



普通高等教育“十二五”规划教材

能源环境与可持续发展

朱玲 周翠红 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材

能源环境与可持续发展

朱玲 周翠红 主编



中国石化出版社

内 容 提 要

全书共分9章,第1~2章主要介绍各种常规能源和非常规能源利用技术及现状,第3章介绍能源转化过程的基本理论及能源储运技术,第4章介绍由于能源短缺所引起的能源安全问题,第5章介绍能源在使用过程中所产生的环境污染问题,第6章介绍节能减排管理与指标体系,第7章介绍国内外节能减排的现状与趋势,第8章介绍清洁发展机制的理论,第9章介绍可持续发展的基本理论与经济模式选择,本书在内容上覆盖面广,涉及能源、环境工程、可持续发展、节能减排等方面的知识,有助于拓展学生的知识面,同时也有助于树立节能环保的社会意识。

本书可作为普通高等院校环境类通识性教育的教材,也可作为能源和环境专业本科生的教材,同时也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

能源环境与可持续发展/朱玲,周翠红主编. —北京:
中国石化出版社,2013.8

ISBN 978 - 7 - 5114 - 2279 - 8

I. ①能… II. ①朱… ②周… III. ①能源 - 可持续性发展 - 高等学校 - 教材 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 180266 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

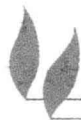
全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 486 千字

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定价:39.00 元



前言

PREFACE

能源是国民经济的命脉，也是构成客观世界的三大基础之一。我国是继美国之后的第二大能源消费国，而且石油的对外依存度已经超过美国列世界第一位。在“以经济建设为中心是兴国之要，发展仍是解决我国所有问题关键”的发展方针下，能源短缺将是我国今后几十年发展经济，全面建成小康社会过程中必须尽快解决的关键问题。同时，在加快经济发展在工业化和现代化进程中，我们所生活的环境也遭受了几乎不可逆的破坏。虽然经过多年的治理，环境质量已有明显改善，但仍存在很多严重的环境问题，如湖泊的富营养化、城市雾霾天气、突发性环境污染问题等。因此，合理利用资源、开发利用可再生资源、不断改善生态环境，打破资源和环境的瓶颈制约，坚持科学发展观，加快转变经济发展方式，走可持续发展的道路，对我国经济、社会可持续发展，促进全球经济发展和保护环境具有深远的意义。胡锦涛同志在十八大报告中提出：“坚持节约资源和保护环境的基本国策，坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针，着力推进绿色发展、循环发展、低碳发展，形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式，从源头上扭转生态环境恶化趋势，为人民创造良好生产生活环境，为全球生态安全作出贡献。”

本书编写的目的是为广大读者系统地介绍有关能源学科、环境学科、可持续发展理论、节能减排以及清洁发展机制的基本知识。鉴于能源、环境、生命、信息、材料和管理等学科是高等院校科学素质系列教育的重要组成部分，本书结合多学科优势，力求兼顾科学素质教育的要求，在取材上资料和数据涉及面广、叙述简洁、可读性强，以达到为读者提供更多最新相关信息的目的。

本书第1~5、8章由朱玲编写，第6、7、9章由周翠红编写，全书由朱玲负责统稿；编写过程中得到了北京石油化工学院环境工程系老师的大力支持，陈家庆教授对本书进行认真审查，并提出了很多建设性的意见；本书的编写得到了国家基金委青年基金项目



目 录

CONTENTS

第1章 常规能源	(1)
1.1 能源概述	(1)
1.1.1 能源的概念	(1)
1.1.2 能源的分类	(1)
1.1.3 能源的评价	(1)
1.2 煤炭	(3)
1.2.1 有关煤炭的知识	(3)
1.2.2 煤炭资源与开发	(6)
1.2.3 洁净煤技术	(10)
1.2.4 煤的气化与液化	(14)
1.3 石油	(18)
1.3.1 有关石油的知识	(18)
1.3.2 石油资源	(19)
1.3.3 油田生产与消费	(22)
1.3.4 油田的开发	(26)
1.3.5 石油的加工	(29)
1.3.6 主要石油产品及油品结构	(30)
1.4 天然气	(33)
1.4.1 天然气的特性	(33)
1.4.2 天然气资源与生产	(34)
1.4.3 天然气市场	(39)
1.4.4 煤层气	(40)
1.4.5 天然气水合物	(42)
1.5 水能	(45)
1.5.1 水能资源	(45)
1.5.2 水能利用	(47)
1.5.3 水电站	(50)
1.5.4 小水电	(52)
1.6 二次能源	(53)

1.6.1	概述	(53)
1.6.2	燃料型二次能源	(53)
1.6.3	非燃料型二次能源	(54)
第2章 非常规能源		(61)
2.1	核能	(61)
2.1.1	核能的来源	(61)
2.1.2	核燃料	(63)
2.1.3	世界核能利用现状	(64)
2.1.4	反应堆	(67)
2.1.5	核电站	(68)
2.1.6	核废弃物处理与核安全	(71)
2.2	太阳能	(72)
2.2.1	概述	(72)
2.2.2	太阳辐射	(73)
2.2.3	太阳能热利用	(74)
2.2.4	太阳能光利用	(83)
2.3	风能	(84)
2.3.1	有关风的知识	(84)
2.3.2	风能资源	(85)
2.3.3	风能利用	(87)
2.3.4	风力机	(89)
2.3.5	风能利用中的问题	(89)
2.4	地热能	(90)
2.4.1	地球内部构造	(90)
2.4.2	地热资源	(92)
2.4.3	地热能的利用	(93)
2.4.4	地热能利用中的环境问题	(95)
2.5	海洋能	(95)
2.5.1	潮汐能	(95)
2.5.2	波浪能	(97)
2.5.3	温差能	(98)
2.5.4	盐差能	(99)
2.5.5	海流能	(99)
2.6	生物质能	(100)
2.6.1	生物质资源	(100)

2.6.2	生物质能的转换技术	(101)
2.6.3	薪柴	(102)
2.6.4	醇能	(103)
2.6.5	沼气	(104)
2.7	氢能	(105)
2.7.1	概述	(105)
2.7.2	氢的制取	(106)
2.7.3	氢的储存和运输	(108)
2.7.4	氢能的应用	(110)
2.7.5	氢经济	(110)
2.8	燃料电池	(111)
2.8.1	燃料电池概述	(111)
2.8.2	燃料电池的主要特点	(111)
2.8.3	燃料电池的分类	(112)
2.8.4	燃料电池应用	(115)
2.8.5	燃料电池的发展前景	(116)
第3章	能量的转换与储存	(118)
3.1	能量转换的基本原理	(118)
3.1.1	概述	(118)
3.1.2	能量守恒与转换定律	(118)
3.2	化学能转化为热能	(119)
3.2.1	概述	(119)
3.2.2	燃料的燃烧	(120)
3.2.3	气体燃料的燃烧技术	(121)
3.2.4	油的燃烧技术	(122)
3.2.5	煤的燃烧技术	(122)
3.2.6	燃烧设备	(124)
3.3	热能转化为机械能或电能	(126)
3.3.1	概述	(126)
3.3.2	蒸汽轮机	(126)
3.3.3	燃气轮机	(127)
3.3.4	内燃机	(128)
3.3.5	火力发电厂	(129)
3.3.6	先进的发电技术	(132)
3.4	能量的传输	(137)

3.4.1	概述	(137)
3.4.2	电能的输送	(138)
3.4.3	煤炭的运输	(140)
3.4.4	石油和天然气的运输	(142)
3.5	能量的储存	(145)
3.5.1	概述	(145)
3.5.2	机械能的储存	(146)
3.5.3	电能的储存	(146)
3.5.4	热能的储存	(147)
第4章	能源消费结构与能源安全	(152)
4.1	能源消费结构	(152)
4.2	能源安全从战争开始	(155)
4.2.1	能源——战争的焦点	(155)
4.2.2	石油——战争的根源	(157)
4.2.3	美国在中东、中亚地区的战略目的	(159)
4.3	世界主要地区的能源安全政策	(161)
4.3.1	美国	(161)
4.3.2	欧盟的可持续能源政策	(163)
4.3.3	日本能源安全政策	(165)
4.4	我国的能源安全问题	(168)
4.4.1	我国的能源安全问题	(168)
4.4.2	能源安全对策	(170)
第5章	能源与环境	(178)
5.1	环境概述	(178)
5.1.1	环境与环境污染的定义	(178)
5.1.2	环境的分类	(178)
5.1.3	环境问题	(179)
5.1.4	当前面临的环境问题	(181)
5.1.5	环境污染八大公害和十大事件	(182)
5.2	能源导致的主要环境问题	(186)
5.2.1	能源利用是引起环境变化的重要原因	(186)
5.2.2	酸雨污染	(187)
5.2.3	荒漠化加剧	(189)
5.2.4	生物多样性减少	(191)

5.2.5	温室效应和全球气候变化	(192)
5.2.6	核废料问题	(194)
5.3	各种能源的开发利用对环境的影响	(194)
5.3.1	化石燃料	(194)
5.3.2	水力发电	(195)
5.3.3	新能源与可再生能源	(196)
5.3.4	电力	(196)
5.4	我国能源环境问题	(197)
5.4.1	以煤炭为主的能源结构及其影响	(197)
5.4.2	生物质能的利用与生态的破坏	(198)
5.4.3	能源与资源利用低导致的环境问题	(199)
第6章	节能减排管理与指标体系	(201)
6.1	节能减排的法规与措施	(201)
6.1.1	节能减排法规	(201)
6.1.2	环境法规	(202)
6.1.3	节能应遵循的原则	(202)
6.1.4	节能的措施	(203)
6.2	节能减排指标体系及其评价	(207)
6.2.1	节能减排指标	(207)
6.2.2	节能减排指标体系	(208)
6.2.3	节能减排指标体系功能	(208)
6.2.4	节能减排指标体系的构建原则	(209)
6.3	节能减排指标设计	(210)
6.3.1	衡量节能减排成效的尺度	(210)
6.3.2	节能减排指标体系设计	(211)
6.4	节能减排指标的含义与作用	(212)
6.4.1	能源节约子系统	(212)
6.4.2	污染减排子系统	(213)
6.4.3	经济发展子系统	(213)
6.5	节能减排绩效的综合评价	(215)
6.5.1	多指标综合评价方法分类	(215)
6.5.2	多指标综合评价方法步骤	(215)
6.6	节能减排管理	(216)
6.6.1	能源审计	(216)
6.6.2	节能评估	(217)

6.6.3	合同能源管理	(217)
6.6.4	能源需求侧管理	(219)
6.6.5	节能产品认证	(219)
6.6.6	能源效率标识	(220)
6.7	企业节能规划指南	(220)
6.7.1	概念介绍	(220)
6.7.2	企业编制节能规划的意义	(221)
6.7.3	编制步骤	(221)
6.7.4	规划内容及编制方法	(221)
第7章	国内外节能减排的现状与趋势	(224)
7.1	世界各地区	(224)
7.1.1	北美	(227)
7.1.2	欧洲	(229)
7.1.3	亚太地区	(233)
7.2	中国	(234)
7.2.1	节能减排形势	(234)
7.2.2	节能减排的目的	(238)
7.2.3	我国的能源消费情况	(239)
7.2.4	我国的减排情况	(242)
7.3	“十二五”节能减排目标	(245)
7.3.1	“十一五”期间的减排情况	(245)
7.3.2	“十二五”节能减排规划	(246)
第8章	清洁发展机制	(249)
8.1	清洁发展机制(CDM)的概述	(249)
8.1.1	《京都议定书》的目标	(249)
8.1.2	全球气候变暖与清洁发展机制的产生背景	(251)
8.2	CDM 项目的开发和实施简介	(252)
8.2.1	CDM 项目流程	(252)
8.2.2	CDM 项目的融资方式	(254)
8.2.3	CDM 项目的风险问题	(256)
8.2.4	CDM 项目的特点	(257)
8.2.5	CDM 项目与实体项目的相互关系	(259)
8.2.6	CDM 项目应符合的条件	(260)
8.2.7	CDM 项目向实施的核心环节	(261)

8.2.8 减排量购买协议	(261)
8.3 我国实施 CDM 的意义	(262)
8.3.1 我国为什么要实施 CDM	(262)
8.3.2 我国在 CDM 问题上的态度	(264)
8.4 清洁发展机制(CDM)实施进展	(265)
8.4.1 世界 CDM 实施进展	(265)
8.4.2 我国 CDM 实施进展	(269)
8.4.3 国内 CDM 项目	(270)
第 9 章 可持续发展与经济模式选择	(278)
9.1 可持续发展观点的提出	(278)
9.1.1 背景	(278)
9.1.2 现代可持续发展理论的产生	(279)
9.2 科学的发展观	(281)
9.2.1 传统意义上的发展观	(281)
9.2.2 科学发展观点的内涵	(281)
9.3 可持续发展的概念和内涵	(282)
9.3.1 可持续发展的定义	(282)
9.3.2 可持续性的内涵	(284)
9.3.3 可持续发展	(285)
9.4 可持续发展对能源的需求	(287)
9.4.1 能源利用现状	(287)
9.4.2 我国能源利用现状	(288)
9.5 能源与经济模式选择	(288)
9.5.1 循环经济的兴起与发展	(288)
9.5.2 循环经济的模式	(290)
9.5.3 开展循环经济的国内外重要实践	(292)
9.5.4 我国加快发展循环经济的途径	(293)
9.6 建立可持续的低碳经济系统	(295)
9.6.1 低碳经济的兴起	(295)
9.6.2 我国对低碳经济的认识	(296)
9.6.3 我国发展低碳经济的可行性	(297)
9.6.4 我国发展低碳经济之路	(298)
参考文献	(300)

第 1 章 常规能源

1.1 能源概述

1.1.1 能源的概念

能源，顾名思义，就是能量的来源或源泉，是指能够直接或经过转换而获取某种能量的自然资源。在自然界里，有一些自然资源拥有某种形式的能量，它们在一定条件下，能够转换成人们所需要的某种形式的能量，这样一些自然资源被称为能源，如煤炭、石油、天然气、太阳能、风能、水力、地热、核能等。在生产和生活中，由于工作的需要或为了便于输送和使用等原因，上述能源经过一定的加工后便可成为符合使用条件的能量来源，如煤气、电力、沼气和氢能等也可称为能源，它们同样为人们提供所需要的能量。

自然界存在的这种能源很多，除了人们熟悉的煤炭、石油、天然气等以外，还有来自太阳的阳光、大气中的风、河里流的水、涨落的潮汐、起伏的波浪、地下的热水以及原子核释放出来的核能等。

1.1.2 能源的分类

可被人类利用的能源多种多样，如表 1-1 所示。能源有以下 6 种不同的分类方法，地球上的能量来源、被利用的程度、获得方法、能否再生、能源本身的性质和对环境的污染情况等。

表 1-1 能源的分类

按利用状况分	按使用性质分	按获得方法分	
		一次能源	二次能源
常规能源	燃料能源	煤炭、石油、天然气、生物质能	煤气、焦炭、汽油、煤油、柴油、液化气、甲醇、酒精
	非燃料能源	水能	电、蒸汽、热水、余热
非常规能源	燃料能源	核能	人工沼气、氢能
	非燃料能源	太阳能、风能、地热能、海洋能	激光能

1.1.3 能源的评价

能源多种多样，各有优缺点。为了正确选择和使用能源，必须对各种能源进行正确的评价。能源评价包括以下几个方面：

1. 储量

储量是能源评价中一个非常重要的指标。作为能源的一个必要条件是储量要足够丰富，对储量常有不同的理解。对煤和石油等化石燃料而言，储量是指地质资源量；对太阳能、风



能、地热能等新能源而言则是指资源总量；另一种理解是，储量是指有经济价值的可开采的资源量或技术上可利用的资源量。有经济价值的可开采资源量又分为普查量、详查量和精查量等几种。在油气开采中，通常将累计探明的可采储量与可采资源量之比称为可采储资比，用以说明资源的探明程度。储量丰富且探明程度高的能源才有可能被广泛应用。

2. 能量密度

能量密度是指在一定的质量、空间或面积内，从某种能源中所能得到的能量。如果能量密度很小，就很难用作主要能源。太阳能和风能的能量密度很小，各种常规能源的能量密度都比较大，核燃料的能量密度最大。几种能源的能量密度见表 1-2。

表 1-2 几种能源的能量密度

能源类别	能量密度/(kW/m ²)	能源类别	能量密度/(kJ/kg)
风能(风速 3m/s)	0.02	天然铀	5.0×10^8
水能(流速 3m/s)	20	铀 235 裂变	7.0×10^{10}
波浪能(波高 2m)	30	钚(核聚变)	3.5×10^{11}
潮汐能(潮差 10m)	100	氢	1.2×10^5
太阳能(晴天平均)	1	甲烷	5.0×10^4
太阳能(昼夜平均)	0.16	汽油	4.4×10^4

3. 储能的可能性

储能的可能性是指能源不用时是否可以储存起来，需要时能否立即供应。化石燃料容易做到，而太阳能、风能则比较困难。大多数情况下，能量的使用是不均衡的，通常白天用电多，深夜用电少；冬天需要热，夏天需要冷；因此在能量利用中，储能是很重要的一环。

4. 供能的连续性

供能的连续性是指能否按需要和所需的速度连续不断地供给能量。显然太阳能和风能很难做到供能的连续性。太阳能白天有夜晚无；风力时大时小，且随季节变化大。因此常常需要有储能装置来保证供能的连续性。

5. 能源的地理分布

能源的地理分布和能源的使用关系密切。能源的地理分布不合理，开发、运输、基本建设等费用都会大幅度地增加。

6. 开发费用和利用能源的设备费用

各种能源的开发费用以及利用该种能源的设备费用相差悬殊。太阳能、风能不需要任何成本即可得到。各种化石燃料从勘探、开采到加工却需要大量投资。但利用能源的设备费用则正好相反，太阳能、风能、海洋能的利用设备费按每千瓦计算远高于利用化石燃料的设备费。核电站的核燃料费远低于燃油电站，但其设备费却高得多。因此在对能源进行评价时，开发费用和利用能源的设备费用是必须考虑的重要因素，需进行经济分析和评估。

7. 运输费用与损耗

运输费用与损耗是能源利用中必须考虑的一个问题。例如太阳能、风能和地热能都很难输送出去，煤、油等化石燃料很容易从产地输送至用户。核电站的核燃料运输费用极少，因为核燃料的能量密度是煤的几百万倍，而燃煤电站的输煤费用很高。此外，运输中的损耗也不可忽视。

8. 能源的可再生性

在能源日益匮乏的今天，评价能源时必须考虑能源的可再生性。太阳能、风能、水能等



都可再生,而煤、石油、天然气不能再生。在条件许可和经济上基本可行的情况下,应尽可能采用可再生能源。

9. 能源的品位

能源的品位有高低之分。例如,水能可以直接转换为机械能和电能,其品位必然要比先由化学能转换为热能、再由热能转换为机械能的化石燃料高些。另外热机中,热源的温度越高,冷源的温度越低,循环的热效率就越高,因此温度高的热源品位比温度低的热源品位高。在使用能源时,特别要防止高品位能源降级使用,并根据需要使用适当安排不同品位的能源。

10. 对环境的影响

使用能源一定要考虑对环境的影响。化石燃料对环境的污染大;太阳能、氢能、风能对环境基本上没有污染。在使用能源时应尽可能地采取各种措施防止对环境的污染。

在对各种能源进行选择 and 评价时还须考虑国情,我国能源结构是以煤为主的格局,经济发展不平衡、人口众多;此外也应依据国家的有关政策、法规,例如我国能源开发与节约并重的基本方针;同时充分考虑技术与设备的难易程度,只有这样才能对能源进行正确的评价和选择。

1.2 煤炭

1.2.1 有关煤炭的知识

1. 煤的形成

煤是最丰富的化石原料,是原始植物经过复杂的生物化学作用和物理化学作用转变而成的,这一演变过程称为成煤作用。高等植物经过成煤作用形成腐殖煤,低等植物经过成煤作用形成腐泥煤,绝大多数煤为腐殖煤。高等植物在地壳的上升和下降运动中被埋入地下,在一定的地理环境下,经过复杂的生物、化学和物理作用,最终变为煤。其间经历了三个阶段:

(1) 菌解阶段,即泥炭化阶段。当植物堆积在水下被泥砂覆盖起来的时候,便逐渐与氧气隔绝,由嫌气细菌参与作用,促使有机质分解而生成泥炭。通过这种作用,植物遗体中氢、氧成分逐渐减少,而碳的成分逐渐增加。泥炭质地疏松、褐色、无光泽、密度小,可看出有机质的残体,用火柴引燃可以燃烧,烟浓灰多。

(2) 煤化作用阶段,即褐煤阶段。当泥炭被沉积物覆盖形成顶板后,便成了完全封闭的环境,细菌作用逐渐停止,泥炭开始压缩、脱水而胶结,碳的含量进一步增加,过渡成为褐煤,这称为煤化作用。褐煤颜色为褐色或近于黑色,光泽暗淡,基本上不见有机物残体,质地较泥炭致密,用火柴可以引燃,燃烧有烟。

(3) 变质阶段,即烟煤及无烟煤阶段。褐煤是在低温和低压下形成的,当褐煤埋藏在地下较深位置时,受高温高压的作用,褐煤的化学成分发生变化,主要是水分和挥发成分减少,含碳量相对增加;物理性质也发生改变,主要是密度、光泽和硬度增加,成为烟煤。这种作用是煤的变质作用。烟煤为黑色、有光泽、致密状,用蜡烛可以引燃,火焰明亮,燃烧有烟。烟煤进一步变质成为无烟煤。无烟煤呈黑色、质地坚硬、有光泽,用蜡烛不能引燃,燃烧无烟。



在不同的地质条件下,由于温度和压力的差异,变质作用的程度(煤化程度)也不一样,随着煤化程度增高,煤中含碳量增加,氢和氧含量减少,容重增大。

2. 煤的元素组成

煤是有机物质和无机物质混合组成的。煤中有机物质主要由碳、氢、氧、氮4种元素构成,还有一些元素组成煤中的无机物质,主要有硫、磷以及稀有元素等。

(1)碳是煤中有机物质的主导成分,也是最主要的可燃物质。一般来说,煤中碳含量越多发热量越大。煤中碳含量随煤的变质过程加深而增加。碳完全燃烧时生成 CO_2 ,1kg纯碳可放出32866kJ热量;碳不完全燃烧时生成CO,此时1kg纯碳放出的热量仅为9270kJ。碳的着火与燃烧都比较困难,因此含碳量高的煤难以着火和燃尽。

(2)氢也是煤中重要的可燃物质。1kg氢的发热量高达120370kJ,是纯碳发热量的4倍。煤中氢含量一般随煤的变质程度加深而减少。煤中氢含量多少还与原始成煤植物有很大的关系,一般由低等植物形成的煤氢含量较高,有时超过10%;而由高等植物形成的煤氢含量较低,一般小于6%。

(3)氧是煤中不可燃的元素。煤的氧含量随变质过程的加深而减少。

(4)煤中氮主要来自成煤植物,含量较少,仅为1%~3%。在煤燃烧时氮常呈游离状态逸出,不产生热量。但在炼焦过程中,氮能转化成 NH_3 及其他含氮化合物。

(5)硫是煤中的有害物质。煤中的硫分为无机硫和有机硫两大部分,前者多以矿物杂质的形式存在于煤中,可进一步按所属的化合物类型分为硫化物硫和硫酸盐硫。有机硫是直接结合于有机母体中的硫,主要由硫醇、硫化物以及 SO_2 三部分组成。近年来,随着分析技术的发展,还在煤中检出硫的另一种存在形态,即单质硫。根据煤中含硫的多少常将煤分成不同的级别,以便于用户选用。

据统计,我国煤中大约60%~70%的硫为无机硫,30%~40%为有机硫,单质硫的比例一般很低,无机硫绝大部分是以黄铁矿形式存在。因此,煤中黄铁矿的治理对于煤的清洁燃烧和减少硫的危害具有十分重要的意义。

(6)磷也是煤中有害成分。磷在煤中的含量一般不超过1%,炼焦时煤中的磷可全部转入焦炭中,炼铁时焦炭中的磷再转入生铁中,不仅增加溶剂和焦炭的消耗量、降低高炉生产率,还严重影响生铁的质量,使其发脆。因此,一般规定炼焦用煤中的磷含量不应超过0.01%。

(7)煤中含有的稀有元素有Ge、Ga、Be、Li、V以及放射性元素U等,一般含量甚微。

3. 常用的煤质指标

在煤的利用中,常用的煤质指标有水分、灰分、挥发分和发热量。

(1)水分

水分是煤中的不可燃成分,有三种来源,外部水分、内部水分和化合水分。煤中水分含量的多少取决于煤的内部结构和外界条件。含水分高的煤发热量低,不易着火和燃烧,而且在燃烧过程中水分的汽化要吸取热量,降低炉膛的温度,使锅炉效率下降,还易在低温处腐蚀设备;煤的水分含量高还易使制粉设备难以工作,需要用高温空气或烟气进行干燥。

(2)灰分

灰分是指煤完全燃烧后其中矿物质的固体残余物。灰分的来源:一是形成煤的植物本身的矿物质和成煤过程中进入的外来矿物杂质;二是开采运输过程中掺杂进来的灰、沙、土等矿物质。煤的灰分几乎对煤的燃烧、加工、利用的全部过程都有不利影响。灰分含量高,不

仅使煤发热量减少，而且影响煤的着火和燃烧。灰分增加 1%，燃料消耗即增加 1%。由于燃烧的烟气中飞灰浓度大，使受热面易受污染而影响传热、降低效率，同时使受热面易受磨损而减少寿命。为了控制排烟中粉尘的排放浓度，保护大气环境，对烟气中的尘粒必须进行除尘处理。

(3) 挥发分

根据煤中灰分含量的多少，可将煤分成不同的级别，见表 1-3。

表 1-3 煤炭灰分等级划分标准

代号	等级名称	技术要求 $A_d/\%$
SLA	特低灰煤	≤ 5.00
LA	低灰分煤	5.01 ~ 10.00
LMA	低中灰煤	10.01 ~ 20.00
MA	中灰分煤	20.01 ~ 30.00
MHA	中高灰煤	30.01 ~ 40.00
HA	高灰分煤	40.01 ~ 50.00

注： A_d 是煤中干燥基组分的质量分数。

在隔绝空气的条件下，将煤加热到 850℃ 左右，从煤中有机物质分解出来的液体和气体产物称为挥发分。煤的挥发分随煤的变质程度呈现有规律地变化，变质程度越大，挥发分越少。挥发分高的煤易着火、燃烧。由于挥发分是表征煤炭性质的主要指标，因此通常也根据挥发分的多少对煤炭进行分级，其分级标准见表 1-4。

表 1-4 煤的挥发分级标准

名称	低挥发分	中挥发分	中高挥发分	高挥发分
$V_{daf}/\%$	≤ 20.0	20.01 ~ 28.00	28.01 ~ 37.00	> 37.00

(4) 发热量

单位质量煤完全燃烧时所放出的热量称为煤的发热量。煤的发热量分为高位发热量 $Q_{gr,p}$ 和低位发热量 $Q_{net,p}$ 。煤的发热量因煤种不同而不同，含水分、灰分多的煤发热量较低。

(5) 煤的分类

煤的科学分类为煤炭的合理开发和利用提供了基础，通常最简单的分类方法是根据煤中干燥无灰基挥发分含量 (V_{daf}) 将煤分为褐煤、烟煤和无烟煤 3 大类。根据不同用途，每一大类又可细分为几小类。我国动力用煤将烟煤中 $V_{daf} < 19\%$ 的煤称为贫煤，将 $V_{daf} > 20\%$ 的煤分为低挥发分烟煤和高挥发分烟煤。我国现行煤炭分类标准是将煤炭分为 10 大类：褐煤、长焰煤、不黏煤、弱黏煤、贫煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤和无烟煤。

为了合理使用煤炭资源，对不同产地和矿井的煤都要进行工业分析、元素分析及发热值测定，并将测定结果提供给用户。工业分析主要包括测定煤的水分、灰分、挥发分，并计算固定碳；元素分析主要包括碳、氢、氮、硫等元素分析。对于动力、冶金和气化用煤，还需要进行专门的试验，如对动力用煤，需进行与燃烧有关的性能测定，主要包括煤对 SO_2 的化学反应性、煤的稳定性、煤的结渣性、煤灰熔融性等；对于冶金炼焦用煤，需进行烟煤焦层指数测定。



1.2.2 煤炭资源与开发

1. 煤炭储量与分布

世界煤炭资源十分丰富, 2011 年底世界主要国家和地区煤炭探明储量见表 1-5。

表 1-5 2011 年底世界主要国家和地区煤炭探明储量

10^6 t

国家和地区	无烟煤 和烟煤	亚烟煤 和褐煤	总计	占总量比例/%	储产比/年
美国	108501	128794	237295	27.6	239
北美洲总计	112835	132253	245088	28.5	228
中南美洲总计	6890	5618	12508	1.5	124
德国	99	40600	40699	4.7	216
哈萨克斯坦	21500	12100	33600	3.9	290
俄罗斯	49088	107922	157010	18.2	471
乌克兰	15351	18522	33873	3.9	390
其他欧洲及欧亚大陆国家	1440	20735	22175	2.6	238
欧洲及欧亚大陆总计	92990	211614	304604	35.4	242
南非	30156	—	30156	3.5	118
中东	1203	—	1203	0.1	*
中东国家及非洲总计	32721	174	32895	3.8	126
澳大利亚	37100	39300	76400	8.9	184
中国	62200	52300	114500	13.3	33
印度	56100	4500	60600	7.0	103
其他亚太地区国家	1583	2125	3708	0.4	88
亚太地区总计	159326	106517	265843	30.9	53
世界总计	404762	456176	860938	100.0	112
其中 经合组织	155926	222603	378529	44.0	182
非经合组织	248836	233573	482409	56.0	86
欧盟	5101	51047	56148	6.5	97
前苏联	86725	141309	228034	26.5	408

注: * 超过 500 年;

煤的探明储量: 通过地质与工程信息以合理的确定性表明, 在现有的经济与作业条件下, 将来可从已知储层采出的煤炭储量;

储量/产量(R/P)比率: 用任何一年年底所剩余的储量除以该年度的产量, 所得出的计算结果即表明如果产量继续保持在该年度的水平, 这些剩余储量可供开采的年限;

资料来源: 世界能源委员会的《能源资源调查》, 《BP 世界能源统计年鉴》(2012 年 6 月)。

截止到 2011 年底, 世界煤炭探明储量估计为 8609.38 亿 t, 按目前煤炭消费水平计算, 足以开采 200 多年。世界各地煤炭资源分布不平衡, 世界煤炭资源的 70% 分布在北半球北纬 $30^\circ \sim 70^\circ$ 之间。其中, 以欧亚大陆、亚太、北美洲最为丰富, 分别占全球探明储量的 35.4%、30.9% 和 28.5%, 中东和非洲地区仅占 3.8%; 南极洲数量很少。煤炭储量前 3 位的国家是俄罗斯、美国和中国。

我国煤炭资源丰富, 成煤时代多、分布广、煤种齐全。煤炭资源总量虽然较多, 但探明