



普通高等教育“十二五”规划教材

能源动力类专业

工程热力学

华永明 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

工程热力学

编著 华永明

主审 吴慧英



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书共十二章，主要讲述热力学基本概念、基本定律、气体和蒸汽的热力性质以及各种热力过程和热力循环，对热力学基本关系式和化学热力学也作了扼要的介绍。书中附有例题和习题以及必要的热工图表。全书采用我国法定计量单位，但考虑到当前工程实际，对某些工程单位也做了必要的说明。

本书立足于“教”和“学”，力图能让学生很轻松快乐地理解概念、掌握原理和方法，在文字和图形上力求讲解清晰明白，在符号系统上力图简化，在章节安排上注意教学时间的控制，在内容上注重前后衔接和逻辑的严密性。本书前十章适用64学时教学，第十一、十二章为72学时增加的授课内容。

本书可作为能源动力类专业工程热力学课程教学用书，也可作为从事核电厂设计、制造、运行、管理的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程热力学/华永明编著. —北京：中国电力出版社，2013.9
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5123-4836-3

I. ①工… II. ①华… III. ①工程热力学—高等学校—教材
IV. ①TK123

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 193469 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013年9月第一版 2013年9月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15.25印张 366千字

定价 28.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



序 1

苦甘吾自知

华老师布置我给他编写的《工程热力学》写序言，我心中诚惶诚恐：一个无知学子，岂敢在教材上信口开河。不过，这本教材使我回忆起学习热力学时的种种甘苦，是值得写出来和学弟学妹们分享的。

工程热力学是一门比较抽象的课程。温度压力很简单，涉及热力学能就复杂起来，碰上焓已“焓焓糊糊”，遇到熵更“熵透脑筋”；热力过程分析也是难点诸多，涉及平衡与非平衡、可逆和不可逆时，显得烦琐难懂、玄而又玄。

东南大学学生最喜爱的华老师，以自己对工程热力学的精深理解和多年教学经验，将枯燥的理论讲得更加有趣，课堂上的分析举例无不切中难解之处。现在华老师俨然把他的教学风格延伸到教材之中：书中有丰富的热力学发展史背景，穿插最新的研究成果，同时还加入很多有趣的评论，甚至在十二章中，华老师居然抱怨说：“物理学家太多产麻烦在于：在电路、热化学领域和热辐射领域都有以基尔霍夫命名的定律”；同时教材行文更加清晰易懂，分析翔实，深中肯綮；教材的知识结构布置更加合理、易于掌握，明显是从学生角度出发而编写，读来顿觉又回到了华老师妙趣横生的课堂。

上工程热力学时，我和赵璐等同学深感查询水和水蒸气参数之不便，于是在华老师的指导下，利用国际水蒸气性质协会公布的计算公式，编制了手机上运行的水蒸气热力性质计算程序。这个过程并不像看起来那么简单，尽管公式是现成的，但是仍然需要我们对水和水蒸气特性进行深入了解：如气液两相区数值求解、饱和参数判断、部分区域同样温度焓值的两组状态参数判断、超临界区域状态参数判断等问题；同时需要考虑手机的运行速度和精度，必须小心选择计算方法和实现方法。解决这些问题动用了我们所学的全部热力学知识和计算机知识。该程序最终发布为同学们提供了方便，并在每一届学生中流传。

充分调用所学知识，学以致用，这给我们带来的莫大快乐只有自己经历过才能深刻体会。水和水蒸气的手机工具，虽然算不上什么科研成果，却是几个本科生在工程热力学学习过程中所获得的最光辉的成绩，也是我学习这门课程的一大收获。

工程热力学的学习无疑是困难的，但也是充满快乐的。有了这么一本有趣、好懂、易于掌握的课本无疑是学习中的幸事；如果能够积极将学到的知识应用到实际中去，更能使大家感受到学习的乐趣。

学生：李森 2013年5月13日

东南大学2008届学生，保送东南大学博士研究生



序 2

致我们听华老师讲热力学的日子

收到华老师的书稿，迫不及待地阅读。熟悉的风格，熟悉的字句，心中默念，不愧是我们的华老师，一贯的引人入胜，一贯的深入浅出，一贯的旁征博引，一贯的严谨认真。

依然记得华老师在我们的第一堂热力学课上讲的一句话“正确的东西往往是简单的”。当时的我翻着天书般写满各种公式的教材，心中满是疑惑，传说中的“四大名捕”之一能够简单搞定吗？接下来却慢慢发现每一堂课华老师都在用他的方法和行动向我们证实这句话。华老师讲热力学，没有传统的照本宣科，没有快闪的 PPT 展示，取而代之的是生活现象引发的思考，应用实例的原理解析，简明精辟的归纳总结，科学原理背后的趣味故事。六块黑板，右下角那块是华老师的“保留地”，形象简明的示意图或引出知识，或解释原理；其余五块则永远整齐、简明地写满华老师的板书。热力学课的笔记，视若珍宝，重新整理抄写过不下五遍，至今带着原版，查阅时总能立刻找到相关内容。热力学的作业每次至少写两遍，不是完成不了，更不是作业量大，而是想用干净整洁的作业向认真的老师表达感谢。听华老师讲热力学，羡慕他总有讲不完的故事，惊讶他能够运用科学原理将生活现象解释得如此完美，感叹他能够将复杂的知识概括得清晰简单。暗自勉励自己，要多读书，勤思考，多积累。

翻看本书有一种亲切熟悉的感觉，脑海中总闪现华老师讲课的情形，浑厚的嗓音，幽默的语言，还有大汗淋漓写板书的背影。化繁为简的授课理念，生动幽默的课堂氛围，一丝不苟的现场板书，此般精彩的课堂，此般快乐的学习经历迄今难再遇到。

2008 年老师就曾提到过想写一本工程热力学教材，如今终于面世。我想这本书的酝酿时间或许比五年更久，字字句句都凝结着老师这十多年来的心血和经验。拥有此书的学弟学妹们请好好珍惜珍藏。

感恩在二十年的读书经历中能够遇上华老师这样的好老师，钦佩老师的为人、为学、为师之道。等到重回东大时，希望能够有机会再去听华老师讲课。

祝贺华老师的《工程热力学》出版！

学生：杨燕梅 2013 年 5 月 4 日

东南大学 2011 届学生，保送清华大学博士研究生



前 言

工程热力学课程是动力工程类专业最重要的基础课之一，通常也是动力工程类学生接触到的第一科带有强烈专业特征的课程。

本书编者承担工程热力学的教学逾十年，期间经过反复的实践和改进，终于能以较高水平熟练地讲授这门课程，并因此三次获得东南大学教学优秀一等奖，三次在学生会评选的“东南大学十大学生最喜爱的老师”中上榜。

在本课程的教学过程中，编者立足于严密的课程体系，通过规范的理论分析并结合实践特点，对工程热力学中的基本概念，热力学定律，工质的性质、过程和循环进行分析研究，方便学生掌握工程热力学的内容，并建立严谨的科学研究方法。

在教学过程中，编者时刻立足于使学生理解理论、掌握方法，坚持删繁就简，抓住核心，舍弃过多的细节，以课程重点和难点的分析为主要教学内容，同时注意培养学生分析问题和解决问题的能力，收到了良好的效果。

编者希望本教材能利教利学，因此除了常规的热力学内容外，书中引入了现代最新科学和技术发展的成果，以期引发学生进一步学习的兴趣。

本书第一～十章适合 64 课时教学安排，第十一、十二章为 72 课时增加的授课内容。

本书由东南大学华永明编著。在本书编写过程中，蔡亮教授、姜慧娟副教授、段伦博副教授给予了大力的支持和帮助，同时感谢周强泰教授、施明恒教授、虞维平教授、李鹤立副教授、王素美副教授、赵玲玲副教授等人的支持和帮助。本书由上海交通大学吴慧英教授主审，主审老师对本书提出不少宝贵的意见和建议，使本书增色不少。

虽然编者以无比认真的态度来进行本教材的编写，但更真诚地希望所有的同事和学生们能对本教材进行实事求是的评价，指出存在的问题，本人愿与大家共同努力，使本教材成为热力学教材中的成功一员。

东南大学 华永明

2013 - 05 - 23

符 号 说 明

英 文 字 母

A	面积, m^2
C	物质的热容, kJ/K ; 余隙容积比
COP	循环性能系数 (coefficient of performance)
c	物质的比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; 工质的流速, m/s
c_p	物质的比定压热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
c_v	物质的比定容热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
d	汽耗率, kg/kWh ; 含湿量, g/kgDA
E	物质的储存能, kJ ; 热量的可用能, kJ
EER	能效比 (energy efficiency ratio)
e	物质的比储存能, kJ/kg ; 热量的可用能, kJ/kg
F	力, N ; 物质的自由能, kJ/kg
f	物质的比自由能, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
G	物质的自由焓, kJ/kg
g	物质的比自由焓, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; 重力加速度, m^2/s
ΔG_f^0	标准生成自由焓, kJ/mol
H	物质的焓, kJ
h	物质的比焓, kJ/kg ; 高度差, m
ΔH_c^0	标准燃烧焓, kJ/mol
ΔH_f^0	标准生成焓, kJ/mol
K_p	以分压力计的化学平衡常数
L, l	长度, m
M	体系的质量, kg ; 物质的摩尔质量, kg/mol
Ma	马赫数
m	物质的质量, kg
n	物质的摩尔数, mol
p	压力, 绝对压力, Pa
p_b	背压, Pa
p_g	表压, Pa
p_i	分压力, Pa

p_N	焦—汤效应最大转变压力
p_s	饱和压力, Pa
p_v	真空度, Pa
Q	热量, kJ
q	热量, kJ/kg
q_m	质量流量, kg/s
Q_p	定压热值, kJ/mol
Q_V	定容热值, kJ/mol
R	气体常数, J/(kg · K)
R_g	通用气体常数, J/(mol · K)
r	汽化潜热, kJ/kg
S	物质的熵, kJ/K
s	物质的比熵, kJ/(kg · K)
S_f	熵流, kJ/K
s_f	比熵流, kJ/(kg · K)
S_g	熵产, kJ/K
s_g	比熵产, kJ/(kg · K)
ΔS_m^0	物质的标准绝对熵, kJ/(mol · K)
T	绝对温度, K
t	摄氏温度, °C
t_d	露点温度, °C
$T_s (t_s)$	饱和温度, K (°C)
T_t	理论燃烧温度、绝热燃烧温度, K
t_w	湿球温度, °C
U	物质的热力学能, kJ
u	物质的比热力学能, kJ/kg
V	物质的体积, m ³
V_C	余隙容积, m ³
V_h	活塞排量, m ³
v	物质的比体积 (比容), m ³ /kg
W	容积功, 膨胀功/压缩功, kJ
w	比容积功, 膨胀功/压缩功, kJ/kg
W_f	流动功, 推动功, kJ
w_f	比流动功, 推动功, kJ/kg
w_i	质量成分

W_{sh}	轴功, kJ
w_{sh}	比轴功, kJ/kg
W_u	化学反应中的有用功, kJ/mol
W_V	化学反应中的容积功, kJ/mol
W_t	技术功, kJ
w_t	比技术功, kJ/kg
x	蒸汽的干度
x_i	摩尔成分
Z	多级压缩机的级数
z	高度, m

希 腊 字 母

α	回热抽汽率; 缩放喷管的扩张角, °
α_p	热膨胀系数, 1/K
β	喷管进出口压力比
β_T	定温压缩系数, 1/MPa
β_s	定熵压缩系数, 1/MPa
γ	比热比; 物质的重度, N/m ³
γ_v	物质的弹性系数, 1/K
ε	制冷系数; 压缩比
ζ	供热系数
η	效率
η_c	压缩机的效率
$\eta_{c,s}$	压缩机的绝热压缩效率
η_N	喷管效率
η_P	水泵内效率
η_t	热机的效率
η_i	汽轮机内效率
$\eta_{t,C}$	卡诺热机的效率
$\eta_{t,p}$	柴油机(定压加热循环)的效率
$\eta_{t,th}$	再热循环的效率
$\eta_{t,rg}$	回热循环的效率
$\eta_{t,v}$	汽油机(定容加热循环)的效率
$\eta_{t,vp}$	柴油机(混合加热循环)的效率
η_v	单级活塞式压缩机的容积效率

κ	等熵指数
λ	等容升压比
μ_j	绝热节流系数 (焦-汤系数)
ξ	热能利用系数
π	升压比
ρ	物质的密度, kg/m^3 ; 等压预胀比
ρ_v	湿空气的绝对湿度, kg/m^3
τ	时间; 燃气轮机的升温比
φ	喷管的速度系数; 湿空气的相对湿度

角 注

0	上标, 化学标准状态
'	上标, 饱和液体参数
"	上标, 饱和气体参数
*	上标, 滞止点参数
C	下标, 物质的临界点 (critical); 压缩机 (Compressor); 卡诺 (Carnot)
c	下标, 喷管的临界状态 (critical)
da, DA	下标, 干空气 (dry air)
E	下标, 膨胀机 (expander)
e	下标, 交换 (exchange)
g	下标, 气体 (gas)
in	下标, 进口
iso	下标, 孤立系 (isolate)
max	下标, 最大值 (maximum)
min	下标, 最小值 (minimum)
opt	下标, 最佳值 (optimal)
out	下标, 出口
P	下标, 水泵 (pump)
s	下标, 声速的 (sonic); 饱和的 (saturate)
sys	下标, 系统 (system)
T	下标, 汽轮机 (turbine), 包括汽轮机和燃气轮机
tp	下标, 三相点 (triple point)
v	下标, 空气中的水蒸气 (vapour)

热力学史上的科学家

序号	中文名	外文全名	身份	生卒时间
1	培根	Francis Bacon	英国作家、哲学家	1561. 1. 22—1626. 4. 9
2	伽利略	Galileo Galilei	意大利物理学家、天文学家	1564. 2. 25—1642. 1. 8
3	托里拆利	Evangelista Torricelli	意大利物理学家、数学家	1608. 10. 15—1647. 10. 25
4	帕斯卡	Blaise Pascal	法国物理学家、数学家	1623. 6. 19—1662. 8. 19
5	玻义耳	Robert Boyle	英国化学家	1627. 1. 25—1691. 12. 30
6	华伦海特	Daniel Gabriel Fahrenheit	荷兰物理学家	1686. 5. 24—1736. 9. 16
7	摄尔修斯	Anders Celsius	瑞典物理学家、天文学家	1701. 11. 27—1744. 4. 25
8	瓦特	James Watt	英国发明家	1736. 1. 19—1819. 8. 19
9	拉瓦锡	Antoine-Laurent de Lavoisier	法国化学家	1743. 8. 26—1794. 5. 8
10	查理	Jacques Alexandre Cesar Charles	法国物理学家、数学家	1746. 11. 12—1823. 4. 7
11	伦福德	Benjamin Thompson (Rumford)	英国物理学家	1753. 3. 26—1814. 8. 21
12	道尔顿	John Dalton	英国化学家	1766. 9. 6—1844. 7. 26
13	阿伏加德罗	Amedeo Avogadro	意大利化学家	1776. 8. 9—1856. 7. 9
14	盖·吕萨克	Joseph Louis Gay · Lussac	法国化学家、物理学家	1778. 12. 6—1850. 5. 9
15	戴维	Humphry Davy	英国化学家	1778. 12. 17—1829. 5. 29
16	斯特林	Robert Stirling	英国物理学家	1790. 10. 2—1878. 6. 6
17	卡诺	Sadi Carnot	法国物理学家	1796. 6. 1—1832. 8. 24
18	克拉珀龙	Benoit Pierre Emile Clapeyron	法国物理学家	1799. 1. 26—1864. 1. 28
19	赫斯	Germain Henri Hess	瑞士化学家	1802. 8. 7—1850. 11. 30
20	安德鲁斯	Thomas Andrews	爱尔兰物理化学家	1813. 12. 19—1885. 11. 26
21	迈耶	Julius Robert Mayer	德国物理学家	1814. 11. 25—1878. 3. 20
22	焦耳	James Prescott Joule	英国物理学家	1818. 12. 24—1889. 10. 11
23	亥姆霍兹	Hermann Ludwig Helmholtz	德国物理学家、数学家等	1821. 8. 31—1894. 9. 8
24	克劳修斯	Rudolf Clausius	德国物理学家、数学家	1822. 1. 2—1888. 8. 24
25	基尔霍夫	Gustav Robert Kirchhoff	德国物理学家	1822. 3. 12—1887. 10. 17
26	开尔文	William Thomson	英国物理学家	1824. 6. 26—1907. 12. 17
27	麦克斯韦	James Clerk Maxwell	英国物理学家、数学家	1831. 6. 13—1879. 11. 5
28	奥托	Nikolaus August Otto	德国发明家	1832. 6. 11—1891. 1. 28
29	门捷列夫	Dmitri Ivanovich Mendeleev	俄国化学家	1834. 2. 7—1907. 2. 2
30	范德瓦尔斯	van der Waals	荷兰物理学	1837. 11. 23—1923. 3. 8
31	马赫	Ernst Mach	奥地利物理学家、哲学家等	1838. 2. 18—1916. 2. 19
32	吉布斯	Josiah Willard Gibbs	美国化学家、物理学家	1839. 2. 11—1903. 4. 28
33	波尔兹曼	Ludwig Edward Boltzmann	奥地利物理学家	1844. 2. 20—1906. 9. 5

续表

序号	中文名	外文全名	身份	生卒时间
34	勒·夏特列	Le Chatelier	法国化学家	1850. 10. 8 —1936. 9. 17
35	昂纳斯	Kamerlingh Onnes	荷兰物理学家	1853. 9. 21—1926. 2. 21
36	狄塞尔	Rudolf Diesel	德国发明家	1858. 3. 18—1913. 9. 3
37	普朗克	Max Karl Planck	德国物理学家	1858. 4. 23—1947. 10. 3
38	能斯特	Walter Nernst	德国物理学家，化学家	1864. 6. 25—1941. 11. 18
39	布里渊	Léon Brillouin	法国物理学家	1889. 8. 7—1969. 10. 4
40	香农	Claude Elwood Shannon	美国数学家	1916. 4. 30—2001. 2. 26
41	普里戈金	Ilya Prigogine	比利时化学家、物理学家	1917. 1. 25—2003. 5. 28
42	朱棣文	Steven Chu	美国华裔物理学家	1948. 2. 28—



目 录

序1 苦甘吾自知

序2 致我们听华老师讲热力学的日子

前言

符号说明

热力学史上的科学家

绪论	1
第一章 基本概念	8
第一节 热力系	8
第二节 热力状态和热力过程	11
第三节 状态参数	12
第四节 状态方程和状态图	20
习题	21
第二章 热力学第一定律	22
第一节 简单可压缩系的能量形式	22
第二节 闭口系能量方程	25
第三节 开口系能量方程	26
第四节 稳定流动能量方程	28
第五节 稳定流动能量方程的应用	31
习题	34
第三章 热力学第二定律	36
第一节 可逆过程和不可逆过程	36
第二节 卡诺定理	38
第三节 状态参数——熵	41
第四节 克劳修斯不等式	44
第五节 过程中的熵	46
第六节 熵方程	48
第七节 热力学第二定律	50
第八节 系统的可用能分析	53
习题	57
第四章 理想气体的性质和过程	60
第一节 理想气体的模型和状态方程	60
第二节 理想气体的参数	63
第三节 理想气体混合物	65
第四节 理想气体的基本热力过程	68

第五节	理想气体的多变过程	73
第六节	理想气体的绝热自由膨胀和节流过程	79
第七节	理想气体的混合过程	81
第八节	理想气体的充放气过程	85
	习题	90
第五章	气体的高速流动	93
第一节	一元流动基本方程	93
第二节	气体等熵流动的定性分析	95
第三节	气体等熵流动的定量分析	98
第四节	气体不可逆流动过程	104
	习题	108
第六章	气体的压缩过程	110
第一节	气体压缩过程的一般分析	110
第二节	单级活塞式压缩机	111
第三节	活塞式压缩机的余隙容积	115
第四节	多级活塞式压缩机	116
	习题	119
第七章	气体动力循环	121
第一节	汽油机循环	121
第二节	柴油机循环	124
第三节	燃气轮机循环	127
第四节	斯特林机循环	132
	习题	134
第八章	水和水蒸气的性质及其动力循环	136
第一节	实际气体的状态方程	136
第二节	水和水蒸气的性质	141
第三节	水和水蒸气的过程	147
第四节	朗肯循环	150
第五节	参数对朗肯循环的影响	153
第六节	再热循环	155
第七节	回热循环	157
	习题	161
第九章	湿空气	163
第一节	湿空气的基本性质	163
第二节	湿空气的参数	165
第三节	湿空气过程	168
	习题	174
第十章	制冷循环	176
第一节	逆向卡诺循环	176

第二节	空气压缩制冷循环·····	177
第三节	蒸汽压缩制冷循环·····	180
第四节	利用热能的制冷循环·····	183
第五节	联合循环·····	186
习题	·····	188
第十一章	热力学一般关系式·····	190
第一节	物质的热系数·····	190
第二节	物质的特性函数·····	192
第三节	熵、热力学能和焓的一般关系式·····	195
第四节	比热容的特性、声速和焦-汤系数·····	198
第五节	水和水蒸气参数的计算·····	200
习题	·····	202
第十二章	化学热力学基础·····	204
第一节	化学反应中的能量守恒·····	204
第二节	燃烧反应的热能特性·····	206
第三节	化学反应的方向·····	210
第四节	热力学第三定律·····	217
习题	·····	219
附录	·····	221
附录 1	常用理想气体的基本热力性质·····	221
附录 2	常用理想气体的比定压热容—多项式·····	221
附录 3	常用理想气体的平均比定压热容 ($0\sim t$)·····	222
附录 4	常用理想气体的平均比定容热容 ($0\sim t$)·····	223
附录 5	氨的 $\lg p-h$ 图·····	224
附录 6	一些物质的标准燃烧焓·····	224
附录 7	一些物质的标准生成焓、标准生成自由焓和绝对熵·····	225
参考文献	·····	226



绪 论

一、热力学研究任务

热力学主要研究热能向机械能转换的过程。

自然界存在着不同形式的能源,从其来源来说,可以分成三类:一类来自于太阳,包括太阳辐射能、由太阳辐射转换来的风能、水能、生物质能等,煤、石油、天然气等化石能源是由生物质能转变而来的,本质上也是一种太阳能;第二种是来自于地球内部元素衰变放出的能量,包括地热能和用于发电的核能;第三种来自于地球和月亮、太阳间的引力相互作用,即潮汐能。这三种来源的能量,可以通过各种形式为人们所利用,最常见的有热能、电能、机械能(动能和位能)等。对现代社会而言,人们最需要的能量形式是电能,因为它可由其他形式的能量转换而来,也可以方便地转换成为其他形式的能量。电能转换的规模可以很大,利用方式可以很多,输送也很方便,已经成为现代社会生活的基石。

现代社会的主力能源是化石燃料(包括煤、石油和天然气),核能、水能、风能和太阳辐射能也占据一定的比例。这些能源中,化石燃料、核能以及今后将成为主力的太阳能热发电,都必须以热能为中间能源,通过一系列的过程最终转化为能为人们利用的机械能或电能。

因此,从人类社会的现状和未来看,如何把热能转换成机械能并继续转换成电能将一直是社会的重要任务,而热力学以此过程为研究对象,在一个相当长的时间内都将发挥重要的作用。

二、热力学的发展史

回顾历史,可以发现,人类首先和“热”这一现象存在各种各样的关系,到了近代,人们开始研究和利用热所具有的做功的特性,即热所具有的“力”的特性。

火山爆发或雷击等自然原因引发了火灾,早期人类发现,火和太阳一样可以给人“温暖”的感觉,而且,过火区域的植物或在火中丧生的动物作为食物的口感变得好多了,消化吸收也容易多了。因此,早期人类开始有意识地保存火种,一方面用火取暖(还包括照明和夜间驱赶野兽),另一方面把火作为烤熟食物的能源。人类通过熟食的方式,增强了对蛋白质的吸收,促进了大脑器官的发育和智力的发展,同时,火强化了早期人类对抗自然界恶劣环境的能力,这都加速了早期人类的进化速度。

在人类进入以制造工具为主要特征的文明发展阶段后,人们首先借助火的力量烧制了简单的陶器。随着对火的利用能力的提高,人们开始烧制青铜器具,再到炼铁和铁器的制造。应该说,用火能力的增强,使人们制造工具的能力增强,这是文明发展的一个重要特征。

在实践发展的同时,人们开始从哲学角度思考世界的构成,并且巧合的是,无论是东方文化中“金木水火土”的五行说,还是古希腊“水火土气”的四元素说,都把火作为世界构成的基础要素。这一阶段,中国东汉时期的哲学家王充提出了“冷不自生”的说法,第一次指出了自然过程具有方向性,在当时无疑是领先的思想。

从16世纪起,西方开始了文艺复兴为主的近代科学发展,从此,热力学进入了理论和

实践相互印证、相互促进的科学发展历程。

1. 热力学的早期探索

在近代科学发展的各个领域，都不得不提到一个具有革命开创精神的伟大人物，他就是伽利略。在伽利略生活的时代，意大利是世界文明的中心，特别是手工业、矿业在世界处于领先地位。当时，意大利矿业开采的矿井正在逐渐变深，需要水泵把矿井中的水抽出，但托斯卡纳地区的水泵制造商发现水泵只能把 10m 深处的水抽出，超过这个深度，水泵无法工作。伽利略听说这一问题后，马上判断这是因为大气有重量而导致的。随后，伽利略的学生托里拆利于 1643 年进行了著名的水银管试验，得到了大气压力的具体数值。伽利略根据封闭压力随温度变化的性质，制造了气压式温度计，如图 0-1 所示。现在知道，这个气压式温度计的读数不仅受温度的影响，还会受大气压力的影响，因此不是可靠的测温仪器。

但是，伽利略和托里拆利大气压力的实验尝试拉开了热力学定量研究的大幕，紧随其后，在大气压力这个问题上进行研究的是法国物理学家、数学家帕斯卡。

如果要评神童的话，帕斯卡显然是够格的，他在父亲和姐姐的培养下完成教育，很小时就独立发现了欧几里得几何学中的前 32 条定理，并且在 12 岁时证明了三边形的内角之和为 180° 。从 1647 年开始，帕斯卡对流体压力进行了系统的研究，用理论证明了液体的压力只和液体的高度有关，并且亲自演示了一根长细管压破酒桶的实验（帕斯卡裂桶实验见图 0-2）。帕斯卡证明了同一地点的大气压力和天气之间存在关系，因此可以用大气压力变化来对天气进行预测；他通过测量山顶和山脚大气压力的变化，发现了大气压力随高度降低的规律。当然，帕斯卡体弱多病（39 岁时就逝世了），因此爬山这样的事情是交给他的侄子做的，不会亲历亲为。帕斯卡对流体压力进行的研究为他赢得了崇高的荣誉——他的名字成为压力的单位。

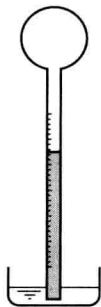


图 0-1 伽利略的气压式温度计



图 0-2 帕斯卡裂桶实验

和压力同时开始进入人们研究范围的还有温度。虽然人们很早就有对温度的感性认识，即“冷热”，但如何衡量冷热是一个有难度的问题。例如，如果把左手放在温水中，把右手放在冰水中，然后双手互握，那会感觉到冷还是热呢？为了准确地测量温度，人们设计制造了各种温度计，如前文所述的伽利略的气压式温度计等。在实践中，人们发现利用物质热胀