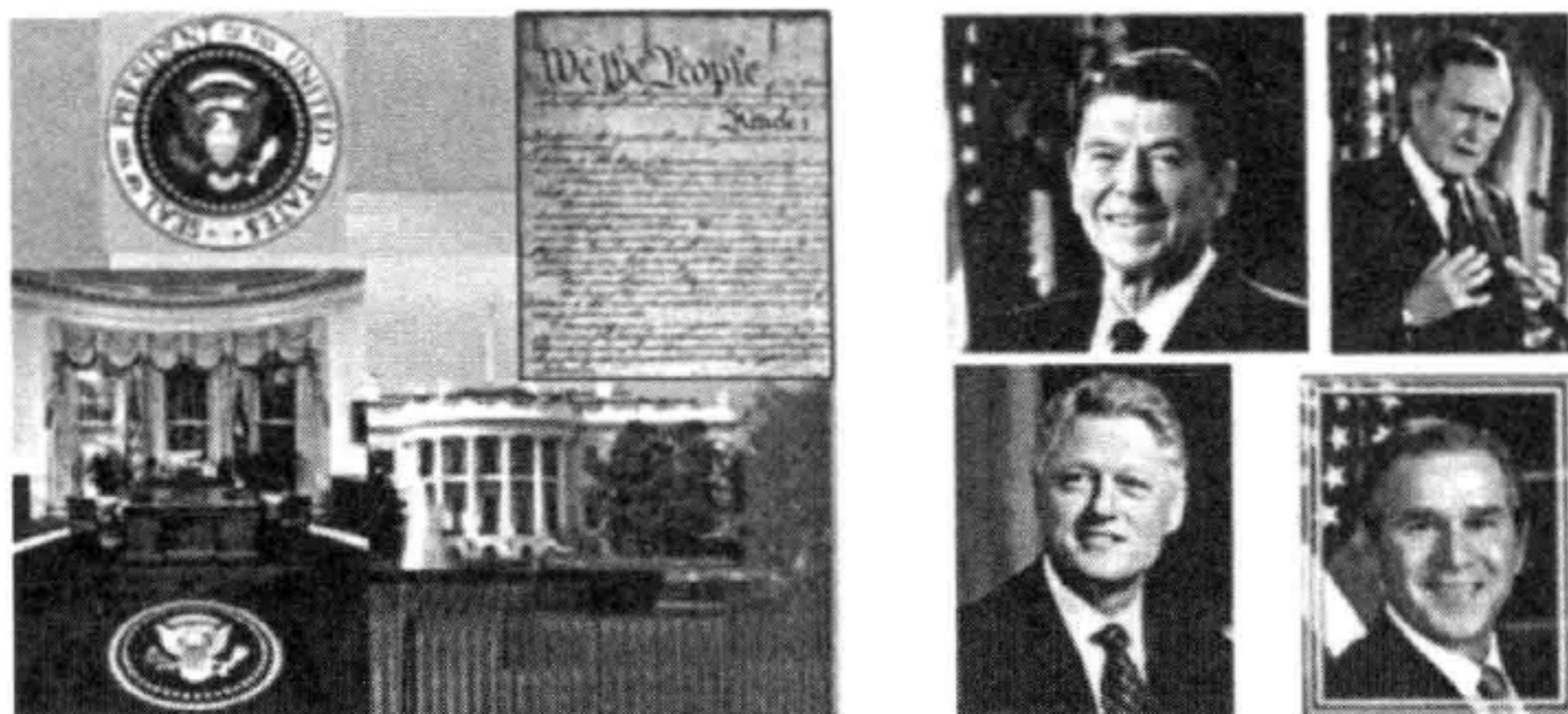
下一部分，我们将基于合弄和合弄结构的概念分析，对在试图对社会经济或生态系统演化做定量分析时面对的两个主要认识论问题进行分析，讨论要真正认识和表现合弄是不可能的，因为它涉及在一定条件下对一种结构和功能类型的成功(和模糊)实现，以及讨论在演化的合弄结构中让合弄的结构和功能之间一对一映射是不可能的。不断产生的新结构类型、功能类型或者成功的功能组合，使得为合弄选择一个正式的特性并能在未来保持有效性变得不可能。

分析合弄及其演化时所面临的特殊挑战

合弄表现完全形式化的不可能性

以美国总统作为合弄的例子。在这个例子中，所考察的合弄指的是在社会系统中的天然身份，“美国总统”。与这一天然身份相关的，乔治·沃克·布什(即小布什)是有组织的结构或是美国在职总统的角色或功能的真实表现¹⁷。不同的个体(同样结构类型的具体化)可以在有限的时间内完成这种角色(举例见图 3.6 右)。相比之下，美国总统的职位，作为一项社会功能，是按世纪序列时间维度排列，表现为一整套符号和编码信息的功能类型(举例见图 3.6 左)。因此，认识和描述结构类型(不同的在职者)和(或)功能类型(与美国总统职位的机构角色相关的不同形象和书面描述)的个体实现，可以仅仅通过对相关属性的不同选择来实现(见图 3.6)。甚至，当我们提及“美国总统”时，我们是粗略地称呼这样一个合弄，它没有对角色(功能类型)和执行这一角色的在职者(结构类型)进行清楚地区分。事实上，不把有效力的结构类型和通过选举确认的任职期内在职者的现有任职角色结合起来，就不可能有一个能发挥作用的美国总统。《美国宪法》规

定，有效力的结构类型必须是：在美国出生、年龄超过 35 岁并且已经在美国境内合法居住满 14 年(条款 II 第 1 段)。



《美国宪法》中规定的角色(功能)，几百年来通过体制得以维持

在职者(结构)与特殊的个体有关，他的任职时间最多8年

图 3.6 合弄的两个面：美国总统

与合弄概念有关的歧义可以用三个盲人摸象的故事来解释。也就是说，任职期内的角色和任职期内在职者的有效结合，在逻辑上不依赖于哪种类型及这种类型个别实例的二元性。任何一个任期内的在职者仅仅代表了一种必要的在职者类型的现实可能性。作为一种能够行使“美国总统”这一特定功能的有组织的结构类型(一个成人)的特殊实现，布什先生的身份从逻辑上独立于美国总统角色的身份。也就是说，与人类生理特征有关的共享和相称的形象，可以作为这种结构类型的一种现实可能性来描述布什先生或其他美国公民。从另一方面讲，共有的和相称的形象与社会机构的典型特征有关，美国总统不可能抓住布什先生作为人的某些特殊特征。这是尺度问题和用所挑选的用于定义等价类的相关属性的集合判断和特定类型的问题。人类在《美国宪法》撰写起草之前就已经在美国存在了。同样，《美国宪法》的生命周期也要远比在职者的美国总统角色要长得多。

图 3.7a 和 3.7b 给出了两个由于不可避免的突出现象导致合弄表

现及合弄结构的演化不可能完全形式化的例子。这两张图考察了计时器的不同侧面。图 3.7a 的例子描述了许多归结于同一功能类型(同样的“为什么/是什么”)的不同结构类型(许多“如何做/是什么”)。在这个例子中,在界定了一定角色的绩效后,我们可以学习如何提高结构类型的效率。也就是说,我们可以比较不同的“如何做/是什么”(结构类型)以及与“为什么/是什么”(功能类型)相关的特定期望行为的绩效。

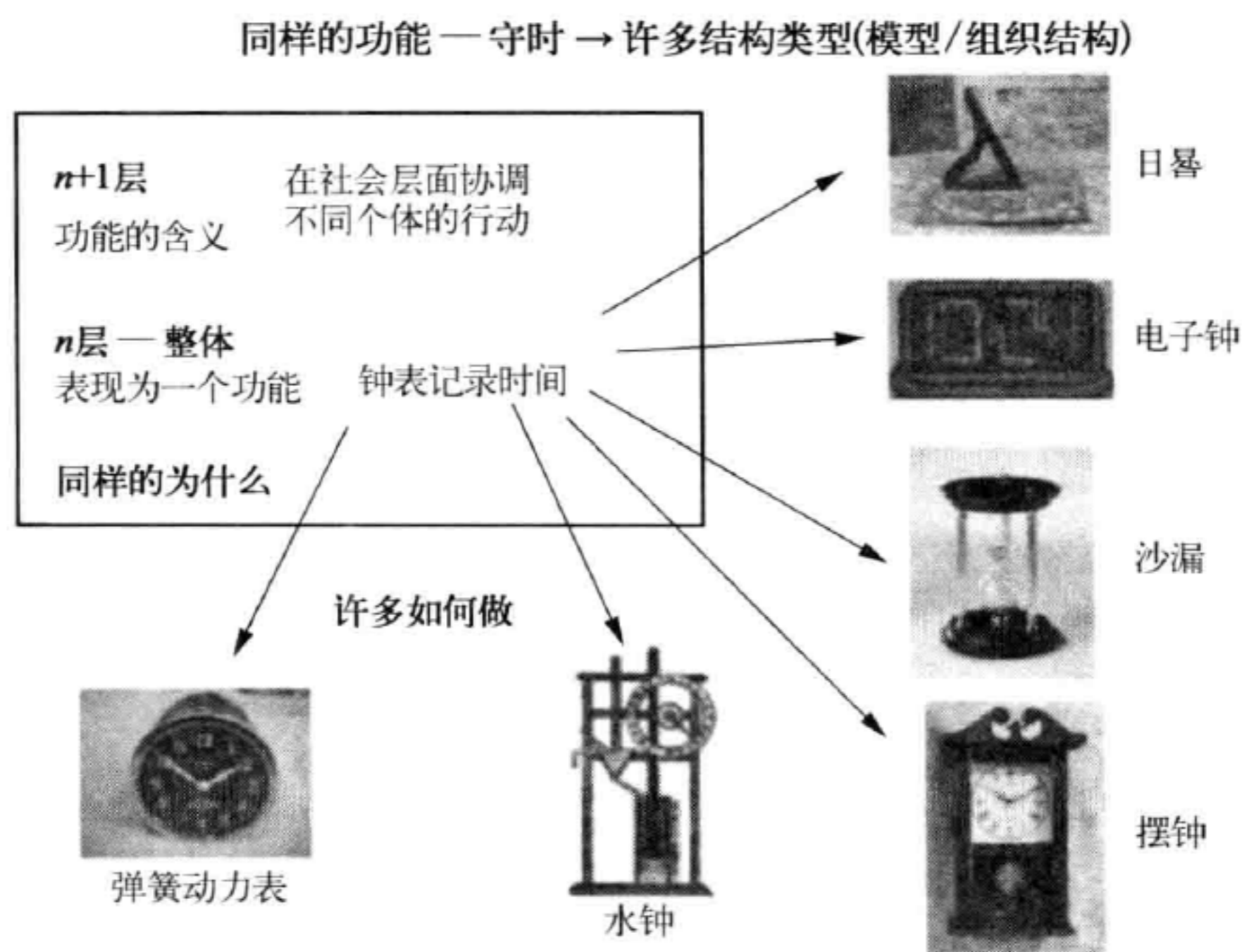


图 3.7a 同样的为什么对应着许多如何做

图 3.7b 显示了相反的状况,在这个例子里,我们可以有相同的“如何做/是什么”,其结构类型由一定的实体对象来实现,但是有许多的“为什么/是什么”。当计时器的个性移向不同的背景,这种单个实体对象的同一组织结构可以归结为不同的“为什么/是什么”。同一物体具备不同的功能。也就是说,背景不同,同一特定结构类型的实现可以扮演多种不同的角色。事实上,乔治·沃克·布什除了做美国

总统，在其私人生活空间也扮演了不同的角色。在图 3.7b 所举的例子中，“老机械钟”现实结构类型可以变成“值得放进博物馆”、“现金来源”或者“用作天平砝码”的结构类型。这些新功能类型的第一种，与保存历史记录所需的社会情感分享及学习如何让钟表走得准这一过程共同记忆有关。这是一个突现的例子，在这里，现有的结构组织(贯彻个性实现)与不同的相关背景耦合(对新功能的潜在需求由系统的知识来表述，在这里，价值被创造和维护)。

同样组织结构—某个钟表→多个功能类型

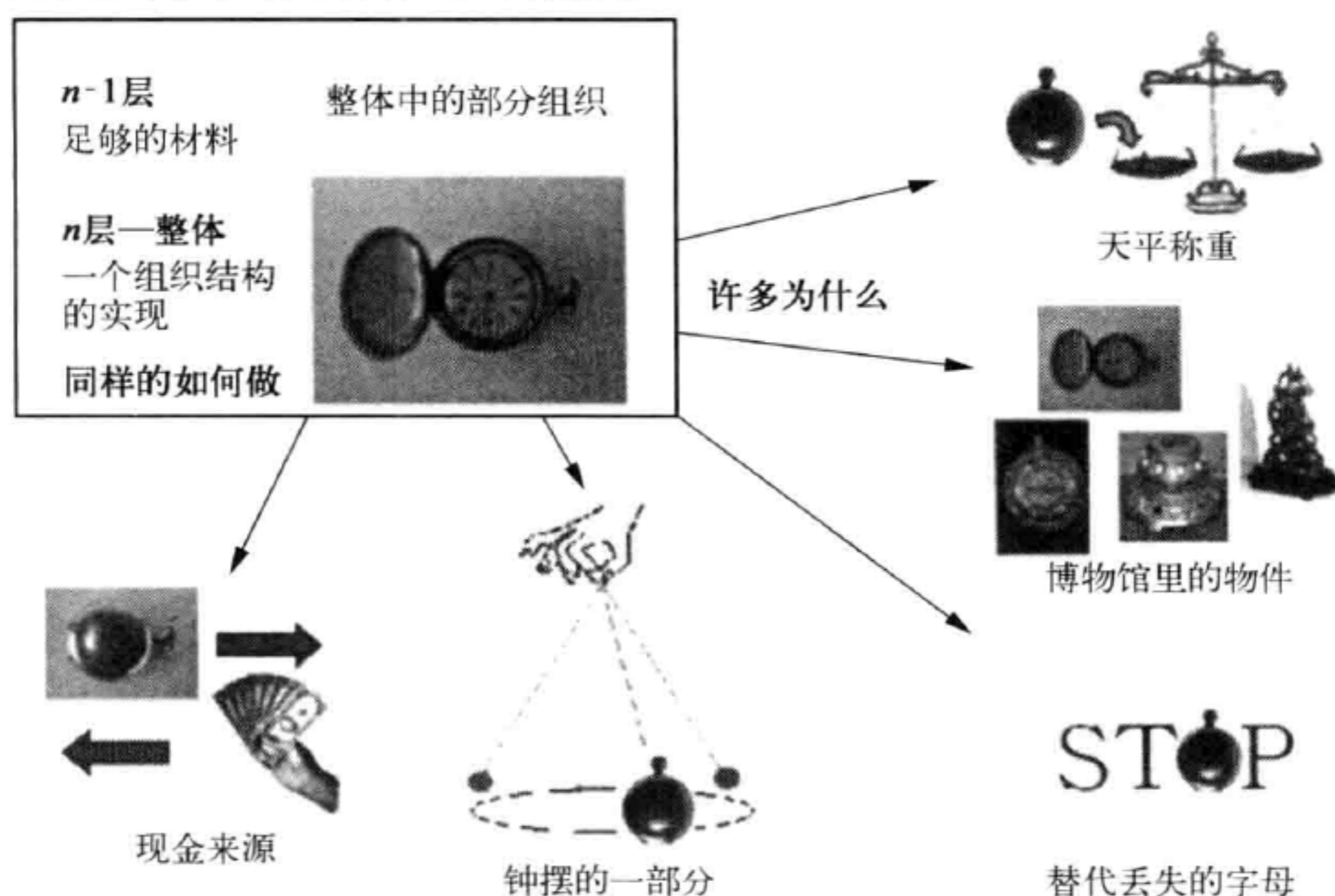


图 3.7b 同样的如何做对应着许多为什么

这种产生新事物的能力由现有的两个二元论决定：

1. 结构和功能类型的二元论，这必须精明地耦合在一起以获得一个能运行的整体，以便能分享共同的经验；以及
2. 个性实现和期望类型的二元论，这使得观察者有可能认识到期望的结构与其所属结构或功能的特定实现相关。

与这些二元论(特别是第一个)有关的歧义，决定了与观察者/叙

述者的目标中潜在变化相关的分歧存在的可能性。

迄今为止，我们还没有十分强调观察者/叙述者在创造新功能中的角色。观察者/叙述者的目标变化在新功能的突现中起了重要作用。实际上，一个特定的叙述者/代理人/观察者可以在局部有限的范围内赋予同样对象以不同的意思，来认识/表现他们自身与相关现实的互动。这很可能，因为任何既定结构类型的一定实现方法——甚至是基于诸如计时器的设计的个性实现——也往往可以被叙述者在面对一项可替代任务时赋予新的含义。任务受到的压力越大，就越容易为现有实体在新功能方面发现新的意义。图 3.8 给出了这种状况的一些例子。在不同的环境条件下，同一种物质实体——用来计时的计时器——可以用来获得所必需的隐私，或者为瘾君子制药。叙述者/代理人/观察者可以把某一物质实体与功能联系起来，而这些功能在寻求某一功能表达时往往与其他结构类型联系起来。

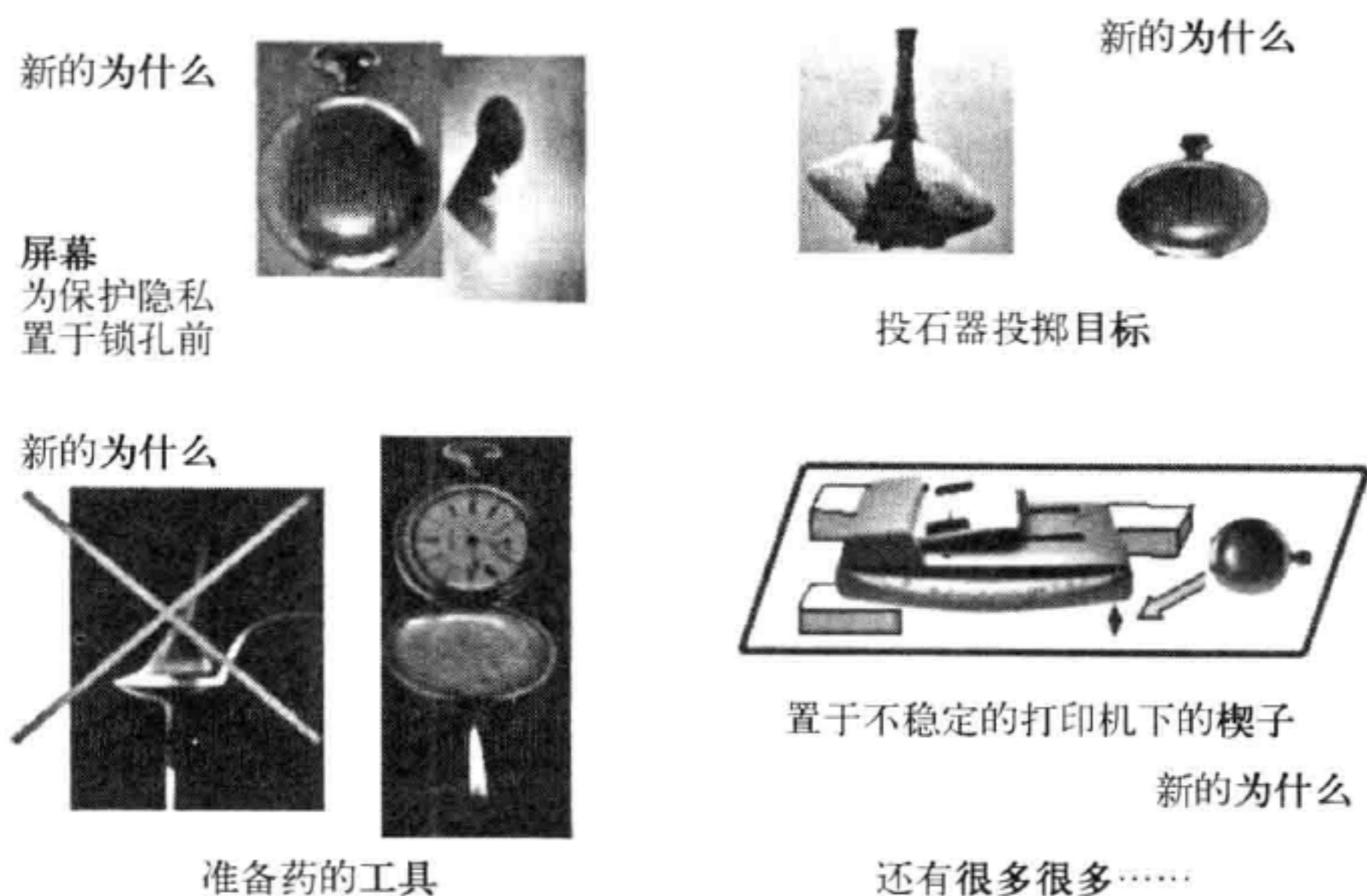


图 3.8 由于观察者目标的变化而导致的突现

在讨论合弄结构演化时，我们一定要预计到现实的结构类型和功

能类型之间存在着——对应的持续损失。这与正式叙述中所建立的关联不同(比如在计算机程序中写的指令)。某一特定的符号与其实施的一定运转方式相关联。但是,在假定模型中所使用的功能类型的定义有效后,如人类需要一种器械在日常生活中计时以便他们能安排日常活动,那么,就有可能找到一些“是什么/如何做”的方法来实现功能。即,许多结构类型可以归结为同一个功能类型(许多个“如何做/是什么”可对应钟表的同一个“为什么/是什么”,如图 3.7a)。在这种情况下,不同结构类型的不同绩效就会与功能的形式化相比较。这里,我们处于以设计为基础的效率王国中。考察所认知的功能类型和结构类型,我们会发现,学习如何以设计为基础来提高它们的效率是可能的。

另一方面,在特定结构类型的现实下,实现一个与最初的结构类型功能完全不同的功能状态是可能的。这取决于叙述者/设计者或相关背景[边界和(或)初始条件]的突然变化。在这个例子中,一个新的有用功能可以因必须满足新的角色界定而推动原有系统引入一个新的形式特性(图 3.7b)。不管什么时候,当一个本质特性被扩展到成为被大家公认的要素那个点——因为与期望的相关背景的结构类型和功能类型相契合——那么,一个新的功能类型或要素就产生了。必须注意的是,使用类似“合弄”和“要素”的术语使本体论和认识论变得模糊了(详见 Giampietro et al, 2006a)。要素可以与富有意义的外部参考物相称的经验联系起来,富有意义的外部参考物可以使观察者或叙述者为一个相关的功能类型界定一个有用特性。就如 3.8 所描述的,根据环境状况,许多“如何做/为什么”(功能类型)可以被归属为同一种“如何做/是什么”(结构类型)。这是突现的王国。突现与所讨论领域中新要素的引入有关。它与在一个知识系统中与合弄名称相关的意

义的共享能力有关¹⁸。这意味着，一个在更大范围内存在的公认的功能角色，值得得到一个称号。

一旦一个新的要素产生了，通过用分析的术语展现与功能有关的相关行为来定义有关形式特性就变得可能了。这也使得在相关背景下描绘预期的作用并使之与相关背景联系起来成为可能。也就是说，这使得与期望的边界条件相关的期望行为的形式化成为可能。

只有在这一点上，在形式化之后，才有可能为新功能类型界定“效率”概念。也就是说，用分析的术语进行角色界定，根据它们的相对效率进行排列，使得寻求结构类型的改善变得更为简单了。

合弄结构的演化可以被看作一个持续的过程，在这个过程中，功能类型的界定往往被用以学习如何设计更高效的组织结构，在这个过程中，更高效结构类型的实现，使得发现超出原有功能定义的新的相关行为和意义成为可能。第一代效率极低的蒸汽发动机的效率提高把它们从对煤矿的依赖中解脱出来。在效率达到某一程度后，蒸汽发动机最后变成了火车的动力。这只有在火车携带的燃料和发动机的重量与它们所传递的动力相比足够小的时候才成为可能。然而，这一演化的过程意味着复杂整体的旧形式特性（功能类型和结构类型）会被淘汰，而一套新形式特性每次都会因新的功能以新要素的形式被承认并加到原有的身份上去。汽车的新行为会发生，并且会很快与“汽车”一词联系在一起。于是，歧义又产生了，因为仅用数量比率来定义的语义学很难跟上不断改变的对象。同样，更高效灯泡改变了什么是室内或室外空间（根据强度和时间周期）光照可接受的水平的定义。早期的汽车（在考虑组织结构类型时）曾经仅仅被认为是“不使用役畜的情况下运送人或货物”的工具（相关功能的最初定义）。现代汽车则被认

为是“非常快捷、安全地运送人并且带有空调系统”的工具(相关功能类型的新定义)。

总之,在对待演化时,随着时间的流逝,不可能对一个特定要素在特定相关结构功能和(或)功能类型的形式特性的关联基础上维持某一性能的有效形式化。这是建模者在处理演化和突现时所忽略的领域。

图 3.9 和图 3.10 再一次显示了在试图对结构类型和功能类型同时形式化时所面临的问题。这两张图列举了属于两个相同类别的三种实现方式,它要求为相关类型使用逻辑上独立的定义。两个不同的结构类型——飞机和气球——可以实现同样的功能,然而,同样模板的两种实现方式可能并不必然与同样的功能类型——飞行的飞机与玩具飞机——相关。事实上,当我们认识到合弄(我们用来让我们所认识的对象有意义的认识工具)的时候,我们会认识到两种类型(结构类型和功能类型)的实现方式在同一种物理实体上的实现。使用形式特性来认知和表现两种类型中的一种,意味着要么假设是功能补充型的相应知识被默许,要么假设是结构补充型的相应知识被默许。也就是说,当我们考察图 3.9 中的不同图片,并且认知所列物体中的喷气式飞机时,我们的视角是以结构类型的实现所产生的信号为基础(如图中所示的结构)。不过,这种能力要求在我们的脑子中存在着所期望的结构类型的模式(在图中所认识的喷气式飞机,其外形与我们知识系统中飞机的知识相关)。反过来,这一预先存在的关于飞机的知识表明,飞机充当的功能类型与我们的知识系统相关。这就是我们起初知道喷气式飞机存在的原因。

这一讨论的关键点在于任何感性知识并不是仅仅基于两种类型的耦合(一个结构类型和一个功能类型),而是依赖于:(1)单个实例的

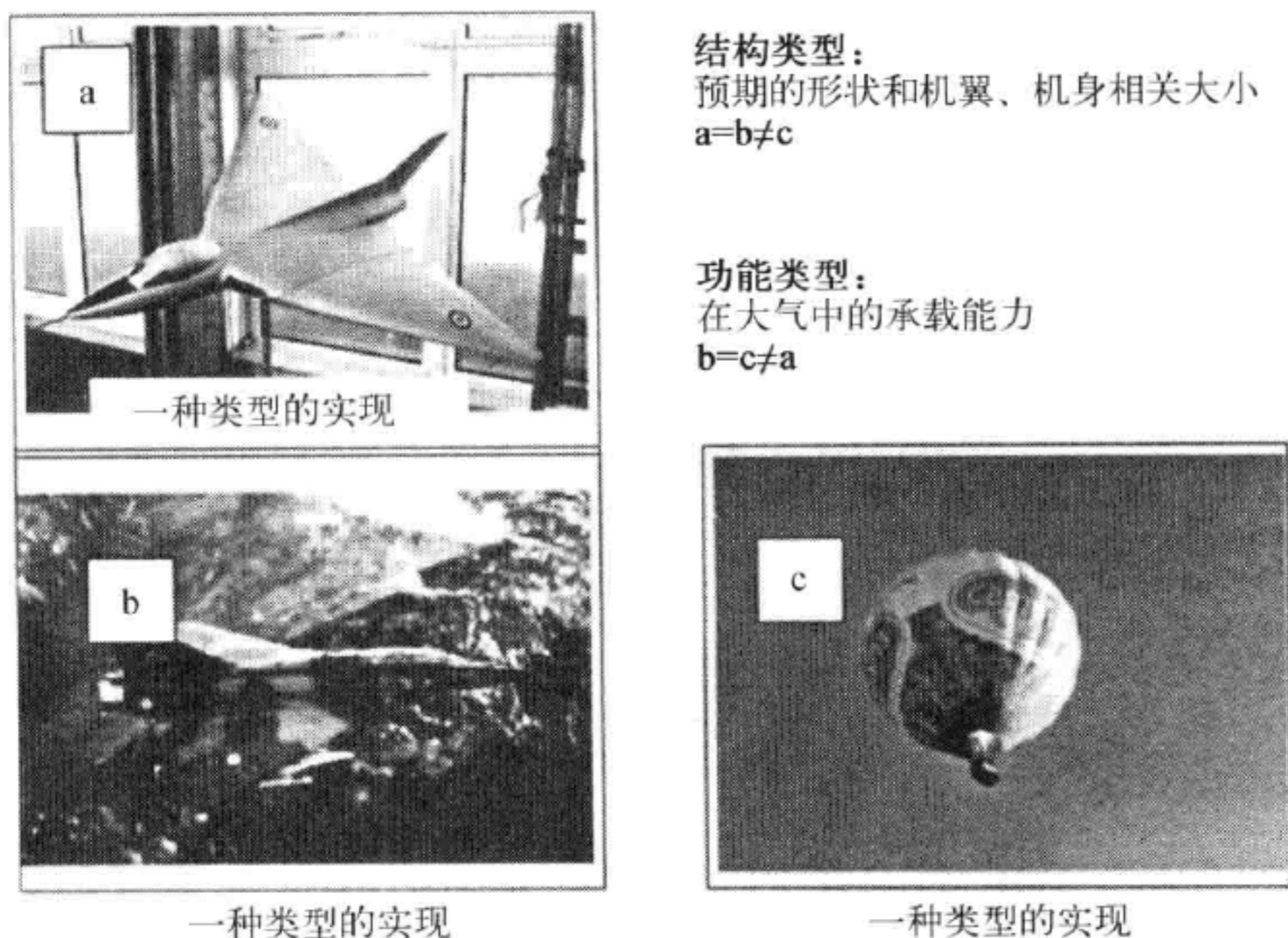


图 3.9 结构类型和功能类型的三种实现方式

功能类型和(或)结构类型之间的相互作用；(2) 在知识系统中相关要素(相关外在参照物与功能类型的一致性)的存在。

在图 3.10 中所列的不同飞行器中，有趣的是其所采用的科学结构类型和功能类型在形式表现上的差异。模板指的是结构组织可以利用形象化的描绘——根据预计的部分与整体的几何学(空间)关系——它不随时间的变化而变化，因为所有的结构类型与速率无关。另一方面，功能的表现(用技术术语来说，是在具体情况中的预期行为必定是合弄可接受的环境)趋向于使用微分方程式来处理。这样一来，科学分析可以提供某一因果机制的表现，它可以被描述为在某一特定空间状态下引起预期变化的能力，因为功能类型是与时间相关的。然而，这种表现形式的变化，可能仅仅是由于方程式所适用的一定边界和有限领域的可能变化(事件)的前分析定义。这要求由方程式所表达的相关的空间状态和可能变化的量化领域是既定的，并且不能随时间的变化而变化。

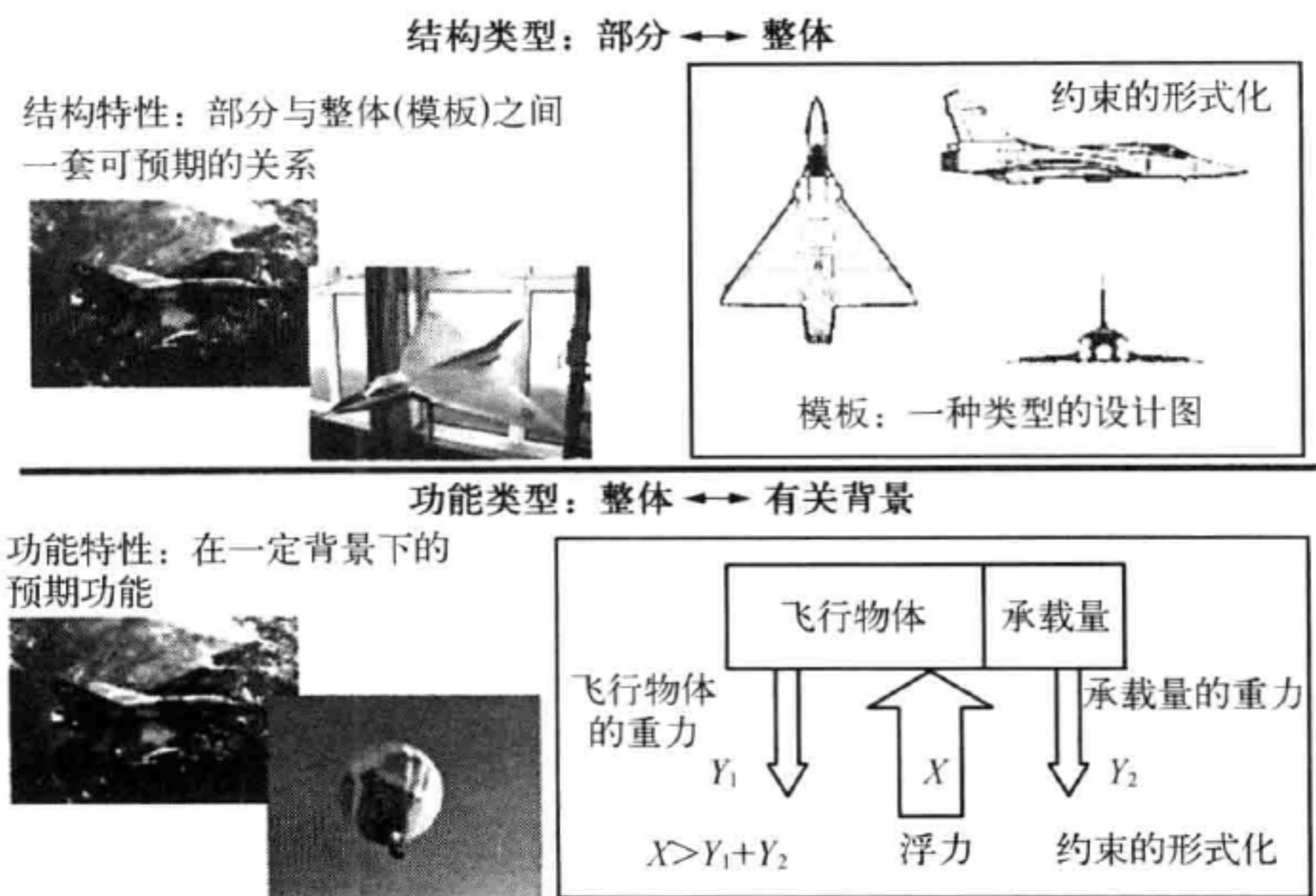


图 3.10 结构特性和功能特性的区别

与合弄结构演化相关的认识论难题：承认复杂时间的概念

基于罗伯特·罗森(Robert Rosen)(1977、1985 和 2000)所提出的深刻见解,詹彼得罗(2003)提出了复杂时间概念。最初引入复杂时间概念,是为了解决在研究复杂自适应系统嵌套式层级之间演化时时间尺度存在的独特性(时间的差异和时间的持续)。从质量和数量分析角度认知、描述和模拟这些系统的演变,要求同时利用“时间”和“变化”的不同形式。不过,复杂时间概念进一步延伸到在有效解决观察者/叙述者在有关问题的界定和建构过程中对相关叙述选择所发挥的作用上。在处理对演化过程的认知和表达时,无论是观察者还是观察对象,都会因观察所发生的知识系统的变化而迟早被突破。在这种状态下,由特定文化背景提供的、关于要观察外部世界的什么以及如何去观察的相关定义,也将会不可避免地时时变动。因此,复杂时间概念在检验我们的知识系统是如何演进的问题中起了关键作用。特别

是，至少有四种离散时间间隔必须区别开来，以确定变化的认知(特征)随时间而变化的演化特征(Giampietro, 2003; Giampietro et al., 2006a)。

1. Δt 的概念，与在特定表达中对被观察系统所察觉到的变化速度有关。离散时间间隔被用来在模型方程式中表现变化。比如，在这种框架下，基于一定的 Δt 产生的一套微分方程表示某一行为。对每一个 Δt 而言，有必要给出一个模拟的起始时间和持续时间。每一个 Δt 相当于一个在实验中被采用的特别测量方案。形式特性的选择和推理系统不能改变模拟的持续时间。

2. Δr 的概念，与在特定叙述中对所察觉到的观察对象的变化速度有关。离散时间间隔很重要，是因为它决定什么时候一个过时的形式特性和推理系统必须被另外一个新的所代替。这个问题的产生，是因为所观察现实的生成要求使用新的范畴来为其表现相关属性。这可以美国汽车在过去 50 年中的变化为例(见图 3.4 的例子)，在这个过程中，空调成为汽车特性的标准属性。

3. $\Delta \theta$ 概念，与在可利用的叙述领域中观察者(叙述者)的兴趣变化速度有关。观察者(叙述者)的兴趣变化要求在观察草案中，能够对被观察系统所选择的叙述和形式特性进行更新。就是在这套离散时间间隔中，其模型中所选择的相关叙述变得过时了。这一问题的产生是由于科学家周围的观察者/分析者/社团的生成，他们要求持续不断地对问题界定和问题建构进行更新。比如，什么时候某一汽车可以进入受管制的城市区域，依赖于其发动机排放的污染物类型。这将决定之前未被考虑的新属性的采用情况(关于汽车的新叙述)。

4. ΔT 的概念与知识系统特征的变化速度有关，在这个过程中，根据基于共享意义的相关性，产生了观察过程和对观察的验证。假如

这些系统要在扰动中继续存在，同时维护系统指派给它们的含义，那么自创生系统必须重新在时间间隔中为自己的特性定义正确的形式。自创生系统的特性规定了总体的背景，在这种背景中产生科学活动并且决定了优先权的选择和最初如何做科学研究的模式。这种特性是关于在变成其他什么东西但同时又保持着相同的被感知到的个性时，规定什么是必须保持生机的，什么是必须被丢弃的。

为了强调四个离散时间间隔中最后一个的特殊含义—— ΔT ——我们可以在这里回忆在普朗提-库普兹 2002 年的自传《普朗提-库普兹：克劳人的首领》（*Plenty-Coups: Chief of the Crows*）（*Plenty-Coups*, 2002）中结尾部分那条揪人心扉的曲线，意指水牛“消失”后的美国历史：“在此之后什么也没有发生……”

不管何时，当不再有相关的叙述者来观察外部世界发生的进程时，现实是否首先在本体论意义上存在真的无关紧要了，这与叙述者所关心和关注的不相干——于是什么也没有发生¹⁹。

图 3.11 给出了在知识系统的定量分析形成过程中有关时间的不同定义之间的关系概述。进行定量分析的科学家在建构正式模型前，必须在前分析阶段决定结构化的语义问题。这意味着，为服务于分析这一目的，要选择一个依赖于有关叙述者特性的相关现实的定义，然后选择经过验证的有用故事。在不同的科学学科中，这条决策链会产生描述性领域不同的最终选择——也就是说，观察什么，如何选择计量方案和观察的时间长度。不同的科学学科——如化学和动物学——考察不同的相关现实，它们大多是由它们中间相互作用的不同合弄（有效地把结构类型和功能类型耦合在一起）构成的。这些合弄只在利用它们特殊的空间和时间参照框架时才能被认识到。

与复杂时间相对应，我们可以把“简单时间”定义为某个变化的

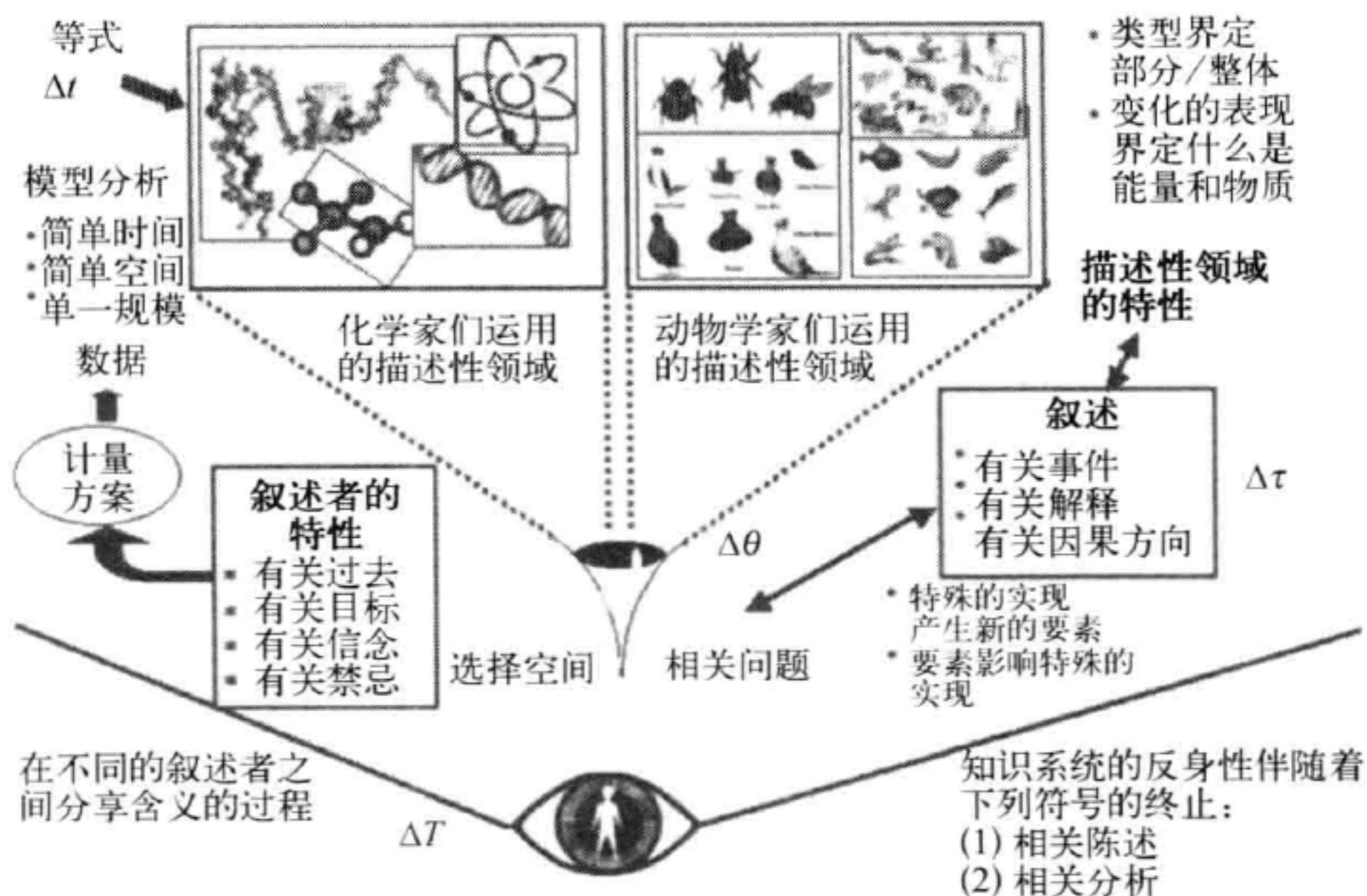


图 3.11 复杂时间：四个离散时间间隔

定义，这个定义与某个计量模型中要求表达“时间”流逝的选择有关。在简单时间中，变化表现为在一个给定的时间差异（与所选择的计量方案有关）和时间持续（与模型所运用的假设的有效性有关）基础上的一组有限变量。必须注意的是，简单时间仅仅存在于变化的形式化表现中。

复杂时间至关重要的含义是在试图预期与演化有关的变化时，任何一个正式模型肯定会被淘汰。事实上，复杂时间必然迟早会让我们的建模系统改变，而用来构建模型的那组变量和推理的关系维持不变。正因为如此，我们必须在使用一定形式结构和不随着时间变化而变化（基于某一给定类型）的模型预测演化系统新功能和结构突现时，预计到系统的失败。这里，我们有必要回顾一下乔治斯库-罗根用有效的计量经济模型来预测未来时所得出的严肃结论：

甚至更关键的是，对于这样的公式是否适合其他的观察

经验还缺乏任何关注。他们关心的事，是用他们的公式对成功的自然科学家负责。事实是，最精炼和复杂的计量模型通常不能与未来的数据拟合——这意味着它们不能预测——找到一个现成的却是弄巧成拙的接口：历史已经改变了参数。如果历史是如此狡猾多变，那为什么要坚持预测它呢？
(Georgescu-Roegen, 1976, pp. xxi~xxii)

在上面这段文字中，乔治斯库-罗根仅批评了计量模型的性能，模型的基本形式依然有效，而问题是无法选择正确的参数值。这样，他的批评仅仅与无法处理和第二个时间间隔 Δt 有关的变化生成过程相关。

从热力学角度看杰文斯悖论的本质

效率的两个非对等解释和杰文斯悖论：最小的熵增与最大的能量流动

正如上面详细讨论的那样，效率概念在形式化时往往需要语义解释。比如，一些作者提出要区分效率，把效率解释成用某一转换过程中产出与投入的无量纲比率，这要求无论是产出还是投入都必须用同一单位来测度，而效能被解释为某一过程中相关产出和相关投入的比率。不过这种区分只是表面上的严谨。事实上，如果在某一转换过程中有可能区分产出流量和投入流量，那么这种区分必然导致两种流量在特性上的不同。这使效率概念有重大意义。所以，无量纲比率在任何情况下一定是指两种不同的类型(如不同的能源形式)，它一定是要被换算到同样的单位(度量标准)。必须注意的是，在把不同能源形式的数值处理和折算成一个简单的比率时，特别是当这些流量被解释为

在不同的层级和范围之间流动的时候，任何人都必须非常小心仔细 (Giampietro, 2006; Giampietro et al., 2006a 和 2006b)。在这种状况下，它极有可能在能量转换过程的各种要素边界和身份的定义中陷入不可避免的模棱两可状态。在处理一组不同能源形式的能源转换时，聚合会引起一定程度的任意性 (Giampietro, 2006)。

与不可避免的歧义相联系，我们这里要讨论的是不同的作者在分析生命系统演化时所提出来的两个“原理”的存在。这两个原理——熵增最小和能量流动最大——常常被解读为由演化的热力学驱动的不同解释。这一部分的主要观点是这两个原理相互并不冲突；它们的表面冲突正是反映了新陈代谢系统在远离热力学均衡运行时对效率概念的不同解释。

为了提出我们的论点，让我们从河宫 (Kawamiya) (1983) 的研究开始，用物理学术语界定与人类相关的两种类型的“效率”。我们使用河宫在研究中所举的例子，因为这对于研究杰文斯悖论的本质非常重要：

1. 第 1 类效率 (EFT1) 指的是产出与投入的比率。不过这种效率界定忽视了产出产生所需时间。一个熟悉的例子是一升汽油所能达到的里程，它并不考虑旅行所需要的时间。

2. 第 2 类效率 (EFT2) 指的是 (每一单位时间) 产出产生的速度。这种效率的解释是由河宫提出的，它忽略了产出获得过程中所需投入量。一个熟悉的例子是汽车的巡航速度，没有考虑相关的燃油消耗。

将熟悉的汽车里程例子与巡航速度相比较，我们知道了这两类效率之间所期望的关系：如果我们要在燃油经济推荐阈值下提高汽车速度，每英里就要消耗更多的燃油 (图 3.12)。在这个例子中，EFT1 的概念指的是燃油经济 (英里每加仑)，这里没有提出所行驶里程所花

时间。因此，EET1 专指“能源效率”的概念解释。另一方面，EFT2 的概念指的是速度（英里每小时），它没有提出燃油的消耗。相反，EFT2 专指“时间效率”的概念解释。尽管大多数司机知道提高 EFT2 毫无疑问会降低 EFT1，但他们往往宁愿寻求更高的 EFT2（巡航速度方面）而不是更高的 EFT1（更少的燃油消耗）。

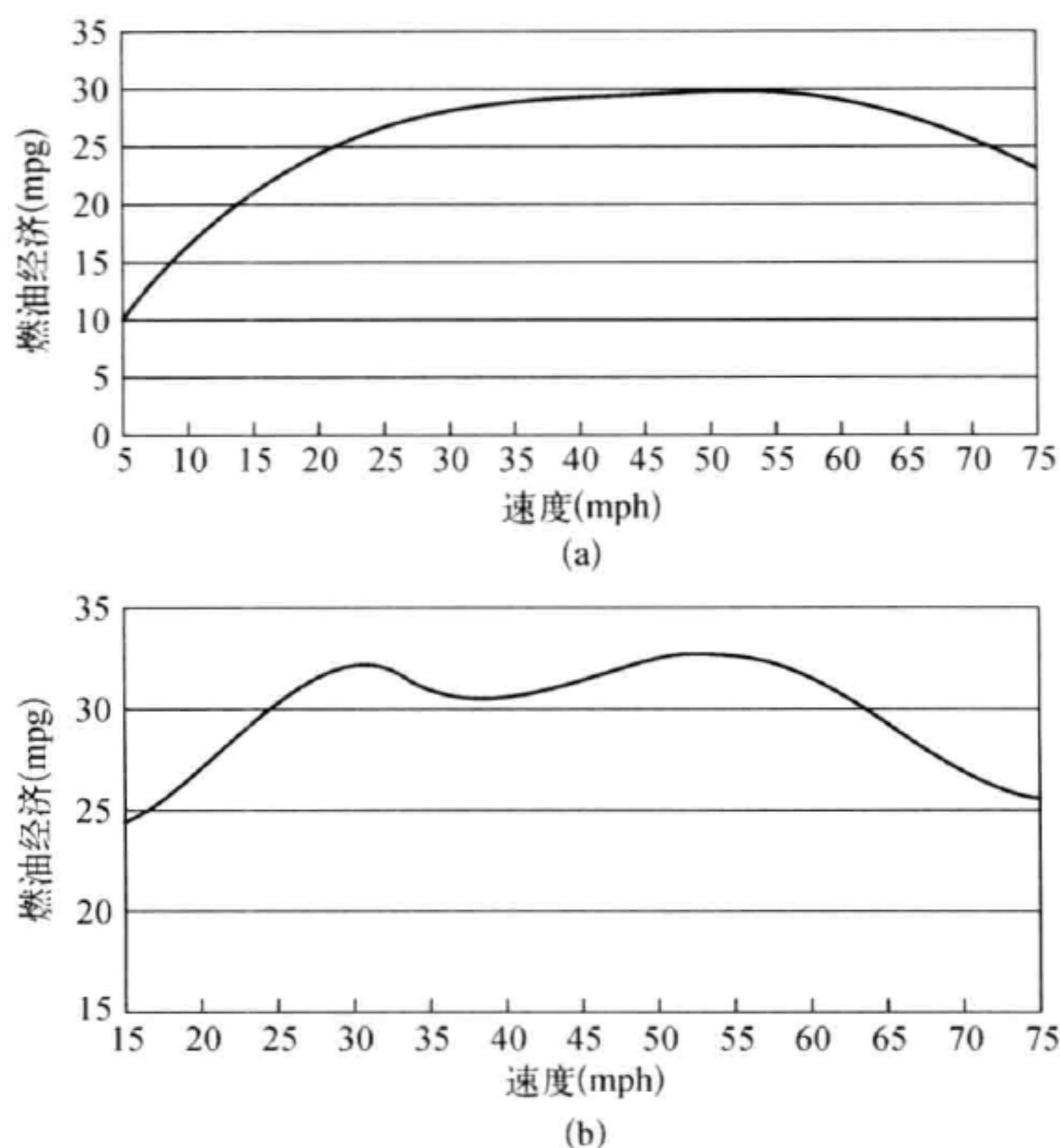


图 3.12 燃油经济与汽车速度

资料来源：美国能源部(www.fueleconomy.gov)和 Eartheasy.com

对效率——如发动机的效率——进行更多技术分析，我们可以说，根据其发动机类型和其他相关因素，一个实际发动机 EFT1 值的变化范围可以是在最小值 0 和可达到的效率最大值 η 之间。最后，一个理想的发动机——卡诺发动机——可以用来研究与热力学定律相关的可达到的最大效率。在讨论卡诺发动机（假设没有摩擦和热损失）时，我们遇到了由熵定律决定的效率的理论限制（EFT1）。它的值一

定小于 1^{20} 。在这种状态下，当理想的卡诺发动机的活塞速度被视为输出，那么对于实用目的，EFT2 等于 0。就如前面已经提到过的，从这种极端状况出发进入到现实热力发动机领域，众所周知，任何 EFT2 的提高——发动机做功水平的提高——都会导致 EFT1 的减少；它将增加每单位输出的能源投入的消耗。这里，功率水平代表着每单位时间能量输出的速度。热动力学考虑的事情可以被社会系统和经济系统用来学习两类效率最大化背后的逻辑差异。

为使讨论置于技术术语之外，我们可以说，在其他条件不变的情况下，更低的投入需求（EFT1 的提高）对边界状况的稳定有好处。也就是说，具备更高 EFT1 的汽车消耗更少的燃油，在服务站停留更少时间以及排放更少的 CO_2 ——它更少地依赖燃油供应环境和其周边环境的排放吸收能力（sink capacity）。在思考与社会代谢相关的整个社会与其环境的相互作用时（换句话说，是从环境中汲取的物质和能量投入的流动和排放到环境中去的废弃物的流动），我们发现了一个相似的模式。社会在进行某项活动时，对物质投入的需求减少本身就是环境保护。EFT1 的提高，降低了对自然资源的消耗速度和与废物倾倒相关的环境压力。另一方面，EFT2 的提高，意味着更高的生产能力对社会经济系统表现更复杂的行为和扩大其活动领域的能力有着有利影响。更高速的生物物理生产量，与经济过程（在一定社会所制定的规则下，社会生产和消费的产品与服务的流动）的生产量增长有关。再者，还需要考察区分强度变量（富裕程度）和容量变量（人口）以及这些变量值在人口中的分布状况（公平问题），但是，到目前为止被普遍接受的观点是，经济增长被证明对人类社会是有利的。打个比方说，在短期内完成所要完成任务的能力，为那些有能力将“时间就是金钱”转化为现实的人提供了战胜其竞争对手的真正优势。

因此，是 EFT1 而非 EFT2 与社会经济系统代谢的生物物理规模有关，换句话说，是和一个社会中物质生产能力的量有关。在使用能源、水和其他关键物质流量作为消耗的度量标准时，社会经济系统代谢可以与嵌入其中的生态系统的生物物理代谢相比较。这样，EFT1 就可以被认为是决定经济过程的活动规模——与自然过程的活动规模相比较——的一个因素。这使得 EFT1 应该比 EFT2 更具有成为“自然资本”的优先权，并成为经济增长的限制因素(Daly, 1995)。从热力学角度看，EFT1 的最大化，会使社会中实现特定结构(功能)的能源吞吐量最小。

尽管 EFT1 应该被看成现象的原理而非物理法则，但 EFT1 的概念已经被普里高津(Prigogine)形式化了，他在能量耗散系统的分析中运用了“熵增最小化原理”(Prigogine, 1961; Glansdorff & Prigogine, 1971; Nicolis & Prigogine, 1977)。这一原理的技术描述是“线性系统服从一个一般不等式，意味着在一个稳定的非均衡状态中，熵增变成了与所应用的系统限制相兼容的最小值”(Nicolis & Prigogine, 1977, p45, 强调部分为新加)²¹。为了使这种稳定性形式化，科学家们使用了以控制理论为特征的李亚普洛夫函数(Liapunov function)。有一点发现至关重要，就是即使这一原理已经在非均衡的热力学领域中得到发展，但为了达到稳定状态，其有效性仍要求假设其所分析的系统保持稳定。与在模型中运用的变量和方程式的特殊选择相关的耗散结构，也必须充分地接近均衡，以保证所采用的形式化能时时保持可靠。

为了在讨论中少用一些技术术语，让我们来看一个新陈代谢系统的实际例子，这个新陈代谢系统的形式特性因为有非常严格的初始条件和边界界定而保持有效。比如，它可以是人类的细胞活动，如上所

述，细胞可被看成一个合弄。在这个例子中，我们在局部范围中有一个新陈代谢系统(细胞)的活动，它是在更大范围中另一个新陈代谢系统运行的一部分(人体内的组织)。只要更大范围的新陈代谢系统——人体——依然存活，那么从其 DNA 的指令那里得到明确特性的特定细胞的边界条件，依然被假定为状况良好。也就是说，我们可以假设这个细胞的温度维持在 37 摄氏度左右，其血液的 pH 值保持接近 7，并且血液中氧和营养质的供应保持充足，同时其对 CO₂ 和其他化学废物的排放有足够的吸收能力。在这个例子中，人类细胞所期望的初始条件的可靠性和边界条件的稳定性的结合，为细胞的形式特性随时表现其有效的细胞功能提供了重要条件。也就是说，在处理嵌套式层级结构的代谢系统，如社会系统或生态系统时，我们可以预料较低层级的系统要素是根据某一设计图装配的，并且是在一组受控的边界条件下运行的(Giampietro, 2003)。在这种状况下，假设某些“自然选择”在起作用，预计那些较低层次要素的结构(功能)将会慢慢地沿着由熵增最低原理决定的轨迹发展是合理的。毫无疑问，学习如何减少内耗对这种类型的合弄有着积极作用。正如前面所讨论的，EFT1 越高，从环境中汲取的投入量也就越低(更少损耗自然资源)。“在可用能源供应受到限制的地方，为了保持这种能源的持续可用，那些最有效率、最经济的有机体的优势就体现出来了”(Lotka, 1922, p150)。

另一方面，如下面会讨论到的那样，降低生产能力的流动(通过减少所需投入以达到同样的产出)产生了一个耗散系统，这意味着，从长期来看，减少了选择和行为的多样性，这可以用那个耗散系统来表示。减少的选择空间可以在边界条件变化时变得可靠。事实上，扩张生产能力是为了能够消费更多，这对生活在社会经济系统中的人来说，是大有裨益的方案。

这就解释了为什么无论是在经济分析还是在生物物理分析中，与EFT2 最大化有关的演化观点非常受欢迎。在经济学中，这一原理的形式化应用与利润和福利的最大化有关。从生态学理论来说，EFT2最大化的具体表现已经根据生态系统中能量流动的最大化说法使其正式化了。这一原理被作为生命系统的演化总原则提出——“自然选择趋向于通过新陈代谢系统的能量流动最大化，甚至与系统受支配的限制相容”（Lotka, 1922, p148）。

洛特卡(Lotka)的能量流动最大原理(Lotka, 1922)，已经被一些作者以一系列不同的称呼提了出来，分别是：“通过马尔萨斯不稳定状态的演化”（Layzer, 1988）；“火用降级最大化”（Morowitz, 1979; Jørgensen, 1992; Schneider & Kay, 1994）；奥德姆学派分析的“能量最大化原理”（Odum & Pinkerton, 1955; Odum, 1971 和 1996）。

这里，我们将利用几个比喻来描述投入最小化和生产量最大化两个原理之间复杂的相互关系。让我们想象人们正经历着食物或金钱的短缺。他们可以让自己适应低水平的食物和(或)金钱的生活。这样，他们可以在食物或金钱方面成功达到动态预算平衡的目的。用“动态预算”，我们是想要用“动态预算”表明在新陈代谢流动的需求和供给之间的强制匹配，这可在不同水平的生产量上实现。

另一方面，由于动态预算是基于低投入水平上的低产量，他们会受到表现行为多样性的能力限制，受到空间和时间上的行动范围限制，还要承受万一系统微扰而增加系统崩溃的风险。因此，一个可选择的策略是改变它们的活动模式，以便能通过获得更多食物和(或)赚更多钱在更高产量水平上达到一个动态预算的平衡。不过，这会要求改变它们自己的特性。

为了用这些术语展开讨论，我们必须注意到任何面向更低水平消耗或更高水平消耗变化的界定。这需要对期望的标准——新陈代谢系统的一定特性——做一个初步界定。也就是说，它应该可能会为构成人类的生态系统界定特性，它必须在预期的消费水平上受到生物物理和(或)文化的限制。比如，在前工业社会，平均谷物消费是人均每年250公斤(Smil, 1994)。这种标准水平是生物物理条件、低技术水平和人口限制的综合结果。在工业革命后，由于大量食物和货币的持续供应，人类学会了如何比前工业社会消费得更多²²。比如，在发达社会，当双倍的谷物转换为肉和酒精饮料时，生活在发达国家的人们每年消耗的谷物人均超过1 000公斤(FAOSTAT, 2007)。这种消费水平的加速必须由人体之外的东西来完成——仅仅靠生物物理转化，直接进食如此巨量的谷物是不可能的。这一数字意味着人均每天要消耗谷物2.7公斤(包括婴儿、儿童和老人)。也就是说，为了生产更多的人均谷物，人类必须提高他们的能力以消费更多。但是为了做到这些，他们必须根据其日常饮食，利用谷物作为投入品，在转换系统中发酵酿酒，饲养牛、猪和家禽，以确保人类的食品安全。为了使能源消费最大化，他们必须改变其食物系统的特性。这个例子与我们曾经讨论过的汽车的演化有共通之处。它们都是关于如何通过扩大与其绩效相联系的功能和结构的组合——通过效率的提高——来消耗更多能源。

熵增最小化与能量流动最大化

利用曼德尔布罗特对缅因州海岸线方位这一案例所做的清晰对比分析，我们要证明一个观点，即同一认识论的歧义弄混了对熵增最小化原理和能量流动最大化原理的讨论。这两个原理指的是演化的不同及非均衡的视角和展现。根据其具体条件和规模，两个分析模型都是

有用的，因此两者是不冲突的。不过，为了把关于外部世界的非均衡描述和不可简化的叙述统一到对演化过程的有益理解中，我们必须注意这两个原理。第一，要考虑到熵增最小化原则与 EFT1 效率观点有关，指的是从系统内部演化的观点，这是关于两个层次的界面分析，即 n 层级（核心层级——整体）和 $n-1$ 层级（更低层级——在给定的整体表现中被界定的部分）。由于这种相互作用的想法，这种为相关结构（功能）所进行的效率分析，一定得在局部（小范围）内通过利用某些特性的界定来完成。第二，能量流动最大化原则与效率的 EFT2 界定有关，可以解释为产生更多有用功（相关产出）的能力。效率概念的这种解释，指的是演化是从外部系统获得的一种观点，它把演化看成一个与其周边环境相互作用的黑箱。这一界定涉及两个层级的相互作用分析，即 $n+1$ 层级（更高层级或环境，假设是稳定的）和 n 层级（核心层——整体）。如果这样的话，系统经历的演化则被认为是功能和结构的大规模改变。根据这种相互作用的观点，黑箱中发生的变化类型会因这种展现而被完全忽略，因为它根本不考虑黑箱里面有什么东西。

根据能量流动最大化原理演化的系统，通过使用与其结构和功能类型局部解释相关的部分（黑箱）的一系列不同“特性”，会表现出不同的功能²³。读者可以再次回忆技术进步引发的汽车演化案例。

在描述更高层级的大范围系统演化时，能量流动最大化原理指出了新的复杂性通过协同演化而产生的持续过程。也就是说，这一原理指向在同一边界条件下（如嵌入在同一生物物理背景下的不同社会经济系统）提高相互作用的各种新陈代谢系统之间的相互兼容性和适应性的需要。从大范围看，整体远离热力学均衡的程度相当高，因此，不可预见行为的产生是不可避免的，并且也必然会引入一个新的形式

特性，用以关注效率含义的变化。“当一个耗散结构如此接近于不稳定，它的熵增达到了一个相对最大值，那么它就会变得对哪怕极其微小的扰动也很敏感”（O’Neil et al. , 1986, p105）。

当从准稳态视角在较低层级的局部范围内描述系统演化时，我们认为，耗散组成要素是在一个稳定的边界条件内在严格约束的情况下运行的（如组织内的细胞）。在这些条件下，假定一个趋向于为减少能量和物质数量的持续学习的新方式被要求维持一个特定的功能——效率的提高——是合理的。在这种情况下，熵增最小原理与能量流动最大原理相比，它与系统演化分析更具相关性。

不过，较低层级的效率提高——新陈代谢系统每单位物质熵增的减少——将导致新陈代谢系统的稳定性更高，并且，只有在较低层级中因效率更高而产生的有用多余能量能够在等级系统中成功地向上流动（Margalef, 1968）以及能够投入到新结构（功能）的突现中，才会在长期内显示其功能。这种突现现象只有在更高层级中（通过改变观察的范围），并且只有当使用新的形式特性（一组用于描述绩效、代理变量和它们之间关系的不同属性）和推理系统时，才可以被发现。

由于效率的改进是以设计为基础，这种熵增最小化原理和能量流动最大化原理的合作互助，要求能够有效利用在较低层级中节约的能源，以便能投入到对更高层级条件变化的适应中。也就是说，在更高的层级，系统内部获得的效率改进，在更大范围内被转换为用以表现新的更复杂的行为。

一个非常熟悉的例子是关于小规模层次和大规模层次的效率均衡的比较，这可以通过考察家庭层次或者国内经济环境下的公司层次来实现。总体而言，家庭倾向于在他们日常活动中进行理财。也就是说，家庭倾向于搜寻特别优惠、“优惠券”和廉价超市来节约日常购

物花费。另一方面，只有这些省下来的钱达到一定数量，它们才会被用来购买更大的车或去度一个奢华的假期。在这种情况下，因效率提高的所得在层级之间有了转化关系。购买家庭日常生活商品所省下来的钱，被转化为更大的能力，这一能力使得那些投资能提高社会相互作用。

换句话说，整体系统的能量流动最大化（在描述整体与其环境相互作用过程时发现的）和低层级部分（component）的每单位熵增的最小化（在描述较低层级新陈代谢过程时发现的）的两种趋势并不互相排斥，更确切地说，只要有利的边界条件不变，两者是在不同范围中平行运行的。这两种趋势的最后结果是在演化过程中新陈代谢系统与它们的环境更好地整合。就如马格列夫（Margalef）提出并且用家庭经济的例子所描述的那样，通过系统内部效率的提高，持续地增强与其具体环境相互作用的需求（如生活方式的变迁）是完全有可能得到满足的。这样，相互作用的新陈代谢系统的内部特征和外部特征，在某一过程中被校正到相互适应，因此这也被称为协同演化。

另一实例，是通过同时使用强度变量和容量变量研究一个国家能源新陈代谢的实时演化特征、核查如何用部分新陈代谢的剖面变化来解释整体的变化（不同的经济部门和分支部门）²⁴。图 3.13 就是对日本经济 1971~2001 年间能源代谢的分析。图中包含的变量有：

- 人均能源消耗(EC_{PC})——GJ/年人均(强度变量)
- 国家的总能源消耗(TEC)——EJ/年(容量变量)
- 人口——百万日本人(容量变量)；以及
- 经济能源强度(EEI)——这是 MJ/日元的比率(经济中每一日元等量的货物和服务有多少能源投入)，由 TEC/GDP 得出(强度变量)

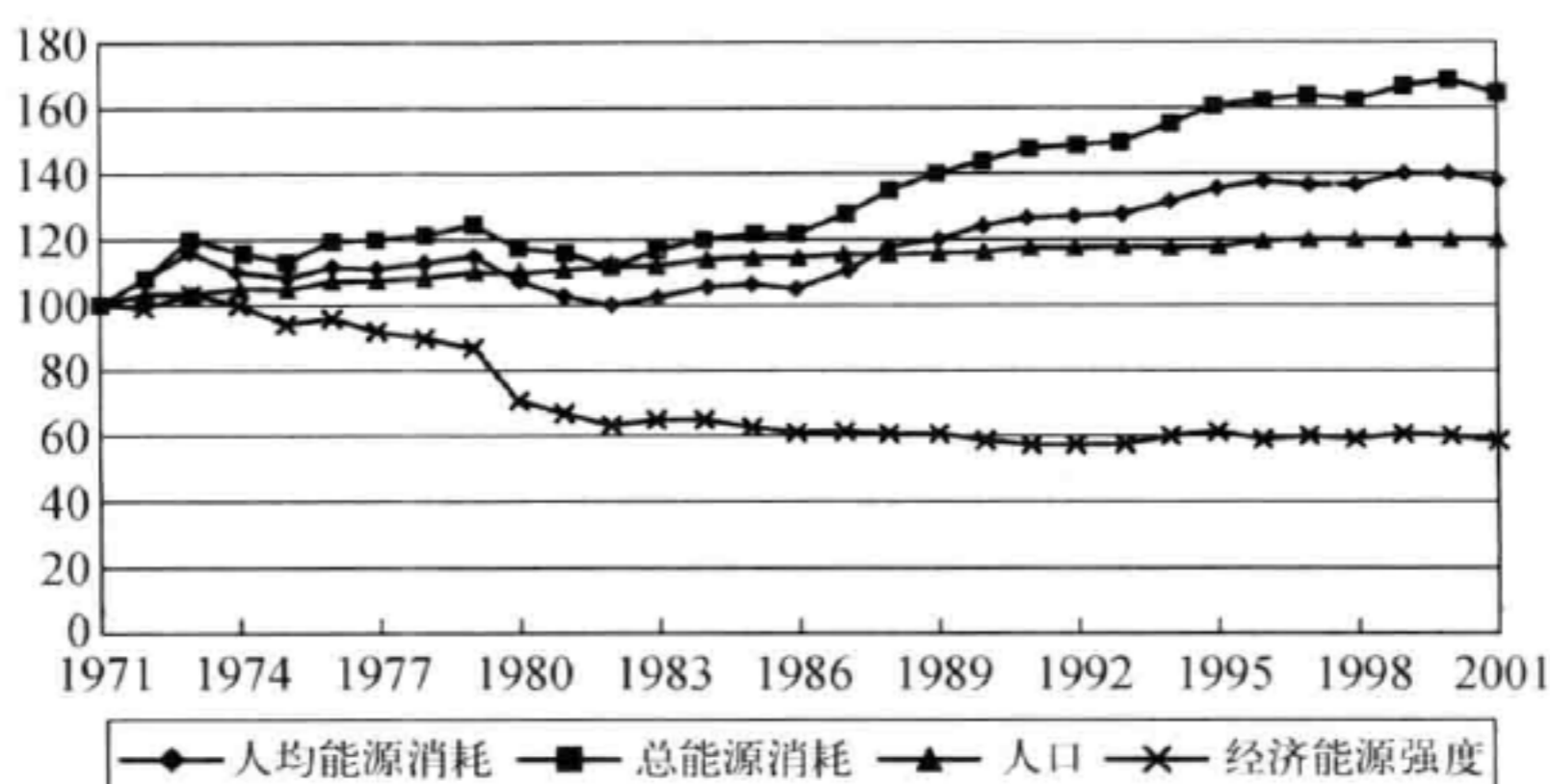


图 3.13 日本经济(1971~2001年)能源新陈代谢的四个变量
资料来源：根据统计局(日本内务及通信产业省)(2007)的数据编辑

所有的变量都根据 1971 年的值等于 100% 被标准化。观察这张图，人们可以看到，在第一次和第二次石油危机后——两次危机决定了化石能源供应的短缺局面——以更有效地利用能源为目的的技术改进导致了人均能源消耗值和总能源消耗值的下降。在 1971~1987 年间，通过观察人均能源消耗值和总能源消耗值的涨落(降低和提高)，我们可以发现两个矛盾的趋势作用(在某些活动中节约能源是为了能够在其他活动中分配更多的能源)。然而，自从 1988 年，人均能源消耗和总能源消耗都已经稳步快速上升(除了少数几个年份)，其增长速度比人口增长速度快。从 1986 年开始，经济能源强度(反映能源转化为增加值的效率)已稳步维持在 60% 左右。因此，根据这一变量，我们还不清楚，1988 年以来，人均能源消耗和总能源消费的提高是否可以直接归因于技术进步本身。无论如何，人均能源消耗整体提高的总趋势是明显的。

日本能源代谢系统的实时演化，也可以通过观察哪一个变量的变化比整个国家变化水平低来考察。这要求把分析转向单个经济部门的变化水平。事实上，利用容量变量(比如工作时间的安排、能源消耗和形成的附加值)与强度变量[如能源代谢速度(每小时劳动消耗的能

源)、每小时劳动的经济生产量(每小时劳动形成的附加值)]的结合来研究单个部门的特征变化是有可能的。因此,在研究社会经济系统代谢的实时演化时,我们也可以研究各个部门基准特征值的变化。不过,为了把在单个部门发生的变化与整体经济发生的变化联系起来,考察经济过程中几个相对重要的部门就变得很关键。比如,在图 3.14 中,我们可以看到日本经济的不同部门在经济能源强度上经历了重大变化。不过,就其本身而言,这一信息并不足以让我们对整个经济的能源强度做出推论,除非不考虑各个经济部门相对规模的变化——比如,经济活动和劳动力在不同部门的分布。与劳动力分布的大致状况有关,在图 3.15 中,我们可以看到日本在这个时期遵循发达国家演化的典型趋势。服务业部门持续扩张,而生产部门特别是农业部门一直在萎缩。我们从这个角度可以发现,不同经济部门所拥有的不同特征的可得资源(人类活动、资本和有用能源)配置的持续变化导致了杰文斯悖论的产生。整个国家的特性,形成变化的整个过程,可以仅仅理解为多个部门的结构变化(低层级的强度变量)和整个经济过程的总体规模在这些低层级要素配置上的变化(以使用容量变量如总人数、

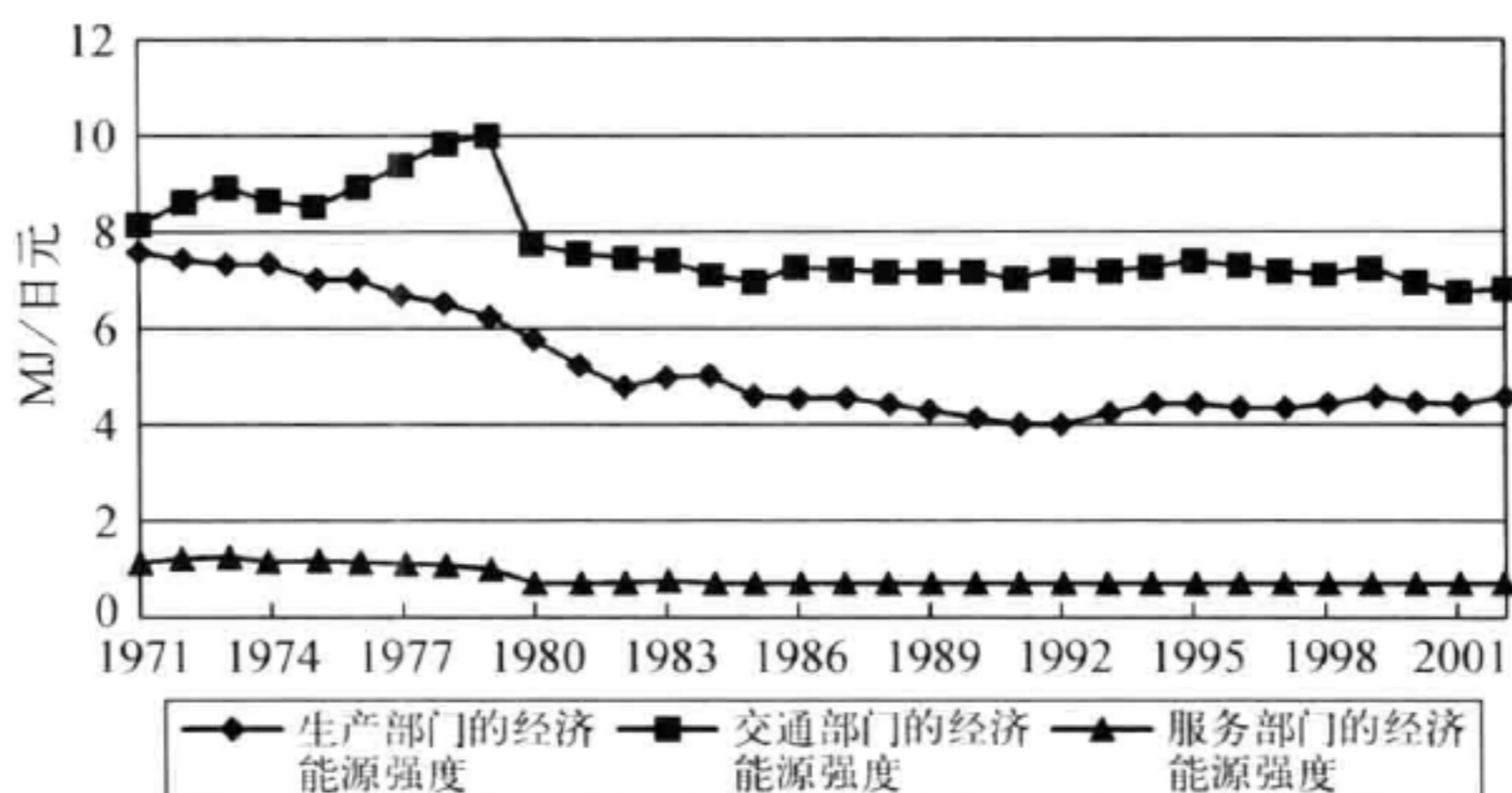


图 3.14 日本经济三部门(生产部门、交通部门、服务部门)的经济能源强度
资料来源: 根据统计局(日本内务及通信产业省)(2007)数据编辑

总资本和总能源消耗为特征)(Giampeitro & Mayumi, 2000a, 2000b)。

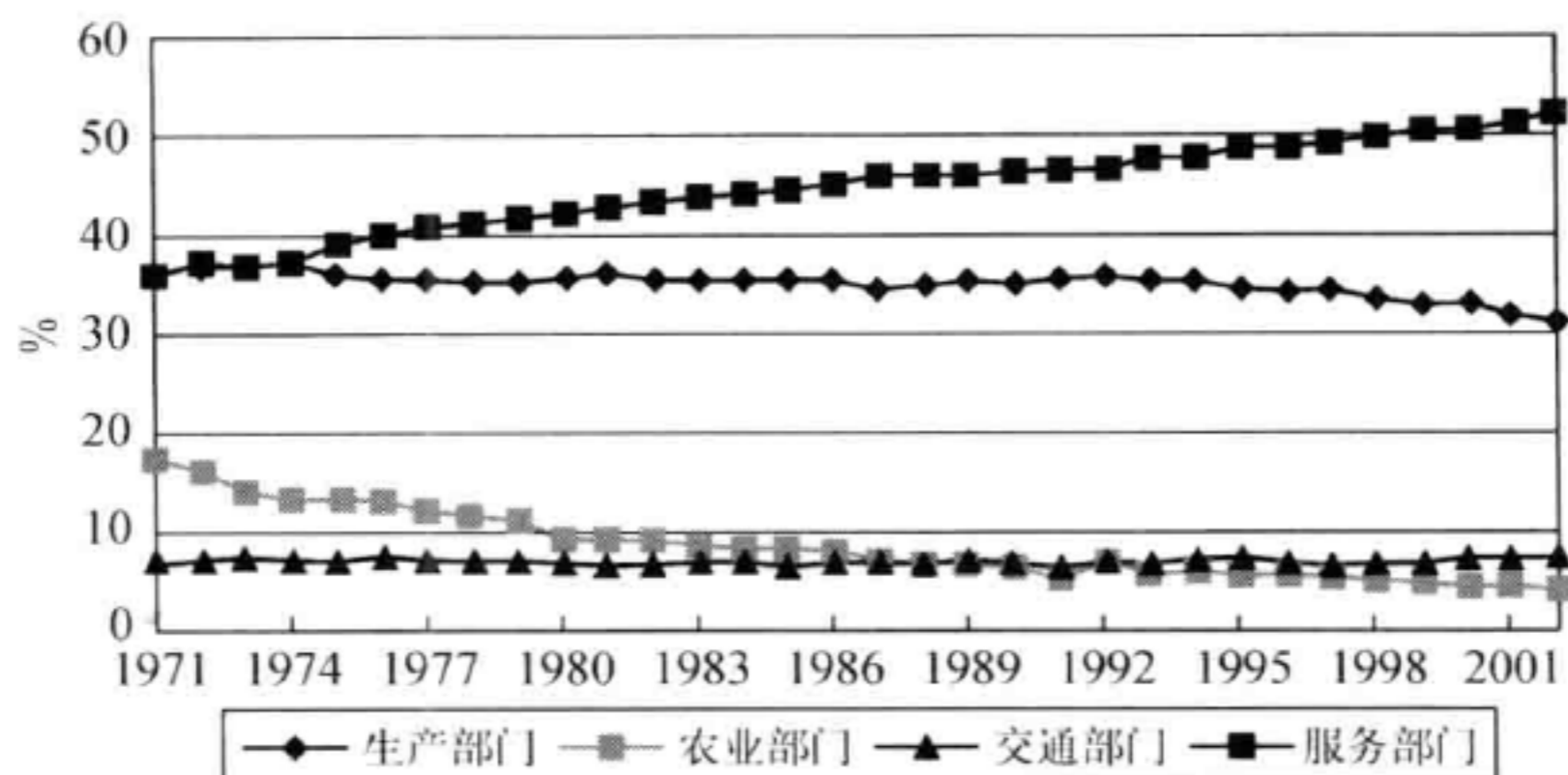


图 3.15 日本经济四部门(生产部门、农业部门、交通部门、服务部门)的劳动时间分配

资料来源：根据统计局(日本内务及通信产业省)(2007)数据编辑

在用协同演化的概念(在不同的社会经济系统和生态系统中)解释可持续性时,由杰文斯悖论引起的阴阳张力,可以解释为旨在提高社会系统或生态系统在不同空间-时间尺度上控制运行的各种系统之间相容性的辩证张力。这些控制系统在不同的规模下运行,既是在被分析的系统中运行,也是在其环境中运行,它决定了社会赖以生存的最优边界条件(如其他经济体和多个嵌入其中的生态系统)。平衡这两个需求的需要,导致了要对这两个原理的优先权进行平衡。

不幸的是,从环境的观点考察过去 200 年左右时间内经济系统的增长,我们注意到过度考虑赋予短期内提高 EFT2 优先权的趋势:生产和消费方面更快速地产出。乔治斯库-罗根描述了人类沉迷于由能源和矿产资源所带来的体外舒适:“体外主义也使我们沉迷于体外的舒适——因此几乎完全依赖于我们居住地的有限矿产资源”(Georgescu-Roegen, 1992, p147)。在讲述新古典经济学时,这一趋

势与明确地优先促进经济增长是一致的，并且 GDP 增长自然地成为主要考虑对象。从这个角度说，大规模 EFT1 的相反方向——戴利所比喻提出的轮船总承载力——往往被忽视了。这种不平衡的趋势导致了降低自然资源消耗速度和环境污染水平的目标没有被优先考虑。这两条原则之间不平衡的最终结果，是在“产出(GDP)越快越好”这一短视规则的基础上做出的政策决定。

效率和适应性之间的阴阳张力：可持续性的含义

关于熵增最小化(或 EFT1 类型效率的解释)和能量流动最大化(或 EFT2 类型效率的解释)关系的讨论，可以简单地与生态系统演化观中采用的两个观念相联系。适应性是长期内生态系统演化可持续性的关键特质(Conrad, 1983; Ulanowicz, 1986; Holling, 1995)。这里我们对适应性的界定采用如下叙述：在面对目标变化和约束条件变化时，调整我们的自身特性以保持适合性的能力。适合性是指维持一组目标、实现目标所需要的一系列过程以及由边界条件施加的约束三者之间一致性的能力。由于代谢系统从来都是不独立的，只有它们在变化形成过程中设法保持活力，才能维护它们的个性特征。因此，无论是可能性的行为还是组织的结构方面，适应性都需要具备维护多样性(足够的选择空间)的能力。

不过，根据对多样性保护的特定解释，多样性保护的目标本质上与在特定的时间与空间节点上定义的效率增长目标相冲突。也就是说，在实行某一功能时，我们对所谓的“更有效率”进行形式化后，通过映射到同一功能上，最终可以分成不同的结构类型。在这一点上，为了提高以所选形式化过程为依据的效率，我们不得不消除那些“完成效率不高”的活动，放大那些看来能更有效完成的活动——如

用圆珠笔代替铅笔。这种基本规则推动技术进步。比如，在过去的一个世纪，根据一些当权的社会集团发布的一整套目标和对已有边界条件的认知(如大量的石油)，世界农业发展了，这与农业技术的进步有关。结果之一是，全世界广泛接受了农业产业化的范式，这导致了生产系统多样性的减少(如许多传统的农业系统消失了)。农业生产更有效率的技术(遵循 EFT2 的解释)，是以在“能源密集”的技术投入支持下的高产品种的单一栽培为典型特征，如复合肥、杀虫剂和灌溉(Pimentel & Pimentel, 1996)。受技术创新驱动，用这里的解释是效率驱动——诸如绿色革命或转基因生物——我们全球的农业生产集中于使用一套非常小的标准方法(商业种子、技术设备和经济需求强烈地受到跨国公司和全球市场的影响)。另一方面，那些各地弃之不用的旧农业生产系统，如果用另一种目标和标准——本地雇佣、生态相容性和多样性保护——来评价的话，可能显示了一个非常高的绩效(Altie, 1987)。美国国家航空航天局和苏联航天局都有过受边界条件的突然变化推动的类似“回到过去”的经历，在第一批宇航员在失重状况下开始作业时，他们不得不采取技术上的倒退，类似于从使用圆珠笔退回到使用铅笔。

在根据复杂系统理论考察演化过程时(如见 Kampis, 1991; Giampietro, 1991, Giampietro et al., 1997)，我们可以发现，在过去的分析中，面向非稳态的驱动力是由效率和适应性之间相互影响所产生的，这是在不同的空间-时间范围内运行的。只要边界条件允许，持续地把效率转换为适应性以及把适应性转化为效率，是系统不断转换演化路径的原因。选择一个任意的出发点，就会产生以下列方式出现的一个包含三个步骤的非直谓循环圈：

1. 在一定的目标规定下，社会系统经验的积累通过扩大更有效

的运行类型、减少较差劲的运行类型的方式，引发更有效的代谢过程。

2. 更有效的代谢过程产生更多的剩余产品以扩大社会经济活动，意味着新目标的确定。

3. 社会中进行的活动数量的增加和社会经济系统与其环境相互影响范围扩大的结果，转变为对边界条件稳定性的压力，换句话说，是更多的环境压力和更高的资源压力。不过，这要求在适应性方面投入更多——比如，为处理资源耗竭和环境污染的其他额外任务。然而，为了能够在适应性方面投入更多，系统就要变得更有效率。它不得不更好地利用其在如何执行所需任务组合方面的经验。只有当适应性方面的投入变得成功时，系统才可以回到步骤 1。

图 3.16 显示了在不同时间尺度上，效率和适应性之间不同的、可能的因果路径是如何和平共处的。当考虑短期尺度时，效率意味着对适应性的负面影响，反之亦然。当从长远来看时，它们两者彼此依靠、共同进步。不过，要在好的阴阳张力基础上取得成功结果的唯一办法，是通过不断扩大系统执行任务的数量，以便能够扩大人类社会活动领域的规模。也就是说，效率的提高是通过增加更高效完成的活动来实现，而不是靠完全清除要淘汰的活动来实现。这些活动将作为一种效率的“不同意义”的记忆，在社会系统可能活动的全部内容中被保留下来。这些不同的意义在面对不同的边界条件或建立一套不同的目标时，会再一次变得有用。新的边界条件或新的目标将要求完成新的任务，反过来，它也要求采用不同的效率定义。直到效率定义改变的那一刻，一直被用来作为扩增模板的那种类型才会被认为是淘汰了，并且不会再扩增了。根据对效率的这种新定义，系统可以寻求新的且更有效的类型。在这种状态下，依然存在有于现有可用清单中的淘

汰类型，可以在不同状态或新的目标条件下被循环利用和重新采纳。这样，在每一个回路上，社会系统会扩大它们执行合适任务和用这种方式达到合适状态的知识清单。不管我们决定如何去度量规模——能源总量控制、信息加工还是人口数量或 GNP，一个社会的活动领域扩张都会转化为其规模的扩大(Giampietro et al., 1997)。

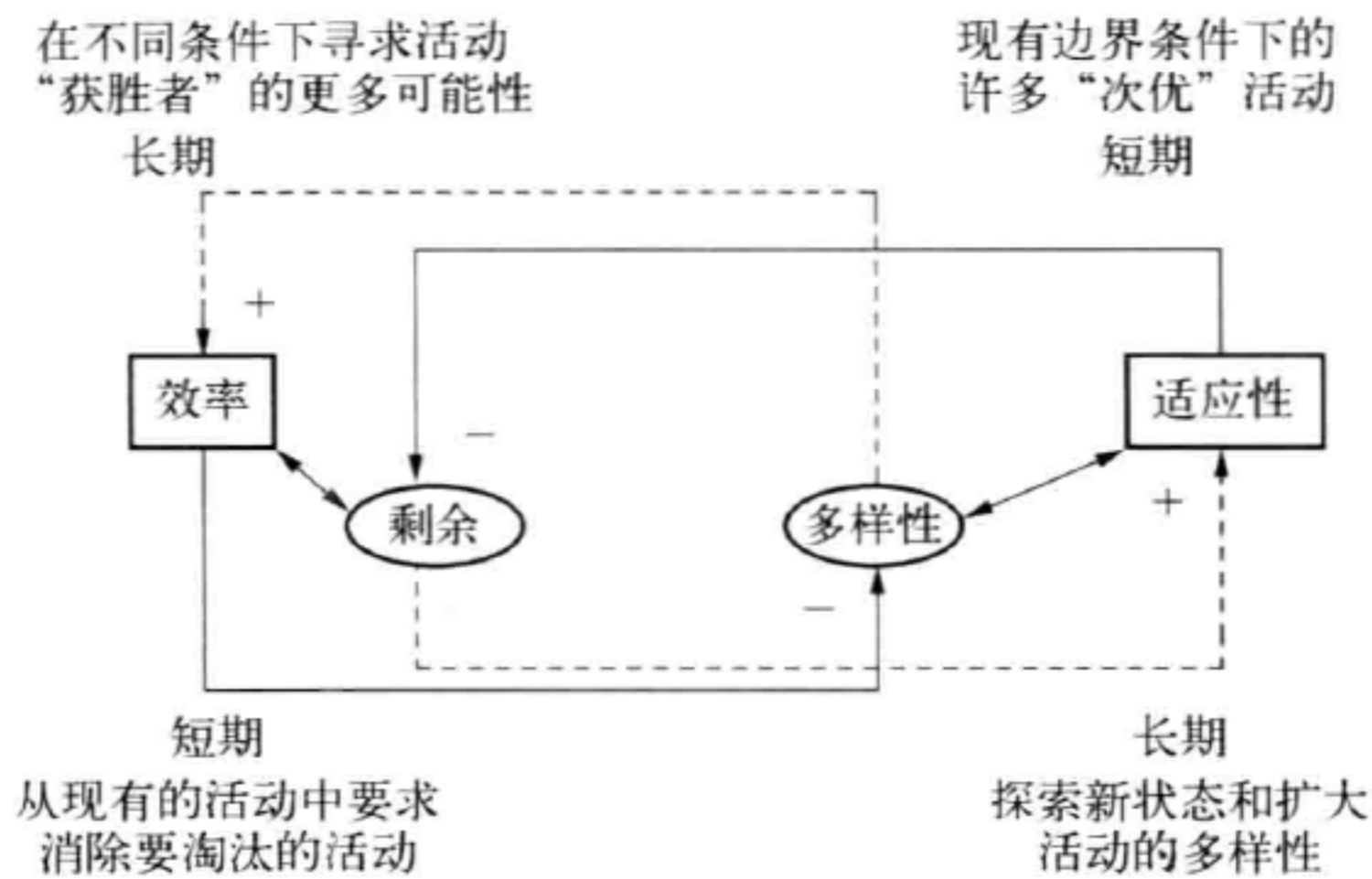


图 3.16 跨范围的效率和适应性的自我制约

因此，社会系统的可持续性只能被设想成一个在效率发展速度和适应性发展速度之间的动态平衡。结构类型清单需要不断更新以维持现有的功能清单，并且，功能类型清单也需要不断更新以维持现有结构的实现。换言之，既不是一个特定的社会结构也不是一个特定的社会功能可以被预期其将来是永久可持续发展的。

解决这一挑战，需要不断地决定如何处理“变化的灾难”，对此，丰托维茨(Funtowicz)和拉韦茨(Ravetz)(1990)提出了处理这一可持续困境的实用方案。任何一个社会系统在其演化过程中，都必须决定如何成为一个不同的系统，同时又保持其自身特点。这一过程的“可行性”——改变飞行中飞机的结构——依赖于社会面对的内外部约束的性质。最后变化的“合理性”——如果仍然飞行的话，飞机最

后的样子会是怎样的——将取决于那些飞行员真实的反差感、他们的社会和权力关系以及这一社会对所需飞行速度做出明智改变所表现出来的能力。

变化的灾难体现了在可持续决策过程中新增的难题。也就是说，当试图建造一个不同的飞行飞机时，在保留还是提高最重要的一组特征上，很难取得一致意见。这与当前如何界定效率有关。但是，这种决策，必须在没有需遵循的有关各个可能项目可行性的可靠信息的情况下做出。就如前面注意到的，对生存能力约束的界定和预测，会不可避免地受到对可能意想不到的未来状况的严重不确定性和无知的影响。换句话说，在面对可持续性预测时，人类必须不断孤注一掷地在效率和适应性之间寻求对可持续性进行界定的平衡。用文化术语来说，这意味着，在塑造它们的文明特性时，要在过去和未来的重要性之间寻求一个平衡点(Giampietro, 1994)。

结论：杰文斯悖论对可持续性问题意义

效率提高是好事，还是坏事

支撑社会的技术过程的效率提高(如更高效的汽车)会产生两个不同的结果：

1. 对人有益——在采纳关于黑箱内部改进的观点时，效率的提高可以被用来为人类生活提供更好的物质水平。用生物物理术语来说，这种效率的提高意味着在生产、消费产品和服务时具备了使用更多能源和物质的路径。

2. 对嵌入在社会经济系统中的生态系统有益——在采纳关于黑箱的环境改进的观点时，效率的提高可以被用来降低自然资源消耗的水平和对环境的影响程度。用生物物理术语说，这种效率提高意味着

降低对环境的影响，换句话说，是降低了经济过程中与资源汲取和废物倾倒相关的环境承载力。

图 3.17 中用 EL-MSL 的平面运动描述了这两个技术进步的可能结果。图的横坐标代表环境承载力(EL)，纵坐标代表生活的物质标准(MSL)。根据所考察的具体问题，我们可以得到有关能源效率影响或者非常简单或者更加复杂的形式化。比如，与汽车行驶里程相关的关键性能属性(速度、净载重量、舒适度)与生活的物质标准有关系，而汽油的需求(每英里*燃油消耗或每英里 CO₂排放量)与环境承载力有关系。同样，在处理经济增长的时候，我们可以设想利用经济中总能源消耗的指标——与 GDP 高度相关——来代表生活的物质标准，而 CO₂ 的总排放量作为环境承载力的指标。概括来说，利用前面讨论过的概念，我们可以说 EFT2 或能量流动速度的提高可以用沿着纵轴(生活的物质标准)向上移动表示，而 EFT1 或熵增速度可以用沿着横轴(环境承载力)向左移动表示。看图 3.17 中的图形，假定点 1 是系统的初始状态，技术效率提高增加了系统的自由度。也就是说，这种改

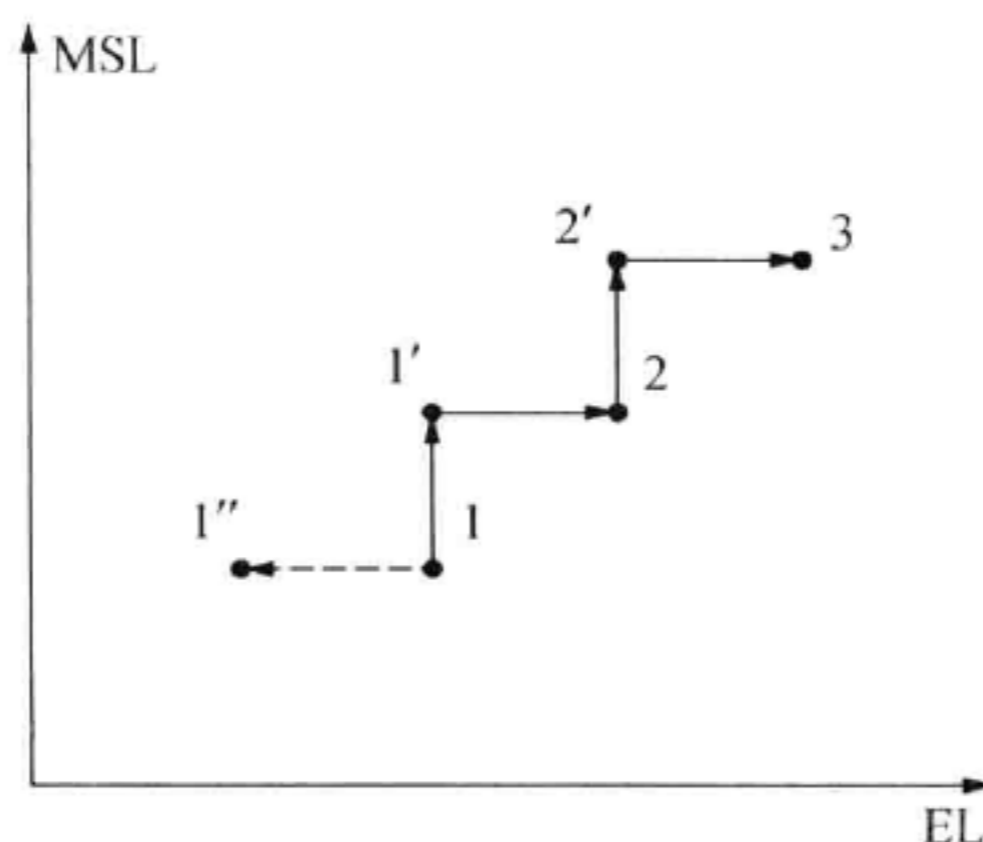


图 3.17 用 EL-MSL 表现的杰文斯悖论平面图

* 1 英里=1 609.344 米。——译者注

良是从1点移动到1'点——与更好地为人类服务(更高的生活的物质标准值)并同时保持环境需求不变(环境承载力值不变)有关——或是从1点移动到1"——与为人类提供同样水平的服务(生活的物质标准值不变)并对环境的需求减少(更低的环境承载力值)有关。因此,决策中政治过程所采纳的权重,将会决定技术进步是被用来提高社会的福利,还是被用来降低环境的压力(Giampietro, 1994)。

这里,我们引入对杰文斯悖论讨论的新要素(维度),它与决定如何利用效率提高的系统性问题存在有关。这种系统性问题的产生是因为有不同的分层,在这里,一个社会的治理和政策执行被评估和实现。比如,让我们设想,一个更高效电灯泡会使某个社会的家庭减少其能源账单。这个变化的结果是,家庭会有更多的钱来做其他的事情。电灯泡节省的能源会用在家庭其他类型的活动中。此外,社会因效率提高的所得将会转移到另一部门,并且用来扩大消费的选择空间。鉴于此,如果环境保护的优先权被认真对待,政府必须要么对能源供应进行总量控制,要么对节约征一定比例的税并且留出这部分钱,目的是为了阻止消费者将因使用高效电灯泡而节约下来的钱用到其他活动上去。否则的话,省下来的钱会进入社会花费循环系统,要么被家庭用掉,要么被政府征税收走。这与更高效的发动机推动汽车拥有更多属性特征的演化过程相类似。与这个讨论相关的政策是,为了对效率中技术进步的利用能从点1发展到点1",国家政府应对更高的“能源效率”设备征税并且把这些收入仅用于扩大自然保护——如留出森林,以便从长远角度预防更大规模的人类发展。

不过,这一选择的演化在不同的层级是不同的——比如,在国家政府层面,处理的是环境影响,而在家庭层面,面对的是他们的日常生活物质水平。而且,尽管家庭(和公司)成员既是市民又是消费者

(和生产者)，现今的大多数选民会发现，对效率提高的家庭征收更多的税而不是提高社会服务，这一方案难以为人所接受。

然而，迄今为止，技术进步已经被人类认为是为他们而不是为生态系统提供改良的一个因素。这就是为什么直至目前，伴随着受内部压力驱动的数量变量和容量变量的交替增加，技术进步遵循着 $1 \rightarrow 1' \rightarrow 2 \rightarrow 2' \rightarrow 3$ 的路径前进的原因。技术进步所得已经转移到人类而非自然系统。从历史上看，在人类社会演化过程中，他们已经在 MSL-EL 平面图中稳步向东北方向移动。就如图 3.18 描述的 MSL-EL-SIZE 三维空间中所显示的那样，当容量变量也被包括在图中，演化倾向于遵循 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ 的轨迹。在这里，SIZE 可以用生物物理术语解释为，在自创生过程中社会经济系统的大量能量流动、物质流动或空间利用。在考虑这一个三维图形时，其路径是不规则的，而且不能因强度变量与容量变量的权重变化而对其进行预测。不过，真正重要的、与我们所讨论的杰文斯悖论有关的，是其发展轨迹。到目前为止，在过去两个世纪左右的时间里，在巨大的科技进步推动下，社会经济系统的发展轨迹一直朝向更高的 MSL、EL 和 SIZE 值移动。此外，技术手段——包括提高效率的能力——其本身并不能自动地解决

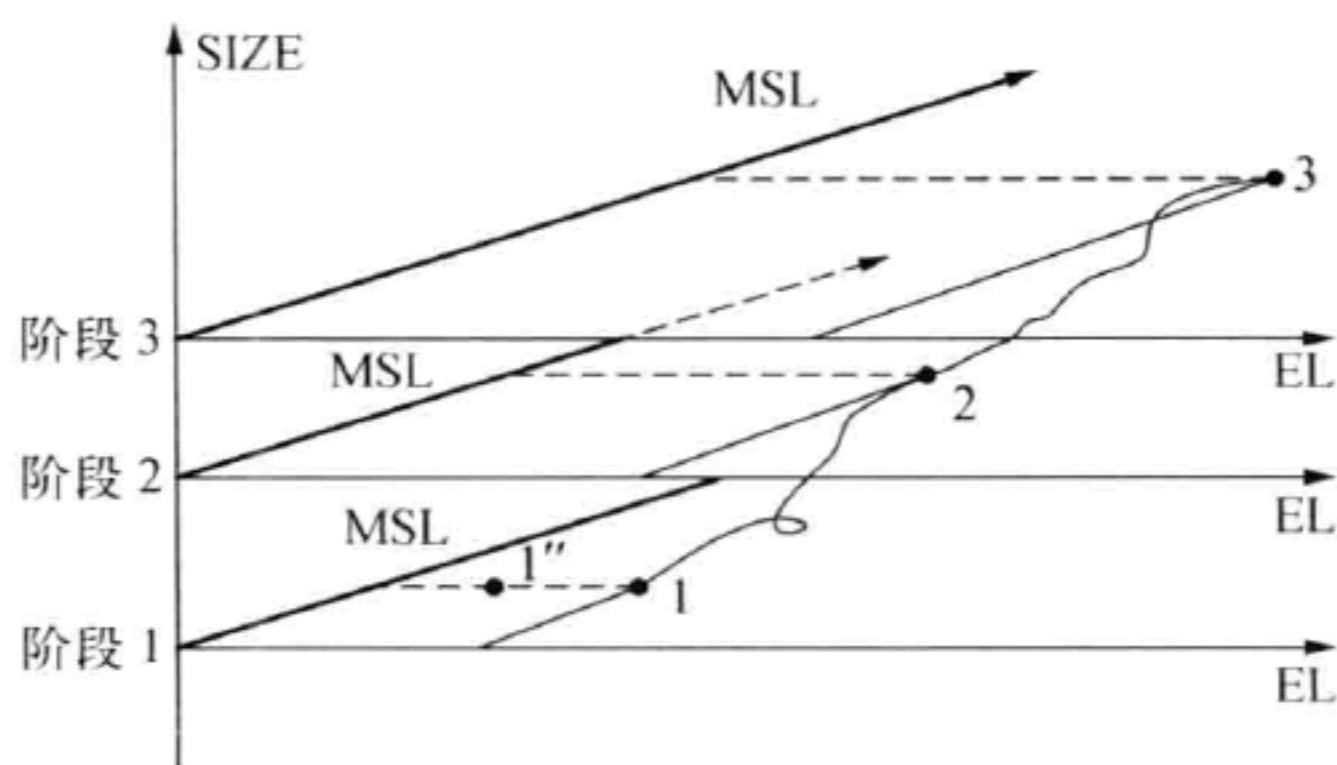


图 3.18 在 EL-MSL-SIZE 空间里表现的杰文斯悖论

人类发展的可持续性问题的。

可持续性科学中如何使用定量分析

任何一个基于特定形式模型的对外部世界的一定认识(表达),都必然要反映专门的叙述者在一定目标下对一定事务状态相关陈述的选择(Rosen, 2000; Giampietro, 2003; Mayumi & Giampietro, 2006)。就如熊彼特(Schumpeter, 1954, p42)所贴切评论的那样,“分析工作从我们对世间万物的景象所提供的材料开始,而这一景象是意识形态的,它几乎是被定义的”(Schumpeter, 1954, p42)。

因此,所有的模型和指标(数据)的确反映了分析前对如何在有限的封闭信息空间表达外部世界和非外部世界本身的选择。这导致了在多个尺度上发生的复杂事件不能完全用形式语言来感知和表达(Giampietro et al., 2006a)。因此,完全有必要进行一个双重的质量检查:不仅所选模型一定要与所选叙述有永久关系,就是所选叙述本身也必须要与那些分析结果的使用有关。从这个角度来看,我们一定要记住博克斯(Box)的格言:“所有模型都是错的,但有些是有用的”(Box, 1979)。也就是说,检查有用模型的质量必须首先检查它们的相关性。一个基于非相关性叙述的模型比一个基于错误形式体系的模型还要差。这种模型将永远提供不相关且具误导性的结论。

丰托维茨和拉韦茨(1990)提出了一个新的认识框架,叫做后常规科学(PNS)。在后常规科学中,不确定性、与不同利益相关者有关的叙述者以及他们的价值冲突,必须被认为是决策过程中的关键因素。在库恩看来,形容词“后常规”指的是对常规科学那些受好奇心驱动的实践或困难解决的做法的否定(Kuhn, 1962)。常规科学成功地从核心科学的实验室延伸至通过应用科学对自然进行征服。然而,“常

规”科学方法不再适合解决可持续性问题。实际上，可持续性问题
的社会、技术和生态方向是如此紧密地联系在一起，以至于不能简单地
认为这些方向是相互分离的，如传统学科领域所分析和评估的那样。

不过，为了找到一个解决问题的方法，首先要承认问题的存在，
这非常关键。这就是我们为什么要在本章大篇幅地讨论与杰文斯悖论
有关的认识论，力图说明为什么传统的基于还原论的简单化战略不能
被用于可持续性问题所必需的演化的量化分析上。另一方面，我们必
须认识到一个现实：利用物理法则解释生物物理约束，会永远规约我
们选择的范围。不管我们从新的飞行飞机上得到什么，如果它要飞行
的话，它必然要符合空气动力学原理。

与其使用模型和数字来预测未来以及找出“最优解决方法”和
“行动最优方案”，还不如采纳建议，使用模型和数字来检验在前分
析阶段所选叙述的质量，用它来描绘一定状态的特性或描述可能的情
景。这种范式的转变遵循了西蒙的建议。他说，在对待治理问题和可
持续性科学时，人们应远离实体理性而寻求程序理性(Simon, 1976 和
1996)。这种范式的变化，很明显需要工具箱中的分析程序和分析
工具的巨大改变。

杰文斯悖论：分析的实用课程

这里我们提出五个简单而又富启发性的规则，作为对这一章的理
论总结。科学家在涉及可持续性问题复杂自适应系统的定量分析
时，可以遵循这一总结。

1. 避免愚蠢无聊的形式主义。在开始以任何所选形式化为基础的
计算之前，检查形式主义背后的叙述是否与那些利用模型的结果相
关。如果没有强有力的外部参考，数字仅仅是人为的构造，就会产生

错误的结论。本质上，使数字变得有意义的，并不是形式主义的严密句法，而是与具体叙述相关的议题界定和问题构建的有效性以及测量方法的可靠性。

2. 寻求不同维度、不同范围的整体分析。相关类型和范畴的混合，属于非均衡的描述性领域，它要求描绘与可持续性分析相关的、与不同叙述和范围相联系的研究对象的特征。在确定所选择的类型和范畴是相关且合适的之后，确定跨范围、跨维度的作为结果的非均衡表现的一致性，才有必要。

3. 永远记住要把观察者角色放回到事态之中。在处理可持续性问题时，会有三个共同演化的实体：

- (1) 社会嵌入建模者(选择建模者的过程)；
- (2) 建模者带着问题研究一个系统(选择模型的过程)；以及
- (3) 被模拟的系统(被观察的过程变成其他事务)。

可持续性分析要求具有在充足的时间里对议题界定和问题构建进行裁剪的能力，这种能力被用来在与上述三个实体相关的一定条件下，对就社会行动者来说什么是相关的、可靠的以及能接受的问题进行综合评估。

4. 使用数据不是为使最优行动方案个性化，而是为了核实叙述者所叙述的特性。可持续性分析要求在非均衡视角(与不同的叙述者相关)之间相互调和，它要求对此使用不同的叙述方式。因此，数量分析可用于检验叙述的质量，但不是寻求最优行动方案。最优草案本身并不代表最优行动方案。它们仅仅反映一种次序关系，这种次序关系是由为量化而选择的叙述方式决定的。

5. 要记住，任何被调查研究的系统都是独特的，这意味着没有人可以预测它的未来。为了解释因果关系、现有的趋势和等价类的运行

机制，我们可以利用各种类型的预期关系。这使我们有可能及时发现有用的解释、有预言性的模型和统计规律。然而，预测和表现必然是以类型为基础的。因此，它们仅仅是部分地反映了外部世界，而这个外部世界是由这些类型的一个个具体事例构成的。可持续性那些首次发生且只发生一次的事情有关。这里应回顾乔治斯库-罗根的发现：“演化生态学家的困境是他从来没有看到其他人种的出生、衰老和死亡”（1975a, p349）。生命是自创生系统的相互作用，它是以它们非直谓身份的定义为基础的。因为这个原因，没有人可以预测它们将如何演化。

致 谢

马里奥·詹彼得罗非常感谢欧盟第6框架项目资助欧洲项目 DECOIN-FP6 2005 - SSP - 5 - A: 044428。我们感谢美国能源部和 Eartheasy.com 允许我们复制使用图 3.12 中的两张图表。

注 释

1. 根据维基百科(Wikipedia)的定义：“复杂自适应系统是复杂系统的特殊情况。它们是复杂的，因为它们多种多样，并且由多重的相互作用要素构成；它们又是自适应的，因为它们有变化的能力，并且能从经历中吸取经验教训。‘复杂自适应系统’一词是由跨学科研究的圣达菲研究所(SFI)的约翰·霍兰(John H. Holland)和穆雷·盖尔曼(Murray Gell-Mann)等人发明的。”在我们的阐释中，复杂自适应系统的层级应该具备四个关键特征：(1) 它们是一个不能处于热力学平衡状态的开放系统；(2) 它们分层次组织并且在多重的时间和空间尺度下运行；(3) 它们是自创生系统(它们的定义引起非直谓性)；(4) 它们是用一种特殊形式的嵌套多层次组织起来的，只要使用“合弄”概念它们就可以被感知和表现。这些概念在随后的章节中讨论。

2. 容量变量是可累加的变量，它们被用于量化涉及相关可观察特性的系统大小(比如衡量质量的公斤和衡量容量的公升)；强度变量是不可累加的变量，它们被用来量化一系统每单位大小的相对特性(比如衡量温度的℃或衡量压力的毫巴)。

3. 我们这里的简化论是指科学和哲学中的一般原理，即，复杂事物的本性可以简化到更简单的概要或者更基本的事物。可以根据线性的因果关系来描述解释它们。不过，我们

必须记住亚里士多德在他的《形而上学》中强烈反对这个原则。“在所有事物都是由几个部分组成，并且该事物的整体不是堆积而成，而是部分之外的另一特殊事物时，该事物是作为某一结合因子结合而成的”（Book Eta）。伟大的理论物理学家马克斯·普朗克（Max Planck）与亚里士多德的观点一样：“整体从来不是简单地等于其不同部分的相加”（Planck, 1959, p255）。

4. 对于我们当前的目的而言，我们可以满足于把熵简单地定义为在一定系统、一定时刻内不能利用的能量的指标值（Mayumi, 2005, p148）。对于精确的热力学定义，见 Fermi (1936, Chapter IV)。对适用于可持续性分析的熵概念的技术讨论，见 Mayumi (2001)、Giampietro & Mayumi (2004)、Mayumi & Giampietro (2004)。

5. 也许美国经济中 EC_{PC} 的稳定趋势，可以解释为主要因人口迁移导致的人口中低收入家庭的增加及其对美国经中扭曲的收入分配的影响。

6. 乔治斯库-罗根阐述道：“所有的市场制度、货币制度、信用制度和企业制度的产生，都是对**现代人**外部禀性进步演化的反应”（1986）。不过，他的生物经济学思想与那些试图把每一个经济现象都分解进行生物学类比的人不同。他说：“我使用‘生物经济学’没有受流行的把任何事情都分解为生物学基础的理性方式的影响”（Georgescu-Roegen, 1986）。

7. 在一篇关于气体水合物考察及其环境影响的有趣论文中，室田武（Takeshi Murota）称杰文斯悖论是“燃料经济的杰文斯定律”（Murota, 1996）。

8. 很难断定萨伊市场定律的真正含义——对这个问题有兴趣的读者可参见鲍莫尔（Baumol）（1977）。这里，我们采用熊彼特的解释：

……（社会总量的）总需求和总供给不是相互独立的，因为任何产业产出（或企业或个人）需求的构成都来自所有其他产业（或企业或个人）的供给，并且如果其他产业的供给增加，该产业产出在大多数情况下也因此增加（扣除物价因素），如果其他产业的供给减少，该产业供给也因此减少。（Schumpeter, 1954, p617）

9. 杰弗里·戈得斯坦（Jeffrey Goldstein）在突现的创始中提供了对突现的有趣界定。根据他的观点，突现指的是“在复杂系统中，自组织过程中异常且相互耦合的结构、模式和性能的出现。尽管突现现象在不同类型的系统（比如，它们是出现在实体系统还是在计算机模拟系统）中表现不同，但突现可以用具有某种相互关系、共同属性来确定”（Goldstein, 1999, p49）。然而，我们的立场与戈得斯坦的有些不同，因为他说“当今正形成的突现是一个复杂的动态系统概念。”而在我们看来，没有动态系统可以展现本章所讨论的突现现象（Georgescu-Roegen, 1975b; Giampietro et al., 2005）。

10. *Catch-22* 是约瑟夫·海勒（Joseph Heller）的著名反战小说的名字。这本小说提出了自相矛盾的军规（Heller, 1961）。让一个轰炸机飞行员免于飞行有一个简单的方法。他可以发疯为理由要求精神上的解雇。然而，在飞行中队被指派去执行自杀式飞行攻击时，除了发疯的人，没有人会真正愿意去。因此，根据定义，任何要求免于飞行的人并没有发疯，所以他必须飞行并投入到战争中去！

11. 热力学状态作为分子运动的结果，是所有动力学状态的总效果，是通过动力学状态系统快速传递的。热力学均衡状态具有只要外部条件不变其状态就不会发生改变的性质。因此，在气体压力始终保持不变并且气体的温度与周围环境相等的情况下，封闭在恒定体积容器内的气体处于均衡状态（Fermi, 1936）。普里高津和他的合作者们曾经尝试把热力学的方法扩展到处理所有范围的现象，不仅包括均衡状态，还包括非线性状态和非稳

定状态(Prigogine, 1961; Glansdorff & Prigogine, 1971; Nicolis & Prigogine, 1977)。然而,他们的分析主要受限于状态的层级,因为可能同样的自变量描述了局部熵,好似系统处于均衡状态。这种限制类型太严格,以至于不能处理真实的生命系统。

12. “substantive”指的是某物凭借自身力量存在。与这个词相关,赫伯特·西蒙(1976)区分了传统经济学中的实质性理性和心理学中的程序理性。前种理性指的是“在一定的条件和约束限制下何时是适当实现既定目标”的行为,而后种理性指的是“当其是适当思考的结果”的行为,这种理性取决于其产生行为的过程。

13. 乔治斯库-罗根(1971)以实数系的特性为基础,引入了“arithmomorphic”一词,该词表示:每一个处于连续状态的实数保持了一个独特的个性。因此 arithmomorphic 概念并不重叠。正是实数系非常严格的属性使数理逻辑产生了极大的效率。不过,因为特殊的属性,arithmomorphic 模型不能解决演化新陈代谢的真实质变。

14. 罗素的循环论证概念来自他对集合论中悖论的发现。一个集合可以很容易具有含有他们自身集的元素,比如 $\{1, \{2, 3\}, 5\}$ 。我们称一个以自身集为集合元素的集合为异常集合,并且任何不以自身集为集合元素的集合为正规集合。大多数集合是正规的,并且如果我们猜想异常集合是不符合需要的,我们可以尝试把我们的注意力仅放在所有正规集合的S集合上。如果集合S是正规的,那么它必定是异常集合;如果集合S是异常的,那么它必定是正规的(Wilder, 1952)!这就是由罗素悖论产生的循环论证。

15. 与多尺度和复杂性相关的有关标准的认识论困境,与合弄概念有关,这一概念的详细论述,由詹彼得罗等人提供(2006a)。

16. 萨尔斯(Salthe)(1985)提出两个概念:类型和单个实例。类型可以是实体的等价类(根据结构或功能),它可以在一个稳定的相关背景下被复制或实现。单个实例是在一个特殊的背景下某一特定类型的具体实现。类型和类型的单个实例(实现或建造)之间有差别。与类型本质相关联的信息,是观察者所知道的一套预期的属性,而一个给定的实例,是一个在某种特定背景下仅与预期的属性相契合的自然系统。

17. 西蒙(1962)根据明智地耦合组织结构和关系函数的能力提出这个问题。贝利(Bailey)(1990)建议运用“在职者”和“角色”这对术语在社会系统中采用同样的方法。

18. 罗森(2000)建议,在一个更普遍的模式关系中——被自创生系统所采用的——一个更强烈的区别使之回到希腊哲学传统。罗森基于“个体实现”和“要素”对双重描述做了区分。根据他的区分,实现往往是局部的和“特殊的”,因为任何个体实现仅仅是不完全地映射它的相关类型。这种不完美来自每一实现的独特历史。另一方面,要素——由在某一既定知识系统中分享共同经验的能力所产生——与实现的等价类的预期特征有关,而这一预期特征,是映射在一种被认为是与一个知识系统相关的类型上的。

19. 泰戈尔(Tagore)坚持认为,合适的叙述者在他与爱因斯坦关于科学与现实主义的对话中很重要:

这个世界是人类的世界——科学观点认为,这个世界也是科学人的世界。因此,世界离开我们是不存在的。这是一个相对的世界,依赖于我们意识之上的现实……最佳答案是我们具有的意识可感知什么……如果有任何事实与人类完全无关,那么对我们来说,它根本不存在。(Home & Robinson, 1995, pp174~175)

20. “卡诺循环”是典型的可逆循环,并且卡诺发动机是内部不耗散任何能量的发动机,而且只用于可逆步骤。卡诺循环包含四个步骤:(1)与高温储热器相关的等温膨胀;(2)在离开高温储热器后的绝热膨胀;(3)与低温储热器相关的等温压缩;(4)在离开低温

储热器后的绝热压缩。卡诺发现，没有哪一个在温度 T_2 的高温储热器和在温度 T_1 的低温储热器之间运转的热力发动机，能够比在这两个储热器之间运转的卡诺发动机更高效。卡诺发动机的效率是 $(T_2 - T_1)/T_2$ 。因此，这一效率仅依赖于两个温度之差。

21. 普里高津承认他自己的方法有严重局限性：

……吉布斯(Gibbs)公式最初是为了证明均衡条件，而其在非均衡条件下的使用，是整个热力学不可逆过程立足的新基本条件。这一基本公式的物理学解释是：即便没有均衡，熵也仅依赖于同均衡过程一样的自变量。这当然不是真的远离均衡。(Prigogine, 1961, p63)

22. 在工业革命后实现了高生产水平，维持高消费水准成了经济学家们关心的主要事情。乔治斯库-罗根评述道：

在那些“鱼米之乡”，消费者变成了“王”，就如经常描绘的新局面一样。因为就生产活动的利润而言，通常看来似乎缺乏的是每种产品的需求。这就是效用如何被认为是价值的来源。新古典经济学，一个建立在丰裕经济现实基础上的新学说，开始讲授经济过程的结构是由乐于享用各种商品和苦于各种工作的人类以机械方式决定的。(Georgescu-Roegen, 1982, pp3~4)

23. 马图任纳(Maturana)和瓦热拉(Varela)提出了一个类似观点：

……任何给定组织可以通过许多不同结构实现，并且这些在给定实体的结构中不同关系的子集可以被观察者(或它运行的等价物)抽象出来，以界定组织是不同等级合成的个体。(Maturana & Varela, 1980, pxx)。

24. 为这一工作，詹彼得罗和真弓浩三提出了社会新陈代谢多尺度综合分析方法(MSIASM)(Giampietro & Mayumi, 1997, 2000a, 2000b; 也见 Giampietro, 2003; Giampietro et al., 2006b; Ramos-Martin et al., 2007)。这一方法是以齐夫(Zipf)(1941)、洛特卡(1956)、乔治斯库-罗根(1971和1976)和乌兰诺维茨(Ulanowicz)(1986)的开拓性工作为基础的。MSIASM的一个理论支柱是：一个社会的技术进步可以被解释为生产部门能源和物质消费的加速，以及现代经济不同部门间不同年龄段分配、人类活动时间表和土地使用结构引人注目的再配置。总的结果是，分配给能源和农业部门的工作时间显著减少。

参考文献

- Ahl, V. and Allen, T. F. H. (1996) *Hierarchy Theory: A Vision, Vocabulary and Epistemology*, Columbia University Press, New York
- Alcott, B. (2005) 'Jevons' paradox', *Ecological Economics*, 54, pp9 - 21
- Allen, T. F. H. and Starr, T. B. (1982) *Hierarchy*, University of Chicago Press, Chicago, IL
- Altieri, M. (1987) *Agroecology: The Scientific Basis for Alternative Agriculture*, Westview Press, Boulder, CO
- Annual Energy Review (2006), www.eia.doe.gov/emeu/aer/contents.html
- Aristotle (edition 1960) *Metaphysics*, translated by R. Hope, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI

- Bailey, K. D. (1990) *Social Entropy*, State University of New York Press, Albany, NY
- Baumol, W. J. (1977) 'Say's (at least) eight laws, or what Say and James Mill may really have meant', *Economica*, vol 44, pp145 - 162
- Box, G. (1979) 'Robustness is the strategy of scientific model building', in R. L. Launer and G. N. Wilkinson (eds) *Robustness in Statistics*, Academic Press NY, New York, pp201 - 236
- Brookes, L. A. (1979) '“A low-energy strategy for the UK” by G. Leach et al: A review and reply', *Atom*, vol 269, pp3 - 8
- Brown, J. H. and West, G. B. (2000) *Scaling in Biology*, Oxford University Press, Oxford
- Carpenter, S. R. and Kitchell, J. F. (1987) 'The temporal scale of variance in limnetic primary production', *American Naturalist*, vol 129, pp417 - 433
- Cherfas, J. (1991) 'Skeptics and visionaries examine energy saving', *Science*, vol 251, pp154 - 156
- Clark, B. and Foster, J. B. (2001) 'William Stanley Jevons and the coal question: An introduction to Jevons's *Of the Economy of Fuel*', *Organization & Environment*, vol 14, pp93 - 98
- Conrad, M. (1983) *Adaptability: The Significance of Variability from Molecule to Ecosystem*, Prentice-Hall, New York
- Daly, H. (1995) 'Consumption and welfare: Two views of value added', *Review of Social Economy*, vol 53, pp451 - 473
- Daly, H. (1996) *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*, Beacon Press, Boston, MA
- FAOSTAT (2007), <http://faostat.fao.org/> (Food Balance Sheet)
- Fermi, E. (1936) *Thermodynamics*, Dover, New York
- Funtowicz, S. O. and Ravetz, J. R. (1990) 'Post-normal science: A new science for new times', *Scientific European*, vol 266, pp20 - 22
- Gell-Mann, M. (1994) *The Quark and the Jaguar*, Freeman, New York
- Georgescu-Roegen, N. (1971) *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge, MA
- Georgescu-Roegen, N. (1975a) 'Energy and economic myths', *Southern Economic Journal*, vol 41, pp347 - 381
- Georgescu-Roegen, N. (1975b) 'Dynamic models and economic growth', *World Development*, vol 3, pp765 - 783
- Georgescu-Roegen, N. (1976) *Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Essays*, Pergamon Press, New York
- Georgescu-Roegen, N. (1982) 'The energetic theory of value: A topical economic fallacy', Working Paper No 82 - W16, Department of Economics, Vanderbilt University, Nashville, TN
- Georgescu-Roegen, N. (1986) 'Man and production', in M. Baranzini and R.

Scazzieri (eds) *Foundations of Economics: Structures of Inquiry and Economic Theory*, Basil Blackwell, Oxford, UK

Georgescu-Roegen, N. (1992) 'Nicholas Georgescu-Roegen about himself', in M. Szenberg (ed) *The Life Philosophies of Eminent Economists*, Cambridge University Press, New York

Giampietro, M. (1994) 'Using hierarchy theory to explore the concept of sustainable development', *Futures*, vol 26, pp616 - 625

Giampietro, M. (1997) 'Linking technology, natural resources and the socioeconomic structure of human society: A theoretical model', in L. Freese (ed) *Advances in Human Ecology*, Volume 6, JAI Press, Greenwich, CT

Giampietro, M. (1998) 'Energy budget and demographic changes in socioeconomic systems', in S. Dwyer, U. Ganslosser and M. O'Connor (eds) *Life Science Dimensions: Ecological Economics and Sustainable Use*, Filander Verlag, Fürth, Germany

Giampietro, M. (2003) *Multi-Scale Integrated Analysis of Agro-ecosystems*, CRC Press, Boca Raton, FL

Giampietro, M. (2006) 'Comments on "The energetic metabolism of the European Union and the United States" by Haberl and colleagues: Theoretical and practical considerations on the meaning and usefulness of traditional energy analysis', *Journal of Industrial Ecology*, vol 10, pp173 - 185

Giampietro, M. and Mayumi, K. (1997) 'A dynamic model of socioeconomic systems based on hierarchy theory and its application to sustainability', *Structural Change and Economic Dynamics*, vol 8, pp453 - 469

Giampietro, M. and Mayumi, K. (1998) 'Another view of development, ecological degradation and North-South trade', *Review of Social Economy*, vol 56, pp20 - 36

Giampietro, M. and Mayumi, K. (2000a) 'Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: Introducing the approach', *Population and Environment*, vol 22, pp109 - 153

Giampietro, M. and Mayumi, K. (2000b) 'Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: Integrating biophysical and economic representations across scales', *Population and Environment*, vol 22, pp155 - 210

Giampietro, M. and Mayumi, K. (2004) 'Complex systems and energy', in C. Cleveland (ed) *Encyclopedia of Energy*, Volume 1, Elsevier, San Diego, CA

Giampietro, M., Bukkens, S. G. F. and Pimentel, D. (1997) 'Linking technology, natural resources, and the socioeconomic structure of human society: Examples and applications', in L. Freese (ed) *Advances in Human Ecology*, Volume 6, JAI Press, Greenwich, CT

Giampietro M., Mayumi K. and Pimentel D. (2005) 'Mathematical models of society and development: Dealing with the complexity of multiple-scales and the semiotic process associated with development', in Jerzy Filar (ed) *Mathematical Models of Society and Development [Theme 6. 3]*, Encyclopedia Of Life Support Systems (EOLSS), developed under the auspices of the UNESCO, EOLSS Publishers, Oxford, UK, www.

colss.net

Giampietro, M., Allen, T. F. and Mayumi, K. (2006a) 'The epistemological predicament associated with purposive quantitative analysis', *Ecological Complexity*, vol 3, pp307 - 327

Giampietro, M., Mayumi, K. and Munda, G. (2006b) 'Integrated assessment and energy analysis: Quality assurance in multi-criteria analysis of sustainability', *Energy*, vol 31, pp59 - 86

Glansdorff, P. and Prigogine, I. (1971) *Thermodynamics Theory of Structure, Stability and Fluctuations*, John Wiley & Sons, New York

Goldstein, G. J. (1999) 'Emergence as a construct: History and issues', *Emergence*, vol 1, pp49 - 72

Heller, J. (1961) *Catch-22*, Simon and Schuster, New York

Herring, H. (1999) 'Does energy efficiency save energy? The debate and its consequences', *Applied Energy*, vol 63, pp209 - 226

Heston, A., Summers, R. and Aten, B. (2006) *Penn World Table Version 6.2*, Center for International Comparisons of Production, Income and Prices at the University of Pennsylvania, September

Holling, C. S. (1995) 'Biodiversity in the functioning of ecosystems: An ecological synthesis', in C. Perrings, K. G. Maeler, C. Folke, C. S. Holling and B. O. Jansson (eds) *Biodiversity Loss: Economic and Ecological Issues*, Cambridge University Press, Cambridge, UK

Home, D. and Robinson, A. (1995) 'Einstein and Tagore: Man, nature and mysticism', *Journal of Consciousness Studies*, vol 2, pp167 - 179

Jevons, F. (1990) 'Greenhouse — A paradox', *Search*, vol 21, pp171 - 172

Jevons, W. S. (1865) *The Coal Question* (reprint of the 3rd edition—1906), Augustus M. Kelley, New York

Jørgensen, S. E. (1992) *Integration of Ecosystem Theories: A Pattern*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands

Kampis, G. (1991) *Self-Modifying Systems in Biology and Cognitive Science: A New Framework for Dynamics, Information and Complexity*, Pergamon Press, New York

Kawamiya, N. (1983) *Entropii to Kougyoushakai no Sentaku* [*Entropy and Future Choices for the Industrial Society*], Kaimei, Tokyo (in Japanese)

Khazzoom, J. D. (1980) 'Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances', *Energy Journal*, vol 1, pp21 - 39

Khazzoom, J. D. (1987) 'Energy saving resulting from the adoption of more efficient appliances', *Energy Journal*, vol 8, pp85 - 89

Kleene, S. C. (1952) *Introduction to Metamathematics*, D. Van Nostrand, London

Koestler, A. (1967) *The Ghost in the Machine*, MacMillan, New York

Koestler, A. (1969) 'Beyond atomism and holism — The concept of the holon', in A. Koestler and J. R. Smythies (eds) *Beyond Reductionism*, Hutchinson, London

Koestler, A. (1978) *Janus: A Summing Up*, Hutchinson, London

- Kuhn, T. S. (1962) *The Structure of Scientific Revolutions*, The University of Chicago Press, Chicago, IL
- Layzer, D. (1988) 'Growth of order in the universe', in B. H. Weber, D. J. Depew and J. D. Smith (eds) *Entropy, Information and Evolution*, MIT Press, Cambridge, MA
- Lietz, P. and Streicher, T. (2002) 'Impredicativity entails untypedness', *Mathematical Structures in Computer Science*, vol 12, pp335 - 347
- Lotka, A. J. (1922) 'Contribution to the energetics of evolution', *Proceedings of National Academy of Sciences*, vol 8, pp147 - 151
- Lotka, A. J. (1956) *Elements of Mathematical Biology*, Dover, New York
- Mandelbrot, B. B. (1967) 'How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractal dimensions', *Science*, vol 155, pp636 - 638
- Margalef, R. (1968) *Perspectives in Ecological Theory*, The University of Chicago Press, Chicago, IL
- Maturana, H. R. and Varela, F. J. (1980) *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*, D. Reidel Publishing, Dordrecht, The Netherlands
- Maturana, H. R. and Varela, F. J. (1998) *The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding*, Shambhala Publications, Boston, MA
- Mayumi, K. (2001) *The Origins of Ecological Economics: The Bioeconomics of Georgescu-Roegen*, Routledge, London
- Mayumi, K. (2005) 'Entropy', in C. J. Cleveland and C. G. Morris (eds) *Dictionary of Energy*, Elsevier, Amsterdam
- Mayumi, K. and Giampietro, M. (2004) 'Entropy in ecological economics', in J. Proops and P. Safonov (eds) *Modelling in Ecological Economics*, Edward Elgar, Cheltenham, UK
- Mayumi, K. and Giampietro, M. (2006) 'The epistemological challenge of self-modifying systems: Governance and sustainability in the post-normal science era', *Ecological Economics*, vol 57, pp382 - 399
- Mayumi, K., Giampietro, M. and Gowdy, J. M. (1998) 'Georgescu-Roegen/Daly versus Solow/Stiglitz revisited', *Ecological Economics*, vol 27, pp115 - 117
- Morowitz, H. J. (1979) *Energy Flow in Biology*, Ox Bow Press, Woodbridge, CT
- Murota, T. (1996) 'Gas hydrate exploration: Its technology — environment interface in the world and Japan', *Hitotsubashi Journal of Economics*, vol 37, pp21 - 44
- Newman, P. (1991) 'Greenhouse, oil and cities', *Futures*, vol 5, pp335 - 348
- Nicolis, G. and Prigogine, I. (1977) *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*, John Wiley and Sons, New York
- Odum, H. T. (1971) *Environment, Power and Society*, Wiley-Interscience, New York
- Odum, H. T. (1996) *Environmental Accounting, Emergy and Decision-making*, John Wiley, New York
- Odum, H. T. and Pinkerton, R. C. (1955) 'Time's speed regulator: The optimum

efficiency for maximum power output in physical and biological systems' , *American Scientist* , vol 43, pp331 - 343

O'Neill, R. V. (1989) 'Perspectives in hierarchy and scale' , in J. Roughgarden, R. M. May and S. Levin (eds) *Perspectives in Ecological Theory*, Princeton University Press, Princeton, NJ

O'Neill, R. V. , DeAngelis, D. L. , Waide, J. B. and Allen, T. F. H. (1986) *A Hierarchical Concept of Ecosystems*, Princeton University Press, Princeton, NJ

Peters, R. H. (1986) *The Ecological Implications of Body Size*, Cambridge University Press, Cambridge, UK

Pimentel, D. and Pimentel, M. (1996) *Food, Energy and Society*, University Press of Colorado, Niwot, CO

Planck, M. (1959) *The New Science*, Meridian Books, New York

Plenty-Coups (2002) *Plenty-Coups; Chief of the Crows*, Bison Books, Winnipeg, Canada

Polimeni, J. M. and Polimeni, R. I. (2006) 'Jevons' paradox and the myth of technological liberation' , *Ecological Complexity*, vol 3, pp344 - 353

Prigogine, I. (1961) *Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes*, 2nd revised edition, Interscience Publishers, New York

Prigogine, I. (1987) *From Being to Becoming*, Freeman, San Francisco, CA

Ramos-Martin, J. , Giampietro, M. and Mayumi, K. (2007) 'On China's exosomatic energy metabolism; An application of multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSLASM)' , *Ecological Economics*, vol 63, pp174 - 191

Rosen, R. (1977) 'Complexity as a system property' , *International Journal of General Systems*, vol 3, pp227 - 232

Rosen, R. (1985) *Anticipatory Systems; Philosophical, Mathematical and Methodological Foundations*, Pergamon Press, New York

Rosen, R. (2000) *Essays on Life Itself*, Columbia University Press, New York

Salthe, S. N. (1985) *Evolving Hierarchical Systems*, Columbia University Press, New York
Saunders, H. (2000) 'A view from the macro side; Rebound, backfire and Khazzoom-Brookes' , *Energy Policy*, vol 28, pp439 - 449

Schneider, E. D. and Kay, J. J. (1994) 'Life as a manifestation of the second law of thermodynamics' , *Mathematical and Computer Modelling*, vol 19, pp25 - 48

Schumpeter, J. A. (1954) *History of Economic Analysis*, George Allen & Unwin, London
Simon, H. A. (1962) 'The architecture of complexity' , *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol 106, pp467 - 482

Simon, H. A. (1976) 'From substantive to procedural rationality' , in S. J. Latsis (ed) *Methods and Appraisal in Economics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK

Simon, H. A. (1996) *The Sciences of the Artificial* (3rd edition), MIT Press, Cambridge, MA
Smil, V. (1994) *Energy in World History*, Westview Press, Boulder, CO

Statistics Bureau (Ministry of Internal Affairs and Communications of Japan) (2007) Director General for Policy Planning and Statistical Research and Training Institute,

www.stat.go.jp/english/index.htm

Ulanowicz, R. E. (1986) *Growth and Development; Ecosystem Phenomenology*, Springer-Verlag, New York

Whyte, L. L., Wilson, A. G. and Wilson, D. (eds) (1969) *Hierarchical Structures*, Elsevier, New York

Wilder, R. L. (1952) *Introduction to the Foundations of Mathematics*, John Wiley and Sons, New York

Zipf, G. K. (1941) *National Unity and Disunity; The Nation as a Bio-social Organism*, Principia Press, Bloomington, IN

第 4 章 杰文斯悖论的 实证研究

引 言

本章在第 2 章(从历史角度分析杰文斯悖论)以及第 3 章(对与杰文斯悖论有关的社会代谢结构变化的理论和实践分析)基础上,仔细考察了当前的文献,对不同国家和地区的宏观经济进行实证分析,判断这些国家和地区是否存在杰文斯悖论。这一分析非常重要,特别是在当前讨论全球变暖和石油峰值的背景下,讨论这个问题就显得非常有意义。生活在地球上的人们必须和与污染有关的问题进行斗争,而这些问题大多与能源消耗有关。尽管较罕见,但能源断供在能源需求增加的时候也时常发生。每天都会有关于能源生产成本更高、可供使用的自然资源供给减少的新闻报道。然而,我们作为世界公民,被政治家、科学家、经济学家和其他利益相关者告知不要担心,因为技术的进步会是解决问题的灵丹妙药。如果杰文斯悖论确实存在,那么技术作为解放者就是一个虚构的谎言,人们应趁早采用合适的可持续发

展政策和措施。本章着力阐明杰文斯悖论是否在不同国家和地区存在，以便利益相关者采取行动。

背景

第2章详细考察了杰文斯悖论的历史背景，不过本章将更新读者的记忆。杰文斯在他的著作《煤炭问题》(1865)中，具有说服力地详述了资源需求将会由于这种资源使用效率的提高而增加。特别地，他通过考察蒸汽发动机的历史，说明效率的提高如何导致生产的增加，从而导致对煤炭需求的增加。杰文斯写道：

每一次发动机的改良及其广泛使用，确实再一次加速煤炭的消耗。所有制造业的分支都得到一个推动力——手工劳动更进一步被机械劳动所代替。(Jevons, 1865)

100多年后，尼古拉斯·乔治斯库-罗根(1975)发现，技术进步倾向于通过利用强大的能源转换器使用能源和节省劳动力。本质上，效率提高所得导致的价格隐性降低，会因同样的预算可以购买更多的消费组合而引发更大的需求。

大量的研究已经对杰文斯悖论展开了研究，大多数研究是在反弹效应的名义下开展的。这些研究对各种用途和部门进行了考察。比如，艾曼·蔡恩-埃拉布丁(Eiman Zein-Elabdin)(1997)从苏丹更高效的炉灶来预测碳供给和需求弹性以计算反弹效应。他发现，苏丹的碳市场具有低弹性的特征。他也计算了42%的燃料节约因为大幅度的价格调整而被浪费了，因为低弹性把更多的市场调整压力放到价格上而不是数量上。最后，蔡恩-埃拉布丁发现，由于碳价格上涨，与价格有

关的影响会很小。

莱因哈特·哈斯(Reinhard Haas)和李·雪珀(Lee Schipper)(1998)扩展了文献的结论,他们通过研究效率函数解释和预测了住宅部门的能源需求。他们发现,技术效率是考虑能源需求的重要因素。他们计算出价格弹性几乎接近于零,从而证明了这一判断。哈斯和雪珀也对消耗的弹性不变提出质疑,他们发现,价格弹性和收入弹性的绝对量会不断降低。他们通过这个发现提出,利用传统的、不变的与对称的弹性来预测能源需求,将会导致大幅度的能源高估。

乔亚旭瑞·罗伊(Joyashree Roy)(2000)在这些发现的基础上,考察了印度三个部门能源消耗效率提高所得的影响,主要是农村高效照明项目与工业和交通部门的效率作用。他发现,典型的发展中国家,效率的改进会导致大的反弹效应。在农村住宅部门,罗伊计算了煤油和液化气的短期和长期弹性,发现需求将会提高到一个前所未有的水平。在工业部门,他计算了能源的价格弹性,发现随着生产率提高和(或)价格降低,能源消耗随之增加。最后,在交通运输部门,他假设技术进步将提高行驶的需求,于是产生了大的反弹效应。这些结果是重要的,特别是对发展中国家来说,因为这些国家存在着大量未满足的需求。

马克·杰卡德(Mark Jaccard)和克里斯·巴塔伊(Chris Bataille)(2000)又对文献进行了补充,他们估算了加拿大公司和家庭的替代弹性。他们利用仿真模型计算了资源和能源的替代弹性。他们的结果显示资本和能源之间存在弱替代,这表明反弹效应的强度相当小。

于是,文献进一步被那些有兴趣计算反弹到底有多大的研究者所拓展。比如,雪珀和迈克尔·格鲁布(Michael Grubb)(2000)对超过12个国际能源署成员国的多个经济部门就能源利用、能源强度和价

格等的数据进行分析以此界定反弹效应。他们发现，任何一个部门或整个经济领域并不存在足够大的反弹，而是只有5%~15%的微小反弹弹性。不过作者警告，这些结果不适用于发展中国家，这是一个重要的例外。此外，作者忽略了非直接反弹，这可以是而且往往是非常显著的。

哈斯和彼得·比尔梅尔(Peter Biermayr)(2000)调查了澳大利亚家庭能源消耗效率改进的效应。他们利用时间序列和截面分析估算了反弹效应的大小。他们估算，效率改进的直接反弹导致能源消耗增加了20%~30%。哈斯和比尔梅尔得出结论，认为效率改进导致的能源消耗和与此相关的二氧化碳排放量的减少量，比政策制定者所相信的要少得多。

彼得·贝克豪特(Peter Berkhout)、乔斯·马斯肯兹(Jos Muskens)和简·韦尔修森(Jan Velthuisen)(2000)试图对单个商品和多个商品反弹效应进行严格界定。他们发现，单个商品的反弹效应界定与多个商品的反弹效应界定是不一样的。他们得出了一个反弹效应的数学公式，并且利用这一公式检验了荷兰的例子。他们发现，在所有的定义下，反弹效应在0%~15%。不过，他们在论文中并不能提供其力图得出的严格界定。

洛娜·格林宁(Lorna Greening)、大卫·格林(David Greene)和卡门·迪菲戈里奥(Carmen D'figlio)(2000)对有关直接反弹的75份研究报告进行了研究。他们将其研究严格限定在对具体能源服务的燃料效率效应上，而不是能源消耗的燃料效率效应上。他们发现，反弹的规模很大程度上取决于如何界定反弹效应。他们也发现，主要的研究集中于住宅部门。不过作者们发现，这些研究缺乏对具体的住宅燃料消耗行为的详细叙述和对资本属性选择行为的认识。此外，作者们

声称，这些研究受遗漏变量偏差的影响。格林宁(Greening)等人经研究认为，住宅部门的能源效率提高为100%，能源的反弹效应为0%~50%。作者们引用的工业和商业部门的研究表明，技术效率因燃料需求增加而导致的燃料消耗节约只是微小的。他们在论文中总结陈述道，根据他们对相关文献的综述，他们认为，对美国而言，反弹并不足以减弱能源效率作为减少碳排放的工具的重要性，但是仅仅依赖于能源效率技术的气候政策，可能需要市场和激励机制的支持。

格兰特·阿伦(Grant Allan)、尼克·汉利(Nick Hanley)、彼得·麦格雷戈(Peter McGregor)、金·斯维尔斯(Kim Swales)和卡伦·特纳(Karen Turner)(2007)利用经济-能源-环境可计算的一般均衡模型，考察了英国整体经济能源效率提高5%的影响。他们计算得出30%~50%的反弹效应，但是能源使用没有增加——换句话说，没有“回火”，即反弹大于100%。不过，他们的假设在考虑劳动力市场的结构、生产弹性、时间长度和政府消费的因素时，其计算结果很容易受影响。

郎纳·布南兰德(Runar Brannlund)、塔雷克·加尔沃希(Tarek Ghalwash)和乔纳斯·诺德斯多姆(Jonas Nordstrom)(2007)探讨了反弹效应如何影响瑞典家庭能源消耗和与此相关的二氧化碳、二氧化硫和氮氧化物的排放。他们估算了为使二氧化碳排放保持在初始水平而改变税收的必要性，以及这又如何影响二氧化硫和氮氧化物的排放。他们发现，能源效率如果提高20%，二氧化碳排放量将会增加5%。布南兰德等也计算了为使二氧化碳排放保持在初始状态，二氧化碳税必须提高130%。此外，税收将导致二氧化硫排放量的减少，但会提高氮氧化物的排放。他们得出结论：如果二氧化硫和氮氧化物的边际损害不是常量，那么必须采纳其他政策。

哈里·桑德斯(Harry D. Saunders)(2000)考察了宏观方面的反弹

效应。他发现，能源强度比率的反弹证据是存在还是缺失，是不清楚的，换句话说，能源强度可以因反弹的存在而提高。他也总结道，反弹的程度依赖于燃料供给的价格弹性，并且对国内总产值的影响不大。他同时发现，影响其他非燃料因素的燃料效率技术产生了巨大的反弹效应。这些结果很重要，因为它们阐明了制定环境战略的决策者理解燃料价格替代弹性的重要性。

肯尼斯·斯莫尔(Kenneth Small)和库尔特·范·登德(Kurt van Dender)(2006)估计了美国1966~2001年汽车的反弹效应。他们的模型区分了自相关效应和滞后效应，包括测量燃料经济标准并允许反弹因收入、城市化和燃料成本的不同而不同。他们计算出短期4.5%的反弹和长期的22.2%的反弹。他们也发现，真实收入的增加，辅以燃料价格的下降，引起了研究期间反弹的大幅度降低。斯莫尔和范·登德利用他们1997~2001年数据的子集，也计算出短期的反弹为2.2%，长期的反弹为10.7%。这些结果比政策分析普遍所用的3.1%和15.3%的值小了很多。

斯维尔·格雷普路德(Sverre Grepperud)和英格堡·拉斯马森(Ingeborg Rasmussen)(2004)应用一般均衡模型考察挪威经济，检验是否能源效率提高会导致反弹效应，特别考察了电力和石油的能源效率提高。研究结果显示，反弹效应在制造业部门非常显著。不过他们发现，反弹效应在其他部门很弱或者几乎不存在。

彼得·迪·哈恩(Peter de Haan)、迈克尔·米勒(Michael Mueller)和安佳·彼得(Anja Peters)(2006)探讨了两种类型的反弹，即，与瑞典汽车市场混合动力汽车的引入相关的汽车大小增加和汽车用户的增加。作者们在瑞典开展了一项对367位丰田汽车普锐斯2(Prius 2)购买者的调查，调查回答率为82.6%。他们收集了家庭拥有

的混合动力汽车和其他汽车的数据。迪·哈恩等也利用关于瑞士移动行为的调查开发了一个模型，描述了首次购车者、置换汽车和辅助车辆之间的关系。他们的结果显示，没有哪一种反弹效应是确定的。然而，他们并没有考察年度驾驶里程增加的反弹效应，这种反弹效应在以往对该问题的研究中被认为是存在的(Binswanger, 2001)。

其他人通过探讨环境的影响和什么样的现有机制会促进能源消耗的减少充实了文献。比如，法蒂·比罗尔(Fatih Birol)和简·霍斯特·开普勒(Jan Horst Keppler)(2000)考察为了达到《京都议定书》(*Kyoto Protocol*)标准，除了能源效率提高，相关的能源价格是否要变化以及如何变化。他们发现，价格或效率的变化会通过生产和商品的替代因素形成一个宏观效应和收入效应。他们也注意到，相对价格和能源效率的变化是相互补充的。

约翰·莱恩特尔(John Lainter)(2000)从历史角度和通过对美国宏观经济的分析，讨论了反弹效应。莱恩特尔同时也对碳排放的反弹效应感兴趣。他发现强有力的证据表明，具成本效益的能源效率改进将减少能源的消耗。不过，莱恩特尔提出警告，也就是消费者偏好会抵消任何能源的节约。在阐述了消费者对能源消耗、环境退化和更高效产品之间的关联的意识增强后，他得出结论认为，必须让消费者偏好的变化最小化。

理查德·豪沃斯(Richard Howarth)、布伦特·哈达德(Brent Haddad)和布鲁斯·佩顿(Bruce Paton)(2000)回顾了美国环境保护署资助的两个项目：绿色照明和能源之星。它们都推动了能源效率技术的发展。他们的文章质疑反弹效应并集中讨论了效率改进的障碍。他们发现，绿色照明项目引导公司投资节约能源的照明系统。作者们也发现，能源之星项目导致计算机和电器设备的供应商显著提高了他们产

品的能源效率，这也为设备的使用者节约了成本。他们认为，这些项目取得的成绩，得益于他们成功地减少了因信息不全和有限理性约束导致的市场失灵，而正是市场失灵降低了公司内部组织的效力和设备供应商与其消费者之间的和谐度。他们举例说明了项目对能源需求的影响很小，因此，能源效率的改进应该引起能源消耗一比一的减少。

马赛厄斯·宾斯万格(Mathias Binswanger)(2001)在传统的新古典框架下，对某一具体能源服务需求进行了局部均衡分析。宾斯万格通过在新古典模型之外探讨反弹的多种可能原因来说明其与生态经济学的相关性。他发现，家庭的反弹效应往往在可持续发展的讨论中被忽视。而且，宾斯万格还发现，某些部门可能显示能源节约，但是家庭部门对这些部门提供的产品将有更多需求，这会导致能源消耗的总增加。宾斯万格总结说明了为什么传统的新古典单一服务模型不能准确描述引起反弹效应的所有作用，因此这种模型对制定可持续发展的政策起不了作用。

温森特·奥托(Vincent Otto)、安德烈亚斯·洛斯切尔(Andreas Loschel)和约翰·赖利(John Reilly)(2006)建立了富有前瞻性的可计算的一般均衡模型来准确描述与能源使用、效率改进和经济相关的二氧化碳排放的实证关系。他们发现，具成本效益的气候政策一定要包括旨在减少二氧化碳排放和二氧化碳约束的研发津贴的组合，尽管研发津贴因刺激创新而产生的大幅反弹会造成二氧化碳价格的影子价格提高。这一结果表明，对二氧化碳密集型部门的二氧化碳约束与单一的二氧化碳政策相比，其成本效益更好。他们得出这一结论，是由于他们发现二氧化碳价格差异助长了非二氧化碳密集型部门的增长，使得成本效益好的二氧化碳密集型部门承担了更多的减排压力。

对当前一些文献的简要回顾，表明了对反弹效应的估计存在着巨

大差异，同时也说明了要判定杰文斯悖论是存在于某一具体部门还是整个经济领域，是一项多么难的工作。接下来，本章将进一步探讨在整个经济领域，到底哪个因素导致了杰文斯悖论的产生。

杰文斯悖论的建模方法

杰文斯悖论对环境状况有重要启示。因此，本章的分析采取了一个与前面研究不同的方法，因为环境(能源供应的来源)是一个复杂系统。从理论上说，通过提高能源效率减少资源消耗对复杂系统有好处，因为排放的污染会减少。不过，如果复杂自适应系统不能适应变化了的情况，效率提高所得仅仅会导致减少污染。不幸的是，复杂系统趋于快速适应，并且一旦引入技术改进，下列两种情况至少会产生一种：(1) 初始环境中的当前活动水平会扩张；(2) 额外活动的选择空间会增加(Giampietro & Mayumi, 2005)。

能源效率的提高，降低了投入的消耗，反过来会降低产品的价格。当产品价格下降，需求和消耗增加，就会导致杰文斯悖论的产生。而且，效率改进会被外部系统转变为新的和更复杂的行为(Giampietro & Mayumi, 2005)。由于资源的利用变得更有效率，并且更容易得到，当前技术会被更多地使用，或者，包含更多选择和特征的新技术将被引入进来。

就如前面所说，杰文斯悖论的例子有许许多多。然而，对资源需求的增加并不是严格限定在对资源利用更为高效的产品上，它也包括其他最终用途，因为它们是在同一个总预算下竞争的(Khazzoom, 1980)。因此，不仅存在微观的反弹效应，也存在宏观的非直接反弹。在宏观反弹情况下，收入效应引起实际收入的增加，它允许消费者购买更高质量的商品及增加购买需求(Wirl, 1997, pp20、26~27、31、

41 和 197; Saunders, 2000)。因此, 反弹效应是整个经济领域的, 不仅仅是在某个具体部门、某个具体产品或最终用途中, 而微观层次的效应则是存在于某个具体产品、具体部门或最终用途中。本章以这些发现为基础, 对数据和模型进行描述, 并以此为依据, 实证检验是否有证据表明杰文斯悖论存在于多个案例中。

在先前所描述的研究中所采取的方法, 趋向于集中在某一具体能源的利用上和(或)用需求与替代弹性来估算直接反弹效应。这些先前的研究并不试图判定是哪个因素或哪些因素导致了反弹。相反, 他们仅考察了由某项具体技术改进所引起的总能源消耗的微小比例变化。不过, 能源效率改进倾向于影响整个经济领域或宏观经济, 这使得考察一个国家的总反弹和哪一个参数对能源需求具有最大影响就显得至关重要。因此, 本章提供了一个旨在全面理解能源消耗和能源效率关系的宏观层面分析, 这样, 政策制定者们在制定能源政策时, 就能从整个经济范围去理解杰文斯悖论。

为了进行宏观层面的分析, 本章运用由保罗·埃利希(Paul Ehrlich)和约翰·霍尔德伦(John Holdren)(1971)建立的 $I = PAT$ 模型来决定关键变量。 $I = PAT$ 说明了人口(P)、富裕程度(A)和技术(T)对环境的影响。因此, 为了达到我们的目标, 在这里, 等式的左边, 环境影响(I), 要等于主要能源消耗。等式右边要求考察影响能源消耗的三个主要宏观因素:

1. 总人口、人口密度、城市人口和农村人口(P);
2. 国内生产总值和国内生产总值的构成(投资除外)(A);
3. 以每单位 GDP 的 Btu* 计量的能源强度——技术进步的代

* Btu: 英热当量单位。1 Btu=1 055.06 焦耳。——译者注

表(T)。

用这种方式设定变量可以让人们判断哪一个变量对能源消耗(环境影响)有着最大的影响。表 4.1 介绍了 $I = PAT$ 等式分析中的变量对应关系。

表 4.1 $I=PAT$ 的变量对应

环境影响(I)	人口(P)	富裕程度(A)	技术(T)
主要能源消耗总量	人口密度 人口 城市人口 农村人口	国内生产总值(GDP) 出口 进口 家庭消耗 政府消耗	能源强度

变量和模型的描述

国际能源署将主要能源消耗总量定义为：终端消费者消耗的能源与在生产、输送和配给过程中损失的能源之和。能源消耗类型以能源用途来测量。许多利益相关者相信，人口是能源消耗增加的主要原因。因此，总人口被用作假设检验的协变量。人口密度也被这样使用。这一变量作为城市化和能源使用的代表，特别是在发展中国家，它导致了能源消耗的增加。随着城市规模的扩大，人们使用能源的机会增加了，而能源使用是人们迁入城市的主要催化剂。在接下来提到的某些案例研究中，就使用了城市人口和农村人口。把人口分为城市人口和农村人口，我们可以看看能源消耗在两个区域是否有差异，以及是否存在一个人口迁徙的模式。用 2000 年美元(US \$)为常量来计量的 GDP，被用来度量经济活动的规模。用 2000 年国际元(\$)为常量(购买力平价)计量的 GDP，也被用来修正国家之间汇率兑换或通货膨胀率的差异。GDP 的构成部分——家庭消耗、政府消耗、进口和出口，都以 2000 年美元为常量来计量——也被用来衡量在更具体的经

济活动以及商品和服务的消费。家庭消耗被用以判断家庭购买的产品是否消耗了大量的能源。探究政府消耗是为了判断是否政府购买推动了能源消耗。以出口和进口为变量，是因为国际贸易是许多经济体的主要组成部分。事实上，许多大规模经济体，特别是在发展中国家，进口是为了能够出口。能源强度用 Btu/2000 年美元不变价和 2000 年国际元不变价计量，它被当作导致能源效率提高的技术进步的代表。这些变量中的每一个，在案例研究中都被用来构建不同的模型。

接下来的案例研究采用了两个不同的建模方法。第一种方法是普通最小二乘法(OLS)，被用于分析美国和巴西的案例研究数据。在这两个案例中，所有模型的杜宾-瓦特森统计检验均低于 5% 显著性水平的临界值，这意味着在所有的扰动中存在一阶相关。因此，一个广义自回归条件异方差模型 GARCH(1, 1) 被用于分析时间序列数据。时间序列数据考虑运用按时间顺序排列的观察值来预测未来变量的值。不过，时间序列数据有可能有异方差性和自相关作用。GARCH(1, 1) 模型，一个标准时间序列过程的替代方法，被用来纠正这些问题，它是通过对异方差扰动施加一个特殊结构以得到普通最小二乘法的最优线性无偏估计量来实现的(Murray, 2006)。GARCH(1, 1) 模型的最大似然估值模型被用来裁定是否出现自相关以及达到无偏估计量和误差随机分布。

第二种方法是时间序列截面(TSCS)回归模型，被用于分析欧洲和亚太地区的案例研究。TSCS 数据产生变异性，从而消除了非均质性，并且通过减少时间序列所需的时间长度和利用在每一个对象的相互动态作用中的可得信息，提供了更多有意义的结果(Kennedy, 2003)。此外，TSCS 数据允许同时考察空间和时间的影响，在我们的能源消耗例子中，它允许研究对象在规定的时间表内从多个地点开展

观察研究。运用时间序列和截面方法可以提高数据的质量和数量，而仅使用这两种维度中的一种方法，是不可能达到这一目标的(Gujarati, 2003)。

因此，TSCS 是一个很有价值的工具。不过，回归估值可能依然是有偏差和无效率的。在 TSCS 分析中，有几个问题会时常出现。第一，误差易于连续相关，因为描述误差项特征的观察值和特性会随着时间的变化而相互依赖。第二，国家之间的误差项趋于相关。第三，异方差性很可能存在于 TSCS 数据集中，因为误差方差在各个国家并不是一成不变的。第四，误差项可能包括空间和时间影响，它产生了回归模型的异方差和自相关的误差。第五和最后的问题产生于 TSCS 分析，是误差趋向于反映不同时间、空间或两者的局部因果关系的非均质性(Hicks, 1994)。

除了上述问题，数据集中的数据相关性是可以预料的。为了修正这些问题，通过运用迭代广义最小二乘法修正群的异方差性和群组间的相关性以及特定群的自相关，计算了最大似然估计。此外，如果就像预计的那样，在研究所选择的变量中出现了相关性，这一技术提供了无偏估计(Greene, 2000)。注意到这一技巧不产生拟合优度量很重要。

两个广义模型的变量，等式 1 和等式 2，被用来分析 GARCH(1, 1)和 TSCS 方法。这两个模型被选来用于表达许多可能出现的宏观层面影响，从而得到案例研究中不同国家和地区的能量政策的某些见解，而这是继续制定未来任何能量政策的最好途径。令人遗憾的是，目前从国家或区域层面对杰文斯悖论开展的研究工作即便有也是少之又少(Polimeni & Polimeni, 2006、2007a 和 2007b; Polimeni, 2007)。因而，从这两个模型中获得的信息将为所考察国家和地区的现有能源

政策及其能源政策完成得如何提供重要分析。

第一个广义模型估计了与能源强度、国内生产总值和人口(人口密度)相关联的能源消耗。这一模型用 2000 年美元的不变价格和购买力平价计算 GDP 和能源强度来预测能源消耗。

$$EC = \beta_1 + \beta_2 EI + \beta_3 GDP + \beta_4 P \quad (1)$$

其中：

EC = 主要能源消耗总量

EI = 能源强度

GDP = 国内生产总值

P = 总人口或人口密度

这一模型将为杰文斯悖论的宏观表现提供证据支持，它表明，如果能源消耗和能源强度的系数是正的，那么能源消耗肯定会在能源强度下降的时候减少。主要能源消耗总量和能源强度的系数被认为是正的。另外，GDP 和人口(人口密度)的系数也被认为是正的——当 GDP 增加的时候能源消耗也会增加，并且，当人口(人口密度)增加时，能源消耗也会因更多的人口而增加。然而，如果边际能源强度具有最大的能源消耗协方差，那么就有强有力的证据证明杰文斯悖论是存在的。如果能源强度不具有能源消耗的最大边际影响，那么杰文斯悖论可能是隐蔽的或不存在的，而其他变量，正如许多利益相关者所相信的那样，可能是能源使用增加的原因。

第二个广义模型把能源消耗作为家庭消耗、政府消耗、进口、出口、能源密度和人口(人口密度)的函数来估计。所有这些变量都是按 2000 年美元不变价测量的。在这个模型中，GDP 被分解为单个部门(家庭消耗、政府消耗、进口和出口)，以判断是哪个部门对能源消费

的影响最大。此外，把进口和出口也包括在内，是为了判断国际贸易对能源消耗是否有影响。

$$EC = \beta_1 + \beta_2 EI + \beta_3 HH + \beta_4 G + \beta_5 X + \beta_6 M + \beta_7 P \quad (2)$$

其中：

EC = 主要能源消耗总量

EI = 能源强度

HH = 家庭消耗

G = 政府消耗

X = 出口

M = 进口

P = 总人口或人口密度

在第二个广义模型中，各个变量的系数预期都是正的，只有进口的系数是个例外。进口的系数预期有正的，也有负的。

两个广义模型专门用来判断是哪个变量对能源消耗有影响。此外，每一个模型都用于提供在宏观层面杰文斯悖论可能存在的一些统计证据，并用于消除共变，这些共变即使有影响，其影响也会很小。因此，如果在宏观层面存在杰文斯悖论的某些实证证据，这两个模型被用于判断是哪些因素驱动能源消耗的增加。这些模型的结果与发现将在下面讨论。

美国

首先研究考察美国的案例。美国作为全球二氧化碳、二氧化硫和一氧化氮的主要污染产生者之一，其国内可能存在的杰文斯悖论对全球环境的影响是很大的。如图 4.1 显示，在 1960~2004 年间，美国能源消耗增加了近 100%。这相当于增加了近 3.1×10^{16} Btu。

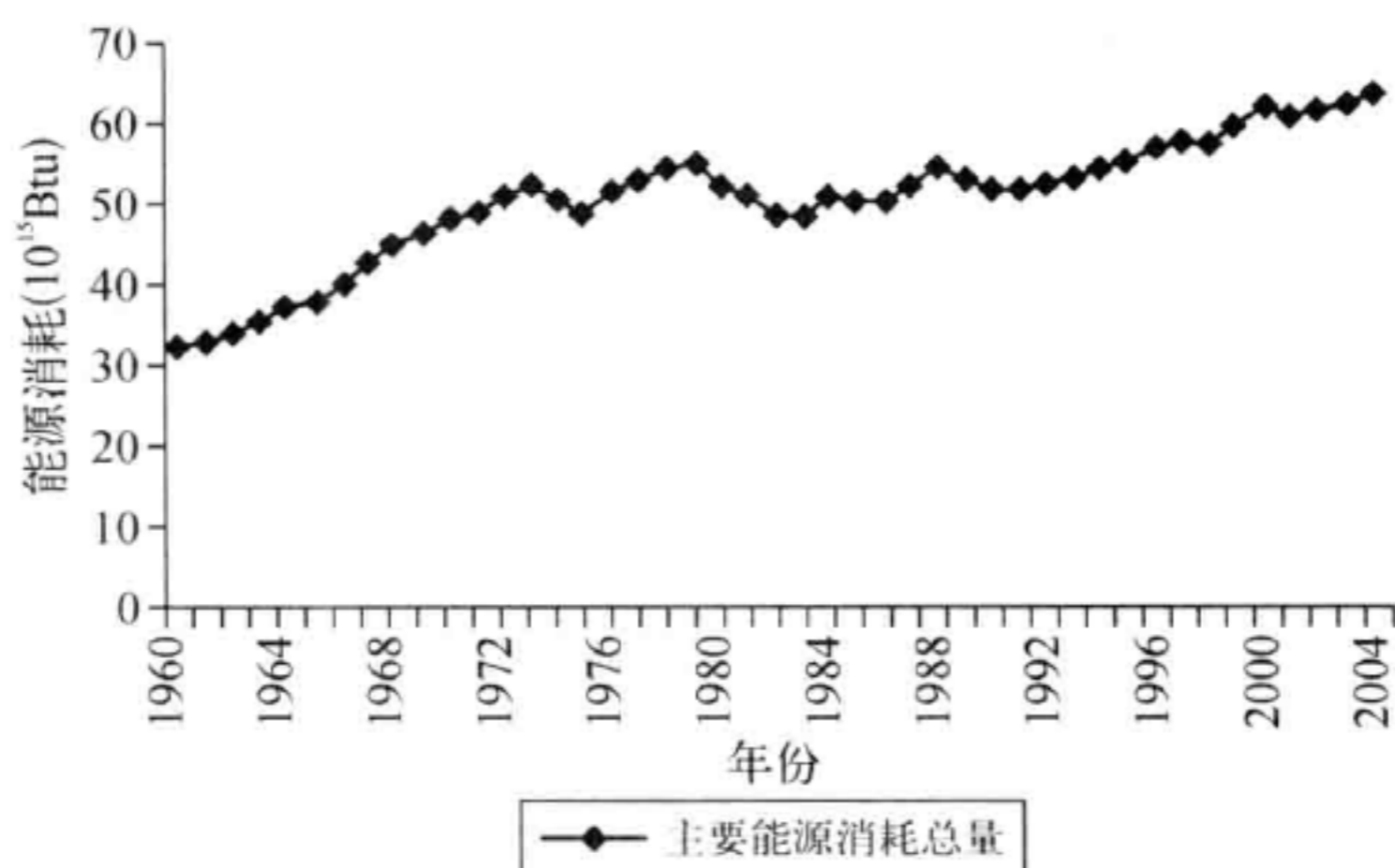


图 4.1 1960~2004 年美国能源消耗

在能源消耗大量增加的同时，美国经历了一次技术繁荣，在这 45 年间，能源强度下降了 113% (图 4.2)。能源强度下降大多发生在 1970 年后，而在之前的 10 年中，能源强度几乎保持不变。

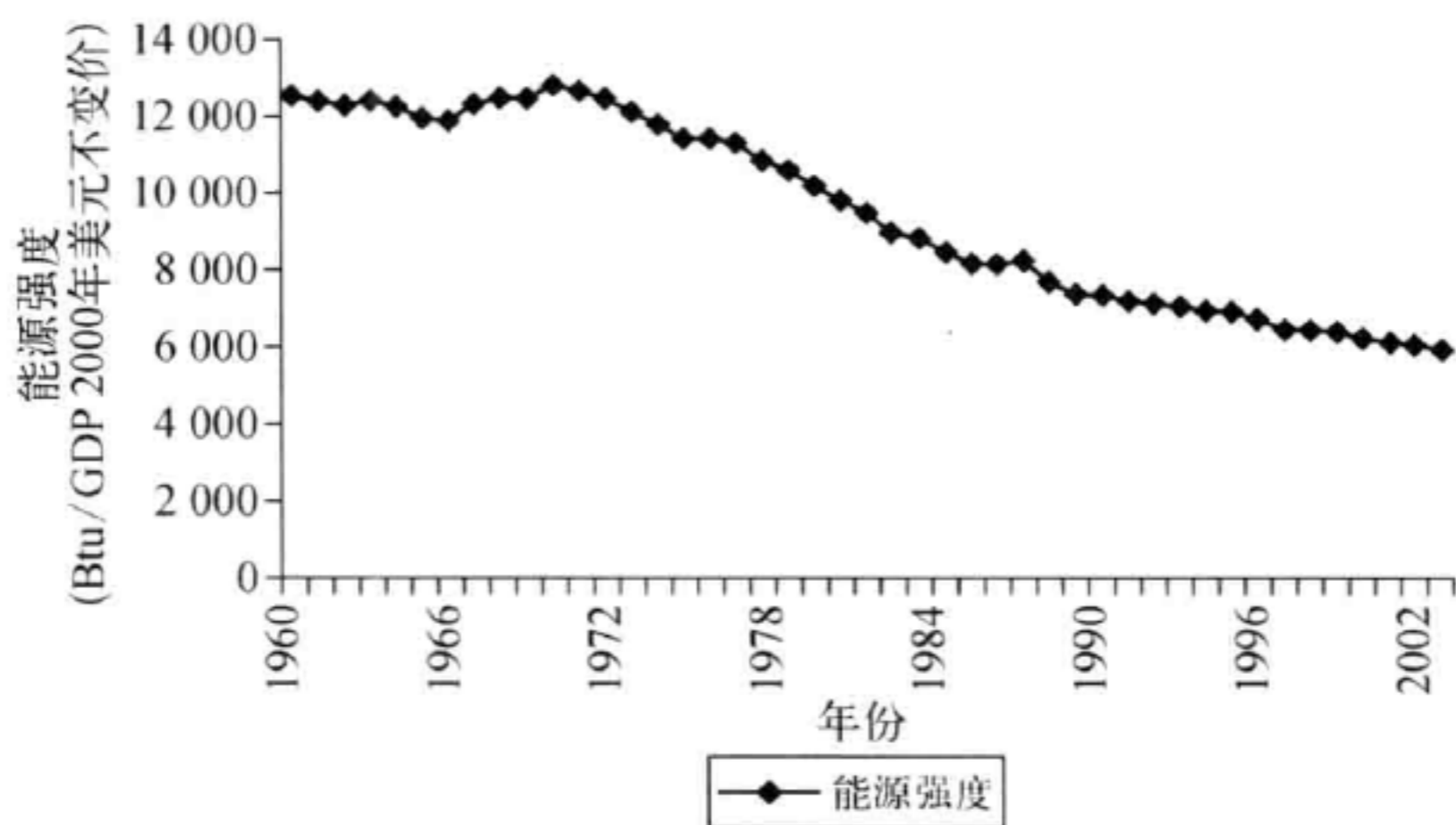


图 4.2 1960~2004 年美国能源强度

通过对数据的快速查验，我们发现，在 1960~2004 年间，美国的确存在杰文斯悖论。然而，为了对哪一个变量对主要能源消耗总量影响最大有一个较好的掌握，需要进一步统计分析。为了得到一个完整而一致的数据集，分析采用了 1975~2004 年间的的数据。数据来源于美国能源情报署的《国际能源年鉴》和世界银行。

如前面所解释的，GARCH(1, 1)模型方法被用于数据分析。有三个由前面描述过的两个广义模型发展而来的模型被用于 GARCH(1, 1)方法中，其结果见表 4.2。在所有这些模型中，回归的一阶自回归参数 ρ (Rho) 在 95% 的置信水平上具有显著性，这表示 GARCH(1, 1)模型因自相关而比普通最小二乘法(OLS)更能与数据拟合。因此，表中只列出了 GARCH(1, 1)的结果。

表 4.2 美国能源消耗回归结果

变 量	模型 1	模型 2	模型 3
常数	- 32.999 8 (8.319 3) [0.000 1]	38.747 (3.657 7) [0.000 0]	- 21.829 6 (11.099 2) [0.049 2]
GDP(2000 年美元不 变价)	0.000 000 000 006 (0.000 0) [0.000 0]		
GDP(2000 年 国际元不变价)		0.000 000 000 002 (0.000 0) [0.000 0]	
家庭消耗(2000 年美 元不变价)			0.000 000 000 008 (0.000 0) [0.000 0]
能源强度(Btu/2000 年 美元不变价)	0.004 9 (0.000 6) [0.000 0]		0.004 4 (0.000 8) [0.000 0]
能源强度(Btu/2000 年 国际元不变价)		0.000 321 (0.000 1) [0.016 5]	
相关关系(Rho)	0.966 19 (0.047 9) [0.000 0]	0.652 17 (0.140 8) [0.000 0]	0.940 3 (0.063 2) [0.000 0]

注：圆括号里的数字为标准误差；
方括号里的数字为 P 值。

第一个模型考察了 1975~2004 年间主要能源消耗总量中 GDP、人口和能源强度的影响。特别令人感兴趣的是，在这一时间段中，尽管人口和人口密度提高了大约 36%，但在这一模型中人口和人口密度对结果的影响并不显著。然而，用 2000 年美元不变价计量的 GDP 和能源强度的影响却是显著的。在这一时期，GDP 增幅接近 152%，而能源强度降低了近 50%。GDP 系数显著且是正数，表明随着 GDP 增长，主要能源消耗总量也增长了。就如前面所概述的，这一结果正是所期望的。能源强度的系数也是显著的且是正数。为了使这种结果更直观，在大多数经济体中当能源强度下降时，能源消耗也必然下降。不过，正如在图 4.1 和 4.2 中所描述的，这并不符合美国的情况。同时，两个变量的大小也值得注意。结果显示，从百分比看，能源强度对能源消耗的影响比 GDP 对能源消耗的影响还要大。不过，从绝对量来看，GDP 具有更大的影响，因为 GDP 是以万亿美元来计算的。第二个模型与第一个模型相比，除了用购买力评价来计量 GDP 和能源强度这一点不同外，其他是完全相同的。就像第一个模型一样，第二个模型中，人口和人口模型的影响并不显著，然而 GDP 和能源强度的影响是显著的，都是正的系数。结果显示，第二个模型与第一个模型有差异。在第二个模型中，GDP 系数下降到第一个模型的 1/3，而能源强度下降到第一个模型的 1/15。就像第一个模型那样，能源强度的大小在边际条件下比较大。目前讨论的这两个模型的结果说明，杰文斯悖论可能在美国存在。

第三个模型检验了 GDP 的主要构成部门，判断哪个部门或哪些部门在驱动能源消耗的增长。就像前面讨论的两个模型，人口和人口密度都包括在模型中，但是两个因素的影响都不显著。此外，政府消耗、进口和出口也被发现并不显著。然而，家庭消耗和能源强度两个

变量是显著的。正如预计的那样，这两个变量的系数都是正的，这表示它们导致能源消耗的增加。变量的系数大小与第一个模型中的系数大小几乎相同。这些发现表明，家庭消耗是 GDP 中驱动能源消耗增长的主要因素。此外，这一结果也同时表明，从边际角度看，能源强度是增加能源消耗的最主要因素。

欧洲

研究的第二个案例是欧洲。本案例研究考察 16 个欧洲国家(奥地利、比利时、丹麦、芬兰、法国、德国、希腊、爱尔兰、意大利、荷兰、挪威、葡萄牙、西班牙、瑞典、瑞士和英国)是否存在杰文斯悖论。另外一些欧洲国家如东欧国家没有包括在内，原因在于有些国家没有完整的数据，有些国家的经济与其他地区相比体量太小(如卢森堡)。

国际上将欧洲看成环境事务的领导者，如果实证数据显示欧洲可能存在杰文斯悖论，那么决策者们就会不得不再次调整他们的环境政策。再者，如果连环境问题的领导地区都存在杰文斯悖论，那么，在其他地区，这种状况又会有多糟糕呢？因此，这个案例的结果显得尤为重要。

这个案例研究采用 TSCS 回归模型进行分析。等式 1 和等式 2 所描述的两个广义模型被用于 TSCS 分析。第一个案例研究中的变量在这里也同样适用。唯一不同之处在于，农村人口和城市人口在等式 1 中被当作一个变量来处理。变量分析的时间段是 1980~2004 年，数据来源于美国能源情报署的《国际能源年鉴》和世界银行。

图 4.3 描述说明了欧洲国家的能源消耗情况。除了德国能源消耗有轻微的下降外，每一个国家在所研究的时间段中，都经历了能源消耗的增长。因此，从所选的 16 个欧洲国家的数据可以看到，这些国家

总体能源消耗是增加的。

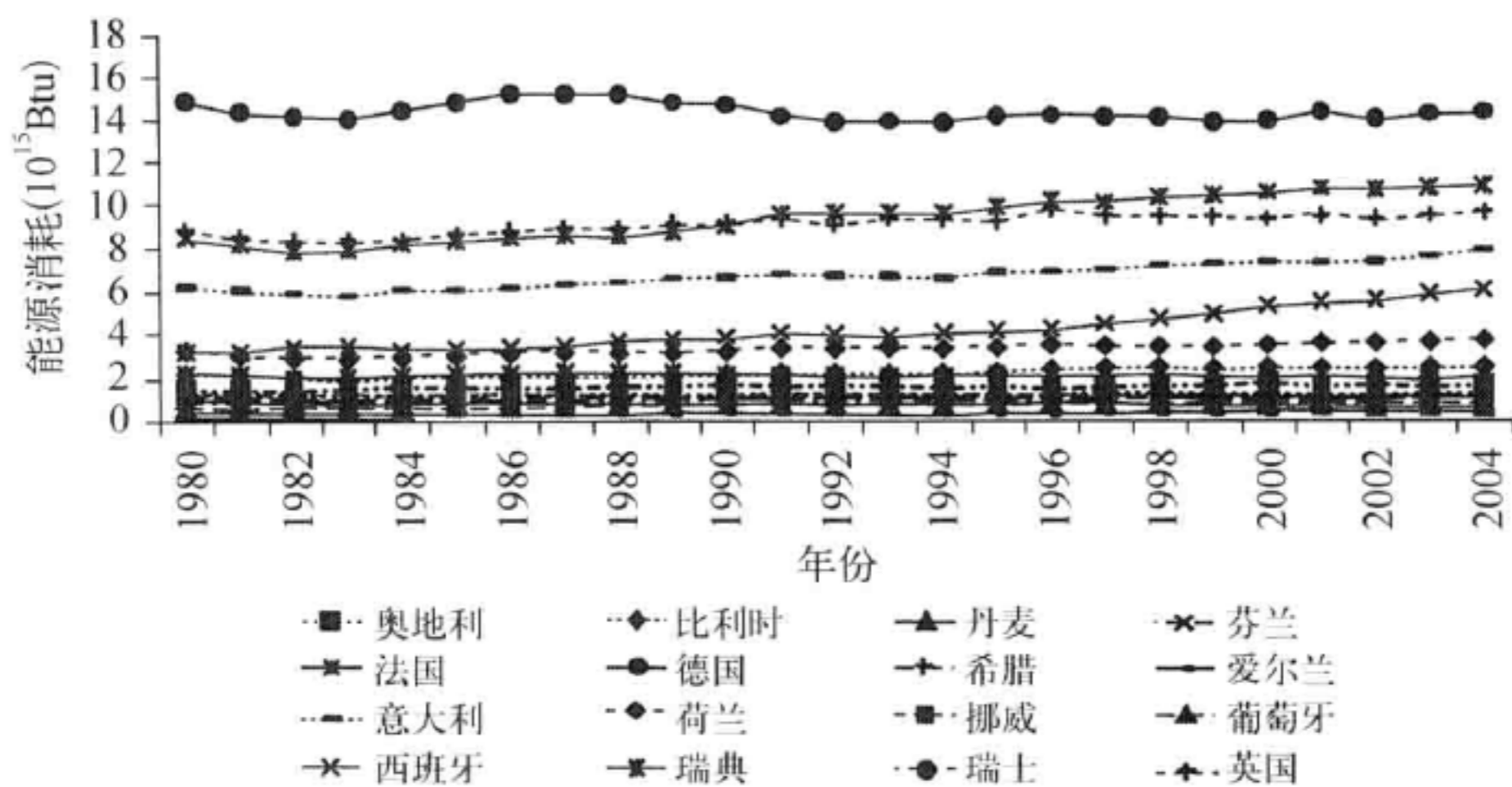


图 4.3 1980~2004 年欧洲 16 国能源消耗

同时，在这 25 年间，这个地区的能源消耗增加了，但能源强度下降了。能源强度没有下降的国家，只有三个——希腊、葡萄牙和西班牙。图 4.4 显示了这些研究的结果。

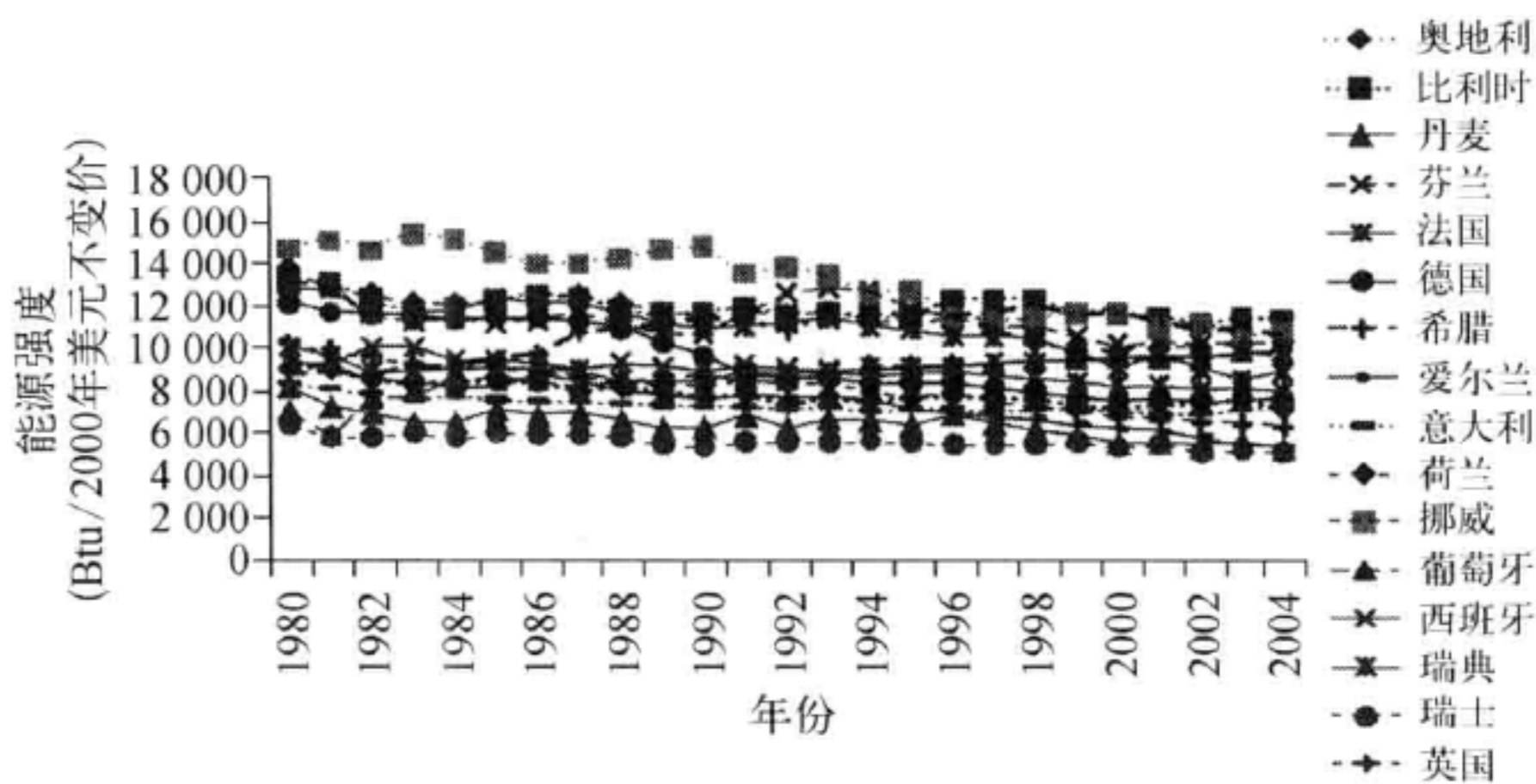


图 4.4 1980~2004 年欧洲 16 国能源强度

因此，就如前面案例研究的那样，对数据的粗略检验会让人相信欧洲存在杰文斯悖论。是否真是如此，需要更进一步的统计分析来证实。为了对这 16 个欧洲国家中到底哪一个变量对能源消耗的影响最大有一个更好的了解，这里将提出 7 个 TSCS 模型。

首先提出的前 5 个模型的结果见表 4.3。第 1 个模型检验主要能源消耗总量和人口、用 2000 年美元不变价计算的 GDP 和以 2000 年美元不变价计算的能源强度(Btu/US \$)的关系。模型中的每一个变量都是显著的，且是正的。结果显示，在所研究的国家中，人口是所在地区能源消耗增加的主要原因。这一结果，对过去 25 年中这些一直处于人口低出生率的国家来说，是令人惊讶的。对数据的检验，会让人们得出这样的结论，即：这一结果，很大程度上要归因于这一地区的两个主要经济体——英国和法国。当能源强度的系数比人口的系数小很多时，结果显示杰文斯悖论可能存在。第二个模型检验的是与第一个模型同样的关系，唯一不同的是，第 2 个模型运用了购买力平价。其结果与第一个模型的结果很相似，因此，这里不做进一步评论。

第 3 个模型考察了能源消耗、人口密度、GDP 和能源强度的关系。人口密度的系数是显著的并且是负的。这一结果显示，随着这 16 个国家中人口迁移到城市，能源消耗减少了。这一结果很可能是交通部门能源消耗下降的原因。此外，这些发现也表明，所研究地区的农业消耗了很多能源。无论是 GDP 还是能源强度，都具有显著的且正的系数。然而，边际能源强度比边际 GDP 大得多，这更进一步表明，杰文斯悖论在这些地区可能存在。第 4 个模型检验了与第 3 个模型中同样的关系，但是用购买力平价计量 GDP 和能源强度。就如第 1 个模型那样，这个模型运用购买力平价得出的结果和第 3 个模型得出的结论基本上是一模一样的。因此，这里没有提供额外的分析结果。第 5 个模型扩展了第 3 和第 4 个模型，它检验了能源消耗、城市人口、农村人口、按 2000 年美元不变价计算的 GDP 和用按 Btu/US \$(2000 年美元不变价)计量的能源强度之间的关系。在前面所述模型中，人

表 4.3 欧洲 16 国能源消耗回归结果：模型 1~5

变 量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5
常数	-0.879 1 (0.102 2) [0.000 0]	-0.683 6 (0.015 5) [0.000 0]	-1.005 5 (0.012 5) [0.000 0]	-0.897 7 (0.016 5) [0.000 0]	-0.821 6 (0.009 7) [0.000 0]
人口	0.028 93 (0.001 1) [0.000 0]		0.016 5 (0.000 7) [0.000 0]		0.015 545 (0.001 2) [0.000 0]
人口密度(每平方 公里人口数)		-0.001 2 (0.000 1) [0.000 0]		-0.000 2 (0.000 1) [0.000 0]	
GDP(2000 年美元 不变价)	0.000 000 000 007 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 000 000 008 6 (0.000 0) [0.000 0]			
GDP(2000 年国际元 不变价)			0.000 000 000 006 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 000 000 006 (0.000 0) [0.000 0]	
出口(2000 年美元 不变价)					0.000 000 000 004 (0.000 0) [0.000 0]

(续表)

变 量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5
进口(2000 年美元 不变价)					-0.000 000 000 003 4 (0.000 0) [0.000 0]
家庭消耗(2000 年 美元不变价)					0.000 000 000 01 (0.000 0) [0.000 0]
政府消耗(2000 年 美元不变价)					0.000 000 000 007 (0.000 0) [0.000 0]
能源强度(Btu/2000 年 美元不变价)	0.000 1 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 1 (0.000 0) [0.000 0]			0.000 1 (0.000 0) [0.000 0]
能源强度(Btu/2000 年 国际元不变价)			0.000 1 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 1 (0.000 0) [0.000 0]	

注：圆括号中的数字为标准差；
方括号中的数字为 p 值。

口密度的系数是负的。第5模型使得我们能够通过考察哪个国家的人口、城市或农村对能源消耗具有更大的影响来进一步检测这种关系。两个变量都具有显著的且正的系数。更有意思的是，农村人口的系数4倍于城市人口的系数，这意味着该地区农业生产消耗了很多能源。另一个有意思的结果是，能源强度是正的，并且其系数是最大的。这一结果意味着，在这个模型中，边际能源强度对能源消耗的影响最大，此外还意味着可能存在杰文斯悖论。

第6和第7个模型如表4.4所示，它们更进一步扩展了分析，把GDP详细分解成几个主要的部门。第6个模型考察了主要能源总消费和人口、出口、进口、家庭消耗、政府消耗和能源强度的关系。第7个模型除了用人口密度代替人口外，检验了同样的关系。两个模型的结果证实了前面模型的发现，再一次证明了人口对能源消耗具有最大的边际影响，而人口密度会减少能源消耗。这些结果遵循前5个模型提出的分析结论。此外，能源强度的系数是正的，并且对每一个模型来说，都是显著的，这意味着杰文斯悖论在最坏的情况下是局部发生的。然而，这两个模型的主要好处是获得了关于GDP的构成部门如何在16个国家内影响能源消耗的信息。特别有意思的是贸易变量的结果。出口变量是正的，说明16个国家的出口产品在生产过程中需要大量的能源。另一方面，进口变量系数是负的，意味着这些国家进口产品的能源消耗，如服装、石油和食品，比大众目前所用产品的能源消耗来得少。这一结果显示，16个国家作为整体可能会输出更多的污染(产生于能源密集型生产)到欠发达国家。如果这是事实，那么对发展中国家的环境影响将尤其会是负的，这将进一步拉大发展中国家和发达国家之间的差距。GDP的其他构成部门，家庭消耗和政府消耗也都是显著的，其系数也为正。就如预料到的那样，这些变量也会引

起能源消耗的增长。

表 4.4 欧洲 16 国能源消耗回归结果：模型 6~7

变 量	模型 6	模型 7
常数	-0.328 1 (0.013 0) [0.000 0]	-0.908 5 (0.009 5) [0.000 0]
人口密度(每平方公里 人口数)	-0.003 89 (0.000 1) [0.000 0]	
城市人口		0.000 000 01 (0.000 0) [0.000 0]
农村人口		0.000 000 04 (0.000 0) [0.000 0]
GDP(2000 年国际元 不变价)		0.000 000 000 008 (0.000 0) [0.000 0]
出口(2000 年美元不变价)	0.000 000 000 004 8 (0.000 0) [0.000 0]	
进口(2000 年美元不变价)	-0.000 000 000 004 6 (0.000 0) [0.000 0]	
家庭消耗(2000 年美元 不变价)	0.000 000 000 012 (0.000 0) [0.000 0]	
政府消耗(2000 年美元 不变价)	0.000 000 000 005 (0.000 0) [0.000 0]	
能源强度(Btu/2000 年 美元不变价)	0.000 1 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 1 (0.000 0) [0.000 0]

注：圆括号中的数字为标准差；
方括号中的数字为 p 值。

亚太地区

第三个案例研究探讨亚太地区。这个案例调查研究亚太地区最大的12个经济体。这些经济体是澳大利亚、孟加拉国、中国、中国香港、印度、印度尼西亚、日本、韩国、马来西亚、新西兰、菲律宾和泰国。就如对欧洲案例的研究那样，TSCS分析将被用于亚太地区的研 究中。其他国家，如越南和新加坡本应该被纳入研究中，但是在其他国家或地区研究中能得到的数据在这两个国家不能得到。在这个地区中，所选经济体的经济发展水平差别很大，既有发展中的经济体，也有中等发达经济体和充分发达经济体，这为本章所分析的其他案例提供了一个更好的对照。

如图4.5所示，本案例中分析的每一个经济体在1980~2004年间都经历了能源消耗的增加。因此，我们可以得出结论，亚太地区，根据本案例的界定，表现出能源消耗的增加。

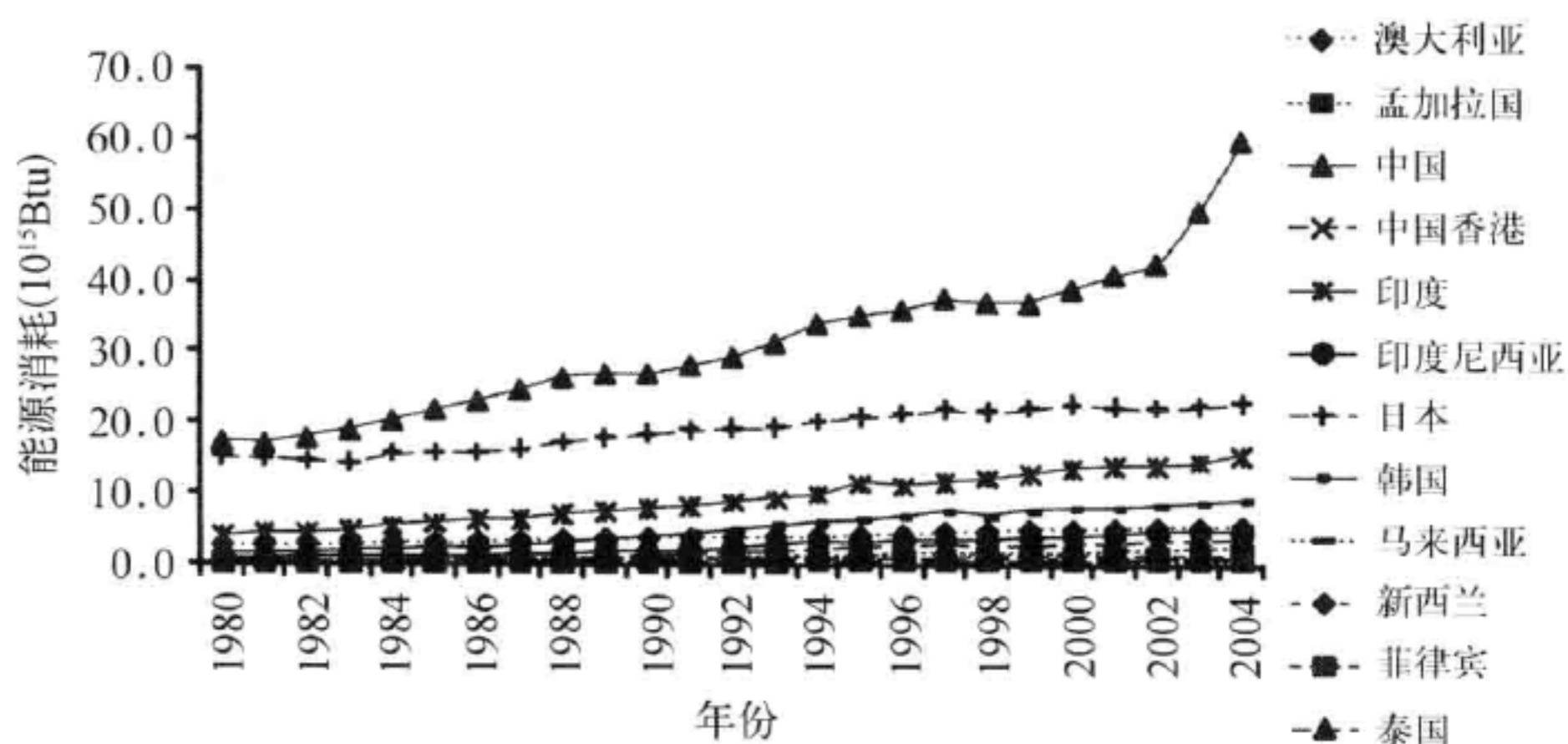


图 4.5 1980~2004 年亚太地区 12 个经济体能源消耗

同时，这个地区正在消费更多的能源，最大的经济体正经历着能源效率提高的时期。不过如图4.6所示，其中7个经济体，中国、中国香港、印度尼西亚、韩国、马来西亚、菲律宾和泰国，正经历能源强度的小幅提高。

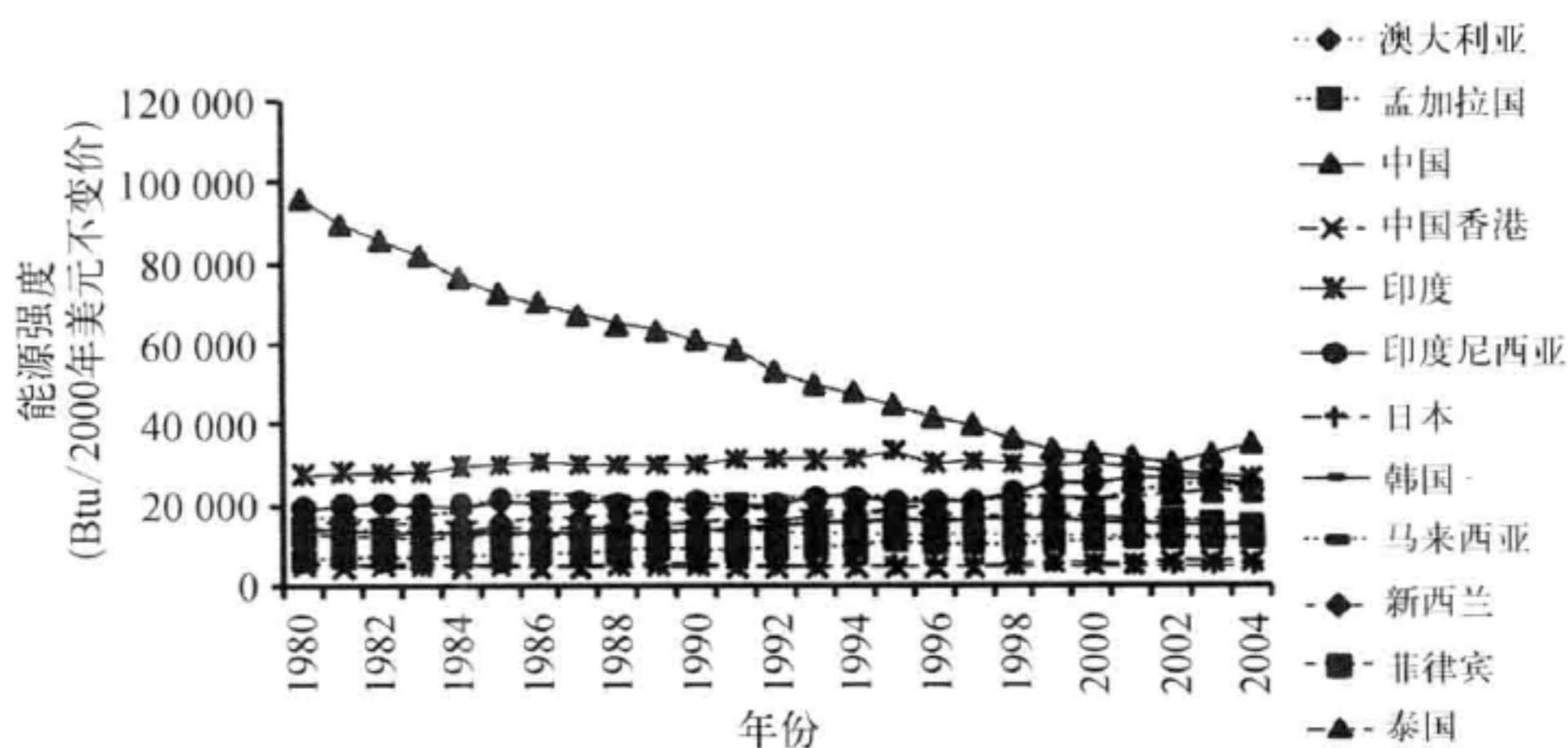


图 4.6 1980~2004 年亚太地区 12 个经济体能源强度

本案例研究的回归结果如表 4.5 所示。在本地区研究中，等式 1 和等式 2 被演化为 6 个 TSCS 模型，这与对欧洲地区分析所采用的模型类似。第一个模型调查了能源消耗和人口、GDP(按 2000 年美元不变价)和能源强度[按 Btu/US \$(2000 年美元不变价)]的关系。模型中每一个变量都是显著的并且其系数是正的。这一发现意味着，主要能源消耗总量会随着模型中每一变量的增加而增加。这里特别有意思的是，能源强度系数的边际增长率和绝对大小是所有变量中最大的，这表示在亚太地区也可能存在杰文斯悖论。第 2 个模型检验了同样的关系，只是在本模型中用购买力平价来计量 GDP 和能源强度。结果也是几乎相同。唯一微小的差别在于能源强度的系数变得更大一些。这一结果显示，至少在这一特殊的模型构架下，杰文斯悖论可能在所研究的区域中存在。

第 3 和第 4 个模型利用了与模型 1、模型 2 一样的构架，但是用人口密度代替了人口。模型 3 的 GDP 和能源强度用 2000 年美元不变价计量。结果显示，人口密度对能源消耗具有最大的边际影响。不过，当 GDP 和能源强度用购买力平价来衡量时，人口密度的系数就变成了负的。这一发现显示，通货在这 12 个经济体中是疲软的，并且

表 4.5 亚太地区的个案研究回归结果

变 量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
常数	-0.536 26 (0.006 9) [0.000 0]	-0.416 9 (0.019 4) [0.000 0]	-1.014 166 (0.034 6) [0.000 0]	-0.311 7 (0.020 3) [0.000 0]	-0.337 6 (0.023 8) [0.000 0]	-0.126 6 (0.022 8) [0.000 0]
人口	0.000 000 001 (0.000 0) [0.000 0]		0.000 000 002 6 (0.000 0) [0.000 0]		0.000 000 002 3 (0.000 0) [0.000 0]	
人口密度(每 平方公里 人口数)		0.000 1 (0.000 0) [0.000 0]		-0.000 1 (0.000 0) [0.000 0]		-0.000 054 (0.000 0) [0.000 0]
GDP (2000 年 美元不变价)	0.000 000 000 01 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 000 000 01 (0.000 0) [0.000 0]				
GDP (2000 年 国际元不变价)			0.000 000 000 004 7 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 000 000 004 3 (0.000 0) [0.000 0]		
出口 (2000 年 美元不变价)					0.000 000 000 004 2 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 000 000 001 2 (0.000 0) [0.029 2]

(续表)

变 量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
进口 (2000 年 美元不变价)					-0.000 000 000 002 6 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 000 000 001 2 (0.000 0) [0.028 9]
家庭消耗(2000 年 美元不变价)					0.000 000 000 002 (0.000 0) [0.000 7]	0.000 000 000 005 5 (0.000 0) [0.000 0]
政府消耗(2000 年 美元不变价)					0.000 000 000 028 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 000 000 013 (0.000 0) [0.000 0]
能源强度 (Btu/ 2000 年美元 不变价)	0.000 045 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 04 (0.000 0) [0.000 0]			0.000 042 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 029 (0.000 0) [0.000 0]
能源强度 (Btu/ 2000 年国际元 不变价)			0.000 1 (0.000 0) [0.000 0]			0.000 1 (0.000 0) [0.000 0]

注：圆括号中的数字为标准差；
方括号中的数字为 p 值。

与城市相比，农村消耗了更多的能源。此外，这个结果显示了农村能源消耗(多)主要原因在于农业生产方式。

第5和第6个模型是建立在前面4个模型基础上，为了发现GDP的哪个部门对能源消耗影响最大。第5个模型考察了能源消耗、人口、出口、进口、家庭消耗、政府消耗和能源强度之间的关系。模型中所有变量都是显著的，并且所有变量中除了进口外所有的系数都是正的。第6和第5个模型是一样的，唯一的差别是用人口密度代替了人口。所有变量又一次被证明是显著的。然而，在这个模型中，所有变量的系数除了人口密度外都是正的。这两个模型的结果都很有意思，因为进口的系数从第5个模型的负系数转变为第6个模型的正系数。进口系数的变化以及人口密度的负系数表明，所研究区域的人口有较大比例生活在农村。模型5使用了总人口这一变量，该模型的进口系数显示，农业部门消耗了大量的能源，其进口产品的能源消耗要比国内生产的产品能源消耗少。然而，模型6中正的进口系数表明，城市区域正进口着耗能产品。这一结果也意味着，亚太地区的重工业在城市区域，生产的产品包括纺织品和家用电子产品。对模型5和模型6结果的最后解释是，模型5中进口商品的能源消耗分散至整个人群，而模型6中人口能源强度是城市化的代表。

巴西

本章最后展现的是巴西的案例研究。巴西是一个有趣的案例，因为这个国家在1980~2004年间经历了能源消耗和能源强度的增加。这一经历与本章中其他案例的研究不同，但是这个案例提供了有意义的见解。本案例研究构建了5个不同的模型，以了解能源消耗中到底是哪些因素引起了能源消耗的增加。

巴西能源消耗模型的回归结果如表4.6所示。在所列的模型中，

表 4.6 巴西的个案研究回归结果

变 量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5
常数	-5.9164 (0.2677) [0.0000]	-5.9164 (0.2677) [0.0000]	-3.0335 (0.4395) [0.0000]	-0.3996 (0.9090) [0.6603]	6.5256 (1.0252) [0.0000]
城市人口				-0.00000012 (0.0000) [0.0002]	
农村人口				-0.0000001 (0.0000) [0.0000]	-0.0000002 (0.0000) [0.0000]
GDP(2000 年美元 不变价)	0.0000000001 (0.0000) [0.0000]			0.00000000012 (0.0000) [0.0000]	
GDP(2000 年国际元 不变价)		0.000000000059 (0.0000) [0.0000]			
出口(2000 年美元 不变价)			0.00000000019 (0.0000) [0.0000]		

(续表)

变 量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5
进口(2000 年美元 不变价)			0.000 000 000 01 (0.000 0) [0.010 1]		0.000 000 000 006 8 (0.000 0) [0.021 7]
家庭消耗(2000 年 美元不变价)			0.000 000 000 008 2 (0.000 0) [0.000 0]		0.000 000 000 007 9 (0.000 0) [0.000 0]
政府消耗(2000 年 美元不变价)			0.000 000 000 014 (0.000 0) [0.000 0]		0.000 000 000 014 (0.000 0) [0.000 0]
能源强度(Btu/2000 年 美元不变价)	0.000 49 (0.000 0) [0.000 0]		0.000 3 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 5 (0.000 0) [0.000 0]	0.000 3 (0.000 0) [0.000 0]
能源强度(Btu/2000 年 国际元不变价)		0.001 0 (0.000 0) [0.000 0]			
相关关系(Rho)	0.949 6 (0.064 0) [0.000 0]	0.949 6 (0.064 0) [0.000 0]	0.554 2 (0.169 9) [0.001 1]	0.779 8 (0.127 8) [0.000 0]	0.321 1 (0.198 3) [0.096 7]

注：圆括号中的数字为标准差；
方括号中的数字为 p 值。

一阶自回归系数 ρ (Rho) 在 95% 的置信度上是显著的, 表明 GARCH(1, 1) 模型因为自相关比 OLS 模型能更好地与数据相拟合。因此, 就如美国案例研究那样, 这里只提供 GARCH(1, 1) 的研究结果。

第 1 个模型考察了能源消耗、GDP、能源强度和人口的关系。然而, 人口与能源消耗的关系并不显著。因此, 模型把 GDP 和能源强度作为协变量。两个变量都是显著的并且都是正系数。不过能源强度的系数比 GDP 的系数更大, 这意味着技术进步的边际能源效率更能决定能源消耗。第 2 个模型检验了同样的关系, 唯一的区别是变量用购买力平价来衡量。就像第 1 个模型一样, 第 2 个模型中, 无论是人口还是人口密度都不显著。模型 2 的结果与模型 1 的结果相似, 因此对第 2 个模型不再赘述。

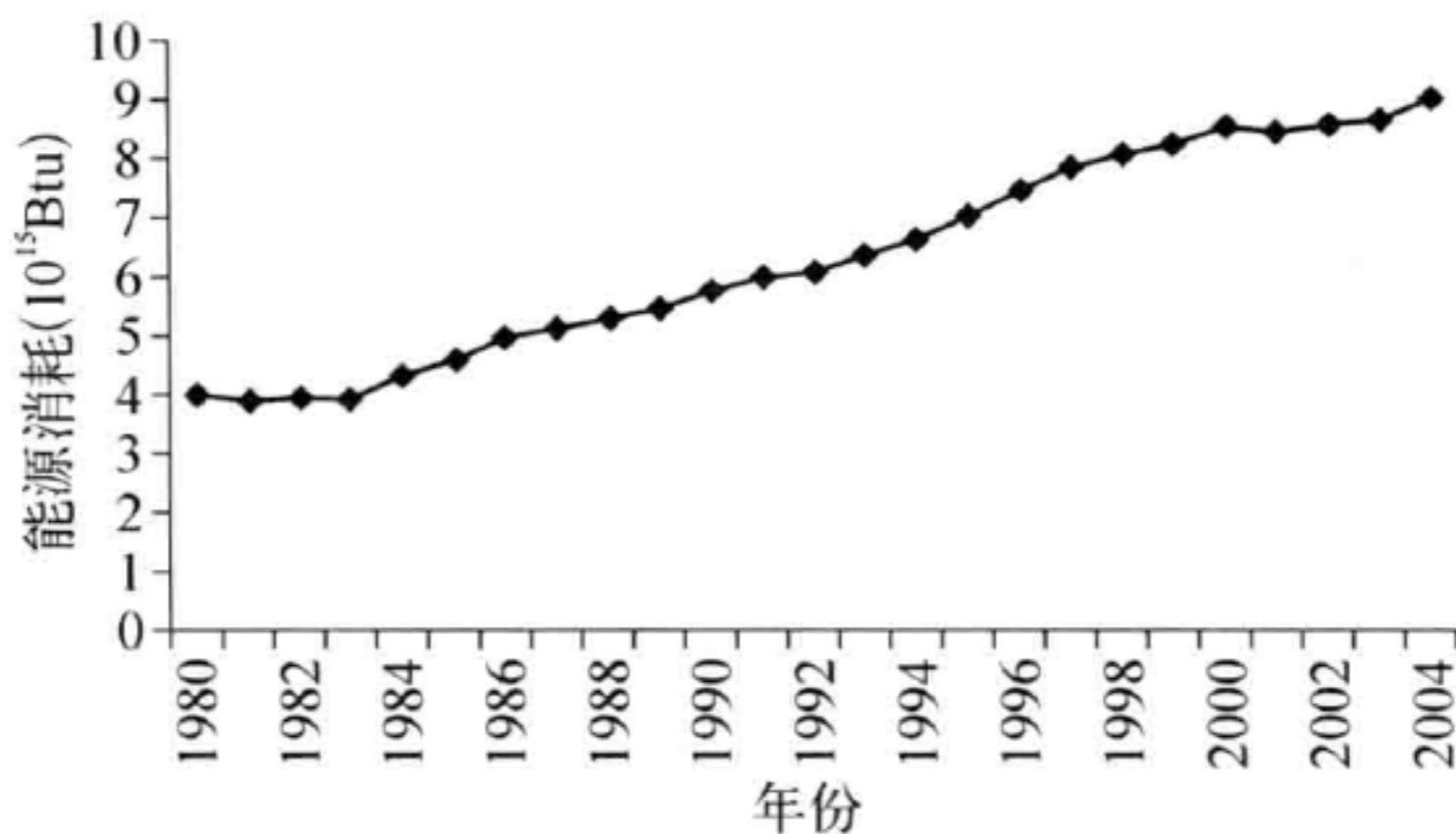


图 4.7 1980~2004 年巴西能源消耗

第 3 个模型检验出口、进口、家庭消耗、政府消耗和能源强度如何影响主要能源消耗总量。人口和人口密度的影响在这个模型中也不显著。这个模型的结果显示每一个变量都是显著的并且有正系数, 这意味着随着这些变量的增加, 能源消耗也增加了。这一结果表明, 从边际角度看, 能源强度对能源消耗的影响是最大的。其他变量的结果

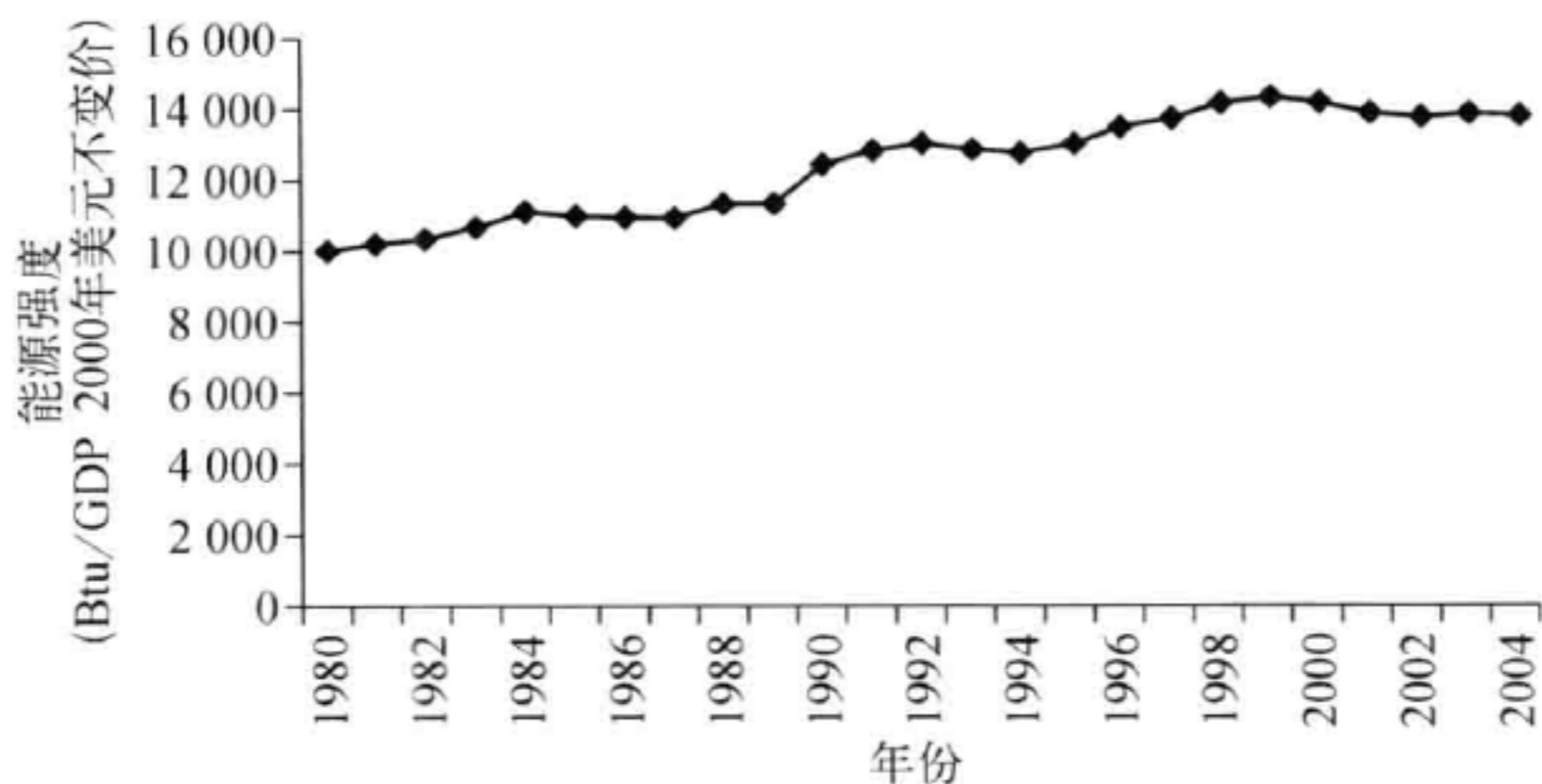


图 4.8 1980~2004 年巴西能源强度

显示，GDP 的构成部门对引起能源消耗增长的影响几乎是一样的。

第 4 和第 5 个模型考察将人口分成城市人口和农村人口是否会更清楚地显现人口在能源消耗方面的某些影响。所有的变量——农村人口、城市人口、GDP 和能源强度——都是显著的。然而结果多少是令人惊讶的。无论是城市人口还是农村人口的系数，都是负的，这意味着，随着这些变量的增加，能源消耗会减少。更进一步的考察发现，巴西的农村人口在所研究的 25 年中已经下降了，这解释了为什么系数是负的。不过在这期间，城市人口的增加表明巴西人口向城市的迁移。然而，这一人口迁移并不引起能源消耗的增加。另一方面，GDP 和能源强度都具有正系数，这表明，随着这些变量的增加，能源消耗也增加了。最重要的是，能源强度的系数是最大的，这意味着从边际角度看，能源强度事实上导致了能源消耗。

模型 5 考察了主要能源消耗总量与城市人口、农村人口、出口、进口、家庭消耗、政府消耗和能源强度的关系。该模型中的所有变量，除了出口和城市人口，都是显著的。此外，除了农村人口，其他显著的变量都有正的系数。农村人口负系数的原因在模型 4 中已经解释了，在此不再讨论。模型 3 中，GDP 构成部门中各部门的系数几乎

都是相同的，这意味着每一变量对能源消耗的边际贡献几乎都相等。另一方面，能源强度的系数最大。这意味着从边际角度看，能源强度对主要能源消耗总量的影响最大。

讨 论

标准的经济理论发现，能源价格会随着用于生产能源的自然资源（如石油和天然气）供应的减少而上涨。这种供求关系产生的价格信号，会促进对减少能源消耗的新节能技术的研发的投资。从长远看，这些技术会导致更低的家庭和公司的能源强度（Velthuisen & Worrell, 2002）。最终的结果将会是环境质量的提高，方式是自然资源消耗的减少，同时对经济的影响也最低（Foster, 2000）。各国能源政策的提出，是以价格信号会引发技术创新从而减少能源消耗为前提的。不过，这些致力于新节能技术的政策，特别是那些面向经济具体部门的政策，真的如许多利益相关者所相信的那样，是解决降低能源消耗这一问题的办法吗？

本章提出了杰文斯悖论可能会在许多国家和地区存在的实证分析。这些结果在思考全球变暖、电力中断次数增加、能源成本的快速增长、石油峰值恐慌和日益增长的能源需求等问题时具有重大意义。本章所提供的信息表明，技术进步并不像决策者们所认为的那样，是普适的补救方法。本章研究涉及不同的国家和地区，说明杰文斯悖论存在的范围是多么广泛。这些案例研究的经济体无论在经济上还是在地理分布上，是有很大差异的。这些案例研究既包括了环境保护水平中等的发达经济体、环境保护水平高的发达经济体、处于发达边缘的发展中国家和地区、正积极促进在能源政策中考虑环境因素的发展中国家和地区。研究结果强有力地表明，以改进节能技术作为解决全球

能源和环境问题的方案并不起作用。相反，节能技术的进步会产生相反的结果，它会促进能源的消费。

然而，能源效率改进继续被提升为一种万能药。比如本章研究的欧洲案例中的一些政策。长期以来，欧洲被认为是促进减少能源消耗和环境污染方面的领导者。我们不妨思考一下欧盟采纳的一些能源政策。比如，已经执行的有关所有成员国必须通过能源效率手段到2012年节能9%的政策，以及所开展的类似能源管理行动和2005~2008年欧洲可持续能源竞赛（欧盟委员会，2007）这样的行动。此外，欧盟期望新的成员国降低它们的能源强度和能源消耗水平，以期与其他成员国保持一致。然而，基于本章前面所展现的杰文斯悖论可能在欧洲存在的结果，我们可以得出结论，政策促进能源效率本身可能并不会减少能源消耗。然而，这里所列举的政策都是最近的行动，还可以举出一长列欧洲国家正在推进和执行的优先管制措施。如果有一个正在推动和管制能源消耗和环境污染的国家可能正经历着杰文斯悖论，那么其他国家又会有什么状况呢？其他三个案例表明了杰文斯悖论存在的广泛性。

然而，这并不是说，在某个具体领域不能促进或追求节能技术。如果个别能源消耗行为明显改变而减少了消费，并且这种行为是坚定不移的，那么节能技术可以进一步减少能源消耗。假若如此，技术改进必然可以被视为其他能源和环境政策的潜在补充。然而，如果消费行为没有显著改变，就如本书自始至终所显示的那样，节能技术实际上就会导致能源消耗的增加。

至于为什么本章提出杰文斯悖论在不同的案例中存在，却没有在本章讨论微观细节，是因为对于每一单个经济体和社会结构的演化检验需要更深层的调查。另外，获得这种信息非常困难，因为这种信

息，特别是家庭能源消耗方面的信息，我们知之甚少。不过，尽管如此，这里所展示的研究是很重要的。这一研究将有助于确定国家和地区的能源政策，以便使能源战略可以得到合理评估。

参考文献

- Allan, G., Hanley, N., McGregor, P., Swales, K. and Turner, K. (2007) 'The impact of increased efficiency in the industrial use of energy: A computable general equilibrium analysis for the United Kingdom', *Energy Economics*, vol 29, no 4, pp779 - 798
- Berkhout, P. H. G., Muskens, J. C. and Velthuisen, J. W. (2000) 'Defining the rebound effect', *Energy Policy*, vol 28, pp425 - 432
- Binswanger, M. (2001) 'Technological progress and sustainable development: What about the rebound effect?', *Ecological Economics*, vol 36, no 1, pp119 - 132
- Birrol, F. and Keppler, J. H. (2000) 'Prices, technology development and the rebound effect', *Energy Policy*, vol 28, pp457 - 469
- Brannlund, R., Ghalwash, T., and Nordstrom, J. (2007) 'Increased energy efficiency and the rebound effect: Effects on consumption and emissions', *Energy Economics*, vol 29, no 1, pp1 - 17
- de Haan, P., Mueller, M. G. and Peters, A. (2006) 'Does the hybrid Toyota Prius lead to rebound effects? Analysis of size and numbers of cars previously owned by Swiss Prius buyers', *Ecological Economics*, vol 58, no 3, pp592 - 605
- Ehrlich, P. R. and Holdren, J. P. (1971) 'Impact of population growth', *Science*, vol 171, pp1212 - 1217
- European Commission. (2007) http://ec.europa.eu/energy/demand/index_en.htm
- Foster, J. B. (2000) 'Capitalism's environmental crisis — Is technology the answer?', *Monthly Review*, vol 52
- Georgescu-Roegen, N. (1975) 'Energy and economic myths', *Southern Economic Journal*, vol XLI, pp347 - 381
- Giampietro, M. and Mayumi, K. (2005) 'Jevons' paradox and complex adaptive systems: Exploring the epistemological conundrum when modeling the evolution of hierarchical systems', unpublished manuscript
- Greene, W. H. (2000) *Econometric Analysis*, 4th edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ
- Greening, L. A., Greene, D. L. and Difiglio, C. (2000) 'Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey', *Energy Policy*, vol 28, pp389 - 401
- Grepperud, S. and Rasmussen, I. (2004). 'A general equilibrium assessment of rebound effects', *Energy Economics*, vol 26, no 2, pp261 - 282

- Gujarati, D. (2003) *Basic Econometrics*, 4th edition, McGraw Hill, New York
- Haas, R. and Biermayr, P. (2000) 'The rebound effect for space heating: Empirical evidence from Austria', *Energy Policy*, vol 28, pp403 - 410
- Haas, R. and Schipper, L. (1998) 'Residential energy demand in OECD-countries and the role of irreversible efficiency improvements', *Energy Economics*, vol 20, no 4, pp421 - 442
- Hicks, A. (1994) 'Introduction to pooling', in T. Janoski and A. Hicks (eds) *The Comparative Political Economy of the Welfare State*, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Howarth, R. B., Haddad, B. M. and Paton, B. (2000) 'The economics of energy efficiency: Insights from voluntary participation programs', *Energy Policy*, vol 28, pp477 - 486
- Jaccard, M. and Bataille, C. (2000) 'Estimating future elasticities of substitution for the rebound effect', *Energy Policy*, vol 28, pp451 - 455
- Jevons, W. S. (1865) *The Coal Question; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines*, 3rd edition revised by A. W. Flux (1965), Augustus M. Kelley, New York
- Kennedy, P. (2003) *A Guide to Econometrics*, MIT Press, Cambridge, MA
- Khazzoom, J. D. (1980) 'Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances', *Energy Journal*, vol 1, pp21 - 40
- Laitner, J. A. (2000) 'Energy efficiency: Rebounding to a sound analytical perspective', *Energy Policy*, vol 28, pp471 - 475
- Murray, M. P. (2006) *Econometrics; A Modern Introduction*, Pearson Addison-Wesley, Boston, MA
- Otto, V., Loschel, A. and Reilly, J. (2006) 'Directed technical change and climate policy', Fondazione Eni Enrico Mattei, Working Paper no 81, June
- Polimeni, J. M. (2007) 'Jevons' paradox and the implications for Europe', *International Business and Economics Research Journal*, forthcoming
- Polimeni, J. M. and Polimeni, R. I. (2006) 'Jevons' paradox and the myth of technological liberation', *Ecological Complexity*, vol 3, no 4, pp344 - 353
- Polimeni, J. M. and Polimeni, R. I. (2007a) 'Energy consumption in transitional economies (Part I): Jevons' paradox for Romania, Bulgaria, Hungary and Poland', *Romanian Journal of Economic Forecasting*, forthcoming
- Polimeni, R. I. and Polimeni, J. M. (2007b) 'Energy consumption in transitional economies (Part II): Multi-scale integrated analysis of societal metabolism and Jevons' paradox for Romania, Bulgaria, Hungary and Poland', *Romanian Journal of Economic Forecasting*, forthcoming
- Roy, J. (2000) 'The rebound effect: Some empirical evidence from India', *Energy Policy*, vol 28, pp433 - 438
- Saunders, H. D. (2000) 'A view from the macro side: Rebound, backfire and Khazzoom-Brookes', *Energy Policy*, vol 28, pp439 - 449

Schipper, L. and Grubb, M. (2000) 'On the rebound? Feedbacks between energy intensities and energy uses in IEA countries' , *Energy Policy*, vol 28, pp367 - 388

Small, K. and Van Dender, K. (2006) 'Fuel efficiency and motor vehicle travel: The declining rebound effect' , University of California-Irvine, Department of Economics, Working Paper no 05 - 06 - 03

Velthuisen, J. W. and Worrell, E. (2002) 'The economics of energy' , in J. C. J. M. van den Bergh (ed) *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar, Cheltenham, UK, pp177 - 194

Wirl, F. (1997) *The Economics of Conservation Programs*, Kluwer Academic, Boston, MA
Zein-Elabdin, E. O. (1997) 'Improved stoves in Sub-Saharan Africa: The case of the Sudan' , *Energy Economics*, vol 19, no 4, pp465 - 475

第 5 章 结 论

杰文斯悖论与“马尔萨斯不稳定性”相关。“马尔萨斯不稳定性”这一术语由莱泽尔(Layzer)(1988)首先提出,指的是能够自我复制的新陈代谢系统(所有生命系统)。这表明,当系统在有利条件下运行时,它们会不可避免地超越环境的承载能力。这使得自然选择过程的结果将决定生态系统持续不断演化的张力。也就是说,生命系统的自然趋势是“陷入困境”,这是提高它们的适应能力并且变成其他什么东西的机制。在单独的新陈代谢系统层级,这种马尔萨斯不稳定性因在能源方面提供正回报的活动的存在而变得可能。我们可以用技术术语说,这些活动因正反馈或自催化循环而产生。比如,如果你投入 10 兆焦耳来开展一项活动,你从活动中得到了 100 兆焦耳的回报;然而,如果你再投入 90 兆焦耳的能源收益去开展更多同样的活动,你就会得到总量为 900 兆焦耳的能量回报。众所周知,像这样的正反馈,不能在很长时间内不加约束。我们可以回忆一下棋盘故事:如果你在第一个格子里放 1 粒稻谷,第二个格子里放 2 粒稻谷,第三个格

子里放4粒稻谷，每一个格子里的稻谷数都是前一个格子中稻谷的双倍，那么，在第64个格子到达之前的某一个格子中的稻谷数，就已经达到天文数字了。这个故事的比喻已经说明了全部问题。超级循环或正的自催化循环，在没有控制(和抑制)的耦合过程中运行时，不可能长期存在，它们会爆炸(Ulanowicz, 1986)。另一方面，正的自催化循环被要求提供那些有用活动所需能源，但是这意味着会有能源的净损失。

在研究社会经济系统能量代谢的可持续性时，乔治斯库-罗根引入了类似的概念——“普罗米修斯技术”概念(或有活力的能源技术)，以界定能导致马尔萨斯不稳定性的技术类型。如果，仅仅是如果，这一技术在被既有的、正使用的技术创建后可以用剩余能量自我复制，那么这项技术是有活力的，就如同是一个能生产发育的生物(Georgescu-Roegen, 1978)。

根据这种定义，技术的可行性不足以界定其生存发展能力。比如，直接利用太阳能技术是可行的，这意味着，在其使用生命周期中，能源的综合平衡是赤字(因为其他类型的能源来自外部，而太阳能技术的直接利用则需要太阳的运行)，但是这项技术并不具有活力。根据乔治斯库-罗根的说法，在人类历史上，我们仅仅拥有三项普罗米修斯技术：

1. 饲养业(农业)；
2. 掌握了使用火的方法；
3. 蒸汽发动机(或更广义地说，是内燃发动机)与化石能源的耦合。

这些技术都具有共同的爆炸性特征：“星星之火，可以燎原。尽管这种性质并不是暴力的，它是以其他两个普罗米修斯方法为特征

的” (Georgescu-Roegen, 1992)。土地是农业的特别驱动因素。化石燃料是现代工业的特别推动因素。就如图 5.1 所描述的, 由于普罗米修斯技术的自催化性质, 人类很快会因采用各种技术耗尽燃料的特定存量而陷入马尔萨斯不稳定性困境。特别地, 由于过去 50 年间充足的高质量石油供应和持续的技术效率改进, 现代社会极具争议的以石油为基础的代谢, 已经在世界范围内催生了与杰文斯悖论相关的现象, 如第 4 章实证分析的那样。

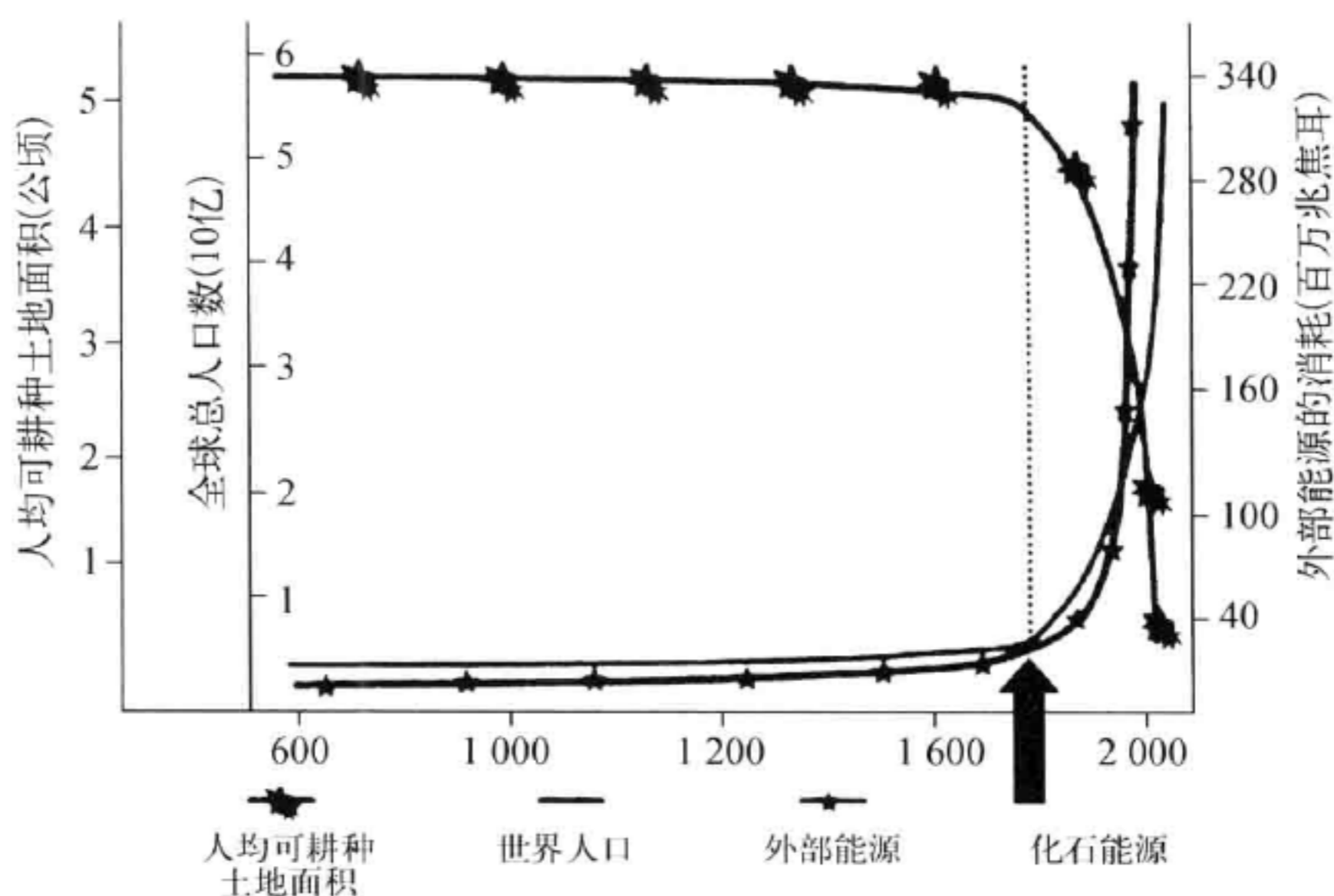
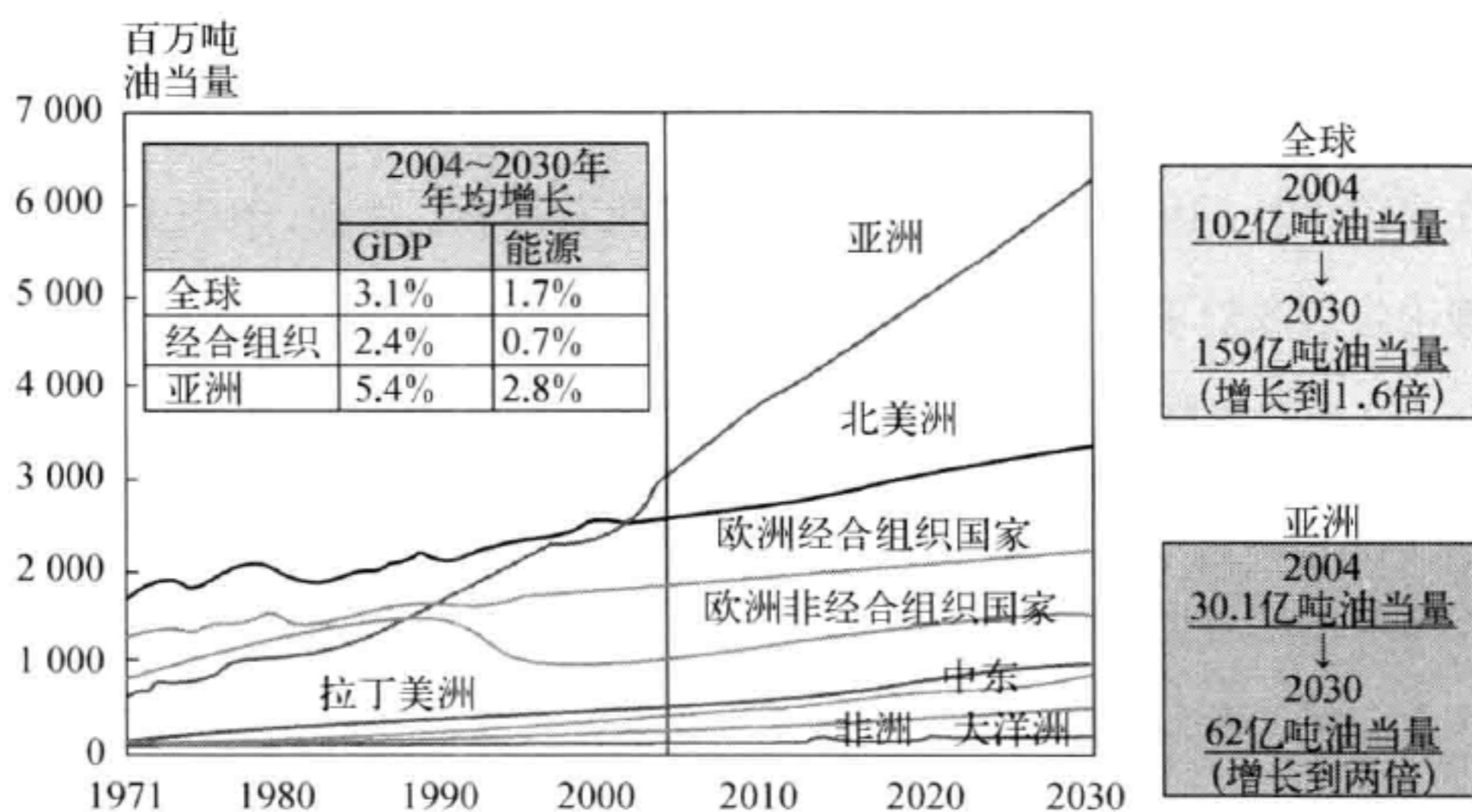


图 5.1 因大量使用普罗米修斯技术而导致的人口演化的重要中断

杰文斯悖论在小范围学术圈之外很少有人知道。不过在能源价格高启、环境意识觉醒和对石油峰值关心的时代, 这个问题具有新的重要意义。当前, 石油几乎是我们所消费的所有产品的能源来源。不过, 如果就像西蒙斯 (M. Simmons) (2005) 生动描述的那样, 石油的衰退期真正临近, 沙特阿拉伯和其他中东国家的石油生产商不能再提供世界所需要的充足石油, 那么, 我们就必须开始考虑可替代能源的前景, 以替代传统的以石油为基础的生产方式。

看到图 5.1, 人们会期待能迅速逆转能源消费的趋势马上出现,

因为地球的内部资源是有限的，其消耗指数的高增长不可能长期保持。不幸的是，观察那些与经济增长有关的预期能源增长（图 5.2），会发现未来情况会变得更糟糕。特别是在亚洲的发展中国家，预计在 2004~2030 年，每年的能源需求增长速度达 5.4%（Ito, 2007）。



■ 到2030年，考虑到亚洲经济高速增长，亚洲主要能源需求将达到当前水平的两倍：从30.1亿吨油当量(2004)上升到62亿吨油当量(2030)

图 5.2 全球主要能源需求的地区分布

资料来源：日本能源经济研究所（IEEJ），《2006年亚洲/世界能源展望》（2006年9月）

石油储量的逐渐减少将迫使全球转而使用煤炭、天然气和非传统的石油资源如页岩油、含油砂和焦油砂。然而，这些能源资源的供给也是有限的，并且它们中的大多数质量比目前石油资源的质量低得多。虽然如此，在全世界等着用技术手段解决能源危机的时候，这些可替代化石能源资源的消费将会大幅度增长，从而造成对环境的巨大破坏。那些不依赖于化石能源的可替代能源资源是不切实际的，因为从它们的整个生命周期评估来看，其能源投资收益率(EROI)很低。在能源分析中，能源投资收益率是能源系统投入到社会中的能源数量

和在投入过程中直接和间接使用能源的数量的比率。这一指数已经在能源定量分析中被介绍和使用(Cleveland et al., 1984; Hall et al., 1986; Cleveland, 1992)。比如,核能的能源投资收益率低,是因为以下各项成本:采集和补充所需燃料、建造新工厂和旧厂房退役等的成本,加上处理和安放(实际上是永久性的)核废料的成本。同样的低能源投资收益率问题也存在于生物燃料和光电技术中。这就是说,当前很多被推荐的化石能源替代技术,并不是具有活力的技术,它们仅仅在当前可行,因为它们自身也高度依赖化石燃料。然而,传统的经济理论告诉我们不要担心,随着能源资源供应的减少,它们的价格会上升,这会产生能源的新技术来源。

本书从历史回顾到理论和实证分析,所提供的所有信息都表明:杰文斯悖论对世界能源安全和环境是一个非常真切的威胁。有人可能马上会问,那么如何解决这个问题?我们是否要因为寻求能源效率是走向错误方向的一步而必须停止前进呢?

本书的目的不是谴责技术,也不是基于科学分析为人类的可持续发展提出正确的道路。本书的目的是要说明,技术不是像许多人所相信的那样是灵丹妙药。技术可以扩大人类的选择空间,并且通过提供技术服务,为解决能源-环境问题提供了重要的补充。举例来说,技术上的节能改进,如混合动力汽车,可能为发达国家的家庭代谢提供了一条不同的演化路径。然而,如果未来全球90亿人口采用混合动力汽车,混合动力汽车本身也不可能解决现代生活方式的不可持续性问题。如果要改进能源-环境状况,消费者需要改变他们的行为模式,包括在他们选择决策时考虑环境优先权。同样,决策者和其他重要利益相关者需要接受意味着“变化的灾难”的挑战(如第3章所讨论的),而这是演化系统所特有的。人类必须接受失去某些东西以便能够留住

某些别的东西的情况。

应付“变化的灾难”的需要——它不可避免地 与演化联系在一起——是解决杰文斯悖论的关键。变化的灾难的大问题是与可持续性相关的选择，是那些要求自反性的选择——自愿改变自己，以便能与其他人和环境共同演变。不幸的是，基于自反性的选择在我们现代社会并不受欢迎，因为它们意味着，在处理道德问题时，我们需要对自身特性进行改变和再讨论。正因为如此，人类首先试图从外表化而不是从自反性寻求选择。新古典经济范式在以下方面是个好例子：在这样的范式中，重要的是愿意为了能够尽可能长地维护我们自身的特性而支付出台高招和政策的费用。但是，这个范式导致了一个否定明显事实——人类对他们所做选择负有责任——的危险形态。根据新古典经济范式，人类的形成过程必须受市场和技术进步的推动。只要我们接受这种范式，我们可以继续做我们正在做的，而不用思考和反省我们选择的后果。

我们相信，自反性是解决杰文斯悖论所必需的，并且这是处理可持续性问题的唯一道路。因此，我们希望科学家们能为决策者们提供证据，使决策者们和其他强有力的利益相关者关注到杰文斯悖论。事实上，不管未来我们提出用什么样的新能源和高招，特别是在我们发现另外的普罗米修斯技术时，杰文斯悖论可能将会始终伴随着我们。

鸣 谢

感谢日本能源经济研究所总经理伊藤浩吉(Kokichi Ito)博士允许我们制作加工图 5.1 和 5.2。感谢他的友善和支持。

参考文献

Cleveland, C. J. (1922) 'Energy quality and energy surplus in the extraction of fossil fuels in the U. S. ', *Ecological Economics*, vol 6, pp139 - 162

Cleveland, C. J., Costanza, R., Hall, C. A. S. and Kaufmann, R. (1984) 'Energy and the U. S. economy: A biophysical perspective', *Science*, vol 225, pp890 - 897

Georgescu-Roegen, N. (1978) 'Technology assessment: The case of the direct use of solar energy', *Atlantic Economic Journal*, vol 6, pp15 - 21

Georgescu-Roegen, N. (1992) 'Nicholas Georgescu-Roegen about himself', in M. Szenberg (ed) *The Life Philosophies of Eminent Economists*, CUP, New York

Hall, C. A. S., Cleveland, C. J. and Kaufman, R. (1986) *Energy and Resource Quality*, John Wiley and Sons, New York

Ito, K. (2007) 'Setting goals and action plan for energy efficiency improvement' presented at the EAS Energy Efficiency and Conservation Conference, Tokyo, 18 June

Layzer, D. (1988) 'Growth of order in the universe', in B. H. Weber, D. J. Depew and J. D. Smith (eds) *Entropy, Information and Evolution*, MIT Press, Cambridge, MA

Luft, G. (2007) 'Fueling the dragon: China's race into the oil market', www.iags.org/china.htm

Simmons, M. R. (2005) *Twilight in the Desert: The Coming Saudi Oil Shock and the World Economy*, John Wiley and Sons, Hoboken, NJ

Ulanowicz, R. E. (1986) *Growth and Development: Ecosystem Phenomenology*, Springer-Verlag, New York

The Myth of Resource Efficiency: The Jevons Paradox/
by John M. Polimeni, Kozo Mayumi, Mario Giampietro and Blake Alcott/
ISBN 978 - 1 - 84407 - 813 - 4

Originally published in 2008 as *The Jevons Paradox and
the Myth of Resource Efficiency Improvements*
This edition first published in 2009

Copyright © 2008 by John M. Polimeni, Kozo Mayumi,
Mario Giampietro and Blake Alcott
All rights reserved

Authorized translation from English language edition published as
an Earthscan title by Routledge, a member of the Taylor & Francis Group.
本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下的 Routledge 出版公司出版。

Shanghai Scientific & Technical Publishers is authorized to publish and
distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition.

This edition is authorized for sale throughout Mainland of China.
No part of the publication may be reproduced or distributed by any means,
or stored in a database or retrieval system,
without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体翻译版授权由上海科学技术出版社
独家出版并限在中国大陆地区销售。
未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker
on the back cover are unauthorized and illegal.
本书封底贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签，无标签者不得销售。

世纪人文系列丛书 (2013 年出版)

一、世纪文库

《内战记》 [古罗马] 凯撒 著 顾今远 译

《论海洋自由或荷兰参与东印度贸易的权利》 [荷] 雨果·格劳秀斯 著 马忠法 译

《法社会学》 [德] 尼克拉斯·卢曼 著 宾凯 赵春燕 译

《国民经济学原理》 [奥] 卡尔·门格尔 著 刘絮敖 译

二、世纪前沿

《群体冲突的逻辑》 [美] 拉塞尔·哈丁 著 刘春荣 汤艳文 译

《烛幽之光：哲学问题的人类学省思》 [美] 克利福德·格尔兹 著 甘会斌 译

《在自然主义与宗教之间》 [德] 尤尔根·哈贝马斯 著 郁喆隽 译

三、开放人文·科学人文

《科学史与科学哲学导论》 [澳] 约翰·A·舒斯特 著 安维复 主译

《大流感——最致命瘟疫的史诗》 [美] 约翰·M·巴里 著 钟扬 赵佳媛 刘念 译 金力 校

《霸王龙和陨星坑——天体撞击如何导致物种灭绝》 [美] 沃尔特·阿尔瓦雷斯 著 马星垣 车宝印 译

《整体性与隐缠序——卷展中的宇宙与意识》 [美] 戴维·玻姆 著 洪宝国 张桂权 查有梁 译

《生活中的毒理学》 [美] 史蒂芬·G·吉尔伯特 著 周志俊 顾新生 刘江红等 译

《生态创新——社会可持续发展和企业竞争力提高的双赢》 [西] 贾维尔·卡里略-赫莫斯拉巴勃罗·戴尔里奥·冈萨雷斯 托蒂·康诺拉 著 闻朝君 译

《杰文斯悖论——技术进步能解决资源难题吗》 [美] 约翰·M·波利梅尼 [日] 真弓浩三 [西] 马里奥·詹彼得罗 [英] 布莱克·奥尔科特 著 许洁 译



Routledge
Taylor & Francis Group

上架建议：经济 / 能源



ISBN 978-7-5478-2111-4



9 787547 821114 >

定价：40.00 元

易文网：www.ewen.cc