

方昭芬 编著

橡胶工程师手册



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



橡 胶 工 程 师 手 册

方昭芬 编著



机械工业出版社

本书汇集了国内外橡胶工业生产的实用数据，内容包括：基础数据及换算、生产现场实用计算、生胶、胶料配合剂、橡胶加工工艺数据、橡胶工业物理量及换算、与橡胶行业有关的技术文件。这些数据曾经帮助作者解决了无数技术问题。

本书重点放在对实践经验的总结以及过去技术论述中未涉及的内容，力求简洁易查，大部分数据以表格和图示形式显示，读者可以迅速找到需要的资料。

本书可供橡胶生产企业和橡胶产品制造企业的工程技术人员使用，也可供高校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

橡胶工程师手册/方昭芬编著. —北京：机械工业出版社，2011.12
ISBN 978-7-111-36577-8

I. ①橡… II. ①方… III. ①橡胶工业—技术手册 IV. ①TQ33-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 242424 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：吕德齐 责任编辑：吕德齐 王治东

版式设计：霍永明 责任校对：张晓蓉

封面设计：姚 毅 责任印制：乔 宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2012 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·23 25 印张·2 插页·576 千字

0001—4000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-36577-8

定价：68.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

策划编辑：(010) 88379772

社服务中心：(010) 88361066

网络服务

销售一部：(010) 68326294

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前言

橡胶的定义为高弹性材料，凡是具有高弹性的物质，不管是称作生胶的天然物质，或是称作其他名称的混合物或人工聚合物皆为橡胶。

橡胶的特性注定它必定是高分子，而高分子科学在科技发达的现代仍是人类未完全破解的领域。

我们把数据输入研究体系，体系中进行何种改变？原理和过程已知清楚，从体系中输出何种物质和数据可以准确推定，称为“白箱”；原理和过程不清楚，从体系中输出何种物质和数据亦无法准确推定，称为“黑箱”；介于两者之间，输入体系中的物质和数据在体系中的变化过程不清楚，从体系中输出的物质和数据可模糊预测但不准确，称为“灰箱”。如果把宇宙科学比作不可知的“黑箱”，把电子学比作可知的“白箱”，那么橡胶科学就是“灰箱”。

在橡胶科学中，虽然有各种理论，如硫化理论、补强理论、老化理论……但在橡胶加工制作成轮胎、管带、工业制品等的过程中，究竟进行何种复杂的高分子反应？这些复杂的生成物品种和数量又是什么？我们仍然知之甚少。

这种状态有点像“盲人摸象”，我们的橡胶理论接触到“橡胶科学”（例如一头大象）真实的一部分（例如象的大腿或鼻子……），但远未认识它的全部真实情况，常常不能将生成物数量化。

综上所述，橡胶科学具有经验科学的特点，使得一些缺乏经验的橡胶工程师在实际现场工作中遇到困难。本手册在总结实际经验的基础上，给出了一系列经验公式，引入了切实可行的计算方法，方便工程师们在工厂现场解决问题。

本手册力求简洁易查，大部分数据以表格和图示形式显示。这些数据原本分散在日文和英文资料中，本手册翻译并编入这些实用数据，使橡胶工程师们可以迅速找到可用的资料，解决生产过程中的问题。

此外，本书尽可能引入国际通用资料和国外有关橡胶技术网站等资料，这样许多我国国家标准中的技术数据不再一一列出，给出国标编号便可在网络中搜索到相应资料，包括橡胶产品的分类、要求、试验方法、检验规则、标志、标签和包装、运输、贮存。橡胶原材料的标准中的内容适用于橡胶、各种添加原材料、骨架材料和辅料品质的鉴定和验收。

本书重点放在实践经验的总结上，以及过去技术论述中未涉及的内容。

由于橡胶工业的生产企业和原材料生产企业数以万计，不可能一一列出，故本手册涉及的生产企业仅作为举例，参考使用。

本手册得到了北京橡胶工业研究设计院，北京化工资料橡胶标准技术信息咨询服务中心和中国橡胶协会助剂协会、骨架材料协会许多专家帮助，也得到了中青年橡胶工程师的支持。其中，吕佳萍承担了大部分日文资料的翻译工作，高级工程师叶立承担了部分表格编辑和主审工作等，在此一并致以诚挚的感谢！

由于编著者本人一生在橡胶工业一线工作，并曾经运用过这些数据进行分析和计算，解

决过无数问题，对这些资料的用途有深切体会。希望此书对年轻一代的橡胶工程技术人员和学生，以及生产管理者们有所帮助。

当代高分子材料科学突飞猛进，中国国家标准也不断地更新换代。《橡胶工程师手册》问世后，希望年轻一代的中国橡胶工程师接过接力棒，编著出新版的手册，以满足国家崛起和技术更新的需要！

方昭芬

目 录

前言

第 1 篇 基础数据及换算

第 1 章 国际单位	1
1.1 基本单位	1
1.2 辅助单位	1
1.3 具有专门名称的导出单位	2
1.4 组合形式的导出单位	2
1.5 SI 单位的倍数单位	3
1.6 计量单位的定义及换算	4
第 2 章 单位换算	8
2.1 密度单位的换算	8
2.2 力单位的换算	8
2.3 动力粘度单位的换算	8
2.4 运动粘度单位的换算	9
2.5 热导率单位的换算	9
2.6 压力单位的换算	9
2.7 功率(动力)单位的换算	10
2.8 速度单位的换算	10
2.9 流量单位的换算	10
2.10 蒸汽压和蒸汽温度的关系	11
2.11 摄氏温度和华氏温度的 关系	13
2.12 马力和千瓦的换算	17
2.12.1 马力和千瓦换算图	17
2.12.2 千瓦—马力换算表	17
2.13 波美度和相对密度的关系	18
2.14 筛子的对照表	19

第 2 篇 橡胶工业物理量及换算

第 1 章 橡胶、高聚物和配合剂的 密度	21
1.1 生胶和高分子材料的密度	21
1.2 硫化剂、硫化助剂的密度	21

1.3 软化剂、增塑剂的密度	22
1.4 补强剂、填充剂的密度	22
1.5 着色剂的密度	23
1.6 其他配合剂的密度	23

第 2 章 橡胶配合剂的质量—体积 换算	24
2.1 混炼胶的密度计算方法	24
2.2 橡胶配合剂的质量—体积 换算	25
2.3 橡胶配合剂的体积—质量 换算	28

第 3 章 橡胶物理试验量的换算	33
3.1 橡胶物理试验用标准符号及 标记	33
3.2 硬度单位换算	34
3.3 拉断强度单位换算	34
3.4 撕裂强度换算	36
3.5 溶剂和橡胶高分子的溶解度 常数(SP)之间的关系	38
3.5.1 聚合物的溶解度常数 (SP)、玻璃化温度(T_g) 和熔化温度(T_m)	38
3.5.2 溶剂及增塑剂的溶解度 常数(SP)	39

第 4 章 橡胶工业用纤维材料的物理 性能	41
4.1 纤维的物理性质	41
4.2 旦、支纱数换算	41
4.3 橡胶工业用骨架材料及粘合 有关标准	43

第 5 章 相关的技术资料	45
5.1 希腊字母的表示和读音表	45
5.2 元素周期表	46
5.3 世界各国或组织专利局网址	47

第3篇 生产现场实用计算

第1章 从陌生橡胶配方估算基本

物理性能的方法 49

- 1.1 估算硬度 49
- 1.2 估算 300%定伸强度 52
- 1.3 估算拉断强度 53
- 1.4 估算伸长率 55

第2章 解决橡胶企业质量事故的

方法 58

- 2.1 常见混炼胶质量事故及
对策 58
- 2.2 常见压出质量事故及对策 61
- 2.3 常见压延质量事故及对策 62
 - 2.3.1 压型 62
 - 2.3.2 纺织物贴胶和擦胶 63
 - 2.3.3 压延工艺常见质量事故
及对策 63
 - 2.3.4 常用橡胶的压延特点 65
- 2.4 常见硫化产品质量事故及
对策 66

第3章 从要求的基本物理性能设计

橡胶配方的方法 68

- 3.1 按用户要求设计橡胶配方的
步骤 68
- 3.2 按客户要求设计橡胶配方的
实例 68

第4章 高分子橡胶材料内部结构和

性能相关的经验公式 71

- 4.1 JSR 常数模型 71
- 4.2 JSR 经验公式 72

第5章 燃烧法判别胶料的生胶品种 75

- 5.1 燃烧法判别胶料分类的实用
意义 75
- 5.2 胶料燃烧试验 75

第6章 艳色橡胶制品配色法 76

- 6.1 橡胶艳色制品的配色要素 76
- 6.2 胶料生产现场配色法 76
 - 6.2.1 配色原则 76

6.2.2 着色剂、颜料和它的

基本特性 77

6.2.3 硫化橡胶配色方法 79

第7章 透明橡胶制品的制作 80

- 7.1 折光率 80
- 7.2 高分子材料的折光率表 80
- 7.3 无机材料的折光率表 81

第8章 用门尼试验机所得到的橡胶的

测定值 82

- 8.1 剪切应力和作用时间的关系 82
- 8.2 松弛应力 82

第4篇 生胶

第1章 生胶原料的特性 84

1.1 各种原料橡胶的性质 84

- 1.1.1 天然胶的特性和分类 84
- 1.1.2 各种生胶的品种名称 85
- 1.1.3 各国的天然橡胶标准 86
- 1.1.4 合成橡胶的特性和
分类 90
- 1.1.5 丁苯橡胶 99
- 1.1.6 顺丁橡胶 106
- 1.1.7 丁腈橡胶 108
- 1.1.8 聚异戊二烯橡胶 109
- 1.1.9 氯丁橡胶 110
- 1.1.10 丁基橡胶 112
- 1.1.11 乙丙橡胶 113
- 1.1.12 聚氨酯橡胶 115
- 1.1.13 氯磺化聚乙烯 116
- 1.1.14 硅橡胶 116
- 1.1.15 氟橡胶 119

1.2 聚合物的基本特性 122

- 1.2.1 分子的硬度 122
- 1.2.2 各种合成橡胶的热分析
曲线 (TG) 127
- 1.2.3 硫黄在各种聚合物中的
溶解度 128
- 1.2.4 各种生胶的透气性 128
- 1.2.5 橡胶类高分子材料的非破

坏行为和破坏行为·····	131
---------------	-----

第5篇 胶料配合剂

第1章 硫化促进剂 ·····	135
1.1 国产硫化促进剂·····	135
1.2 日本生产的硫化促进剂·····	149
第2章 防老剂 ·····	162
2.1 国产防老剂·····	162
2.2 稳定剂·····	168
2.3 外国产橡胶用防老剂·····	168
2.3.1 醛、酮、胺反应生成物 及其衍生物·····	168
2.3.2 胺及其衍生物·····	169
2.3.3 噻唑类·····	172
2.3.4 苯酚类及其衍生物·····	173
2.3.5 其他胶料配合剂·····	175
2.3.6 混合防老剂·····	176
2.3.7 橡胶用石蜡·····	177
第3章 防焦剂 ·····	178
3.1 国产防焦剂·····	178
3.2 日本产防焦剂·····	179
第4章 表面活性剂(塑解剂、分散剂、 脱模剂) ·····	181
4.1 国产塑解剂·····	181
4.1.1 塑解剂性状·····	181
4.1.2 国产塑解剂及生产 企业·····	182
4.2 外国产塑解剂·····	189
4.2.1 日本塑解剂及生产 企业·····	189
4.2.2 其他国家塑解剂及 生产企业·····	190
第5章 树脂类加工助剂 ·····	192
5.1 国产树脂类加工助剂·····	192
5.2 日本树脂类加工助剂·····	195
第6章 功能助剂 ·····	197
第7章 软化剂及其他 ·····	204
7.1 国产软化剂·····	204
7.1.1 软化剂性状·····	204

7.1.2 软化剂生产企业·····	206
7.2 进口软化剂 ·····	207
7.2.1 进口芳烃操作油·····	207
7.2.2 进口石蜡操作油·····	209
7.2.3 进口环烷类操作油·····	210
7.2.4 进口石蜡类操作油·····	211
7.3 油膏 ·····	212
7.3.1 油膏分类·····	212
7.3.2 进口日本合成橡胶用 油膏·····	212
7.4 日本产 NBR 胶料用 增塑剂 ·····	213
第8章 补强剂与填充剂 ·····	217
8.1 炭黑的分类 ·····	217
8.1.1 ASTM 的炭黑分 类法·····	217
8.1.2 国内炭黑粒径分类及 名称·····	220
8.1.3 炭黑标准命名和中文 名称对照·····	221
8.2 国产炭黑 ·····	222
8.2.1 国产炭黑的典型 性能·····	222
8.2.2 国产炭黑主要生产 厂家·····	224
8.3 进口炭黑 ·····	226
8.3.1 日本炭黑·····	226
8.3.2 美国生产炭黑·····	230
8.3.3 国外生产的其他炭黑 牌号·····	231
第9章 白色补强剂、填充剂 ·····	233
9.1 白色补强剂 ·····	233
9.1.1 沉淀法白炭黑·····	233
9.1.2 气相法白炭黑·····	234
9.1.3 白炭黑牌号及生产 厂家·····	234
9.1.4 水合硅酸铝·····	235
9.1.5 水合硅酸钙·····	235
9.2 白色填充剂 ·····	235

9.2.1 碳酸钙·····	235	11.5 橡胶工业用钢丝骨架材料 ···	274
9.2.2 日本产二氧化硅类 填充剂·····	240	第6篇 橡胶加工工艺	
9.3 二氧化硅类填充剂·····	241	第1章 高聚物的种类与辊筒加工行为 的关系 ·····	276
9.3.1 陶土·····	241	第2章 压出成型 ·····	282
9.3.2 滑石粉·····	241	2.1 压出成型温度和压出压力 关系图·····	282
9.3.3 硅灰石·····	242	2.2 各种高聚物压出时发热 性能·····	283
9.3.4 云母粉·····	242	第3章 通用橡胶机械的规格和 加工能力 ·····	284
9.3.5 石棉·····	242	3.1 开放式炼胶机·····	284
9.3.6 长石粉·····	243	3.1.1 破胶机·····	284
9.3.7 煤矸石·····	243	3.1.2 开放式热炼机和 精炼机·····	286
9.3.8 海沧石·····	243	3.2 密炼机·····	286
9.3.9 凹凸棒土粉·····	243	3.2.1 密炼机加工能力·····	286
9.3.10 白云石粉 ·····	243	3.2.2 国产密炼机·····	287
第10章 其他特种配合剂·····	244	3.3 挤出机·····	296
10.1 发泡剂 ·····	244	3.3.1 挤出机生产能力·····	296
10.1.1 发泡剂类型 ·····	244	3.3.2 冷喂料挤出机·····	296
10.1.2 日本产发泡剂 ·····	245	3.3.3 热喂料挤出机·····	297
10.1.3 日本产发泡助剂 ·····	246	3.4 注压机·····	297
10.2 阻燃剂 ·····	246	3.5 压延机·····	298
10.2.1 国产阻燃剂 ·····	247	3.6 裁断机·····	305
10.2.2 日本产阻燃剂 ·····	249	3.7 硫化机·····	306
10.3 日本进口着色剂及颜料 ·····	250	3.7.1 定型硫化机·····	306
10.4 防白蚁剂 ·····	253	3.7.2 平板硫化机·····	321
10.5 防霉剂 ·····	253	3.7.3 硫化罐·····	342
10.6 光稳定剂 ·····	254	3.8 通用橡胶的机械结构及工作 原理·····	348
10.7 增粘剂 ·····	256	3.9 橡胶机械国家标准·····	351
10.8 隔离剂和脱模剂 ·····	257	3.10 我国主要的橡胶机械生产 企业 ·····	353
10.9 橡胶工业用树脂 ·····	262	第7篇 与橡胶行业有关的技术文件	
10.10 抗臭氧剂·····	263	第1章 中国橡胶国家标准 ·····	356
10.11 帘布粘合剂·····	264	1.1 橡胶行业的国家标准·····	356
10.12 橡胶工业用钴盐·····	266	1.2 橡胶工业用溶剂油技术 标准·····	359
第11章 橡胶工业用骨架材料·····	267	第2章 橡胶试验方法及标准 ·····	360
11.1 橡胶工业用棉布 ·····	267	参考文献 ·····	363
11.2 橡胶工业用化学纤维材料 ···	269		
11.2.1 芳纶浸胶帘子布 ·····	269		
11.2.2 锦纶(聚酰胺纤维) 浸胶帘子布 ·····	270		
11.2.3 涤纶(聚酯纤维) 浸胶帘子布 ·····	273		
11.3 子口布指标 ·····	273		
11.4 原丝指标 ·····	274		

第 1 篇 基础数据及换算

第 1 章 国际单位

国际单位（以下简称 SI 单位）是 1960 年在第 11 次国际度量衡会上通过的，1972 年 6 月被制定为 ISO1000。世界各国也做出将 SI 单位引入的决定，1974 年经重新修订后，决定让 SI 单位在文件中以“（ ）”标注形式存在。

SI 单位是 MKS 单位体系中的一种，是常规使用单位体系，可分为基本单位、辅助单位、组合单位及其的 10 的整数倍。但是在工业上、学术上还有一些传统和习惯用的单位，因此用 SI 单位进行完全统一十分困难。

1.1 基本单位

SI 单位中的基本单位见表 1.1-1。

表 1.1-1 SI 单位中的基本单位

物理量	名称	符号标记
长度	米	m
质量	千克	kg
时间	秒	s
电流	安培	A
热力学温度 ^①	开尔文	K
物质的量	摩尔	mol
发光强度	坎德拉	cd

① 可以用摄氏温度（℃）来代替使用， $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$ 。

1.2 辅助单位

SI 单位中的辅助单位见表 1.1-2。

表 1.1-2 SI 单位中的辅助单位

物理量	名称	符号标记	用 SI 基本单位表示
平面角	弧度	rad	$1\text{rad} = 1\text{m}/\text{m} = 1$
立体角	球面度	sr	$1\text{Sr} = 1\text{m}^2/\text{m}^2 = 1$

1.3 具有专门名称的导出单位

SI 单位中具有专门名称的导出单位见表 1.1-3。

表 1.1-3 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 基本单位的 SI 导出单位表示
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	$1\text{lx}=1\text{lm}/\text{m}^2$

1.4 组合形式的导出单位

表 1.1-4 SI 单位中具有代表性的组合形式的导出单位

物理量	名称	符号标记
面积	平方米	m^2
体积	立方米	m^3
速度	米每秒	m/s
角速度	弧度/秒	rad/s
加速度	米每二次方秒	m/s^2
角加速度	弧度每二次方秒	rad/s^2
波数	每米	m^{-1}
密度	千克每立方米	kg/m^3
电流密度	安每平方米	A/m^2
磁场强度	安每米	A/m

(续)

物理量	名称	符号标记
(物质的量) 浓度	摩尔每立方米	mol/m ³
放射能	每秒	s ⁻¹
放射强度	瓦特每球面度	W/sr
比体积	立方米每千克	m ³ /kg
辉度	坎德拉每平方米	cd/m ²

1.5 SI 单位的倍数单位

表 1.1-5 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 1.1-5 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
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
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

1.6 计量单位的定义及换算

计量单位的定义及换算见表 1.1-6。

表 1.1-6 计量单位的定义及换算

物理量	单位	单位的定义及换算
长度	米 (m)	定义：米是光在真空中 (1/299792458) s 时间间隔内所经路径的长度 10^9 纳米 (nm) = 10^6 微米 (μm) = 10^3 毫米 (mm) = 10^2 厘米 (cm) = 10 分米 (dm) = 1 米 (m) = 10^{-3} 千米 (km) 1 码 (yd) (国际式) = 0.9144m 1 英尺 (ft) = 12 英寸 (in) = $1/3$ yd = 0.3048m 1 英寸 (in) = $1/36$ yd = 25.4m 1 链 (chain) = 22yd = 20.1168m 1 英里 (mile) = 1760yd = 1609.344m 1 海里 (M, nM) (海面及空中的长度计量单位) = 6080ft = 1853m 1 埃 (Å) (光学、结晶学等的计量) = 10^{-10} m 10^4 毫 = 10^3 厘 = 10^2 分 = 10 寸 = 1 尺 = $1/6$ 间 = $1/360$ 町 = $1/12960$ 里 $\approx \frac{10}{33}$ m (日本用)
质量	千克 (kg)	定义：作为国际千克原器的质量，根据米制公约开始使用千克原器 10^6 毫克 (mg) = 10^3 克 (g) = 1kg = 10^{-3} 吨 (t) 1 克拉 (ct, car) (宝石用) = 200mg 1 磅 (lb) = 16 盎司 (ounce, oz) = 256 打兰 (dram) = 7000 格令 (grain, gr) = 0.45359243kg 英吨 (英) = 2240lb = 1016.05kg 短吨 (美) = 2000lb = 907.18kg 100 两 $\approx$ 3.72kg
时间	秒 (s)	定义：秒是铯-133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 9192631770 个周期的持续时间 1 秒 (s) = $1/60$ 分钟 (min) = $1/3600$ 小时 (h)
温度	开尔文 (K) 摄氏度 (°C)	定义：热力学温度开尔文是水的三相点热力学温度的 $1/273.16$，摄氏度是开尔文用于表示摄氏温度值的一个专门名称 $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$ 与华氏度的换算： $^{\circ}\text{C} = (F - 32) \times \frac{5}{9}$ $F = ^{\circ}\text{C} \times \frac{5}{9} + 32$
发光强度	坎德拉 (cd)	定义：坎德拉是一光源在给定方向上的发光强度，该光源发出频率为 540×10^{12} Hz 的单色辐色，且在此方向上的辐射强度为 $1/683$ W/Sr
面积	平方米 (m ²)	定义：边长是 1m 的正方形的面积 10^6 平方毫米 (mm²) = 10^4 平方厘米 (cm²) = 10^2 平方分米 (dm²) = 1 平方米 (m²) = 10^{-2} 公亩 (a) = 10^{-4} 公顷 (ha) = 10^{-6} 平方千米 (km²) 1 平方码 (yd²) = $(0.9144)^2$ m² 1 英亩 (acre) = 4840yd² = 40.469a 10^4 平方分 = 10^2 平方寸 = 1 平方尺 $\approx \frac{1}{9}$ m²

(续)

物理量	单位	单位的定义及换算
面积	平方米 (m ²)	10^2 勺=10 合=1 步 (坪) = $\frac{1}{30}$ 亩 = $\frac{1}{300}$ 反 = $\frac{1}{3000}$ 町 = 36 平方尺 = $\frac{400}{121}$ m ² (日本用) 1 町 = 99.174a (日本用)
体积	立方米 (m ³)	定义: 棱长是 1m 的立方体的体积 10^3 毫米 ³ (mm ³) = 10^6 厘米 ³ (cm ³) = 10^3 分米 ³ (dm ³) = 1m ³ 液体、气体、粒状物及粉状物的体积的计量 10^3 毫升 (mL) = 10 分升 (dL) = 1 升 (L) = $1/1.000028$ dm ³ = 10^{-3} 千升 (kL) 船舶的体积的计量 1 容积吨 = 1000/353m ³ 1 码 ³ (yd ³) = 27 英尺 ³ (ft ³) = 46656 英寸 ³ (in ³) = (0.9144) ³ m ³ 英制加仑 = 62 °F 的水的 10lb 的体积 (277.42 m ³) 1 加仑 (gal) = 4 夸脱 (quart) = 8 品脱 (pint) = 32 及耳 (gill) = 160 液量盎司 ≈ 4.546L 8 加仑 = 4 配克 (peck) = 1 蒲式耳 (bushel) = 1/8 夸特 (quarter) ≈ 36.368L 美制加仑 1 美制加仑 = 4 液量夸脱 (liquid quart) = 8 液量品脱 (liquid pint) = 32 及耳 ≈ 3.7854L 1 美制蒲式耳 (U. S. Bushel) = 4 配克 = 32 夸脱 = 64 品脱 = 35.238L 10^6 分 ³ = 10^3 寸 ³ = 1 尺 ³ = $\frac{1}{27}$ m ³ 10^2 勺 = 10 合 = 1 升 (日本) = 10^{-1} 斗 = 10^{-2} 石 ≈ 1.8039 (公升) (L) (日本用)
速度	米每秒 (m/s)	定义: 1s 移动 1m 的速度 1 米每秒 = 3.6 千米每小时 (km/h)
加速度	米每二次方秒 (m/s ²)	定义: 每经过 1s, 增加 1m/s 的加速度的大小 10^5 毫伽 (mGal) = 10^2 伽 (Gal) = 1 毫米每二次方秒 (mm/s ²)
力	牛顿 (N)	定义: 使 1kg 质量的物体产生 1m/s ² 加速度的力为 1N 10^5 达因 (dyn) = 1 牛顿 (N) = 10^{-1} 百万达因 (Mdyn) 1kgf = 9.80665N
压力 压强	帕 [斯卡] (Pa)	定义: 每 1m ² 承受 1N 的压力 1 巴 (bar) = 10^5 帕 (Pa) 1 千克力每平方厘米 (kgf/cm ²) = 1 工程大气压 (at) = 98.0665 千帕 (kPa) 1 磅力每平方英尺 (lbf/ft ²) = 47.8803 帕 (Pa) 1 磅力每平方英寸 (lbf/in ²) = 6894.76 帕 (Pa) 1 毫米水柱 (mmH ₂ O) = 9.80665 帕 (Pa) 1 毫米汞柱 (mmHg) = 1 托 (Torr) = 133.322 帕 (Pa) 1 英寸汞柱 (inHg) = 3386.39 帕 (Pa) 1 英寸水柱 (inH ₂ O) = 249.082 帕 (Pa) 1 达因每平方厘米 (dyn/cm ²) = 0.1 帕 (Pa) 1 标准大气压 (atm) = 101.325 千帕 (kPa)
功 能量 热量	焦 [耳] (J)	定义: 1N 力的作用点在力的方向上移动 1m 距离所作的功为 1J 10^7 尔格 (erg) = 1 焦 (J) = 10^{-3} 千焦 (kJ) 1 千克力·米 (kgf·m) = 9.80665 焦 (J)

(续)

物理量	单位	单位的定义及换算
功 能量 热量	焦 [耳] (J)	1 英马力·时 (hp·h) = 2.68452 兆焦 (MJ) 1 卡 (cal) = 4.1868 焦 (J) 1 热化学卡 (cal _{th}) = 4.1840 焦 (J) 1 马力·时 = 2.64779 兆焦 (MJ) 1 电工马力·时 = 2.68560 兆焦 (MJ) 1 英热单位 (Btu) = 1055.06 J = 1.05506 千焦 (kJ) = 0.252 kcal 1 吨标准煤, 吨当量煤 (tec) = 29.3076 吉焦 (GJ) 1 英尺·磅力 (ft·lbf) = 1.35582 焦 (J) = 0.138255 kgf·m
功率	瓦 [特] (W)	定义: 在 1s 时间间隔内产生 1J 能量的功率 10^{-3} 千瓦 (kW) = 1 瓦 (W) 1 英制马力 (hp) = 1 电工马力 = 746 W 1 米制马力 (PS) = 735.5 W 1 千克力米每秒 (kgf·m/s) = 9.80665 W 1 卡每秒 (cal/s) = 4.1868 W
[平面] 角度	度 [°]	定义: 将圆周分成 360 个等分, 弧对中心角的角度 [一周角分为 360 等份, 每份定义为 1 度 (°)] 3600 秒 (") = 60 分 (') = 1 度 (°)
	弧度 (rad)	定义: 与圆的半径等长的弧对中心角的角度 (弧长等于圆半径的弧所对的圆心角为 1 弧度)
流量	立方米每秒 (m³/s)	定义: 每 1s 通过 1m³ 的流量 (单位时间通过流管内某一横截面的流体的体积, 称为该横截面的体积流量, 简称为流量) 3600 立方米每小时 (m³/h) = 60 立方米每分钟 (m³/min) = 1 立方米每秒 (m³/s)
	千克每秒 [kg/s]	定义: 1s 内有 1kg 质量的流量 $\frac{36}{10}$ t/h = 1 kg/s
动力粘度	帕 [斯卡] 秒 (Pa·s)	定义: 将两块面积为 1m 的板浸于液体中, 两板距离为 1m, 若加 1N 的切应力, 使两板之间的相对速率为 1m/s, 则此液体的粘度为 1Pa·s 1 泊 (P) = 10^{-1} Pa·s
运动粘度	二次方米每秒 (m²/s)	1 斯 (St) = 10^{-4} m²/s
密度	千克每立方米 (kg/m³)	定义: 每立方米具有的质量 1 克每立方厘米 (g/cm³) = 1000 千克每立方米 (kg/m³)
线质量 线密度	千克每米 (kg/m)	1 den = 0.111112×10^{-6} kg/m 1 lb/ft = 1.48816 kg/m 1 lb/in = 17.858 kg/m 1 lb/yd = 0.496055 kg/m
	特 [克斯] (tex)	1 tex = 10^{-6} kg/m = 1 g/km (用于纤维纺织业)

(续)

物理量	单位	单位的定义及换算
光通量	流 [明] (lm)	定义: 发光强度为 1cd 的光源在立体角 (半径为 1m 的球, 截取球面上面积为 1m^2 的部分与球心形成的立体角) 内发出的所有光束
照度	勒 [克斯] (lx)	定义: 1lm 的光通量均匀照射在 1m^2 面积上的光照度 $1\text{lx}=1\text{lm}/\text{m}^2$
频率	赫 [兹] (Hz)	定义: 在周期内 1s 反复 1 次的频率 $1\text{Hz}=1\text{s}^{-1}$ 1 周期每秒或周期 (c/s, c, ∞) = 1 赫 (Hz) = 10^{-3} 千周期/秒或千周期 (kc/s, kc) = 10^{-3} 千赫 (kHz) = 10^{-6} 兆周期每秒或兆周期 (Mc/s, Mc) = 10^{-6} 兆赫 (MHz)
细度	毫米 (mm)	定义: 颗粒或粉末的粒度通过最小标准的筛子时, 颗粒或粉末颗粒的长度或直径用毫米来表示
湿度	湿度百分率	定义: 空气中的水蒸气的分压与同温下饱和水蒸气的分压之比的 100 倍
照射量	库 [仑] 每千克 (C/kg)	定义: X 射线或 γ 射线辐射在单位质量空气中产生的正离子或负离子的总电量 1 伦琴 (R) = $2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ (准确值)
吸收剂量	戈 [端] (Gy)	定义: 1kg 物质受辐射后吸收辐射的能量 $1\text{Gy}=1\text{J/kg}$ 1 拉德 (rad) = 10^{-2}Gy
放射性活度	贝可 [勒尔] (Bq)	定义: 放射性物质每秒衰变的原子数 $1\text{Bq}=1\text{s}^{-1}$ 1 居里 (Ci) = $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ (准确值)
电阻	欧 [姆] (Ω)	定义: 当导体两点间产生 1V 的电位差时, 对流经该点间的 1A 电流起阻碍作用
电流	安 [培] (A)	定义: 在真空中, 截面积可以忽略的两根相距 1m 的无限长平行圆导线内通以等量恒定电流时, 若导线间相互作用力在每米长度上为 $2 \times 10^{-7} \text{N}$, 则每根导线中的电流为 1A
电压	伏 [特] (V)	定义: 1A 的恒定电流流经导体两点间, 消耗电功率 1W 时在两点间所产生的电位差 [电路中两点 A、B 之间的电位差 (简称为电压), 其大小等于单位正电荷因受电场力作用从 A 点移动到 B 点所做的功, 电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向] $1\text{V}=1\text{W}/\text{A}$
[直流] 功率	瓦 [特] (W)	定义: 在 1V 的电压下 1A 的恒定电流每秒消耗的电能用电功率来表示 (电流在单位时间内做的功叫作电功率) $1\text{瓦 (W)}=1\text{V} \cdot \text{A}$
电荷 [量]	库 [仑] (C)	定义: 单位时间内通过断面的电荷量 $1\text{C}=1\text{A} \cdot \text{s}$ $1\text{A} \cdot \text{h}=3.6\text{kC}$ (用于蓄电池)
电容	法 [拉] (F)	定义: 一个电容器, 如果带 1C 的电荷量时两级间的电势差是 1V, 这个电容器的电容就是 1F (电容器的两电极间的电势差增加 1V 所需的电荷量, 叫作电容器的电容) $1\text{F}=1\text{C}/\text{V}$

第 2 章 单 位 换 算

由于第 1 章的表 1.1-6 中已涉及了法定计量单位与非法定计量单位之间的换算, 因此本章主要介绍非法定计量单位之间的换算。

以密度单位的换算表为例, g/cm^3 的密度换算为 lbf/in^3 , 就是 $0.03613\text{d lbf}/\text{in}^3$ 。

2.1 密度单位的换算 (见表 1.2-1)

表 1.2-1 密度单位的换算

g/cm^3	kg/m^3 或 g/L	lb/in^3	lb/ft^2	lb/gal (米制)	t/m^3
1	1000	0.03613	62.428	8.34521	1.0000
0.001	1	0.0000361	0.062428	0.008345	0.001
27.68	27680	1	1728	231	27.6814
0.0160184	16.0185	0.005787	1	0.1337	0.016018
0.1198	119.8	0.004329	7.481	1	0.119736
1	1000	0.03613	62.428	8.34521	1

2.2 力单位的换算 (见表 1.2-2)

表 1.2-2 力单位的换算

dyn	kgf	lbf	pdl
1	0.00000102	0.000002248	0.00007233
980600	1	2.20462	70.9119
444792	0.45359	1	32.17
13825	0.014102	0.03109	1

2.3 动力粘度单位的换算 (见表 1.2-3)

表 1.2-3 动力粘度单位的换算

P	cP	$\text{kgf} \cdot \text{s}/\text{m}^2$	$\text{kgf} \cdot \text{h}/\text{m}^2$	$\text{lbf} \cdot \text{s}/\text{ft}^2$
1	100	0.01	2.78×10^{-6}	0.00209
0.01	1	0.0001	2.78×10^{-8}	2.09×10^{-5}
100	10000	1	2.78×10^{-4}	0.209