

燃煤发电机组能耗分析与 节能诊断技术



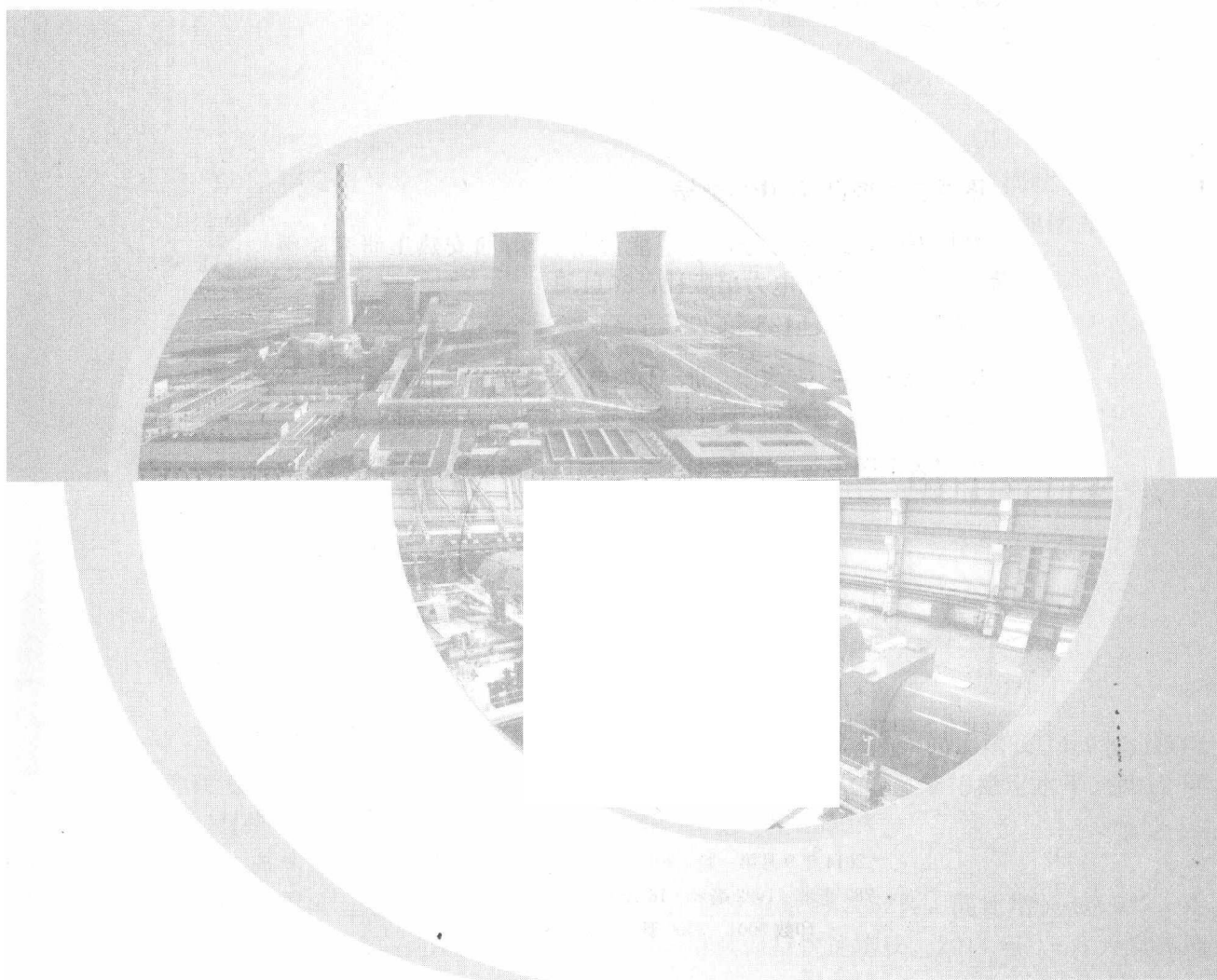
西安热工研究院 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

燃煤发电机组能耗分析与 节能诊断技术

西安热工研究院 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是一本关于燃煤发电机组能耗分析和节能诊断技术的专著,书中从理论到实践系统地阐述了影响燃煤发电机组能耗的主要因素、燃煤发电机组节能降耗技术及措施、燃煤发电机组运行性能监测及效率核实方法、典型燃煤发电机组节能诊断案例,并给出当前世界能源和我国电力工业的现状等。

本书融合了作者多年从事燃煤电厂经济性分析和技术改造研究方面的经验和体会,将国内外该领域的相关理论、研究成果与我国电厂实际相结合,有很高的应用价值。本书供从事火力发电厂节能管理、技术监督和运行人员以及相关领域的技术人员参考,也可作为大专院校能源及动力专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

燃煤发电机组能耗分析与节能诊断技术/西安热工研究院编
著. —北京:中国电力出版社,2014.9

ISBN 978-7-5123-6392-2

I. ①燃… II. ①西… III. ①火电厂-发电机组-能量消耗-分析②火电厂-发电机组-节能-诊断技术 IV. ①TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 204867 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014年9月第一版 2014年9月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 28印张 655千字

印数 0001—3000册 定价 88.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

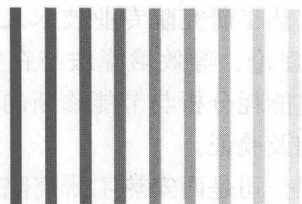
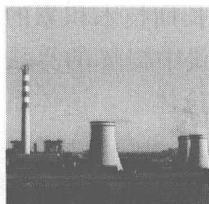
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

编 委 会

主 任 林伟杰

委 员	刘 伟	纪世东	王月明	汪德良
	范长信	赵宗让	曲景辉	杨寿敏
	于新颖	柴华强	江 浩	常东锋
	李 杨	黄嘉驹	王 浩	周元祥
	谢 天	李 欣		



Preface

前言

能源是社会发展和人类生存的物质基础，随着需求的日益增加能源危机已初现。2013 年世界一次能源消费总量为 127.3 亿 t 油当量，我国一次能源消费量达到 28.52 亿 t 油当量，占全球总量的 22.4%。2013 年末世界煤炭已探明储量为 8915 亿 t，我国煤炭已探明储量为 1145 亿 t，我国仅有世界总探明储量的 12.8%。2013 年世界煤炭产量为 56.43 亿 t 标准煤，我国煤炭产量 26.75 亿 t 标准煤。2013 年世界煤炭消耗量为 55.65 亿 t 标准煤，我国的煤炭消耗量为 27.99 亿 t 标准煤，占世界总量的 50.3%。

我国的年煤炭消耗量占一次能源消耗的 70% 以上，其中近 40% 消耗于燃煤发电。至 2013 年年底发电总装机容量为 124 738 万 kW，其中燃煤发电机组容量为 86 238 万 kW，占 69.14%。近年来，随着我国发电行业“上大压小”、技术改造力度的加大，新建了一大批超超临界 100 万 kW、超（超）临界 60 万 kW 机组，也涌现出一批经济性能达到世界先进水平的燃煤发电厂，燃煤机组总体经济性水平有了很大提高。全国 6000kW 及以上机组平均供电标准煤耗从 2005 年的 370g/(kW·h) 下降到 2013 年的 321g/(kW·h)，2013 年电厂热效率为 38.26%，而工业国家电厂热效率一般在 40% 左右，与其相比，仍然差距较大。

为了提高我国发电机组的经济性，实现节能减排，西安热工研究院为此做出了不懈努力。近十年来，西安热工研究院为中国华能集团、中国大唐集团、中国国电集团、中国华电集团、中国电力投资集团、中国神华集团、广东粤电集团等所属的发电企业完成燃煤机组能耗分析与节能诊断超过 400 台机组，对每台机组的能耗状况和节能潜力提出了详细的分析和有效的改进措施，有力地提高了发电设备的技术经济性水平，促进了节能降耗。

西安热工研究有半个多世纪的专业积淀，拥有一批国内外知名的发电领域专家，在电厂节能技术和节能方案设计方面成果显著，近年来，为国家发展和改革委员会、国家财政部、国家能源局、世界银行、亚太清洁发展组织（APP）等承担了多项燃煤机组节能减排方面的重大课题。《燃煤发电机组能耗分析与节能诊断技术》一书，是西安热工研究院近十年来在“燃煤发电机组能耗诊断和整体节能优化”工作中的经验总结和典型案例，提出了当前国内外有效的燃煤机组节

能降耗技术和措施,是西安热工研究院专业技术人员长期技术积累的结晶,把 ASME 能耗计算理论、等效焓降法与在实践中提炼的算法升华成一套完整的燃煤机组能耗分析与节能诊断的理论体系,该体系已在大量的实践中得到应用及验证。

西安西热节能技术有限公司是西安热工研究院开展电厂节能技术服务和技改工程的平台,长期以来承担了燃煤机组节能诊断的主要工作和本书的编写。

本书由林伟杰担任主编,于新颖担任副主编。全书共分 6 章,其中:第 1 章和第 6 章由于新颖和常东锋编写,第 2 章中 2.1、2.3、2.5、2.7、2.8、2.10、2.12,第 3 章中 3.7、3.10 由常东锋编写,第 2 章中 2.9 和第 3 章中 3.4、3.5、3.6 由李杨编写,第 2 章中 2.2 和第 3 章中 3.1~3.3 由周元祥编写,第 2 章中 2.4、2.6 和第 3 章中 3.8 由王浩编写;第 3 章中 3.9 由朱洪兴编写;第 4 章由江浩、于新颖和李杨编写;第 5 章是近年完成的典型燃煤发电机组节能诊断报告,项目参与人包括于新颖、江浩、李杨、常东锋、周元祥、王浩、黄嘉驷、谢天、李欣和朱洪兴等,附录由常东锋编写。常东锋、万小燕和刘佩承担了文字校对工作。林伟杰对全书进行了统筹并终审,于新颖对全书进行了审核,柴华强负责相关组织协调工作。

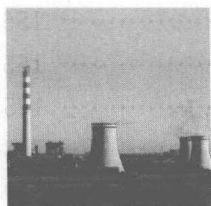
本书在编写整理过程中,得到西安热工研究院相关专家的大力支持,也引用了相关专家的图表等内容。西安热工研究院教育培训部为本书出版做了大量工作,在此一并致谢。

本书可供发电行业管理和技术人员学习或参考,对燃煤发电机组能耗诊断、节能评估和节能技改等有重要的应用价值。

本书在使用过程中将不断扩充、修正和完善。书中存在的缺点和不足,欢迎读者不吝赐教。

编委会

2014 年 8 月



contents

目 录

前言

1 全球能源形势与中国电力工业的节能减排	1
1.1 全球能源形势及中国能源发展状况	1
1.2 我国电力工业的节能减排	7
2 影响燃煤发电机组能耗的主要因素	15
2.1 机组出力系数	16
2.2 锅炉热效率	16
2.3 汽轮机本体性能	19
2.4 汽轮机冷端系统	21
2.5 凝结水系统	29
2.6 冷却塔	30
2.7 给水泵组	30
2.8 回热系统	31
2.9 电厂风机	33
2.10 系统泄漏	35
2.11 冷却水泵	36
2.12 保温	37
3 燃煤发电机组节能降耗技术及措施	38
3.1 燃煤掺烧技术	38
3.2 锅炉制粉及燃烧系统优化运行调整	41
3.3 锅炉受热面及相关设备节能改造	50
3.4 电厂风机节能技术	55
3.5 脱硫装置运行节能技术	67
3.6 电除尘节电技术	75
3.7 汽轮机通流改造及汽封改造技术	79
3.8 汽轮机辅机优化技术	96
3.9 热力系统优化技术	115
3.10 基于节能减排的火电技术发展方向	122
4 燃煤发电机组运行性能监测及效率核实方法	129
4.1 机组运行性能监测和效率核实现状	129
4.2 机组运行性能监测和效率核实方法	133
4.3 机组性能测试及基础能耗确定	139

4.4 运行边界条件及附加能耗的确定	156
5 典型燃煤发电机组节能诊断案例	165
5.1 某 300MW 亚临界机组节能诊断	165
5.2 某 600MW 超临界机组节能诊断	243
5.3 某 1000MW 超超临界机组节能诊断	330
6 “大数据时代”的燃煤发电机组节能诊断	420
6.1 中国电力大数据发展路径	420
6.2 燃煤发电机组节能诊断方法的发展方向	421
附录 A 全球化石能源储量及消费统计	426
附录 B 我国电力电源和生产结构	437
参考文献	440

全球能源形势与中国电力工业的节能减排

1.1 全球能源形势及中国能源发展状况

能源是向自然界提供能量转化的物质，是人类活动的物质基础，在某种意义上讲，人类社会的发展离不开优质能源的出现和先进能源技术的使用，能源一直是关乎世界各国经济发展和民众生活的重要议题。目前，能源消费继续强劲增长，供需矛盾进一步恶化。化石能源在世界能源总体消费中仍占据主体地位，其他能源尤其是新能源发展迅速，但要取得实质性进展尚需时日。

1.1.1 主要能源的储量和生产现状

1. 石油

根据《BP Statistical Review of World Energy 2014》（《2014BP 世界能源统计年鉴》），截至 2013 年年底，全球石油已探明储量为 16 879 亿桶（折合 2382 亿 t），比 2002 年增长 26.5%。按目前开采水平，世界石油剩余探明储量可供开采 53.3 年。世界石油储量分布面较广，分布在近 80 个国家，但储量相对集中。中东国家的石油储量居世界第一位，为 47.9%；其次是美洲国家，占世界总储量的 33.1%；欧洲及欧亚大陆居第三位，占 8.8%；非洲国家居第四位，占 7.7%；亚太地区仅占 2.5%。

近年来，页岩油的开采受到广泛关注。早在 19 世纪末期，已经有很多国家建立页岩油开采工业，但随后发现的石油使页岩油工业迅速衰落。而到了 21 世纪，石油储量逐渐紧张，页岩油的开采又被多个国家重新提上日程，在美国甚至掀起影响国际能源格局的页岩油革命。据美国能源顾问公司 PIRA 数据，到 2013 年 10 月，美国已经取代沙特阿拉伯成为全球最大产油国，比国际能源署之前预测的 2017 年提前了 4 年，这是页岩油革命的里程碑。

2. 天然气

截至 2013 年年底，世界天然气探明储量增至 185.7 万亿 m^3 ，比 2003 年增长 19.3%。按目前开采水平，世界天然气剩余探明储量可供开采 55.1 年。世界天然气储量分布面较广，分布在 70 多个国家，但储量相对集中，主要集中在中东国家、欧洲及欧亚大陆。

近年来,非常规天然气的开采及其对国际能源格局的潜在影响受到广泛关注。据国际能源署估计,全球 74 个赋存煤层气资源的国家煤层气资源总量约为 168 万亿 m^3 ,其中 90% 的煤层气资源量分布在俄罗斯、加拿大、中国、澳大利亚、美国等 12 个主要产煤国。到 2035 年,非常规天然气产量比例将达到天然气总产量的 20%,天然气资源足以使当前产量维系 250 年以上。

美国曾经是天然气进口大国,现在已可实现自给自足,甚至有可能考虑出口。国际能源署 2012 年 11 月在《世界能源展望 2013》中发布的预测:美国将超过沙特阿拉伯和俄罗斯成为世界最大的天然气和原油生产国,天然气方面将于 2015 年超越俄罗斯。

美国能源情报署 2013 年 6 月 10 日发布的《全球页岩气和页岩油资源量评估报告》对全球主要的页岩层进行评估后发现,从技术上来说,页岩气的可回收资源量为 20.7 万 km^3 、页岩气以外的天然气的可回收资源量为 44.1 万 km^3 ,这样算来,页岩气储量相当于其他天然气的 47%。

3. 煤炭

截至 2013 年年底,世界煤炭探明储量为 8915.31 亿 t,其中烟煤和无烟煤为 4031.99 亿 t,亚烟煤和褐煤为 4883.32 亿 t。按目前的开采水平,现有煤炭探明储量可供开采 113 年。但需要引起注意的是,《能源资源调查》报告中数据显示近 10 年来,由于煤炭消耗量大,煤炭储量急剧下降 12.5%。

全球煤炭资源分布不均,就世界各大区而言,欧洲和欧亚大陆地区的煤炭储量居世界第一位,占 34.8%;亚太地区居第二位,占 32.3%;北美洲居第三位,占 27.5%;中东和非洲、中南美洲分别占 3.7% 和 1.6%。

2013 年,世界煤炭产量为 78.96 亿 t,同比增长 0.8%。其中,我国煤炭产量位居世界第一,达 36.8 亿 t,占全球产量的 47.4%;美国煤炭产量位居世界第二,澳大利亚位居世界第三,印度和俄罗斯分别位居第四和第五。

4. 水电

2013 年是水力发电连续第十年持续增长,全球水利发电量达到 3782.0 $\text{TW} \cdot \text{h}$ ($1 \text{TW} \cdot \text{h} = 10 \text{亿 kW} \cdot \text{h}$),同 2012 年相比增加 2.9%。近年来的大部分增长来源于我国,其 2013 年的发电量达到了世界有史以来的最大绝对增加量,为 40 $\text{TW} \cdot \text{h}$,同 2012 年相比增加了 4.8%。

2013 年的主要增长国有中国、俄罗斯、西班牙和印度,部分抵消了巴西和北欧国家的大幅度下降。

5. 核能

2013 年,全球核能依旧受福岛核事故的影响,基本与 2012 年持平,2013 年全球核电机组发电量达 2489.0 $\text{TW} \cdot \text{h}$,比 2012 年核电发电量增加 0.9%,其中荷兰核电量降低了 30.6%,日本和巴基斯坦核电量也分别降低了 18.6% 和 16.2%。在全球核电低迷的情况下,也有部分国家保持高速增长,其中伊朗增加了 193.9%,墨西哥增加了 34.9%,中国和南非分别增加了 13.9% 和 10.4%,说明发展中国家的核电保持了较高的增长速度。

2013 年 10 月,国际原子能机构 (IAEA) 发布的《至 2050 年核电预测》年度报告指出,到 2050 年全球核电装机容量预计将持续增长,低速情景预测可从目前的 373GW 增长到 2030 年的 435GW,直到 2050 年的 440GW;而高速情景则预测,到 2030 年可达

722GW, 到 2050 年达到 1113 GW。报告认为, 中国、韩国等东亚国家增长将最为显著, 预计将从 2012 年年底的 83GW 增长到 2030 年的 147~268 GW (低值~高值)。可见, 长期来看, 由于发展中国家的人口增长和对电力需求的不断增加, 以及对气候变化、能源供应安全、燃料价格波动等问题的关切, 核能发电预计在能源结构中仍将起到重要作用。

6. 新能源

据全球风能理事会统计, 2013 年, 全球新增风电装机 3541.6 万 kW, 与 2012 年 4552.4 万 kW 的新增装机容量相比有所减少, 全球风电开始进入平稳发展阶段。到 2013 年年底, 全球风电累计并网装机容量达到 2.82 亿 kW。其中, 中国、美国和德国位居世界前三位, 累计并网装机容量分别为 9146.0 万、6129.2 万 kW 和 3431.6 万 kW。其中, 我国新增风电并网装机容量为 608.8 万 kW, 使风力发电增长了 21.3%, 德国新增风电并网装机容量为 300.1 万 kW, 美国新增风电并网装机容量为 108.4 万 kW。

2013 年, 全球生物燃料产量为 6534.8 万 t 油当量, 比 2012 年增加 6.1%。其中, OECD (经合组织) 国家产量为 4081.3 万 t 油当量, 增加 3.0%, 非 OECD 国家为 2453.5 万 t 油当量, 增加 11.7%。

近年来, 由于对化石能源供应安全的担忧以及对气候和环境问题的关注, 发展可再生能源呼声渐高, 2012 年可再生能源占全球发电量的 4.7%, 但可再生能源较为依赖政府支持和补贴, 在市场机制面前, 未来发展仍面临很多困难和问题。

1.1.2 全球能源消费现状

2010 年, 全球经济复苏带动了能源消费反弹, 全球能源消费呈现了自 1973 年以来最大的增长量, 几乎各种能源的增长率都超出过去 10 年平均增长率的 1 倍以上, 能源强度也出现自 1970 年以来的最快增长。到 2013 年, 全球能源消费保持了 2.0% 的增长, 稍低于历史平均水平。全球能源消费量如图 1-1 所示。

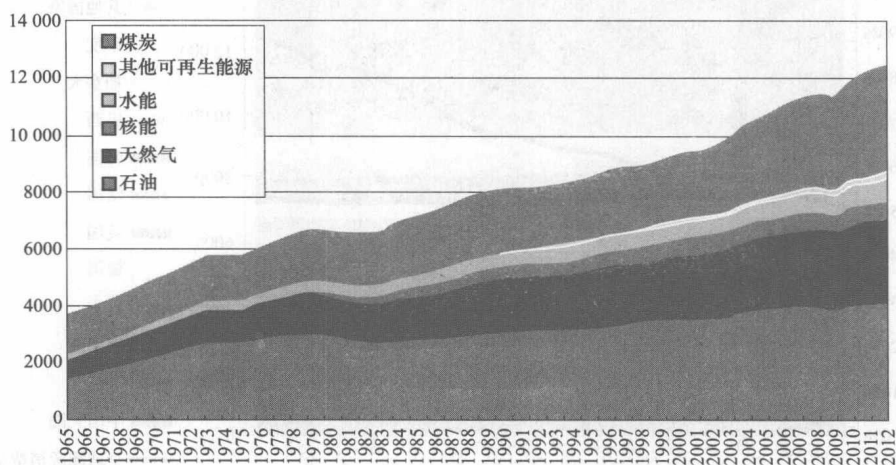


图 1-1 全球能源消费量 (单位: 百万 t 油当量)

注: 其他可再生能源主要包括风能、地热、太阳能、生物质能等。

分区域来看（如图 1-2 所示），亚太地区是世界能源消费量最大的区域，占全球能源消费总量的 40.0%、全球煤炭消费总量的 70.4%，该地区的石油消费量和水力发电量也位居世界前列。欧洲及欧亚大陆是天然气、核电和可再生能源的主要消费地区。煤炭是亚太地区的主要燃料，天然气是欧洲及欧亚大陆的主要燃料，石油则是其余地区的主要燃料。中东油气储量丰富，其 99% 以上的能源消耗来自清洁的石油和天然气。

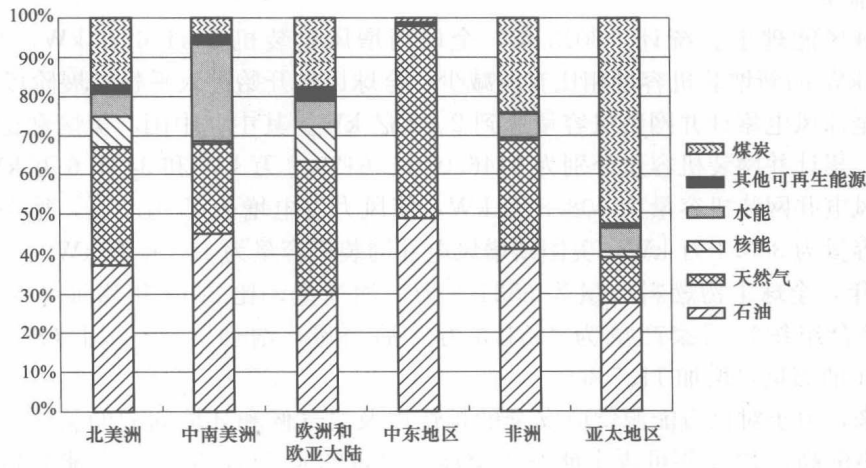


图 1-2 2013 年全球各区域能源消费格局

分主要国家来看（如图 1-3 所示），相比以往，美国的份额基本不变，略有减少；俄罗斯比前苏联时期减幅较大，但近年已稳步回升；我国和印度的增幅较大。我国和美国占世界能源总消费近 40%。2013 年，我国一次能源消费总量为 28.52 亿 t 油当量，超过同期美国总能源消费 25.8%，自 2009 年以来连续五年超过美国位居世界第一。这方面是我国快速工业化进程的表现，同时也反映出我国能耗水平相比发达国家差距较大。

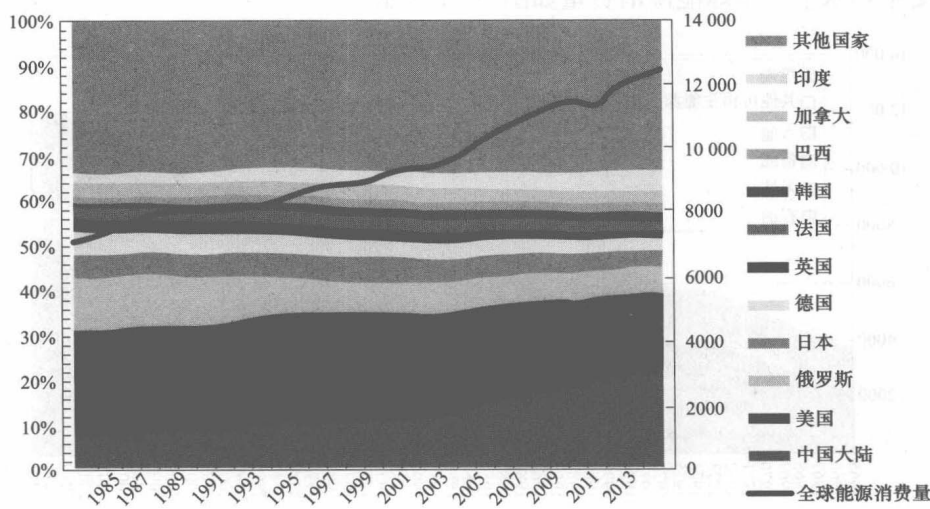


图 1-3 全球各国主要能源消费趋势（单位：百万 t 油当量）

从能源消费结构来看,石油、天然气、煤炭三大化石能源消费量显著提升(如图 1-1 和图 1-2 所示)。其中,OECD 国家所占的比例逐步下降,而非 OECD 国家一次能源消费量不断上升,占到全球总量的 56.5%。其中,我国一次能源消费量增长了 4.7%,达到 28.52 亿 t 油当量,占全球总量的比例已提高到 22.4%。

化石燃料仍是目前能源消费的主体,占一次能源消费总量的 86.6%。在世界一次能源消费结构中,石油仍然是世界主导燃料,占全球能源消费量的 32.8%,与 2012 年基本持平;煤炭的份额为 30.0%,与 2012 年相比有所增加;天然气占 23.7%,近年来天然气的比重得到了显著提高。

能源消费结构与各国的资源状况密切相关。俄罗斯由于天然气资源丰富,其天然气消费占一次能源消费的比例高达 53.2%;我国的煤炭消费占一次能源消费的比例高达 67.4%;巴西的水电消费占一次能源消费的比例达到 30.7%。发达国家油气消费仍然较高,除法国外,OECD 国家石油和天然气占一次能源消费的比例超过 60%。

1.1.3 全球能源消费总体趋势预测

未来全球能源展望不仅关系到各国能源安全和能源企业战略,更是每个人都面临的问题。

图 1-4 和图 1-5 为《BP 2030 年世界能源展望》预测的全球能源消费趋势。2010~2030 年,世界一次能源消费预计年均增长 1.6%,全球能源消费总量到 2030 年将增加 39%。全球能源消费的增速会下降,将从近 10 年的年均 2.5%下降到未来 10 年的年均 2.0%,2020~2030 年会进一步下降到年均 1.3%。

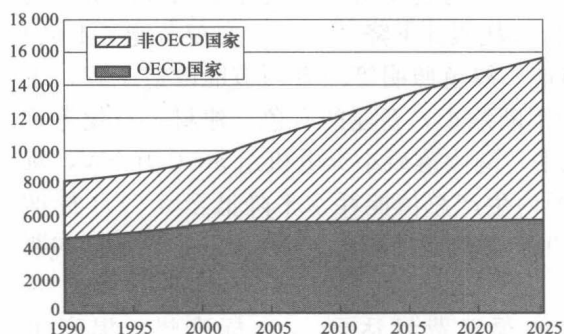


图 1-4 全球各经济体能源消费趋势预测
(单位:百万 t 油当量)

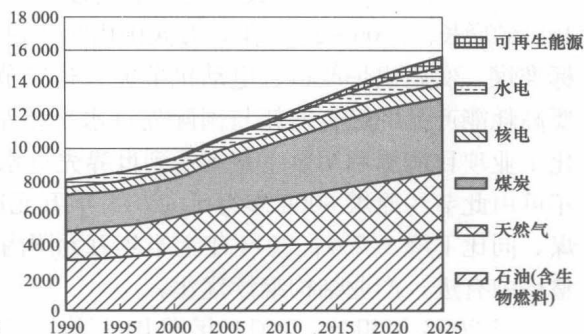


图 1-5 全球各类能源消费趋势预测
(单位:百万 t 油当量)

预测数据显示,几乎所有(96%)的能源消费增长都来自非 OECD 国家。到 2030 年,非 OECD 国家的能源消费将比 2010 年高出 69%,年均增长速度为 2.7%(每年人均增速 1.6%),占全球能源消费的 65%,而该数字在 2010 年仅为 54%。

OECD 国家 2030 年的能源消费仅比 2010 年高出 4%,到 2030 年,年均增速为 0.2%。OECD 国家的人均能源消费将呈下降趋势,未来近 20 年的年均降速约为 0.2%。

受政策因素和资产寿命的影响,全球能源结构呈缓慢变化状态。天然气和非化石燃料的份额将提高,而煤和石油的份额将相应降低。增长最快的燃料类型是可再生能源

(包括生物燃料), 2010~2030 年的预期年均增速为 8.2%; 就化石燃料而言, 天然气增速最快, 年均 2.1%, 而石油增速最慢, 年均仅为 0.7%。

未来, OECD 国家的能源消费量基本保持平稳, 但燃料结构将会发生显著变化。可再生能源在交通运输部门取代石油, 在发电行业取代煤; 天然气在发电领域的份额会提高, 而煤炭发电的份额则相应减少。这些变化是燃料相对价格、技术创新和政策干预等综合因素所带来的结果。

未来, 非 OECD 国家的经济发展所产生的巨大能源需求只能通过增加各种燃料的消费予以满足。对众多发展中国家而言, 当务之急仍是确保获得可负担的能源, 以支持经济发展。

虽然到 2030 年化石燃料仍提供全球 80% 的能源消费, 但未来全球能源消费增长将日益依靠非化石燃料的供应。可再生能源、核电和水电在全球能源增长中共占 34% 的份额; 非化石燃料在全球能源增长中的总体份额首次超过任何一种化石燃料。可再生能源作为一个整体在全球能源增长中的份额超过了石油。在全球能源增长中占据最大份额的化石燃料是天然气, 它在全球能源预期增长中占 31% 的比重。

1.1.4 中国能源发展状况

根据国家统计局数据, 2013 年, 我国一次能源生产总量达到 34.0 亿 t 标准煤, 为世界第一能源生产大国。其中, 原煤产量 36.8 亿 t, 原油产量稳定在 2.09 亿 t。天然气产量快速增长, 达到 1170.5 亿 m^3 , 全国电力装机容量达 12.3 亿 kW, 年发电量为 5.35 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

从 1981~2011 年, 我国能源消费以年均 5.82% 的速度增长, 支撑了国民经济年均 10% 的增长。2006~2011 年, 万元国内生产总值能耗累计下降 20.7%, 实现节能 7.1 亿 t 标准煤。实施锅炉改造、电动机节能、建筑节能、绿色照明等一系列节能改造工程, 主要高耗能产品的综合能耗与国际先进水平差距不断缩小, 新建的有色、建材、石化等重化工业项目能源利用效率基本达到世界先进水平。淘汰落后小火电机组 8000 万 kW, 每年可由此节约原煤 6000 多万 t。2013 年万元国内生产总值能耗水平降低至 0.737t 标准煤, 同比下降 3.7%; 2014 年上半年万元国内生产总值能耗同比下降 4.2%, 显示结构调整稳中有进, 产业结构继续优化。

与 2006 年相比, 2011 年我国人均一次能源消费量达到 2.6t 标准煤, 提高了 31%; 人均天然气消费量为 89.6 m^3 , 提高了 110%; 人均用电量为 3493 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 提高了 60%。

作为世界第一大能源生产国, 我国主要依靠自身力量发展能源, 能源自给率始终保持在 90% 左右。我国能源的发展, 不仅保障了国内经济社会发展, 也对维护世界能源安全做出了重大贡献。

今后一段时期, 我国仍将处于工业化、城镇化加快发展阶段, 发展经济、改善民生的任务十分艰巨, 能源需求还会增加。作为一个拥有 13 亿多人口的发展中大国, 中国必须立足国内增加能源供给, 稳步提高供给能力, 满足经济平稳较快发展和人民生活改善对能源的需求。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出: 到 2015 年,

我国非化石能源占一次能源消费比重达到 11.4%，单位 GDP 能源消耗比 2010 年降低 16%，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2010 年降低 17%。

同时，我国政府承诺，到 2020 年非化石能源占一次能源消费比重将达到 15% 左右，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%~45%。

1.2 我国电力工业的节能减排

1.2.1 电源发展及结构

1.2.1.1 电源发展情况

图 1-6 所示为 1990~2013 年我国发电装机容量变化及其增长率，可以看到，“十五”末和“十一五”期间，我国发电装机容量得到了快速发展，截至 2013 年年底，全国发电装机容量为 124 738 万 kW，同比增长 8.77%，全年净增容量为 10 062 万 kW。

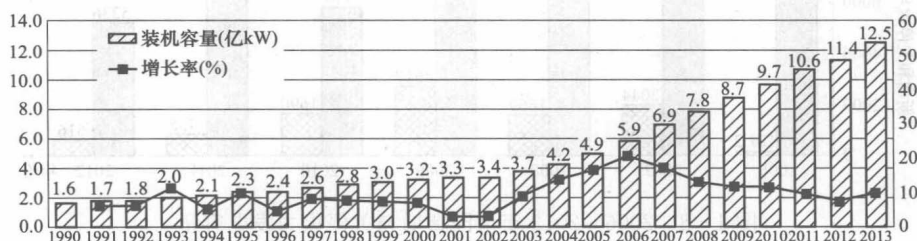


图 1-6 1990~2013 年我国发电装机容量变化及其增长率

2013 年全国发电装机容量构成如图 1-7 所示，水电装机容量为 28 002 万 kW 占总装机容量的 22.4%，火电装机容量为 86 238 万 kW，占总装机容量的 69.1%；核电装机容量为 1461 万 kW，占总装机容量的 1.2%；并网风电装机容量为 7548 万 kW，占总装机容量的 6.1%；并网太阳能发电容量为 1479 万 kW，占总装机容量的 1.2%。

1.2.1.2 电源结构调整情况

我国 6000kW 及以上电厂不同容量火电机组分布如表 1-1 所示，100MW 及以上火电机组占全国火电机组总容量的比例在 2013 年年底已达到近 81.45%。火电建设继续向着大容量、高参数、环保型方向发展，截至 2013 年年底，我国投运的百万千瓦超超临界火电机组已有 63 台，总装机容量为 6352.4 万 kW，占火电装机总容量的 7.37%，平均供电煤耗为 290g/(kW·h)。另外，我国正在建设参数更高的二次再热机组，提高循环效率，使供电煤耗进一步降低。目前，无论是已经投运还是在建、拟建的百万千瓦超超临界机组，我国都居世界首位。

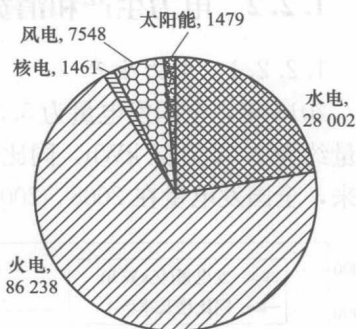


图 1-7 2013 年我国发电装机容量构成 (单位: 万 kW)

表 1-1 2013 年我国火电机组容量分布

机组容量 P (MW)	容量 (GW)	比例 (%)
$100 \leq P < 200$	41.1	4.8
$200 \leq P < 300$	43.4	5.0
$300 \leq P < 600$	265.9	30.8
$P \geq 600$	352.2	40.8

“十一五”以来，我国已累计关停小火电机组 7696 万 kW，超额完成国家“十一五”关停小火电机组任务。“十二五”以来，关停小火电机组容量仍保持一定规模。2006～2012 年全国新增与关停火力发电容量如图 1-8 所示。

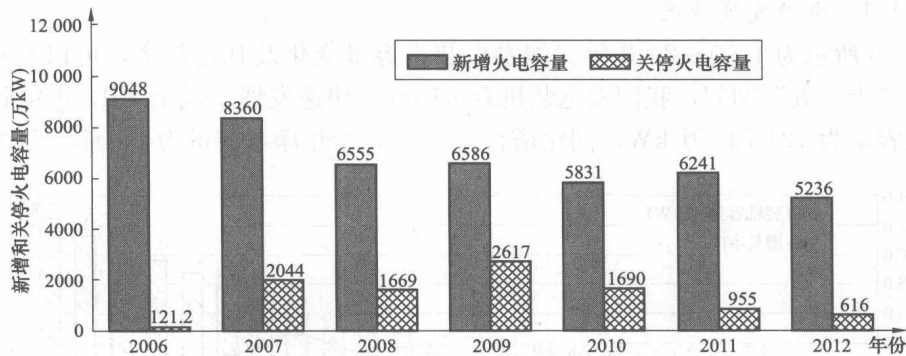


图 1-8 2006~2012 年全国新增与关停火力发电容量

2013 年我国清洁能源发电量为 52 451 亿 kW·h，增长 7.6%；其中，水电 8963 亿 kW·h，增长 4.76%；火电 41 900 亿 kW·h，增长 6.7%；核电 1121 亿 kW·h，增长 14.0%；风电 1401 亿 kW·h，增长 36%；太阳能发电 119 亿 kW·h，增长 91.9%。

1.2.2 电力生产和消费现状

1.2.2.1 电力生产

2013 年，全国发电量为 5.35 万亿 kW·h，同比增长 7.5%。2014 年 1~6 月，全国发电量约为 2.62 万亿 kWh，同比增长 5.8%，增速比去年同期提高 1.5 个百分点。“十一五”以来，全国发电量在 2008、2009、2012 年和 2013 年均受金融危机和国内经济不景气的冲击，

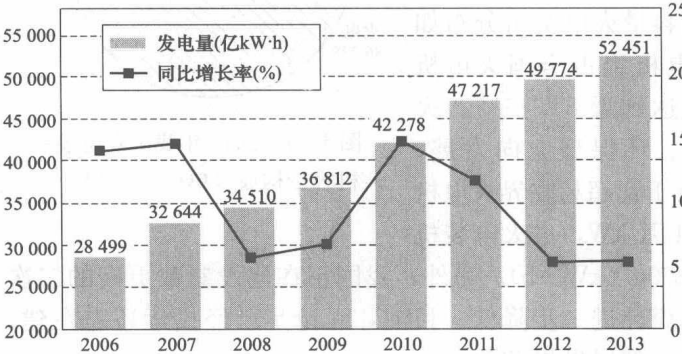


图 1-9 2006~2013 年全国发电量增长情况

发电量同比增长率不足 10%，其余时间段均保持了快速增长。2010 年和 2011 年受国内加大固定资产投资建设等经济政策的影响，全国发电量增速保持较高水平。2006~2013 年全国发电量增长情况如图 1-9 所示。

1.2.2.2 电力消费规模和结构

图 1-10 所示是 1978～

2013 年我国经济总量和用电量统计图。可以看到,全社会用电量随国民生产总值的增长总体呈稳步增长态势,尤其是 2003~2007 年保持平均 15% 左右的高速增长,2008 年和 2009 年受国际金融危机的影响,增幅降至 5%,但受国家为恢复经济的“四万亿投资计划”和“十大产业振兴规划”等政策的拉动,2010 年用电量增幅又回升至 15% 左右。

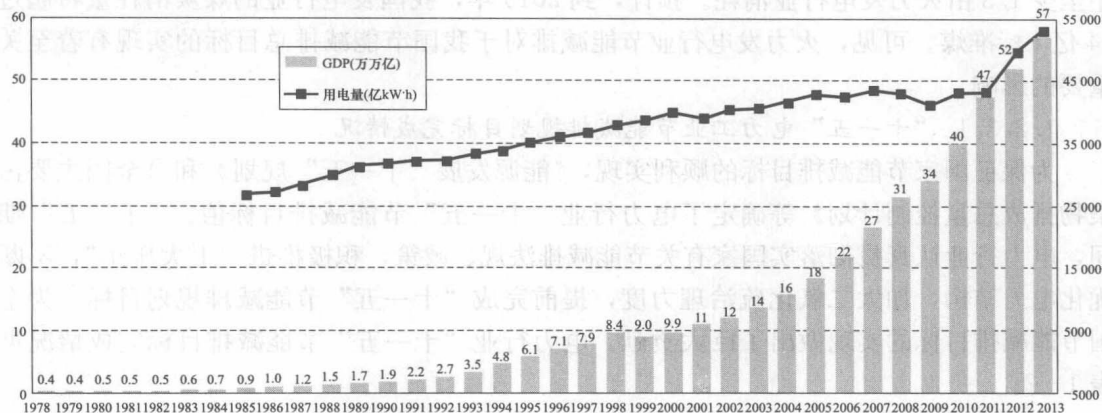


图 1-10 1978~2013 年我国经济总量和用电量统计

从电力消费结构来看(如图 1-11 所示),第一产业用电量呈稳步增长态势,平均增速接近 5%;第二产业用电量始终占全社会电力消费的 70% 左右,故第二产业用电量的变动对全社会用电量的影响很大;第三产业用电量增速走高,但其所占比重基本维持在全社会用电量的 1% 左右,这也是第三产业的基本属性所决定的,因此,我国为实现 2020 年单位 GDP 能耗下降 40%,很重要的一项政策就是鼓励第三产业的发展;我国城乡居民生活用电保持两位数的较高增长率,反映经济和社会发展迅速,城乡居民收入增加,人民生活水平不断提高,同时城市人口增长也是一个重要因素。

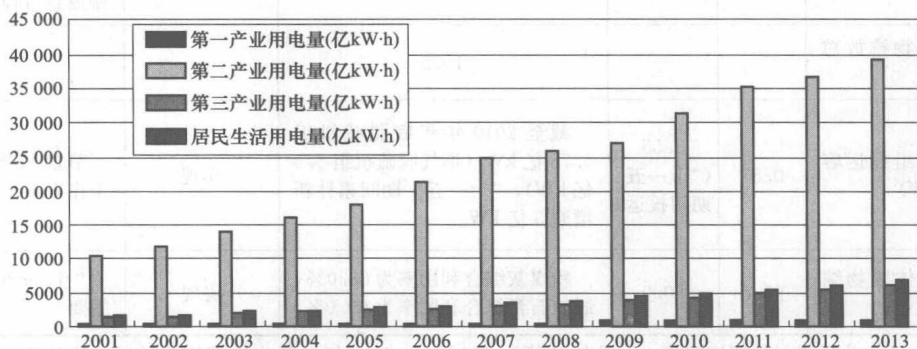


图 1-11 2001~2013 年我国电力消费结构

1.2.3 电力工业节能减排

我国是世界上少数几个以煤为主的国家,根据 BP 公司 2014 年全球能源消费统计,在 2013 年全球一次能源消费构成中,煤炭仅占 30.0%,而我国高达 15.1%,消费了几乎全球一半的煤炭。在未来相当长时期内,煤炭作为主体能源的地位不会改变,煤炭消