

# 工程热力学

## 精要解析

何雅玲



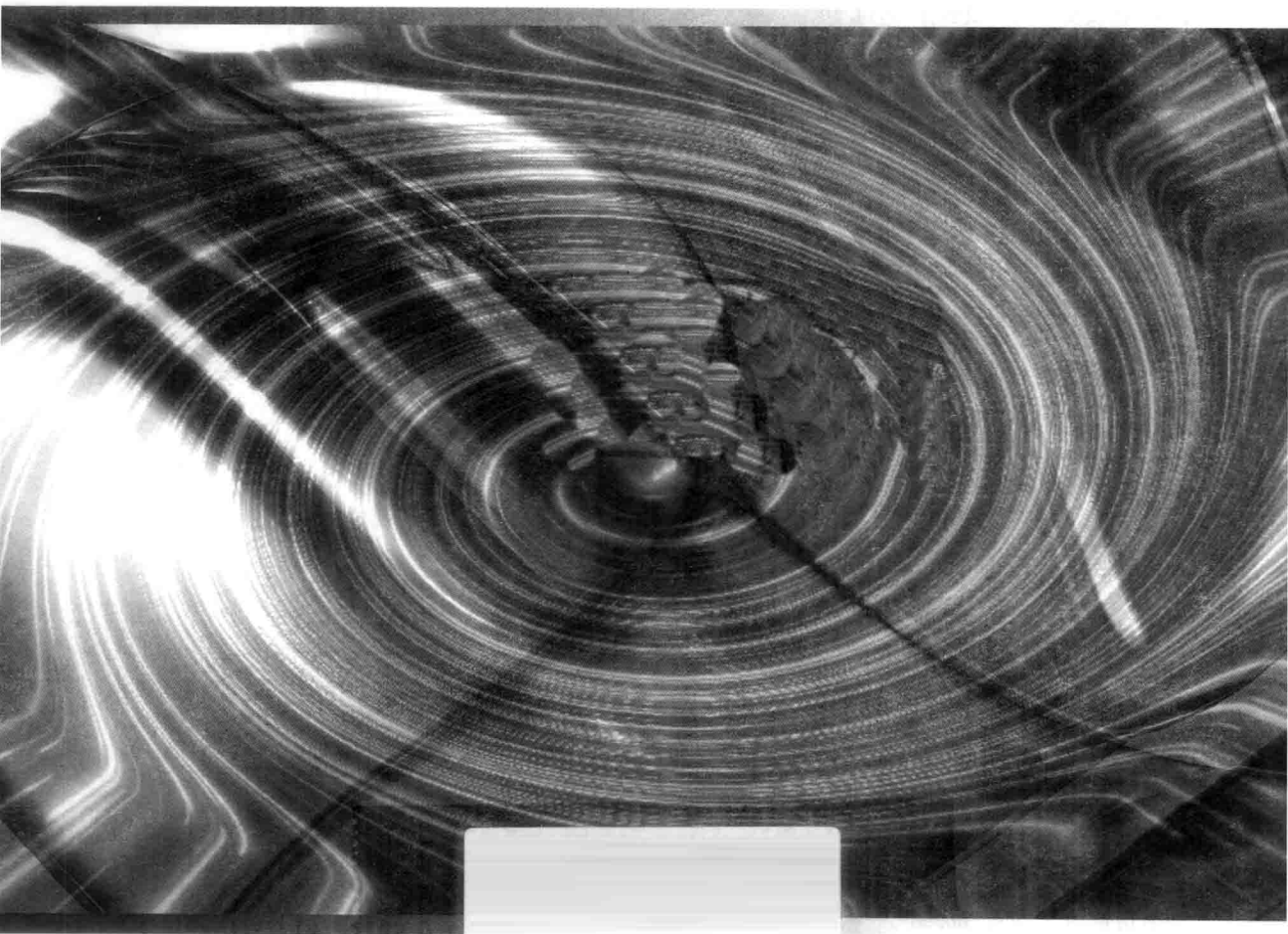
西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



# 工程热力学

## 精要解析

何雅玲



西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

## 内容简介

本书是作者在教学与教改实践的基础上,结合长期的教学经验、心得体会编写而成的。

本书按照“工程热力学”典型教材的章节进行划分,每章均按照基本要求、基本知识点、公式小结、重点与难点、典型题精解、自我测试等6个环节来编写,环环相扣,逐步铺垫和展开,做到层层深入,易于理解;突出了基本概念、基本原理,明确了重点和难点;列举了大量的经典例题,一题多解,大多附有启发读者思维的讨论,往往可以收到举一反三、画龙点睛的作用,并有自我测试题;结合工程实际,注重培养学生解决实际问题的能力;收录了多所高校的近年考研题,供读者参考。

本书可作为学生、教师及工程技术人员学习“工程热力学”时的参考用书,尤其对报考能源动力类研究生的考生有很大的参考价值 and 指导作用。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

工程热力学精要解析/何雅玲编著. —  
西安:西安交通大学出版社,2014.10  
ISBN 978-7-5605-6778-5

I. ①工… II. ①何… III. ①工程热力学 IV.  
①TK123

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 217152 号

---

书 名 工程热力学精要解析  
编 著 何雅玲  
责任编辑 任振国

出版发行 西安交通大学出版社  
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>  
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)  
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280  
印 刷 陕西时代支点印务有限公司

---

开 本 787mm×1 092mm 1/16 印张 30.125 字数 735 千字  
版次印次 2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5605-6778-5/TK·115  
定 价 49.80 元

---

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdjgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

# 前 言

热现象是自然界与科学技术领域中最普遍的物理现象,热能的转换和利用仍然是人类有效利用能源的最主要方式,而工程热力学就是研究热功转换规律、热能合理利用的科学。我国目前的能源战略形势不容乐观,一方面人均能源资源量少,另一方面,能源利用效率低,环境污染严重,这极大地制约了国民经济的发展和人民生活水平的提高。因此,“工程热力学”作为能源科学的一门理论基础课程,必须予以重视。

作者长期从事工程热力学、传热传质学等工程热物理方面的教学与科研工作,是国家级工程热力学、传热学课程试题库的负责人,比较了解学生在学习“工程热力学”时的难点和困惑点所在,也对如何使学生更好地学习、掌握工程热力学的基本知识作过一些探索,积累了一定的经验。2000年,作者编写出版了《工程热力学精要分析及典型题精解》一书,几经重印,受到了全国有关高校广大任课教师和学生的欢迎,同时也给作者提出了一些很好的建议。

为了帮助读者更好地掌握“工程热力学”这门重要课程,本书在编写过程中,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;同时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的总结,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。具体来说:(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试题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,并给出了自我测试题;(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和研究生入学考试试题,有很大的参考价值。

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,作者衷心感谢给予关心和支持的各位前辈、各位同仁,衷心感谢对作者予以鼓励和厚爱的热心读者,感谢西安交通大学出版社对出版此书付出的辛勤工作。

由于水平所限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

何雅玲

于西安交通大学

yalinghe@mail.xjtu.edu.cn



何雅玲,女,博士,西安交通大学教授,博士生导师,国家何梁何利科学与技术进步奖获得者,国家 973 项目首席科学家,教育部长江学者,国家杰出青年科学基金获得者及全国百篇优秀博士论文获得者,国家级教学名师,被人事部、科技部等七部委联合确定的新世纪百千万人才工程国家级人才,国家人事部、教育部授予的全国模范教师。国家首批优秀教学团队负责人,教育部创新团队负责人。“工程热力学”国家级精品课程及国家级精品资源共享课程的负责人。

在工程热物理等方面研究成绩显著,获 2012 年国家自然科学二等奖(第 1 获奖人),2009 年国家技术发明二等奖(第 1 获奖人),2004 年国家自然科学二等奖(第 2 获奖人),以及省部级科技一等奖 3 项。

现任热流科学与工程教育部重点实验室主任,西安交大热流科学与工程系系主任。现学术兼职有:教育部高等学校能源动力类教学指导委员会主任委员;中国工程热物理学会理事及工程热力学分科学会副主任;中国动力工程学会理事;国际制冷学会热力学与传热过程 B1 委员会副主席,国际传热传质中心科学理事会(ICHMT)委员,担任 *Heat Transfer Research*, *Applied Thermal Engineering* 等 6 个国际学术期刊的副主编、编委,《科学通报》工程科学学科副主编, *Frontiers in Energy*, *Chinese Journal of Aeronautics*, 《航空学报》,《工程热物理学报》等多个国内核心期刊的编委。

主要从事能源的高效利用及节能理论与新方法研究、新能源利用(太阳能,燃料电池)、高技术中新型制冷与低温技术(电子器件冷却技术等)、流动与传热过程的数值原理及其应用等方面的研究。作为 973 首席科学家正在主持“工业余热高效综合利用的重大共性基础问题研究”项目,另外主持过国家重点基础研究(973)课题、国防 973 课题、国家自然科学基金重点与面上项目、国家 863、教育部重大科技项目、国防武器预研项目、中美、中日国际合作等科研项目 50 余项。

获科研、教学成果奖多项,其中,国家自然科学二等奖 2 项,国家技术发明二等奖 1 项,省部级科技奖 3 项;国家级优秀教学成果一等奖 2 项、二等奖 2 项,省优秀教学成果特等奖 3 项、一等奖 2 项(当年最高奖是一等奖)。出版著作、教材 10 部。发表论文 500 余篇,其中国际期刊 250 余篇,国际会议 100 余篇,被 SCI 收录 250 余篇, EI 收录 400 余篇。获授权发明专利 21 项,获得国家版权局授予的软件著作权 20 余项。独立指导硕士生、博士生 100 余名。

# 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	(82)
4.4.1	判断过程的方向性,求极值	(82)
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)
<b>第5章 热力学一般关系式及实际气体的性质</b>		
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)
<b>第6章 蒸气的热力性质</b>		
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	(129)
<b>第7章 理想气体混合物及湿空气</b>		
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)
<b>第8章 气体和蒸气的流动</b>		
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)
<b>第9章 气体和蒸气的压缩</b>		
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)
<b>第10章 热力装置及其循环</b>		
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)
<b>第 11 章 化学热力学基础</b>		
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	一些概念的区分	(258)
11.3.2	热效应的计算	(258)
11.3.3	关于平衡常数的几点说明	(260)
11.4	公式小结	(262)
11.5	典型题精解	(264)
11.6	自我测验题	(271)
<b>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</b>		
A.1	西安交通大学研究生入学考试,工程热力学试题及题解 12 套	(274)
A.2	上海交通大学研究生入学考试,工程热力学试题 2 套	(364)
A.3	浙江大学研究生入学考试,工程热力学试题 3 套	(368)
A.4	华中理工大学研究生入学考试,工程热力学试题 3 套	(374)
A.5	哈尔滨工业大学研究生入学考试,工程热力学试题 3 套	(380)
A.6	天津大学研究生入学考试,工程热力学试题 2 套	(383)
A.7	华南理工大学研究生入学考试,工程热力学试题 3 套	(387)
<b>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>		
B.1	西安交通大学工程热力学 7 届期末考试试题及题解	(395)
B.2	清华大学工程热力学期末考试试题	(440)
B.3	上海交通大学工程热力学 2 届期末考试试题	(442)
B.4	哈尔滨工业大学工程热力学 2 届期末考试试题	(446)
B.5	天津大学工程热力学期末考试试题	(450)
B.6	华南理工大学工程热力学 3 届期末考试试题	(452)
<b>自我测验题答案</b>		(458)
<b>主要参考文献</b>		(466)

## 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(炯)
$e_x$	比有效能(比炯)
$E_{x,Q}$	热量有效能(热量炯)
$e_{x,Q}$	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
$E_{x,H}$	焓有效能
$e_{x,H}$	比焓有效能
$E_n$	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
$H$	焓
$h$	高度; 比焓; 普朗克常数
$H_m$	摩尔焓
$\Delta H_0^0$	标准燃烧焓
$\Delta H_f^0$	标准生成焓
$I$	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
$R_{g,eq}$	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

$\alpha$	抽汽量;离解度
$\alpha_V$	体膨胀系数
$\gamma$	比热比(质量热容比)
$\epsilon$	制冷系数;压缩比;化学反应度;粒子能量
$\epsilon'$	供热系数
$\eta_{C,s}$	压气机绝热效率
$\eta_{e_x}$	有效能(烟)效率
$\eta_N$	喷管效率
$\eta_T$	蒸汽轮机、燃气轮机相对内效率
$\eta_{t,c}$	卡诺循环热效率
$\eta_t$	循环热效率
$\eta_R$	回热器效率
$\kappa$	等熵指数
$\kappa_S$	等熵压缩率
$\kappa_T$	等温压缩率
$\lambda$	升压比
$\mu$	化学势

$\mu_j$	绝热节流系数(焦汤系数,微分节流温度效应)
$\xi$	能量利用系数;热量利用系数
$\pi$	压力比(增压比)
$\nu$	化学计量系数
$\nu_{cr}$	临界压力比
$\rho$	密度;预胀比
$\sigma$	表面张力;回热度
$\tau$	时间
$\varphi$	相对湿度;喷管速度系数
$\varphi_i$	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



# 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

### 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