



中国社会科学院文库·经济研究系列
The Selected Works of CASS · Economics

中国能源利用效率问题研究

STUDY ON THE ENERGY EFFICIENCY
IN CHINA

—
史
丹
等
著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE



中国社会科学院文库·经济研究系列
The Selected Works of CASS·Economics

中国能源利用效率问题研究

Study on the Energy Efficiency
in China

史丹等/著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目(CIP)数据

中国能源利用效率问题研究/史丹等著. —北京: 经济管理出版社, 2011. 6

ISBN 978-7-5096-1525-6

I. ①中… II. ①史… III. ①能源—综合利用—效率—研究报告—中国 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 124369 号

出版发行: 经济管理出版社

北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 11 层

电话: (010)51915602 邮编: 100038

印刷: 北京银祥印刷厂

经销: 新华书店

组稿编辑: 杜 菲

责任编辑: 杜 菲

责任印制: 黄 铄

责任校对: 蒋 方

720mm×1000mm/16

32 印张

709 千字

2011 年 10 月第 1 版

2011 年 10 月第 1 次印刷

定价: 88.00 元

书号: ISBN 978-7-5096-1525-6

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部
负责调换。联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010)68022974

邮编: 100836

《中国社会科学院文库》 出版说明

《中国社会科学院文库》（全称为《中国社会科学院重点研究课题成果文库》）是中国社会科学院组织出版的系列学术丛书。组织出版《中国社会科学院文库》，是我院进一步加强课题成果管理和学术成果出版的规范化、制度化建设的重要举措。

建院以来，我院广大科研人员坚持以马克思主义为指导，在中国特色社会主义理论和实践的双重探索中做出了重要贡献，在推进马克思主义理论创新、为建设中国特色社会主义提供智力支持和各学科基础建设方面，推出了大量的研究成果，其中每年完成的专著类成果就有三四百种之多。从现在起，我们经过一定的鉴定、结项、评审程序，逐年从中选出一批通过各类别课题研究工作而完成的具有较高学术水平和一定代表性的著作，编入《中国社会科学院文库》集中出版。我们希望这能够从一个侧面展示我院整体科研状况和学术成就，同时为优秀学术成果的面世创造更好的条件。

《中国社会科学院文库》分设马克思主义研究、文学语言研究、历史考古研究、哲学宗教研究、经济研究、法学社会学研究、国际问题研究七个系列，选收范围包括专著、研究报告集、学术资料、古籍整理、译著、工具书等。

中国社会科学院科研局
2006年11月

目 录

第一篇 总论篇

第一章 能源利用效率的变动趋势与国际比较	3
第一节 能源利用效率的含义与度量	3
第二节 能源利用效率的变动趋势	7
第三节 提高能源利用效率的意义	15
第二章 中国能源利用效率的潜力分析	21
第一节 基于单要素法能源利用效率潜力的分析	21
第二节 基于全要素法能源利用效率潜力的分析	35
第三节 两种研究方法的对比	45
第三章 能源利用效率影响因素的综合分析	49
第一节 能源利用效率相关因素的描述	49
第二节 能源利用效率影响因素的统计分析	62
第三节 典型地区能源利用效率影响因素的对比分析	67
第四章 增长方式对能源利用效率的影响	73
第一节 中国能源利用效率的地区差异	73
第二节 分析框架和模型方法	76
第三节 要素组合对能源利用效率的影响	80
第五章 工业化与能源相对价格对能源利用效率的影响	86
第一节 分析路线与理论框架	86
第二节 能源利用效率与影响因素的回归分析	92
第三节 研究结论	98



第六章 产业结构对能源利用效率的影响	100
第一节 能源消费强度波动及阶段划分.....	101
第二节 各产业对能源消费强度变化的贡献.....	105
第三节 结构作用上升的原因分析及政策建议.....	111
第七章 高耗能行业能源利用效率及其区域差异	118
第一节 能源利用效率变化及区域比较.....	118
第二节 行业能源效率区域差异的原因分析.....	126
第三节 相关政策建议.....	130
第八章 自然环境因素对能源效率的影响	133
第一节 加入自然环境因素能源利用效率的分析方法.....	133
第二节 自然环境因素指标与变量的选择.....	136
第三节 考虑自然环境因素全要素能源利用效率.....	140
第九章 中国能源效率波动的原因与政策冲击	146
第一节 能源利用效率波动的特征与测量.....	147
第二节 理论模型与数值校准.....	150
第三节 能源利用效率波动的模拟.....	159
第四节 政策试验.....	162

第二篇 行业篇

第十章 水泥工业发展与能源利用效率的改进	177
第一节 我国水泥行业及其能耗状况.....	177
第二节 我国水泥行业节能进展与潜力.....	187
第三节 进一步节能的政策与措施.....	197
第十一章 有色金属工业的发展及节能途径	202
第一节 有色金属工业现状与发展趋势.....	202
第二节 有色金属工业节能途径.....	220
第十二章 中国钢铁工业发展现状与节能减排	232
第一节 钢铁工业发展现状与趋势分析.....	232
第二节 钢铁工业能耗现状分析.....	237
第三节 钢铁工业的节能减排及影响因素.....	243



第四节	钢铁工业能效的国际比较分析·····	248
第五节	进一步提高钢铁业能效的途径与政策建议·····	249
第十三章	石化行业发展与能源利用效率·····	253
第一节	石化工业发展现状与趋势·····	253
第二节	石化工业能源利用特点·····	260
第三节	我国石化工业节能效果与节能潜力分析·····	263
第四节	石化工业能耗水平的影响因素分析·····	267
第五节	进一步提升我国石化工业能源效率的措施·····	272
第十四章	机械工业发展及节能途径·····	275
第一节	机械工业现状及发展趋势·····	275
第二节	机械工业能源利用效率趋势及影响因素·····	277
第三节	机械工业为降低能耗已采取的主要措施及存在的问题·····	284
第四节	机械工业能源利用效率的国际比较与节能潜力分析·····	287
第五节	进一步提高行业能源利用效率的改进措施与对策建议·····	290
第十五章	电力工业发展与节能进展·····	295
第一节	我国电力工业发展及其能耗状况·····	295
第二节	我国电力工业节能进展与潜力·····	303
第三节	当前我国电力工业节能工作面临的困难·····	313
第四节	促进我国电力工业进一步节能的政策与措施·····	314
第十六章	家电行业的发展及其对改进能效的作用·····	317
第一节	我国家电行业整体发展状况·····	317
第二节	2009年家电行业发展良好态势和问题·····	319
第三节	我国家电行业能源效率问题·····	322
第十七章	大型公共建筑节能潜力及节能途径分析·····	332
第一节	大型公共建筑能源消费的特点·····	332
第二节	节能潜力和路径分析·····	338
第三节	大型公共建筑节能取得的成效·····	342
第四节	大型公共建筑节能的主要障碍与政策建议·····	345
第十八章	交通运输发展与能源消耗·····	350



第一节	我国交通运输业的发展	350
第二节	我国交通运输的能源消耗	372
第十九章	新一代环保节能机场建设的国内外政策措施研究	389
第一节	我国机场建设及未来的发展趋势	389
第二节	国外建设节能环保机场的政策措施及管理经验	392
第三节	我国民用机场节能环保的政策措施和管理制度	401
第四节	加强建设新一代环保节能机场的政策建议	414
第三篇 政策篇		
第二十章	加强和完善节能财政政策的若干建议	421
第一节	我国节能财政政策存在的问题与不足	421
第二节	国际节能财政政策分析	423
第三节	我国节能财政政策的发展目标和支持方向	425
第四节	加强和完善节能财政政策的若干建议	427
第二十一章	北京市节能工作调研报告	431
第一节	北京市经济发展和能源利用现状	431
第二节	北京市实施的节能措施和相关政策	440
第三节	北京市节能政策的效果与问题	450
第四节	北京市下一阶段节能减排面临的挑战	455
第五节	政策建议	460
第二十二章	广东省节能工作调研报告	464
第一节	广东省经济发展和能源利用现状	464
第二节	广东省实施的节能政策	471
第三节	广东省节能政策的实施效果及问题	480
第四节	发展战略转型和国际金融危机下广东省节能形势	485
第五节	政策建议	488
参考文献		492
后记		503

第一篇 总论篇



第一章 能源利用效率的变动趋势 与国际比较

第一节 能源利用效率的含义与度量

效率几乎是各学科都要研究的问题。由于学科不同，对效率的定义和研究角度及理论基础也有所不同。由于能源利用涉及自然科学技术和经济社会发展等多个方面，了解和区分不同学科关于“能源利用效率”的定义是十分必要的。换言之，能源利用效率的分析需要综合不同学科的理论和方法才能更加全面。

一、物理学关于效率的定义和度量

物理学认为，能量就是一切物质运动、变化和相互作用的度量。利用能量，从实质上讲，就是利用自然界的某一自发变化的过程来推动另一人为的过程（黄素逸和高伟，2007）。由于物质运动有多种形式，所以能量也就有与运动形式相对应的不同形式，大致分为机械能、热能、电能、辐射能、化学能和核能六种。除了尚未发展机械能可以直接转换为化学能和核能的方法外，其余各种能量形式都可以按一定的方法进行转换。人类利用能源资源，主要是对其进行能量转换满足人类的多种需要。如果说劳动创造了世界，那么这种创造首先就是从能量的使用开始的。关于能量利用有两个定律：能量守恒定律（热力学第一定律）和能源贬值原理（热力学第二定律）。能量守恒定律表明，自然界的一切物质都具有能量，能源不可能被创造，也不可能被消灭，而只能在一定条件下从一种形式转变为另一种形式，在转换过程中能量总量恒定不变，这是热力学的第一定律。显然，任何能量转换都需要一定的转换条件，并在一定的设备和系统中实现。能量转换过程中要做功，反之，做功能产生能量。由于在转换过程中存在多种不可逆因素，总伴随着能量的损失，表现为能量质量和品位的降低，即做功能力的下降，也就是能源贬值，这就是热力学第二定律。

从能源转换的角度，可以把能量分为 Exergie 和 Anergie 两部分，Exergie 是在给定的环境条件下，可能连续地完成转换为任何一种其他形式的能量，所



以 Exergie 又被称为可用能或者有效能。Anergie 则是一种不可能逆转的能量，被称为无用能和无效能。一切形式的能量，都可以表示成：

$$\text{Energy} = \text{Exergie} + \text{Anergie}$$

1. 能量转换效率

能源转换是能量的最重要属性，也是能量利用中的最重要环节。物理学研究能源效率就是研究能量转换的效率，即投入的能量（做功）与获得的有用能量（有用功）的比。对于不同的设备，在能量转换和传递过程中，各种热力循环、热力设备和能量利用装置，其效率都不可能是 100% 的，其效率计算如下：

对动力循环，热效率 $\eta = \text{输出功} / \text{供给热}$

对热设备，热效率 $\eta = \text{有效利用热} / \text{供给热}$

对制冷设备，制冷系数 $\epsilon = \text{从低温热源“抽”走的热} / \text{消耗功}$

对供热循环，供暖系数 $\epsilon = \text{供给高温热源的热} / \text{消耗功}$

在物理学中，能量的单位、功及热量的单位通常都用焦耳（J）表示，而单位时间内所做的功或吸收（释放）的热量则称为功率。在工程应用和能源文献中，还使用其他一些单位，如卡、大卡、标煤当量、标油当量等，它们与国际单位之间的关系是：1 卡 = 4.186 焦耳，1 千克标煤当量（kgce）= 7000 大卡，1 千克标油当量（kgoe）= 10000 大卡。

物理学关于能源利用效率的分析方法适用某种设备和某个生产环节的能源利用效率的分析。

2. 能源系统效率

能源系统效率是能源部门使用的概念。能源利用是一个系统工程，包括能源开采、储存、运输、加工、转换、最终消费等多个环节。为了区别和分析每个环节及整个能源系统的效率，我们分别对每个环节的能源利用效率进行定义：

（1）开采环节的效率用采收率表示：采收率 = 采出量 / 地质储量。

地质储量是指经过地质勘探手段，查明埋藏地下的资源数量，根据区域地质测量、矿产分布规律或根据区域构造单元并结合已知矿产地的成矿规律进行预测的储量，是矿产资源储量中探明程度最差的一级储量。根据矿床勘探和研究程度，岩金矿床地质储量目前分为 A、B、C、D 四级。其中 A、B、C 三级称为工业储量，D 级称为远景储量。因此，地质储量又称为预测储量。

能源加工（选煤、炼油等）、转换（发电、产热、炼焦、制气等）和储运环节称为中间环节，中间环节效率 = 能源产出量 / 能源投入量 = 1 - 加工转换储运的损耗量 / 投入量。

终端能源消费等于一次能源消费量扣除所用能源以及加工、转换、储运损失后，供终端用户使用的能源量。终端能源利用效率的计算则与上述物理热效率计算方法相似，是终端能源消费环节设备和生产系统的能源转换效率。



能源效率表示： $\text{能源效率} = \text{中间环节效率} \times \text{终端利用效率}$ 。

能源系统效率表示： $\text{能源系统效率} = \text{能源开采效率} \times \text{中间环节效率} \times \text{终端利用效率}$ 。

能源系统效率与热力学的能量利用效率的最大区别是把分析对象由某个环节扩展到整个能源生产加工运输使用全过程，把能源生产与加工转换行业作为一个能源系统来研究。共同点是其定义和测量完全是从技术角度出发，仅考虑从能源消费中所获得的有用功或者热量，而不考虑消耗能量所产生的经济成本和社会效益。因此，能源系统效率是一个无量纲，属于物理学的度量方法。

表 1-1 中国能源系统效率

单位：%

	1989年	1997年	2000年	2004年	2005年	2007年
开采效率	31.1	33.0	33.5	35.4	35.8	33.2
中间环节效率	72.4	68.8	67.8	68.6	69.6	68.4
终端利用效率						
农业	28.0	30.5	32.0	33.0	33.0	33.0
工业	40.5	46.3	49.6	53.4	53.4	53.8
交通运输业	25.4	28.9	28.1	28.1	28.6	26.6
民用和商业	42.5	54.8	66.2	70.8	71.5	73.3
合计	38.7	45.3	49.2	52.1	52.2	52.9
能源效率 (2×3)	28.0	31.2	33.4	35.7	36.3	36.2
能源系统总效率 (1×4)	8.7	10.3	11.2	12.6	13.0	12.0

注：中间环节是能源加工、转换和储运；工业包括建筑业，民用和商业包括其他部门。

资料来源：王庆根据国际通行的能源平衡定义和计算方法计算得出。

二、经济学关于效率的定义和研究角度

经济学主要研究资源配置效率并有其独特的视角，经济学关于效率的定义是：在不会使其他人境况变坏的前提下，如果一项经济活动不再有可能增进任何人的经济福利，则该项经济活动就被认为是有效率的。所谓效率，就是社会资源得到合理利用，或者说社会福利通过资源分配和运用实现了最大化。在同样的生产技术条件下，如果某一生产企业的产出或成本低于或者高于其他企业，这就意味着资源没有得到充分的利用，因此经济学把效率定义为企业实际产出和该技术条件下的最大可能产出之间的比值。如企业的实际产出是 900，而该技术条件下的最大可能产出是 1000，则企业的效率指标为 0.9。根据影响因素，国外学者把生产效率分为技术效率、分配效率和结构效率。^① 技术效率

^① G. Anandalingam; Nalin Kulatilaka, Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General), Vol. 150, No. 2 (1987) .

Jin-Li Hu, Shih-Chuan Wang, Total-factor Energy Efficiency of Regions in China, Energy Policy 34 (2006) .



与分配效率是由企业所决定的，前者是指企业在给定投入的情况下如何获得最大的产出；后者则是指企业如何根据市场价格优化企业的要素投入以实现成本最小化。结构效率则是企业的外部效率，主要与政府对市场的干预有关。

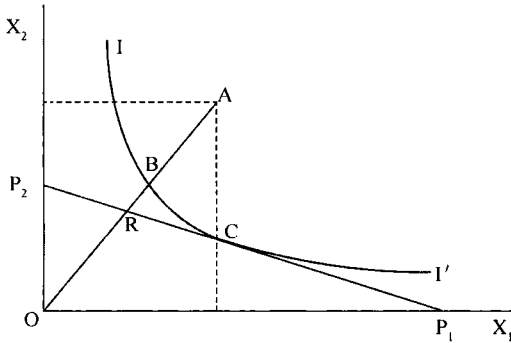


图 1-1 企业的技术效率、分配效率
与经济效率

图 1-1 表示结构效率、技术效率、分配效率的含义及其相互关系。

技术效率： $TE = OB/OA$

分配效率： $AE = OR/OB$

结构效率： $EE = TE \times AE = OR/OA$

$0 \leq TE, AE, EE \leq 1$

在经济学中，技术效率不完全取决于技术因素，而是企业各种能力和水平的综合体现，虽然经济学关于效率的度量也是一个无量纲，但它与物理学中的能量效率不是一个概念，物理学中的能量效率完全是一个技术方面的概念。物理学与经济学的计算方法也完全不同。

三、管理学关于效率的定义和度量

管理学关于效率的定义就是单位投入的产出。如劳动效率是指单位劳动时间内所完成的有效工作或者产出，资本效率就是占用的资金和所获得的利润的比较。可以运用管理学的方法进行宏观层面上的能源利用效率分析，即能源利用效率等于国民经济总产出（价值量）与能源消耗总量的比；或若对某个行业或者某个企业能源利用效率进行分析，即能源利用效率等于行业或者企业产出与相应的能源消耗量的比，其中，产出可采用价值量，也可采用物理量。用物理量的好处是可以剔除价格因素的影响。

国民经济能源利用效率 = $GDP / \text{能源消费总量}$

某一行业或者企业的能源利用效率 = $\text{该行业的增加值} / \text{该行业的能源消费量}$

能源利用效率与能源消耗强度（单位产出的能源消耗）互为倒数，能源消耗强度越大，能源利用效率越低；反之亦然。为了便于分析，本书采用能源消耗强度代替能源利用效率。由公式可见，管理学中的能源利用效率是有量纲的，其所关注的不仅是能源投入，而且还关注投入所带来的实际收益。

管理学和经济学关于能源利用效率的定义，暗示着能源利用效率不仅与技术因素相关，而且与经济因素和社会因素相关。但经济学是研究资源的配置效率，管理学则是研究资源的直接使用效果。



第二节 能源利用效率的变动趋势

一、长期变动趋势

能源利用效率的变动趋势与规律需要通过长期的观察才能发现。图 1-2 是英国和美国自 1800 年以来能源消费强度的变动趋势。根据这两个国家的数
据，可以发现能源消费强度的变动趋势呈倒“U”形变动。从 19 世纪开始，英、美两国开始了工业化的进程，由于生产过程中大量使用能源作为动力替代人力，从而极大地提高了劳动生

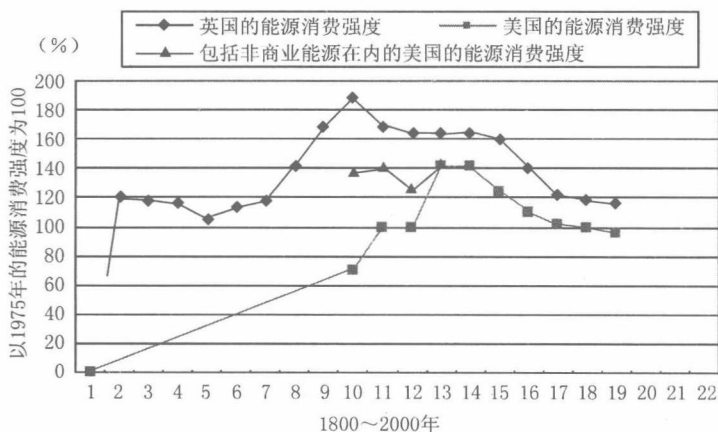


图 1-2 英、美两国能源消费强度的变化

产率；但随着高耗能产业的快速发展，能源消费的增长高于经济增长，能源消费强度呈上升趋势。这个上升的过程直到英、美两国完成工业化后才得以结束。在工业化后期和后工业时期，由于产业结构的优化和技术进步，能源消费强度呈现不断下降的趋势。在这个倒“U”形的变化过程中，英、美两国不仅完成了工业化，同时，能源结构也由以煤炭为主转向以石油、天然气为主。

1800 年，英国的主要燃料是煤炭，占能源消费总量的 90%，而且近一半的煤炭用于生活消费。在工业化的初期阶段，英国的人力和畜力已不作为动力统计在能源之中。1800~1830 年间，英国农业在国民经济总产出的比重由 1/3 下降到 1/4，制造业、采掘业和建筑业的产出比重由 23% 上升到 30%。与此同时，能源消费与 GDP 的增长速度基本相同。

1830 年以后，英国煤炭的 1/3 以上用于工业消费，能源消费强度迅速上升。铁路、建筑业和造船业迅速发展，钢铁业在国民经济总产出的比重由 1831 年的 3.6% 上升到 1871 年的 11.6%。其他一些高耗能的工业，如采矿、蒸汽机铁路运输，电力、水泥和砖瓦制品业也迅速增长。1880 年以后，英国的能源消费强度开始下降。下降的直接原因是英国的工业化已基本完成，能源



利用效率大幅度提高。如 1900~1960 年英国的火电生产效率提高了 5 倍，工业和运输业能源利用效率也有较大的改进。1960 年以后，石油和天然气的消费需求迅速上升也是英国能源消费强度下降的原因之一。

在工业化过程中，用化石燃料或其他商业能源替代非商业能源是经济发展的一个基本特性。图 1-2 的虚线部分表示美国自 1880 年以来包括以木材和秸秆作为燃料（即所谓的“非商业”能源）的能源消费强度，虽然这些燃料也有采集费用和市场交易，但极少统计在能源商品消费中。这一时期美国能源消费强度的上升不仅是由于商业能源替代非商业能源，而且还有在工业化的早期阶段高耗能工业快速发展的原因。1920 年以后，美国能源消费强度伴随着产业结构变化和能源利用效率的提高开始下降。

二、近三十年全球能源利用效率的变化

根据国际能源署（International Energy Annual, IEA）提供的各国能源强度、人均能源消费和人口数据，我们对各国能源数据进行了整理，并根据“中宏数据网”的各国经济数据补充了意大利、德国、俄罗斯、保加利亚、匈牙利和罗马尼亚的部分缺乏数据，剔除了人口小于 100 万和其他数据不全的样本，最终得到 127 个样本。通过对数据的变动趋势进行直接的观察，可以发现以下几点：

(1) 从横截面的数据变化来看，人均 GDP 与能源强度基本上成反比，1980 年的数据与 2006 年的数据更加清楚地反映出这一点（见图 1-3 和图 1-4）。

（英热单位/美元）

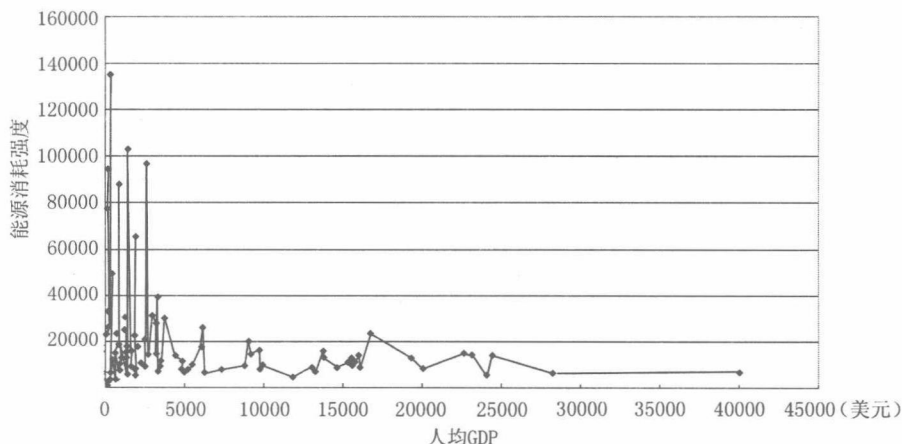


图 1-3 人均 GDP 与能源消耗强度 (1980 年)

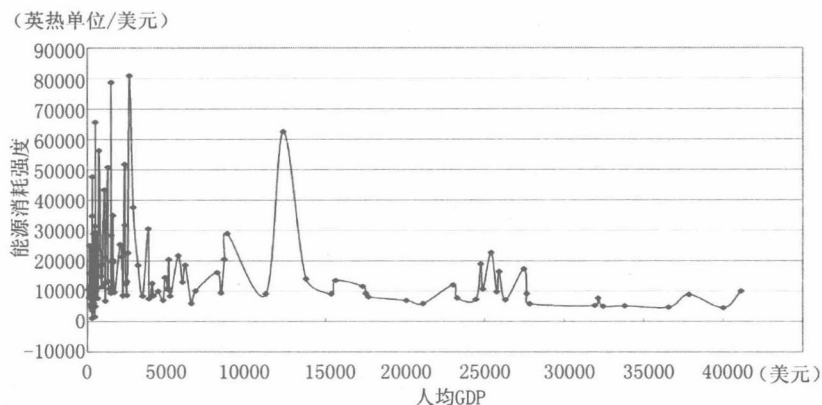


图 1-4 人均 GDP 与能源消耗强度 (2006 年)

(2) 人均收入在 123100 美元以上或者全球人均 GDP 排名前 30 位的国家, 除少数石油输出国家和非洲国家人均 GDP 下降外, 1980~2006 年, 人均 GDP 的增幅与其人均 GDP 成正比, 也就是全球财富进一步向高收入国家集中。同时, 这些国家的能源强度基本上都有所下降, 而且下降幅度的差距不大。

(3) 人均 GDP 在 10000 美元以下的国家, 总体来看, 世界各国能源强度没有统一的变化趋势。1980~2006 年, 一些国家能源强度波动的幅度非常大, 波动的幅度和方向与人均 GDP 没有明显的关系 (见图 1-5)。

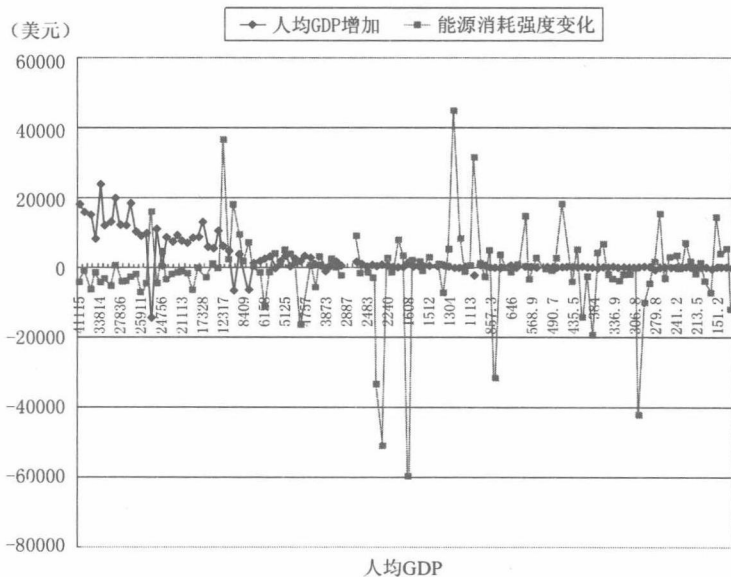


图 1-5 人均 GDP、人均 GDP 变化和能源消耗强度变化

通过统计分析, 可以得出以下几点结论: