

煤炭科学开采的 系统协调度

Scientific Coal Mining and System Coordination Degree

王蕾 著



非外借



冶金工业出版社
www.cnmip.com.cn

内 容 简 介

本书采用协调度理论对系统之间的协调度进行评价,给出我国煤炭科学开采的量化评判标准,客观地反映煤炭科学开采的水平,从而真实且简便地反映了煤炭科学开采的状况,为企业衡量自身的科学开采情况提供了简单而有力的评价依据。所研究的煤炭科学开采 STEEM 系统,探索了煤炭科学开采的量化评价标准,为评价我国煤炭企业的科学开采提供了有效的量化依据。

本书可供从事煤炭开采工作的科研技术人员参考,也可供大专院校相关专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

煤炭科学开采的系统协调度 / 王蕾著. —北京:
冶金工业出版社, 2019. 3
ISBN 978-7-5024-7973-2

I. ①煤… II. ①王… III. ①煤矿开采—调度自动化
系统 IV. ①TD82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 030294 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 李培禄 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红 禹蕊

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7973-2

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
2019 年 3 月第 1 版, 2019 年 3 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 10.75 印张; 207 千字; 157 页

50.00 元

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

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

序 言 1

纵观煤炭行业的发展，煤炭作为我国的主体能源和重要的工业原料，直接或者间接地被用于国民经济各个部门和行业，煤炭的供给支撑了国民经济的快速发展，为社会做出了重大贡献。由此，煤炭行业的技术也得到突飞猛进的发展，不断创造着新的成绩，但由于如此大规模的开采和利用，给社会环境带来了问题，这是全行业和社会都没有预计到的。站在全球环境治理的角度重新审视煤炭行业的发展，很容易发现，煤炭行业——甚至可以说是化石能源——成为了备受关注的话题。就煤炭开采领域而言，如何实现煤炭—安全—环境—经济—社会等多方的协调发展是需要探索的。因此，对于煤炭开采，或者说是采矿工程专业来说，已经不是单一的学科，更多体现的是学科的交叉性，为此必须改变采矿工作者的知识结构，需要具备采矿、设计、环境、经济、管理、统计和社会科学等一系列基础理论与技术的专业人才互相合作。

《煤炭科学开采的系统协调度》一书，其特色在于系统性与跨学科，并将定性分析转化为定量计算，给出了量化评价体系。首先，根据时间顺序详细阐述了我国煤炭科学开采理论发展近 20 年的理论成果与支撑技术，并对比分析了国外科学开采现状，在此基础上，丰富和完善了我国煤炭科学开采的理论体系。其次，从宏观概念、定量数据和支撑技术三个角度对比分析了国内外煤炭科学开采存在的问题、制约的因素和支撑的技术，利用相关分析原理构建了适用于煤炭科学开采的安全—技术—环境—经济—管理（STEEM）系统，并通过计算得出 STEEM 系统各指标之间的关联度，随后根据系统协调度理论计算了我国煤炭科学开采的量化指标，并给出实例分析。最后，作者总结了煤炭科学开采面临的基础理论问题、人才培养问题和

宏观政策问题。

因此我认为此书的出版，将能有助于提升采矿科技人员对煤炭科学开采的理解，有助于促进煤炭行业转型升级的需求，有助于达到煤炭行业培养复合型人才的目标。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '陈兴' (Chen Xing), written in a cursive style.

2018 年 12 月

序 言 2

一直以来，煤炭是我国的主体能源，为国民经济增长和能源战略安全提供基础性条件。随着煤炭资源的大规模开发，煤炭行业科学技术水平的不断提高，煤炭产量不仅大幅提高，基础理论研究也在不断深化，科学开采和研究水平不断攀高，经济效益得到了巨大的增长，但与此同时，依旧存在着安全压力较大、资源回收率低、生态环境破坏严重和管理水平不高等问题。为此，中国工程院院士钱鸣高及其团队于2000年提出了煤矿绿色开采，2008年进一步提出了科学采矿的概念。经过多年的发展，煤炭领域科学采矿内涵不断充实丰富，理念成熟影响深远，取得的进展与成效也十分显著。

《煤炭科学开采的系统协调度》一书，是对绿色开采、科学采矿的继承与发展，书中进一步丰富和完善了科学采矿这一理论体系，将科学采矿分为广义和狭义两个角度，并给出了不同的定义和内涵，以狭义的科学采矿即煤炭科学开采为主线，以绿色开采技术为支撑，以机械化、自动化和科学管理为手段，以企业效益为衡量依据，以提高资源回采率、减少对矿区周边环境影响为目标，从安全、技术、环境、经济和管理角度探讨这一理论体系，构建了相对完整的煤炭科学开采理论框架，建立了煤炭科学开采的量化指标体系，根据我国煤炭产量前十企业的数据，给出了煤炭科学开采的评价标准，也为丰富和深化煤炭科学开采理论做出了一定贡献。

书中涵盖了煤炭开采相关基础理论、建模方法及评价理论，相信对煤炭科技工作者有参考和借鉴作用。同时也祝贺作者出版此书，希望此书对推动煤炭科学开采相关研究起到积极作用。

王守臣

2018年12月

前 言

煤炭科学开采的理论是基于可持续发展理论、循环经济理论、绿色开采和责任开采等理论发展而来的，但有其独自的行业特征，是煤炭开采从经验走向科学的转折点。这一理论是由钱鸣高院士提出的，王家臣教授、许家林教授等行业众多专家做了大量研究工作，不断完善和丰富了煤炭科学开采的内涵和体系，从理论的提出、发展和不断完善不过短短 20 年，对于基础理论、支撑技术、人才培养等方面的研究取得了众多成果，但仍有许多问题需要我们进行更深层次的讨论与研究，如：煤炭科学开采指标的选取与量化、煤炭科学开采的标准、煤炭科学开采下的科学管理、煤炭开采的完全成本和煤炭科学开采的发展模式等问题。因此，本书着力于构建煤炭科学开采体系，探索了煤炭科学开采的量化评价标准，为评价我国煤炭企业的科学开采提供有效的量化依据。

全书共分为 6 章。为了保持煤炭科学开采系统的完整性，第 1、2 章为宏观介绍，第 3~5 章为系统的微观阐述，第 6 章进行了全面的思考与总结。其中，第 1 章分别从国际、国内和煤炭行业三个角度介绍了能源现状和行业现状，阐述了作为我国支撑性资源供给的煤炭行业，粗放式的煤炭生产已不能符合现代化的、科学的发展要求，处于重要转折时期的煤炭行业，加速转变煤炭开采方式势在必行，煤炭科学开采也势在必行，同时为读者提供了较新的数据和相关的政策。第 2 章介绍了国内外与煤炭科学开采相关研究现状，针对煤炭开采引发的安全、生态、社会等相关问题，详细分析了煤炭科学开采概念、内涵和支撑技术的演化和发展模式，对比国外绿色开采与责任开采的概念，将煤炭科学开采定义为：以安全生产为前提，以绿色开采技术为支撑，以机械化自动化和科学管理为手段，以企业效益为衡量依据，以提高

资源回采率、减少对矿区周边环境影响为目标的开采体系,提出了反映煤炭科学开采内涵的 STEEM 系统,即安全 (Safety)—技术 (Technology)—经济 (Economy)—环境 (Environment)—管理 (Management),这也是首次将科学管理系统纳入煤炭科学开采主体系统,章节最后分别从 7 个方面分析了我国煤炭科学开采存在的问题及制约因素,为建立 STEEM 系统指标奠定基础。第 3 章首先介绍了国外煤炭清洁高效开采技术、生态环境保护技术,这些技术在国外均被视为煤炭绿色开采的支撑技术,同时介绍了美国、德国和澳大利亚三个国家对于煤炭绿色开采支持的相关法律法规。其次介绍了我国煤炭科学开采的支撑技术:特厚煤层开采、厚煤层开采、大倾角开采、充填开采、煤与瓦斯共采以及环境与资源综合利用等技术。第 4 章对煤炭科学开采 STEEM 系统的构建进行了说明,针对各子系统进行了详细的理论分析,同时说明了各系统之间的相互关系。采用了散点图法、相关性分析方法对各系统下的 35 个指标进行了详细分析和筛选,将高度相关指标剔除,仅保留不可代替指标或不同特征指标,最终将指标简化到 13 个,以量化的形式说明了指标之间的关系,为简化煤炭科学开采系统提供了指标选择的依据,使构建的煤炭科学开采 STEEM 系统更为简单实用。第 5 章利用原煤产量前 10 家的煤炭企业数据,根据构建的 STEEM 系统指标体系,通过隶属度权重计算出各子系统的发展水平值,给出 5 条不同时间下单个系统的评价标准值曲线,据此分析出我国煤炭科学开采 STEEM 系统中较为薄弱的环节;利用回归分析、静态和动态相结合的评价方法,给定了 STEEM 系统的综合发展水平值,结论表明,我国煤炭科学开采协调发展呈逐年上升趋势。本章最后以某集团作为工程实例,对构建的煤炭科学开采 STEEM 系统进行了实际的检验。第 6 章针对我国煤炭行业发展需要的基础理论研究做了进一步的探讨,列举出煤炭科学开采需要进一步深入研究的 7 个基础理论,并基于煤炭科学开采的定义与内涵重新构建采矿学科的知识理论框架与人才培养模式,最后探讨了煤炭科学开采需要的政策支持。

煤炭科学开采是一个包括工程学、经济学、计量经济学、资源经

济学、生态环境学、管理学和哲学等跨学科的研究，因此煤炭科学开采是一个相对宏观的、复杂的、多学科的系统工程，其内涵也非常丰富。由于作者知识水平所限，书中纰漏之处在所难免，希望各位专家、读者批评指正。

本书内容的研究和撰写过程中得到了中国工程院钱鸣高院士、中国矿业大学（北京）副校长王家臣教授的指导并为本书作序，同时还得到了中国煤炭学会理事长刘峰研究员和北京理工大学管理与经济学院院长魏一鸣教授等的悉心指导和帮助，在此一并深表感谢。

王 蕾

2018 年 12 月

目 录

1 国内外能源现状概述	1
1.1 世界能源（化石能源）现状分析	1
1.1.1 煤炭资源变化情况	2
1.1.2 石油资源变化情况	5
1.1.3 天然气变化情况	6
1.2 我国能源现状分析	8
1.2.1 煤炭资源占据能源生产与消费主体位置	9
1.2.2 煤炭作为传统能源的核心地位短期内不会改变	11
1.2.3 煤炭对国民经济发展贡献显著	13
1.2.4 煤炭在社会稳定中的积极作用	14
1.2.5 煤炭的清洁化利用	16
1.2.6 煤炭对战略新兴产业的指导意义	16
1.3 煤炭行业现状	17
1.3.1 “十二五”煤炭行业取得的成绩	17
1.3.2 2014~2017 年煤炭行业相关政策	23
1.3.3 2018 年上半年经济运行情况	25
1.4 研究的意义	26
1.5 主要研究内容与思路	27
1.5.1 主要研究内容	27
1.5.2 研究思路	28
2 煤炭科学开采现状	30
2.1 国内外煤炭科学开采现状	30
2.1.1 国内煤炭科学开采现状	30
2.1.2 国外煤炭科学开采现状	34
2.2 煤炭科学开采的基本定义	37
2.3 我国煤炭行业存在的问题	41
2.3.1 安全压力大	41
2.3.2 井工矿比例大，资源回收率低	42

2.3.3	生产规模持续扩张, 产能过剩, 风险承担能力差	43
2.3.4	水资源分布不均, 破坏程度大, 地表沉降	45
2.3.5	环境修复与再造能力弱	47
2.3.6	煤炭消费弹性系数偏高	47
2.3.7	碳减排压力大	49
2.4	煤炭科学开采的制约条件	51
2.4.1	煤炭资源开发布局不均衡, 产能利用率偏低	51
2.4.2	开采条件复杂, 难度大	54
2.4.3	煤炭开采技术与装备不协调	54
2.4.4	人才缺乏, 受教育程度不高	55
2.4.5	职业危害大, 且缺乏职业健康投入	55
2.4.6	管理水平不高, 困难问题突出	57
2.4.7	产业集中度低	58
2.4.8	煤炭真实成本体现不足	60
3	国内外煤炭科学开采相关支撑技术进展	61
3.1	国外煤炭科学开采相关技术与政策支撑	61
3.1.1	煤炭安全清洁高效开采技术	61
3.1.2	生态环境保护技术	62
3.1.3	严格执行生态环境法律法规、政策	63
3.1.4	煤炭开采由劳动密集型向技术密集型转变	64
3.2	我国煤炭科学开采相关技术支撑	64
3.2.1	特厚煤层放顶煤开采	65
3.2.2	厚煤层开采技术	68
3.2.3	大倾角开采技术	70
3.2.4	岩层控制的充填开采技术	71
3.2.5	煤与瓦斯共采技术	74
3.2.6	煤炭开采设备保障	75
3.2.7	环境保护与资源综合利用技术	76
4	煤炭科学开采 STEEM 系统模型	79
4.1	相关性理论	79
4.1.1	相关分析原理	79
4.1.2	相关关系识别	80
4.1.3	相关系数计算方法	83

4.1.4 相关系数种类	84
4.2 STEEM 系统协调度理论分析	85
4.2.1 STEEM 各系统间关系分析	86
4.2.2 STEEM 系统特征分析	86
4.2.3 STEEM 系统协调内容	88
4.2.4 STEEM 系统协调的概念模型	88
4.2.5 STEEM 系统协调评价的方法	89
4.3 STEEM 系统指标构建	91
4.3.1 STEEM 系统指标构建的思路	91
4.3.2 STEEM 系统指标的选取方法	91
4.3.3 STEEM 系统指标构建原则	93
4.4 STEEM 系统初选指标分析	94
4.4.1 安全系统分析	94
4.4.2 技术系统分析	95
4.4.3 经济系统分析	96
4.4.4 环境系统分析	97
4.4.5 管理系统分析	98
4.5 煤炭科学开采 STEEM 系统指标相关性分析	98
4.5.1 安全系统下各指标相关性分析	99
4.5.2 技术系统下各指标相关性分析	109
4.5.3 经济系统下各指标相关性分析	112
4.5.4 环境系统下各指标相关性分析	115
4.5.5 管理系统下各指标相关性分析	119
4.6 STEEM 系统指标体系	123
5 煤炭科学开采 STEEM 系统协调度分析及实例	126
5.1 煤炭企业产量前十名数据分析	126
5.2 煤炭科学开采 STEEM 系统各指标权重	129
5.3 STEEM 系统发展水平	130
5.3.1 STEEM 系统各子系统发展水平	130
5.3.2 STEEM 系统综合发展水平	131
5.4 STEEM 系统协调度测度	132
5.5 煤炭科学开采 STEEM 系统模型的应用	138
5.5.1 某集团基本情况	138
5.5.2 某集团煤炭科学开采 STEEM 系统综合发展水平评价	139

6 煤炭开采面临的科学问题	145
6.1 煤炭科学开采的基础理论问题	145
6.1.1 采矿开挖的卸荷理论	145
6.1.2 厚及特厚煤层开采覆岩结构破断与运动特征	145
6.1.3 覆岩运动的统一场理论	146
6.1.4 裂隙煤岩的基础力学性质研究	146
6.1.5 综放开采顶煤破碎机理及三维放出规律	146
6.1.6 采场底板和煤壁破坏规律与控制研究	147
6.1.7 适应煤炭矿区的环境保护与土地复垦的基础理论	147
6.2 煤炭科学开采的人才培养问题	147
6.2.1 本科人才培养	148
6.2.2 研究生培养	150
6.3 煤炭科学开采的政策问题	150
参考文献	153

1 国内外能源现状概述

能源为人类的进步、社会和经济的发展提供了保障。伴随着科技的进步和社会发展水平的提升,人类对于能源的需求不断上升。我国能源资源总量丰富,也是世界能源生产和消费大国。自改革开放以来,我国国民经济持续增长,取得了举世瞩目的成绩,能源作为生产和投入要素,为我国的经济发展提供了重要的物质基础。

1.1 世界能源(化石能源)现状分析

目前,能源需求与供给、能源市场与价格、能源效率与强度以及能源政策都成为焦点问题,与此同时,世界能源格局也在发生变化,2017年世界一次能源消费量为13511.2百万吨油当量,其中,煤炭消费量增长1%(自2013年以来首次增长),石油消费量增长1.8%,天然气消费量增长3%,一次能源60%的消费增长是由天然气和可再生能源提供的,这是由于中国天然气消费出现了大幅度的增长,天然气(3%,8300万吨油当量)在一次能源消费的增长中作出了最大的贡献,其次是可再生能源(包括生物质燃料)(14.8%,7200万吨油当量),风电和光伏再一次出现了快速的增长。2017年世界核能消费量增长1.1%,水电消费量增长0.9%,占能源总消费量的6.86%,太阳能消费量增长35.2%,风能发电消费量增长17.3%,地热、生物质能和其他能源消费量增长5.5%。从能源供给来看,如图1-1所示:1971~2017年间,一次能源总供给量增长了2.5倍,供给结构也有所改变;石油占比虽然从44%下降至33%,但依旧占主导地位;煤炭自1999年开始供给量持续增长,主要是由于我国煤炭消费量增加,我国煤炭供给量于2011年达到峰值(占比71.3%),但总体来看,从1971~2017年变化量不大,从20%上升至28%;天然气供给量从16%增长至24%;核能供给量从1%增长至近5%^[1]。

世界能源格局的变化总体原因概括有四点:一是页岩气革命使美国成为了世界最大的石油和天然气生产国;二是可再生能源的迅速发展,例如,太阳能光伏在许多国家正在成为成本最低的新增发电能源;三是中国治理环境污染的举措,正在重新定义其在全球能源市场中的角色;四是制冷、电动汽车和能源系统数字化等方面的电力需求,使电气化成为未来能源发展的趋势。因此,世界能源加速向低碳化和无碳化发展。

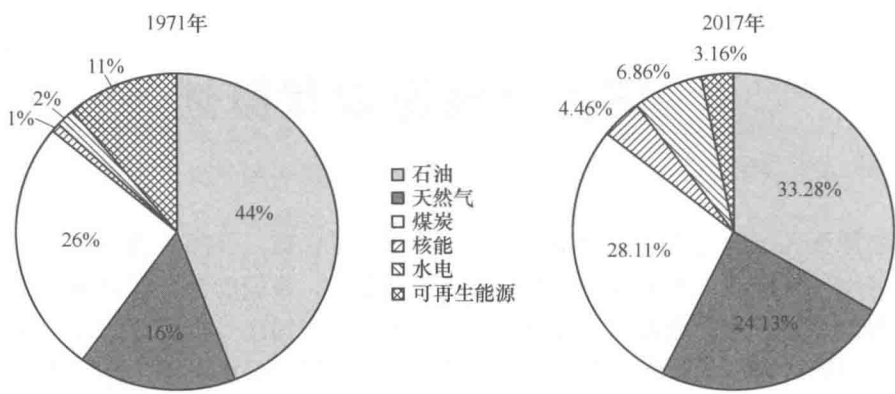


图 1-1 1971 年与 2017 年世界一次能源供给量变化率对比

1.1.1 煤炭资源变化情况

2017 年世界煤炭产量为 77.27 亿吨，比 2016 年上涨 3.4%，中国占世界总产量的 45.6%，比 2016 年下降 0.1 个百分点。从国家分布看，产量亿吨以上的国家有 10 个，按数量排序为，中国、印度、美国、澳大利亚、印度尼西亚、俄罗斯、南非、德国、波兰和哈萨克斯坦。前十名国家顺位与 2016 年相同，其中澳大利亚、德国和波兰煤炭产量较上年有所下降，其余国家煤炭产量均有所上涨，如表 1-1 所示。中国和世界煤炭产量对比（2007 ~ 2017 年），如图 1-2 所示。

表 1-1 2017 年世界前十大煤炭生产国排名

序号	国 家	产量/亿吨		同比/%
		2017 年	2016 年	
	世界总产量	77.27	74.92	3.4
1	中国	35.23	34.11	3.6
2	印度	7.16	6.93	3.6
3	美国	7.02	6.61	6.6
4	澳大利亚	4.84	5.04	-4.2
5	印度尼西亚	4.61	4.56	8.9
6	俄罗斯	4.11	3.87	6.7
7	南非	2.52	2.51	0.7

续表 1-1

序号	国 家	产量/亿吨		同比/%
		2017 年	2016 年	
	世界总产量	77.27	74.92	3.4
8	德国	1.75	1.76	
9	波兰	1.21	1.31	-2.8
10	哈萨克斯坦	1.11	1.03	8.1

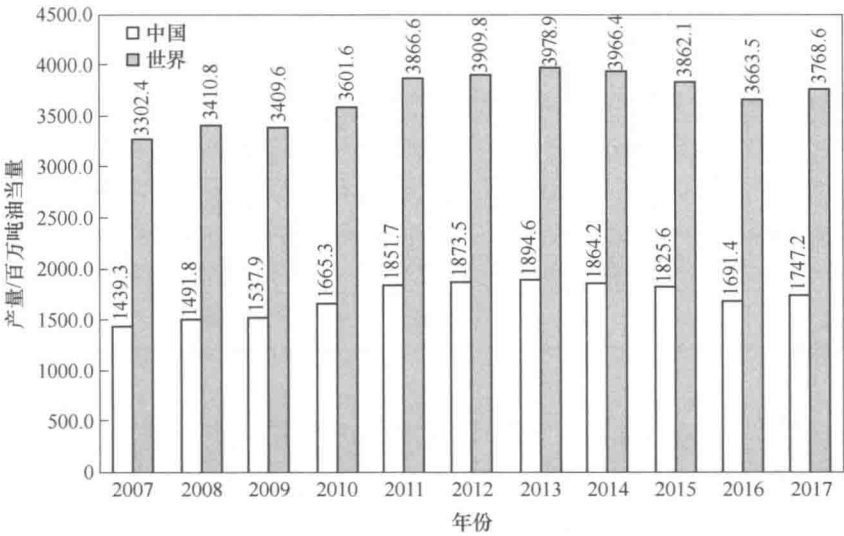


图 1-2 2007 ~ 2017 年中国与世界煤炭产量变化

2017 年，全球煤炭消费量为 3731.5 百万吨油当量，比 2016 年上涨 1.0%。其中，中国占世界煤炭总消费量的 50.7%，比 2016 年下降 4.2 个百分点；韩国超越南非成为全球第六大煤炭消费国。消费量排名前十的国家是中国、印度、美国、日本、俄罗斯、韩国、南非、德国、印度尼西亚和波兰，如表 1-2 所示。全球煤炭消费量的增长主要是由于中国能源消费最密集的部门出现反弹所导致的，特别是铁、粗钢和有色金属。尽管能源消费出现了增长，在 2017 年，中国的能源需求仍然低于近 10 年（2007 ~ 2016 年）平均水平，能源强度下降速度超过全球平均水平 2 倍以上。（2007 ~ 2017 年）中国和世界煤炭消费量对比如图 1-3 所示。

表 1-2 2017 年世界前十大煤炭消费国排名

序号	国 家	消费量/亿吨油当量		同比/%
		2017 年	2016 年	
	世界总消费量	37.32	37.06	1.0
1	中国	18.93	18.89	0.5
2	印度	4.24	4.06	4.8
3	美国	3.32	3.41	-2.2
4	日本	1.21	1.19	1.7
5	俄罗斯	0.923	0.892	3.8
6	韩国	0.863	0.819	5.7
7	南非	0.822	0.847	-2.7
8	德国	0.713	0.758	-5.8
9	印度尼西亚	0.572	0.534	7.4
10	波兰	0.487	0.495	-1.4

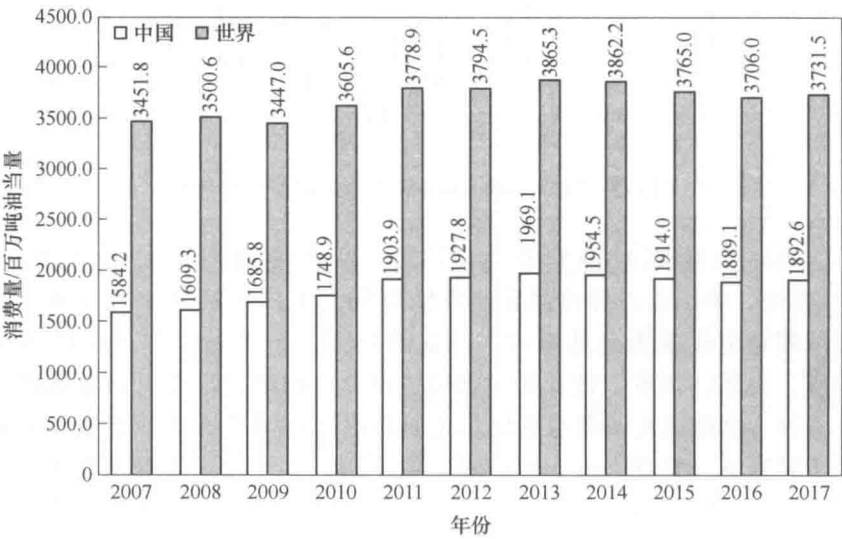


图 1-3 2007 ~ 2017 年中国与世界煤炭消费量变化

总体来看,世界煤炭生产和消费在2017年呈现出四个特点:(1)煤炭消费增加2500Mtoe(增加1%),自2013年来首次增加。(2)煤炭消费量增长主要是由于印度的煤炭消费量增长(18Mtoe)而上升,中国煤炭消费量也有轻微上升(4Mtoe),这是自2014~2016年连续三年下降,经合组织的需求连续第四年下降。(3)煤炭在一次能源的占比降至27.6%,为2004年以来的最低水平。(4)世界煤炭产量增长了105Mtoe(3.2%),是自2011年以来最快的增长速度。中国的产量增长了56Mtoe、美国的产量增长了23Mtoe。

1.1.2 石油资源变化情况

2017年石油需求增长1.7Mb/d,与2016年的增长量相近,但是远高于十年平均水平(1.1Mb/d),中国(500000b/d)和美国(190000b/d)是两大石油消费量增长国,如图1-4所示。石油消费量的上升主要是源于石油价格的下降,虽然提高汽车效率、加大电动汽车投产等措施抑制了一部分的石油需求,但石油价格的下降完全抵消了其需求量的减少。石油产量上升0.6Mb/d,低于过去两年的平均值,其中美国(690000b/d)和利比亚(440000b/d)是石油产量增速最快的两个国家,而沙特阿拉伯(-450000b/d)和委内瑞拉(-280000b/d)的石油产量大幅度下降,中国的石油产量在2017年下降3.8%(-153000b/d),如图1-5所示。

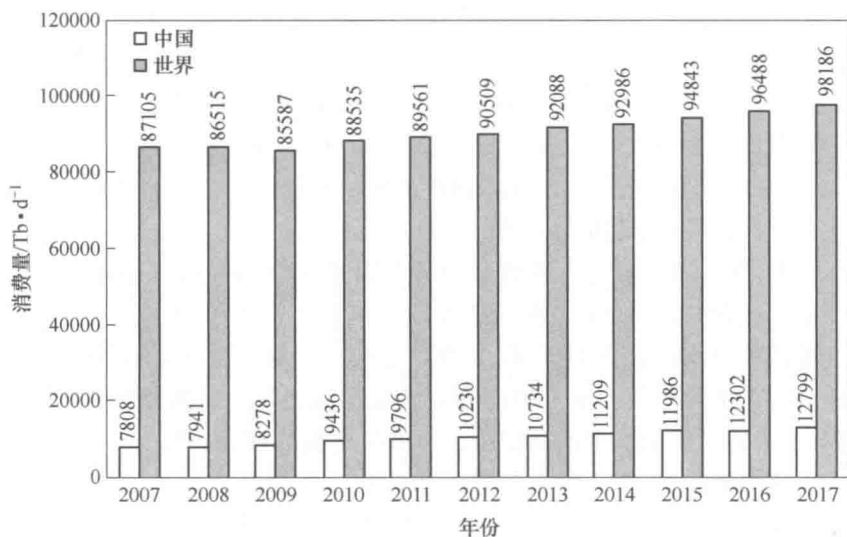


图 1-4 2007~2017 年中国与世界石油消费量变化