

工程训练·工程实践

水泵原理、运行维护 与泵站管理

陈汇龙 闻建龙 沙毅 编 ●



化学工业出版社
教材出版中心

38
43

工程训练 · 工程实践

水泵原理、运行维护 与泵站管理

陈汇龙 闻建龙 沙 毅 编
罗惕乾 审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

水泵原理、运行维护与泵站管理/陈汇龙等编. —北京:
化学工业出版社, 2004. 6
工程训练·工程实践
ISBN 7-5025-5676-1

I. 水… II. 陈… III. ①水泵-基本知识②泵站-
管理 IV. ①TH38②TV675

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 064725 号

工程训练·工程实践

水泵原理、运行维护与泵站管理

陈汇龙 闻建龙 沙毅 编

罗惕乾 审

责任编辑: 陈丽 刘俊之

责任校对: 顾淑云、于志岩

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 12¼ 字数 228 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5676-1/TB·45

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

人类进入 21 世纪前后，以信息技术为重要标志的高新技术的飞速发展，正在改变着人类的社会、经济和生活方式。“天翻地覆慨而慷”，世界范围内的激烈竞争，已越来越明显地表现为人才的竞争，特别是创新人才的竞争。1998 年 10 月，联合国教科文组织在巴黎召开了首届世界高等教育大会，会议达成了共识：高等教育的根本使命是促进社会的可持续发展与进步。目前，教育开始求新求变，要求坚持以人为本，更具有前瞻性。对学生的人文素质、科学素质、实践能力和创新能力的培养更显重要。

“问渠哪得清如许，为有源头活水来。”技术是工程的基础，科学是技术的源泉，科学技术相互支持，但直接作用于生产实际的是技术。因此，面向经济建设要高度重视工程人才的培养，高度重视工程教育，要努力加速建立科学、技术、经济和管理相结合的工程教育体系，强化工程意识，重组工程训练，提高工程素质，培养创新精神、创新人格和实践能力，以实现知识创新、技术创新、管理创新和市场开拓型的工程人才培养。

近年来，尽管各国的国情不同，面临的问题也不同，在工程教育的体制和运作上互有差异，但对工程教育的认识、做法和发展方向上都强调“综合、创造、实践”，强调“工程教育工程化”、“工程教育为工程实际服务”、强调人文关怀、创新精神、实践能力和工程师素质的培养。

另一方面，我国加入世界贸易组织后，对外开放更将进一步扩大，中国将更加深入地参与国际分工，越来越多的产品将打上“中国制造”，制造业是工业的主体，装配制造业是制造业的核心。没有装配制造业就没有制造，没有制造就没有获得物质财富的基本手段。制造首先要依靠直接从事制造的技能人才。从而，培养“中国制造”的技能人才就成为关键。我国已经成为了一个高级蓝领即银领制造业人才稀缺的国家。

我国“十五”计划提出，要在 5 年内将职工中的高级技能人才的比例提高到 20%。一个合格的银领人才应当具备比较深厚的理论基础与相当丰富的实际经验，并能够针对生产第一线的实际需要，具备很强的技术革新、开发攻关、项目改进的能力。这种人才应具有高度的责任感，不但关心产品，更加懂得团结人、关怀人；不仅是某些关键生产环节中的操作者，还是整个生产环节的组织者；同时还能高度关怀、有效带动和组织协调其他技术人员一起动手进行应有的技术攻关，把优秀的设计变成一个高质量的产品。

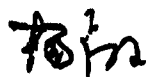
针对工程人才的需求，江苏大学工业中心组织编写了工程训练·工程实践系列图书，希望成为联接科学、教育与工程技术、生产实际的桥梁之一。在本系列图书规划过程中，作者针对“各种技能对工作的重要性”，对相关企业和历届毕业生进行了调查，证实在工业生产中，对技术交流、设计制造、工程经济、项目管理、质量控制、计算机等技能均有较高的要求。

本系列图书以工程类本科生（尤其是高职学生）和制造业银领的培训为对象，包括机、电、管三个领域。在内容上注重实践性、启发性、科学性，强调诸如制造、环境影响、质量、商务和经济等工程实践的多重功能。从当前工程人才的素质需求和实际出发，努力做到理论与实践并重，理论与实际相结合，基本概念清晰，重点突出，简明扼要，深入浅出，通俗易懂，以现代工程训练为特色，重视能力的培养，面向生产实际，并考虑与国际教育交流，反映新技术、新工艺、新材料的应用和发展。

本套丛书的编写是适应我国制造业发展形势，在教育上的一个创新，值得鼓励。由于是一个创新，其中就不会没有问题，没有不足之处。我与编者的心情一样，希望读者能及时指出其中的问题与不足之处，有助于本系列图书不断改进，编者的水平不断提高。

谨以为序。

中国科学院院士
华中科技大学教授



2004年4月

前 言

水泵及泵站工程广泛应用于城乡给水排水、抽水蓄能、跨流域调水工程、农业灌排等，是关系社会发展、国民经济建设和人民生活水平提高的重要的基础设施。

水泵技术及泵站工程技术的现代化是工农业现代化的重要组成部分。随着科学技术的飞速发展和经济全球化进程的加速，水泵技术及泵站工程技术的推广和提高越来越引起人们的普遍重视，广大的用户和相关部门越来越关注水泵及泵站的维护、管理和使用效益，迫切需要大批的具备比较深厚理论基础和较强实践能力，能够有效处理和解决水泵使用和泵站管理中的实际问题的高级技能人才。然而，我国目前不仅这方面的人才稀缺，而且缺乏必要的技术培训体系和相应的培训教材。为此，本书以工农业生产和人民生活中广泛使用的水泵和相应的泵站工程为重点，介绍水泵的结构原理、合理使用、运行维护、故障排除与维修、泵站机组及辅助设备的选型和维护、泵站工程技术管理等方面的基本技能和知识。本书力求概念清晰、重点突出、简明扼要、通俗易懂，可作为工程本科生（尤其是高职本科生）的教材或教学参考书，也可供相关企业的高级技术工人、工程技术人员及泵站管理人员使用。

本书由陈汇龙、闻建龙、沙毅编写。初稿完成后，博士生导师罗惕乾教授对本书内容进行全面审阅、修改，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此特致以衷心的感谢！此外，还要感谢李金伴、戈晓岚等教授在本书编写过程中给予的热忱帮助和鼎力支持。

由于时间仓促，编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，望读者批评指正。

编 者

2004 年 5 月

内 容 提 要

本书主要介绍了流体力学基础知识，水泵的基本知识，水泵的原理及性能，水泵的运行与调节，机组的选型、配套及安装，机组的维护及检修，泵站辅助设备，泵站管理等内容。

本书力求概念清晰、重点突出、简明扼要、通俗易懂。可作为工程院校本科生（尤其是高职本科生）的教学用书和参考书，也可作为水泵高级技术工人，工程技术人员和泵站管理人员的培训教材。

目 录

第一章 流体力学基础知识	1
第一节 流体的主要物理性质.....	1
第二节 静止流体的力学性质.....	2
第三节 流体流动的基本概念.....	5
第四节 流体运动的基本方程.....	8
第五节 管路计算	10
第二章 水泵的基本知识	17
第一节 水泵的用途及分类	17
第二节 叶片式泵的典型结构	18
第三节 水泵型号意义说明	33
第三章 水泵的原理及性能	38
第一节 水泵的工作原理	38
第二节 水泵的性能参数	40
第三节 水泵的基本方程	42
第四节 水泵的比转数	44
第五节 水泵的特性曲线	46
第六节 水泵的装置特性曲线	48
第七节 水泵的汽蚀	50
第四章 水泵的运行与调节	53
第一节 水泵的运行	53
第二节 水泵的调节	54
第三节 水泵的调整运行	58
第五章 机组的选型、配套及安装	61
第一节 水泵的选型	61
第二节 动力机配套与传动装置	65
第三节 管路及其附件的配套	68

第四节	工程配套	73
第五节	水泵的安装	78
第六章	机组的维护及检修	96
第一节	水泵的维护	96
第二节	水泵主要零部件的检修	109
第三节	电泵及泵用电动机绕组的检修	114
第七章	泵站辅助设备	126
第一节	充水设备	126
第二节	供水、排水设备	130
第三节	供油设备	140
第四节	压缩空气设备	148
第五节	通风设备	152
第六节	起重设备	162
第八章	泵站管理	168
第一节	泵站技术管理	168
第二节	泵站工程管理	178
第三节	泵站经营管理	180
参考文献	185

第一章 流体力学基础知识

水泵是以流体为对象的工作机械，其工作原理、性能、使用和试验都是以流体力学作为理论基础的。

流体力学是研究流体处于平衡、运动、流体与固体相互作用时的力学规律，以及这些规律在实际工程中的应用。

第一节 流体的主要物理性质

通常人们将具有流动性的气体和液体统称为流体，流体可以看成是连续介质。流体的一切物理量，如密度、压强、速度等都是时间和空间位置的连续函数，可以用数学分析来讨论和解决流体力学中的问题。

一、密度及相对密度

单位体积流体所具有的质量称为密度，以 ρ 表示。对于均质流体其体积为 V ，质量为 m ，则

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

例如：10℃空气的密度 $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ ，4℃纯水的密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ；0℃水银的密度 $\rho = 13600 \text{ kg/m}^3$ 。这一数值在工程计算中，一般认为是在常温（0~20℃）、常压（1个标准大气压左右）下空气、水、水银的密度值。

液体的密度随压力和温度变化很小，一般可忽略，当作不可压缩流体来处理。

液体的相对密度是指液体的密度与温度为4℃纯水的密度之比，相对密度用 d 表示，

$$d = \frac{\rho}{\rho_{*}} \quad (1-2)$$

4℃纯水的相对密度 $d = 1$ ；0℃水银的相对密度 $d = 13.6$ 。

二、黏性

黏性是流体具有的一个重要性质，流体流动时内部产生内摩擦力的性质称为流体的黏性。黏性产生的原因是流体的分子之间存在内聚力以及流体内部存在剧烈的动量交换。

黏性切应力 τ 与流体运动的速度梯度有关，对一元流动有

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (1-3)$$

式中 μ ——流体的动力黏性系数， $N \cdot s/m^2$ 或 $Pa \cdot s$ 。

上式即为牛顿内摩擦定律。

在工程计算中，常出现动力黏性系数与流体密度的比值，称为运动黏性系数，以 ν 表示，单位是 m^2/s 。即

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

由于黏性存在，流体在运动过程中因克服摩擦力必然要作功，产生机械能损失。即造成水泵运转时有功率消耗以及水在管中流动时有能量损失。

三、空气分离压与饱和蒸汽压

一般情况下水中溶有空气，在一个大气压和常温下空气溶解量占水体积的 $1\% \sim 2\%$ 。如果压强降低到空气分离压 p_g 时，水中溶解的空气首先以汽泡形式分离出来。压强再降低到饱和蒸汽压 p_n 时（又叫汽化压强），水本身也要汽化（沸腾）形成大量小汽泡，并随着水流进入高压区，汽泡崩溃，无数小汽泡冲击在物体表面上，形成汽蚀。

在水泵安装使用中，在水泵吸入口处是负压，即绝对压强低于大气压。如果水泵安装不合适，在泵体内表面上有可能产生汽蚀，而损伤机械，产生振动和噪声，破坏水泵正常工作。

第二节 静止流体的力学性质

一、流体静压强

流体处在静止状态时，流体之间以及流体与固体之间的作用是通过压强形式来表现的。

平衡流体中的压强称为流体静压强，用 p 表示，如果液面的压强为 p_0 ，则液深 h 处的压强为

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-4)$$

式中 p ——计算点的流体静压强， N/m^2 或 Pa ；

p_0 ——静止液体表面上的压强， N/m^2 或 Pa ；

ρ ——流体密度， kg/m^3 ；

h ——计算点所处的水深， m 。

式 (1-4) 是流体静力学的基本方程式，适用于连续、均质、不可压缩的绝

对静止流体。

从式中可以看出静止流体中任一点压强 p 是由两部分组成的：一部分是液体表面上的压强 p_0 ，另一部分是单位面积上的液柱重力 ρgh 。

在静止流体中，压强随深度成直线规律变化，水深 h 相等则各点处压强相等，也就是说在同一连续的静止流体的水平面都是等压面。

当水面上压强 p_0 增加（或减少）时，水中任一点压强 p 也随同增加（或减少）同一数值，就是说表面压强 p_0 可以等值的向液体内部各点传递，此即帕斯卡（Pascal）压强传递原理。利用这个原理设计并制造了水压机、液压驱动装置等流体机械。

二、绝对压强、相对压强、真空度

压强的大小可以从不同的基准算起，因而有不同的表示方法。

(1) 绝对压强 是指以绝对真空为零点计量的压强，用 $p_{\text{绝}}$ 表示。如自由表面上 $p_0 = p_a$ （大气压），则

$$p_{\text{绝}} = p_a + \rho gh \quad (1-5)$$

(2) 相对压强（表压强） 是指以当地大气压为零点计量的压强，用 p 表示。

$$p = \rho gh \quad (1-6)$$

在许多工程设备中所受的大气压部分相互抵消而不起作用，因而表压强实质是指某点绝对压强超出大气压的数值，即表压强为绝对压强与大气压之差。在大多数压力仪表中都是以大气压为起点进行计量的，故将此压强称为表压强。

(3) 真空度 工程上不仅会遇到绝对压强大于大气压的情况，也会遇到小于大气压的情况，如水泵吸入口处。此时相对压强为负值，称为负压，或者说这种情况下存在着真空。真空是指流体的绝对压强小于大气压的程度，用 p_v 表示。

$$p_v = p_a - p \quad (1-7)$$

三、压强的计量单位

(1) 压力单位 用单位面积上承受的力表示，单位是 N/m^2 或 Pa ，这种表示方法多用于理论计算。

(2) 大气压单位 用标准大气压 p_{atm} 的倍数来表示，标准大气压是北纬 45° 海平面上气温 15°C 时测定的压强数值。

$$1 \text{ 标准大气压} = 760\text{mmHg} = 101\,325\text{Pa}$$

(3) 液柱高单位 即用水柱或水银柱的高度表示压强大小，由 $p = \rho gh$ 得 $h = \frac{p}{\rho g}$ ，这说明一定的压强相当于一定的液柱高。工程上常用 H_2O 或 Hg 作为工

作介质表示液柱高，因此液柱高单位有 mH_2O 或 $mmHg$ ，用液柱高单位表示压强比较直观，多用于实验室计算。

四、静压强的测量

流体压强的测量仪表主要有三种：金属式、电测式和液柱式。在实验中经常需要测量某点压强或压强差，如水泵性能实验中，在水泵进出口分别装上真空表和压力表，用以测量水泵的扬程。

在实验室中经常用到液柱式测压计，它结构简单、使用方便、精度高。常见的液柱式仪表有下面几种。

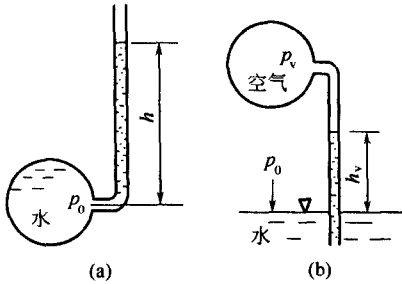


图 1-1 测压管

(1) 测压管 测量某容器内流体的压强，在测点接出顶端开口的玻璃管 ($\phi 5 \sim 10mm$)，就构成测压管。图 1-1 (a) 测量液体表压强， $p = \rho gh$ 。图 1-1 (b) 测气体真空度 $p_v = \rho gh_v$ 。

(2) U 形水银测压管 是利用相对密度较大的水银作为工作介质，装在 U 形管中，一端接在容器的测压点上，用来测量该点压强的大小。图 1-2 (a) 测表压强

$$p = \rho_{Hg} gh_2 - \rho gh_1$$

图 1-2 (b) 测真空度

$$p_v = p_a - p = \rho gh_1 + \rho_{Hg} gh_2$$

有时为了较大压强，而将一组 U 形水银测压管串联起来进行测量，如图 1-3 所示。

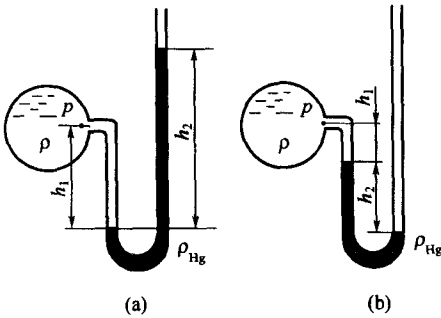


图 1-2 U 形水银测压管

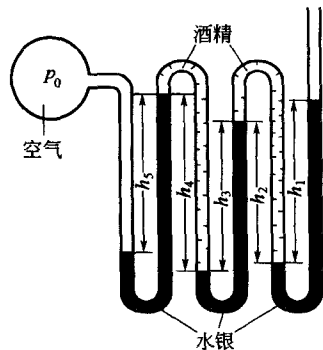


图 1-3 U 形测压管组

(3) U 形压差计 它和 U 形水银测压管原理相同，只是测压管两端接在两

个测压点上，用来比较两点的压差，如图 1-4 所示测量管道中断面 1 与断面 2 之间的压强差，用以计算两断面之间的沿程损失。两断面的压差为

$$p_1 - p_2 = (\rho_{\text{Hg}} - \rho)gh$$

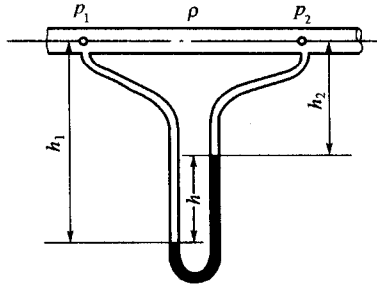


图 1-4 U 形压差计

第三节 流体流动的基本概念

流体的流动在自然界和工程中最常见的，如河水的流动，大气的流动，各种工程设备管道中的水、油、气的流动等。实际流体在流动时会产生黏性和内摩擦力，即遇到阻力。流体只有在一定动力作用下克服阻力才能以一定的速度进行流动。在工程设计中，为了保证流体在各种工程设备中能以规定的流速流动，必须预先计算出所需的动力，以便购置相应的水泵（或风机）。要解决这一问题，就必须研究流体在管中流动的力学规律。

一、描述流动现象的术语

1. 定常流动、非定常流动

流体的速度 v 、压强 p 、密度 ρ 等标志其流动状态的参数都是空间坐标 (x, y, z) 和时间 t 的连续函数。根据流体的流动参数是否随时间变化，可以把流体运动分成定常流动和非定常流动两类。

如果流动参数只与空间位置有关，而不随时间而变，则这种流动称为定常流动，否则就称为非定常流动。

定常流动的运动参数其数学表达式为

$$v = v(x, y, z)$$

$$p = p(x, y, z)$$

$$\rho = \rho(x, y, z)$$

严格地说，工程中所有的流动都是非定常流动，然而，如果在观察和分析问题的一个相当长时间里，流动参数随时间的变化很小，可以将这种流动视为定常流动。因此在可能的条件下，应尽可能将非定常问题简化为定常问题。

2. 均匀流动、非均匀流动、缓变流动

若流动参数（如流速）不随空间位置变化的流动，称为均匀流动，否则称为非均匀流动。在流体力学中，通常将流体在等径长直管道中的流动也称为均匀流动。均匀流过各流断面上的速度分布、断面平均流速等沿程不变。

实际工程中的流体流动大多为非均匀流，为便于研究，将近似于均匀的流动称为缓变流动。

3. 过流断面、流量、平均流速

(1) 过流断面 与流线垂直的横断面称过流断面。通常过流断面上的各点的流动参数是不相等的。

(2) 流量 将装在水管上的阀门打开，如果在 1s 内放满了 0.1m^3 桶的水，就称这一水管的体积流量为 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ ，即单位时间流经过流断面的流体量叫流量。

流量有三种表示方法：体积流量 Q ，习惯称流量，单位 m^3/s 或 m^3/h 。对任一过流断面而言，体积流量用以下积分表示

$$Q = \int_A u dA \quad (1-8)$$

式中 u ——过流断面上任一点的流速。

质量流量 $M = \rho Q$ ，单位 kg/s 。

(3) 断面平均流速 流体流动时，在同一过流断面上各点的流速是不相等的，一般位于管子中心部分的流速高，靠近管壁的流体因与管壁的摩擦流速低。通常工程上采用断面平均流速。断面平均流速是指经过过流断面的体积流量除以过流断面面积，即

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1-9)$$

断面平均流速的单位是 m/s 。

二、层流、湍流

从 19 世纪初起，在实验研究和工程实践中，人们注意到流体流动的能量损失规律与流动状态密切相关。直到 1883 年，英国科学家雷诺在实验中揭示了实际流体存在着两种不同的流动状态：层流和湍流，并得到了管中层流、湍流的能量损失（水头损失）规律。

水在管中流动由于流动内部结构不同，展现出三种不同的流态。将颜色水注入水管中与水流一起运动，当管中流速较低时，管内颜色水呈一股界线分明的直线，如图 1-5 (a) 所示。这表明此时管内各流层间毫不相混，这种分层有规则的流动称为层流。随着流速增大，颜色水开始出现摆动，如图 1-5 (b) 所示，这

时称为过渡状态。继续加大流速，颜色水迅速与周围清水相掺混，如图 1-5 (c) 所示，这种流动状态称为湍流。通常将过渡状态归入湍流中。

雷诺实验得出，层流时沿程损失与速度的一次方成正比，湍流时沿程损失与速度的 (1.75~2) 次方成正比。

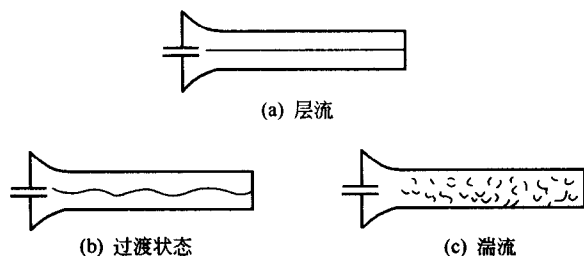


图 1-5 流态

雷诺在实验中发现，流动状态不仅与流速 v 有关，还与管径 d 、密度 ρ 和动力黏度 μ 有关。采用量纲分析的方法，可将这四个参数组合成一个无量纲数，这就是雷诺数 Re 。即

$$Re = \frac{vd\rho}{\mu} = \frac{vd}{\nu} \quad (1-10)$$

式中 v ——断面平均流速，m/s；

d ——圆管直径，m；

μ ——流体动力黏度，Ns/m²；

ν ——流体运动黏度，m²/s。

雷诺测出了层流与湍流转变时的临界雷诺数为 2320。于是对圆管流动，流态的判别准则是

$$Re < 2320 \quad \text{层流}$$

$$Re > 2320 \quad \text{湍流}$$

对于非圆形的管道，用水力半径或水力直径

$$R = \frac{A}{\chi} \quad d_H = 4R \quad (1-11)$$

式中 A ——过流断面面积；

χ ——湿周，即流体与固体边界相接触的周边长度。

因此，对圆管

$$R = \frac{d}{4} \quad d_H = d$$

对矩形管

$$R = \frac{ab}{2(a+b)} \quad d_H = 4R = \frac{2ab}{a+b}$$

在计算雷诺数时,用水力直径 d_H 代替圆管直径 d ,则流态的判别准则仍旧适用。

层流与湍流是两种完全不同的流动状态,其力学规律也完全不同,通常输水管道中的流动都是湍流。

三、水锤

在有压管道中,由于某种外界原因(如管道中的阀门突然关闭、水泵机组突然停机等),液流受阻而流速突然变小,从而引起管道局部压强急剧升高和降低的交替变化,这种现象称为水击,或称水锤。

水锤引起的压强升高值,可达管道正常工作压强的几十倍甚至几百倍,这种强大的压力波动,往往会引起管道和设备的强烈振动并发生破坏作用。

认识水锤现象的规律,合理地采取防范措施。例如缓慢关闭阀门,在管路上装设安全阀,设置调压塔等。

第四节 流体运动的基本方程

一、连续性方程

流体运动的连续性方程是质量守恒定律在流体力学中的数学表达式。

根据质量守恒定律,对于由 1-1、2-2 两过流断面及管道壁面所组成的空间封闭区域(见图 1-6),定常流动时流入质量必然等于流出质量,其数学表达式为

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

对不可压缩流体, $\rho = \text{常数}$,则上式转化为

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

或

$$Q_1 = Q_2$$

式(1-12)为不可压缩流体定常流动的连续性方程。它说明了一元流动在定常流动条件下沿流程体积流量保持不变,为一常数,各过流断面平均流速沿流程变化规律是:平均速度与过流断面面积成反比,即断面大流速小,断面小流速大。这是不可压缩流体运动的一个基本规律。例如河流的流动在河面变窄时,河水流速加大;风经过山谷、狭口时风速将增大。

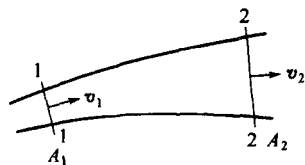


图 1-6 连续性方程示意

式(1-12)是在流量沿程不变的条件下得到的,若沿流程有流量流进或流出,总流量的连续性方程仍然适用,只是形式上有所不同。如图 1-7 (a) 汇流就有 $Q_1 + Q_2 = Q_3$, 而如图 1-7 (b) 分流则有 $Q_1 = Q_2 + Q_3$ 。