

能源系统运行分析

林卫斌 ● 著

NENGYUAN XITONG YUNXING FENXI



经济管理出版社

ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

能源系统运行分析

林卫斌 ● 著

NENGYUAN XITONG YUNXING FENXI



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

能源系统运行分析/林卫斌著. —北京: 经济管理出版社, 2015. 6
ISBN 978 - 7 - 5096 - 3928 - 3

I. ①能… II. ①林… III. ①能源经济—研究 IV. ①F407. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 203936 号

组稿编辑: 陆雅丽
责任编辑: 陆雅丽
责任印制: 黄章平
责任校对: 张 青

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 A 座 11 层 100038)

网 址: [www. E - mp. com. cn](http://www.E-mp.com.cn)
电 话: (010) 51915602
印 刷: 北京九州迅驰传媒文化有限公司
经 销: 新华书店
开 本: 720mm × 1000mm/16
印 张: 17. 25
字 数: 284 千字
版 次: 2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978 - 7 - 5096 - 3928 - 3
定 价: 69. 00 元

· 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

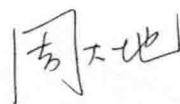
序

研究能源问题需要有系统性的思维，因为能源本身就是个复杂的系统。在这个系统中，存在煤炭、石油、天然气、电力、热力等多样能源品种，它们之间可以相互转化、相互补充、相互替代；在这个系统中，存在资源开采、加工转换、贸易运输、终端消费等多个环节，它们之间相互联系、相互依存；在这个系统中，某个能源品种在某个环节发生的变化，都有可能引起整个能源系统的总量及结构性变化。因此，在分析能源问题时不仅要看到某一节点的变化，更要看到该节点的变化所引起的系统性变化。研究人员需要清晰地把握能源系统运行的状态和规律。

本书以能源流为主线，详细解析了能源供求系统运行情况。把能源系统分解为能源消费系统和能源供给系统，其中能源供给系统又包括能源基础设施投资建设系统、能源生产系统和能源贸易系统。在对每一个子系统的分析中，首先分析其组成元素及结构特征等基本概念，并从历史趋势、国际比较和地区分布三个维度分别分析中国能源系统运行的动态变化和地区差异，世界能源系统运行的基本情况及主要国家的国别差异。

2014年6月，习近平总书记在中央财经领导小组第六次会议上明确要求推进我国能源消费革命、能源生产革命、能源技术革命和能源体制革命。其中，能源消费革命和能源生产革命意味着能源供求系统的重塑，而能源技术革命和能源体制革命则是重塑能源供求系统的必要保障。那么，实现能源系统的根本性转变首先要求我们能够系统性地认识和把握能源供给和需求的运行情况。近年来，本书作者带领其研究团队一直致力于中国能源供需形势跟踪分析，系统积累、整合了能源行业运行的基础信息，并积极探索能源供求系统的描述、分析框架。本书是其近年来分析研究的积淀和总结，可以为能源经济和能源政策的初学者提供能源系统运行的基本概念和框架体系，有助

于我们了解中国能源供求系统的历史演进趋势和地区差异，有助于我们大体把握世界能源供需基本情况。本书付梓印刷之前，邀我作序，我欣然答应。希望社会各界能更多地、系统地关注中国能源问题，更好地理解 and 把握中国能源面临的问题与挑战。



2015 年 6 月

前 言

能源是国民经济生产和城乡居民生活不可或缺的基础性物质资料，是影响经济社会可持续发展的命脉性要素。能源问题攸关全局，事关国家竞争力、经济安全、地缘政治，甚至主权和领土等重大国家战略。

基础性、命脉性、战略性，凸显能源问题的重要性，当然，同时也决定了能源问题的复杂性，分析、解决能源问题需要有系统性思维。实际上，能源本身就是一个复杂系统，既有物理和技术层面的诸多元素，又有经济和制度层面的若干组成，各种元素和组成之间相互联系、相互作用，存在着复杂的逻辑。面对如此复杂的能源系统，初学者往往容易“抓瞎”，不知该如何入手；即使是多年从事能源分析的研究人员，如果不能以系统性思维把握能源系统，也往往“只见树木、不见森林”。

从事能源研究多年，我一直致力于观察、学习能源系统，试图建立一个统一的分析框架以探索、认识能源系统的运行方式。总体上，我们可以从两个层面认知能源系统：一是物理层面的能源系统，即能源供求系统；二是经济层面的制度体系，包括组织和规则。

对于经济层面的能源系统，主要包括三个方面：一是能源产业组织体系，主要解决市场结构、企业行为和行业绩效等问题；二是能源管理体制，主要解决政府管理职能及配置问题（参见拙作《能源管理体制比较与研究》，人民出版社2013年版）；三是能源政策法规体系，主要解决能源行业的运行规则问题。上述能源制度体系的三个方面都是建立在能源供求系统的基础上，同时又是对能源供求系统的深化。换言之，能源供求系统是完整认知能源系统的基础。基于此，本书集中探讨能源供求系统是如何运行的，即研究物理层面的能源系统。

当然，能源供求系统涉及大量工程学、热力学等技术性问题。不过，正

如经济学中把生产技术作为一个“黑箱”而只关注生产函数的投入产出关系，对于能源经济和能源政策研究者而言，通常可以把技术性问题做黑箱处理。我们可以把能源供求系统当成一个由一系列“渠道”和“池子”构成的能源流系统，其中“池子”代表能源供求系统中的各主要投入产出节点，而“渠道”代表各节点之间的相关关系。分析能源系统的重点是关注能源流系统中的各种“流入”与“流出”关系。

具体而言，经济社会发展需要从能源系统中“抽取”电力、热力、煤炭、汽油、柴油、天然气等能源品种提供光、热和动力等能源服务，构成终端能源消费需求。而提供终端能源服务的能源品种通常需要通过加工转换产生，这就构成一次能源需求。不管是终端能源需求还是一次能源需求，满足需求的供给方式无外乎两种，要么国内生产，要么国外进口。当然，不管是生产还是进口，基础设施建设都是必要前提。最后，供给和需求的相互作用决定能源市场供求关系的均衡，影响能源库存、价格和相关技术经济指标。基于上述思路，可以进一步把能源供求系统细分为五个子系统：能源消费需求系统、能源投资与建设系统、能源生产系统、能源贸易系统、能源市场均衡系统。

这就是本书的写作框架：第一章能源系统概览，第二章能源消费，第三章能源投资与建设，第四章能源生产，第五章能源贸易，第六章能源市场与绩效。在每一章节的具体分析中，主要从三个维度展开，一是中国1980年以来（如果数据许可）的纵向趋势，二是国际间的横向比较，三是中国省级层面的地区分布或者差异。

本书是能源系统运行的基本知识介绍，同时总结了我国能源发展趋势及全球能源发展概况。希望能为有志于从事能源研究的同仁提供一些基础性资料。当然，书稿虽几经修改，但限于作者的水平和资料的繁琐性，书中难免有不足、疏漏甚至谬误之处，恳请批评指正。

目 录

第一章 能源系统概览	1
一、能源消费	7
二、能源建设	11
三、能源生产	13
四、能源贸易	14
五、能源市场与绩效	15
第二章 能源消费	17
第一节 综合能源消费	17
一、能源消费总量	18
二、一次能源消费结构	22
三、中间损耗与终端消费	24
四、分行业能源消费	29
五、能耗强度	33
六、分地区能源消费	34
第二节 煤炭消费	38
一、煤炭消费总量	40
二、分行业煤炭消费	43
三、分地区煤炭消费	47
第三节 石油消费	51
一、石油消费总量	51
二、分品种石油消费	54

三、分行业石油消费	56
四、分地区石油消费	60
第四节 天然气消费	66
一、天然气消费总量	66
二、分行业天然气消费	69
三、分地区天然气消费	73
第五节 电力消费	75
一、全社会用电量	76
二、分行业电力消费	78
三、电耗强度	82
四、分地区电力消费	84
第三章 能源投资与建设	89
第一节 能源投资与建设概况	89
一、能源投资	89
二、能源资源	91
三、能源设施	92
第二节 煤炭投资与建设	93
一、煤炭采选业固定资产投资	94
二、煤炭资源勘探	95
三、煤炭开采能力建设	100
四、煤炭储运能力建设	101
第三节 石油投资与建设	103
一、石油资源勘探	103
二、油气开采能力建设	107
三、石油炼化加工能力建设	108
四、石油运输能力建设	111
五、石油储备能力建设	115
第四节 天然气投资与建设	117
一、天然气资源勘探	117

二、天然气开采能力建设	120
三、天然气管道建设	121
四、LNG 接收站建设	124
五、地下储气库建设	127
第五节 电力投资与建设	129
一、电力投资	129
二、电源建设	135
三、电网建设	143
第四章 能源生产	147
第一节 综合能源生产	147
一、一次能源生产总量	147
二、一次能源生产结构	150
三、分地区能源生产	152
第二节 煤炭生产	155
一、原煤生产	155
二、焦炭生产	157
三、分地区煤炭生产	159
第三节 石油生产	162
一、原油开采	162
二、石油炼制	164
三、分地区石油生产	166
第四节 天然气生产	171
一、天然气开采	172
二、常规天然气与非常规天然气开采	173
三、分地区天然气开采	174
四、天然气液化	176
第五节 电力生产	177
一、发电量	178
二、分电源发电量及结构	179

三、分地区发电量及结构	183
第五章 能源贸易	189
第一节 综合能源贸易	189
一、中国能源进出口总量	189
二、中国能源进出口结构	189
三、能源国际贸易格局	190
第二节 煤炭贸易	193
一、中国煤炭进出口	193
二、煤炭国际贸易格局	194
三、分地区煤炭贸易	196
第三节 石油贸易	200
一、中国石油进出口	200
二、石油国际贸易格局	203
三、分地区石油贸易	206
第四节 天然气贸易	211
一、中国天然气进出口	211
二、天然气国际贸易格局	214
三、分地区天然气贸易	217
第五节 电力贸易	219
一、中国电力进出口	219
二、电力国际贸易格局	220
三、分地区电力调入调出	222
第六章 能源市场与绩效	225
第一节 煤炭市场与绩效	225
一、煤炭供需平衡情况	225
二、煤炭价格	227
三、煤炭行业运行绩效	231
第二节 石油市场与绩效	233

一、石油供需平衡情况	233
二、石油价格	233
三、石油行业运行绩效	239
第三节 天然气市场与绩效	240
一、天然气价格	240
二、天然气贸易价格	248
三、天然气行业运行绩效	250
第四节 电力市场与绩效	250
一、电力供需平衡情况	251
二、电力价格	252
三、电力技术经济指标	259
后 记	263

第一章 能源系统概览

所谓“系统”，是“相互联系、相互作用的诸元素的综合体”^①，换言之，“系统是由相互作用、相互依赖的若干组成部分结合而成的，具有特定功能的有机整体”^②。能源是一个系统。从品种上看，既包括煤炭、石油、天然气、水能、风能、核能、太阳能、生物质能等一次能源资源，又包括电能、热能等二次能源，它们之间相互转化、相互替代，共同形成一个有机的能源系统整体。从活动属性上看，既包括资源开发、加工转化，又包括贸易运输、终端利用，它们之间相互关联，共同形成一个完整的能源开发利用系统。

能源开发利用系统的上游环节是能源资源的勘探和开采，包括原煤、原油、天然气等化石能源，以及水能、核能、风能、太阳能、生物质能等非化石能源（如图 1-1 所示）。比如，按照发电煤耗算法^③，2013 年中国^④一次能源生产总量为 34 亿吨标准煤，其中原煤、原油和天然气所占比重分别为 75.8%、8.8% 和 4.6%，化石能源合计占比近 90%，而水能、风能、核能和太阳能等非化石能源产量占比为 10.8%。除了本国的勘探和开采，可供利用的能源资源还包括进出口，主要是原煤、原油和天然气等化石能源的进出口。比如，2013 年中国原煤、原油和天然气的净进口量分别为 3.2 亿吨、2.8 亿吨和 498.3 亿立方米左右。

① 贝塔朗菲：《一般系统论：基础、发展与应用》，社会科学文献出版社，1987 年中文版。

② 钱学森等：《论系统工程》，上海交通大学出版社，2007 年。

③ 发电煤耗算法（Coal Equivalent Calculation）和电热当量算法（Calorific Value Calculation）是合计能源消费总量时的两种方法，主要涉及电能的核算。发电煤耗算法按照生产一单位电能所需要的煤耗当量（2013 年为 302 克标准煤/千瓦时）来计算，电热当量算法按照一单位电能所包含的热值（122.9 克标准煤（860 千卡）/千瓦时）来计算。比如，2012 年中国的水电、核电、风电等一次电力的发电量为 8793.17 亿千瓦时，按照电热当量算法折合标准煤 1.3 亿吨，而按照发电煤耗算法折合标准煤近 3.3 亿吨。

④ 根据统计惯例，如果没有特别说明，书中中国数据的统计范围指中国大陆，不包括港澳台。

能源系统运行分析

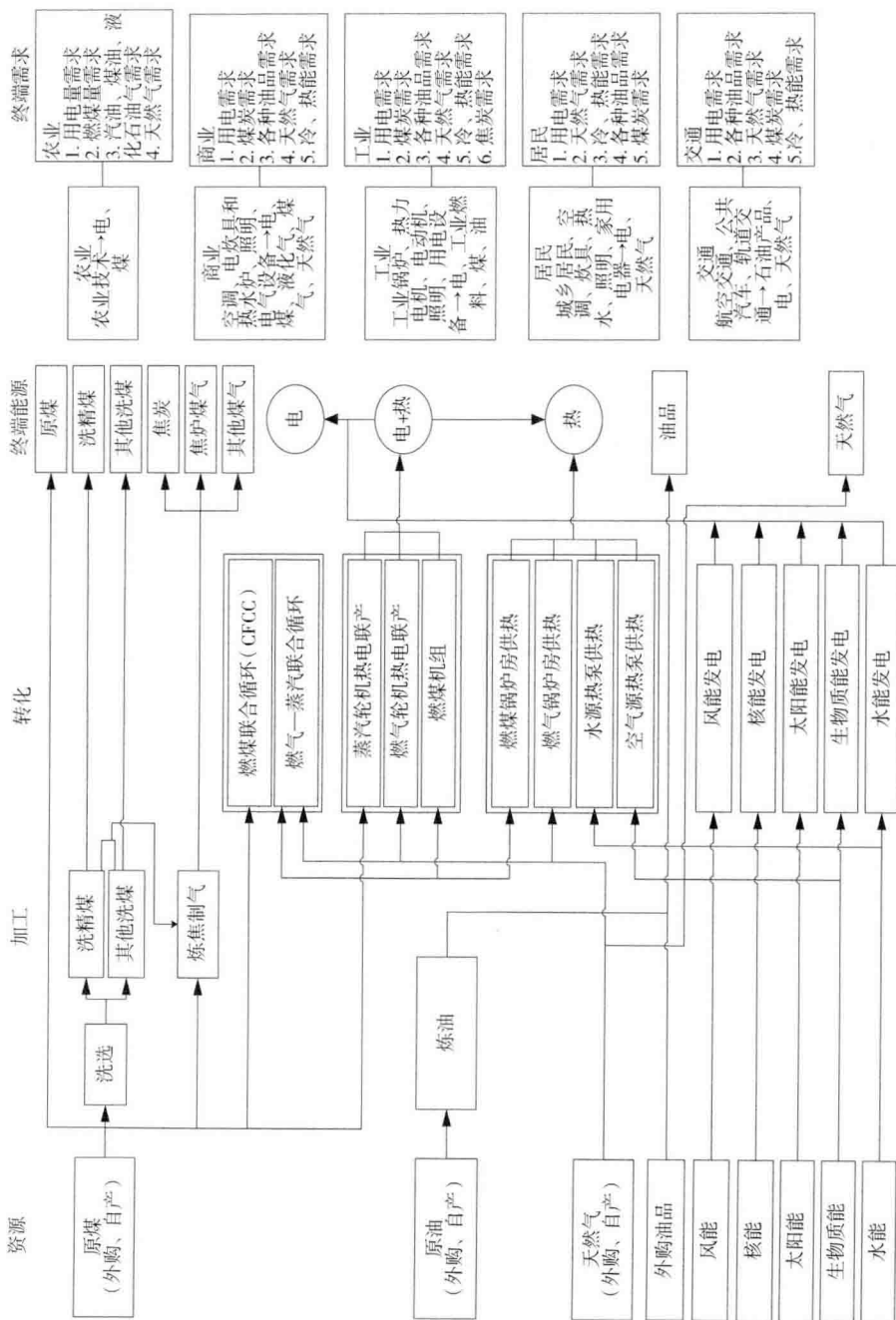


图 1-1 能源系统运行结构

专栏 1-1 能量（或热值）计量单位及其换算

计算能源生产或者消费总量的通常方法是加总不同能源品种所包含的热值。在计量电力的热值时包括两种方法：一种是其本身所包含的热值，称为电热当量算法；另一种是生产等量电力或者热力所需要投入的煤炭的热值，称为发电煤耗算法。

热值的计量单位包括：焦（焦耳，Joule）、卡（卡路里，Calorie，缩写为 cal）、英热单位（British Thermal Unit，BTU）、标准煤（或称煤当量，Coal Equivalent）和标准油（或称油当量，Oil Equivalent）。各种热值计量单位的换算如下表所示：

	千焦	千卡	英热单位	千克标准煤	千克标准油
1 千焦	1	0.239	0.948	3.413E-05	2.389E-05
1 千卡	4.186	1	3.967	1.429E-04	1.000E-04
1 英热单位	1.055	0.252	1	3.601E-05	2.521E-05
1 千克标准煤	2.93E+04	7000	2.777E+04	1	0.7
1 千克标准油	4.186E+04	10000	3.967E+04	1.429	1

能源系统的中间环节是能源资源的加工转换。煤炭的加工转换包括煤炭洗选、煤制品加工、炼焦、制气、制油、供热和火力发电等（见图 1-2）。原煤的第一道加工程序是洗选，通过物理、化学或微生物分选的方法使煤和杂质有效分离，并加工成质量均匀、用途不同的煤炭产品，通过洗选产生洗精煤和其他洗煤。比如，2012 年中国原煤产量 36.45 亿吨，净进口量 2.8 亿吨，用于洗选的 7.6 亿吨，洗选产生洗精煤 5.16 亿吨，产生其他洗煤 1.32 亿吨，并产生 3390 万吨煤矸石。当然，在洗选过程中会产生洗选损耗，2012 年的原煤洗选损耗量接近 1 亿吨。原煤以及经过洗选产生的洗精煤、其他洗煤和煤矸石的进一步加工转换程序包括火力发电、供热、炼焦、制气和煤制品加工和煤制油等。其中，发电和供热占据主导，2012 年原煤供应量 38.1 亿吨，直接用于发电和供热的比重为 51.3%，如果加上原煤通过洗选形成的洗精煤、其他洗煤和煤矸石，用于发电和供热的比重为 53.1%。煤矸石全部用于发电和供热，其他洗煤的 25.4% 用于发电和供热，而洗精煤则主要用于炼焦，2012 年 5.2 亿吨的洗精煤中有 90%（4.7 亿吨）用于炼焦。煤制气、

煤制油和煤制品加工的量则比较少，2012年用于制气、制油和煤制品加工的原煤、洗精煤和其他洗煤的总量分别为950万吨、407万吨和1187万吨，占原煤总供应量的比重分别为0.25%、0.1%和0.31%。

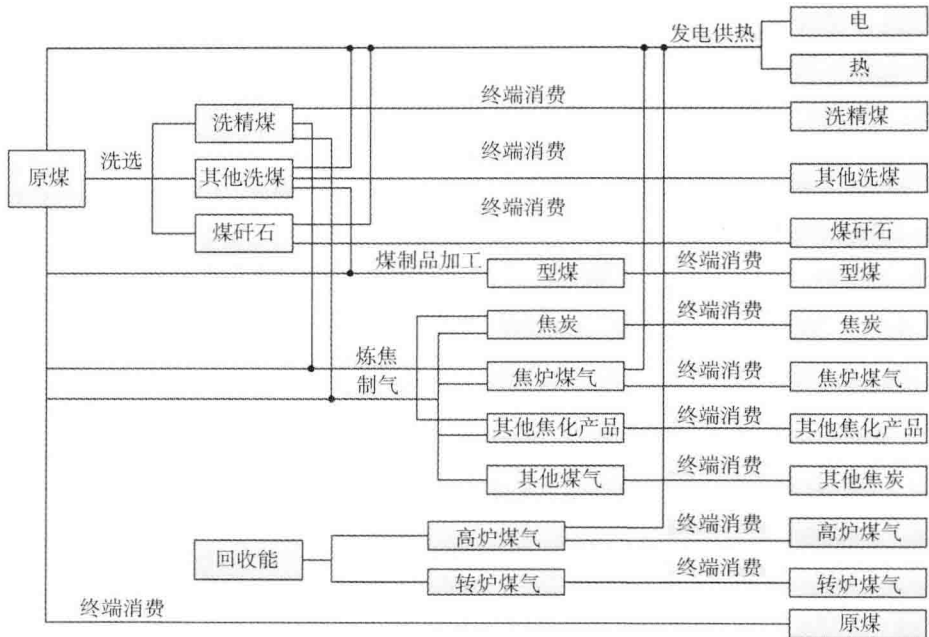


图 1-2 煤炭加工转换结构

原油加工转换的第一道程序是炼油，产出汽油、煤油、柴油、燃料油、石脑油、润滑油、石蜡、溶剂油、石油沥青、石油焦、液化石油气、炼厂干气和其他石油制品。其中，燃料油、石脑油等还可以进行二次炼化，而汽油、煤油和柴油即通常所谓的“成品油”。2012年中国原油加工量为4.6亿吨，产出汽油、煤油、柴油量分别为8976万吨、2184万吨和17064万吨，三种成品油产出与原油加工量的比重分别为19.5%、4.8%和37.1%。

天然气的加工转换主要包括液化、发电和供热等，2012年中国用于发电和供热的天然气消费量占当年天然气消费的总量的18%。水能、风能、核能、太阳能和生物质能大部分转化为电能和热能。

能源系统的下游环节为终端利用。按照发电煤耗计算法，2012年中国终端能源消费量为34.5亿吨标准煤，占当年能源消费总量（36.2亿吨标准煤）的95.3%；按照电热当量计算法，2012年中国终端能源消费量25.5亿吨标

准煤，占当年能源消费总量（34.1 亿吨）的 74.9%。终端能源消费品种包括原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、煤矸石、焦炭、焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气、其他煤气、其他焦化产品、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、石脑油、润滑油、石蜡、溶剂油、石油沥青、石油焦、液化石油气、炼厂干气、其他石油制品、天然气、液化天然气、热力、电力等。2012 年中国终端能源消费品种中，消费量超过一亿吨标准煤的分别是电力、煤炭、焦炭、柴油、天然气、汽油和热力，其消费量占当年终端能源消费量（电热当量计算法）的比重分别为 22.6%、21.2%、15%、9.6%、5%、4.7% 和 4.5%。从终端能源消费部门看，主要包括农业、工业、商业、交通和居民生活等。2012 年中国终端能源消费量（电热当量计算法）中，工业、居民和交通（包括仓储和邮政业）所占比重分别为 67.5%、10.9% 和 11.5%；按照发电煤耗计算法，工业、居民和交通所占比重分别为 68.4%、11.5% 和 9.0%。

能源名称	平均低位发热量	折标准煤系数
原煤	20908 千焦/（5000 千卡）/千克	0.7143 千克标准煤/千克
洗精煤	26344 千焦/（6300 千卡）/千克	0.9000 千克标准煤/千克
其他洗煤		
洗中煤	8363 千焦/（2000 千卡）/千克	0.2857 千克标准煤/千克
煤泥	8363 ~ 12545 千焦/ （2000 ~ 3000 千卡）/千克	0.2857 ~ 0.4286 千克标准煤/千克
焦炭	28435 千焦/（6800 千卡）/千克	0.9714 千克标准煤/千克
原油	41816 千焦/（10000 千卡）/千克	1.4286 千克标准煤/千克
燃料油	41816 千焦/（10000 千卡）/千克	1.4286 千克标准煤/千克
汽油	43070 千焦/（10300 千卡）/千克	1.4714 千克标准煤/千克
煤油	43070 千焦/（10300 千卡）/千克	1.4714 千克标准煤/千克
柴油	42652 千焦/（10200 千卡）/千克	1.4571 千克标准煤/千克
液化石油气	50179 千焦/（12000 千卡）/千克	1.7143 千克标准煤/千克
炼厂干气	45998 千焦/（11000 千卡）/千克	1.5714 千克标准煤/千克
天然气	38931 千焦/（9310 千卡）/立方米	1.3300 千克标准煤/立方米