

全国高等教育自学考试指定教材

电厂热能动力工程专业(独立本科)

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

徐 达 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(独立本科)

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

徐 达 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指导委员会机械类专业委员会审定的电厂热能动力工程专业(独立本科)《工程热力学课程自学考试大纲(含考核知识点和考核要求)》编写的,并经全国高等教育自学考试指导委员会批准出版。

本书是电厂热能动力工程专业(独立本科)自学考试计划中的一门技术基础课程,它是研究热能与机械能相互转换规律及在工程技术领域中应用的一门科学。本书的目的是使学生通过自学获得并牢固地掌握工程热力学的基本理论和基本知识,为学习后续课程提供充分的理论准备,也为学生解决生产实际问题和参加科学研究打下必要的理论基础。为充分考虑自学特点,本书对概念、理论、公式和方法的阐述,既有系统性,又突出重点;尽量做到起点低,叙述详尽。各章均编有基本要求、本章小结、思考题和附有答案的练习题。

本书是电厂热能动力工程专业(独立本科)的自学教材,也可供要求类似的专业作为教材。

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学/徐达主编. —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:独立本科)

ISBN 7-80125-841-X

I. 工... 徐... 工程热力学-高等教育-自学考试-教材 N. TK123

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 04224 号

中国电力出版社出版

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

三河实验小学印刷厂印刷

*

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 19.75 印张 443 千字
印数 0001—3000 册 定价 25.00 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(独立本科)组编的一套教材中的一种。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(独立本科)《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

ABD97/HZ 06

编 者 的 话

本书是根据全国高等教育自学考试指导委员会机械专业委员会审定的电厂热能动力工程专业（独立本科）《工程热力学课程自学考试大纲》编写的。

在编写过程中，编者在多年的教学实践基础上，参考了国内外近期出版的有关教材和专著，并按中国电力企业联合会（1998）教成函字第12号文件关于教材编写要求，认真考虑了电力行业专业水平和自学能够掌握的深度和广度特点。

为充分考虑自学特点，对概念、理论、公式和方法的阐述，既有系统性，又突出重点；尽量做到起点低，叙述详尽。各章均编有基本要求、本章小结、思考题和附有答案的练习题。

本书由东北电力学院徐达教授编写绪论和第一、五、六、十四章；李淑兰副教授编写第三、四、九、十章；杨吉清副教授编写第七、十一、十二、十三章；国文学副教授编写第二、八章。徐达教授任主编。

本书由华北电力大学王清照教授主审；吉林省电力公司培训中心张华教授任副主审。限于编者水平，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1998年10月

主要符号表

拉丁字母

A 截面积; 面积; 空气-燃料比	p_a 湿空气中干空气的分压力
a 声速; 加速度	Q 热量
C 热容	q 比热量
c 比热 (比热容); 速度	Q_p 等压热效应
d 直径; 耗汽率; 含湿量	Q_v 等体热效应
E 总储存能	R 气体常量; 半径; 电阻
e 比储存能	R_m 通用气体常量 (摩尔气体常量)
E_x 工质焓 (焓焓)	r 半径
e_x 比工质焓 (比焓焓)	S 熵
F 力; 自由能	s 比熵
f 比自由能	T 热力学温度
G 自由焓	t 摄氏温度
g 比自由焓; 重力加速度	t_{DP} 露点温度
H 焓; 高度	t_w 湿球温度
ΔH^0 标准燃烧焓	U 内能
h 比焓; 高度	u 比内能
I 可用能损失; 电流; 自由度	V 体积
K 热量利用系数; 平衡常数	v 比体积
L, l 长度	W 功; 体积变化功
κ 等熵指数; 比热比	W_i 内部功
M 摩尔质量	w 比功; 比体积变化功
Ma 马赫数	w_i 比内部功
m 质量	W_0 循环净功
n 摩尔数; 多方指数	w_0 比循环净功
P 功率	W_e 有用功 (有效功)
p 压力; 绝对压力	w_e 比有用功
p_b 大气压力; 背压力	W_t 技术功
p_v 真空; 湿空气中水蒸气的分压力	w_t 比技术功
p_g 表压力	z 压缩因子; 高度; 回热次数

希腊字母

α 抽汽率；角度
 β 角度；压力比
 χ_i 质量分数
 φ 体积分数
 γ_i 摩尔分数
 θ 角度
 τ 时间；升温比
 η 效率

η 热效率
 φ 速度系数；相对湿度；角度
 ρ 体积质量；[质量] 密度
 π 增压比
 ε 制冷系数；压缩比
 ξ 能量损失系数
 σ 燃气轮机装置回热度

下角标

a 空气中的干空气
A 干空气
act 实际的
c 压气机的；卡诺的；临界状态的
ch 化学的
e 有用的（有效的）
f 流动的；燃料的；生成的
g 产生的；气体的
l 液体的
m 平均数值的；机械的；摩尔的
max 最大的
min 最小的
s 定熵的；饱和的
sur 环境的
1、2 状态 1、状态 2
0 环境的；标准状态的

opt 最佳的
out 出口的
 i 第 i 种组分
ir 不可逆的
in 入口的
iso 孤立系
 p 等压的
P 水泵的；产物的
ph 物理的
RH 再热的
R 回热的；反应物
re 可逆的
w 湿球的
t 技术的；热的
V 等体的
v 水蒸气的

上角标

' 实际的；饱和水
* 滞止状态
0 标准的；环境的

" 干饱和蒸汽
— 平均的；每摩尔

目 录

出版前言

编者的话

主要符号表

绪 论	1
第一节 工程热力学的研究对象及任务	1
第二节 热力工程及工程热力学发展史	2
第三节 课程的特点及研究方法	3
第四节 计量单位	4
第五节 自学指导	5
第一章 基本概念	7
第一节 热能在热机中转换为机械能的过程	7
第二节 工质、热源、热力系统	9
第三节 工质的热力学状态及其基本状态参数	11
第四节 平衡状态、状态方程、参数坐标图	15
第五节 工质的状态变化过程、准静态过程	16
第六节 可逆过程与不可逆过程	18
第七节 体积变化功、热力循环	19
第八节 热量和熵	21
总结	23
复习思考题	24
练习题	25
第二章 热力学第一定律	27
第一节 热力学第一定律的实质	27
第二节 储存能	28
第三节 热力学第一定律基本能量方程——闭口系能量方程	29
第四节 推动功	31
第五节 稳定流动能量方程	32
第六节 状态参数——焓	35
第七节 稳定流动能量方程的应用	36
总结	39
复习思考题	39
练习题	40

第三章 理想气体	42
第一节 概述	42
第二节 理想气体状态方程	43
第三节 理想气体的比热	46
第四节 理想气体的内能、焓和熵的计算式	53
第五节 混合气体	57
总结	65
复习思考题	66
练习题	66
第四章 理想气体的热力过程	69
第一节 研究热力过程的方法	69
第二节 等体过程	69
第三节 等压过程	72
第四节 等温过程	74
第五节 绝热过程	76
第六节 多方过程	79
总结	82
复习思考题	83
练习题	84
第五章 热力学第二定律	86
第一节 自然过程的不可逆现象	86
第二节 热力循环	87
第三节 热力学第二定律的实质及表述	90
第四节 卡诺循环与卡诺定理	91
第五节 多热源的可逆循环	98
第六节 热力学第二定律的数学表达式	100
第七节 热量的作功能力(热量焔)与作功能力的损失	103
第八节 工质的作功能力(工质焔)与作功能力损失	107
总结	109
复习思考题	110
练习题	111
第六章 真实气体性质	114
第一节 理想气体状态方程用于真实气体的偏差	114
第二节 真实气体状态方程式	115
第三节 真实气体性质的近似计算	118
第四节 热力学普遍关系式	121
第五节 真实气体混合物的 $p-v-T$ 关系	127

总结.....	130
复习思考题.....	131
练习题.....	131
第七章 水蒸气	132
第一节 液体的蒸发与沸腾.....	132
第二节 水蒸气的等压产生过程.....	133
第三节 水的 p - t 图及三相点.....	135
第四节 水蒸气状态参数的确定及水蒸气图表.....	137
第五节 水蒸气基本热力过程.....	142
总结.....	145
复习思考题.....	147
练习题.....	147
第八章 气体和蒸汽的流动	149
第一节 稳定流动的基本方程.....	149
第二节 等熵流动的基本特征.....	152
第三节 喷管的计算.....	154
第四节 有摩阻的绝热流动.....	161
第五节 绝热滞止.....	164
第六节 绝热节流.....	165
第七节 混合流动.....	167
总结.....	167
复习思考题.....	168
练习题.....	168
第九章 气体的压缩	171
第一节 概述.....	171
第二节 单级活塞式压气机压缩过程的热力学分析.....	172
第三节 活塞式压气机余隙体积的影响.....	175
第四节 分级压缩中间冷却.....	177
第五节 叶轮式压气机.....	180
总结.....	181
复习思考题.....	182
练习题.....	182
第十章 气体动力循环	184
第一节 概述.....	184
第二节 汽油机的实际循环与理想循环.....	185
第三节 柴油机的实际循环与理想循环.....	188
第四节 活塞式内燃机各种理想循环比较.....	191

第五节 燃气轮机装置循环.....	192
第六节 提高燃气轮机装置循环热效率的途径.....	196
总结.....	198
复习思考题.....	198
练习题.....	199
第十一章 蒸汽动力循环.....	200
第一节 饱和蒸汽卡诺循环.....	200
第二节 朗肯循环.....	201
第三节 再热循环.....	206
第四节 回热循环.....	208
第五节 热电联产循环.....	213
第六节 蒸汽-燃气联合循环	215
总结.....	216
复习思考题.....	217
练习题.....	217
第十二章 制冷循环.....	219
第一节 基本原理.....	219
第二节 空气压缩制冷循环.....	220
第三节 蒸汽压缩制冷循环.....	223
第四节 蒸汽喷射制冷循环与吸收式制冷循环.....	228
第五节 热泵.....	230
总结.....	231
复习思考题.....	232
练习题.....	232
第十三章 湿空气.....	234
第一节 湿空气的基本概念.....	234
第二节 湿空气的性质和状态参数.....	234
第三节 相对湿度的测定.....	237
第四节 湿空气的焓-湿图	238
第五节 湿空气的干燥及加湿过程.....	239
总结.....	241
复习思考题.....	242
练习题.....	242
第十四章 化学热力学基础.....	243
第一节 燃料的燃烧.....	243
第二节 热力学第一定律在化学反应系统中的应用.....	246
第三节 热力学第二定律在化学反应系统中的应用.....	251

第四节 化学平衡与平衡常数.....	254
第五节 离解和离解度.....	257
第六节 热力学第三定律和绝对熵.....	258
第七节 燃料电池.....	260
总结.....	263
复习思考题.....	264
练习题.....	264
附录.....	266
附：工程热力学课程自学考试大纲.....	273

绪 论

第一节 工程热力学的研究对象及任务

热现象是人类生活中最早接触的自然现象之一。人们为了有效地利用这类现象为生产和生活服务,就必须研究它的规律,因而就产生了热现象的理论——热力学。热力学是工程科学的最重要领域之一。

热力学是从能量的观点研究热现象,即研究热能与其它形式能量之间的转换关系。从历史上看,热力学早期的定义是:“热力学是涉及热和力之间相互关系的一门科学”。由于自然科学的发展受生产发展的推动反过来又推动生产力的进一步发展,现在的热力学已是适用广泛的一门科学,它延伸到各学科领域,在物理、化学、生物、天体以至社会科学中都得到广泛应用。因此在许多文献中出现对热力学的各种定义,下面就探讨其中几个:

按照凯南(Keenan)和赫召普拉斯(Hatsopoulos)的定义:热力学是研究物理系统的状态和状态变化的及发生状态变化的系统之间互相作用的科学。

按照卡伦(Callen)的说法:热力学是大量原子分布结果的宏观研究。这种研究从根本上说是统计规律的平均值,而不是其详细的微观结构的研究,是一种系统的宏观描述。

按照爱普斯坦(Epstein)的定义:热力学是研究关于系统的平衡状态和与平衡状态很近似的状态变化过程的科学。

按照凯斯汀(Kestin)的定义:热力学是物理学的一个分支。它描述的是温度变化起主要作用的自然过程,而这些过程中包含有一种形式变为另一种形式的能量转换。因此,热力学研究的是这样一些能量转换的规律。

按照凡维伦(Vanveren)和桑塔戈(Santager)的定义:热力学是研究能和熵的科学。

大科学家爱因斯坦(Einstein)对经典热力学理论的说明给人们的印象十分深刻。他说:一种理论,其前提愈简单、给人的印象就愈深刻,而且所涉及的事物愈多,其适应范围就愈广泛。因此经典热力学是最好的,具有普遍内容的物理理论。就这一点而论,我确信在其基本概念所适用的范围之内,它是决不会被推翻的。

上面的每个定义都有相似的术语。因此,可以简单地认为:热力学是研究能、工质和它们之间相互作用规律的科学。将热力学的基本理论应用于工程技术领域就是工程热力学。

上面的这些定义的含义我们暂时不能完全理解。本书要在第一章先介绍热力学基本概念,对定义的关键字眼作解释,待全书学完之后你再反过来理解各定义将更为深刻。工程热力学将会回答大多数的热力系统为什么能工作,而有些系统为什么不能按预期的方式工作,以及有些系统为什么简直就不能工作。因此,它是工程科学中用于设计汽车发动机、热泵、火箭发动机、发电站、燃气轮机、空调装置、大功率激光器、太阳能加热系统等的关键理论部分,对从事热力工程的技术人员无疑是极为重要的一门专业基础理论,必须掌握

并学会运用热力学的知识。

热力学集中研究有关能量的一些概念。能量既不能创造，也不能消灭，但是可以互相转换。转换前后，能量在数量上是守恒的。因而，一定数量的机械能消失后，必然产生数量与之相等的热能。反之，一定数量的热能消失后，也会产生相等数量的机械能。这就是热力学第一定律，即热力学第一定律就是能量守恒与转换定律在热力学中的应用。这在热力学中是极为重要的。热力学第一定律宣告了第一类永动机即不消耗任何能量就想得到机械能的设备是造不出来的。但是也要知道这个定律仅仅揭示了能量转换当中的数量上的关系，而没有涉及到能量在质上的差异。

客观存在的一切事物都是质和量的统一体，没有一定的质和一定的量的东西是不存在的。能量也是这样。如果只看到了能量在量上的同一性，而忽视了它们在质上的特殊性，就要犯极大的错误。工程热力学没有忘记后者，就拿热能和机械能而言，它们都是能量，都是物质运动强度的量度。但是两者所代表的运动形式是不同的，存在着质的差别。热能是组成物体的大量微小颗粒作不规则运动所具有的能量。而机械能则是物体作宏观规则运动所具有的能量。一个是微观不规则运动，一个是宏观规则运动，这就是热能和机械能二者在运动形式上的区别。宏观规则运动变为微观不规则运动易，反之则难，这是不难理解的。机械能和热能之间的转换之所以会有难易之分，正是由于能量存在着质的差别。也正是因为热能和机械能除了在能量上有等价的一面外，还有质上的不等价的另一方面，所以即使使用了热机，也不能把加到热机里的热能（通常是由燃料的化学能获得的）全部变为机械能，必然地有一部分热能未经转换仍旧以热能的形式排出来了。在火力发电厂中最简单的热机只能使 25% 左右的燃料化学能转换为电能，现代化的大型电站也只能是 40% 左右的转换率，这已经是对该系统中数百个组成电站的部分精心地运用热力学基本理论巧妙地进行设计的结果。热效率为 100% 的热机不但过去没有，今后也永远不会造出来。

熵是热力学的又一重要概念。它提供了一种用以确定一个过程是否可以发生，以及能量在质上区别的重要手段，这一概念就是热力学第二定律的基础。熵在工程上能计算给定能源所能提供的最大有用功以及计算为完成给定任务而需要的最小功，还能告诉人们给定能源所以未能给人们提供出最大功的种种原因所在。在此，对需要在工程分析中应用热力学理论的人们来说，最根本的问题是要清楚地理解能量和熵的概念。热力学第二定律宣告了第二类永动机，即单热源热机是造不成功的。

同样是热力学，科学家们注重于应用热力学去预测物质的各种特性，并找出它们之间的相互联系；而工程技术人员则注重于应用这些资料以及能量守恒和熵的基本概念来分析复杂的工程系统的特性。当然对我们是要注重后者。

在认识了转换中能量在量和质的客观规律，并弄清了内外条件和能量转换规律的关系后，就可以对具体问题进行分析研究了。

第二节 热力工程及工程热力学发展史

相传远古时代燧人氏钻木取火，这就是机械能转换为热能，使木头温度升高而燃烧。我

国古代在能的转换和利用方面曾经创造过辉煌的成就。十二、三世纪用火力来产生机械旋转运动的走马灯，其原理与现代燃气轮机相同。用火药燃烧向后喷气来加速箭的飞行就是现代燃气机、火箭的工作原理。可是由于历代王朝的封建统治，长期以来阻碍了生产力的发展，更没有发展成为系统的理论。西方国家由封建制度转入资本主义制度时，生产的发展对动力机械的要求日益迫切，从而发明了蒸汽机，引起了产业革命，同时也刺激、推动了热力学方面的理论研究工作，促成了热力学的建立和发展。

1824年法国工程师卡诺(Carnot)第一个以普遍的形式阐述了热能转化为功的问题。他引入了“理想机器”、“可逆循环”的概念。从一定的机器结构和具体工质中所抽象出来的结论，导致发现了现在称为热力学第二定律的规律。

1842年迈耶(Mayer)阐述了热功当量原理。到1845年，焦耳通过实验方法测定了热功当量，从而定义为能量守恒定律，即热力学第一定律。

1850年克劳修斯(Clausius)确切地阐述了热力学两个定律，给出了热力学第一定律的数量公式。阐述第二定律时给出了熵参数。

1851年开尔文(Kelvin)给出了热力学第二定律的另一种表述，建立了能量贬值原理，引出了通用温标，即开尔文温标。

1855年朗肯(Rankine)大量研究了工程实际问题，后来建立了蒸汽动力装置的朗肯循环，它是现代火力发电厂的基本循环。

1900年以后，吉布斯(Gibbs)、能斯特(Nernst)、喀喇氏(Caratheodory)等都对热力学的理论有过较大的贡献。作为热力学的一个分支，工程热力学近年来应用日益广泛，它不但与热机、制冷、热泵、空气分离、空气调节等传统工程有关，而且发展到宇宙航行、海水淡化、城市排污、超导传递、化学精炼、高能激光及新能源探索等新技术领域中，并相应地发展了新的理论，建立了不可逆过程热力学。

第三节 课程的特点及研究方法

工程热力学是热动专业一门十分重要的专业基础课。为了把这些概念阐述得更清晰和严谨，长期以来人们做了大量的工作。作为本门课程理论基础，热力学第一定律及热力学第二定律是人们根据宏观现象总结经验而来的，而使用的工作流体(水蒸气、燃气等)的性质等也是用实验方法直接测定的。这样就规定了课程的第一个特点，即热力学所用的研究方法是宏观的实验方法，所研究的是大量分子的行为，而不是个别分子的行为。这种处理热力学问题的方法是经典方法，即宏观方法，在数学上颇为简单，研究结果可靠，所以是相当明智的。但是由于没有深入到物体的内部结构，因而有时就不能深入剖析某些现象的本质。对某些为便于分析计算而引用的参数(像熵参数)也不能简单、确切地说明它们之间的物理意义。宏观研究方法的第二个特点就是：从如何提高能量利用经济性(节约燃料)，亦即从能量的观点分析研究问题。但是世界上的事情是复杂的，是由各方面的因素决定的，看问题要从各方面去看。除了节能外，还要考虑到可靠性、节省材料、降低成本以及实际可能等，这些方面往往又相互矛盾，如对热机的研究就不能单单追求热效率而不顾

实际可能。

再一种研究方法是微观的研究方法，叫做统计热力学，即认为大量气体分子的杂乱运动服从统计法则和数学的或然率法则。应用统计法则和概率论将涉及到许多数学问题，对尚未掌握热力学基本概念的人来说也是很困难的，而且统计热力学的研究结果与实际不能完全符合，而只是接近实际。

本课程与先修课普通物理学联系密切，也是为后继专业课（汽轮机、锅炉、热力发电厂）打基础的一门专业基础课。既然是专业基础课，它本身又具有三个特点：课程具有强烈的工程应用特点，课程中的假设、定义等都是密切联系工程实际情况作出的；同时课程中把公式推导为简单的、可用直接测定的参数来表达的形式；而且很重视图表的应用，以便读者得到工程师的基本训练。

实际现象是复杂的，就拿内燃机内燃料燃烧来说，它是在气缸内进行的，而且燃烧和膨胀很难分割，这里就有两种形式不同的能量转换同时发生。面对如此复杂的情况，仅有理论而没有一套处理实际问题的科学方法，还是解决不了问题的。在热力学中就采用了一套抓主变量、化繁为简、由浅入深、突出本质、突出主要矛盾的方法。虽然内燃机内燃烧复杂，究其作用，无非是产生热能，燃烧的快慢、迟早也无非是加热的快慢、迟早而已。在这里要研究燃烧，其目的也无非是要弄清怎样加热对热能变机械能更为有利。至于怎样才能实现这样的加热，亦即如何控制合理的燃烧过程，则并不是我们的研究范围，而是有关专业课的内容。因此，在我们的课程内，完全可以用一个气缸从外对其中气体加热的过程来代替原气缸内的燃烧过程，这样就可撇开化学能变为热能这个能量转换，而使研究趋于简单了。还应该看到，内燃机里复杂的并不仅仅是燃烧。因此，在学习中不仅要重视理论，而且要注重培养分析问题、解决问题的能力。

第四节 计 量 单 位

我国国务院于1984年2月发布了《关于我国统一实行法定计量单位的命令》，确定了以国际单位制单位为基础，同时选用了一些非国际单位制单位而构成的我国法定计量单位。并规定于1987年止国民经济各主要部门一般只准使用法定的计量单位，1990年全国各领域全面采用法定计量单位。本书理所当然地全面采用国际单位制，国际单位制的国际代号为SI。

热力学中涉及许多物理量。一般讲，各物理量之间常有一定的联系。因此，人们在各种物理量中选定彼此独立的一些量作为基本量。用以量度同类量大小的标准量称为计量单位，故而基本量的计量单位称为基本单位。通过定义或定理，可由基本量导出其它物理量，导出的量称为导出量，相应的单位称为导出单位。由基本单位和导出单位构成一个完整的体系称为单位制。

国际单位制共有七个基本单位，其中涉及热学方面的有五个，见表0-1，部分国际单位制的导出单位见表0-2，还有一些法定计量单位和各种惯用的非法定计量单位之间的换算关系见附录表1。

表 0-1

国际单位制 (SI) 的基本单位 (热学部分)

序 号	量的名称	单位名称	单位符号	序 号	量的名称	单位名称	单位符号
1	长度	米	m	4	热力学温度	开 [尔文]	K
2	质量	千克	kg	5	物质的量	摩 [尔]	mol
3	时间	秒	s				

表 0-2

国际单位制 (SI) 部分导出单位 (热学部分)

量的名称	定义方程	单位名称	单位符号	用国际制基本单位表示单位的关系式
力	$F=ma$	牛 [顿]	N	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
压力	$p=\frac{F}{A}$	帕 [斯卡]	Pa	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
密度	$\rho=\frac{m}{V}$	千克每立方米	kg/m^3	$\text{m}^{-3} \cdot \text{kg}$
比体积	$v=\frac{V}{m}$	立方米每千克	m^3/kg	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
功、能、热量	$W=Fs$	焦 [耳]	J	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
功率	$P=\frac{W}{t}$	瓦 [特]	W	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
比能、比焓	$q=\frac{Q}{m}$ $h=\frac{Q}{m}$	焦 [耳] 每千克	J/kg	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
比热、比熵	$c=\frac{Q}{m\Delta T}$ $s=\frac{Q}{mT}$	焦 [耳] 每千克 开 [尔文]	J/(kg · K)	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

第五节 自 学 指 导

自学是指：按教材进行阅读、解习题、回答复习思考题，完成测验题并进行小结。

在工程热力学 (本科) 考试大纲中，提出自学方法五条。现把阅读教材、解习题、回答复习思考题、作笔记四个教学环节做一具体指导。

一、阅读教材

阅读教材是自学中最基本，也是最重要的环节。在明确学习目的后，要以顽强的意志去深入钻研教材，阅读时应集中精力，分析研究教材中的主要问题和具体内容，理论联系实际，从而把本课程的基本概念、基本理论、基本技能真正学到手。

(1) 以章为单位阅读时，最好首先粗读一遍。粗读时，不必过分拘泥于局部的繁复细节和数学推演，而侧重于对内容有一轮廓性的认识。譬如讨论的问题是什么，引入了哪些概念，解决问题时采用什么方法，以及它们的实验理论根据是什么，问题解决后得到什么