

铸造工程师手册

第3版

中 国 铸 造 协 会 编
《铸造工程师手册》编写组



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



铸造工程师手册

第3版

中国铸造协会
《铸造工程师手册》编写组 编



机械工业出版社

本书是综合性铸造专业技术手册，除提供大量最新、实用信息和数据外，也简略地提到一些基本的理论知识和技术观点，具有较强的实用性和可读性。内容包括：各种铸造合金（铸钢、铸铁和铸造有色金属）的特性和熔炼工艺要点，造型材料，铸造工艺和特种铸造工艺以及铸件的品质（质量）指标和主要检验方法等。

本书是铸造专业技术人员的工具书，也可供铸造技术工人和涉及铸造技术的各界人士参考。

图书在版编目（CIP）数据

铸造工程师手册/中国铸造协会，《铸造工程师手册》编写组编。—3版。—北京：机械工业出版社，2010

ISBN 978-7-111-30499-9

I. ①铸… II. ①中…②铸… III. ①铸造—技术手册 IV. ①TG2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 074169 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：刘彩英 责任编辑：刘彩英 责任校对：李秋荣

封面设计：姚 毅 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷（三河市胜利装订厂装订）

2010 年 10 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·56 印张·9 插页·1764 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-30499-9

定价：148.00 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

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者服务部：(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

第3版前言

近年来,我国的铸造生产又有了长足的进展,2008年,我国各类铸件的总产量为3350万t,约占世界铸件总产量的36%,远高于其他各工业国家的产量。同时也应看到,尽管我国铸件产量如此之高,但人均年铸件消费量也还只有24kg,而工业发达国家人均年铸件消费量大致都在45~55kg之间,我国铸造业仍有相当大的发展空间。

《铸造工程师手册》的第1版自1997年问世以来,为铸造行业的技术进步发挥了重要作用,深受广大铸造科技工作者的青睐。为适应我国铸造行业的迅猛发展和行业同仁对本书的要求,经机械工业出版社与主要编写人员协商,决定在本书第2版的基础上进行全面修订,即出版第3版。

13年前,机械工业出版社决定编写这样一本中型、综合性专业手册时,是基于以下两方面的考虑:

其一:当前,科学技术发展很快,新材料、新工艺层出不穷,对产品品质的要求也不断提高,处理生产中的各种问题,都需要更多先进而适用的信息和数据作为依据,而且,这类信息和数据还必须不断更新。

其二:之所以要出一本中型、综合性技术手册,是为了既能提供足够的信息,又便于及时修订,以反映科学技术的进步和发展。

现在看来,以上两点考虑与广大读者的要求是一致的,机械工业出版社和编者也一直遵循这样的原则,力求将这项工作做好。

根据很多读者的意见,《铸造工程师手册》第3版仍保持第1、2版的总体框架不变,但对每一章的内容都作了比较全面的更新、修改,力求内容更加实用,技术更加先进,查阅更加方便。

此次修订时,各章、节的编写工作尽可能地继续请前两版的原作者担任,以保持本书的特点。但是,时隔多年,有的同志年事已高,不便工作,有的同志已移居海外,也有的同志因各种变动原因而无从联系,在这种情况下,就不得不另请相关的专家担任编写工作。总体而言,《铸造工程师手册》第3版仍保持了前两版所具有的各种特点和风格。

在本书问世的时候,我们要衷心地感谢广大读者对本书的厚爱,同时,还希望读者对本书提出更多的批评和建议,尤其希望指出书中的不足和谬误之处,以便在下一次修订时使内容更为充实、更为新颖。

编者

目 录

第3版前言

第1章 综合性资料	1
1 标准编号	1
1.1 我国国家标准代号	1
1.2 部分国外标准代号	2
2 国际单位制和我国的法定计量单位	2
2.1 国际单位制的构成	2
2.2 我国的法定计量单位	3
2.3 常用计量单位的换算	4
3 一些元素的物理性能和铸造行业常用 化工产品的性质	13
3.1 一些元素的物理性能	13
3.2 一些常用的无机化工产品的基本 性质	14
3.3 一些常用的有机化工产品的基本 性质	15
3.4 铸造生产中常用盐类的性质	16
4 铸造生产中常见矿物的基本特性	17
5 常用平面图形和几何体的计算公式	20
5.1 常用平面图形的计算公式	20
5.2 常用几何体的计算公式	22
6 熔炼铸造合金的金属原料和合金化材 料	24
6.1 生铁	24
6.2 硅铁及含硅材料	26
6.3 锰铁、金属锰和以锰为主的合金	29
6.4 铬铁和金属铬	30
6.5 其他铁合金	32
6.6 有色金属和合金	34
6.7 其他合金	47
7 耐火材料和隔热材料	49
7.1 耐火材料的耐火度及其评定	49
7.2 耐火材料的分类	50
7.3 成形耐火制品	50
7.4 耐火原材料	54
7.5 隔热材料	55
8 燃料	58
8.1 固体燃料	58
8.2 液体燃料	58
8.3 气体燃料	59
9 造渣材料及其他材料	59
9.1 造渣材料	59
9.2 其他材料	61
10 铸造生产中常用的相图（包括氢在 某些金属中的溶解度）	63
10.1 铁系二元相图	63
10.2 铝系二元相图	67
10.3 铜系二元相图	71
10.4 镁系二元相图	74
10.5 镍系二元相图	75
10.6 一些重要氧化物的二元相图	76
第2章 铸钢及其熔炼	79
1 铸钢材料	79
1.1 铸钢牌号的表示方法	79
1.2 工程与结构用铸钢	81
1.3 承压件用铸钢	95
1.4 不锈钢和耐蚀合金	118
1.5 耐热钢及耐热合金	134
1.6 铸造高锰钢	146
1.7 铸造工具钢	149
2 铸造用钢的熔炼和浇注	150
2.1 对熔炼过程的简要说明	150
2.2 电弧炉炼钢	156
2.3 感应炉炼钢	168
2.4 适用于铸钢行业的炉外精炼工艺	172
3 铸钢件的热处理	178
3.1 碳钢和低合金钢铸件的热处理	178
3.2 高合金钢铸件的热处理	180
第3章 铸铁及其熔炼	183
1 灰铸铁	183
1.1 我国关于灰铸铁的国家标准	183
1.2 灰铸铁的性能	186
1.3 灰铸铁的金相组织	191
1.4 灰铸铁的化学成分	196
1.5 灰铸铁的孕育处理	201
1.6 灰铸铁的冶金品质（质量）指标	206
1.7 灰铸铁件的时效、振动时效及热 处理	209

1.8 灰铸铁的应用及发动机缸体、缸盖	211	8.2 美国标准	322
1.9 耐磨灰铸铁件	213	8.3 我国应用奥氏体铸铁的经验	323
2 球墨铸铁	219	9 铸铁熔炼	323
2.1 有关球墨铸铁的标准 GB/T1348—2009	219	9.1 冲天炉熔炼	323
2.2 球墨铸铁的性能	224	9.2 无芯感应炉熔炼	336
2.3 球墨铸铁的金相组织	229	9.3 有芯感应炉熔炼	342
2.4 球墨铸铁的化学成分	231	9.4 回转炉熔炼	344
2.5 球墨铸铁的球化及孕育	236	9.5 双联熔炼	344
2.6 球墨铸铁的热处理	240	10 铁液品质(质量)控制	346
2.7 球墨铸铁的应用	242	10.1 铁液净化及过热	346
3 等温淬火球墨铸铁(ADI)	246	10.2 铁液脱硫	348
3.1 有关等温淬火球墨铸铁的标准	247	10.3 铁液品质(质量)的炉前快速检测	350
3.2 等温淬火球墨铸铁的性能	249	11 铸铁的浇注	354
3.3 奥氏体等温转变和金相组织	250	11.1 浇注温度	354
3.4 等温淬火球墨铸铁的化学成分	251	11.2 自动浇注	355
3.5 等温淬火球墨铸铁的热处理	253	11.3 自动浇注机	355
3.6 等温淬火球墨铸铁的应用	255	第4章 铸造有色金属和合金及其熔炼	358
4 蠕墨铸铁	257	1 铸造有色金属和合金的牌号表示方法	358
4.1 关于蠕墨铸铁的标准	257	1.1 铸造有色纯金属	358
4.2 关于蠕墨铸铁的蠕化率	258	1.2 铸造有色合金	358
4.3 蠕墨铸铁的性能	259	2 铸造纯铜和铜合金	359
4.4 蠕墨铸铁的金相组织	262	2.1 铸造纯铜和低合金铜	359
4.5 蠕墨铸铁的化学成分	264	2.2 铸造铜合金	361
4.6 蠕墨铸铁的蠕化及孕育	268	2.3 铜合金的熔炼	376
4.7 蠕墨铸铁的热处理	272	3 铸造纯铝和铝合金	380
4.8 蠕墨铸铁的应用	272	3.1 工业纯铝铸件	380
5 可锻铸铁	275	3.2 铸造铝合金	380
5.1 可锻铸铁的分类和牌号	275	3.3 铝合金的熔炼	391
5.2 黑心可锻铸铁	277	4 铸造镁合金	397
5.3 珠光体可锻铸铁	287	4.1 铸造镁合金的分类及其主要特点	398
5.4 白心可锻铸铁	288	4.2 铸造镁合金的规格	398
5.5 球墨可锻铸铁	289	4.3 铸造镁合金的熔炼	399
6 抗磨铸铁	292	4.4 镁合金铸件的热处理	402
6.1 普通白口铸铁	292	5 铸造锌合金	403
6.2 合金抗磨铸铁的标准	292	5.1 合金及性能	403
6.3 合金抗磨铸铁的特性及应用	296	5.2 锌合金的熔炼和铸件的热处理	405
6.4 冷硬铸铁	300	6 铸造纯钛和钛合金	405
6.5 中锰球墨铸铁	305	6.1 钛和钛合金中的合金元素	406
7 耐热铸铁和耐蚀铸铁	308	6.2 钛合金的分类	406
7.1 耐热铸铁	308	6.3 铸造纯钛和钛合金的规格	406
7.2 耐蚀铸铁	315	6.4 钛合金的熔炼和铸造	407
8 奥氏体铸铁	318	6.5 钛和钛合金铸件的热处理	407
8.1 国际标准 ISO 2892: 1973 (E)《奥氏体铸铁》	318		

7 铸造轴承合金	408	第6章 铸造工艺	496
7.1 轴承合金的分类	408	1 铸造工艺设计的基本概念	496
7.2 铸造轴承合金的规格	410	1.1 铸造工艺设计的依据	496
7.3 轴承合金的熔炼和浇注	411	1.2 铸造工艺符号及表示方法	496
8 铸造纯镍和镍合金	412	1.3 铸造工艺图	500
第5章 造型材料	414	1.4 铸件图(毛坯图)及其他	501
1 原砂	414	1.5 工艺卡片	503
1.1 硅砂	414	1.6 某拖拉机前轮轮毂铸造工艺设计 实例	504
1.2 非硅质砂	415	2 从铸造工艺分析的角度考核铸件设计 的合理性(简称工艺考核)	506
1.3 人造砂	418	2.1 工艺考核的作用	506
1.4 原砂的粒度和粒度分布	420	2.2 从避免缺陷方面分析铸件结构	506
1.5 原砂的颗粒形状	428	2.3 从简化铸造工艺方面改进铸件结构	511
1.6 原砂的含泥量和砂粒的表面性状	429	3 砂型铸造工艺方案的确定	514
1.7 原砂的pH值和需酸量	430	3.1 造型、制芯方法和铸型种类的选择	514
2 常用的粘结材料和辅助材料	430	3.2 浇注位置的确定	519
2.1 粘土	430	3.3 分型面的选择	521
2.2 水玻璃	434	3.4 砂箱(型)中铸件的数量及排列 状况	522
2.3 树脂粘结剂	436	4 铸造工艺参数	524
2.4 油类粘结剂	439	4.1 铸件尺寸公差	525
2.5 其他粘结剂	441	4.2 铸件重量公差	527
2.6 常用的辅助材料	442	4.3 机械加工余量	528
3 粘土粘结砂	447	4.4 铸造收缩率(模样放大率、缩尺)	530
3.1 粘土砂的特点	447	4.5 起模斜度	532
3.2 粘土湿型砂	449	4.6 最小的铸出孔及槽	533
3.3 粘土干型及表面烘干型用砂	454	4.7 工艺补正量	534
4 水玻璃粘结砂	455	4.8 工艺筋	535
4.1 水玻璃砂的特点	455	4.9 反变形量	537
4.2 吹CO ₂ 硬化	458	4.10 非加工壁厚的负余量	539
4.3 脱水硬化	462	4.11 分型负数	539
4.4 自硬水玻璃砂	463	4.12 砂芯负数(砂芯减量)	539
5 树脂粘结砂	465	5 砂芯设计	540
5.1 加热硬化工艺	465	5.1 砂芯的分级、分类	540
5.2 自硬砂工艺	468	5.2 砂芯设置的基本原则	541
5.3 吹气(雾)硬化工艺	474	5.3 芯头结构和芯头尺寸	542
6 其他型砂和芯砂	477	5.4 压环、防压环和集砂槽尺寸	545
6.1 水泥粘结砂	477	5.5 芯撑和芯骨	545
6.2 油砂	478	5.6 砂芯的排气	548
7 铸造涂料	480	5.7 砂芯的组合及预装配	548
7.1 铸造涂料所用的原材料	480	6 浇注系统设计	549
7.2 涂料的流变性能	483	6.1 对浇注系统的基本要求	549
7.3 涂料的使用	487	6.2 浇注系统的基本类型	550
8 旧砂再生	489	6.3 浇注系统的基本组元	555
8.1 各种旧砂的特性和再生处理的要 点	489		
8.2 砂再生设备	491		

6.4	计算浇注系统 $A_{\text{阻}}$ 的水力学公式	562	6.7	挤压铸件缺陷	789
6.5	转包浇注系统的设计	562	6.8	挤压铸造工艺应用举例	791
6.6	底注包铸钢的浇注系统	581	7	离心铸造	794
6.7	其他形式的浇注系统	583	7.1	概述	794
6.8	金属液的过滤技术	589	7.2	离心铸造原理	796
7	冒口和冷铁	591	7.3	离心铸造工艺	798
7.1	铸件的凝固	591	7.4	离心铸造机	802
7.2	通用冒口	596	7.5	离心铸型	802
7.3	铸钢件冒口的设计与计算	603	7.6	离心铸铁管	807
7.4	铸铁件的实用冒口	615	7.7	离心铸铁轧辊	811
7.5	冷铁的设计和计算	619	7.8	离心铸造气缸套	813
第7章	特种铸造	626	7.9	离心铸造钢管	813
1	特种铸造工艺概述	626	7.10	离心铸造钢背轴套	814
1.1	特种铸造方法及其工艺过程特点	626	8	消失模铸造	815
1.2	各种特种铸造法的应用范围	630	8.1	概述	815
2	熔模铸造	630	8.2	成形基础理论	817
2.1	概述	630	8.3	模样材料及制模技术	819
2.2	模料和制模工艺	630	8.4	涂料技术	823
2.3	制壳耐火材料	637	8.5	消失模铸造工艺	824
2.4	粘结剂和制壳工艺	642	8.6	铸造缺陷	826
2.5	脱蜡、焙烧和浇注	659	9	石膏型铸造	827
2.6	脱壳、铸件清理和表面处理	662	9.1	石膏型铸造的特点及其应用	827
3	金属型铸造	675	9.2	石膏材料	828
3.1	金属型铸造的特点	675	9.3	石膏的水合反应	829
3.2	金属型铸造机的选用	675	9.4	造型用石膏料中的添加剂	830
3.3	铸造工艺设计	677	9.5	石膏型的制造	832
3.4	金属型设计	686	9.6	石膏型的干燥、焙烧和浇注金属液	834
3.5	金属型铸造工艺	701	10	陶瓷型铸造	835
3.6	铸件常见缺陷及防止方法	707	10.1	概述	835
4	压力铸造	709	10.2	陶瓷型工艺	836
4.1	压铸工艺的基础及有关参数	709	10.3	影响尺寸精度的因素	838
4.2	压铸合金	713	10.4	影响表面粗糙度的因素	839
4.3	压铸机	716	10.5	应用与展望	839
4.4	压铸件的设计	719	11	连续铸造	840
4.5	压铸件的工艺设计	726	11.1	概述	840
5	低压铸造及差压铸造	758	11.2	连续铸造钢坯	840
5.1	低压铸造	758	11.3	(半)连续铸造铁管	844
5.2	差压铸造	770	11.4	连续铸造铁坯	848
6	挤压铸造	772	11.5	有色合金的连续铸造	849
6.1	概述	772	12	真空吸铸	855
6.2	挤压铸造合金的组织与性能	773	12.1	概述	855
6.3	挤压方式的选择及挤压铸件的设计	778	12.2	真空吸铸工艺	856
6.4	挤压铸造机	782	12.3	真空吸铸机	857
6.5	挤压铸造铸型的设计	784	第8章	铸件品质(质量)	861
6.6	挤压铸造工艺参数	787			

1 铸件的尺寸精度	861	4.3 磁粉探伤	868
1.1 铸件尺寸公差	861	4.4 超声波探伤	870
1.2 铸件尺寸精度的行业规定	861	4.5 射线探伤	872
1.3 铸件尺寸精度的控制	861	5 铸件缺陷修复	874
2 铸件的重量偏差	862	5.1 铸钢件的焊补	874
2.1 铸件重量公差等级和选择	863	5.2 铸铁件的焊补	875
2.2 铸件重量偏差的影响因素	863	5.3 铸铝件的焊补	876
3 铸造表面粗糙度	863	5.4 浸渗修补	876
3.1 表面粗糙度参数	863	6 铸件的品质(质量)等级	878
3.2 铸件表面粗糙度的选定	863	6.1 铸件品质(质量)等级评定内容 及等级	878
3.3 铸造表面粗糙度比较样块	863	6.2 铸件品质(质量)分等	878
3.4 铸造表面粗糙度评定方法(GB/T 15056—1994)	863	6.3 铸件品质(质量)等级的评定方 法	882
4 铸件缺陷的检验	864	参考文献	884
4.1 目视检验与无损检测概述	864		
4.2 渗透探伤	865		

第 1 章 综合性资料

1 标准编号

根据《标准化法》的规定，我国标准分为国家标准、行业标准、地方标准、企业标准四级，标准的性质分为强制性和推荐性。

中国、国际标准化组织及其他各工业国的标准编号都包括三个部分：代号、顺序号和年代号。

代号：标准发布单位发布标准所用的代表符号。

顺序号：标准的编号。

年代：表示标准发布的年代。

例如：GB/T 6414—1999。

GB/T：此项标准为我国国家推荐性标准。

6414：标准编号，其内容为“铸件尺寸公差与机械加工余量”。

1999：1999 年发布。

以下仅就与铸造行业有关的各种标准代号作概略的介绍。

1.1 我国国家标准代号

1. 我国国家标准的编号由标准代号、标准顺序号及年号组成

我国国家标准及其他国家级的标准代号及含义（见表 1-1）。

表 1-1 国家标准及国家级标准的代号

代号	含 义
GB	中华人民共和国强制性国家标准
GB/T	中华人民共和国推荐性国家标准
GB/Z	中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

2. 我国各行业标准代号及含义

行业标准代号由国务院标准化行政主管部门规定。如：机械行业为 JB、黑色冶金行业为 YB、轻工行业为 QB、有色冶金为 YS。有关的行业标准代号见表 1-2。

行业标准分为强制性标准和推荐性标准。表中给出的是强制性行业标准代号，推荐性行业标准的代号是在强制性行业标准代号后面加“/T”，例如机械行业的推荐性标准是 JB/T。

3. 国家技术监督局统一分类编号的各专业标准代号（见表 1-3）

4. 我国机械行业内各专业标准的代号及含义

（见表 1-4）

表 1-2 我国行业标准代号

代号	含 义	代号	含 义
YB	黑色冶金行业标准	JB	机械行业标准
YS	有色冶金行业标准	DZ	地质矿产行业标准
SY	石油天然气行业标准	CB	船舶行业标准
		HB	航空行业标准
HG	化工行业标准	QJ	航天行业标准
QB	轻工行业标准	EJ	核工业行业标准
SH	石油化工行业标准	TB	铁路运输行业标准
JC	建材行业标准		

表 1-3 国家技术监督局统一分类编号的有关专业标准代号

ZB	专业标准（强制性）	ZBJ	机械工业
		ZBK	电工
ZB/T	专业标准（推荐性）	ZBL	电子基础、计算机与信息处理
ZBA	综合性专业标准（以下略去专业标准）	ZBM	通信、广播
		ZBN	仪器、仪表
		ZBP	土木建筑
ZBB	农业、林业	ZBQ	建材
ZBC	医药卫生、劳动保护	ZBR	公路、水路运输
		ZBS	铁路
ZBD	矿业	ZBT	车辆
ZBE	石油工业	ZBU	船舶
ZBG	化学工业	ZBV	航空、航天
ZBH	冶金工业	ZBW	纺织
ZBF	能源、核能	ZBZ	环境保护

表 1-4 机械行业的专业内部标准代号

代号	含 义
JB/DQ	电工专业内部标准
JB/GQ	机床工具专业内部标准
JB/JQ	机械基础件专业内部标准
JB/NQ	农业机械专业内部标准
JB/SQ	工程机械专业内部标准
JB/TQ	通用机械专业内部标准
JB/YQ	仪器仪表专业内部标准
JB/ZQ	重型矿山机械专业内部标准

1.2 部分国外标准代号

国际标准化组织及一些国家和机构的标准代号见表 1-5。

表 1-5 国际标准化组织及一些国家和机构的标准代号

代号	表示内容
ISO	国际标准化组织标准
EN	欧洲标准化委员会标准
AA	国际铝业协会标准
ADCI	美国压铸协会标准
ACI	美国合金铸造学会标准
AISI	美国钢铁学会标准
ANSI	美国国家标准学会标准
ASME	美国机械工程师学会标准
ASTM	美国材料与试验学会标准
MIL	美国军用标准
VDMA	德国机械制造业标准
MSS	美国阀类及管件制造厂标准化协会标准
SAE	美国汽车工程师学会标准
ГОСТ	原苏联国家标准
BS	英国标准
NF	法国标准
JIS	日本工业标准
DIN	德国标准
AS	澳大利亚标准
API	美国石油学会标准
LR	英国劳氏船级社规范和条例

2 国际单位制和我国的法定计量单位

国际单位制简称 SI。SI 单位是国际单位制中与基本单位构成一贯单位制的单位。

2.1 国际单位制的构成

国际单位制 (SI) $\left\{ \begin{array}{l} \text{SI 基本单位 (表 1-6)} \\ \text{SI 单位} \left\{ \begin{array}{l} \text{SI 辅助单位 (表 1-7)} \\ \text{SI 导出单位 (表 1-8)} \end{array} \right. \\ \text{SI 单位倍数 (词头) (表 1-9)} \end{array} \right.$

表 1-6 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. 圆括号中的公斤是千克的同义词。
2. 方括号中的字，在不致引起误解的情况下可以省略，下同。

表 1-7 SI 辅助单位

量的名称	单位名称	单位符号
平面角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

表 1-8 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	其他表示式	
			用 SI 单位示例	用 SI 基本单位
频率	赫 [兹]	Hz	—	s^{-1}
力, 重力	[牛顿]	N	—	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
压力, 压强, 应力	帕 [斯卡]	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
能 [量], 功, 热量	焦 [耳]	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率, 辐 [射能] 通量	瓦 [特]	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
电荷 [量]	库 [仑]	C	—	$s \cdot A$
电压, 电动势, 电位 (电势)	伏 [特]	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
电容	法 [拉]	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
电阻	欧 [姆]	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
电导	西 [门子]	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁通 [量]	韦 [伯]	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁通 [量] 密度, 磁感应强度	特 [斯拉]	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$

(续)

量的名称	SI 导出单位			
	名称	符号	其他表示式	
			用 SI 单位示例	用 SI 基本单位
电感	亨 [利]	H	Wb/A	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$
摄氏温度	摄氏度	℃	—	K
光通量	流 [明]	lm	—	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
[光] 照度	勒 [克斯]	lx	lm/m^2	$\text{m}^{-2} \cdot \text{cd} \cdot \text{sr}$
[放射性] 活度	贝可 [勒尔]	Bq	—	s^{-1}
吸收剂量 [指数], 比授 [予] 能	戈 [瑞]	Gy	J/kg	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
剂量当量 [指数]	希 [沃特]	Sv	J/kg	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$

表 1-9 SI 单位的倍数单位 (词头)

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

2.2 我国的法定计量单位

我国的法定计量单位是以 SI 单位为基础, 同时选用了一些非国际单位制的单位构成的。采用一些非国际单位制的单位, 是因为这些单位在我国已广

泛使用, 而且实际上是需要的。可与 SI 单位并用的我国法定计量单位列于表 1-10。根据习惯, 在某些情况下, 表 1-10 中的单位还可与 SI 单位构成组合单位。

表 1-10 可与 SI 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 min = 60 s
	[小] 时	h	1 h = 60 min = 3600 s
	日, (天)	d	1 d = 24 h = 86400 s
[平面] 角	度	(°)	1° = ($\pi/180$) rad (π 为圆周率)
	[角] 分	(')	1' = (1/60)° = ($\pi/10800$) rad
	[角] 秒	(")	1" = (1/60)' = ($\pi/64800$) rad
体积, 容积	升	L, (l)	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
质量	吨	t	1 t = 10 ³ kg
	原子质量单位	u	1 u $\approx$ 1. 6605655 $\times$ 10 ⁻²⁷ kg
旋转速度	转/每分	r/min	1 r/min = (1/60) s ⁻¹
长度	海里	n mile	1 n mile = 1852 m (只用于航程)
速度	节	kn	1 kn = 1 n mile/h = (1852/3600) m/s (只用于航行)
能	电子伏	eV	1 eV $\approx$ 1. 6021892 $\times$ 10 ⁻¹⁹ J
级差	分贝	dB	
线密度	特 (克斯)	tex	1 tex = 10 ⁻⁶ kg/m

2.3 常用计量单位的换算

1. 常用法定计量单位及相关单位的换算 (表 1-11)

表 1-11 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 海里	m n mile	费米	fm	$1\text{fm} = 10^{-5}\text{m}$
			埃	Å	$1\text{Å} = 0.1\text{nm} = 10^{-10}\text{m}$
			英尺	ft	$1\text{ft} = 0.3048\text{m}$
			英寸	in	$1\text{in} = 0.0254\text{m}$
			英里	mile	$1\text{mile} = 1609.344\text{m}$
			密耳	mil	$1\text{mil} = 25.4 \times 10^{-6}\text{m}$
面积	平方米	m^2	公亩	a	$1\text{a} = 10^2\text{m}^2$
			公顷	ha	$1\text{ha} = 10^4\text{m}^2$
			平方英尺	ft^2	$1\text{ft}^2 = 0.0929030\text{m}^2$
			平方英寸	in^2	$1\text{in}^2 = 6.4516 \times 10^{-4}\text{m}^2$
			平方英里	mile^2	$1\text{mile}^2 = 2.58999 \times 10^6\text{m}^2$
体积、 容积	立方米 升	m^3 L, (l)	立方英尺	ft^3	$1\text{ft}^3 = 0.0283168\text{m}^3$
			立方英寸	in^3	$1\text{in}^3 = 1.63871 \times 10^{-5}\text{m}^3$
			英加仑	UKgal	$1\text{UKgal} = 4.54609\text{dm}^3$
			美加仑	USgal	$1\text{USgal} = 3.78541\text{dm}^3$
质量	千克(公斤) 吨 原子质量单位	kg t u	磅	lb	$1\text{lb} = 0.45359237\text{kg}$
			英担	cwt	$1\text{cwt} = 50.8023\text{kg}$
			英吨	ton	$1\text{ton} = 1016.05\text{kg}$
			短吨	sh ton	$1\text{sh ton} = 907.185\text{kg}$
			盎司	oz	$1\text{oz} = 28.3495\text{g}$
			格令	gr, gn	$1\text{gr} = 0.06479891\text{g}$
			夸特	qr, qtr	$1\text{qr} = 12.7006\text{kg}$
			[米制]克拉		$1\text{米制克拉} = 2 \times 10^{-4}\text{kg}$
温度	开[尔文] 摄氏度	K ℃	华氏度 兰氏度	℉ °R	表示温度差和温度间隔时: $1^\circ\text{C} = 1\text{K}$
					表示温度数值时: $1^\circ\text{C} = \text{K} - 273.15$
					表示温度差和温度间隔时: $1^\circ\text{F} = (5/9)^\circ\text{C}$
					表示温度数值时: $\text{K} = 5/9(^\circ\text{F} + 459.67)$, $^\circ\text{C} = 5/9(^\circ\text{F} - 32)$
					表示温度数值时: $^\circ\text{C} = (5/9)^\circ\text{R} - 273.15$
					表示温度差和温度间隔时: $\text{K} = (5/9)^\circ\text{R}$

(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	
旋转速度	每秒 转每分	s^{-1} r/min		rpm	1 rpm = 1 r/min = $(1/60)s^{-1}$
力,重力	牛[顿]	N	达因 千克力 磅力 吨力	dyn kgf lbf tf	1 dyn = 10^{-5} N 1 kgf = 9. 80665 N 1 lbf = 4. 44822 N 1 tf = 9. 80665 $\times 10^3$ N
压力,压强; 应力	帕[斯卡]	Pa	巴 千克力每平方米 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 ² mmH ₂ O mmHg Torr at atm lbf/ft ² lbf/in ²	1 bar = 10^5 Pa 1 kgf/cm ² = 0. 0980665 MPa 1 mmH ₂ O = 9. 80665 Pa 1 mmHg = 133. 322 Pa 1 Torr = 133. 322 Pa 1 at = 98066. 5 Pa = 98. 0665 kPa 1 atm = 101325 Pa = 101. 3255 kPa 1 lbf/ft ² = 47. 8803 Pa 1 lbf/in ² = 6894. 76 Pa = 6. 89476 kPa
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 电工马力小时 英热单位	erg kgf · m hp · h cal cal _{th} Btu	1 erg = 10^{-7} J 1 kgf · m = 9. 80665 J 1 hph = 2. 68452 MJ 1 cal = 4. 1868 J 1 cal _{th} = 4. 1840 J 1 马力小时 = 2. 64779 MJ 1 电工马力 小时 = 2. 68560 MJ 1 Btu = 1055. 06 J = 1. 05506 kJ 1 kW · h = 3. 6 MJ
功率, 辐射通量	瓦[特]	W	千克力米每秒 马力,米制马力 英马力 电工马力 卡每秒 千卡每小时 热化学卡每秒 伏安 乏 英热单位每小时	kgf · m/s 法 ch, CV; 德 PS hp cal/s kcal/h cal _{th} /s VA var Btu/h	1 kgf · m/s = 9. 80665 W 1 ch = 735. 499 W 1 hp = 745. 700 W 1 电工马力 = 746 W 1 cal/s = 4. 1868 W 1 kcal/h = 1. 163 W 1 cal _{th} /s = 4. 184 W 1 VA = 1 W 1 var = 1 W 1 Btu/h = 0. 293071 W
电导	西[门子]	S	姆欧	Ω	1 Ω = 1 S
磁通量密度, 磁感应强度	特斯拉	T	高斯	Gs, G	1 Gs = 10^{-4} T
光照度	勒[克斯]	lx	英尺烛光	lm/ft ²	1 lm/ft ² = 10. 76 lx

(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	
速度	米每秒	m/s	英尺每秒	ft/s	1 ft/s = 0.3048 m/s
	节	kn	英寸每秒	in/s	1 in/s = 0.0254 m/s
	千米每小时	km/h	英里每小时	mile/h	1 mile/h = 0.44704 m/s
	米每分	m/min			1 km/h = 0.277778 m/s 1 m/min = 0.0166667 m/s
加速度	米每二次方秒	m/s ²	英尺每二次方秒	ft/s ²	1 ft/s ² = 0.3048 m/s ²
			伽	Gal	1 Gal = 10 ⁻² m/s ²
线密度、 纤度	千克每米 特[克斯]	kg/m tex	旦[尼尔]	den	1 den = 0.111112 × 10 ⁻⁶ kg/m
			磅每英尺	lb/ft	1 lb/ft = 1.48816 kg/m
			磅每英寸	lb/in	1 lb/in = 17.8580 kg/m
密度	千克每立方米	kg/m ³	磅每立方英尺	lb/ft ³	1 lb/ft ³ = 16.0185 kg/m ³
			磅每立方英寸	lb/in ³	1 lb/in ³ = 27679.9 kg/m ³
比容 (比体积)	立方米每千克	m ³ /kg	立方英尺每磅	ft ³ /lb	1 ft ³ /lb = 0.0624280 m ³ /kg
			立方英寸每磅	in ³ /lb	1 in ³ /lb = 3.61273 × 10 ⁻⁵ m ³ /kg
质量流率	千克每秒	kg/s	磅每秒	lb/s	1 lb/s = 0.453592 kg/s
			磅每小时	lb/h	1 lb/h = 1.25998 × 10 ⁻⁴ kg/s
体积流率	立方米每秒	m ³ /s	立方英尺每秒	ft ³ /s	1 ft ³ /s = 0.0283168 m ³ /s
	升每秒	L/s	立方英寸每小时	in ³ /h	1 in ³ /h = 4.55196 × 10 ⁻⁹ m ³ /s
转动惯量	千克二次方米	kg · m ²	磅二次方英尺	lb · ft ²	1 lb · ft ² = 0.0421401 kg · m ²
			磅二次方英寸	lb · in ²	1 lb · in = 2.92640 × 10 ⁻⁴ kg · m ²
动量	千克米每秒	kg · m/s	磅英尺每秒	lb · ft/s	1 lb · ft/s = 0.138255 kg · m/s
角动量	千克二次方米 每秒	kg · m ² /s	磅二次方英尺每秒	lb · ft ² /s	1 lb · ft ² /s = 0.04214 kg · m ² /s
力矩	牛顿米	N · m	千克力米	kgf · m	1 kgf · m = 9.80665 N · m
			磅力英尺	lbf · ft	1 lbf · ft = 1.35582 N · m
			磅力英寸	lbf · in	1 lbf · in = 0.112985 N · m
[动力]粘度	帕斯卡秒	Pa · s	泊	P, Po	1 P = 10 ⁻¹ Pa · s
			厘泊	cP	1 cP = 10 ⁻³ Pa · s
			千克力秒每平方米	kgf · s/m ²	1 kgf · s/m ² = 9.80665 Pa · s
			磅力秒每平方英尺	lbf · s/ft ²	1 lbf · s/ft ² = 47.8803 Pa · s
			磅力秒每平方英寸	lbf · s/in ²	1 lbf · s/in ² = 6894.76 Pa · s
运动粘度, 热扩散率	二次方米每秒	m ² /s	斯[托克斯]	St	1 St = 10 ⁻⁴ m ² /s
			厘斯[托克斯]	cSt	1 cSt = 10 ⁻⁶ m ² /s
			二次方英尺每秒	ft ² /s	1 ft ² /s = 9.29030 × 10 ⁻² m ² /s
			二次方英寸每秒	in ² /s	1 in ² /s = 6.4516 × 10 ⁻⁴ m ² /s
比能	焦耳每千克	J/kg	千卡每千克	kcal _{th} /kg	1 kcal/kg = 4186.8 J/kg
			热化学千卡每千克	kcal _{ch} /kg	1 kcal _{ch} /kg = 4184 J/kg
			英热单位每磅	Btu/lb	1 Btu/lb = 2326 J/kg

(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	
比热容, 比熵	焦耳每千克 开尔文	J/(kg·K)	千卡每千克开尔文 热化学千卡每千克 开尔文 英热单位每磅 华氏度	kcal/(kg·K) kcal _{th} /(kg·K) Btu/(lb·°F)	1 kcal/(kg·K) = 4186.8 J/(kg·K) 1 kcal _{th} /(kg·K) = 4184 J/(kg·K) 1 Btu/(lb·°F) = 4186.8 J/(kg·K)
传热系数	瓦特每平方米 开尔文	W/(m²·K)	卡每平方厘米秒 开尔文 千卡每平方米小时 开尔文 英热单位每平方 英尺小时华氏度	cal/(cm²·s·K) kcal/(m²·h·K) Btu/(ft²·h·°F)	1 cal/(cm²·s·K) = 41868 W/(m²·K) 1 kcal/(m²·h·K) = 1.163 W/(m²·K) 1 Btu/(ft²·h·°F) = 5.67826 W/(m²·K)
热导率	瓦特每米 开尔文	W/(m·K)	卡每厘米秒开尔文 千卡每米小时 开尔文 英热单位每英尺 小时华氏度	cal/(cm·s·K) kcal/(m·h·K) Btu/(ft·h·°F)	1 cal/(cm·s·K) = 418.68 W/(m·K) 1 kcal/(m·h·K) = 1.163 W/(m·K) 1 Btu/(ft·h·°F) = 1.73073 W/(m·K)

2. 摄氏—华氏温度换算表

表 1-12 是索维尔式换算表, 使用方便。每一组均有 3 列。换算时, 先从中间一列找到待换算的数

值, 如欲由华氏温度换算为摄氏温度, 则其左列相应的数字即是; 如由摄氏温度换算为华氏温度, 则其右列相应的数字即是。

表 1-12 摄氏—华氏温度换算表

第一部分 -459.4~0								
℃	℃或℉	℉	℃	℃或℉	℉	℃	℃或℉	℉
-273	-459.4		-184	-300		-101	-150	-238
-268	-450		-179	-290		-96	-140	-220
-262	-440		-173	-280		-90	-130	-202
-257	-430		-169	-273	-459.4	-84	-120	-184
-251	-420		-168	-270	-454	-79	-110	-166
-246	-410		-162	-260	-436	-73	-100	-148
-240	-400		-157	-250	-418	-68	-90	-130
-234	-390		-151	-240	-400	-62	-80	-112
-229	-380		-146	-230	-382	-57	-70	-94
-223	-370		-140	-220	-364	-51	-60	-76
-218	-360		-134	-210	-346	-46	-50	-58
-212	-350		-129	-200	-328	-40	-40	-40
-207	-340		-123	-190	-310	-34	-30	-22
-201	-330		-118	-180	-292	-29	-20	-4
-196	-320		-112	-170	-274	-23	-10	-14
-190	-310		-107	-160	-256	-17	0	32

(续)

第二部分 0~50

℃	℃或℉	℉	℃	℃或℉	℉	℃	℃或℉	℉
-17.8	0	32	-8.3	17	62.6	1.1	34	93.2
-17.2	1	33.8	-7.8	18	64.4	1.7	35	95.0
-16.7	2	35.6	-7.2	19	66.2	2.2	36	96.8
-16.1	3	37.4	-6.7	20	68.0	2.8	37	98.6
-15.6	4	39.2	-6.1	21	69.8	3.3	38	100.4
-15.0	5	41.0	-5.6	22	71.6	3.9	39	102.2
-14.4	6	42.8	-5.0	23	73.4	4.4	40	104.0
-13.9	7	44.6	-4.4	24	75.2	5.0	41	105.8
-13.3	8	46.4	-3.9	25	77.0	5.6	42	107.6
-12.8	9	48.2	-3.3	26	78.8	6.1	43	109.4
-12.2	10	50.0	-2.8	27	80.6	6.7	44	111.2
-11.7	11	51.8	-2.2	28	82.4	7.2	45	113.0
-11.1	12	53.6	-1.7	29	84.2	7.8	46	114.8
-10.6	13	55.4	-1.1	30	86.0	8.3	47	116.6
-10.0	14	57.2	-0.6	31	87.8	8.9	48	118.4
-9.4	15	59.0	0.0	32	89.6	9.4	49	120.2
-8.9	16	60.8	0.6	33	91.4	10.0	50	122.0

第三部分 51~100

℃	℃或℉	℉	℃	℃或℉	℉	℃	℃或℉	℉
10.6	51	123.8	20.0	68	154.4	29.4	85	185.0
11.1	52	125.6	20.6	69	156.2	30.0	86	186.8
11.7	53	127.4	21.1	70	158.0	30.6	87	188.6
12.2	54	129.2	21.7	71	159.8	31.1	88	190.4
12.8	55	131.0	22.2	72	161.6	31.7	89	192.2
13.3	56	132.8	22.8	73	163.4	32.2	90	194.0
13.9	57	134.6	23.3	74	165.2	32.8	91	195.8
14.4	58	136.4	23.9	75	167.0	33.3	92	197.6
15.0	59	138.2	24.2	76	168.8	33.9	93	199.4
15.6	60	140.0	25.0	77	170.6	34.4	94	201.2
16.1	61	141.8	25.6	78	172.4	35.0	95	203.0
16.7	62	143.6	26.1	79	174.2	35.6	96	204.8
17.2	63	145.4	26.7	80	176.0	36.1	97	206.6
17.8	64	147.2	27.2	81	177.8	36.7	98	208.4
18.3	65	149.0	27.8	82	179.6	37.2	99	210.2
18.9	66	150.8	28.3	83	181.4	37.8	100	212.0
19.4	67	152.6	28.9	84	183.2			