

《节能技术丛书》之六

新型换热器与传热强化

编著 阎皓峰 甘永平

宇航出版社

72.555
798

《节能技术丛书》之六

新型换热器与传热强化

阎皓峰 甘永平 编著

3004/02

字(1991.11.27)
学(1991.11.27)
社(1991.11.27)

内 容 简 介

本书是《节能技术丛书》的第六册,系统介绍了各种传热强化技术以及各类新型换热器的原理、结构、性能和应用。全书共十二章,前三章简要介绍有关传热、传热强化及换热器的基础知识;第四、五、六章分别叙述单相对流换热、凝结换热和沸腾换热的强化技术;第七~十二章介绍各类新型换热器,包括各种管式换热器、板式换热器、高效蓄热器、热管换热器、新型材料换热器等。本书内容丰富新颖,理论联系实际,适合具有中等文化水平、从事节能工作的干部和工人阅读,亦可供热工、动力、化工、制冷、航空航天等专业的技术人员和大专院校师生参考。

新型换热器与传热强化

阎皓峰 甘永平 编著

责任编辑:陈学兰

*

宇航出版社出版

北京和平里滨河路1号 邮政编码100613

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京密云华都印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 6.5 字数: 150千字

1991年4月第1版第1次印刷 印数: 1—3000册

ISBN 7-80034-380-4/TB·062 定价: 3.70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

41966

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，也足够开采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，水力资源居世界首位。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，工业生产能力有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年时,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不合理等原因,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,这突出说明了我国节能潜力很大、节能工作大有可为。

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主要对象,

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。本丛书的编写原则是：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，具有中等文化水平即可接受。

本丛书共十二册，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》。

《新型换热器与传热强化》是《丛书》的第六分册，介绍了各种新型换热器的原理、结构、性能、应用以及各种传热强化技术。换热器广泛应用于化工、石油、机械、建筑、动力、制冷、航空航天等领域；传热过程与每一项热工节能技术都有密切关系。因此选用高效新型换热器及传热强化技术是热工节能技术的重要方面。

本册共分十二章，前三章简要介绍传热、传热强化及换热器的基础知识；第四、五、六章分别叙述单相对流换热、凝结换热和沸腾换热的强化技术；第七~十二章介绍了多种新型换热器，包括各类管式换热器、板式换热器、高效蓄热器、热管换热器、新型材料换热器及其它新型换热器。本书内容丰富新颖，理论联系实际，说理深入浅出，易于为具有中等文化水平的节能技术人员接受。

本册由陶皓峰(第一、二、三、七、八、九、十、十一、十二章)和甘永平(第四、五、六章)合作编写,陶皓峰统稿。书稿经葛绍岩教授和闵桂荣研究员审阅。

为具有中等文化水平的节能人员编写一本全面介绍各种新型换热器及传热强化技术的著作还是一个新的尝试,要在不长的篇幅内介绍如此丰富新颖的内容也确非易事。本书难免有错误与不妥之处,欢迎读者和同行专家不吝赐教。

《节能技术丛书》编委会

1990年4月

目 录

第一章	绪论	
1.1	换热器在近代工业及节能中的作用	(1)
1.2	换热器的分类	(4)
1.3	传热及其强化	(7)
1.4	换热器的发展概况	(11)
第二章	传热的基本原理	
2.1	热传导	(16)
2.2	对流换热	(26)
2.3	热辐射	(48)
第三章	传热过程与换热器的热计算	
3.1	传热过程与传热系数	(57)
3.2	平均传热温差	(66)
3.3	换热器的热计算	(71)
第四章	单相流体对流换热的强化	
4.1	引言	(77)
4.2	壁面扰动装置	(77)
4.3	射流冲击	(80)
4.4	扩展表面	(82)
4.5	移置式强化装置	(87)
4.6	添加物	(89)
4.7	强化单相流体对流换热的其它方法	(90)
第五章	凝结换热的强化	
5.1	引言	(93)

5.2	管外凝结换热的强化	(93)
5.3	高效冷凝管 (水平布置)	(98)
5.4	凝结换热的主动式强化简介	(101)
第六章 沸腾换热的强化		
6.1	引言	(102)
6.2	池内饱和沸腾及其沸腾曲线	(104)
6.3	沸腾换热强化表面的特殊结构	(107)
6.4	强化沸腾换热的其它方法	(114)
第七章 管式换热器的新发展		
7.1	管式换热器的种类及其基本结构	(119)
7.2	传热结构的改进	(124)
7.3	高温高压换热器	(129)
7.4	大型换热器	(131)
第八章 板式结构换热器		
8.1	螺旋板式换热器	(133)
8.2	板式换热器	(137)
8.3	板肋式换热器	(143)
8.4	板壳式换热器	(150)
第九章 高效蓄热器		
9.1	旋转型蓄热器	(154)
9.2	流化床型蓄热器	(158)
第十章 热管		
10.1	概述	(161)
10.2	热管的应用	(167)
第十一章 新型材料换热器		
11.1	石墨换热器	(172)
11.2	聚四氟乙烯换热器	(174)
11.3	玻璃换热器	(177)
11.4	稀有金属材料换热器	(179)

第十二章 其它新型换热器

- 12.1 多室式回转换热器..... (181)
- 12.2 流化床型管式换热器..... (183)
- 12.3 湿式空气冷却器..... (183)
- 12.4 液体偶联的间接换热器..... (184)

附录

- 附表1 常用单位简表..... (186)
- 附表2 用于构成十进数和分数单位的词头..... (190)
- 参考文献 (191)

第一章 绪 论

1.1 换热器在近代工业及节能中的作用

1.1.1 换热器在近代工业中的作用

换热器是一种进行热交换操作的工艺设备，广泛应用于化工、炼油、动力、冶金、原子能、造船、食品、制冷、建筑、电子、航空等工业部门中。

在化工生产中，换热器是主要的工艺设备之一。例如，在氮肥生产中，氮气与氢气的混合气体要在 500°C 左右的高温才能在催化剂的作用下合成氨，而氨与未反应的氮、氢气体的分离，则需要通过冷却与冷凝的办法以液体的形式分离出来。这一生产过程中的加热、冷却与冷凝就是通过换热器实现的。在酒精生产中，酒精精馏塔在操作时，原料液需预热，釜底液体需在再沸器中加热，塔顶产生的蒸气需冷凝。这一生产过程中的预热、加热和冷凝也都是通过换热器实现的。换热器在化工行业中的应用是十分广泛的，各种化工生产工艺几乎都要用到它。

在制冷工业中，以食品冷藏业常用的以氨为制冷剂的蒸气压缩制冷装置为例，经过压缩机压缩后的气态氨在冷凝器中被冷凝为液体；液化后的高压液态氨在膨胀机或节流阀中绝热膨胀，使温度下降到远低于周围环境的温度；这种低温

氨流体在流经蒸发器时（布置在冷藏室中）吸热蒸发而回复到原先进入压缩机时的氨气状态。然后，再重复新的循环。在其它各种制冷装置中，都存在着冷凝器和蒸发器等换热器。

在火力发电厂中，装有空气预热器、燃油加热器、给水加热器、蒸汽冷凝器等一系列的换热器。其实，蒸汽锅炉本身也可以看作是一个大型复杂的换热器。燃料在炉膛中燃烧产生的热量，通过炉膛受热面、对流蒸发受热面、过热器及省煤器加热工质，使工质汽化、过热成为能输往蒸汽轮机的符合要求的过热蒸汽。

在核电厂中，蒸汽发生器是一项很重要的工艺设备。核燃料裂变所产生的大量的热量首先传给冷却剂，冷却剂在蒸汽发生器中再将热量传给水、使水汽化成蒸汽，由蒸汽来转动汽轮发电机发电。此外，在核电厂系统中还装有各种加热器、蒸汽冷凝器等换热器。

在动力、化工、制冷等工业中，换热器不仅是不可缺少的工艺设备，而且在金属消耗和投资方面也占有较大的比例。在火力发电厂中，如果将锅炉也作为换热设备，则换热器的投资约占电厂总投资的70%左右。在一般石油化工企业中，换热器的投资约占总投资的40%~50%；在现代石油化工企业中约占30%~40%。在一般制冷机中，蒸发器的金属消耗量约占制冷机金属消耗总量的30%~40%。

1.1.2 换热器在节能中的作用

随着工业的迅速发展，能源消耗量不断增加，能源紧张已成为一个世界性问题。近20年来，国际燃料价格上涨了3倍以上，能源费用在制造成本中的比率迅速增大。因此，世界

各国竞相采取节能措施，大力发展节能技术，使燃料消耗指标一降再降。近几年来，我国在节能方面虽然已取得很大成绩，但能源的供求矛盾仍然十分尖锐。能源不足已成为当前国民经济发展的一个严重障碍。造成能源紧张的原因很多，其中一个重要的原因是能源的浪费仍然十分严重。我国能源的利用率很低，只有28%左右，还不到日本的一半（日本达57%），比西欧的40%也低得多。由此可见，我国在节能方面存在着很大的潜力。

换热器在节能技术改造中具有很重要的作用，表现在两个方面：一是在生产工艺流程中使用着大量的换热器，提高这些换热器的效率，显然可以减少能源的消耗；另一方面，用换热器来回收工业余热，可以显著地提高设备的热效率。

工业余热数量大，分布广，各国均已把余热回收列为节能工作的一个重要方面。经验表明，换热器是最有效的余热回收设备。以锻造加热炉为例，普通加热炉每公斤锻件的能耗约为0.7公斤标准燃料，而装有换热器的加热炉每公斤锻件的能耗只有0.15公斤左右标准燃料。烧燃料的工业炉，约有60%~70%的热量由排出的烟气带走，被浪费掉了。前一时期，国内偏重于用余热锅炉来回收烟气余热，而较少采用换热器。余热锅炉的热回收率虽然较高，但它无助于工业炉本身热效率的提高，因而无助于炉用高质燃料的节省。装设换热器利用烟气余热来预热工业炉的进风，可使工业炉本身的热效率得到提高，因而可以节省炉用高质燃料。用普通换热器将空气预热至300~400°C，一般可节约燃料15%~25%，用高温换热器时可以取得更好的效果，节约燃料可达40%以上。烧低热值燃料的加热炉，将空气和煤气预热至300°C，