

职业技能培训教程与鉴定试题集

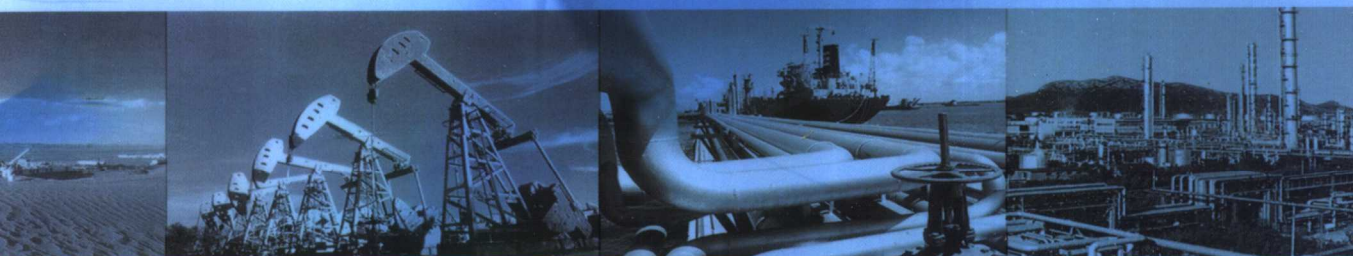
ZHIYEJINENGPEIXUNJIAOCHENG YU JIANDINGSHITIJ

供水工

GONG SHUI GONG

(教程)

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编



石油工业出版社

PETROLEUM INDUSTRY PRESS

职业技能培训教程与鉴定试题集

供 水 工

(教程)

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是由中国石油天然气集团公司人事服务中心统一组织编写的《职业技能培训教程与鉴定试题集》中的一本。本书包含供水工应掌握的基础知识、专业知识和相关知识,是供水工职业技能培训的必备用书。

图书在版编目(CIP)数据

供水工. 教程/中国石油天然气集团公司人事服务中心编.
北京:石油工业出版社,2007.5

(职业技能培训教程与鉴定试题集)

ISBN 978-7-5021-5964-1

I. 供…

II. 中…

III. 石油工程-给水-技术培训-教材

IV. TE685

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 028524 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:14.5

字数:366 千字 印数:1—7000 册

定价:38.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《职业技能培训教程与鉴定试题集》

编审委员会

主 任：孙祖岭

副主任：刘志华 孙金瑜 徐新福

委 员：向守源 任一村 职丽枫 朱长根 郭向东
李钟磬 史殿华 马 富 关昱华 郭学柱
李爱民 刘文玉 熊术学 齐爱国 刘振勇
王家夫 刘瑞善 丁传峰 乔庆恩 申 泽
刘晓华 何坤琦 阿不都·热西提 郭 建
王阳福 郑兴华 赵忠文 刘孝祖 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
蔡新疆

前 言

为提高石油工人队伍素质,满足职工培训、鉴定的需要,中国石油天然气集团公司人事服务中心组织编写了第一批 44 个石油天然气特有工种的培训教程与鉴定试题集后,又组织编写了第二、第三批 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、第三批题库的基础上,又组织编写了第二批 32 个工种的职业技能培训教程。

本批教程只编写基础知识、专业知识和相关知识,内容、范围与题库基本一致,不分级别,与已出版的第二、第三批试题集配套使用,便于组织工人进行鉴定前的培训。由于在公开印刷发行的试题集中,只选取了题库中的部分试题,因此本批教程对于工人学习技术、提高知识技能将起到应有的作用。

《供水工》由中国石油大港职业技能鉴定中心组织编写,主编为张宏伟、刘学升、邓铁军。参加编写的人员有白建辉、焦智、崔长滨、阎居龙、孙力、刘珍珍等。参加审定的人员有胜利油田张晓敏、黄芳,辽河油田韩娟,抚顺石油化工公司姚国忠。在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和错误,恳请广大读者提出宝贵意见。

编者

2006 年 3 月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 水力学基本知识	(1)
第二节 给水系统	(13)
第三节 给水水源	(16)
第四节 取水构筑物	(18)
第五节 水资源的利用与保护	(30)
第二章 给水管网	(35)
第一节 给水管网概述	(35)
第二节 管材及管配件	(39)
第三节 给水管道系统的工况	(44)
第四节 给水管网的运行管理	(52)
第五节 管道识图知识	(60)
第三章 水厂处理工艺概述	(78)
第一节 原水水质及饮用水水质标准	(78)
第二节 混凝工艺	(79)
第三节 沉淀与澄清工艺	(85)
第四节 过滤工艺	(92)
第五节 水的消毒	(98)
第六节 地表水的常规净化工艺流程	(101)
第七节 特殊的水质处理	(101)
第八节 自来水厂的运行管理	(105)
第四章 水泵	(112)
第一节 水泵的定义及分类	(112)
第二节 叶片泵的工作原理和基本构造	(112)
第三节 叶片泵的基本性能参数	(129)
第四节 水泵的性能曲线	(132)
第五节 水泵的比转数	(134)
第六节 叶片泵装置的总扬程	(135)
第七节 管路系统特性曲线和水泵的工作点	(139)

第八节 水泵工况的调节 (142)

第九节 叶片泵的并联和串联工作 (150)

第十节 叶片泵的汽蚀及安装高程 (155)

第十一节 叶片泵机组的使用和维护 (162)

第十二节 给水排水工程中常用的叶片泵 (165)

第五章 给水泵站 (168)

第一节 给水泵站的分类 (168)

第二节 水泵的选择 (168)

第三节 泵房布置及有关尺寸的确定 (169)

第四节 吸水管路和压水管路 (172)

第五节 泵站辅助设备 (176)

第六节 泵站水锤及防护措施 (197)

第七节 水泵机组的安装 (200)

第八节 给水泵站的构造特点 (204)

第九节 泵站变电站的布置 (205)

第十节 给水泵站布置示例 (207)

第十一节 泵站运行管理 (209)

第十二节 润滑基本知识 (221)

参考文献 (223)

第一章 概 论

第一节 水力学基本知识

水力学研究液体平衡和运动规律,以及这些规律在工程实际方面的应用。许多给水工程实际问题都与水流现象有着密切的联系。在正常情况下,人们的生活用水和工业用水,一般都是通过净水厂集中供应的。水厂通过水泵将江、河、湖水或地下水抽到地面上来,然后通过水厂内的各种净水构筑物将原水进行净化处理和消毒,使水质达到合格标准,最后再用水泵通过供水管道系统输送到各个用水点供用户使用。上述的一系列给水工程实际问题,都得应用水力学的基本理论加以分析、解决。如为了输送一定的水量,如何确定管、渠的断面尺寸问题;水泵选型的问题;水塔位置的选择以及高度的计算问题等。

水力学分为水静力学和水动力学两部分。水静力学研究液体处于静止状态下的力学规律。水动力学研究液体在管道中、河渠中以及流经各种水工建筑物时的运动规律。

一、液体的主要物理性质

液体中分子之间的聚合力比固体小,因此液体的抗拉、抗剪能力是很小的,但具有相当大的抗压能力。

由于液体具有流动性,所以它没有固定的形状,但具有固定的体积,并能自由形成自由表面。

下面分别介绍液体的几个主要物理性质。

(一)密度和重度

液体和固体一样具有质量。质量越大,其惯性就越大。对于均质液体,单位体积所具有的质量称为密度,以符号 ρ 表示,即:

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

式中 ρ ——液体的密度, kg/m^3 ;

M ——液体的质量, kg ;

V ——液体的体积, m^3 。

对于均质液体,单位体积所具有的重量称为重度,以符号 γ 表示,即:

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

式中 γ ——液体的重度, N/m^3 ;

G ——液体的重量, N ;

V ——液体的体积, m^3 。

由于物体的重量 G 等于质量 M 与重力加速度 g 的乘积,所以密度 ρ 和重度 γ 之间的关系为:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1-3)$$

式中 g ——重力加速度, $g=9.81\text{m/s}^2$ 。

以上关系式表明:液体的重度等于液体的密度与重力加速度的乘积。

液体的密度和重度受外界压力和温度的影响。因此,当表示某种液体的密度或重度值时,必须指出所处外界压力和温度条件。

水在标准大气压条件下,温度为 4°C 时,其密度和重度是:

$$\rho = 1000\text{kg/m}^3$$

$$\gamma = 9810\text{N/m}^3$$

[例题 1-1] 某巨型水箱,尺寸为长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $= 2\text{m} \times 1.5\text{m} \times 2\text{m}$ 。当水箱充满水时,试求水箱内水的重量是多少? 设外界为标准大气压,水温为 4°C 。

[解] 水的体积 $V = 2 \times 1.5 \times 2 = 6\text{m}^3$

$$\text{水的重量 } G = \gamma V = 9810 \times 6 = 58860\text{N} = 58.86\text{kN}$$

(二) 液体的压缩性与膨胀性

当液体的温度不变,而外界的压力增大时,液体的体积减小,这种物理性质称为液体的压缩性。

当液体的外界压强不变,而温度升高时,液体的体积增大,这种物理性质称为液体的膨胀性。

液体的压缩性是指当温度条件不变时,外界压力增加 1 个大气压,液体体积的相对减小量。通过实验证明:在外界压强于 10 个大气压范围内,每增加 1 个大气压,水的体积相对减小量仅为 5.44×10^{-5} ,即体积相对减小量仅为十万分之五左右。这说明在外界压强条件增大时,水的压缩性是很微小的,所以在实际工程中,可以不考虑压缩比的影响,将水视为不可压缩液体看待。

液体的膨胀性是指当外界压强条件不变时,每升高 1°C ,液体体积的相对增加量。通过实验证明:在 1 个大气压条件下,温度在 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 范围内,温度增加 1°C ,水的体积相对增加量约为万分之一点五;当温度在 $70 \sim 95^\circ\text{C}$ 范围内,温度每增加 1°C ,水的体积相对增加量也只有万分之六。这种增加量也是很微小的。

根据以上分析,在实际给水工程问题中,水的压缩性和膨胀性一般均不考虑,也就是将水的密度、重度视为常数。

(三) 液体的粘滞性

在管、渠中的水流,通过实验可以证实:在过流断面上各质点流速不相同。如图 1-1 所示:在明渠中做无压流动的水流,自由表面的液体质点流速最大,渠底水质点的流速为零;在圆管中做压力流动的水流,管中心水质点的流速最大,管内壁处的水质点流速为零。

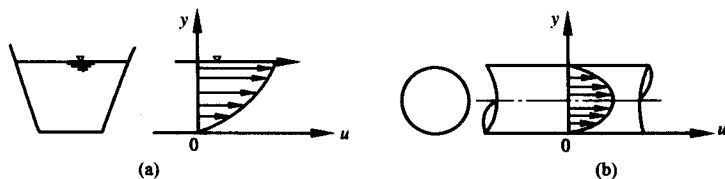


图 1-1 管、渠中断面流速分布
(a) 明渠无压流动; (b) 圆管压力流动

由于水流中各流层的流速不同,相邻两流层存在相对运动,这种相对运动使各流层的接触面上产生一种相互作用的剪切力。速度快的薄层对速度慢的薄层产生一种拖力;而速度慢的薄层对速度快的薄层产生一种反拖力(即阻力)。这种拖力与反拖力的剪切力是成对出现的,是作用与反作用力的具体表现,这种剪切力称为液体内摩擦力或称粘滞力。液体具有粘滞力的性质,就称为液体的粘滞性。必须指出,当液体处于静止状态时,粘滞力不存在,粘滞性显示不出来。

液体粘滞性的大小,可用粘度来表达。实验证明:外界压强条件对液体的粘度影响甚小,而温度条件对液体粘度的影响明显。对于某种液体,温度增高,粘度减小;温度降低,粘度增大。

(四) 表面张力

液体表层由于分子间的吸引力,而形成类似薄膜的表层,这个表面能承受一定的拉力,称为表面张力。例如,水面稍高出碗口而不外溢,铁针能浮在液面上不下沉,都是表面张力的作用。

因表面张力很小,在水力学中一般不考虑,只有当液体在细密多孔的透水物质中运动,以及在细小管子中发生毛细现象时,才考虑液体表面张力的作用。例如在实验室用来测量压强的玻璃管直径不得小于 10mm,否则因毛细现象将引起很大误差,影响测量精度。

(五) 汽化压力

当液体分子具有足够大的动能时,就会克服分子间的引力,从液面放射出来而为蒸气,这种现象称为汽化。液体汽化时所具有的外扩张压力(压强)就是汽化压力,也叫饱和蒸气压力。若液体所受外界压力等于或稍低于汽化压力,液体就沸腾(冷沸)。水在正常流动时,如因压力降低而汽化时将影响水流运动,造成不良后果,必须注意防止。

二、水静力学

水静力学是研究水在静止状态下的力学规律,以及这些规律在工程上的应用。静止状态是指对地球不做相对运动的状态。

水几乎不能承受拉力,在静止状态下也不存在剪切力,所以只能承受压力。我们所说的水在静止状态下的力学规律,也就是水在静止状态下压强在空间的分布规律。

(一) 静水压强及特性

1. 静水压强

一个盛水的容器,如果在容器的侧面或底面开有小孔,水立即从小孔流出,这种现象说明静止液体有压力存在,这种压力为静压力。

作用在整个容器表面积上的静水压力,称为静水总压力,用符号 F 表示;作用在单位面积上的静水压力,称为静水压强,用符号 p 表示。

两者的关系为:

$$p = \frac{F}{S} \quad (1-4)$$

式中 p ——静水压强,Pa 或 kPa;

F ——静水总压力,N 或 kN;

S ——受力面积, m^2 或 cm^2 。

2. 静水压强的特性

静水压强有两个基本特性:

(1) 静水压强的方向垂直作用面,并指向作用面。

(2) 任意一点各方向的静水压强均相等。

(二) 静水压强的分布规律

1. 自由表面和表面压强

所谓自由表面是指水体与气体的交界面。在重力作用下静止液体的自由表面是水平面,如水箱、水池、江河的水面。

液体的自由表面受上部气体压强的作用,此压强称为表面压强,用符号 p_0 表示;当自由表面上的压强为当地大气压,用符号 p_a 表示,则 $p_0 = p_a$ 。自由表面所处的海拔高度不同,其大气压强值也就不同,当 $p_a = 101325\text{Pa}$ 时,称为 1 个标准大气压。工程上为了计算方便,一般取用 $p_a = 98100\text{Pa} = 98.1\text{kPa}$,称为 1 个工程大气压。

2. 静水压强分布规律的数学表达式

从实验可以得出静水压强是随水深的增加而增加的,根据静力学平衡方程可以得到静水压强基本方程式:

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-5)$$

式中 p ——静水中任意点的静水压强;

p_0 ——表面压强;

γ ——水的重度;

h ——任意点在自由表面下的深度。

此公式就是在重力作用下,静止液体内部静水压强分布规律的数学表达式,称为静水力学基本方程式。根据此公式,就可以求出静水中任意点的压强值。方程式反映了静水压强与水深成正比的分布规律。

方程式的意义是:静水中任一点的静水压强值 p 等于表面压强 p_0 和该点所处的水深 h 与重度 γ 乘积之和。

3. 静水压强的分布规律

(1) 若表面压强 p_0 以某种方式使之增大,则此压强可不变大小地传至液体中的各个部分。

(2) 在重力作用下的静止均质液体中,自由表面下深度 h 相等各点,压强相等。压强相等各点组成的面称为等压面。自由表面是水深等于零的各点所组成的等压面,重力作用下静止液体中的等压面都是水平面。同样,两种不相混杂液体的分界面也是水平面。

(3) 重度不同,产生的压强也不同。一个容器,装满清水(重度 1000kgf/m^3)或装满汞(重度 13600kgf/m^3)或装满海水(重度 $1020 \sim 1030\text{kgf/m}^3$),对于容器底压强不相同。

(三) 静水压强的表示方法及测量

1. 两种计算基准

压强的大小,可以采用不同的计算基准(或称起量点)和量度单位。

以完全没有气体存在的绝对真空为零点起算的压强称为绝对压强,用符号 p_j 表示。根据此定义,公式(1-5)可写成:

$$p_j = p_{0j} + \gamma h \quad (1-6)$$

式中 p_{0j} 表示以绝对真空为零点起算的表面压强。

以大气压强 p_a 为零点起算的压强称为相对压强,用符号 p_r 表示。绝对压强与相对压强

之间的关系为：

$$p_x = p_j - p_a = p_{0j} + \gamma h - p_a \quad (1-7)$$

当液体自由表面的压强等于大气压强时，即

$p_{0j} = p_a$ ，式(1-7)可写成：

$$p_x = \gamma h \quad (1-8)$$

图1-2表示了绝对压强与相对压强的关系。

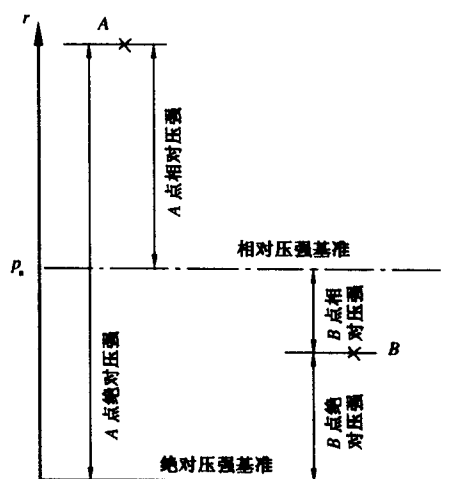


图1-2 压强关系图

当液体中某质点的绝对压强值小于大气压强 p_a 时，该质点就处于真空状态。处于真空状态的静止液体质点，其真空程度的大小用真空度或真空压强来量度，符号为 p_v 表示。所谓真空度是指处于真空状态某点的绝对压强值 p_j 不足于大气压强值 p_a 的部分，可用下式表示：

$$p_v = p_a - p_j \quad (1-9)$$

从图1-2可以看出，绝对压强值只能是正值，但是，当与大气压强相比较，绝对压强值可以大于大气压强，也可以小于大气压强。当绝对压强值小于大气压强时，相对压强则为负值，称为负压；反之，相对压强为正值，称为正压。出现负压的状态就是真空状态，真空度（真空压强） p_v 等于相对压强 p_x 的绝对值。则在真空状态时：

$$p_v = |p_x| \quad (1-10)$$

2. 压强的量度单位

1) 用单位面积上所受的压力表示

工程单位制中以 kgf/cm^2 表示，国际单位制中以 Pa 或 kPa 表示。

2) 以大气压表示

物理学中规定：以海平面的平均大气压 760mm 高的水银柱的压强为 1 标准大气压（符号 atm ），其数值为

$$1 \text{ 标准大气压} = 1.033 \text{ kgf/cm}^2$$

工程中，为计算简便规定

1 工程大气压 = 1.0 kgf/cm^2

3) 用液柱的高度表示

常用的单位是米水柱(mH_2O)、毫米水柱(mmH_2O)或毫米汞柱(mmHg)。

根据公式 $p = \gamma h$, 所以 $h = \frac{p}{\gamma}$

该式说明, 只要已知某液体的重度 γ , 压强 p 与该液柱的高度 h 有一定的比例关系, 所以可用液柱的高度来表示压强值。

1 个工程大气压强相应的水柱高度为:

$$h = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 10000 \text{ mmH}_2\text{O}$$

1 个工程大气压强相应的汞柱高度为:

$$h = 0.7358 \text{ mHg} = 736 \text{ mmHg}$$

压强三种单位的关系为:

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 1 \text{ 工程大气压}.$$

3. 静水压强的测量

1) 测压管

测压管是最简单的液压计, 将两端开口玻璃管, 一端接在和被测点同一水平面的容器壁孔上, 读测压管高度就是和该点压强相应的液柱高度, 或按 $p = \gamma h$ 计算出其相对压强。

2) U 形汞压强计

压强较大的, 可用 U 形汞压强计测量。

3) 压差计

工程实际中有很多情况需要两点压强之差, 就可采用压差计。

4) 金属压强表(即压力表)

测量较大压强, 可用金属压强表, 其装置简单。

5) 真空计

真空计有液体真空计和金属真空计两种, 水泵吸水管可用金属真空表测量真空值。

三、水动力学

水动力学是研究水在运动状态下的运动规律, 以及这些规律在工程中的应用。

(一) 几个基本概念

1. 压力流及无压流

当液体流动时, 流体整个周界和固体壁面相接触, 没有自由表面, 并对接触壁面均具有压力, 这种流动称为压力流。例如, 液体在管道中做压力流动, 其特点是流体充满整个管道, 当管道顶部连接测压管时, 测压管的水面就会升高, 如图 1-3(a) 所示。给水管道一般都是压力流。

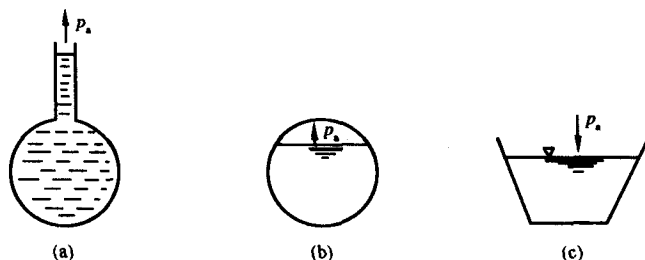


图 1-3 压力流与无压流

(a) 圆管压力流; (b) 圆管无压流; (c) 梯形渠道

当液体流动时,液体部分周界和固体壁面相接触,而部分周界与大气相接触,并具有自由表面,这种流动称为无压流,如图 1-3(b)、(c) 所示。无压流是借助于流体本身的重力作用而产生流动的,所以又称重力流。各种排水管、渠一般都是无压流。

2. 恒定流与非恒定流

当液体流动时,对于任意空间点,在不同时刻所通过的液流质点的流速、压强等运动要素不变的流动称为恒定流。如图 1-4(a) 所示。

当液体流动时,对于任意空间点,在不同时刻所通过的液流质点的流速、压强等运动要素是变化的,这种流动称为非恒定流。如图 1-4(b) 所示。

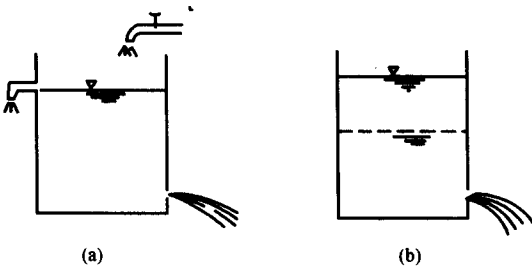


图 1-4 恒定流与非恒定流
(a) 恒定流; (b) 非恒定流

在给水处理设计计算时,一般可以将水流运动视为恒定流。

3. 过流断面、流量、断面平均流速

1) 过流断面

与液流运动方向垂直的液体横断面积称为过流断面。如图 1-5 所示。过流断面面积用符号 A 表示,单位为 m^2 或 cm^2 。

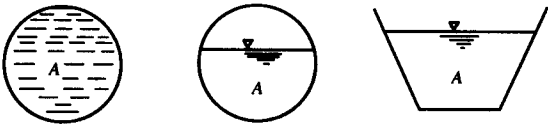


图 1-5 过流断面

2) 流量

水流在单位时间内通过某过流断面的体积称为体积流量,以符号 Q 表示。单位为 m^3/s 或 L/s 。

3) 断面平均流速

水流质点在单位时间内所流经的流程长度称为点流速,用符号 u 表示,单位为 m/s 或 cm/s 。由于液体具有粘滞性,所以在过流断面上,各液流质点的流速并不相等。如水在管道内流动,靠近管壁的水质点流速较小,在管中心处的水流质点流速最大。图 1-6 为管流中过流断面上流速分布规律。

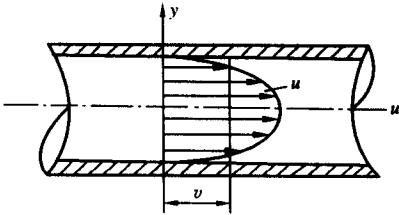


图 1-6 点流速和断面平均流速

采用点流速来计算流量显然是不方便的,在实际工

程中,通常引用断面平均流速的概念。断面平均流速是一种设想的流速,它的定义是:假设过流断面上各水流质点以相同的平均流速 v 流动,所通过的流量等于过流断面上各水流质点以实际点流速 u 流动所通过的流量。这样就可以简化为采用平均流速 v 来计算流量。

流量、平均流速和过流断面面积三者之间的关系为

$$Q = vA \quad (1-11)$$

式中 Q ——体积流量, m^3/s 或 L/s ;

v ——断面平均流速(简称平均流速), m/s ;

A ——过流断面面积, m^2 或 cm^2 。

(二) 恒定流连续性方程式

恒定流连续性方程式,是物理学质量守恒定律在水力学中的具体应用。我们研究恒定流连续性方程式,就是在恒定流条件下,分析水流在一定空间内的质量平衡规律。

如图 1-7 所示,在水流中取一流段,并选取断面 1-1 和断面 2-2 作为起端和终端断面,其过流面积分别为 A_1 和 A_2 ,断面平均流速分别为 v_1 和 v_2 。

在 Δt 时间内,流入断面 A_1 的液体质量必然等于流出断面 A_2 的液体质量,推导公式为:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (1-12)$$

或

$$Q_1 = Q_2$$

式(1-12)就是恒定流不可压缩液体的连续性方程式。该方程式说明了在同一流段上通过各过流断面的流量相等(即进多少出多少)。也表明了平均流速和过流断面面积成反比的关系。也就是说,在通过流量相同的前提下,断面积大、流速小;断面积小,流速大;当流段上各过流断面面积相等,则流速沿途不变。流速沿途不变的流动称为等速流。

恒定流连续性方程式确定了平均流速沿流动方向的变化规律。应用这一规律,在流量和某一断面平均流速已知的前提下,根据其他断面积的大小,就可以确定任意断面上的平均流速。

[例题 1-2] 如图 1-8 所示,有一段变径圆形水管,已知直径 $d_1 = 100\text{mm}$, $d_2 = 50\text{mm}$,若 d_1 断面相应的平均流速 $v_1 = 0.5\text{m}/\text{s}$,求 d_2 断面的平均流速 v_2 等于多少?

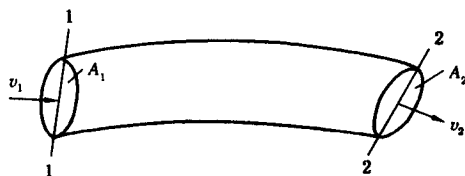


图 1-7 恒定流连续性方程式的推导

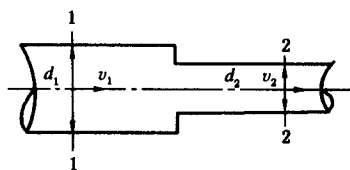


图 1-8 变径水管

[解] 由于圆管的面积 $A = 1/4 \pi d^2$

根据式(1-12),

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{1/4 \pi d_2^2}{1/4 \pi d_1^2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

从以上分析可以看出,对于圆管满流情况,平均流速与圆管直径的平方成反比,将已知数据代入:

$$v_2 = v_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} = 0.5 \times \frac{0.1^2}{0.05^2} = 2 \text{ m/s}$$

(三) 恒定流能量方程

恒定流能量方程,是物理学能量守恒定律在水力学中的具体应用。根据物理学概念,能量既不能消灭,也不能创造,只能从一种形式转变为另一种形式。液体的流动过程也完全遵循能量守恒。因此,能量方程式意义重大,应用十分广泛。

恒定流能量方程式推导的依据是物理学的功能原理,即所有作用力对物体做功的总和等于该物体动能的变化量,即:

$$\Sigma U = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (1-13)$$

式中 ΣU ——所有作用力对物体做功的总和;

m ——物体的质量;

v_1 ——物体处于起始位置的速度;

v_2 ——在力的作用下,物体由起始位置运动至另一位置处的速度。

如图 1-9 所示,在恒定液流中取出某一流段作为研究对象,并选取断面 1-1 和断面 2-2 作为起端和终端断面,其过流断面面积分别为 A_1 和 A_2 ;平均流速分别为 v_1 和 v_2 ;压强分别为 p_1 和 p_2 。任取水平基准面 0-0,两断面中心离基准面的高度分别为 Z_1 和 Z_2 。

如图 1-9 所示,在时间 Δt 内,液流从原来位置移动到另一位置。原处于过流断面 A_1 上各液体质点流过一段微小距离 $v_1\Delta t$,移至 1'-1' 位置;原处于过流断面 A_2 上各液体质点流过一段微小距离 $v_2\Delta t$,移至 2'-2' 位置。流段在所有外力作用下,动能也发生了变化。根据功能原理:所有外力对流段做功的总和等于该流段动能的变化量。

推导得出恒定流能量方程式为:

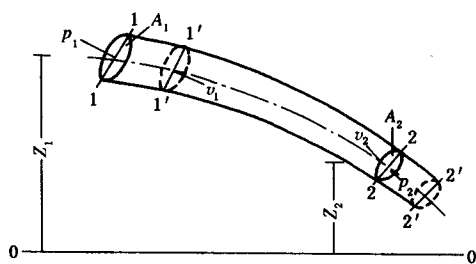


图 1-9 能量方程式的推导

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_w \quad (1-14)$$

此公式为恒定流能量方程。以下从两方面简要地说明能量方程式的意义。

1. 物理意义

恒定流能量方程式中各项分别表示单位重量液体不同的能量形式。

Z 项: Z 表示单位重量液体的位能,又称位置水头或位置高度。

$\frac{p}{\gamma}$ 项: $\frac{p}{\gamma}$ 表示单位重量液体的压能,又称压强水头。如图 1-10 所示,在液流某断面连接

一根测压管,若该断面的相对压强为 p ,则测压管内液柱上升的高度 $h = \frac{p}{\gamma}$ 。压强体现了液柱上升一定的高度,这就是压强水头的具体体现。

$\frac{v^2}{2g}$ 项: $\frac{v^2}{2g}$ 表示单位重量液体的动能,又称流速水头。如图 1-11 所示,在液流某断面处插

入一根 90° 的弯管,弯管顶端开有小孔,对准来流方向。在水流的作用下,弯管内的液面将上升,上升的高度比同一断面上测压管的上升高度大 h_u 。实验还证明,水流速度愈大,则 h_u 也就愈高。

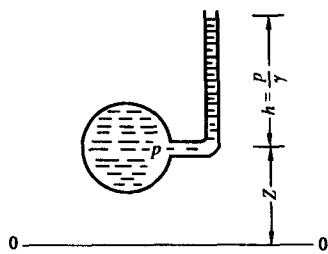


图 1-10 单位重量液体的压能

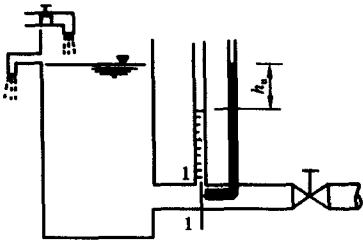


图 1-11 单位重量液体的动能

$Z + \frac{p}{\gamma}$ 项:表示单位重量液体的两种势能之和,又称测压管水头。

$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$ 项:称为单位重量液体所具有的总机械能,又称总水头。

h_w 项:是表示液体流动过程中,任意两过流断面之间因克服各种流动阻力而造成的单位重量液体的能量损失,称为水头损失。水头损失的物理量也是长度单位。

2. 几何意义——水头线

如图 1-12 所示,如果将各断面处总水头线段的顶点 E 、 F 连接起来,这条连线称为总水头线;将各断面处的测压管水头线段顶点 C 、 D 连接起来,这条连线称为测压管水头线。从总水头线和测压管水头线的坡向就可以说明各水头沿流程的变化规律。

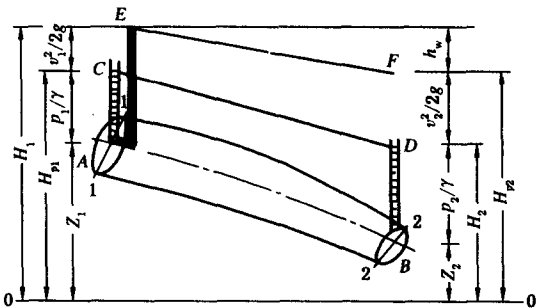


图 1-12 测压管水头线和总水头线

由于液流随流程沿途消耗能量,所以总水头线只能是沿途下降的斜线,如图中 $E-F$ 。对于一定的流程,总水头线的下降值(即水头损失值 h_w)与流程长度 l 的比值,称为水力坡度,以符号 J 表示,即:

$$J = \frac{h_w}{l} \tag{1-15}$$

或

$$J = \frac{\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \right)}{l} \tag{1-16}$$