

高等学校建筑类专业双语教学规划教材

工程热力学

(双语版)

赵 蕾 主编

郭亚军 朱常琳 崔海航 刘云霞 参编

Engineering Thermodynamics (A Bilingual Textbook)

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学(双语版)/赵蕾主编. —北京:中国建筑工程出版社, 2011. 12

(高等学校建筑类专业双语教学规划教材)

ISBN 978-7-112-13685-8

I. ①工… II. ①赵… III. ①工程热力学-高等学校-教材-英、汉 IV. ①TK123

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 212117 号

责任编辑: 张文胜 田启铭

责任设计: 李志立

责任校对: 刘梦然 赵 颖

高等学校建筑类专业双语教学规划教材 工程热力学(双语版)

赵 蕾 主编

郭亚军 朱常琳 崔海航 刘云霞 参编

*

中国建筑工程出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京建筑工程印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 30¼ 字数: 750 千字

2012 年 2 月第一版 2012 年 2 月第一次印刷

定价: 56.00 元

ISBN 978-7-112-13685-8

(21458)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

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校教学改革的一个热点,各高校纷纷参与了双语教学的改革实践。

热力学是研究能量转换规律的学科。《工程热力学》是涉及能源利用的工程领域如动力机械、航天航空、船舶工程、化学工程、建筑环境与设备工程和制冷与低温等的重要技术基础课程。已经有较完善的基本理论,而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。对工程热力学实施双语教学,可参考的原版英文教材很多,有利于提高学生穿过语言障碍直接学习国内外本学科知识,提高参与国际交流的能力,可取得比汉语教学更好的教学效果。各高校对该课程也在进行着双语教学探讨和实践。本书作者所在的西安建筑科技大学自 2004 年起面向建筑环境与设备工程的本科生试行了双语教学,教学过程中除采用建筑环境与设备工程专业指导委员会推荐的中文教材之外,还选用了由 Yunus A. Cengel 和 Michael A. Boles 主编,由清华大学出版社 2002 年影印的教材《Thermodynamics (An Engineering approach)》(第四版)作为英文教学资料。该教材为国际公认的优秀热力学教材之一,不仅包括基本的热力学概念和原理等基本知识,还插入了大量的应用例题和相关内容,信息量大、图表丰富、语言纯正、表达生动、逻辑性强、有时代气息。但是,英文原版教材的内容体系和结构与我国的教学体系偏差较大,文字对我国学生来讲偏难,直接用于教学对大部分学生会造成很大的学习压力,严重影响到学生用英语学习的积极性,难以达到理想的双语教学效果。

因此,作者根据 5 年的双语教学实践经验,组织编写组成员,参阅多本英文原版教材,充分利用互联网上工程热力学课程的教学资源,根据我国建筑环境与设备工程专业《工程热力学》课程教学大纲的要求,编排各章节的内容,用中、英文两种文字编写了这部适合我国学生使用的双语教材。本书具有一定的系统性和完整性,第 12 章还对可再生能源的相关知识和应用新技术进行了简单介绍,以拓宽学生能源利用方面的知识。各章节后有中文思考题和习题,可供不同专业及不同层次的学生参考使用。

本书由赵蕾主编,其中绪论、第 2、4、5 章由赵蕾编撰;第 6、7、8、10 章的英文部分由赵蕾与朱常琳共同完成;第 9 章的英文部分由赵蕾和郭亚军共同完成;第 1、3 章的中、英文和第 9 章的中文部分由郭亚军完成;第 6、7、8、10 章的中文部分由朱常琳完成;第 11 章由刘云霞完成;第 12 章由崔海航完成。

该书稿承西安建筑科技大学刘咸定教授精心审阅,提出了许多宝贵的意见和修改建议,对提高书稿的质量帮助极大,在此表示衷心的感谢。

特别感谢西安建筑科技大学环境与市政工程学院的诸位研究生为本书图表的绘制所付出的辛勤工作。

限于编者的学术水平及教学经验,书中难免有一些错误和不妥之处,竭诚希望读者及使用本书的师生批评和指正。

Preface

Ministry of Education of China issued documents in 2001 to promote bilingual teaching in universities. In recent years, bilingual education has gradually become a hot spot of reform in higher education. Many universities have participated in the bilingual education practice.

Thermodynamics is a discipline which governs the energy conversion and studies properties of substances as working mediums. “Engineering Thermodynamics” is involved in engineering fields, such as Power Engineering and Machinery, Aerospace, Marine Engineering, Chemical Engineering, Building Environment and Equipment Engineering and Refrigeration Engineering, etc. It is a fundamental course for these disciplines. And it involves basic theories and their applications which are very useful in research fields of the hot topics of many scholars and scientific and technical personnel at domestic and abroad. It is proper for carrying out bilingual teaching of Engineering Thermodynamics. And there are many original English teaching materials to refer. In addition, bilingual teaching of Engineering Thermodynamics can help students overcome the language barrier and is very good for them to learn knowledge related to this discipline in English directly in the future. It may help to cultivate the students’ ability to participate in international exchanges. It may get better effect than teaching in Chinese. Many universities have participated in exploration and practice of bilingual education programs. Xi’an University of Architecture and Technology, in which the author works, also have had several bilingual teaching trials on this course toward undergraduates majored in Building Environment and Equipment Engineering since 2004. During the practice in the past five years, we not only used the textbook in Chinese version recommended by the Professional Steering Committee as teaching materials, but also selected the textbook “Thermodynamics (An Engineering approach)”, edited by Yunus A. Cengel and Michael A. Boles, 2002 copy of the fourth edition by Tsinghua University Press, as English teaching materials. This book is an excellent and well known textbook for Thermodynamics. It not only introduces the basic concepts and principles of thermodynamics and other basic knowledge, but also gives a large number of application examples and relevant contents. It is informative and contemporary. It riches in charts and figures and expressed logically with pure, lively English. However, there exist significant deviations, especially the structure of the course, between the original English teaching system and Chinese teaching system of “Engineering Thermodynamics”. And the textbook in English version is too difficult for most of our students to read. This may create great study pressure on the majority of students and have bad influence on students’ enthusiasm

of learning a course in English directly. Thus, it is difficult to achieve a desirable teaching effect of bilingual education without a suitable textbook for them to refer.

Therefore, with 5 years teaching experience, we organized a group of teaching staffs and compiled this bilingual teaching material. After referring to several original English teaching materials and using bilingual teaching resources of Engineering Thermodynamics on the Internet, the layout of the chapters is determined, meeting the domestic requirement on the Syllabus for “Engineering Thermodynamics” of Building Environment and Equipment Engineering major undergraduates’ education as well. This bilingual textbook is compiled in Chinese and English. It has systematic and integrity. And, the related knowledge and technology of using renewable energy are also briefly introduced in Chapter 12 to broaden the knowledge of student and to help them form sustainable approach to energy use. Several think problems and exercises are given in each chapter written in Chinese for reference of different professions and different students at different levels.

This book is edited by a group of staffs in Xi’an University of Architecture and Technology, Zhao Lei is the chief compiler. The preface, Chapter 2, 4 and 5 are compiled by Zhao Lei; Chapter 6, 7, 8 and 10 in English are jointly accomplished by Zhao Lei and Zhu Chang-lin; Chapter 9 in English is accomplished by Zhao Lei and Guo Ya-jun; Chapter 1 and 3 bilingually and Chapter 9 in Chinese are compiled by Guo Ya-jun; Chapters 6, 7, 8 bilingually and Chapter 10 in Chinese are compiled by Zhu Chang-lin; Chapter 11 is compiled by Liu Yun-xia; Chapter 12 is compiled by the Cui Hai-hang.

Herewith, let us express our heartfelt thanks to Professor Liu Xian-ding of Xi’an University of Architecture and Technology for his careful review on the manuscript. We greatly appreciate the valuable comments and revision suggestions he gave us. These are helpful for the improvement in the quality of the manuscript.

In addition, we are also very grateful for the contribution of several graduate students, especially Liu Lei, in Xi’an University of Architecture and Technology in drawing the Figures used in this textbook.

Editor’s academic standards and the limited teaching experience, the book will inevitably be some mistakes and wrong, and sincerely hope that readers and students to use the book valuable comments and suggestions.

目 录

绪论	1
0.1 能源与热能的利用	1
0.2 工程热力学的研究对象与主要内容	2
0.3 工程热力学的研究方法	3
第1章 基本概念	4
1.1 热力系统	4
1.2 热力状态及基本状态参数	6
1.3 平衡状态、状态公理及状态方程	9
1.4 准静态过程与可逆过程	11
1.5 热力循环	12
思考题	14
习题	15
第2章 热力学第一定律	18
2.1 热力学能和总能量——储存能	18
2.2 系统与外界传递的能量	19
2.3 闭口系统的能量方程式	24
2.4 开口系统的能量方程式	26
2.5 稳定流动能量方程式的应用	30
思考题	34
习题	35
第3章 理想气体的性质与过程	38
3.1 理想气体的状态方程	38
3.2 理想气体的比热	40
3.3 理想气体的热力学能、焓和熵	46
3.4 理想气体的典型热力过程	48
3.5 理想气体的混合物	58
思考题	62
习题	63
第4章 热力学第二定律	65
4.1 热力学第二定律的实质与表述	65
4.2 卡诺循环与卡诺定理	68
4.3 熵与熵增原理	72
4.4 熵方程	77

4.5 烟与焓	81
4.6 烟分析	87
思考题	92
习题	93
第5章 实际气体性质与热力学一般关系式	96
5.1 实际气体的状态方程	96
5.2 导出热力性质关系式的条件和基本关系式	102
5.3 热力学能、焓和熵的微分方程式	105
5.4 比热容的微分关系式	107
5.5 焦耳-汤姆逊系数的一般关系式	108
思考题	108
习题	109
第6章 水蒸气	110
6.1 气化与凝结	110
6.2 水蒸气的定压发生过程	111
6.3 水蒸气表	112
6.4 水蒸气的焓-熵图($h-s$ 图)	113
6.5 水蒸气的热力过程	114
思考题	117
习题	117
第7章 湿空气	119
7.1 湿空气的状态与状态参数	119
7.2 相对湿度和含湿量的测量	124
7.3 湿空气的焓-湿($h-d$)图	126
7.4 湿空气的基本热力过程	130
思考题	134
习题	135
第8章 气体和蒸气的流动与压缩	137
8.1 一维定熵稳定流动	137
8.2 管道内定熵流动的基本特征	139
8.3 喷管中流速的计算和喷管设计	141
8.4 具有摩擦的绝热流动	148
8.5 绝热节流	149
8.6 活塞式压气机的工作过程	151
思考题	156
习题	157
第9章 动力循环	159
9.1 蒸汽动力基本循环——朗肯循环	159
9.2 回热循环和再热循环	164

9.3 热电联产	168
9.4 内燃机循环	169
9.5 燃气轮机循环	173
9.6 燃气-蒸汽联合循环	174
思考题	175
习题	175
第10章 制冷循环	177
10.1 逆向卡诺循环	177
10.2 空气压缩制冷循环	178
10.3 理想的蒸气压缩制冷循环	180
10.4 热泵	184
10.5 其他制冷循环	185
思考题	187
习题	188
第11章 化学热力学基础	190
11.1 化学反应系统概述	190
11.2 热力学第一定律在化学反应过程中的应用	191
11.3 反应热与反应热效应的计算	193
11.4 热力学第二定律在化学反应过程中的应用	196
11.5 化学平衡、平衡常数与平衡移动原理	199
11.6 热力学第三定律	202
思考题	202
习题	203
第12章 可再生能源及其利用	205
12.1 可再生能源	205
12.2 太阳能的利用	209
12.3 地热利用技术	211
12.4 氢能与燃料电池	213

Contents

Engineering Thermodynamics

Introduction	219
0.1 Energy Resources and Utilization of Thermal Energy	219
0.2 The Studies and Main Contents of Engineering Thermodynamics	220
0.3 Engineering Thermodynamics Approaches	222
Chapter 1 Basic Concepts	223
1.1 Thermodynamic System	223
1.2 Thermodynamic States and Basic Properties	225
1.3 Equilibrium State, State Equation and State Diagram	230
1.4 Quasi-equilibrium Process and Reversible Process	231
1.5 Thermodynamic Cycle	234
Chapter 2 The First Law of Thermodynamics	236
2.1 Total Energy of a System	236
2.2 Energy Transfer by Heat, Work or Mass	238
2.3 Energy Balance for Closed Systems	245
2.4 Energy Balance for Open Systems	247
2.5 Some Steady-Flow Devices in Engineering Practice	252
Chapter 3 Properties and Processes of Ideal-gas	258
3.1 The Ideal-gas Equation of State	258
3.2 Specific Heat of Ideal-gas	260
3.3 Internal Energy, Enthalpy and Entropy of Ideal-gas	267
3.4 Thermodynamic Analysis on Typical Ideal-gas Processes	269
3.5 Ideal-gas Mixtures	279
Chapter 4 The Second Law of Thermodynamics	285
4.1 Essence and Statements of the Second Law of Thermodynamics	285
4.2 The Carnot Cycle	289
4.3 Entropy and the Increase of Entropy Principle	295
4.4 Entropy Balance	300
4.5 Exergy and Anergy	304
4.6 Exergy Analysis	310
Chapter 5 Real Gas and Thermodynamic Property Relations	318
5.1 Real-gas Equation of State	318
5.2 Mathematical Preliminaries	322

5.3	General Relations for du , dh and ds	326
5.4	The Specific Heats c_v and c_p	328
5.5	The Joule-Thomson Coefficient	330
Chapter 6	Water Vapor	331
6.1	Vaporization and Condensation	331
6.2	Phase Change Process of Water	332
6.3	Water Vapor Tables	335
6.4	The Enthalpy-Entropy Diagram (h - s Diagram) for Steam	338
6.5	Thermodynamic Processes of Water Vapor	338
Chapter 7	Atmospheric Air	343
7.1	Atmospheric Air and State Properties	343
7.2	The Measurement of Relative Humidity	349
7.3	Psychrometric Chart (h - d Chart)	350
7.4	Analysis and Application of Thermodynamic Process of Atmospheric Air	355
Chapter 8	Gas and Vapor Flow and Compressed	362
8.1	Sonic Speed and Mach number	362
8.2	One-dimensional Isentropic Steady Flow	363
8.3	Calculation on the Velocity through Nozzles and Nozzle Design	367
8.4	Duct Flow with Friction	375
8.5	Adiabatic Throttling	376
8.6	Compression Process of Gas in Reciprocating Compressor	379
Chapter 9	Power Cycle	386
9.1	Basic Steam Power Cycle—Rankine Cycle	386
9.2	Regenerative Cycle and Reheat Cycle	391
9.3	Cogeneration	395
9.4	Gas Power Cycle with Internal Combustion Engines	396
9.5	Gas-Turbine Cycle	401
9.6	Combined Gas-Vapor Cycle	402
Chapter 10	Refrigeration Cycles	404
10.1	The Reversed Carnot Cycle	404
10.2	Air-Compression Refrigeration Cycles	405
10.3	The Ideal Vapor-Compression Refrigeration Cycle	407
10.4	Heat Pump Systems	412
10.5	Other Refrigeration Cycles	414
Chapter 11	Elementary Chemical Thermodynamics	417
11.1	Introduction	417
11.2	First-Law Analysis on Reacting Systems	419
11.3	Calculation of the Reaction Heat and the Reaction Heat Effect	422

11.4	Second-law Analysis on Reacting Systems	425
11.5	Chemical Equilibrium, Equilibrium Constant and Le Chatelier's principle	428
11.6	The Third Law of Thermodynamics	433
Chapter 12	Renewable Energy and Its Applications	434
12.1	Renewable Energy Resources	435
12.2	Application of Solar Energy	440
12.3	Geothermal Technology	443
12.4	Fuel Cell and Hydrogen Energy	445
附录 Appendix		449
参考书目		469

绪 论

0.1 能源与热能的利用

热力学是研究物质的物理性质和能量转换规律的科学。生产实践迫切要求寻找合理的大型高效热机。因而，工程热力学成为了热力学中最先发展的一个分支。它主要研究热能与机械能及其他能量之间相互转换的规律及其应用，是化工、冶金、能源动力、航空航天、冷冻空调、低温超导以及生物工程的重要基础学科之一。

自然界中存在大量风力、水力、燃料的化学能、太阳能、地热能和原子核能等能源，它们是人类赖以生存和发展所必需的燃料和动力来源。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。

目前，本着可持续发展的思想，国内外均在提倡风能、太阳能、潮汐能等技术的应用。但是，在今后相当长的时期内，国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 0-1 可见，热能是一次能源利用过程中重要的转换形式。因此高效利用燃料燃烧或核聚/裂变所释放的热能将成为今后能源可持续应用的最重要的部分。

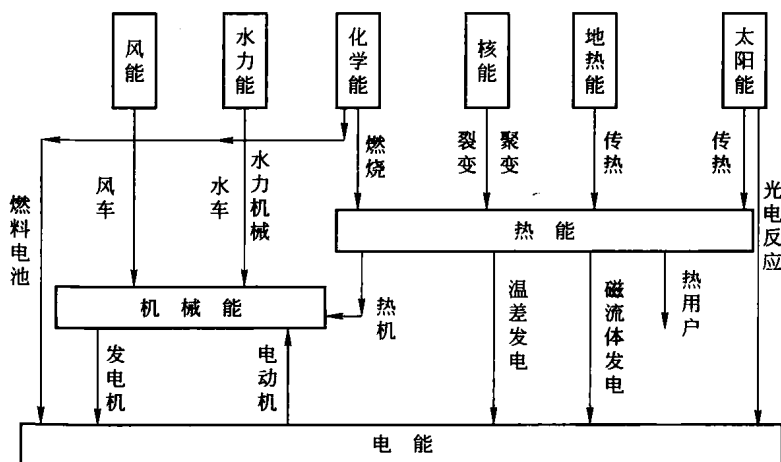


图 0-1 能源的利用情况

热能的主要利用方式有两种：一种是间接利用，即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。热能的间接利用是其主要的應用方式。自从人类发明蒸汽机之后,就引起了第一次工业革命,使生产力得到巨大的发展。另一种方式是直接利用,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。

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,如何提高热能在动力装置中的利用率,是热能科技工作者的首要任务。

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。

0.2 工程热力学的研究对象与主要内容

据统计,经热能这一转换环节而被利用的一次能源占世界能源总耗量的 85% 以上,是自然界应用最广泛的一种能量。也就是说其他能量很容易转化为热能。那么,热能是否也可以不花任何代价而转化为机械能、电能等其他形式的能量呢?这是生产实践中发现的且需要解决的问题。工程热力学就是以热能和机械能之间的相互转换规律为研究对象,来探索能量合理和有效利用的一门学科。

机械能是物体有规则宏观运动的结果,是有序运动产生的能量。而热能不同,它是微观粒子无规则热运动的结果,是无序运动产生的能量,这是它们本质的差别。热能与机械能之间的转换与其他形式的能量,如动能与势能,之间的转换有所不同。实践证明,有序能可以很容易地转化为无序能,但相反的转换却较困难,而且其中有一部分热能不能转化为机械能,而仍以热能的形式存在。能量的这种不等价性表明能量有“品质”的属性。热力学第一、第二定律分别从能量的“量”和“质”两方面揭示出热能与机械能,即有序能和无序能之间的相互转换规律,是研究热现象不可缺少的理论基础。

热能转变为机械能必须借助设备和工质。要使设备不断地作功,就要求工质具有良好的膨胀性,而且必须不断地将工质引入到设备中,并将作完功的工质排出,即要求工质有良好的流动性。因此,所采用的工质一般是气态物质。

工程热力学的主要任务是通过对热力系统、热力平衡、热力状态、热力过程、热力循环和工质性质的分析研究,改进和完善热力发动机、制冷机和热泵的工作循环,提高热能利用率和热功转换效率。为此,必须以热力学基本定律为依据,探讨各种热力过程的特

性；研究气体和液体的热物理性质，以及蒸发和凝结等相变规律等。现代工程热力学还包括诸如燃烧等化学反应过程、溶解吸收或解吸等物理化学过程，这就又涉及化学热力学方面的基本知识。

因此，工程热力学的主要内容包括以下三部分：

(1) 介绍工程热力学理论基础的两个基本定律——热力学第一定律和热力学第二定律；

(2) 常用工质的热力性质；

(3) 根据热力学基本定律，结合工质的热力性质，分析计算实现热能和机械能相互转换的各种热力过程和热力循环，阐明提高转换效率的途径。

0.3 工程热力学的研究方法

工程热力学是一门从工程观点来论述热力学普遍原理及其应用的基础性学科。因而，采用宏观热力学(经典热力学)的方法进行研究。宏观热力学将物体视为连续体，用宏观物理量描述物质的行为，从少数抽象概念和由大量观察、实践总结出来的热力学定律出发，用严密的逻辑推理方法对物体的宏观性质和宏观现象进行分析研究，得出对实践有指导意义的结论。热力学定律是大量客观实践的总结，具有高度的可靠性和普遍性。但是，经典热力学也具有局限性，它没有深入到物质的微观结构中去，如不能提供比热容的理论、不能解释物质宏观性质的涨落等。

但是，在应用热力学理论进行工程分析计算时，还必须知道有关物质的某些具体的热力性质，如物质的状态方程、比热容等。这些基本物性，用经典热力学理论是无法求得的，需要由试验来提供，或利用统计热力学的研究成果。统计热力学是从物质的微观结构出发，依据微观粒子的力学规律，应用概率论和统计平均的方法，研究大量微观粒子的运动所表现出来的宏观性质。由于它可深入热现象的本质，使热力学理论获得微观机理上的说明，并可揭示宏观性质的微观决定因素，在理论上起到指导作用。但是，统计热力学不可避免地要对物质结构模型做一些简化或假设，所得结果和实际情况往往有所差异。

工程热力学中也普遍采用抽象、概括、理想化和简化的方法。这种略去细节、抽取共性、抓主要矛盾处理问题的方法，在进行理论分析时特别有用。这种科学的抽象，不但不脱离实际，而且总是更深刻地反映事物的本质。

第 1 章 基 本 概 念

工程热力学是研究热能和机械能之间的转换规律的科学。它涉及很多概念和术语。本章主要介绍热力系统、状态参数、热力过程、循环等基本概念，为以后的学习奠定基础。

1.1 热力系统

1.1.1 热力系统

在进行宏观热力学分析时，首先要确定一个具体的分析对象，即热力系统，指由一定边界所包围的、被取作研究对象的物体或空间，也简称为系统。

热力系统可以是一个物体，也可以是一组物体，还可以只是物体的某一个部分，或者是某一特定的空间，它是由封闭的边界面所包围的。边界面以外与系统有相互作用的物体或空间统称为外界或环境。边界面在图中通常用封闭的虚线框表示。选取系统就是要明确研究的对象。

下面以几个例子来说明热力系统及边界的某些特性。

如图 1-1 所示的气缸-活塞装置，气缸内有一定质量的气体，活塞可以在气缸内移动。以气缸内气体作为研究对象，取图中虚线所包围的物质为系统。随着活塞的往复移动，气缸内气体的体积是可变的，但是系统内工质的质量一定。可见，系统的边界可以是固定的，也可以是移动的。

再如，图 1-2 所示的刚性容器，流体经进口截面 1-1 流入，从出口截面 2-2 流出。为了分析容器内流体的热力性质，同样要求首先确定系统。由于工质不断地流进或流出容器，其中的物质是不确定的，分析时可以选取容器壳体以及进出口截面 1-1 和 2-2 所包围的空间为系统，即图 1-2 中虚线所包围的体积。其中边界面 1-1、2-2 并非真实的，只是假想的边界。可见，边界可以是真实的，也可以是假想的。此时，系统的边界是固定的，有工质从 1-1、2-2 截面这两个位置进出系统。

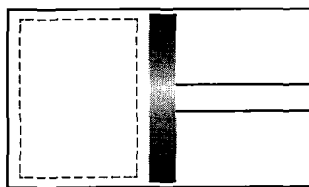


图 1-1 闭口系

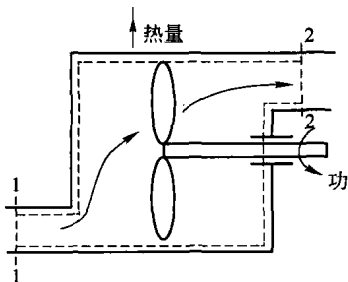


图 1-2 开口系

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。

1.1.2 系统的分类

1. 按系统与外界的相互作用分类

一般情况下，热力系与外界之间总是存在能量和物质的相互交换作用。因此，可根据热力系与外界之间相互作用的情况，对热力系分类如下：

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 1-1 所示。

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。系统内物质的质量可能发生变化，因此开口系也可以称为流动热力系或变质量热力系。为了分析研究方便，常常把研究范围设定在一定的空间内，这个空间被称为控制容积，如图 1-2 所示。

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。如图 1-2 所示的汽轮机，对外界的散热量远小于其输出的功量，故可以忽略其散热，认为是一个绝热系统。

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。

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. 按系统内部的情况分类

热力系内部组成状况和系统与外界之间的相互作用密切相关，也可以按照其内部状况对热力系分类如下：

单元系：指内部只包含一种化学成分的热力系统；

多元系：指内部包含两种或两种以上化学成分的热力系统；

均匀系：指各部分的成分、状态和性质都相同的热力系统；

非均匀系：内部各个部分的成分、状态及性质各不相同的热力系统。而且，即使热力系各个部分的成分相同，但若它们的状态和性质不同，也为非均匀系。比如在充满水蒸气的容器中，若存在均匀分布的细微的水滴，则水和水蒸气的混合物属于均匀系，但假如液态水在容器底部而水蒸气在其上部，就属于非均匀系。

1.1.3 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。

1.2 热力状态及基本状态参数

1.2.1 状态与状态参数

热力系统中某一瞬间所表现的工质的宏观物理状况称为系统的热力状态,简称为状态。热力状态反映工质大量分子热运动的平均特性。用来描述工质所处状态的各种物理量称为状态参数。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。例如,某时刻室内空气的温度为 20°C ,室外空气的温度为 12°C ,温度为描述空气状态的状态参数之一,故可以说室内外空气的热力状态不同。

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 1-3 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,而与状态变化所经历的途径无关,即

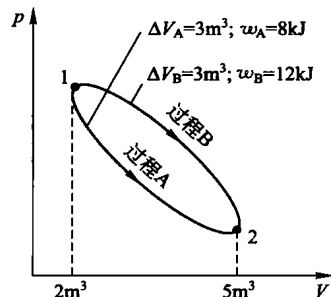


图 1-3 状态

$$\Delta x_{1-2} = x_2 - x_1 = \int_1^2 dx \quad (1-1)$$

热力系统经过一系列变化之后又回复到初始状态时,其状态参数的变化量为零,即

$$\Delta x_{1-1} = \oint dx = 0 \quad (1-2)$$

状态参数分为基本状态参数和导出状态参数。基本状态参数可以直接或间接用仪表测量,如温度(T)、体积(V)、比容(v)或密度(ρ)等。导出状态参数则无法直接测量得到,而只能由基本状态参数间接计算得出,如热力学能(u)、焓(h)、熵(s)等。下面首先介绍基本状态参数,其他的状态参数将在以后各章中逐步介绍。

1.2.2 基本状态参数

1. 温度

温度这个名词众所周知。夏天很热,温度高,冬天很冷,则温度低。可见,温度是物体冷热程度的表现。但是,如何严格地定义温度的概念,又如何定量地来表示温度的数值呢?

在孤立系统中,当两个冷、热状况不同的物体互相接触时,冷的物体会变热,热的物体会变冷。经过足够长时间之后,两物体终将达到相同的冷热状况,即所谓热平衡。实践证明,如两个物体分别和第三个物体处于热平衡时,则它们彼此之间也必然处于热平衡,