

50769

Handbook for Ordinary Water and
Steam Parameters with Energy

具有焓参数的

水和水蒸汽性质 参数手册

南京工学院 钟史明 汪孟乐 范祥元 编著
清华大学 赵承颐 审

水利电力出版社

Handbook for Ordinary Water and
Steam Parameters With Exergy

具有炯参数的
水和水蒸汽性质参数手册

南京工学院 钟史明 汪孟乐 范仲元 编著
清华大学 赵兆颐 审

水利电力出版社

**Handbook for Ordinary Water and
Steam Parameters with Exergy**

具有焓参数的水和水蒸汽性质参数手册

南京工学院 钟史明 汪孟乐 范仲元 编著

清华大学 赵兆颀 审

*

水利电力出版社出版、发行

〈北京三里河路6号〉

各地新华书店经营

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 18印张 400千字

1989年5月第一版 1989年5月北京第一次印刷

印数0001—1590册 精装定价：22.20元

ISBN 7-120-00557-X/TK·88

内 容 简 介

本手册的水和水蒸汽性质图表是根据最新的、莫斯科第十届国际水蒸汽性质会议上认可的公式，自编程序在电子计算机上制成的，并增加了焓(Exergy)参数。手册的主要内容有：水和水蒸汽的热力学性质基本参数，第十届IAPS仍公认的公式，1985年国际骨架表；焓的计算公式；水和水蒸汽的粘度、导热系数、比热、定焓指数及其它性质参数。书末附有彩色的*h-s*、*T-s*、*e-s*和*e-h*图，和1984年IAPS科学用和通用的公式。

本手册可供热能动力、石油、化工、核能、航天、海洋等方面的科研、设计、制造及运行部门使用，亦可供大、中专院校相关专业的师生参考。

為能源工作的科技、教育和
運行等部門提供方便，填補
我國的空白。

嚴濟慈題

一九八四年十二月



代 序

这本《具有焓参数的水和水蒸汽性质参数手册》是我院电厂热能动力教研组钟史明教授、汪孟乐教授和范仲元副教授编著的。他们利用IFC公式，经过几年的努力，自编程序计算，得出此表；除了常见的水和水蒸汽性质参数之外，还增加了焓参数和焓-熵图、焓-焓图。国内过去出版的水和水蒸汽性质表都是从外国版本（英、苏、德）译出。这是我国自编的第一本，有它自己的一些特色。

当前热力工程中日益采用焓作为评价热能利用的一个综合指标。所以增加焓参数图表将为推广应用先进的分析、计算方法提供方便，对能源和节能工程是有益的。

钱钟韩

1984年10月于南京工学院

荐 言

水是优良的传热介质，水蒸汽是常用的动力工质，水和水蒸汽的热物理性质、包括平衡性质和传递（或作“输运”）性质是广大热工教师和科研设计工作者在工作中需要频繁查用的数据资料之一，受到国际学术界的重视。为此，已在历届国际水蒸汽性质会议上先后规定并修订了国际公认的热力性质骨架数据表，制定了IFC（国际公式化委员会）内插式，逐步补充了传递性质的图表，使各国的科研成果能在统一数据资料的基础上得到更好的技术交流。最新的一轮国际水蒸汽性质会议于1984年9月初在莫斯科举行，其内容已扩大为广泛包括当前科技发展中所涉及的其他一些流体介质和工质。预计现有水和水蒸汽热力性质的骨架表中尚待继续检验和推敲的数据将主要限于近临界区，更多的注意力将转向水和水蒸汽的传递性质。

1973年12月的中东战争触发了石油供应危机，十多年来推动了节能技术的发展，促进了标志能量可用性的定量指标“焓”参数的推广应用，原先盛行的“热平衡分析”逐渐被新兴的“焓平衡分析”所取代。而国内已有的水和水蒸汽热力性质图表，包括最近1983年由水利电力出版社出版的西德E. 斯米特教授和U. 格里古尔教授1981年德文版的中译本在内，都尚未列进焓值。焓是复合参数，为了保证足够的有效数字位数，必须增加所用到的焓和焓值的有效数字位数。

南京工学院钟史明教授，汪孟乐教授和范仲元副教授采用国际水蒸汽会议所认可的IFC公式复算了水和水蒸汽的热力性质，增列了焓参数，编绘了焓-熵图和焓-焓图，编撰成这本《具有焓参数的水和水蒸汽性质参数手册》，由水利电力出版社组织出版。相信这将对我国热工工作者提供更多的方便。值此书即将问世之际，谨致数语，以向读者推荐介绍。

王补宣

1984年11月20日清华大学

前 言

水和水蒸汽性质图表是设计、科研和教学中必不可少的工具书。我国已先后编译出版过美、苏和西德的水蒸汽图表^[1-3]，如1974年水利电力出版社出版的西德工程师协会1968年版工程制《水和水蒸汽热力学性质图表》^[1]；1983年人民教育出版社出版的南京工学院庞麓鸣副教授和陈军健教授根据苏联С.Л.里夫金(С.Л.Ривкин)和А.А.亚历山德罗夫(А.А.Александров)1980年版数据编译的《水和水蒸汽热力学性质图和简表》^[2]；最新的是1983年水利电力出版社出版的由清华大学赵兆颐副教授翻译西德E.斯米特(E.Schmidt)和U.格里古尔(U.Grigull)编撰的1981年版《国际单位制的水和水蒸汽性质》^[3]。

但上述图表中，都没有当前世界上日益推广使用的新参数“焵”(Exergy)，而焵可作为能的数量和质量的综合评价。在“节能”领域与“热经济学”上和推广应用热力学第二定律分析法等方面是具有实用价值的^[4, 5]。而国外这几年新出版的水蒸汽表中也没有焵参数，因此，我们决定自己编制程序，上机计算焵及其它热力参数(焓、比容、熵等)。

美国J.H.基南(Keenan)等于1978年出版的水蒸汽表^[6]中采用的是他们推导的不分子区域的热力学公式。该公式自变量为绝对温度 T 和密度 ρ 。由于在整个热力参数范围内采用统一的一个公式，因而使用简单，但精度较差，且需要迭代，迭代的初值要求较严^[6]，我们将它在计算机上探讨试算中，发现它使用不如1967年工业用IFC公式^[7](International Formulation Committee)(国际公式化委员会制定的公式)方便，1967年工业用IFC公式的自变量是绝对温度 T 和压力 P ，且至今仍被最近的国际水蒸汽性质会议(1984年9月在莫斯科召开的第十届国际水蒸汽性质会议)所承认，因此我们决定用它来计算水和水蒸汽的热力学性质。该公式的详细说明引自文献^[11]和西德E.斯米特和U.格里古尔的《国际单位制的水和水蒸汽性质》一书^[12]，参见本书第二章第二节，本书第二章第三节是具有允差的水和水蒸汽热力学性质国际骨架表，系引自最新的1985年IAPS(International Association of the Properties of Steam)骨架表^[13]，该表取代了1963年国际骨架表；第二章的第三节介绍了焵的计算公式；第三章是我们计算得到的最高参数为800℃、100MPa范围内各种状态下水和水蒸汽的比容、焓、熵、和焵等热力学性质表；第四章是水和水蒸汽的其它参数：粘度、导热系数、定压比热、定焵指数、普朗特数、表面张力、拉普拉斯系数、相对静介电常数、折射率、SiO₂的溶解度和离子积等的国际骨架表、计算公式和图表，这些均转引自近几年来国际上新发表的文献资料^[14-20, 43, 44, 45]；本书最后是彩色附图：温-焵图和焓-焵图引自西德E.斯米特和U.格里古尔的《国际单位制的水和水蒸汽性质》^[12]一书，焵-焵图是我们手工绘制的而焵-焓图是我们用计算机绘制的；还附上1984年IAPS科学用和通用的公式^[13]。

本书是一本适用范围很广的工具书，它可供热动力、石油、化工、暖通、热物理、

热工仪表、锅炉、涡轮机、核动力、能源工程、航天工程、航海、海洋工程和粉末冶金等方面的科研、设计、制造和运行部门使用，并可供大专和中专院校中与上述专业有关的师生、研究生应用。

本书由南京工学院钟史明教授、汪孟乐教授和范仲元副教授编著。在编写过程中得到了中国科学院副院长严济慈教授、南京工学院名誉院长钱钟韩教授和清华大学王补宣教授的关怀、推荐与支持，严济慈教授为本书写了题词，钱钟韩教授为本书写了代序，王补宣教授写了荐言，清华大学赵兆颐副教授对书稿作了全面审阅、提了许多宝贵的意见与建议，并提供了第四章的有关资料。东北电力局科技处处长黄其励博士为我们提供了最新的1985年IAPS水蒸汽骨架表等资料。在上机制表和绘图工作中得到了南京工学院胡晓辉和电厂热能动力专业机房同仁的大力支持，在此，一并表示衷心感谢。

鉴于微型计算机已逐渐成为科技人员的工具，为此，我们在研制本书软件的基础上进行了扩充，制成几种可供实用的软件盘片，这几种软件盘片已通过鉴定，由水利电力出版社正式出版、发行，供用户选择使用。

编著者

1984年10月初稿于南京工学院
1987年7月修订

目 录

严济慈教授题词	
钱钟韩教授代序	
王补宣教授荐言	
前 言	
第一章 绪论	1
一、概论	1
二、本书应用的性质参数	2
表 1-1 水和水蒸汽性质参数的名称、符号和单位	
三、热力学关系式	4
四、气体常数和单位换算	4
(一) 气体常数	4
(二) 单位换算	4
1. 热量单位换算	4
表 1-2 热量单位换算表	
2. 基本参数单位换算	4
表 1-3 国际蒸汽表卡与焦耳换算表	
表 1-4 热化学卡与焦耳换算表	
表 1-5 基本参数单位换算表	
3. 能量单位换算	11
表 1-6 能量单位换算表	
第二章 水和水蒸汽的热力学性质基本参数	13
一、水和水蒸汽的热力学性质基本参数的国际骨架表	13
表 2-1 1985年IAPS饱和水和饱和蒸汽的比容和焓国际骨架表	
表 2-2 1985年IAPS水和过热蒸汽的比容国际骨架表	
表 2-3 1985年IAPS水和过热蒸汽的焓国际骨架表	
二、比容、焓、熵的国际计算公式	13
图2-1 在温-焓图上的子区域	
图2-2 在压力-温度图上的子区域	
(一) 定义常数	29
(二) 无因次对比态及其热力学关系式	30
1. 无因次对比态	30
2. 热力学关系式	30

(三) 子区域说明	31
1. 子区域的划分	31
2. 子区域之间的边界方程	31
3. 与子区域边界有关的常数	31
(四) 子公式	31
(五) K -函数(饱和线)与对比态饱和压力	33
(六) 正则函数	33
1. A -函数与对比态自由焓(吉布斯函数)	33
2. B -函数与对比态自由焓(吉布斯函数)	33
3. C -函数与对比态自由能(亥姆霍兹函数)	34
4. D -函数与对比态自由能(亥姆霍兹函数)	34
5. 有关正则函数的常数	34
(七) 常数的数值	34
1. 基本常数的数字值	34
2. 导出常数数值的表达式	36
(八) 导出常数	36
1. 导出常数的数字值	36
2. L -函数的导出式及与其有关的常数值	37
(九) 导出函数	37
(十) 注意事项	39
1. 子区域之间边界的不连续性	39
2. 数字计算中应注意的事项	40
三、焓的计算公式	40
第三章 水和水蒸汽的热力学基本参数表	43
一、水和水蒸汽的热力学基本参数表	43
表 3-1 饱和水和饱和蒸汽的热力学基本参数(按温度排列)	
表 3-2 饱和水和饱和蒸汽的热力学基本参数(按压力排列)	
表 3-3 水和过热蒸汽的热力学基本参数	
表 3-4 在临界范围附近水和过热蒸汽的热力学基本参数(温度每间隔1K)	
二、水和水蒸汽的热力学基本参数图	43
图 3-1 温-熵图	
图 3-2 焓-熵图	
图 3-3 焓-焓图	
图 3-4 焓-焓图	
第四章 水和水蒸汽的其它性质参数	219
一、粘度	219
(一) 粘度的国际骨架表	219
表 4-1 1985年IAPS水和过热蒸汽的粘度(η)国际骨架表	
(二) 粘度的国际计算公式	219
表 4-2 $\eta_i(\bar{T}, \bar{\rho})$ 的 H_{ii} 系数表	

(三) 粘度的实用表	224
表 4-3 饱和水和饱和蒸汽的粘度表	
表 4-4 水和过热蒸汽的粘度表	
(四) 粘度的实用图	226
1. 粘度 η 与温度 t 的函数关系 (图4-1)	
2. 粘度 η 与温度 t 、压力 P 的函数关系 (图4-2)	
二、导热系数	228
(一) 导热系数的国际骨架表	228
1. 1985年IAPS饱和状态下的水和蒸汽的导热系数 λ 国际骨架表 (表4-5)	
2. 1985年IAPS水和过热蒸汽的导热系数 λ 国际骨架表 (表4-6)	
(二) 导热系数的国际计算公式	229
表 4-7 南山导热系数方程中的系数值	
(三) 导热系数实用表	234
1. 饱和水和饱和蒸汽的导热系数 (表4-8)	
2. 水和过热蒸汽的导热系数 (表4-9)	
(四) 导热系数的实用图	238
1. 导热系数与温度的函数关系 (图4-3)	
2. 导热系数与温度、压力的函数关系 (图4-4)	
三、比热与定熵指数	240
(一) 比热与定熵指数的计算公式	240
1. 定压比热	
2. 定容比热	
3. 定熵指数	
(二) 定压比热实用表	240
1. 饱和水和饱和蒸汽的定压比热 (表4-10)	
2. 水和过热蒸汽的定压比热 (表4-11)	
(三) 定压比热与定熵指数的实用图	241
1. 定压比热与压力、温度的函数关系 (图4-5)	
2. 定熵指数 (图4-6)	
四、普朗特数	251
(一) 普朗特数的实用表	251
1. 饱和状态下的水和蒸汽的普朗特数 (表4-12)	
2. 水和过热蒸汽的普朗特数 (表4-13)	
(二) 普朗特数的实用图	254
1. 普朗特数与温度的函数关系 (图4-7)	
2. 普朗特数与温度、压力的函数关系 (图4-8)	
五、表面张力和拉普拉斯系数	256
(一) 表面张力国际骨架表	256
表 4-14 表面张力国际骨架表	
(二) 表面张力与拉普拉斯系数的国际计算公式	257

1. 表面张力的国际计算公式	
2. 拉普拉斯系数的国际计算公式	
(三) 拉普拉斯系数的实用表	258
表 4-15 水的拉普拉斯系数	
(四) 表面张力和拉普拉斯系数的实用图	258
图 4-9 σ 、 $\sigma-t$ 图	
六、相对静介电常数(相对静电容率)	259
(一) 相对静介电常数的计算公式	259
图 4-10 相对静介电常数的相对误差	
(二) 相对静介电常数的实用表	259
表 4-16 水和过热蒸汽的相对静介电常数	
七、折射率及其国际计算公式	261
表 4-17 普通水折射率国际公式的常数表	
八、 SiO_2 的溶解度及其国际计算公式	262
九、离子积	262
(一) 离子积的计算公式	262
(二) 离子积的实用表	263
表 4-19 水的离子积 $\log_{10}K_w$	
附录: 1984年IAPS科研用和通用普通水公式	265
附图 1 在各区域内的相对密度误差值	
附图 2 附图 1 部分区域中的相对密度(压力)误差值	
附图 3 在各区域内的相对焓误差值	

第一章 绪 论

一、概 论

随着蒸汽机的发明、产业革命的爆发,从十九世纪初期起,世界各国就开始重视水和水蒸汽性质的实验和研究。起初,由于各国的测量方法不同,使用的单位也不一样,使得各国的水蒸汽数据很不统一。为了获得可信赖的国际水蒸汽表,于1929年7月英国伦敦召开了第一届国际水蒸汽表会议(International Steam Table Conference),会上制定了第一张国际水蒸汽热力性质骨架表。该表给出了 $0\sim 350^{\circ}\text{C}$ 下,8种温度的饱和压力、饱和水及水蒸汽的比容和焓值;也给出了 550°C 以下, 24.52MPa 以内, 7×9 个状态过热蒸汽的比容和焓值;表中还附有测试热力性质固有的有限精度所造成的允差。随后的第二届、第三届国际蒸汽表会议以及第二次世界大战后召开的各届国际水蒸汽性质会议 ICPS (International Conference on The Properties of Steam)上,又将骨架表的压力和温度范围加以拓宽,单位也逐步统一为国际单位制(SI),参数的量也由单纯的热力性质(比容和焓)增加到输运性质(粘度和导热系数)以及其它性质(如表面张力等)。

骨架表的允差数值是这样选定的:使所有被认为是可靠的实验结果都在允差范围之内。因此骨架表中的允差也就是实验数据存疑程度的指标。这些允差不可被更精确地定义(如它们不能利用误差的统计学理论来定义),因为在一些很大的区域范围内仅分布有少数的实验数据点。所以也有这样的可能,即有少数几个点上“真实”值会超过允差范围。世界各国编制的各水蒸汽表中的数值可能有差别,但它们与骨架表数值的差值基本上还都在允差范围之内。

骨架表中所有热物性参数的单位均采用我国1984年2月27日颁布的法定单位^[1]。

随着电算技术的发展,电子计算机在电厂设计、技术经济最优化以及“热经济学(Thermoeconomics)”等新的学科领域中的应用日益增长,十分有必要推导一批水和水蒸汽性质计算机用的公式。为此,在1963年,于纽约举行的第六届国际水蒸汽性质会议上,成立了国际公式化委员会(IFC)。若干年后,该委员会提出了国际公认的“工业用1967年IFC公式”及“通用和科研用1968年IFC公式”。二十一年后在1984年于莫斯科举行的第十届国际水蒸汽性质会议上又废除了“通用和科研用1968年IFC公式”。因此,本书,第三章表3-1~表3-4给出的比容、焓和比焓等热物性参数,均是依据当前仍被国际公认的“工业用1967年IFC公式”算出的。为了便于使用内插法,它们在数字位数上都保留了超过实验准确度及允差范围所规定的位数,温度的间隔,一般为 10K 。在临界状态附近的一个狭窄区域内,间隔缩小为 1K ,为的是便于进行内插,因为在此处温度变化非常敏感(第三章表3-4)。关于《工业用1967年IFC公式》的说明见本书第二章第二节。本书第二章第三节介绍了焓的计算公式,编著者利用该公式计算出了当前国内外公开文献上尚未

见到的焓参数的详细数值，并将其列于表3-1~表3-4中，同时绘制了焓-熵图（图3-3）和焓-焓图（图3-4），这样就充实了水蒸汽图表的内容，这对进行能的数量及质量的综合评价和节能工作中的计算是极为方便的。

第一张国际输运性质骨架表是1964年制定的，限于当时的科技水平，误差偏大。1974年法国第八届国际水蒸汽性质会议宣布1964年骨架表作废，并指定一个委员会对其修定。1975年和1977年IAPS先后公布了经过鉴定的粘度和导热系数的测试数据表，这些数据表曾分送参加第八届国际水蒸汽会议的各国代表审阅，得到了他们的赞同，被认为是当时的国际骨架表。而后，在1984年第十届IAPS会议上又重新进行了修订，并于1985年公布了输运性质的最新骨架表。本书第四章给出的有关图表是附合当前国际会议的有关规定的，它们大多引自当前国际上公布的最新文献。其中表4-1和表4-5均引自在最新的第十届莫斯科国际水蒸汽性质会议上修定，于1985年IAPS公布的粘度和导热系数国际骨架表；1983年公布的水的表面张力国际骨架表列于表4-14中。

本书后附有1984年IAPS科学用和通用的公式，并附有彩色的焓-熵图、温-熵图、焓-焓图和焓-焓图。其中焓-焓图是由编著者在微型电子计算机上绘制的，焓-熵图是手工绘制的。

二、本书应用的性质参数

本书图表中各种性质参数的单位均采用国务院1984年2月27日公布的《中华人民共和国法定计量单位》^[15]，参数的名称和符号则依据国家标准 GB3102.4-82^[16]和GB4270-84^[17]，这些标准的制订是以国际单位制（The Systeme International d' Unités，缩写SI）为基础的，并参照了国际标准ISO31/0~13。

本书图表中应用的性质参数的名称、符号和单位列于表1-1。

表 1-1 水和水蒸汽性质参数的名称、符号和单位

性质参数名称	符 号	单 位 符 号	备 注
热力学温度	T	K	
摄氏温度	t	℃	
压 力	p	Pa(MPa)	$t = T - T_0$
比 容	V	m ³ /kg	($T_0 = 273.15\text{K}$)
密 度	ρ	kg/m ³	
焓	h	kJ/kg	

续表

性质参数名称	符 号	单 位 符 号	备 注
汽化潜热	r	kJ/kg	
焓	e	kJ/kg	
熵	s	$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	
定容比热	C_v	$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	
定压比热	C_p	$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	
粘 度	η	$\text{Pa}\cdot\text{s}$	
导热系数	λ	$\overline{\text{W}}/(\text{m}\cdot\text{K})$	
普朗特数	$Pr = \eta C_p / \lambda$	—	
表面张力	σ	N/m	
拉普拉斯系数	a	m	
定熵指数	$k = -\frac{V}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_s$	—	
离子积	K_w	$(\text{mol/kg})^2$	
相对静介电常数	ϵ	$\text{A}\cdot\text{s}/(\text{V}\cdot\text{m})$	
折 射 率	n		
溶 解 度	m	mol/kg水	

除了表1-1所列参数外, 本书还用到其他一些物理量, 他们是,

临界点参数 v_c, p_c, T_c

饱和水参数 h_f, s_f, v_f

饱和蒸汽参数 h_g, s_g, v_g

饱和压力 p_s

三相点参数 $f_{tm}, s_{tm}, p_{tm}, T_{tm}$

水蒸汽的气体常数 R

饱和温度 T_s

国际标准化组织 (ISO/R31) 提出了以SI单位表达出的其他单位的计算公式。

国际计量大会 (CGPM) 和国际标准化组织 (ISO) 给出了如下的规定:

$$T_{s,} = 273.16 \text{ K (精确值)}$$

而摄氏温度精确地等于 $T - T_{s,}$, 其中

$$T_{s,} = 273.15 \text{ K (精确值)}$$

本书中，符号 T 始终表示热力学温度。国际实用温标（1968年）所定义的热力学温度和摄氏温度的数值被认为是目前最好的近似值。当把国际实用温标与热力学温标看作相等时，第二章第二节第（七）部分所列出的常数是适用的。

三、热力学关系式

根据热力学各定律，在状态参数 T 、 p 、 v 、 h 、 e 和 s 之间存在着微分关系。利用常说的热力学位能，即亥姆霍兹（Helmholtz）函数或自由能（Specific free energy） f ，以及吉布斯（Gibbs）函数或自由焓（Specific free enthalpy） $g=f+pv$ ，这些微分关系可写成：

$$\left. \begin{aligned} s &= -(\partial g/\partial T)_p = -(\partial f/\partial T)_v \\ v &= +(\partial g/\partial p)_T \\ p &= -(\partial f/\partial v)_T \\ h &= g + T_r = f + pv + T_r \\ e &= h - T_r, s = g + (T - T_r)s \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中 T_r 为三相点温度（参见上节），焓 e 计算公式的推导参见第二章第三节。

四、气体常数和单位换算

（一）气体常数

摩尔气体常数的当今最佳数据为：

$$R = (8.3144) \pm 0.00026 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K}) \quad (1-2)$$

以同位素碳12（ ^{12}C ）的原子量等于12为基准，水蒸汽（ H_2O ）的摩尔量的当今最佳数据为：

$$m_m = 18.0153 \text{ kg}/\text{kmol} \quad (1-3)$$

假如水蒸汽为理想气体，并利用上述两个数据，则水蒸汽的气体常数为：

$$R = R/m_m = 0.461519 \text{ kmol}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \quad (1-4)$$

（二）单位换算^[16]

1. 热量单位换算

我国法定计量单位中规定热量单位为焦耳（J），废除现行热量单位卡（cal）。卡与焦耳间的换算，按下式进行：

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ } 20^\circ\text{C卡 (cal)} &= 4.1868 \text{ 焦耳 (J)} \\ 1 \text{ 国际蒸汽表卡 (cal)} &= 4.1868 \text{ 焦耳 (J)} \\ 1 \text{ 热化学卡 (cal)} &= 4.1840 \text{ 焦耳 (J)} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

具体换算可见表1-2~表1-4。

2. 基本参数单位换算

基本参数间不同单位的换算关系如表1-5所示。