

全国高等教育自学考试指定教材

电厂热能动力工程专业（专科）

工程热力学

（附 工程热力学课程自学考试大纲）

全国高等教育自学考试指导委员会 组编

武淑平 主编

中国电力出版社

全国高等教育自学考试指定教材

电厂热能动力工程专业(专科)

工 程 热 力 学

(附 工程热力学课程自学考试大纲)

全国高等教育自学考试指导委员会 组编

武淑平 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是根据全国高等教育自学考试电厂热能动力工程专业(专科)《工程热力学》考试大纲编写的自学教材。

本书针对电厂热动专业特点,较详尽地阐述了工质的热物理性质、热力学的基本定律、热力过程及热力循环等内容,突出了专业必需的基础理论和分析方法的讨论;本书用有效能、无效能概念阐述了热力学第二定律,物理概念清晰,通俗易懂。书中还安排了大量的例题、习题,对重点、要点内容不仅在例题中加以简短讨论,还在每章后面的本章要点中作了小结。

本书不仅适宜作自学教材,也可以作为热动专业工程热力学课程的教材,还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/武淑平主编. -北京:中国电力出版社,
1999

全国高等教育自学考试指定教材·电厂热能动力工
程专业:专科

ISBN 7-80125-962-9

I. 工… II. 武… III. 工程力学-高等教育-自学考
试-教材 IV. TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第04219号

中国电力出版社出版

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京梨园彩色印刷厂印刷

*

1999年4月第一版 1999年4月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18.5印张 416千字

印数 0001—3000册 定价 24.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

出版前言

编写高等教育自学考试教材是高等教育自学考试工作的一项基本建设。经教育部同意,我们拟有计划、有步骤地组织编写一些高等教育自学考试教材,以满足社会自学和适应考试的需要。《工程热力学》是为高等教育自学考试电厂热能动力工程专业(专科)组编的一套教材中的一种,也适用于其他相关专业。这本教材根据专业考试计划,从造就和选拔人才的需要出发,按照教育部颁布的《工程热力学(专科)课程自学考试大纲(含考核知识点和考核要求)》的要求,结合自学考试的特点,组织高等院校一些专家、学者集体编写而成。

电厂热能动力工程专业(专科)《工程热力学》自学考试教材,是供个人自学、社会助学和国家考试使用的,现经专家审定同意,予以出版发行。我们相信,高等教育自学考试教材的陆续出版,必将对我国高等教育事业的发展、保证自学考试的质量起到积极的促进作用。

编写高等教育自学考试教材是一种新的尝试,希望得到社会各方面的关怀和支持,使它在使用中不断提高和日臻完善。

全国高等教育自学考试指导委员会

一九九八年六月

编 者 的 话

本书是根据全国高等教育自学考试机械委员会审定的电厂热能动力工程专业（专科）《工程热力学》自学考试大纲编写的，本课程含实验 5.5 学分。

本书针对自学考试的学习特点，围绕热力学的两个基本定律，对热能与机械能转换所涉及的热力学基本概念、工质的热物理性质、热力过程及热力循环作了详尽的阐述，突出了电厂热能动力工程专业必需的基础理论和方法，较详细地介绍了水蒸气、气体流动、蒸汽动力循环的内容。以热量的有效能、无效能概念简明扼要地讨论了热力学第二定律，注重从物理意义上阐述了自然过程的属性——不可逆性，浅显易懂。本书在编写过程中，注意了热工基础理论与热力工程的联系，例如，对实际实施的循环侧重从热力学原理加以简化，针对电厂常用的各种循环展开了讨论。本书还安排了燃气-蒸汽联合循环、洁净煤发电技术等新内容。为了帮助学生更好地掌握所学的知识，每章都安排了大量的例题，有针对性地作了简短的讨论，对典型问题的解决方法、解题思路作了归纳小结，具有一定的启发性；每章都编排了习题、布置了必做的作业。各章后编写了本章提要。

根据自学考试大纲的规定，不考核的部分内容，用“*”标注，学员可以通过对这些内容的阅读扩大知识面，开拓思路。

本书结合考试大纲规定的两个必做实验，编写了实验指导，针对实验中有关热工量的测量，简单介绍了仪器的测量原理及使用方法。

本书按 1993 年颁布的国家标准规范了热工量与单位的符号。

本书由武淑平（绪论、第一、二、三、四、五、六、八章及实验指导）、赵雅菊（第七、十章）、柏林（第九章）编写。赵雅菊编写、演算了全书的习题。宋学广、朱子清绘制编排了全书的插图。本书由国家教委工科热工课程教学指导委员会委员、东南大学虞维平教授担任主审，南京动力高等专科学校金宏亮副教授、河海大学常州分院王锦桥副教授担任副主审，他们对本书进行了认真的评审，提出了很多宝贵的意见和建议，在此，谨致诚挚的谢意。

本书编写过程中，自始至终得到了全国高等教育自学考试机械委员会秘书长杨林森教授的关心和支持；得到了南京电力高等专科学校领导及动力系、成教处领导的大力支持；得到了同事们的大力帮助，在此，由衷地表示感谢。

由于编者水平有限、时间仓促，在内容阐述上错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1998 年 9 月于南京

ABD77/4-10

主 要 符 号

拉 丁 字 母

A	截面积
C	热容量
c	质量热容、声速
c'	体积热容
c_m	摩尔热容
d	汽耗率, 比湿度
E	能量
e	质量能量
e_{x1}	有效能损失
F	力
g	重力加速度
H	焓
h	比焓
l	长度
Ma	马赫数
M	摩尔质量
m	质量
n	摩尔数
p	压力
P	功率
Q	热量
q	比热量
q_m	质量流量
q_v	体积流量
R_g	气体常量
R	摩尔气体常量
S	熵
s	比熵
T	热力学温度
t	摄氏温度, 干球温度

t_{DP}	露点
t_w	湿球温度
U	热力学能
u	比热力学能
V	体积
V_m	摩尔体积
v	比体积
v_c	速度
W	体积功
w	比体积功
W_s	轴功
w_s	比轴功
W_t	技术功
w_t	比技术功
x	干度
x_i	摩尔分数
Z	高度

希 腊 字 母

α	抽汽率
β_{cr}	临界压力比
ε	制冷系数
ε'	供暖系数
η	喷管效率
η_t	循环热效率
η_v	压气机容积效率
κ	质量热容比, 等熵指数
π	循环增压比
ρ	密度
σ	压气机回热度
τ	燃气轮机增温比

目 录

出版前言

编者的话

主要符号

绪论	1
0.1 热能及其利用的基本形式	1
0.2 热能与机械能的转换过程	1
0.3 工程热力学的研究对象及主要内容	4
0.4 工程热力学学习方法	4
习题	6
第一章 基本概念	7
1.1 热力系	7
1.2 状态及状态参数	8
1.3 基本状态参数	10
1.4 状态方程、状态参数坐标图	15
1.5 热力过程	16
1.6 热力系与外界的能量交换	19
1.7 热力循环	22
本章提要	23
习题	25
第二章 热力学第一定律	27
2.1 热力学第一定律的实质	27
2.2 热力系的储存能	27
2.3 闭口系能量方程	29
2.4 稳定流动能量方程	31
2.5 稳定流动能量方程的工程应用	36
本章提要	39
习题	41
第三章 理想气体的热力性质	44
3.1 理想气体	44
3.2 理想气体状态方程	44
3.3 理想气体的热容	47
3.4 理想气体的热力学能、焓、熵	53
3.5 混合气体	57
本章提要	63

习题	64
第四章 理想气体的热力过程	66
4.1 热力过程的研究方法	66
4.2 定压过程与定体(积)过程	67
4.3 定温过程与绝热过程	73
4.4 热力过程综述	80
本章提要	85
习题	86
第五章 热力学第二定律	88
5.1 自然过程的不可逆性	88
5.2 热力学第二定律	89
5.3 卡诺循环及卡诺定理	90
5.4 状态参数熵	97
5.5 热力过程中熵的变化	102
5.6 孤立系熵增原理	104
本章提要	107
习题	108
第六章 水蒸气性质	111
6.1 物质的集态变化	111
6.2 水蒸气的产生过程	114
6.3 水蒸气状态参数的确定	117
6.4 水蒸气的热力过程	127
本章提要	131
习题	132
第七章 气体流动的热力分析	134
7.1 稳定流动的基本方程	134
7.2 气体在喷管中的流动特性	136
7.3 喷管内气体的流速及流量	139
7.4 气体在喷管中有摩擦阻力的流动	149
7.5 绝热节流	153
本章提要	156
习题	157
第八章 蒸汽动力装置循环	160
8.1 朗肯循环	160
8.2 蒸汽参数对循环的影响	165
8.3 回热循环	169
8.4 再热循环	178
8.5 热电联产循环	182
*8.6 实际蒸汽动力循环的分析	183
本章提要	192

习题	194
第九章 燃气轮机装置循环	197
9.1 气体压缩	197
9.2 燃气轮机装置定压加热循环	204
9.3 提高燃气轮机循环装置热效率的方式	207
*9.4 燃气-蒸汽联合循环	211
本章提要	214
习题	215
第十章 湿空气	217
10.1 湿空气的基本概念	217
10.2 湿空气的状态参数	219
10.3 湿空气的焓-湿图	223
*10.4 湿空气的热力过程及其应用	224
本章提要	233
习题	234
实验指导	235
实验一 喷管中气体流动现象及参数测定	235
实验二 气体质量定压热容测定	238
实验中有关热工量的测量	241
附录	247
附表1 各种单位制常用单位换算表	247
附表2 热学的量和单位的符号(新旧国标对比)	247
附表3 气体的相对分子量、气体常量、等熵指数	248
附表4 气体的平均摩尔定压热容 c_{mp}	248
附表5 气体的平均摩尔定体热容 c_{mv}	249
附表6 气体的平均质量定压热容 c_p	250
附表7 气体的平均质量定体热容 c_v	251
附表8 气体的平均体积定压热容 c'_p	252
附表9 气体的平均体积定体热容 c'_v	252
附表10 298~1500K 气体的摩尔热容公式(曲线关系式)	253
附表11 0~1500℃ 气体的平均比热容与平均体积热容(直线关系式)	254
附图 湿空气的 h - d 图	255
习题答案(部分)	259
参考文献	259
附: 工程热力学(专科) 课程自学考试大纲	260

绪 论

§ 0.1 热能及其利用的基本形式

能源是能够转换为机械能、热能、化学能、电磁能等各种能量的资源。它是社会发展和提高人民生活水平的重要的物资基础。自然界中有以天然形态存在的能源资源，如：化石燃料（煤、石油、天然气）、核燃料、水能、风能、太阳能、地热能、海洋能等等。其中有些自然资源可直接利用，但通常都必须经加工转换成其它能量或载能方式，例如：电力、焦炭、汽油、柴油及其它石油制品以及蒸汽等，才能被利用。人们对能源的利用过程就是能量的传递和转换过程。在这个转换过程中，热能是主要的能量形式之一。大多数能源的利用都是以热能形式或者转换为热能的形式供人们使用的。

热能的利用有两种基本形式：一种是热能的直接利用。热能可直接用于干燥、供暖，如冶金、化工等生产过程的加热。另一种是热能的动力利用，即将热能转换为机械能或进而转换为电能，为交通运输、工农业生产及日常生活提供动力。现代的交通工具，汽车、飞机、火车、船舶，无一例外地都是以燃料燃烧释放的热能作为动力源的。现代热力发电厂使热能大量地转换为电能以满足人们生产、生活的需要。

能源与人类的文明和社会的发展紧密地联系在一起，能源是社会发展的物质基础。自从18世纪中叶发明了蒸汽机开创了热能动力利用的新时代，使社会生产力和科学技术发生了根本性的变化，由此可见热能动力利用的重要意义。我国是世界上能源最丰富的国家之一，煤炭储量居世界第三；水力资源的储量居世界首位；石油和天然气资源也显示了良好的前景。但是，我国人口众多，人均占有可开采储量并不高。我国目前利用热能的技术水平，与世界发达国家相比还有很大的差距。为了更加有效地、更加经济地利用能源资源，促进国民经济发展，就要求人们去探讨、掌握有关能量转换的规律，寻求提高热能动力利用率的途径和方法。工程热力学就是研究热能及其转换规律的一门学科，对于能源科技工作者来说，它是一门重要的专业基础课。

§ 0.2 热能与机械能的转换过程

将热能转换为机械能或电能需要各种转换装置，我们将用以完成热能与机械能转换的机器称为热机，将相应的装置（包括配合整机工作的辅助设备）称为热动力装置。热动力装置的形式有各种各样，分别适用于不同的工作场合，但它们遵循一些相同的基本规律具有某些共同的特性。本节将简要介绍几种热动力装置。

一、蒸汽动力装置的工作原理

蒸汽动力装置主要用于现代热力发电厂的热能与机械能的转换。简单的蒸汽动力装置

由锅炉、汽轮机、凝汽器、水泵等设备组成，装置简图如图 0.1 所示。

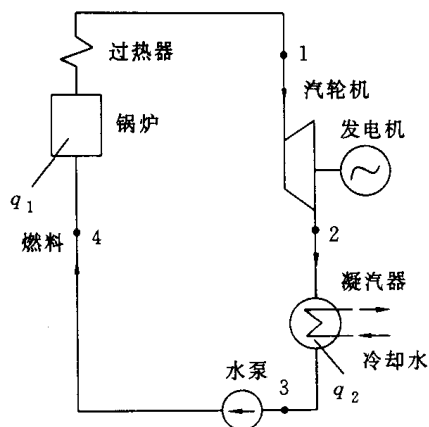


图 0.1 蒸汽动力装置简图

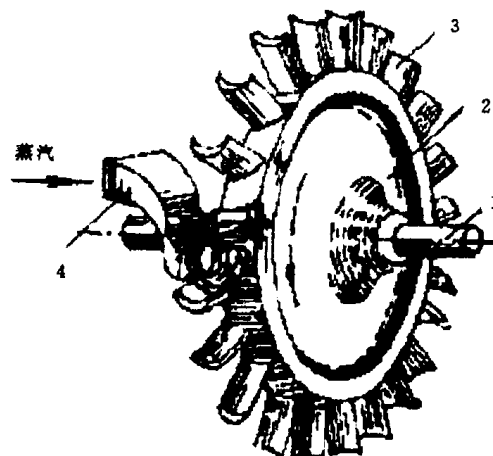


图 0.2 喷管、动叶工作示意图

通常是将煤炭作为燃料送入锅炉内燃烧，使燃料中的化学能释放出来而转换成热能，产生高温烟气。水在锅炉中吸收烟气的热量，变成水蒸气，水蒸气在过热器中继续吸热，成为能满足汽轮机工作要求的过热蒸汽。过热蒸汽进入汽轮机后，其压力、温度下降，将热能转换为高速动能，带动汽轮机叶轮旋转，汽轮机的轴是和发电机转子联接在一起的，高速旋转的汽轮机轴带动发电机转子转动产生电能，这样就完成了从热能到机械能和电能的转换。

蒸汽在汽轮机内是如何完成热能与机械能之间转换的呢？首先是高温高压蒸汽流过汽轮机内装有的功能部件——喷管，所谓喷管就是流动截面逐渐变化的短管，汽流在这样的短管中压力、温度变化，蒸汽的热能转换为汽流的动能；随后在叶轮的动叶中（动叶从结构上看仍然是截面变化的喷管，只是这类喷管是随叶轮一起旋转的，故称其为动叶）蒸汽的动能转换成叶轮旋转的机械能。简单的示意如图 0.2 所示。汽轮机的喷管、动叶构成了热能与机械能转换的重要的工作单元。膨胀后的蒸汽称为乏汽（压力、温度都比较低）进入凝汽器向冷却水放热，并凝结为水，然后再经水泵加压重新送入锅炉，开始新一轮循环过程。在蒸汽动力装置中，水经历了吸热、膨胀、放热、升压等一系列过程，状态由水转变为蒸汽，进而又复原为水，完成了热能与机械能的转换。

二、燃气轮机装置的工作原理

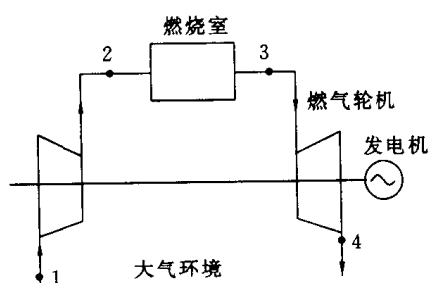


图 0.3 燃气轮机装置简图

最简单的燃气轮机装置由压气机、燃烧室和燃气轮机三个主要设备组成，其装置简图如图 0.3 所示。

压气机从大气中吸入空气，空气经压气机压缩压力、温度升高，随后送入燃烧室。在燃烧室压缩空气与燃料（一般是气体或液体燃料）均匀混合，经点火燃烧生成高温燃气。高温、高压的燃气导入燃气轮机后，同样通过喷管、动叶经历降压膨

胀过程，将热能转换为机械能，做功后的乏气排入大气。

在燃气轮机中，空气、燃气经历了压缩、吸热、膨胀、放热过程而将热能转换为机械能。

三、内燃机的工作原理

我们日常生活中常见的汽油机、柴油机等都是用燃气推动的动力机械，由于它们的燃烧加热过程在动力机的内部进行，故称为内燃机。

现以汽油机为例介绍内燃机的工作原理。汽油机包括气缸、活塞、阀门、火花塞、连杆、曲轴等部件，如图 0.4 所示。

汽油机工作分为四个过程：先将活塞下移，同时打开进气阀，汽油与空气混合物被吸入气缸；活塞上移，压缩混合气体，火花塞点火，混合物剧烈燃烧，混合物压力、温度急剧升高，具备了做功能力；高温混合气体推动活塞下移，膨胀做功；当压力降至一定值时，排气阀开启，活塞上移，将废气排出气缸，完成一个工作循环。这样的工作过程周而复始的进行，就将热能转换成为人们需要的机械能了。

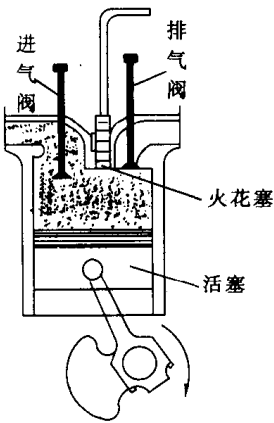


图 0.4 内燃机工作示意图

上述几种装置的工作原理、设备结构、工作场合均不相同，但在热力学分析中认为它们有很多共同的特点。

在热机工作过程中，为实现热能与机械能的转换，无论是在蒸汽动力装置还是在燃气轮机或内燃机中，都需要一种媒介物质参与工作，我们称这种参与热能与机械能转换的媒介物质为工质。在蒸汽动力装置中，水及其蒸汽是工质；在燃气轮机、内燃机装置中，空气和燃气是工质。

在工作过程中，工质吸热，膨胀做功，然后排出废热。具体装置中总有一物体向工质提供热量，总有一物体接受工质排出的热量，我们把向工质提供热量的物体、接受工质排出热量的物体称为热源。本书讨论的热源的特点是：不论热源向外提供多少热量或接受多少热量，其温度均保持不变。一个热源区别于另一个热源的标志在于它们具有不同的温度。例如，向工质提供热量的热源，经常称为高温热源。任何热机工作中至少需要两个热源。蒸汽动力装置中，锅炉是高温热源，凝汽器是低温热源。燃气轮机装置中，燃烧室是高温热源，大气环境是其低温热源。

超越热机在表现形式上的千差万别，抽象出最本质的东西，将会发现一切热机都包括

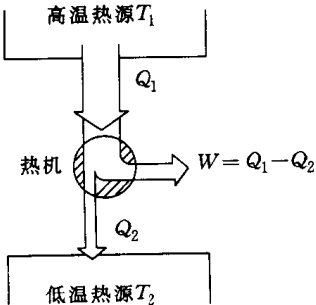


图 0.5 热机的工作示意图

三个要素，即高温热源 T_1 、低温热源 T_2 以及工质。借助特定装置的控制和诱导，工质在高温热源与低温热源之间完成工作过程，并与热源交换热量与外界交换功量。热力学分析将热机形象地表示成图 0.5。

热机先进性与完善性的经济指标之一是热机的热效率，

$$\eta_t = \frac{\text{得到的收益}}{\text{花费的代价}} = \frac{W}{Q_1}$$

其中, W 为热机所做的功量, 而 Q_1 是热机的吸热量。

§ 0.3 工程热力学的研究对象及主要内容

热力学是研究热能与机械能相互转换规律的一门学科。热能与机械能都是能量的表现形式, 但二者反映的运动形式不同。因此, 在热能与机械能的转换中, 不仅在数量上而且在转换能力上也有差异, 也就是说, 能量具有量和质的双重属性。能量转换时, 在量和质两方面分别遵循不同的客观规律, 这就是人们观察自然现象总结得到的热力学的两个基本定律: 热力学第一定律、热力学第二定律。热力学第一定律指出, 能量在转换中, 总量是守恒的; 第二定律则从能量质的属性指出, 能量转换中能的质量将贬值。热力学两个基本定律从量到质全面地揭示了能量转换的客观规律, 奠定了热力学的基本理论基础。

自然界发生的能量转换过程, 总是在一定的内部和外部条件下进行的。基本定律的普遍性并不能指出具体的内、外部条件对能量转换过程的影响, 但是, 在不违背客观规律的前提下, 人们可以改变内、外部条件, 甚至创造某种条件, 使能量转换朝着有利于转换的方向发展。工质是能量转换的媒介物质, 是实现能量转换的内部条件, 工质的性质影响能量的转换效果。热力学中, 对工质性质的研究, 其实质就是研究能量转换的内部条件。仅有内部条件尚不足以实现能量转换, 还必须有适当的外部条件。有时外部条件还是很关键的。例如, 在热功转换时, 如果把气缸的活塞卡住, 缸内虽有膨胀性能很好的气相物质, 但也无法实现热功转换。在不同的外部条件下, 工质状态变化过程不同, 能量转换的结果也随而异, 工质状态变化过程是外界对工质作用的结果。通过工质状态变化的热力过程可以分析外部条件的影响。热力学中研究工质的热力过程, 其实质就是研究外部条件对能量转换的影响。综上所述, 工程热力学研究的主要内容可以归纳为以下几个部分:

1. 研究能量转换时能量的量与质的客观规律, 即热力学第一定律、热力学第二定律。
2. 研究工质的基本热力性质。
3. 分析、计算工质在不同的外部条件下经历的状态变化过程以及与外界的能量交换。
4. 探讨、分析各类热力设备中, 影响热力过程、能量转换效果的因素, 寻求提高转换效率的途径。

随着科学技术的进步与生产的发展, 工程热力学的研究与应用不仅仅限于上述范围, 已扩展到许多工程技术领域。如高能激光、空气分离、海水淡化、生物工程等。工程热力学已成为许多有关专业必修的专业技术基础课程。

§ 0.4 工程热力学学习方法

每一门学科都有其研究对象的特殊性以及研究方法的特殊性, 了解和掌握课程的研究方法, 重视正确的学习方法是学好工程热力学的重要前提。

一、热力学的研究方法

热力学有两种不同的研究方法，一种是宏观研究方法，另一种是微观研究方法。

宏观研究方法将物质看作连续介质，以人们经验总结得到的热力学第一定律、第二定律为依据，利用宏观物理量描写物系的状态，推导、演绎许多有用的公式和结论。

微观研究方法则认为物质是由大量分子、原子等微观粒子组成的，并从微观结构出发，应用统计学方法将宏观物理量解释为微观量的统计平均值，从而解释热现象的本质及其发生变化的内部原因。

两种方法均有其局限性，作为应用学科，工程热力学则以宏观研究方法为主，而微观理论的某些结论用来帮助理解宏观现象的物理本质。

二、工程热力学采用的思想方法

工程热力学研究的问题来源于工程实践，然而为了认识其本质，揭示热能与机械能转换的内在规律，必须撇开次要的因素才能深入到事物的本质。因此，抽象思维和理想化的方法是工程热力学分析中普遍采用的思想方法。在热力学中，一般将分析对象简化为热力系，撇开工程范围内热动力机械的结构特点和应用场合的不同，认为它们都是具有同样功能的热机。实际工程中的热力过程是千变万化的，但热力学认为，只要将热力系与外界间的势差在边界上处理为趋于无限小，则任何过程都可以抽象成准平衡过程。作为理想化了的热力过程，就可以用相同的方法进行分析计算。

抽象思维和理想化的思想方法不仅简化了所研究的问题，而且更深刻更全面地反映了问题的内在规律。只有理解、掌握了这种思想方法，才能很好地深入学习和研究工程热力学。至于如何运用理想化的方法去分析、研究具体问题，这还需要一个反复实践的过程才能逐步掌握。一般分析问题的思路和方法取决于研究的目的和所要求的精确度。例如，目的在于分析研究影响实际循环热效率的因素时，通常是将实际循环理想化为可逆的理想循环；若目的在于详细计算实际循环时，则必须对每一实际过程作精确的计算。总之，研究问题的目的与任务确定后，应针对复杂的实际现象，先确定简化的方法，然后运用热力学基础理论进行分析，从而得出正确的结论。

三、工程热力学的基本线索

工程热力学的基本线索是：研究热能转换为机械能的规律、方法以及提高能量转换效率及热能利用的经济性。

为了学好这门课程，通常都是逐章逐节地接受各种基本概念、基本定律、定理和公式。然而，所有这一切都是围绕热能与机械能转换这一基本线索展开的，因此，学习中要学会不断地用这条主线去串连所学的知识，逐步地建立起鲜明的知识网络。

在工程热力学中，涉及的公式较多，同一问题可以有不同形式的表达式。基本概念与公式的归纳与演绎在工程热力学中是很重要的基本思维手段。相同的问题可以有不同的解决方法。归纳通常是按照从特殊到一般的规律进行思维，能使学习思路逐渐从混沌走向清晰，不断地从更高的层次去理解问题；而演绎是按照一般到特殊的规律去认识问题，能帮助人们认识事物间的相互联系。明确工程热力学的基本线索，学会归纳与小结，是学习本课程的重要学习方法。

四、加强计算技能的训练

要学好本课程，必须重视计算技能的训练和提高。教材中大量的例题、习题是从生产实践中精选提炼而来的，学习演算习题的过程，也就是学会联系实际，培养解决实际问题能力的过程。在对问题深刻理解的前提下，还应重视计算方法以及数值的合理性与准确性。

习 题

- 0.1 工程热力学的研究对象和主要内容是什么？
- 0.2 何谓工质、热源、热机？
- 0.3 工程热力学学习方法有哪些特点？怎样根据课程的特点制定自己的学习方法？

第一章 基本概念

§ 1.1 热 力 系

1. 热力系

在分析任何一个现象时首先应确定研究对象。例如，力学中进行力现象分析时，要选取隔离体，分析热力现象亦如此，首先应根据研究问题的需要，选取热力学的研究对象。我们可以在复杂的热现象中，任意地划定某部分界面围成的空间作为热力学研究对象，称这种热力学分析中选取的、由某种界面包围的特定物质或空间为热力系或系统。热力系之外的一切物质系统称为外界。热力系与外界之间的界面为边界。

热力系的边界是根据研究中所选取的对象人为划定的，因此边界可以是真实的，也可以是假设的；可以是固定的，也可以是移动的。某一气体加热装置如图 1.1 (a) 所示。若要研究气缸内气体的状态变化，可选取气缸中的气体为热力系，此时的边界由气缸壁与活塞构成，边界是真实可见的，如图 1.1 (b) 所示。随着加热的进行，其边界会随着活塞移动而移动，此时的边界是移动的，如图 1.1 (c) 所示。同一气体加热装置，根据研究的需要还可以取气缸、活塞、气体及电加热炉作为热力系，这时热力系的边界是假想的，如图 1.1 (d) 所示。热力系的选取取决于研究的目的与任务，选取不当，将不便于分析。

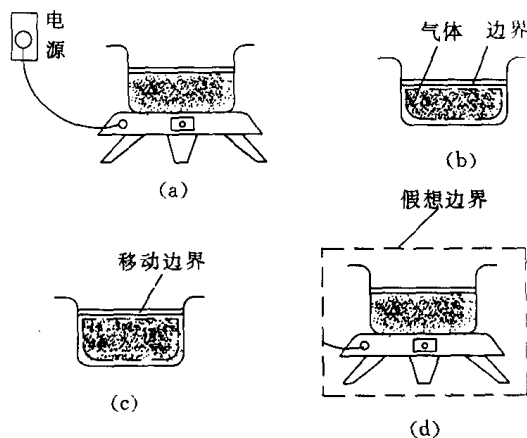


图 1.1 气体加热装置简图

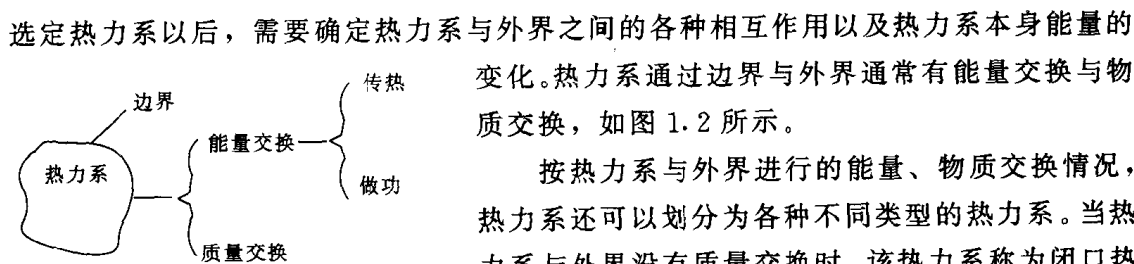


图 1.2 热力系示意图

选定热力系以后，需要确定热力系与外界之间的各种相互作用以及热力系本身能量的变化。热力系通过边界与外界通常有能量交换与物质交换，如图 1.2 所示。

按热力系与外界进行的能量、物质交换情况，热力系还可以划分为各种不同类型的热力系。当热力系与外界没有质量交换时，该热力系称为闭口热力系，简称闭口系，如图 1.1 (a) 所示。由于热力系内包含的物质质量恒定，作为研究对象的物质称为控制质量。

当热力系与外界有物质交换时，该热力系称为开口热力系，简称开口系，通常开口系是一种相对固定的空间，故也把一定边界所包围的空间称为控制体积。当热力系

与外界没有热量交换时，称该热力系为绝热系。当热力系与外界既没有能量交换也没有物质交换时，该热力系为孤立系，孤立系是一个假想的概念，真正的孤立系并不存在。

2. 简单可压缩系及其它热力系

工程热力学中讨论的大部分热力系都是简单可压缩热力系。简单可压缩系是指由可压缩流体组成的，热力系与外界只有热量以及一种形式功交换的热力系。

热力系也可按其内部工质状况不同而分为：

均匀系——指内部工质各部分化学成分、物理性质均匀一致的单相物质组成的热力系。

非均匀系——指由两个以上的物质相态组成的热力系。

单元系——指只包含一种化学成分物质的热力系。

多元系——指由两种以上单一化学成分物质组成的热力系。

作业：

习题：1.1。

§ 1.2 状态及状态参数

一、平衡状态

1. 平衡状态

热力系一经选定，若从大量分子运动的角度观察热力系，则它是瞬息万变的。而热力学是从宏观的角度研究分子行为与外界的相互作用的，我们将热力系某一瞬间的宏观物理状态称为热力系的热力状态，简称状态。

热力系各种不同的状态中，具有重要意义的是平衡状态。热力系在没有外界作用的条件下，若热力系的状态参数不随时间变化，则热力系的状态称为平衡状态。平衡状态热力系各部分的热力性质一致，每个状态只存在一个确定的参数数值。

2. 实现平衡的条件

平衡态是指热力系的宏观性质不随时间变化的状态。从微观来看，组成热力系的分子仍在不断地运动并交换能量，但是它们的统计平均效果不会随时间改变。热力系发生状态的变化，可以是外界通过边界对热力系的相互作用而引起的，也可以是热力系内部的原因引起的。

当热力系内各部分分子运动不均匀时，会使得各处工质温度不一致，在温差的作用下，各部分工质之间就有热交换，这时状态就不可能维持不变，这种变化直至各处温差消失才能停止，即达到热平衡。同样，当热力系内存在不平衡力时，在力差的推动下，各部分工质之间将产生位移，热力系的状态也不可能平衡，直至力差消失才能使这种变化停止，即达到力平衡。由此可见，热力系内部存在温差、力差等驱使状态变化的因素时，热力系就不可能处于平衡状态，我们将温差、力差等能驱使状态发生变化的因素统称为势差。

若热力系与外界间存在某种势差时，热力系就不能保持平衡而要发生状态的变化。例如，热力系与外界有温差存在就会因此而引起热量的交换；热力系与外界力不平衡时就会