

# 火电厂节能减排 手册

## 节能管理部分

李 青 公维平 李晓辉 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 火电厂节能减排 手册

## 节能管理部分

李 青 公维平 李晓辉 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书是《火电厂节能减排手册》分册之一，全书以节能和指标管理为主线，主要介绍了火力发电厂的检修管理、运行管理、基建管理、计量管理和档案管理；经济指标和参数的定义、计算方法、考核方法和指标控制措施；燃料计量方法、质量管理方法和煤场管理方法；火力发电厂的水务管理、城市再生水在火电厂的应用、用水指标计算方法和反渗透装置的设计计算；火电厂热力设备和附属设施的性能测试项目、测试方法、数据处理方法和评价考核方法，以及机组负荷经济调度方法；最后介绍了主要的节能管理制度和机制方面的内容。

本书涉及面广，内容丰富，通俗易懂，紧密结合实际，是大型火力发电厂运行管理、节能管理、指标管理方面综合性较强的著作。可供电厂运行人员、节能管理人员、企业计划统计人员、能源管理师及工程技术人员参考，也可作为大中专院校的选修教材。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

火电厂节能减排手册. 节能管理部分/李青, 公维平, 李晓辉编著. —北京: 中国电力出版社, 2014. 5

ISBN 978-7-5123-5481-4

I. ①火… II. ①李… ②公… ③李… III. ①火电厂-节能-技术手册 IV. ①TM621-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 012475 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

2014 年 5 月第一版 2014 年 5 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 35.25 印张 866 千字  
印数 0001—3000 册 定价 100.00 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

## ■ 前 言

《中华人民共和国节约能源法》规定：“重点用能单位应设立能源管理岗位”。国务院《节能减排综合性工作方案》（国发〔2007〕15号）规定：“重点耗能企业要建立能源管理师制度”。近年来，国内一些地方（如山东、天津、江苏等）和行业（如石油化工、钢铁等）陆续开展了能源管理师培训工作。但是针对电力系统的培训教材几乎没有，因此作为一名多年从事节能的工作者，笔者备感压力。能源管理师培训教材一般包括节能机制、节能管理和节能技术三方面的内容。对于节能技术，笔者已经出版了《火电厂节能减排手册 节能技术部分》一书，内容详尽介绍了目前有关电厂成熟的、应用效果明显的所有节能技术，因此它可以作为节能技术的培训教材。而节能管理，笔者已经出版了《火力发电厂节能和指标管理技术》一书，内容涵盖了目前电厂节能管理基础知识和主要指标控制技术，因此可以作为节能管理的培训教材。对于节能机制，笔者觉得也没有单独出版的必要，因为节能机制属于节能管理中的一部分。本分册在原《火力发电厂节能和指标管理技术》基础上增加了节能发电调度、能源管理师制度、合同能源管理、节能自愿协议、能源效率标识等节能管理机制等章节，因此，本分册和《节能技术》分册两本书，完全可以作为能源管理师培训教材的上、下册。

笔者在讲课过程中，发现许多读者对能源管理和节能管理混为一谈，因此，本分册还介绍了能源管理的内容。

应读者要求，本分册讲述了大量计算方法和例题，特别是根据试验数据，如何计算指标并分析结果，笔者花了大量篇幅讲述这些难点和重点。例如高压缸效率和中压缸效率计算，凝汽器传热系数、清洁系数的计算与修正，汽轮机加热器热平衡的计算等，目的是让读者不但会做热力试验，而且会计算分析，会审核电力研究院出具的试验报告。

由于在国家节能减排压力下，每个电厂都已采用了目前成熟的节能技术，节能改造的潜力已不大。电厂又不约而同地瞄向了运行管理节能，向运行调整要节能量。因此，本分册论述了运行管理内容，特别是详细介绍了锅炉燃烧优化调整试验技术、制粉系统优化调整试验技术、汽轮机优化调整技术等。

总之，本分册内容丰富、具体，读者一看就懂，一学就会用。本分册不但可以作为运行、管理、检修人员的培训教材，而且可以作为能源管理师的培训教材。

本分册第一章～第九章由李青编写，第十章～第十三章由公维平编写，第十四章～第二十一章由李晓辉编写。本分册编写过程中得到华能山东发电有限公司、山东大学能源与动力学院、华能山东石岛湾核电有限公司的大力协助，在此表示衷心感谢。

**编 者**

2013 年 12 月 10 日

# 目 录

## 前言

### 第一篇 节 能 管 理

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第一章 能源基础知识 .....          | 3  |
| 第一节 能源的分类 .....           | 3  |
| 第二节 能源资源概况 .....          | 6  |
| 第三节 中国能源特点 .....          | 25 |
| 第四节 节能管理基础知识 .....        | 34 |
| 第五节 能源管理基础知识 .....        | 39 |
| 第二章 火电厂的节能管理 .....        | 46 |
| 第一节 火电厂的节能管理体系 .....      | 46 |
| 第二节 火电厂的检修管理 .....        | 47 |
| 第三节 火电厂的运行管理 .....        | 51 |
| 第四节 火电厂基本建设和大型技改的管理 ..... | 56 |
| 第五节 一流火力发电厂节能考核指标 .....   | 60 |
| 第六节 节能指标的监督 .....         | 66 |
| 第七节 节能分析会议纪要的编写 .....     | 72 |

### 第二篇 指 标 管 理

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第三章 火电厂的指标管理 .....       | 77  |
| 第一节 汽轮机和化学指标的管理 .....    | 77  |
| 第二节 锅炉和燃料指标的管理 .....     | 93  |
| 第三节 全厂综合性指标的管理 .....     | 106 |
| 第四章 电站机组的热损失和供电煤耗 .....  | 115 |
| 第一节 锅炉的热损失和热效率 .....     | 115 |
| 第二节 汽轮发电机组的效率与热耗 .....   | 126 |
| 第三节 应用反平衡方法计算供电煤耗率 ..... | 135 |
| 第四节 正平衡供电煤耗率的计算 .....    | 138 |

### 第三篇 燃料管理

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第五章 锅炉燃煤的化学分析          | 147 |
| 第一节 燃煤的质量与分类           | 147 |
| 第二节 煤质的工业分析及其对火电厂生产的影响 | 151 |
| 第三节 煤元素分析及其对火电厂生产的影响   | 159 |
| 第四节 燃煤的分析基准及其应用        | 162 |
| 第六章 火电厂燃煤的计量管理         | 169 |
| 第一节 锅炉燃煤的采购            | 169 |
| 第二节 火电厂入厂煤的陆地计量        | 171 |
| 第三节 火电厂的船舶运煤计量         | 173 |
| 第四节 火电厂入炉煤的检斤管理        | 183 |
| 第七章 火电厂燃煤的检质管理         | 185 |
| 第一节 火电厂煤质监督            | 185 |
| 第二节 火电厂入厂煤的采样方法        | 187 |
| 第三节 火电厂入炉煤的采样方法        | 192 |
| 第四节 机械采样装置及其应用         | 195 |
| 第五节 入炉煤粉样品的采取方法        | 199 |
| 第六节 火电厂煤样的制备技术         | 201 |
| 第七节 应用回归分析方法建立关系式      | 205 |
| 第八节 煤质化验结果的校核和煤质验收标准   | 215 |
| 第九节 煤质在线检测装置的应用        | 219 |
| 第八章 火电厂煤场的综合管理         | 224 |
| 第一节 燃煤自燃与贮存            | 224 |
| 第二节 库存燃煤的盘点            | 226 |
| 第三节 火电厂煤种的混配           | 229 |
| 第九章 火电厂燃油的综合管理         | 241 |
| 第一节 火电厂燃油和燃气特性         | 241 |
| 第二节 燃油计量与贮存            | 246 |
| 第三节 燃油取样与分析            | 251 |

### 第四篇 节水管理

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第十章 节约用水刻不容缓       | 259 |
| 第一节 我国水资源现状        | 259 |
| 第二节 我国发电企业用水现状     | 263 |
| 第三节 发电企业应采取的主要节水措施 | 266 |

|             |                            |     |
|-------------|----------------------------|-----|
| <b>第十一章</b> | <b>节水技术在火电厂中的应用</b> .....  | 271 |
| 第一节         | 火力发电厂的冷却水系统 .....          | 271 |
| 第二节         | 控制循环冷却水的浓缩倍数 .....         | 272 |
| 第三节         | 控制循环水的水质 .....             | 274 |
| 第四节         | 冷却塔的维护与改造 .....            | 278 |
| 第五节         | 电站机组采用空冷技术 .....           | 281 |
| 第六节         | 蒸发式凝汽器的应用 .....            | 285 |
| 第七节         | 城市再生水在火力发电厂的应用 .....       | 287 |
| 第八节         | 用反渗透方法进行化学水处理时的水质预处理 ..... | 294 |

## —— 第五篇 性能测试 ——

|             |                          |     |
|-------------|--------------------------|-----|
| <b>第十二章</b> | <b>火电厂热力试验方法</b> .....   | 303 |
| 第一节         | 热力试验基本知识 .....           | 303 |
| 第二节         | 主要参数的测量与计算 .....         | 309 |
| 第三节         | 锅炉热效率试验与修正 .....         | 318 |
| 第四节         | 汽轮机热耗率试验与修正 .....        | 324 |
| <b>第十三章</b> | <b>锅炉侧有关项目的测试</b> .....  | 341 |
| 第一节         | 空气预热器漏风率试验 .....         | 341 |
| 第二节         | 热力管道效率的测试 .....          | 345 |
| 第三节         | 锅炉排烟温度的测试 .....          | 347 |
| 第四节         | 锅炉烟气成分的测定 .....          | 349 |
| 第五节         | 飞灰、炉渣和沉降灰可燃物含量的测试 .....  | 351 |
| 第六节         | 锅炉制粉系统的性能试验 .....        | 355 |
| 第七节         | 锅炉燃烧调整试验 .....           | 369 |
| 第八节         | 煤粉细度试验 .....             | 377 |
| 第九节         | 煤的可磨性指数测定 .....          | 378 |
| 第十节         | 电站风机现场试验 .....           | 382 |
| 第十一节        | 电除尘器性能试验 .....           | 390 |
| 第十二节        | 炉膛及烟道漏风率试验 .....         | 399 |
| 第十三节        | 循环流化床锅炉性能试验 .....        | 404 |
| <b>第十四章</b> | <b>汽轮机侧有关项目的测试</b> ..... | 409 |
| 第一节         | 汽轮机真空严密性测试 .....         | 409 |
| 第二节         | 凝汽式汽轮机组供电煤耗率测试 .....     | 411 |
| 第三节         | 电站水泵性能的测试 .....          | 417 |
| 第四节         | 电站湿式冷却塔试验 .....          | 423 |
| 第五节         | 凝汽器性能试验 .....            | 433 |
| 第六节         | 汽轮机真空系统查漏试验 .....        | 445 |



|     |                |     |
|-----|----------------|-----|
| 第七节 | 机组定滑压试验 .....  | 448 |
| 第八节 | 汽轮机缸效率试验 ..... | 457 |

## —— 第六篇 经济调度 ——

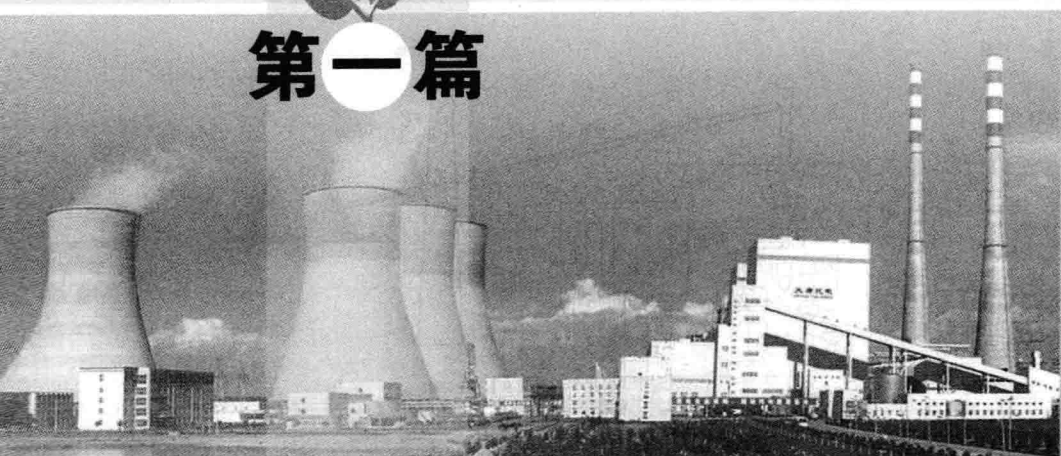
|      |                   |     |
|------|-------------------|-----|
| 第十五章 | 热力设备的热力特性 .....   | 467 |
| 第一节  | 汽轮机的热力特性 .....    | 467 |
| 第二节  | 单元机组的微增煤耗率 .....  | 472 |
| 第十六章 | 单元机组的经济调度 .....   | 476 |
| 第一节  | 等微增率调度负荷的原则 ..... | 476 |
| 第二节  | 按等微增率调度负荷 .....   | 478 |

## —— 第七篇 主要节能管理制度和机制 ——

|       |                               |     |
|-------|-------------------------------|-----|
| 第十七章  | 能源管理师制度 .....                 | 485 |
| 第一节   | 建立能源管理师的意义 .....              | 485 |
| 第二节   | 建立能源管理师的历史与背景 .....           | 487 |
| 第十八章  | 合同能源管理 .....                  | 494 |
| 第一节   | 合同能源管理的意义 .....               | 494 |
| 第二节   | 节能服务公司 .....                  | 496 |
| 第三节   | 合同能源管理的发展概况 .....             | 501 |
| 第十九章  | 节能自愿协议 .....                  | 506 |
| 第一节   | 实施节能自愿协议的意义 .....             | 506 |
| 第二节   | 节能自愿协议的实施 .....               | 510 |
| 第二十章  | 能源效率标识 .....                  | 514 |
| 第一节   | 能源效率标识概述 .....                | 514 |
| 第二节   | 国外能效标识制度 .....                | 519 |
| 第二十一章 | 电力需求侧管理 .....                 | 521 |
| 第一节   | 电力需求侧管理概述 .....               | 521 |
| 第二节   | 电力需求侧管理发展概况 .....             | 525 |
| 第三节   | 电力需求侧管理项目效果评估 .....           | 528 |
| 附录    | 有关节能的法律法规 .....               | 532 |
| 附录 1  | 火力发电厂节约能源规定（试行） .....         | 532 |
| 附录 2  | 火力发电厂按入炉煤量正平衡计算发供电煤耗的方法 ..... | 540 |
| 参考文献  | .....                         | 553 |

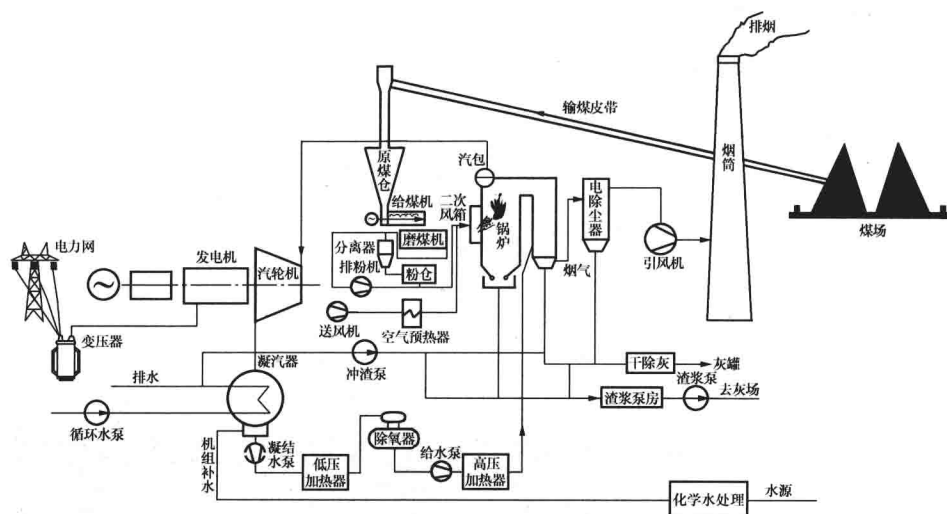


第一篇



节 能 管 理

发电企业的根本任务是把一次能源（如水力、煤炭、石油、天然气、核等）转换成二次能源（电能），然后通过电网将合格的电能输送并分配给电力用户，火力发电厂生产流程见下图。发电企业既是能源转换工业，又是消耗能源的大户。我国火力发电厂年用煤占全国年煤炭产量的50%左右，生产电能的自用电（厂用电量）为发电量的7.5%，电能 在输配电过程中的损失率（线损）约占供电量的8%。一台容量为300MW的火电机组，每天耗用原煤3500t左右，折合标准煤约2500t（供电煤耗率按350g/kWh、原煤发热量按20 908kJ/kg计算），一年耗用原煤将达100万t，每年发电量约20亿kWh，其中有1亿kWh的电量被发电企业内部生产装置使用。



火力发电厂生产过程

火力发电厂是设备复杂、技术密集、高度自动化的装置性企业，这个特点，决定了电厂节能管理工作范围十分广泛，它包括能源定额、能源计量、热力试验、燃料管理、负荷经济调度、设备经济运行、节能技术改造、余能回收利用、节能新技术推广等。既要有专人负责，又要充分调动运行、检修、统计等各方面干部职工的积极性，实行全过程、全方位节能。

本篇首先对我国能源概况及其利用作一些必要的介绍，然后针对火力发电厂节能管理体系、运行管理、检修管理、计量管理、一流管理等进行详细的阐述，使读者知道为什么这样做，如何这样做。

# 第一章 能源基础知识

## 第一节 能源的分类

能源是生活和生产最重要的先决条件之一。从史前开始,人类就已逐渐懂得利用可以获得的能源为人类社会服务。当人类开始学会用火取暖时,可以说这是人类迈出了能源利用的第一步。

能源的取得是人类社会得以生存和继续发展的重要因素。如果没有能源,我们的整个文明——工业生产、商业活动、农业生产、科学技术、文化生活等都会停滞不前。只有在获取一定数量的能源的前提下,社会文明和物质文明才能得到一定程度的发展。

当人类只能利用柴草等低热量能源时,人类只能在原始的手工作业中生活。随着矿物燃料的开发,人类才开始了现代化生活。人类近代史上的三次技术革命,都是和能源本身三次变革同时发生的:第一次是薪柴到煤炭,开始了以蒸汽机为代表的18世纪工业革命;第二次是由煤炭到石油,开始了19世纪末的内燃机时代;第三次则是第二次世界大战后的电子技术时代,随着对电能的需求量急剧增长,能源的使用开始由矿物燃料、电力逐渐转移到核能和其他再生能源。

### 一、能源分类

自然界中存在并可能被人类用来获取能量的自然资源称为能量资源,简称能源,它的范围随着科学技术的发展而扩大。《中华人民共和国节约能源法》对能源的解释是:能源是指能够直接取得或者通过加工、转换而取得有用能的各种资源,包括煤炭、原油、天然气、煤层气、水能、核能、风能、太阳能、地热能、生物质能等一次能源和电力、热力、成品油等二次能源,以及其他新能源和可再生能源。《大英百科全书》对能源的解释是:“能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语,人类采用适当的转换手段,给人类自己提供所需要的能量”。简言之,能源是存在于自然界中并能够转换为热能、机械能、光能、水能、电能等各种能量的资源,是人类社会赖以生存的物质基础。

能源分类有多种多样,按其来源大致可以分为四类:第一类是来自地球以外的太阳能,除了直接的太阳辐射能以外,化石资源、生物质能、水能、风能、海洋能等资源都间接来自太阳能;第二类是以热能形式储藏于地球内部的地热能,如地下热水、地下蒸汽、干热岩体等;第三类是地球上的铀、钍等核裂变资源和氦、氘、锂等核聚变资源;第四类是月球和太阳等星体对地球的引力所产生的能量,如潮汐能等。

按能源的利用程度可分为常规能源和新能源;按能源资源能否直接利用可分为一次能源、二次能源;按能源资源的恢复性可分为再生能源和非再生能源;按能源资源的可燃性可分为燃料能源和非燃料能源;按对环境的污染程度分为清洁能源和非清洁能源;按燃烧产物对温室气体的影响程度分为低碳能源和高碳能源;按资源形态分为载体能源和过程能源;按能源的商品性划分为商品能源和非商品能源。

在自然界中现成存在的,可直接取得又不改变其基本形态,即没有经过加工或转换的能源,称为一次能源,如太阳能、水能、煤炭、石油、天然气、地热能、生物质能、风能、海洋能、核能等。通常所说的能源生产量或消费量,主要是针对一次能源而言的;在人类社会生产和生活中,因工艺或环境保护的需要,或为方便运输、使用和提高劳动生产率等原因,将一次能源经过

加工、转换后形成能源产品，如蒸汽、焦炭、煤气、电力、氢能、热水、乙醇、甲醇、沼气、各种石油制品（如重油、柴油、汽油等）等，称为二次能源，也叫人工能源。在生产过程中排出来的余能、余热，如高温烟气、可燃废气、废蒸汽、排放的有压流体等也属于二次能源。

在自然界中，有些能源如太阳能、水能、风能、地热、潮汐能、生物质能等，是可以循环再生的，不会因开发利用的延续而枯竭，这类能源称为再生能源；还有些能源如煤炭、石油、天然气、原子核反应原料等，是不可再生的，或者经过亿万年形成、短时间内无法恢复的能源称为非再生能源，非再生能源随着大规模地开采，其储量越来越少，总有枯竭之时。人们往往把在目前科学技术条件下已经广泛应用的能源如煤炭、石油、天然气、水能、生物质能、核裂变能薪柴燃料等称为常规能源；把太阳能、地热能、氢能、生物质能、风能、海洋能（如波浪能、潮汐能、温差能等）、核聚变能等正在研究其开发利用技术但尚未普遍使用的能源称为新能源。古老的、若采用先进的方法加以利用的能源也叫新能源，或叫非常规能源。将生物质能、地热能、太阳能、风能、海洋能和氢所产生的能量称为新可再生能源。用于直接燃烧而发出能量的物质叫做燃料能源，具体包括矿物燃料、生物燃料（如柴草、农作物秸秆、沼气等）和化工燃料（如丙烷、酒精、乙炔等）。不能直接燃烧的能源，叫做非燃料能源，如水能、电力、蒸汽、太阳能、风能、潮汐能、地热能和海洋能等。能源的概念和分类可以用树图表示，见图 1-1。

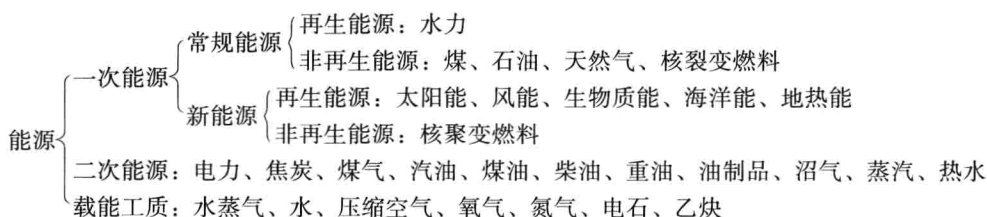


图 1-1 能源的概念和分类

载能工质是指由于本身参数的变化而能够吸收或放出能量的介质，即介质是能量的载体。如水蒸气、水、压缩空气、氧气、氮气、电石、乙炔等，水蒸气是最重要的载能工质。

在开发使用过程中，对环境无污染或污染程度很小的能源如太阳能、风能、水能、海洋能、核聚变能以及气体燃料等，称为清洁能源。用太阳能直接分解水制氢利用的研究如果成功，则太阳的能量和地球上的水都可以成为人类取之不尽、用之不竭的清洁能源；在开发使用过程中，对环境污染程度较大的能源如煤、石油燃料等，称为非清洁能源。低碳能源是指二氧化碳等温室气体排放量低或者零排放的能源产品，主要包括核能和可再生能源等。高碳能源是指二氧化碳等温室气体排放量高的能源产品，主要是煤炭、石油等化石能源。商品能源是指作为商品经流通领域，在国内或国际市场上正规买卖的能源，如煤炭、石油、焦炭、核燃料、电等；非商品能源是指未经商品流通领域，未进入市场进行正规的买卖活动，一般是农民自产自用的能源，如柴草、农作物秸秆、人畜粪便等。非商品能源在发展中国家农村广泛使用。

常规能源和新能源的概念是相对的，首先会因为各地区、各国家的能源利用历史和科学技术水平高低而异。例如，核能在工业发达国家已列入常规能源，而在大多数发展中国家则仍被视作新能源。其次，随着技术的进步和生产利用的扩大，新能源会演变成为常规能源，仍以核裂变为例，20 世纪 50 年代初开始用来生产电力时，被认为是一种新能源，随着核电的迅速发展，现在不少国家已把它列入常规能源的范围。我们常说的核燃料是指通过变革原子核（核裂变或核聚变）而得到能量的燃料。核裂变燃料有铀、钚等，核聚变燃料有氘、氚等。

载体能源是指提供能量的含能物质，如各种燃料、蒸气等可以直接储存和运输的物质，

煤、石油、天然气和电是目前使用最广泛的载体能源，随着科学技术的发展，氢和微波会成为重要的载体能源；过程能源是指提供能量的物质运动，如水流、风力、潮汐、波浪等。过程能源存在于物质的运动过程中，一般很难贮存和运输。载体能源和载能工质是有区别的，载体能源是指提供能量的含能物质，而载能工质一般是指由于本身状态参数的变化而能够吸收或放出能量的介质，即介质是能量的载体，水和水蒸气是重要的载能工质，而水是否载能又是以其温度决定的。

国际上根据能源的形态和特性进行分类，分为化石燃料、水能、核能、电能、太阳能、生物质能、风能、海洋能、地热能等。

我们常说的矿物燃料是指亿万年前因地壳变动，植物遗体演化或其他原因形成的燃料，矿物燃料也叫化石燃料，包括固体燃料、液体燃料、气体燃料等。固体燃料主要指可以或已经从天然矿物中开采出来的可作为能源使用的各种固体原材料，包括泥炭、褐煤、无烟煤、烟煤、天然焦、煤矸石、炭沥青、油页岩等；液体燃料是贮存在地下储集层中，通过地面分离设施后在常温常压下仍保持液态的各种烃类混合物，包括石油、油层凝析液，以及焦油砂、天然沥青和油页岩生成的液态烃；气体燃料是指没有固定体积和形状，能够产生热量和动力，能充满任何容器的能源物质，一般指含有低分子量的碳氢化合物、氢和一氧化碳等可燃气，主要有天然气、焦炉煤气、液化石油气、炼厂干气等。天然气是指地下岩石储集层中自然贮存的以碳氢化合物为主体的气体混合物。

## 二、各种能的转换形式

### 1. 能量的度量单位

能量的国际单位是焦耳。焦耳的定义是：1N 的力作用于质点，使它沿力的方向移动 1m 距离所做的功。焦耳也可以由电学单位来定义：即 1A 电流在 1Ω 电阻上，1s 内所消耗的电能，称为 1J。

$$1\text{kWh}=3600\text{kJ}=860\text{kcal}$$

卡的定义是：在标准大气压力下，1g 纯水从 19.5℃ 升高到 20.5℃ 所需要的热量，用符号  $\text{cal}_{20}$  表示。 $1\text{cal}_{20}=4.1816\text{J}$ 。国际上通常采用国际蒸汽表卡，它是在 1956 年伦敦第 5 届国际蒸汽大会上规定的热量单位，用符号 cal 表示， $1\text{cal}=4.1868\text{J}$ 。在热量计算中，经常会遇到英制热单位（英热单位）换算问题，英制热单位就是 1lb（磅）纯水在标准大气压力下，从 0℃ 加热到 100℃ 时所吸收的热量的 1/180，用符号 Btu 表示。 $1\text{Btu}=1055.06\text{J}=252\text{cal}$ 。

中国采用吨标准煤为能源的度量单位，每千克标准煤的发热量为 29.308MJ（7000kcal），原煤、石油、天然气等一次能源的热值随品种的不同而不同。原煤的热值平均按 5000kcal/kg 计算，换算成标准煤的比率为 0.714kg 标准煤/kg；原油热值按 10 000kcal/kg 计算，换算成标准煤的比率为 1.429kg 标准煤/kg；天然气的热值平均按 9310kcal/m<sup>3</sup> 计算，换算成标准煤的比率为 1.33kg 标准煤/m<sup>3</sup>。

水电能有两种计算方法：一种以火力发电当年平均每千瓦时的实际标准煤耗计算；另一种以电的热功当量计算，每千瓦时的电能为 860kcal，等于 0.122 9kg 标准煤的热值。

其他能量单位转换关系是：

$$1\text{桶当量油}(\text{bbl})=158.988\text{L}=42\text{US gal}(\text{美国加仑})$$

$$1\text{t油}=7.33\text{桶油}(\text{bbl})$$

$$1\text{t氘}(\text{聚变时})=1200\text{万t标准煤}$$

$$1\text{t铀}(\text{裂变时})=280\text{万t标准煤}$$

### 2. 能的转换形式

“能”这个词出现之前，是用“力”这个词来表示的。最早使用“能”这个词的是德国科学

家罗伯特·迈尔，他在 1842 年发现能量守恒定律时阐明：能可以动能、位能、电能、磁能、热能、化学能、核能、声能、光能、质量能等形式表现出来，它们之间可以相互转换，而能的总量保持不变。例如当太阳在不断地进行从氢到氦的热核反应时，核能得到释放，这些能量首先表现为动能，然后其中部分能量以光子和电磁能束的形式逸出太阳进入地球。光子的能量通过光合作用储存于植物中，通过植物或食用吃植物的动物，人类或动物获得了这种化学能，再转变成另一种化学能储存于肌肉中，或变成热能来维持生命。

能是物质的属性，是做功的能力。能有多种形式，所有形式的能都归结为各种原子或核子的势能或功能。质量也是一种能的形式，它直到 20 世纪初才被认识到。静止不动的物质颗粒所集中的能量和它的质量成正比。当物质颗粒移动时，它还具有动能。无质量的颗粒，例如光子，则只有动能而无质量能。

颗粒的质量  $m$  和能量  $E$  的关系就是著名的爱因斯坦方程，即

$$E=mc^2$$

式中  $c$ ——光速， $c=3\times10^8\text{m/s}$ ；

$m$ ——颗粒质量， $\text{kg}$ ；

$E$ ——质量能， $\text{J}$ 。

热能是能的最普通的形式，它是一个系统中分子热运动的功能。机械能是动能与势能的和，它表示物体运动状态与高度的物理量。势能是物体或系统由于位置或状态而具有的能量。化学能简单来说就是组成物质分子的原子之间的化学键的键能，只有在发生化学变化的时候才释放出来，变成热能或者其他形式的能量。电能是指电以各种形式做功的能力，日常生活中使用的电能主要来自其他形式能量的转换，包括由各种矿物燃料、水能、太阳能、风能、地热能等经过一定的机械装置转化而得到的能量。一些能量形式的转换见表 1-1。

表 1-1 能量形式的转换途径

| 转换目的<br>转换源 | 机 械 能   | 电 能      | 热 能  | 化 学 能  | 核 能   |
|-------------|---------|----------|------|--------|-------|
| 机械能         | 齿轮装置、活塞 | 发电机      | 摩擦   |        |       |
| 电能          | 喇叭、电动机  | 变压器、变流器  | 电热器  | 电解、蓄电池 | 粒子加速器 |
| 热能          | 汽轮机     | 热电偶、地热发电 | 热交换器 |        |       |
| 化学能         | 火箭、内燃机  | 蓄电池、燃料电池 | 火、锅炉 | 化学过程   |       |
| 核能          | 核反应堆    | 发电机      | 核反应堆 |        |       |
| 太阳能         | 太阳热发动机  | 太阳能电池    | 热收集器 | 光合作用   |       |

第二节 能源资源概况

中国拥有丰富的能源资源，远景一次能源总量估计在40 470亿 t 标准煤，中国常规一次能源储量见表 1-2。



表 1-2 2012 年中国常规一次能源储量情况

| 能 源               |           | 能源总量                  | 原 煤                  | 原 油             | 天然气                               | 水 能                |
|-------------------|-----------|-----------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------------|--------------------|
| 能源资源<br>总储量       | 中国总储量     | 40 470<br>(亿 t 标煤)    | 50 592.2<br>(亿 t)    | 1021<br>(亿 t)   | 470 400<br>(亿 m <sup>3</sup> )    | 69 400<br>(亿 kWh)  |
|                   | 结构 (%)    | 100                   | 89.3                 | 3.5             | 1.3                               | 5.9                |
|                   | 世界总储量     | 1 048 810<br>(亿 t 标煤) | 1 195 748.4<br>(亿 t) | 51 193<br>(亿 t) | 79 330 830<br>(亿 m <sup>3</sup> ) | 482 240<br>(亿 kWh) |
|                   | 中国占世界 (%) | 3.9                   | 4.2                  | 2.0             | 0.6                               | 14.2               |
| 探明技术<br>可开发<br>储量 | 中国总储量     | 6167.1<br>(亿 t 标煤)    | 7241.2<br>(亿 t)      | 160<br>(亿 t)    | 22 500<br>(亿 m <sup>3</sup> )     | 24 700<br>(亿 kWh)  |
|                   | 结构 (%)    | 100                   | 83.8                 | 3.2             | 0.5                               | 12.5               |
|                   | 世界总储量     | 329 700<br>(亿 t 标煤)   | 352 750<br>(亿 t)     | 25 675<br>(亿 t) | 26 630 080<br>(亿 m <sup>3</sup> ) | 193 900<br>(亿 kWh) |
|                   | 中国占世界 (%) | 1.9                   | 2.1                  | 0.6             | 0.1                               | 16.4               |
| 剩余经济<br>可开发<br>储量 | 中国总储量     | 890<br>(亿 t 标煤)       | 1145<br>(亿 t)        | 24.0<br>(亿 t)   | 34 000<br>(亿 m <sup>3</sup> )     | 17 500<br>(亿 kWh)  |
|                   | 结构 (%)    | 100                   | 91.9                 | 3.4             | 4.1                               | 0.64               |
|                   | 世界总储量     | 10 789.4<br>(亿 t 标煤)  | 8609.4<br>(亿 t)      | 2358<br>(亿 t)   | 1 873 000<br>(亿 m <sup>3</sup> )  | 143 790<br>(亿 kWh) |
|                   | 中国占世界 (%) | 8.2                   | 13.3                 | 1.0             | 1.6                               | 12.2               |
| 2012 年<br>(世界)    | 能源生产量     | 170.6<br>(亿 t 标煤)     | 78.65<br>(亿 t)       | 41.19<br>(亿 t)  | 33 639<br>(亿 m <sup>3</sup> )     | 36 731<br>(亿 kWh)  |
|                   | 能源消费量     | 178.24<br>(亿 t 标煤)    | 76.2<br>(亿 t)        | 41.31<br>(亿 t)  | 33 144<br>(亿 m <sup>3</sup> )     | 36 731<br>(亿 kWh)  |
| 2012 年<br>(中国)    | 能源生产量     | 33.18<br>(亿 t 标煤)     | 36.50<br>(亿 t)       | 2.08<br>(亿 t)   | 1072<br>(亿 m <sup>3</sup> )       | 8608<br>(亿 kWh)    |
|                   | 能源消费量     | 39.07<br>(亿 t 标煤)     | 38.31<br>(亿 t)       | 4.84<br>(亿 t)   | 1438<br>(亿 m <sup>3</sup> )       | 8608<br>(亿 kWh)    |

- 注 1. 能源资源是指已经探明的自然资源，这些资源在经济上有开采价值，或者在可预见时期内含有经济价值，它属于自然资源统计范畴；探明技术可开发储量简称探明储量，又称地质储量，它是指经过地质勘探的能源资源储量，一般指已做过不同程度的勘探工作，已探明地层范围及蕴藏确切数量，并已提出地质勘探阶段报告而计算的储量。剩余经济可开发储量简称剩余可采储量，是指经开采后到报告期末止，地下尚剩余的即可采储量，它是可采储量与累计采出量之差。
2. 储量/产量比率是指假设将来的产量继续保持在某年度的水平，那么，用该年年底的储量除以该年度的产量所得出的计算结果，就是剩余储量的可开采年限。简称储产比。
3. 1kg (原油) = 1.428 6kg 标煤，1m<sup>3</sup> (天然气) = 1.30kg 标煤，1kg (原煤) = 0.714kg 标煤，1kWh (电能) = 0.323 2kg 标煤。

## 一、煤炭

煤炭从某种意义上说是地壳运动的产物。远在几亿年前的古生代、中生代和几千万年前的新生代时期，大量在前海或沼泽湖泊中的植物的遗体，经过长年累月的生物化学和物理化学作用，低等植物形成腐泥，高等植物形成泥炭。泥炭和腐泥经过地壳运行下沉，长期受地球高温、地球岩层压力逐渐变成了褐煤，地球上连续多次的海侵又堆积了一层层的物质，形成褐煤的深埋层。



这些深埋层的褐煤由于高温使其水分被部分排除,从而形成烟煤。在某些地区,煤层受到更大的压力,则变成硬煤和无烟煤。根据我国煤炭部门统计资料显示,几个主要聚煤时期的煤量占已探明储量分别是:石炭纪占 27.5%,二叠纪占 30.4%,侏罗纪占 38.8%,第三纪占 2.8%,其他占 0.5%。根据英国 BP 石油公司发布的《BP 世界能源统计 2013》数据显示:截至 2012 年末,世界煤炭探明可采储量 8609.38 亿 t,探明可采储量最多的国家是美国,它的储量是 2372.95 亿 t;其次是俄罗斯,探明可采储量 1570.1 亿 t;中国以 1145 亿 t 储量排名第三。

世界上最大的矿井是南非博斯普鲁特煤矿,1983 年投产,每年生产原煤约 2700 万 t。最大的煤田是美国的波德河煤田,已探明储量 1224 亿 t,其中可露天开采的储量为 524 亿 t。

中国是世界上发现和应用煤炭最早的国家。中国人早在两千多年前就把煤当作燃料,除了用于日常生活外,更多的是用来烧窑、炼铁、冶铸等。元朝时意大利人马可·波罗(1257—1324)的东方游记中对中国人使用煤炭已有详细叙述。

我国煤炭资源储量丰富,分布面广,品种齐全。2012 年中国剩余经济可开发煤炭资源储藏总量为 1145 亿 t,占世界储藏总量的 13.3%,位于美国和俄罗斯之后,排世界第 3 位。中国煤炭资源的种类较多,在现有探明储量中,烟煤占 75%、无烟煤占 12%、褐煤占 13%。中国煤炭质量,总的来看较好,以华北地区即山西、河北两省为最佳。我国在已探明的煤炭储量中,硫分小于 1%的低硫煤约占 65%~70%;硫分为 1%~2%的中硫煤约占 15%~20%。高硫煤主要集中在华南地区,西南煤炭以含磷高著称。

2012 年世界煤炭产量增加 2.0%,达到 78.645 亿 t(合 38.453 亿 t 标准煤)。世界第一的产煤国是中国,产量为 36.50 亿 t;其次为美国,产量为 9.22 亿 t。2012 年,全球煤炭消费增长 2.5%,达到 37.301 亿 t 油当量(合 53.29 亿 t 标准煤)。

目前我国煤炭生产同国外先进水平差距很大。第一是煤矿生产未达到经济规模。平均每个矿井生产能力仅为 30 万 t/年,8 万多处乡镇煤矿每处平均年产量只有 5000 t,生产手段落后,资源回收率(原煤产量与消耗储量之比)仅为 32%。发达国家的煤矿均以大型矿为主,美国、德国的规模多为 1000 万 t 以上的大型露天矿和 400 万~600 万 t 的大型矿井,资源回收率高达 58%。第二是煤矿安全事故多。美国生产 10 亿 t 商品煤只需要 15 万人,而中国生产 12 亿 t 原煤却用了 700 万人。从 2002 年到 2006 年,中国煤矿每年死亡人数分别为 6995 人、6434 人、6027 人、5938 人和 4746 人。与 2002 年相比,2004 年全国煤炭产量达到 19.92 亿 t,死亡 6027 人,下降 13.8%,煤矿百万吨死亡人数下降到 3.03 人;而 2002 年~2004 年间,美国煤矿安全事故的每年死亡人数都低于 30 人,分别为 27 人、30 人、27 人,每百万吨煤死亡人数在 0.03 以下。2004 年,美国产煤近 10 亿 t,煤矿安全事故中总共只死亡 27 人,煤矿百万吨死亡人数下降到 0.027 人。中国的百万吨死亡率仍相当于美国的 100 倍,印度的 13 倍,南非的 10 倍,居世界第一位。

## 二、石油

### 1. 石油资源量与产量

1859 年美国入德莱克在宾夕法尼亚州挖出世界上第一口石油油井。1948 年沙特阿拉伯发现世界最大油田——盖瓦尔油田,可采储量 157 亿 t,年产量 27 000 万 t。2012 年世界石油探明可采储量 2358 亿 t。中东地区为 1093 亿 t,欧洲及欧亚大陆地区为 190 亿 t,非洲地区为 173 亿 t。石油探明可采储量最多的国家是沙特阿拉伯,储量为 365 亿 t;第二是伊朗,储量为 216 亿 t。我国属于石油资源贫乏的国家,仅为 24 亿 t。根据 2000 年底中国油气资源评价结果,中国陆上和沿海大陆架沉积盆地总面积约 550 km<sup>2</sup>,石油总资源量 1021 亿 t,其中陆上 775 亿 t,沿海海域 246 亿 t,中国最终技术可开采储量 160 亿 t。2012 年世界石油产量增加了 2.2%,达到 41.189 亿 t。产油最多的是沙特阿拉伯、俄罗斯和美国,分别为 5.47 亿 t、5.26 亿 t 和 3.95 亿 t。2012 年我