

新编全国煤炭高等职业教育规划教材

Kuangshan Jixie

矿山机械

第二版

主编 舒斯洁 李寿昌 吴义顺

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

新编《矿山机械》等职业教育规划教材

矿山机械

(第二版)

主 编	舒斯洁	李寿昌	吴义顺
副主编	陈炳耀	任保明	田建生
	余 斌	郝敬豪	

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书全面介绍了我国煤矿目前通用的采掘机械、运输机械、提升机械、流体机械等设备的用途、结构原理、工作性能、选型方法、配套原则和使用维护知识,突出反映了本领域的新技术、新成果、新产品及其发展动向,内容充实且具有先进性和实用性。

本书为高职高专院校矿山机械课程的通用教材,也可作为函授大学、职工大学、职业培训的教学用书,还可供从事矿山生产的工程技术和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿山机械/舒斯洁,李寿昌,吴义顺主编. —徐州:

中国矿业大学出版社,2013.2

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1816 - 2

I. 矿… II. ①舒…②李…③吴… III. 矿山机械—高等教育—教材 IV. ①TD4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 028487 号

书 名 矿山机械

主 编 舒斯洁 李寿昌 吴义顺

责任编辑 郭 玉 潘俊成

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 23.75 字数 593 千字

版次印次 2013 年 2 月第 2 版 2013 年 2 月第 1 次印刷

定 价 33.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

矿山机械教材编审委员会

江西工业工程职业技术学院

淮南职业技术学院

云南能源职业技术学院

新疆工业高等专科学校

山东科技大学

内蒙古科技大学高等职业技术学院

大同大学

安徽能源技术学校

舒斯洁

吴义顺

李寿昌

余 斌

任保明

陈炳耀

田建生

郝敬豪

前 言

本书是在煤炭教育协会的指导下,由中国矿业大学出版社联合江西工业工程职业技术学院、云南能源职业技术学院、新疆工业高等专科学校、安徽能源技术学校、淮南职业技术学院、大同大学、山东科技大学、内蒙古科技大学高等职业技术学院等院校组成的《矿山机械》教材编审委员会共同编写的,是新编全国煤炭高等职业教育规划教材之一。

全书共四篇:第一篇为基础篇,第二篇为采掘机械,第三篇为运输与提升机械,第四篇为矿山流体机械。本书全面介绍了我国煤矿现用各类机械设备的主要类型、结构、工作原理、工作性能、运行理论、使用维护等知识,突出反映了本领域的新技术、新成果、新产品及其发展动向。

在教材编写中,力求使教材内容适应生产的现状和发展的需要,力争使教材内容具有鲜明的思想性、先进性、启发性和科学性,突出高等职业技术教育的特色,以适应培养应用型人才的需要。每章后都附有相应的复习思考题。

本书的具体编写分工如下:云南能源职业技术学院李寿昌编写第一章、第十一章;新疆工业高等专科学校余斌编写第二章的第一节、第二节;安徽能源技术学校郝敬豪编写第二章的第三节;淮南职业技术学院吴义顺编写第二章的第四节、第五节;大同大学田建生编写第三章、第四章、第五章;内蒙古科技大学高等职业技术学院陈炳耀编写第六章、第七章、第八章、第九章;江西工业工程职业技术学院舒斯洁编写第十章;山东科技大学任保明编写第十二章、第十三章。由于本课程实际的授课课时有限,全书初稿完成后,由编审委员会共同讨论对初稿进行了删改,并由舒斯洁、李寿昌进行了修改、校定,使本书内容更加简洁、精练、全面;初稿修改后由舒斯洁、李寿昌进行了统稿,由舒斯洁最终定稿。

在教材编写过程中,郑州煤炭机械集团和晋城煤业集团的同行对教材编写大纲的制定和书稿的编写提出了不少宝贵意见,此外还参考和使用了许多文献资料,得到许多厂矿、设计院的大力支持,在此我们谨向这些文献资料的编著者和支持本书编写的单位和个人表示衷心感谢。

由于水平所限,书中不妥之处在所难免,敬请批评指正,以便本书在以后的修订中更加完善。本书主编的电子邮箱是 shusijie2066@126.com。

编 者

目 录

第一篇 基础篇

第一章 流体力学基础.....	3
第一节 流体的主要物理性质.....	3
第二节 流体静力学.....	7
第三节 流体动力学	12
第四节 流动状态与能量损失	16
复习思考题	20
第二章 液压传动基础	22
第一节 概述	22
第二节 液压泵	26
第三节 液压马达与液压缸	36
第四节 液压控制阀	42
第五节 液压传动系统	58
复习思考题	62

第二篇 采掘机械

第三章 采煤机械	65
第一节 概述	65
第二节 滚筒式采煤机	69
第三节 MG150/375-型滚筒式采煤机.....	78
第四节 6LS5 电牵引采煤机.....	89
第五节 采煤机的操作使用与维护	99
复习思考题.....	102
第四章 液压支护设备.....	103
第一节 概述.....	103

第二节 液压支架的架型.....	105
第三节 液压支架的控制	110
第四节 单体液压支柱与滑移顶梁支架.....	112
第五节 乳化液泵站.....	119
第六节 液压支架的安装、使用与维护	124
复习思考题.....	130
第五章 掘进机械	131
第一节 凿岩机.....	131
第二节 凿岩台车	136
第三节 掘进机.....	138
第四节 锚杆钻机.....	141
第五节 装载机.....	146
复习思考题.....	157
第三篇 运输与提升机械	
第六章 刮板输送机.....	161
第一节 概述.....	161
第二节 刮板输送机的主要结构及功能分析.....	164
第三节 顺槽桥式转载机.....	179
第四节 刮板输送机的安装、运转、维护与故障处理.....	184
复习思考题.....	188
第七章 带式输送机.....	189
第一节 概述.....	189
第二节 带式输送机主要部件的结构.....	196
第三节 带式输送机的传动理论.....	212
第四节 带式输送机的安装、使用、维护与故障处理.....	214
复习思考题.....	222
第八章 矿用机车.....	223
第一节 概述.....	223
第二节 轨道与矿车.....	224
第三节 矿用电机车的主要机械构造.....	229
第四节 矿用电机车的电气设备与控制.....	234
第五节 列车运行理论.....	241
第六节 矿用电机车的运行、操作、维护与故障处理.....	246

复习思考题	248
第九章 辅助运输设备	249
第一节 概述	249
第二节 调度绞车与回柱绞车	249
第三节 单轨吊车	254
第四节 卡轨车	260
第五节 其他辅助运输设备	264
复习思考题	265
第十章 矿井提升设备	266
第一节 概述	266
第二节 提升容器	269
第三节 井架与天轮	277
第四节 提升钢丝绳	279
第五节 矿井提升机	283
第六节 提升机制动系统	291
第七节 提升机的操纵、监测与保护装置	295
复习思考题	303
 第四篇 矿山流体机械 	
第十一章 矿井排水设备	307
第一节 概述	307
第二节 离心式水泵的工作理论	309
第三节 离心式水泵的结构	312
第四节 离心式水泵的运行	318
第五节 离心式水泵的操作、维护及故障处理	325
复习思考题	328
第十二章 矿井通风设备	329
第一节 概述	329
第二节 通风机的特性曲线	331
第三节 通风机在网路中的工作	333
第四节 通风机的构造及反风装置	339
第五节 通风机的运转与维护	345
复习思考题	346

第十三章 矿山空气压缩设备	347
第一节 概述	347
第二节 活塞式空气压缩机的工作理论	349
第三节 活塞式空压机的结构及附属装置	353
第四节 螺杆式空气压缩机	362
第五节 空气压缩机的使用与维护	366
复习思考题	367
参考文献	368

第一篇

基础篇

第一章 流体力学基础

液体和气体,常称为流体。

流体力学是研究流体平衡和运动规律及这些规律在实际工程中应用的一门学科。

流体力学的应用领域极其广泛,矿井通风、排水、压气以及矿物的洗选等都离不开流体力学。流体力学是动力、能源、航空、环境、采暖、机械、力学等工程专业重要的技术基础课。

第一节 流体的主要物理性质

流体具有流动性,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、密度与重度

(一) 密度

流体的密度是指单位体积的流体的质量,用 ρ 表示,法定单位是 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) 重度/容重

流体的重度是指单位体积的流体的重力,用 γ 表示,法定单位是 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 。

因 $G = mg$, 由式(1-1)和式(1-2)得流体的重度与密度的关系式为:

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

式中 g ——当地的重力加速度, m/s^2 , 一般取 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

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,所以重度也就不一样。另外,流体的密度和重度受外界压力和温度的影响,当指出某种流体的密度或重度时,必须指明所处的外界压力和温度条件。

表 1-1 给出了几种常见流体在不同温度下的密度和重度,以便选用。

表 1-1 几种常见流体在标准大气压和不同温度下的密度和重度

流体名称	密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	重度/ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	测量温度/ $^{\circ}\text{C}$
空气	1.293	12.68×10^{-3}	0
空气	1.247	12.23×10^{-3}	10
空气	1.205	11.82×10^{-3}	20
水	999.87	9.809	0
水	999.72	9.807	10
水	998.2	9.792	20
水银	13 550	132.926	20
酒精	790	7.742	20
氧气	1.123	11.37	20
一氧化碳	1.160	11.37	20
二氧化碳	1.840	18.03	20

二、压缩性和膨胀性

流体的压缩性是指流体的体积随压力的增加而缩小的性质。流体的膨胀性是指流体的体积随温度的升高而增大的性质。

1. 液体的压缩性与膨胀性

液体的压缩性与膨胀性很小,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下(如水击现象),就必须考虑其影响,否则液体的压缩性与膨胀性引起的影响将会造成很大的误差。

2. 气体的压缩性与膨胀性

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时(如矿井通风系统),可以忽略气体的压缩性和膨胀性。若压力或温度变化较大时(如空气压缩机),气体的压缩性和膨胀性就不能忽略。

三、黏性

1. 黏性的概念

平时,我们看到的河水的流动速度是不同的,河流中心水的流动速度高,靠近河岸水的流动速度低,这是什么原因呢?下面以圆管中水的流动为例,分析水在流动时同一断面上流速不同的原因。

图 1-1 所示为水在圆管内作层状流动(层流)时的速度分布情况。当水的流速较低,管路的直径较小时,水的内部质点作与轴线平行的直线流动。我们可以把水流分成无数管状薄层,各层分别沿各自的路线流动,这种流动称为层状流动,即层流。

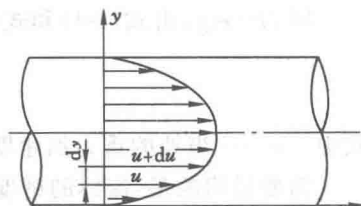


图 1-1 水在圆筒中的流速分布

从图中可以看出,在同一断面上,各层的流动速度不同,紧贴管壁流层(或质点)的流速为零,轴线处流层(或质点)的流速最大。因为,紧贴管壁

的流层受管壁的影响最大,由于它与管壁的附着力,使紧贴管壁的流层(或质点)附着在管壁上,流动速度为零;轴线处流层(或质点)受管壁的影响最小,流速最大。由于外层流动速度小,内层流动速度大,外层阻碍其相邻内层的流动,相邻流层之间产生摩擦阻力,阻碍流层间的相对运动。这种阻力产生在流体内部,所以,称为流体的内摩擦力。

流体在流动中要克服内摩擦力,必定消耗一定的能量,这就是流体在运动过程中产生能量损失的重要原因之一。

黏性是指流体流动时,流层(或内部质点)间因相对运动产生内摩擦力而阻碍相对运动的性质。黏性是流体本身的物理性质,但静止流体不显示黏性,只有流体运动时才有内摩擦力,才显示其黏性。

2. 牛顿内摩擦力定律

流体的内摩擦力大小受哪些因素影响呢?对此,牛顿做了大量的实验。通过实验,牛顿确定了层状流体(流层)内摩擦力的影响因素,并于1686年提出了流层的内摩擦力数学表达式,即牛顿内摩擦力定律。

流层的内摩擦力大小与下列因素有关:

① 与两流层之间的速度差 du 成正比,与两流层之间的距离 dy 成反比。

② 与两流层之间的接触面积 A 成正比。

③ 与流体的种类有关,即在上述条件相同时,流体不同内摩擦力不同。

④ 与流体所受的压力无关。

牛顿内摩擦力定律数学表达式为:

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

式中 F ——流层间的内摩擦力, N;

μ ——表征流体黏性大小的比例因数,称为动力黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

A ——流层间的接触面积, m^2 ;

du/dy ——流体流动速度沿垂直于流动方向 y 的变化率,即速度梯度, $1/\text{s}$ 。

单位面积上的内摩擦力(切应力) τ 为:

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

式中 τ ——单位面积上的内摩擦力(切应力), N/m^2 。

3. 流体黏性的度量

不同的流体,其黏性一般也不同。黏性的大小用黏度表示,黏度通常有动力黏度、运动黏度和相对黏度三种度量方法。

(1) 动力黏度

动力黏度是表征流体动力特性的黏度,表征流体抵抗变形的能力,用 μ 表示。由公式(1-5)可得:

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (1-6)$$

μ 的法定单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 或 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。 μ 是表征流体本身物理性质(即黏性大小)的一个因数,流体的动力黏度 μ 越大,其黏性越大,抵抗变形的能力就越强。动力黏度 μ 的物理意义可以理解为:在数值上其大小等于速度梯度 $du/dy = 1$ 时的切应力,即 $\mu = \tau$ 。因 μ 的单位

含有力的因素,是一个动力学要素,反映了流体黏性的动力特征,因此,称 μ 为动力黏度,也叫动力黏滞因数或绝对黏度。

(2) 运动黏度

运动黏度是指在一个标准大气压和同一温度下,流体的动力黏度与其密度的比值,也叫运动黏滞因数,用 ν 表示:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-7)$$

运动黏度 ν 的法定单位是 m^2/s 、 mm^2/s 。运动黏度 ν 没有特殊的物理意义,因在计算和分析流体运动问题时,经常要考虑 μ 和 ρ 及其比值,所以才引入运动黏度 ν 这个物理量。但是,从运动黏度的单位可以看出,它的单位只含有时间和长度两个运动要素,它能够反映流体的运动特性,即运动黏度越小,流体的流动性越好。

润滑油的牌号就是用运动黏度 $\nu(\text{mm}^2/\text{s})$ 大小来表示的,我国用 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 时运动黏度 (mm^2/s) 值表示润滑油的牌号。例如,32号L—HH液压油,就是指这种油在 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 时运动黏度为 $32\text{ mm}^2/\text{s}$ 。

表1-2和表1-3分别为水和空气的动力黏度和运动黏度。

表 1-2 标准大气压和不同温度下水的动力黏度和运动黏度

温度/ $^\circ\text{C}$	$\mu/\times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\nu/\times 10^{-6}\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	温度/ $^\circ\text{C}$	$\mu/\times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\nu/\times 10^{-6}\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
0	1.781	1.785	40	0.653	0.658
5	1.518	1.519	50	0.547	0.553
10	1.307	1.306	60	0.466	0.474
15	1.139	1.139	70	0.404	0.413
20	1.002	1.007	80	0.354	0.364
25	0.890	0.893	90	0.315	0.326
30	0.798	0.800	100	0.282	0.294

表 1-3 标准大气压和不同温度下空气的动力黏度和运动黏度

温度/ $^\circ\text{C}$	$\mu\times 10^{-6}/\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\nu\times 10^{-6}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	温度/ $^\circ\text{C}$	$\mu\times 10^{-6}/\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\nu\times 10^{-6}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
0	17.16	13.27	40	19.42	17.16
5	17.46	13.75	60	20.10	18.96
10	17.75	14.23	80	20.99	20.99
15	18.00	14.69	100	21.77	23.01
20	18.20	15.13	120	22.60	25.20
25	18.49	15.61	140	23.44	27.40
30	18.73	16.08	200	25.82	34.60

(3) 相对黏度

相对黏度又称为条件黏度,是在规定的条件下用特定的黏度计直接测定的黏度。根据测定条件不同,有恩氏黏度、赛氏黏度和雷氏黏度几种,各国采用的相对黏度也不同,我国采用恩氏黏度。

恩氏黏度是加热并保持恒定温度(一般为 $50\text{ }^\circ\text{C}$)的 200 cm^3 被测液体靠自重从恩氏黏

度计中流出需要的时间 t' , 与同体积 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 蒸馏水从该恩氏黏度计中流出的时间 t (约为 51 s) 的比值, 用 $^{\circ}\text{E}_t$ 表示:

$$^{\circ}\text{E}_t = \frac{t'}{t} \quad (1-8)$$

恩氏黏度与运动黏度的换算关系为:

$$\nu_t = 7.31^{\circ}\text{E}_t - \frac{6.31}{^{\circ}\text{E}_t} \quad (1-9)$$

上式中的 ν_t 和 $^{\circ}\text{E}_t$ 分别为试验温度为 t 时的运动黏度和恩氏黏度。 ν_t 的单位为 mm^2/s 。

4. 压力、温度对流体黏性的影响

压力和温度对流体的黏性都有影响, 流体的黏性随压力的升高而增大, 但在压力不很高时, 其黏性变化很小, 可以忽略。温度的变化对流体的黏性影响较大, 液体的黏性随温度的升高而降低, 流动性增强。因为温度升高时, 液体分子之间的内聚力减弱, 而液体的黏性主要是由液体分子之间的内聚力引起的。气体则相反, 温度升高时, 气体的黏性增大。因为气体分子之间的距离较大, 其黏性主要是由气体分子的热运动使分子之间产生碰撞引起的。温度增高, 气体分子的热运动加剧, 分子之间的碰撞加剧, 气体黏性增大。

第二节 流体静力学

流体静力学主要研究流体在静止和相对静止状态下的力学规律以及这些规律在工程上的应用。

在静力学研究中, 由于流体是静止的, 质点间无相对运动, 流体不显示黏性, 因此, 流体静力学规律和流体的黏性无关。

一、流体静压力及其特征

作用于流体上的力按其性质分为表面力和质量力两类。表面力是指作用在静止流体表面上的力, 它是由与静止流体相互接触的物体产生的, 如大气对井水的压力、空压机活塞对空气的压力等。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。

(一) 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。若法向作用力 F 均匀地作用在面积 A 上, 则静压力 p 为:

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-10)$$

若在静止流体中围绕某点取一面积 ΔA , 设作用在这小块面积 ΔA 上的法向力为 ΔF 。当面积 ΔA 无限缩小到一点时, 这个比值的极限称为该点的静压力, 即:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-11)$$

(二) 流体静压力的特性

流体静压力有两个重要特性。

① 流体静压力的作用方向总是沿作用面的内法线方向, 即垂直指向作用面。

② 静止流体中任一点各方向的静压力均相等。说明在静止流体中,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。

二、流体静力学基本方程

流体静力学基本方程描述了流体静压力的分布规律,下面导出此基本方程。

如图 1-2 所示,在静止流体中任取一点 m , m 点在液面以下的深度为 h ,为求出 m 点的静压力 p ,围绕 m 点作一微小圆柱,底面积为 ΔA ,上底面的压力为自由面上压力 p_0 。

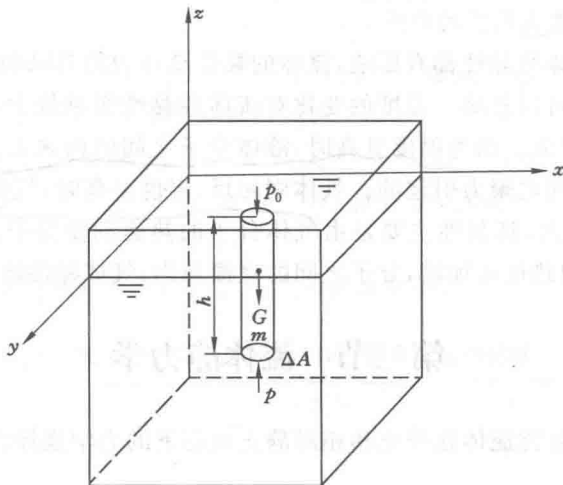


图 1-2 流体静力学基本方程式推导

分析所取的底面积为 ΔA 、高度为 h 的微小圆柱的受力:

- ① 作用在顶面上的力 $F_0 = p_0 \Delta A$, 方向垂直向下。
- ② 作用在底面上的力 $F = p \Delta A$, 方向垂直向上。
- ③ 重力 $G = \gamma h \Delta A$, 方向垂直向下。
- ④ 作用在微小圆柱侧面上的力: 由于微小圆柱是静止的, 作用在侧面上的力垂直于侧面, 即垂直于 z 轴, 在 z 轴上没有分力, 在 F_x 、 F_y 方向上对称平衡, 合力都为零, 所以, 不考虑侧面的压力。

z 轴方向力的平衡方程式为:

$$\begin{aligned} F - F_0 - G &= 0 \\ p \Delta A - p_0 \Delta A - \gamma h \Delta A &= 0 \end{aligned}$$

化简、移项得:

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-12)$$

式中 p ——流体中某点的静压力, N/m^2 (Pa);

p_0 ——液面上的压力, N/m^2 (Pa);

γ ——液体的重度, N/m^3 ;

h ——某点在液面下的深度, m。

公式(1-12)为流体静力学基本方程式。方程式表明: