

供用电技术手册

李金伴 林 丛 李捷辉 刘青山 编

Supply Consumption
The Electricity Technical Manual



化学工业出版社

供用电技术手册

李金伴 林 丛 李捷辉 刘青山 编

Supply Consumption
The Electricity Technical Manual



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

供用电技术手册/李金伴等编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 2
ISBN 978-7-122-04615-4

I. 供… II. 李… III. ①供电-技术手册②用电管理-技术手册 IV. TM72-62 TM92-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 004758 号

责任编辑: 刘 哲 高墨荣
责任校对: 李 林

文字编辑: 徐卿华
装帧设计: 周 遥

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 化学工业出版社印刷厂
装 订: 三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 30 字数 821 千字 2009 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 88.00 元

版权所有 违者必究

前 言

在 21 世纪,我国能源发展的重点目标仍以电力为中心。随着我国经济的发展和人民生活水平的不断提高,广大电力用户对电力系统的可靠性要求越来越高,而电气设备以其高可靠性的优势,广泛应用于输电、配电、用电等领域。伴随着科学技术的进步与发展,不同学科之间相互渗透、交叉融合,不断衍生新的研究领域。作为一种重要的技术手段,电工技术发展日新月异,电气产品更新换代极为频繁,电气设备产品的研究、生产、应用领域在不断扩大。尤其电力行业新工艺、新材料、新技术、新产品、新标准的不断涌现,电气产品的规格型号、结构、安装、运行、调整、维护等内容日益引起重视。为适应电力建设发展的需要,更好地搞好供用电工作,我们根据目前供用电的现况,以及广大电气技术人员业务工作的需要,组织编写了本手册。

本手册具有如下特点。

① 本手册是从电力事业发展的实际需要出发,采用国家新颁标准编写的供用电必备实用技术工具书。

② 本手册较系统地介绍了常用电气设备的特点、基本结构、分类与用途、型号及技术参数、选择、安装、运行与维护、常见故障及处理方法、供电与用电管理等方面的专业技术。

③ 本手册采用简明扼要、一目了然的图表形式,具有资料新、信息量大,侧重联系生产实际,并兼顾技术知识的科学性、先进性、系统性和完整性,可操作性强,便于读者查阅的特点。

本手册取材新颖,内容丰富,简明实用。全书以常用数据、公式、图表为主,辅以简要的文字说明。手册中所列数据均取自国家、行业的新资料与新标准等。为满足国际间日益增多的技术交流的需要,还编入了国际电工委员会(IEC)、美国、德国及日本等国家的常用电工符号,以供读者参考。

本手册具有通用性、实用性。适用于电力、电子、机械、石化、化工、自动化、仪器仪表、计算机、广播电视和邮电等工程技术人员及高等院校师生在设计、施工、运行、维护时参考使用。

本手册可作为电气技术人员、电工的工具书,亦可作为高等院校、职业技术学院等相关专业师生的参考书。

本手册共 5 篇 22 章,内容包括常用基础资料、电力变压器及其检修、变电设备及其检修、电力电缆及其附件、电工测量仪表及其测量方法等。

本手册由李金伴、林丛、李捷辉、刘青山等编写。第 1 篇由李捷辉编写,第 2 篇由李金伴、刘青山、李庆泉编写,第 3 篇由李金伴、林丛、李捷明编写,第 4 篇由李金伴、林丛、李锦凤编写,第 5 篇由李捷辉、罗信玉编写。全书由王善斌教授担任主审,在审阅中对书稿提出许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免会有疏漏与不当之处,诚恳读者批评指正。

编 者

2009 年 1 月于江苏大学

目 录

第 1 篇 常用基础资料	1
第 1 章 常用物理量单位及单位换算	1
1.1 常用物理量的单位和符号	1
1.2 单位换算	5
第 2 章 常用电工名词术语和一般计算公式	12
2.1 常用电工名词术语	12
2.2 一般计算公式	16
2.3 常用定理、定律和定则	19
2.4 矢量和主要电量的矢量表达	21
第 3 章 常用电气图形符号	24
3.1 常用电气图形符号的名词术语	24
3.2 电气技术中的文字符号	24
3.2.1 基本文字符号	24
3.2.2 辅助文字符号	26
3.2.3 导线和接线端子的文字符号标志	27
3.3 电气图常用图形符号 (摘录 GB/T 4728—2005)	27
3.3.1 电气图常用的图形符号	27
3.3.2 国内外常用电气图形符号对照	55
第 2 篇 电力变压器及其检修	67
第 4 章 电力变压器的结构和工作原理	67
4.1 变压器的分类和结构	67
4.1.1 变压器的分类	67
4.1.2 变压器的结构	68
4.1.3 变压器的型号及意义	70
4.2 变压器的额定数据	71
4.3 变压器的工作原理	72
4.3.1 变压器的空载运行	73
4.3.2 变压器的负载运行	75
第 5 章 变压器的极性、接线组别和并联运行	82
5.1 变压器的极性、接线组别	82
5.1.1 变压器的极性	82
5.1.2 变压器的接线组别	83
5.2 并联运行的条件	85
5.3 并联运行时的负载分配	87
5.4 并联运行注意事项及最佳并联台数	89
5.4.1 并联运行注意事项	89
5.4.2 并联变压器最佳台数的确定	89

第 6 章 变压器的安装和调试	91
6.1 变压器的安装	91
6.1.1 电力变压器安装前的检查	91
6.1.2 电力变压器的安装要求与方法	93
6.1.3 电力变压器的安装交接验收	112
6.2 有载调压器	113
6.2.1 有载调压器的工作原理	113
6.2.2 有载分接开关的运行与操作要求	114
6.2.3 有载分接开关的检查维护与故障处理	115
6.2.4 有载调压开关故障处理举例	119
6.2.5 防止有载分接开关故障扩大的措施	120
第 7 章 变压器的运行、维护和检修	122
7.1 电力变压器的试运行及投入运行时的操作	122
7.2 电力变压器的运行检查	123
7.2.1 变压器维护的经济意义	123
7.2.2 变压器运行检查	123
7.2.3 气体继电器的运行检查	125
7.3 电力变压器允许运行方式	126
7.3.1 额定运行	126
7.3.2 变压器过负载运行	126
7.3.3 分列运行方式	129
7.3.4 并列运行方式	129
7.4 变压器中性点接地方式	130
7.5 变压器运行常见故障及解决方法	131
7.5.1 变压器绕组、绝缘故障原因分析及解决方法	131
7.5.2 变压器运行方式、改接、改造及综合修理	138
7.6 变压器检修	139
7.6.1 变压器的检修要求	139
7.6.2 变压器的检修	140
第 3 篇 变电设备及其检修	147
第 8 章 变配电所的电气主接线图	147
8.1 设计原则和设计要求	147
8.1.1 设计原则	147
8.1.2 设计要求	147
8.2 变配电站常用的主接线	148
8.3 厂用变配电所主接线图	151
8.4 变配电所二次回路图	152
8.4.1 主控制室及小母线	153
8.4.2. 35kV 主进线断路器控制及保护二次回路原理	153
8.5 35kV 主变压器控制及保护二次回路原理	156
8.6 二次回路接线图	157
第 9 章 高压断路器	161
9.1 少油断路器	161
9.2 真空断路器	164

9.3	六氟化硫断路器	165
9.4	操动机构	167
9.5	高压断路器的操作	177
9.6	断路器的运行与维护	179
9.6.1	断路器的运行条件	179
9.6.2	断路器的正常巡视检查	181
9.6.3	断路器的特殊巡视	183
9.6.4	故障断路器紧急停用处理	184
9.7	断路器的运行故障及处理	184
9.7.1	断路器“拒合”	184
9.7.2	运行中的断路器发生“拒跳”	186
9.7.3	运行中断路器发生“误跳闸”	189
9.7.4	断路器发生“误合闸”	191
9.7.5	SF ₆ 断路器本体的故障原因及处理方法	191
9.7.6	真空断路器的真空度下降	192
9.7.7	断路器操动机构的常见故障及处理	193
9.7.8	高压断路器安装交接及检修验收要求	196
9.7.9	断路器的常见故障及其分析	197
第10章	高压隔离开关和负荷开关	199
10.1	高压隔离开关	199
10.1.1	高压隔离开关的类型和用途	199
10.1.2	高压隔离开关的组成与安装	200
10.1.3	高压隔离开关的操作要求	201
10.1.4	高压隔离开关的运行与维护	202
10.1.5	高压隔离开关的误操作处理	203
10.1.6	高压隔离开关操作故障及处理	204
10.2	负荷开关	208
10.2.1	负荷开关的类型	208
10.2.2	负荷开关的用途	210
10.2.3	对负荷开关的要求	211
10.2.4	负荷开关的安装与调整	211
第11章	互感器	212
11.1	电压互感器	212
11.1.1	电压互感器的型号和工作原理	212
11.1.2	电压互感器的接线	215
11.1.3	电压互感器的运行	216
11.1.4	电压互感器的故障处理	220
11.2	电流互感器	224
11.2.1	电流互感器的型号和工作原理	224
11.2.2	电流互感器的分类和结构	225
11.2.3	电流互感器的接线	228
11.2.4	电流互感器的运行	228
11.2.5	电流互感器的故障处理	231
11.3	互感器的安装验收	234

11.4	互感器检修后试验	235
第12章	消弧线圈和电抗器	238
12.1	消弧线圈的结构和工作原理	238
12.2	消弧线圈的运行、投退与操作	239
12.3	消弧线圈的故障处理	243
12.4	电抗器	245
12.4.1	电抗器的作用与类型	245
12.4.2	电抗器的结构	245
12.4.3	并联电抗器	247
12.5	限流电抗器	249
12.5.1	限流电抗器的结构和用途	249
12.5.2	限流电抗器的主要技术参数	249
12.5.3	限流电抗器的试验	250
12.6	串联电抗器	250
12.6.1	串联电抗器的结构和用途	250
12.6.2	串联电抗器的主要技术参数	251
12.6.3	串联电抗器的试验	252
12.7	电抗器的使用和维修	252
12.7.1	电抗器的定期维护检查	252
12.7.2	电抗器定期和大修后试验	253
第4篇	电力电缆及其附件	254
第13章	电力电缆的结构及型号	254
13.1	电力电缆的分类及型号	254
13.1.1	电力电缆的分类	254
13.1.2	电力电缆的型号	255
13.2	电力电缆的组成与结构	257
13.2.1	电缆的导体	257
13.2.2	电缆的绝缘层	258
13.2.3	电缆护层	259
13.3	电线电缆术语	260
13.3.1	电线电缆名称术语	260
13.3.2	电力电缆结构术语	262
13.3.3	电缆连接及敷设安装术语	264
13.4	电线电缆的标识与包装	265
13.4.1	电线电缆识别标志	265
13.4.2	电缆外护层型号数码标准	265
13.4.3	电缆包装交货盘	267
第14章	电力电缆	270
14.1	电力电缆及型号编制方法	270
14.1.1	电力电缆概述	270
14.1.2	电力电缆品种及型号	271
14.1.3	电力电缆型号编制方法	271
14.2	油浸纸绝缘电力电缆	274
14.2.1	结构特征	274

14.2.2 品种及规格	275
14.3 塑料绝缘电力电缆	282
14.3.1 聚氯乙烯绝缘电力电缆	282
14.3.2 交联聚乙烯绝缘电力电缆	294
14.4 橡胶绝缘电力电缆	301
14.4.1 品种规格	301
14.4.2 技术指标	304
14.5 自容式充油电缆	304
14.5.1 品种规格	305
14.5.2 技术指标	305
第15章 电力电缆附件	308
15.1 电缆终端和接头型号	308
15.2 电力电缆终端	311
15.3 电力电缆接头	318
第16章 电缆的选用和敷设方式	325
16.1 电缆的选用	325
16.1.1 电缆选用的因素	325
16.1.2 电缆绝缘水平的选择	327
16.1.3 电缆导体截面的选择	328
16.1.4 电缆结构的选择	351
16.2 电缆的敷设方式及选择	354
16.2.1 电缆敷设方式选择	354
16.2.2 电缆敷设要求	355
16.2.3 电缆展放要求及方法	360
16.2.4 电缆敷设牵引力和耐压力的要求	363
第17章 电缆运行和检修	365
17.1 电缆线路验收	365
17.2 电缆线路运行维护	368
17.3 电缆线路检修方法	375
17.3.1 电缆故障修理简要过程	375
17.3.2 电缆线路缺陷	375
17.3.3 电缆线路带电检修	379
第5篇 电工测量仪表及其测量方法	382
第18章 电工测量仪表的基本知识	382
18.1 电工仪表基本知识	382
18.1.1 常用电工仪表分类	382
18.1.2 电工指示仪表的型号及表面标记	382
18.1.3 电工仪表主要技术指标	385
18.2 常用电工指示仪表结构、原理	386
18.3 常用电工测量方法	388
18.4 常用电工仪表选择	388
第19章 常用电工仪器仪表的工作原理	391
19.1 电流表与电压表的测量原理	391
19.2 功率表的测量原理	393

19.3 电能表的测量原理	396
19.3.1 电能表的类型	396
19.3.2 感应式电能表基本结构与原理	397
19.3.3 全电子式电能表的测量原理	399
19.3.4 电能表的主要技术特性	401
19.3.5 电能表铭牌标志	401
19.4 频率表、相位表和功率因数表的测量原理	402
19.4.1 频率表的测量原理	402
19.4.2 相位表、功率因数表的测量原理	402
19.5 电桥	404
19.5.1 直流电桥	404
19.5.2 交流电桥	405
19.6 万用表	406
19.7 示波器	409
19.7.1 示波器的结构和原理	410
19.7.2 示波器的电路原理	411
19.8 兆欧表、接地电阻测量仪	412
19.8.1 兆欧表的结构与测量原理	412
19.8.2 接地电阻测量仪的工作原理	413
第20章 电流、电压、功率和电能的测量方法	416
20.1 电流、电压的测量方法	416
20.1.1 电流的测量	416
20.1.2 电压的测量	417
20.2 直流电路中功率和电能的测量方法	419
20.2.1 直接测量法	419
20.2.2 间接测量法	420
20.3 三相交流电路中功率和电能的测量	420
20.3.1 三相交流电路中有功功率的测量	420
20.3.2 三相交流电路中有功电能的测量	423
20.4 绝缘电阻、接地电阻的测量	427
20.4.1 绝缘电阻的测量	427
20.4.2 接地电阻的测量	429
第21章 频率、相位和功率因数的测量方法	432
21.1 相位和功率因数的测量	432
21.1.1 相位、功率因数的直接测量	432
21.1.2 相位、功率因数的间接测量	433
21.2 频率的测量	434
21.2.1 用示波器测量频率	434
21.2.2 用计数法测量频率	436
第22章 数字万用表的使用和维护	437
22.1 数字万用表的结构、分类和原理	437
22.1.1 数字万用表的产品分类	437
22.1.2 数字万用表的原理框图	438
22.1.3 数字万用表的性能特点	439

22.1.4	国内外流行的单片数字万用表集成电路主要性能特点	439
22.1.5	数字万用表的结构	442
22.1.6	数字万用表典型产品介绍	444
22.2	数字万用表的使用方法	445
22.3	数字万用表的维护	448
22.4	数字式万用表的测量实例	451
22.4.1	测量低阻	451
22.4.2	测量高阻	453
22.4.3	测量在线电阻	455
22.4.4	利用 h_{FE} 插口作直流毫伏信号发生器	455
22.4.5	数字万用表对小容量电容器性能的测试	457
22.4.6	利用数字万用表测定二极管正向压降判别硅、锗二极管	457
22.4.7	数字万用表对硅整流桥的判断	458
22.4.8	数字万用表检测 LED 数码管	459
22.4.9	数字万用表检测液晶显示器	460
22.4.10	测量脉冲占空比	461
22.5	国内外数字万用表主要生产厂家及典型产品	462
22.6	新型数字万用表典型产品的技术指标	463
参考文献		465

第 1 篇 常用基础资料

第 1 章 常用物理量单位及单位换算

由于国际上使用的单位制种类繁多，换算十分麻烦，早在 1960 年第十一届国际计量大会上，正式通过了国际单位制，它的国际符号是 SI。现在，国际单位制已为许多国家和国际学术组织所推荐采用，是世界最通用的单位制。我国在 1977 年 5 月颁布的《中华人民共和国计量管理条例（试行）》中规定要逐步采用国际单位制，并在 1984 年 2 月发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》中规定要在全中国统一实行以国际单位制为基础的法定计量单位，以适应国民经济、文化教育事业的发展，以及推进科学技术进步和扩大国际经济、文化交流的需要。

目前国际单位制（SI）是在米、千克、秒（MKS）制基础上发展起来的，它规定了七个基本单位和两个辅助单位，其他单位均由这些基本单位和辅助单位导出。较常用、常见、基础的物理量的单位名称和符号，以国际单位制为主，择要列于表 1-1～表 1-31。

1.1 常用物理量的单位和符号

(1) 国际单位制的基本单位名称和符号

表 1-1 国际单位制的基本单位和辅助单位

类别	量的名称	单位名称	单位符号	类别	量的名称	单位名称	单位符号
基本单位	长度	米	m	基本单位	物质的量	摩[尔]	mol
	质量	千克(公斤)	kg		发光强度	坎[德拉]	cd
	时间	秒	s	辅助单位	平面角	弧度	rad
	电流	安[培]	A		立体角	球面度	sr
	热力学温度	开[尔文]	K				

注：表 1-1～表 1-4 中 [] 内的字，是在不致混淆的情况下，可以省略的字。

表 1-2 国际单位制中具有专门名称的导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示示例	量的名称	单位名称	单位符号	其他表示示例
频率	赫[兹]	Hz	s ⁻¹	磁通量	韦[伯]	Wb	V · s
力,重力	牛[顿]	N	kg · m/s ²	磁通量密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m ²
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	N/m ²	电感	亨[利]	H	Wb/A
能量,功,热	焦[耳]	J	N · m	摄氏温度	摄氏度	℃	
功率,辐射通量	瓦[特]	W	J/s	光通量	流[明]	lm	cd · sr
电荷量	库[仑]	C	A · s	光照度	勒[克斯]	lx	lm/m ²
电位,电压,电动势	伏[特]	V	W/A	放射性活度	贝可[勒尔]	Bq	(s ⁻¹)
电容	法[拉]	F	C/V	吸收剂量	戈[瑞]	Gy	J/kg
电阻	欧[姆]	Ω	V/A	剂量当量	希[沃特]	Sv	J/kg
电导	西[门子]	S	A/V				

表 1-3 用于构成十进倍数和分数单位的词头

所表示的因数	词头名称	词头符号	备注	所表示的因数	词头名称	词头符号	备注
10^{18}	艾[可萨]	E	exa	10^{-1}	分	d	deci
10^{15}	拍[它]	P	peta	10^{-2}	厘	c	centi
10^{12}	太[拉]	T	tera	10^{-3}	毫	m	milli
10^9	吉[咖]	G	giga	10^{-6}	微	μ	micro
10^6	兆	M	mega	10^{-9}	纳[诺]	n	nano
10^3	千	k	kilo	10^{-12}	皮[可]	p	pico
10^2	百	h	hecto	10^{-15}	飞[母托]	f	femto
10^1	十	da	deca	10^{-18}	阿[托]	a	atto

注：在国际单位制中，质量单位千克（kg）是唯一由于历史原因其名称上带有词头的。所以质量单位的十进倍数单位与分数单位的名称要由“克（g）”字加上适当词头构成。

表 1-4 国家选定的非国际单位制单位

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时间	分	min	1min=60s
	[小]时	h	1h=60min=3600s
	天[日]	d	1d=24h=86400s
平面角	[角]秒	($''$)	$1''=(\pi/648000)\text{rad}$ (π 为圆周率)
	[角]分	($'$)	$1'=60''=(\pi/10800)\text{rad}$
	度	($^\circ$)	$1^\circ=60'=(\pi/180)\text{rad}$
旋转速度	转每分	r/min	$1\text{r/min}=(1/60)\text{s}^{-1}$
长度	海里	n mile	1n mile=1852m(只用于航行)
速度	节	kn	$1\text{kn}=1\text{n mile/h}=(1853/3600)\text{m/s}$ (只用于航行)
质量	吨	t	$1\text{t}=10^3\text{kg}$
	原子质量单位	u	$1\text{u}\approx 1.6605655\times 10^{-27}\text{kg}$
体积	升	L, (l)	$1\text{L}=1\text{dm}^3=10^{-3}\text{m}^3$
能	电子伏	eV	$1\text{eV}\approx 1.6021892\times 10^{-19}\text{J}$
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	$1\text{tex}=1\text{g/km}$

(2) 常用物理量单位

表 1-5 力学单位

物理量名称	国际单位制(SI)、MKS制				CGS制			MKfS制		
	单位名称	单位代号		单位量纲式	单位名称	单位代号		单位名称	单位代号	
		中文	国际			中文	国际		中文	国际
长度 ^①	米	米	m	[米]	厘米	厘米	cm	米	米	m
质量 ^①	公斤(千克)	公斤	kg	[公斤]	克	克	g	工程质量单位	公斤力·秒 ² /米	kgf·s ² /m
时间 ^①	秒	秒	s	[秒]	秒	秒	s	秒	秒	s
面积	平方米	米 ²	m ²	[米] ²	平方厘米	厘米 ²	cm ²	平方米	米 ²	m ²
体积	立方米	米 ³	m ³	[米] ³	立方厘米	厘米 ³	cm ³	立方米	米 ³	m ³
频率	赫兹	赫	Hz	[秒] ⁻¹	赫兹	赫	Hz	赫兹	赫	Hz
密度		公斤/米 ³	kg/m ³	[公斤][米] ⁻³	克/厘米 ³	g/cm ³		公斤力·秒 ² /米 ⁴	kgf·s ² /m ⁴	
速度		米/秒	m/s	[米][秒] ⁻¹	厘米/秒	cm/s		米/秒		m/s
角速度		弧度/秒	rad/s	[秒] ⁻¹	弧度/秒	rad/s		弧度/秒		rad/s
加速度		米/秒 ²	m/s ²	[米][秒] ⁻²	厘米/秒 ²	cm/s ²		米/秒 ²		m/s ²

物理量 名称	国际单位制(SI)、MKS 制				CGS 制			MKFS 制		
	单位 名称	单位代号		单位量纲式	单位名称	单位代号		单位名称	单位代号	
		中文	国际			中文	国际		中文	国际
角加 速度		弧度/秒 ²	rad/s ²	[秒] ⁻²		弧度/秒 ²	rad/s ²		弧度/秒 ²	rad/s ²
力	牛顿	牛顿	N	[米][公斤] [秒] ⁻²	达因	达因	dyn	公斤力	公斤力	kgf
重度		牛顿/米 ³	N/m ³	[米] ⁻² [公斤][秒] ⁻²		达因/ 厘米 ³	dyn/cm ³		公斤力· 秒/米 ³	kgf· s/m ³
压强		牛顿/米 ²	N/m ²	[米] ⁻¹ [公斤] [秒] ⁻²		达因/ 厘米 ²	dyn/cm ²		公斤力· 秒/米 ²	kgf· s/m ²
动力 黏度		牛顿· 秒/米 ²	N·S/m ²	[米] ⁻¹ [公斤] [秒] ⁻¹	泊	泊	P		公斤力· 秒/米 ²	kgf· s/m ²
运动 黏度		米 ² /秒	m ² /s	[米] ² [秒] ⁻¹		斯托克斯	St		米 ² /秒	m ² /s
转动 惯量		公斤·米 ²	kg·m ²	[米] ² [公斤]		克·厘米 ²	g·cm ²		公斤力· 米·秒 ²	kgf· m·s ²
功、能	焦耳	焦	J	[米] ² [公斤] [秒] ⁻²	尔格	尔格	erg		公斤力· 米	kgf·m
功率	瓦特	瓦	W	[米] ² [公斤] [秒] ⁻³		尔格/秒	erg/s		公斤力· 米/秒	kgf· m/s

① 为基本单位。

注：1. MKS 制的基本单位为米—公斤—秒，CGS 制的基本单位为厘米—克—秒，二者均属绝对单位制（即以长度、质量和时间作为基本量的单位制）。

2. MKS 制中的单位多切合实用，又称实用单位制。国际单位制中的力学单位与 MKS 制相同。

3. MKFS 制的基本单位为米—公斤力—秒。因其以长度、重力和时间作为基本量，故又称重力单位制。因其多应用于静力学领域中，故又称工程单位制。随物理学的发展，近期有废止此制的趋向。

表 1-6 热学单位

物理量 名称	国际单位制(SI)、MKS 制				CGS 制		
	单位 名称	单位代号		单位量纲式	单位 名称	单位代号	
		中文	国际			中文	国际
热力学温度 ^①	开氏度	开氏度	K	[度]	开氏度	开氏度	K
热量	焦耳	焦	J	[米] ² [公斤][秒] ⁻²	尔格	尔格	erg
热容量		焦/度	J/deg	[米] ² [公斤][秒] ⁻² [度] ⁻¹		尔格/度	erg/deg
比热容		焦/公斤·度	J/kg·deg	[米] ² [秒] ⁻² [度] ⁻¹		尔格/克·度	erg/g·deg
热流量	瓦特	瓦	W	[米] ² [公斤][秒] ⁻³		尔格/秒	erg/s
传热系数		瓦/米 ² ·度	W//m ² ·deg	[公斤][秒] ⁻³ [度] ⁻¹		尔格/厘米 ² · 秒·度	erg/cm ² · s·deg
热导率(导热系数)		瓦/米·度	W/m·deg	[米][公斤][秒] ⁻³ [度] ⁻¹		尔格/厘米· 秒·度	erg/cm· s·deg
导热系数		米 ² /秒	m ² /s	[米] ² [秒] ⁻¹		厘米 ² /秒	cm ² /s
温度梯度		度/米	deg/m	[米] ⁻¹ [度]		度/厘米	deg/cm
线[膨]胀系数		1/度	1/deg	[度] ⁻¹		1/度	1/deg

① 为基本单位。对开氏度或摄氏温度标的温度差，可用“度”或代号“deg”表示。在注明温度的数值时必须加注代号“K”或“℃”。

注：1. 对热学单位，MKS 制的基本单位为米—公斤—秒—开氏度，CGS 制的基本单位为厘米—克—秒—开氏度。

2. 国际单位制中的热学单位同 MKS 制。

表 1-7 电磁学单位

物理量名称	国际单位制(SI)有理化实用单位制(MKSA)				无理化高斯单位制 CGS			
	单位名称	单位代号		单位量纲式	单位名称	单位代号		化为国际单位制 ^②
		中文	国际			中文	国际	
电流强度 ^①	安培	安	A	[安培]		CGS 制单位		$=10/c$ 安培
频率	赫兹	赫	Hz	[秒] ⁻¹	赫兹	赫	Hz	
力	牛顿	牛顿	N	[米][公斤][秒] ⁻²	达因	达因	dyn	
功、能	焦耳	焦	J	[米] ² [公斤][秒] ⁻²	尔格	尔格	erg	
有功功率	瓦特	瓦	W	[米] ² [公斤][秒] ⁻³		尔格/秒	erg/s	
无功功率	乏	乏	var	[米] ² [公斤][秒] ⁻³		尔格/秒	erg/s	
视在功率	伏·安	伏·安	V·A	[米] ² [公斤][秒] ⁻³		尔格/秒	erg/s	
电量	库仑	库	C	[秒][安培]		CGS 制单位		$=10/c$ 库
电通量	库仑	库	C	[秒][安培]		CGS 制单位		$=10/4\pi c$ 库
电位移		库/米 ²	c/m ²	[米] ⁻² [秒][安培]		CGS 制单位		$=10^5/4\pi c$ 库/米 ²
电压、电动势	伏特	伏	V	[米] ⁻² [公斤][秒] ⁻³ [安培] ⁻¹		CGS 制单位		$=c \times 10^{-8}$ 伏
电场强度		伏/米	V/m	[米] ² [公斤][秒] ⁻³ [安培] ⁻¹		CGS 制单位		$=c \times 10^{-6}$ 伏/米
电阻	欧姆	欧	Ω	[米] ² [公斤][秒] ⁻³ [安培] ⁻²		CGS 制单位		$=c^2 \times 10^{-9}$ 欧
电阻率	欧[姆]米	欧·米	$\Omega \cdot m$	[米] ³ [公斤][秒] ⁻³ [安培] ⁻²		CGS 制单位		
电导	西(门子)	西(门子)	s	[米] ⁻² [公斤] ⁻¹ [秒] ³ [安培] ²		CGS 制单位		
电容	法拉	法	F	[米] ⁻² [公斤] ⁻¹ [秒] ⁴ [安培] ²		CGS 制单位		$=10^9/c^2$ 法
介电常数		法/米	F/m	[米] ⁻³ [公斤] ⁻¹ [秒] ⁴ [安培] ²		$\epsilon_0=1$ 为纯数		
磁通量	韦伯	韦伯	Wb	[米] ² [公斤][秒] ⁻² [安培] ⁻¹	麦克斯韦	麦克斯韦	Mx	$=10^{-8}$ 韦伯
磁通密度		韦伯/米 ²	T	[公斤][秒] ⁻² [安培] ⁻¹	高斯	高斯	G	$=10^{-4}$ 韦伯/米 ²
电感和互感	亨利	亨	H	[米] ² [公斤][秒] ⁻² [安培] ⁻²		CGS 制单位		$=c^2 \times 10^{-9}$ 亨
磁场强度		安/米	A/m	[米] ⁻¹ [安培]	奥斯特	奥斯特	Oe	$=10^3/4\pi$ 安/米
磁通势	安培或安匝	安或安匝	A 或 A·t	[安培]	吉伯	吉伯	Gb	$=10/4\pi$ 安
磁阻		安/韦伯	A/Wb	[米] ² [公斤] ⁻¹ [秒] ² [安培] ²		CGS 制单位		$=10^9/4\pi$ 安/韦伯
磁导率		亨/米		[米][公斤][秒] ⁻² [安培] ⁻²		$\mu_0=1$ 为纯数		

① 为基本单位。

② 等式中的 c 为 3×10^{10} ，即 CGS 制中的真空光速数值。

注：1. MKSA 制的基本单位为米-公斤-秒-安培，GCS 制的基本单位为厘米-克-秒。

表 1-8 物理化学单位

物理化学量名称	SI		备 注
	单 位	特 号	
物质的量	摩尔	mol	习用上,化学中物质的量仍用克分子(mole)来计算,浓度仍采用克分子浓度(M)和当量浓度(N)。 物质的当量,即物质起反应时彼此相当的质量,即能同 1.008 克氢起作用,或含有 1.008 克可被置换的氢的相当的化合物的质量
摩尔质量	千克/摩尔	kg/mol	
摩尔容积 ^①	米 ³ /摩尔	m ³ /mol	
摩尔内能	焦[耳]/摩尔	J/mol	
摩尔热容量	焦[耳]/(摩尔·开[尔文])	J/(mol·K)	
摩尔熵	焦[耳]/(摩尔·开[尔文])	J/(mol·K)	
摩尔浓度	摩尔/米 ³	mol/m ³	
质量摩尔浓度	摩尔/千克	mol/kg	
扩散系数	米 ² /秒	m ² /s	
热扩散系数	米 ² /秒	m ² /s	

① 摩尔容积 $V_m = 22.41333 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$, $1 \text{ kmol} = 10^3 \text{ mol}$ 。

表 1-9 光学单位

物理量名称	符号	定义公式	单位名称及符号		备 注
			SI	CGS 制	
光强度	I		坎[德拉]	cd	
辐射能量	W		焦[耳]	J	
辐射通量	P	$P=W/t$	瓦[特]	W	erg/s
光通量	ϕ, F	$\phi = Ie$	流[明]	lm	lm = 1cd · sr
发光量	Q	$Q = \phi t$	流[明]·秒	lm · s	
[面]发光度	M	$M = d\phi/dS$	流[明]/米 ²	lm/m ²	
光亮度	L	$L = dI/(dS \cos\theta)$	坎[德拉]/米 ²	cd/m ²	照提 sb, (坎[德拉]/厘米 ²)(cd/cm ²)
光照度	E	$E = d\phi/dS$	勒[克斯]	lx	辐透 ph, (流[明]/厘米 ²)(lm/cm ²) 1lx = 1lm/m ² 1ph = 1lm/cm ² = 10 ⁴ lx
曝光量	H	$H = Et$	勒[克斯]·秒	lx · s	
波长	λ		米(埃)	m(Å)	1Å = 10 ⁻¹⁰ m

1.2 单位换算

表 1-10 长度单位换算

千米(公里)(km)	米(m)	厘米(cm)	毫米(mm)	英里(mile)	码(yd)	英尺(ft)	英寸(in)	海里(国际)(nmile)
1	1000			0.6214	1093.6	3280.3		0.53996
0.001	1	100	1000		1.0936	3.2808	39.37	0.00054
	0.01	1	10			0.0328	0.3937	
1.6093	0.001	0.1	1	1	1760	5280	0.03937	0.869
	0.9144				1	3	36	
	0.3048	30.48	304.8		0.3333	1	12	
	0.0254	2.54	25.4		0.0278	0.0833	1	
1.852	1852			1.1508		6076.12		1

注: 1 英海里 = 1853.184 米 (m) = 6080.00 英尺 (ft); 1 美海里 = 1853.27 米 (m) = 6080.27 英尺 (ft)。

表 1-11 面积和地积单位换算

公里 ² (km ²)	公顷 (hm ²)	公亩 (a)	米 ² (m ²)	厘米 ² (cm ²)	毫米 ² (mm ²)	英里 ² (mile ²)	英亩 (acre)	码 ² (yd ²)	英尺 ² (ft ²)	英寸 ² (in ²)
1	10 ² 1	10 ⁴ 10 ²	10 ⁶ 10 ⁴			0.3861				
		1	10 ² 1	10 ⁴	10 ⁶		0.02471	1.196	10.7639	1550
			10 ⁻⁴ 10 ⁻⁶	1 10 ⁻²	10 ² 1			1.196×10 ⁻⁴ 1.196×10 ⁻⁶	10.7639×10 ⁻⁴ 10.7639×10 ⁻⁶	0.1550 0.00155
2.5900			4047			1	640 1		43560	
			0.8361 0.0929 6.4516×10 ⁻⁴	0.8361×10 ⁴ 0.0929×10 ⁴ 6.4516	0.8361×10 ⁶ 0.0929×10 ⁶ 645.16			1 9.1111 7716×10 ⁻⁷	9 1 6944×10 ⁻⁶	1296 144 1

表 1-12 体积和容积单位换算

米 ³ (m ³)	升(L)	厘米 ³ (cm ³)	英加仑(UK gal)	美加仑(U S gal)	码 ³ (yd ³)	英尺 ³ (ft ³)	英寸 ³ (in ³)
1	1000	1000000	220	264.2	1.308	35.315	61024
0.001	1	1000	0.22	0.2642	0.0013	0.0353	61.02
	0.001	1					0.061
0.0045	4.546	4546.1	1	1.201	0.006	0.1605	277.42
0.0038	3.7854	3785.4	0.8327	1	0.00495	0.1337	231
0.7646	764.6	764555	168	202	1	27	46656
0.0283	28.317	28317	6.2288	7.4805	0.037		1728
	0.0164	16.3871				5.787×10 ⁻⁴	1

注：1mL=1cm³=1c. c.

表 1-13 质量单位换算

吨(t)	千克(kg)	克(g)	英吨(tn)	美吨(sh tn)	磅(lb)	盎司(oz)
1	1000		0.9842	1.1023	2204.6	
0.001	1	1000			2.2046	35.274
	0.001	1				0.0353
1.0161	1016.05		1	1.12	2240	
0.9072	907.19		0.8929	1	2000	
	0.4536	453.59			1	16
	0.0284	28.35			0.0625	1

注：1. 英吨又名长吨 (long ton)；美吨又名短吨 (short ton)。

2. 此表的换算关系也适用于重力（习惯上称为重量）单位的换算，如 1kgf=2.2046lbf。

表 1-14 密度单位换算

克/厘米 ³ (g/cm ³) 或吨/米 ³ (t/m ³)	千克/米 ³ (kg/m ³) 或克/升(g/l)	磅/英寸 ³ (lb/in ³)	磅/英尺 ³ (lb/ft ³)	磅/英加仑 (lb/UK gal)	磅/美加仑 (lb/U S gal)
1	1000	0.03613	62.43	10.02	8.345
0.001	1	3.613×10 ⁻⁵	0.06243	0.01002	0.00835
27.68	27680	1	1728	277.42	231
0.01602	16.02	0.00058	1	0.1605	0.1337
0.0998	99.8	0.0036	6.2288	1	0.8327
0.1198	119.8	0.004329	7.48	1.201	1