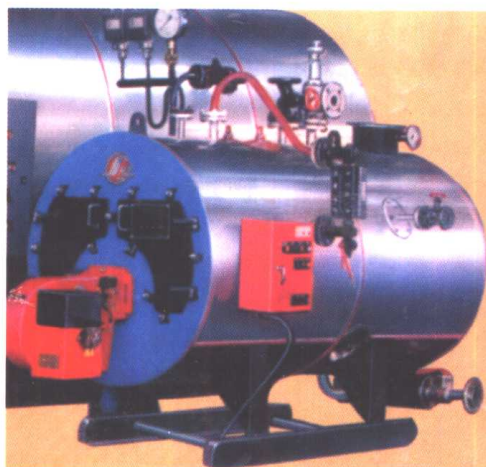
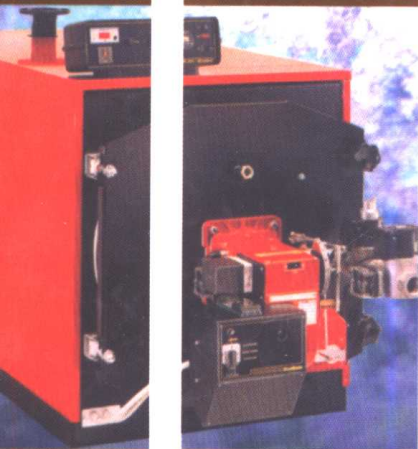


选型
•
结构
•
安装
•
操作
•
维修

新型 供热 锅炉 手册

高才苹 主编



上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书是针对目前市场上供热锅炉供求的热点(即燃油、燃气供热锅炉),人们对其的选型、安装、操作和维修等知识迫切的要求而编写的,其主要内容有:供热锅炉的基础知识;工质的特性和处理;各种型式锅炉(热水锅炉、蒸汽锅炉、热管常压锅炉、载热体加热炉、热风炉)的原理和结构特征;燃料的特性、燃料燃烧的机理及燃烧设备的结构特性;自动控制系统包括应用可编程控制器、集散控制系统组成锅炉的全自动控制 and 主要的元器件性能;锅炉的安装调试及操作管理维修要求;锅炉各种事故与故障的防止;锅炉运行中污染的产生及控制,以及锅炉鉴定和验收时的热工试验等。

本书还用大量的图表展示了各种供热锅炉国内外产品的型号与结构、燃油和燃气燃烧器的型号和性能特点,并一一列出其制造厂商的名称,以便于锅炉使用单位在选型、订购和维修时联系。本书可作为锅炉选用、安装、调试、操作、管理、维修人员的培训与自学教材,也可作为设计、制造、检验人员的工作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新型供热锅炉手册:选型、结构、安装、操作、维修/
高才苹主编. —上海:上海交通大学出版社,2002
ISBN 7-313-02669-2

I. 新... II. 高... III. 锅炉—手册
IV. TK229-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 16098 号

新型供热锅炉手册

(选型、结构、安装、操作、维修)

高才苹 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

上海书刊印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:32.75 字数:815 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—4050

ISBN 7-313-02669-2/TK·067 定价:55.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

随着我国改革开放的深化,国民经济得到迅速的发展,人民生活质量不断提高。城市基础建设日新月异,高新技术开发区和文化商贸居住区域的涌现,高层民用建筑的迅速崛起,吸引了大量中外企业的投资热情,工业锅炉这个老产品也注入了新的内容。一是它不仅以水为工质提供蒸汽或热水作为热源,而且还以有机载热体和空气作为工质来供热;二是常压燃油(气)全自动热水锅炉在近几年的出现,改变了人们对锅炉使用的恐惧感,也有人称这种产品为绿色产品;三是在大城市由于地理和环保的要求,突破了以煤为燃料的束缚,大量地使用燃油或燃气锅炉,对于小型的燃煤锅炉还要改造成燃油(气)锅炉;四是锅炉不仅是供工业生产用热,对于民用、生活用热需求大大增加,为此,作者认为应统称为供热锅炉为宜;五是国外燃油(气)锅炉和相应的燃烧设备、自控设备的涌入,使锅炉使用者应接不暇。本书针对这些新内容、新情况作了全面而系统的介绍。

本书内容涉及了热力学、传热学和流体力学的基础知识;水、有机载热体和空气等工质的特性和处理;锅炉的原理、结构特性以及有关厂商的产品结构图;燃料特性、燃烧机理和有关厂商燃烧器的结构特点;自动控制系统并介绍了现代锅炉采用最先进的集散控制系统及主要的自控元器件;锅炉安装、调试要求、操作与维修方法和对环境污染的控制;对锅炉的鉴定和验收的热工试验方法等。

由于本书深入浅出地、全面地、系统地介绍了锅炉专业的有关知识,可以作为锅炉管理人员及锅炉工的培训和自学教材,也可以作为锅炉使用人员及锅炉设计、制造、安装、维修人员实用手册和参考书。对于不同程度、不同工种的读者,可根据要求内容选用。

本书在编写过程中还约请了下列专家:马仁模、孙兆礼、谭美健、李春荣、达明耀、马进、张传联、黄祥泉、胡国忠、金克非、郑思明、安德鲁—理查·汉斯、周树勋、黄寅武、朱永昌、徐树海、房珍喜、吴宁、张鸿林、顾伟、傅伟等编写、审核、翻译部分章节和提供样本、技术资料,并选用了劳动部出版的各种规程等供参考。在本书出版之际,对同行专家、有关部门和生产厂商的热情帮助表示诚挚的感谢!

由于本书涉及的内容非常广泛,限于编者水平,不可能完全反映供热锅炉技术的全貌和最新水平,甚至还有缺点和错漏,敬请读者批评指正。为了更好地为读者服务,如有生产及使用单位需要提供技术咨询和委托设计等项目,可以和主编联系(上海交通大学出版社转),欢迎生产单位寄赠产品样本和技术资料,以便再版时补充到新书中,使本书更加完善。

主编 高才莘

2001年春于上海

目 录

第一章 概述	(1)
1.1 锅炉发展史.....	(1)
1.2 锅炉的分类.....	(2)
1.3 现代供热锅炉的现状和展望.....	(3)
第二章 供热锅炉基础知识	(5)
2.1 热力学基本参数.....	(5)
2.2 功、热量和熵	(7)
2.3 热力学基本定律.....	(9)
2.4 传热学基础知识.....	(11)
2.5 流体力学基本知识.....	(18)
2.6 工质的特性及其性能参数.....	(32)
第三章 供热锅炉原理和结构	(39)
3.1 锅炉的传热和水循环.....	(39)
3.2 锅炉参数及技术经济指标.....	(41)
3.3 热水锅炉的结构与特性.....	(42)
3.4 蒸汽锅炉的结构与特性.....	(65)
3.5 热管常压锅炉.....	(84)
3.6 载热体加热炉.....	(87)
3.7 热风炉.....	(92)
第四章 燃料及燃烧设备	(98)
4.1 燃料的种类与特性.....	(98)
4.2 燃烧机理	(110)
4.3 燃烧特性	(115)
4.4 燃料燃烧方法及燃烧器的结构	(124)
4.5 各种燃烧设备的介绍	(132)
第五章 供热锅炉自动控制系统.....	(173)
5.1 供热锅炉的控制系统	(173)
5.2 供热锅炉自动控制实例	(195)
5.3 锅炉集散控制系统	(216)

5.4 锅炉控制系统各种元器件	(229)
第六章 供热锅炉工质的处理和判别	(274)
6.1 热水锅炉和蒸汽锅炉的水处理	(274)
6.2 载热体加热炉导热油的使用和处理	(296)
6.3 热风炉工质(热空气)加湿和净化处理	(298)
第七章 供热锅炉供热系统	(302)
7.1 热水供热系统	(302)
7.2 蒸汽供热系统	(312)
7.3 载热体供热系统	(323)
7.4 热风供热系统	(326)
第八章 供热锅炉安装及试运行	(327)
8.1 锅炉房的技术要求	(327)
8.2 供热锅炉的安装	(329)
8.3 锅炉的点火	(347)
8.4 锅炉的升压和升温	(356)
8.5 锅炉试运行期的调整	(358)
第九章 供热锅炉操作和维护管理	(362)
9.1 供热锅炉正常运行时的操作	(362)
9.2 锅炉停用的操作与保养	(368)
9.3 锅炉的日常维护与保养	(371)
9.4 供热锅炉的运行管理	(380)
第十章 供热锅炉运行事故预防及处理	(386)
10.1 事故的原因	(387)
10.2 事故的种类	(389)
10.3 供热锅炉事故的预防	(392)
10.4 供热锅炉事故或故障的处理方法	(393)
10.5 其他供热锅炉特殊事故的处理	(399)
第十一章 环境污染及其控制	(402)
11.1 供热锅炉的环境污染及危害	(402)
11.2 供热锅炉环境污染的控制	(407)
11.3 环境质量标准	(413)

第十二章 供热锅炉的热工试验..... (421)

12.1 热工试验目的、方法和要求 (421)

12.2 锅炉热效率试验..... (424)

12.3 测试方法与仪表的使用..... (428)

附录Ⅰ 热水锅炉安全技术监察规程(1992年1月1日起执行) (440)

附录Ⅱ 蒸汽锅炉安全技术监察规程(1997年1月1日起执行) (462)

附录Ⅲ 有机热载体炉安全技术监察规程..... (494)

附录Ⅳ 中华人民共和国国家标准:低压锅炉水质(从1996年12月1日实施) ... (499)

附录Ⅴ 锅炉设计常用技术数据..... (501)

附录Ⅵ 锅炉压力容器常用钢材焊条、焊丝、焊剂选用表..... (504)

附录Ⅶ 锅炉压力容器常用钢材国内外钢号对照表..... (505)

附录Ⅷ 国内外焊条牌号对照表..... (509)

附录Ⅸ 锅炉制造厂商名录..... (511)

常用单位名称及换算..... (513)

参考文献..... (514)

第一章 概 述

1.1 锅炉发展史

锅炉从开始应用至今已有 300 多年的历史。它是从小型、中型到大型,从微压、低压到中压,从铆接结构到焊接结构,从手工操作到机械化、自动化等。主要是沿着增加供热能力、提高压力、降低能耗、减轻劳动强度、节省钢材以及改善污染的方向发展的。

早在 17 世纪 60 年代,第一台铜制球形锅炉诞生,其压力仅 $9.81 \sim 19.62 \text{kPa}$ 。此后,为满足生产和生活上的需要,锅炉类型与结构也不断创新,到目前为止出现了锅壳式的火管锅炉和水管锅炉;自然循环锅炉和强制循环锅炉以及水、火管混合形锅炉等等。

锅壳式锅炉的特征是锅炉的主要部件都放在锅筒内,外表看上去仅是一个圆筒,这种锅炉又分为立式锅壳锅炉和卧式锅壳锅炉两种。绝大部分是火管锅炉,目前普遍使用的快装锅炉是在卧式外燃回火管锅炉的基础上,增加了水冷壁辐射受热面和经济器等尾部受热面,成为一种水、火管混合式锅炉。

随着蒸汽动力的发展,要求锅炉产量和参数不断提高,火管锅炉不能满足这种要求,水管锅炉便应运而生。水管锅炉的特征是把主要受热面的管子布置在锅筒的外面,另用耐火砖砌成炉膛,在炉膛中燃烧的火焰冲刷管子的外壁,水在管中流动,并在上下锅筒之间自然循环。最初生产的水管锅炉是横直水管,水管两端与大集箱连接,由于整块的方形集箱强度要求较高,后将整集箱改为分集箱。这样强度得到了保证,但集箱和集箱上的手孔加工复杂,而且精度要求高,金属消耗量也比较大。另外,横水管管内汽水混合物容易分层流动,对水循环不利。后来将水管垂直布置,方形集箱都由锅筒和圆形集箱代替,而且锅筒的数目逐渐减少。水管锅炉用弯水管作为受热面,摆脱了锅筒水容积空间的限制,大大增加了锅炉的自由度,能充分适应单台锅炉容量增大、蒸汽参数提高的要求。

锅炉的炉膛或燃烧室也在不断地改进。老式的燃烧设备是固定炉排手工加煤,现在小型立式锅炉中还有采用的。随着锅炉容量的不断增大,耗煤量相应增多,司炉劳动强度增加,同时煤在锅炉中不完全燃烧情况日益严重,因而出现了机械化和半机械化燃烧设备。由于城市现代化建设和环保的要求,近年来燃油或燃气锅炉日益增多,与之配套的是全自动的燃烧控制系统。

锅炉的辅助设备也在不断改进。为了提高热效率,改善燃烧工况,进一步利用炉膛辐射热、提高蒸发量,在炉膛内布置了水冷壁,在尾部出现了经济器(或称省煤器)和空气预热器等受热面。受热面的管材品种也不断增加,如:光管、螺纹管、鳍片管、肋片管和钉刺管等,以增大受热面提高产热量。

由于焊接技术的发展,锅炉制造方面,过去所采用的铆接工艺已逐步由焊接工艺所取代,这样不仅提高了锅炉的质量,又节约了钢材。

由于水管锅炉对水质要求高,锅炉给水也由原水逐步改进为软化水,为了避免锅炉的腐蚀还需采用除氧水。水处理设备和管理日趋完善。

随着现代工农业的迅猛发展,环境质量不断恶化,对社会环境保护要求提高了,锅炉排烟除尘也从无到有并逐步升级,烟气的脱硫脱硝技术正日趋成熟。

由于仪表工业和计算机技术日新月异的发展,自动化仪表以及元器件的先进性、可靠性不断提高,锅炉运行所需的自动化控制装置越来越受到设计管理人员的青睐。

总之,近年来锅炉的发展十分迅速,社会的要求也逐年提高,锅炉技术和管理人员需要全面掌握锅炉有关技术和知识,并不断更新、充实,以实现锅炉的安全经济运行。

1.2 锅炉的分类

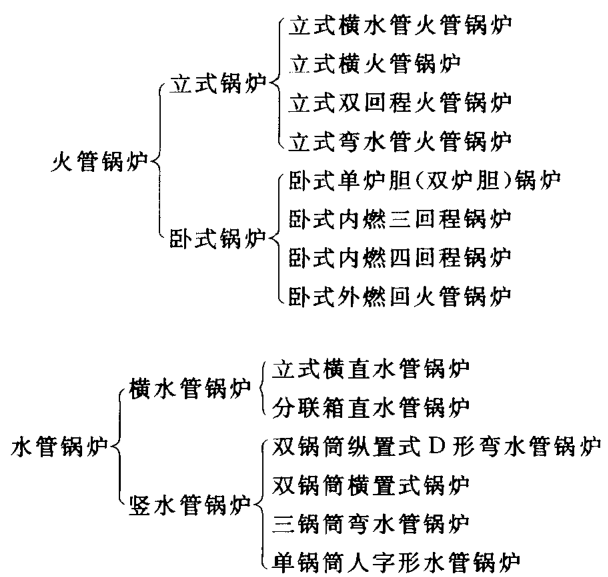
目前,锅炉广泛用于国民经济各部门和人民生活之中。锅炉分类方法有很多种,例如按用途分,按锅炉本体结构分,按锅炉燃烧燃料种类分,按水循环形式分,按压力高低分等。

1. 按锅炉用途分

锅炉可作为热动力设备和供热设备。前者可用作电站锅炉、船舶主锅炉和机车锅炉,后者用于加热、干燥、采暖、生活等方面。用于供热方面的锅炉,有以水为工质的蒸汽锅炉、热水锅炉、热管锅炉,有以空气为工质的热风炉,还有以导热油为工质的载热体加热炉。

2. 按锅炉本体结构分

按锅炉本体结构可分为火管锅炉和水管锅炉两种。



3. 按锅炉燃烧燃料种类分

按锅炉燃烧燃料种类分为燃煤锅炉(包括燃块煤锅炉,燃煤粉锅炉,燃煤水浆锅炉)、燃油锅炉和燃气锅炉等。

4. 按锅炉水循环形式分

按锅炉水循环形式可分为自然循环锅炉和强制循环锅炉(其中包括直流锅炉)。

5. 按锅炉压力高低分

按锅炉压力分类：

- (1) 低压锅炉:2.5MPa 以下；
- (2) 中压锅炉:2.5~6.0MPa；
- (3) 高压锅炉:6.0MPa 以上。

供热锅炉一般情况选用压力在 2.5MPa 以下(一般不带过热蒸汽),蒸发量 20t/h 以下的小型锅炉。

6. 按装置形式分

按装置形式可分为快装锅炉、组装锅炉、散装锅炉。

除此以外,还可以按锅炉容量、锅炉参数状态、锅炉工质性质以及传热元件来分类。

1.3 现代供热锅炉的现状和展望

随着科学技术的发展,锅炉的种类和型式日益增多,在产品质量上逐渐向国际水平接近,有些重要组成如燃烧设备基本上采用进口产品。国外工业锅炉以燃用石油和天然气为主。而我国鉴于燃料政策的规定,工业锅炉以燃煤为主。我国实行改革开放政策后,国民经济突飞猛进地发展,由于投资环境的改善,提高了日、美、法等国外客商和港、澳、台地区投资商的极大兴趣,引进了不少国外的新技术、新产品,锅炉使用量大大增加,节能及防污染的产品也不断涌现,锅炉技术的发展出现了以下几个特点:

1. 燃油、燃气锅炉使用量的增加

由于国际和国内对可持续发展战略思想的意义越来越重视。对能耗高、三废排放多和安全隐患多的锅炉,提出了节能、环保和高可靠的要求。现代燃油、燃气锅炉采用微电脑技术,全自动控制,还加上各种安全保护环节,因此锅炉的使用不仅降低了劳动强度,而且还提高了可靠性,也有利于节能。除此以外,燃油和燃气锅炉的燃料完全燃烧程度高,提高了能源的有效利用率,还降低了三废的污染。因此,在沿海开放大城市使用燃油、燃气锅炉数量不断增加。

2. 载热体加热炉和热风炉的产生

为适应工业生产加热、干燥、热固化和烘烤工艺的需要,在我国,从 20 世纪 80 年代,开始研制载热体加热炉。载热体加热炉是以煤、重油、轻油或气体为燃料,导热油为载热体,利用循环油泵强制导热油循环,将热能输送给用热设备后,继而返回重新加热的直流式特种工业锅炉。它的特点是能在低压下,甚至常压下运行得到约 350℃ 的高温工质,降低散热损失,增强了安全性。为了区别与通常习惯以水为工质的蒸汽锅炉或热水锅炉,因此将其命名为载热体加热炉,实质上,它也有锅和炉两部分,锅内盛导热油,是一种直流式的导热油锅炉。作者认为这种加热炉在工业生产上已大量使用,并且还有出口。为此,作为供热锅炉范围予以介绍,而不至于与以往提到的工业锅炉混淆。

与此相同,热风炉的加热工质为空气,它可以用于干燥、烘干和取暖,由于直接加热空气,

因此就省去了一台蒸汽—空气或热水—空气热交换器,简化了设备,提高了效率。

3. 新型节能传热元件热管常压热水锅炉

热管是一种新型节能传热元件,它利用相变传热的原理成为一种强化传热的理想元件。热管的产生是用于余热回收,如:对于废气温度 $20\sim 450^{\circ}\text{C}$,废气流量 $200\sim 300000\text{kg/h}$,回收热量 $5\sim 15000\text{kW}$,回收效率 $40\%\sim 70\%$ 。采用热管元件制成常压热水锅炉或常压蒸汽锅炉是 20 世纪 90 年代初问世的,它的热效率在 72% 以上,升温启动速度快,结构紧凑,占地面积小,燃料适应性广,形成了常压热管锅炉的显著特点。该锅炉林格曼黑度小于 1 级,符合环保要求,能间断使用也能 24 小时连续使用,常压运行,安全可靠。

4. 常压热水锅炉如雨后春笋般地兴起

常压热水锅炉是近几年在我国出现的,它引进了韩国、日本、台湾等地的技术,吸取了国外同类产品的优点而研制生产的。该产品的特点是用不锈钢或彩色薄钢板制成外包装,外表美观、抗腐蚀,燃烧器选用德国、意大利或韩国的产品,采用电脑控制装置实现全自动控制及过热安全、防冻安全、极限低水位保护、过压保护等多项安全保护措施,该产品热效率高,一般在 $85\%\sim 92\%$,三废排放符合环保要求,噪声低(一般在 60db 以下),被称为绿色设备。近年来广泛用于宾馆、酒楼、机关学校及工矿企业的取暖、干燥等生产和生活的用热。该产品的供热量可从 $(1.163\times 10^4\sim 58.15\times 10^4)\text{kW}$ (即 $1\times 10^4\sim 50\times 10^4\text{kcal/h}$)。

综上所述,近年来出现了不少接近或达到国际上同类产品的各类锅炉,以适应国民经济迅速发展的需要。此外,由于外商的投资以及国内各企业对产品要求的提高,采用国外全自动燃油(气)蒸汽锅炉和热水锅炉的数量也在增加,如:美国的 CB 锅炉,德国的 Loos 锅炉等。为此,作者将这些引进产品、常压热水锅炉、载热体加热炉、热管常压锅炉以及热风炉通称为供热锅炉予以阐述。

衡量供热锅炉技术优劣、产品好坏,主要是衡量该产品的先进性、经济性以及安全性。供热锅炉是一种安全性要求极高的产品,因此,安全可靠是选择产品首要的条件,对于成熟的供热锅炉产品,应该不会存在这方面的问题。那么要体现先进性和经济性的是能耗少、金属耗量少、自动化程度高、能符合环保要求的产品。从技术上讲,需要有燃烧效率高的优质燃烧器;传热效率高,能强化传热的受热面或传热方法;锅炉结构紧凑,金属耗量少,升温速度快;采用电脑等高质量的控制元件组成系统达到全自动控制,智能化管理,优化配比,以利于科学管理和提高节能效果,整个锅炉及其系统设备减少环境污染,特别是三废排放符合环保要求。锅炉的供热系统防止冒、跑、滴、漏,防止散热损失,也是节能措施之一。有条件的地方可以采用集中供热,在可能的情况下,用热水锅炉代替蒸汽锅炉。

展望未来,在供热锅炉方面,节能和环保始终是主要的衡量指标,它不仅在过去、现在,还是在将来都是表征产品好坏,管理水平高、低的重要指标。

第二章 供热锅炉基础知识

锅炉是由锅和炉两部分组成,在炉内把燃料中贮藏的化学能,通过燃烧过程转变成烟气的热能,烟气的热量通过向贮盛在锅内的工质传热,也就是说锅吸收烟气的热量,将热量再传递给工质,使工质升温或汽化,直至工质参数达到预期的要求。

从锅炉工作过程中可以看出,从燃料的化学能转变为工质的热能的过程中,涉及到能量的转换和传递以及流体的连续流动的外力与阻力等问题,它们属于工程热力学、传热学和流体力学的基础知识,譬如:工程热力学是指工程上的热能等各种能量相互转换及其状态变化的学科;传热学是热量传递的规律,特别是热传导、热对流、热辐射的基本规律;流体力学是研究流体运动和平衡的规律,锅炉及其附件的工作原理与各种流体(如:空气、烟气、水和蒸汽等)的平衡都与运动规律有关,锅炉烟道、风道等阻力计算与水动力有关。因此,要准确地选用合适的供热锅炉,从而对该特种设备科学的管理和规范化的操作,必须掌握与供热锅炉有关的工程热力学、传热学和流体力学等基础知识。

2.1 热力学基本参数

工质或载热体在供热锅炉中吸热后,其物理特性发生变化,它们的状态随时可能发生变化。表征工质某状态物理特性参数有温度、压力、比容、内能、焓和熵等,其中温度、压力、比容为三个基本参数。

2.1.1 温度

温度是物体内部分子平均动能的标志,或者说物体冷热程度的量度。表示温度的标度称为温标,常有摄氏温标和华氏温标两种,前者的单位用摄氏度($^{\circ}\text{C}$)表示,后者用华氏度($^{\circ}\text{F}$)表示。在当前国际标准中采用摄氏度。在热力学计算中通常使用绝对温标,也称为热力学温标或开氏温标,其单位用 K 表示。

摄氏温标规定在 1 个标准大气压下,清洁冰的融点和清洁水的沸点各为 0°C 和 100°C ,在这两个点之间 100 等分,每个等分就是 1°C 。

华氏温标规定在 1 个标准大气压下,清洁冰的融点和清洁水的沸点分别为 32°F 和 212°F ,在这两个点之间 180 等分,每个等分就是 1°F 。摄氏和华氏温标之间的关系为

$$t_{\text{c}} = \frac{5}{9}(t_{\text{F}} - 32), \quad (2-1)$$

式中 t_{c} ——摄氏温标, $^{\circ}\text{C}$;

t_{F} ——华氏温标, $^{\circ}\text{F}$ 。

绝对温标规定以水的三相点作为基点,即 -273.15°C 规定为 0K ,把 1 个大气压下凝固温度规定为 273.15K ,把同样条件下沸水的温度规定为 373.15K 。每 1 个等分与摄氏温标大小一样。摄氏温度与绝对温度之间的换算关系如下:

$$T = t_c + 273.15, \quad (2-2)$$

式中 T ——绝对温标, K;

t_c ——摄氏温标, $^{\circ}\text{C}$ 。

在工程计算中, 为了方便常近似地取

$$T = t_c + 273。$$

2.1.2 压力

在工程上把单位面积上所受的垂直作用力称为压力, 而在物理学上称为压强。用公式表示为

$$p = \frac{F}{S}, \quad (2-3)$$

式中 p ——压力, Pa;

F ——垂直作用力, N;

S ——面积, m^2 。

压力的单位为帕(Pa), 在工程计算中由于 Pa 单位太小, 经常用千帕(kPa)或兆帕(MPa)来代替。其值为 $1\text{kPa} = 1 \times 10^3\text{Pa}$, $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。

在物理学上常用物理大气压(又称标准大气压)这个单位, 它是指纬度 45° 的海平面上大气的常年平均压力, 其值为 $1\text{atm} = 0.101\text{MPa}$ 。

在工程上过去常用工程大气压(kgf/cm^2), 它的值为 $1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 0.0981\text{MPa}$ 。

由于测量仪表的工作原理建立在力平衡的基础上, 其读数不是绝对压力值, 因为测量通常是在大气环境中进行。压力仪表的感受元件所反映的是绝对压力与当地大气压力的差值, 即相对压力, 又称为表压。绝对压力与表压之间的关系为

$$p_j = p_b + B, \quad (2-4)$$

式中 p_j ——绝对压力, MPa;

p_b ——表压, MPa;

B ——当地大气压, MPa。

当绝对压力不变时, 大气压是随时间和地点变化的, 随着大气压力的变化, 表压力也作相应的变化。在工程计算中, 若缺乏当地大气压的数据, 可近似取大气压 $B = 0.1\text{MPa}$ 。

当被测容器内压力低于大气压时, 其表压为负值, 工程测试中称为真空度。

表 2-1 为各种压力单位的换算表。

2.1.3 比容与密度

单位质量的物质所占有的容积称为比容。用公式表示为

$$v = \frac{V}{G} \quad (2-5)$$

式中 v ——比容, m^3/kg ;

V ——容积, m^3 ;

G ——质量, kg。

单位容积所包含的质量称为密度, 用符号 ρ 表示为

表 2-1 各种压力单位换算表

SI—单位· 帕[斯卡] Pa	工程大气压 kgf/cm ²	标准大气压 atm	磅力/英寸 ² lbf/in ²	巴 bar	毫米汞柱 (4℃) mmHg	毫米水柱 (4℃) mmH ₂ O	米水柱 (4℃) mmH ₂ O	英寸水柱 (4℃) inH ₂ O
1	1.02×10 ⁻⁵	0.987×10 ⁻⁵	1.45×10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	7.5×10 ⁻³	0.102	0.102×10 ⁻³	4.0106×10 ⁻³
0.981×10 ⁵	1	0.9678	14.223	0.981	735.56	10 ⁴	10.0	393.7
1.013×10 ⁵	1.033	1	14.696	1.013	760.00	10.333×10 ³	10.333	406.8
6.895×10 ³	0.070	0.068	1	6.895×10 ⁻²	51.715	703	0.703	27.68
10 ⁵	1.020	0.987	14.504	1	750.1	10.20×10 ³	10.20	402
133.322	1.36×10 ⁻³	1.31×10 ⁻³	0.0193	1.333×10 ⁻³	1	13.6	0.0136	0.535
9.807	10 ⁻⁴	0.968×10 ⁻⁴	1.4223×10 ⁻³	0.981×10 ⁻⁴	0.0736	1	10 ⁻³	3.937×10 ⁻²
9.807×10 ³	0.1	0.0968	1.422	0.0981	73.556	10 ³	1	39.37
249.089	0.00254	0.00246	0.0361	0.00249	1.87	25.4	0.0254	1

注：* SI—单位为国际单位制单位(法定计量单位)。

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2-6)$$

式中 ρ ——密度 kg/m³。

比容与密度互为倒数,它们不是相互独立的参数。

2.2 功、热量和熵

热力系统中与外界的能量传递是通过两种方式来实现的,第一种方式是做功;第二种方式是传热。在供热锅炉中是以传热的方式完成能量的交换,其传递热量的大小以状态参数熵来表示。

2.2.1 功和功率

力学上定义功是力与物体在力的方向位移的乘积。工程热力学的概念是热力系*通过界面和外界进行机械能的交换量称为作功量,简称功。如果取气体工质为热力系时如图2-1所示,当气体受热膨胀,使活塞位移 dl ,那么气体对活塞做功。功的符号为 W ,热力学中通常规定:热力系对外界做功为正($W > 0$),外界对热力系做功为负($W < 0$)。

功的单位是牛顿·米(N·m)称为焦耳(J)或千焦(kJ)。

单位时间内所消耗的功称为功率,其单位为瓦(W)或千瓦(kW)。

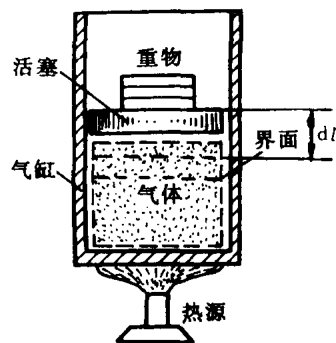


图 2-1 热力系

2.2.2 热量

由于系统和外界之间温度差的作用,越过系统边界传递的能量称为热量,热量的传递是依靠分子的微观运动来完成的。热量的符号是 Q ,热力系从外界吸热为正($Q > 0$),热力系向外界放热为负($Q < 0$)。

注:热力系就是具体指定的热力学研究对象。

热量的单位也是焦耳(J)或千焦(kJ),过去常用大卡(kcal)或英热单位 B. t. u 等。另外,热量单位还可以用千瓦小时(kW · h), $1\text{kWh}=3.6\times 10^6\text{J}$ 。

表 2-2 表示功、能和热量单位的换算表。

表 2-2 功、能和热量单位换算表

SI 单位 千焦 kJ	千克力·米 kgf · m	千瓦·小时 kW · h	米制 马力小时 ps · h	锅炉 马力小时 bhp · h	千卡 kcal	英热单位 B · t · u
1	101.972	2.778×10^{-4}	3.777×10^{-4}	2.832×10^{-5}	0.239	0.948
9.807×10^{-3}	1	2.724×10^{-6}	3.704×10^{-6}	2.777×10^{-7}	2.341×10^{-3}	9.295×10^{-3}
3600	3.671×10^5	1	1.36	0.102	859.9	3412
2.648×10^3	2.702×10^5	0.7355	1	0.075	632.415	2509.63
35.314×10^3	3.601×10^6	9.8095	13.34	1	8434.81	33471.082
4.1868	426.935	1.163×10^{-3}	1.581×10^{-3}	1.186×10^{-4}	1	3.968
1.055	107.6	2.93×10^{-4}	3.985×10^{-4}	2.987×10^{-5}	0.252	1

注：* SI 单位为国际单位制单位(法定计量单位)。

比热容是用来衡量单位质量物质温度变化时所吸收或放出的热量,比热容的单位为 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,用符号 c 表示。

显热是物体在加热(或冷却)过程中没有形态变化,只有温度升高(或降低)所需吸收(或放出)的热量,称为显热。它能使人们有明显的冷热变化感觉,通常可以用温度计测量物体的温度变化。如果把一杯开水(约 100°C)放在空气中冷却,不断地放出热量,温度也不断地下降,但其形态仍然是水,这种放热称为显热放热。显热放热仅包括放热至结冰之前。

潜热是物体在吸收或放出热量的过程中,其形态发生变化,但温度不变,这种热量无法用温度计测量出来,人体也无法感觉到,但可通过实验计算出来,这种热量就称为潜热。

潜热分为熔解潜热、凝固潜热、蒸发(或汽化)潜热、液化潜热四种。

熔解潜热—— 0°C 的冰加热熔化,其温度不变,直至固体冰完全熔化成水,这时冰所吸收的热量称为熔解潜热。

凝固潜热——与上述现象相反,从 0°C 水中抽取热量,使水全部凝固成冰,这时水放出的热量称为凝固潜热。

汽化潜热—— 100°C 的水因吸热沸腾而汽化,此时吸收的热量称为汽化潜热。

液化潜热—— 100°C 蒸汽放热变成 100°C 的水,所放出的热量称为液化潜热。

2.2.3 内能和焓

内能是指组成热力系的大量微观粒子本身具有的能量,内能应该包括分子的动能和分子力所形成的位能。以气体为例:气体内部分子热运动的动能称为内动能,分子之间的引力而具有的位能称为内位能。内动能与温度有关,而内位能与比容有关。因此,气体的内能决定于它的温度和比容,也就是说,气体的内能决定于气体所处的状态,因而内能也是一个状态参数。内能用符号 U 表示。

$$\text{内能}(U) \begin{cases} \text{分子的动能}(U_k) \\ \text{分子力所形成的位能}(U_p) \end{cases}$$

单位质量的物质的内能称为比内能(有时也简化称为内能):

$$u = \frac{U}{m}, \quad (2-7)$$

式中 u ——比内能；

U ——内能；

m ——质量。

在国际单位制中，内能的单位为 J，比内能的单位为 J/kg。

在热力学中，为了方便经常出现综合状态参数称之为焓：

$$I = U + pV, \quad (2-8)$$

式中 I ——焓；

U ——内能；

p ——压力；

V ——容积。

单位质量的物质的焓称为比焓（有时也简称为焓）：

$$i = \frac{I}{m} = u + pv, \quad (2-9)$$

式中 i ——比焓；

m ——质量。

焓的单位与内能一样，在国际单位制中是 J，比焓的单位是 J/kg。

2.2.4 熵

熵是表征工质状态变化时，与外界换热程度的一个导出的热力状态参数。用符号 S 表示，单位为 kJ/K。

单位质量的物质的熵称为比熵（有时也简称为熵），其符号为 s ，单位为 J/(kg · K)。

1kg 工质从状态 1 变化至状态 2 的热力过程中，从外界加入或放出的微小热量 dq ，每一微段的温度视为常数 T （绝对温度），那么就可以得到熵的微小增量

$$ds = \frac{dq}{T},$$

即

$$dq = Tds. \quad (2-10)$$

式(2-10)中 $ds > 0$ ，则 $dq > 0$ 表示工质向外界吸热；若 $ds < 0$ ， $dq < 0$ ，表示工质放热； $ds = 0$ ， $dq = 0$ 表示等熵过程，即绝热过程。

2.3 热力学基本定律

热力学第一定律和第二定律是热能技术方面的理论基础，它阐明了能量转换的数量关系和方向性问题，并揭示了自然界的基本规律之一，能量是不能被自发创造，也不可能被消灭，只能从一种形式转换到另一种形式。

2.3.1 热力学第一定律

人们从无数的实际经验总结出了这样一条规律：各种能量可以相互转换，但它们的总量保持不变。这一规律称为能量守恒与转换定律。能量守恒与转换定律应用在工程热力学中，便是

热力学第一定律。热力学第一定律可表达为:在任何发生能量转换的热力过程中,转换前后能量的总量维持恒定。

对于任何一个热力系统,能量守恒定律都可写成以下公式:

$$\Delta E = E_2 - E_1, \quad (2-11)$$

式中 E_1 ——热力系统中初始状态的能量;

E_2 ——热力系统中最终状态的能量;

ΔE ——能量的变化量。

如果从外界吸收热量为 Q ,对外界作功为 W ,其间能量的变化可写成:

$$Q - W = \Delta E. \quad (2-12)$$

移项后,便是常见的热力学第一定律的数学表达式:

$$Q = \Delta E + W. \quad (2-13)$$

式(2-13)的微分形式为

$$dQ = dE + dW. \quad (2-14)$$

2.3.2 热力学第二定律

热力学第二定律阐述了热功转换的方向、条件和限制。有以下几种说法。

1. 开尔文—普朗克说法(Kelvin—planck)

不可能建造一种循环工作的机器,其作用只是从单一热源取热,并全部转变为功。

例如:火力发电厂中,工质从高温热源(锅炉)所吸收的热量只能部分的转变为功,其余的热量被传给冷源,这是热动力所遵循的规律。违背这个规律,热动力厂就不能生产,这就是热力学第二定律反映的一种客观规律。

2. 克劳修斯说法(Clausius)

热力学第二定律的另一种说法,即克劳修斯说法:热不可能自发地、不付任何代价地,从一个低温物体传到另一个高温物体。

如果要从低温热源吸取热量,排放到高温热源中去的循环,必须消耗一定量的机械功作为条件,使这种循环成为可能,这个循环称为致冷循环。

热力学第二定律的开尔文—普朗克说法和克劳修斯说法,尽管初看有所不同,但它们的实质是完全相当的。它们都揭示了一种规律:过程总是自发地朝着一定的方向进行,如:热量总是自发地从高温物体传向低温物体;机械能总是自发地转变为热能;气体总是自发地膨胀等。这些自发过程的反向过程(称为非自发过程)是不会自发进行的:热量不会自发从低温物体传向高温物体;热能不会自发地转变为机械能;气体不会自发地压缩等。要使这些非自发过程实现必须要有条件,要付出代价,那就是要消耗一定的功,使低温物体热量传到高温物体;要消耗一部分高温热能转移到低温物体(大气)作代价,使另一部分高温热能转变为机械能;要消耗一定的机械能作为补偿条件,气体就在压气机中被压缩。总之,一个非自发过程的进行,必须以另外的自发过程的进行为代价,作为补偿条件。另外,提高能量转换的有效性方面,包括热效率的提高是有限度的。因此,研究过程进行的方向、条件和限度是热力学第二定律的内容。

热力学第二定律对工程实践很有指导意义,它不仅对热机的原则具有一定指导意义,而且

对很多比较复杂的过程预测其进行的方向,判断平衡状态及指导节约能源都是不可缺少的理论依据。

2.4 传热学基础知识

热量从高温物体向低温物体的传递过程是很复杂的,它是属于传热学研究的内容,其形式有三种:导热、对流和辐射。

2.4.1 导热

导热又称热传导。物体各部分温度不同时,热量从高温物体传递给低温物体的过程,称为导热。它符合热力学第二定律的规律。导热是在固体、静止液体或气体中由分子振动而引起的传热现象。是固体中唯一可能发生的传热现象。

图 2-2 示出单层平壁的导热。两平行壁面之间的距离为 δ ,两壁面之间的温差为 $t_1 - t_2 = \Delta t$,设导热面积为 F ,则单位时间里通过平壁的热(即导热量)

$$Q = F \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) = F \frac{\lambda}{\delta} \Delta t, \quad (2-15)$$

式中 Q ——导热热流, kJ/h ;

F ——导热面积, m^2 ;

λ ——平壁的导热系数, $\text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$;

δ ——平壁厚度, m ;

$\Delta t = t_1 - t_2$ ——温差, K 。

如果用单位面积的导热量(即热流)来表示,则上式为

$$q = \frac{Q}{F} = \lambda \frac{\Delta t}{\frac{\delta}{\lambda}}, \quad (2-16)$$

式中 q ——热流, $\text{kJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$;

$\frac{\delta}{\lambda}$ ——导热热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}/\text{kJ}$ 。

导热系数是指材料传导热量能力的一个物理参数。一个物体以导热的方式传递热量,与该物体热传导面两侧的温度差成正比,与该物体的厚度成反比。在一定温差条件下,热流 q 与导热热阻 δ/λ 成反比,即热阻越大,热流越小。减小热阻,可以增加传热量。

不同材料其导热本领不一样,容易导热的物质称为热的良导体,如:金、银、铜、铁、铝等。相反不容易导热的物质称为隔热材料(或绝热材料),如:石棉、蛭石砖、珍珠岩等。

工程计算中采用的导热系数的数值都是专用实验装置测定出来的。习惯上,把导热系数小于 $0.83 \text{kJ}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}$ 的材料称为隔热材料。表 2-3 列出各种材料的导热系数 λ 。

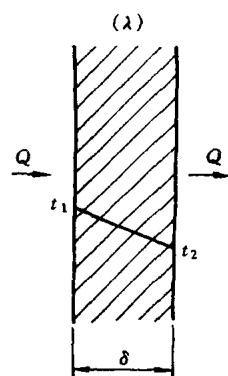


图 2-2 单层平壁导热