

现代泵 理论与设计

Modern Pumps Theory and Design

关醒凡 编著



中国宇航出版社

ISBN 978-7-80218-942-3



9 787802 189423 >

定价：180.00元

现代泵理论与设计

关醒凡 编著



中国宇航出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是关醒凡教授在1995年出版的《现代泵技术手册》的基础上,集近年来国内外泵发展之精华,取作者从事泵实践之所长,编写而成。在原书基础上增加了关于轴流泵、斜流泵、全扬程泵、切线泵(部分流泵)、旋壳泵、射流泵、液环泵、诱导轮、水泵水轮机、流道式导叶、考虑密封间隙水动力临界转速计算方法、泵系统内的水锤等内容及大量技术资料。第25章的泵模型设计图例,试验表明性能优良,具有较高的参考价值。

本书可作为泵初学者的教材,泵设计、试验、运转工程师的参考资料,流体机械学科本科生、研究生的参考书。

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

现代泵理论与设计 / 关醒凡编著. — 北京: 中国
宇航出版社, 2011. 4

ISBN 978 - 7 - 80218 - 942 - 3

I. ①现… II. ①关… III. ①泵 IV. ①TH3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第053275号

责任编辑 曹晓勇 赵宏颖 张 梅 责任校对 王 妍 封面设计 宇航数码

出 版 社 中国宇航出版社

社 址 北京市阜成路8号 邮 编 100830
(010)68768548

网 址 www.caphbook.com/ www.caphbook.com.cn

经 销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
(010)68371105 (010)62529336

承 印 北京中画印刷有限公司

版 次 2011年4月第1版
2011年4月第1次印刷

规 格 787×1092

开 本 1/16

印 张 53.75

字 数 1380千字

书 号 ISBN 978 - 7 - 80218 - 942 - 3

定 价 180.00元

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

前 言

泵是应用非常广泛的通用机械，凡有液体流动之处，几乎都有泵在工作。随着科学技术的发展，应用于各个领域的新型泵不断出现，例如：核电及调峰用的蓄能泵、船舶推进用的喷水推进泵、装卸输送液化气用的低温泵、大型管道输油泵、海水淡化和煤化工用的高压泵等。因此，提高泵的技术水平，是一门永久性的课题。

本人从事泵的教学、试验研究、设计开发近 50 年。1995 年《现代泵技术手册》由中国宇航出版社出版，并很快售罄。为了满足读者的需要，遂决定在原书的基础上，集近年来国内外泵发展之精华，取本人从事泵实践之所长，编写一本内容丰富、简明易懂、具有较高实用价值的著作——《现代泵理论与设计》。

本书对原书进行了系统删改，增加了有关轴流泵、斜流泵、全扬程泵、切线泵（部分流泵）、旋壳泵、射流泵、液环泵、诱导轮、水泵水轮机、流道式导叶、泵系统内的水锤等内容。第 25 章的泵模型设计图例，是作者用自行开发的泵三维水力设计软件为一些泵企业设计的，试验表明性能优良，具有较高的参考价值。

本书具有与教材类似的特点，在对重要的定理和公式加以论述和推导的同时，给出了解决实际问题的方法。旨在使读者提高运用理论分析解决实际问题的能力。本书可作为泵初学者的教材，泵设计、试验、运转工程师的参考资料，流体机械学科本科生、研究生的参考书。

商明华硕士负责全书校对和附图绘制，在此深表感谢。

书中难免有错误和不当之处，敬请读者批评指正。

关醒凡

2010 年 10 月

目 录

第 1 章 工程流体力学基本定理	1
第 2 章 概论	18
2.1 泵的定义和分类	18
2.2 叶片式泵的过流部件和结构形式	19
2.3 泵的用途	24
第 3 章 泵的基本理论	26
3.1 泵的基本参数	26
3.2 泵内的各种损失及泵的效率	29
3.3 液体在叶轮中运动的分析	31
3.4 泵基本方程式	37
3.5 有限叶片数和无限叶片数理论扬程的差别	40
3.6 泵特性曲线和几何参数对泵特性的影响	45
3.7 用速度系数表示流量扬程曲线	51
第 4 章 泵的相似理论	53
4.1 相似理论的基本概念	53
4.2 泵相似定律	55
4.3 比转速	56
4.4 无因次特性曲线和泵特性曲线的绘制方法	59
4.5 泵相似理论的应用	63
4.6 切割叶轮外径泵参数的变化——切割定律	66
4.7 修削叶片进、出口对泵性能的影响	69
4.8 泵的工作范围和型谱	70
4.9 泵相似理论应用	71
第 5 章 泵汽蚀的理论和计算	74
5.1 泵汽蚀现象概述	74
5.2 泵发生汽蚀的理论关系——汽蚀基本方程式	78

5.3	泵汽蚀相似定律、汽蚀比转速和托马汽蚀系数	82
5.4	泵汽蚀余量的计算方法	87
5.5	装置汽蚀余量的计算方法	91
5.6	汽蚀试验和临界汽蚀余量	93
5.7	吸入真空度和汽蚀余量的关系	95
5.8	计算例题	96
5.9	提高泵抗汽蚀性能和防止泵发生汽蚀的措施	99
5.10	特殊液体的汽蚀——汽蚀热力学相似准则	106
5.11	影响汽蚀破坏的因素和汽蚀破坏的试验方法	109
5.12	海拔高度和大气压力及常用液体的汽化压力	111
第6章	泵的应用工程和选型	113
6.1	泵运转时的工况点、泵站和泵装置效率	113
6.2	沿程损失和局部阻力损失	115
6.3	泵装置扬程计算例题	120
6.4	泵的串联和并联运转	123
6.5	向分支、汇合管路供水	125
6.6	泵运转工况的调节	127
6.7	泵的启动特性	136
6.8	泵全特性曲线	139
6.9	泵系统内的水锤	145
6.10	泵允许的最小运转流量	154
6.11	管口和基础上的负荷	157
6.12	水压脉动、飞逸转速和惯转时间	162
6.13	自吸罐和过载限制器	166
6.14	输送特殊液体时泵的性能变化	168
6.15	转动惯量及电机有关性能数据	170
6.16	低扬程泵模型试验结果和选型方法	176
6.17	泵技术支持和选型软件	184
第7章	泵试验	186
7.1	有关术语和参数的定义	186
7.2	泵试验装置和条件的若干规定	188
7.3	泵试验设备	191
7.4	流量的测量与计算	199
7.5	扬程的测量与计算	214

7.6	汽蚀余量的测量与计算	219
7.7	转矩、电测功率和转速的测量与计算	222
7.8	泵振动的测量与评价	228
7.9	泵噪声的测量与评价	232
7.10	试验不确定度的分析与计算	234
第8章	离心泵和混流泵的水力设计	241
8.1	泵主要参数和结构方案的确定	241
8.2	泵轴径和叶轮轮毂直径的初步计算	249
8.3	叶轮主要尺寸的确定方法	250
8.4	叶轮轴面投影图的绘制	264
8.5	叶片设计理论和型线微分方程式	265
8.6	叶片数的计算和选择	269
8.7	叶片厚度和角度及其几何关系	270
8.8	叶片进出口安放角的选择和计算	274
8.9	叶片绘型	277
8.10	二元理论叶片设计方法	298
第9章	压水室、吸水室和过渡流道的水力设计	303
9.1	压水室的类型和作用原理	303
9.2	螺旋形压水室的设计与计算	305
9.3	环形和准环形压水室的设计	313
9.4	导叶的类型和结构形式	314
9.5	径向导叶的设计与计算	316
9.6	流道式导叶的设计	324
9.7	反导叶导流器的设计	332
9.8	空间导叶的设计	339
9.9	吸水室的设计	347
9.10	双涡壳及过渡流道的设计	351
9.11	设计图例	356
9.12	面积比原理	359
9.13	叶轮和压水室的匹配对泵性能的影响	360
第10章	全扬程泵、恒扬程泵、旋壳泵等的设计方法	363
10.1	全扬程泵	363
10.2	恒扬程泵（切线泵或部分流泵）	367

10.3	旋壳泵	376
10.4	高抗汽蚀性能叶轮	380
10.5	半开式和开式叶轮	381
第 11 章	抗磨蚀泵和无堵塞泵设计要点	383
11.1	固液两相流体的物理性质	383
11.2	两相流泵的基本方程	385
11.3	泵的磨损与防护	387
11.4	两相流泵的选型计算	389
11.5	渣浆泵	390
11.6	引黄河水大型水泵	395
11.7	脱硫泵	398
11.8	无堵塞泵的种类和特点	399
11.9	单流道泵的设计	401
11.10	双流道泵的设计	404
11.11	螺旋离心泵的设计	408
11.12	旋流泵的设计	412
11.13	纸浆泵的设计	420
11.14	切割搅拌结构的应用	420
第 12 章	自吸泵、射流泵和水环泵设计要点	424
12.1	自吸泵的种类和工作原理	424
12.2	内混式和外混式自吸泵设计要点	425
12.3	自吸泵结构形式	428
12.4	射流泵的设计要点	430
12.5	水环泵的设计要点	436
第 13 章	旋涡泵设计	441
13.1	旋涡泵的特点及应用	441
13.2	旋涡泵的分类和典型结构	443
13.3	旋涡泵的设计与计算	447
13.4	旋涡泵几何参数对性能的影响	451
13.5	旋涡泵设计例题	451
第 14 章	诱导轮设计	455
14.1	提高泵抗汽蚀性能的原因	455

14.2	诱导轮的基本理论	456
14.3	诱导轮几何参数的选择	457
14.4	诱导轮的设计与计算	460
14.5	诱导轮与主叶轮的匹配及改善诱导轮小流量工况的措施	462
14.6	诱导轮设计例题	463
第 15 章	斜流泵设计	471
15.1	我国斜流泵模型发展概况	471
15.2	叶轮主要尺寸和轴面图的确定	474
15.3	方格网保角变换法设计斜流泵叶片	481
15.4	扭曲三角形法设计斜流泵叶片	486
15.5	锥面展开法设计斜流泵叶片	490
第 16 章	轴流泵设计	492
16.1	我国轴流泵模型发展概况	492
16.2	液体在叶轮中的运动分析	494
16.3	流动方程和设计理论	497
16.4	几何参数选择	499
16.5	轴流泵汽蚀及 nD 值	502
16.6	升力法设计轴流泵及存在的问题	504
16.7	泵效率计算和选择	507
16.8	线性环量分布和流线法设计轴流泵叶片	509
16.9	轴流泵导叶的设计与计算	522
第 17 章	水泵水轮机和能量回收水力透平	531
17.1	水泵水轮机	531
17.2	水泵水轮机基本原理	535
17.3	能量回收用水力透平及结构形式	538
17.4	能量回收用水力透平的选型和设计	541
第 18 章	泵进出水流道	547
18.1	泵装置的类型和对流道的设计要求	547
18.2	进水流道的型式与选择	549
18.3	出水流道的型式与选择	557
18.4	断流方式	562

第 19 章 泵轴向力、径向力及其平衡	564
19.1 产生轴向力的原因及计算方法	564
19.2 轴向力的平衡方法	572
19.3 平衡鼓和平衡盘的设计与计算	578
19.4 对称布置叶轮多级泵的轴向力及平衡措施	591
19.5 浮动叶轮轴向力自平衡装置	592
19.6 新型轴向力平衡装置	593
19.7 径向力及其平衡	596
第 20 章 泵中的能量损失分析计算及提高泵性能的措施	600
20.1 泵的能量平衡试验	600
20.2 机械损失分析与计算	602
20.3 水力损失分析与计算	606
20.4 容积损失分析与计算	611
20.5 改善泵特性和提高泵效率及抗汽蚀性能的措施	619
第 21 章 泵零件强度和轴临界转速的计算	624
21.1 轴的强度计算	624
21.2 键、联轴器、叶轮和平衡盘的强度计算	632
21.3 泵体的强度计算	636
21.4 泵体联接螺栓的强度计算	646
21.5 多级泵穿杠和中段密封凸缘宽度的强度计算	651
21.6 泵进出口法兰的强度计算	655
21.7 轴临界转速的基本概念	656
21.8 轴临界转速的计算方法	661
21.9 轴临界转速的简便计算方法	670
21.10 考虑密封间隙水动力临界转速的计算方法	672
第 22 章 泵的轴封	679
22.1 机械密封的基本原件和工作原理	679
22.2 机械密封的结构形式及选择	680
22.3 机械密封的设计与计算	686
22.4 机械密封辅助元件和冷却及冲洗	696
22.5 机械密封的材料选择	700
22.6 副叶轮密封	707
22.7 浮动环密封	711

22.8	螺旋密封	717
22.9	填料密封	723
第 23 章	泵典型结构	729
23.1	核电用泵	729
23.2	磁力泵和屏蔽泵	736
23.3	高温泵和低温泵	740
23.4	高压多级泵	743
23.5	长轴泵和潜水泵	746
23.6	常用泵的典型结构	753
23.7	叶轮口环密封结构形式	759
第 24 章	泵用材料及选择	761
24.1	材料选择时应考虑的因素	761
24.2	金属材料的应用	761
24.3	非金属材料的应用	767
24.4	泵主要零件的材料选择	768
第 25 章	水力模型及设计软件	771
25.1	水力模型	771
25.2	三维泵水力设计软件	805
25.3	部分界面	806
第 26 章	技术资料	808
26.1	法兰标准	808
26.2	单位的换算	821
26.3	水和常用流体的性质	825
26.4	喷嘴(消防)喷射的高度和距离	828
26.5	轴封、轴承冷却水量	829
26.6	泵试验台管路图	830
26.7	泵常用公式一览表	833
	全国部分泵企业产品名录	834
	参考文献	843
	作者介绍	847

第1章 工程流体力学基本定理

(1) 液体的黏性

液体的黏性是指液体运动时内部产生切应力的性质。

① 动力黏度系数（动力黏度）

$$\tau = \frac{T}{A} = \mu \frac{du}{dy}$$

式中 τ ——黏滞切应力或内摩擦切应力， N/m^2 ；

T ——黏滞力或内摩擦力， N ；

A ——流层间接触面积， m^2 ；

$\frac{du}{dy}$ ——垂直速度方向的速度梯度， s^{-1} ；

μ ——动力黏度或动力黏性系数， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

在国际单位制中， μ 的单位是 $\text{N}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ， $1 \text{ N}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

在物理单位制中， μ 的单位是 $\text{dyn}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ， $1 \text{ dyn}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}) = 1 \text{ Pa}$ 。

工程中常用厘泊 cP 作为单位。

$$1 \text{ cP} = \frac{\text{P}}{100} = \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{1000}$$

因为 μ 具有动力学的量纲，故称为动力黏度。

$$\dim \mu = \frac{\dim \tau}{\dim \frac{du}{dy}} = \frac{\frac{LMT^{-2}}{L^2}}{\frac{LT^{-1}}{L}} = \frac{M}{TL} = \frac{NT^2}{LTL} = \frac{NT}{L^2} (\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2)$$

$$F = Ma$$

$$M = \frac{NT^2}{L}$$

② 运动黏度

因为液体内摩擦力和液体的密度两者都对液体的运动状态有影响，实际工程应用中，常用 μ 与 ρ 的比值，即 ν 表示，称为运动黏度或运动黏性系数，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

在国际单位制中， ν 的单位是 m^2/s ；

在物理单位制中， ν 的单位是 St （斯托克司，简称斯，又称沱） $1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$ 或 cSt （厘斯，又称厘沱） $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$ ，它们之间的换算关系为

$$1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St}(\text{cm}^2/\text{s}) = 10^6 \text{ cSt}(\text{mm}^2/\text{s})$$

因为 ν 具有运动学的量纲，故称为运动黏度。

$$\dim \nu = \frac{\dim \mu}{\dim \rho} = \frac{NT}{L^2} \cdot \frac{L^3}{M} = \frac{MLT}{T^2 L^2} \cdot \frac{L^3}{M} = L^2 T^{-1} (\text{m}^2/\text{s})$$

$$F = Ma$$

$$N = M \frac{L}{T^2}$$

③ 常用液体的运动黏度和温度的关系

常用液体运动黏度和温度的关系如图 1-1 所示。

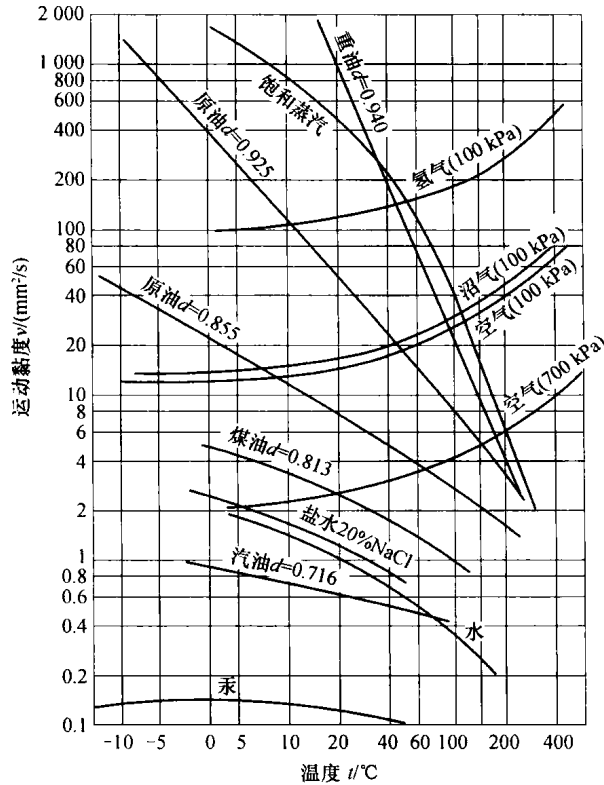


图 1-1 常用液体的运动黏度和温度的关系曲线

(2) 压强 (压力)

压强是指单位面积上作用的液体的压力

$$p = \frac{F}{A} \quad 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$$

压强的单位有三种表示方法。

1) 用单位面积上的力表示

国际单位制: N/m^2 (Pa)

工程单位: kgf/cm^2

2) 用大气压力的倍数表示

标准大气压力: 温度为 0°C 时海平面上的压强, 等于 760 mmHg , 用 atm 表示

$$1 \text{ atm} = 101.33 \text{ kPa} = 0.10133 \text{ MPa}$$

工程大气压力: 相当于海拔 20 m 处的正常大气压, 用 at 表示

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.81 \text{ N/cm}^2 = 98.10 \text{ kPa} = 0.0981 \text{ MPa}$$

3) 用液柱高度表示。常用水柱高度或汞柱高度，单位是 mH_2O ， mmH_2O ， mmHg 等。压强和液柱高度之间的关系是

$$p = \rho g h$$

$$h = \frac{p}{\rho g}$$

用水柱 ($\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$) 表示标准大气压力

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{1.013\,3 \text{ N/m}^2 \times 10^5}{1\,000 \times 9.81 \text{ N/m}^3} = 10.33 \text{ m}$$

$$\rho g = \frac{M}{L^3} \frac{L}{T^2} = \frac{N}{L^3}$$

(3) 牛顿流体和非牛顿流体

牛顿流体和非牛顿流体分类如图 1-2 所示。

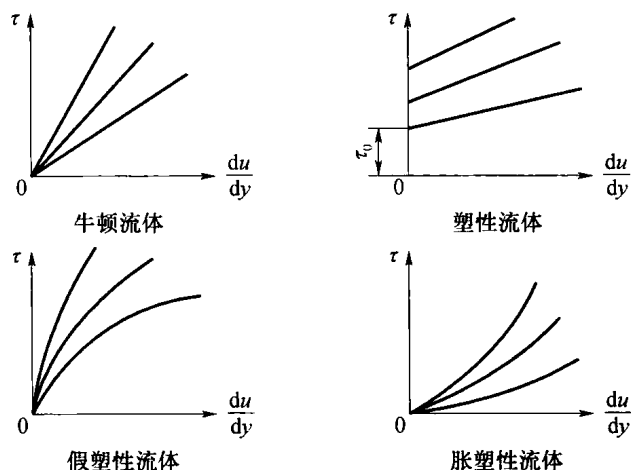


图 1-2 牛顿流体与非牛顿流体

凡符合牛顿内摩擦定律，即切应力与速度梯度成正比的流体称为牛顿流体。

凡不符合牛顿内摩擦定律，即切应力与速度梯度不成正比的流体称为非牛顿流体，非牛顿流体有 3 种类型：

1) 塑性流体，如凝胶、牙膏等，具有保持不产生剪切变形的初始切应力 τ_0 ，克服此切应力后，切应力与速度梯度成正比，即

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{du}{dy}$$

2) 假塑性流体，如泥浆、纸浆、高分子溶液等，当速度梯度小时， τ 对 du/dy 的变化率很大，当速度梯度大时， τ 对 du/dy 的变化率降低，即

$$\tau = \mu \left(\frac{du}{dy} \right)^n \quad (n \leq 1)$$

3) 胀塑性流体，当速度梯度较小时， τ 对 du/dy 的变化率较小，当速度梯度较大时， τ 对 du/dy 的变化率逐渐变大，即

$$\tau = \mu \left(\frac{du}{dy} \right)^n \quad (n > 1)$$

(4) 理想流体和实际流体

假设不存在黏性，即其黏度 $\mu = \nu = 0$ 的流体称为理想流体或无黏性流体，实际上理想流体是不存在的，黏度不等于 0 的流体称为实际流体。

(5) 帕斯卡定理

帕斯卡定理是指在静止流体中，自由表面的压强 p_0 均匀地传递到液体各点。

(6) 流体静压基本方程

在静止流体中任意点的静压强，等于自由表面的压强加深度与容重 (ρg) 之乘积 (图 1-3)，即

$$p = p_0 + \rho gh$$

式中 p ——液体任意点的压强，Pa；

p_0 ——液体自由表面上作用的压强，Pa；

ρ ——液体的密度， kg/m^3 ；

h ——某点在液面下的深度，m。

(7) 作用在平面和曲面上的力

① 作用在平面上的液体总压力

作用在平面上的液体总压力如图 1-4 所示。

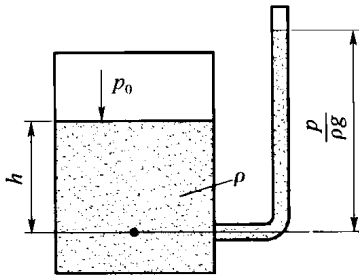


图 1-3 流体的静压

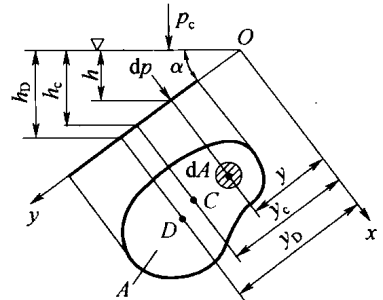


图 1-4 作用在平面上液体的压力

$$P = \rho gh_c A = p_c A$$

式中 h_c ——受压面形心在液面下的淹深，m；

p_c ——受压面形心处的静压强，Pa；

A ——受压面积， m^2 。

总压力作用点称为压力中心，压力中心与形心的距离

$$y_e = y_D - y_c = \frac{J_c}{y_c A} \quad y_D = y_c + \frac{J_c}{y_c A}$$

式中 y_e ——沿 y 轴方向压力中心至受压面形心的距离 (D 点为压力中心)，m；

y_D ——沿 y 轴方向压力中心至自由液面交线的距离 (C 点为形心)，m；

y_c ——沿 y 轴方向受压面形心至自由液面交线的距离，m；

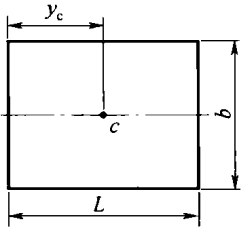
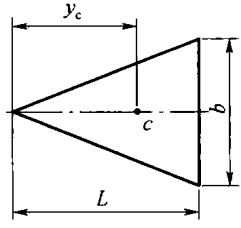
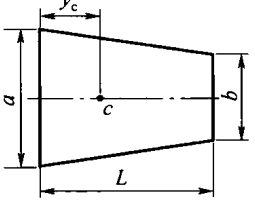
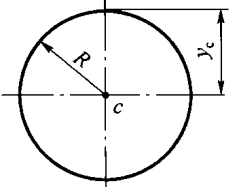
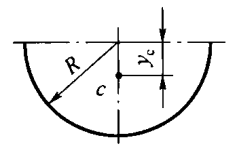
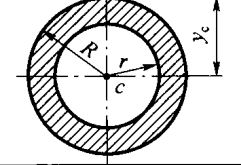
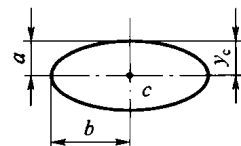
J_c ——受压面对通过受压面形心且平行 Ox 轴的惯性矩， $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ；

A ——受压面受压部分的面积， m^2 。

当液面压力 p_c 大于大气压力 p_a 时，相当于把自由液面抬高 (高度为 $\frac{p_c - p_a}{\rho g}$)；

当液面压力 p_c 小于大气压力 p_a 时, 相当于把自由液面降低 (高度为 $\frac{p_a - p_c}{\rho g}$)。在这两种情况下, 形心 y_c 应相应改变。表 1-1 给出常规图形的 A , y_c , J_c 值。

表 1-1 常规图形的 A , y_c , J_c

名称	形状	A	y_c	J_c
矩形		bL	$\frac{1}{2}L$	$\frac{1}{12}bL^3$
三角形		$\frac{1}{2}bL$	$\frac{2}{3}L$	$\frac{1}{36}bL^3$
梯形		$\frac{1}{2}(a+b)L$	$\frac{1}{3}\left(\frac{a+2b}{a+b}\right)L$	$\frac{1}{36}\left(\frac{a^2+4ab+b^2}{a+b}\right)L^3$
圆形		πR^2	R	$\frac{1}{4}\pi R^4$
半圆形		$\frac{1}{2}\pi R^2$	$\frac{4}{3}\frac{R}{\pi}$	$\frac{(9\pi^2-64)}{72\pi}R^4$
环形		$\pi(R^2-r^2)$	R	$\frac{1}{4}\pi(R^4-r^4)$
椭圆形		πab	a	$\frac{1}{4}\pi a^3 b$