

职业技能培训教程

ZHIYEJINENGPETI XUNJIAOCHENG

锅炉运行值班员

GUO LU YUN XING ZHI BAN YUAN

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编



中国石油大学出版社

CHINA PETROLEUM UNIVERSITY PRESS

职业技能培训教程

锅炉运行值班员

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

锅炉运行值班员/中国石油天然气集团公司人事服务中心编. —东营:中国石油大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-5636-2217-7

I. 锅... II. 中... III. 锅炉运行—技术培训—教材
IV. TK227

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 030649 号

丛 书 名: 职业技能培训教程

书 名: 锅炉运行值班员

作 者: 中国石油天然气集团公司人事服务中心

责任编辑: 杨 勇(电话 0546—8395938)

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: upccbsyangy@126.com

排 版 者: 青岛海讯科技有限公司

印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546-8392565,8399580)

开 本: 185×260 印张:33.875 字数:867千字

版 次: 2007年4月第1版第1次印刷

定 价: 38.00元

职业技能培训教程

编审委员会

主任：孙祖岭
副主任：刘志华
委员：孙金瑜 徐新福
 任一村 职丽枫 朱长根 郭向东
 史殿华 马富 关昱华 郭学柱
 刘文玉 熊术学 齐爱国 刘振勇
 刘瑞善 丁传峰 乔庆恩 申泽
 蔡激扬 阿不都·热西提 郭建
 王阳福 郑兴华 赵忠文 时万兴
 王成 商桂秋 赵华 杨诗华 刘怀忠
 杨静芬 纪安德 杨明亮 刘绍胜 姚斌
 何明 范积田 胡友斌 多明轩 李明
 蔡新江

前 言

为提高石油工人队伍素质,满足职工培训、鉴定需要,中国石油天然气集团公司人事服务中心继组织编写了第一批 44 个石油天然气特有工种的培训教程与鉴定试题集之后,又组织编写了第二、三批 106 个工种的职业技能鉴定试题集,并分别由石油工业出版社和中国石油大学出版社出版。根据企业组织工人进行培训和职工学习技术的需要,我们在第二、三批题库的基础上,又组织编写了第二批 32 个工种的工人培训教材。

本批教材只编写基础理论知识与相关专业知识部分,内容、范围与题库基本一致,不分级别,与已编写出版的第二、三批试题集配套使用,便于组织工人进行鉴定前培训。由于在公开出版发行的习题集中,只选取了题库中的部分试题,因此本批教材对工人学习技术,提高知识技能将起到应有的作用。

《锅炉运行值班员》由大庆石油管理局组织编写,王俊安、郝振生任主编,其中郝振生、尹兰编写第一部分第二、四章;刘也、尹兰编写第一部分第一、三章;王俊安、肖志萍编写第二部分第一~八章;王俊安、于幸峰编写第二部分第九~十五、十八~二十章,第三部分第三章;王俊安、郝振生、刘也编写第二部分第十六、十七章;王俊安、黄治建、宋保华编写第三部分第二、四章;黄治建编写第三部分第一、五章。最后经中国石油天然气集团公司职业技能鉴定指导中心组织专家进行了终审,参加审定的专家有大庆电力集团王俊安、尹兰、李春雨、郭沿群、李吉祥、贾学海、张鹏飞,辽河油田彭银华,锦西石化程黄兵。在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中的错误、疏漏之处恳请广大读者提出宝贵意见。

作 者

2006 年 10 月

目 录

第一部分 基础知识

第一章 流体力学基础知识	(1)
第一节 流体的物理性质	(1)
第二节 流体静力学	(4)
第三节 流体动力学	(6)
第四节 流动阻力	(9)
第二章 热力学基本知识	(13)
第一节 绪论	(13)
第二节 基本概念	(16)
第三节 热力学第一定律	(23)
第四节 理想气体的性质及主要热力过程	(25)
第五节 热力学第二定律	(31)
第六节 实际气体及水蒸气	(35)
第七节 蒸汽动力循环装置	(42)
第八节 气体与蒸汽的流动	(46)
第三章 传热学的基本知识	(50)
第一节 传热学的一般概念	(50)
第二节 传热过程及换热器	(58)
第四章 发电厂及热力系统简介	(65)
第一节 发电厂热力过程	(65)
第二节 发电厂局部性热力系统及其设备	(66)
第三节 发电厂的热力系统和其他系统	(69)

第二部分 专业知识

第一章 绪论	(72)
第一节 电站锅炉的作用及特点	(72)
第二节 锅炉的基本特性与分类	(73)
第三节 电站锅炉的组成和工作过程	(75)
第二章 燃料及其特性	(80)
第一节 煤	(80)
第二节 燃料油	(86)
第三节 气体燃料	(88)

第三章 锅炉燃烧理论与热平衡计算	(90)
第一节 燃料燃烧的基本原理	(90)
第二节 燃烧时的空气需要量	(94)
第三节 锅炉正平衡热效率	(96)
第四节 锅炉反平衡热效率	(97)
第五节 锅炉热效率、净效率及燃料消耗量	(102)
第六节 提高锅炉热效率的途径	(103)
第四章 燃烧设备及运行	(106)
第一节 直流煤粉燃烧器	(106)
第二节 旋流煤粉燃烧器	(111)
第三节 新型稳燃技术和浓淡燃烧器	(113)
第四节 油、气燃烧器及点火装置	(117)
第五节 煤粉炉炉膛	(123)
第五章 自然循环蒸发设备及其汽水净化	(126)
第一节 自然循环锅炉设备及其工作原理	(126)
第二节 汽水分离及蒸汽净化	(133)
第三节 锅炉给水的净化处理	(144)
第六章 锅炉受热面	(147)
第一节 水冷壁	(147)
第二节 过热器	(149)
第三节 再热器	(155)
第四节 省煤器	(157)
第五节 空气预热器	(160)
第七章 受热面的结渣、积灰、磨损和腐蚀	(165)
第一节 锅炉的结渣	(165)
第二节 受热面的磨损	(167)
第三节 受热面的积灰	(168)
第四节 受热面的腐蚀	(171)
第八章 锅炉整体布置及锅炉附件	(175)
第一节 影响锅炉受热面布置的因素	(175)
第二节 锅炉整体布置方式	(176)
第三节 阀门的一般知识	(178)
第四节 水位计	(183)
第五节 吹灰装置	(185)
第九章 锅炉辅助设备及其运行	(188)
第一节 制粉系统及其设备运行	(188)
第二节 制粉系统的运行	(211)
第三节 制粉系统安全运行的防爆措施	(220)
第四节 泵与风机	(222)
第五节 辅机故障及处理	(231)

第十章 锅炉启动前的处理、验收和试验	(239)
第一节 锅炉启动前的处理	(239)
第二节 检修后的验收	(246)
第三节 水压试验	(247)
第四节 漏风试验	(249)
第五节 回转机械试运行	(250)
第六节 锅炉连锁试验	(250)
第七节 锅炉保护装置及其试验	(252)
第八节 安全门的调试与校验	(258)
第十一章 锅炉启动	(261)
第一节 启动前的检查与准备	(261)
第二节 单元机组自然循环锅炉的冷态启动	(263)
第三节 自然循环锅炉的热态滑参数启动	(272)
第四节 母管制系统自然循环锅炉的启动	(274)
第十二章 锅炉运行调节	(278)
第一节 压力调节	(278)
第二节 过热汽温与再热汽温调节	(283)
第三节 水位调节	(290)
第四节 燃烧调节	(294)
第五节 负荷调节	(302)
第六节 调峰运行技术	(305)
第七节 受热面的超温运行问题	(311)
第八节 吹灰与排污	(312)
第十三章 机炉协调控制	(315)
第一节 概述	(315)
第二节 机炉协调控制方式	(317)
第三节 单元机组的运行控制方式	(319)
第四节 单元机组协调控制方式的选择和投运	(320)
第五节 分散控制系统	(321)
第十四章 锅炉的停炉与保养	(326)
第一节 汽包锅炉的停炉	(326)
第二节 锅炉停炉的安全保护问题	(330)
第十五章 锅炉事故处理	(334)
第一节 锅炉事故概述	(334)
第二节 汽包锅炉水位事故	(335)
第三节 受热面损坏	(336)
第四节 厂用电故障	(339)
第五节 燃烧事故	(340)
第六节 跳闸故障	(343)

第十六章 烟气除尘和脱硫	(346)
第一节 电除尘器	(346)
第二节 湿式除尘器	(356)
第三节 袋式除尘器	(357)
第四节 烟气脱硫	(359)
第十七章 锅炉除灰	(367)
第一节 水力除灰系统	(367)
第二节 气力除灰系统及运行	(373)
第三节 除灰管道的磨损与防磨	(382)
第十八章 强制循环锅炉	(385)
第一节 直流锅炉	(385)
第二节 多次强制循环和复合循环锅炉	(394)
第三节 直流锅炉的启动	(400)
第四节 强制循环锅炉和复合循环锅炉的启动特点	(412)
第五节 直流锅炉的运行	(414)
第六节 直流锅炉的停运	(418)
第十九章 燃气-蒸汽联合循环余热锅炉	(421)
第一节 联合循环原理和循环方式	(421)
第二节 余热锅炉的原理和结构特点	(425)
第三节 余热锅炉的运行与控制	(431)
第二十章 循环流化床锅炉	(434)
第一节 循环流化床锅炉的基本原理及特点	(434)
第二节 循环流化床锅炉的主要设备及作用	(448)
第三节 循环流化床锅炉的运行	(471)
第四节 循环流化床锅炉运行中的常见故障及处理	(485)

第三部分 相关知识

第一章 电工学基础知识	(491)
第一节 电路的基本概念与基本定律	(491)
第二节 电阻电路	(495)
第三节 三相正弦交流回路	(497)
第二章 热工测量与仪表	(499)
第一节 温度测量	(499)
第二节 压力测量	(501)
第三节 液位测量	(503)
第四节 流量测量	(504)
第五节 显示仪表	(506)
第三章 锅炉的电气系统	(508)
第一节 锅炉自用电系统	(508)

第二节	信号系统	(511)
第三节	电动机的保护	(512)
第四章	电厂金属材料	(513)
第一节	金属材料基础知识	(513)
第二节	金属材料的性能	(514)
第三节	电厂锅炉及压力容器用钢	(517)
第四节	金属长期在高温状态下的变化	(520)
第五章	安全生产知识	(523)
第一节	安全常识	(523)
第二节	吹灰、除焦与安全设备的安全知识	(524)
第三节	HSE 管理体系基础知识	(526)
参考文献	(529)

第一部分 基础知识

第一章 流体力学基础知识

第一节 流体的物理性质

一、流体的概念

流体是气体和液体的统称。固体和流体比较起来分子之间的距离要近得多,分子间的吸引力也大得多。因而固体能够抵抗外力而保持一定的形状。流体由于分子之间的吸引力小而没有固定的形状。流体在任何微小的切向力的作用下都会产生连续不断的变形。这种无限制的变形就是流动。流体不能抵抗剪切变形,而只能抵抗变形速度,即对变形速度呈现一定的阻力。流体具有的极易变形的特性叫做流动性。因为气体和液体都具有流动性,故都称为流体。

液体的形状决定于容器的形状,并且由于分子之间吸引力的作用,液体有力求将自身表面积缩到最小的特性。所以当容器的容积大于液体的体积时,液体就不能充满容器,那么在重力的作用下,液体总是保持一个自由表面,称为自由液面。只有在重力的作用下,自由液面才为水平面。另外,由于液体分子间距小,当对液体加压时,只要分子间距稍有缩小,分子间的排斥力就会增大以抵抗外界压力,所以液体的分子间距很难缩小,也就是说液体很不容易被压缩。而气体分子之间的间距就要比液体大得多,所以分子间的吸引力很小,分子的热运动起决定性作用,以至于气体没有一定的形状,也没有一定的体积,它总是能均匀充满容纳它的容器而不能形成自由表面。也正因为气体分子间距大,当受到外界压力时,只有当分子间距缩小很多时,分子间才会出现排斥力。所以,气体具有很大的压缩性。

从微观上来看,流体是由大量分子组成的,分子之间总有一定的间隙,事实上流体是不连续的。但是,对所研究的一些实际工程问题,如各种管道、设备的特征尺寸,往往远远大于流体的分子平均自由程,所以流体力学只研究流体的宏观机械运动。为此,在被研究的流体中取无穷小的微团,微团中包含大量的流体分子,微团之间没有空隙,这样,就可以不考虑分子之间的间隙,把流体视为无数连续分布的流体质点组成的连续介质。这就是流体的连续性假定。

有了连续性的假定,就可以使流体力学摆脱分子运动的复杂性,同时因为流体是连续的,表征流体的各个物理量在一般情况下也是连续的。这样就可以利用连续函数这一有力的数学工具,分析和研究流体的各个物理量的变化范围,在很大程度上方便了研究。

二、流体的密度和重度

按照牛顿定律,物体总是力图保持它的运动状态不变,这个性质就是所谓的惯性。当流体受外力作用而改变其运动状态时,流体必然产生反抗改变的惯性力。惯性的大小是用质量来度量的,质量越大,惯性就越大。为了便于比较不同流体惯性的大小,通常用密度来表明流

体质量的密集程度。

流体单位体积内所具有的质量称为密度,用希腊字母 ρ 表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1-1)$$

式中 ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

m ——流体的质量, kg ;

V ——流体的体积, m^3 。

根据万有引力定律,任何物体之间都有吸引力。地球对物体的吸引力叫做重力,又称重量。为了比较不同流体重量的大小,一般用重度来表示。

流体单位体积的重量称为重度,用希腊字母 γ 表示,即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-1-2)$$

式中 γ ——流体的重度, N/m^3 ;

G ——流体的重量, N ;

V ——流体的体积, m^3 。

三、影响流体密度与重度的因素

流体的密度与重度主要随流体的种类而异。液体的密度与重度远远大于气体,当两者相比较时,气体重度常常可以忽略不计。

对于同一种流体而言,其密度与重度随温度与压力的变化而变化。这是因为温度不同时,流体的体积要发生变化的缘故。对同一种液体来讲,这种变化不大,在通常的情况下可以近似地认为液体的密度与重度是常数。对于气体来讲,温度与压力的影响很大,不能不加以考虑。

四、流体的压缩性与膨胀性

流体的体积随流体所承受的压力和温度而变化。流体所承受的压力增大时,流体体积缩小、密度增大的性质称为压缩性。流体温度升高时,流体体积增大、密度减小的性质称为膨胀性。

液体压缩性的大小,用压缩率 β 或弹性模量 E 来表示。压缩率表示温度不变时,单位压力变化所引起的液体体积的相对变化量,即

$$\beta = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V_p}{V_1} \quad (1-1-3)$$

式中 β ——液体的压缩率, Pa^{-1} ;

Δp ——液体压力的变化量,等于变化后的压力 p_2 与变化前的压力 p_1 之差, Pa ;

ΔV_p ——液体体积的变化量,等于变化后的体积 V_2 与变化前的体积 V_1 之差, m^3 ;

V_1 ——液体原来的体积, m^3 。

压缩率 β 的倒数就是弹性模量 E :

$$E = \frac{1}{\beta} = -\Delta p \frac{V_1}{\Delta V_p} \quad (1-1-4)$$

液体膨胀性的大小用膨胀系数 α 来表示。膨胀系数表示压力不变时,温度增加 1 K 时,液体密度或体积的相对变化率,即

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \frac{\Delta V}{V} \quad (1-1-5)$$

式中 α ——液体的温度膨胀系数, K^{-1} ;

ΔT ——温度的变化量,等于液体变化后的温度 T_2 与变化前的温度 T_1 之差, K;

$\frac{\Delta V}{V}$ ——液体体积的相对变化量。

液体的压缩系数和膨胀系数都是很小的,除了少数问题外,工程实用上可以忽略。

当温度和压力改变时,对气体的体积影响很大。由理想气体状态方程可知,当温度不变时,气体体积与压力成反比。压力增加一倍,体积减小为原来的一半。当压力不变时,温度每升高 1°C ,体积就比 0°C 时膨胀 $1/273$ 。因为压力及温度变化时气体体积要发生较大变化,气体密度和重度都不能视为常数,所以,气体称为可压缩流体。

五、液体的黏性及牛顿内摩擦定律

观察不同流体的流动就会发现,水比油的流动要快一些,而热沥青、稀糨糊等流体的流动就更加慢。黏性反映了流体运动的这一特性,它是流体的一种重要的物理性质,对流体的运动会产生极大的影响。流动着的流体其质点间或层流间因相对运动而产生内摩擦力以反抗其相对运动的性质称为黏性。作相对运动的流体必须克服黏性的阻碍,因而造成能量的消耗。黏性是引起流体运动能量损失的根本原因。

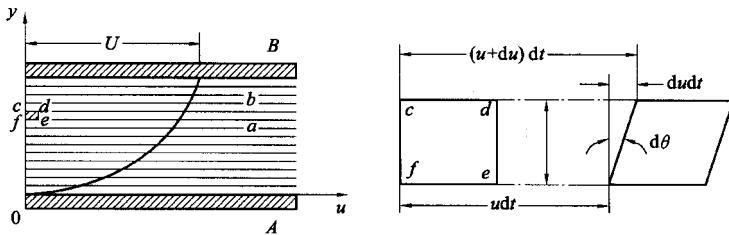


图 1-1-1 流体所受内摩擦力示意图

牛顿内摩擦定律(由牛顿提出并经实验证明):相邻两层流体间内摩擦力 T 的大小与两层流体的接触面积 A 及速度差 du 成正比,与两层流体间的距离 dy 成反比,并与流体种类及温度有关,而与流体所承受的压力无关,如图 1-1-1 所示。其数学表达式为:

$$T = \eta A \frac{du}{dy} \quad (1-1-6)$$

式中 T ——流体的内摩擦力, N;

A ——流层间的接触面积, m^2 ;

η ——表征流体种类及温度影响的一个比例常数,称为流体的动力黏度(又称为动力黏滞系数或绝对黏度等), $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 即 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$;

$\frac{du}{dy}$ ——流体的速度梯度,它表示了与流速相垂直的 y 方向上速度的变化率, s^{-1} 。

公式 $T = \eta A \frac{du}{dy}$ 称为牛顿内摩擦定律。实践证明,这个定律对于气体及大多数液体都是正确的。

若公式(1-1-6)两端同时除以面积 A , 则

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} \quad (1-1-7)$$

式中 τ ——切应力,即单位面积上的内摩擦力, N/m^2 。

流体动力黏度的物理意义及单位可由式(1-1-7)得到:

$$\eta = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (1-1-8)$$

在流体力学中,将流体动力黏度 η 与密度 ρ 的比值称为运动黏度,并用 ν 表示,即

$$\nu = \eta / \rho \quad (1-1-9)$$

式中 ν ——流体的运动黏度,单位 m^2/s 。

流体的黏度不仅随流体的种类而不同,而且随流体的温度而变化,温度升高时,液体的黏度降低,而气体的黏度则加大。

液体黏度随温度升高而降低的特性,对锅炉燃油的输送和雾化质量的提高,起积极的作用。但是这个特性对于汽轮发电机组、泵、风机等转动设备的轴承润滑,将起消极作用。因为润滑油温度超过 60°C 时,由于黏度的降低,妨碍了油膜的形成,会造成轴承温度升高,甚至引起轴瓦烧毁的事故。

第二节 流体静力学

一、流体的静压力及其特性

当流体处于静止状态时,流体的压力称为流体静压力。静压力的单位是 N/m^2 ,又叫 Pa (帕)。流体静压力有两个重要的特性:

- (1) 静压力的方向和作用面垂直,并指向作用面。
- (2) 流体静压力的大小与作用面的方位无关。

二、流体静力学的基本方程式及其意义

流体静力学基本方程式的表达式为:

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-1-10)$$

式中 p ——静止液体中任意一点的静压力, Pa;

p_0 ——液体自由表面上的压力, Pa;

h ——静止液体中任意一点距自由表面的深度, m;

γ ——液体重度, N/m^3 。

它只适用于不可压缩流体(通常是液体)。用它以求静止液体中任意一点的静压力。它表明,在重力作用下的静止液体中,任意一点的静压力 p 等于自由表面上的压力 p_0 加上该点距自由表面的深度 h 与液体重度的乘积。由式(1-1-10)可知,静压力是随深度按直线规律变化的,即某点的位置越深,静压力也就越大。

由不可压缩流体的静力学基本方程式可以看出,对液体而言,不同位置处各点的压力都包含了同一个液体表面上的外压力 p_0 。这就说明了在液体内部外压力将毫不减弱地向各个方向传递。这就是帕斯卡定律。这个定律在水压机及液压传动等方面得到广泛应用。在液压系统中,由于外压力比重力的影响大得多,因而在式(1-1-10)中,忽略 γh 一项,则 $p = p_0 =$ 常数。即静止液体中各点静压力相同,都等于液体边界上的外压力。

应用流体力学基本方程式还可以分析液体在不同位置处静压力之间的相互关系。深度较大的点的静压力等于深度较小的点的静压力加上两点的位置高差乘以液体的重度;反之,深度较小的点的静压力等于深度较大的点的静压力减去两点的位置高差乘以液体的重度。

三、绝对压力、相对压力及真空

绝对压力:当流体的静压力是以绝对真空为零点算起时,这个压力值称为绝对压力,用字

母 p 表示。对液体而言,若自由表面上是大气压力 p_0 ,则根据静力学基本方程式,液体中某一点的绝对压力为:

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-1-11)$$

式中 p ——绝对压力,Pa;

p_0 ——液体自由表面上的大气压力,Pa;

h ——静止液体中任意一点距自由表面的深度,m;

γ ——液体重度, N/m^3 。

相对压力:以大气压力 p_0 为零点算起的压力叫做相对压力。也就是绝对压力减去当地大气压力,便得到相对压力值,并以字母 p_g 表示,即

$$p_g = p - p_0 \quad (1-1-12)$$

式中 p_g ——液体的相对压力,Pa;

p ——绝对压力,Pa;

p_0 ——液体自由表面上的大气压力,Pa。

当液体自由表面上是大气压力 p_0 时,可知

$$p_g = \gamma h \quad (1-1-13)$$

式中 p_g ——液体的相对压力,Pa;

h ——静止液体中任意一点距自由表面的深度,m;

γ ——液体重度, N/m^3 。

绝对压力等于相对压力加上大气压力,即

$$p = p_g + p_0 \quad (1-1-14)$$

式中 p_g ——液体的相对压力,Pa;

p ——绝对压力,Pa;

p_0 ——液体自由表面上的大气压力,Pa。

在多数工程实际问题中,因流体所受的大气压力是互相平衡的,因此,真正起作用的是相对压力,故一般多采用相对压力来表示静压力。例如,一般压力表上指示的零压就是大气压力。压力表的读数反映了流体的压力与周围空气的压力差,故压力表上的刻度是相对压力。所以,习惯上相对压力在工程上又被称为表压力或计示压力。

真空:如果流体中某点的绝对压力小于大气压力,则称该处具有真空。真空的大小,可以用真空值或真空度来表示。

真空值是指大气压力与绝对压力的差值。换句话说,真空值就是压力不足一个大气压力的差额,用字母 p_v 表示,即

$$p_v = p_0 - p \quad (1-1-15)$$

式中 p_v ——真空值,Pa;

p_0 ——大气压力,Pa;

p ——绝对压力,Pa。

可以看出相对压力与真空值有如下关系:

$$p_v = -p_g \quad (1-1-16)$$

式中 p_v ——真空值,Pa;

p_g ——相对压力,Pa。

上式表明真空值就是相对压力的负值,因此,真空值也称为负压。

真空度是指真空值与当地大气压力比值的百分数,通常用 H_v 表示,即

$$H_v = (p_0 - p) / p_0 \quad (1-1-17)$$

式中 H_v ——真空度;

p_0 ——大气压力,Pa;

p ——绝对压力,Pa。

绝对压力 $p=0$ 时的真空成为绝对真空,此时的真空值最大。理论上,最大的真空值等于当地大气压力。但在实际上绝对真空是不存在的。

四、浮力的原理

任意形状的固体表面构成了一个封闭的曲面,当将其浸入液体中时,液体对固体表面的总压力形成了浮力。浸没在液体中的物体受到液体的总压力 F 就只是一个向上的垂直分力 F_z ,它的大小等于与物体同体积的液体的重量。这就是著名的阿基米德定律,即

$$F = F_z = \gamma V \quad (1-1-18)$$

式中 F ——物体在液体中的总压力,N;

F_z ——物体在液体中所受总压力的向上垂直分量,N;

γ ——液体的重度, N/m^3 ;

V ——物体所排开液体的体积, m^3 。

F 又称为浮力。当物体的重量 G 大于 F 时物体就下沉,这时称为沉体;当物体的重量 G 正好等于浮力 F 时,物体可以在液体中任何位置保持平衡,这时称为潜体;当物体重量 G 小于浮力 F 时,物体浮起,直至浮力 F 减少到与物体的重量 G 相等,这时的物体称为浮体。

第三节 流体动力学

一、流体流动方法的描述

在理论力学中,已经研究过质点和刚体的运动。其中,刚体是被看成由大量质点组成的物体,或者叫做质点系。而质点和质点之间的相对位置,对刚体来说是被当做不会改变的。因而,刚体在运动时其形状也是不会改变的。液体和刚体不同,虽然液体也是由质点组成,但是质点与质点之间的相对位置却是可以改变的。所以,在运动过程中,液体的形状也是可以改变的。这种特性就是所谓的流动性。因此,刚体的运动规律不完全适用于液体。但是,既然将液体视为大量质点的集合体,力学中关于质点系运动的普遍规律也同样适用于液体。不过力学定律在液体中的表现形式和刚体中的表现形式已经不同。力学是研究液体运动的基础。

在理论力学中,刚体的机械运动不外乎由平动和旋转运动两部分形成。但是对液体而言,它的机械运动不仅包括刚体的这两种运动,而且还有变形运动。

1. 液体运动要素

表示液体运动特征的基本物理量称为液体的运动要素。动压力和流速是液体的运动要素。这是因为它们的大小和变化规律将确定或影响整个液体的运动情况。

作用在运动液体内部单位面积上的压力叫做液体动压力。液体动压力像液体静压力一样,也用 p 来表示,常简称为压力。但是必须指出,在液体流动的横断面上,动压力的分布规律通常是不同于液体静压力的。只有在特殊情况下两者才相同,这一点应该加以区别,不能混淆。

液体中某一质点的流速是指该质点在空间中移动的速度。众所周知,速度的大小决定于质点在单位时间内所流过的路程长度。

2. 液体动力学的研究方法

研究液体动力学的方法有两种。第一种叫拉格朗日法,这种方法是跟踪每一个液体质点寻求液体的运动规律。

若把许多液体质点的集合体称为体系(或系统),体系在运动过程中的位置、体积及其他运动参数都可以改变,但始终只能由原来所确定的那些质点所组成。体系以外的物质叫环境。体系与环境有力的相互作用和能量的交换,但没有液体质量通过。跟踪体系来研究液体的运动规律是拉格朗日法所采取的途径。

必须指出,采用拉格朗日法来研究液体的运动规律,在一般情况下是极其困难的,因而很少采用。在液体动力学中最常使用的是欧拉法。

欧拉法并不去注意每一个液体质点的运动情况,而是研究液体质点通过固定点处的运动规律。在欧拉法中,液体质点从什么地方开始运动,又会经过哪里到达什么位置,都没有给予直接的解答,它只确定液体质点的运动参数随时间及空间位置的变化关系。因此,欧拉法以下列函数形式来表达液体的运动速度:

$$u=u(x,y,z,t) \quad (1-1-19)$$

式中 u ——液体的运动速度, m/s;

x, y, z ——液体质点的空间位置坐标;

t ——时间, s。

在整个流动的空间,只要掌握了许许多多不同位置处液体质点的运动要素随时间变化的规律,整个液体的流动情况也就一目了然,与运动有关的各种问题都可以得到圆满的解决。

在分析液体运动规律时,欧拉法采用控制体的方法。所谓控制体是流体通过的空间中任意选定的一个固定体积。通过这个空间的液体的各个参数随时间和位置而不同,但这个选定的空间,即控制体的体积在整个研究过程中始终不变。组成控制体的表面叫做控制面。在控制面上,液体与周围物体既有力的相互作用和能量的交换,也有质量的交换,即液体的流进和流出等。

二、水力要素、流量和平均流速

1. 水力要素

所谓水力要素是指液流横断面上的几何特征。在研究液流时,应区分以下水力要素:过流断面、湿周及水力半径。

液流中与所有流线相垂直的截面称为过流断面。当液流流线互相平行时,过流断面是一个平面,如图 1-1-2a 中 1—1' 截面所示,如果流线不平行,过流断面将是一个曲面,如图 1-1-2a 中 2—2' 截面所示。过流断面的面积用 A 来表示。

过流断面上液体与周围固体壁接触线的周长叫做湿周。湿周用希腊字母 χ 表示。

在工程流体力学中,由过流断面 A 与湿周 χ 组成了一个新的水力要素,这就是水力半径。所谓水力半径是指过流断面面积与该断面湿周的比值。水力半径用 R 表示,则有:

$$R=\frac{A}{\chi} \quad (1-1-20)$$

式中 R ——水力半径, m;

A ——过流断面面积, m^2 ;