

压力容器设计 数据速查手册

陈泽溥 戴季煌 陈朝晖 等编

YALI
RONGQI
SHEJI
SHUJU
SUCHA
SHOUCE



化学工业出版社

压力容器设计 数据速查手册

陈泽溥 戴季煌 陈朝晖 等编

YALI
RONGQI
SHEJI
SHUJU
SUCHA
SHOUCE



化学工业出版社

·北京·

本书在新版《固定式压力容器安全技术监察规程》(TSG R004—2009)、《压力容器》(GB 150.1~4—2011)正式实施,《热交换器》等一系列压力容器设计主要标准相继改版,大量设计资料、数据随之改变的情况下,在参照现有资料的基础上,汇集了一套新的压力容器设计资料,包括数据、公式、结构、标准等。其中,对于涉及标准变化的全部资料、数据进行了更新,对于设计文件中多发的缺漏内容进行了增编,对于并不常用的内容进行了删减,以期给读者带来更大的方便。

本书的主要内容包括:基础资料;设备安装地的气象、地震数据;介质特性;压力容器常用钢材;零部件;有关计算;其他,是压力容器设计的有效工具书。

本书可供压力容器设计、制造与监察、管理人员使用,也可供科研人员和高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

压力容器设计数据速查手册/陈泽溥,戴季煌,陈朝晖等编. —北京:化学工业出版社,2012.4

ISBN 978-7-122-13492-9

I. 压… II. ①陈…②戴…③陈… III. 压力容器-设计-数据-手册 IV. TH490.22-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第025082号

责任编辑:辛田

文字编辑:冯国庆

责任校对:边涛

装帧设计:尹琳琳

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:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张27¼ 字数742千字 2012年8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:98.00元

版权所有 违者必究

前 言

压力容器是广泛应用于诸多行业的特种设备。由于其操作介质、操作工况复杂，一旦发生事故，往往出现泄漏、爆炸、火灾，造成人身伤亡、环境污染、装置停产等严重后果和危险。因而，对于容器的设计、制造、检验、安装、管理等环节，首先是对容器的设计环节提出了越来越高的要求。压力容器设计资料包括数据、公式、结构、标准等，是压力容器设计必需的支持与保证，对于设计的正确性、合理性、可靠性有着重要作用。可是，由于相关资料众多，查找很为不便。所以，内容准确、查找快捷的设计资料（数据）手册历来受到设计人员的欢迎。

然而，近年来，新版《固定式压力容器安全技术监察规程》（TSG R004—2009）正式实施，新版《压力容器》（GB 150.1~4—2011）开始执行，新版《热交换器》、《卧式容器》、《塔式容器》、《钢制球形储罐》等标准也将相继发布。伴随着压力容器设计主要标准的改版，大量设计资料、数据均相应改变。为了跟进这一形势和局面，我们特编此书，在参照现有设计资料、数据的基础上对涉及标准变化的全部内容进行了更新，并依据历次压力容器设计单位国家监督检查和多年压力容器设计许可鉴定评审等工作中的发现的问题，对于设计文件多发的缺漏内容进行了增编，同时，对于并非常用的内容进行了删减，以期在设计等人员的使用带来更大的方便。

本书共分7章，依次为：基础资料；设备安装地的气象、地震数据；介质特性；压力容器常用钢材；零部件；有关计算；其他。

本书的主要编写人为陈泽溥、戴季煌、陈朝晖、高磊；审定人为陈泽溥、陈朝晖。在编写过程中，戈兆文、黄嘉琥对有关内容进行了审阅。

由于编者水平有限，希望读者对书中的不足之处提出宝贵意见。也希望本书能对读者的工作有所帮助。

编者

目 录

第 1 章 基础资料	1
1.1 压力容器术语	1
1.1.1 一般术语	1
1.1.2 基本术语	1
1.1.3 参数术语	3
1.2 相关单位及单位换算	4
1.2.1 SI 基本单位	4
1.2.2 SI 辅助单位	4
1.2.3 SI 导出单位	4
1.2.4 SI 单位的倍数单位	5
1.2.5 与 SI 并用的我国法定计量单位	6
1.2.6 常用单位换算	6
1.3 常用几何体特性	8
1.3.1 常用几何体的面积、体积公式及重心位置	8
1.3.2 常用几何体截面的力学特性	9
第 2 章 设备安装地的气象、地震数据	12
2.1 气象数据	12
2.1.1 我国各地基本风压值	12
2.1.2 我国各地基本雪压值	12
2.2 地震资料	12
第 3 章 介质特性	18
3.1 介质危害性	18
3.1.1 化学介质毒性危害程度分类	18
3.1.2 爆炸危险化学介质	20
3.2 常用液化气、液化石油气、饱和水蒸气在不同温度下的饱和蒸气压	24
3.2.1 液氨的饱和蒸气压	24
3.2.2 液氯的饱和蒸气压	24
3.2.3 液化石油气的饱和蒸气压	25
3.2.4 乙烷的饱和蒸气压	25
3.2.5 丙烷的饱和蒸气压	25
3.2.6 乙烯的饱和蒸气压	25
3.2.7 丙烯的饱和蒸气压	25
3.2.8 正丁烷的饱和蒸气压	26
3.2.9 异丁烷的饱和蒸气压	26

3.2.10	二氧化硫的饱和蒸气压	26
3.2.11	异丁烯的饱和蒸气压	26
3.2.12	1-丁烯的饱和蒸气压	27
3.2.13	水蒸气的饱和蒸气压	27
第4章 压力容器常用钢材		29
4.1	压力容器常用钢材化学成分	29
4.1.1	钢板	29
4.1.2	钢管	32
4.1.3	锻件	35
4.2	常用钢板尺寸偏差	38
4.2.1	钢板	38
4.2.2	钢管	40
4.3	压力容器常用钢材物理性能	45
4.4	压力容器用钢材力学性能	46
4.4.1	钢板	46
4.4.2	钢管	50
4.4.3	锻件	51
4.5	常用钢号推荐选用的焊接材料	54
4.6	国内外钢号近似对照	56
第5章 零部件		62
5.1	受压元件	62
5.1.1	压力容器公称直径	62
5.1.2	钢制压力容器用封头	62
5.1.3	设备法兰及垫片、紧固件	84
5.1.4	管法兰及垫片、紧固件	108
5.1.5	钢制人孔和手孔	218
5.1.6	不锈钢制人孔和手孔	250
5.1.7	液面计	266
5.2	非受压元件	293
5.2.1	丝网除沫器	293
5.2.2	塔盘及其专用紧固件	300
5.2.3	填料	308
5.2.4	梁型气体喷射式填料支承板	313
5.2.5	容器支座	320
第6章 有关计算		376
6.1	高压密封结构	376
6.1.1	金属平垫密封	376
6.1.2	双锥密封	376
6.1.3	伍德密封	379

6.1.4	八角垫和椭圆垫密封	382
6.2	容器的局部容积	383
6.2.1	水平圆筒的局部容积	383
6.2.2	标准椭圆形封头和球形容器的局部容积	384
6.3	接管插入筒体的最小长度	386
6.4	裙座上沿至封头切线的距离	387
6.5	角钢支腿的地脚螺栓节圆半径	388
6.6	栅板强度	388
6.7	塔盘及其支撑梁的强度	389
6.7.1	设计载荷	389
6.7.2	塔盘板、支承梁的应力和挠度	389
6.7.3	支承梁的允许挠度值	390
6.8	吊架的强度和刚性	390
6.8.1	强度计算	390
6.8.2	刚度计算	391
第7章	其他	392
7.1	板材最小弯曲半径	392
7.2	管材最小弯曲半径	393
7.3	焊接结构	394
7.3.1	焊接接头设计原则	394
7.3.2	焊接接头表示方法	394
7.3.3	对接焊接接头设计	394
7.3.4	接管与壳体间焊接接头设计	395
7.3.5	角接接头、T形焊接接头及搭接接头设计	396
7.3.6	换热器管板与壳体、管板与换热管之间的焊接接头设计	396
附录	压力容器设计有关标准及标准号	420
参考文献	430

第 1 章 基础资料

1.1 压力容器术语

1.1.1 一般术语

1.1.1.1 压力 (pressure)

垂直作用在物体单位面积上的力，即物理学中的压强。除注明者外，压力均指表压力。

注 1：国际单位制 (SI) 中的压力单位是帕 (斯卡)，1 帕 = 1 牛顿/米²，即：1 Pa = 1 N/m²。

注 2：环境大气压力 (ambient atmosphere pressure) 是指压力容器所在地的大气压力，在工程设计中如无特殊要求，一般取环境大气压力为 0.1MPa (a)。

注 3：绝对压力 (absolute pressure) 是以绝对真空时零压力为基准计量的压力。在压力单位后加字母 a 表示。

注 4：表压力 (gauge pressure) 是指容器内部压力与环境大气压力的差值。在压力单位后加字母 g 表示。

注 5：在压力容器设计中，如无特别指明，谈及压力即指表压力。表压力为负值时，表明容器为真空状态，全真空 (full vacuum) 时表压力为 -0.1MPa (g)。

注 6：真空度 (degree of vacuum) 表示真空状态下气体的稀薄程度，即是负表压力的绝对值，单位仍然是 Pa。

1.1.1.2 温度 (temperature)

表示物体冷热程度的度量。

注 1：在国际单位制中采用绝对温标，或称热力学温标，以符号 T 表示，单位是 K。常用的还有摄氏温标 t (°C) 和华氏温标 t (°F)。其间关系如下：

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$$

$$t(^{\circ}\text{F}) = 1.8t(^{\circ}\text{C}) + 32$$

注 2：环境温度 (ambient temperature)，是指容器所在地周围的媒质温度，通常为容器周围的大气温度。

注 3：月平均最低气温 (mean monthly minimum temperature)，是指当月各天的最低气温值相加后除以当月天数。

注 4：极端温度 (extreme temperature) 是指历年来的最低 (最高) 气温。

1.1.1.3 介质 (物料) (contents, fluids)

容器使用过程中的内部盛装物。

注 1：使用过程可以指正常生产过程，也可以是切换再生、吹扫清洗等其他非正常生产过程。

注 2：在正常生产过程中，习惯地称容器的内装介质为物料。

注 3：在过程工业中，由于绝大部分介质或物料是以“流体”形式存在的，所以在技术文件中也常以“fluids” (流体) 作为介质或物料。

注 4：流体 (fluids) 是指气体、液体、蒸汽以及它们的混合物，其中可以含有一定量的固体悬浮物质。

1.1.2 基本术语

1.1.2.1 压力容器 (pressure vessel)

压力作用下盛装流体介质的密闭容器。

注 1：“密闭”在这里是指以容器对外连接管口为界限的范围内能够形成一个独立的承压空间。

注2: 容器在正常操作时, 其内部压力高于外部者, 均称为内压力容器 (vessel under internal pressure)。

注3: 容器在正常操作时, 其外部压力高于内部者, 均称为外压力容器 (vessel under external pressure)。

注4: 在外压容器中, 如果容器内部介质静压力 (绝对压力) 小于环境大气压, 即在真空状态下工作的容器, 这种容器又可称为真空容器 (vacuum vessel)。

1.1.2.2 常压容器 (atmospheric vessel)

与环境大气直接连通或工作 (表) 压力为零的容器。

注: 在我国压力容器标准体系中, 设计压力在大于 -0.02MPa (g) 、小于 0.1MPa (g) 之间的压力容器称为“常压容器”。

1.1.2.3 低温容器

GB 150 规定的低温容器是指设计温度低于或等于 -20°C 的碳钢或低合金钢制压力容器; 设计温度低于 -196°C 的奥氏体不锈钢制压力容器。

1.1.2.4 固定式压力容器 (stationary pressure vessel)

安装在固定位置处使用的压力容器。

注: 对于为了某一特定用途、仅在装置或场区内部搬动、使用的压力容器亦应按固定式压力容器建造。

1.1.2.5 移动式压力容器 (transportable pressure vessel)

安装在交通工具上、作为运输装备的压力容器。

注: 移动式压力容器包括铁路罐车、汽车罐车、长管拖车、罐式集装箱、管束式集装箱等产品。

1.1.2.6 腔 (室) (chamber)

容器中介质所在的相对独立的密闭空间。

注1: “密闭空间”在这里是指以该腔 (室) 对外连接管口为界限的范围内能够形成一个独立的承压空间。

注2: 一台容器可以由单个腔 (室) 构成, 也可由多个腔 (室) 组成, 如夹套容器、换热器等。

1.1.2.7 元件 (part, component)

组成压力容器的基本单元零件, 如各种形状壳体、封头、法兰、垫板、支承圈等。

注1: 一台完整的压力容器既有受压元件又有非受压元件。

注2: 受压元件 (pressure part) 是指承受压力载荷 (包括内压或外压) 的容器零部件, 指保存、封闭压力介质的容器壳体元件和其他密闭元件、开孔补强圈、外压加强圈等。

注3: 非受压元件 (non-pressure part) 是指为满足使用要求与容器直接或间接连接而不承受 (或不考虑) 压力载荷的零部件, 如支座 (或吊耳) 及其垫板、保温圈、塔盘支承圈等。

非受压元件通常是承载 (非压力载荷) 元件。

1.1.2.8 建造 (construction)

包括如下一系列工作的整个过程: 材料选择、设计、制造、检验、试验、验收、表面清理和涂覆、超压泄放装置的选用以及合格出证等。

1.1.2.9 计算厚度 (calculated thickness)

计算厚度指由 GB 150.3 中的公式计算得到的厚度。需要时, 尚应计入其他载荷所需厚度。

1.1.2.10 设计厚度 (design thickness)

设计厚度指计算厚度与腐蚀裕量之和。

1.1.2.11 名义厚度 (nominal thickness)

名义厚度指设计厚度加上钢材厚度负偏差后向上圆整至钢材标准规格的厚度, 即标注在图样上的厚度。

1.1.2.12 有效厚度 (effective thickness)

有效厚度指名义厚度减去腐蚀裕量和钢材厚度负偏差。

1.1.2.13 最小材料厚度 (minimum required thickness)

受压元件成形后在保证设计使用年限内的强度、刚度或稳定性所要求的最小厚度。

1.1.3 参数术语

1.1.3.1 容积 (V) (volume)

对于容器或容器腔(室),是指在其对外连接的第一个密封面或第一道焊缝坡口面范围内的内部体积,扣除不可拆内件的体积。

注:特定容积可使用修饰词表示,如几何容积、公称容积。

1.1.3.2 工作压力 (p_w) (operating pressure)

在正常工作情况下,容器顶部可能达到的最高压力。

注1:“正常工作情况”是指在连续正常操作的生产过程中,该容器能够在其规定的设计条件(环境、物料、温度、压力等)范围内正常、安全运行的状态。

注2:工作压力有时亦称操作压力。

1.1.3.3 工作温度 (t_w) (operating temperature, working temperature)

在规定的正常工作情况下,容器内物料的温度。

注1:国内外压力容器行业的技术文件中,“工作温度”均指物料的温度。

注2:一台容器内不同部位的物料温度可能不同,必要时应分别指出各部位工作温度。

注3:根据工作温度,必要时还应考虑容器环境温度影响,通过传热计算或工程实际经验来确定容器元件的金属温度。

注4:元件的金属温度(metal temperature)是指沿元件金属截面的温度平均值。

注5:工作温度有时亦称操作温度。

1.1.3.4 设计压力 (p_d) (design pressure)

设定的容器顶部最高压力,与相应的设计温度一起作为该容器的基本设计条件,其值不低于工作压力。

注:一台压力容器或一个独立的压力腔(室),在某一特定操作工况设计条件下,具有唯一的设计压力值。

1.1.3.5 设计温度 (t_d) (design temperature)

容器在正常操作情况下,设定的元件金属温度(沿元件金属截面的温度平均值)。设计温度与设计压力一起作为设计载荷条件。

注:容器各部位在正常工作状态下的金属温度不同时,可分别设定每部分的设计温度。即一台压力容器或一个独立的压力腔(室),在某一操作工况设计条件下,可以同时具有不止一个设计温度值。

1.1.3.6 试验压力 (p_T) (test pressure)

在进行压力试验时容器顶部的压力。

1.1.3.7 试验温度 (t_T) (test temperature)

在进行压力试验时容器壳体的金属温度。

注:为确保容器在压力试验时不致发生低应力脆性断裂,压力容器建造标准一般都有规定:试验时的容器壳体金属温度应保持在某一规定温度之上。

1.1.3.8 计算压力 (p_c) (calculating pressure)

计算压力指在相应设计温度下,用以确定元件厚度的压力,其中包括液柱静压力等附加载荷。

1.1.3.9 最大允许工作压力(最高允许工作压力) (maximum allowable working pressure, MAWP)

在指定的相应温度下,容器顶部所允许承受的最大压力。该压力是根据容器各受压元件的有效厚度,考虑了该元件承受的所有载荷而计算得到的,且取最小值。

注1: 指定的相应温度, 一般是指某一操作工况条件时的设计温度, 也可以是根据需要规定的其他温度, 如最低设计金属温度时所对应的最大允许工作压力。

注2: 当压力容器的设计文件没有给出最大允许工作压力时, 如需要, 可以认为该容器的设计压力即是最大允许工作压力。

1.1.3.10 最低设计金属温度 (minimum design metal temperature, MDMT)

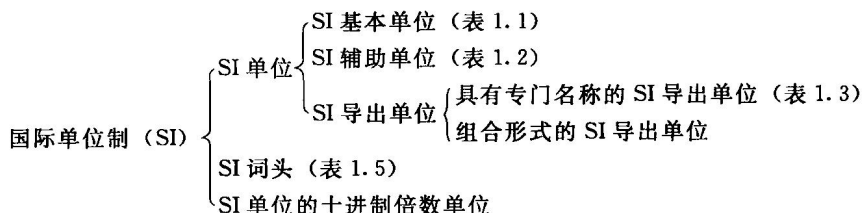
在压力容器设计中, 预期该容器在运行过程中各种可能条件下的金属温度的最低值。

注1: “各种可能条件”不但包括正常工作情况, 还应考虑可能出现的最低工作温度、工作中的不正常、自动制冷、大气环境温度以及其他制冷因素。

注2: 最低设计金属温度是设计选材依据之一, 材料的选用除应满足容器各设计工况条件下的使用要求外, 还应确保在最低设计金属温度下对材料及其焊接接头的冲击功要求。

1.2 相关单位及单位换算

我国法定计量单位包括国际单位制 (SI) 的单位及可与国际单位制单位并用的单位。



1.2.1 SI 基本单位

见表 1.1。

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(尔)	mol
时间	秒	s	发光的量	坎(德拉)	cd
电流	安(培)	A			

注: 1. 圆括号中的名称是它前面的名称的同义词, 下同。

2. 方括号中的字, 在不致引起混淆、误解的情况下, 可以省略。去掉方括号中的字即为其简称。无方括号的单位名称、简称与全称相同, 下同。

3. 本标准所称的符号, 除特殊指明者外, 均指我国法定计量单位中所规定的符号, 下同。

4. 人们生活和贸易中, 质量习惯称为重量。表示力的概念时, 应称为重力。

1.2.2 SI 辅助单位

见表 1.2。

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	rad
立体角	球面度	sr

1.2.3 SI 导出单位

见表 1.3 和表 1.4。

表 1.3 SI 导出单位

量的名称	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	—	$s \cdot A^{-1}$
电压,电动势,电位,(电势)	伏[特]	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
电容	法[拉]	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
电阻	欧[姆]	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
电导	西[门子]	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
磁通(量)	韦[伯]	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
磁通(量)密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m ²	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
电感	亨[利]	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}C$	—	K
光通量	流[明]	lm	—	cd · sr
(光)照度	勒[克斯]	lx	lm/m ²	$m^2 \cdot cd \cdot sr$

表 1.4 由于人类健康安全防护上的需要而确定的具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	名称	SI 导出单位		
		符号	其他表示式	
			用 SI 单位示例	用 SI 基本单位
[放射性]活度	贝可[勒尔]	Bq	—	S^{-1}
吸收剂量 比授[予]能 比释动能 吸收剂量指数	戈[瑞]	Gy	J/kg	$m^2 \cdot S^{-2}$
剂量当量 剂量当量指数	希[沃特]	Sv	J/kg	$m^2 \cdot S^{-2}$

1.2.4 SI 单位的倍数单位

表 1.5 是确定词头 (SI 词头) 的名称、简称及符号。词头用于构成 SI 单位的倍数单位,但不得单独使用。

表 1.5 SI 词头

因 数	词头名称		符 号
	原文(法)	中文	
10^{18}	exa	艾[可萨]	E
10^{15}	peta	拍[它]	P
10^{12}	réra	太[拉]	T
10^9	giga	吉[咖]	G
10^6	mèga	兆	M
10^3	kilo	千	k
10^2	hecto	百	h
10^1	déca	十	da
10^{-1}	déci	分	d
10^{-2}	centi	厘	c
10^{-3}	milli	毫	m
10^{-6}	micro	微	μ
10^{-9}	nano	纳[诺]	n

续表

因 数	词 头 名 称		符 号
	原文(法)	中文	
10^{-12}	pico	皮[可]	p
10^{-15}	femto	飞[母托]	f
10^{-18}	atto	阿[托]	a

注：这里的单位一词仅指 SI 基本单位、SI 辅助单位和具有专门名称的 SI 导出单位，而不是指组合单位整体。

1.2.5 与 SI 并用的我国法定计量单位

见表 1.6。

表 1.6 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	1min=60s
	(小)时	h	1h=60min=3600s
	日,(天)	d	1d=24h=88400s
平面(角)	度	(°)	1°=($\pi/180$)rad
	(角)分	(')	1'=(1/60)°=($\pi/10800$)rad
	(角)秒	(")	1"=(1/60)'=($\pi/648000$)rad
体积,容积	升	L(l)	1L=1dm ³ =10 ⁻³ m ³
质量	吨	t	1t=10 ³ kg
	原子质量单位	μ	1 μ ≈1.6605655×10 ⁻²⁷ kg
旋转速度	转每分	r/min	1r/min=(1/60)s ⁻¹
长度	海里	n mile	1n mile=1.852m (只用于航程)
速度	节	kn	1kn=1n mile/h =(1.852/3600)m/s (只用于航行)
能	电子伏	eV	1eV≈1.6021892×10 ⁻¹⁹ J
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	1tex=10 ⁻⁶ kg/m

注：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。

1.2.6 常用单位换算

1.2.6.1 长度单位换算

见表 1.7。

表 1.7 长度单位换算

米	英寸	英尺	码	英里	公里	海里
1	39.3701	3.28084	1.093671	6.21371×10 ⁻⁴	1×10 ⁻³	5.39957×10 ⁻⁴
0.0254	1	0.0833333	0.0277778	1.57828×10 ⁻⁵	2.54×10 ⁻⁵	1.37061×10 ⁻⁵
0.3048	12	1	0.333333	1.89394×10 ⁻⁴	3.048×10 ⁻⁴	1.64579
0.9144	36	3	1	5.68182×10 ⁻⁴	9.144×10 ⁻⁴	4.93737
1609.344	63360	5280	1760	1	1.60934	0.868976
1000	39370.1	3280.84	1093.61	0.621371	1	0.539957
1852	72913.4	6076.1	2025.37	1.15078	1.852	1

1.2.6.2 面积和地积单位换算

见表 1.8。

表 1.8 面积和地积单位换算

米 ² (m ²)	公顷(ha)	英寸 ² (in ²)	英尺 ² (ft ²)	英亩(acre)
1	1×10 ⁻⁴	1550.00	10.7639	2.47105×10 ⁻⁴
10000	1	1550.00×10 ⁻⁴	107639	2.47105
6.4516	6.4516×10 ⁻³	1	6.94444×10 ⁻³	1.59423×10 ⁻⁷
0.0929030	9.29030×10 ⁻⁶	144	1	2.29568×10 ⁻⁵
4046.86	0.404686	6272640	43560	1

1.2.6.3 体积单位换算

见表 1.9。

表 1.9 体积单位换算

米 ³ (m ³)	分米 ³ (升) [dm ³ (L)]	英寸 ³ (in ³)	英尺 ³ (ft ³)	英加仑(UK gal)	美加(US gal)
1	1000	61023.7	35.3147	219.969	264.172
0.001	1	61.0237	0.0353147	0.219969	0.264172
1.63871×10 ⁻⁵	0.0163871	1	5.78704×10 ⁻³	3.60465×10 ⁻³	4032900×10 ⁻³
0.0283168	28.3168	1728	1	6.22883	7.48052
4.54609×10 ⁻³	4.54609	277.420	0.160544	1	1.20095
3.78541×10 ⁻³	3.78541	231	0.133681	0.832674	1

1.2.6.4 质量单位换算

见表 1.10。

表 1.10 质量单位换算

千克(kg)	吨(t)	磅(lb)	英吨(tn)	美吨(shtn)
1	0.001	2.2046	9084207×10 ⁻⁴	1.10231×10 ⁻³
1000	1	2204.62	0.984207	1.10231
0.453592	4.53592×10 ⁻⁴	1	4.46429×10 ⁻⁴	0.0005
1016.05	1.01605	2240	1	1.12
907.185	0.907183	2000	0.892857	1

1.2.6.5 密度单位换算

见表 1.11。

表 1.11 密度单位换算

千克/米 ³ (kg/m ³)	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/US gal)
1	3.61273×10 ⁻⁵	0.062428	0.0100224	0.008354
27679.9	1	1728	277.42	231
16.0185	5.78704×10 ⁻⁴	1	0.160544	0.133681
99.7763	0.0036	6.22883	1	0.832674
119.8	0.004329	7.48052	1.20095	1

1.2.6.6 力单位换算

见表 1.12。

表 1.12 力单位换算

牛(N)	千克力(kgf)	达因(dyn)	吨力(tf)	磅达(pdl)	磅力(lbf)
1	0.101972	100000	1.019725×10^{-4}	7.23301	0.224809
9.80665	1	980665	1×10^{-3}	70.9316	2.20462
1×10^{-5}	0.101972×10^{-5}	1	0.101972×10^{-8}	7.23301×10^{-5}	2.24809×10^{-6}
9806.65	1000	980665×10^{-3}	1	70931.6	2204.62
0.138255	0.0140981	13825.5	1.40981×10^{-5}	1	0.0310810
4.4482	0.453592	444822	4.53592×10^{-4}	32.1740	1

1.2.6.7 力矩与转矩单位换算

见表 1.13。

表 1.13 力矩与转矩单位换算

牛·米(N·m)	千克力·米(kgf·m)	磅·英尺(lb·ft)	磅力·英尺(lbf·ft)	达因·厘米(dyn·cm)
1	0.101972	23.7304	0.737562	1×10^7
9.80665	1	232.715	7.23301	9.807×10^7
0.0421401	4.29710×10^{-3}	1	0.0310810	421401.24
1.35582	0.138255	32.1740	1	1.356×10^7
10^{-7}	1.020×10^{-8}	2.373×10^{-6}	0.7376×10^{-7}	1

1.2.6.8 压力与应力单位换算

见表 1.14。

表 1.14 压力与应力单位换算

帕(Pa)	微巴(μ bar)	毫巴(mbar)	巴(bar)	千克力/毫米 ² (kgf/mm ²)	工程大气压(at)	毫米水柱(mmH ₂ O)	标准大气压(atm)	毫米汞柱(mmHg)	磅力/英尺 ² (lbf/ft ²)	磅力/英寸 ² (lbf/in ²)	英寸水柱(inH ₂ O)
1	10	0.01	1×10^{-5}	1.02×10^{-7}	1.02×10^{-5}	0.102	0.99×10^{-5}	0.0075	0.02089	14.5×10^{-5}	40.15×10^{-4}
0.1	1	0.001				0.0102					
100	1000	1	0.001			10.2		0.7501	2.089	0.0145	40.15×10^{-2}
1×10^5	1×10^6	1000	1	0.0102	1.02	10197	0.9869	750.1	2089	14.5	
98.07×10^5		98067	98.07	1	100	10^8	96.78	73556		1422	
98067		980.7	0.9807	0.01	1	10^4	0.9678	735.6	2048	14.22	393.7
9.807	98.07	0.0981			0.0001	1	0.9678×10^{-4}	0.0736	0.2048		39.37×10^{-2}
101325		1013	1.013		1.033	10332	1	760	2116	14.7	406.8
133.32	1333	1.333			0.00136	13.6	0.00132	1	2.785	0.01934	0.5354
47.88	478.8	0.4788		4.882×10^{-6}		4.882		0.3591	1	0.00694	0.192
6894.8	68948	68.95	0.06895	7.03×10^{-4}	0.0703	703	0.068	51.71	144	1	27.68
249.1		2.49			0.00254	25.4	0.00246	1.8676	5.20272	0.03613	1

1 帕(Pa)=1 牛/米²(N/m²)1 微巴(μ bar)=1 达因/厘米²(dyn/cm²)1 毫米水柱(mmH₂O)(4℃时)=1 公斤力/米²(kgf/m²)1 工程大气压(at)=1 千克力/厘米²(kgf/cm²)

1 毫米汞柱(mmHg)=1 Torr

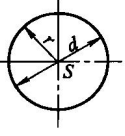
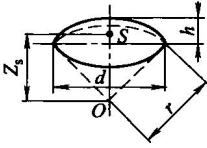
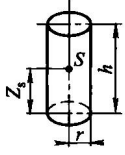
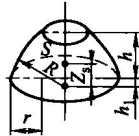
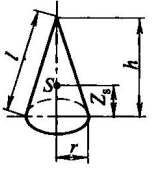
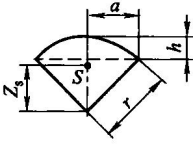
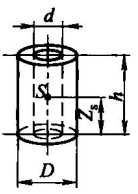
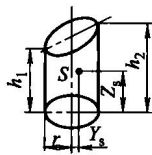
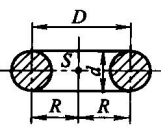
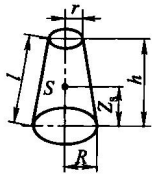
1 磅力/英尺²(pdl/ft²)=1.488 牛/米²(N/m²)1 英尺水柱(ftH₂O)=2989.07 牛/米²(N/m²)1 英寸汞柱(inHg)=3386.39 牛/米²(N/m²)

1.3 常用几何体特性

1.3.1 常用几何体的面积、体积公式及重心位置

见表 1.15。

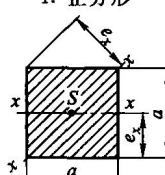
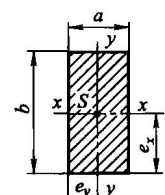
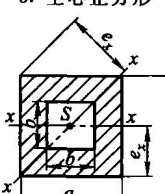
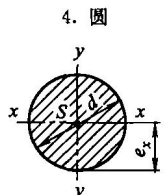
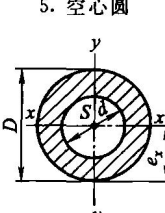
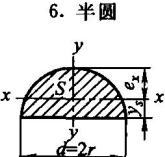
表 1.15 常用几何体的面积、体积公式及重心位置

类别	计算公式	类别	计算公式
1. 圆球体 	$A_n = 4\pi r^2 = \pi d^2$ $V = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{\pi d^3}{6}$	6. 球缺 	$Z_s = \frac{3}{4} \times \frac{(2r-h)^2}{3r-h}$ $A = 2\pi rh = \frac{\pi}{4}(d^2 + 4h^2)$ $A_n = \pi h(4r-h)$ $V = \pi h^2 \left(r - \frac{h}{3}\right)$
2. 正圆柱体 	$Z_s = \frac{h}{2}$ $A_n = 2\pi r(h+r)$ $A = 2\pi rh$ $V = \pi r^2 h$	7. 球台 	$Z_s = h_1 + \frac{h}{2}$ $A = 2\pi Rh$ $A_n = \pi[2Rh + (r_1^2 + r_2^2)]$ $V = \frac{\pi h}{6}(3r_1^2 + 3r_2^2 + h^2)$ $= 0.5236h(3r_1^2 + 3r_2^2 + h^2)$
3. 正圆锥体 	$Z_s = \frac{h}{4}$ $A = \pi d$ $A_n = \pi r(l+r)$ $V = \frac{\pi r^2 h}{3}$ $l = \sqrt{r^2 + h^2}$	8. 球面扇形体 	$Z_s = \frac{3}{8}(2r-h)$ $A_n = \pi r(2h+a)$ $A = \pi ar$ $V = \frac{2}{3}\pi r^2 h$
4. 空心圆柱体 	$Z_s = \frac{h}{2}$ $A = \pi h(D+h)$ $V = \frac{\pi h}{4}(D^2 - h^2)$ $A_n = \pi h(D+d) + \frac{\pi}{2}(D^2 - d^2)$	9. 斜截圆柱体 	$Y_s = \frac{r(h_2 - h_1)}{4(h_2 + h_1)}$ $Z_s = \frac{h_2 + h_1}{4} + \frac{(h_2 - h_1)^2}{16(h_2 + h_1)}$ $A = \pi r(h_2 + h_1)$ $A_n = \pi r \left[h_1 + h_2 + r + \sqrt{r^2 + \left(\frac{h_2 - h_1}{2}\right)^2} \right]$ $V = \frac{\pi r^2 (h_2 + h_1)}{2}$
5. 圆环体 	$A_n = 4\pi^2 Rr = 39.478Rr$ $V = 2\pi^2 Rr^2 = \frac{\pi^2 Dd^2}{4} = 19.74Rr^2$	10. 平面正圆锥体 	$Z_s = \frac{h(R^2 + 2Rr + 3r^2)}{4(R^2 + Rr + r^2)}$ $A = \pi l(R+r)$ $A_n = A + \pi(R^2 + r^2)$ $V = \frac{\pi h}{3}(R^2 + Rr + r^2)$ $l = \sqrt{(R-r)^2 + h^2}$

1.3.2 常用几何体截面的力学特性

见表 1.16。

表 1.16 常用几何体截面的力学特性

简图	面积 A	惯性矩	惯性半径	抗弯截面模数	形心 S 到相应边的距离
1. 正方形 	a^2	$\frac{a^4}{12}$	$\frac{a}{\sqrt{12}} = 0.289a$	$W_x = \frac{a^3}{6}$ $W_{x1} = 0.1179a^3$	$e_x = \frac{a}{2}$ $e_{x1} = 0.7071a$
2. 矩形 	ab	$I_x = \frac{ab^3}{12}$ $I_y = \frac{a^3b}{12}$	$i_x = 0.289b$ $i_y = 0.289a$	$W_x = \frac{ab^2}{6}$ $W_y = \frac{a^2b}{6}$	$e_x = \frac{b}{2}$ $e_y = \frac{a}{2}$
3. 空心正方形 	$a^2 - b^2$	$\frac{a^4 - b^4}{12}$	$0.289 \sqrt{a^2 + b^2}$	$W_x = \frac{a^4 - b^4}{6a}$ $W_{x1} = 0.1179 \frac{a^4 - b^4}{a}$	$e_x = \frac{a}{2}$ $e_{x1} = 0.7071a$
4. 圆 	$\frac{\pi}{4} d^2$	$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} d^4$ $= 0.0491 d^4$ $I_p = \frac{\pi}{32} d^4$ $= 0.0982 d^4$	$\frac{d}{4}$	$\frac{\pi}{32} d^3 = 0.0982 d^3$ 抗扭截面模数 $W_n = 2W$	$\frac{d}{2}$
5. 空心圆 	$\frac{\pi}{4} (D^4 - d^4)$	$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$ $= 0.0491 (D^4 - d^4)$ $I_p = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$ $= 0.0982 (D^4 - d^4)$	$\frac{1}{4} \sqrt{D^2 + d^2}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$ $= 0.0982 \frac{D^4 - d^4}{D}$ 抗扭截面模数 $W_n = 2W$	$\frac{D}{2}$
6. 半圆 	$\frac{\pi}{8} d^2 = 0.393d^2$	$I_x = 0.00686d^4$ $I_y = \frac{\pi}{128} d^4$ $\approx 0.0245d^4$	$i_x = -0.1319d$ $i_y = \frac{d}{4}$	$W_x = 0.0239d^3$ $W_y = \frac{\pi}{64} d^3$ $\approx 0.491d^3$	$e_x = 0.2878d$ $e_y = 0.2122d$