

全国能源基础和管理标准化技术委员会

任泽霈 蔡睿贤 主编

热工手册



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TK122
2003063

热 工 手 册

全国能源基础和管理标准化技术委员会
任泽霈 蔡睿贤 主编

机械工业出版社

本书是热工技术领域中的一本具有科学性、实用性和综合性的大型工具书。内容涉及该领域的基础理论、技术数据和国家标准；各种燃料，各种热工设备和装置；新能源的开发和利用；环境污染的控制和治理，以及能源管理科学等方面。

全书共分 23 章，前 6 章的内容是基础理论和物质的热学性质；7 至 9 章分别为燃料、核能和可再生能源，10 至 16 章介绍各种热工设备和装置；最后 7 章分别叙述空调与制冷、电站与供热、航空与航天以及热工测量与控制、热力系统及其优化、环境保护和能源管理与标准化。

本书可供热能工程、工程热物理、化学工程和动力工程等领域的工程技术人员、科研人员和高等学校有关专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

热工手册/任泽霖，蔡睿贤主编. —北京：机械工业出版社，2002.3
ISBN7-111-09734-3.

I. 热… II. ①任…②蔡… III. 热工学 IV. TK122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 097326 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：王 琳 李正民 版式设计：霍永明

责任校对：张 佳 韩 晶 刘志文

封面设计：姚 毅 责任印制：付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 11 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16 95.75 印张·4 插页·3142 千字

0 001—4 000 册

定价：168.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527
封面无防伪标均为盗版

全国能源基础和管理标准化技术委员会

热工手册编审委员会

主任委员 吴仲华

副主任委员 (按姓氏笔画排列)

王补宣 史绍熙 宁 槐

朱亚杰 陈学俊 黄毅诚

梁守槃

委 员 (按姓氏笔画排列)

王宏基 任泽霈 刘国明

李虞庚 吴大观 严家騄

闽桂荣 汪寅人 苗天杰

姚福生 秦中一 夏武祥

翁史烈 蔡睿贤

热工手册编辑工作委员会

主 任 任泽霈 蔡睿贤

委 员 (按姓氏笔画排列)

刘选秀 陈铭诤 李爱仙

张世诤 张管生 姚文达

黄莉莉

秘 书 长 陈铭诤(兼)

主 编 任泽霈 蔡睿贤

前 言

能源是人类赖以生活和生产的物质基础，是决定国家可持续发展的重要战略因素。在能源的开发和利用过程中，伴随着环境保护的问题，能源与环境成为当前国际社会共同关心的热点问题。

为了适应我国国民经济发展对提高能源有效利用以及新能源开发的需求，原国家标准局于1986年向全国能源基础与管理标准化技术委员会下达了编写《热工手册》的任务，希望为各行业、各部门在热工技术领域中的科技工作者提供一本具有科学性、实用性和综合性的大型工具书。

手册内容涉及到有关热工和能源利用方面的基础理论、技术数据和国家标准；各种燃料，各种热工设备和装置；航空与航天动力技术；新能源的开发和利用；环境污染的控制和治理以及能源管理科学等方面。手册内容反应了我国当前能源科技工作的成就以及世界上能源科学技术的新进展。

手册的各章或各节基本上按一个学科分支、一种设备或一套装置的内容编排，是从热科学和技术的角度叙述该方面涉及的基本定义、基本定律和工作原理，设计方法以及有关计算的数据和曲线，有关设备的特点、性能和使用等内容。

手册加强了所涉及的各学科的基础理论，但叙述中并不给出公式的推导过程，只是系统地，科学地列出结果。有些公式和数据是结合叙述设备的工作原理、设计方法和设备性能分别给出的，尽量做到科学性和实用性相结合。各种设备的工作原理、设计方法和性能特点等内容，也是从热科学和技术的角度进行描述，并不深入涉及有关零件的机械强度设计和制造工艺，只是在必要时才适当地给出设备的具体结构和强度的内容。与能源开发和利用有关的环境污染控制和治理以及能源管理方面的内容是十分重要的。能源与环境发展的不可分割性已成为国际科技工作者的共识，手册中所列入的有关环境保护的内容也体现了手册内容的综合性。手册内容的编排强调了热科学技术本身的系统性，但不是按学科分支、名词术语或条目进行，而是强调科学性与实用性相结合，为有一定专业知识的读者提供一本兼备科学系统和技术实用相结合的工具书。1988年，全国能源基础与管理标准化技术委员会设立了《热工手册》编写筹备组。该组承担策划和组织编写的具体工作，筹备组成员有任泽霈、蔡睿贤、陈铭诤、姚文达、张管生和张世诤。1990年1月在北京成立了《热工手册》编审委员会，吴仲华院士任主任委员。1990年1月20日，在吴仲华主任委员主持下，编审委员会初步审定了《热工手册》的编写大纲和编审计划，并决定成立编辑工作委员会。编辑工作委员会负责修改编写大纲、聘请专家撰写、联系出版，以及日常事务等。

各章初稿完成后，编辑工作委员会组织国内有关方面的专家和学者分章进行审稿，然后各章作者再进行修改。此后，编辑工作委员又指定陈铭诤、姚文达、任泽

需、张世诤委员分块进行审阅统稿。经过各方面的共同努力，1999年底完成了手册的初稿，随后又做了进一步修改与更新，最终完成《热工手册》书稿。

《热工手册》是广大专家和学者集体智慧的结晶和集体工作的成果，不少章节内容往往经过作者和审稿人多次讨论和修改才得以定稿，我们对他们所付出的艰巨劳动表示深切的谢意。手册的编写和出版得到了全国能源基础与管理标准化技术委员会和机械工业出版社始终如一的支持和鼓励，对此表示由衷的感谢。

尽管我们尽其可能地做了努力，但疏漏和错误之处仍不可避免，我们诚恳地希望广大读者和专家给予批评和指正，以期再版时得以改进。

热工手册编辑工作委员会

2001年12月

总 目 录

前 言

第 1 章	量和单位、热工图形符号	1 - 1
第 2 章	物质的热学性质	2 - 1
第 3 章	工程热力学	3 - 1
第 4 章	流体力学	4 - 1
第 5 章	传热与传质	5 - 1
第 6 章	燃烧	6 - 1
第 7 章	燃料	7 - 1
第 8 章	核能	8 - 1
第 9 章	新能源和可再生能源	9 - 1
第 10 章	换热器与干燥装置	10 - 1
第 11 章	工业炉窑	11 - 1
第 12 章	锅炉设备	12 - 1
第 13 章	蒸汽轮机	13 - 1
第 14 章	燃气轮机	14 - 1
第 15 章	内燃机	15 - 1
第 16 章	泵、压缩机、风机及真空泵	16 - 1
第 17 章	热工测量与控制	17 - 1
第 18 章	空气调节与制冷	18 - 1
第 19 章	航空和航天动力	19 - 1
第 20 章	电站与供热	20 - 1
第 21 章	热力系统及设备最优化	21 - 1
第 22 章	能源管理与标准化	22 - 1
第 23 章	环境保护	23 - 1

第1章

量和单位、热工图形符号

陈铭诤 中国科学院工程热物理研究所
赵 燕 国家质量技术监督检验检疫总局
杨振顺 中国标准化研究中心

本章 1.1~1.3、2.3、4.5~4.10 由陈铭诤编写, 1.4 由赵燕编写, 4.1~4.4、4.11 由杨振顺编写。

目 录

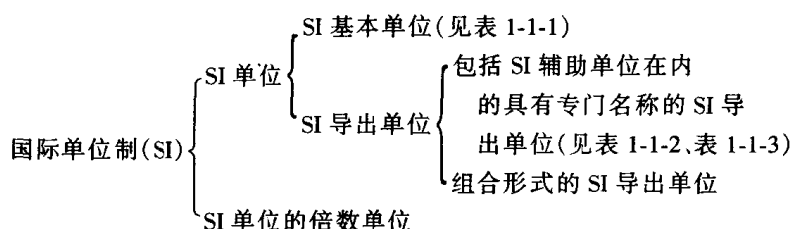
1 中华人民共和国法定计量单位	1 - 3	2.8 物理化学的量和单位	1 - 17
1.1 中华人民共和国法定计量单位的 构成	1 - 3	2.9 核反应的量和单位	1 - 18
1.2 国际单位制	1 - 3	2.10 特征数	1 - 19
1.3 国家选定的非国际单位制单位	1 - 5	3 单位换算	1 - 19
1.4 中华人民共和国法定计量单位 的使用方法	1 - 6	4 技术文件用热工图形符号	1 - 22
1.4.1 单位的名称	1 - 6	4.1 管路系统的图形符号	1 - 22
1.4.2 单位和词头的符号	1 - 6	4.2 阀门与阀门连接的图形符号	1 - 23
1.4.3 单位和词头的使用规则	1 - 7	4.3 执行机构图形符号	1 - 24
1.4.4 常见的错误	1 - 7	4.4 热工测量元件及仪表图形符号	1 - 24
2 热工领域中常用的量和单位	1 - 8	4.5 热力设备图形符号	1 - 24
2.1 空间和时间的量和单位	1 - 8	4.6 热力机械图形符号	1 - 25
2.2 周期及其有关现象的量和单位	1 - 9	4.7 换热器图形符号	1 - 25
2.3 力学的量和单位	1 - 11	4.8 一般热器具图形符号	1 - 25
2.4 热学的量和单位	1 - 12	4.9 容器图形符号	1 - 25
2.5 电学和磁学的量和单位	1 - 14	4.10 其他机具图形符号	1 - 26
2.6 光及有关电磁辐射的量和单位	1 - 15	4.11 热工过程检测与控制系统中常用的英文缩 写词	1 - 26
2.7 声学的量和单位	1 - 16	参考文献	1 - 30

1 中华人民共和国法定计量单位^[1]

1.1 中华人民共和国法定计量单位的构成

中华人民共和国的法定计量单位(以下简称法定单位)包括:

- (1) 国际单位制的基本单位;
- (2) 国际单位制的辅助单位;
- (3) 国际单位制中具有专门名称的导出单位;
- (4) 国家选定的非国际单位制单位;
- (5) 由以上单位构成的组合形式的单位;



SI 单位是国际单位制中由基本单位和导出单位构成一贯单位制的那些单位。除质量外,均不带 SI 词头(质量的 SI 单位为千克)。

国际单位制单位是国际单位制的全部单位,即包括 SI 单位以及 SI 单位的倍数单位(十进倍数和分数单位)。

1. SI 基本单位

SI 基本单位具有严格的定义,并具有复现的精确度和保存的稳定性。

表 1-1-1 SI 基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

注:1. 圆括号中的名称,是它前面的名称的同义词,下同。

2. 无方括号的量的名称与单位名称均为全称。方括号中的字在不致引起混淆的情况下可以省略。去掉方括号中的字即为其名称的简称。下同。

(6) 由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位。

因此,对我国法定计量单位的构成情况可以具体理解为:

- (1) 国际单位制单位;
- (2) 国家选定的非国际单位制单位;
- (3) 由国际单位制单位和国家选定的非国际单位制单位构成的组合单位;
- (4) 国家选定的非国际单位制单位与 SI 词头构成的十进倍数和分数单位。

1.2 国际单位制

国际单位制(法文为 Le Système International d'Unités)的国际简称为 SI。其构成为

2. SI 导出单位

导出单位是用基本单位以代数形式表示的单位。这种单位符号中的乘和除采用数学符号。属于这种形式的单位称为组合单位。

有些组合单位给出专门名称和特定符号(见表 1-1-2、表 1-1-3)。之所以选定这些量给予专门名称和符号是由于:

(1) 有些量和单位经常用到,而且用 SI 基本单位表示又较复杂,若用一些专门名称表示,往往更为方便。如热和能量的单位用焦耳(J)代替牛顿米(N·m),电阻率的单位通常用欧姆米($\Omega \cdot m$)代替伏特米每安培(V·m/A)。例如,力的单位如用基本单位表示则为 $kg \cdot m/s^2$ 。为了简化,给以专门名称“牛顿”和符号“N”。

(2) 有些不同的量具有相同的量纲,它们用 SI 基本单位构成的单位表示式是相同的。例如,频率和放射性活度的单位都可表示为 s^{-1} 。为了区别,就分别给出赫兹(Hz)和贝可勒尔(Bq)两个专门名称。

(3) 在表 1-1-2 中前两项,SI 单位弧度和球面度称为 SI 辅助单位,它们是具有专门名称和符号的量纲一的量的导出单位。在许多实际应用中,用专门名称弧度(rad)和球面度(sr)分别代表数字 1 是方便的。例如角速度的 SI 单位可写成弧度每秒(rad/s)。

表 1-1-2 包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	SI 导出单位		
	名称	符号	用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示
[平面]角	弧度	rad	$1\text{rad} = 1\text{m}/\text{m} = 1$
立体角	球面度	sr	$1\text{sr} = 1\text{m}^2/\text{m}^2 = 1$
频率	赫[兹]	Hz	$1\text{Hz} = 1\text{s}^{-1}$
力	牛[顿]	N	$1\text{N} = 1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$
压力, 压强, 应力	帕[斯卡]	Pa	$1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$
能[量], 功, 热量	焦[耳]	J	$1\text{J} = 1\text{N}\cdot\text{m}$
功率, 辐[射能]通量	瓦[特]	W	$1\text{W} = 1\text{J}/\text{s}$
电荷[量]	库[仑]	C	$1\text{C} = 1\text{A}\cdot\text{s}$
电压, 电动势, 电位, (电势)	伏[特]	V	$1\text{V} = 1\text{W}/\text{A}$
电容	法[拉]	F	$1\text{F} = 1\text{C}/\text{V}$
电阻	欧[姆]	Ω	$1\Omega = 1\text{V}/\text{A}$
电导	西[门子]	S	$1\text{S} = 1\Omega^{-1}$
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$1\text{Wb} = 1\text{V}\cdot\text{s}$
磁通[量]密度, 磁感应强度	特[斯拉]	T	$1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2$
电感	亨[利]	H	$1\text{H} = 1\text{Wb}/\text{A}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C} = 1\text{K}$
光通量	流[明]	lm	$1\text{lm} = 1\text{cd}\cdot\text{sr}$
[光]照度	勒[克斯]	lx	$1\text{lx} = 1\text{lm}/\text{m}^2$

表 1-1-3 由于人类健康安全防护上的需要而确定的具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	SI 导出单位		
	名称	符号	用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示
[放射性]活度	贝可[勒尔]	Bq	$1\text{Bq} = 1\text{s}^{-1}$
吸收剂量	戈[瑞]	Gy	$1\text{Gy} = 1\text{J}/\text{kg}$
比授[予]能			
比释动能	希[沃特]	Sv	$1\text{Sv} = 1\text{J}/\text{kg}$
剂量当量			

在这些具有专门名称的导出单位中, 除弧度(rad)、球面度(sr)、摄氏度($^{\circ}\text{C}$)、流明(lm)和勒克斯(lx)以外, 其余都是以科学家名字命名的, 所列出的音译的中文名称是国家标准规定的, 不准使用音同字不同的其他译名。

(4) 用 SI 基本单位和具有专门名称的 SI 导出单位或(和)SI 辅助单位以代数形式表示的单位称为组合形式的 SI 导出单位。

3. SI 单位的倍数单位

表 1-1-4 给出了 SI 词头的名称、简称及符号(词头的简称为词头的中文符号)。词头用于构成倍数单位(十进倍数单位与分数单位), 但不得单独使用。

表 1-1-4 SI 词头

因 数	词 头 名 称		符 号
	英 文	中 文	
10^{24}	yotta	尧[它]	Y
10^{21}	zetta	泽[它]	Z

(续)

因 数	词 头 名 称		符 号
	英 文	中 文	
10^{18}	exa	艾[可萨]	E
10^{15}	peta	拍[它]	P
10^{12}	tera	太[拉]	T
10^9	giga	吉[咖]	G
10^6	mega	兆	M
10^3	kilo	千	k
10^2	hecto	百	h
10^1	deca	十	da
10^{-1}	deci	分	d
10^{-2}	centi	厘	c

(续)

因 数	词 头 名 称		符 号
	英 文	中 文	
10^{-3}	milli	毫	m
10^{-6}	micro	微	μ
10^{-9}	nano	纳[诺]	n
10^{-12}	pico	皮[可]	p
10^{-15}	femto	飞[母托]	f
10^{-18}	atto	阿[托]	a
10^{-21}	zepto	仄[普托]	z
10^{-24}	yocto	幺[科托]	y

(1) 词头符号与所紧接的 SI 基本单位和 SI 导出单位符号应作为一个整体对待, 它们共同组成一个新单位(十进倍数或分数单位), 并具有相同的幂次, 而且还可以和其他单位构成组合单位。

例 1, $1\text{cm}^3 = (10^{-2}\text{m})^3 = 10^{-6}\text{m}^3$

例 2, $1\mu\text{s}^{-1} = (10^{-6}\text{s})^{-1} = 10^6\text{s}^{-1}$

例 3, $1\text{mm}^2/\text{s} = (10^{-3}\text{m})^2/\text{s} = 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$

例 4, 10^{-3}tex 可写成 mtex

(2) 不得重叠使用词头, 如只能写 nm (10^{-9}m), 而不能写成 $\text{m}\mu\text{m}$ 。

(3) 词头中, 小于 10^6 的符号都是小写字母, 等于或大于 10^6 的符号都是大写字母, 不得混淆。例如, 词头 peta, 其因数为 10^{15} , 符号为 P。而词头 pico, 其因数为 10^{-12} , 符号为 p。

(4) 由于历史原因, 质量的 SI 单位名称“千克”(kg)中, 已包含 SI 词头“千”(k), 所以质量的十进倍数或分数单位由词头加在“克”(g)前构成。如用毫克(mg)而不得用微千克(μkg)。

1.3 国家选定的非国际单位制单位

我国法定计量单位中还选用了非国际单位制单位, 见表 1-1-5。

表 1-1-5 可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位

量的名称	单位名称	单位符号	与 SI 单位的关系
时间	分	min	$1\text{min} = 60\text{s}$
	[小]时	h	$1\text{h} = 60\text{min} = 3600\text{s}$
	日, (天)	d	$1\text{d} = 24\text{h} = 86400\text{s}$
[平面]角	度	°	$1^\circ = (\pi/180)\text{rad}$
	[角]分	'	$1' = (1/60)^\circ = (\pi/10800)\text{rad}$
	[角]秒	"	$1'' = (1/60)' = (\pi/648000)\text{rad}$
体积	升	L, (l)	$1\text{L} = 1\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$
质量	吨	t	$1\text{t} = 10^3\text{kg}$
	原子质量单位	u	$1\text{u} \approx 1.660540 \times 10^{-27}\text{kg}$
旋转速度	转每分	r/min	$1\text{r/min} = (1/60)\text{s}^{-1}$
长度	海里	n mile	$1\text{n mile} = 1852\text{m}$ (只用于航行)
速度	节	kn	$1\text{kn} = 1\text{n mile/h} = (1852/3600)\text{m/s}$ (只用于航行)
能	电子伏	eV	$1\text{eV} \approx 1.602177 \times 10^{-19}\text{J}$
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	$1\text{tex} = 10^{-6}\text{kg/m}$
面积	公顷	hm ²	$1\text{hm}^2 = 10^4\text{m}^2$

注: 1. 平面角单位度、分、秒的符号, 在组合单位中应采用(°)、(′)、(″)的形式。例如, 不用°/s 而用(°)/s。

2. 升的符号中, 小写字母 l 为备用符号。

3. 公顷的国际通用符号为 ha。

1.4 中华人民共和国法定计量单位的使用方法^[1]

1.4.1 单位的名称

(1) 组合单位的中文名称与其符号表示的顺序一致。书写组合单位名称时,不加乘或(和)除的符号或(和)其他符号。

1) 以乘积组成的单位,乘号不出现在名称中。见表 1-1-6 中的例 1。

2) 以除法组成的单位,除号对应名称为“每”字,无论分母中有几个单位,“每”字只出现一次。见表 1-1-6 中的例 2。

(2) 乘方形式的单位名称,其顺序是指数名称在前,单位名称在后,相应的指数名称内数字加“次方”二字而成。见表 1-1-6 中的例 3。

(3) 如果长度的 2 次和 3 次幂是表示面积和体积,则相应的指数名称为“平方”和“立方”,并置于长度之前,见表 1-1-6 中的例 4;否则应称为“二次方”和“三次方”。见表 1-1-6 中的例 5。

表 1-1-6 单位名称的示例

例	量	符 号	单 位 名 称	错误名称或书写
1	力矩	$N \cdot m$	牛顿米	牛顿·米 牛顿-米 [牛顿][米]
2	质量热容, 质量热容	$J/(kg \cdot K)$	焦耳每千克开尔文	每千克开尔文、焦耳 焦耳每千克每开尔文 焦耳/千克开尔文 焦耳/(千克开尔文) 焦耳/(千克·开尔文) 焦耳/(千克-开尔文) 焦耳/[千克][开尔文] 焦耳/千克/开尔文
3	截面二次轴矩	m^4	四次方米	
4	体积	dm^3	立方分米	三次方分米
5	截面系数	m^3	三次方米	立方米

1.4.2 单位和词头的符号

(1) 只在小学、初中课本和普通书刊中有必要时,可将单位简称(包括带有词头的单位简称)作为符号使用,这样的符号称为“中文符号”。例如,热的单位的中文符号为“焦”,而由两个以上单位相乘所构成的组合单位,其中文符号只用一种形式,即用居中圆点代表称号。例如,力矩的单位“牛(顿)米”符号为 $N \cdot m$ 或 $N m$ 和 Nm ,其中文符号为“牛·米”,而不是“牛米”、“[牛][米]”、“牛·[米]”,“牛-米”,“(牛)(米)”,“牛顿米”,“牛顿·米”等。由两个以上单位相除所构成的组合单位,其中文符号可采用以下两种形式之一: kg/m^3 , $kg \cdot m^{-3}$ 。

(2) 不论拉丁字母或希腊字母,一律用正体,不附省略点,且无复数形式。单位符号的字母一般用小

写体(升的符号 L 例外),若单位的名称来源于人名,则其符号的第一个字母用大写体。例如,时间单位“秒”的符号是 s;压力、压强的单位“帕[斯卡]”的符号是 Pa。

(3) 词头符号与单位符号间不留间隙。

(4) 由两个以上单位相乘构成的组合单位,可以用或不用居中圆点,如 $N \cdot m$ 或 $N m$ 和 Nm 。如果其中一字母是某单位的符号,同时又是词头的符号,并有可能混淆时,应将这个符号置于右侧。例如,力矩单位的符号应为 Nm ,而不宜写成 mN ,以免误解为“毫牛顿”。(建议在科技文献中使用居中圆点)

(5) 由两个以上单位相除所构成的组合单位,其符号可用下列三种形式之一: kg/m^3 , $kg \cdot m^{-3}$ 或 $\frac{kg}{m^3}$ 。中文符号情况类似。

用斜线表示相除时，单位符号的分子和分母都与斜线处于同一行内。当分母中包含两个以上单位符号时，整个分母应加圆括号。组合单位的符号中斜线不得多于一条。例如，热导率单位的符号是 $W/(K \cdot m)$ ，而不是 $W/K/m$ 。

(6) 分子为数字 1 的组合单位的符号，一般不用分式而用负幂数形式。例如波数单位符号是 m^{-1} ，而一般不用 $1/m$ 。

(7) 单位和词头的符号应按其名称或简称读音，不是按字母读音。

(8) 摄氏度的符号 $^{\circ}C$ ，可以作为中文符号使用，可与其他中文符号构成组合单位。

(9) 非物理量的单位(如：件、台、人、元等)可用汉字与符号构成组合单位。

1.4.3 单位和词头的使用规则

(1) 名称与符号的使用场合

单位与词头的名称	单位与词头的符号
宜在叙述文字中使用	(优先)用于叙述文字 用于公式、数据表、曲线图、刻度盘、产品铭牌等

(2) 作为整体使用，不得拆开，见表 1-1-7 中的例 1。

(3) 应避免中文符号与中文数词的混淆，必要时应用圆括号，见表 1-1-7 中的例 2。

(4) 不得使用重叠词头，见表 1-1-7 中例 3。

(5) 相乘构成的组合单位，词头应放在第一个单位前，见表 1-1-7 中的例 4。

(6) 相除构成的组合单位，词头应放在分子的第一个单位前，见表 1-1-7 中的例 5。分子分母不能同时用词头，见表 1-1-7 中的例 6。但组合单位分母是长度、面积和体积单位时，按习惯与方便，可用词头构成倍数或分数单位，见表 1-1-7 中例 7。

(7) 注意质量单位“公斤”的特殊例外， kg 是 SI 的单位， k 不作为词头对待，但 kg 又不能构成词头，因此 kg 可以出现在分母中； kg 前不得再加词头，质量的十进倍数或分数单位由词头加在“克”(g)前构成，见表 1-1-7 中的例 8。在中文符号中只有“公斤”和“公里”保留俗称，可以出现“公”字，但不能作为词头来理解。

(8) 倍数单位和分数单位的指数，指包括词头在内的单位的幂，见表 1-1-7 中的例 9。

表 1-1-7 单位与词头的使用示例

例	正 确	错 误
1	20 摄氏度	摄氏 20 度
2	体积：2 (千米) ³ 2 千(米) ³ 旋转频率：3 千(秒) ⁻¹	2 千米 ³ 2 千米 ³ 3 千秒 ⁻¹
3	长度：nm am	m μ m p μ m, nmm
4	力矩：kN·m	N·km
5	摩尔焓：kJ/mol	J/mmol
6	电场强度：mV/m	μ V/mm
7	密度：g/cm ³	
8	质量焓：J/kg 质量：mg	μ kg
9	面积：1cm ² = 1 (10 ⁻² m) ² = 1 $\times$ 10 ⁻⁴ m ²	1cm ² = 10 ⁻² m ²

(9) 以下单位不得用 SI 词头构成倍数单位或分数单位：

- 1) “摄氏度”；
- 2) 时间单位“分”、“时”、“日”等；
- 3) 其他非十进制单位，例如平面角单位“度”、“[角]分”、“[角]秒”等。

(10) 选用 SI 单位的倍数单位或分数单位，一般应使量的数值处于 0.1 ~ 1000 范围内。例如：

1.2 $\times$ 10⁴N 可写成 12kN，
0.00394m 可写成 3.94mm，
11401Pa 可写成 11.401kPa，
3.1 $\times$ 10⁻⁸s 可写成 31ns。

但在习惯使用单位上，如机械制图，或同一个量在叙述或表格中的比较表示，可不受限制。

(11) 万(10⁴)、亿(10⁸)等是我国习惯用的数词，可以使用，但不是词头。如习惯上的统计单位为“万公里”，可记为万 km 或 10⁴km，但建议在教学、科研和工程技术上不用万、亿等。“公里”只是保留使用的俗称，不是科技上的用语。

1.4.4 常见的错误

表 1-1-8 给出一些常见的错误示例，有的是习惯用了多年或常见于某些领域。

表 1-1-8 常见的错误示例

项 目	正 确	错 误
单位符号：		
电流单位安[培]	A	amp
电荷[量]单位库[仑]	C	Conl
力单位牛[顿]	N	nt
体积单位立方米	m ³	cum
立方厘米	cm ³	C.C.
长度单位毫米	mm	m/m
质量单位克	g	gr, gm
时间单位年	a	y, yr
小时	h	hr
秒	s	Sec, (")
体积流量(在标准大气条件下)单位立方米每秒	m ³ /s (加文字叙述)	Nm ³ /s
频率单位赫[兹]	Hz	C
压力单位帕[斯卡]	0.1MPa ^①	b
转速单位转每分	r/min	rpm
单位名称：		
体积单位	升	公升, 立升
质量单位	吨	公吨
长度单位	厘米	公分
	毫米	公厘
	米	公尺

(续)

项 目	正 确	错 误
功率单位	千瓦	瓩
摄氏温度单位	摄氏度	deg, degree, 百分度
热力学温度单位	开[尔文]	绝对度, 开氏度
电能单位	千瓦[小]时	度

① 压力单位 bar 在国际标准化组织上保留了, 在国际上有广泛应用, 但我国法定计量单位未予保留。

2 热工领域中常用的量和单位

国家技术监督局发布了国家标准 GB3100~3102—1993《量和单位》, 于 1994 年 7 月 1 日开始实施。这是一套强制性标准, 等效采用了相应的国际标准 ISO1000:1992, ISO31-0:1992 和 ISO31-1:1992 至 ISO31-13:1992。其中一些量和单位是热工领域中常用的, 下面择录了相关内容。

下列各表中虚线以下的单位名称与单位符号, 为可与 SI 的单位并用和属于国家法定计量单位的非 SI 单位。

2.1 空间和时间的量和单位

择录国家标准《空间和时间的量和单位 (GB3102.1—1993)》的内容列表 1-2-1。

表 1-2-1 空间和时间的量和单位

量 的 名 称	量的符号	单 位 名 称	单位符号
[平面]角	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	弧度	rad
		度 ^①	°
		[角]分	'
		[角]秒	"
立体角	Ω	球面度	sr
长度	l, L	米 ^②	m
宽度	b	海里 ^③	n mile
高度	h		
厚度	d, δ		
半径	r, R		
直径	d, D		
程长	s		
距离	d, r		
笛卡的坐标	x, y, z		
曲率半径	ρ		

(续)

量的 名 称	量的符号	单 位 名 称	单位符号
曲率	κ	每米 负一次方米	m^{-1}
面积	$A, (S)^{\text{④}}$	平方米	$\text{m}^2^{\text{⑤}}$
		公顷	hm^2
体积	$V^{\text{⑥}}$	立方米	m^3
		升	l, L
时间	t	秒	s
时间间隔		分	min
持续时间		[小]时	h
		日, (天)	$\text{d}^{\text{⑦}}$
角速度	ω	弧度每秒	$\text{rad/s}^{\text{⑧}}$
角加速度	α	弧度每二次方秒	$\text{rad/s}^2^{\text{⑧}}$
速度	$v^{\text{⑨}}$	米每秒	m/s
	c		
	u, v, w	千米每小时 节	km/h $\text{kn}^{\text{⑩}}$
加速度	a	米每二次方秒	m/s^2
自由落体加速度 ^⑪	g		
重力加速度			

① $1^\circ = 0.0174533\text{rad}$ 。在数字与任何此类角标型的单位符号之间不应空开。度最好按十进制细分；因此，单位符号应置于数字之后。例： $17^\circ 15'$ 最好写成 17.25°

② 千米俗称公里。

③ $1\text{n mile} = 1852\text{m}$ (准确值)，只用于航程。

④ 对于面积元，有时用 $\text{d}\sigma$ 。

⑤ $1\text{hm}^2 = 10^4\text{m}^2$ (准确值)，用于表示土地面积。

⑥ 对于体积元，有时用 $\text{d}\tau$ 。

⑦ 关于日的时间表示法参阅 GB2809。其他单位，例如星期、月和年(a)是通常使用的单位。

⑧ 其他单位参阅[平面]角中所列。

⑨ v 是广义的标志。 c 用作波的传播速度。当不用矢量标志时，建议用 u, v, w 作速度的分量。

⑩ $1\text{kn} = 1\text{n mile/h} = 0.514444\text{m/s}$ (只用于航行)。

⑪ 标准自由落体加速度： $g_n = 9.80665\text{m/s}^2$ (准确值)。

2.2 周期及其有关现象的量和单位

择录国家标准《周期及其有关现象的量和单位(GB3102.2—1993)》的部分内容列为表 1-2-2。

表 1-2-2 周期及其有关现象的量和单位

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号
周期	T	秒	s
时间常数	τ	秒	s

(续)

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号
频率	f, ν	赫[兹]	Hz
旋转频率 ^①	n	每秒 负一次方秒	s^{-1} ^②
角频率 ^③	ω	弧度每秒 每秒 负一次方秒	rad/s ^④ s^{-1}
波长	λ	米 ^⑤	m
相速度 ^⑥	c, v c_φ, v_φ	米每秒	m/s
群速度	c_g, v_g		
场[量]级	L_F	奈培 分贝	Np ^⑦ dB
功率[量]级	L_P	奈培 分贝	Np ^④ dB
阻尼系数	δ	每秒 负一次方秒	s^{-1}
		奈培每秒 分贝每秒	Np/s ^④ dB/s
对数减缩	Λ	奈培 分贝	Np ^④ dB

① 又称“转速”。

② “转每分”(r/min)和“转每秒”(r/s)广泛用作旋转机械转速的单位。 $1\text{r/min} = \frac{\pi}{30}\text{rad/s}$, $1\text{r/s} = 2\pi\text{rad/s}$

③ 又称“圆频率”

④ 阻尼振荡的时间关系表示式可以写成实数形式或复数形式的实数部分:

$$F(t) = Ae^{-\delta t} \cos(\omega t) = \text{Re}(Ae^{-(\delta + j\omega)t})$$

只有把 e (自然对数的底) 作为指数函数的底时, 才能得到这一包含 δ 和 ω 的简单关系。阻尼系数 δ 和角频率 ω 的 SI 一贯制单位是负一次方秒 (s^{-1})。 δt 和 ωt 的单位分别用专门名称奈培 (Np) 和弧度 (rad) 时, δ 和 ω 的单位分别为奈培每秒 (Np/s) 和弧度每秒 (rad/s)。当奈培用作对数量的单位, 弧度用作平面角和圆函数的相位的单位时, 可把它们看作是“无量纲量”的单位 1 的专门名称。用同样的方法处理在空间的相应变化:

$$F(x) = Ae^{-\alpha x} \cos(\beta x) = \text{Re}(Ae^{-\gamma x}), \quad \gamma = \alpha + j\beta$$

式中, α 的单位为奈培每米 (Np/m), 而 β 的单位为弧度每米 (rad/m)。

场量级定义为两振幅之比的自然对数, 即 $L_F = \ln(F/F_0)$, 因而是一个量纲一的量。单位奈培 (= 数字 1) 是当 $F/F_0 = e$ 时的场量级。

鉴于功率常常与振幅的平方成比例, 为了使在这些情况下的功率量级等于场量级, 功率量级定义为 $L_P = (1/2) \ln(P/P_0)$, 式中引入了因数 1/2。

实际上, 角度常用非一贯单位 ($^\circ$) ($1^\circ = \pi/180\text{rad}$), 对数量常用建立在常用对数 (底为 10) 基础上的非一贯制单位贝尔 (B) [$1\text{B} = (1/2) \ln 10 \text{Np} \approx 1.151293 \text{Np}$] 的分数单位分贝 (dB)。

⑤ 埃 (Å), $1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ (准确值)。⑥ 如果涉及到电磁波速度和其他速度, 则用 c 表示电磁波速度, 用 v 表示其他速度。⑦ $1\text{dB} = (\ln 10 / 20) \text{Np} = 0.1151293 \text{Np}$