

[德] Th. 博恩 K. F. 科诺赫 编 徐智勇 李岩青 译 邱长清 校

热力工程计算图册

WÄRMETECHNISCHE ARBEITSMAPPE

13. erweiterte Neuauflage

VDI VERLAG



72.54
608

热力工程计算图册

〔德〕Th.博恩 K.F.科诺赫 编

徐智勇 李岩青 译 邱长清 校

水利电力出版社

153060

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书是德意志联邦共和国工程师协会出版的《热力工程计算图册》第13版的全译本。全书以计算图表为主，并附有简短文字说明和计算举例，提供了许多基本计算公式和计算框图。内容包括：基础及常用资料；工质的物理特性；锅炉传热、燃烧和热损失的计算；锅炉水、汽质量标准；汽轮机热效率、热耗和通流量的计算；冷却系统；管道；蓄能装置的蓄能量计算；风机、压气机和水泵的驱动功率计算；燃气轮机；热电联产；热工测量技术。

这是一本在热力工程设计和计算中很有价值的工具书，可供从事热力工程的科研、设计、制造和运行的工程技术人员使用，亦可供大、中专院校热能工程专业的师生参考。

27.68/14

WÄRMETECHNISCHE ARBEITSMAPPE

Th. Bohn, K. F. Knoche

德意志联邦共和国工程师协会

1988年第13版

热力工程计算图册

[德] Th. 博恩 K. F. 科诺赫 编

徐智勇 李岩青 译 邱长清 校

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 16开本 16.25印张 446千字 6插页

1991年10月第1版 1991年10月北京第1次印刷

印数0001—2830册

ISBN7-120-01411-0/TK·231

定价 21.70 元

译 者 的 话

本书是德意志联邦共和国工程师协会出版社出版的《热力工程计算图册》1988年第13版（修订补充版）的全译本。

书共分14部分，内容包括：单位换算和符号说明；水、水蒸气和空气性质图表；传热计算；燃烧和环境保护法规；锅炉热损失计算；锅炉给水、炉水和蒸汽质量标准；汽轮机热效率、热耗和通流量计算；冷却系统设计计算；管道阻力和散热损失计算；蓄能装置的蓄能计算；风机、压气机和水泵的驱动功率计算；燃气轮机；热电联产和热工测量技术。

本书以计算图表为主，附有简短的文字说明和计算举例，并提供了许多基本计算公式和计算框图，既利于日常查阅，也利于编制计算机程序，是热力工程设计、计算中很有价值的一本工具书。

本书主要供热力工程的科研、设计、制造和运行部门使用，亦可供大、中专院校热能工程专业教学参考。

书中基本采用国际单位制及其导出单位。考虑到在本书第一部分已列出了单位换算表，故个别与我国法定单位制不一致的单位（如 bar 等）亦未予改动。

本书第1～7章由李岩青翻译，第8～14章由徐智勇翻译，最后由徐智勇统稿。全书由邱长清高级工程师校订。

本书的翻译和出版，得到了能源部西安热工研究所领导的支持和关心，也得到了袁颖高级工程师、谢长军工程师、李芬和高级工程师、史佑吉高级工程师及程忠智编审等的指导和帮助，在此一并表示感谢。

由于水平有限，译文中如有不妥之处，欢迎读者批评指正。

译者

1990年6月

第13版 前言

《热力工程计算图册》最初是由W. Goldstern工程师提出设想并编写的。他于1932年把《热力经济和蒸汽锅炉》杂志中的图表编纂成为计算图册的形式。自第1版于1934年问世后,共再版12次,这表明《热力工程计算图册》已经成为热力工程技术人员不可缺少的一份基础资料。

对第12版的修订主要涉及以下三个方面的内容:

1. 把图表和公式中的计量单位改为国际单位制。
2. 在标有示例的文字说明中,增加了相应的计算公式,以便于数据处理。一般正页为线算图;背页为计算公式。有些部分还列出了流程图和计算框图,以利于编制计算机程序。
3. 《热力工程计算图册》第13版共分14章,新增内容分布在各章节中。

如上所述,《热力工程计算图册》第13版必将更适合工业企业和研究部门工程技术的需要。

正如在过去的版本中所追求的那样,对于图表的选择及其实用性提出了更高的要求。为了修订本图册,专门成立了编辑委员会。编委会对全书提出了总体编排方案,并对图表的结构形式提出了建议。下列先生参加了编委会的工作,并参与了新增章节和图表的编纂工作:

- 第1章: Bohn, Th., Prof. Dr. techn., Essen,
- 第2章: Knoche, K. F., Prof. Dr.-Ing., Aachen,
Renz, U., Prof. Dr.-Ing., Aachen,
Schneider, F., Dr.-Ing., Aachen,
- 第3章: Renz, U., Prof. Dr.-Ing., Aachen,
Odenthal, H.-P., Dr.-Ing., Aachen,
- 第4章: Brandt, F., Prof. Dr.-Ing., Darmstadt,
- 第5章: Brandt, F., Prof. Dr.-Ing., Darmstadt,
- 第6章: Hömig, H. E., Dr.-Ing., Stuttgart,
- 第7章: Mellgren, A., Dipl.-Ing., Mannheim,
- 第8章: Sauer, E., Dr.-Ing. habil., Düsseldorf,
- 第9章: Beck †, K., Dr.-Ing., Trier,
Bohn, Th., Prof. techn., Essen,
Werner, K., Dipl.-Ing., Essen,
Stephan, K., Prof. Dr.-Ing., Stuttgart,
Auracher, H., Dr.-Ing., Stuttgart,
- 第10章: Goldstern, W., FIMEchE FInst CE, Timperley/GB,
Bitterlich, W., Dr.-Ing., Essen,
- 第11章: Ritgen, G., Dipl.-Ing., Duisburg,
Gaffal, K., Dipl.-Ing., Frankenthal,
Hasenrahm, H., Dipl.-Ing., Moers,
- 第12章: Hentschel, W., Dipl.-Ing., Köln,
Oberländer, G., Dipl.-Ing., Köln,
- 第13章: Kunst, B., Prof. Dipl.-Ing., Köln,
Korek, J., Dipl.-Ing., Köln,
- 第14章: Ritgen, G., Dipl.-Ing., Duisburg,
Hoene, E., Dipl.-Ing., Karlsruhe,
Arens-Fischer, F., Dipl.-Ing., Essen,
Vesper, H., Dipl.-Ing., Erlangen.

对于上述各位先生以及更多的未及提名的合作者的工作深表谢意。

德意志联邦共和国工程师协会 (VDI) 能源技术委员会理事会对本工作给予了大力支持。在此, 还要特别感谢工程师 U. Stricker 女士的工作。

德意志联邦共和国工程师协会

《热力工程计算图册》编辑委员会主任

教授、博士 Th. 博恩

1988年8月于埃森

第1版 前言摘录(1934年)

自1932年4月开始,《热力经济和蒸汽锅炉》杂志一直定期刊登一些计算图表。它们把用于热力计算的基本数据整理成可供直接使用的形式。这些建立在最新最可靠资料来源基础上的图表,包括了解决一定的具体问题所必需的数据资料。所举的例子直观地说明了每张图表的使用方法。当然,由于版面和必要的范围等方面的原因,图表的表达精度受到一定限制。但它们对于实际运行和设计中的计算无论如何是足够的。此外,文中还列出了资料来源和参考文献,这样也为读者的深入查证提供了便利。算图大部分是由W. Goldstern工程师编写的,在上述杂志上公开发表这些图表,也是他直接鼓动的结果。

现将这些图表汇编成册,并不能因此而要求它完整地概括某个特定的技术领域。

目 录

译者的话

第13版 前言

第1版 前言摘录(1934年)

第1章 基础及常用资料.....1

1.1 单位换算.....1

1.2 设备投资利息与折旧.....4

1.3 热力装置系统图符号.....5

第2章 工质的物理特性.....10

2.1.1 水和水蒸气的莫里尔($h-s$)图.....10(后)

2.1.2 水和水蒸气的 $T-s$ 图.....10(后)

2.1.3 水和水蒸气的 $h-p$ 图.....11

2.1.4.1 水和水蒸气的 $h-p$ 图.....12

2.1.4.2 法诺曲线.....(活页)

2.1.5 水的实际气体常数.....14

2.1.6 水和水蒸气的比热容.....15

2.1.7.1 水蒸气的定熵指数

$$K = -\frac{V}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_s \dots\dots\dots 16$$

2.1.7.2 水蒸气的定焓指数

$$m = -\frac{V}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_h \dots\dots\dots 17$$

2.1.8 水蒸气的热导率.....18

2.1.9 水蒸气的动力粘度.....19

2.2.1.1 空气的莫里尔图 ($\theta = 580 \sim 1000^\circ\text{C}$, $p = 0.7 \sim 100\text{bar}$).....20(后)

2.2.1.2 空气的莫里尔图 ($\theta = 150 \sim 580^\circ\text{C}$, $p = 0.7 \sim 100\text{bar}$).....20(后)

2.2.1.3 空气的莫里尔图 ($\theta = -10 \sim 150^\circ\text{C}$, $p = 0.5 \sim 500\text{bar}$).....20(后)

2.2.2 空气的实际气体常数
($0 \sim 1200^\circ\text{C}$).....21

2.2.3 空气的比热容.....22

2.2.4 空气的热导率.....23

2.2.5 空气的动力粘度.....24

2.2.6 湿空气的莫里尔($h-x$)图.....25

2.3 定压摩尔热容、摩尔焓和摩尔熵
的常数.....27

第3章 传热.....32

3.1.1.1 空气的雷诺数和运动粘度.....33

3.1.1.2 空气的密度和普朗特数.....34

3.1.1.3 已知努塞尔数时求空气的放热

系数.....35

3.1.1.4 空气的格拉晓夫数和运动粘度.....36

3.1.2.1 水的雷诺数和运动粘度.....37

3.1.2.2 水的密度和普朗特数.....38

3.1.2.3 已知努塞尔数时求水的放热系数.....39

3.1.2.4 水的格拉晓夫数和运动粘度.....40

3.2.1.1 管内流体为层流时的努塞尔数.....41

3.2.1.2 管内流体为湍流时的努塞尔数.....43

3.2.2.1 环状间隙内层流流体的努塞
尔数——仅对内管放热.....46

3.2.2.2 环状间隙内层流流体的努塞
尔数——仅对外管放热.....47

3.2.2.3 环状间隙内层流流体的努塞
尔数——对内外管放热.....51

3.2.2.4 环状间隙内湍流流体的努塞
尔数.....52

3.2.3 流过平板和绕流单个物体时的
努塞尔数.....56

3.2.4 横向流过光滑管束时的努塞尔数.....59

3.3.1 竖直平板和水平圆柱体表面自
然对流时的努塞尔数.....62

3.4.1 水在容器内沸腾时的放热系数.....64

第4章 燃烧.....67

4.1 烟气中二氧化碳含量与氧含量的
关系.....67

4.2.1 固体燃料燃烧所需的干空气量.....69

4.2.2 燃料油燃烧所需的干空气量.....70

4.2.3 天然气燃烧所需的干空气量,
kg/kg.....72

4.2.4 天然气燃烧所需的干空气量,
kg/m³.....73

4.3.1 固体燃料燃烧生成的烟气量
(不考虑空气湿度).....75

4.3.2 燃料油燃烧生成的烟气量
(不考虑空气湿度).....76

4.3.3 天然气燃烧生成的烟气量
(不考虑空气湿度), kg/kg.....78

4.3.4 天然气燃烧生成的烟气量
(不考虑空气湿度), kg/m³.....79

4.4.1 固体燃料燃烧生成的烟气
容积(不考虑空气湿度).....81

1.1.2	燃料油燃烧生成的烟气容积(不考虑空气湿度)	82	表3	蒸汽锅炉碱性运行时, 除盐给水和除盐减温水的质量标准	117
1.1.3	天然气燃烧生成的烟气容积(不考虑空气湿度), m^3/kg	84	表4	由除盐水作为给水的炉水质量标准	117
1.1.4	天然气燃烧生成的烟气容积(不考虑空气湿度), m^3/m^3	85	6.3	VGB标准: 直流锅炉和循环锅炉除盐给水和减温水的质量标准, 循环锅炉炉水的质量标准	117
1.5.1	固体燃料和燃料油的烟气密度	87	表1	直流锅炉和循环锅炉连续运行时除盐给水(在锅炉入口处测量)和减温水的质量标准	117
1.5.2	天然气的烟气密度	88	表2	循环锅炉采用符合表1规定的除盐给水连续运行时炉水的质量标准	118
1.6.1	《保持空气清洁技术导则》(TA Luft)规定的排放标准(1986年2月27日颁布)	90	6.4	VGB标准: 汽轮机蒸汽质量标准, 64 bar和80 bar循环锅炉软化水和炉水的质量标准	119
1.6.2	《大型燃烧装置环境保护法规》(GFA-VO)规定的排放标准(1983年6月22日颁布)	94	表3	汽轮机连续运行时的蒸汽质量标准	119
第5章	锅炉	96	表4	压力等级为64 bar和80 bar的循环锅炉连续运行时的软化水质量标准(在锅炉入口处测量)	119
5.1	烟囱自生通风力	96	表5	压力等级为64 bar和80 bar的循环锅炉使用符合表4规定的软化水连续运行时炉水的质量标准	120
5.2	烟囱的通风阻力	98	第7章	汽轮机	121
5.3	空气预热器和气体加热器的壁温	100	7.1	背压式汽轮机的效率	121
5.4.1	固体燃料的排烟热损失 (δ_0 , $= 25^\circ\text{C}; x_{\text{H}_2\text{O,L}} = 0.0062$)	101	7.2.1	凝汽式汽轮机低压缸排汽量和排汽量的确定(无中间再热, 高转速, 20 MW以下)	122(后)
5.4.2	燃料油的排烟热损失 ($\delta_0 = 25^\circ\text{C}; x_{\text{H}_2\text{O,L}} = 0.0062$)	104	7.2.2	凝汽式汽轮机低压缸排汽量和排汽量的确定(无中间再热, 标准转速, 10~110 MW)	122(后)
5.4.3	天然气的排烟热损失 (δ_0 , $= 25^\circ\text{C}; x_{\text{H}_2\text{O,L}} = 0.0062$)	105	7.3	中间再热式汽轮机的基本热耗	125
5.5.1	固体燃料的一氧化碳未完全燃烧热损失	107	7.4	中间再热式汽轮机的热耗——温度、压力损失及加热度对热耗的影响	128
5.5.2	燃料油的一氧化碳未完全燃烧热损失	108	7.5	中间再热式汽轮机的热耗——焓增、排汽损失和发电机效率对热耗的影响。凝汽器蒸汽流量, 辅助汽轮机	130
5.5.3	天然气的一氧化碳未完全燃烧热损失	110	7.6	$\varepsilon < \varepsilon_s$ 条件下喷嘴的质量流速	132(后)
5.6	锅炉散热损失	111	7.7	$\varepsilon > \varepsilon_s$ 条件下喷嘴的通流系数	134
5.7	烟气的综合比热容	113	7.8.1	蒸汽流量公式: 求流量	136
第6章	锅炉给水、炉水和蒸汽的质量标准	115	7.8.2	蒸汽流量公式: 求压力	137
6.1	VdTUV标准: 循环锅炉(水管锅炉和大水室锅炉)的软化水和由软化水作为给水的炉水质量标准	115	第8章	冷却系统	139
表1	循环锅炉(水管锅炉和大水室锅炉)软化水的质量标准	115			
表2	由软化水作为给水的炉水质量标准	115			
6.2	VdTUV标准: 蒸汽锅炉碱性运行时, 除盐给水、除盐减温水和由除盐水作为给水时炉水的质量标准	116			

8.1 卧式凝汽器管传热系数的确定 Kraußold/Nußelt/Neumann 方法.....139	9.16 保温管道的阀门、保温层构 件和管道支吊架的散热损失.....198
8.2 凝汽器管的有效长度.....144(后)	9.17 管内流体的冷却.....199
8.3 凝汽器管数目及其冷却面积.....144	9.18.1 管道保温层的经济厚度.....201
8.4 凝汽器管实际传热系数的确定 (用于运行监督).....144(后)	9.18.2 管道保温的运行特性.....202
8.5 自然通风湿式冷却塔特性曲线 的计算框图.....147	9.19 高粘度油在管道内流动时的 运动粘度和雷诺数.....204
8.6 机力通风湿式冷却塔特性曲线 的计算框图.....148	9.20 高粘度油在管道内流动时的 压力损失.....206
8.7 湿式冷却塔蒸发特性〔梅克尔 (Merkel)数〕的确定.....152	第10章 蓄能.....208
8.8 干式冷却塔特性曲线的计算框 图.....156(后)	10.1 压差蓄能器的输出蒸汽量.....208
8.9 冷却水的极限价格.....158	10.2 压差蓄能器的输出蒸汽量 (低压范围).....210
第9章 管道.....160	10.3 单位蓄能介质的蓄能量.....212
9.1 管子摩擦系数.....160	第11章 风机、压气机和水泵 机械设备.....214
9.1.1 管壁绝对粗糙度(参考值).....161	11.1 风机的驱动功率.....214
9.2 蒸汽管道的雷诺数.....163	11.2 压缩功的确定.....215
9.3 管道内蒸汽的流速.....164	11.3 活塞式压气机的驱动功率.....217
9.4 蒸汽管道的压力损失.....166	11.4 涡轮式压气机的驱动功率.....219
9.5 水管的雷诺数.....168	11.5 压气机最低回冷温度(露点)的 确定.....220
9.6 管内水的流速和管径.....170	11.6 泵工作点的确定.....222
9.7 水管的压力损失.....172	11.7 换算系数 $f_{Q,w}$ 、 $f_{H,w}$ 和 $f_{\eta,w}$ 的 确定——由水换算到粘性液体.....224
9.8 水管的局部阻力.....174	11.8 换算系数 $f_{Q,z}$ 和 $f_{H,z}$ 的确定 ——由粘性液体换算到水.....227
9.9 蒸汽管道的局部阻力.....176	11.9 离心泵比转速的确定.....229
9.10 异型管件的阻力系数.....178	第12章 燃气轮机.....231
9.11 分叉管的阻力系数.....180	12.1 单轴式与多轴式燃气轮机的 比较.....231
9.12 变径管的阻力系数.....182	12.2 单轴式燃气轮机的特性曲线.....233
9.13 阀门的阻力系数.....184	12.3 双轴式燃气轮机的特性曲线.....235
9.14.1 无保温管道的散热损失 (在静止空气中).....186	12.4 热电联产时的能量分配.....238
9.14.2 无保温管道的散热损失 (有空气绕流).....189	12.5 热电联产时的蒸汽生产.....240
9.15.1 保温管道热阻的确定.....191	12.6 燃气轮机的设计参数.....242
9.15.2 保温管道的散热损失和保 温层表面温度(自然对流, 温差为60~220K).....193	第13章 热电联产.....244
9.15.3 保温管道的散热损失和保 温层表面温度(自然对流, 温差为220~520K).....195	13.1 背压式机组的电热比和燃料 能量消耗比.....244
9.15.4 保温管道的散热损失和保 温层表面温度(有空气绕 流).....196	13.2 调节抽汽式机组供热水时的 欠发电量.....246
	第14章 热工测量技术.....248
	14.1 温度测量技术.....248
	14.2 压力测量技术.....248
	14.3 流量测量技术.....249

第1章 基础及常用资料

1.1 单位换算

由于国际单位制的普遍使用,给出各种单位制之间的换算系数是必要的。下列表格(也包括一些最重要的英制单位)大部分引自《工程师知识》第4册“力学和热力学单位改用国际单位制”,H.W.Hahnmann著(VDI出版社,杜塞尔多夫市)。

当然,表中给出的许多数值在使用前可以按需要的精度作相应的圆整。

1. 力

单 位	牛 顿 N	千克力 kgf	磅 lb.
1N	1	0.10197	0.2247
1kgf	9.80665	1	2.2046
1lb.	4.45	0.4536	1

注 1.在法国也有用1sthène(sn) = 10^3 N;
2.kgf的原文为kP, 1kP = 1kgf——译注。

2. 压力

单 位	巴 bar	千克力/平方厘米 kgf/cm ²	托 Torr	标准大气压 atm	磅/平方英尺 lb./ft ²	磅/平方英寸 lb./in ²
1bar = 10^5 N/m ²	1	1.0197	750.06	0.98692	2089	14.5038
1kgf/cm ² = 1at	0.9807	1	735.56	0.96784	2048	14.223
1Torr = 1mmHg (在0℃时)	1.333×10^{-3}	1.3595×10^{-3}	1	1.3158×10^{-3}	2.7841	0.01934
1atm	1.01325	1.03323	760	1	2.116×10^{-3}	14.696
1lb./ft ²	478.8	0.4883×10^{-3}	0.3591	472.58	1	1/144
1lb./in ²	0.06895	0.07031	51.715	0.06806	144	1

注 在法国也有用1pieze(pz) = 10^3 N/m²和1hectopieze(hpz) = 100pz = 1bar。

3. 能量

单 位	焦 耳 J	千克力米 kgf·m	千 卡 kcal	千瓦时 kW·h	马力小时 PS·h	英热单位 Btu
1J = 1N·m	1	0.101972	2.38841×10^{-4}	2.77778×10^{-7}	3.77673×10^{-7}	9.47817×10^{-4}
1W·s = 1kg·m ² /s ²	1	0.101972	2.38841×10^{-4}	2.77778×10^{-7}	3.77673×10^{-7}	9.47817×10^{-4}
1kgf·m	9.80665	1	2.34228×10^{-3}	2.72107×10^{-6}	3.70370×10^{-6}	9.29491×10^{-3}
1kcal	4.1868×10^3	426.935	1	1.16300×10^{-3}	1.58124×10^{-3}	3.96832
1kW·h	3.6×10^6	3.670978×10^5	859.845	1	1.35962	3.41214×10^3
1PS·h	2.647796×10^6	2.70000×10^5	632.416	0.735499	1	2.50963×10^3
1Btu	1.055056×10^3	107.5857	0.251996	2.93071×10^{-4}	3.98466×10^{-4}	1

103060

1

4. 比热容

单 位	焦耳每千克开 J/(kg·K)	千卡每千克开 kcal/(kg·K)	千瓦时每千克开 kW·h/(kg·K)	英热单位每磅度 Btu/(lb·°F)
1 J/(kg·K)	1	2.38844×10^{-4}	2.77778×10^{-7}	2.38844×10^{-4}
1 kcal/(kg·K)	4186.8	1	1.16300×10^{-3}	1
1 kW·h/(kg·K)	3.6×10^6	859.845	1	859.845
1 Btu/(lb·°F)	4186.8	1	1.16300×10^{-3}	1

注 °F——原文为Btu/(lb·deg), 其中deg为华氏度, $t(°F) = \frac{5}{9}t(°C) + 32 = \frac{5}{9}t(K) - 459.67$ ——译注。

5. 热流量密度

单 位	瓦每平方米 W/m ²	千瓦每平方厘米 kW/cm ²	千卡每平方厘米小时 kcal/(cm ² ·h)	英热单位每平方英寸秒 Btu/(in ² ·s)	英热单位每平方英尺秒 Btu/(ft ² ·s)	英热单位每平方英尺小时 Btu/(ft ² ·h)
1 W/m ²	1	0.1×10^{-6}	0.860	0.612×10^{-6}	88.06×10^{-6}	0.317
1 kW/cm ²	10×10^6	1	8.6×10^6	6.12	880.6	3.17×10^6
1 kcal/(cm ² ·h)	1.163	11.63×10^{-3}	1	71.17×10^{-8}	1.024×10^{-4}	0.3687
1 Btu/(in ² ·s)	1634×10^3	16.34×10^{-2}	1.405×10^6	1	144	51.84×10^4
1 Btu/(ft ² ·s)	11.35×10^3	1.135×10^{-3}	9.765×10^3	6.944×10^{-3}	1	3600
1 Btu/(ft ² ·h)	3.154	31.54×10^{-3}	2.713	1.929×10^{-3}	2.778×10^{-4}	1

6. 热导率

单 位	瓦每米开 W/(m·K)	千卡每米小时开 kcal/(m·h·K)	英热单位英寸每平方英尺小时华氏度 Btu·in/(ft ² ·h·°F)	英热单位每英尺小时华氏度 Btu/(ft·h·°F)	英热单位每英寸小时华氏度 Btu/(in·h·°F)
$1W/(m·K) = 1J/(m·s·K)$	1	0.86	6.935	0.5779	0.04815
1 kcal/(m·h·K)	1.163	1	8.064	0.6719	0.05599
1 Btu·in/(ft ² ·h·°F)	0.1442	0.1240	1	0.08333	6.944×10^{-3}
1 Btu/(ft·h·°F)	1.731	1.488	12	1	0.08333
1 Btu/(in·h·°F)	20.77	17.858	144	12	1

7. 放热系数及传热系数

单 位	瓦每平方米开 W/(m ² ·K)	千卡每平方米小时开 kcal/(m ² ·h·K)	英热单位每平方英尺小时华氏度 Btu/(ft ² ·h·°F)
$1W/(m^2·K) = 1J/(m^2·s·K)$	1	0.859845	0.1761
1 kcal/(m ² ·h·K)	1.163	1	0.2048
1 Btu/(ft ² ·h·°F)	5.681	4.886	1

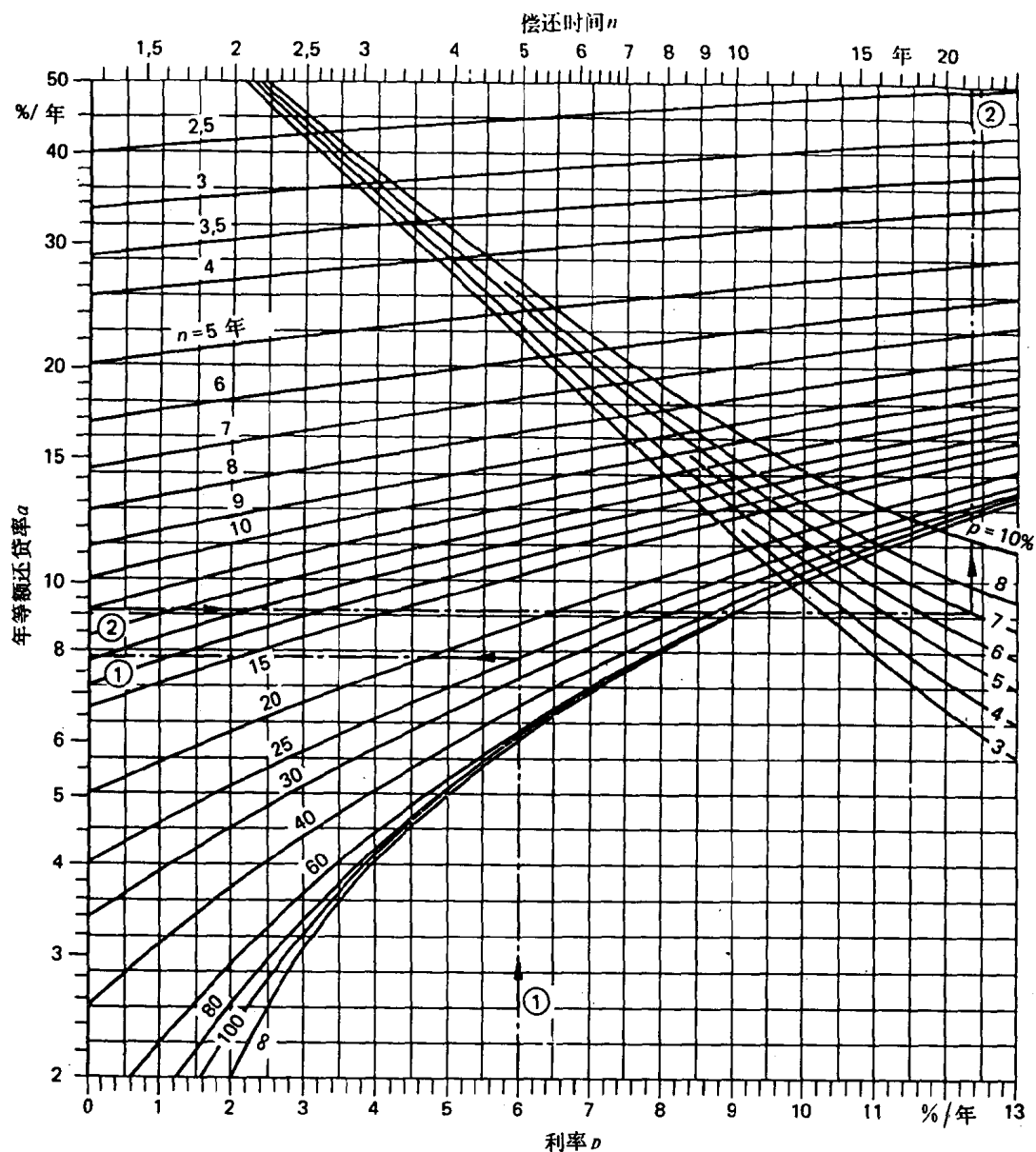
8. 热辐射常数

单 位	瓦每平方米四次方开 $W/(m^2 \cdot K^4)$	千卡每平方米小时 四次方开 $kcal/(m^2 \cdot h \cdot K^4)$	英热单位每平方英尺小时 四次方华氏度 $Btu/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F^4)$
$1 W/(m^2 \cdot K^4) = 1 J/(m^2 \cdot s \cdot K^4)$	1	0.859845	3.020×10^{-2}
$1 kcal/(m^2 \cdot h \cdot K^4)$	1.163	1	3.512×10^{-2}
$1 Btu/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F^4)$	33.11	28.49	1

9. 动力粘度

单 位	帕 秒 $Pa \cdot s$	泊 P	千克每米 小 时 $kg/(m \cdot h)$	千克力秒 每平方米 $kgf \cdot s/m^2$	千克力小时 每平方米 $kgf \cdot h/m^2$	磅(质量) 每英尺秒 $lb.-mass/(ft \cdot s)$	磅力秒每 平方英尺 $lb.-f \cdot s/ft^2$
$1 Pa \cdot s = 1 N \cdot s/m^2$ $= 1 kg/(m \cdot s)$	1	10	3600	0.10197	2.833×10^{-5}	0.6721	2.0885×10^{-2}
1 P	0.1	1	360	0.010197	2.833×10^{-6}	0.06721	2.0885×10^{-3}
$1 kg/(m \cdot h)$	2.778×10^{-4}	2.778×10^{-3}	1	2.833×10^{-5}	78.68×10^{-10}	1.867×10^{-4}	5.801×10^{-6}
$1 kgf \cdot s/m^2$	9.807	98.07	3.5304×10^4	1	2.778×10^{-4}	6.5919	0.20482
$1 kgf \cdot h/m^2$	0.35304×10^5	0.35304×10^6	1.2709×10^8	3600	1	2.3730×10^{-4}	0.73728×10^3
$1 lb.-mass (ft \cdot s)$	1.488	14.882	5357	0.1518	4.214×10^{-5}	1	0.03108
$1 lb.-fs/ft^2$	47.88	478.8	1.724×10^5	4.882	1.3558×10^{-3}	32.174	1

1.2 设备投资利息与折旧 (W.Lenz, W.Goldstern)^①



说 明

举例① 年利率 $p = 6.0\%/年$;

偿还时间 $n = 25年$ 。

得：年等额还贷率 $a = 7.8\%/年$ 。

举例② 年等额还贷率 $a = 9\%/年$;

年利率 $p = 7\%/年$ 。

得：偿还时间 $n = 21.5年$ 。

基本计算公式：
$$a = \frac{q^n p}{q^n - 1}$$

其中

$$q = 1 + \frac{p}{100}。$$

等额还贷率 a ($\%/年$)是与投资额有关的年还贷份额，是必须在每年底为还本付息而支付的款额。

举例①为已知年利率 p ($\%/年$)和偿还年限 n (年数)时，求年等额还贷率。

① 标题后括号内为本节图的作者。以下同——译注。

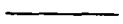
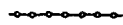
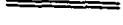
举例②为已知年等额还贷率和年利率时，求贷款偿还年限，例如可在计算经济效益时使用。

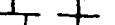
参 考 文 献

Hütte 28. Aufl. 1955. Bd. 1, S. 65/67.

1.3 热力装置系统图符号

续表

名 称	符 号
蒸 汽	
含油蒸汽	
循环水	
含油水	
原 水	
排污水、脏水	
溶液，化学药品	
油	
液态金属	
空 气	
可燃气体	
不可燃气体	
固体燃料	
可燃垃圾	
其他材料	
控制线路，信号线路	
伴热管道或冷却管道	
蒸汽伴热管道	

名 称	符 号
电阻伴热管道	
保温（绝热）	
不连接交叉管道	
连接交叉管道	
分支点	
漏 斗	
大小头	
排气口	
普通截止阀	
安全截止阀	
普通逆止阀	
截止球阀	
逆止球阀	
浮球逆止阀	
浮球阀	
减压阀	
蒸汽转换阀	
闸 阀	

2539 1 A

续表	
名 称	符 号
直通旋塞阀	
截止阀	
逆止阀	
手动截止阀	
电动截止阀	
电磁截止阀	
液力驱动截止阀	
活塞驱动截止阀	
隔膜驱动截止阀	
重力式安全阀	
弹簧式安全阀	
截止阀 (关闭状态)	
截止阀 (开启状态)	
消音器	
盲 板	
转换板	
压力试验堵板	
节流孔板	
防爆门	
凝结水疏水阀	
工质交叉流过的表面式换热器, 吸热介质由管内流过	

续表	
名 称	符 号
烟气加热的换热器	
回热加热器	
蒸汽冷却器	
疏水冷却器	
工质不交叉流过的表面式换热器, 吸热介质由管内流过	
烟气加热的空气预热器	
凝汽器	
空冷凝汽器	
混合式换热器	
喷水蒸汽减温器	
混合式除氧器	
无过热器的锅炉	
电加热锅炉	
蒸汽发生器	
有过热器的锅炉	
有用烟气加热的中间再热器的锅炉	
燃气锅炉	
燃油锅炉	
煤粉锅炉	
液态排渣煤粉锅炉	
层燃锅炉	

续表	
名 称	符 号
烧垃圾锅炉	
煤(烟)气发生器	
燃烧室	
热用户	
有受热面的热用户	
一般槽、池	
连续输送机	
固体燃料给料机	
联轴节	
液压联轴节	
变速齿轮箱	
分离器	
电除尘器	
离心式分离器	
扩容器	
筛, 筛分设备	
粗 筛	
细 筛	
过滤器	
空气过滤器, 煤(烟)气过滤器	
液体过滤器	

续表	
名 称	符 号
搅拌器	
工业水化学处理设备	
水处理槽	
计量装置	
冷 却 塔	
自然通风湿式冷却塔	
抽气式湿式冷却塔	
压气式湿式冷却塔	
自然通风干式冷却塔	
抽气式干式冷却塔	
压气式干式冷却塔	
自然通风干、湿混合式冷却塔	
容 器	
淋水式除氧器和给水箱	
淋水式除氧器和有下部蒸汽引入装置的给水箱	
压差蓄能器	
工质膨胀做功的原动机	
汽轮机	
带(不可调)抽汽口的蒸汽轮机	
带可调抽汽口的蒸汽轮机	
燃气轮机	