

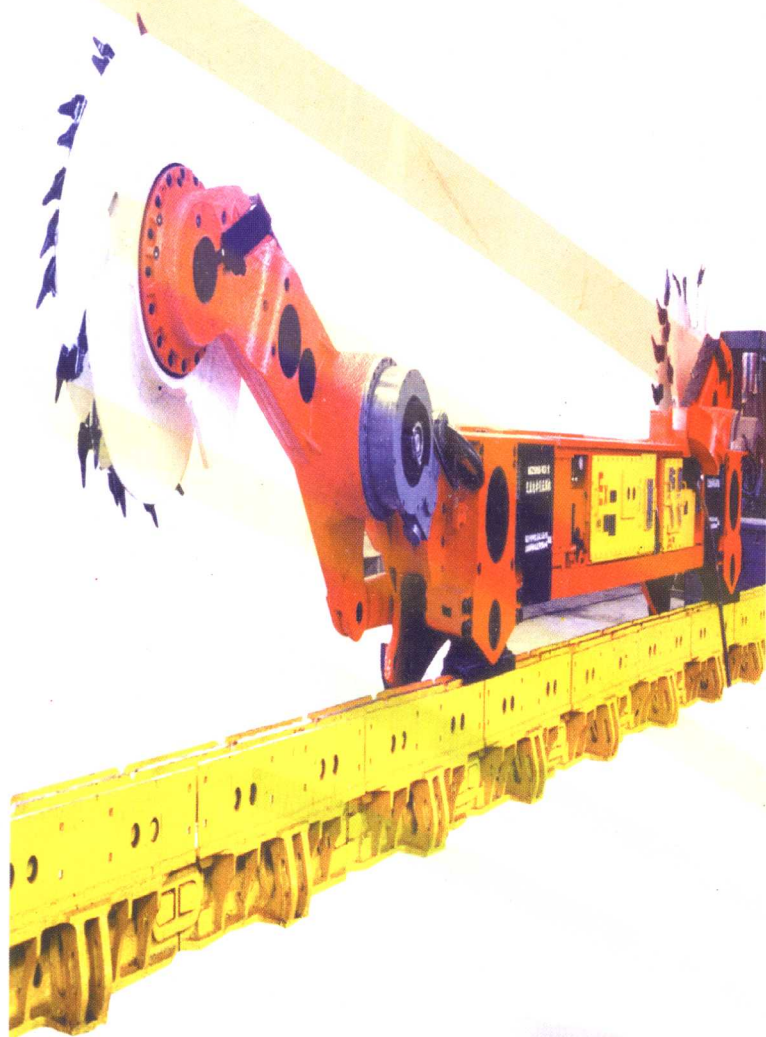


中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

矿山机械

● 主 编 刘胜利



● 煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书是中等职业教育国家规划教材之一。

本书以流体力学和液压传动基础知识为基础,系统地介绍了矿山采掘机械、运输提升机械、流体机械的类型、用途、工作原理、主要结构、性能特点和使用维护知识,内容突出实践性和实用性。

本书是中等职业学校采矿技术、煤矿电气化专业教学用书,也可作为从事矿山生产的工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

矿山机械/刘胜利主编. —北京:煤炭工业出版社,

2005

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7—5020—2699—1

I. 矿… II. 刘… III. 矿山机械-专业学校-教材 IV. TD4

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第054925号

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居35号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 22¹/₂

字数 532千字 印数 2,001—4,000

2005年8月第1版 2006年6月第2次印刷

社内编号 5470 定价 39.00元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1号)的精神,我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从2001年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,以满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001年10月

前言

本套教材是中国煤炭教育协会和煤炭工业出版社受教育部职业与成人教育司委托,根据2000年教育部《面向21世纪职业教育课程改革和教材建设规划》采矿技术专业教学指导方案,组织部分职业教育院校的教师编写的。教材编审委员会于2004年11月在北京召开了教材编写大纲审定会议,于2005年3月在无锡召开了审稿会,会后各书主编根据提出的意见进行修改与完善。各书主审人员对书稿进行了认真的审阅。

采矿技术专业中等职业教育国家规划教材全套书共12本,可作为中等专业学校、技工学校和职业中学采矿技术专业及相关专业的通用教材,可作为企业在职人员的培训教材,也可作为从事矿井开拓、采煤(矿)、掘进、运输、通风与安全、矿井地质勘探与测量的技术人员以及生产组织管理者的参考用书。

本教材力求内容先进性、实用性和系统性的统一,同时考虑中等职业教育的特点、人才培养的基本规格和知识、能力、素质结构的要求,着重学生生产实践能力培养。使学生在牢固掌握采矿技术专业必需的文化基础知识和专业知识的基础上,具有综合职业技能和全面素质,具有继续学习的能力、创业创新能力。

《矿山机械》一书是采矿技术专业中等职业教育国家规划教材中的一本,由甘肃煤炭工业学校刘胜利统稿并任主编。刘胜利编写了绪论、第一章、第二章、第三章,河南理工大学高职院校毋虎城编写了第十三章、第十四章、第十五章,宁夏煤炭工业学校闫惠荣编写了第十章、第十六章、第十七章、第十八章,山西雁北煤炭工业学校廉刚编写了第八章、第九章,河南理工大学高职院校汪浩编写了第十一章、第十二章,甘肃煤炭工业学校吴义珍编写了第四章、第五章、附录一,甘肃煤炭工业学校陈玉莲编写了第六章、第七章、附录二;北京工业职业技术学院冯海明担任此书主审。在此,对本教材成书过程中提供帮助的人士表示感谢。

中等职业学校“采矿技术专业”

教材编审委员会

2005年6日

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 流体力学和液压传动基础

第一章 流体力学基础	5
第一节 流体的主要物理性质	5
第二节 流体静力学	7
第三节 流体动力学基础	11
第四节 流动阻力与能量损失	14
第二章 液压传动基础	19
第一节 液压传动的基本概念	19
第二节 工作液体	21
第三节 液压冲击和气蚀现象	24
第三章 液压泵	26
第一节 概述	26
第二节 齿轮泵	28
第三节 叶片泵	31
第四节 柱塞泵	36
第四章 液压马达与液压缸	45
第一节 液压马达	45
第二节 液压缸	59
第五章 液压控制阀	68
第一节 方向控制阀	68
第二节 压力控制阀	74
第三节 流量控制阀	79
第四节 其他液压阀	80

第六章 液压辅助元件	82
第一节 油管和管接头	82
第二节 滤油器	85
第三节 蓄能器	87
第四节 密封装置	88
第五节 油箱和热交换器	91

第七章 液压传动系统	94
第一节 液压系统的分类和液压基本回路	94
第二节 液压系统的调速	99
第三节 液压系统实例分析	101
第四节 液压系统的使用与维护	104

第二篇 采掘机械

第八章 采煤机械	108
第一节 概述	108
第二节 滚筒式采煤机	110
第三节 其他类型的采煤机	132
第四节 采煤机的操作使用与维护	138

第九章 液压支护设备	145
第一节 概述	145
第二节 液压支架的主要部件及结构	149
第三节 液压支架的典型结构	156
第四节 液压支架的控制	161
第五节 单体液压支柱与滑移顶梁支架	163
第六节 乳化液泵站	167
第七节 液压支架的安装、使用与维护	170

第十章 掘进机械	177
第一节 凿岩机	177
第二节 凿岩台车	180
第三节 掘进机	183
第四节 装载机	188

第三篇 运输与提升机械

第十一章 刮板输送机	195
第一节 概述	195
第二节 刮板输送机主要部件的结构	198
第三节 桥式转载机	210
第四节 刮板输送机的安装、使用与维护	211
第十二章 带式输送机	215
第一节 概述	215
第二节 带式输送机主要部件的结构	221
第三节 带式输送机的安装、使用与维护	233
第十三章 矿用电机车	236
第一节 概述	236
第二节 轨道与车辆	237
第三节 矿用电机车的主要机械结构	240
第四节 矿用电机车的电气设备及控制	244
第五节 列车运行理论	247
第六节 电机车的使用与维护	250
第十四章 辅助运输设备	254
第一节 概述	254
第二节 调度与回柱绞车	254
第三节 单轨吊车	257
第四节 其他运输设备	261
第十五章 采区提升设备	266
第一节 概述	266
第二节 提升钢丝绳	267
第三节 采区绞车	273
第四节 采区提升设备的运行计算	287
第五节 采区提升设备的使用与维护	292

第四篇 流 体 机 械

第十六章 矿井排水设备.....	297
第一节 概述.....	297
第二节 离心式水泵的工作理论.....	299
第三节 离心式水泵结构.....	301
第四节 离心式水泵的运行.....	305
第五节 离心式水泵的使用与维护.....	307
第十七章 通风设备.....	311
第一节 概述.....	311
第二节 通风机的结构及性能.....	313
第三节 通风机在网路中的工作.....	319
第四节 通风机的运转与维护.....	322
第十八章 矿山空气压缩设备.....	325
第一节 概述.....	325
第二节 活塞式空压机的工作循环.....	326
第三节 活塞式空压机的结构及附属装置.....	328
第四节 空压机的使用与维护.....	332
附录一 实验实训.....	336
附录二 常用液压传动图形符号.....	340
参考文献.....	350

绪 论

矿山机械在煤炭生产中占有非常重要的地位。新中国成立以来，特别是改革开放20多年来，我国越来越多的矿山使用了综合机械化采煤设备和大型掘进设备，国有重点煤矿的机械化程度由改革开放初期的30%提高到80%以上，采煤机械化的迅速发展极大地改善了煤矿生产条件，降低了工人的劳动强度，提高了工作效率，大大降低了生产成本，为煤矿安全生产提供了必要的条件，对于迅速提高我国原煤产量，促进煤炭工业的整体发展起到了极其重要的作用。

矿山机械种类繁多，应用范围很广，通常分为采掘机械、运输与提升机械、流体机械三大部分。

一、采掘机械

采掘机械按作用不同分为采煤机械、掘进机械、装载机械和液压支护设备。

1. 采煤机械

采煤机械主要用于采煤工作面，实现落煤、装煤的机械化。常见的类型有：

(1) 滚筒式采煤机 这种采煤机又可分为单滚筒和双滚筒、有链牵引和无链牵引、液压牵引和电牵引采煤机。滚筒式采煤机骑行在采煤工作面刮板输送机的溜槽上并沿工作面往复运动；滚筒连续旋转，实现落煤，并把煤装到刮板输送机上运出工作面。

(2) 连续采煤机 这种采煤机不同于滚筒式采煤机，它具有履带式行走机构和滚筒式工作机构，滚筒的宽度较大且位于机身前面，采用多台电动机驱动。行走机构能够沿煤层底板向前、向后、转弯行走，可实现无级调速；工作机构可随悬臂一起上下摆动完成落煤，装载机构完成装煤。连续采煤机生产能力大、效率高，主要用于房柱式采煤。

2. 掘进机械

掘进机械是用于开凿巷道的机械，按巷道掘进方法的不同大型掘进机械可分为凿岩台车和掘进机。

(1) 凿岩台车是一种钻孔设备，能将一台或数台高效能的凿岩机连同推进装置一起安装在钻臂导轨上，并配以行走机构，使凿岩作业实现机械化。凿岩台车和凿岩机相比工效可以提高2~4倍。

(2) 掘进机使用在巷道掘进中，能使破落煤岩、装载运输、喷雾灭尘等工序同时进行，实现了掘进机械化。掘进机可分为部分断面掘进机和全断面掘进机两类。部分断面掘进机主要用于掘进煤和半煤岩巷道，而全断面掘进机主要用于掘进岩石巷道。

3. 装载机械

装载机械是将破落的煤或岩石装入矿车或巷道输送机，实现装载机械化。常见的类型有：

(1) 铲斗装载机 铲斗装载机有行走机构，能依靠铲斗铲取岩石，然后将岩石卸入矿

车或其他运输设备。铲斗装载机结构简单，可以装载块度较大且坚硬的岩石，按其卸载方式可分为后卸式和侧卸式两种。

(2) 耙斗装载机 它是利用绞车和钢丝绳拖动一个耙斗，耙取岩石装入矿车的机械，可用于平巷、上下山及拐弯巷道，使用范围广，特别适用于倾角为 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的倾斜巷道。

4. 支护设备

支护设备用于对采煤工作面的顶板进行支撑和管理，以维护正常工作空间并保护工作面内的机器和人员的安全。支护设备的类型主要有：

(1) 液压支架 液压支架是以高压液体为动力，由金属构体和若干液压元件组成。液压支架能实现对顶板的支撑、切顶、移架和推移输送机等工序的机械化。液压支架与采煤机、工作面输送机组成工作面的“综采”设备。

(2) 单体支柱 单体支柱又分为金属摩擦支柱和液压支柱，它们分别与铰接顶梁组成支架，实现对工作面顶板的支护和管理。采用单体支柱支护仍依靠人工操作，劳动强度大、安全性较差。常用单体液压支柱、铰接顶梁与采煤机、工作面刮板输送机组成“高档普采”设备。

5. 乳化液泵站

乳化液泵站由乳化液泵和乳化液箱组成，是向综采工作面的液压支架或高档普采工作面的外注式单体液压支柱输送高压乳化液的动力源。乳化液泵站一般设在工作面运输平巷内，远距离向工作面供液。

二、运输与提升机械

矿山运输与提升机械，承担着运输煤炭、矸石、材料设备以及运送工作人员的任务。运输提升系统是煤矿生产的“动脉”。

矿山运输与提升机械按设备安装地点的不同可分为提升机械和运输机械；按其动作方式不同可分为连续动作式和周期动作式运输设备；按用途不同可分为主要运输和辅助运输设备。

1. 提升机械

提升机械属于周期动作式运输机械，它利用提升机或绞车滚筒上的钢丝绳牵引提升容器，在井筒内或巷道内往返运行，完成提升煤炭、矸石及升降人员、设备等任务。提升机械可分为矿井提升机械和采区提升机械。

(1) 矿井提升机械 矿井提升机是提升机械的重要组成部分，它安装于地面，靠提升机滚筒上的钢丝绳牵引提升容器在井筒内往返运行完成提升任务，服务于整个矿井。提升机的滚筒直径一般在2 m以上。主井提升设备完成提煤任务，副井提升设备完成提升矸石、升降人员、设备和材料的运输任务。

(2) 采区提升机械 常采用滚筒直径小于2 m的绞车，并安装于井下采区的硐室，利用绞车滚筒上的钢丝绳牵引一组矿车在采区上山或下山巷道内往返运行，完成提升任务，常作为采区辅助运输设备。

2. 运输机械

运输机械主要用于水平或倾斜巷道中的煤炭及辅助运输。

连续动作式运输机械指设备启动后，能连续不断地运送货载。其类型有：

(1) 输送机 输送机又分为刮板输送机和带式输送机。刮板输送机主要用于采煤工作面,带式输送机主要用于倾角小于 17° 的运输巷道,完成运输煤炭的任务。带式输送机还可以用于斜井井筒,作为提升设备,完成提升煤炭、运送人员的任务。

(2) 无极绳运输机械 这种运输方式是将货载装在矿车中,用无极连续运转的钢丝绳连接并牵引矿车在轨道上运行,完成货载运输。它主要用于井下或地面水平运输及倾角小于 10° 的斜巷运输。

周期动作式运输机械是以一定的循环方式周期地运送货载,在运输中需经常控制其运行方向。常用的类型有:

(1) 电机车运输机械 这种运输设备用电机车牵引一组矿车在轨道上往返周期性地运送货载,主要用于井下运输大巷和地面水平运输。

(2) 有极绳运输机械 这种运输设备利用小绞车滚筒上的钢丝绳牵引单个或一组矿车在轨道上往返周期性地运送货载,多用作井下倾斜巷道的辅助运输。

(3) 单轨吊车 这种运输设备用吊挂车辆,并悬吊于巷道上方的工字形单轨上运行,以摩擦轮绞车做动力装置,通过钢丝绳牵引单轨吊车运送货载。单轨吊车多作为综合机械化采煤工作面的辅助运输机械。

(4) 卡轨车 这种运输设备是用摩擦轮绞车带动钢丝绳并牵引卡轨车在底板轨道上行走完成运输任务。卡轨车辆除有普通的行走轮对外,还装有卡轨轮,其作用是卡住轨道,使车轮不脱离轨道,多作为综合机械化采煤工作面的辅助运输机械。

三、流体机械

流体机械是指以水或空气为工作介质的矿山机械,包括排水设备、通风设备和空气压缩设备,它们都是矿山大型固定设备。

1. 排水设备

水泵是矿井排水设备的主要组成部分,它的作用是将矿井中的涌水及时排送至地面,为井下创造良好的工作环境,确保安全生产。矿井排水设备又分为固定式和移动式。固定式排水设备一般服务于整个矿井,为主排水设备。主水泵采用D型离心式水泵,水泵的排水能力应符合《煤矿安全规程》的要求。

2. 通风设备

通风机是矿井通风设备的主要组成部分,它是矿井的“肺脏”。其作用是向井下输送新鲜空气,稀释和排出有毒、有害气体,调节井下所需风量、湿度和温度,使井下具有良好的工作条件,保证安全生产。

通风机可分为主要通风机和局部通风机。主要通风机服务于整个矿井,局部通风机是负责掘进工作面或井下局部工作地点的通风。常用的通风机有离心式风机和轴流式风机两种类型。

3. 空气压缩设备

空气压缩设备是指压缩和输送气体的整套设备,其中最主要的是空气压缩机。空气压缩机对空气进行压缩,当压力升高到规定值后排入风包,经风包排出来的压缩气体沿管道送到井下,供风动工具使用或送到其他使用压缩气体的地点。常用的空气压缩机为L系列活塞式空气压缩机。

我国的矿山机械在自主研发基础上，不断吸收国外的先进技术，在设计和制造方面发展很快，生产出了先进的机械设备，基本满足了我国煤矿机械化生产的需要，而且部分矿山机械出口国外。展望矿山机械的发展趋势，先进性主要体现在以下几个方面：①设备高效化、大型化 机械设备工作能力、运行速度和拖动电动机的功率不断增大，效率不断提高；②控制自动化 机械设备采用先进的自动控制、电液控制和动态监测监控技术，实现软启动和自动调速；③技术先进化 随着科学技术的发展，能将先进的科学技术应用于矿山机械的设计、制造和维修等方面；④安全可靠 设备具有完善的保护系统，运行安全可靠，以满足煤矿生产的要求。

矿山机械的适用面广，种类很多，学习时首先要了解各种机械的作用、工作原理、基本类型和适用范围，并进一步掌握其结构特点、使用维护等方面的知识。在教学过程中应结合实物、模型或通过现场实习、跟班劳动，把理论教学与实践教学有机结合。通过系统学习后，使学生获得矿山采掘、运输、提升和流体机械的基本知识和基本操作、维护、故障诊断及处理方面的技能。

第一篇 流体力学和液压传动基础

第一章 流体力学基础

流体力学是力学的一个分支,是研究流体静止和运动的力学规律以及流体与固体之间相互作用的一门应用科学。流体力学在煤矿生产中的应用非常广泛,是矿井通风、排水、水力开采、水力运输、液压传动与气压传动的理论基础。

第一节 流体的主要物理性质

流体包括液体和气体。它具有流动性,其形状始终同容器保持一致。流体的物理性质是决定其平衡和运动规律的内在原因。

一、密度与重力密度

(一) 密度

密度是表示流体具有惯性的物理量。对于均质流体,单位体积的流体所具有的质量称为流体的密度,用 ρ 来表示,单位是 kg/m^3 。

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

式中 m ——流体的质量, kg ;

V ——流体的体积, m^3 。

(二) 重力密度

重力密度是表示流体具有重力特性的物理量。对于均质流体,作用于单位体积流体的重力称为重力密度,用 γ 来表示,单位是 N/m^3 。

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

式中 G ——流体的重力, N ;

V ——流体的体积, m^3 。

根据 $G=mg$ 的关系式,两端同除以体积 V ,则得重力密度与密度的关系式

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

式中 g ——重力加速度, m/s^2 。

需要说明的是:流体的密度与它在地球上的位置无关,而流体的重力密度与它所处的位置有关,因为地球上不同地点的重力加速度不同,所以重力密度也就不一样。另外,流体的密度和重力密度受外界压力和温度的影响,当指出某种流体的密度或重力密度值时,必

须指明所处的外界压力和温度条件。

常见的几种流体的密度和重力密度见表1—1。

表1—1 常见流体在标准大气压下的密度和重力密度

流 体	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	重力密度/ ($\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$)	温度/ $^{\circ}\text{C}$	流 体	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	重力密度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	温度/ $^{\circ}\text{C}$
空气	1.205	11.80	20	水	999.9	9.809	0
氮气	1.160	11.37	20	水	1000.0	9.810	5
氧气	1.123	11.01	20	水	999.7	9.807	10
水蒸气	1.205	11.82	20	水	998.2	9.792	20
一氧化碳	1.160	11.37	20	水银	13550.0	132.926	20
二氧化碳	1.840	18.03	20	酒精	790	7.742	20
乙炔	1.091	10.70	20	液压矿油	845~900		20

二、压缩性和膨胀性

流体受压，体积缩小、密度增大的性质，称为流体的压缩性。流体受热，体积增大、密度减小的性质，称为流体的膨胀性。

1. 液体的压缩性和膨胀性

液体的压缩性和膨胀性很小，当压力和温度变化不大时，可以认为液体的体积不发生变化，既不可压缩又不膨胀。但是在一些特殊情况（如水击现象）下，就必须考虑其影响，否则液体的压缩性和膨胀性引起的影响，将会造成很大的误差。

2. 气体的压缩性和膨胀性

气体与液体不同，温度和压力的变化都将引起气体体积的很大变化。但是具体问题也要具体分析，气体在流动过程中压力和温度的变化较小（如矿井通风系统）时，可以忽略气体的压缩性和膨胀性。若压力或温度变化较大（如空气压缩机）时，气体的压缩性和膨胀性不能忽略。

三、粘性

流体流动时内部质点间或流层间因相对运动而产生内摩擦力的性质，称为粘性。它对流体的运动起着拖阻作用。当流体在管中缓慢流动时，由于流体壁面间的附着力，分子运动以及分子间的内聚力的存在，使流动受到阻滞，在流动截面上各点的速度不同，流速分布规律如图1—1所示。

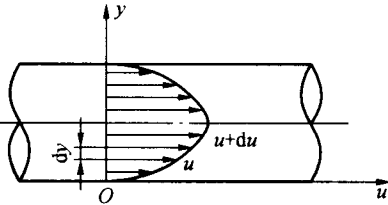


图1—1 流速分布规律

由图1—1可看出：紧贴管壁的流体质点粘附在管壁上，其流速为零；位于管中心轴线上的流体质点，受管壁的影响最小，因而流速最大；介于管壁和管轴之间的流体质点，将以不同的速度向右运动，其速度从管壁至管轴线，由零增加到最大。由于流体各薄层的流速不同，因而各薄层质点间产生相对运动，从而产生内

摩擦力，阻碍相对运动，为了维持流体的运动状态，必须消耗一定的能量来克服内摩擦力，这就是流体运动时产生能量损失的原因之一。直线管路中流体的内摩擦力与流体的种类、流速和管路直径有关，而与液体的压力无关。

粘性是流体的基本特性。不同性质的液体，具有不同的粘性。如用木棍搅动几种不同的流体，会感到阻力不同，这表明它们的粘性不同，阻力大的流体粘性大，反之则粘性小。粘性的大小用粘度来表示，通常有三种表示方法。

(1) 动力粘度 反映液体粘性的动力特征，用 μ 表示，单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。

(2) 运动粘度 流体在一个标准大气压下，且温度相同时其动力粘度与密度的比值，用 ν 表示，单位是 m^2/s 、 mm^2/s 。

(3) 相对粘度 用特定粘度计在规定条件下直接测出的粘度，用 $^\circ\text{E}$ 表示。我国采用恩氏粘度计测定液体的相对粘度，其值称为恩氏粘度。

几种流体的动力粘度和运动粘度见表1-2。

表1-2 几种流体在标准大气压下的粘度

气体名称	$\mu/$ ($10^{-6}\text{Pa} \cdot \text{s}$)	$\nu/$ ($10^{-6}\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	$t/^\circ\text{C}$	液体名称	$\mu/$ ($10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s}$)	$\nu/$ ($10^{-6}\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	$t/^\circ\text{C}$
空气	17.25	13.7	0	水	1.308	1.308	10
空气	17.70	14.7	10	水	1.005	1.007	20
空气	18.20	15.7	20	水银	1.560	0.115	20
氮气	17.60	15.0	20	原油	7.200	8.411	20
一氧化碳	18.20	16.0	20	汽油	0.290	0.428	20
二氧化碳	14.80	8.00	20	煤油	1.920	2.376	20
水蒸气	10.10	13.50	20	酒精	1.190	1.510	20

压力和温度对流体的粘性都有影响，流体的粘性随压力的升高而增大，但在压力不很高时，其粘性变化很小，可以忽略。温度的变化对流体的粘性影响较大，液体的粘性随温度的升高而降低，流动性增强。气体则相反，温度升高时，气体分子运动加强，动量增大，因此气体的粘性随温度升高而增大。

第二节 流体静力学

流体静力学是研究流体在静止状态下的力学规律以及这些规律在工程上的应用。当流体处于静止状态时，各质点间不产生相对运动，因而流体的粘性不起作用。

一、流体静压力及其特征

作用于流体上的力有表面力和质量力两种。表面力是作用于流体表面上并与作用的表面积成正比的力，它是由与液体相接触的其他物体（流体或固体）的作用而产生的；质量力是作用于流体每一质点上并与流体质量成正比的力，如重力、惯性力等。

1. 流体静压力

流体静压力是指流体处于静止状态时,单位面积上所受的法向作用力。静压力在物理学中称为压强,在液压传动中简称为压力。

若法向作用力 F 均匀地作用在面积 A 上,则静压力 p 为

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

2. 流体静压力的特性

流体静压力有两个重要特性。

(1) 流体静压力的方向必然沿着作用面的内法线方向,即垂直指向作用面。

(2) 静止流体内任一点各方向的静压力均相等,即静止流体中,任一点的流体静压力的大小与作用方向无关,只与该点的位置有关。

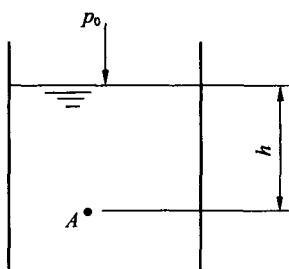


图1-2 流体静力学

压力分布规律示意图

二、流体静压力的分布规律

液体在重力作用下处于静止状态,即静止液体。在静止液体中取任一点 A , A 点在液面下的深度为 h ,液面上的压力为 p_0 , A 点的静压力(图1-2)根据力学平衡条件推导为

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

式中 p ——流体内某点的静压力, Pa;

p_0 ——液面上的压力, Pa;

γ ——流体重力密度, N/m^3 ;

h ——某点在液面下的深度, m。

上式是在重力作用下,静止液体内压力分布规律的数学表达式,称为流体静力学基本方程式。该方程式表明:

- (1) 在重力作用下,液体内的静压力随着深度 h 的增加而增大;
- (2) 静压力由两部分组成,即液面上的压力 p_0 和单位面积上的重力 γh ;
- (3) $h = \text{常数}$ 时, $p = \text{常数}$,即同一容器内深度相同的各点静压力也相等。

在静止液体中,由压力相等的点组成的面称为等压面。在静止、同种、连续的流体中,水平面就是等压面。

三、流体静压力的度量

(一) 压力的计算基准和单位

压力有两种计算基准:绝对压力和相对压力。

以完全真空为零点起算的压力称为绝对压力,用符号 p_1 表示;以大气压力 p_a 为零点起算的压力称为相对压力,用符号 p 表示。

相对压力、绝对压力和大气压力之间的关系是

$$p_1 = p + p_a \quad (1-6)$$

某点的绝对压力只能是正值。但是,某点的相对压力可正可负。当相对压力为正值时,

称为正压（即压力表读数）；为负值时，称为负压。负压的绝对值称为真空度（即真空表读数），用 p_z 表示。

$$p_z = p_a - p_i \tag{1-7}$$

为了区别以上几种压力，将它们的关系表示在图1-3上。

我国的法定压力单位为帕（Pa）， $1\text{ Pa}=1\text{ N/m}^2$ 。因为Pa的单位太小，故常用单位为千帕（kPa）和兆帕（MPa）， $1\text{ kPa}=10^3\text{ Pa}$ ， $1\text{ MPa}=10^6\text{ Pa}$ 。

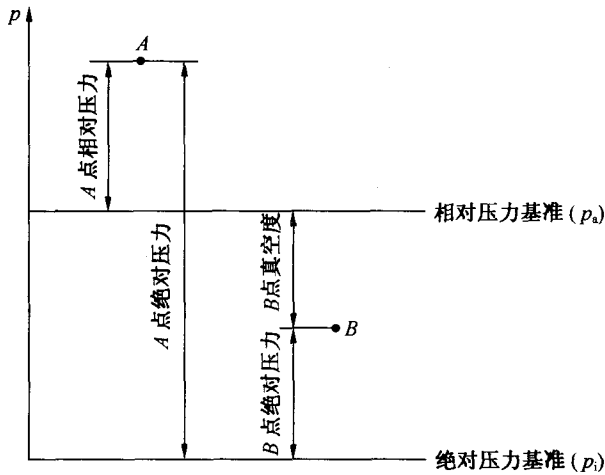


图1-3 压力关系图示

（二）液柱测压计

常用的测压计有弹簧金属式、电测式和液柱式三种。由于液柱式测压计直观、可靠、经济、方便，因而在工程上得到广泛的应用。

1. U形管测压计

U形管测压计的应用范围较广，既可以测量液体或气体内部较大的压力，也可用于测量真空度。

如图1-4所示，U形管内装有重力密度为 γ_g 的水银。测量时U形管的一端连接被测容器A，另一端开口与大气相通。根据U形管中液面的位置变化测得A点压力。

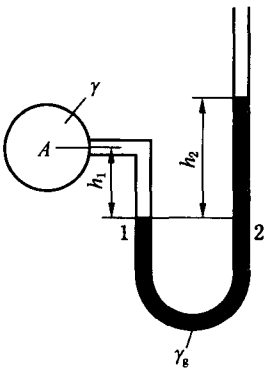


图1-4 水银测压计

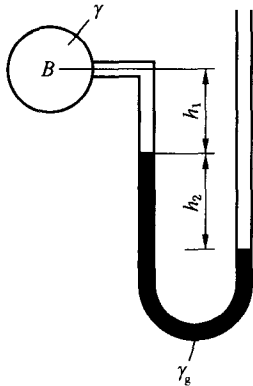


图1-5 真空计

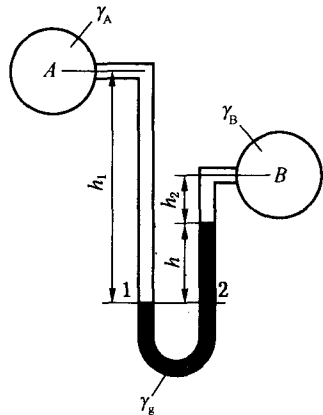


图1-6 压差计