

《节能技术丛书》之二

207

节能技术的热工理论基础

编著 马庆芳 周其成

丁中柱 张宝诚

宇航出版社

《节能技术丛书》之二

节能技术的热工理论基础

马庆芳 周其成

编著

丁中柱 张宝诚

机械工业出版社

内 容 简 介

本书是《节能技术丛书》的第二册，结合节能技术系统地叙述了工程热力学、传热学和燃烧学的基本原理。第一篇工程热力学，介绍热力学的两个基本定律、气体热力过程以及气体、蒸汽和湿空气的性质；第二篇传热学，介绍热传导、热辐射、热对流原理和热绝缘、换热器及远红外加热技术的基本知识；第三篇燃烧学，介绍燃烧的化学物理基础、燃料及其性质、工业燃烧装置、测量技术及有关污染和安全的知识。本书内容丰富、说理浅显，适合具有中学文化水平、从事节能工作的干部和工人阅读。亦可供热工、动力、化工、航空、航天等专业的技术人员参考。

节能技术的热工理论基础

马庆芳 周其成 编著
丁中柱 张宝诚
责任编辑：陈学兰

•
宇航出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

纺织工业出版社印刷厂印刷

•
开本：787×1092 1/32 印张：10.6 字数：244千字

1989年8月第1版第1次印刷 印数：1—2000册

ISBN 7-80034-190-9/TB·047 定价：4.80元

《全国“星火计划”丛书》编委会

主任委员

杨 浚

副主任委员(以姓氏笔划为序)

卢鸣谷 罗见龙 徐 简

委 员(以姓氏笔划为序)

王晓方 向华明 米景九 应日珪

张志强 张崇高 金耀明 赵汝霖

俞福良 柴淑敏 徐 骏 高承增

序

经党中央、国务院批准实施的“星火计划”，其目的是把科学技术引向农村，以振兴农村经济，促进农村经济结构的改革，意义深远。

实施“星火计划”的目标之一是，在农村知识青年中培训一批技术骨干和乡镇企业骨干，使之掌握一、二门先进的适用技术或基本的乡镇企业管理知识。为此，亟需出版《“星火计划”丛书》，以保证教学质量。

中国出版工作者协会科技出版工作委员会主动提出愿意组织全国各科技出版社共同协作出版《“星火计划”丛书》，为“星火计划”服务。据此，国家科委决定委托中国出版工作者协会科技出版工作委员会组织出版《全国“星火计划”丛书》，并要求出版物科学性、针对性强，覆盖面广，理论联系实际，文字通俗易懂。

愿《全国“星火计划”丛书》的出版能促进科技的“星火”在广大农村逐渐形成“燎原”之势。同时，我们也希望广大读者对《全国“星火计划”丛书》的不足之处乃至缺点、错误提出批评和建议，以便不断改进提高。

《全国“星火计划”丛书》编委会

1987年4月28日

《节能技术丛书》编辑委员会

编辑委员	王补宣	(清华大学)
	葛绍岩	(中国科学院)
	吕灿仁	(天津大学)
	陈明绍	(北京工业大学)
	马重芳	(北京工业大学)
	闵桂荣	(中国空间技术研究院)
	马庆芳	(中国空间技术研究院)
	侯增祺	(中国空间技术研究院)
主任委员	闵桂荣	
执行委员	马庆芳	

节能技术丛书书目

1. 能源管理与测试技术
2. 节能技术的热工理论基础
3. 工业余热的回收与利用
4. 工业锅炉与炉窑节能技术
5. 锅炉除垢与水处理
6. 新型换热器与传热强化
7. 绝热保温技术
8. 太阳能的热利用
9. 内燃机与汽车的节能
10. 空调、制冷与低温技术中的节能
11. 热管在节能技术中的应用
12. 电工节能技术

前 言

节约能源是人类当前面临的重要任务之一，对于我国，任务尤为艰巨。

虽然从长远看，太阳能、核聚变能、地热能等可以为人类提供几乎无限的能量。但由于技术上的困难，目前这些新能源还不能大规模开发利用，人类近期只能以化石燃料（煤、石油、天然气）为主要能源。以1984年为例，化石燃料占世界能源消费的90%，而在我国则高达95%。化石燃料不可再生，且资源有限。据权威估计，世界探明的石油贮量仅可供开采30余年、贮采比为35.4:1；天然气的情况略好一些，贮采比为56.8:1；煤的贮量较为丰富，但按1984年的产量，也只够开采160年。所以，节约化石燃料对于人类是至关重要的。

我国的能源形势尤为严峻，这突出表现在资源不足和供应紧张两方面。从总贮量来看，我国常规能源总贮量占世界第三位，其中煤的贮量仅次于苏联和美国，水力资源占世界首位。但由于我国人口众多，人均可采能源资源占有量很低，仅及世界平均水平的一半，相当于美国的1/10，苏联的1/7。从这个角度看，我国也可说是能源贫国，对于能源尤应珍惜。

由于各种原因，我国目前能源供应极为紧张。1985年缺煤2000万吨、石油1000万吨、缺电400亿千瓦小时。由于能源不足，工业生产能力的30%不能发挥作用。这种情况在

相当长的一段时期内不会根本改变。党的十二大提出，从1981年到本世纪末的20年内，要在不断提高经济效益的前提下，力争全国工农业总产值翻两番，即由1980年的7100亿元增加到2000年的28000亿元，而在此期间能源产量只能翻一番，即由1980年的6.36亿吨标准煤提高到2000年的12.1亿吨标准煤。如不提高能源利用率，到2000年，能源将短缺13亿吨标准煤，所以靠节约能源（不仅是技术节能，还包括广义节能），降低万元产值能耗来解决这一矛盾是一项十分迫切的任务。

我国工业节能潜力很大，由于不少部门和地区生产技术落后、设备陈旧、管理水平低、生产规模小以及产业结构的原因，单位产值能耗很高，这种情况在乡镇企业中更为突出。我国平均热效率只有28%，而国外先进水平为50%，相差将近一倍。我国单位产值能耗是世界平均水平的2.7倍，日本的6.5倍，突出说明了我国节能潜力很大，节能工作大有可为。

由于节能在我国具有特别重要的地位，我国的能源方针是：开发和节约并重，近期要把节能放在优先地位，大力开展以节能为中心的技术改造和结构改革。为贯彻这一方针，近年来我国各企业普遍设立了节能机构。但由于我国教育落后，在各类节能机构的工作人员中，有很大一部分未受过专业技术教育。乡镇企业的节能技术人员更为不足。这种情况严重地影响了节能工作的开展。

有鉴于此，我们组织航天工业部和中国科学院一些研究所、上海交通大学、北京工业大学、北京太阳能研究所等单位的部分科技人员，编写了《节能技术丛书》，这套技术读物以具有中等文化水平的企业初级节能工作人员为对象，系

系统地介绍工业节能知识。本丛书侧重介绍通用的技术节能基础知识，不专门叙述广义节能和行业节能知识。由于人类目前能源供应的90%直接或间接来自热能，所以本丛书大部分篇幅介绍热工节能问题。丛书的编写原则是：侧重实用、兼顾理论；侧重热工节能、兼顾电工节能；《丛书》构成知识体系，每册皆可独立成篇；内容通俗浅显，具有中学文化水平即可接受。

《丛书》共十二册，它们是：《能源管理与测试技术》、《节能技术的热工理论基础》、《工业余热的回收与利用》、《工业锅炉与炉窑节能技术》、《锅炉除垢与水处理》、《新型换热器与传热强化》、《绝热保温技术》、《太阳能的热利用》、《内燃机与汽车的节能》、《空调、制冷与低温技术中的节能》、《热管在节能技术中的应用》和《电工节能技术》。

《节能技术的热工理论基础》是《丛书》的第二分册，系统地叙述了工程热力学、传热学和燃烧学的基本原理，这些基础知识对于从事热工节能的技术人员是必不可少的。所以，《丛书》的读者最好在阅读和掌握了本册的知识以后，再根据需要阅读其它分册。

本册分为三篇：第一篇工程热力学，介绍热力学的两个基本定律，气体热力过程、蒸汽及湿空气的性质和简单计算；第二篇传热学，介绍热传导、热辐射和热对流的基本知识，以及换热器、热绝缘和远红外加热技术的原理；第三篇燃烧学，介绍燃烧的化学物理基础、各种燃料及其特性、工程中常用的各种燃烧装置、燃烧与污染和安全的关系以及测量技术。各篇基本各自独立，但先掌握热力学和传热学知识对学习燃烧学更为有利。本册在介绍基础理论时，注意结合

节能技术的工程实际，避免空泛地叙述理论。

本册由周其成（第一篇）、丁中柱（第二篇第九、十二、十三章）、马庆芳（第二篇第七、八、十、十一章）、张宝诚（第三篇）合作编写，马庆芳负责全书统稿。书稿经葛绍岩教授和闵桂荣研究员审阅。

为具有中学文化水平的节能技术人员编写一本包括热力学、传热学和燃烧学基础知识的著作还是一个新的尝试，用不长的篇幅介绍如此丰富的内容也是比较困难的。本书的错误或不妥之处在所难免，恳请读者和同行专家不吝指正。

《节能技术丛书》编委会

1987.5

目 录

第一篇 工程热力学

第一章 绪论	(1)
1.1 自然界中的能源及其 应用	(1)
1.2 热力学及热力发动机的发展 简史	(3)
1.3 工程热力学的研究对象和研究 方法	(4)
第二章 气体的性质及 其 计 算	(6)
2.1 热力学系 统	(6)
2.2 工质的热力状态及其基本 参 数	(8)
2.3 气体状态 方程	(13)
2.4 气体的比 热 容	(16)
2.5 混 合 气 体	(17)
第三章 热力学基本定律	(22)
3.1 工质的膨胀功和系统的内能	(22)
3.2 热力学第一定律及焓	(27)
3.3 热力学第二定律及熵	(32)
第四章 气体的热力过程	(42)
4.1 基本热力过程	(42)
4.2 多变热力过程	(48)
4.3 几种实用的热力循环	(51)
第五章 蒸汽的性质及其焓熵图	(58)
5.1 蒸汽的定义	(58)
5.2 蒸汽的形成	(59)
5.3 蒸汽的性质	(62)
5.4 蒸汽的焓熵图及其应用	(68)

第六章 湿空气	(71)
6.1 湿空气的基本知识	(71)
6.2 湿空气的干燥技术	(75)
6.3 湿空气的焓湿图	(76)

第二篇 传热学

第七章 绪论	(78)
7.1 传热学的研究对象及其在节能技术中的地位	(78)
7.2 热传递的基本方式	(79)
第八章 热传导	(82)
8.1 热传导的基本规律	(82)
8.2 一维稳定热传导	(86)
8.3 简单的二维热传导	(90)
第九章 热辐射	(101)
9.1 引言	(101)
9.2 热辐射的一些基本概念	(101)
9.3 热辐射的基本定律	(105)
9.4 透明介质中的热辐射	(109)
9.5 吸收性介质中的热辐射	(113)
第十章 对流传热	(118)
10.1 引言	(118)
10.2 单相对流传热	(124)
10.3 有相变的对流传热	(138)
第十一章 热绝缘	(143)
11.1 引言	(143)
11.2 热绝缘的某些概念	(144)
11.3 非真空型绝热	(149)
11.4 真空型绝热	(153)
第十二章 换热器	(158)
12.1 换热器的概念、分类和特点	(158)

12.2	间壁式换热器的热计算	(180)
12.3	换热器的其他问题	(187)
第十三章	远红外加热技术	(190)
13.1	红外线的划分	(190)
13.2	远红外辐射加热的特点	(192)
13.3	远红外源的温度选择	(193)
13.4	远红外辐射材料	(194)
13.5	远红外辐射器	(195)
13.6	远红外辐射的应用	(198)

第三篇 燃烧学

第十四章	燃烧的化学物理基础	(201)
14.1	反应热和生成热	(201)
14.2	质量作用定律和化学反应速度	(206)
14.3	阿累尼乌斯定律	(208)
14.4	影响反应速度的因素	(212)
14.5	空气量及其对火焰的影响	(214)
14.6	能量平衡和燃烧温度	(219)
14.7	链反应机理	(221)
第十五章	燃料及其特性	(224)
15.1	概述	(224)
15.2	煤	(224)
15.3	液体燃料	(235)
15.4	气体燃料	(240)
第十六章	工程中常用燃烧装置	(245)
16.1	燃烧过程	(245)
16.2	锅炉中的燃烧	(251)
16.3	内燃机中的燃烧	(257)
16.4	燃气轮机燃烧室	(261)
16.5	流化床燃烧	(271)

第十七章 燃烧与环境污染、安全的关系.....	(277)
17.1 动力装置的污染排放物.....	(277)
17.2 减少污染物的方法.....	(278)
17.3 可燃物的爆炸特性.....	(281)
17.4 防火防爆的基本措施.....	(288)
第十八章 燃烧中的测量技术.....	(290)
18.1 引言.....	(290)
18.2 常规测量.....	(290)
18.3 气体浓度与固体颗粒浓度的测量.....	(297)
18.4 激光在燃烧试验中的应用.....	(298)
18.5 典型燃烧特性的测定.....	(300)

附 录

附表1 常用单位简表	(304)
附表2 用于构成十进倍数和分数单位的词头	(307)
附表3 金属材料的热物理性质	(308)
附表4 常用材料的表面发射率	(308)
附表5 辐射换热角系数 A 简表	(310)
附表6 气体的平均定压比热	(313)
附表7 饱和水蒸气表 (按压力排列)	(314)
附表8 饱和水蒸气表 (按温度排列)	(315)
附表9 过热水蒸气表	(316)
参考文献.....	(420)

第一篇 工程热力学

第一章 绪 论

1.1 自然界中的能源及其应用

自然界蕴藏着无穷无尽的能量，目前已发现的能源主要有：风能、水能、燃烧的化学能、太阳能和原子核能。

人类早在远古时代就把风能用于多种生产活动。由于风能的利用既不需要复杂的设备，又不需要耗费大量的燃料，因此，千百年以来风能一直得到广泛的应用。至今，在许多地方，特别是在风能资源比较丰富的地方，仍然可以见到风轮滚滚、风车林立的景象。

水能与风能一样也有很悠久的历史。在水能的应用中，有的是利用流水的势能，有的是把它转变成机械能，有的则是通过水力发电机把它转变成电能。不论哪一种应用方式都不需要消耗大量燃料，因此它们的成本十分低廉。我国水力资源十分丰富，党和国家对于充分地合理地综合开发水

力资源十分重视。

除了风能和水能之外，人们广泛应用的是燃烧的化学能。蕴藏在燃烧物内部的化学能以热的形式释放出来，转变成机械能或电能为国民经济和人民生活服务。实现热能转换和传递需要必要的热工设备和适当的工质，常见的热工设备有各种热力发动机（简称热机）、换热器和干燥箱等，常用的工质包括气体和水蒸气。不过，热能转换成机械能的热效率很有限，目前最好的热动力设备也只能把供给该设备热能的40%左右转变成机械能。

当前，不少科学家们正在致力于那些能把燃料贮存的化学能直接变成电能的研究工作，各类不同形式的燃料电池相继问世，它们的热效率都很高。不过，目前它们的功率还都比较小，只限于卫星、飞船和航天飞机等空间飞行器使用，尚未达到大功率输出的工业实用阶段。

太阳能是地球上各种能量的重要源泉，人类目前已经开始直接地把太阳能用于工农业生产和人民生活。各种形式的太阳能加热器或太阳能集热器比比皆是，空间飞行器具备直接利用太阳能的得天独厚的优越条件，它们广泛地用太阳能电池为飞行器内各种科学探测设备提供电源。

原子核内部蕴藏着巨大的能量，它们可以先转变成热能，然后再转变成机械能和电能，不少国家已相继建成原子能发电站。据初步估计，地球上核燃料铀235等裂变物质的能量储藏量超过全部燃料的能量储藏量总和的20倍。重氢等聚变物质的能量储藏量更是非常巨大，将来氢原子核聚变反应动力装置完成之后，所提供的能量可以说是取之不尽，用之不竭。所以，可以断言，原子能将会成为未来动力的重要来源。