



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century

化学 与 现代文明

王明华 周永秋 编著
王彦广 许莉

浙江大學出版社

面向 21 世纪 课程教材
Textbook Series for 21st Century

化学与现代社会

王明华 周永秋 王彦广 许 莉 编著

浙江大学出版社

内容简介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是“面向 21 世纪课程教材”。此次修订,是为文、管、经、法、外类各专业及原来不开设化学课的数学、力学、计算机等专业编写的综合性较强的化学新教材。本书以化学为基础,综合地介绍了当代与化学有关的重要科技前沿领域和社会热点问题,内容丰富,视野开阔,文理渗透。内容主要包括化学反应基本原理,大气与水体污染及其防治,能源及其开发利用,原子结构与周期系及高新科技材料,DNA 与生命,食物营养与健康等。通过本书的学习,可使学生在学化学知识的同时体会化学在分析诸多社会热点问题中的作用和价值,以及与许多相关学科的密切关系,有利于提高大学生科学素养,培养正确的科学观和综合分析社会问题的能力。

本书可作为高等院校文、管、经、法、外类及有关理工科专业的教材,也可作为成人教育有关专业的教材和大一化学本科生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化学与现代文明 / 王明华等编著. —杭州:浙江大学出版社, 1998. 8(2003 重印)
面向 21 世纪课程教材
ISBN 7-308-02035-5

I. 化... II. 王... III. 化学—高等学校—教材
IV. O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 095115 号

责任编辑 徐素君

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排版 浙江大学出版社电脑排版中心

印刷 金华市曙光印务有限公司

开本 787mm×960mm 1/16

印张 17.5

字数 352 千

版印次 1998 年 8 月第 1 版 2003 年 6 月第 2 版 2003 年 6 月第 7 次印刷

印数 13501—18500

书号 ISBN 7-308-02035-5/O · 225

定价 20.00 元

第一版前言

《化学与现代文明》是一门跨学科的综合性较强的、富有时代特色的新课程。该课程重点带领学生重新发现和认识化学在理论和实践方面的作用和价值,结合有关现代文明的重要论题的讨论,培养学生正确的科学观、科学的社会观,提高科学素养,增强分析社会实际问题、进行评论性思考和决策判断等的能力。

化学既是关于自然的科学,又是关于人的科学。现代化学不仅是认识生命过程和进化的手段,也是人类生存的手段和劳动获得解放的手段。它的各个研究领域无不直接或间接地关系到人的发展问题。当前,随着社会的化学化和化学的社会化趋势广泛而深入的发展,现代化学正成为“一门满足社会需要的中心科学”,创造着现代物质文明和精神文明,深刻地影响着人的全面发展。

本书是国家教委组织实施的《面向 21 世纪化学系列课程教学内容和课程体系改革》计划的研究成果之一,根据我国面向 21 世纪人才培养的需要,尤其是为文管类专业以及数学、力学、计算机等一些原来不设置化学类课程的专业需要而编写的。教材以化学反应基本原理和现代原子结构理论及周期系为基础,结合(环境与生态,能源与资源,DNA 与生命,材料、药物与分子设计,食物、营养与健康等)相关学科,围绕(温室效应、臭氧层空洞、酸雨、可持续发展战略、超导材料、核能的风险利弊、基因工程、癌症与艾滋病等)当代社会热点问题展开。突出化学在政治、经济、社会以及国际关系等领域中的重要价值,内容丰富,视野开阔,有利于文理渗透,有利于培养学生综合分析问题的能力和提高学生的社会责任感。编写力争达到资料准确、论证科学、观点明确、重点突出、畅达易读、生动活泼。

本书的编写得到了浙江大学学校、教务处及化学系领导的鼓励、支持和帮助,也得到了《面向 21 世纪化学系列课程教学内容和课程体系改革》课题组的教授和专家的关心和支持。本书自 1995 年底完成初稿,在浙江大学中文、英语、管理类、经济类、外经贸、应用数学、工程力学、物理等 9 个专业两年四轮的教学实践中,以多种形式征求有关领导和师生的意见,还专门召开了专家论证会。无论是教材的体系或是内容的取舍和描述方面,他们都给了我们诸多启迪和帮助。因此,从某种意义上说,本书是集体智慧的结晶,也是作者多年教学体会的积累,是一种新的尝试。

本书由王明华主编。全书共七章,其中第一、二、七章由王明华执笔,第三、

四章由周永秋执笔,第六章由王彦广执笔,第五章由许莉执笔,蔡训织曾参加初稿部分章节的编写。全书由王明华协调、修改定稿。

本书在编写及试教过程中,得到了浙江大学徐铸德、李明馨、刘湘兰教授,宋宗箴、刘德秀、包亦毅、胡宗烈副教授的诸多帮助。重庆大学曾政权教授、哈尔滨工业大学蒋宏第教授、太原工业大学俞开钰教授、山东大学杨景和教授等曾与作者进行过有益的讨论,使作者受惠不浅。南京大学忻新泉教授、武汉大学方国春教授、西安交通大学何培之教授亦曾给作者帮助。在此一并表示深切的谢意。中国科学院院士、浙江大学曹楚南教授在百忙之中为本书写序,特表衷心感谢。

编写涉及面如此广的教材,不但需要深厚的专门知识,还需要其他方面的广博知识。又由于教材的改革力度较大,经验不足,虽经四轮多的教学实践,仍会在内容取舍或编排等方面存在诸多不尽如人意甚至错误之处,恳祈读者和专家不吝指正。

编著者

1998年3月

第二版修订说明

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是“面向 21 世纪课程教材”。出版四年多来,受到许多高等学校师生的欢迎和使用,为推进我国文管类专业和一些多年来不开设化学课的理工科专业重新开设化学课,普及大学化学知识,提高大学生的科学素养作出了一份贡献,使作者感到十分欣慰。

这次修订的主要原则是:

1. 适当调整理论要求。如删去温度对反应速率影响的三种非常见图例,和浓度、压力等对电极电势影响(即能斯特方程式)的讨论及理论计算;增写化学键和分子间相互作用力等物质结构知识和酸碱电子理论等。

2. 更新某些过时的内容,改写某些过细的叙述,使之更为宏观、更注重学科间的交叉渗透、更好地体现化学的实践性和应用性。如重写了第二章的大部分材料,引入新的环境空气质量标准、新的平衡膳食宝塔图、多不饱和脂肪酸 EPA 及 DHA、维生素缺乏病,增写了绿色化学与清洁生产、纳米材料、可燃冰等内容。

3. 为了方便师生教学,正文中用粗体字突出重点词语,每章增加了辨析概念的习题数量,书末新编了中文索引和习题答案与提示(对易出错的习题作了解题指导),修改与充实了小论文题目等。

这次修订仍由原作者执笔,王明华(主编)修改定稿。由于编者水平所限,书中仍会有疏漏甚至错误之处,恳请读者和专家批评指正。

编著者

2002 年 12 月于求是园

第一版序

面向 21 世纪,科学技术和生产力的发展给人类物质生活和精神生活的提高开辟了空前的美好前景,也为人类的生存和人类文明的发展提出了许多严峻的问题。于是摆在人类面前的一个重要问题是如何进一步增强认识和改造客观世界的能力来应付这种前所未有的机遇与挑战。其中很重要的一点就是需要改革高等教育的课程,改变受教育者的知识结构,深化和丰富他们对于当今面临的重大问题的认识。

将科学相对地分几门基础学科是历史上科学发展的结果,它表明人类对于客观世界认识的深化,在科学发展的历史中具有十分重要的意义。但在科学的进一步发展中,人们愈来愈清楚地认识到,各种学科之间有着密切的联系,而且往往由于不同学科的交叉渗透而形成新的学科领域。甚至,不仅自然科学的不同学科之间的交叉渗透十分重要,在社会科学与自然科学之间的不同学科交叉渗透也很重要,因为自然科学不仅是建设物质文明的基础,也是建设精神文明的基础。至于现代技术的发展离不开综合应用各种基础学科的知识,就更不用说了。化学,作为一门重要的基础学科,同人类的现代文明有着十分密切的关系。它过去在改变人类的物质文明和精神文明的面貌中起过重要的、无可替代的作用,在今后迎接新世纪的机遇与挑战中将会起到更加重要的作用。所以在高等教育的受教育者中普及一些有关化学及其在各重要领域中所起的作用的知识,是很有必要的。在王明华教授主编的这本为文管类和数学、力学、计算机等一些原来不开设化学类课程的专业而编写的教材《化学与现代文明》中,除了用一章的篇幅简明扼要地介绍关于化学反应的热力学和动力学方面的知识外,其他篇幅都结合着当前社会文明发展中大家所十分关心的重大论题。如:环境和环境保护问题、能源问题、发展新材料问题、与生命科学有关的问题和涉及人类生存和健康的问题等,介绍相应的化学知识。相信通过这门课程不仅会使上述专业的学生获得基本的化学知识,也会使他们对于这些当前普遍关心的论题有更清楚的了解。无疑,这对于扩大他们的知识面,增强他们认识和改造客观世界的能力是极为有益的。由于这本书的主要篇幅是结合当前备受瞩目的重大论题来介绍化学知识的,所以它对于有普通化学课程的专业学生也不失是一本较好的充实实际知识的化学参考书。

编写《化学与现代文明》教材,是在探索建立面向 21 世纪的化学课程方面所作的一个尝试。既然是开创性的和探索性的工作,不可能一开始就十全十美

的。但是负责编写这本教材的同志们的态度都是十分严肃认真的,各章的内容都是在收集了丰富的材料的基础上编写的,具有将专门性的科学技术知识作尽可能扼要而清楚地表述的特点。因此我认为这本教材的编写对于探索建立面向 21 世纪的化学课程来说,是一项很有意义的工作。王明华教授嘱我为本书写序,我在阅读了本书初稿后,感到自己也很受教育,有一些感想。上面所写的,与其说是“序”,不如说是我的读后感。

中国科学院院士 曹楚南
浙江大学化学系教授

1998 年 4 月

目 录

第 1 章 化学反应的基本原理

1.1 几个基本概念	2
1.1.1 系统与环境	2
1.1.2 单相系统与多相系统	2
1.1.3 状态与状态函数	3
1.1.4 过程和可逆过程	3
1.2 化学反应中的能量守恒定律	4
1.2.1 热力学第一定律	4
1.2.2 化学反应的反应热	5
1.2.3 反应标准摩尔焓变的计算	6
1.3 化学反应进行的方向	9
1.3.1 反应的熵变	9
1.3.2 自发过程与吉布斯自由能	11
1.4 化学反应进行的限度	14
1.5 化学反应速率	16
1.5.1 化学反应速率的定义	17
1.5.2 化学反应的速率方程	17
1.5.3 温度对反应速率的影响	19
1.5.4 反应的活化能和催化剂	21
1.5.5 链反应和光化反应	24
思考题与习题	26

第 2 章 大气与人类

2.1 人类生存的珍贵资源——空气在污染中	29
2.1.1 大气圈及其结构	29
2.1.2 重要大气污染物和大气污染事件	31
2.1.3 我国的大气环境状况与环境空气质量标准	36
2.2 保护臭氧层	40
2.2.1 臭氧层空洞对人类的威胁	40
2.2.2 氟利昂的功与过	41

2.2.3 保护臭氧层的全球对策	45
2.3 全球变暖的化学	46
2.3.1 二氧化碳与温室效应	46
2.3.2 全球变暖及其对人类的影响	50
2.3.3 控制全球变暖的综合对策	51
2.4 汽车与光化学烟雾	54
2.4.1 光化学烟雾的特征与危害	54
2.4.2 光化学烟雾的形成机制	55
2.4.3 光化学烟雾的控制对策	58
2.5 环境保护与可持续发展	60
2.5.1 可持续发展是人类的惟一选择	61
2.5.2 中国的环境保护与可持续发展战略	62
2.5.3 绿色化学与清洁生产	64
思考题与习题	66

第3章 水与生活

3.1 水的结构及物理化学特性	68
3.1.1 水分子的结构、缔合和氢键	69
3.1.2 水的渗透性与溶液的渗透压	71
3.2 酸雨与酸碱平衡	72
3.2.1 酸雨的威胁与防治	72
3.2.2 酸碱理论与溶液的酸度	74
3.3 水的污染及其危害	82
3.3.1 我国水污染概况	82
3.3.2 水中主要污染物及其危害	83
3.4 水处理	86
3.4.1 水质标准与水质指标	86
3.4.2 溶度积规则与污水处理	88
3.4.3 自来水的处理	94
3.5 水资源的合理利用、保护与开发	95
3.5.1 世界及中国水资源概况	95
3.5.2 水资源的合理利用和保护	96
3.5.3 海水淡化	97
思考题与习题	98

第4章 能源与社会

4.1 世界和中国能源的现状与发展趋势	100
4.1.1 能源的分类	101

4.1.2 世界能源的结构与消耗	101
4.1.3 我国能源的现状和未来	103
4.2 化石燃料的有效与清洁利用	104
4.2.1 煤炭及其有效清洁利用	105
4.2.2 石油和天然气	107
4.3 电极电势与化学电源	108
4.3.1 原电池与电极电势	108
4.3.2 化学电源	112
4.4 核能及其风险利弊	118
4.4.1 核裂变和核聚变	118
4.4.2 利用核能的意义和风险	121
4.4.3 核能开发利用的步骤和前景	125
4.5 清洁能源	126
4.5.1 氢能	126
4.5.2 太阳能	127
4.5.3 生物质能与沼气——垃圾能源	129
思考题与习题	130

第5章 材料与高科技

5.1 原子结构与周期系	132
5.1.1 原子结构的近代概念	133
5.1.2 多电子原子的结构和周期系	137
5.2 化学键与分子结构	140
5.2.1 金属键和金属晶体	140
5.2.2 离子键和离子化合物	140
5.2.3 共价键和共价化合物	141
5.2.4 分子间相互作用力	141
5.3 常用无机材料在周期系中的分布与应用	143
5.3.1 s 区元素及其有关材料	143
5.3.2 p 区与ⅡB族元素及其有关材料	144
5.3.3 d 区与ⅠB族元素及其有关材料	146
5.4 有机高分子材料	150
5.4.1 高分子化合物的特性与结构	150
5.4.2 重要的高分子材料	153
5.5 复合材料	160
5.5.1 复合材料的组成与特性	161
5.5.2 重要的复合材料	162
5.6 纳米材料	163

5.7 分子设计与材料未来	164
5.7.1 分子设计与新材料	164
5.7.2 材料的未来	165
思考题与习题	165

第6章 DNA与生命

6.1 氨基酸、蛋白质和酶	169
6.1.1 氨基酸及其分子的构型	170
6.1.2 多肽与蛋白质的一级结构	171
6.1.3 构象、氢键与蛋白质的空间结构	174
6.1.4 酶与生物催化	176
6.2 DNA与RNA	178
6.2.1 核酸的组成与一级结构	178
6.2.2 核酸的二级结构——DNA双螺旋	180
6.2.3 DNA的复制、遗传和进化	181
6.2.4 遗传密码与生命的起源	182
6.3 DNA重组与基因工程	185
6.3.1 基因工程	186
6.3.2 基因工程的应用	187
6.3.3 人类基因组计划与基因治疗	188
6.4 药物化学与人类健康	189
6.4.1 抗生素的发明	189
6.4.2 阿司匹林与天然药物	193
6.4.3 逆转录病毒与抗艾滋病药物	194
6.4.4 癌症与基因治疗	197
思考题与习题	199

第7章 食物与健康

7.1 食物营养学	201
7.1.1 碳水化合物	202
7.1.2 蛋白质	206
7.1.3 脂类	211
7.1.4 维生素	217
7.1.5 合理营养与平衡膳食	218
7.2 食品中的化学制品	222
7.2.1 食品添加剂	222
7.2.2 营养强化剂与强化食品	225
7.2.3 食品中的致癌物质	226

7.3 无机盐、微量元素与人体健康.....	229
7.3.1 无机盐的分类和生理功能	229
7.3.2 常量元素的生理功能	232
7.3.3 微量元素与人体健康	235
思考题与习题.....	243
▲小论文的要求与供参考的论文题目.....	245
一、小论文的要求	245
二、供参考的论文题目	245
▲附表.....	247
附表1 一些物质的标准摩尔生成焓、标准摩尔生成吉布斯函数和标准 摩尔熵.....	247
附表2 居住区大气中有害物质的最高容许浓度	250
▲习题答案与提示.....	251
▲参考文献.....	254
▲索引.....	256
▲元素周期表.....	261

第 1 章

化学反应的基本原理

研究化学反应主要是研究反应的可能性和速率这两个基本问题。所谓反应的可能性指的是在一定条件下反应可能进行的方向,以及反应可能达到的限度。一定条件下反应的限度是该条件下的平衡状态。化学热力学的主要任务就是研究物质变化(如物质的相变化和化学变化等)引起的能量转化及变化可能性问题。从热力学第一定律建立起热力学能 U 和焓 H 两个状态函数,并应用于求反应标准焓变(即等压热效应)。从热力学第二定律引出熵 S 和吉布斯自由能 G 两个状态函数,并利用反应的吉布斯自由能 $\Delta_r G$ 判断反应的自发性、利用反应的标准吉布斯自由能 $\Delta_r G^\ominus$ 求反应的标准平衡常数 $K^\ominus$ (表示化学平衡特征的常数)。研究化学反应的速率,主要是研究浓度、温度、催化剂、光照射、扩散等因素对反应速率的影响,还要研究反应进行时要经过哪些反应步骤,即所谓反应机理,这些重要问题都是化学动力学的研究范围。

对于化学反应的研究,动力学和热力学是相辅相成的。例如,某已知的化学反应,经热力学研究认为是可能的,但实际进行时反应速率太小,工业生产无法实现,对此,则可以通过动力学研究,降低其反应阻力,加快其反应速率,以缩短达到平衡的时间或提高单位时间内的产量。若热力学研究表明是不可能进行的反应,则没有必要再去研究如何提高反应速率的问题了,因为一个没有推动力的过程,阻力再小也是不可能进行的。

本章在介绍热力学基本概念后,着重介绍反应焓变的计算,化学反应进行的方向和限度,以及化学反应速率等化学基本原理。

1.1 几个基本概念

1.1.1 系统与环境

为了明确研究的对象,人为地将一部分物质或空间与其余物质或空间分开(可以是实际的,也可以是假想的),被划定的研究对象称为**系统**;系统之外,与系统密切相关、影响所能及的部分称为**环境**。

按照系统和环境之间物质和能量的交换情况,通常可将系统划分为以下三类:

- (1) **孤立系统** 系统和环境间没有任何物质和能量交换。
- (2) **封闭系统** 系统和环境间没有物质交换,但可以有能量交换。
- (3) **敞开系统** 系统和环境间既有物质交换,又有能量交换。

1.1.2 单相系统与多相系统

系统中具有相同的物理性质和化学性质的均匀部分称为**相**。所谓均匀是指其分散度达到分子或离子大小的数量级。相与相之间有明确的**界面**,越过此相界面,一定有某些宏观性质(如密度、折射率、组成等)要发生突变。系统若按其相的组成来分,可分为单相系统和多相系统。

对于相的概念,要分清以下几种情况。

(1) 一个相不一定只含一种物质。例如空气(或溶液)虽然是多种物质的混合物,但由于内部完全均匀,所以是一个相的单相系统。

(2) 同一种物质可因聚集状态不同而形成多相系统。例如,水和水面上的水蒸气,其组成虽同是 H_2O ,但因有不同的物理性质,所以是两个相;如果系统中还有冰共存,就构成了三相系统。注意,数块大小不等的晶体冰仍属同一个相。这种有两个相以上的系统都均为多相系统。

(3) 聚集状态相同的(固态或液态)物质在一起并不一定是单相系统。液态乙醇与水可完全互溶,其混合液为单相系统;甲苯和水不互溶而分层,是相界面很清楚的两相系统。两种固态物质混合(除非形成合金)一般均为多相系统。因为即使肉眼看来很均匀的固相混合物,其分散度亦远远达不到分子或离子级。

1.1.3 状态与状态函数

系统的状态就是系统一切性质的总和。当系统处于某一确定状态时,它所具有的一系列性质都具有完全确定的数值。这些性质是系统状态的单值函数,随着系统状态的变化而变化,故称之为**状态函数**。

描述一个系统的物理量是很多的,但确定一个系统的状态并不需要测定所有的状态函数,因为各状态函数之间是存在内在联系的。一个系统中只要有几个状态函数确定了,其他各状态函数也就被确定了,于是系统的状态也就确定了。例如,为了确定理想气体的状态,在压力 p 、体积 V 、温度 T 、物质的量 n 等状态函数中,只要确定其中任意三个即可,其他性质可由状态方程 $pV = nRT$ 等计算而得。

状态函数的基本特征是:①状态一定,其值一定;②殊途同归,值变相等(即其变化值只决定于系统的始态和终态,而与变化的途径无关)。

状态函数按其性质可分为两类:

(1)**广度性质**(又称容量性质)。在一定条件下,这类性质的量值与系统中所含物质的量成正比,具有加和性。如体积、质量、内能、焓和熵等。

(2)**强度性质**。此类性质的量值与系统中物质的量无关,不具有加和性,仅决定于系统本身的特性。如温度、压力、密度和粘度等。

1.1.4 过程和可逆过程

系统的状态随时间发生一系列的变化,这种变化称为**过程**。完成这个过程的具体步骤是**途径**。

系统经过某过程由状态Ⅰ变到状态Ⅱ之后,当系统沿该过程的逆过程回到原来状态时,则原来过程对环境产生的一切影响同时被消除(即环境也同时复原),这种理想化的过程称为**可逆过程**。例如等温可逆、绝热可逆、可逆相变等。

实际过程都是不可逆过程。可逆过程是一种理想的过程,是一种科学的抽象,客观世界中的实际过程只能无限地趋近于它。但是可逆过程的概念却很重要。可逆过程是在一系列无限接近平衡条件下进行的过程,因此它和平衡态密切相关。以后我们可以看到一些重要的热力学函数的增量,只有通过可逆过程才能求得。从实用的观点看,可逆过程最经济、效率最高。所以,研究可逆过程的意义在于,可逆过程指出了能量利用的最大极限值(系统做最大功,环境消耗最小功),可用来衡量实际过程完善的程度,从而确定提高实际过程效率的可能性。

1.2 化学反应中的能量守恒定律

1.2.1 热力学第一定律

在任何过程中能量不会自生自灭,只能从一种形式转化为另一种形式,在转化过程中能量的总值不变,这就是能量守恒定律,又称为能量守恒与转化定律。

将能量守恒定律应用于热力学中即称为**热力学第一定律**。在化学热力学中,研究的是宏观静止系统,不考虑系统整体运动的动能和系统在外场(如电磁场、离心力场等)中的位能,只着眼于系统的热力学能(旧称内能)。它是指系统内分子的平动能、转动能、振动能,分子间势能,原子间键能,电子运动能,核内基本粒子间核能等能量的总和。

设想系统由始态(热力学能为 U_1)变为终态(热力学能为 U_2),若在过程中,系统从环境吸热 Q ,对环境做功 W ,则封闭系统热力学能的变化是

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q - W \quad (1.1)$$

式(1.1)就是**热力学第一定律的数学表达式**。它表示**封闭系统中系统热力学能的增量等于系统所吸的热减去系统对环境所做的功**。

热力学能既是系统内部能量的总和,所以是系统自身的性质,只决定于其状态,是系统的**状态函数**。

由于物质结构的复杂性和内部微观粒子相互作用的多样性,系统物质热力学能的绝对值尚无法确定,但热力学能的变化量可以通过系统与环境交换的热和功来确定。热力学正是通过状态函数的变化量来解决实际问题的。

系统与环境之间由于存在温度差而交换的能量称为**热**。系统吸热, Q 为正值;系统放热, Q 为负值。 Q 的 SI 单位为 J。

系统与环境间除热以外的其他形式传递的能量都叫做**功**。以符号 W 表示,SI 单位为 J。系统对环境做功时, W 取正值;环境对系统做功时, W 取负值。热力学中将功分为体积功和非体积功两类。由气体体积的膨胀或压缩所做的功称为**体积功**(或膨胀功)。体积功对于化学过程有特殊意义,因为许多化学反应常在敞口容器中进行。如果外压 p 不变,这时的体积功为 $p\Delta V$ 。**非体积功**有多种,如电功、表面功、机械功、摩擦功等。本书除第四章要讨论电功外,一般均讨论不做非体积功的情况,而第六章等中的生命过程则为敞开系统。

功和热都是过程中被传递的能量,它们都不是状态函数,其数值与途径有