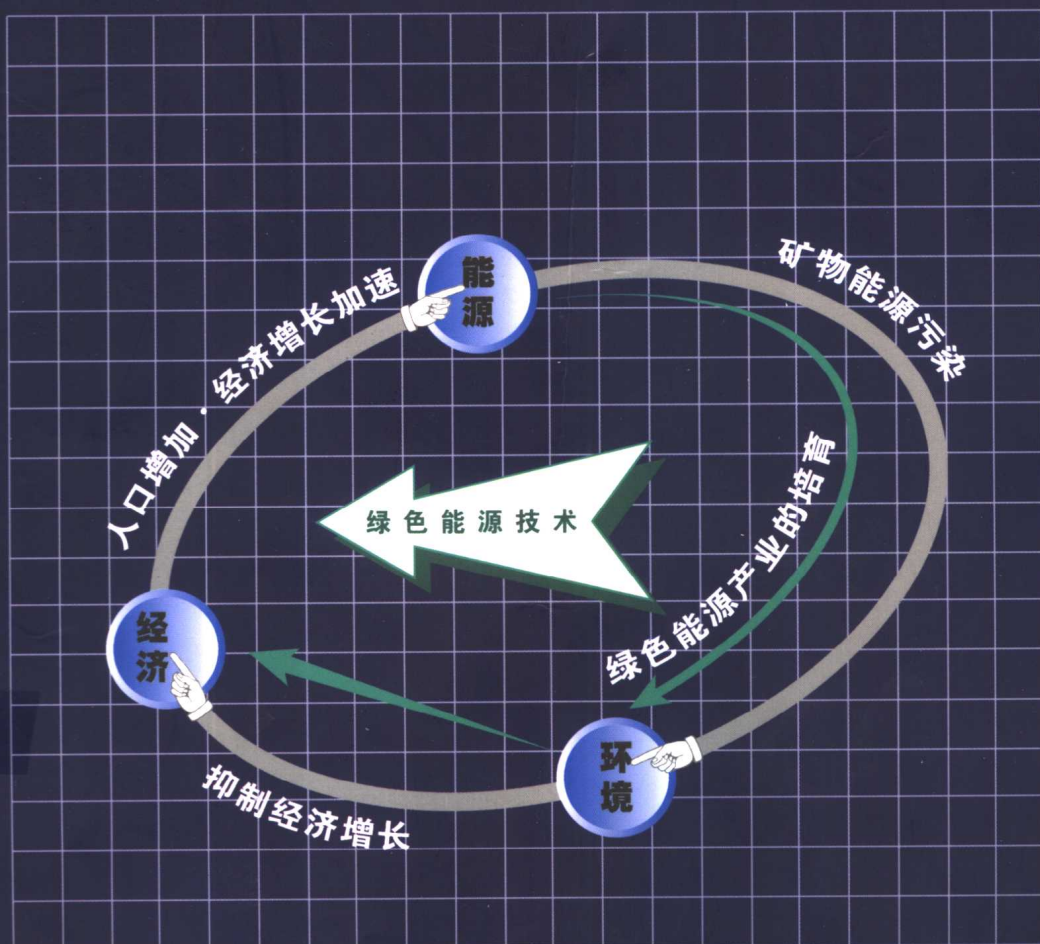


OHM 大学理工系列

能源环境学

〔日〕滨川圭弘 西川祐一 辻 毅一郎 编



科学出版社

www.sciencep.com

72.03.5
697



能源环境学

〔日〕 滨川圭弘 西川祐一 辻 毅一郎 编
郭成言 译

科学出版社

图字:01-2002-1677 号

Original Japanese language edition

Shinsedai Kougaku Series; Energy Kankyogaku

By Yoshihiro Hamakawa, Yoshikazu Nishikawa, Kiichiro Tsuji, Tetsuo Tezuka, Hiroshi Horiike and
Mikio Kasahara

Copyright © 2001 by Yoshihiro Hamakawa, Yoshikazu Nishikawa, Kiichiro Tsuji, Tetsuo
Tezuka, Hiroshi Horiike and Mikio Kasahara

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese version published by Science Press, Beijing

Under license from Ohmsha, Ltd.

Copyright © 2002

All rights reserved

新世代工学シリーズ

エネルギー環境学

濱川圭弘・西川禎一・辻 毅一郎 オーム社 2001

图书在版编目(CIP)数据

能源环境学/(日)濱川圭弘,西川禎一,辻毅一郎编;郭成言译.--北京:科学出版社,2003

(OHM 大学理工系列)

ISBN 7-03-010751-9

I. 能… II. ①濱…②西…③辻…④郭… III. ①能源-综合利用②节能③能源-关系-环境
IV. ①TK01②X24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 066823 号

责任编辑:崔炳哲 樊友民 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 封面设计:李 力

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社发行 各地新华书店经销

2003 年 2 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2003 年 2 月第一次印刷 印张:9

印数:1—5 000 字数:130 000

定 价:18.00 元

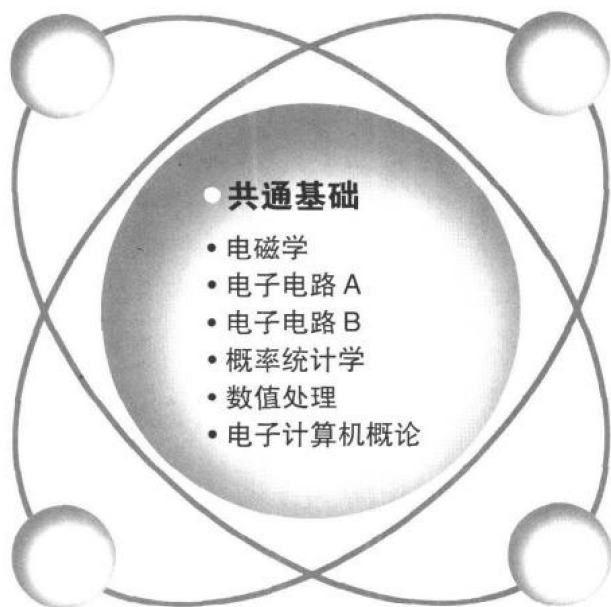
(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

通信、信息领域

- 通信工程学概论
- 信息通信工程
- 光通信与无线通信系统
- 信号处理
- 计算机构成
- 系统软件
- 编程语言
- 控制系统
- 计算机网络
- 数据库
- 计算机应用
- 人工智能

电子、材料领域

- 模拟电路
- 数字电路
- 电子电气材料
- 半导体器件
- 集成电路
- 电子功能材料工程
- 光电子学
- 光与电磁波工程
- 激光工程
- 电子与离子工程



系统、控制领域

- 传感工程
- 控制理论
- 数字控制
- 系统工程
- 机电一体化
- 机器人工程
- 人工接口
- 控制系统
- 计算机网络
- 计算机图形学
- 信息媒体工程

电力、能源领域

- 能源环境学
- 电力电子学
- 电气机器
- 电力系统工程
- 电力传输工程
- 超电导工程
- 电化学

丛 书 序

主编 樱井良文

现在,很多大学正在进行院系调整以及学科、专业的重组,以研究生培养为重点,引入学期制,采用新的课程体系授课,特别是由于学期制教学计划的引入,使得原来分册编写的教材很难在一个学期的教学中消化。因此,各学校对“易教”、“易学”教材的需求越来越迫切。

本系列是面向通信、信息,电子、材料,电力、能源,以及系统、控制等多学科领域的新型教学参考系列。系列中的各册均由活跃在相应学科领域第一线的教授任主编,由年轻有为的学者执笔,内容丰富、精炼,有利于对学科基础的理解。设计版面时着重为学生留出了写笔记的空间,是一种可以兼作笔记,风格别致的教学参考书。

希望肩负新世纪工程技术领域发展重任的青年读者们,通过本教程系列的学习,建立扎实的学科基础,在实践中充分发挥自己的应用能力。

OHM 大学理工系列编辑委员会

主 编

樱井良文 大阪大学名誉教授

副主编

西川祐一 大阪工业大学校长
京都大学名誉教授

编委(按顺序)

池田克夫	大阪工业大学教授 京都大学名誉教授	井口征士	大阪大学教授
木村磐根	大阪工业大学教授 京都大学名誉教授	白井良明	大阪大学教授
西原 浩	福井工业大学教授 大阪大学名誉教授	仁田旦三	东京大学教授
滨川圭弘	立命馆大学教授 大阪大学名誉教授	广濑全孝	产业技术综合研究所 下一代半导体研究中心主任

44623

前 言

对许多人来说,也许并没有意识到我们在日常生活中每天都在消耗大量的能量。这些能量的来源,大部分是存在于地球上有限地域的矿物资源,而随着能量消耗水平的不断提高,这些矿物资源已经达到枯竭的程度。这个事实已经得到人们的共识。

另一方面,环境问题的严重程度也在不断增加。在地球范围内,以二氧化碳为主的温室效应气体引起的气温升高,氟里昂气体造成的臭氧层空洞扩大,酸雨致使森林植被破坏,常常成为人们谈论的话题。在地域范围内,城市周围的大气污染问题也依然存在。特别是,大量的能源消耗对环境的影响不可估量。因此,关于能源与环境的各种问题,已经是 21 世纪不可回避的极其重要的问题。

能源与环境的问题,是技术性、社会性要素错综复杂交织在一起的问题,其表现是多方面的,可以从各种各样的切入点进行论述。因此,过分地强调某一方面,将会引起人与人之间的对立。为了避免这种情况的发生,更积极地推进“可持续发展社会”的建设,每个人都必须掌握正确的知识,依靠科学的根据和理智的思考,才可以不失时机地做出正确的判断。

鉴于上述情况,在大学里开设了诸如环境能源工程学、能源系统工程学、能源环境学等学科,但与能源和环境有关的学术领域极广,包含了从自然科学到社会科学的许多领域,要阅读各个领域的专业书籍是非常困难的。因此,人们一直期望获得一本简明扼要、条理通顺的科学参考书,涵盖有关能源环境问题的各个方面,以及理解能源环境问题所需要的最基础的知识。本书正是顺应这种需求而策划完成的。

在 21 世纪,果真能够建设既可消耗大量能源又能减少环境破坏,并可持续发展的社会吗?为了回答这些疑问,我们确定了本书的结构:首先综述能源利用的历史和现状,然后分成能源资源及其转换方法、节能技术、能源与环境问题、在 21 世纪构筑可持续发展的高度文明的社会等课题,分别由各领域的专家、学者执笔,以简

洁易懂、重点突出为基本方针编写本书。

我们还希望,读者通过通读本书得到利于在各个领域发展的基础知识。不过,究竟能够在多大程度上获得成功,还依靠读者们的判断力。如果这种与以往风格不同的尝试能够受到读者的青睐,我们将不胜荣幸。

最后,本书的完成花费了相当长的时间,谨向此期间持之以恒地为本书的完成而努力的出版社的诸位深表感谢。

编 者

目 录

第 1 章 能源环境学的由来	1
1.1 文明的进步与能源	1
1.2 3E 课题与 21 世纪文明	4
1.3 本书的结构与学习方法	5
第 2 章 能源资源	7
2.1 能源资源及其分类	7
2.1.1 煤炭类碳氢化合物	11
2.1.2 石油类碳氢化合物	12
2.1.3 原子能	14
2.1.4 可再生能源(renewable energy) ...	15
2.2 矿物能源及其储量	15
2.2.1 资源(resource)与储量(reserve)	15
2.2.2 煤 炭	17
2.2.3 原 油	20
2.2.4 天然气和液化天然气	22
2.2.5 其他石油资源	24
2.3 原子能与铀	26
2.4 太阳能的质与量	27
2.5 其他可再生能源	29
2.5.1 水 力	29
2.5.2 生物量	30
2.5.3 地 热	31
练习题	32
第 3 章 能源转换技术	33
3.1 能源转换概述	33
3.2 矿物燃料发电	33
3.2.1 热力学定律	34
3.2.2 卡诺循环	35

3.2.3	兰金循环(蒸汽循环)	36
3.2.4	燃气轮机	37
3.2.5	复合循环发电	38
3.2.6	燃煤火力发电	40
3.2.7	微型燃气轮机	41
3.3	原子能发电	41
3.3.1	核裂变反应	43
3.3.2	轻水堆	44
3.3.3	高速增殖堆与核燃料的循环	45
3.4	核聚变发电	46
3.4.1	核聚变的必要条件	47
3.4.2	核聚变的临界条件	47
3.4.3	磁场箍缩核聚变	49
3.5	太阳能发电	52
3.5.1	太阳能发电及其特点	52
3.5.2	太阳能电池的原理和能量转换效率	54
3.6	太阳热发电	58
3.7	自然能的利用	60
3.7.1	水力发电	61
3.7.2	风力发电	62
3.7.3	地热发电	63
3.7.4	其 他	64
3.8	直接发电	65
3.8.1	燃料电池	65
3.8.2	MHD 发电	69
	练习题	70

第 4 章 节能技术 73

4.1	节能技术概述	73
4.1.1	节能的概念	73
4.1.2	从能源流程图看到的节能状况	74
4.1.3	各行各业的节能状况	75
4.2	个别技术开发型节能	79
4.2.1	产业用电动机和变换器	79
4.2.2	家用电器的高效率、低损失化	81
4.2.3	建筑物中采暖、制冷负荷的降低	83
4.3	系统技术开发型节能	84

4.3.1	利用热电联合系统节能	84
4.3.2	热电联合系统的结构	85
4.3.3	热电联合系统的计划	86
4.4	废弃能量再利用型节能	87
4.4.1	超级垃圾发电	87
4.4.2	冷冻机和热泵	89
4.4.3	通过热泵利用尚未利用能源	91
4.5	社会体系结构转换型节能	93
4.5.1	高效率、能源环境协调型 城市的建设	93
4.5.2	通过转变生活方式节能	94
	练习题	96
第 5 章	能源与环境	97
5.1	环境问题与能源利用的关系	97
5.1.1	能源利用与环境问题的变迁	97
5.1.2	各种能源对环境的影响	99
5.2	地域范围的大气环境问题	104
5.2.1	与大气污染有关的环境标准	104
5.2.2	日本的大气污染现状	105
5.3	地球范围的环境问题	109
5.3.1	正在加剧的地球温室效应	109
5.3.2	酸雨与酸性物质沉积	112
5.4	环境评估	115
5.4.1	环境评估	116
5.4.2	大气中污染物质浓度的预测	116
5.5	降低能源消耗,保护大气环境	119
5.5.1	改善能源环境的基本理念	119
5.5.2	保护大气环境	120
	练习题	121
第 6 章	21 世纪的文明与能源	123
6.1	能源供需的长期预测	123
6.2	向可持续发展的高度文明的社会前进	129
	练习题简答	133

参考文献 135

篇外话	
“西气东输”：中国的特大输气管道建设	25
新的节能责任承担者：ESCO	92
地球环境问题	109
气溶胶	113

第 1 章

能源环境学的由来

能源,俗称文明活动之“米”。从我们日常生活中必需的电、煤气、自来水等的供应,到交通运输、通信等现代社会的一切文明活动都离不开它。例如,在阪神大地震中,由于停电,从家庭照明和烹调,到交通、电视、电话等,一切活动都停止了。另一方面,我们维持生命所需的粮食、水、空气、阳光和适宜的气候等,都受太阳能及其引起的气象活动的微小变化的影响。现已证实,这些影响会给农作物的收成、动植物的生命活动,以及生态系统循环周期带来很大阻碍。

本书提出的“能源环境学”,是从能源与现代文明活动的关系这样一个新的视点进行系统研究的新学科领域。其内容既包括资源工程学、能源转换工程学、生态学等理科知识,也包括能源政治学、能源经济学等文科学问,还包括由文理融合而产生的环境工程学,以及与节能和能源的有效利用有关的经营学。总之,这是一门新的综合学科。本章作为进入能源环境学各章的前奏,在阐述文明活动与能源的关系的基础上,进一步说明了以 21 世纪人类文明的可持续发展为目标的三大课题——3E 即能源 (energy),经济 (economy) 和环境 (environment)。

1.1 文明的进步与能源

自远古时期就学会使用火的人类,一直用火来取暖、烹调、照明甚至通信,还将这种利用能量的技术应用到玻璃加工或制作装饰品¹⁾、陶艺等方面,从而开创了人类文明。后来,人类发明了蒸汽机和内燃机,所使用的燃料也是从草木转变成为煤炭、石油和天

1) 在公元前 4 世纪的青铜器时代发现,在铸造炉中玻璃化的氧化硅里掺杂 3 价铜离子,能够制成蓝色玻璃,经过加工可以做装饰品。

然气等。这些发明使机械能的利用多样化,同时也使电能的生产成为可能,能源的使用领域得以进一步扩大,从交通运输到通信等领域,赋予了人类一切文明活动的动力,推动了人类文明的进步。能源被称作文明活动之“米”(主食),其原因是显而易见的。

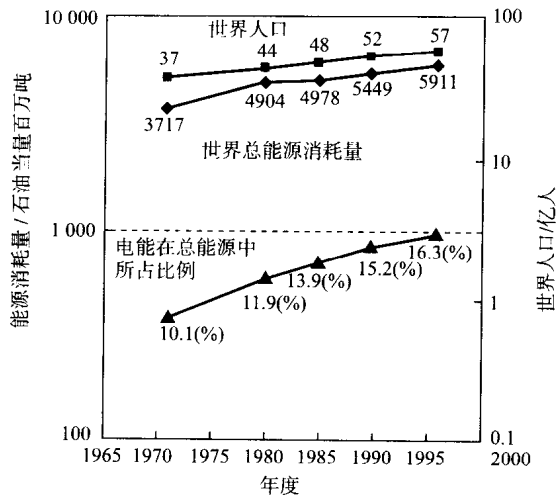


图 1.1 世界人口与每年总能源消耗量

文明活动需要的能量可以分成两类,一类是维持人们生命的生理能量,另一类是日常生活、社会活动、生产活动中消耗的能量。我们从水和粮食中摄取的生理能量,按全人类平均,是每人每天 9.2MJ(=2 200 kcal)。另一方面,根据最新统计,文明活动消耗的能量,世界平均每人每日达到 188 MJ(=45 000.kcal)(因生活水平不同而异)。后者是前者的 20 多倍,这是因为文明活动消耗的能量,随文明的进步程度成正比例地增长,还由于文明活动从发达国家向发展中国家的扩展而与日俱增。当然,上述数据只是全人类的平均值,若就某个国家而言,能量消耗则有多有少,例如美国的人均能量消耗最多,是世界平均消耗量的数倍^[1]。

如图 1.1 所示,世界人口 1971 年为 37 亿,1996 年为 57 亿,仅仅 25 年就增长了 54%^[2]。另一方面,世界各国的人均国民生产总值(GDP)和人均一次能源消耗量,如图 1.2 所示,接近原点的国家是 GDP 低的发展中国家,远离原点的国家是发达国家。而且,越是位于对角线左上方的国家,GDP 越高而能源消耗量越少,是能源利用效率较高的国家。由图 1.2 中从原点引出的直线可见,经

济活动与人均一次能源消耗量之间是密切相关的^[3]。因此,能源消耗量取决于人口的增长和与日俱增的文明程度之积。由图 1.1 可知,总能源消耗量的增长率高于人口的增长率;在世界总能源消耗量中,电能所占的比例在急剧增加。在 21 世纪高度信息化的社会里,如何确保所需的电力,是关系到人类文明存亡的重要课题。

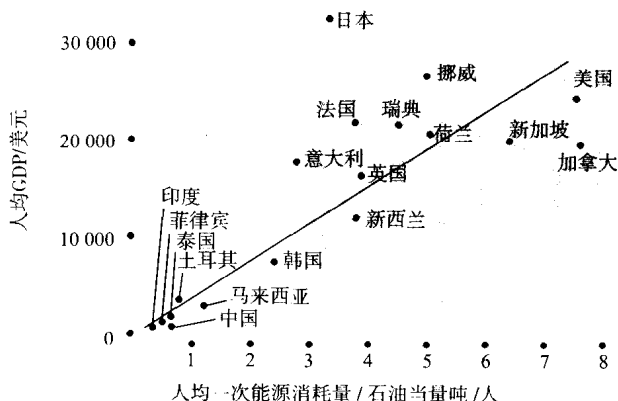


图 1.2 人均 GDP 与能源消耗量(1993 年)

回顾产业利用方面的变迁,如前所述,自 18 世纪的产业革命以来,一直支撑着人类文明的能源,经历了从固体燃料(煤炭)到液体燃料(石油)再到气体燃料(天然气)的变化过程。如果从工业化研究开发领域考察能源形态的改变引起的变化,可以看到,19 世纪中叶雷诺(Etienne Lenoir 1822~1900 年)发明了燃气发动机,但这已是瓦特(James Watt 1736~1819 年)发明蒸汽机后(1769 年的专利)一百多年的事了^[4]。今天的工业产品,也几乎同样经历了从研究开发阶段到产品试制阶段,再到工业化生产直到投放市场的过程,为了广泛占领市场(market penetration),总要经过 10~25 年。蒸汽机作为动力的纺织机械诞生于 18 世纪,但蒸汽机作为船舶和机车的动力而普及直至 19 世纪。同样,19 世纪发明了燃气发动机,不久又发明了内燃机,从而开发出了汽车。在 1903 年由汽车工人莱特兄弟制造的发动机动力飞机试飞成功。随后汽车产业和飞机产业诞生,通过火力发电和水力发电生产的大量电能,再通过输配电网络,使各种各样的用电产业获得惊人的进步和发展。正是这些进步和发展,才使人类创造出伟大的 20 世纪物质文明。

可以认为,由固体向液体到气体的矿物燃料利用技术的变迁,是为了适应工业化消耗大量能源的需要,为了经济、方便地大量生产、储存、运输而进行的能源形态的选择。与此同时,当今社会不可忽视的一个问题是在矿物燃料消耗过程中产生的有害气体等影响地球大气环境。在20世纪50年代到70年代间,从煤炭文明到石油文明的能源革命,正是这些因素错综复杂相互影响的结果。进入90年代,开始使用液化天然气(LNG)和液化石油气(LPG)作汽车用燃料,也可以认为是围绕环境问题的能源革命。此外,目前发达国家一次能源消耗的40%是为转换成电能而使用的。关注环境问题,推动那些不必消耗矿物燃料的原子能发电、太阳能发电或风力发电,在减少污染、保护环境方面具有重要意义。电能是可以瞬间大量输送的能量,一旦接通电源,便能够非常高效率地转换成光、热或者动力。因此,电能不仅容易用作照明、空调等家庭用能源,也容易用作产业和交通运输用能源,也是信息通信(IT)等文明活动必需的能源形态。从这种情况出发,第3章的能源转换技术就是围绕着一一次能源向电能的转换来阐述的。

1.2 3E课题与21世纪文明

以塑料为代表的高分子化学,从半导体诞生以来的固体电子学到微电子学、再到电子计算机的应用,进而到宇宙的开发、原子能的利用等,我们一直在讴歌科学技术的进步带来丰富的物质文明。然而,支撑这些物质文明的根本,可以说既有廉价而丰富的矿物能源的大量消耗,也有“如果进行经济核算无论如何都能允许……”这类以经济性、方便性为中心的观点。在资源浪费上,不仅局限于石油等矿物燃料的大量消耗,同样也有木材作为造纸原料而对森林资源的过度砍伐、随着冷藏技术的进步出现的海洋资源的过度捕捞。

其结果是,开天辟地以来长期积蓄在地球上的矿物资源,无须百年将消耗殆尽。因此,急需探讨一个宏大的计划,即究竟怎样才能使21世纪的人类文明持续发展。为此,提出了如图1.3所示的3E课题。所谓3E课题,是指经济的发展伴随着能源的消耗,由于能源以矿物燃料为主,因而带来环境的破坏,这样令人担忧的问题^[5]。在1997年于日本京都召开的气候变化框架条约第3次

国际会议(简称 COP-3,也称为防止地球温室化京都会议)上,确定了 40 个国家的以 CO_2 为主的温室效应气体排放的削减目标。如图 1.3 所示,引入对环境影响小的绿色能源技术,是解决 3E 课题的有效方法之一。环境问题及对策在第 6 章讲述。实质上,最重要的,不是数值目标,而是为了在 21 世纪建设高度文明的社会,要维持从细菌到人类再到地球上一切生态系统的循环周期不变,还要转变谋求更舒适的文明生活的想法。为此,在工业、农业、商业、家庭生活等与能源消耗密切相关的一切生产、消耗活动中,必须建立新的社会规范。

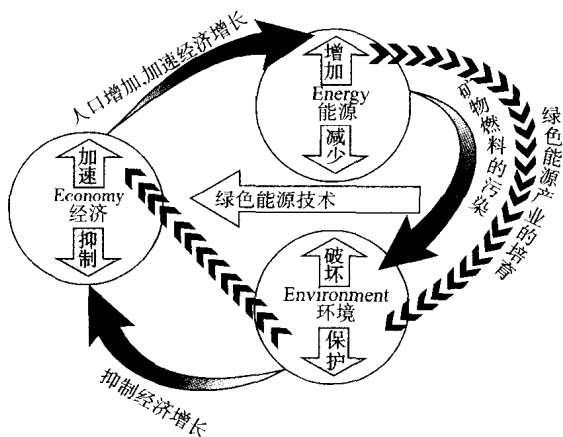


图 1.3 3E(Economy, Energy, Environment)
课题与绿色能源技术

1.3 本书的结构与学习方法

在此,简单介绍一下第 2 章以后的内容。本书各章的内容是彼此相对独立的,全书结构遵循从基础开始依次展开的原则。

第 2 章,讲述能源的构成、统计贮藏量时需要的分类方法、数量单位和热量单位等,要理解能源利用的演变和将来的动向所需要的基础知识。其次,介绍与煤炭、石油、天然气等矿物能源的特征以及各自的埋藏量有关的实际知识。关于矿物能源枯竭问题的看法很多,但在埋藏量上有各种各样的概念,因此要论述能源枯竭问题必须事先充分理解这些概念。此外,还在该章中讲述铀、太

太阳能、生物体等可再生能源的利用。

由于使用方便,预计电能的用量今后将不断增加,在第3章讲述电力生产即发电技术。除了以煤炭、石油为燃料的火力发电以外,还有作为高新技术的原子能发电,作为未来技术的核聚变发电,作为小规模分散型发电技术的微型汽轮机发电、燃料电池发电,作为可再生能源的太阳能发电等各种各样的发电技术。这些发电技术,已经迅速发展成为不同的专业领域。要深入理解这些技术的全部内容并非易事,在此仅以这些技术的特征为重点,讲解那些在探讨能源与环境问题时需要的最小限度的基本原理。

第4章,介绍节能技术的概念,即在工厂、办公楼、住宅等能源消耗场所,在产品生产过程中和办公楼的空调、家电产品等使用过程中,如何尽可能少地消耗能源。在节能方面有种类繁多的技术,需要仔细地钻研。世界各国,特别是日本,曾经受到石油危机的巨大冲击,因此节能技术发展很快。在该章中,围绕基础知识,概述了各国节能技术进展情况及相关技术,同时介绍了变换器等几种有效节能技术,还讲述了可以利用低温热源的热泵、能够同时生产利用热和电的热电联合系统、垃圾焚烧发电技术等能够提高能源利用效率的技术。

第5章,介绍了环境问题是怎样伴随能源利用的变化而变化的,探讨了利用矿物能源的火力发电和原子能发电等各种能源技术对环境的影响。说明了日本至今的地域性大气污染的状况,也说明了全球性的温室化问题和酸雨问题的形成机制,还阐述了将来大气环境保护的基本理念。

第6章,根据以上各章讲过的知识和全世界的能源供需现状,展望21世纪的发展。

“能源环境学”要求极其广泛领域的综合知识,这一点在通读本书后大概能够理解吧。最重要的是,正确地理解各种技术的特点,面对今后的发展需要,培养基于综合性知识的正确判断力。