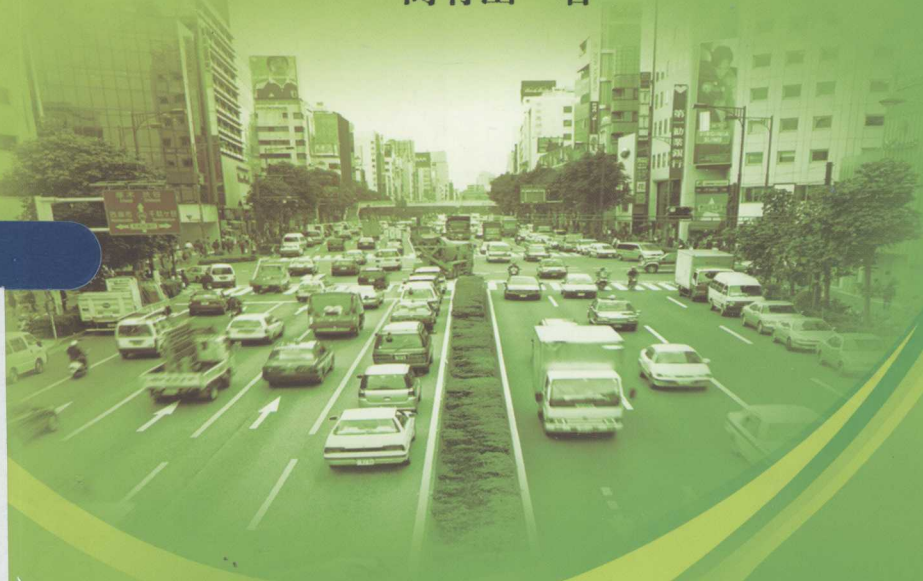


车辆燃料生命周期能耗和 排放分析方法

高有山 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

014012814

U260.15
01

内容简介

车辆燃料生命周期能耗和 排放分析方法

高有山 著



冶金工业出版社

2013



北航

C1699671

U260.15
01

218210210

内 容 简 介

本书采用国际流行的 Well-to-Wheel 方法介绍了车用燃料生命周期能量消耗与污染物排放的分析原理,为我国进行车用新能源和替代能源开发利用提供评估理论和方法。本书共7章,分别为绪论、生命周期评价方法、车用燃料 WTW 能量消耗及排放分析、柴油燃料 WTT 阶段能量消耗和排放分析、天然气及氢燃料 WTT 阶段能量消耗和排放分析、车用燃料 TTW 阶段能量消耗和排放计算、车用燃料 WTW 阶段能量消耗和排放计算。

本书可供政府、企事业单位和研究机构从事替代燃料的决策人员和研究人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

车辆燃料生命周期能耗和排放分析方法 / 高有山著. —北京:冶金工业出版社, 2013. 12

ISBN 978-7-5024-6464-6

I. ①车… II. ①高… III. ①汽车燃料—能量消耗—研究 ②汽车排气污染—研究 IV. ①U260.15
②X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 306552 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 李培禄 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 郑 娟 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6464-6

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2013 年 12 月第 1 版, 2013 年 12 月第 1 次印刷

148mm×210mm 6.375 印张; 189 千字; 191 页

29.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿信箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100010) 电话: (010)65289081 (兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

在我国现代化进程中,车辆保有量的快速增长带来石油消耗和污染物排放的急剧增长。和其他国家相比,我国的石油资源非常紧缺,国家石油能源安全形势严峻。预计到2020年和2030年,我国交通用能将达到原油282.35~423.53Mt,对我国石油供应安全形势无疑是一个巨大的挑战。此外,车辆保有量的增长对环境及能源的负面影响也越来越突出,我国将长期面临保障能源安全和减缓气候变化所带来的挑战。开发新能源是解决能源问题的根本途径,当新能源开发技术、成本难题尚未取得重大突破前,替代能源开发是行之有效的途径。用燃料生命周期分析车用新能源和替代能源的能量消耗与污染物排放成本,可为合理选用车用新能源和替代能源提供参考和依据。国外对各种燃料的生命周期研究分析较为系统和全面,而我国起步较晚。已有的燃料生命周期评价研究表明,燃料的生命周期评价结果有地域性,对燃料的制备技术和车辆技术有很高的依赖性,在评价某种燃料时,必须考虑车辆燃料具体工艺和技术对结果的影响。由于LCA研究的对象、边界、指标以及采用的文献和数据资料不同,分析结果有很大差异,An Feng认为即使是用WTW分析两种类型的燃料电池汽车,其能量消耗和温室气体排放的分析结果也有很大的差异和不确定性。Sullivan研究所指出“由于不同的边界、数据质量以及研究假设,比较生命周期研究结果是非常困难的,定义的范围、技术、时间、地域、系统边界不同将使分析结果相差2~10倍”。为

准确评定各种车用燃料在生命周期的能量消耗和污染物排放,应该采用统一而明确的对比标准和系统边界,同时还应尽可能简化分析,使计算容易进行。本书论述的车用燃料生命周期分析主要包括原料开采、处理、运输,燃料生产、运输、分配销售,车辆运行等诸多环节;明确规定了分析的区域、时限、燃料种类和车辆运行数量;根据车辆性能、大小、等级、寿命、比功率等选定基准车辆;为评价温室气体排放,明确了温室气体种类及全球变暖潜值;为评价燃料能量消耗,明确了车辆寿命及行驶工况。

本书使用了清华大学汽车安全与节能国家重点实验室关于天然气及掺氢天然气发动机燃料消耗和废气排放的台架试验数据、交通运输部公路科学研究院汽车运输技术研究中心的大型客车燃油消耗数据以及 BP 公司的能源统计数据,在此表示深切感谢。

特别感谢北京航空航天大学交通科学与工程学院李兴虎教授、交通运输部公路科学研究院汽车运输技术研究中心蔡凤田研究员在本书编写过程中给予的热情指导和帮助,同时也感谢史朝阳、宗亚飞、吕少华、李子慧、郝楠楠等在数据处理和文献查询等方面所做的大量工作。

由于著者水平有限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

著 者

2013 年 10 月

术 语 缩 写

CAFE	Corporate Average Fuel Economy (公司平均燃油经济性)
CNG	Compressed Natural Gas (压缩天然气)
DOD	Department of Defense (美国国防部)
DOE	Department of Energy (美国能源部)
DOT	United States Department of Transportation (美国交通运输部)
ECE	Economic Commission for Europe (欧洲经济委员会)
EEC	European Economic Community (欧洲经济共同体)
EIA	Energy Information Administration (美国能源情报署)
ELR	European Load Response Test (负荷烟度试验)
EPA	Environmental Protection Agency (美国环境保护局)
ESC	European Stationary Cycle (稳态循环)
ETC	European Transient Cycle (瞬态循环)
FCV	Fuel Cell Vehicle (燃料电池)
HCNG	Natural Gas with Hydrogen Addition (掺氢天然气)
HEV	Hybrid Electrical Vehicle (混合动力汽车)
HSS	Hamersley Sequence Sampling (哈默斯利序列采样)
ICE	Internal Communications Engine (内燃机)
ISO	International Organization for Standards (国际标准化组织)
LCA	Life Cycle Assessment (生命周期评价方法)
LCI	Life Cycle Inventory (生命周期清单)
LNG	Liquefied Natural Gas (液化天然气)
LPG	Liquid Petroleum Gas (液化石油气)
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development (经济合作与开发)

组织)

OEM	Original Equipment/Entrusted Manufacture (原始设备制造商)
SETAC	The Society of Environmental Toxicology and Chemistry (环境毒物学与化学学会)
TTW	Tank-to-Wheel (油箱到车轮)
ULEV	Ultra Low Emission Vehicle (超低排放车辆)
USAMP	The United States Automotive Materials Partnership (汽车材料合作组织)
VOC	Volatile Organic Compounds (挥发性有机化合物)
WTT	Well-to-Tank (油井到油箱)
WTW	Well-To-Wheel (油井到车轮)
	United States Department of Transportation (美国交通部)
	European Commission for Europe (欧洲经济委员会)
	European Economic Community (欧洲经济共同体)
	Energy Information Administration (美国能源情报署)
	European Load Response Test (欧洲加载试验)
	Environmental Protection Agency (美国环保局)
	European Stationary Cycle (稳态循环)
	European Transient Cycle (瞬态循环)
	Fuel Cell Vehicle (燃料电池车)
	Natural Gas with Hydrogen Addition (掺氢天然气)
	Hybrid Electrical Vehicle (混合动力汽车)
	Hammer Sequence Sampling (哈默序列采样)
	Internal Combustion Engine (内燃机)
	International Organization for Standards (国际标准化组织)
	Life Cycle Assessment (生命周期评价方法)
	Life Cycle Inventory (生命周期清单)
	Liquefied Natural Gas (液化天然气)
	Liquefied Petroleum Gas (液化石油气)
	Organisation for Economic Cooperation and Development (经济合作开发

目 录

术语缩写

第 1 章 绪论	1
1.1 背景	1
1.2 世界及中国能源状况	1
1.3 车用替代能源	6
1.4 交通运输石油能源消耗和 CO ₂ 排放状况	12
1.4.1 交通运输石油能源消耗状况	12
1.4.2 交通运输的 CO ₂ 排放状况	13
参考文献	14

第 2 章 生命周期评价方法	16
2.1 发展历史	16
2.2 燃料生命周期评价方法	18
2.3 国外关于车辆生命周期研究情况	22
2.3.1 国外对汽车 LCA 研究	22
2.3.2 国外对汽车部件的 LCA 研究	24
2.3.3 国外对汽车燃料 WTW 研究	26
2.4 国内关于车辆生命周期研究状况	33
2.5 对我国车用燃料进行 WTW 分析的意义	34
参考文献	35

第3章 车用燃料 WTW 能量消耗及排放分析	42
3.1 车用燃料 WTW 分析燃料系统	42
3.2 车用燃料 WTW 分析车辆系统	44
3.3 车辆和燃料系统组合	46
3.4 车用燃料 WTW 系统参数确定	47
3.4.1 车用燃料 WTW 分析流程	47
3.4.2 车用燃料 WTW 分析评价指标及单位	47
3.5 车用燃料生命周期 WTT 阶段能量消耗和排放分析	50
3.5.1 WTT 阶段各环节能量消耗	51
3.5.2 WTT 阶段各环节排放分析	52
3.5.3 WTT 阶段能量消耗和排放分析	53
3.6 车用燃料生命周期 TTW 阶段能量消耗和排放分析	54
3.7 温室气体分析	55
参考文献	55
第4章 柴油燃料 WTT 阶段能量耗量和排放分析	57
4.1 车用燃料 WTT 阶段分析主要参数及常用数据	57
4.2 原油、天然气开采能量消耗和排放	65
4.2.1 国内原油天然气开采能源消耗和工艺燃料燃烧 排放	66
4.2.2 进口原油开采能源消耗和工艺燃料排放	72
4.2.3 原油、天然气开采非燃烧排放	74
4.3 原油运输能量消耗和排放	77
4.3.1 原油运输能量消耗	78
4.3.2 原油运输排放	81

4.4	炼油能量消耗和排放	84
4.4.1	炼油能量消耗	84
4.4.2	炼油排放	86
4.5	柴油运输能量消耗和排放	88
4.5.1	柴油运输能量消耗	88
4.5.2	柴油燃料运输环节气体排放	89
4.6	柴油 WTT 结果	90
4.7	本章小结	92
	参考文献	92
第 5 章	天然气及氢燃料 WTT 阶段能量消耗和排放分析	94
5.1	天然气开采能量消耗和排放分析	94
5.2	天然气压缩环节能量消耗和排放分析	95
5.2.1	天然气压缩能量消耗	95
5.2.2	天然气压缩气体排放	97
5.3	天然气液化能量消耗和排放分析	97
5.3.1	天然气液化能量消耗	97
5.3.2	天然气液化气体排放	98
5.4	天然气运输能量消耗和排放分析	98
5.4.1	天然气管路运输能量消耗和排放	98
5.4.2	CNG 公路运输能量消耗和排放	99
5.4.3	CNG 铁路运输能量消耗和排放	100
5.4.4	LNG 公路运输能量消耗和排放	101
5.4.5	LNG 铁路运输能量消耗和排放	102
5.4.6	天然气 WTT 的非燃烧 CH_4 排放	103
5.5	WTT 阶段 NG 燃料路线分析	104

5.6 氢 WTT 分析	106
5.6.1 工厂天然气集中制氢能量消耗和排放	106
5.6.2 加气站分散制氢能量消耗和排放	108
5.6.3 H_2 压缩环节能量消耗和排放	109
5.6.4 H_2 液化能量消耗和排放	109
5.6.5 H_2 运输能量消耗和排放	111
5.6.6 NG 制氢生产过程非燃烧排放	116
5.7 WTT 阶段氢燃料路线分析	117
5.8 本章小结	119
参考文献	120
第 6 章 车用燃料 TTW 阶段能量消耗和排放计算	123
6.1 大型客车滑行试验及燃料消耗量试验	123
6.1.1 大型客车滑行试验	123
6.1.2 大型客车燃料消耗量试验	124
6.2 车辆燃料消耗量模拟计算行驶阻力参数确定	124
6.2.1 行驶阻力参数计算	125
6.2.2 车辆行驶阻力运动微分方程	126
6.2.3 用滑行试验数据求解行驶阻力微分方程	127
6.3 大型客车模拟计算所需行驶阻力确定	128
6.4 大型客车燃油消耗量模拟计算	130
6.4.1 怠速过程燃油消耗量 B_i	131
6.4.2 加速过程燃油消耗量 B_a	131
6.4.3 减速过程燃油消耗量 B_d	132
6.4.4 等速过程燃油消耗量 B_v	133
6.4.5 换挡过程燃油消耗量 B_s	133

6.4.6 总燃油消耗量 Q	134
6.4.7 模拟计算与道路试验对比分析	134
6.5 CNG、HCNG 大型客车燃料消耗量模拟计算	144
6.5.1 大型客车 CNG、HCNG 燃料模拟计算数据介绍	144
6.5.2 大型客车 CNG、HCNG 燃料模拟计算方法	145
6.5.3 大型客车 CNG、HCNG 燃料模拟计算结果	146
6.6 碳平衡试验	151
6.6.1 计算公式的推导	152
6.6.2 试验方法及结果	154
6.7 本章小结	155
参考文献	156
第7章 车用燃料 WTW 阶段能量消耗和排放计算	158
7.1 大型客车柴油燃料生命周期 WTW 阶段能量消耗和 排放	158
7.1.1 大型客车柴油燃料生命周期 TTW 阶段能量消耗 和排放	158
7.1.2 大型客车柴油燃料 WTW 阶段能量消耗和排放	165
7.2 大型客车 CNG、HCNG 燃料 WTW 阶段能量消耗和 排放	166
7.2.1 大型客车 CNG、HCNG 燃料生命周期 TTW 阶段 能量消耗和排放	166
7.2.2 大型客车 CNG 燃料 WTW 阶段能量消耗和排放	167
7.2.3 大型客车 HCNG 燃料 WTW 阶段能量消耗和排放 ...	169
7.3 大型客车柴油、CNG 及 HCNG 燃料 WTW 阶段能量消 耗和排放对比	176

7.3.1	大型客车柴油、CNG 及 HCNG 燃料 TTW 阶段能量消耗和排放对比	177
7.3.2	大型客车柴油、CNG 及 HCNG 燃料 WTW 阶段能量消耗和排放对比	178
7.4	本章小结	184
	参考文献	186
	附录	187
附录 A	道路试验大型客车参数	187
附录 B	平均加速度近似求解行驶阻力	191

第 1 章 绪 论

1.1 背景

中国经济的飞速发展推动了乘用车、商务车和工程车辆保有量的迅猛增长。据国家统计局发布 2011 年国民经济和社会发展统计公报显示, 2011 年末我国民用汽车保有量达到 10578 万辆(包括三轮汽车和低速货车 1228 万辆), 工程车辆各类产品保有量约为 504 万~547 万辆。在现代化进程中, 车辆保有量的增长对环境及能源的负面影响也越来越突出, 我国将长期面临保障能源安全和减缓气候变化所带来的挑战。车用能源问题已成为我国能源和环境问题中的一个核心问题。开发替代能源和新型动力车辆, 实现车用能源可再生和多样化已成为一项迫在眉睫的工作。但车用能源涉及能源、环境、技术、经济、社会、政策、管理体制等多个方面, 需要进行长远规划和战略布局。目前车用燃料仍主要是汽、柴油, 替代能源、混合动力及电动车辆作为中期目标, 氢动力燃料电池技术是最终目标。车用能源种类主要包括化石类能源, 如汽、柴油和天然气、电能、氢能、生物能等。

1.2 世界及中国能源状况

世界探明的石油储量从 1986 年的 120Gt 增到 2011 年的 234.3Gt, 增长 95%; 而我国每年探明的石油储量呈逐年下降趋势, 由 1986 年的 2.33Gt 减为 2011 年的 2Gt, 减少了 14%, 占世界的比例也从 1986 年的 1.95% 降为 2011 年的 0.8%。全球石油产量从 1996 年的 3376.5Mt 增长到 2011 年的 3995.6Mt, 增长了 18%, 我国的石油产量从 1996 年的 158.8Mt 增加到 2011 年的 203.6Mt, 增长了 28%, 占世界的比例也相应从 1996 年的 4.69% 变为 2011 年的 5%^[1]。以上数据表明, 我国探明的石油储量逐年减少而同期产量不断增长。我国 2011 年探明储量和产量比为 9.9, 而世界平均为 54.2, 可见和其他国家相比我

国的石油资源非常紧张,国家石油能源安全形势严峻^[2]。

2011 年全球石油消费 4059.1Mt, 比 2010 年增长 0.7%, 仍是全球主导性燃料, 占全球能源消费的 33.1%。经合组织国家的石油消费量减少 1.2%, 为 1995 年以来的最低水平, 非经合组织国家的石油消费量增长 2.8%。随着经济的快速发展, 我国的石油消耗量从 1996 年 173.8Mt 快速增加到 2011 年的 461.8Mt, 占世界的比例也相应从 5.19% 增加到 11.4%。2011 年日本地震和海啸对世界各地的核能和其他燃料供需造成了重大影响, 石油价格创下了历史新高, 2011 年首次突破 100 美元关口, 布伦特现货均价为每桶 111.26 美元, 较 2010 年上涨 40%。2011 年我国产消差额达 258.2Mt, 消费总量的 56% 需进口, 国际原油价格的不断高企, 给我国造成沉重的经济负担。普氏 (Platts) 公司统计近 30 年来国际原油价格变动如图 1-1 所示, 近 10 年我国与世界主要石油生产国家和地区石油生产及消耗情况见图 1-2。

天然气是石油资源的重要补充。2011 年世界天然气探明储量为 $208.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 产量为 $3276.2 \times 10^9 \text{ m}^3$, 储产比为 63.6。我国 2011 年探明的天然气储量为 $3.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (2790Mt 油当量), 产量为 $102.5 \times 10^9 \text{ m}^3$, 储产比为 29.8。对比探明的天然气和石油储量, 可知天然气开发利用程度比石油低。近 10 年我国与世界主要国家和地区天然气生产及消耗情况见图 1-3。根据德国联邦经济与出口管制局 (BAFA) 数据, 近 15 年来典型国家天然气价格变动如图 1-4 所示。



图 1-1 国际原油价格变动情况

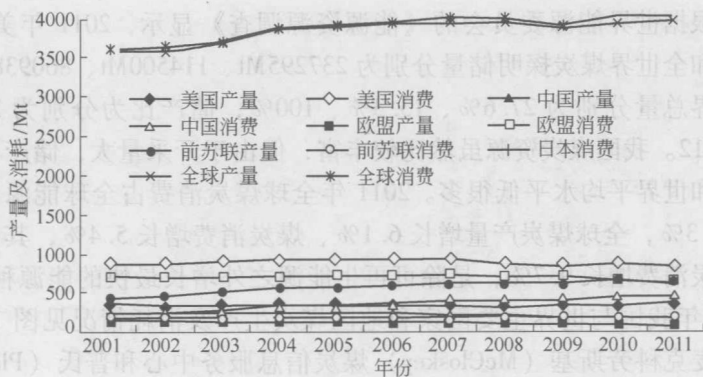


图 1-2 我国与世界主要国家和地区石油生产及消耗情况

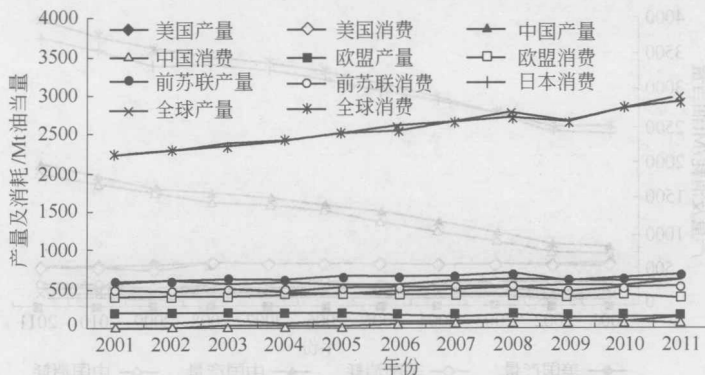


图 1-3 我国与世界主要国家和地区天然气生产及消耗情况

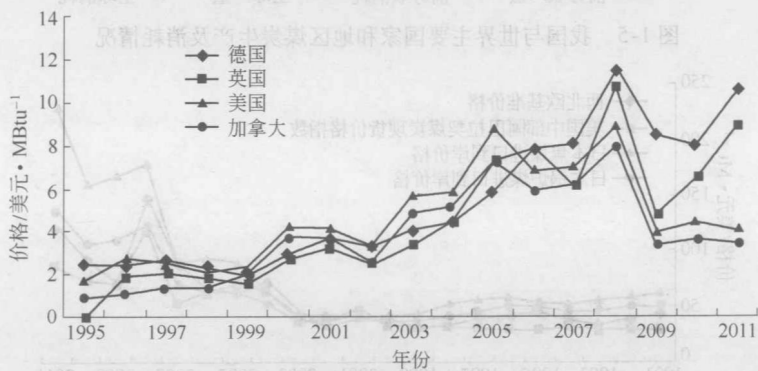


图 1-4 典型国家天然气价格情况

(1 Btu=1.055kJ)

根据世界能源委员会的《能源资源调查》显示,2011年美国、中国和全世界煤炭探明储量分别为237295Mt、114500Mt、860938Mt,占世界总量分别为27.6%、13.3%、100%,储产比分别为239、33、112。我国煤炭资源虽然比较丰富,但由于开采量大,储产比比美国和世界平均水平低很多。2011年全球煤炭消费占全球能源消费的30.3%,全球煤炭产量增长6.1%、煤炭消费增长5.4%,其中我国煤炭消费增长9.7%,是除可再生能源之外增长最快的能源种类。近10年我国与世界主要国家和地区煤炭生产及消耗情况见图1-5。根据麦克科劳斯基(McCloskey)煤炭信息服务中心和普氏(Platts)公司数据,近年来煤炭价格如图1-6所示。



图 1-5 我国与世界主要国家和地区煤炭生产及消耗情况

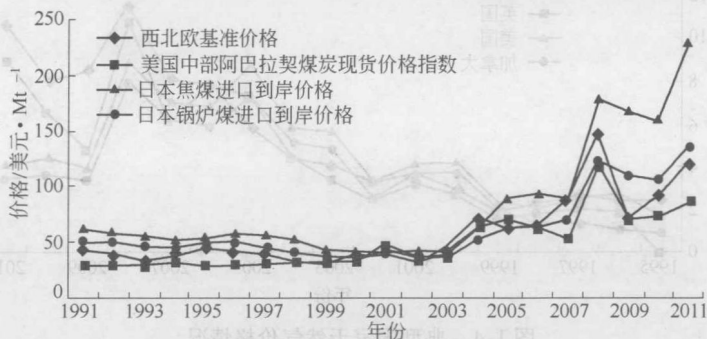


图 1-6 典型国家煤炭价格情况