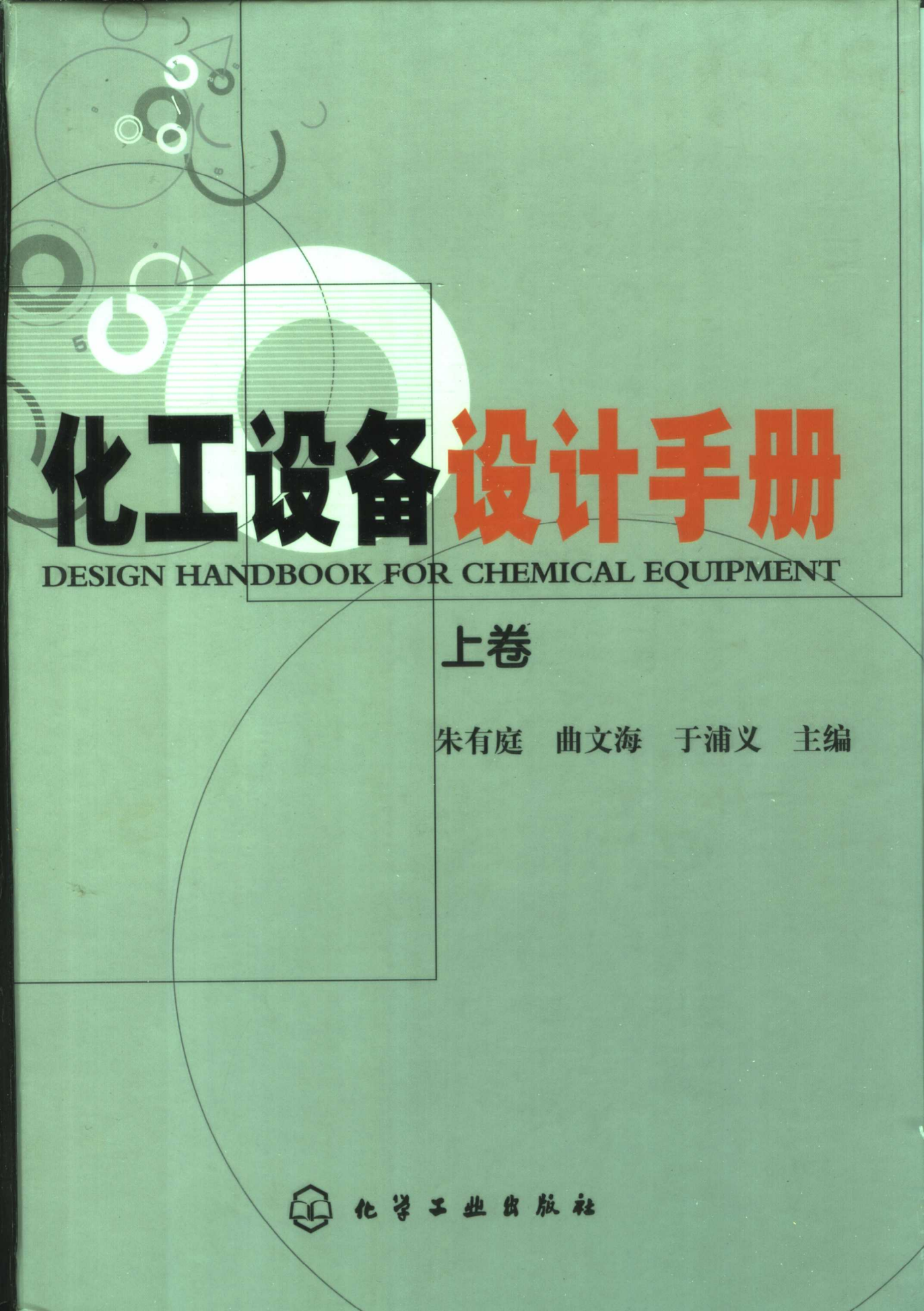




化工设备设计手册

DESIGN HANDBOOK FOR CHEMICAL EQUIPMENT

上卷

朱有庭 曲文海 于浦义 主编



化学工业出版社

化工设备设计手册

上 卷

朱有庭 曲文海 于浦义 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

前 言

随着我国国民经济的快速发展，作为国民经济支柱产业的化工、石油化工等工业发展更加迅速。广大的化工设备设计工作者不仅在办公室进行大量的化工设备设计工作，而且还到化工设备制造厂和施工安装现场做监理工作。有时一些化工设备设计者，又兼做与化工设备有关的管道设计工作。这些设计工作者迫切需要有一本适用于工程的化工设备和管道设计的工具书。为此，化学工业出版社倡议和组织编写了这本手册。

为了使这本手册完整、全面、新颖、精湛和实用，化学工业出版社负责本手册的编辑人员曾多次组织全体编写人员对编写目的、编写提纲、手册内容范围和重点、章节划分等进行反复研究、补充和修改。本手册各章编写人员本着认真负责精神，做了大量的资料收集工作，并针对化工设备的标准零部件种类繁多、资料零散、使用不便的缺陷，将其常用部分汇编成一册；同时还将化工设备常用的材料标准（钢板、钢管、型钢等）收编入册。为了保证本手册的质量，各章编写人员坚持理论联系实际，实事求是的原则，广泛收集了最新标准、规范、数据资料、公式和图表。校审人员反复多次仔细校审并对个别章节做了一定的完善工作。

与社会上已出版的同类书相比，本手册主要有下述特点。

（1）常用的主要化工单元设备设计及其所用的标准零部件、材料品种、规格和力学性能以及与化工设备有关的管道应力分析和设计汇集于一书，备存和携带方便，查阅便捷；既适用于化工设备设计人员，又适用于兼做管道设计的化工设备设计人员和施工监理人员。

（2）编入本手册的设计用标准、规范、计算公式、数据资料等均为可靠的、最新的资料，并为我国和国际上现行的标准。

（3）本手册还介绍了部分化工单元设备（换热器、泵等）在国际上公认和通用的国外设计标准、规范和方法，适用于参加国外工程的投标设计。

本手册对不常用的超高压容器设计，有色金属（钛、铝、铜）和工程塑料等非金属化工设备设计暂未编入。

在编写当中参考了大量的有关数据和资料，也受到了社会各界的支持和帮助，在此一并表示感谢。对于书中存在的错误或不妥之处，敬请专家和读者们不吝指正。

编者

2004年8月

目 录

上 卷

第 1 章 常用资料	1	2.4.6 压力容器用钢板 (GB 6654—1996)	107
1.1 常用计量单位及单位换算	1	2.4.7 低温压力容器用低合金钢板 (GB 3531—1996)	109
1.1.1 国际单位制及我国法定计量单位	1	2.4.8 镀锡钢板、镀锌钢板、镀铅钢板 (GB 2520—1988、YB/T 5131— 1993、YB/T 5130—1993)	110
1.1.2 常用单位换算	2	2.4.9 不锈钢冷轧钢板、不锈钢热轧钢板 (GB 3280—1992、GB 4237—1992)	110
1.2 常用数据	7	2.4.10 耐热钢板 (GB 4238—1992)	112
1.2.1 常用几何面积、体积及重心位置	7	2.4.11 花纹钢板 (GB/T 3277—1991)	115
1.2.2 常用材料密度	12	2.5 钢管	116
1.2.3 常用松散材料的密度及安息角	12	2.5.1 一般规定	116
1.2.4 标准筛目对照	13	2.5.2 无缝钢管尺寸、外形、质量及允许 偏差 (GB/T 17395—1998)	116
1.2.5 中国线规与英、美、德线规对照	15	2.5.3 低压流体输送用焊接钢管 (GB/T 3091—2001)	119
1.2.6 材料的线膨胀系数	15	2.5.4 低中压锅炉用无淀钢管 (GB 3087—1999)	121
1.2.7 材料弹性模量及泊松比	16	2.5.5 高压锅炉用无缝钢管 (GB 5310—1995)	122
1.2.8 摩擦系数	16	2.5.6 高压化肥设备用无缝钢管 (GB 6479—2000)	128
1.2.9 特征数	17	2.5.7 结构用无缝钢管 (GB/T 8162—1999)	129
1.3 常用力学公式	18	2.5.8 输送流体用无缝钢管 (GB/T 8163—1999)	131
1.3.1 运动学、动力学公式	18	2.5.9 石油裂化用无缝钢管 (GB 9948—1988)	131
1.3.2 常用材料力学公式	21	2.5.10 机械结构用不锈钢焊接钢管 (GB 12770—1991)	133
第 2 章 化工设备用材料	37	2.5.11 流体输送用不锈钢焊接钢管 (GB/T 12771—2000)	136
2.1 钢铁材料牌号表示方法	37	2.5.12 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管 (GB 13296—1991)	139
2.1.1 变形钢及合金牌号表示方法	38	2.5.13 直缝电焊钢管 (GB/T 13793—1992)	143
2.1.2 铸钢牌号表示方法 (GB/T 5613—1995)	40		
2.1.3 铸铁牌号表示方法 (GB 5612—1985)	40		
2.2 金属材料的力学性能代号	41		
2.3 各类钢铁材料的化学成分、 力学性能及用途	42		
2.3.1 碳素结构钢及合金结构钢	42		
2.3.2 铸钢	88		
2.3.3 铸铁	96		
2.4 钢板	100		
2.4.1 钢板每平方米面积的理论质量	100		
2.4.2 冷轧钢板和钢带 (GB 708—1988)	101		
2.4.3 热轧钢板和钢带 (GB 709—1988)	102		
2.4.4 锅炉用钢板 (GB 713—1997)	103		
2.4.5 焊接气瓶用钢板 (GB 6653—1994)	106		

2.5.14 结构用不锈钢无缝钢管 (GB/T 14975—1994)	146	2.16.1 镍及镍合金的物理性能	228
2.5.15 流体输送用不锈钢无缝钢管 (GB/T 14976—1994)	150	2.16.2 镍及镍合金的力学性能	228
2.5.16 低压流体输送管道用螺旋缝埋弧焊 钢管 (SY/T 5037—2000)	154	2.16.3 镍及镍合金棒	230
2.5.17 石油天然气工业输送钢管交货技术 条件 第1部分: A级钢管 (GB/T 9711—1997)	156	2.16.4 镍及镍合金加工产品国内外 牌号对照	230
2.6 型钢	161	2.17 复合钢板	230
2.6.1 热轧扁钢 (GB 704—1988)	161	2.17.1 不锈钢复合钢板和钢带 (GB/T 8165—1997)	230
2.6.2 热轧圆钢、方钢、六角钢 (GB 702— 1986、GB 705—1989)	162	2.17.2 钛-钢复合钢板 (GB/T 8547—1987)	233
2.6.3 优质结构钢冷拉钢材技术条件 (GB 3078—1994)	164	2.17.3 铜-钢复合钢板 (GB 13238—1991)	234
2.6.4 角钢	165	2.18 非金属材料	235
2.6.5 热轧工字钢 (GB 706—1988)	173	2.18.1 常用橡胶的品种、性能、特点	235
2.6.6 热轧槽钢 (GB 707—1988)	175	2.18.2 橡胶板	239
2.6.7 H型钢和剖分T型钢 (GB/T 11263—1998)	177	2.18.3 橡胶管	240
2.7 常用工业用金属丝编织方孔筛网 (GB/T 5330—1985)	180	2.18.4 石棉橡胶板 (GB/T 3985—1995)	246
2.8 有色金属材料代号、牌号	181	2.18.5 耐油石棉橡胶板 (GB/T 359—1995)	246
2.8.1 常用有色金属和合金元素名称 及其代号 (GB/T 340—1976)	181	2.18.6 常用工程塑料	247
2.8.2 专用有色金属、合金名称及其代号 (GB/T 340—1976)	181	2.18.7 玻璃制品	263
2.8.3 有色金属铸造方法、合金状态代号 (GB/T 1173—1995、GB/T 1176— 1987、GB/T 1175—1997)	182	参考文献	264
2.8.4 有色金属产品状态、特性代号 (GB/T 340—1976)	182		
2.8.5 变形铝及铝合金牌号表示方法 (GB/T 16474—1996)	182	第3章 焊接	265
2.8.6 变形铝及铝合金状态代号 (GB/T 16475—1996)	183	3.1 常用焊接方法	265
2.9 铸造铜合金 (GB/T 1176—1987)	184	3.2 焊接材料	267
2.10 铸造铝合金 (GB/T 1173—1995)	190	3.2.1 焊条	267
2.11 铸造钛及钛合金 (GB/T 15073—1994)	192	3.2.2 焊丝	276
2.12 铜及铜合金型材	192	3.2.3 焊剂、焊丝与焊剂组合	296
2.12.1 常用铜及铜合金板、棒材	193	3.2.4 焊接用气体	298
2.12.2 常用铜及铜合金管材	196	3.2.5 钨极	299
2.13 铝及铝合金型材	203	3.3 焊接材料的选用	299
2.14 钛及钛合金型材	220	3.3.1 压力容器、化工设备焊接用 焊接材料的选用原则	299
2.15 铅及铅合金型材	224	3.3.2 焊条的选用	299
2.16 镍及镍合金型材	226	3.3.3 埋弧焊、电渣焊焊接材料的选用	309
		3.3.4 气体保护焊焊丝的选用	313
		3.3.5 气焊焊接材料的选用	313
		3.3.6 气体保护焊用保护气体的选用	319
		3.4 焊接结构设计	321
		3.4.1 对接焊接接头设计原则	321
		3.4.2 接管、凸缘与壳体间的焊接接头 设计原则	324
		3.4.3 焊接接头的坡口形式及基本尺寸	327
		3.4.4 焊缝代号	355
		3.5 焊接接头的强度计算	361

3.5.1	焊接接头强度计算的规定	361		低合金钢的焊接	385
3.5.2	对接焊缝的强度计算	361	3.13.3	低碳钢与低温型低合金钢 的焊接	385
3.5.3	角焊缝的强度计算方法	362	3.13.4	强度型低合金钢与耐热型 低合金钢的焊接	386
3.6	碳素钢的焊接	363	3.13.5	铁素体钢与铁素体 不锈钢的焊接	386
3.6.1	碳素钢的焊接特点	363	3.13.6	铁素体钢与奥氏体 不锈钢的焊接	387
3.6.2	碳素钢的焊接方法	363	3.14	复合钢板的焊接	390
3.6.3	焊接接头形式和尺寸	365	3.14.1	不锈钢复合钢板的焊接	390
3.7	低合金高强钢的焊接	365	3.14.2	钛及钛合金复合钢板的焊接	396
3.7.1	低合金高强钢的特点	365	3.14.3	铜及铜合金复合钢板的焊接	400
3.7.2	低合金高强钢的焊接方法	365	3.14.4	镍及镍合金复合钢板的焊接	403
3.7.3	低合金高强钢的焊接坡口形式 和尺寸	368	3.14.5	堆焊	404
3.8	耐热型低合金钢的焊接	369	3.15	镍和镍(基耐蚀)合金的焊接	407
3.8.1	耐热型低合金钢的特点	369	3.15.1	镍和镍基耐蚀合金	407
3.8.2	耐热型低合金钢焊接的要求	369	3.15.2	镍和镍基耐蚀合金的焊接方法、 焊材选用和焊接接头设计	408
3.8.3	耐热型低合金钢的焊接性	369	3.16	钛和钛合金的焊接	417
3.8.4	低合金耐热钢的焊接方法和 焊接材料的选用	369	3.16.1	钛材及特性	417
3.8.5	焊接接头形式和尺寸	372	3.16.2	钛和钛合金的焊接特点	417
3.9	低温用钢的焊接	372	3.16.3	钛和钛合金的相对焊接性和 焊接方法	417
3.9.1	低温用钢的分类及其焊接特性	372	3.16.4	焊后热处理	419
3.9.2	焊接方法及焊接材料的选用	372	3.16.5	焊缝缺陷及质量控制	420
3.9.3	焊接材料	372	3.16.6	质量检验	420
3.9.4	焊接接头形式和尺寸	373	3.17	焊接工艺评定、焊接施工 能用守则	420
3.10	不锈钢和其它耐蚀钢的焊接	373	3.17.1	焊接工艺评定标准	420
3.10.1	不锈钢的种类及其特性	373	3.17.2	焊接环境	421
3.10.2	奥氏体不锈钢的焊接方法和 焊接材料选用	373	3.17.3	焊前准备和预热	421
3.10.3	马氏体不锈钢的焊接	378	3.17.4	后热	422
3.10.4	铁素体不锈钢的焊接	378	3.17.5	焊后热处理	422
3.10.5	奥氏体-铁素体双相 不锈钢的焊接	378	3.17.6	焊接质量要求	424
3.10.6	其它耐蚀钢的焊接	378	3.17.7	焊接返修和补焊	425
3.11	铸钢、铸铁的焊接	379	3.18	焊接检验	425
3.11.1	铸钢的焊接	379	3.18.1	焊接检验的依据	425
3.11.2	铸钢件的补焊	380	3.18.2	焊接检验方式	426
3.11.3	铸铁的焊条冷补焊	380	3.18.3	焊接检验方法	426
3.12	同类不同钢种的异种钢焊接	380	3.18.4	焊接缺欠和焊接缺陷	426
3.12.1	不同强度级别的低合金 高强钢(包括低碳钢)的焊接	380	3.18.5	无损检测	426
3.12.2	不同珠光体耐热钢的焊接	381	参考文献		428
3.12.3	不同类型低温钢的焊接	382			
3.12.4	不同牌号奥氏体不锈钢的焊接	383			
3.13	不同类异种钢的焊接	384			
3.13.1	低碳钢与强度型低合金钢的焊接	384			
3.13.2	低碳钢与耐热型				

第4章 紧固件

4.1	通用紧固件	430
4.1.1	紧固件材料及力学、物理性能	430

4.1.2 螺栓	439	计算	492
4.1.3 螺母	447	5.7.7 外压锥壳计算	492
4.1.4 垫圈	451	5.8 压力容器开孔与开孔补强	496
4.2 专用紧固件	453	5.8.1 开孔附近的应力分析	496
4.2.1 压力容器法兰用等长双头螺柱	453	5.8.2 应力集中系数的计算	496
4.2.2 钢制管法兰用紧固件	454	5.8.3 开孔补强设计	498
第5章 压力容器设计	457	5.8.4 等面积补强适用范围	499
5.1 压力容器应力分析	457	5.8.5 对补强金属材料的要求	501
5.1.1 强度理论简介	457	5.8.6 多个开孔补强	501
5.1.2 受压壳体的力学基础	458	5.8.7 平盖中心开单个圆形孔 ($d > 0.5D_0$) 的补强要求	504
5.2 压力容器设计参数的确定	462	5.9 法兰	505
5.2.1 定义	462	5.9.1 法兰强度分析	505
5.2.2 《钢制压力容器》GB 150 适用范围	462	5.9.2 铁木欣柯法 (Timoshenko)	506
5.2.3 对不能采用《钢制压力容器》GB 150 标准来确定结构尺寸的受压元件	462	5.9.3 华脱尔斯法 (Waters)	507
5.2.4 压力容器范围	462	5.9.4 法兰的结构分类	508
5.2.5 设计压力的确定	463	5.9.5 法兰基本型式	509
5.2.6 设计温度的确定	463	5.9.6 法兰结构	510
5.2.7 设计载荷的确定	464	5.9.7 法兰计算	512
5.2.8 壁厚附加量	464	5.9.8 法兰连接的选材	533
5.2.9 压力容器最小壁厚	464	5.9.9 对非标准法兰连接设计的提示	533
5.2.10 许用应力与安全系数	464	5.9.10 无垫片焊接密封法兰的 设计和计算	535
5.2.11 压力试验	465	5.9.11 压力容器法兰标准	538
5.2.12 气密性试验	465	5.10 压力容器用材料及其许用应力	571
5.3 内压圆筒和球壳	465	5.10.1 压力容器用材料的选用原则	571
5.3.1 符号	465	5.10.2 压力容器用材料的许用应力	573
5.3.2 计算公式	466	5.10.3 压力容器用钢材的高温性能	573
5.4 内压凸形封头	466	5.10.4 压力容器用钢材的补充规定	584
5.4.1 符号	466	5.11 低温压力容器设计准则	585
5.4.2 计算公式	466	5.11.1 总则	585
5.5 内压锥壳	469	5.11.2 材料	585
5.5.1 符号	469	5.11.3 设计	586
5.5.2 锥壳设计	469	5.11.4 制造、检验和验收	590
5.5.3 无折边锥壳壁厚计算	470	参考文献	590
5.5.4 折边锥壳壁厚计算	470	第6章 球形容器设计	591
5.5.5 变径段设计	474	6.1 相关标准规范	591
5.6 平盖	474	6.1.1 国内球罐设计标准	591
5.6.1 符号	474	6.1.2 国外球罐设计标准	591
5.6.2 平盖厚度计算	474	6.2 材料	591
5.7 外压容器设计	476	6.2.1 球壳用钢板材料	591
5.7.1 薄壁圆筒的稳定性计算	476	6.2.2 锻件	591
5.7.2 符号	479	6.2.3 钢管	591
5.7.3 外压圆筒和外压管子计算	480	6.2.4 螺柱及螺母	591
5.7.4 外压球壳和球形封头的壁厚设计	490	6.2.5 焊接材料	591
5.7.5 外压圆筒加强圈的设计	490	6.2.6 钢结构	592
5.7.6 外压 (凸形) 封头 (凸面受压)			

6.2.7 国外球罐常用的材料	592	7.7 储罐的附件	644
6.3 设计	596	7.7.1 罐顶附件	644
6.3.1 结构设计	596	7.7.2 罐壁附件	644
6.3.2 计算	602	7.7.3 安全设施	644
6.3.3 支柱对球壳板产生的局部 应力的校核	610	7.7.4 梯子、平台和栏杆	644
6.3.4 球壳板的几何尺寸计算	610	7.8 外浮顶罐	644
6.3.5 例题	610	7.8.1 概述	644
6.4 制造、检验与验收	619	7.8.2 浮顶的基本要求	645
6.4.1 制造	619	7.8.3 单盘式浮顶	645
6.4.2 球罐的检验与验收	623	7.8.4 双盘式浮顶	647
参考文献	627	7.8.5 外浮顶储罐的主要部件	647
第7章 大型储罐设计	628	7.9 内浮顶储罐	649
7.1 储罐概述	628	7.9.1 简介	649
7.1.1 储罐的分类	628	7.9.2 钢制内浮顶	650
7.1.2 有关的法规和标准	629	7.9.3 铝制内浮顶	650
7.1.3 立式储罐的容量	629	7.9.4 内浮顶储罐的设计	651
7.1.4 立式储罐承受的载荷	630	7.10 立式储罐的风载荷	651
7.1.5 立式储罐的设计压力 和设计温度	630	7.10.1 风载荷作用下罐壁的稳定性	651
7.2 立式储罐用钢材	631	7.10.2 罐壁加强圈	652
7.2.1 储罐用国产钢板	631	7.10.3 浮顶罐的罐壁顶部抗风圈	653
7.2.2 立式储罐用钢材的许用应力	631	7.10.4 风载荷作用下储罐的位移	653
7.2.3 高强度钢板	633	7.11 立式储罐的抗震设计	654
7.3 罐底设计	633	7.11.1 概述	654
7.3.1 罐底的结构形式	633	7.11.2 储罐抗震计算	656
7.3.2 罐底的排板形式	633	7.11.3 罐壁的竖向容许应力	656
7.3.3 罐底的坡度	634	7.11.4 罐壁的抗震验算	657
7.3.4 罐底板-罐壁连接处的 受力分析	634	7.11.5 储罐满足抗震设防烈度的条件	657
7.3.5 罐底的焊接结构形式	634	7.11.6 液面晃动波高	657
7.4 罐壁设计	636	7.11.7 储罐抗震的构造要求	657
7.4.1 静液压力作用下罐壁的 强度要求	636	参考文献	658
7.4.2 确定罐壁厚度的方法	636	第8章 高压容器设计	659
7.5 罐顶设计	637	8.1 单层圆筒应力分析	659
7.5.1 概述	637	8.1.1 轴向应力	659
7.5.2 锥顶	637	8.1.2 周向应力与径向应力	659
7.5.3 自支撑拱顶	638	8.1.3 厚壁内压圆筒的强度计算	662
7.5.4 网壳顶	639	8.1.4 厚壁圆筒采用中径公式进行 强度设计的依据	662
7.5.5 网壳结构的材料	640	8.2 高压圆筒及厚壁球壳的设计	663
7.5.6 网壳的临界失稳载荷	641	8.2.1 厚壁圆筒及厚壁球壳结构形式	663
7.6 内压作用下的储罐	642	8.2.2 符号	665
7.6.1 罐壁与罐顶之间的连接结构	642	8.2.3 高压容器壳体的设计计算	666
7.6.2 储罐内压对罐壁厚度的影响	643	8.3 高压容器筒体端部设计及计算	666
7.6.3 储罐的锚栓	643	8.3.1 符号	666
		8.3.2 筒体端部	666
		8.4 高压容器的端盖计算	668
		8.4.1 符号	668

8.4.2 锻造紧缩口	669	10.1.3 常用标准搅拌器	838
8.4.3 几种截面特性计算	670	10.1.4 搅拌器附件	849
8.5 高压容器的密封设计	670	10.1.5 磁力驱动搅拌器	850
8.5.1 高压容器密封的分类	670	10.1.6 紧凑型潜水搅拌器	856
8.5.2 高压容器的密封结构	670	10.2 搅拌功率计算	859
参考文献	691	10.2.1 符号命名	859
第9章 换热器	692	10.2.2 搅拌功率	859
9.1 概述	692	10.2.3 搅拌器的搅拌功率捷算法 (诺谟图法)	870
9.1.1 换热器在化工及石油化工 生产中的作用	692	10.2.4 最小搅拌轴功率	871
9.1.2 换热器的分类及特点	692	10.2.5 搅拌器的搅拌功率计算例题	871
9.1.3 换热器类别的选择	693	10.3 搅拌器强度计算	872
9.1.4 换热器设计的内容	693	10.3.1 符号命名	872
9.1.5 相关标准规范	694	10.3.2 搅拌器设计功率	873
9.2 基本参数	695	10.3.3 搅拌器桨叶材料的许用应力	874
9.2.1 符号说明	695	10.3.4 锚式搅拌器强度计算	874
9.2.2 基本参数	695	10.3.5 框式搅拌器强度计算	875
9.3 结构设计	702	10.3.6 门框式搅拌器强度计算	876
9.3.1 管箱及壳体	702	10.3.7 桨式搅拌器强度计算	877
9.3.2 管束	706	10.3.8 开启涡轮式搅拌器强度计算	878
9.3.3 折流板及支撑板	712	10.3.9 圆盘涡轮式搅拌器强度计算	880
9.3.4 拉杆	716	10.3.10 三叶后掠式搅拌器强度计算	881
9.3.5 防短路结构	717	10.3.11 推进式搅拌器强度计算	882
9.3.6 防冲挡板及导流筒	718	10.3.12 对搅拌器设计的其它要求	883
9.3.7 纵向隔板	721	10.4 搅拌轴机械计算	884
9.3.8 换热器的管束滑道结构	721	10.4.1 符号命名	884
9.3.9 立式换热器耳式支座的设置	723	10.4.2 搅拌轴机械计算的基本条件	885
9.3.10 浮头式换热器的结构设计	723	10.4.3 按柔性轴设计的搅拌轴机械计算 的附加条件	886
9.3.11 U形管式换热器的结构设计	726	10.4.4 搅拌轴的典型受力图	886
9.3.12 低温换热器上的垫木	727	10.4.5 搅拌轴机械计算	886
9.3.13 双管板换热器	727	10.4.6 搅拌器与搅拌轴的连接	894
9.3.14 膨胀节	732	10.5 搅拌机的传动装置	896
9.4 换热器元件的强度计算	732	10.5.1 搅拌机传动装置的组成	896
9.4.1 管箱平板盖	732	10.5.2 搅拌机传动装置的标准零部件	897
9.4.2 分程隔板	733	10.5.3 搅拌机传动装置系统组合、选用及技 术要求 (HG 21563—1995)	941
9.4.3 波形膨胀节	733	10.5.4 搅拌轴底轴承和中间轴承	947
9.4.4 管板	737	10.5.5 计算例题	949
9.4.5 浮头盖及钩圈	815	10.5.6 驱动器	953
9.5 管壳式换热器的制造与检验	821	10.6 搅拌容器的传热结构及强度计算	954
9.5.1 制造	821	10.6.1 搅拌容器的传热夹套	954
9.5.2 检验	827	10.6.2 带夹套搅拌容器支座的 设置原则	971
参考文献	829	10.6.3 搅拌机对搅拌容器附加载荷的强度、 稳定计算	971
第10章 搅拌设备	830	参考文献	972
10.1 搅拌器类型	830		
10.1.1 概述	830		
10.1.2 机械搅拌器的形式和选型	830		

下 卷

第 11 章 塔设备	973	11.5.10 塔盘及其附件的尺寸公差	1080
11.1 概述	973	11.6 填料塔	1081
11.1.1 塔设备在化工生产中的作用	973	11.6.1 简介	1081
11.1.2 塔设备的分类及结构简介	973	11.6.2 结构概述	1081
11.1.3 板式塔和填料塔的构成	973	11.6.3 塔填料	1082
11.1.4 塔设备的机械设计	973	11.6.4 填料支撑件	1098
11.2 塔设备的机械计算	974	11.6.5 填料床层压板和限制器	1110
11.2.1 塔体及裙座的强度计算	974	11.6.6 液体分布器	1111
11.2.2 框架中裙座式塔设备的强度计算	985	11.6.7 液体再分布器	1117
11.2.3 计算例题	987	参考文献	1119
11.3 塔设备的振动与防振	1001	第 12 章 压力管道	1120
11.3.1 卡门涡街与塔的振动	1001	12.1 压力管道的监察与管理	1120
11.3.2 升力的计算	1001	12.1.1 压力管道安全管理与监察规定	1120
11.3.3 塔顶的最大振幅	1001	12.1.2 压力管道设计单位资格 许可与管理	1120
11.3.4 共振载荷的计算	1002	12.2 管道设计基础	1121
11.3.5 塔设备需要做振动分析的条件	1003	12.2.1 管道的分级(类)	1121
11.3.6 塔体共振时应力的计算	1003	12.2.2 公称压力与公称直径	1122
11.3.7 疲劳寿命的校核	1003	12.2.3 设计条件与设计基准	1123
11.3.8 防振措施	1004	12.3 管道组成件	1127
11.3.9 排塔的振动与固有频率的计算	1004	12.3.1 管件	1127
11.3.10 计算例题	1005	12.3.2 管法兰	1152
11.4 塔设备通用零部件	1007	12.3.3 垫片	1236
11.4.1 塔体	1007	12.3.4 阀门	1252
11.4.2 塔设备的支撑	1007	12.4 管道组成件选用	1262
11.4.3 塔顶吊柱(HG/T 21639—1980)	1015	12.4.1 一般规定	1262
11.4.4 吊耳(HG/T 21574—1994)	1015	12.4.2 管道的连接	1263
11.4.5 塔釜液体出口防涡流挡板	1023	12.4.3 管道分支	1265
11.4.6 塔釜隔板	1024	12.4.4 管子的选用	1265
11.4.7 塔内和裙座内爬梯	1025	12.4.5 管件的选用	1267
11.4.8 管口挡板	1028	12.4.6 管法兰的选用	1267
11.4.9 塔的保温和保冷支撑件	1028	12.4.7 垫片的选用	1267
11.4.10 塔内接管的支撑结构	1031	12.4.8 紧固件的选用	1269
11.4.11 塔的制造公差	1033	12.4.9 阀门的选用	1270
11.5 板式塔塔盘	1034	12.4.10 管法兰、垫片和紧固件的选配	1270
11.5.1 板式塔塔盘分类	1034	12.4.11 管道材料等级表	1273
11.5.2 板式塔塔盘结构及材料	1034	12.5 管道器材受压元件强度计算	1274
11.5.3 F1 型浮阀 JB 1118—1981	1035	12.5.1 一般规定	1274
11.5.4 圆泡罩(帽)(JB 1212—1973)	1043	12.5.2 金属直管	1274
11.5.5 整块式塔盘	1044	12.5.3 弯管、弯头及斜接弯头	1275
11.5.6 分块式塔盘	1051	12.5.4 挤压三通	1276
11.5.7 塔盘板及其支撑梁的强度、 挠度计算	1076	12.5.5 非标准异径管	1276
11.5.8 塔盘技术条件(JB 1205—2001)	1077	12.5.6 平盖	1277
11.5.9 塔盘支撑件的尺寸公差	1079		

12.5.7	盲板	1277	13.2.10	常用液体的主要物理性质和 推荐流速	1411
12.5.8	支管连接补强	1278	13.2.11	变温泵送系统离心泵的流量、 扬程和功率	1416
12.6	管道的膨胀与柔性	1281	13.2.12	海拔高度对离心泵扬程、 功率的影响	1417
12.6.1	压力管道的安定分析	1281	13.2.13	泵送系统的变静扬程对离心泵 选型的影响	1417
12.6.2	压力管道的静力解析	1284	13.2.14	离心泵的并联操作和 串联操作	1418
12.6.3	管道热补偿	1298	13.2.15	离心泵的流量调节	1418
12.6.4	压力管道柔性设计	1303	13.2.16	离心泵结构	1419
12.7	管道支吊架	1305	13.2.17	离心泵的常用标准	1444
12.7.1	支吊架分类	1305	13.2.18	高速泵	1447
12.7.2	管道支吊架的选用原则	1305	13.2.19	旋涡泵	1451
12.7.3	常用支吊架型式及其选用	1306	13.2.20	屏蔽电泵	1453
12.7.4	弹簧支吊架	1311	13.2.21	磁力驱动离心泵	1461
12.7.5	支吊架位置	1316	13.3	柱(活)塞泵	1467
12.7.6	管道载荷计算	1319	13.3.1	柱(活)塞泵类型、原理、 结构	1467
12.7.7	管道垂直位移值的计算	1323	13.3.2	柱(活)塞泵的性能和特性 参数	1470
12.7.8	支吊架的强度设计	1324	13.3.3	柱(活)塞泵的用途	1474
12.8	压力管道施工检验、 检查和试验	1324	13.3.4	柱(活)塞泵的标准规范	1475
12.8.1	常用压力管道工程施工验收 规范	1325	13.4	隔膜泵	1476
12.8.2	管道的检验、检查和试验	1326	13.4.1	机械驱动隔膜泵	1476
附录 A	金属管道材料的许用应力	1329	13.4.2	气压驱动隔膜泵	1476
附录 B	金属材料物理性质	1339	13.4.3	液压驱动隔膜泵	1478
附录 C	柔性系数和应力增大系数	1340	13.5	螺杆泵	1481
参考文献		1343	13.5.1	螺杆泵分类	1481
第 13 章 泵及其选用		1345	13.5.2	原理、特点和结构	1481
13.1	泵的分类、用途	1345	13.5.3	螺杆泵性能	1484
13.1.1	动力式泵(离心泵)分类	1345	13.5.4	螺杆泵的选用	1487
13.1.2	容积式泵分类	1345	13.5.5	螺杆泵标准规范	1487
13.1.3	各类型泵的近似极限排量 和压力	1345	13.5.6	螺杆泵定型产品	1488
13.1.4	各类型泵的特点	1346	13.6	单螺杆泵	1490
13.2	离心泵	1347	13.6.1	结构	1490
13.2.1	离心泵的工作原理	1347	13.6.2	工作原理	1490
13.2.2	液体在离心泵叶轮中流动的 速度三角形	1347	13.6.3	单螺杆泵的流量计算	1492
13.2.3	离心泵的特性参数和性能	1347	13.6.4	单螺杆泵的功率计算	1492
13.2.4	液体黏度对离心泵性能的 影响和修正	1373	13.6.5	单螺杆泵性能和特点	1492
13.2.5	液体中含空气(气体)对离心泵 性能的影响	1378	13.6.6	单螺杆泵的用途	1493
13.2.6	固体悬浮液对离心泵性能的影响	1379	13.6.7	单螺杆泵产品	1494
13.2.7	离心泵内的液体温升	1379	13.7	其它旋转式容积泵	1494
13.2.8	泵送系统	1380	13.7.1	齿轮泵	1494
13.2.9	泵送管路系统的流体摩擦阻力 (扬程损失)计算	1382	13.7.2	旋转式叶片泵	1494
			13.7.3	旋转式刚性滑动多叶片泵	1494

13.7.4	旋转式挠性叶片泵	1495
13.7.5	旋转式活塞泵	1495
13.7.6	其它旋转式容积泵性能	1495
13.8	泵的选用和采购	1497
13.8.1	泵的选型	1497
13.8.2	泵驱动机的选型	1499
13.8.3	泵的采购	1500
13.9	部分定型产品泵技术参数	1509
13.9.1	上海 KSB 泵有限公司 (中德合资厂)	1509
13.9.2	大连耐酸泵厂	1510
13.9.3	浙江萧山佳力管道油泵制造 有限公司	1510
13.9.4	中国航天工业总公司第十一研究所 (北京) 特种泵研究中心	1510
13.9.5	浙江苍南特种泵有限公司、浙江 大学化工机械研究所	1519
13.9.6	沈阳水泵厂	1520
13.9.7	大连耐酸泵厂液下泵	1523
13.9.8	江苏无锡市北山耐腐蚀设备厂 耐腐蚀卧式离心泵 (IHJ 型) ...	1523
13.9.9	磁力驱动离心泵	1537
13.9.10	上海东方泵业制造有限公司	1537
13.9.11	沈阳水泵厂	1537
13.9.12	上海东方泵业制造有限公司	1537
13.9.13	耐驰 (NETZSCH) 兰州泵业 有限公司	1542
13.9.14	江西新德工业泵制造厂	1545
参考文献		1574

第 14 章 压缩机、通风机

14.1	概述	1575
14.1.1	压缩机的分类	1575
14.1.2	容积式和透平式压缩机的特点 ..	1575
14.1.3	工作原理	1575
14.2	容积式压缩机	1576
14.2.1	分类、特点、主要性能参数	1576
14.2.2	往复活塞式压缩机	1576
14.2.3	其它类型容积式往复压缩机	1633
14.2.4	容积式回转压缩机	1638
14.3	透平式压缩机	1659
14.3.1	透平式压缩机简介	1659
14.3.2	透平式压缩机的热力学基础	1659
14.3.3	透平式压缩机的转子动力学	1674
14.3.4	离心式压缩机结构	1675
14.3.5	透平式压缩机辅助系统和 主要设备	1686

14.3.6	轴流式压缩机	1689
14.3.7	混合式压缩机	1697
14.3.8	透平式压缩机试验要点	1697
14.3.9	机组运行	1699
14.3.10	透平式压缩机的性能调节	1700
14.3.11	离心式压缩机的选用和采购	1701
14.3.12	轴流式压缩机的选型和采购	1707
14.3.13	驱动机	1708
14.3.14	常用气体的压力-焓图 (Mollier Diagram)	1717
14.4	通风机	1717
14.4.1	分类	1717
14.4.2	性能参数	1717
14.4.3	无量纲系数	1734
14.4.4	相似条件	1734
14.4.5	性能曲线	1736
14.4.6	离心式通风机	1736
14.4.7	轴流式通风机	1741
14.4.8	通风机的选用	1746
参考文献		1747

第 15 章 外购标准件

15.1	液面计	1748
15.1.1	玻璃板液面计标准系列及技术要求 (HG 21588—1995)	1748
15.1.2	透光式玻璃板液面计 (PN2.5MPa) (HG 21589.1—1995)	1750
15.1.3	透光式玻璃板液面计 (PN6.3MPa) (HG 21589.2—1995)	1753
15.1.4	反射式玻璃板液面计 (PN4.0MPa) (HG 21590—1995)	1753
15.1.5	视镜式玻璃板液面计 (常压) (HG 21591.1—1995)	1759
15.1.6	视镜式玻璃板液面计 (PN0.6MPa) (HG 21591.2—1995)	1760
15.1.7	玻璃板液面计的玻璃板 强度计算	1761
15.1.8	玻璃管液面计 (PN1.6MPa) (HG 21592—1995)	1762
15.1.9	钢与玻璃烧结液位计 (HG 21606—1995)	1765
15.1.10	防霜液面计 (HG/T 21550—1993)	1767
15.1.11	磁性液位计 (HG/T 21584—1995)	1771
15.1.12	碳钢玻璃浮子液面计 (ZBG 91002—1986)	1773

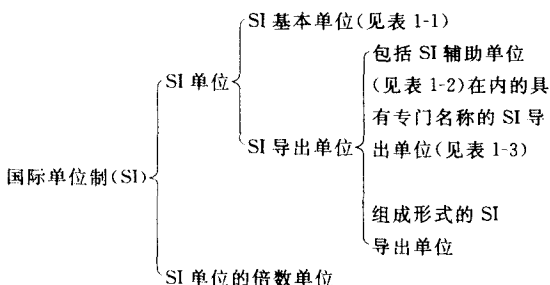
15.1.13	碳钢衬 F-46 玻璃浮子液面计 (ZBG 91003—1986)	1774	15.4.6	手动柱塞式铸不锈钢放料阀 (HG/T 21551.3—1995)	1801
15.1.14	湖北楚冠实业股份有限公司 液位计简介	1775	15.4.7	电动柱塞式铸钢放料阀 (HG/T 21551.4—1995)	1801
15.2	视镜	1778	15.4.8	电动柱塞式铸不锈钢放料阀 (HG/T 21551.5—1995)	1805
15.2.1	钢与玻璃烧结视镜 (HG 21605—1995)	1778	15.5	石油储罐呼吸阀 (SY/T 0511—1996)	1810
15.2.2	组合式视镜 (HG 21505—1992)	1779	15.5.1	适用范围	1810
15.2.3	带灯视镜 (HG/T 21575—1994)	1781	15.5.2	定义	1810
15.2.4	压力容器视镜 (HG/T 21619— 21620—1986)	1784	15.5.3	呼吸阀操作压力分级和 结构型式	1810
15.2.5	衬里视镜 (HGJ 518—1990)	1786	15.5.4	呼吸阀规格	1810
15.2.6	硬聚氯乙烯视镜 (HGJ 519—1990)	1787	15.5.5	呼吸阀产品型号及其表示方法	1810
15.3	丝网除沫器 (HG/T 21618—1998)	1788	15.5.6	呼吸阀技术性能	1811
15.3.1	适用范围	1788	15.5.7	呼吸阀的材料	1811
15.3.2	结构	1788	15.5.8	技术要求	1811
15.3.3	型式	1788	15.5.9	阀体水压试验	1811
15.3.4	结构尺寸、构件质量	1788	15.5.10	呼吸阀的开启压力和通气 量试验	1811
15.3.5	技术要求	1791	15.5.11	呼吸阀泄漏量的试验	1812
15.3.6	丝网除沫器的选用	1792	15.5.12	全天候呼吸阀的 低温试验	1812
15.3.7	标记和标记示例	1792	15.6	石油储罐阻火器 (SY/T 0512—1996)	1812
15.3.8	包装、储存、维护	1793	15.6.1	适用范围	1812
15.3.9	丝网除沫器的工艺计算	1793	15.6.2	阻火器的结构、规格	1813
15.4	放料阀	1796	15.6.3	阻火器型号及其表示方法	1813
15.4.1	手动上展式铸铁放料阀 (HG 5-2— 1981)、手动上展式铸钢放料阀 (HG 5-6—1981)、手动上展式铸 不锈钢放料阀 (HG 5-10—1981)	1796	15.6.4	阻火器的材料	1813
15.4.2	手动下展式铸铁放料阀 (HG 5-3— 1981)、手动下展式铸钢放料阀 (HG 5-7—1981)、手动下展式铸 不锈钢放料阀 (HG 5-11—1981)	1796	15.6.5	阻火器技术性能	1813
15.4.3	气动上展式铸铁放料阀 (HG 5-1423—1981)、气动上展式 铸钢放料阀 (HG 5-1424—1981)、 气动上展式铸不锈钢放料阀 (HG 5-1425—1981)	1799	15.6.6	阻火器隔爆结合面的要求	1813
15.4.4	手动柱塞式铸铁放料阀 (HG/T 21551.1—1995)	1799	15.6.7	阻火器的试验方法	1813
15.4.5	手动柱塞式铸钢放料阀 (HG/T 21551.2—1995)	1801	参考文献		1815
			第 16 章	腐蚀	1816
			16.1	概述	1816
			16.2	金属腐蚀	1816
			16.2.1	全面腐蚀	1816
			16.2.2	局部腐蚀	1816
			16.2.3	防腐蚀技术	1816
			16.3	高分子材料腐蚀	1817
			16.3.1	高分子材料腐蚀分类	1817
			16.3.2	高分子材料的动态耐腐蚀性能	1817
			16.3.3	耐候性和耐辐射性	1818
			16.4	环境保护	1818
			附录		1819

第1章 常用资料

1.1 常用计量单位及单位换算

1.1.1 国际单位制及我国法定计量单位

国际单位制 (Le Systeme International d'Unites) (简称为 SI) 是在 1960 年第 11 届国际计量大会上通过的。其构成如下:



我国法定计量单位包括:SI 单位[包括 SI 基本单位(表 1-1)、SI 辅助单位(表 1-2)、SI 导出单位(表 1-3)]、可与 SI 单位并用的我国法定计量单位(表 1-4)、

SI 单位中倍数和分数词头(表 1-5)。

表 1-1 SI 基本单位

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

- 注: 1. 圆括号内的名称, 是它前面的名称的同义词。
2. 方括号内的文字与其前的文字合称为单位名称的全称。方括号内的字, 在不引起混淆、误解的情况下, 可以省略。
3. 人民生活 and 贸易中, 质量习惯称为重量。

表 1-2 SI 辅助单位

量的名称	单位名称	单位符号
[平面]角	弧度(radian)	rad
立体角	球面度(steradian)	sr

表 1-3 具有专门名称的 SI 导出单位

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

表 1-4 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	量的名称	单位名称	单位符号	与 SI 单位的关系
时间	分	min	$1\text{min}=60\text{s}$	体积	升	L(l)	$1\text{L}=1\text{dm}^3=10^{-3}\text{m}^3$
	[小]时	h	$1\text{h}=60\text{min}=3600\text{s}$	质量	吨	t	$1\text{t}=10^3\text{kg}$
	日(天)	d	$1\text{d}=24\text{h}=86400\text{s}$		原子质量单位	u	$1\text{u}\approx 1.660540\times 10^{-27}\text{kg}$
[平面]角	度	$^{\circ}$	$1^{\circ}=(\pi/180)\text{rad}$	旋转速度	转每分	r/min	$1\text{r/min}=(1/60)\text{s}^{-1}$
	[角]分	'	$1'=(1/60)^{\circ}=(\pi/10800)\text{rad}$	长度	海里	n mile	$1\text{n mile}=1852\text{m}$ (只用于航行)
	[角]秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000)\text{rad}$				

续表

量的名称	单位名称	单位符号	与 SI 单位的关系	量的名称	单位名称	单位符号	与 SI 单位的关系
速度	节	kn	1kn=1n mile/h= (1852/3600)m/s (只用于航行)	级差	分贝	dB	
				线密度	特[克斯]	tex	1tex=10 ⁻⁶ kg/m
				面积	公顷	hm ²	1hm ² =10 ⁴ m ²
能	电子伏	eV	1eV≈1.602177×10 ⁻¹⁹ J				

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。

表 1-5 SI 单位中构成十进倍数和分数的词头

因数	词头名称	词头符号	因数	词头名称	词头符号
10 ²⁴	尧[它](yotta)	Y	10 ⁻¹	分[deci]	d
10 ²¹	泽[它](zetta)	Z	10 ⁻²	厘[centi]	c
10 ¹⁸	艾[可萨](exa)	E	10 ⁻³	毫[milli]	m
10 ¹⁵	拍[它](peta)	P	10 ⁻⁶	微[micro]	μ
10 ¹²	太[拉](tera)	T	10 ⁻⁹	纳[诺](nano)	n
10 ⁹	吉[咖](giga)	G	10 ⁻¹²	皮[可](pico)	p
10 ⁶	兆(mega)	M	10 ⁻¹⁵	飞[母托](femto)	f
10 ³	千(kilo)	k	10 ⁻¹⁸	阿[托](atto)	a
10 ²	百(hecto)	h	10 ⁻²¹	仄[普托](zepto)	z
10 ¹	分(deca)	da	10 ⁻²⁴	幺[科托](yocto)	y

1.1.2 常用单位换算

常用单位换算见表 1-6~表 1-21。

表 1-6 长度单位换算

米 (m)	厘米 (cm)	英尺 (ft)	英寸 (in)	米 (m)	厘米 (cm)	英尺 (ft)	英寸 (in)
1	100	3.2808	39.37	0.3048	30.48	1	12
0.01	1	0.0328	0.3937	0.0254	2.54	0.0833	1

注：1 微米 (μm)=10⁻⁶ 米；1 丝=0.1 毫米；1 密耳 (mil)=10⁻³ 英寸；1 公里 (km)=2 市里；1 市里=150 市丈=1500 市尺；1 码 (yd)=3 英尺=0.9144 米；1 米=3 市尺；1 哩 (英里)(mile)=1609 米；1 浬 (国际海里) (n mile)=1852 米。

表 1-7 面积单位换算

米 ² (m ²)	厘米 ² (cm ²)	英尺 ² (ft ²)	英寸 ² (in ²)
1	10 ⁴	10.764	1550
10 ⁻⁴	1	1.0764×10 ⁻³	0.155
0.0929	929	1	144
6.4516×10 ⁻⁴	6.4516	6.944×10 ⁻³	1

注：1 公里² (km²)=100 公顷 (ha)=10⁴ 公亩 (a)=10⁶ 米²；1 公顷 (ha)=15 市亩；1 英亩 (acre)=4047 米²=43560 英尺²。

表 1-8 体积和容积单位换算

米 ³ (m ³)	升或分米 ³ (1 或 dm ³)	英加仑 (Imp. gal)	美加仑 (U. S. gal)	英尺 ³ (ft ³)	英寸 ³ (in ³)
1	10 ³	220	264.2	35.315	61024
10 ⁻³	1	0.22	0.2642	0.0353	61.02
0.0045	4.546	1	1.201	0.1605	277.4
3.785×10 ⁻³	3.785	0.8327	1	0.1337	231
0.0283	28.317	6.2288	7.4805	1	1728
1.64×10 ⁻⁵	0.0164	3.605×10 ⁻³	4.329×10 ⁻³	5.787×10 ⁻⁴	1

注：1 石油桶 (bbl)=35 英加仑=42 美加仑=158.99 升；1 品脱 (pint)=8 英加仑=36.368 升；1 美蒲式耳 (U. S. bushel)≈9.309 美加仑；1 英蒲式耳 (Imp. bushel)=8 英加仑。

表 1-9 质量 (重量) 单位换算

吨 (t)	千克(公斤) (kg)	克 (g)	英吨 ^① (tn)	美吨 ^① (shn)	磅 ^② (lb)
1	10 ³	10 ⁶	0.9842	1.1023	2204.6
10 ⁻³	1	10 ³	9.842×10 ⁻⁴	1.1023×10 ⁻³	2.2046
10 ⁻⁶	10 ⁻³	1	9.842×10 ⁻⁷	1.1023×10 ⁻⁶	2.2046×10 ⁻³
1.0161	1016.1	1.0161×10 ⁶	1	1.12	2240
0.9072	907.2	9.072×10 ⁵	0.8929	1	2000
0.4536×10 ⁻³	0.4536	453.6	4.464×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	1

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

② 指常衡。金衡 1 盎司 (oz)=1/12 金衡 (或药用) 磅=31.104 克；1 金衡磅=373.24 克。

注：1 斯勒格 (slug)=32.174 磅；1 盎司 (oz)=1/16 磅=28.35 克^②；1 克拉 (carat)=200 毫克；1 格令 (grain)=64.8 毫克；1 市担=100 市斤；1 千克 (公斤)=2 市斤=20 市两；1 吨=10 公担 (q)=20 市担=2000 市斤。

表 1-10 相对密度、波美度和 API 度对照

$$\text{波美度}(^{\circ}\text{Bé}) = 145 - \frac{145}{\text{相对密度}} \quad (\text{比水密度大时})$$

$$\text{波美度}(^{\circ}\text{Bé}) = \frac{140}{\text{相对密度}} - 130 \quad (\text{比水密度小时})$$

$$\text{API 度}(^{\circ}\text{API}) = \frac{141.5}{\text{相对密度}} - 131.5$$

相对密度 60°/60°	°Bé	°API	相对密度 60°/60°	°Bé	°API	相对密度 60°/60°	°Bé	°API	相对密度 60°/60°	°Bé	°API
0.600	103.33	104.33	0.705	68.58	69.21	0.810	42.84	43.19	0.915	23.01	23.14
0.605	101.40	102.38	0.710	67.18	67.80	0.815	41.78	42.12	0.920	22.17	22.30
0.610	99.51	100.47	0.715	65.80	66.40	0.820	40.73	41.06	0.925	21.35	21.47
0.615	97.64	98.58	0.720	64.44	65.03	0.825	39.70	40.02	0.930	20.54	20.65
0.620	95.81	96.73	0.725	63.10	63.67	0.830	38.67	38.98	0.935	19.73	19.84
0.625	94.00	94.90	0.730	61.78	62.34	0.835	37.66	37.96	0.940	18.94	19.03
0.630	92.22	93.10	0.735	60.48	61.02	0.840	36.67	36.95	0.945	18.15	18.24
0.635	90.47	91.33	0.740	59.19	59.72	0.845	35.68	35.96	0.950	17.37	17.45
0.640	88.75	89.59	0.745	57.92	58.43	0.850	34.71	34.97	0.955	16.60	16.67
0.645	87.05	87.88	0.750	56.67	57.17	0.855	33.74	34.00	0.960	15.83	15.90
0.650	85.38	86.19	0.755	55.43	55.92	0.860	32.79	33.03	0.965	15.08	15.13
0.655	83.74	84.53	0.760	54.21	54.68	0.865	31.85	32.08	0.970	14.33	14.38
0.660	82.12	82.89	0.765	53.01	53.47	0.870	30.92	31.14	0.975	13.59	13.63
0.665	80.53	81.28	0.770	51.82	52.27	0.875	30.00	30.21	0.980	12.86	12.89
0.670	78.96	79.69	0.775	50.65	51.08	0.880	29.09	29.30	0.985	12.13	12.15
0.675	77.41	78.13	0.780	49.49	49.91	0.885	28.19	28.39	0.990	11.41	11.43
0.680	75.88	76.59	0.785	48.34	48.75	0.890	27.30	27.49	0.995	10.70	10.71
0.685	74.38	75.07	0.790	47.22	47.61	0.895	26.42	26.60	1.000	10.00	10.00
0.690	72.90	73.57	0.795	46.10	46.49	0.900	25.56	25.72			
0.695	71.44	72.10	0.800	45.00	45.38	0.905	24.70	24.85			
0.700	70.00	70.64	0.805	43.91	44.28	0.910	23.85	23.99			
相对密度 60°/60°	°Bé		相对密度 60°/60°	°Bé		相对密度 60°/60°	°Bé		相对密度 60°/60°	°Bé	
1.010	1.44		1.260	29.92		1.510	48.97		1.760	62.61	
1.020	2.84		1.270	30.83		1.520	49.61		1.770	63.08	
1.030	4.22		1.280	31.72		1.530	50.23		1.780	63.54	
1.040	5.58		1.290	32.60		1.540	50.84		1.790	63.99	
1.050	6.91		1.300	33.46		1.550	51.45		1.800	64.44	
1.060	8.21		1.310	34.31		1.560	52.05		1.810	64.89	
1.070	9.49		1.320	35.15		1.570	52.64		1.820	65.33	
1.080	10.74		1.330	35.98		1.580	53.23		1.830	65.77	
1.090	11.97		1.340	36.79		1.590	53.81		1.840	66.20	
1.100	13.18		1.350	37.59		1.600	54.38		1.850	66.62	
1.110	14.37		1.360	38.38		1.610	54.94		1.860	67.04	
1.120	15.54		1.370	39.16		1.620	55.49		1.870	67.46	
1.130	16.68		1.380	39.93		1.630	56.04		1.880	67.87	
1.140	17.81		1.390	40.68		1.640	56.59		1.890	68.28	
1.150	18.91		1.400	41.43		1.650	57.12		1.900	68.68	
1.160	20.00		1.410	42.16		1.660	57.65		1.910	69.08	
1.170	21.07		1.420	42.89		1.670	58.17		1.920	69.48	
1.180	22.12		1.430	43.60		1.680	58.69		1.930	69.87	
1.190	23.15		1.440	44.31		1.690	59.20		1.940	70.26	
1.200	24.17		1.450	45.00		1.700	59.71		1.950	70.64	
1.210	25.17		1.460	45.68		1.710	60.20		1.960	71.02	
1.220	26.15		1.470	46.36		1.720	60.70		1.970	71.40	
1.230	27.11		1.480	47.03		1.730	61.18		1.980	71.77	
1.240	28.06		1.490	47.68		1.740	61.67		1.990	72.14	
1.250	29.00		1.500	48.33		1.750	62.14		2.000	72.50	

表 1-11 力单位换算

牛 顿 (N)	千克力 (kgf)	达因 (dyn)	磅 (lb)	磅达 (pdl)
1	0.102	10^5	0.2248	7.233
9.807	1	9.807×10^5	2.2046	70.93
10^{-5}	1.02×10^{-6}	1	2.248×10^{-6}	7.233×10^{-5}
4.448	0.4536	4.448×10^5	1	32.174
0.1383	1.41×10^{-2}	1.383×10^4	3.108×10^{-2}	1

注：1 斯坦 (sthène) (sn) = 1000 牛顿 = 102 千克力。

表 1-12 压力单位换算

牛顿/米 ² (N/m ²) 或帕斯卡 (Pa)	巴 (bar)	千克力/厘米 ² (kgf/cm ²) 或工程大气压 (at)	磅/英寸 ² psi (lb/in ²)	大气压 (atm) (标准大气压) ^①	毫米汞柱 (0℃) (mmHg)	英寸汞柱 (0℃) (inHg)	毫米水柱 (15℃) (mmH ₂ O)	英寸水柱 (15℃) (inH ₂ O)
1	10^{-5}	1.02×10^{-5}	1.45×10^{-4}	9.869×10^{-6}	7.501×10^{-3}	2.953×10^{-4}	0.1021	4.018×10^{-3}
10^5	1	1.020	14.5	0.9869	750.1	29.53	1.021×10^4	401.8
9.807×10^4	0.9807	1	14.22	0.9678	735.6	28.96	1.001×10^4	394.1
6.895×10^3	6.895×10^{-2}	7.031×10^{-2}	1	6.805×10^{-2}	51.71	2.036	7.037×10^2	27.7
1.013×10^5	1.013	1.033	14.7	1	760	29.92	1.034×10^4	407.2
1.333×10^2	1.333×10^{-3}	1.36×10^{-3}	1.934×10^{-2}	1.316×10^{-3}	1	3.937×10^{-2}	13.61	0.5357
3.386×10^3	3.386×10^{-2}	3.453×10^{-2}	0.4912	3.342×10^{-2}	25.4	1	3.456×10^2	13.61
9.798	9.798×10^{-5}	9.991×10^{-5}	1.421×10^{-3}	9.67×10^{-5}	7.349×10^{-2}	2.893×10^{-3}	1	3.937×10^{-2}
2.489×10^2	2.489×10^{-3}	2.538×10^{-3}	3.609×10^{-2}	2.456×10^{-3}	1.867	7.349×10^{-2}	25.4	1

① 标准大气压即物理大气压。

注：1 达因/厘米² [dyn/cm²] = 1 巴利 (barye) = 1 微巴 (μbar) = 10^{-6} 巴 (bar)；1 毫米水柱 (mmH₂O) (4℃) = 1 公斤/米² (kg/m²)；1 毫米汞柱 (mmHg) (0℃) = 1 托 (Torr)；1 磅达/英尺² (pdl/ft²) = 1.488 牛顿/米² (N/m²)。

表 1-13 表面张力单位换算

达因/厘米 (dyn/cm)	克力/厘米 (gf/cm)	千克力/米 (kgf/m)	磅/英尺 (lb/ft)
1	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-4}	6.854×10^{-5}
980.7	1	0.1	6.72×10^{-2}
9807	10	1	0.672
14592	14.88	1.488	1

表 1-14 速度单位换算

米/秒 (m/s)	千米(公 里)/时 (km/h)	英尺/秒 (ft/s)	英尺/分 fpm (ft/min)	英里(哩)/时 mph (mile/h)
1	3.600	3.281	1.969×10^2	2.237
0.2778	1	9.113×10^{-1}	54.68	0.6214
0.3048	1.097	1	60.00	0.6818
5.080×10^{-3}	1.829×10^{-2}	1.667×10^{-2}	1	1.136×10^{-2}
0.4470	1.609	1.467	88.00	1

注：1 节 (knot) = 1 海里/时 = 1.852 公里/时 = 1.15 英里/时。

表 1-15 体积流量单位换算

米 ³ /时 (m ³ /h)	米 ³ /分 (m ³ /min)	米 ³ /秒 (m ³ /s)	英尺 ³ /时 (ft ³ /h)	英尺 ³ /秒 (ft ³ /s)	英加仑/分 gpm (Imp. gal/min)	美加仑/分 gpm (U. S. gal/min)
1	1.667×10^{-2}	2.778×10^{-4}	35.31	9.81×10^{-3}	3.667	4.403
60	1	1.667×10^{-2}	2.119×10^3	0.5886	2.1998×10^2	2.642×10^2
3.6×10^3	60	1	1.271×10^5	35.31	1.32×10^4	1.585×10^4
2.832×10^{-2}	4.72×10^{-4}	7.866×10^{-6}	1	2.778×10^{-4}	0.1038	0.1247
1.019×10^2	1.699	2.832×10^{-2}	3.6×10^3	1	3.737×10^2	4.488×10^2
0.2728	4.546×10^{-3}	7.577×10^{-5}	9.632	2.676×10^{-3}	1	1.201
0.2271	3.785×10^{-3}	6.309×10^{-5}	8.021	2.228×10^{-3}	0.8327	1