

公理化热力学 基础教程

AXIOMATIZED THERMODYNAMICS
BASIC COURSEBOOK

赵兴龙 主编

0414.1
17



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

014012799

0414.1

17

公理化热力学 基础教程

AXIOMATIZED THERMODYNAMICS
BASIC COURSEBOOK

赵兴龙 主编



北航

C1699715



哈尔滨工业大学出版社

0414.1

17

内 容 简 介

公理化热力学是全新的热力学理论体系,它使热力学的概念更加清晰,且以热力学第一定律为公理;它依据气体的热力图、表以及工程实践的数据,依靠逻辑、数学演绎加以推导;它如同欧氏几何、牛顿力学一样依靠演绎推导出未知;它指导热能工程进行新实践。

书中供非本专业读者学习的内容有:可逆过程、不可逆过程、超可逆过程的数学定义;热力学第一定律推导出热力学第二定律;超可逆过程的发现及推导出热力学第二定律的反例,等等。本书还介绍了电流不能带走热量的道理以及半导体制冷片的实质。借助这些内容可以改变人们对“自然界总是熵增”的历史形成的认识。书中供本专业读者学习的创新内容非常丰富,实用意义巨大,如对气体绝热上升的计算得出绝热减熵流动的结论,将其用于气体旋涡,可实现零排放大规模发电工程。

本书的读者对象很广泛。

文科读者可学习其中的逻辑、理性,对自然基本认识的科普,而提高思想境界;理科读者可了解更深刻的内容;能源专业工作者可获得设计新能源的灵感,从而大胆地实践,运用于工程。

图书在版编目(CIP)数据

公理化热力学基础教程/赵兴龙主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社, 2013. 12

ISBN 978-7-5603-4461-4

I. ①公… II. ①赵… III. ①公理(数学)—应用—
热力学—高等学校—教材 IV. ①O414.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 287380 号

策划编辑 刘培杰 张永芹

责任编辑 张永芹 齐新宇

封面设计 孙茵艾

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 850mm×1168mm 1/32 印张 2.25 字数 59 千字

版 次 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4461-4

定 价 58.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

目 录

第一章 公理化热力学,基本概念清晰化	1
第一节 总则	1
第二节 热力学第一定律	1
第三节 气体做功的模型	3
第四节 可逆过程、不可逆过程、超可逆过程	3
第五节 热力学基本公式	4
第六节 热力学第二定律	5
第二章 引子: $dq \leq du + pdv$ 是当今热力学的基础	6
第一节 热力学是人类对自然的根本认识之一	6
第二节 假想的故事	7
第三节 公理化热力学	9
第三章 公理化热力学简述	10
第一节 公理化热力学史	10
第二节 公理化热力学的依据,适用范围及科学方法 的意义	13
第三节 公理化热力学的简单介绍	15
第四节 公理化热力学,人类知识更新,无限的精神 振奋	16

第四章	与公理化热力学相关的数学知识	17
第一节	用第二型曲线积分表示面积	17
第二节	$\int_1^2 f(x) dq(x)$ 称作斯蒂尔切斯积分	17
第三节	熵的计算式化作斯蒂尔切斯积分	18
第四节	关于熵是状态函数的数学证明	18
第五节	$\int_{1-2} \frac{du}{T} + \frac{pdv}{T}$ 为什么与过程曲线的路径无关, 如何证明	19
第六节	$\int_{1-2} \frac{dq}{T}$ 第三类积分	20
第五章	气体在重力场中上升, 让过程功 $dw > pdv$ 的方案 ...	24
第一节	气体在气柱中升高, 用“气杯量筒”模型讨论, 得出 $dw > pdv$ 的结论	24
第二节	再举一个“甲序上升”的例子	29
第三节	讨论绝热气柱的压力与高程的关系	30
第四节	气体进入垂直管道上升流动, 流速增大时压力与高度的函数式	32
第六章	气体通过旋涡实现无放热循环, 技术方案简单、实用	35
第一节	气旋的绝热减熵流动	35
第二节	方案 1	36
第三节	方案 2	37
第四节	诱导冷却	38

第七章 无摩擦阻力与负摩擦阻力的发现	40
第一节 “液氢喷泉”,卡皮查获诺贝尔奖	40
第二节 吸热不增熵,地地道道的永动机理论	41
第八章 气体通过绝热气柱的问题	42
第一节 有关高中的公理化热力学内容	43
第九章 热电偶的“电流带走熵流”,现代物理的讨论	44
第十章 如何看待热力学史上的“热质说”	47
第十一章 等温气柱,气柱的重心,高度计算及意义	48
第十二章 利用数学计算得出关于等截面管流速变化的结论: 没有流动阻力的绝热流动也不一定是等熵的	50
第十三章 公理化热力学教程精要	54
第一节 功、热量、内能及热力学第一定律	54
第二节 可逆过程、热力学第二定律的推导及熵	55
第三节 传统热力学	57
第四节 北京大学王竹溪、刘玉鑫指出:除体积功 $p dv$ 还有 功 A 的推理及实验	58
第五节 气体不需冷却全部液化而做发出强大动力的动力 机械的原理说明	59
第六节 补充(焓的知识、牛顿力学)	60
第十四章 关于气体流动做功的几个模型的讲解	62
第一节 气体在重力场中上升	62

第一章 公理化热力学,基本概念清晰化

第一节 总 则

1. 研究对象是 1 kg 气体(或工质、系统^①).

2. 以热力学第一定律为公理.

3. 基本概念清晰化.

4. 重要定义数学化.

5. 用数学式表示结论.

6. 有关公理化热力学的书目:

资料(1):《公理化热力学的数学基础》,哈尔滨工业大学出版社,2012 年第 2 版,赵兴龙主编.

资料(2):公开出版物《专利公报》,专利申请公布号 CN10316 150A,申请公布日 2013. 06. 19,发明名称《让气体过程功 $dw > pdv$ 的透平装置》.

第二节 热力学第一定律

1. 封闭系统

$$dq = du + dw \quad (1-1)$$

其中 q 为热量, u 为内能, w 为机械能, 本书称作功. 即: 1 kg 气体吸

① 工质、系统指这 1 kg 气体.

收的热量等于内能的增量与对外做功之和。

2. 稳定流动

$$u_1 + p_1 v_1 + q + \frac{1}{2} A_1^2 - hg - w = u_2 + p_2 v_2 + \frac{1}{2} A_2^2 \quad (1-2)$$

其中 p 为气体的压强, v 为气体的比体, A 为活塞的面积, h 为气体的高程, g 为重力加速度. 即: 1 kg 气体进入系统, 在系统内吸热、做功的总能量等于流出系统的总能量。

3. 公式(1-2) 化为公式(1-1) 的形式

$$q = (u_2 - u_1) + \left(\frac{1}{2} A_2^2 - \frac{1}{2} A_1^2 + hg + w \right) + (p_2 v_2 - p_1 v_1) \quad (1-3)$$

即: 等式左边是吸收的热量, 等式右边第一项是内能增量, 第二项是功. 功分为动能、重力势能、驱动轴转动的轴功、推动气体流动即进入系统、离开系统的推进功. 式(1-3) 的特点: 热量 q 不用微分表示。

4. 研究热力学的目的是为了得到尽可能多的功。

热量、内能转变为功需要人为的复杂的装备, 而功转变为热或内能是自动的, 随时会发生。

热力学第一定律是能量守恒定律, 特别要关注的是功, 不能把已是功的东西归到内能中去. 凡不是热量、内能, 就是功。

5. 关于功。

功由热力学第一定律定义, 称作过程功. 研究气体稳定流动, 从式(1-3) 看出, 动能、重力势能、轴功、推进功的总和是过程功. 研究特殊问题, 一般可以列出热力学第一定律的方程式, 于是就给出了功: 一般是动能、力乘距离的功、势能、电能等, 这些可以互相转换, 并且转换效率理论上是 100%。

第三节 气体做功的模型

1. “活塞气缸”模型.

“活塞气缸”模型所做的功 dw 不会大于 $p dv$.

2. 气体流动.

(1) 以“活塞气缸”模型作类比, 有 $dw \leq p dv$.

(2) “气杯量筒”模型用于气体在气柱(重力场)中, 在重力作用下往上升或下降, $dw \leq p dv$, $dw > p dv$ 都可以出现.

(3) 还有其他模型讨论流动气体做功, 参见“等温吸热量论文”、“饱和蒸汽在喷射中加热讨论”等, 都可出现 $dw > p dv$.

第四节 可逆过程、不可逆过程、超可逆过程

1. 热力过程. 气体的状态变化称作过程, 这个过程会产生功.

2. 研究热力学的目的是得到尽可能多的功及研究热量的传递. 由热力学第一定律得知, 不是热量、内能就是功 w , 用微分表示为 dw . 热力学发展至今, “活塞气缸”模型是唯一的气体做功模型, dw 总是小于或等于 $p dv$, 把 $dw = p dv$ 称作可逆过程. 不管这个过程能不能倒回去, 怎样倒回去, $dw = p dv$ 就是定义为可逆过程. 用“活塞气缸”模型获得尽可能多的功的最优方式是可逆过程.

3. 可逆过程的定义: $dw = p dv$.

热量, 总是“自动”的, 从高温物体传向低温物体. 这种可逆过程就定义为: “传热无温差”, 且“过程无摩擦”(因摩擦, 让可能产生的功转变为热量). “传热无温差”是可逆过程的必须条件, 本教程重点研究系统(工质)本身的性质(公理化热力学的重点是工质), 所以, 今后讲可逆过程, 不再提到“传热无温差”这几句话, 也指的是可逆过程“传热无温差”.

“过程无摩擦”是指在做功过程中, 没有功转变为热量. 我们

之前还认为,可逆过程一定是准静态过程,在研究(实验)气体流动、气体在缩放喷管中喷射、气体产生的动能时,动能是过程功的一部分.实验数据表明,气体流动过程产生的过程功可以达到 $dw = pdv$. 而气体流动是非准静态过程. 所以,可逆过程可以是非准静态过程.

4. 不可逆过程的定义: $dw < pdv$.

这一定义很容易理解,不可逆过程因为有摩擦,让可能产生的功 pdv 有一部分转化热量,所得的净功就为 $dw < pdv$.

5. 超可逆过程的定义: $dw > pdv$.

我们一直认为,不可能有 $dw > pdv$ 的情况出现,但是,在热力学指导下,随着工程热力学的发展、热能工程的大量实践以及各种气体的热力数表的出现都使人们相信必定产生“气体往高升,焓耗尽,气体不需冷却全部变为低温液体”这种结果. 于是,必定会有 $dw > pdv$ 的情况,而实际也提出了多种可信服的实验模型,都出现 $dw > pdv$ 的情况. 所以,把 $dw > pdv$ 定义为超可逆过程.

第五节 热力学基本公式

1. 计算式 $\frac{dq}{T}$.

一般的,物体吸收热量,温度就升高了,所以, T 是变量 (T 为热力学温度), 热量就要用微分表示.

一般的, T 是环境温度,由于我们事先声明公理化热力学没有特别指明就把 T 当作系统温度.

一般的,功也可以转变为热量,但在计算式 $\frac{dq}{T}$ 中,热量是纯热量,不是由功转变的热量.

2. 计算式 $\int_{1-2} \frac{dq}{T}$.

这是一个特殊的积分式, 通过对热力过程的理解, 最终化成通常的积分 $\int_1^2 f(x) dx$ 的形式.

3. 熵的定义, 热力学基本公式.

我们思考可逆过程 $dw = pdv$, 受此启发, 能否引入一个 ds 让可逆过程 $dq = Tds$, 于是, 有了热力学基本公式

$$Tds = du + pdv \quad (1-4)$$

将式(1-4)与式(1-1)比较, 等式右边的 dw 换成了 pdv , 因为热力学基本公式(1-4)是讲可逆过程的, 因此

$$dq = du + pdv \quad (1-5)$$

是热力学第一定律在可逆过程时的公式.

不可逆过程. 因为 $dw < pdv$, 所以有

$$dq < du + pdv \quad (1-6)$$

式(1-6)是不可逆过程的热力学第一定律的公式, 而

$$dq > du + pdv \quad (1-7)$$

则是超可逆过程的热力学第一定律的公式.

再看基本公式(1-4), 它对于可逆过程、不可逆过程及超可逆过程永远是恒等式.

这些都是有趣的问题, 在后面还有深刻的讲解.

第六节 热力学第二定律

热力学第二定律是一个非常普及的科学定律. 我们历来把热力学第二定律当成一个如同公理一般的基本的自然规律. 人们是这样认识公理的, 如: 人能长生不死吗? 不用烧料能获得动力吗? 于是, 产生了热力学第二定律.

而公理化热力学, 它依据不可逆过程 $dw < pdv$, 可逆过程 $dw = pdv$ 推导了热力学第二定律; 接着因为有超可逆过程 $dw > pdv$, 因而推导了热力学第二定律的反例.

第二章 引子: $dq \leq du + pdv$ 是当今热力学的基础

第一节 热力学是人类对自然的根本认识之一

在中学物理中就开始有热、内能等内容;在高中物理中就有热力学第一定律中的能量守恒等内容. 能量守恒、热力学第一定律的表达式为 $dq = du + dw$, 可逆过程的表达为 $dq = du + pdv$, 不可逆过程的表达式为

$$dq < du + pdv \quad (2-1)$$

如能量守恒用不等式(2-1)表达,就有很多人理解,可这就是热力学基本公式

$$Td s = du + pdv \quad (2-2)$$

将不可逆过程 $Tds > dq$ 代入式(2-2)得到式(2-1). 式(2-1)还可以变为

$$pdv > dq - du \quad (2-3)$$

不等式(2-1)已难于理解,不等式(2-3)更难于理解. 为分析难于理解的原因,笔者作了大量的调查、翻阅了大量物理教科书. 大多数物理书中都不把式(2-2)当作恒等式,只当它在可逆过程成立,不可逆过程不成立. 笔者又翻阅了大量的工程热力学教科书,终于找到两本(一本是国外译本,一本是东南大学出版社出版的)指明式(2-2)是恒等式,对不可逆过程也成立. 笔者所主编的书籍详细讨论了式(2-2)是恒等式的情形(参见资料(1)).

热力学基本公式 $Tdq = du + pdv$ 是恒等式. 我们发现:“流动

着的气体,其吸热量要大于静态过程条件下的吸热量(可以称作热容量)。”因此有式

$$dq > du + pdv \quad (2-4)$$

及

$$pdv < dq - du \quad (2-5)$$

热力学是人类对自然的基本认识之一,是人们必须了解的知识. 不了解这些基本知识,迷信、愚昧就占领我们所缺失的科学“阵地”,就阻碍社会的进步.

为此,特作《公理化热力学基础教程》,促进社会大众更快地接受正确的热力学基本公式,改善我们大学的热力学教育. 讲解不等式(2-3), (2-4) 作为本书的引子.

不等式(2-3)的讲解:热力学第一定律的数学表达式 $dq = du + dw$ 对可逆过程、不可逆过程以及任意的未知的过程都成立.

因此不可逆过程(2-3): $pdv > dq - du$, 是因为 $dw < pdv$ 所至. 此两式还应满足 $dw = dq - du$.

讲解式(2-4): $dq > du + pdv$, 这是火箭喷射实验的某种等温喷射条件下的气体吸热量的计算结果,是自然现象的发现,它符合能量守恒,即热力学第一定律

$$dq > du + pdv$$

这就是 $dw > pdv$, 它为超可逆过程. 当讲解流动着的气体其热容量增大时,专家们应对:是的. 而当推导出 $dw > pdv$ 时,就无人敢认为正确.

第二节 假想的故事

科学总是理性的,必须经过严格推理. 根据自然发现($dq > du + pdv$) 推导出 $dw > pdv$ 必须去接受. 资料(1) 指出了多种条件下都会出现 $dw > pdv$. 现在再举一例,用科普的方式引人入胜.

温州“七二三动车事故”当晚,风雨雷电交加(温州还经常有

不下雨,光雷电的时候.这种闪电的云层很高,雷声已难于传远,也不下雨,叫干雷),用公理化热力学解释雷电:空气与微型的水珠摩擦生电.

现在,作一个假想实验,设想 1 m^3 或 100 m^3 的容器处于失重状态(这容器的容积是不变化的),在容器中有空气、鹅毛或一种与空气摩擦能产生摩擦电的物质,并且成灰霾状态,鹅毛被撕碎成纳米颗粒状态在空气中作布朗运动,空气分子碰撞,摩擦颗粒,产生电;电积累,放电,产生光、高热、震动.这样,根据热力学第一定律,光、震动(就是电能)是机械功 w ,于是 $dq = du + dw, dw > 0$,而体积,即容器的容积没有变化,这就是 $dw > pdv$ 了.

当 $dw > pdv$ 出现,事情就变得很奇怪,容器中的气体与鹅毛,因布朗运动及气体分子的碰撞摩擦发电,再向外界传出光与震动,能量不断输出外界,直至容器中的灰霾状的气体温度越来越低,以至于气体分子碰撞摩擦越来越微弱,直到摩擦生电的电压低到不能放电为止.而这时,外界向容器中的空气传进热量,才又周而复始:碰撞摩擦放电 — 停止放电 — 向外界吸热 — 碰撞摩擦放电.

如果没有公理化热力学,这种“周而复始的放电”是不可想象的.而有了公理化热力学,人们的思想解放了,可以想象了.

研究热电偶产生电流,特别是半导体制冷片,如果没有公理化热力学的理论武器,你必须编造个“电流带走熵流”的理论.一个没有质量的东西(电流)要带走热量——不可触摸的东西,带走热——不可想象的事,而依靠热力学第二定律,让人相信此事为真.这是热力学第二定律把科学弄得荒谬.

注意:辐射可以带走热量,可以带走熵流.热辐射是人们熟知的传热现象之一,可以实验检测.而电流带走热量,科学共同体(科学界、专业的传热学科学家、科普工作者)不承认,也没有任何实验证明了“电流带走热量”.

第三节 公理化热力学

从2004年内部刊物《温州发电》刊出“气体流动吸热量计算的一个迷惑”至今才9年;从2006年中国电力出版社出版的《简明工程热力学基础——火电厂工程师必读》至今才7年;从2010年、2012年哈尔滨工业大学出版社出版的《公理化热力学的数学基础》第1版、第2版至今分别才3年、2年,而传统热力学有着号称200年的千锤百炼。现在,需要培训公理化热力学的老师,需要公众支持。这是一本原创性的,介绍公理化热力学的教程,它建立在前人的传统热力学的基础上。凡传统热力学书籍可找到的知识,本书不编入,曾经在笔者主编的资料(1)、资料(2)中所讲叙的内容也不编入,让读者自己去搜集这些相关书籍。本书是笔者已发表的科学内容的补充。本书自成系统,让人们有效地学会公理化热力学的基本内容。本专业的读者学习学术,非本专业的读者学习书中的科普,就都可以用公理化热力学知识取替原了解的传统热力学知识。

第三章 公理化热力学简述

第一节 公理化热力学史

热力学分为物理热力学、工程热力学,是相同的热力学方向(理论体系),但侧重不同.物理热力学重理论,以理论指导人类对自然的认识.工程热力学的重点在热力工程,重在为热能的动力及制冷工程服务.

热力学是经验的学科,是人类热能工程实践总结而形成的学科.学科走向成熟,必然向公理化发展,而热力学向公理化发展,从我国的热学教育发展可以看出.从新中国第一代热力学教授王竹溪(北京大学教授、副校长、学部委员)教授的热学著作,到当今的林宗涵(北京大学)教授的著作,表现的就是往公理化方向的发展.工程热力学方面,严家录(哈尔滨工业大学教授,国家教指委副主任)教授的著作明确指出对传统热力学的“逻辑倒置”,即先引入熵是状态函数再介绍热力学第二定律的意义,且就“直接证明”任意气体的熵是状态函数为热力学公理化试探,而引以为荣.

当今学者,一部分认为热力学已是公理化学问,他们以林宗涵教授的著作为例,另一部分则认为热力学不能如同牛顿力学、欧氏几何一般成为公理化学问,他们以通常的热力学教程为例.当一门学科的基本概念还不清晰的时候,不可能形成公理化学科,如将其当作公理化学科,产生的后果是危害该学科!因为当用模糊的概念(甚至是错误的认识)进行推演,得出结论,再把此结论当作真理,并以此真理来认识自然、指导热能动力工程时,就产生了严重的

危害.

让概念清晰是走向公理化热力学的第一步,热力学中最重要的热力学概念是可逆过程、不可逆过程.

严家录教授在1980年定义了可逆过程:“过程无摩擦,传热无温差”.这让可逆过程的概念变得清晰了.传热无温差,这已是数学语言,指出热源温度与系统温度相同.严家录教授用半数学语言定义了可逆过程,已属先进.用全数学语言定义可逆过程,出现在《公理化热力学的数学基础》一书中.传热无温差(以后省略这句话),再加上过程功 $dw = pdv$,这样,可逆过程就成了一个数学公式.

在用数学语言定义可逆过程、不可逆过程之前,人们还发现了 $dw > pdv$ 的奇怪过程,现在,称此过程为超可逆过程.

超可逆过程(数学定义是 $dw > pdv$) 的发现,首次出现在2006年9月,中国电力出版社出版发行的《简明工程热力学基础——火电厂工程师必读》这一著作中.早此一年,新华社作了报导,内部读物《温州发电》在2004年就已刊出.自2001年起,笔者就已向包括中国科技大学、清华大学、北京大学、浙江大学、武汉大学、中山大学等作超过三十次的科学宣传(包括征求意见),超可逆过程 $dw > pdv$ 的发现,仅500字就可以讲解得很清楚,称作“等温吸热量500字论文”,此论文有多种文字版本,在此写下早期的版本.

从火箭发动机的研究得知,燃烧喷射通过缩放喷管从低于音速到超过音速喷射,可以让流动的气体增温,也可以让它绝热.现在讨论等温喷射(讨论每千克气体).

如图3.1所示,缩放喷管在两个截面(截面1、截面2)的面积相等,它们的流速 A_1, A_2 之比等于比体 v_1, v_2 之比,有

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

因为这种喷射为等温过程,用理想气体计算,那么可逆过程的等温