

李 青 公维平 编著



火力发电厂 节能和指标管理技术



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

责任编辑：周俊霞
联系电话：010-63416253
电子邮件：zhou_junxia@cepp.com.cn

推荐书目

电站锅炉手册

汽轮机组技术手册

实用集中供热手册

循环流化床锅炉控制系统的设计和应用

大型火电机组顺序控制与热工保护

ISBN 978-7-5083-8075-9



9 787508 380759 >

定价：54.00 元

销售分类建议：电力工程 / 火力发电



火力发电厂 节能和指标管理技术

李 青 公维平 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是《火力发电厂节能和指标管理技术》第二版,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,以及耗差分析方法;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、水平衡测试方法、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等。

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

火力发电厂节能和指标管理技术/李青,公维平编著.
2版. —北京:中国电力出版社,2009
ISBN 978-7-5083-8075-9

I. 火… II. ①李… ②公… III. ①火电厂-节能-管理
②火电厂-经济指标-管理 IV. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 169270 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 2 月第一版

2009 年 1 月第二版 2009 年 1 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 33 印张 816 千字

印数 9001—12000 册 定价 54.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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

序 言

随着我国国民经济的高速、稳定、健康发展,对能源的要求,特别是电能的需求越来越迫切。我国能源消费量较大,虽然能源资源丰富多样,但人均占有量却很低,而且能源分布不合理,利用率低,能源浪费严重,所以单位产值能耗较高,损耗很大,严重地制约着我国国民经济的持续发展。

《电力工业节能技术监督规定》中指出:“通过对电力企业耗能设备及系统,在设计、安装、调试、运行、检修、技术改造等阶段的节能技术监督,使其电、煤、油、汽、水等消耗达到最佳水平。”简言之,节能是通过合理利用、科学管理、技术进步和经济结构合理布局等途径,以最少能耗取得最大的经济效益。节能途径是多方面的,从技术管理上来讲,应利用新技术、新材料、新工艺、新设备等,不断地创新,加速改造,使我国发电效率逐步提高,降低发电设备和系统的能源消耗。在指标管理方面,要适应新形势、不断地创新、解决新问题、提出新思维,使节能管理符合火力发电厂现代化、高效率的需要。本书适应当前高参数大型火电机组大量投产的需要,阐述了管好老机组、用好新机组的管理技术,使机组能安全、节能地发电。

本书首先从我国能源概况和能源利用现状及存在的问题入手,促使人们树立节能必要性和重要性的观念,特别是火电厂要为管理好机组、搞好节能工作做出典范。本书第一部分介绍了有关节能的法律法规和标准,提出了火电厂在运行、检修、基建和计量等方面的管理措施和要求。

第二部分对火力发电厂主要热力设备,如汽轮机、锅炉、辅机及辅助设施等的热力性能参数、经济指标的定义和指标的计算方法,做出较为详细的论述。特别是介绍了对热量消耗和热平衡进行计算、对煤耗进行正平衡计算和反平衡计算、对指标进行能耗分析和有效的控制等广大节能工作者所急需掌握的技术和方法。

第三、四部分针对火电厂生产过程中的主要介质,如作为生产蒸汽的工质水,作为输入热量的煤,排出热量的渣、灰、废水等,介绍了燃料的分析、计量、储存方法和有关指标的计算方法以及节水措施和节水指标的计算方法。特别是介绍了目前广泛应用的节水技术——反渗透装置的设计计算方法,并与实践相结合,便于电厂工程技术人员完全掌握这一实用技术。

第五部分为获得主要热力性能数据和设备性能,分别介绍了锅炉和汽轮机方面的性能测试项目、测试方法、计算方法和评价方法以及性能测试所应遵循的规程和标准、仪器仪表

等。特别是介绍了目前火电厂普遍忽略的水冷塔性能测试方法，并以实例进行计算和评价。

第六部分介绍了如何建立热力特性方程和进行机组负荷经济调度两方面的内容，为火力发电厂在厂网分开、竞价上网的运行管理方面提出了一些参考意见。

本书包括了汽轮机、锅炉、仪表、水泵风机、磨煤机等发电厂有关各专业教材的内容，通过节能这条主线将它们有机地结合在一起，内容丰富、完整、新颖，是我国目前大型火力发电厂运行管理、节能管理、指标管理中综合性较强的著作，通俗易懂，具有实用性。本书作者根据电厂管理人员多年积累的经验和资料，以及通过与其他发电厂运行管理人员共同探讨研究中获得的大量第一手资料，编著而成，可直接作为电厂运行人员、节能管理人员、企业计划统计人员以及工程技术人员培训用书。

山东大学能源与动力工程学院 袁烈钧

2005年1月18日

第二版前言

本书第一版自 2006 年 2 月出版以来,深受广大读者喜爱,先后多次印刷,累计印刷量已近万册,为火力发电厂的节能减排起到了积极的作用。作为火电厂节能专工的必备书籍,本书提供了节能管理的基本内容和方法,丰富了节能专工的燃料管理知识和试验技术技能,得到电厂、电力研究院等专业人士的好评。

2006 年 8 月 24 日国务院作出《关于加强节能工作的决定》,指出“解决我国能源问题,根本出路是坚持开发与节约并举、节约优先的方针,大力推进节能降耗,提高能源利用效率”。同时指出“到‘十一五’期末,万元国内生产总值(按 2005 年价格计算)能耗下降到 0.98t 标准煤,比‘十五’期末降低 20%左右,平均年节能率为 4.4%”。这就要求到 2010 年我国每万元 GDP(1990 年不变价)能耗由 2002 年的 2.68t 标准煤下降到 2.25t 标准煤。为了实现这一目标,各行各业纷纷行动起来,制定了比较严格的行业准入标准和节能减排标准。2006 年和 2007 年,我国颁布了一系列节能法律和标准,如《中华人民共和国节约能源法》(2008 年 4 月 1 日实施)、《节能技术监督导则》(DL/T 1052—2007)、《常规燃煤发电机组单位产品能源消耗限额》(GB 21258—2007)、《火力发电企业能源计量器具配备和管理要求》(GB/T 21369—2007),对火力发电厂的节能工作提出了更高的要求,并给火力发电厂节能工作增加了更新的内容。这也是本书修订的主要原因。

在本次修订过程中,基本上保持了第一版的风格和特色,尽量保留原有内容。编者只是补充了大量最新数据和内容,删掉了与节能无关的可靠性指标和其他指标,以及一些较旧的数据;增加了节能技术监督、炉膛及烟道漏风率试验、循环流化床锅炉性能试验、凝汽器性能试验、汽轮机真空系统查漏试验、机组定滑压试验、汽轮机缸效率试验等章节,补充了按等微分增率调度负荷的方法案例,这样一来,本书就更扣节能管理主题。

本书出版后,被许多单位作为节能管理培训材料使用,并就书中的一些内容与编者进行了深入讨论,提出了一些修改意见,在此一并表示感谢。

本书第一版出版后,曾被某些出版商盗版,出现了一些书价定得很高的节能类盗版书,在此编者声明,编者的书只在中国电力出版社出版,也请广大读者与编者一起共同抵制盗版书。

限于编者水平,不足之处在所难免,热忱希望广大读者提出批评和建议。

编者

2008 年 12 月

第一版前言

2002年11月党的十六大提出了新时期中国全面建设小康社会的奋斗目标,要求“国内生产总值到2020年力争比2000年翻两番”。随着人口、工业化和城镇化进程的加快,能源需求量将大幅度上升,经济发展面临的能源约束矛盾和能源使用带来的环境污染问题更加突出。根据专家预测,到2020年能源需求量将达到30多亿t标准煤,要满足这一需求,无论增加国内煤炭供应还是利用国外石油,都面临着巨大压力。能源基础设施建设投资大、周期长,还面临水资源制约等一系列问题,给国家能源安全 and 经济持续发展提出严峻挑战。

为了实现经济社会发展战略目标,我国提出能源要“以可持续发展为主题,以结构调整和优化为主线,以全面创新为动力,增强竞争能力,提高能源效率,促进能源、经济与环境协调发展”的总体发展战略,并提出了“坚持开发与节约并举,把节约放在首位”的能源发展总方针。提倡能源节约,把节能放在首位,就是要提高能源的利用效率,以尽可能少的能源满足经济发展和人民生活的需要,走以提高能源利用效率和发展循环经济为核心的发展道路。

中国能源以煤为主的特点,决定了电力工业的发展必须以燃煤火电为主的格局。经过几年的努力,我国火电装机容量从1980年的45550MW增加到2004年的324900MW,火电装机容量提高了6倍多,火电用煤量也从1980年的11150万t猛增到2004年的95000万t,占全国煤炭生产总量的一半还多。虽然电力工业发展迅速,但是从近几年火电发展来看,机组能耗高、能源浪费、煤炭紧张和淡水贫乏等情况已严重制约了电力工业的进一步发展,致使电力工业无法满足国民经济持续快速发展对电力的日益需求。

中国能源研究所研究表明,2000年按现行汇率计算的每百万美元国内生产总值能耗,我国为1274t标准煤,比世界平均水平高2.4倍,火电供电煤耗比国际先进水平高22.5%,火电机组平均效率仅为33.8%,比国际先进水平低6%~7%。根据专家预测我国目前的节能潜力约为3亿t标准煤。

因此我国的节能潜力很大,节能任务还很艰巨,火力发电厂必须从节能工作抓起,从指标管理入手,深入开展节能降耗和技术改进活动。本书以通俗易懂和生动概括的实例、图表,结合电厂实际,详细地阐述了火力发电厂的各种节能管理措施和指标控制技术,介绍了耗差分析方法和回归分析方法在节能工作中的具体应用,并提出了许多与传统观点不同的新见解和新思维,对我国火力发电厂的经济运行、节能降耗具有切实有效的指导作用。

在本书的编写过程中,得到华能南通电厂方超高级工程师、烟台电厂武丽萍高级工程

师、黄台电厂高山高级工程师、山东电力研究院热能所郝卫东副主任、山东信息中心潘焰平研究员，以及华能威海发电有限责任公司、华能国际电力股份有限公司领导和专家的大力支持和帮助，他们在本书的编写过程中提供了大量现场资料，对书稿提出了许多修改意见，特别是山东大学裘烈钧教授和南通电厂方超高工在审稿中提出了大量真知灼见的意见，他们渊博的知识和一丝不苟的工作作风，给我留下了深刻的印象。裘烈钧教授还为本书写了序言，在此，对帮助和支持我的所有领导和专家，一并表示衷心地感谢。

由于作者水平所限，书中不当之处在所难免，敬请专家和读者批评指正，以便再版时更正。

编者

2005年1月于华能国际电力股份有限公司威海电厂

主要参考文献

- | | | | |
|--------------|-----|--------------|-----|
| 1. 发电厂汽轮机运行 | 章三章 | 2. 发电厂汽轮机运行 | 章一廉 |
| 3. 发电厂汽轮机运行 | 章四章 | 4. 发电厂汽轮机运行 | 章一廉 |
| 5. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 | 6. 发电厂汽轮机运行 | 章二章 |
| 7. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 | 8. 发电厂汽轮机运行 | 章三章 |
| 9. 发电厂汽轮机运行 | 章六章 | 10. 发电厂汽轮机运行 | 章四章 |
| 11. 发电厂汽轮机运行 | 章七章 | 12. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 |
| 13. 发电厂汽轮机运行 | 章八章 | 14. 发电厂汽轮机运行 | 章二章 |
| 15. 发电厂汽轮机运行 | 章一章 | 16. 发电厂汽轮机运行 | 章一章 |
| 17. 发电厂汽轮机运行 | 章二章 | | |

主要参考文献

- | | | | |
|--------------|-----|--------------|-----|
| 18. 发电厂汽轮机运行 | 章四章 | 19. 发电厂汽轮机运行 | 章三章 |
| 20. 发电厂汽轮机运行 | 章一章 | 21. 发电厂汽轮机运行 | 章一章 |
| 22. 发电厂汽轮机运行 | 章二章 | 23. 发电厂汽轮机运行 | 章二章 |
| 24. 发电厂汽轮机运行 | 章三章 | 25. 发电厂汽轮机运行 | 章四章 |
| 26. 发电厂汽轮机运行 | 章四章 | 27. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 |
| 28. 发电厂汽轮机运行 | 章四章 | 29. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 |
| | | 30. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 |

主要参考文献

- | | | | |
|--------------|-----|--------------|-----|
| 31. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 | 32. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 |
| 33. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 | 34. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 |
| 35. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 | 36. 发电厂汽轮机运行 | 章五章 |

目 录

序言

第二版前言

第一版前言

第一篇 节能管理

第一章 能源基础知识	2	第三节 火电厂的运行管理	46
第一节 能源的分类	2	第四节 火电厂基本建设和	
第二节 能源资源概况	5	大型技改的管理	50
第三节 中国能源特点	23	第五节 一流火力发电厂节	
第四节 火电厂节能的意义	30	能考核指标	54
第五节 火电厂的节能措施	33	第六节 火电厂的能源计量管理	61
第二章 火电厂的节能管理	41	第七节 节能技术监督	65
第一节 火电厂的节能管理体系	41	第八节 节能分析会议纪要的规范管理	70
第二节 火电厂的检修管理	42		

第二篇 指标管理

第三章 火电厂的指标管理	74	第四章 电站机组的热损失和	
第一节 汽轮机和化学指标的管理	74	供电煤耗	142
第二节 锅炉和燃料指标的管理	91	第一节 锅炉的热损失和热效率	142
第三节 全厂综合性指标的管理	105	第二节 汽轮发电机组的效率与热耗	153
第四节 耗差分析方法在火电厂		第三节 应用反平衡方法计算	
指标分析中的具体应用	114	供电煤耗率	163
第五节 等效焓降法在热力系统		第四节 正平衡供电煤耗的计算	166
分析中的应用	126		

第三篇 燃料管理

第五章 锅炉燃煤的化学分析	175	火电厂生产的影响	179
第一节 燃煤的质量与分类	175	第三节 煤元素分析及其对火电	
第二节 煤质的工业分析及其对		厂生产的影响	187

第四节	燃煤的分析基准及其应用	190	第七节	应用回归分析方法建立关系式	238
第六章	火电厂燃煤的计量管理	198	第八节	煤质化验结果的校核 和煤质验收标准	247
第一节	锅炉燃煤的采购	198	第九节	煤质在线检测装置的应用	252
第二节	火电厂入厂煤的陆地计量	200	第八章	火电厂煤场的综合管理	257
第三节	火电厂的船舶运煤计量	203	第一节	燃煤自燃与贮存	257
第四节	火电厂入炉煤的检斤管理	213	第二节	库存燃煤的盘点	260
第七章	火电厂燃煤的检质管理	216	第三节	火电厂煤种的混配	262
第一节	火电厂煤质监督	216	第九章	火电厂燃油的综合管理	269
第二节	火电厂入厂煤的采样方法	218	第一节	火电厂燃油和燃气特性	269
第三节	火电厂入炉煤的采样方法	223	第二节	燃油计量与贮存	274
第四节	机械采样装置及其应用	227	第三节	燃油取样与分析	279
第五节	入炉煤粉样品的采取方法	231			
第六节	火电厂煤样的制备技术	234			

第四篇 节水管理

第十章	节约用水刻不容缓	285	第三节	控制循环水的水质	302
第一节	我国水资源现状	285	第四节	冷却塔的维护与改造	305
第二节	我国发电企业用水现状	289	第五节	电站循环水采用空冷技术	309
第三节	发电企业应采取的主要 节水办法和措施	292	第六节	火电厂用水指标及其计算	313
第十一章	节水技术在火电厂 中的应用	298	第七节	水平衡测试及水务管理	326
第一节	火力发电厂的冷却水系统	298	第八节	用反渗透方法进行化学水 处理时的水质预处理	332
第二节	控制循环冷却水的浓缩倍数	299	第九节	反渗透装置设计计算	337

第五篇 性能测试

第十二章	火电厂热力试验方法	351	第八节	煤粉细度试验	411
第一节	热力试验基本知识	351	第九节	煤的可磨性指数测定	412
第二节	锅炉热效率试验	363	第十节	电站风机现场试验	416
第三节	汽轮机热耗率试验	368	第十一节	电除尘器试验	423
第十三章	锅炉侧有关项目的测试	379	第十二节	炉膛及烟道漏风率试验	429
第一节	空气预热器漏风率试验	379	第十三节	循环流化床锅炉性能试验	435
第二节	热力管道效率的测试	383	第十四章	汽轮机侧有关项目 的测试	439
第三节	锅炉排烟温度的测试	385	第一节	汽轮机真空严密性测试	439
第四节	锅炉烟气成分的测定	387	第二节	凝汽式汽轮机组供电 煤耗测试	441
第五节	飞灰、炉渣和沉降灰可燃物 含量的测试	389	第三节	电站水泵性能的测试	447
第六节	锅炉制粉系统的性能试验	393	第四节	电站湿式冷却塔试验	451
第七节	锅炉燃烧调整试验	404	第五节	凝汽器性能试验	461

第六节 汽轮机真空系统查漏试验	470
第七节 机组定滑压试验	473

第八节 汽轮机缸效率试验	482
--------------------	-----

第六篇 经济调度

第十五章 热力设备的热力特性	489
----------------------	-----

第一节 汽轮机的热力特性	489
第二节 单元机组的微增煤耗率	494

第十六章 单元机组的经济调度	498
----------------------	-----

第一节 等微增率调度负荷的原则	498
第二节 按等微增率调度负荷	500

附录 有关节能的法律法规	504
--------------------	-----

附录 1 火力发电厂节约能源规定 (试行)	504
-----------------------------	-----

附录 2 火电厂节约用水管理办法 (试行)	512
-----------------------------	-----

附录 3 火电厂节约用油管理办法 (试行)	515
-----------------------------	-----

参考文献	517
------------	-----

附录 本书 插图

图 1-1	第一章
图 1-2	第二章
图 1-3	第三章
图 1-4	第四章
图 1-5	第五章
图 1-6	第六章
图 1-7	第七章
图 1-8	第八章
图 1-9	第九章
图 1-10	第十章

图 1-11	第十一章
图 1-12	第十二章
图 1-13	第十三章
图 1-14	第十四章
图 1-15	第十五章
图 1-16	第十六章
图 1-17	第十七章
图 1-18	第十八章
图 1-19	第十九章
图 1-20	第二十章

附录 本书 附表

表 1-1	第一章
表 1-2	第二章
表 1-3	第三章
表 1-4	第四章
表 1-5	第五章
表 1-6	第六章
表 1-7	第七章
表 1-8	第八章
表 1-9	第九章
表 1-10	第十章
表 1-11	第十一章
表 1-12	第十二章
表 1-13	第十三章
表 1-14	第十四章
表 1-15	第十五章
表 1-16	第十六章
表 1-17	第十七章
表 1-18	第十八章
表 1-19	第十九章
表 1-20	第二十章

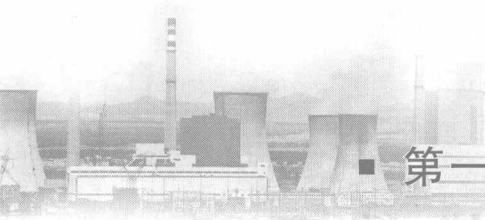
表 1-21	第二十一章
表 1-22	第二十二章
表 1-23	第二十三章
表 1-24	第二十四章
表 1-25	第二十五章
表 1-26	第二十六章
表 1-27	第二十七章
表 1-28	第二十八章
表 1-29	第二十九章
表 1-30	第三十章
表 1-31	第三十一章
表 1-32	第三十二章
表 1-33	第三十三章
表 1-34	第三十四章
表 1-35	第三十五章
表 1-36	第三十六章
表 1-37	第三十七章
表 1-38	第三十八章
表 1-39	第三十九章
表 1-40	第四十章

火力发电厂节能和指标管理技术(第二版)

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。

The diagram illustrates the integrated process of a coal-fired power plant. It begins with a **煤场** (coal yard) where coal is stored. A **输煤皮带** (coal conveyor belt) transports coal to an **原煤仓** (raw coal silo). From there, coal is fed into a **给煤机** (coal feeder) and then into a **二次风箱** (secondary air box). The coal is then moved to a **磨煤机** (mill) where it is ground into powder. The **磨煤机** is connected to a **分离器** (separator) and a **排粉机** (pulverizer). The **排粉机** feeds the **粉仓** (powder silo). The **粉仓** is connected to the **锅炉** (boiler). The **锅炉** is connected to a **汽包** (steam drum). The **汽包** is connected to a **蒸汽轮机** (steam turbine). The **蒸汽轮机** is connected to a **发电机** (generator). The **发电机** is connected to a **电网** (power grid). The **锅炉** also receives **空气预热器** (air preheater) and **送风机** (induced draft fan) inputs. The **空气预热器** is connected to the **锅炉** and the **送风机**. The **送风机** is connected to the **空气预热器**. The **空气预热器** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **电除尘器** (electrostatic precipitator) and **引风机** (induced draft fan) inputs. The **电除尘器** is connected to the **锅炉** and the **引风机**. The **引风机** is connected to the **电除尘器**. The **电除尘器** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **凝汽器** (condenser) and **循环水泵** (circulating water pump) inputs. The **凝汽器** is connected to the **锅炉** and the **循环水泵**. The **循环水泵** is connected to the **凝汽器**. The **凝汽器** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **除氧器** (de-aerator) and **给水泵** (feedwater pump) inputs. The **除氧器** is connected to the **锅炉** and the **给水泵**. The **给水泵** is connected to the **除氧器**. The **除氧器** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **高压加热器** (high pressure heater) and **低压加热器** (low pressure heater) inputs. The **高压加热器** is connected to the **锅炉** and the **低压加热器**. The **低压加热器** is connected to the **高压加热器**. The **高压加热器** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **渣浆泵房** (slag pump room) and **灰罐** (ash tank) inputs. The **渣浆泵房** is connected to the **锅炉** and the **灰罐**. The **灰罐** is connected to the **渣浆泵房**. The **渣浆泵房** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **去灰场** (ash disposal field) inputs. The **去灰场** is connected to the **锅炉**. The **去灰场** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **化学水处理** (chemical water treatment) and **水源** (water source) inputs. The **化学水处理** is connected to the **锅炉** and the **水源**. The **水源** is connected to the **化学水处理**. The **化学水处理** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **排水** (drainage) and **循环水泵** (circulating water pump) inputs. The **排水** is connected to the **锅炉** and the **循环水泵**. The **循环水泵** is connected to the **排水**. The **排水** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **机组补水** (unit water make-up) and **凝结水泵** (condensate pump) inputs. The **机组补水** is connected to the **锅炉** and the **凝结水泵**. The **凝结水泵** is connected to the **机组补水**. The **机组补水** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **凝汽器** (condenser) and **循环水泵** (circulating water pump) inputs. The **凝汽器** is connected to the **锅炉** and the **循环水泵**. The **循环水泵** is connected to the **凝汽器**. The **凝汽器** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **除氧器** (de-aerator) and **给水泵** (feedwater pump) inputs. The **除氧器** is connected to the **锅炉** and the **给水泵**. The **给水泵** is connected to the **除氧器**. The **除氧器** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **高压加热器** (high pressure heater) and **低压加热器** (low pressure heater) inputs. The **高压加热器** is connected to the **锅炉** and the **低压加热器**. The **低压加热器** is connected to the **高压加热器**. The **高压加热器** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **渣浆泵房** (slag pump room) and **灰罐** (ash tank) inputs. The **渣浆泵房** is connected to the **锅炉** and the **灰罐**. The **灰罐** is connected to the **渣浆泵房**. The **渣浆泵房** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **去灰场** (ash disposal field) inputs. The **去灰场** is connected to the **锅炉**. The **去灰场** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **化学水处理** (chemical water treatment) and **水源** (water source) inputs. The **化学水处理** is connected to the **锅炉** and the **水源**. The **水源** is connected to the **化学水处理**. The **化学水处理** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **排水** (drainage) and **循环水泵** (circulating water pump) inputs. The **排水** is connected to the **锅炉** and the **循环水泵**. The **循环水泵** is connected to the **排水**. The **排水** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **机组补水** (unit water make-up) and **凝结水泵** (condensate pump) inputs. The **机组补水** is connected to the **锅炉** and the **凝结水泵**. The **凝结水泵** is connected to the **机组补水**. The **机组补水** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **凝汽器** (condenser) and **循环水泵** (circulating water pump) inputs. The **凝汽器** is connected to the **锅炉** and the **循环水泵**. The **循环水泵** is connected to the **凝汽器**. The **凝汽器** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The **发电机** is connected to the **电网**. The **锅炉** also receives **除氧器** (de-aerator) and **给水泵** (feedwater pump) inputs. The **除氧器** is connected to the **锅炉** and the **给水泵**. The **给水泵** is connected to the **除氧器**. The **除氧器** is connected to the **锅炉**. The **锅炉** is connected to the **汽包**. The **汽包** is connected to the **蒸汽轮机**. The **蒸汽轮机** is connected to the **发电机**. The

1



■ 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利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:“能源是指煤炭、原油、天然气、电力、焦炭、煤气、热力、成品油、液化石油气、生物质能和其他直接或者通过加工、转换而取得有用能的各种资源”。《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、钚等核裂变资源和氘、氚、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、天然铀等。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 1-2。

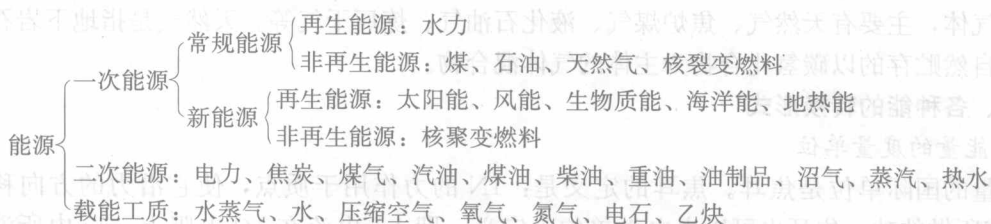


图 1-2 能源的概念和分类

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。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；气体燃料统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体，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。

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 3600\text{kJ} = 860\text{kcal}$$

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 cal_{20} 表示。 $1\text{cal}_{20} = 4.181\text{J}$ 。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， $1\text{cal} = 4.186\text{J}$ 。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/m³ 计算，换算成标准煤的比率为 1.33kg 标准煤/m³。

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 桶当量油 (bbl) = 158.988L = 42US gal (美国加仑)

1t 油 = 7.33 桶油 (bbl)

1t 氘 (聚变时) = 1200 万 t 标准煤

1t 铀 (裂变时) = 280 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, $c=3\times 10^8\text{m/s}$;

m ——颗粒质量, kg;

E ——质量能, 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 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	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