

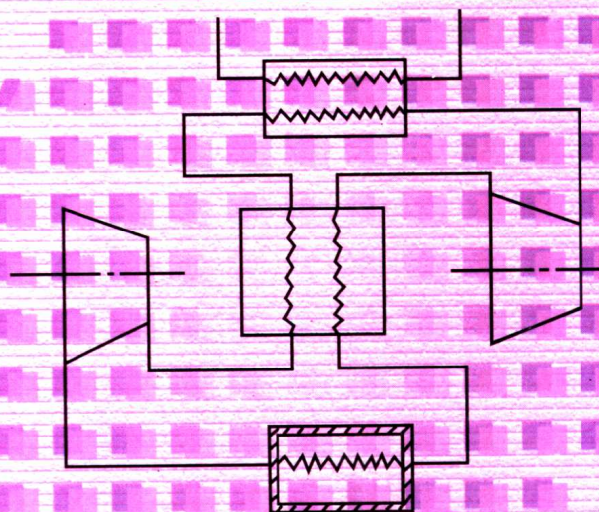
21世纪大学课程辅导丛书

工程热力学

精要分析及典型题精解

何雅玲

- ◆ 知识点阐述精练 ◆ 重点、难点突出
- ◆ 精典例题分析透彻
- ◆ 30余套名校考研试题荟萃其中



西安交通大学出版社

21 世纪大学课程辅导丛书

工程热力学精要分析 及典型题精解

何雅玲

西安交通大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学精要分析及典型题精解/何雅玲. —西安:
西安交通大学出版社, 2000.12
(21世纪大学课程辅导丛书)
ISBN 7-5605-1319-0

I. 工… II. 何… III. 工程热力学-高等学校-解题
IV. TK123-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 76490 号

*

西安交通大学出版社出版发行
(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)
陕西友盛印务有限责任公司印装
各地新华书店经销

*

开本:787mm×1 092mm 1/16 印张:26 字数:627 千字
2000 年 12 月第 1 版 2001 年 9 月第 2 次印刷
印数:3 001-6 000 定价:35.00 元

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售
部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话:(029)2668357,2667874

前 言

本书是作者在长期教学与教改实践的基础上,按照国家教育部最新制定的多学时“工程热力学课程教学基本要求”,结合教育部《21 世纪初高等教育教学改革项目》中“能源动力类人才培养方案改革研究与实践”项目的需要及“面向 21 世纪热工课程教学内容和课程体系改革”项目的研究成果而编写的。

本书针对工程热力学的特点,将国内有特色的各种版本的工程热力学教材加以归纳总结,取其精华,融为一体。对工程热力学的基本内容、研究任务、对象、思路和方法进行了全面系统地总结,抓住基础、突出重点,有利于读者理解工程热力学的本质、把握工程热力学的主脉。具有以下特点:①思路清晰,层层深入,易于理解和掌握。本书每章均按基本要求和基本知识点、公式小结、重点与难点、典型题精解及自我测验题 6 个部分编写,仔细推敲、逐步铺垫、环环相扣,由易到难地不断深入,因此便于理解;②突出基本概念和基本原理,详细阐述了各章的基本要求和基本知识点;③明确学习重点和难点,逐一进行深入浅出的分析;④举例典型,一题多解,富有启发性,并给出了自我测验题;⑤结合工程实际,注重培养解决实际问题的能力;⑥附录多所重点院校本科生及研究生入学考试试题,供读者参考。

本书结构严谨,自成体系,既可与其他教材配套使用,也可单独使用,特别适合于能源动力类、机械类、土建类、交通运输类、化工制药类、轻工纺织食品类及环境与安全类专业,是学习工程热力学并通过研究生入学考试的有力工具,也可供有关工程技术人员自学或参考。

借此机会,作者衷心感谢教育部高等学校热工教学指导委员会主任陶文铨教授给予的关心和具体指导,感谢西安交通大学陈钟頔教授、刘志刚教授给予的关怀,感谢西安交通大学热工教研室全体同仁给予的支持。此外,浙江大学吴存真教授、华中理工大学黄素逸教授、天津大学赵镇南教授、上海交通大学童钧耕教授、哈尔滨工业大学杨玉顺教授、华南理工大学杨泽亮教授、清华大学李俊明教授也给予了热情的帮助,西安交通大学高成名研究生也协助做了许多工作,在此一并致谢。同时,对西安交通大学出版社为本书做的大量工作表示感谢。

作者对本书花费了大量的时间和精力,但限于水平,书中的错误与不妥之处仍在所难免,诚恳欢迎读者批评指正。

何雅玲

千禧年仲夏

于西安交通大学

yalinghe@xjtu.edu.cn

主要符号表

A	面积
a	加速度
c_f	流速
c	比热容(质量热容);声速
c_p	比定压热容
c_v	比定容热容
C_m	摩尔热容
$C_{p,m}$	摩尔定压热容
$C_{v,m}$	摩尔定容热容
D	蒸汽量
d	耗汽量(耗汽率);含湿量(比湿度)
E	储存能
e	比储存能
E_x	有效能(焵)
e_x	比有效能(比焵)
$E_{x,Q}$	热量有效能(热量焵)
$e_{x,Q}$	比热量有效能
$E_{x,U}$	热力学能有效能
$e_{x,U}$	比热力学能有效能
$E_{x,H}$	焵有效能
$e_{x,H}$	比焵有效能
E_n	无效能
e_n	比无效能
E_k	宏观动能
E_p	宏观位能
F	力;亥姆霍兹函数
f	比亥姆霍兹函数
G	吉布斯函数
g	重力加速度;比吉布斯函数
H	焵
h	高度;比焵;普朗克常数
H_m	摩尔焵
ΔH_0^0	标准燃烧焵
ΔH_f^0	标准生成焵
I	有效能损失(能量损耗)
i	比有效能损失(比能量损耗)

K_c	以浓度表示的化学平衡常数
K_p	以分压力表示的化学平衡常数
L, l	长度
M	摩尔质量
Ma	马赫数
M_r	相对分子质量
M_{eq}	平均摩尔质量(折合摩尔质量)
n	多变指数,物质的量
P	功率
p	绝对压力
p_0, p_b	大气环境压力
p_g	表压力
p_i	分压力
p_s	饱和压力
p_v	真空度;湿空气中水蒸气分压力
Q	热量
q	比热量
q_m	质量流量
q_v	体积流量;容量制冷量
Q_p	定压热效应
Q_v	定容热效应
R	摩尔气体常数
R_g	气体常数
$R_{g,exl}$	平均气体常数(折合气体常数)
S	熵
s	比熵
S_g	熵产
S_f	熵流
$S_{f,Q}$	热熵流
$S_{f,m}$	质熵流
S_m	摩尔熵
S_m^0	标准摩尔绝对熵
T	热力学温度
t	摄氏温度
T_s, t_s	沸点温度;饱和温度
T_w	湿球温度
U	热力学能

u	比热力学能
U_m	摩尔热力学能
V	体积
V_m	摩尔体积
v	比体积(质量体积)
W	膨胀功
w	比膨胀功
W_{net}	净功
w_{net}	比净功
W_t	技术功
w_t	比技术功
W_s	轴功
w_s	比轴功
W_f	流动功
w_f	比流动功
W_u	有用功
w_u	比有用功
w_i	质量分数
x	干度(专指湿蒸气中干饱和蒸气的质量分数)
x_i	摩尔分数
z	压缩因子;高度

希腊字母

α	抽汽量;离解度
α_V	体膨胀系数
γ	比热比(质量热容比)
ϵ	制冷系数;压缩比;化学反应度;粒子能量
ϵ'	供热系数
$\eta_{C,s}$	压气机绝热效率
η_{e_x}	有效能(焵)效率
η_N	喷管效率
η_T	蒸汽轮机、燃气轮机相对内效率
$\eta_{t,c}$	卡诺循环热效率
η_t	循环热效率
η_R	回热器效率
κ	等熵指数
κ_S	等熵压缩率

κ_T	等温压缩率
λ	升压比
μ	化学势
μ_j	绝热节流系数(焦汤系数,微分节流温度效应)
ξ	能量利用系数;热量利用系数
π	压力比(增压比)
ν	化学计量系数
ν_{cr}	临界压力比
ρ	密度;预胀比
σ	表面张力;回热度
τ	时间
φ	相对湿度;喷管速度系数
φ_i	体积分

下角标符号

a	空气中干空气的参数
ad	绝热系
B	锅炉
C	临界点参数
C	压缩机
con	冷凝器
cr	临界流动状况的参数
cv	控制体积
f	流体的参数
fg	汽化
g	气体的参数
G	发电机
i	序号
in	进口参数
iso	孤立系统
j	序号
m	物质的量;平均值
o	环境的参数;滞止参数
out	出口参数
opt	最佳值
p	定压过程物理量
P	管道;水泵
r	对比参数

re	可逆过程
s	等熵过程物理量
s	饱和状态参数
T	等温过程物理量
T	汽轮机;燃气轮机
tp	三相点
u	有用的功量
V	定容过程物理量
v	湿空气中蒸汽的物理量
w	水的参数



何雅玲 1963年生。现任教育部高等学校热工课程教学指导委员会委员，兼能源动力学科教学指导委员会秘书，中国工程热物理学会能源利用专业委员会委员，西安交通大学教授。近年来，主要从事新型制冷机、传热传质等低温制冷、工程热物理方面的研究。负责、参加多项“九五”国家重点科技攻关、国家重点基础研究(973)、国家自然科学基金、国家863攻关等科研项目。是国家级《工程热力学》、《传热学》课程题库的主要负责人。获科研、教学成果奖15项，其中，教育部科技进步一等奖1项；校科技进步一等奖1项；国家级优秀教学成果一等奖、二等奖各1项；省优秀教学成果特等奖2项、一等奖2项；校优秀教学成果一等奖7项。出版著作、教材6部(含合编)。在国际刊物、国内重要刊物上发表论文70余篇，被SCI、EI检索20余篇。

目 录

主要符号表

第 1 章 基本概念

1.1 基本要求	(1)
1.2 基本知识点	(1)
1.2.1 工程热力学的研究对象和方法	(1)
1.2.2 热力系和工质	(2)
1.2.3 平衡状态	(2)
1.2.4 状态参数、状态公理与状态方程式	(3)
1.2.5 热力过程、功量和热量	(4)
1.2.6 热力循环	(4)
1.2.7 工程热力学的分析方法	(5)
1.3 公式小结	(6)
1.4 重点与难点	(6)
1.4.1 一些重要概念	(6)
1.4.2 状态量与过程量	(8)
1.5 典型题精解	(9)
1.6 自我测验题	(12)

第 2 章 热力学第一定律

2.1 基本要求	(14)
2.2 基本知识点	(14)
2.2.1 热力学第一定律的实质	(14)
2.2.2 储存能	(14)
2.2.3 迁移能——功量和热量	(15)
2.2.4 焓	(16)
2.2.5 闭口系的能量方程	(16)
2.2.6 稳定流动系的能量方程	(17)
2.2.7 一般开口系的能量方程	(18)
2.3 公式小结	(18)
2.4 重点与难点	(19)
2.4.1 焓	(19)
2.4.2 功、稳定流动过程中几种功的关系	(20)
2.4.3 能量方程式的应用	(21)
2.5 典型题精解	(23)

2.5.1	闭口系能量方程的应用	(23)
2.5.2	稳定流动能量方程的应用	(26)
2.5.3	一般开口系能量方程的应用	(32)
2.6	自我测验题	(34)

第3章 理想气体的性质与过程

3.1	基本要求	(37)
3.2	基本知识点	(37)
3.2.1	理想气体的概念及状态方程式	(37)
3.2.2	理想气体的比热容	(38)
3.2.3	理想气体的热力学能、焓和熵	(39)
3.2.4	研究热力过程的目的和方法	(40)
3.2.5	基本过程及多变过程的分析	(41)
3.3	公式小结	(42)
3.3.1	理想气体的热力性质	(42)
3.3.2	理想气体的热力过程	(43)
3.4	重点与难点	(44)
3.4.1	理想气体的热力性质	(44)
3.4.2	理想气体的热力过程	(45)
3.5	典型题精解	(50)
3.5.1	理想气体状态方程的应用	(50)
3.5.2	理想气体的比热容	(51)
3.5.3	理想气体热力过程的计算	(54)
3.5.4	过程在 $p-v$ 图, $T-s$ 图上的表示与分析	(65)
3.6	自我测验题	(68)

第4章 热力学第二定律与熵

4.1	基本要求	(71)
4.2	基本知识点	(71)
4.2.1	热过程的方向性与热力学第二定律的表述	(71)
4.2.2	卡诺循环和卡诺定理	(72)
4.2.3	熵的导出及孤立系熵增原理	(74)
4.2.4	熵方程	(76)
4.2.5	焓及其计算	(77)
4.3	重点与难点	(79)
4.4	典型题精解	(83)
4.4.1	判断过程的方向性,求极值	(83)
4.4.2	典型不可逆过程有效能损失的计算	(89)
4.4.3	焓	(93)

4.5	自我测验题	(94)
第5章 热力学一般关系式及实际气体的性质		
5.1	基本要求	(97)
5.2	基本知识点	(97)
5.2.1	热力学一般关系式	(97)
5.2.2	实际气体的性质	(101)
5.3	公式小结	(104)
5.4	重点与难点	(105)
5.4.1	热力学一般关系式	(105)
5.4.2	实际气体的性质	(105)
5.5	典型题精解	(106)
5.6	自我测验题	(112)
第6章 蒸气的热力性质		
6.1	基本要求	(114)
6.2	基本知识点	(114)
6.2.1	汽化与饱和	(114)
6.2.2	蒸气的定压发生过程	(115)
6.2.3	蒸气的热力性质图表	(116)
6.2.4	蒸气的热力过程	(117)
6.3	重点与难点	(117)
6.4	典型题精解	(120)
6.5	自我测验题	(130)
第7章 理想气体混合物及湿空气		
7.1	基本要求	(132)
7.2	基本知识点	(132)
7.2.1	理想气体混合物	(132)
7.2.2	湿空气	(135)
7.3	公式小结	(138)
7.3.1	理想气体混合物	(138)
7.3.2	湿空气	(139)
7.4	重点与难点	(140)
7.4.1	理想气体混合物	(140)
7.4.2	湿空气	(140)
7.5	典型题精解	(142)
7.5.1	理想气体混合物	(142)
7.5.2	湿空气	(148)
7.6	自我测验题	(155)
第8章 气体和蒸气的流动		
8.1	基本要求	(157)

8.2	基本知识点	(157)
8.2.1	一元稳定流动的基本方程式	(157)
8.2.2	促使流速改变的条件	(158)
8.2.3	喷管的热力计算	(159)
8.2.4	有摩阻的绝热流动	(161)
8.2.5	绝热节流	(162)
8.2.6	绝热流动混合	(162)
8.3	公式小结	(162)
8.4	重点与难点	(164)
8.4.1	难点	(164)
8.4.2	重点	(165)
8.5	典型题精解	(168)
8.6	自我测验题	(178)
第9章 气体和蒸气的压缩		
9.1	基本要求	(181)
9.2	基本知识点	(181)
9.2.1	活塞式压气机的过程分析	(181)
9.2.2	多级压缩、中间冷却	(183)
9.2.3	活塞式压气机的余隙影响	(184)
9.2.4	叶轮式压气机	(185)
9.3	公式小结	(186)
9.4	重点与难点	(186)
9.5	典型题精解	(187)
9.6	自我测验题	(197)
第10章 热力装置及其循环		
10.1	基本要求	(199)
10.2	基本知识点	(199)
10.2.1	分析循环的一般方法	(199)
10.2.2	活塞式内燃机循环	(200)
10.2.3	燃气轮机装置循环	(203)
10.2.4	蒸汽动力循环	(207)
10.2.5	制冷循环	(210)
10.3	公式小结	(215)
10.3.1	活塞式内燃机循环	(215)
10.3.2	燃气轮机装置循环	(215)
10.3.3	蒸汽动力循环	(216)
10.3.4	制冷循环	(217)
10.4	重点与难点	(217)
10.5	典型题精解	(220)

10.5.1	循环的定性分析	(220)
10.5.2	循环的热力学第一定律分析和计算	(225)
10.5.3	循环的热力学第二定律分析和计算	(245)
10.6	自我测验题	(249)
第 11 章 化学热力学基础		
11.1	基本要求	(252)
11.2	基本知识点	(252)
11.2.1	基本概念	(252)
11.2.2	热力学第一定律在化学反应系统中的应用	(253)
11.2.3	热力学第二定律在化学反应系统中的应用	(254)
11.2.4	热力学第三定律和绝对熵	(257)
11.3	重点与难点	(258)
11.3.1	一些概念的区别	(258)
11.3.2	热效应的计算	(259)
11.3.3	关于平衡常数的几点说明	(261)
11.4	公式小结	(262)
11.5	典型题精解	(264)
11.6	自我测验题	(271)
附录 A 全国部分重点大学硕士研究生入学考试工程热力学试题及部分题解		
A.1	西安交通大学研究生入学考试,工程热力学 1995~2001 年 7 届试题及题解	(274)
A.2	上海交通大学研究生入学考试,工程热力学 1998~1999 年试题	(320)
A.3	浙江大学研究生入学考试,工程热力学 1997~1999 年试题	(324)
A.4	华中理工大学研究生入学考试,工程热力学 1997~1999 年试题	(330)
A.5	哈尔滨工业大学研究生入学考试,工程热力学 1997~1999 年试题	(336)
A.6	天津大学研究生入学考试,工程热力学 1997,1999 年试题	(339)
A.7	华南理工大学研究生入学考试,工程热力学 1997~1999 年试题	(343)
附录 B 全国部分重点大学工程热力学期末考试试题及部分题解		
B.1	西安交通大学工程热力学 4 届期末考试试题及题解	(351)
B.2	清华大学工程热力学期末考试试题	(376)
B.3	上海交通大学工程热力学 2 届期末考试试题	(378)
B.4	哈尔滨工业大学工程热力学 2 届期末考试试题	(382)
B.5	天津大学工程热力学期末考试试题	(386)
B.6	华南理工大学工程热力学 3 届期末考试试题	(388)
自我测验题答案		(394)
主要参考文献		(402)

第 1 章 基本概念

在工程热力学中,要用到一组基本概念,这些概念构成了工程热力学独特研究方法的基础。对这些基本概念,读者一开始就必须予以重视,正确地理解它们的含义。然后,随着课程的展开,逐步学会熟练地利用它们来分析问题。

本章先对工程热力学的研究对象和研究方法,以及一些主要的基本概念、定义和术语作简要阐述,并以此为基础,在以后的章节中逐步扩展、深化。此外,对工程热力学分析问题的特点、方法和步骤也在原则上作了介绍,并提出了一些建议。

1.1 基本要求

1. 了解工程热力学的研究对象和研究方法。
2. 掌握工程热力学中一些基本术语和概念:热力系、平衡态、准平衡过程、可逆过程等。
3. 掌握状态参数的特征,基本状态参数 p, v, T 的定义和单位等。掌握热量和功量过程量的特征,并会用系统的状态参数对可逆过程的热量、功量进行计算。
4. 了解工程热力学分析问题的特点、方法和步骤。

1.2 基本知识点

1.2.1 工程热力学的研究对象和研究方法

1. 研究对象

工程热力学是研究热能与其他形式的能量(尤其是机械能)相互转换规律的一门学科。工程热力学的主要研究课题归纳起来包括以下几个方面:

(1) 研究能量转换的客观规律,即热力学第一定律与第二定律。这是工程热力学的理论基础。其中,热力学第一定律从数量上描述了热能和机械能相互转换时的关系;热力学第二定律从质量上说明了热能与机械能之间的差别,指出能量转换的方向性。

(2) 研究工质的基本热力性质。

(3) 研究各种热工设备中的工作过程。即应用热力学的基本定律分析计算工质在各种热工设备中所经历的状态变化过程和循环,并探讨和分析影响能量转换效果的因素,以及提高转换效果的途径。

(4) 研究与热工设备工作过程直接有关的一些化学和物理化学问题。目前,热能的主要来源是依靠燃料的燃烧,而燃烧是剧烈的化学反应过程,因此需要讨论化学热力学的基础知识。

2. 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;一种是微观研究方法。

宏观研究方法把物质看成连续的整体,并用宏观物理量来描述其状态,而不考虑物质的微

观结构。以根据大量的观察和实验所总结出的基本定律为基础,进行演绎及推理,得出描述物质性质的宏观物理量之间的普遍关系及其他一些重要推论。这种方法具有高度的可靠性和普遍性,但由于不涉及物质的微观结构,因而往往不能解释热现象的本质及其内在机理。

微观研究方法是从物质由大量分子和原子所构成这一事实出发,利用表征分子、原子等运动规律的量子力学和统计方法,来研究热现象的规律。它弥补了宏观研究方法的不足,但所采用的微观结构模型基于必要的假设,只是实际结构的近似,结论在数量上与实际不完全符合,而且数学处理远比宏观方法复杂得多。

应用宏观研究方法的热力学称为宏观热力学,或经典热力学及唯象热力学。应用微观研究方法的热力学称为微观热力学,或统计热力学。

作为应用科学之一的工程热力学,以宏观研究方法为主,微观理论的某些结论用来帮助理解宏观现象的本质。

1.2.2 热力系和工质

1. 热力系

(1) 定义: 根据研究问题的需要,人为地选取一定范围内的物质作为研究对象,称其为热力系(统),简称为系统。热力系以外的物质称为外界。热力系与外界的交界面称为边界。边界面的选取可以是真实的,也可以是假想的;可以是固定的,也可以是运动的;还可以是这几种边界面的组合。

(2) 分类: 按系统与外界的质量和能量交换情况的不同,热力系可分为:

闭口系——热力系与外界无物质交换的系统。由于系统所包含的物质质量保持不变,亦称之为控制质量系统。对于闭口系,常用控制质量法来研究。

开口系——热力系与外界有物质交换的系统。开口系通常总是取一相对固定的空间,又称为控制容积系统,对其常用控制容积法来研究。

绝热系——热力系与外界无热量交换的系统。

孤立系——热力系与外界无任何能量和物质交换的系统。

简单可压缩系——热力系由可压缩流体构成,与外界只有可逆体积变化功的交换的系统。工程热力学讨论的大部分系统都是简单可压缩系。

另外,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。

2. 工质

用来实现能量相互转换的媒介物称为工质,它是实现能量转换必不可少的内部条件。

不同性质的工质对能量转换效果有直接影响,所以工质性质的研究是本学科的重要内容之一。在工程热力学中,主要研究对体积变化敏感,且迅速有效的气(汽)态工质及涉及气(汽)态工质相变的液体。

1.2.3 平衡状态

1. 状态

热力系在某一瞬间所呈现的宏观物理状况称为系统的状态。从热力学的观点出发,状态可分为平衡和非平衡两种。前者是经典热力学理论框架得以建立的重要基础;后者属于非平衡态热力学(或不可逆热力学)的研究范畴。