

· 高职高专“十二五”规划教材 ·



矿山固定机械使用 与维护

KUANGSHAN GUDING JIXIE SHIYONG YU WEIHU

主 编 万佳萍 陈 虎



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高职高专“十二五”规划教材

矿山固定机械使用与维护

主 编	万佳萍	陈 虎
副主编	王永生	黄丽燕
	李 海	许 涛
主 审	舒斯洁	

冶金工业出版社

2011

内 容 提 要

本书系统介绍了流体力学基础、矿山排水机械、矿山通风机械、矿山压气机械、矿山提升机械的类型、用途、工作原理、主要结构、性能特点和操作、使用、安装、维护及维修知识,共 22 个项目。为方便师生教学和自学,本书以项目为导向,内容融入知识目标、技能目标、项目分析、相关知识、项目实施、拓展知识和能力自测体系,突出实践性和实用性。书中摘录了相关项目《煤矿安全规程》的规定、操作规程等内容,以便师生进行“教、学、做”一体化教学。

本书是高等职业院校矿山机电、煤矿开采技术、煤矿电气化等专业的教学用书,也可作为其他类型院校教材和工矿企业机电管理人员、技术人员和职工的培训教材,还可供从事矿山固定机械设备工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿山固定机械使用与维护/万佳萍,陈虎主编. —北京:冶金工业出版社,2011.3

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5525-5

I. ① 矿… II. ① 万… ② 陈… III. ① 矿山机械—机械
设备—使用—高等学校:技术学校—教材 ② 矿山机械—机械
设备—维修—高等学校:技术学校—教材 IV. ① TD44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 021305 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 宋 良 王雪涛 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 王永欣 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5525-5

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011 年 3 月第 1 版,2011 年 3 月第 1 次印刷

787 mm × 1092 mm 1/16; 19 印张; 457 千字; 291 页

39.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书是根据教育部高职高专矿业类教指委矿山机电分委会制订的矿山机电专业规范和江西工业工程职业技术学院矿山机电专业教学指导委员会编写的矿山固定机械使用与维护课程标准,由江西工业工程职业技术学院矿山机电专业双师教师、兼职教师、校外实训基地技术专家等共同编写而成的一本工学结合的教材。

本书系统地介绍了流体力学基础,矿山排水,矿山通风,矿山压气,矿山提升等机械的类型、用途、工作原理、主要结构、性能特点和操作、使用、安装、维护和维修知识,共22个项目。为方便师生教学和自学,本书以项目为导向,内容融入知识目标、技能目标、项目分析、相关知识、项目实施、拓展知识和能力自测体系。

本书是高职高专矿山机电专业所用的专业核心技能课程教材,内容选择突出实践性和实用性,便于教师采用项目法教学和“教、学、做”一体化教学。

本书由江西工业工程职业技术学院万佳萍、陈虎担任主编,王永生、黄丽燕、李海和许涛担任副主编,参与本书编写的还有傅源春、刘文倩。具体编写分工如下:江西工业工程职业技术学院万佳萍编写项目三、八、九;江西工业工程职业技术学院陈虎编写项目一、二、十八;江西工业工程职业技术学院王永生编写项目十、十一、十二、十三;江西工业工程职业技术学院黄丽燕编写项目十四、十五、十六、十七;兰州交通职业技术学院李海编写项目十九、二十;山东兖矿设计院许涛编写项目四、五;江西工业工程职业技术学院刘文倩编写项目六、七、二十一;江西煤矿安全监察局的傅源春编写项目二十二。全书由万佳萍、陈虎统稿并最终定稿,由江西工业工程职业技术学院舒斯洁担任主审。

在编写过程中,得到江西省煤炭行业管理办公室领导、江西煤矿安全监察局领导、江西工业工程职业技术学院的领导 and 学院煤矿安全培训基地教师的大力支持,在此表示感谢。另外在整个教材的编写过程中,引用和参考了许多文献资料,我们谨向这些文献资料的编著者和支持编写工作的单位和个人表示衷心的感谢。为了方便教学,本书还专门制作了电子教学课件,请有需要的读者向本书主编索取。本书主编的电子邮箱是94641046@qq.com。

由于水平所限,书中如有不妥之处,希望读者提出宝贵意见和建议,以便本书在以后的修订中更加完善。

目 录

项目一 流体力学基础	1
项目导入	1
相关知识	1
一、流体的主要物理性质	1
二、流体静力学	5
三、流体动力学	10
四、流动状态与能量损失	13
项目实施	16
拓展知识	20
一、流体在小孔及缝隙中的流动	20
二、水击与汽蚀现象	23
能力自测	24
项目二 矿井排水设备的使用与操作	26
项目导入	26
项目实施	26
一、矿井排水系统	27
二、离心式水泵	30
三、水泵的使用与操作	40
拓展知识	42
能力自测	44
项目三 水泵的工况分析	45
项目导入	45
相关知识	45
一、离心式水泵的性能曲线	45
二、离心式水泵的工况分析	49
三、离心式水泵的调节	54
拓展知识	59
一、离心泵的串联运行	59
二、离心泵的并联运行	61
能力自测	61

项目四 矿井排水设备的维护和保养	62
项目导入	62
项目实施	62
一、水泵的完好标准	62
二、水泵维护和保养方法	63
能力自测	65
项目五 矿井排水设备的安装与调试	66
项目导入	66
项目实施	66
一、水泵的解体工作	66
二、水泵的装配与调整	67
三、水泵的安装	69
能力自测	71
项目六 矿井排水设备的故障分析	72
项目导入	72
项目实施	72
一、离心式水泵的故障诊断	72
二、水泵的故障分析	73
三、水泵事故案例分析	80
能力自测	80
项目七 矿井排水设备的检修	81
项目导入	81
项目实施	81
一、水泵的完好标准要点及检查	81
二、水泵的检修内容及管理	82
能力自测	83
项目八 通风机的使用与操作	84
项目导入	84
项目实施	84
一、通风机概述	84
二、通风机结构与反风	88
三、通风机的操作	95
拓展知识	100
一、通风机在目前工业中的应用	100

二、《煤矿安全规程》对于通风设备的相关规定·····	100
能力自测·····	101
项目九 通风机的工况分析 ·····	102
项目导入·····	102
项目实施·····	102
一、通风机的性能曲线·····	102
二、通风机在网路中的工作分析·····	105
三、通风机的工况调节·····	107
能力自测·····	108
项目十 通风机的维护与保养 ·····	109
项目导入·····	109
项目实施·····	109
一、通风机的完好标准·····	109
二、通风机的维护和保养·····	110
能力自测·····	113
项目十一 通风机的安装与调试 ·····	114
项目导入·····	114
项目实施·····	114
一、安装前的准备工作·····	114
二、通风机参数的测量·····	114
三、通风机的调试、试运行与验收·····	117
拓展知识 FBCDZ 系列对旋轴流式通风机的安装·····	122
一、安装要求·····	122
二、运转及叶片角度的调节·····	123
能力自测·····	124
项目十二 通风机的故障分析 ·····	125
项目导入·····	125
项目实施·····	125
一、通风机常见故障的诊断·····	125
二、通风机常见故障的处理方法·····	126
能力自测·····	128
项目十三 通风机的检修 ·····	129
项目导入·····	129
项目实施·····	129

一、通风机的检修内容	129
二、检修质量标准	130
拓展知识 旋风机的使用与检修	132
一、通风机部分	132
二、电动机部分	132
能力自测	133
项目十四 空压机的使用与操作	134
项目导入	134
相关知识	134
一、空气压缩设备概述	134
二、活塞式空压机的工作理论	138
三、空压机结构	142
项目实施	155
一、空压机的操作规程及规范操作方法	155
二、交接班的具体内容	158
三、启动、停车操作方法及练习	158
四、运转中重大事故的防止	158
拓展知识	159
一、螺杆式空压机	159
二、《煤矿安全规程》关于空气压缩设备的相关规定	163
能力自测	163
项目十五 空压机的维护与保养	164
项目导入	164
项目实施	164
一、空压机的完好标准	164
二、空压机的维护保养	166
能力自测	168
项目十六 空压机的安装与调试	169
项目导入	169
项目实施	169
一、空压机安装前的准备	169
二、活塞式空压机的安装	176
能力自测	184
项目十七 空压机的检修与故障处理	185
项目导入	185

项目实施	185
一、空压机检修内容	185
二、空气压缩机的常见故障分析及排除方法	186
三、空压机事故案例分析	193
能力自测	194
项目十八 矿井提升机的维护与检修	195
项目导入	195
项目实施	195
一、矿井提升系统和设备	195
二、矿井提升机的主要组成、作用及工作原理	197
三、单绳缠绕式提升机结构	201
四、提升机的维护与检修	213
拓展知识	226
一、多绳摩擦提升机	226
二、《煤矿安全规程》对提升机和提升装置的规定	229
能力自测	231
项目十九 矿井提升机的使用与操作	232
项目导入	232
相关知识 提升机操作台的组成及结构原理	232
项目实施	234
一、提升机操作前的准备	234
二、提升机的运行操作	235
能力自测	241
项目二十 提升钢丝绳的使用与维护	242
项目导入	242
相关知识	242
一、钢丝绳的结构	242
二、钢丝绳的分类、特点及应用	243
项目实施	245
一、钢丝绳的检查	245
二、钢丝绳的维护	246
三、钢丝绳的更换方法	246
拓展知识	254
能力自测	261

项目二十一 提升容器的构造及维护	262
项目导入	262
相关知识	262
一、立井普通罐笼	262
二、立井底卸式箕斗	267
三、斜井箕斗	268
项目实施	268
一、防坠器的运行与维护	268
二、防坠器的相关试验	270
三、信号闭锁	271
四、提升容器与罐道等的间隙检查	271
五、罐道和罐耳的检查	271
六、井口安全作业规定	271
七、安装或更换提升容器的安全作业规定	272
拓展知识	272
一、对提升容器的相关要求	272
二、《煤矿安全规程》对提升装置、提升容器等的有关规定	275
能力自测	280
项目二十二 矿井提升机的常见故障分析	281
项目导入	281
项目实施	281
一、提升机的检修	281
二、矿井提升机的常见故障分析及处理	282
拓展知识	286
一、断绳事故案例分析	286
二、提升过卷事故案例分析	287
三、提升碰罐事故案例分析	288
能力自测	290
参考文献	291

项目一 流体力学基础

知识目标

流体的主要物理性质;静力学基本方程式及应用;动力学基本概念;连续性方程;伯努利方程及应用;流体在流动时的能量损失;小孔中的流量计算;缝隙中的流量计算;水击现象;汽蚀现象。

技能目标

掌握流体的主要物理性质、静力学基本方程式及应用、连续性方程和伯努利方程及应用、计算能量损失。了解小孔中的流量计算、缝隙中的流量计算、水击现象和汽蚀现象。



项目导入

流体包括气体和液体。流体力学是研究流体静止和运动时的力学规律,以及流体和固体之间的相互作用的一门应用型科学。流体在矿山生产中的应用非常广泛。矿井通风、排水、压气、液压传动等,都是以流体作为工作介质,通过流体的各种物理作用以及对流体的流动有效地组织来实现的。

本项目是学习流体机械的基础。该项目中涉及相关公式和理论计算较多,学者可注重结论,多作练习,加以巩固。



相关知识

一、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。它几乎不能抗拉、抗剪,但能够承受较大的压力。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

1. 密度

流体的密度是指单位体积流体的质量,用 ρ 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 。

2. 重度

流体的重度是指单位体积流体的重力,用 γ 表示,单位是 N/m^3 。

$$\gamma = \frac{G}{V} \tag{1-2}$$

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)得出流体的重度与密度的关系式为:

$$\gamma = \rho \cdot g \tag{1-3}$$

式中 g ——当地的重力加速度, m/s^2 , 一般取 $g = 9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ 。

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(101325 Pa)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/ $^{\circ}\text{C}$	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	水	1.000	9.810	5
	1.247	12.23×10^{-3}	10		999.72	9.807	10
	1.205	11.82×10^{-3}	20		998.2	9.792	20
乙炔	1.091	10.70	20	水蒸气	1.205	11.82	20
氧气	1.123	7.742	20	水银	13550	132.926	20
一氧化碳	1.160	11.37	20	酒精	790	7.742	20
二氧化碳	1.840	11.37	20	氮气	1.123	11.01	20
水	999.87	9.809	0	液压矿油	845~900	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(如水击现象)下,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发生很大变化。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) 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,河心水的流动速度大,靠近河岸水的流动速度小,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 所示为水在圆管内做层状流动(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,水的内部质点做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。

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,轴线处流层的(或质点)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。由于这种阻力产生在流体内部,所以称为流体的内摩擦力。

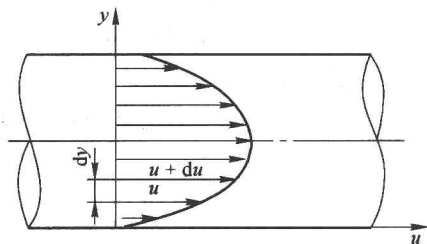


图 1-1 水在圆管中的流速分布

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

层流流体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, $1/s$ 。

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。由式(1-5)可得:

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

式中, μ 的法定单位是 $Pa \cdot s$ 或 $N \cdot s/m^2$ 。 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 的单位含有力的因次,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。

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

式中,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,所以才引用运动黏度 ν 这个物理量。但是,从运动黏度的单位中可以看出,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 $\nu(mm^2/s)$ 的大小来表示的。我国用 $40^\circ C$ 时运动黏度 $\nu(mm^2/s)$ 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 $40^\circ C$ 时运动黏度为 $32 mm^2/s$ 。

水和空气的动力黏度和运动黏度分别列于表 1-2 和表 1-3。

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

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/℃	$\mu/\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\nu/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	温度/℃	$\mu/\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\nu/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
0	17.16×10^3	13.27×10^{-6}	40	19.42×10^3	17.16×10^{-6}
5	17.46×10^3	13.75×10^{-6}	60	20.10×10^3	18.96×10^{-6}
10	17.75×10^3	14.23×10^{-6}	80	20.99×10^3	20.99×10^{-6}
15	18.00×10^3	14.69×10^{-6}	100	21.77×10^3	23.01×10^{-6}
20	18.20×10^3	15.13×10^{-6}	120	22.60×10^3	25.20×10^{-6}
25	18.49×10^3	15.61×10^{-6}	140	23.44×10^3	27.40×10^{-6}
30	18.73×10^3	16.08×10^{-6}	200	25.82×10^3	34.60×10^{-6}

(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。

恩氏黏度是把加热并保持恒定温度(一般为 50°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°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 $^\circ E_t$ 表示。

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

恩氏黏度与运动黏度的换算关系:

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

式中 $\nu_t, ^\circ E_t$ ——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,温度越高,气体分子的热运动加剧,分子之间的碰撞加剧,黏性增大。

二、流体静力学

流体静力学是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。

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。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:

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

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) 静止流体内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其作用方向无关,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,下面导出基本方程。

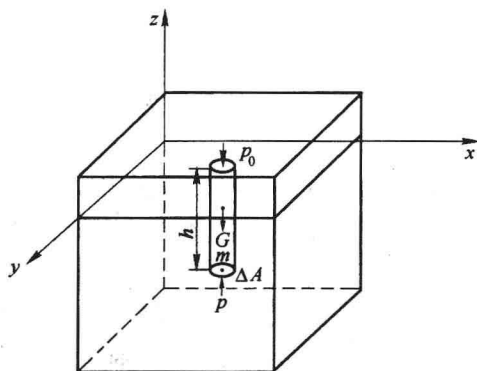


图 1-2 流体静力学基本方程式推导

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 。

分析所取的底面为 ΔA 、高度为 h 的微小圆柱的受力情况:

(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 ——流体内某点的静压力, 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。

式(1-12)为流体静力学基本方程式。方程式表明:

- (1) 在重力作用下, 液体内的静压力随着深度的增加而增大;
- (2) 静压力由两部分组成, 即液面压力 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, 由压力相等的各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, 如果不能同时满足这三个条件, 水平面就不是等压面。

(三) 流体静压力的度量

1. 静压力的计算基准

压力的计算基准有两种: 一是以绝对真空为基准; 二是以大气压力为基准。

绝对压力: 以绝对真空为基准(零点)算起的压力称为绝对压力, 用 p 表示。

相对压力: 以大气压力 p_a 为基准(零点)算起的压力称为相对压力, 用 p_b 表示。

绝对压力、相对压力和大气压力三者之间的关系为:

$$p = p_a + p_b \quad (1-13)$$

绝对压力只能是正值, 但相对压力可能是正值, 也可能是负值。相对压力为正值时称为正压; 相对压力为负值时称为负压。负压的绝对值称为真空度, 用 p_z 表示。常用的压力表测量的压力为正压, 真空表测量的压力为真空度。

$$p_z = |-p_b| = p_a - p \quad (1-14)$$

图 1-3 为上述几种压力之间的关系。

2. 静压力的度量单位

(1) 应力单位。

应力单位用单位面积上的作用力表示。

其国际单位是帕 (Pa 或 N/m^2), 也用千帕 (kPa 或 kN/m^2) 和兆帕 (MPa 或 MN/m^2) 表示。有时, 工程上也用 kgf/cm^2 表示。

(2) 液柱高度。

由静力学基本方程可知, 流体一定时, 重度 γ 一定, 液柱高度 h 和压力 p 有确定的关系, 因此, 可以用液柱高度表示压力的大小。

用液柱高度表示液体的压力时, 常用的单位有米水柱 (mH_2O), 毫米水柱 (mmH_2O), 毫米汞柱 (mmHg) 等。

(3) 大气压单位

大气压单位用标准大气压 (atm) 或工程大气压 (at) 表示。

标准大气压力是在北纬 45° 海平面上、温度为 15°C 时测定的大气压数。

工程大气压是 1 kgf/cm^2 或 10 m 水柱产生的压力。

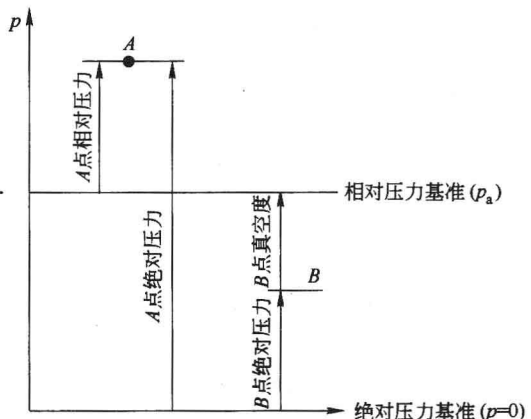


图 1-3 几种压力之间的关系