

高等教育“十二五”规划教材

新编安全工程专业系列教材

Engineering Thermodynamics and Heat Transfer

双语

工程热力学与传热学

主 编 王志军 袁东升 宋文婷

中国矿业大学出版社

高等教育“十二五”规划教材
新编安全工程专业系列教材

工程热力学与传热学

Engineering Thermodynamics
and Heat Transfer

主 编 王志军 袁东升 宋文婷
副主编 程 磊 张瑞林 邓权威 赵文斌

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书 2011 年列入中国煤炭教育协会高等教育“十二五”教材规划。本书主要介绍了工程热力学与传热学的基本概念、基本定律、水蒸气及湿空气的热力性质,导热、对流、辐射三种传热方式的原理与计算方法。全书共分 11 章,每章后面附有思考与练习题。

本书可作为高等院校安全工程、采矿工程、消防工程及相关非动力类专业的教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学与传热学/王志军,袁东升,宋文婷主编.

—徐州:中国矿业大学出版社,2015.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2477 - 4

I. ①工… II. ①王… ②袁… ③宋… III. ①工程热力学②工程传热学 IV. ①TK123②TK124

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 210518 号

- 书 名 工程热力学与传热学
Engineering Thermodynamics and Heat Transfer
- 主 编 王志军 袁东升 宋文婷
- 责任编辑 王美柱
- 出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
- 营销热线 (0516)83885307 83884995
- 出版服务 (0516)83885767 83884920
- 网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
- 印 刷 江苏淮阴新华印刷厂
- 开 本 787×1092 1/16 印张 17.5 字数 437 千字
- 版次印次 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷
- 定 价 29.80 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

工程热力学与传热学也简称为热工学,主要研究热功转换、热能合理利用和热量传递规律。随着我国社会经济的飞速发展,能源需求量快速增长,能源资源紧缺以及缺乏高效洁净转换利用已成为制约我国经济发展的关键问题。因此,节能降耗、保护环境是每一个工程技术人员责任。能源的开发和利用在很大程度上是热能的开发和利用,热工学几乎是渗透到现代工程技术各个领域的一门技术基础课,是各专业实际应用中不可缺少的重要组成部分,掌握合理用能的基本知识和理论是新世纪复合型人才应具备的重要素质。

本教材将“工程热力学”与“传热学”合二为一,抓住能量转换与传递这一主线进行阐述,注重科学性与教学性的结合,注重理论联系实际,以便学生学完本课程后能熟练地运用热力学与传热学的基本理论与基本分析方法,进一步学好后续课程,解决实际工程技术问题。

我国教育部于2001年制定了推动大学双语教学的文件。近年来,双语教学已经逐步成为我国高等教学改革的一个热点,各高校纷纷参与双语教学的改革实践。“工程热力学与传热学”目前已经有较完善的基本理论,其涉及的知识的应用又是当前国际能源领域的学者和科研技术人员研究的热门课题。对“工程热力学与传热学”实施双语教学,有利于在知识传授方面深入浅出地介绍本学科领域的知识,又能在语言环境上营造出氛围,使学生能够较为轻松地学习,有利于培养学生的综合素质。

本书由河南理工大学王志军、袁东升、宋文婷担任主编,由王志军拟定全书内容提纲并负责统稿、定稿。全书共分11章,各章节编写分工如下:第1、3章由河南理工大学王志军编写;第2章由河南理工大学袁东升编写;第4章由山东科技大学赵文斌与河南理工大学程磊编写;第5章由河南理工大学王志军与程磊编写;第6、7章由河南理工大学宋文婷编写;第8、9章由河南理工大学邓权威编写;第10章由河南理工大学宋文婷与王志军编写;第11章由河南理工大学程磊与河南工程学院张瑞林编写;附录由河南理工大学程磊编写。

本书编写过程中参考了相关教材、专业书籍等文献资料,在此谨向被引用的文献作者和引用但未注明的文献作者们一并表示衷心感谢!同时,向中国矿业大学出版社的领导和编辑们为本书的出版给予的大力支持和帮助表示诚挚的谢意!

由于编者水平所限,书中不足之处在所难免,恳请读者及使用本书的师生批评指正。

编 者

2015年7月

目 录

| | |
|--|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 能源与热能利用 | 1 |
| 1.2 工程热力学与传热学的研究内容及研究方法 | 2 |
| Chapter 1 Preface | 4 |
| 1.1 Energy Resources and Utilization of Thermal Energy | 4 |
| 1.2 Main Contents and Study Methods of Engineering Thermodynamics & Heat Transfer | 5 |
| 第 2 章 热力学基本概念 | 7 |
| 2.1 热力系统 | 7 |
| 2.2 工质的热力状态及基本状态参数 | 8 |
| 2.3 平衡状态、状态公理及状态方程 | 11 |
| 2.4 准平衡过程与可逆过程 | 12 |
| 2.5 热力循环 | 13 |
| 思考与练习题 | 15 |
| Chapter 2 Basic Concept of Thermodynamics | 16 |
| 2.1 Thermodynamic System | 16 |
| 2.2 Thermodynamic States and Basic Properties | 18 |
| 2.3 Equilibrium State, State Postulate and State Equation | 20 |
| 2.4 Quasi-equilibrium Process and Reversible Process | 21 |
| 2.5 Thermodynamic Cycle | 23 |
| 第 3 章 热力学第一定律 | 25 |
| 3.1 热力系统的储存能 | 25 |
| 3.2 系统与外界传递的能量 | 26 |
| 3.3 闭口系统能量方程 | 31 |
| 3.4 开口系统能量方程 | 33 |
| 3.5 开口系统稳定流动能量方程及其应用 | 35 |
| 思考与练习题 | 39 |

| | |
|--|-----|
| Chapter 3 The First Law of Thermodynamics | 41 |
| 3.1 Total Energy of a System | 41 |
| 3.2 Energy Transfer by Heat, Work or Mass | 43 |
| 3.3 Energy Balance for Closed Systems | 48 |
| 3.4 Energy Balance for Open Systems | 49 |
| 3.5 Energy Balance for Steady-Flow Processes | 50 |
| | |
| 第 4 章 理想气体的热力性质与热力过程 | 55 |
| 4.1 理想气体状态方程 | 55 |
| 4.2 理想气体热力学性质 | 56 |
| 4.3 理想气体的典型热力过程 | 61 |
| 4.4 理想混合气体 | 72 |
| 思考与练习题 | 75 |
| | |
| Chapter 4 Thermodynamic Properties and Processes of Ideal-gas | 77 |
| 4.1 The Ideal Gas State Equation | 77 |
| 4.2 The Thermodynamic Properties of Ideal Gas | 78 |
| 4.3 Typical Thermodynamic Processes of Ideal-gas | 82 |
| 4.4 Ideal-gas Mixture | 87 |
| | |
| 第 5 章 热力学第二定律 | 91 |
| 5.1 热力学第二定律的实质与表述 | 91 |
| 5.2 卡诺循环与卡诺定理 | 94 |
| 5.3 熵 | 98 |
| 5.4 孤立系统的熵增原理与作功能力损失 | 102 |
| 思考与练习题 | 105 |
| | |
| Chapter 5 The Second Law of Thermodynamics | 107 |
| 5.1 Essence and Statements of the Second Law of Thermodynamics | 107 |
| 5.2 The Carnot Cycle and Carnot Theorems | 110 |
| 5.3 Entropy | 112 |
| 5.4 The Increase of Entropy Principle and Loss of Conversion Ability of Heat to Work | 116 |
| | |
| 第 6 章 水蒸气与湿空气 | 119 |
| 6.1 水蒸气的产生过程及 $p-v$ 图和 $T-s$ 图 | 119 |
| 6.2 水蒸气性质表及焓熵图 | 122 |
| 6.3 水蒸气的热力过程 | 124 |

| | | |
|------------------|---|------------|
| 6.4 | 湿空气性质 | 125 |
| 6.5 | 湿空气的焓—湿图及热湿比 | 129 |
| 6.6 | 湿空气的热力过程 | 131 |
| | 思考与练习题 | 132 |
| Chapter 6 | Water Vapor and Atmospheric Air | 133 |
| 6.1 | Phase Change Process of Water | 133 |
| 6.2 | Water Vapor Tables and Enthalpy-Entropy Diagram for Steam | 136 |
| 6.3 | Thermodynamic Processes of Water Vapor | 137 |
| 6.4 | State of Atmospheric Air and its State Properties | 138 |
| 6.5 | Psychrometric Chart($h-d$ Chart) and Heat Humidity Ratio | 142 |
| 6.6 | Thermodynamic Process of Atmospheric Air | 144 |
| 第 7 章 | 动力循环与制冷循环 | 145 |
| 7.1 | 蒸汽动力循环 | 145 |
| 7.2 | 活塞式内燃机循环 | 148 |
| 7.3 | 空气压缩制冷循环 | 151 |
| 7.4 | 蒸汽压缩制冷循环 | 153 |
| | 思考与练习题 | 155 |
| Chapter 7 | Power Cycle and Refrigeration Cycles | 156 |
| 7.1 | Steam Power Cycle | 156 |
| 7.2 | Gas Power Cycle with Internal Combustion Engines | 158 |
| 7.3 | Air-compression Refrigeration Cycles | 161 |
| 7.4 | The Vapor-Compression Refrigeration Cycle | 163 |
| 第 8 章 | 导热 | 165 |
| 8.1 | 导热概述 | 165 |
| 8.2 | 导热问题的数学描述 | 167 |
| 8.3 | 稳态导热 | 169 |
| 8.4 | 非稳态导热 | 175 |
| | 思考与练习题 | 178 |
| Chapter 8 | Heat Conduction | 179 |
| 8.1 | Introduction to Heat Conduction | 179 |
| 8.2 | Mathematical Description of Heat Conduction | 181 |
| 8.3 | Steady-state Conduction | 184 |
| 8.4 | Transient Conduction | 188 |

| | |
|---|-----|
| 第 9 章 对流换热 | 192 |
| 9.1 对流换热概述 | 192 |
| 9.2 对流边界层 | 195 |
| 9.3 对流换热微分方程组 | 196 |
| 9.4 相似原理及量纲分析 | 198 |
| 9.5 管内流动 | 200 |
| 9.6 管外流动 | 202 |
| 9.7 自然对流 | 205 |
| 思考与练习题..... | 207 |
| | |
| Chapter 9 Convection Heat Transfer | 209 |
| 9.1 Convection Heat Transfer Overview | 209 |
| 9.2 The Convection Boundary Layers | 212 |
| 9.3 Convection Transfer Differential Equations | 214 |
| 9.4 Similar Principle and Dimensional Analysis | 216 |
| 9.5 Internal Tube Flow | 219 |
| 9.6 External Tube Flow | 220 |
| 9.7 Free Convection | 222 |
| | |
| 第 10 章 辐射换热 | 225 |
| 10.1 热辐射的基本概念..... | 225 |
| 10.2 热辐射的基本定律..... | 229 |
| 10.3 辐射换热计算..... | 234 |
| 思考与练习题..... | 238 |
| | |
| Chapter 10 Radiation Heat Transfer | 240 |
| 10.1 Basic Concept of Thermal Radiation | 240 |
| 10.2 Basic Law of Thermal Radiation | 244 |
| 10.3 The Calculation of Radiation Heat Transfer | 248 |
| | |
| 第 11 章 传热过程及换热器 | 253 |
| 11.1 传热过程..... | 253 |
| 11.2 换热器..... | 255 |
| 11.3 传热的强化与削弱..... | 258 |
| 思考与练习题..... | 260 |
| | |
| Chapter 11 Heat Transfer Process and Heat Exchangers | 261 |
| 11.1 Heat Transfer Process | 261 |

目 录

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 11.2 Heat Exchangers | 263 |
| 附录 1 饱和水与饱和水蒸气的热力性质表(以温度为序) | 266 |
| 附录 2 饱和水与饱和水蒸气的热力性质表(以压力为序) | 268 |
| 参考文献 | 270 |

第1章 绪 论

1.1 能源与热能利用

为人类生产与日常生活提供各种能量和动力的自然资源称为能源,能源是人类赖以生存和发展所必需的燃料和动力来源,是发展生产和提高人类生活水平的重要物质基础。自然界中所有的活动都涉及物质和能量的相互作用。人类对各种能源的不断开发和利用大大地推动了人类社会生产力的发展。纵观世界各国的国民经济发展状况,能源消费水平一定程度上反映出社会生产力的发展水平。

风能、水力能、燃料的化学能、太阳能和地热能等能源,它们是自然界中以自然形态存在可直接开发利用的能源,称为一次能源。这些能源,有些可以以机械能的形式直接被利用,有些需经过加工转化后才能利用。由一次能源直接或间接转化而来的能源称为二次能源,其中主要是热能、机械能和电能。因此,能量的利用过程,实质是能量的传递和转换过程。各种能源及其转换和利用情况大致如图 1-1 所示。

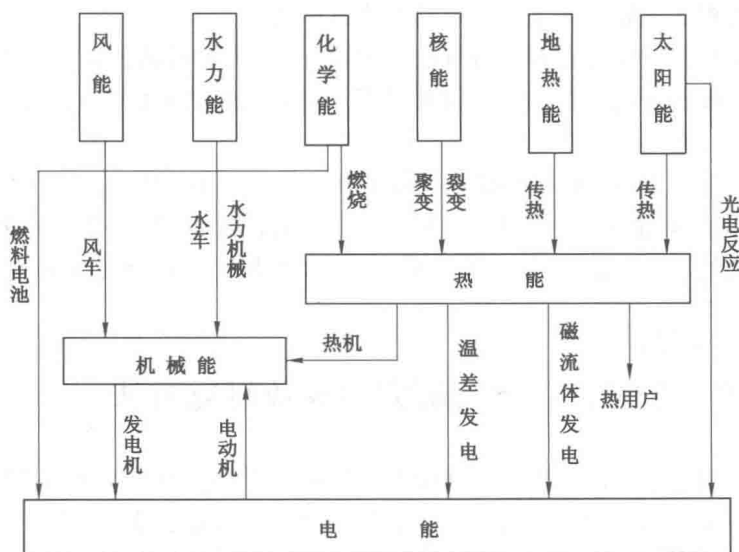


图 1-1 能源的利用情况

目前,本着可持续发展的思想,国内外均在提倡风能、太阳能、潮汐能等清洁能源的应用。就目前国际国内技术水平而言,在今后相当长的时期内,主要能源仍将以煤炭、石油及天然气等矿物燃料为主,并将加快核能利用的步伐。由图 1-1 可知,除了水力能和风能是机

机械能外,其余一次能源都是直接或间接向人类提供热能形式的能量,且占有相当大的比例,据统计,经热能这个环节而被利用的能量在世界上占85%以上。热能是一次能源利用过程中重要的转换形式,从某种意义上讲,能源的开发和利用就是热能的利用。因此,热能的开发及高效利用是能源可持续应用的最重要的部分,对于人类社会的发展有着重要的意义。

热能的利用可分为直接利用和间接利用。热能的直接利用是指直接用热能加热物体,热能的形式不发生变化。如工业生产中的冶炼、加热、蒸煮、干燥及分馏等,再如日常生活中的热水供应及采暖等。工业中直接利用热能的设备很多,如各种工业炉窑、工业锅炉、加热器、冷却器、蒸发器和冷凝器等。热能的间接利用是把热能通过各种类型的发动机(热机)及发电机转变为机械能或电能,例如蒸汽动力装置、燃气动力装置、火箭发动机、内燃机等都能实现热能向机械能或电能的转换。热能的间接利用是热能利用的重要方式,这种间接利用方式是极其重要的,是人类文明及生产发展的物质基础。人类自从发明了蒸汽机之后,就引起了第一次工业革命,使手工作坊式生产走向大规模的工业生产,对人类改造自然、发展生产起了重大作用。

在热能的间接利用中,主要存在热能转化为机械能或电能过程中的有效程度的问题。如在热力发电中,最简单的装置,热能有效利用率只有25%左右,最先进的大型装置也只能达到40%左右,仍有60%~75%的热能无法利用。这部分无法利用的热能称为废热。再如交通运输中的汽车、火车、飞机及轮船,热能的有效利用率更低。这些装置排放到大气中的废气带有大量有害物质,已经给人类赖以生存的环境造成了严重的污染。因此,如何在动力装置中提高热能的有效利用率并消除污染,是能源科技工作者的首要任务。目前正在研究中的大型热能动力装置,如能按理想工况进行运转,有可能将热能的利用率提高到55%。提高热能动力装置的热效率是节约能源的主要目标之一。

热能直接利用所消耗的燃料也占有较大的比重,节约燃料的消耗也是十分重要的。而直接利用热能的设备中也存在着换热效率问题。因此,如何提高换热设备的换热效率也是当今重要的研究课题之一。

国民经济的发展离不开燃料热能的间接利用和直接利用,然而地球上的矿物燃料资源毕竟有限,如何提高热能的有效利用率,减少燃料的消耗量,不仅是我国科技界的重大课题,也是一个世界性的学术问题。因此,对物质热力性质、热能转换及热量传递规律的研究,具有十分重要的意义。

1.2 工程热力学与传热学的研究内容及研究方法

热能间接利用所涉及的热能和机械能的转换属于工程热力学范畴。热能直接利用所涉及的研究热量传递规律的学科属传热学。工程热力学与传热学基本理论组合形成了热能工程学的理论基础,简称热工学,是研究热能利用的基本原理和规律,以及热能利用的能量传递和能量转换,以提高热能利用经济性(即节能)为主要目的的一门学科。

工程热力学主要研究热能和机械能及其他形式的能量之间相互转换的规律。热能转变为机械能必须借助某种传递能量的载体物质——工质和设备(热机)。为实现工质在热机中通过状态的变化,源源不断地把热能转变成机械能对外输出并提高转换效率,必须掌握热能和机械能转换的基本理论,了解工质的性质以及能量转换过程中工质参数变化的特性。所

以,工程热力学的主要内容包括:基本概念和基本定律——热力学第一定律和第二定律,工质在热动力设备中吸热、膨胀、作功等状态变化过程的特点及热量和功量的计算分析,常用工质的热力性质。

传热学主要研究热量传递的规律。热量是指在温差的作用下传递的能量。热力学第二定律指出,热量可以自发地由高温热源传给低温热源。这就是说,有温差就会有热量传递(简称传热)。由于在自然界以及在人们的日常生活和生产实践中,温差几乎无处不在,所以热量传递是普遍存在的物理现象,对人们的生活和生产实践具有广泛而深刻的影响。因此,认识传热的规律,掌握控制与优化热量传递的方法和技术措施,对国民经济建设、改善人民生活具有重要的意义。传热学的主要内容就是对传热的基本方式和实际的传热过程进行分析,研究物体内部或物体与物体之间的热能传递机理,从而找出提高传热效果或减少热损失的途径以及确定常见简单物体内温度分布的规律。

工程热力学与传热学的研究方法是采用宏观的研究方法,其特点是根据工程热力学的基本定律和传热学的热量传递规律,运用严密的逻辑推理,对物体的宏观现象进行分析研究,而不涉及物质的微观结构和微观粒子的运动情况。这种抽出共性,抓主要矛盾的处理问题方法,在热工学的理论分析中特别有用,不仅不脱离实际,而且能反映客观事物的本质。

Chapter 1 Preface

1.1 Energy Resources and Utilization of Thermal Energy

In nature, all kinds of activities concern mass and energy interactions. Human being can not survive and develop without fuels. The exploration and utilization of various kinds of energy resources prompt the development of social productivities of human being. And the energy consumption condition indicates the situation of productivities to some extent.

There are large amount of energy resources, such as wind-power resources, water-power resources, chemical energy stored in fuels, solar energy, geothermal energy and nuclear energy, etc. At present, wind resources, solar energy and tidy energy technologies are encouraged to be used at home and abroad to maintain sustainable development. However, in a very long term, the mineral fuels such as coal, crude oil and natural gases will be in domination at domestic. And the exploration of nuclear energy will be strengthened. Fig. 1-1 tells us the energy conversion from various kinds of energies into thermal energy is a very important step before they are finally used. Therefore, it is very important to use the thermal energy emitted by combustion of fuels or by fission or fusion of nuclear energy efficiently to achieve sustainable energy utilization.

There are two ways to use the thermal energy emitted by fuel combustion. One is using thermal energy directly. For example, during the process of melting, heating, drying and fractionating, etc, thermal energy is used directly. There are many facilities, in which thermal energies are used directly, such as, furnaces, boilers, heaters, condensers, evaporators and chillers, and so on. The other way is indirect utilization, that is, to transform thermal energy into mechanical energy or electricity through turbines and power generators. For example, equipment in steam power plants, gas-turbine, engine of rocket, internal combustion engines, etc., can be used to accomplish energy conversion. Most of thermal energy is used indirectly. Since the first industrial revolutionary aroused by the invention of steam engines, the productivities have developed greatly.

An important issue is how to efficiently transform thermal energy into mechanical energy or electricity by indirect use of thermal energy. For instance, only 25% of thermal energy can be transformed into power in simple thermal power plants. Even in large installations, the energy transformation efficiency can only reach about 40%. There is still 60%~75% of thermal energy can not be used but discharged to rivers, lakes, seas and

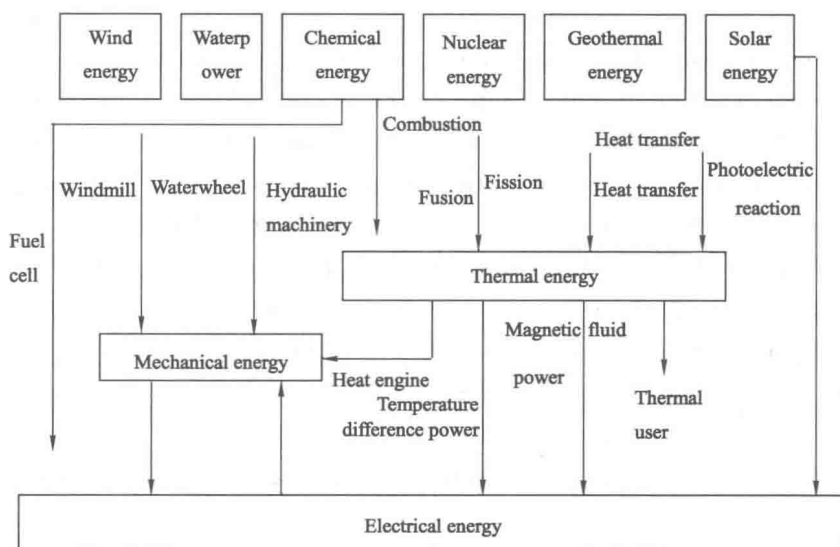


Fig. 1-1 Utilization of Thermal Energy

atmospheric air. This part of thermal energy which is not used effectively is called waste heat. Another example, the effectiveness of thermal energy utilization is even less in vehicles, locomotives, air-crafts and steamboats, etc. The exhaust gases from these equipments include a large amount of harmful substances. This has brought severe pollution on the environment. Thus, how to improve thermal efficiency of these equipments is the most important thing, to which we should pay attention.

The amount of fuels burned when thermal energy is used directly is also very huge. Thus, it is very important to save fuels. Thus, how to effectively accomplish heat transfer in heat exchangers is another key topic we are facing. This topic will be introduced in the branch of Heat Transfer.

Economy can not develop without direct and indirect use of thermal energy. However, the amount of mineral fuels is limited. Thus, how to improve thermal efficiency and how to save energy are critical research topics worldwide. Therefore, it is necessary to study thermodynamic properties of substances and the rules which govern thermal energy transformation and transfer.

1.2 Main Contents and Study Methods of Engineering Thermodynamics & Heat Transfer

It is indispensable to converse thermal energy into mechanical energy without some installations and working medium. The working medium can flow through the installations and output expansion work through volume changes. Therefore, the generally used working mediums are gaseous substances. In the course of Thermodynamics, it is to study

thermodynamic systems, thermal equilibrium states, thermodynamic processes, thermodynamic cycle and working medium to better the performance of heat engines, refrigerators and heat pumps and to improve the thermal efficiency and energy utilization effectiveness. Therefore, the characteristics of thermodynamic processes will be studied based on the fundamental laws of thermodynamics. And thermo-physical properties of gases and fluids will be introduced as well as the law governs phase change processes, such as evaporation and condensation. Chemical reaction processes, such as combustion, melting and resolving are involved in practice. These may concern some basic knowledge of Chemical Thermodynamics. Thus, the following three parts will be introduced in Thermodynamics: ① Two fundamental laws of thermodynamics—The first law and the second law of thermodynamics; ② Thermodynamic properties of working mediums commonly used; ③ Thermodynamic processes, cycles and the ways to improve thermal efficiency.

Heat transfer describes the exchange of thermal energy, between physical systems depending on the temperature and pressure, by dissipating heat. Systems which are not isolated may decrease in entropy. Most objects emit infrared thermal radiation near room temperature. The fundamental modes of heat transfer are conduction or diffusion, convection, advection and radiation.

The exchange of kinetic energy of particles through the boundary between two systems which are at different temperatures from each other or from their surroundings. Heat transfer always occurs from a region of high temperature to another region of lower temperature. Heat transfer changes the internal energy of both systems involved according to the First Law of Thermodynamics. The Second Law of Thermodynamics defines the concept of thermodynamic entropy, by measurable heat transfer.

第2章 热力学基本概念

工程热力学中的基本概念是研究工程热力学的基础。对于这些基本概念,一开始就必须予以重视,正确理解它们的含义,这样才能在后续的学习中学会利用它们分析和解决问题。

2.1 热力系统

2.1.1 热力系统含义

分析研究任何现象,首先应明确研究对象。工程热力学中,为了研究问题的需要,以人为划定的一个或多个任意几何面所围成的空间作为研究对象,这种空间内物质的总和称为热力系统,简称热力系或系统。热力系以外的物质称为外界,热力系与外界的交界称为边界。边界可以是真实的,也可以是假想的;可以是固定的,也可以是移动的。如图 2-1 所示是气缸活塞机构,若取气缸中的气体为热力系,则气体和气缸壁间构成的边界是真实的,气体和活塞内表面构成的边界为移动的。如图 2-2 所示的汽轮机,若取汽轮机中的蒸汽为热力系,蒸汽和汽轮机之间即为实际边界,而进、出口处则为假想的边界。



图 2-1 闭口系统

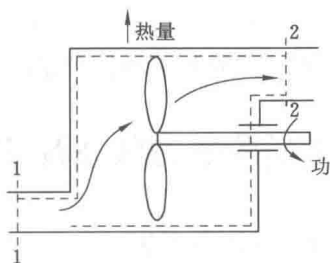


图 2-2 开口系统

对一个具体的问题,热力系统的选择方式可以有很多种,应该视具体情况而定。确定系统以后,该如何来进行分析和研究呢?在物理学或者力学中,主要研究系统与外界之间所存在的力的作用。而在热力学中,则主要研究系统和外界之间的能量及物质的相互作用。

2.1.2 热力系统分类

根据热力系统与外界之间的能量和物质交换情况,热力系统可分为各种不同的类型。

(1) 闭口系:指与外界之间没有物质交换的热力系统。系统中物质的质量不变,有时也称为控制质量,如图 2-1 所示。

(2) 开口系:指与外界有物质交换的热力系统,有质量的流入或流出。如图 2-2 所示,运行中的汽轮机就可视为开口系统,在运行过程中,有蒸汽不断地流进流出。由于开口系统

是一个划定的空间范围,所以开口系统又称控制容积系统。

(3) 绝热系:指与外界没有热量交换的热力系统。在热力学中“绝热”是一个理想化的概念,实际上即使对系统的边界采用很好的绝热保温措施,也难免与外界有一定的热量交换。但当系统与外界交换的热量与其他形式的能量交换相比足够小时,即可以认为是“绝热”的。

(4) 孤立系:指与外界不发生任何相互作用的系统。既没有任何形式的能量交换,也不发生物质的交换。显然,孤立系统也是一个理想化的概念。有时为了便于问题的研究,可以把系统连同与其进行能量和物质交换的相关物体或空间视为一体,构成一个孤立系统。孤立系统内部各个子系统间存在各种相互作用,而孤立系统与外界之间则无任何相互作用。

(5) 简单可压缩系:热力系由可压缩流体构成,并且在边界上只与外界有一种功的交换。工程热力学讨论的大部分系统都是简单可压缩系。

此外,也可按系统内部状况的不同,将系统分为均匀系、非均匀系,单元系、多元系等。

对热力系统进行分析时,应该注意,系统与外界发生的各种相互作用均穿越边界,对相互作用(质量、热量或功量交换)的分析应当从边界着手进行。正确选取系统对于热力学分析具有重要的意义。选取不当,就难以进行热力学分析或无法得到正确的结论。

2.1.3 工质

能量转换必须通过物质来实现,物质是实现能量转换不可缺少的内部条件。用来实现能量相互转换的媒介物称为工质。例如,内燃机以燃气为工质,蒸汽动力装置以水蒸气为工质等。

从理论上讲,气、液、固三态物质都可作为工质,但工程热力学所研究的能量转换一般都是通过工质体积变化来实现的,而对体积变化最灵敏、最显著且迅速的是气(汽)态物质。因此,在热力学中,主要选择气(汽)态物质为工质。

工质对能量转换有直接的影响,故对不同工质性质的研究也是热力学的主要内容之一。

2.2 工质的热力状态及基本状态参数

2.2.1 状态与状态参数

系统与外界之间能够进行能量交换(传热或作功)的根本原因,在于两者之间的热力状态存在差异。例如,锅炉中的热量传递是由于燃料燃烧生成的高温烟气与汽锅内汽水之间存在着温度差;又如热力发动机中能量的转换是由于热力发动机中的高温高压工质与外界环境的温度、压力有很大的差别。这种温度、压力上的差异标志着工质物理特性数值的不同。我们把工质在热力变化过程中的某一瞬间所呈现的宏观物理状态称为工质的热力状态,简称为状态。热力状态反映着工质大量分子热运动的平均特性,描述工质状态特性的宏观物理量称为工质的状态参数。

状态参数是状态的函数,热力状态一定,描述状态的状态参数也确定。描述一种状态的状态参数是唯一确定的一组数值。只要其中的一个参数发生变化,则系统状态就不同。

状态参数是点函数,这是状态参数的一个重要的基本特性。如图 2-3 所示,当系统从初态 1 经历不同的途径变化至终态 2 时,状态参数的变化量仅与初、终状态有关,而与状态变