

# 电工技师手册

电工技师手册编辑委员会 编

DIANGONG JISHI SHOUCHE



机械工业出版社

# 电工技师手册

电工技师手册编辑委员会 编



机械工业出版社

本手册主要介绍了常用电气设备的安装、调试、维修等相关知识,包括一般机械工业企业中用的变压器、电动机、低压电器、变配电装置、电子器件、电工仪表等,以及机床、起重机、电梯等电路系统。为适应新技术的应用推广,亦介绍了数控机床、数显、可编程序控制器,还包括一些日常生活接触较多的电气照明、节约用电、安全用电,以及彩色电视机和电冰箱等。

本书的读者对象为工业企业中的电工技师,有一定文化水平和实践经验的高中级电工,亦可供一般电气技术人员在维修工作中参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电工技师手册/电工技师手册编辑委员会编. —北京:  
机械工业出版社, 1997. 8

ISBN 7-111-05566-7

I. 电… II. 电… III. 电工技术-技术手册 IV. TM-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 02344 号

出版人: 马九荣 (北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)

责任编辑: 周 娟 版式设计: 张世琴 责任校对: 刘志文

封面设计: 姚 毅 责任印制: 王国光

煤炭工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997年9月第1版第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1/16</sup>·40.75印张·4插页·1270千字

0 001—5 000册

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

## 电工技师手册编辑委员会

主任	何家森				
副主任	林莹	朱江			
委员	吴增评	秦起佑	姚洪朴	贾欣	
	周娟	牟世鹏	马志伟		
主编	林莹				
副主编	朱江	牟世鹏	马志伟		
主审	朱江				

## 各章编写人

第1章	牟世鹏	张晓平		第11章	马志伟	马爱平
第2章	董兴华			第12章	陈仲藩	杨润芝
第3章	徐钧	徐东		第13章	王维品	李厚生
第4章	李继文	程模兰		第14章	王文华	
第5章	马志伟	高敏	高树青	第15章	周文达	
第6章	张坚			第16章	张荣昆	
第7章	樊立萍	于丽红		第17章	张传鼎	
第8章	张凤哲	牟元忱		第18章	艾广信	
第9章	牟世鹏	马先		第19章	金义荀	
第10章	牟世鹏			第20章	高敏	



## 前 言

技师是活跃在机电工业生产第一线的一支重要技术力量。他们技艺精湛，开拓进取，既具有基础理论知识，又富有实践经验，对企业的技术革新、技术改造、解决生产中各种疑难技术问题，以及培养和带动工人技术队伍等，一直都发挥着重要作用。随着改革开放的不断深化和市场经济的迅速发展，企业必须不断增强整体素质，提高开拓创新能力，争取在产品质量、品种和技术水平上占居优势。在这种形势下，技师的水平和作用也日益突出，受到各有关单位的重视。为了更好地适应这种需要，为技师提供工作上的方便，我们以沈阳重型机器厂为主，会同东北大学、东北输油管理局、沈阳中捷友谊厂、沈阳第一机床厂、沈阳风动工具厂、沈阳普利司通股份有限公司等单位的有关人员共同编写了这本《电工技师手册》，供广大电工技师及有关人员查阅使用。

这本手册是依据评定技师的有关规定和结合技师工作的特点编写的。内容以现场实际需要为主，突出实用性和解决实际问题。从基础理论到应用技术，从变电配电到用电，从电路到元件，从工业电器设备到家用电器，从检测技术到电子技术，以及节约用电和安全用电等各项内容都比较齐全，并且侧重介绍了有关安装、调试、运行、维护、检修等方面的问题，同时还结合机床、起重机、电梯等一些常用设备的典型线路做了较为具体的介绍，以便更好地起到举一反三的作用。

全手册是一个整体，各部分内容以“基本、常用、关键、发展”为主，在编写中进行了系统地协调、平衡和统一，力求做到重点突出，言简意赅，直观易懂，查阅方便。

目前，专供技师应用的图书较少，我们这也是初次尝试。在编写过程中曾得到许多工厂和老师傅的关怀、支持和帮助，在此我们谨表衷心谢意。参加编写工作的各位同志都尽了很大努力，希望能将这本手册编好，但由于水平所限，不尽人意之处依然存在，欢迎广大读者批评指正，以便今后改进。

编 者

一九九六年

# 目 录

## 前 言

### 第 1 章 电工常用数据与资料

1 常用数据 .....	1
1.1 法定计量单位 .....	1
1.2 我国法定计量单位及其换算 .....	3
2 电气图形及文字符号 .....	6
2.1 电气图用图形符号 .....	6
2.2 常用代号 .....	30
3 常用定律、公式及名词术语 .....	35
3.1 常用定律 .....	35
3.2 计算公式 .....	36
3.3 名词术语 .....	37
4 导线的选择 .....	39
5 电线管的选择 .....	49
参考文献 .....	53

### 第 2 章 晶体管与集成电路

1 晶体管 .....	54
1.1 半导体分立器件型号命名法 .....	54
1.2 使用晶体管时应注意的事项 .....	58
1.3 晶体管替换的原则和方法 .....	59
1.4 几种用万用表测试晶体管的简易方法 .....	61
2 集成电路 .....	64
2.1 集成电路型号命名法 .....	64
2.2 几种常用集成电路的结构类型及性能特点 .....	70
2.3 集成电路使用与替换的基本知识 .....	76
2.4 集成电路的替换原则和方法 .....	79
参考文献 .....	82

### 第 3 章 晶闸管及其触发电路

1 晶闸管 .....	83
1.1 晶闸管的主要参数 .....	83
1.2 晶闸管的选用 .....	83

1.3 晶闸管的保护 .....	85
2 晶闸管的触发电路 .....	90
2.1 晶闸管对触发电路的要求 .....	90
2.2 单结晶体管触发电路 .....	91
2.3 正弦波移相触发电路 .....	92
2.4 锯齿波移相触发电路 .....	95
2.5 集成化触发电路 .....	99
参考文献 .....	103

### 第 4 章 电测技术及测量

1 电测技术 .....	104
1.1 测量方式与分类 .....	104
1.2 仪表的误差与准确度 .....	108
1.3 仪表的结构与基本原理 .....	108
1.4 电测仪表的选用 .....	112
2 电测仪表的使用、维护及故障排除 .....	113
2.1 电测仪表的使用 .....	113
2.2 电测仪表的维护、故障及排除 .....	126
参考文献 .....	137

### 第 5 章 电工材料

1 导电材料 .....	138
1.1 铜和铜合金 .....	138
1.2 铝和铝合金 .....	138
1.3 裸导体制品 .....	139
1.4 电磁线 .....	140
1.5 常用电线、电缆 .....	143
2 绝缘材料 .....	145
2.1 浸渍纤维材料 .....	145
2.2 绝缘纤维制品 .....	148
2.3 层压制品 .....	150
2.4 云母及云母制品 .....	153
2.5 电工用塑料薄膜、复合制品及粘带 .....	156
2.6 绝缘漆、胶和熔敷粉末 .....	159
2.7 六氟化硫 (SF <sub>6</sub> ) 气体 .....	163
2.8 液体电介质 .....	163

3 磁性材料 .....	165
3.1 软磁材料 .....	167
3.2 永磁材料 .....	170
4 电热材料 .....	171
5 熔体材料 .....	172
6 电刷 .....	173
7 润滑脂 .....	175
参考文献 .....	176

## 第6章 低压电器

1 概述 .....	177
1.1 分类与型号 .....	177
1.2 常用标准 .....	179
1.3 使用类别 .....	180
1.4 污染等级 .....	181
1.5 安装类别 .....	181
2 低压电器的主要性能 .....	182
2.1 额定电压等级与额定电流等级 .....	182
2.2 额定工作制 .....	182
2.3 介电性能 .....	183
2.4 温升极限 .....	183
2.5 耐过载电流能力 .....	184
2.6 寿命 .....	184
2.7 关键动作性能 .....	185
3 常用产品的型号和主要技术数据 .....	185
3.1 接触器 .....	185
3.2 热继电器 .....	188
3.3 断路器 .....	188
3.4 熔断器 .....	205
3.5 常用熔断器产品的型号和主要技术数据 .....	205
4 低压电器的安装、维护、检修与选用 .....	207
4.1 接触器 .....	207
4.2 热继电器 .....	212
4.3 断路器 .....	217
4.4 熔断器 .....	219
参考文献 .....	220

## 第7章 变压器

1 变压器的工作原理与额定数据 .....	221
-----------------------	-----

1.1 变压器的工作原理 .....	221
1.2 变压器的铭牌与额定数据 .....	221
2 变压器的分类与结构 .....	222
2.1 变压器的分类 .....	222
2.2 变压器的结构 .....	222
3 变压器的联结组别与极性测定 .....	225
3.1 联结组别 .....	225
3.2 三相变压器组别极性的测定 .....	226
4 电力变压器的技术数据 .....	228
4.1 三相电力变压器 .....	228
4.2 S7系列低损耗电力变压器的技术数据 .....	228
4.3 S9系列低损耗电力变压器的技术数据 .....	228
5 变压器的简单设计与计算 .....	233
5.1 小型单相变压器的设计与计算 .....	233
5.2 三相干式变压器的计算 .....	237
6 小型变压器的绕制与组装 .....	238
6.1 绕制工艺 .....	238
6.2 变压器的组装 .....	239
参考文献 .....	240

## 第8章 电机

1 异步电动机 .....	241
1.1 异步电动机的原理 .....	241
1.2 异步电动机的分类 .....	241
1.3 异步电动机的结构 .....	242
1.4 Y系列电动机 .....	242
1.5 电机的维护及故障处理 .....	249
2 直流电机 .....	257
2.1 直流电机的工作原理 .....	257
2.2 直流电机的分类 .....	259
2.3 直流电机的故障及处理方法 .....	259
2.4 Z4系列小型直流电动机 .....	263
3 控制微电机 .....	267
3.1 交流伺服电动机 .....	267
3.2 直流伺服电动机 .....	268
3.3 测速发电机 .....	273
3.4 步进电动机 .....	276
参考文献 .....	277

## 第9章 电气传动

1 电气传动系统 .....	278
----------------	-----

1.1 电气传动系统概述 .....	278	1.2 起重机用交流电动机 .....	357
1.2 电气传动系统动力学 .....	278	1.3 起重机与电动机配套情况 .....	359
2 异步电动机传动系统 .....	279	1.4 YZR、YZ 系列冶金与起重用 三相异步电动机的技术数据、安装 及外形尺寸 .....	359
2.1 异步电动机的机械特性 .....	279	2 起重机用电气元器件及设备 .....	371
2.2 笼型异步电动机的起动 .....	279	2.1 凸轮控制器与主令控制器 .....	371
2.3 笼型异步电动机的调速 .....	284	2.2 接触器与电流继电器 .....	372
2.4 笼型异步电动机的制动 .....	290	2.3 制动器的驱动元件 .....	373
2.5 绕线转子异步电动机的起动 .....	293	2.4 电阻元件与电阻器 .....	375
2.6 绕线转子异步电动机的调速 .....	294	3 桥式起重机控制的电路系统 .....	384
2.7 绕线转子异步电动机的制动 .....	294	3.1 KTJ15 凸轮控制器控制电路 .....	384
3 直流电动机 .....	295	3.2 PQR 系列交流起重机控制屏 .....	386
3.1 直流电动机的起动 .....	295	3.3 QE1 系列起重机交流调速电路 系统 .....	389
3.2 直流电动机的调速 .....	296	4 起重机电气设备的安装、调整 与维护 .....	393
3.3 直流电动机的制动 .....	298	4.1 起重机电气设备的安装 .....	393
4 电气传动及调速方案比较 .....	301	4.2 起重机电气设备的调整 .....	394
参考文献 .....	304	4.3 起重机电气设备的维护 .....	395

## 第 10 章 机床电路系统

1 车床电路系统 .....	305
1.1 电路要求 .....	305
1.2 CA6140 卧式车床 .....	305
1.3 SK360 卧式车床 .....	311
1.4 C630 卧式车床 .....	312
2 磨床电路系统 .....	313
2.1 M7120 平面磨床 .....	313
2.2 M7130 卧轴矩台平面磨床 .....	316
2.3 M7475B 型立轴圆台平面磨床 .....	317
3 钻床电路系统 .....	322
3.1 Z35 摇臂钻床 .....	322
3.2 Z3040 摇臂钻床 .....	322
4 铣床电路系统 .....	326
4.1 X62W 万能铣床 .....	326
4.2 XA5032 型立式升降台铣床 .....	328
4.3 X2010 C 型龙门铣床 .....	331
5 镗床电路系统 .....	343
5.1 T68 卧式镗床 .....	343
5.2 T6113 卧式镗床 .....	345
参考文献 .....	356

## 第 11 章 桥式起重机电路系统

1 起重机用电动机 .....	357
1.1 起重机用电动机的特点 .....	357

1.2 起重机用交流电动机 .....	357
1.3 起重机与电动机配套情况 .....	359
1.4 YZR、YZ 系列冶金与起重用 三相异步电动机的技术数据、安装 及外形尺寸 .....	359
2 起重机用电气元器件及设备 .....	371
2.1 凸轮控制器与主令控制器 .....	371
2.2 接触器与电流继电器 .....	372
2.3 制动器的驱动元件 .....	373
2.4 电阻元件与电阻器 .....	375
3 桥式起重机控制的电路系统 .....	384
3.1 KTJ15 凸轮控制器控制电路 .....	384
3.2 PQR 系列交流起重机控制屏 .....	386
3.3 QE1 系列起重机交流调速电路 系统 .....	389
4 起重机电气设备的安装、调整 与维护 .....	393
4.1 起重机电气设备的安装 .....	393
4.2 起重机电气设备的调整 .....	394
4.3 起重机电气设备的维护 .....	395
参考文献 .....	397

## 第 12 章 电梯电路系统

1 电梯的种类、基本构成和主要 参数 .....	398
1.1 电梯的种类 .....	398
1.2 电梯的基本构成 .....	398
1.3 电梯的主要参数 .....	399
1.4 电梯产品的型号 .....	399
1.5 常用术语 .....	401
2 电梯曳引用电动机及电力 拖动系统 .....	401
2.1 曳引用电动机 .....	401
2.2 电力拖动系统 .....	408
2.3 制动器 .....	412
3 电梯的主要电器部件及基本 电路系统 .....	412
3.1 电梯的电器部件 .....	412
3.2 电路系统的基本环节 .....	414
3.3 电梯的几种控制方式 .....	420
3.4 交流、信号控制电梯的电路系统 .....	421
4 电梯的电气安装、调试与验收 .....	426



5 电梯电路系统的保养与维修 .....	428
参考文献 .....	432

### 第 13 章 数字显示位移测量

1 概述 .....	433
1.1 数显位移测量系统 .....	433
1.2 栅式测量 .....	433
1.3 数显系统的选择 .....	433
1.4 数显系统的发展 .....	433
2 感应同步器 .....	433
2.1 直线感应同步器与圆感应同步器 .....	433
2.2 感应同步器数显表 .....	435
2.3 感应同步器的安装 .....	440
2.4 直线感应同步器的接长 .....	441
2.5 正余弦旋转变压器 .....	442
2.6 数显表的检查和调整 .....	443
2.7 数显表的维护及检修 .....	443
2.8 数显表故障 .....	444
3 光栅 .....	445
3.1 直线光栅 .....	445
3.2 圆光栅 (滚动光栅) .....	446
3.3 轴环表 .....	447
3.4 光电编码器 .....	447
4 磁栅 .....	448
4.1 磁栅的原理 .....	448
4.2 圆轴式磁栅 .....	448
5 球栅 .....	450
5.1 球栅的原理 .....	450
5.2 组装式球感尺结构 .....	450
5.3 组装式球感尺的安装 .....	451
6 容栅 .....	451
6.1 容栅的原理 .....	451
6.2 组装式容栅尺 .....	452
6.3 容栅数显度盘 .....	453
7 数显表的安装 .....	454
参考文献 .....	454

### 第 14 章 数控机床电路系统维修

1 数控机床概述 .....	455
1.1 数控机床维修的目的 .....	455
1.2 对维修人员的基本要求 .....	455
1.3 维修时常用的仪表、工具及有关	

注意事项 .....	455
2 预防性维修的意义和内容 .....	456
2.1 预防性维修的意义 .....	456
2.2 预防性维修的内容 .....	456
2.3 数控机床长期不用时的系统保养 .....	456
2.4 故障维修的准备工作 .....	457
3 数控系统故障维修步骤和检查	
方法 .....	457
3.1 故障常规检查处理步骤 .....	457
3.2 常见故障的检查方法 .....	458
4 数控机床的电气安装及调试 .....	458
4.1 对机床控制系统的检查 .....	458
4.2 输入电源电压、频率及相序的	
检查 .....	459
4.3 接通电源, 检查机床各种功能 .....	460
4.4 用户调试、安装数控机床时应注意	
的问题 .....	461
5 FANUC 数控系统故障维修步骤	
及方法 .....	461
5.1 FANUC 数控系统的概述 .....	461
5.2 数控机床发生故障时维修步骤 .....	461
5.3 FANUC 交流主轴系统的维修 .....	462
5.4 进给伺服系统的维修 .....	463
6 CAK6150 经济型数控车床的	
电气维修 .....	465
6.1 CAK6150 数控车床的特点 .....	465
6.2 主轴运转异常时的特点 .....	467
6.3 进给伺服故障 .....	471
6.4 刀架转位故障 .....	471
6.5 刀架转位传动原理 .....	472
6.6 刹车离合器的结构和修理 .....	473
附录 A 常用准备功能 .....	473
附录 B 常用辅助功能 .....	474

### 第 15 章 可编程序控制器

1 概述 .....	475
1.1 PC 的基本组成 .....	475
1.2 PC 的主要特点及功能 .....	476
1.3 PC 的工作原理简介 .....	477
1.4 PC 的编程及编程语言简介 .....	479
2 几种可编程序控制器 .....	481
2.1 MPC-001A 可编程序控制器 .....	481

2.2	GE-I 可编程序控制器	490
3	PC 机的应用基础和常见故障	495
3.1	PC 机的应用基础	495
3.2	有关 PC 机应用的问题	496
3.3	PC 机常见故障	496
4	PC 机的应用	497
4.1	用 MPC-001A 控制 BF260 镗床	497
4.2	用 GE-I 型 PC 机控制 FA300/200 铣镗床	503

## 第 16 章 彩色电视机与电冰箱

1	彩色电视机概述	508
2	全集成 PAL-D 制彩色电视接 收机	508
2.1	高频头电路	508
2.2	中放集成电路	510
2.3	伴音集成电路	511
2.4	色度解码电路	511
2.5	亮度信号处理电路	514
2.6	视频输出电路	516
2.7	电源电路与保护电路	516
2.8	场行扫描电路	517
3	佳丽 EC2061AR 遥控彩色电视机	517
3.1	TA7680AP 和 TA7698AP 集成 电路	518
3.2	控制系统集成电路各脚功能	518
3.3	遥控电路	520
3.4	电源电路	522
3.5	中放电路	524
3.6	伴音电路	524
3.7	视频、色度解码电路	525
3.8	行场扫描电路	526
4	彩色电视机的检修	527
4.1	对维修人员的基本要求	527
4.2	注意事项	527
4.3	分析故障现象和确定故障范围	527
4.4	元器件的检查	528
4.5	电视机检修实例	529
5	电冰箱	530
5.1	电冰箱制冷原理	531
5.2	电冰箱结构	531
6	电冰箱的箱体及其制冷系统和	

控制系统	531	
6.1	电冰箱箱体	531
6.2	电冰箱制冷系统	531
6.3	电冰箱控制系统	534
7	电冰箱的故障与维修	535
7.1	电冰箱故障的判断	536
7.2	电冰箱制冷剂的充注	537
7.3	电冰箱冰堵和脏堵故障的修理	537
7.4	电冰箱故障检修实例	538
参考文献	538	

附表 1	电视机集成电路直流电阻 数据	539
附表 2	电视机集成电路代换表	543

## 第 17 章 变电与配电

1	变压器的安装、巡视检查、维护 及试验	551
1.1	变压器的安装	551
1.2	变压器运行中的巡视检查及故障 分析	552
1.3	变压器的检修和试验	554
2	继电保护	556
2.1	电气设备的故障、继电保护任务 及要求	556
2.2	中小型变电所常见的继电保护装置	557
3	架空配电线路	559
3.1	对架空配电线路的要求	559
3.2	架空线路的常见故障	560
3.3	架空线路的巡视	561
4	运行电缆的巡视与维护	561
4.1	运行电缆的巡视	561
4.2	运行电缆的维护	562
4.3	运行电缆的故障、探测及处理	562
参考文献	564	

## 第 18 章 电气照明

1	光的基本物理量及照明术语	565
1.1	光的基本物理量	565
1.2	照明术语	565
1.3	材料的光学性质	566
2	照明电光源	566

2.1	白炽灯	566
2.2	卤钨灯	567
2.3	荧光灯	568
2.4	高强度气体放电灯	570
2.5	霓虹灯	571
2.6	常用照明电光源的主要特性比较和选用	574
3	照明器	575
3.1	照明器的种类	575
3.2	照明器的配光曲线	576
4	照明光照设计	577
4.1	照明质量	577
4.2	照明的方式和种类	582
4.3	照明器的选用和布置	583
4.4	照度计算	584
5	照明电气设计	587
5.1	照明供电	587
5.2	电照明施工图	589
	参考文献	594

## 第 19 章 电气安全

1	电流对人体的危害	595
1.1	人身触电事故	595
1.2	触电的方式	595
1.3	影响触电伤害程度的因素	596
2	防触电的安全技术	598
2.1	接地装置	598
2.2	接地装置接地电阻的计算	600
2.3	保护接地和保护接零	601
2.4	漏电保护器	605
2.5	控制接触电压和触电时间	607
2.6	隔离变压器	608
2.7	插座和插头	609
2.8	双重绝缘结构	610
3	手持式电动工具的安全要求	611
3.1	手持式电动工具的分类	611
3.2	合理选用手持式电动工具	611
3.3	对软电缆或软线的安全要求	611
3.4	对插座、插头的安全要求	611
3.5	手持式电动工具的检查与维修	611
4	家用电器的安全要求	612
4.1	家用电器的安全分类	612

4.2	家用电器安全符号的规定	612
4.3	家用电器触电保护方案的选择	612
4.4	安装、使用家用电器的安全要求	613
4.5	几种家用电器的特殊要求	613
5	防雷电	614
5.1	雷电的形成及其危害	614
5.2	防雷装置	614
5.3	防雷装置的选用	616
5.4	防雷装置的安全要求	617
6	电气防火和防爆	617
6.1	电气火灾和爆炸的原因	617
6.2	电气防火防爆措施	617
7	射频辐射的防护	619
7.1	射频辐射的用途及危害	619
7.2	射频辐射的波长和频率	619
7.3	射频辐射电磁波卫生标准	619
7.4	射频电磁场的防护	620
8	静电的危害及预防	620
8.1	静电的产生	620
8.2	静电的危害	621
8.3	防止静电危害的措施	621
	参考文献	623

## 第 20 章 节约用电

1	概述	624
2	变压器的经济运行	624
2.1	推广使用节能型变压器	624
2.2	旧型号变压器的改造	624
2.3	更换负荷率过低的变压器	624
2.4	增设小容量变压器	625
2.5	多台变压器的经济运行	625
3	电动机的节电	625
3.1	合理选用电动机	625
3.2	电动机的降压运行	626
3.3	绕线转子异步电动机的同步运行	627
3.4	对电动机的技术改造	628
4	变流设备的节电	629
4.1	变流设备的损耗与效率	629
4.2	提高变流设备效率的方法	629
5	风机、水泵的节电	629
5.1	风机、水泵的节电措施	629
5.2	调节流量的变速装置	630
6	电焊机的节电	632

6.1 电焊机空载自动断电装置 .....	632	8.1 合理选择光源及照明用的灯具 .....	634
6.2 静电电容器补偿 .....	632	8.2 减少照明电路的损耗及采用合理的 控制方法 .....	634
7 电弧炉的节电 .....	632	9 提高功率因数 .....	635
7.1 改造短网系统 .....	633	企业产品介绍 .....	637
7.2 电弧炉特性曲线及其经济运行 .....	633		
8 照明的节电 .....	634		

# 第1章 电工常用数据与资料

## 1 常用数据

### 1.1 法定计量单位

我国法定计量单位基本上由国际单位制单位和国家选定的非国际单位制单位组成。

1. 单位 一个未知的量和一个定为标准的量作比较的过程,叫做计量。这个定为标准的量叫做单位。单位可以按规定来选择。但是,测量结果只能用于普遍采用该单位的领域之内。具体地表示单位大小的器具或方法叫做标准。

如果确定了作为基本单位的几个独立的基本量的单位,那么许多其他量的单位就可用物理学法则和规定直接或间接地推导出来。后一种单位称为导出单位。如此便产生了基于基本单位的、有系统的单位族,称之为单位制。基本单位通常包含长度、质量和时间等单位。长度以厘米(cm),质量以克(g)、时间以秒(s)为基本单位的,叫做厘米·克·秒制(CGS制),已不再使用。现在采用长度以米(m),质量以千克(kg)、时间以秒(s)为基本单位的,叫做米·千克·秒制(MKS制)。

2. 国际单位制 根据米制条约,国际度量衡委员会对单位和标准进行了国际管理,并为此成立了国际度量衡局(设在巴黎)。该委员会于1960年批准了所有国家都能使用的、统一的实用单位制,并把它称为国际单位制,国际上称为SI单位制。

#### 3. 我国法定计量单位的构成

a. SI的构成 SI的基本单位有7个,见表1-1。

表 1-1 国际单位制的基本单位

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

#### b. SI基本单位

(1) 长度(米, m)。米在1875年规定从地球北极到赤道距离的 $1/10^7$ ,并根据大地测量制成了等价的米原器,而在1960年的国际度量衡全体会议上则把米规定为氪的特定光的波长。这是放弃了人为米原器、转而采用自然物理常数原子基准的范例。米现在定义为:米是光在真空中( $1/299792458$ )s时间间隔内所路径的长度。

(2) 质量(千克, kg)。千克曾定为在一个大气压和最大密度(4℃)下的 $1\text{dm}^3$ 水的质量,而现在是国际度量衡局保存的千克原器(直径和高度都是39mm的9:1铂铱合金圆柱)的质量。对待原器要非常认真,各国都可配备副原器。质量标准的原子基准化问题正在研究之中。

(3) 时间(秒, s)。秒最早是根据地球自转一天,后来是根据1900年1月1日12时开始的地球公转的平均角速度来确定的;现在规定为秒铯-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。为了防止与地球运动间的偏差,以天文台的观测为基准,通过加减闰秒对时刻进行调整。秒的信号很容易利用标准电波和频率结合起来表示。

(4) 电流(安[培], A)。利用真空中磁导率为常数的性质,安培可根据两个电流之间的力来确定。安培的定义为在真空中,截面积可忽略的两根相距1m的无限长平行圆直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。

(5) 热力学温度(开[尔文], K)。为了定量地表示温度,用热力学温度开尔文来定义。热力学温度单位开尔文是水的三相点热力学温度的 $1/273.16$ 。

(6) 物质的量(摩[尔], mol)。摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元数与 $0.012\text{kg}$ 碳12的原子数目相等。在使用摩尔时,基本单元应予指明,可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子,或是这些粒子的特定组合。

(7) 发光强度(坎[德拉], cd)。光强度是人眼对光源辐射所感到的明亮程度。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  $540 \times 10^{12}$  Hz 的单色辐射，且在此方向上的辐射强度为  $1/683$  W/sr。

c. 电学单位的导出 在理论上，电学单位可由基本单位按下述定义导出，然而在实际制定标准时，要根据绝对测定等具体情况而定。

1V (伏特)：当导体通以 1A 恒定电流，在其上两点间的电功率为 1W 时，这两点间所存在的电压。

1Ω (欧姆)：当导体两点间加以 1V 恒定电压而电流为 1A 时，这两点间具有的电阻。

1C (库仑)：1A 恒定电流在 1s 内输送的电量。

1F (法拉)：当电容器充以 1C 电量，两极板间产生 1V 电压时所具有的静电容量。

1H (亨利)：当通过按比率 1A/s 均匀变化的电流时，产生 1V 感应电动势的闭合回路所具有的电感。

1Wb (韦伯)：当与一圈闭合回路交链的磁通均匀减少而产生 1V 感应电动势时，该交链磁通在 1s 内的改变量。

1var (乏)：当电路施加 1V 正弦波电压，流过相位差为  $\pi/2$  的 1A 正弦波电流时的无功功率的大小<sup>⊖</sup>。

1VA (伏安)：当电路施加 1V 正弦电压，流过 1A 正弦电流时的视在功率的大小。

电磁量的 SI 单位见表 1-2。

表 1-2 电磁量的 SI 单位

量	单位名称	单位代号
电流	安[培]	A
电荷[量]	库[仑]	C <sup>①</sup>
电荷[体]密度	库[仑]每立方米	C/m <sup>3</sup>
电荷面密度	库[仑]每平方米	C/m <sup>2</sup>
电场强度	伏[特]每米	V/m
电位, 电位差, 电压, 电动势	伏[特]	V <sup>②</sup>
电通[量]密度	库[仑]每平方米	C/m <sup>2</sup>
电通[量]	库[仑]	C
电容	法[拉]	F <sup>③</sup>
介电常数, (电容率)	法[拉]每米	F/m
电极化强度	库[仑]每平方米	C/m <sup>2</sup>
电偶极矩	库[仑]米	C·m
电流密度	安[培]每平方米	A/m <sup>2</sup>
电流线密度	安[培]每米	A/m
磁场强度	安[培]每米	A/m <sup>④</sup>

(续)

量	单位名称	单位代号
磁位差, (磁势差)	安[培]	A
磁通[量]密度, 磁感应强度	特[斯拉]	T <sup>⑤</sup>
磁通[量]	韦[伯]	Wb <sup>⑥</sup>
磁矢位, (磁矢势)	韦[伯]每米	Wb/m
自感, 互感	亨[利]	H <sup>⑦</sup>
磁导率	亨[利]每米	H/m
[面]磁矩	安[培]平方米	A·m <sup>2</sup>
磁化强度	安[培]每米	A/m
磁极化强度	特[斯拉]	T
[直流]电阻	欧[姆]	Ω <sup>⑧</sup>
[直流]电导	西[门子]	S <sup>⑨</sup>
电阻率	欧[姆]米	Ω·m
电导率	西[门子]每米	S/m
磁阻	每亨[利]	H <sup>-1</sup>
磁导	亨[利]	H
阻抗, 电抗[交流]电阻	欧[姆]	Ω
导纳, 电纳, [交流]电导	西[门子]	S
[有功]功率	瓦[特]	W <sup>⑩</sup>
[有功]电能[量]	焦[耳]	J <sup>⑪</sup>

注：[ ]内的字是在不致混淆的情况下，可省略的字。

①1C=1A·s。

②1V=1W/A。

③1F=1C/V。

④1A/m=4π×10<sup>-3</sup>Oe。

⑤1T=1Wb/m<sup>2</sup>。

⑥1Wb=10<sup>6</sup>Mx。

⑦1H=1Wb/A。

⑧1Ω=1V/A。

⑨1S=1A/V。

⑩视在功率(VA)、无功功率(var)可与 SI 并用。

⑪Wb 也可并用。

d. 可与国际单位并用的其他单位 (见表 1-3)

表 1-3 可与国际单位并用的其他单位

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=3 600s
	天, (日)	d	1d=24h=86 400s

⊖ var 为 IEC 推荐的无功功率的单位, 但国际计量大会并未通过 var 作为 SI 单位, 而在我国则仍可应用——编者注。



(续)

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
[平面]角	[角]秒	"	$1'' = (\pi/648\,000)\text{rad}$ ( $\pi$ 为圆周率)
	[角]分	'	$1' = 60'' = (\pi/10\,800)\text{rad}$
	度	°	$1^\circ = 60' = (\pi/180)\text{rad}$
旋转速度	转每分	r/min	$1\text{r/min} = (1/60)\text{s}^{-1}$
长度	海里	n mile	$1\text{n mile} = 1\,852\text{m}$ (只用于航程)
速度	节	kn	$1\text{kn} = 1\text{n mile/h}$ $= (1\,852/3\,600)\text{m/s}$ (只用于航行)
质量	吨	t	$1\text{t} = 10^3\text{kg}$
	原子质量单位	u	$1\text{u} \approx 1.660\,565\,5 \times 10^{-27}\text{kg}$
体积	升	L, (l)	$1\text{L} = 1\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$
能	电子伏	eV	$1\text{eV} \approx 1.602\,189\,2 \times 10^{-19}\text{J}$
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	$1\text{tex} = 1\text{g/km}$

e. 国际单位制中具有专门名称的导出单位 (见表 1-4)

表 1-4 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	其他表示式例
频率	赫[兹]	Hz	$\text{s}^{-1}$
力,重力	牛[顿]	N	$\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	$\text{N/m}^2$
能[量],功,热量	焦[耳]	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
功率,辐射[能]通量	瓦[特]	W	$\text{J/s}$
电荷[量]	库[仑]	C	$\text{A} \cdot \text{s}$
电压,电动势,电位	伏[特]	V	$\text{W/A}$
电容	法[拉]	F	$\text{C/V}$

表 1-6 常用法定计量单位及其换算

物理量名称	法定计量单位		非法定计量单位		单位换算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
长度	米	m	费密	$\text{\AA}$	$1\text{费密} = 1\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$
	海里	n mile	埃	ft	$1\text{\AA} = 0.1\text{nm} = 10^{-10}\text{m}$
			英尺	in	$1\text{ft} = 0.304\,8\text{m}$
			英寸	mile	$1\text{in} = 0.025\,4\text{m}$
			英里	mil	$1\text{mile} = 1\,609.344\text{m}$
			密耳		$1\text{mil} = 25.4 \times 10^{-6}\text{m}$

(续)

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示式例
电阻	欧[姆]	$\Omega$	$\text{V/A}$
电导	西[门子]	S	$\text{A/V}$
磁通量	韦[伯]	Wb	$\text{V} \cdot \text{s}$
磁通[量]密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	$\text{Wb/m}^2$
电感	亨[利]	H	$\text{Wb/A}$
摄氏温度	摄氏度	°C	
光通量	流[明]	lm	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
[光]照度	勒[克斯]	lx	$\text{lm/m}^2$

f. 用于构成十进倍数和分数单位的词头 (见表 1-5)

表 1-5 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
$10^{18}$	艾[可萨]	E
$10^{15}$	拍[它]	P
$10^{12}$	太[拉]	T
$10^9$	吉[咖]	G
$10^6$	兆	M
$10^3$	千	k
$10^2$	百	h
$10^1$	十	da
$10^{-1}$	分	d
$10^{-2}$	厘	c
$10^{-3}$	毫	m
$10^{-6}$	微	$\mu$
$10^{-9}$	纳[诺]	n
$10^{-12}$	皮[可]	p
$10^{-15}$	飞[母托]	f
$10^{-18}$	阿[托]	a

## 1.2 我国法定计量单位及其换算 (见表 1-6)

(续)

物理量名称	法定计量单位		非法定计量单位		单位换算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
面积	平方米		公亩 公顷 平方英尺 平方英寸 平方英里	a ha ft <sup>2</sup> in <sup>2</sup> mile <sup>2</sup>	1a=10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup> 1ha=10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> 1ft <sup>2</sup> =0.092 903 0m <sup>2</sup> 1in <sup>2</sup> =6.451 6×10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> 1mile <sup>2</sup> =2.589 99×10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>
体积	立方米 升	m <sup>3</sup> L,(l)	立方英尺 立方英寸 英加仑 美加仑	ft <sup>3</sup> in <sup>3</sup> UKgal USgal	1ft <sup>3</sup> =0.028 316 8m <sup>3</sup> 1in <sup>3</sup> =1.638 71×10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> 1UKgal=4.546 09dm <sup>3</sup> 1USgal=3.785 41dm <sup>3</sup>
速度	米每秒 节  千米每小时 米每分	m/s kn  km/h m/min	英尺每秒 英寸每秒 英里每小时	ft/s in/s mile/h	1ft/s=0.304 8m/s 1in/s=0.025 4m/s 1mile/h=0.447 04m/s 1km/h=0.277 778m/s 1m/min=0.016 666 7m/s
加速度	米每二次方秒	m/s <sup>2</sup>	英尺每二次方秒 伽	ft/s <sup>2</sup> Gal	1ft/s <sup>2</sup> =0.304 8m/s <sup>2</sup> 1Gal=10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>
旋转速度	每秒 转每分	s <sup>-1</sup> r/min		rpm	1rpm=1r/min=(1/60)s <sup>-1</sup>
质量	千克(公斤) 吨 原子质量单位	kg t u	磅 英担 英吨 短吨 盎司 格令 夸特 米制克拉	lb cwt ton sh ton oz gr,gn qr,qtr	1lb=0.453 592 37kg 1cwt=50.802 3kg 1ton=1 016.05kg 1sh ton=907.185kg 1oz=28.349 5g 1gr=0.064 798 91g 1qr=12.700 6kg 1米制克拉=2×10 <sup>-4</sup> kg
密度	千克每立方米	kg/m <sup>3</sup>	磅每立方英尺 磅每立方英寸	lb/ft <sup>3</sup> lb/in <sup>3</sup>	1lb/ft <sup>3</sup> =16.018 5kg/m <sup>3</sup> 1lb/in <sup>3</sup> =27 679.9kg/m <sup>3</sup>
比体积	立方米每千克	m <sup>3</sup> /kg	立方英尺每磅 立方英寸每磅	ft <sup>3</sup> /lb in <sup>3</sup> /lb	1ft <sup>3</sup> /lb=0.062 428 0m <sup>3</sup> /kg 1in <sup>3</sup> /lb=3.612 73×10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /kg
线密度	千克每米 特[克斯]	kg/m tex	旦[尼尔] 磅每英尺 磅每英寸	den lb/ft lb/in	1den=0.111 112×10 <sup>-6</sup> kg/m 1lb/ft=1.488 16kg/m 1lb/in=17.858 0kg/m
转动惯量	千克二次方米	kg·m <sup>2</sup>	磅二次方英尺 磅二次方英寸	lb·ft <sup>2</sup> lb·in <sup>2</sup>	1lb·ft <sup>2</sup> =0.042 140 1kg·m <sup>2</sup> 1lb·in <sup>2</sup> =2.926 40×10 <sup>-4</sup> kg·m <sup>2</sup>
力,重力	牛[顿]	N	达因 千克力 磅力 吨力	dyn kgf lbf tf	1dyn=10 <sup>-5</sup> N 1kgf=9.806 65N 1lbf=4.448 22N 1tf=9.806 65×10 <sup>3</sup> N

(续)

物理量名称	法定计量单位		非法定计量单位		单位换算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
压力, 压强	帕[斯卡]	Pa	巴 千克力每平方厘米 毫米水柱 毫米汞柱 托 工程大气压 标准大气压 磅力每平方英尺 磅力每平方英寸	bar kgf/cm <sup>2</sup> mmH <sub>2</sub> O mmHg Torr at atm lbf/ft <sup>2</sup> lbf/in <sup>2</sup>	1bar=10 <sup>5</sup> Pa 1kgf/cm <sup>2</sup> =0.0980665MPa 1mmH <sub>2</sub> O=9.80665Pa 1mmHg=133.322Pa 1Torr=133.322Pa 1at=98066.5Pa=98.0665kPa 1atm=101325Pa=101.325kPa 1lbf/ft <sup>2</sup> =47.8803Pa 1lbf/in <sup>2</sup> =6894.76Pa =6.89476kPa
质量流量	千克每秒	kg/s	磅每秒 磅每小时	lb/s lb/h	1lb/s=0.453592kg/s 1lb/h=1.25998×10 <sup>-4</sup> kg/s
体积流量	立方米每秒 升每秒	m <sup>3</sup> /s L/s	立方英尺每秒 立方英寸每小时	ft <sup>3</sup> /s in <sup>3</sup> /h	1ft <sup>3</sup> /s=0.0283168m <sup>3</sup> /s 1in <sup>3</sup> /h=4.55196×10 <sup>-6</sup> L/s
热力学温度 摄氏温度	开[尔文] 摄氏度	K °C	华氏度  兰氏度	F  °R	表示温度差和温度间隔时 1°C=1K 表示温度数值时 °C=K-273.15 表示温度差和温度间隔时 1°F= $\frac{5}{9}$ °C 表示温度数值时 K= $\frac{5}{9}$ (F+459.67) °C= $\frac{5}{9}$ (F-32) 表示温度差和温度间隔时 K= $\frac{5}{9}$ °R 表示温度数值时 C= $\frac{5}{9}$ °R-491.67
能[量], 功, 热	焦[耳] 电子伏  千瓦小时	J eV  kW·h	尔格 千克力米 英马小时 卡 热化学卡 马力小时 电工马小时 英热单位	erg kgf·m hp·h cal cal <sub>th</sub>  Btu	1erg=10 <sup>-7</sup> J 1kgf·m=9.80665J 1hp·h=2.68452MJ 1cal=4.1868J 1cal <sub>th</sub> =4.1840J 1马力小时=2.64779MJ 1电工马小时=2.68560MJ 1Btu=1055.06J=1.05506kJ 1kW·h=3.6MJ
功率	瓦[特]	W	千克力米每秒 马力, 米制马力 英马力 电工马力	kgf·m/s 法 ch, CV; 德 PS hp	1kgf·m/s=9.80665W 1ch=735.499W 1hp=745.700W 1电工马力=746W