

有色冶金炉

(修订版)



孟柏庭 编
中南大学出版社

有色冶金炉

(修订版)

孟柏庭 编

中南大学出版社

有色冶金炉
(修订版)

孟柏庭 编

☐责任编辑 秦瑞卿

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 中南大学印刷厂

☐开 本 787 × 1092 1/16 ☐印张 22.5 ☐字数 566 千字

☐版 次 2005 年 9 月第 2 版第 2 次印刷

☐书 号 ISBN 7-81020-824-1/TF · 032

☐定 价 42.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

再 版 前 言

本书第一版于1989年由中南大学出版社出版发行后,受到读者的欢迎,同时也收到了一些宝贵的意见,对此,编者作了修订,删去了原书中打“*”号的内容,新编了瓦纽科夫炉和炉窑热平衡计算等内容。

由于编著水平有限,书中无疑还会存在不妥之处,同时也由于教改的深入进行和科学技术的飞速发展,必须要求教材与之相适应,为此,编者恳切地期待着来自各方面的批评和指正。

编 者

前 言

本书为冶金专业和团矿专业的教材,也适用于冶金企业职工大学,并可供冶金工程技术人员参考。授课总学时为 80 学时。考虑到今后教学水平逐年提高和专业的不同需要,书中适当地增写了一些内容,讲授时可根据专业的具体情况予以删减。

冶金炉是冶金专业和团矿专业的技术基础课。它的主要任务是使学生掌握冶金炉热工基础理论、进行热工分析与计算,了解冶金炉的构造、工作原理和热工特性,具有对冶金炉能进行初步设计和技术改造的能力。本书的内容包括两部分:基础理论部分主要叙述流体力学、传热学、燃料及燃烧、耐火材料等的基本理论;冶金炉部分重点叙述回转窑、沸腾炉、反射炉、鼓风炉、矿热电炉等常用炉子的构造、工作原理、热工特性和热工计算。书中按章附有思考题与习题,其目的在于培养学生运用概念和理论分析解决实际问题的能力。

在编写过程中,梅炽教授、唐帛铭教授和陈文修教授为本书部分章节的编写提供了宝贵的资料,全书由中南大学梅炽教授主审,在此谨向他们致衷心感谢。

限于编者的水平以及编写时间短促,书中错误和不妥之处,在所难免,恳请使用本书的同志提出批评指正。

编 著

目 录

第 1 篇 流体力学基础

第 1 章 概述

§ 1.1 流体及其作为连续介质的概念	(1)
§ 1.2 流体的主要物理性质	(2)
思考题与习题	(5)

第 2 章 流体静力学基础

§ 2.1 作用在流体上的力	(6)
§ 2.2 流体静压力	(6)
§ 2.3 流体静压平衡方程	(8)
§ 2.4 气体的静压头与几何压头	(10)
思考题与习题	(13)

第 3 章 流体动力学基础

§ 3.1 基本概念	(15)
§ 3.2 连续性方程	(17)
§ 3.3 理想流体的运动微分方程	(19)
§ 3.4 理想流体的柏诺利方程	(20)
§ 3.5 柏诺利方程应用举例	(23)
§ 3.6 总流的动量方程	(28)
思考题与习题	(31)

第 4 章 流体流动时的阻力计算

§ 4.1 概述	(36)
§ 4.2 流体流动的两种状态	(36)
§ 4.3 圆管中的沿程阻力计算	(37)
§ 4.4 局部阻力计算	(40)
思考题与习题	(44)

第 5 章 压缩性气体流动

§ 5.1 压力波与音速	(46)
§ 5.2 压缩性气流的能量方程	(47)
§ 5.3 压缩性气体流动的连续性方程	(48)
§ 5.4 压缩性气流中各参数的变化规律	(50)

§ 5.5 压缩性气体经管嘴与拉伐尔喷管的流动·····	(52)
思考题与习题·····	(55)

第6章 炉子供气及排烟装置

§ 6.1 供气与排烟管道·····	(57)
§ 6.2 风机·····	(59)
§ 6.3 烟囱·····	(67)
思考题与习题·····	(70)

第2篇 传热学基础

第7章 稳态导热

§ 7.1 导热的基本概念·····	(71)
§ 7.2 导热的基本定律·····	(72)
§ 7.3 导热系数·····	(73)
§ 7.4 平壁稳态导热·····	(74)
§ 7.5 圆筒壁稳态导热·····	(77)
§ 7.6 固体导热微分方程·····	(78)
§ 7.7 二维稳态导热的数值解法·····	(80)
思考题与习题·····	(85)

第8章 对流换热

§ 8.1 对流换热概述·····	(87)
§ 8.2 相似原理在对流换热中的应用·····	(89)
§ 8.3 流体在管内强迫对流换热的经验公式·····	(96)
§ 8.4 自然对流换热·····	(102)
§ 8.5 液体沸腾时的换热·····	(104)
§ 8.6 蒸汽凝结时的放热·····	(107)
思考题与习题·····	(110)

第9章 辐射换热

§ 9.1 辐射换热的基本概念·····	(112)
§ 9.2 热辐射的基本定律·····	(113)
§ 9.3 角度系数·····	(116)
§ 9.4 物体表面间的辐射换热计算·····	(118)
§ 9.5 气体辐射·····	(123)
思考题与习题·····	(126)

第 10 章 稳态综合换热

§ 10.1 气体与壁面间的换热	(128)
§ 10.2 火焰炉内的综合换热	(128)
§ 10.3 通过间壁的换热	(132)
§ 10.4 换热器的传热计算	(135)
思考题与习题	(142)

第 3 篇 燃料及燃烧

第 11 章 燃料的特性

§ 11.1 燃料的化学组成	(144)
§ 11.2 燃料的发热量及计算	(149)
§ 11.3 常用燃料的特性及用途	(150)

第 12 章 燃烧计算

§ 12.1 燃料燃烧的分析算法与经验公式	(156)
§ 12.2 燃烧温度的计算	(162)
§ 12.3 燃烧温度的讨论	(166)
思考题与习题	(167)

第 13 章 燃料的燃烧及燃烧装置

§ 13.1 气体燃料的燃烧及煤气烧嘴	(169)
§ 13.2 液体燃料的燃烧及重油烧嘴	(178)
§ 13.3 固体燃料的燃烧	(185)

第 4 篇 耐火材料

第 14 章 概述

§ 14.1 耐火材料在冶金工业中的地位和作用	(194)
§ 14.2 冶金炉对耐火材料的要求	(194)
§ 14.3 耐火材料的分类	(195)

第 15 章 耐火材料的一般性质

§ 15.1 耐火材料的一般化学矿物组成	(197)
§ 15.2 耐火材料的物理性质	(197)
§ 15.3 耐火材料的工作性能	(201)

第 16 章 常用块状耐火制品

§ 16.1 硅酸铝质耐火制品	(205)
-----------------	-------

§ 16.2 硅质耐火制品(硅砖)·····	(207)
§ 16.3 镁石质耐火制品·····	(210)
§ 16.4 含碳耐火材料·····	(214)

第 17 章 不定形耐火材料

§ 17.1 耐火混凝土·····	(216)
§ 17.2 耐火可塑料·····	(219)
§ 17.3 耐火泥·····	(220)
§ 17.4 特种耐火材料·····	(222)

第 18 章 绝热材料

§ 18.1 概述·····	(226)
§ 18.2 中低温绝热材料·····	(226)
§ 18.3 高温绝热材料·····	(227)
§ 18.4 耐火纤维·····	(231)

第 5 篇 常用冶金炉

第 19 章 回转窑

§ 19.1 概述·····	(234)
§ 19.2 回转窑内的热交换·····	(236)
§ 19.3 回转窑的结构参数和运转参数·····	(239)
§ 19.4 回转窑的生产能力·····	(244)
§ 19.5 筒体主要尺寸与传动功率计算·····	(245)

第 20 章 沸腾炉

§ 20.1 概述·····	(250)
§ 20.2 沸腾床·····	(250)
§ 20.3 沸腾床内热交换·····	(254)
§ 20.4 沸腾炉单位生产率的计算·····	(257)
§ 20.5 沸腾炉主要尺寸的确定·····	(258)
§ 20.6 炉体及主要部件·····	(261)

第 21 章 反射炉

§ 21.1 反射炉结构·····	(269)
§ 21.2 反射炉的供热及炉内热传递·····	(277)
§ 21.3 反射炉炉体主要尺寸计算·····	(278)
§ 21.4 熔池熔炼炉·····	(287)

第 22 章 鼓风炉

§ 22.1 概述	(292)
§ 22.2 鼓风炉中物料和气流运动	(293)
§ 22.3 鼓风炉料层内的热交换	(297)
§ 22.4 鼓风强度的计算	(301)
§ 22.5 鼓风炉单位生产率(床能力)的计算	(303)
§ 22.6 鼓风炉主要尺寸的确定	(304)

第 23 章 矿热电炉

§ 23.1 概述	(310)
§ 23.2 基本理论	(311)
§ 23.3 炉体结构	(314)
§ 23.4 电极	(315)
§ 23.5 主要计算	(321)

第 24 章 炉子热平衡计算

§ 24.1 热收入计算	(329)
§ 24.2 热支出计算	(330)

主要参考文献	(335)
--------	-------

附录	(338)
----	-------

第 1 篇 流体力学基础

第 1 章 概述

流体力学是以理论分析和实验研究相结合的方法来研究流体平衡和运动规律的科学。

冶金与化工生产过程中很多都是在流体中进行的,如散装物料的干燥、焙烧、熔炼、燃料的输送与燃烧、浸出、萃取与蒸馏等等过程中,无一不与流体流动有着密切关系。因此深入了解和掌握流体力学的基本知识和基本理论对于冶金炉和化工设备的设计、计算和操作等方面的问题,都具有十分重要的意义。由于流体包括液体和气体,因而流体力学也就包括水力学和气体力学。水力学的规律,对于平衡的或运动时速度远低于声速的气体,也是适用的。由于在我们将来的工作中,所遇到的流体既有液体也有气体,但考虑到热工设备气体居多,因此本篇在介绍它们的共同规律时侧重于气体力学基本知识。

§ 1.1 流体及其作为连续介质的概念

气体与液体统称流体,它们的共同特性是流体质点间的引力很小,以致对拉力,对形状的缓慢改变都不显示阻力,因而很容易流动。气体与液体相比,气体容易膨胀或者被压缩,它没有自由表面,总是完全地充满所占容器的空间。由于气体分子之间的距离很大,引力很弱,因此,它既不能保持一定的形状,也不能保持一定的体积。由于气体分子之间的斥力很弱,因而很容易被压缩。而液体则有一定的自由表面和比较固定的体积,不易膨胀和压缩。

流体力学所研究的是流体在外力作用下的宏观机械运动,并不是个别分子的微观行为。工程研究与计算的对象也只是宏观力学性质(如压力和速度等),这些参数都是大量分子行为和作用的平均效果与统计数量,并不是单个分子的随机运动特征。因此,在流体力学中,认为流体质点与质点之间不存在空隙,假想成为由许多质点组成的连续介质。这就是 1753 年欧拉提出的连续介质的概念。

既然流体被看作是连续介质,那么反映流体质点运动特性的各种物理量也应该是空间坐标的连续函数,这样就可以用数学解析方法来分析流体平衡和运动规律,因为数学解析方法是建立在连续函数基础上的。但是对于气体来说连续性这一假设,只有在气体压力不太低的条件下才是正确的。

§ 1.2 流体的主要物理性质

1.2.1 流体的密度

单位体积流体具有的质量称为密度,用 ρ 表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{kg/m}^3 \quad (1-1)$$

式中 m ——流体的质量,kg;

V ——流体的体积, m^3 。

单位质量流体具有的体积称为比容,用 ν 表示,即

$$\nu = \frac{V}{m} \quad \text{m}^3/\text{kg} \quad (1-2)$$

在标准大气压下的水和空气的密度列于表 1-1。

表 1-1 在标准压力下水和空气的密度

温 度 ℃	水	空 气
	密度, kg/m^3	密度, kg/m^3
0	999.8	1.293
5	1000.0	1.271
10	999.7	1.248
15	999.1	1.227
20	998.2	1.205
30	995.7	1.165
40	992.2	1.128
60	983.2	1.060
80	971.8	1.000
100	958.4	0.946

表 1-2 常见气体在标准状态下的密度

气 体	$\rho_0, \text{kg/m}^3_{\text{标}}$	气 体	$\rho_0, \text{kg/m}^3_{\text{标}}$
O_2	1.429	CH_4	0.716
N_2	1.288	SO_2	2.858
H_2	0.090	H_2S	1.251
CO	1.250	空气	1.293
CO_2	1.963	气体燃料	0.500~1.203
H_2O	0.804	燃烧产物	1.300~1.340

注:在从前的工程计算中常用重度 $r(\text{N/m}^3)$,重度与密度的关系为 $r = \rho g$,式中 g 为重力加速度, m/s^2 。

冶金和化工生产中常见的气体(如煤气、炉气等)都是各种气体的混合物,其平均密度可按

下式计算：

$$\rho = \rho_1 a_1 + \rho_2 a_2 + \cdots + \rho_n a_n \quad (1-3)$$

式中 $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ —— 混合气体中各组成气体的密度, kg/m^3 ;

$a_1, a_2, \dots, a_n$ —— 混合气体中各组成气体的体积百分数。

常见气体在标准状态(温度为 0°C , 压力为 1 标准大气压)下的密度见表 1-2。

1.2.2 压缩性和温度膨胀性

液体很难被压缩,例如当压力在 $1 \sim 500$ 大气压、温度为 $0 \sim 20^\circ\text{C}$ 的范围内,每增加一大气压,水的体积只被压缩二万分之一。温度升高时液体体积略有膨胀,但变化很小。实验测定,一大气压下,在 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 范围内,温度每升高 1°C ,水的体积增加约万分之 1.5。其他液体的压缩和膨胀系数也很小。因此实际工程计算中,一般不考虑液体体积变化。

气体压力和温度的变化都将引起其体积和密度的变化,其变化关系可用理想气体的状态方程式来表示:

$$p\nu = RT \quad (1-4)$$

式中 p —— 绝对压力, N/m^2 ;

ν —— 比容, m^3/kg ;

T —— 绝对温度, K ;

R —— 具体气体常数, $(\text{N}\cdot\text{m})/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。常见气体的气体常数 R 值列于表 1-3。

表 1-3 各种常见气体的气体常数

气体名称	空气	水蒸气	N_2	O_2	H_2	CO_2	CO	SO_2	Cl_2	HCl
R	287	462	297	260	4124	189	297	130	117	228

式(1-4)也可写成

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (1-5)$$

如果单位质量气体在 0°C 时的体积为 V_0 , 温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的体积为 V_t , 则有

$$\left. \begin{aligned} V_t &= V_0(1 + \beta t) \\ \rho_t &= \rho_0/(1 + \beta t) \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

或中 ρ_0, ρ_t —— 0°C 和 $t^\circ\text{C}$ 时气体密度, kg/m^3 ;

β —— 气体的体积膨胀系数, $\beta = \frac{1}{273}, 1/^\circ\text{C}$ 。

1.2.3 粘滞性

图 1-1 表示两块相距较近的平行平板, 其间充满流体。假定下板固定, 上板以某一速度 v 向右移动。可以认为, 由于流体与板间的附着力, 紧贴板的流体将附着在板上, 具有与板相同的速度。因此, 紧贴上板的一层流体, 将以速度 v_0 随上板向右运动, 而紧贴下板的一层流体

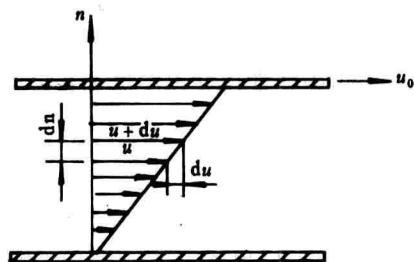


图 1-1

将和下板一样静止不动,介于两板之间的各层流体,将以自上而下逐层递减的速度向右移动。这表明,相邻流层之间有相对运动,一层运动较快些,一层运动较慢些。每一运动较慢的流体流层,都是在运动较快的流体流层的带动下才运动的。也就是说,因为快层对慢层有一个拖力,使慢层加速;慢层则对快层有一个与拖力大小相等方向相反的阻力,使快层减速。拖力和阻力分别作用在紧挨着但速度不同的流体层上。因为这一对力是在流体内部产生的,所以叫内摩擦力或粘性阻力。

因此,当流体的各部分之间有相对运动时,其内部就会产生内摩擦力以阻止相对运动。流体的这种性质,称为粘性或粘滞性。

粘性是由于流体内部分子之间的吸引力和分子扩散而引起的动量交换所造成的。

当液体静止时,其内部分子处于平衡位置,相邻分子间的吸引力和斥力相平衡。但发生相对运动时,将使分子距离有所增加,使相邻分子之间的吸引力和斥力都要减小,但斥力减小的数量多于吸引力减少的数量,所以综合结果表现出来的是吸引力。于是快层分子因有此引力而拖动慢层;而慢层分子则因有此引力而阻滞快层,因而开成了粘性。由于液体分子之间相靠紧密,这种分子之间的引力(或称内聚力)较大,这是液体粘性产生的主要原因。但对气体来说,由于其分子距离很大,分子间的吸引力很小,因此这一因素对气体的粘性所起的作用很小。

对于气体,分子彼此相距较大,而且分子都在不规则的运动,这样,在气体流动时各流层之间互有微观的分子扩散。于是,原在快层中的气体扩散到慢层中时,就会把它具有的较多的动量交换给慢层,即给慢层以向前的碰撞,形成拖力而使慢层加速;相反,当原在慢层中的气体分子扩散到快层中时,它原有的动量比快层中分子的动量小,将给快层向后的碰撞,形成阻力而使快层减速。因此,扩散分子的动量交换是造成气体粘性的主要原因。

粘性力的大小可由牛顿内摩擦定律确定:

$$F = \mu \frac{du}{dn} A \quad (1-7)$$

式中 F —— 流体层接触面上的内摩擦力, N;

A —— 流体流层之间接触面积, m^2 ;

$\frac{du}{dn}$ —— 沿接触面法线方向的速度梯度, $1/s$;

μ —— 表示流体物理性质的一个比例系数,叫动力粘度(粘性动力系数), $N \cdot S/m^2$ 。

单位面积上的内摩擦力 τ (切应力)可表示为

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dn} \quad N/m^2 \quad (1-8)$$

在运动的流体中,内摩擦力或切应力总是成对出现的,它们的大小相等、方向相反。流体静止时,速度梯度 $du/dn=0$,所以不呈现切应力。

在应用中还常用动力粘度和密度的比值来表示粘性的大小,这个比值称为运动粘度(粘性运动系数),并用符号表示,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad m^2/s \quad (1-9)$$

各种流体的粘度除与本身的性质有关外,还受压力和温度的影响。但压力对流体粘度的影响可以忽略不计,温度对流体粘性影响很大。当温度升高时,液体分子间的吸引力(内聚力)减弱,故温度升高时液体粘度下降。而气体的粘性主要是由于分子扩散致使各分子间产生动量交换,当温度升高时,分子热运动加剧,扩散作用及动量交换增强,故粘度增大。

气体粘度与温度的关系为

$$\mu_t = \mu_0 \left(\frac{237+C}{T+C} \right) \left(\frac{T}{273} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (1-10)$$

式中 μ_t, μ_0 ——分别为 $t^\circ\text{C}$ 和 0°C 时气体粘度, $(\text{N}\cdot\text{s})/\text{m}^2$;

T ——气体的绝对温度, K ;

C ——与气体性质有关的常数。

各种气体的 μ_0 和 C 值列于表1-4

表1-4 各种气体的 μ_0 和 C 值

气体名称	$\mu_0 \times 10^6$	C	气体名称	$\mu_0 \times 10^6$	C
空气	17.16	122	CO_2	14.02	250
O_2	19.41	128	SO_2	12.06	416
N_2	16.67	118	水蒸汽	8.24	473
H_2	8.34	75	发生炉煤气	14.51	150
CO	16.54	102	燃烧产物	14.81	173

混合气体的粘度可按各气体成分的体积比用下式估算:

$$\mu_t = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{\mu_i}} \quad (1-11)$$

式中 V_i ——各气体成分的体积百分数;

μ_i ——各对应成分的粘度。

实际流体是有粘性的,而且粘性及其影响因素比较复杂,这给研究流体运动规律带来很大的不便。因此,为了便于分析和推导流体力学中的基本公式,往往假设流体粘度为零($\mu=0$),这种粘性系数为零的流体称为“理想流体”。工程中很多流体(如水、空气和烟气等),可近似地按理想流体进行分析计算。

思考题与习题

1-1 为什么要引入连续介质这一概念。

1-2 流体的密度与重度之间有什么联系和差别?

1-3 为什么气体的粘性随温度的升高而增加?液体的粘性随温度的升高而减少?试根据粘性的机理予以分析说明。

1-4 为什么水和金属液的运动粘性系数都比空气的小,这能说明水和金属液的粘性比空气小吗?

1-5 什么是动力粘性系数和运动粘性系数,两者的关系如何?

1-6 什么是理想流体?引入这一概念有什么意义?

1-7 某烟气体积组成(%)为 CO_2 13.6, SO_2 0.4, O_2 4.2, N_2 75.6, H_2O 6.2 烟气温度为 800°C , 求动力粘度。

1-8 试求温度为 100°C , 绝对压力为 6.0 工程大气压时, 氧、氢、 CO_2 各 5m^3 的质量。

1-9 氧气瓶的容积 20 升, 使用前的绝对压力为 100 工程大气压, 温度为 15°C , 使用一段时间后, 压力降为 76 工程大气压, 温度降为 10°C , 问消耗氧量为多少公斤?

第2章 液体静力学基础

流体静力学是研究流体平衡(静止)时的规律及其在工程上的应用,同时也是进一步研究流体运动时的必要基础。

§ 2.1 作用在流体上的力

流体力学既然是研究流体平衡和运动规律的科学,那么就必须了解流体受到哪些力的作用。因为平衡指的是所受诸力的平衡,而运动是在力的作用下产生的。作用在流体上的力按其作用形式的不同可以分为表面力和质量力两类。

2.1.1 表面力

表面力是作用在被研究流体体积表面上并与表面面积成比例的力。表面力又可分成两种形式,一种是与流体表面相垂直的法向力;另一种是与表面相切的切向力即内摩擦力。对于静止流体或无粘性的理想流体,切向力为零。

2.1.2 质量力

质量力是作用在流体的每一质点上,并与受作用的流体的质量成比例的力。质量力也有两种:一种是外界物质对流体的吸引力,如重力;另一种是流体作加速运动时产生的惯性力,如直线加速运动时的惯性力,圆周运动时的离心力等。

质量力的大小用单位质量力来度量。设流体的质量为 m ,所受的质量力为 G ,则单位质量力为 G/m 。若 G 在各个直角坐标轴上的投影为 G_x, G_y 和 G_z ,则单位质量力在各个坐标轴上的投影 X, Y 和 Z 为

$$X = \frac{G_x}{m}, Y = \frac{G_y}{m}, Z = \frac{G_z}{m} \quad (2-1)$$

单位质量力及其投影的单位为 m/s^2 。

§ 2.2 流体静压力

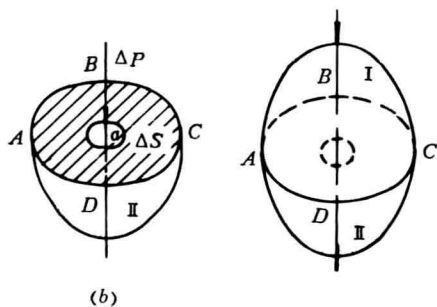


图2-1 水静压力示意图

2.2.1 流体静压力

从处于平衡状态下的均质流体中取出一块体积,如图2-1所示。以平面 $ABCD$ 将它分为 I、II 两部分,取去上边部分 I,研究下边部分 II。因为在接触面 $ABCD$ 上 I 与 II 两部分有相互作用力,取去 I 后,为了保持 II 的平衡,必须有作用力来代替 I 对 II 的作用,否则原有的平衡就要被破坏。设 ΔS 为 $ABCD$ 平面上的任一面积, a 点为该面积的中心,用 ΔP 表示被移去

部分作用的面积 ΔS 的总作用力,比值 $\Delta P/\Delta S$ 称为面积 ΔS 上的平均静压强,当面积 ΔS 趋近 a 点时,比值 $\Delta P/\Delta S$ 的极限叫做 a 点的流体静压强

$$P = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

因此,可以定义,流体单位面积上所受到垂直于该表面上的力称为流体的静压强。习惯上把流体静压强称为静压力,或称压力。而将某一面积上所受到的静压力称为总作用力。

流体静压力具有两个重要特性:

- (1) 静压力的方向总是和作用的面相垂直且指向该作用面,即沿着作用面的内法线方向。
- (2) 在静止流体内部任意点处的流体静压力在各方向上都是相等的。

2.2.2 绝对压力、表压力及真空度

压力与压强是不同的,但习惯上常把流体的压强直接称为压力。度量压强首先应规定度量的基准,常用的基准是绝对零压(完全真空)和当地大气压。

以完全真空为基准算起的压力称为绝对压力。以大气压力为基准算起的压力称为表压力(相对压力)。绝对压力与表压力之间相差一个大气压。

即
$$p = p_a + p_b \quad (2-2)$$

或
$$p_b = p - p_a \quad (2-3)$$

式中 p, p_a, p_b 分别为绝对压力、大气压力、表压力。

工程上常用的压力表或压力计,在其标度为零处一般相当于大气压力,也就是在大气压力下指针指在零点,因而在压力表或压力计上读得的数值是表压力(相对压力)。

当流体中某处的绝对压力小于大气压力时,该处处于真空状态。此时,大气压力与绝对压力的差值称为真空度(真空压力)即

$$p_u = p_a - p \quad (2-4)$$

式中 p_u 为真空度,其他符号同上。由此可知,流体中某处的绝对压力愈小,则该处的真空度愈大。理论上,当绝对压力为零时,真空度为最大,等于一大气压的数值。绝对压力、表压力和真空度之间关系如图2-2所示。

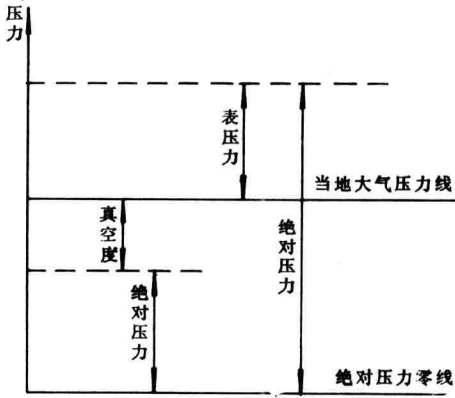


图2-2 绝对压力、表压力、真空度之间的关系

2.2.3 压力的度量单位

压力的度量有三种单位:

1、应力单位 从压强的基本定义出发,用单位面积上的力表示,国际单位为牛顿/米²(N/m²),称为“帕”,或以符号 Pa 表示。工程单位为公斤力/米²或公斤力/厘米²,符号为 kgf/m²或 kgf/cm²。

2、液柱高度 常用的单位为米水柱(mH₂O),毫米汞柱(mmHg),毫米水柱(mmH₂O)。

3、大气压 在压力较高的场合多用大气压作为度量单位。以纬度45°海平面所受大气压力为一标准大气压或物理大气压,用 p_{atm} 表示。