

国际单位制 的 水和水蒸汽性质

0 ~ 800 °C 0 ~ 1000 巴

水利电力出版社

一九八二年七月

国际单位制的水和水蒸汽性质

0 ~ 800°C

0 ~ 1000 巴

[西德] E. 斯米特 U. 格里古尔

赵兆颐 译

水利电力出版社

国际单位制的水和水蒸汽性质

0 ~ 800°C

0 ~ 1000 巴

[西德] E. 斯米特 U. 格里古尔

赵兆颐 译

水利电力出版社

内 容 简 介

本书是根据西德恩斯特·斯米特 (Ernst Schmidt) 教授和乌尔里希·格里古尔 (Ulrich Grigull) 教授编辑的《国际单位制的水和水蒸汽性质》1981年修订第二版校正重印本全文翻译的。

全书分为四个部分: 第一部分介绍了水蒸汽性质图表和公式的发展简况, 使用的参数、单位和热力学关系式, 还给出了引用的 277 篇参考文献的书目。第二部分是最高参数为 800 °C、1000 巴范围内各种状态下水和水蒸汽热力性质、迁移性质等图表。第三部分是“国际公式化委员会”(I F C) 1967 年提出的水和水蒸汽热力性质计算公式以及 1974 年以后公布的国际公认的迁移性质计算公式。第四部分为莫里尔焓-比焓图和温度-比焓图。

本书主要供能源工程的科研、设计、制造和运行部门使用, 并可供有关的大专和中专院校能源工程等专业教学时参考。

Properties of Water and Steam in SI-Units

0~800 °C, 0~1000 bar

Prepared by Ernst Schmidt

Second, Revised and Updated, Printing Corrected Reprint

Edited by Ulrich Grigull

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York R. Oldenbourg München 1981

国际单位制的水和水蒸汽性质

[0 ~ 800 °C, 0 ~ 1000 巴]

[西德] E. 斯米特 U. 格里古尔

赵兆颐 译

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

850 × 1168 毫米 16 开本 12 印张 324 千字 2 插页

1983 年 3 月第一版 1983 年 3 月北京第一次印刷

书号 精装 15143·5121 印数 0001—2310 册 定价 精装 5.00 元
平装 15143·5122 印数 0001—3840 册 定价 平装 3.40 元

译者序

水和水蒸汽性质图表是设计、科研和教学中必需的工具资料。我国已先后翻译出版过美国、苏联和西德等国的水蒸汽表。最新的中译本是1974年水利电力出版社出版的、西德工程师协会1968年版《水和水蒸汽热力学性质图表》。它虽已采用了国际公认的“工业用1967年IFC公式”计算热力性质，但由于我国使用的是工程单位制，当时还未向国际单位制过渡，该书仍沿用了千卡和工程大气压等工程单位制的单位。另外，该中译本中粘度、导热系数、普朗特数、表面张力、拉普拉斯系数和等熵指数的数据及图表现在国际上已被新的所代替。为了有助于我国向国际单位制过渡，我们翻译出版了这本国际单位制的水蒸汽表。

本书是当前国际上各种水蒸汽表中最新的一个版本，它虽沿用了1967年IFC公式计算了焓和比容等热力性质表，但该公式至今仍是最近的国际水蒸汽性质会议所承认的。另外，本书选用了1974年第八届国际水蒸汽性质会议后所公布的粘度、导热系数和表面张力等最新国际骨架表。拉普拉斯系数的图表以及等熵指数曲线图等也是根据国际公认的最新公式作出的。书中已全部采用了国际单位制的单位。

本书是一本体现国际合作的重要文献，它由西德的E.斯米特和U.格里古尔两位教授编辑，在美国、日本的机械工程协会和西德工程师协会的合作下编成的，并得到了世界上十三个工程协会的同意。由于本书是一本国际公认的好文献，西德的工程学博士F.麦因格(F. Mayinger)教授向本人作了推荐并寄给了本书1979年版的影印本，迈荣有限公司(Macvin International, Ltd.)的陈迺赓(N.K. Chan)总经理又及时提供了最新1981年版原著，使翻译出版工作能顺利地进行，特在此致谢。西安热工研究所译的《水和水蒸汽热力学性质图表》对本书的翻译工作有很大的帮助，特向西安热工研究所的有关同志表示感谢。最后，还要感谢本校的王补宣教授对本书翻译出版工作的支持。

本书主要供能源工程的科研、设计、制造和运行部门使用，并可供有关的大专和中专院校能源工程等专业教学时参考。

由于本人水平有限，译文中如有不妥之处，请读者批评指正。

赵 兆 颐

1981年8月于北京清华大学

说 明

本蒸汽表由工程学博士、名誉自然科学和法学博士E. 斯米特教授主编, 并在下述三个协会合作下编成:

纽约的美国机械工程协会(ASME),

东京的日本机械工程协会(JSME),

杜塞尔多夫的西德工程师协会(VDI); 还得到了下述机构的同意:

米兰的意大利热工协会(Associazione Termotecnica Italiana),

布宜诺斯艾利斯的阿根廷工程师中心(Centro Argentino de Ingenieros),

布达佩斯的能量经济科学协会(Energiagazdálkodási Tudományos^① Egyesület),

哥本哈根的丹麦工程师协会(Dansk Ingeniørforening),

奥斯陆的挪威工程师协会(Den Norske Ingeniørforening),

悉尼的工程师协会(The Institution of Engineers),

约翰内斯堡的南非机械工程协会(The South African Institution of Mechanical Engineers),

海牙的全国工程师协会(Koninklijke Instituut van Ingenieurs),

安卡拉的机械工程师协会(Makina Mühendisleri Odası),

斯德哥尔摩的瑞典全国机械工人协会(Svenska Mekanisters Riksförening),

巴黎的法国热工协会(Société Française des Thermiciens),

维也纳的奥地利工程师和建筑师协会(Osterreichischer Ingenieurs-und Architekten-Verein),

苏黎世的瑞士工程师和建筑师协会(Schweizerischer Ingenieur-und Architekten-Verein)。

本蒸汽表修订第二版由工程学博士U. 格里古尔教授编辑。

^① 原文误为 Tumorányos —— 译者

1981年校正重印本序言

与1979年修订复印本相比，这个校正重印本作了如下的修改：

本书第 165 页（原文第 165 页）表 6 a 《普朗特数——压力 p 和温度 t 的函数》中表头“ p 巴”与“ t °C”互换了位置。

本书第 169 页（原文第 169 页）图 3 《 λ - t 图》中压力大于等于 250 巴的等压线上的文字注释作了变动。

乌尔里希·格里古尔

1981年 1 月于慕尼黑

1979年修订第二版序言

工程学博士E. 斯米特教授编辑的《国际单位制的水和水蒸汽性质》一书销路很广, 现已绝版, 故很需要将它修订、更新和复印再版。再版主要审查了由于国际水蒸汽性质会议及其工作组的最新决议对1969年版所引起的变动。

1969年版的主要部分, 即水和水蒸汽的热力学平衡态性质, 是根据“工业用1967年 I F C 公式”的方程组计算的。在再版中仍选用了这个公式, 没有作任何的变动, 它所计算出的性质表的数值至今仍满足工业用户的需要。主要的变动在导热系数、粘度、普朗特数和表面张力等章节内。在1972年到1978年期间, 对上述几个参数作过修正。修正后的骨架表和公式符合当前的认识水平。它们已公开发表, 并被“国际水蒸汽性质协会”(International Association for the Properties of Steam)成员国的决议确认为国际标准。这些数表已收入本新版书中取代了相应的旧版数表。

在修订的过程中, 慕尼黑的工程学博士 J. 斯特劳布 (J. Straub) 教授和 K. 舍夫勒 (K. Scheffler) 工学士给予了帮助, 特此致谢。

乌尔里希·格里古尔

1979年5月于慕尼黑

初 版 序 言

水和水蒸汽的热力性质表是完全利用“工业用1967年I F C公式”的方程组计算出来的。这个方程组是第六届国际水蒸汽性质会议承认的。用它计算出来的数据中仅在定压比热的一个小区域内有偏差，需要作修正。

迁移性质表的绝大部分也是依据国际公认的方程组计算出来的。参数和单位的符号均选自国际标准。

工业用1967年I F C公式是由1963年在纽约召开的第六届国际水蒸汽性质会议组成的国际公式化委员会（I F C）制定的。国际公式化委员会由下列国家的代表所组成：

捷克斯洛伐克社会主义共和国，

德意志联邦共和国，

日本国，

苏维埃社会主义共和国联盟，

大不列颠和北爱尔兰联合王国，

美利坚合众国。

本蒸汽表主要供工业上使用。它的编辑得到了世界上大多数主要的工程协会的同意，故它是一本体现国际合作的重要文献。本蒸汽表可充当以前出版的《西德工程师协会水蒸汽表》（VDI-Wasserdampfatafeln）版本B^①（1963年版）的新版。

I F C的成员以及有关论文和实验报告的作者们的帮助使我们对水蒸汽性质的了解深入了，在此表示感谢。

在编辑本蒸汽表的过程中，慕尼黑的J.巴赫（J. Bach）工学士和工程学博士U.格里古尔教授、纽伦堡的F.麦因格工程学博士、慕尼黑的R.迈尔-彼得罗夫（R. Meyer-Pittroff）工学士和M.雷曼（M. Reimann）工学士、埃尔兰根的K. R.斯米特博士、美因河畔法兰克福的D.施瓦茨（D. Schwarz）工程学博士以及埃尔兰根的H.特拉兹（H. Tratz）工程学博士等都给予了帮助，特此致谢。

埃尔兰根的西门子股份有限公司（Siemens AG）提供了她的电子计算机，在此也表示衷心的感谢。

恩斯特·斯米特

1969年1月于慕尼黑

^① 版本B采用了国际单位制的单位——译者

目 录

译者序

说明

1981年校正重印本序言

1979年修订第二版序言

初版序言

第一章 绪论	9
一、概论	9
二、性质表中应用的热力参数和单位	10
三、热力学关系式	11
四、基本参数和换算系数	11
五、参考文献	13
第二章 水和水蒸汽性质图表	22
表1 饱和状态(按温度排列)	22
表2 饱和状态(按压力排列)	29
表3 水和过热蒸汽	34
表3a 水和过热蒸汽(在临界范围内, 温度每档间隔1开)	146
表4 具有允差的国际骨架表	148
表5 定压比热 c_p	158
表6a 普朗特数——压力 p 和温度 t 的函数	165
表6b 饱和状态下的粘度、导热系数和普朗特数	166
6c 迁移性质图	167
表7 表面张力和拉普拉斯系数	173
8 等熵指数图	174
第三章 公式和方程	175
一、工业用1967年 I F C 公式	175
二、粘度及导热系数方程	188
附 图	
莫里尔焓-比熵图	
温度-比熵图	

第一章 绪 论

一、概 论

第二届和第三届国际水蒸汽性质会议^① [文献23、19] 制定了众所周知的骨架表。该表列出了在某一压力和温度范围内蒸汽的热力性质, 并附有这些性质的一切测试固有的有限精确度所造成的允差。随后的几届会议[文献55、56]又将骨架表的压力和温度范围加以放宽, 并对它加以改进。本书第二章第四节里转载的骨架表是在第六届会议[文献60]上才通过的。该表是根据到当时为止对这些特性的全部可得到的、并被认为是可靠的测量结果编制成的。

允差数值是这样选择的: 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同时就是实验数据存疑程度的指标。这些允差不可能被更精确地定义(譬如它们不可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。

平衡态性质的新的测量结果在少数几个点上稍微超过了允差范围。然而, 这些测量结果不能通过类似的实验来充分地证实, 所以骨架表的数据仍保持不变。

骨架表使用国际单位制(SI)的单位以及它的十进分数单位和十进倍数单位。热力学温度和温差的单位为开尔文(K)。

当使用摄氏温度时, 摄氏度(°C)可看作是开尔文的一个别名。

为了满足工业上的需要, 选用巴(bar)作为压力的导出单位。它很容易按下式换算成国际单位制的帕:

$$1 \text{ 巴} = 0,1 \text{ 兆帕}^{②}$$

按照第五届国际水蒸汽性质会议(1965年, 伦敦)通过的决议, 液相水在三相点的比熵和自由能的数值规定为零。

随着数字计算机在复杂计算方面, 特别是在电厂设计和最优化方面的应用日益增长, 推导一套供工业应用的水和水蒸汽性质的公式就有必要了。

为此目的, 第六届国际水蒸汽性质会议(1963年, 纽约)成立了国际公式化委员会(IFC)。其工作成果就是“工业用1967年IFC公式”^③。

在本书第三章第一节里给出了上述国际公认的公式。它由一整套方程式组成。这些方程式相应于1967年初我们的知识水平。它包含骨架表的全部范围。从该公式计算出来的数值, 不论在哪一点上, 都在骨架表的允差之内。而且这些数值在热力学上是一致的, 也就是说它们满足一些状态参数之间的已知关系。

本书第二章各表给出的温度直到800 °C、压力直到1000巴的水和水蒸汽的比容、焓和比

① 此会议原名“国际蒸汽表会议”(International Steam Table Conference), 1954年在美国召开的第四届国际会议才改用此名“国际水蒸汽性质会议”(International Conference on the Properties of Steam) ——译者

② 本书图表系按原著翻印, 书中数字的小数点均用“,”号 ——译者

③ 国际公式化委员会的另一个成果是“通用和科研用1968年IFC公式” ——译者

焓等数值都是利用该公式算出的。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10开。在临界状态附近的一个狭窄区域内，间隔缩小为1开，为的是能够较好地内插，因为在此处各数值随温度而急剧地变化(第二章表3 a)。

用由热力学关系式推导出来的公式算出定压比热。但在高压部分的一个小范围的超临界区域内，需要做少量图解法的修正。第二章表5给出了各比热的数值，并绘成在各压力下温度与比热之间的关系曲线图。

1974年第八届国际水蒸汽性质会议指定了一个工作组来修订原有的粘度和导热系数等迁移性质的骨架表，这是因为较新的测量结果[文献186、187]证明了原表数据有偏差。已制定了新的骨架表[文献198、203]和发展了温度范围为0~800℃、压力直到1000巴的新的内插方程[文献104、170、175、208、254]。这些成果汇总在瑞利斯(Release)公报①[文献264、265]内，所以得到了国际公认。在本书第二章第四节和第三章第二节内的表和公式体现了这些公报的内容。在各压力下迁移性质与温度的关系曲线图和 $p-T$ 图上的等迁移性质曲线图是借助于工业用迁移性质标准方程[文献264、265]绘制成的。

普朗特数 $Pr = \eta c_p / \lambda$ 表是用在各种压力 p 、温度 T 下的迁移性质 η 、 λ 和定压比热 c_p 的骨架表的数据计算出来的。在高温和低压的区域内，对这些数据作了少量的修正以使 Pr 曲线平滑。而且还将普朗特数绘制在 $p-T$ 图和 $Pr-T$ 图上。

等熵指数 k 的 $p-T$ 图是选用R.波拉克(R. Pollak)[文献182]的状态正则方程作出的，因为该方程较易计算。

在本书第二章里，表面张力 σ 的新的表示方法是以国际公认的骨架表和方程[文献263]的形式给出的。在第二章的结尾还有一张 σ 和拉普拉斯系数的曲线图。

本书原著用德文和英文两种文字印刷。书后附有 $h-s$ 图和 $T-s$ 图各一张。

二、性质表中应用的热力参数和单位

开尔文温度	T	K	开
摄氏温度	t	℃	摄氏度
$(T - T_0) = t, T_0 = 273.15 \text{ 开}$			
压力	p	bar	巴
比容	v	m^3/kg	米 ³ /千克
密度	$\rho = 1/v$	kg/m^3	千克/米 ³
焓	h	kJ/kg	千焦/千克
汽化潜热	r		
比熵	s	kJ/kgK	千焦/(千克·开)
定压比热	c_p		
粘度	η	kg/sm	千克/(秒·米)

① 指国际水蒸汽协会于1975年和1977年颁发的粘度及导热系数公报 Release on Dynamic Viscosity of water Substance (1975年)及Release on Thermal Conductivity of Water Substance (1977年) ——译者

导热系数 λ W/mK 瓦/(米·开)
 普朗特数 $Pr = \eta c_p / \lambda$
 饱和状态: 水用角标',
 汽用角标''

三、热 力 学 关 系 式

根据热力学各定律, 在状态参数 T 、 p 、 v 、 h 和 s 之间存在着微分关系。利用通常所说的热力学位能, 即自由能或亥姆霍兹 (Helmholtz) 函数以及自由焓或吉布斯 (Gibbs) 函数 $g = f + pv$, 这些微分关系可写成:

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

满足上述微分关系的状态方程称为热力学平衡式。

四、基本参数和换算系数

摩尔气体常数的当今最佳数据为:

$$R = (8,31441 \pm 0,00026) \text{千焦}/(\text{千摩} \cdot \text{开}), \quad (2)$$

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:

$$m_m = 18,0153 \text{千克}/\text{千摩}, \quad (3)$$

假定水蒸汽为理想气体, 并利用上述两个数据, 则水蒸汽的气体常数为:

$$R = R/m_m = 0,461519 \text{千焦}/(\text{千克} \cdot \text{开}), \quad (4)$$

换 算 系 数 表*

		巴	工程大气压	磅(力)/英寸 ²
压 力	1 巴 =	1	1,01972	14,5038
	1 工程大气压 =	0,980665	1	14,2233
	1 磅(力)/英寸 ² =	0,0689476	0,0703070	1
比 容		米 ³ /千克	英尺 ³ /磅	
	1 米 ³ /千克 =	1	16,0185	
	1 英尺 ³ /磅 =	0,0624280	1	
焓		千焦/千克	千卡/公斤	英热单位/磅
	1 千焦/千克 =	1	0,238846	0,429923
	1 千卡/公斤 =	4,1868	1	1,8
	1 英热单位/磅 =	2,326	0,555556	1
比 熵		千焦/(千克·开)	千卡/(公斤·°K)	英热单位/(磅·°R)
	1 千焦/(千克·开) =	1	0,238846	0,238846
	1 千卡/(公斤·°K) =	4,1868	1	1
	1 英热单位/(磅·°R) =	4,1868	1	1

比 热		千焦/(千克·开)	千卡/(公斤·℃)	英热单位/(磅·°F)
	1 千焦/(千克·开) =	1	0,238846	0,238846
	1 千卡/(公斤·℃) =	4,1868	1	1
	1 英热单位/(磅·°F) =	4,1868	1	1
粘 度		千克/(秒·米)	公斤(力)·秒/米 ²	磅/(秒·英尺)
	1 千克/(秒·米) =	1	0,101972	0,671969
	1 公斤(力)·秒/米 ² =	9,80665	1	6,58976
	1 磅/(秒·英尺) =	1,48816	0,151750	1
	1 泊 = 1 克/(秒·厘米) = 1 达因·秒/厘米 ² = 0,1 千克/(秒·米)			
导热系数		瓦/(米·开)	千卡/(米·时·℃)	英热单位/(英尺·时·°F)
	1 瓦/(米·开) =	1	0,859845	0,577789
	1 千卡/(米·时·℃) =	1,163	1	0,671969
	1 英热单位/(英尺·时·°F) =	1,73073	1,48816	1

* 原书无此表，它由译者转抄自1968年版西德工程师协会水蒸汽表。

五、参 考 文 献

水 蒸 汽 图 表

- [a] CALLENDAR, G. S., and A. C. EGERTON: The 1939 Callendar Steam Tables, London 1944.
- [b] BAIN, R. W.: N.E.L.-Steam Tables, Edinburgh 1964.
- [c] DZUNG, L. S., u. W. ROHRBACH: Enthalpie-Entropie-Diagramme für Wasserdampf und Wasser, Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer 1955.
- [d] FAXÉN, O. H.: Thermodynamic Tables in the Metric System for Water and Steam, Stockholm: Nordisk Rotogravyr 1953.
- [e] KEENAN, J. H., and F. G. KEYES: Thermodynamic Properties of Steam, New York/London 1936.
- [f] KNOBLAUCH, O., E. RAISCH, H. HAUSEN u. W. KOCH: Tabellen und Diagramme für Wasserdampf, 2. Aufl., München und Berlin 1932.
- [g] MOLLIER, R.: Neue Tabellen und Diagramme für Wasserdampf, 7. Aufl., Berlin 1932.
- [h] Revised Steam Tables and Diagrams of the Japanese Soc. of Mech. Eng. Tokyo 1955.
- [i] SCHMIDT, E.: VDI-Wasserdampftafeln, 6. Aufl., Berlin/Göttingen/Heidelberg, München: Springer und Oldenbourg 1963. Ausgabe A (kcal, at), Ausgabe B (Joule, bar).
- [k] 1967 Steam Tables. The Electrical Research Association, London: Eduard Arnold (Publishers) Ltd. 1967.
- [l] WUKALOWITSCH, M. P.: Thermodynamische Eigenschaften des Wassers und des Wasserdampfes, 6. Aufl. Moskau, Berlin: VEB Verlag Technik 1958.
- [m] The 1967 ASME Steam Tables. The American Society of Mechanical Engineers, New York 1967.

专 题 报 告

- [1] AMIRCHANOFF, CH. I., u. A. M. KERIMOFF: Investigation of heat capacity at continuous volume of water and steam using direct method along saturation line, including critical point. Teploenergetika 10 (1963) Nr. 8, S. 64/69. Ref.: BWK 15 (1963) Nr. 11, S. 544.
- [2] AMIRCHANOFF, CH. I., u. A. M. KERIMOFF: An Experimental Study of the Heat Capacity C_p of Water and Steam in the Supercritical State. Teploenergetika 10 (1963) Nr. 9, S. 61/65. Ref.: BWK 16 (1964) Nr. 1, S. 40/41.
- [3] ANGUS, S., and D. M. NEWITT: The measurement of the specific enthalpy of steam at pressures of 60 to 1000 bar and temperatures of 400 to 700 °C. Philos. Trans. Royal Soc., Ser. A 259 (1966) Nr. 1098.
- [4] BACH, J., u. U. GRIGULL: Eine Interpolationsgleichung für die Wärmeleitfähigkeit von überhitztem Wasserdampf. Brennstoff - Wärme - Kraft (BWK) 18 (1966) Nr. 3, S. 125/127.
- [5] BAEHR, H. D., u. H. THÜRMER: Eine Zustandsgleichung für Wasser im kritischen und überkritischen Gebiet. Brennstoff - Wärme - Kraft (BWK) 17 (1965) 20/25.
- [6] BAIN, R. W.: The preparation of steam tables with the aid of a digital computer. J. mech. Engng. Sci. 3 (4) (1961) 289/294.
- [7] BAIN, R. W., E. A. S. PATON and A. S. SCRIMGEOUR: An equation of state for steam. NEL Report No. 7. East Kilbride, Glasgow: National Engineering Laboratory 1961.
- [8] BRUGES, E. A.: Transport Properties of Water and Steam - Viscosity. Techn. Report No. 9 (A) Sept. University of Glasgow 1963.
- [9] BRUGES, E. A., B. LATTO and A. K. RAY: New correlations and tables of the coefficient of viscosity of water and steam up to 1000 bar and 1000 °C. Int. J. Heat and Mass Transfer 9 (1966) Nr. 5, S. 465/480.
- [10] CALLENDAR, G. S., and A. C. EGERTON: An Experimental Study of the Enthalpy of Steam. Philos. Trans. Roy. Soc. [London], Series A 1 252 (1959/60) 133/164.
- [11] CALLENDAR, G. S., and A. C. EGERTON: Tables of total heat of steam. ERA Report J/T 173. Leatherhead, Surrey: Electrical Research Association, 1958.
- [12] CHALLONER, A. R., and R. W. POWELL: Thermal conductivity of liquids, new determinations for seven liquids and appraisal of existing values. Proc. Roy. Soc. A 238 (1956) 90/106.
- [13] FRIEDMAN, A. G., and L. HAAR: High speed machine computation of ideal gas thermodynamic functions. 1. Isotopic water molecules. J. chem. Phys. 22 (12) (1954) 2051/2058.
- [14] FRITZ, W., u. H. POLTZ: Absolutbestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten. Int. J. Heat and Mass Transfer 5 (1962) 307/316.
- [15] GRIGULL, U., u. J. BACH: Die Oberflächenspannung und verwandte Zustandsgrößen des Wassers. Brennstoff - Wärme - Kraft (BWK) 18 (1966) Nr. 2, S. 73/75.
- [16] GRIGULL, U., F. MAYINGER u. J. BACH: Viskosität, Wärmeleitfähigkeit und Prandtl-Zahl von Wasser und Wasserdampf. Wärme- und Stoffübertragung. Bd. 1 (1968) 15/34.
- [17] HAVLIČEK, J., and L. MIŠKOVSKI: Research at the Masaryk Academy in Prague on the physical properties of water and steam. Helv. phys. Acta 9 (1936), 161/207.
- [18] HAYWOOD, R. W.: The Sixth International Conference on the Properties of Steam (Official Release), New York, Oktober 1963.
- [19] HENNING, F.: Rahmentafeln für Wasser und Wasserdampf nebst Erläuterungen. Ergebnisse der 3. Internationalen Dampftafelkonferenz. VDI-Z. 79 (1935) Nr. 45, S. 1359/1362.
- [20] HOLSER, W. T., and G. C. KENNEDY: Properties of water. Part IV. Pressure-volume-temperature relations of water in the range 100-400 °C and 100-1400 bars. Amer. J. Sci. 256 (10) (1958) 744/754.
- [21] HOLSER, W. T., and G. C. KENNEDY: Properties of water. Part V. Pressure-volume-temperature relations of water in the range 400-1000 °C and 100-1400 bars. Amer. J. Sci. 257 (1) (1959) 71/77.

- [22] JAKOB, M.: Rahmentafeln für Wasserdampf nebst Erläuterungen. Beschlüsse der Internationalen Dampftafel-Konferenz in London. Z. VDI **73** (1929) 1856/1858.
- [23] JAKOB, M.: Rahmentafeln für Wasserdampf nebst Erläuterungen. Ergebnisse der 2. Internationalen Dampftafel-Konferenz in Berlin. Z. VDI **75** (1931) 187/188.
- [24] JUZA, J.: Equation of state for saturated superheated steam. Prague: Mechanical Engineering Research Institute, Czechoslovak Academy of Sciences, 1962.
- [25] JUZA, J.: Equation of State for Water and Steam in the Region of Critical Point — Part I and Part II, Critical Point and its Immediate Vicinity.
- [26] JUZA, J.: Equation of State for Water and Steam in the Range from -20 to $+900$ °C, from 0 to 100000 Bar — Part II.
- [27] JUZA, J., V. KMONIČEK u. K. SCHOVANEC: The Joule-Thomson Effect in Light and Heavy Water for the Range of 1.2 to 1.8 bar, 130 to 190 °C.
- [28] JUZA, J.: Equations for Thermodynamic Properties of Water and Steam Suitable for Electronic Computers (2nd corrected edition).
(Die Arbeiten [24 bis [28] sind 1963 herausgegeben worden von der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Prag 6, Puschkinplatz 9.)
- [29] KELL, G. S., u. E. WHALLEY: The PVT Properties of Water. I. Experimental Methods, II. Compressions in the Range 0° to 150° C up to 1026 Bars Nat. Res. Council, Ottawa, N.R.C. No. 7607 u. 7608 (1963).
- [30] KELL, G. S., G. E. McLaurin u. E. WHALLEY: The PVT Properties of Water. III. The Thermal Expansion from 80 to 150° C. Nat. Res. Council, Ottawa, N.R.C. No. 7609 (1963).
- [31] KELL, G. S., u. E. WHALLEY: A Proposal for the International Skeleton Tables of the Properties of Liquid Water in the Range $0-150^{\circ}$ C, $0-1000$ bar. Nat. Res. Council, Ottawa (1963).
- [32] KENNEDY, G. C., W. L. KNIGHT and W. T. HOLSER: Properties of water, Part III. Specific volume of liquid water to 100° C and 1400 bars. Amer. J. Sci. **256** (8) (1958) 590/595.
- [33] KESTIN, J., B. H. SAGE, J. H. KEENAN and F. G. KEYES: Comparisons and comments on existing steam data with formulations. Paper submitted at the Moscow meeting of the International Co-ordinating Committee on the Properties of Steam, July 1958.
- [34] KESTIN, J., and J. H. WHITELAW: Transport Properties of Water and Steam. Brown University, June 1963.
- [35] KESTIN, J., J. H. WHITELAW and T. F. ZIEN: Thermal Conductivity of Superheated Steam. Brown University, Providence, July 1963.
- [36] KEYES, F. G., L. B. SMITH and H. T. GERRY: The specific volume of steam in the saturated and superheated condition together with derived values of the enthalpy, heat capacity and Joule-Thomson coefficients. Part IV. Steam research program. Proc. Amer. Acad. Arts Sci. **70** (8) (1936) 319/364.
- [37] KEYES, F. G.: Intercomparisons of Observational Data for Steam with Various Formulated Data, Boston, August 1963.
- [38] KEYES, F. G., and R. G. VINES: Report of the U.S.A. Commission on Properties of Steam to the Sixth International Conference — Thermal Conductivity, New York 1963.
- [39] KIRILLIN, V. A., and S. A. ULYBIN: An analysis of the accuracy and a summary table of experimental values of specific volume of water and steam obtained at the Moscow Power Institute (in Russian). Teploenergetika **6** (9) (1959) 3/7.
- [40] KIRILLIN, V. A., L. I. RUMJANZEW and W. N. SUBAREW: Experimental Research of Specific Volumes of Water and Steam of High Parameters. Beitrag der russischen Dampftafelkommission zu der V. Internationalen Dampftafelkonferenz, London 1956, S. 37.
- [41] LAWSON, A. W., R. LOWELL and A. L. JAIN: Thermal conductivity of water at high pressure. J. Chem. Phys. **30** (1959) 643.
- [42] MAYINGER, F., E. SCHMIDT u. H. TRATZ: Neue Zustandsgleichungen für Wasserdampf unter Berücksichtigung ihrer Verwendung in elektronischen Rechenanlagen. Brennstoff – Wärme – Kraft (BWK) **14** (1962) 261/266 und 360.
- [43] MAYINGER, F.: Messungen der Viskosität von Wasser und Wasserdampf bis zu 700° C und 800 at. Int. J. Mass and Heat Transfer **5** (1962) 807/824.
- [44] MAYINGER, F., u. U. GRIGULL: Viskosität und Wärmeleitfähigkeit des Wasserdampfes. Neue internationale Rahmentafeln und ihre Auswertung. Brennstoff – Wärme – Kraft (BWK) **17** (1965) 53/60.
- [45] MOSZYNSKI, J. R.: Measurement of the viscosity of steam. Trans. ASME **83** C (1961) 111.
- [46] NEWITT, D. M., and S. ANGUS: Notes and tables on the experimental determination of the specific enthalpy of steam; ERA Report I/T 181. British Electrical and Allied Industries Research Association, Leatherhead, Surrey 1961.
- [47] OSBORNE, N. S., and C. H. MEYERS: A formula and tables for the pressure of saturated water vapour in the range 0 to 374° C. J. Res. Nat. Bur. Stand. **18** (1934) 1/20.
- [48] OSBORNE, N. S., H. F. STIMSON and D. C. GINNINGS: Thermal properties of saturated water and steam. J. Res. Nat. Bur. Stand. **28** (1939) 261/270.
- [49] POWEL, R. W., and A. R. CHALLONER: The Thermal Conductivity of Water. An Investigation of a Reported Anomaly. Phil. Mag. **46** (1959) 1183/1186.
- [50] RASSKASOW, D. S., u. A. E. SCHEINDLIN: Spezifische Wärme c_p von Wasser und Wasserdampf im überkritischen Gebiet. Teploenergetika **4** (1957) Nr. 11, S. 81/83. Bericht darüber in Brennstoff – Wärme – Kraft (BWK) **10** (1958) 345.
- [51] RAY, A. K.: Measurement of the Cinematic Viscosity of Steam at High Pressures and Temperatures. University of Glasgow 1963.
- [52] RIVKIN, S. L., u. T. S. ACHUNDOFF: An Experimental Study of the Specific Volumes of Water at Temperatures of 374.15 up to 500° C and at pressures up to 600 kg/cm². Teploenergetika **10** (1963) Nr. 9, S. 66/71. Ref.: BWK **16** (1964) Nr. 2, S. 99.
- [53] SCHMIDT, E., u. W. SELLSCHOPP: Wärmeleitfähigkeit des Wassers bei Temperaturen bis zu 270° C. Forsch. Ing.-Wes. **8** (1932) 277.
- [54] SCHMIDT, E., u. W. LEIDENFROST: Wärmeleitzahl-Messungen an Wasser, Äthenglykylol-Wasser-Mischungen und Kaliumchlorid-Lösungen im Temperaturbereich von 0 bis 100° C. Forsch. Ing.-Wes. **21** (1955) 176.
- [55] SCHMIDT, E.: Vierte Internationale Dampftafel-Konferenz. VDI-Z. **97** (1955) Nr. 23, 796/798.

- [56] SCHMIDT, E.: Fünfte Internationale Dampftafel-Konferenz. Brennstoff – Wärme – Kraft (BWK) 9 (1957) Nr. 9, S. 432/435.
- [57] SCHMIDT, E.: Internationale Dampftafel-Konferenz in Moskau. BWK 10 (1958) Nr. 12, S. 553/556.
- [58] SCHMIDT, E., u. K. TRAUBE: Gradients of density of fluids near their critical states in the field of gravity. In: Progress in International Research on Thermodynamic and Transport Properties, New York u. London 1962, S. 193/205.
- [59] SCHMIDT, E.: Auf dem Weg zur internationalen Wasserdampftafel. BWK 15 (1963) Nr. 1, S. 15/19.
- [60] SCHMIDT, E.: Verhandlungen und Ergebnisse der Sechsten Internationalen Konferenz über die Eigenschaften des Wasserdampfes. Die neuen Rahmentafeln 1963 für die thermodynamischen Eigenschaften des Wasserdampfes. BWK 16 (1964) Nr. 7, S. 322/330.
- [61] SCHEINDLIN, A. E., E. E. SPIELREIN u. W. W. SYTSCHOFF: Spezifische Wärme c_p des Wasserdampfes. Teploenergetika 6 (1959) Nr. 12, S. 80/83. Ref.: BWK 13 (1961) 282/283.
- [62] SCHEINDLIN, A. E., W. W. SYTSCHOFF, M. M. CHILAL u. N. I. GORBUNOVA: Experimental Investigation of the Enthalpy of Water and Steam at Temperatures up to 390 °C and Pressures up to 500 kg/cm². Teploenergetika 10 (1963) Nr. 9, S. 76/81. Ref.: BWK 16 (1964) Nr. 2, S. 100.
- [63] SCHWARZ, D.: Entwicklung einer Zustandsgleichung für überhitzten Wasserdampf. Fortschritts-Ber. VDI-Z. Reihe 6, 10 (1967) 1/100.
- [64] SIGWART, K.: Messungen der Zähigkeit von Wasser und Wasserdampf bis ins kritische Gebiet. Forsch. Ing.-Wes. 7 (1936) 125.
- [65] SIROTA, A. M., and D. L. TIMROT: Experimental investigation of the specific heat of steam in the sub-critical region (in Russian). Teploenergetika 3 (7) (1956) 16/23.
- [66] SIROTA, A. M.: Specific heat and enthalpy of steam at supercritical pressures (in Russian). Teploenergetika 5 (7) (1958) 10/13.
- [67] SIROTA, A. M., and B. K. MALTSEW: An experimental investigation on the specific heat of water at temperatures from 10 – 500 °C and pressures up to 500 kg/cm² (in Russian). Teploenergetika 6 (9) (1959) 7/15.
- [68] SIROTA, A. M., and P. E. BELIAKOVA: On the calorific properties of water under pressures up to 500 kg/cm² and temperatures up to 300 °C (in Russian). Teploenergetika 6 (10) (1959) 67/70.
- [69] SIROTA, A. M., and B. K. MALTSEW: Experimental data for the specific heat of steam under pressures 300 to 500 atm and temperatures 500 – 600 °C (in Russian). Teploenergetika 7 (10) (1960) 67/68.
- [70] SIROTA, A. M., P. E. BELIAKOVA, N. B. WARGAFTIK, A. A. TARZIMANOW and O. N. OLESCHUK: Tables of the Thermal Conductivity and Heat Capacity of Water and Steam (engl. Übers.). All-Union Wärmetechn. Inst. (V.T.I.) 1963.
- [71] SIROTA, A. M., B. K. MALTSEW and A. Y. GRISCHKOFF: An Experimental Study of the Heat Capacity of Water at High Pressures. Teploenergetika 10 (1963) Nr. 9, S. 57/60. Ref.: BWK 16 (1964) Nr. 1, S. 39/40.
- [72] SMITH, L. B., and F. G. KEYES: Steam Research Program, Part III: The Volumes of Unit Mass of Liquid Water and their Correlation as a Function of Pressure and Temperature. Proc. Amer. Acad. of Arts and Sciences 69 (1934) 285/312.
- [73] STRAUB J.: Optische Bestimmung von Dichteschichtungen im kritischen Zustand. Chem. Ing. Techn. 39 (1967) 291/96.
- [74] SUGUWARA, S., T. SATO, T. MINAMIYAMA and J. YATA: On the Equation of State of Steam. J.C.P.S. Report No. 11.
- [75] SYTSCHEW, W. W.: Der Joule-Thomson-Koeffizient für Wasser und Wasserdampf auf der Sättigungslinie (russ.). Teploenergetika 8 (1962) Nr. 1, S. 66/69.
- [76] SYTSCHEW, W. W.: Analysis of existing heat capacity C_p data of water and steam at the saturation line. Teploenergetika 10 (1963) Nr. 7, S. 68.
- [77] TANAKA, K., et al.: Comment on the Report „Transport Properties of Water and Steam“ by J. Kestin and J. H. Whitelaw. 1. Okt. 1963.
- [78] TANAKA, K., et al.: Viscosity of Steam at High Pressures and High Temperatures (The 2nd Report). J.C.P.S. Report No. 10.
- [79] TANISHITA, I., and K. WATANABE: Experimental Study on the Specific Volume of Steam at High Temperatures and Pressure. (Second Report: Temperature Range 600 – 900 °C under the Pressures up to 900 kg/cm²). J.C.P.S. Report No. 9.
(Die Arbeiten [76] bis [78] wurden herausgegeben vom Resources Research Institute, Kawaguchi.)
- [80] TIMROT, D. L.: Determination of the viscosity of steam and water at high temperatures and pressures. J. Phys. U.S.S.R. 2 (1940) 419.
- [81] TIMROT, D. L., u. N. B. WARGAFTIK: Wärmeleitfähigkeit des Wassers. J. techn. Phys. (U.S.S.R.) 16 (1940) 1063.
- [82] TRATZ, H.: Neue Zustandsgleichungen für flüssiges Wasser und eine Gleichung der Dampfdruckkurve. Brennstoff – Wärme – Kraft (BWK) 14 (1962) 379/383 u. 504.
- [83] TRAUBE, K.: Messungen von Dichteschichtungen in der Umgebung des kritischen Zustandes (gasförmig-flüssig) nach einem optischen Verfahren. VDI-Forschungsheft Nr. 487, Düsseldorf 1961.
- [84] VESPER, H.: Näherungsgleichungen für die Zustandsgrößen des Wassers und des Dampfes an den Grenzkurven zur Verwendung in elektronischen Rechenmaschinen. Brennstoff – Wärme – Kraft (BWK) 15 (1963) Nr. 1, S. 20/23 u. 108.
- [85] WARGAFTIK, N. B., and O. N. OLESCHUK: Experimental investigation of the heat conduction of water. Teploenergetika 6 (1959) 70. Bericht darüber in Brennstoff – Wärme – Kraft (BWK) 13 (1961) 37/38.
- [86] WARGAFTIK, N. B., u. A. A. TARSIMANOW: Auswertung von Messungen der Wärmeleitfähigkeit des Wasserdampfes (russ.). Teploenergetika 8 (1961) 5/8. Übersetzung in Arch. Energiewirtsch. 15 (1961) 983/991. Bericht darüber in Brennstoff – Wärme – Kraft (BWK) 14 (1962) 244/245.
- [87] WARGAFTIK, N. B.: Corrections to the Draft Skeleton Tables for Thermal Conductivity of Water and Steam (engl. Übers.). Moskauer Aeronaut. Inst. u. All-Union Wärmetechn. Inst. (V.T.I.) Sept. 1963.
- [88] WHITELAW, J. H.: Viscosity of steam at supercritical pressures. J. Mech. Eng. Sci. 2 (1960) 288.
- [89] WUKALOWITSCH, M. P., V. N. ZUBAREW and P. G. PRUSAKOW: Experimental investigation of the enthalpy of steam (in Russian). Teploenergetika 5 (7) (1958) 22/26.
- [90] WUKALOWITSCH, M. P., V. N. ZUBAREW, A. A. ALEXANDROW and Y. Y. KALININ: Experimental determination of the specific volume of water under pressures up to 1200 kgf/cm² at 300 °C (in Russian). Teploenergetika 6 (10) (1959) 74/77.