

# 中国洁净煤技术

主 编 徐振刚 曲思建



煤炭工业出版社

# 中国洁净煤技术

主编 徐振刚 曲思建

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

中国洁净煤技术 / 徐振刚, 曲思建主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2012

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3959 - 2

I. ①中… II. ①徐… ②曲… III. ①清洁煤 - 技术 - 中国  
IV. ①TD942

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 240600 号

煤炭工业出版社 出版  
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: [www.cciph.com.cn](http://www.cciph.com.cn)  
煤炭工业出版社印刷厂 印刷  
新华书店北京发行所 发行

\*  
开本 889mm × 1194mm<sup>1/16</sup> 印张 27<sup>3/4</sup>  
字数 778 千字 印数 1—1 000  
2012 年 4 月第 1 版 2012 年 4 月第 1 次印刷  
社内编号 6780 定价 120.00 元

**版权所有 违者必究**

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

## 内 容 提 要

本书是“十一五”国家重点图书之一，同时也是煤炭科学研究总院科技发展基金资助项目。本书结合我国洁净煤技术的研究和应用实际，全面系统地介绍了我国洁净煤技术的现状和发展趋势，内容涉及方针政策、煤炭的清洁生产、煤炭分选和脱硫、水煤浆、型煤、高效利用、高效洁净燃烧技术、煤的气化、整体煤气化联合循环发电、煤的液化、煤的焦化、煤炭制氢与燃料电池、烟气净化技术、煤层气（瓦斯）开发利用、煤矸石、伴生矿物利用技术、矿井水资源化利用技术等洁净煤技术的各个方面。本书内容侧重于洁净煤技术的实际应用，是洁净煤技术应用方面的工具书。

本书可供与洁净煤技术有关的煤炭生产、洗选、燃烧、加工转化、综合利用、节能减排等方面的厂矿企业、科研单位、高等院校、管理部门的工程技术人员、科研、教学人员和管理人员的参考用书。

## 《中国洁净煤技术》编委会

主 编 徐振刚 曲思建

副主编 陈亚飞 范韶刚 史士东 梁大明 陈贵锋  
姜 英 王乃继 王利斌 李文博 何国锋

编 者 (按姓氏笔画为序)

王乃继	王利斌	王国房	王 琳	王 鹏
史士东	白向飞	任世华	刘文新	刘立麟
刘 敏	孙仲超	孙淑君	曲思建	朱晓苏
纪任山	何国锋	何海军	吴立新	张 颀
张晓静	李文博	李克健	李艳芳	杨宗仁
步学朋	肖乃友	肖翠微	陈亚飞	陈贵锋
周建明	罗隕飞	范韶刚	姜 英	段清兵
郝继锋	徐春霞	徐振刚	涂 华	商铁成
梁大明	董卫果	谢继东	韩锦德	裴贤丰

# 序

我国是煤炭生产和消费大国，2011年煤炭产量已经超过35亿吨，约占一次能源消费总量72.8%，而且我国富煤缺油少气的能源资源特点决定了在我国一次能源生产和消费中以煤炭为主的格局将长期不会改变，今后较长时期内，煤炭仍将是我国的主要能源。我国如此大的煤炭生产和消费量对洁净煤技术的应用提出了更高的要求。

洁净煤技术就是旨在减少污染和提高效率的煤炭加工、燃烧、转化和污染物控制等新技术的总称，其核心是提高效率和减少污染，从而使煤炭成为洁净、高效、可靠的能源。洁净煤技术的广泛采用，将带来我国煤炭加工利用技术总体水平的提高，意味着通过采用“洁净的煤技术”可实现煤炭清洁利用。

现阶段中国洁净煤技术含有4个领域、18项技术。包括：①煤炭加工技术：选煤、型煤、配煤、水煤浆；②煤炭高效燃烧及先进发电技术：循环流化床CFBC、煤气化联合循环发电IGCC、低 $\text{NO}_x$ 燃烧技术、超临界和超超临界发电技术、中小工业锅炉改造；③煤炭转化技术：煤炭气化、煤炭液化、多联产、煤炭制氢与燃料电池；④污染控制与资源化利用：烟气净化（脱硫与除尘）、粉煤灰利用、煤层气开发利用、煤矸石及矿井水利用及资源化。

采用洁净煤技术，有利于提高煤炭效率，减少粉尘和 $\text{SO}_2$ 污染；有利于保障能源安全，特别是煤气化、煤炭液化等技术，将在替代部分燃油、缓解我国石油供需矛盾中发挥重要作用；有利于调整产业结构；有利于面对国际市场的挑战与机遇；有利于实现国民经济可持续发展。发展洁净煤技术，不仅可获得良好的环境效益和社会效益，还可获得显著的宏观经济效益。大力发展洁净煤技术，对于保障高效、清洁的能源供应将起到相当重要的作用，是我国能源可持续发展的现实选择和必然要求。

洁净煤技术是一项庞大、复杂的系统工程，涉及国民经济各个部门，需要汇集各行各业的优势和智慧，需要得到全民的支持和参与。为了更好地推广洁净煤技术，本书特邀有关方面的专家学者组成了编委会，全面系统地介绍了我国洁净煤技术的发展现状和趋势，希望有助于普及具有中国特色的洁净煤技术，更快、更好地推广使用洁净煤技术。



2012年4月

## 目次

绪论	1
----	---

第一篇 煤炭清洁开采和加工利用篇

<b>第一章 煤炭的清洁开采</b>	17
第一节 煤炭清洁开采的意义	17
第二节 煤炭清洁开采的技术和途径	18
第三节 露天煤矿清洁开采技术	29
<b>第二章 煤炭洗选技术</b>	32
第一节 我国煤炭洗选工业的发展概况	32
第二节 主要选煤技术	39
第三节 我国煤炭洗选脱硫技术应用	52
<b>第三章 配煤和固硫技术</b>	55
第一节 常规动力配煤的基本原理	55
第二节 非线性多元优化动力配煤	58
第三节 动力配煤的配煤方式和工艺流程	62
第四节 动力配煤的质量标准化和系列化	65
第五节 动力配煤经济效益分析	67
第六节 动力配煤的固硫技术	69
<b>第四章 水煤浆技术</b>	74
第一节 水煤浆技术发展现状及趋势	74
第二节 水煤浆质量特征及成浆性	80
第三节 水煤浆制备技术	87
第四节 水煤浆燃烧技术	95
<b>第五章 型煤技术</b>	101
第一节 型煤用途与分类	101
第二节 型煤黏结剂	112
第三节 型煤工艺与机械	118

第六章 煤炭产品分类与用煤技术条件	124
第一节 煤炭产品品种和等级划分	124
第二节 煤炭质量分级	128
第三节 工业用煤的技术要求	136
<b>第二篇 煤炭的洁净燃烧篇</b>	
第七章 中小型锅炉高效洁净燃烧技术	153
第一节 高效煤粉燃烧工业锅炉技术	153
第二节 链条锅炉的优化改造技术	161
第三节 污染物控制技术	168
第八章 整体煤炭气化联合循环发电技术 (IGCC)	175
第一节 概述	175
第二节 IGCC 系统对煤气化技术的要求	180
第三节 典型 IGCC 电站简介	182
第四节 IGCC 关键技术的研究和发展趋势	196
<b>第三篇 煤炭化工转化技术篇</b>	
第九章 煤的气化技术	201
第一节 煤炭气化的概念与基本原理	201
第二节 煤炭性质及对气化的影响	207
第三节 煤炭气化工艺	209
第四节 煤气的应用	244
第五节 煤炭气化技术发展趋势	252
第十章 煤的液化技术	256
第一节 煤炭直接液化	256
第二节 煤炭间接液化	269
第十一章 煤的焦化技术	280
第一节 炼焦的技术发展	280
第二节 配煤炼焦	288
第三节 炼焦化学产品回收与加工	295
第四节 煤的低温热解	310
第十二章 煤炭制氢与燃料电池	320
第一节 煤炭制氢技术现状与发展	320



第二节	燃料电池技术现状与发展	323
第三节	制氢技术与燃料电池	332
<b>第十三章</b>	<b>现代煤化工技术</b>	<b>334</b>
第一节	煤化工技术的内容	334
第二节	我国煤化工的发展需求与发展趋势	339
第三节	多联产与循环经济	344
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;"> <b>第四篇 循环经济和环境保护篇</b> </div>		
<b>第十四章</b>	<b>烟气净化技术</b>	<b>347</b>
第一节	概述	347
第二节	活性焦烟气净化技术现状及发展趋势	361
第三节	活性焦烟气脱硫技术	365
第四节	活性焦烟气脱硝技术	368
第五节	烟气中重金属及其他污染物控制技术	371
<b>第十五章</b>	<b>煤层气(瓦斯)开发利用技术</b>	<b>375</b>
第一节	煤层气的物理化学性质	375
第二节	煤层气的形成	376
第三节	国内外煤层气的资源与开发利用	378
第四节	煤层气开采技术	381
第五节	煤层气(瓦斯)抽采方法	383
第六节	煤层气的利用途径	384
<b>第十六章</b>	<b>煤矸石、伴生矿物利用技术</b>	<b>389</b>
第一节	煤矸石的分类	389
第二节	煤矸石的利用技术	396
第三节	煤系伴生矿物的利用	401
<b>第十七章</b>	<b>矿井水资源化利用技术</b>	<b>406</b>
第一节	概述	406
第二节	含悬浮物矿井水处理	408
第三节	酸性矿井水处理	411
第四节	高矿化度矿井水处理	416
第五节	含(高)氟矿井水处理	421
第六节	含重金属离子矿井水处理	425
第七节	含有机污染物矿井水处理	427
第八节	含放射性污染物矿井水处理	429
	参考文献	431

# 绪 论

## 一、煤炭是我国的基础能源

我国常规能源探明总资源量超过  $8230 \times 10^8$  t 标准煤，结构比例为原煤 87.4%，原油 2.8%，天然气 0.3%，其他能源 9.5%。煤炭是我国最丰富的化石能源，在化石燃料资源中占有绝对优势（表 0-1）。我国有近半数预测资源量分布在西北区，该区探明可采储量仅占全国的 14.69%，有大量煤炭还没有进行勘探和利用；华北区预测资源量位居全国第二，探明可采储量占全国的 57.63%。

表 0-1 中国化石能源基础储量（2010 年末）

能 源	基础储量	人均储量
石 油	3170.00 Mt	2.37 t
天然气	$37793.2 \times 10^8 \text{ m}^3$	$2825.22 \text{ m}^3$
煤 炭	$2793.9 \times 10^8 \text{ t}$	208.86 t

注：石油和天然气为剩余技术可采储量。

### 1. 煤炭资源

据第三次全国煤炭资源预测（《中国煤炭资源预测与评价》，中国煤炭地质总局，1997），我国埋深 2000 m 以浅的煤炭资源总量  $5.57 \times 10^{12}$  t，居世界第一位，其中 1000 m 以浅为  $2.86 \times 10^{12}$  t。截至 2008 年底，保有资源量  $17320 \times 10^8$  t，其中已利用  $4154 \times 10^8$  t，尚未利用资源量  $13166 \times 10^8$  t。全国尚未利用资源量中，勘探（精查）资源量  $1535 \times 10^8$  t。

我国煤炭资源的特点是已发现资源总量大，品种齐全，但地区分布极不均匀，优质环保型资源少，勘探程度低，可供开发的经济可采量少。根据《中国煤炭资源预测与评价》报告，我国垂深 1000 m 以浅煤炭主要分布在新疆、内蒙古、山西、贵州、陕西等省（区），占全国预测资源量的 90.16%。

从我国煤炭资源地理分布上看，若以秦岭—大别山—昆仑山为界划分，北煤多于南煤。秦岭—大别山以北煤炭保有储量约占全国的 90%，集中分布在山西、陕西、内蒙古三省（区），占北方区的 64%；秦岭—大别山以南煤炭储量约占全国的 10%，集中分布在贵州和云南两省，占南方区的 77%。若按照国家西部开发战略的东西部划分方法划分，西煤多于东煤。东部地区国内生产总值占全国的 83%，煤炭资源量占全国保有资源量的 38.25%，我国经济最发达的东部 10 省市（包括北京、辽宁、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东），国内生产总值占全国国内生产总值的 60% 以上，而保有资源量仅占全国的 5.05%。西部地区国内生产总值仅占全国的 17.1%，而煤炭资源量占全国保有资源量的 61.75%。即煤炭资源分布与区域经济发展水平和消费需求极不适应，东部经济发达，却煤炭资源贫乏；西部煤炭资源丰富，但经济不发达，大量煤炭必须远距离北煤南运、西煤东运。图 0-1 所示为 2010 年中国煤炭基础储量和分布。

从品种来讲，我国煤炭种类齐全，从褐煤到无烟煤均有，煤炭资源从数量和品种上基本可以满足经济发展对煤炭品种的需求：

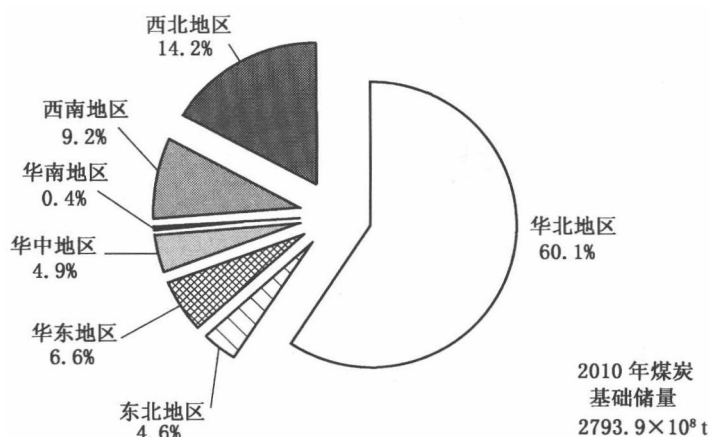


图 0-1 2010 年中国煤炭基础储量和分布

(1) 褐煤约  $2250 \times 10^8$  t, 占全部保有资源储量的 13%。内蒙古东部和云南是重要的褐煤产地, 黑龙江、辽宁、吉林、广西、山东、广东、河北、海南等地有少量褐煤赋存。成煤时代主要为早白垩世、第三纪。

(2) 低变质烟煤(包括不黏煤、弱黏煤和长焰煤)  $10468 \times 10^8$  t, 占保有资源储量的 60%, 主要分布于陕西、内蒙古西部、新疆, 其次为山西、宁夏、甘肃、辽宁、黑龙江、吉林、山东、广西有少量分布。成煤时代以早、中侏罗世为主, 其次为早白垩世、石炭二叠纪。低变质烟煤煤质优良, 是优质动力用煤。

(3) 中变质烟煤(包括气煤、肥煤、焦煤、瘦煤)  $2800 \times 10^8$  t, 占总保有资源储量的 16%。气煤多分布于山西、山东、安徽, 其次为新疆、黑龙江、河北、陕西、辽宁、内蒙古及宁夏, 其他各省(区)仅有少量分布。肥、焦、瘦煤主要分布在山西、安徽、山东等少数省。焦煤和 1/3 焦煤十分稀缺, 是今后应该注意保护的对象。

(4) 高变质煤(贫煤、无烟煤)  $1800 \times 10^8$  t, 占保有资源储量的 10%, 主要分布于山西, 其次为贵州、河南、四川、云南、陕西诸省, 宁夏、湖南、广西、广东有少量分布。高变质煤一般赋存于石炭二叠系含煤地层中, 大多硫分较高, 优质无烟煤比较缺乏。

## 2. 油气资源

我国石油产量进入平衡增长阶段, 天然气产量进入快速增长阶段。预计到 2030 年, 石油产量可以保持在  $2 \times 10^8$  t, 天然气产量可达  $2500 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 油气“二分天下”的格局初步形成。中国分油气区最终可采石油资源分布见表 0-2。

根据国土资源部新一轮全国油气资源评价(2010 年 8 月), 我国石油远景资源量  $1086 \times 10^8$  t, 地质资源量  $765 \times 10^8$  t, 可采资源量  $212 \times 10^8$  t。截至 2010 年底, 我国石油剩余技术可采储量只有  $31.7 \times 10^8$  t, 按 2010 年国内石油产量  $2.03 \times 10^8$  t 计, 储采比为 15.6。2010 年中国石油剩余技术可采储量和分布如图 0-2 所示。

综合各方预测, 我国原油产量的高峰期在 2015 年前后, 最大产量可能达到  $2 \times 10^8$  t。由于国内石油产量增加的余地有限, 今后石油需求的增长将主要依靠进口解决。

据专家推测, 中国石油资源中约有 3/5 有待将来探明, 但资源品质已大大变差, 绝大多数资源存在于埋藏较深、类型复杂、地面条件差、工艺技术要求高的油藏中。预计今后年均石油资源探明速度会保持在 0.5% ~ 0.8% 之间, 个别年份可能达到 1%。但是, 今后的石油探明资源开采难度会有所增加。

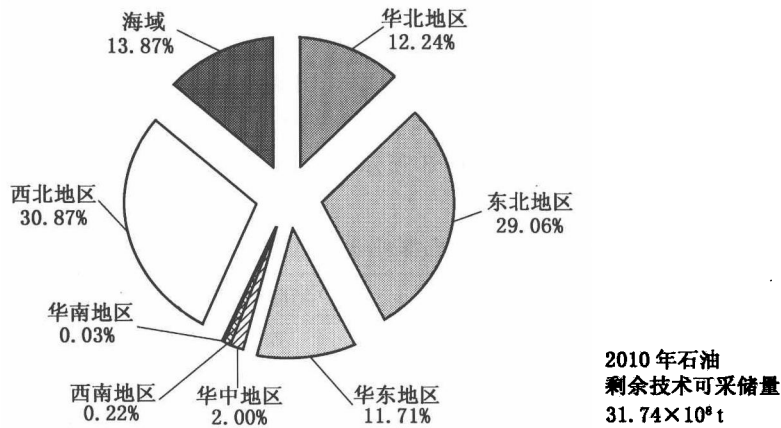


图 0-2 2010 年中国石油剩余技术可采储量和分布

表 0-2 中国分油气区最终可采石油资源分布

油气分区	含油亚区	评价盆地与地区/个	沉积岩面积/ $10^4 \text{ km}^2$	石油资源量/ ( $\times 10^8 \text{ t}$ )	可采资源量 高值/( $\times 10^8 \text{ t}$ )	可采资源量 低值/( $\times 10^8 \text{ t}$ )
东部油区	东北地区	34	59.79	158.33	38.15	34.18
	渤海湾地区	2	13.9	199.74	44.64	40.74
	南华北地区	3	11.85	4.15	0.23	0.18
	中下扬子地区	4	25.80	11.95	2.13	1.76
	小 计	43	111.34	374.16	85.14	76.86
中部油区	鄂尔多斯盆地	1	25	66.38	7.94	6.72
	四川盆地	1	18	11.35	0.69	0.60
	渭河地区	3	4	3.01	0.20	0.16
	小 计	5	47	80.74	8.83	7.48
西部油区	准噶尔地区	14	27.11	116.39	17.98	14.78
	塔里木地区	4	58.47	111.60	13.76	11.90
	柴达木地区	8	17.78	29.70	3.09	2.47
	走廊—北山地区	15	27.29	44.99	3.73	2.75
	小 计	41	130.64	302.68	38.56	31.90
南方油区	滇黔地区	10	13.17	11.94	0.74	0.58
	湘桂地区	8	10.80	8.50	0.47	0.40
	东南沿海地区	5	5.83	2.26	0.10	0.08
	小 计	23	29.80	22.70	1.31	1.06
西藏自治区		6	20.46	8.33	0.47	0.40
陆上合计		118	339.25	788.62	134.31	117.70
沿海海域		6	77.18	233.67	25.87	21.12
全国有勘探价值的盆地		124	409.28	1021.21	160.18	138.82

根据国土资源部新一轮全国油气资源评价(2010年8月),我国天然气远景资源量 $56 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,地质资源量 $35 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,可采资源量 $22 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。截至2009年底,我国已探明天然气可采储量 $4.73 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,剩余可采储量 $3.713 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。大中型气田集中分布在四川、鄂尔多斯、塔里木、柴达木、琼东南—莺歌海、东海等盆地。各盆地探明天然气地质储量 $2.56 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,见表0-3。2010年中国天然气剩余技术可采储量和分布如图0-3所示。

表0-3 中国已探明大中型气田分布

盆 地	储量大于 $300 \times 10^{12} \text{ m}^3$		储量 $(50 \sim 300) \times 10^{12} \text{ m}^3$		备 注
	个 数	储 量	个 数	储 量	
松辽			4	352.52	
渤海湾	1	332.72	14	1395.42	含渤海海域
四川	6	2611.79	26	3055.83	
鄂尔多斯	3	3793.91	2	264.96	
柴达木	3	1340.41	1	124.39	
塔里木	3	3480.82	8	1540.9	
吐哈			2	191.23	
准噶尔			3	356.88	
东海	1	330.43	3	492.35	
琼东南	1	884.96			
莺歌海	2	1427.84	1	178.80	
中国合计	20	14202.88	64	7953.28	

来源:《2001 中国能源发展报告》,中国计量出版社。

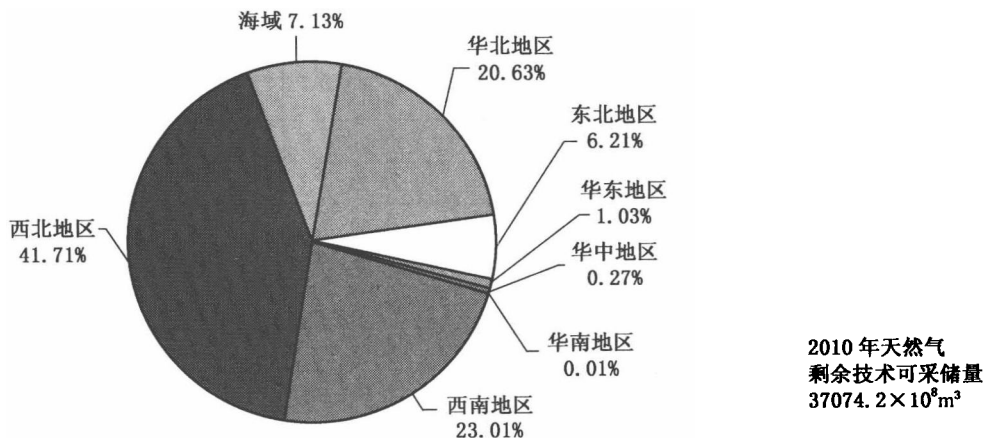


图0-3 2010年中国天然气剩余技术可采储量和分布

我国天然气资源勘探开发前景广阔,目前正处于探明储量和产量快速发展期。随着西部天然气开发、西气东输、沿海气田开发和国外液化天然气和管道气的引进,国内天然气供应量将有较大的增加。

### 3. 其他能源

我国可再生能源资源较为丰富(表0-4),随着《可再生能源法》及配套政策的出台和实施,可再生能源的发展将进一步加快。

表 0-4 中国可再生能源资源量

可 再 生 能 源 种 类	资 源 量
水能资源蕴藏量/ $10^8$ kW	6.94
其中可开发量	5.42
小水电中的可开发量	1.25
风能资源量/ $10^8$ kW	32
其中陆地可开发量	2.5
近海可开发量	7.5
太阳能/ $10^8$ kW	10.9
地热能远景储量/ $10^8$ tce	1353
探明储量/ $10^8$ tce	31.6
海洋能理论蕴藏量/ $10^8$ kW	6.3
生物质能资源量/ $10^8$ t	
秸秆	7
薪柴	2.2

我国水能资源，无论是理论蕴藏还是可开发量，均是包括巴西、美国、加拿大在内的世界上五个主要水能资源丰富国家之一。全国水力资源蕴藏量为  $6.94 \times 10^8$  kW，其中可开发利用量为  $5.42 \times 10^8$  kW 左右。可供发电的水能资源地域分布非常不均匀，主要集中在西南地区，占全国总量的 67.8%；其次为中南地区和西北地区，分别占 15.5% 和 9.9%；东北、华东和华北地区仅各占 1% ~ 3%。

我国风能资源总量可以达到  $32 \times 10^8$  kW，全国风能资源地理分布与电力负荷不匹配，沿海地区电力负荷大，但是风能资源丰富的陆地面积小，而北部地区风能资源很丰富，电力负荷却很小，给风电的经济开发带来困难。

我国太阳能资源量达到  $10.9 \times 10^8$  kW，太阳能资源丰富地区的面积占国土面积 2/3 以上，太阳能年辐射量超过  $60 \times 10^8$  J/m<sup>2</sup>，每年地表吸收的太阳能大约相当于  $1.7 \times 10^{12}$  tce 的能量，具备利用太阳能的良好资源条件。

我国各类废弃生物质资源比较丰富，能源作物/林木具有一定基础和规模化发展潜力，当前可利用生物质资源潜力约  $10 \times 10^8$  t。

我国地热能储量约相当于  $1353 \times 10^8$  tce。如果仅考虑目前已经探明的高温地热情况以及中低温地热能勘探打井情况，全国地热资源潜力约相当于  $5000 \times 10^4$  tce 的年产能。

我国海洋能资源理论蕴藏量  $6.3 \times 10^8$  kW。

尽管世界各国对可再生能源发展的态度积极、投入增加，但是其发挥重要作用的时间将在 2030 年以后。在近中期，可再生能源发电在我国主要起到补充作用。在中长期，随着风力发电和生物质发电实现产业化发展以及太阳能发电成本的下降，可再生能源发电在我国新增电力系统中将占据重要地位。在长远期，风力发电和太阳能光伏发电在我国将实现较大规模发展，并补充以生物质发电。

中国的铀资源居世界第 9 位，储量超过 0.1 Mt，现有经济可采储量可保证 10000 MW 核电站运行 30 年，若要增加核电站的建设则需要进口铀矿。我国探明可采的铀资源储量不多，一直难以取得大的突破，基本上仍停留在 20 世纪 70 年代水平。但我国处于全球铀资源富集带，还有 40% 以上的可查面积没有进行放射性普查，地下 500 m 以下深部没有进行探矿，因此铀资源勘查前景广阔，估算资

源总量约 1.7 Mt。

## 二、煤炭在我国能源生产和消费结构中占主导地位

我国能源资源条件决定了煤炭在我国一次能源生产和消费结构中的主导地位。2010 年,我国煤炭生产和消费量分别是  $35.2 \times 10^8$  t 和  $34.2 \times 10^8$  t, 占一次能源生产和消费总量的 77.5% 和 68.8%, 见表 0-5 和表 0-6。预测到 2020 年,煤炭在一次能源消费构成中的比重不会低于 60%, 50 年内不会低于 50%, 消费绝对量仍将增加。

表 0-5 1995—2010 年中国能源生产总量及构成

年 份	能源生产总量/ $10^4$ tce	占能源生产总量的比重/%			
		原 煤	原 油	天 然 气	一 次 电 力
1995	129034	75.3	16.6	1.9	6.2
1996	133032	75.0	16.9	2.0	6.1
1997	133460	74.3	17.2	2.1	6.5
1998	129834	73.3	17.7	2.2	6.8
1999	131935	73.9	17.3	2.5	6.3
2000	135048	73.2	17.2	2.7	6.9
2001	143875	73.0	16.3	2.8	7.9
2002	150656	73.5	15.8	2.9	7.8
2003	171906	76.2	14.1	2.7	7.0
2004	196648	77.1	12.8	2.8	7.3
2005	216219	77.6	12.0	3.0	7.4
2006	232167	77.8	11.3	3.4	7.5
2007	247279	77.7	10.8	3.7	7.8
2008	260552	76.8	10.5	4.1	8.6
2009	274618	77.3	9.9	4.1	8.7
2010	318000	77.5	9.0	9.2	4.3

注: 电力折算标准煤的系数根据当年平均发电煤耗计算。

表 0-6 1995—2010 年中国能源消费总量及构成

年 份	能源消费总量/ $10^4$ tce	占能源消费总量的比重/%			
		煤 炭	石 油	天 然 气	水 电、核 电、风 电
1995	131176	74.6	17.5	1.8	6.1
1996	135192	73.5	18.7	1.8	6.0
1997	135909	71.4	20.4	1.8	6.4
1998	136184	70.9	20.8	1.8	6.5
1999	140569	70.6	21.5	2.0	5.9
2000	145531	69.2	22.2	2.2	6.4
2001	150406	68.3	21.8	2.4	7.5
2002	159431	68.0	22.3	2.4	7.3

表 0-6 (续)

年 份	能源消费总量/ $10^4$ tce	占能源消费总量的比重/%			
		煤 炭	石 油	天 然 气	水 电、核 电、风 电
2003	183792	69.8	21.2	2.5	6.5
2004	213456	69.5	21.3	2.5	6.7
2005	235997	70.8	19.8	2.6	6.8
2006	258676	71.1	19.3	2.9	6.7
2007	280508	71.1	18.8	3.3	6.8
2008	291448	70.3	18.3	3.7	7.7
2009	306647	70.4	17.9	3.9	7.8
2010	32500	68.8	18.1	5.0	8.1

注：电力折算标准煤的系数根据当年平均发电煤耗计算。

煤炭资源能持续稳定地满足工业化、城市化、现代化建设的扩张需求，还可通过新型煤转化技术生产替代液体燃料或石油制品，弥补石油及天然气资源不足，保证能源可获得性和安全性。我国电力供应的 75% 以上、化工生产的 60% 以上、工业燃料的 80% 以上均来自煤炭，煤炭在国民经济链条中具有重要基础作用。

### 三、煤炭生产和消费过程中存在的问题

#### 1. 煤炭利用效率低下

2008 年，我国能源加工、转换、贮运和终端利用综合效率为 36%，比 2000 年提高了 4 个百分点。单位产品能耗明显下降，其中钢、水泥、大型合成氨等产品的综合能耗及供电煤耗与国际先进水平的差距不断缩小。

但与国际先进水平相比，我国目前能效水平仍有一定差距（图 0-4），尤其是与煤炭利用相关的传统产业，其工艺和技术的落后、效率的低下，迫切需要优化产业和产品结构，发展洁净煤技术及其他先进技术，以节约能源，提高效率。2010 年全国平均供电煤耗 333 gce/(kW·h)，比国外同期先

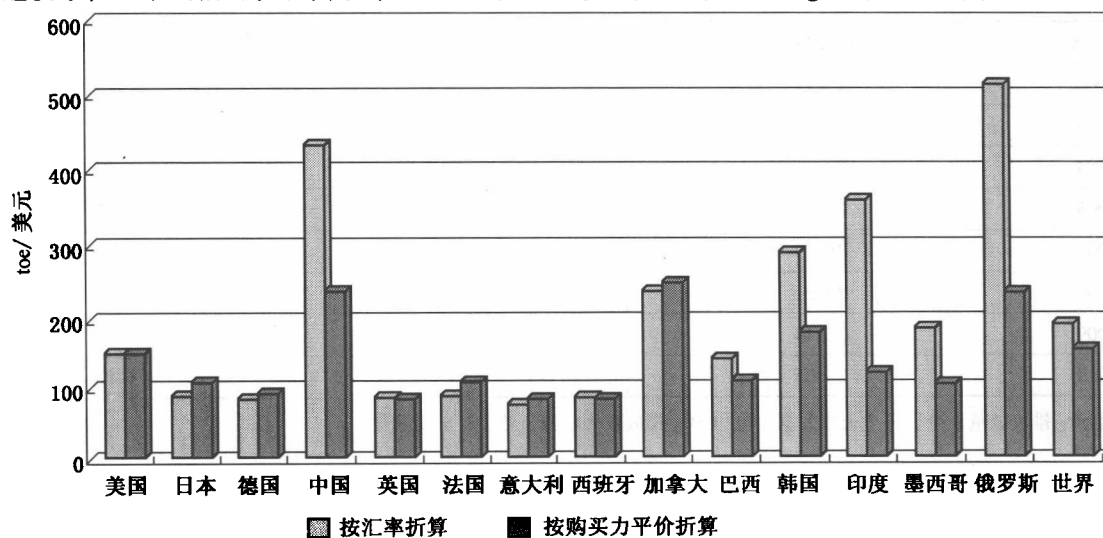


图 0-4 2009 年中国与世界单位 GDP 能耗的比较



进水平高约 30 gce/(kW·h)；工业锅炉运行热效率多在 60%~65%，低于国际先进水平 20~25 个百分点；单位建筑面积采暖能耗相当于气候条件相近的发达国家的 2~3 倍；民用直接燃烧效率低，有的燃烧效率还不到 20%。

中国主要耗能产品的单位能耗平均比国际先进水平高 20%~30%，节能潜力很大（表 0-7）。

表 0-7 几种高耗能产品能耗的国际比较

能 耗	2000 年		2005 年		2008 年		2009 年		2010 年	
	中国	国际先进	中国	国际先进	中国	国际先进	中国	国际先进	中国	国际先进
火电供电煤耗/(gce·kW <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	392	316	370	314	345	312	340	310	333	307
钢可比能耗/(kgce·t <sup>-1</sup> )	784	646	732	616	709	610	697	610	680	610
水泥综合能耗/(kgce·t <sup>-1</sup> )	181	126	167	127	151	118	139	118	126	118
乙烯综合能耗/(kgce·t <sup>-1</sup> )	1125	714	1073	629	1010	629	976	629	950	629

## 2. 燃煤产生的环境问题

我国燃煤产生的 SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、氮氧化物、总悬浮颗粒物排放量分别占全国污染物排放总量的 74%、85%、60% 和 70%，引起的酸雨和温室效应给区域生态环境造成很大的危害，每年经济损失约 1100 亿元，且还在不断增加。按目前经济发展模式，预计 2020 年全国煤炭消费量约 34 × 10<sup>8</sup> t，SO<sub>2</sub> 排放量约 50 Mt，将是目前大气环境容量的 3 倍，环境将不堪重负。

到 2010 年底，全国火电厂烟气脱硫机组容量已达 5.6 × 10<sup>8</sup> kW，占煤电机组容量的 86%。全国火电厂 SO<sub>2</sub> 排放总量约 10.50 Mt，排放强度约 3.8 g/(kW·h)；烟尘排放总量 3.30 Mt，排放强度 1.2 g/(kW·h)；NO<sub>x</sub> 排放总量 8.55 Mt，排放强度 3.1 g/(kW·h)。据有关部门统计，到 2009 年底，全国火电厂烟气脱硫机组容量已占火电机组容量的 71%~72%；采用脱硝技术的机组容量也达到近 4400 × 10<sup>4</sup> kW，占火电机组的 6.7%，环境污染问题进一步改善。我国火电厂 SO<sub>2</sub> 排放情况见表 0-8。

表 0-8 我国火电厂 SO<sub>2</sub> 排放情况

年 份	全国 SO <sub>2</sub> 排放总量/Mt	其中电力 SO <sub>2</sub> 排放量/Mt	比例/%
2002	19.27	8.20	42.6
2003	21.59	10.00	46.3
2004	22.55	12.00	53.2
2005	25.49	13.00	51
2006	25.89	13.50	52.1
2008	23.21	10.50	45.2
2009	22.14	9.33	42.1
2010	21.85	9.26	42.4

注：全国 SO<sub>2</sub> 排放总量为全国环境公报数据，电力 SO<sub>2</sub> 排放量为电力行业统计分析数据。

我国工业锅炉每年燃煤量为 (6~6.5) × 10<sup>8</sup> t；工业锅炉量大面广，容量又小，除少数较大容量 (>20 t/h) 的锅炉装有脱硫设备外，绝大部分都没有脱硫装置；许多小锅炉除尘装置也相当简陋，烟尘排放严重超标，每年的 SO<sub>2</sub> 排放量为 6~7 Mt，占全国总排放量的约 25%，烟尘排放量为 4 Mt，