

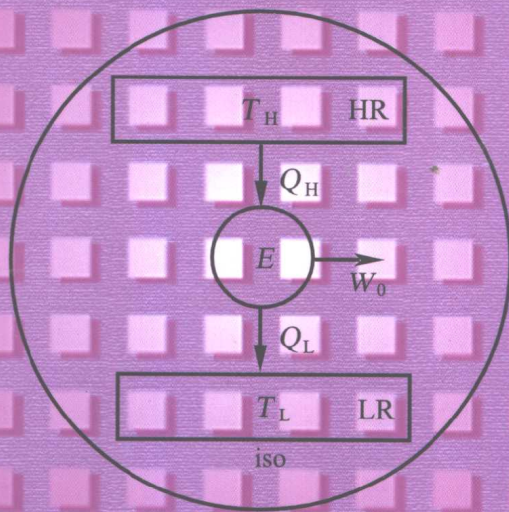
21世纪大学课程辅导丛书

# 热工基础与应用

## 重点难点及典型题精解

傅秦生 主编

傅秦生 罗来勤 编著



西安交通大学出版社

21 世纪大学课程辅导丛书

# 热工基础与应用

## 重点难点及典型题精解

傅秦生 主编  
傅秦生 罗来勤 编著

西安交通大学出版社

## 内容提要

本书是配合非能源、非动力类各专业本科生和能源、动力类各专业大专生学习“热工基础”类课程而编写的教学辅导书。本书集编者多年教学经验,对热工基础课中包括热能转换和热量传递的基本理论,以及它们在工程实际中的应用等各部分基本内容、重点和难点等进行了论述。根据热工课程教学基本要求和各部分的重点、难点,列举大量典型例题进行讲解,以提高读者的建模能力和分析问题、解决问题的能力。每章的自我测验题可供读者自我测评。

本书可作为非能源、非动力类各专业本科生和能源、动力类各专业大专生学习“热工基础”课的辅导书,也可作为“热工基础”、“工程热力学”和“传理学”等课程的函授教材和学习、考研的参考书,并可供从事热工课程教学的教师和其他工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

热工基础与应用:重点难点及典型题精解/傅秦生主编.  
—西安:西安交通大学出版社,2002.3  
(21世纪大学课程辅导丛书)  
ISBN 7-5605-1484-7

I.热… II.傅… III.热工学-高等学校-教学参考资料 IV.TK122

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第096721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)  
陕西省轻工印刷厂印装  
各地新华书店经销

\*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:19.375 字数:465千字  
2002年3月第1版 2002年3月第1次印刷  
印数:0001~3000 定价:24.00元

---

发行科电话:(029)2668357,2667874

# 前 言

能源的开发和利用在很大程度上是热能的开发和利用。涉及热能利用的热工基础类课程不但对于动力、能源类各专业的大专生,而且对于机械、建筑、交通、电气、石油化工、经济、工业管理、力学和科技外语等专业的本科生都是重要的技术基础课程。为使非能源动力类各专业本科生和能源、动力类各专业专科生学好热工基础课,配合教材《热工基础与应用》的出版(面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系改革推荐教材,傅秦生、何雅玲、赵小明编著,机械工业出版社出版),特编写了本书。同时,由于相对独立的体系和编排方式,使得本书对于任何版本的“热工基础”类教材均适用。

为适应 21 世纪人才培养的需要,根据教育部下达的“面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系改革”计划中“热工课程教学内容和课程体系的研究与实践”项目的研究,编者集多年教学经验,对热工基础课各部分内容中的重点和难点进行了较详尽的论述,借以帮助读者通过学习上的瓶颈。作为一本教学辅导书,本书的典型例题不但考虑了各学科、不同层次的需要,而且取材广泛、实用,注重学生建模能力、分析问题和解决问题能力的培养。大部分例题后的讨论不但可启发读者的思维,而且常有画龙点睛之妙。相信近 500 道典型例题的讲解和自我测验题、习题及部分重点难点习题的解答,对于掌握本学科基本知识和各种能力的培养会有很大帮助。

本书不但是“热工基础”课的教学辅导书,而且对于“工程热力学”和“传理学”的学习也有一定帮助,可以作为这两门课的函授教材和教学参考书,对于这两门课的考研学生,也定会开卷有益。本书还可供从事热工课程教学的教师及有关工程技术人员参考。

书中带有星标\*的内容,可作为加深、加宽知识面的内容。本书中提到的“教材”即指教材《热工基础与应用》,典型例题和部分重点、难点习题解答所用到的图表亦是该教材中的图表。当然,其他教材中的相应图表亦可使用。

本书由傅秦生主编,傅秦生(第 1 章,第 2 章,第 3 章,第 4 章部分和第 5 章)和罗来勤(第 4 章部分)编写。编写过程中得到西安交通大学热流中心全体同仁的支持和帮助,在此表示感谢!感谢研究生肖跃雷对部分自我测验题所做的解答。同时,对西安交通大学出版社为出版本书所做的大量工作表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者不吝赐教。

编者

2002 年 3 月于西安

MAE 10/05

# 主要符号表

$A$	截面积;表面积;(换)传热面积	$a$	热扩散率(导温系数)
$C$	热容	$C_0$	黑体辐射系数
$C_m$	摩尔热容	$C_{p,m}$	摩尔定压热容
$C_{V,m}$	摩尔定容热容	$\text{cop}$	工作性能系数
$c$	流速;比热容	$c_a$	声(音)速
$c_p$	比定压热容	$c_v$	比定容热容
$D$	过热度	$d$	含湿量;直径
$d_e$	当量直径	$d_{cr}$	临界热绝缘直径
$E$	储存能(总能量);辐射力	$E_{n,Q}$	热量无效能
$E_\lambda$	光谱辐射力	$E_{r,Q}$	热量有效能
$e$	比储存能	$e_{n,Q}$	比热量无效能
$e_{x,Q}$	比热量有效能	$F$	力,作用力
$G$	投入辐射	$g$	重力加速度
$H$	焓;高度	$h$	比焓;表面传热系数
$I$	有效能损失(炯损失);电流	$J$	有效辐射
$k$	传热系数;波耳兹曼常数	$L$	长度
$l$	特征长度;长度	$M_{eg}$	折合(平均)摩尔质量
$M$	摩尔质量;马赫数	$m$	质量
$n$	多变指数;物质的量	$P$	功率;周长
$p$	绝对压力	$p_b$	大气压力,背压
$p_g$	表压力	$p_i$	分压力
$p_s$	饱和压力	$p_v$	真空度;湿空气中的水蒸气分压
$Q$	热量	$q$	比热量;热流密度
$q_m$	质量流量	$q_v$	体积流量
$R$	摩尔气体常数;半径;热阻;电阻	$R_g$	气体常数
$R_{g,eq}$	折合(平均)气体常数	$r$	半径;汽化热;单位面积热阻; 基本量纲数
$S$	熵	$s$	比熵
$T$	热力学温度	$T_0, t_0$	环境(大气)温度
$T_d, t_d$	露点温度	$T_s, t_s$	饱和温度



$t$	摄氏温度	$t_w$	湿球温度
$U$	热力学能; 电位差	$u$	比热力学能; 速度
$V$	体积	$V_i$	分体积
$V_m$	摩尔体积	$v$	比体积
$W$	体积变化功(膨胀功)	$W_0$	净功
$W_c$	压气机耗功	$W_f$	流动功
$W_{sh}$	轴功	$W_t$	技术功
$W_{tot}$	总功	$w$	比体积变化功(比膨胀功)
$w_0$	比净功	$w_f$	比流动功
$w_{sh}$	比轴功	$w_t$	比技术功
$w_{tot}$	比总功	$w_i$	质量分数
$X$	角系数	$x$	干度; 笛卡儿坐标
$x_i$	摩尔分数	$y$	笛卡儿坐标
$z$	高度; 笛卡儿坐标	$\alpha$	回热抽汽量; 吸收比
$\alpha_V$	体积膨胀系数	$\alpha_\lambda$	光谱吸收比
$\beta$	肋化系数	$\gamma$	比热比
$\delta$	厚度; 绝对偏差	$\epsilon$	制冷系数; 压缩比; 发射率(黑度 对偏差
$\epsilon'$	供热(从暖)系数	$\zeta$	喷管能量损失系数
$\eta$	效率; 肋效率; (动力)粘度	$\eta_0$	肋面总效率
$\eta_{c,s}$	压缩机绝热效率	$\eta_N$	喷管效率
$\eta_T$	汽轮机、燃气轮机相对内效率	$\eta_t$	动力循环热效率
$\theta$	过剩温度; 温度量纲	$\kappa$	等熵指数
$\lambda$	升压比; 热导率(导热系数); 波长	$\nu$	运动粘度
$\nu_{cr}$	临界压比	$\xi$	能源消费弹性系数
$\Pi$	无量纲特征数	$\pi$	增压比
$\rho$	密度; 预胀比; 反射比;	$\sigma$	斯忒藩-波耳兹曼常量
$\tau$	时间; 粘性力; 穿透比	$\Phi$	热流量
$\Phi_L$	线热流量	$\varphi$	相对湿度; 喷管速度系数
$\varphi_i$	体积分数	$\psi$	对数平均温差修正系数
$Bi$	毕渥数	$Fo$	傅里叶数
$Gr$	格拉晓夫数	$Nu$	努塞尔数
$Pr$	普朗特数	$Re$	雷诺数
	主要下角标		
$a$	干空气参数	$ad$	绝热系
$B$	锅炉	$b$	大气; 黑体
$C$	临界状态参数	$c$	卡诺循环; 冷凝

cr	临界流动状况参数	f	流体;流动;(熵)流;流体参数
g	气体的参数;(熵)产	H	高温(热源)的
HR	热源(高温热源)	$i, j, k$	序号
iso	孤立系	k	动能
L	单位长度的;低温(热源)的	$l$	液体
LR	冷源(高温热源)	m	平均;机械;中心
max	最大	min	最小
opt	最佳	p	势能;水泵
$p$	定压过程物理量	re	可逆过程
s	定熵过程物理量	s	饱和状态
T	汽轮机、燃气轮机	$T$	定温过程物理量
v	真空;湿空气中蒸汽的物理量	$V$	定容过程物理量
w	水;湿球温度;壁面	0	环境参数;滞止参数; 初始状态参数

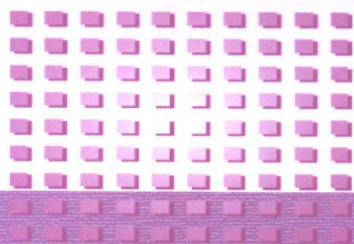


**傅秦生** 男，西安交通大学能源与动力工程学院副教授，1948年7月出生。现任中国能源研究会热力学与工程应用专业委员会委员，中国电机工程学会地热发电委员会委员。1982年获工学硕士学位，一直从事“工程热力学”、“热工基础”、“传热学”和“高等工程热力学”等本科生和研究生的教学工作，并长期进行烟分析、热经济学、有限时间热力学和热力循环研究。主持完成部委级科研项目一项，“863”科研子项目一项，以及横向科研项目多项。目前正从事“973”国家重点基础科研项目“高效节能的科学关键问题”子项目的有关研究。主持并完成教改项目多项，主编出版教材3本。发表科研与教学论文40余篇，其中多篇被SCI，EI收录。曾荣获国家优秀教学成果特等奖(集体)一项，省级优秀教学成果一等奖、校级优秀教学成果一等奖以及优秀教材一等奖等六项。



# 热工基础与应用

## 重点难点及典型题精解



# 目 录

前言

主要符号表

## 第 1 章 能源概述

1.1 自然界的能源及其利用 .....	(1)
1.1.1 基本要求 .....	(1)
1.1.2 基本知识点 .....	(1)
1.2 热能的利用 .....	(2)
1.2.1 基本要求 .....	(2)
1.2.2 基本知识点 .....	(2)
1.3 热工基础的研究对象、内容和方法 .....	(3)
1.3.1 基本要求 .....	(3)
1.3.2 基本知识点 .....	(3)
1.4 自我测验题 .....	(4)

## 第 2 章 热能转换的基本概念和基本定律

2.1 热能转换的基本概念 .....	(5)
2.1.1 基本要求 .....	(5)
2.1.2 基本知识点 .....	(5)
2.1.3 公式小结 .....	(8)
2.1.4 重点与难点 .....	(9)
2.1.5 典型题解 .....	(11)
2.2 热力学第一定律 .....	(14)
2.2.1 基本要求 .....	(14)
2.2.2 基本知识点 .....	(14)
2.2.3 公式小结 .....	(17)
2.2.4 重点与难点 .....	(17)
2.2.5 典型题解 .....	(20)
2.3 热力学第二定律 .....	(24)
2.3.1 基本要求 .....	(24)
2.3.2 基本知识点 .....	(24)
2.3.3 公式小结 .....	(27)

2.3.4 重点与难点	(28)
2.3.5 典型题解	(29)
2.4 自我测验题、习题及部分解答	(35)
2.4.1 自我测验题	(35)
2.4.2 习题及部分解答	(39)

### 第3章 热能转换物质的热力性质和热力过程

3.1 物质的三态及相变过程	(53)
3.1.1 基本要求	(53)
3.1.2 基本知识点	(53)
3.2 理想气体的热力性质和热力过程	(54)
3.2.1 基本要求	(54)
3.2.2 基本知识点	(54)
3.2.3 公式小结	(59)
3.2.4 重点与难点	(62)
3.2.5 典型题解	(66)
3.3 蒸气的热力性质和热力过程	(78)
3.3.1 基本要求	(78)
3.3.2 基本知识点	(78)
3.3.3 公式小结	(82)
3.3.4 重点与难点	(82)
3.3.5 典型题解	(84)
3.4 湿空气	(94)
3.4.1 基本要求	(94)
3.4.2 基本知识点	(94)
3.4.3 公式小结	(96)
3.4.4 重点与难点	(97)
3.4.5 典型题解	(98)
3.5 自我测验题、习题及部分解答	(101)
3.5.1 自我测验题	(101)
3.5.2 习题及部分解答	(106)

### 第4章 热量传递的基本理论

4.1 热量传递的三种基本方式简介	(122)
4.1.1 基本要求	(122)
4.1.2 基本知识点	(122)
4.1.3 公式小结	(124)
4.1.4 重点与难点	(124)
4.1.5 典型题解	(125)

4.2 导热基本定律及稳态导热 .....	(127)
4.2.1 基本要求 .....	(127)
4.2.2 基本知识点 .....	(127)
4.2.3 公式小结 .....	(129)
4.2.4 重点与难点 .....	(129)
4.2.5 典型题解 .....	(131)
4.3 非稳态导热 .....	(139)
4.3.1 基本要求 .....	(139)
4.3.2 基本知识点 .....	(139)
4.3.3 重点与难点 .....	(143)
4.3.4 典型题解 .....	(145)
* 4.4 导热问题的数值求解基础 .....	(151)
4.4.1 基本要求 .....	(152)
4.4.2 基本知识点 .....	(152)
4.4.3 重点与难点 .....	(154)
4.4.4 典型题解 .....	(155)
4.5 对流换热 .....	(158)
4.5.1 基本要求 .....	(158)
4.5.2 基本知识点 .....	(158)
4.5.3 公式小结 .....	(164)
4.5.4 重点与难点 .....	(167)
4.5.5 典型题解 .....	(172)
4.6 辐射换热 .....	(180)
4.6.1 基本要求 .....	(180)
4.6.2 基本知识点 .....	(180)
4.6.3 公式小结 .....	(184)
4.6.4 重点与难点 .....	(185)
4.6.5 典型题解 .....	(189)
4.7 自我测验题、习题及部分解答 .....	(195)
4.7.1 自我测验题 .....	(195)
4.7.2 习题及部分解答 .....	(200)

## 第5章 热工基础的应用

5.1 喷管和扩压管 .....	(217)
5.1.1 基本要求 .....	(217)
5.1.2 基本知识点 .....	(217)
5.1.3 公式小结 .....	(220)
5.1.4 重点与难点 .....	(220)
5.1.5 典型题解 .....	(223)

5.2 压气机 .....	(226)
5.2.1 基本要求 .....	(226)
5.2.2 基本知识点 .....	(226)
5.2.3 公式小结 .....	(229)
5.2.4 重点与难点 .....	(229)
5.2.5 典型题解 .....	(230)
5.3 气体动力循环与装置 .....	(234)
5.3.1 基本要求 .....	(234)
5.3.2 基本知识点 .....	(234)
5.3.3 公式小结 .....	(239)
5.3.4 重点与难点 .....	(240)
5.3.5 典型题解 .....	(241)
5.4 蒸气循环与装置 .....	(246)
5.4.1 基本要求 .....	(246)
5.4.2 基本知识点 .....	(246)
5.4.3 公式小结 .....	(249)
5.4.4 重点与难点 .....	(250)
5.4.5 典型题解 .....	(251)
5.5 换热器及其热计算 .....	(255)
5.5.1 基本要求 .....	(255)
5.5.2 基本知识点 .....	(255)
5.5.3 公式小结 .....	(258)
5.5.4 重点与难点 .....	(259)
5.5.5 典型题解 .....	(261)
5.6 其它应用简介 .....	(267)
5.6.1 基本要求 .....	(267)
5.6.2 基本知识点 .....	(267)
5.7 自我测验题、习题及部分解答 .....	(271)
5.7.1 自我测验题 .....	(271)
5.7.2 习题及部分解答 .....	(274)

**自我测验题部分参考答案**

**主要参考文献**

**索引**



# 第1章 能源概述

从学科上讲,热工基础课(如教材《热工基础与应用》)以及热工学是研究涉及热能利用的能量传递和能量转换的一门学科。热能的利用是能量利用的主要形式,因此掌握和了解能源的基本知识不但对于能源、动力类专业人材是必需的,而且对于诸如机械、建筑、力学、工业企业管理和科技外语等专业的人材培养和未来发展也是必不可少的。尤其在新来临的21世纪,能源的利用不仅关系着经济的可持续发展,而且直接影响人类生存的生态环境。所以,学习相关的能源知识是十分必要的。

## 1.1 自然界的能源及其利用

### 1.1.1 基本要求

- (1) 了解自然界能源的主要分类方法。
- (2) 基本了解能源利用与社会发展的关系,以及能源利用的三个重要历史时期。
- (3) 认识能源利用过程的环境污染,了解能源利用与生态环境、可持续发展的重要关系。
- (4) 了解我国的能源利用基本状况和存在问题。

### 1.1.2 基本知识点

#### 1. 能源及其分类

##### (1) 能源

可向人类提供各种能量和动力的物质资源称为能源。

##### (2) 能源的分类

能源可以根据来源、形态、使用程度和技术、污染程度以及性质等进行分类。对于热工工作者而言,更多的是采用一次能源和二次能源的概念,着眼于一次能源的开发和利用,并按常规能源和新能源进行研究。这样的分类见表1-1

表1-1 能源分类

类别	常规能源	新能源
一次能源	煤,石油,天然气,水力能等	核能,太阳能,风能,地热能,海洋能,生物质能等
二次能源	煤气,焦炭,汽油,柴油,液化气,电力,蒸汽等	沼气,氢能等

## 2. 能源利用与社会发展、国民经济

### (1) 能源利用的三个历史时期

从能源利用的观点看,人类社会发展经历了三个不同的历史时期:薪柴时期,煤炭时期和石油时期。其中的煤炭时期是18世纪工业大革命所开创的,20世纪50年代以后,石油和天然气的消费超过了煤炭,成为世界能源的主力,同时创造了人类历史的空前文明。

### (2) 能源消费弹性系数

在经济正常发展的情况下,一个国家的国民经济发展与能源和能源消费增长率之间一般存在着用能源消费弹性系数  $\xi$  表示的正比例关系:

$$\xi = \frac{\text{能源消费的年增长率}}{\text{国民经济生产总值的年增长率}}$$

从某种意义上讲,能源消费程度决定着人民生活水平的高低。

## 3. 能源利用与环境污染及可持续发展

### (1) 能源利用与环境污染

作为人类生存基础的能源,在其开采、输送、加工、转换、利用和消费过程中,对环境会产生各种污染,其中主要的污染有:温室效应与热污染,酸雨、臭氧层破坏,放射性污染和烟尘等其它污染。这些污染不但影响人类的生存健康,而且直接造成生态环境的破坏,制约着能源利用和国民经济可持续发展。

### (2) 可持续发展与节能

在能源利用中,必须使能源有与社会可持续发展相适应的可持续供给,并解决能源消费中的环境污染问题。节约能源是解决这些问题的战略措施之一,也是本学科要研究的一个重要方面。

## 4. 我国的能源事业

我国能源储量丰富,种类齐全。建国以来,在地质勘探、规划和加工转换等方面取得了长足的发展,建成了一个部门基本齐全、具有相当规模、布局比较合理的独立的能源工业体系。

但是在能源利用上,我国的人均占有量较少,且能源利用率很低,污染严重。为此,国务院制定了“开发与节约并重,近期要把节能放在优先地位”的能源建设总方针,1997年1月1日国家颁布了由江泽民主席签发的“中华人民共和国节约能源法”。

## 1.2 热能的利用

### 1.2.1 基本要求

- (1) 掌握热能利用的意义和分类。
- (2) 了解热科学发展简史。

### 1.2.2 基本知识

#### 1. 热能的利用

##### (1) 热能利用是能源利用的主要形式

人类利用的主要能源有:水力能、风能、地热能、太阳能、燃料的化学能和原子核能。在这些能源中,除水力能和风能是机械能外,其余都是直接或间接向人类提供热能形式的能量,且

占了相当大的比例(70% ~80%)。因此,从某种意义上讲,能源的开发和利用就是热能利用。

## (2) 热能利用的两种形式

热能的利用可分为直接利用和间接利用。**热能直接利用**是指直接用热能加热物体,热能的形式不发生变化。**热能间接利用**是把热能转换为机械能(或进而再转换为电能)以满足人类生产和生活对动力的需要。在热能的间接利用中,热能的能量形式发生了转换。

### 2. 热能利用简史和热工理论基础的学科发展

人类对热能的直接利用可以追溯到远古的钻木取火和对火的利用,至今生产和生活上的各种加热、烘干、冶炼……等设备都是直接利用热能的设备。

18世纪瓦特的蒸汽机实现了热能向机械能的能量转换,开创了热能间接利用的新纪元,导致了第一次工业革命。从此,热能的间接利用得到了广泛深入的发展,转换技术和装置不断创新。

18世纪的工业革命使生产力得到空前发展,同时导致了涉及研究热能利用的热工理论基础的两大支柱——工程热力学和传热学的出现和不断发展。

## 1.3 热工基础的研究对象、内容和方法

### 1.3.1 基本要求

- (1) 掌握本学科的研究对象和研究目的。
- (2) 掌握本学科研究的主要内容。
- (3) 了解本学科研究的主要方法,为学好本课程奠定基础。

### 1.3.2 基本知识点

#### 1. 研究对象

热工基础是研究热能利用的基本原理和规律,以提高热能利用经济性(即节能)为主要目的的一门学科。

#### 2. 主要内容

热能间接利用所涉及的热能和机械能的转换属工程热力学范畴。它的主要内容有:热力学基本定律,工质热力性质和工质热力过程等理论基础。

热能直接利用所涉及的研究热量传递规律的学科属传热学。它的主要内容是对三种不同热传递方式进行研究。热量传递的三种基本方式为:热传导,热对流和热辐射。

应用热工理论对实际工程中的工程热力过程、热力循环、装置和换热设备进行分析研究,以提高它们的能量利用经济性,是本课程的另一主要内容。

#### 3. 研究方法

热工基础所涉及的两大学科都是采用宏观和唯象的方法进行研究的,即把物质视为连续体,用宏观物理量去描述物质的性质、行为,以大量观察和实验总结出来的基本定律为依据,通过推理、演绎得出具有可靠和普遍适用的结论、公式,以解决热量传递和热能转换的问题。

## 1.4 自我测验题

- 1.1 什么是能源？主要分类方法有哪几种？什么是一次能源，什么是二次能源？
- 1.2 能源利用的三个历史时期是什么？各有哪些特征？
- 1.3 为什么说“从某种意义上讲，一个国家的能源消费水平反映了这个国家人民生活的水平”？
- 1.4 什么是温室效应？它对生态环境造成怎样的破坏？
- 1.5 造成臭氧层破坏的主要物质是什么？如何减少这些物质的排放和保护臭氧层？
- 1.6 能源利用过程中，加强环境保护的意义何在？
- 1.7 我国发展能源事业的基本方针是什么？为什么把节约能源作为长期战略方针，并由法律形式——“节约能源法”加以保证？
- 1.8 为什么说能源的利用主要是热能的利用？
- 1.9 热能利用的两种形式是什么？对于它们的研究各属什么学科？
- 1.10 本学科的研究对象是什么？与“节能”有怎样的关系？
- 1.11 热工基础的主要内容是什么？采用了怎样的研究方法？
- 1.12 学习本章对学好后续章节有什么重要作用？