

煤炭教育
教学与教材
建设委员会

中等职业教育规划教材
中国煤炭教育协会职业教育教学与教材建设委员会审定

矿山固定机械

● 主 编 刘胜利



煤炭工业出版社

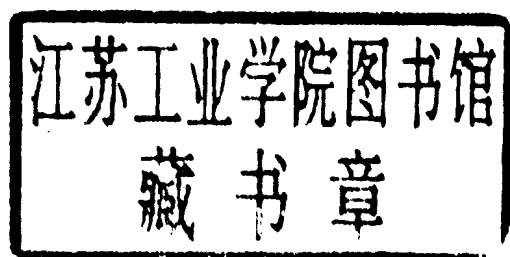
中 等 职 业 教 育 规 划 教 材
中国煤炭教育协会职业教育教学与教材建设委员会审定

矿 山 固 定 机 械

主 编 刘胜利

副 主 编 王志甫

参编人员 陈延广 孙经署 王艳霞 陈玉莲



煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山固定机械/刘胜利主编. —北京: 煤炭工业出版社,
2009. 2

中等职业教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3435 - 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 (2008) 第 162699 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 × 1092mm^{1/16} 印张 13^{1/2}

字数 312 千字 印数 1—5,000

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

社内编号 6240 定价 27.00 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

内 容 提 要

本书是中等职业教育规划教材之一。

本书系统介绍了矿井排水设备、通风设备、空气压缩设备和提升设备的类型、结构、工作原理、工作性能和使用维护知识，内容充实，且突出先进性、实践性和实用性。

本书是中等职业学校矿山机电、机电一体化专业教学用书，也可作为从事矿山生产的工程技术人员和管理干部的参考用书。

煤炭中等专业教育分专业教学与教材建设委员会

(煤矿机电类专业)

主 任 何富贤

副主任 何全茂 刘秀艳 郭 雨 卢芳革

委 员 (按姓氏笔画排序)

王纪风	王国文	王瑞捧	田树钰	关书安	刘英才
刘胜利	朱庆华	余升平	吴文亮	李 佳	陆 红
姜宏勋	郝敬豪	钟 诚	潘连彪	魏 良	魏晋文

前 言

为贯彻《教育部办公厅、国家安全生产监督管理总局办公厅、中国煤炭工业协会关于实施职业院校煤炭行业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》（教职成厅〔2008〕4号）精神，加快煤炭专业技能型人才的培养，满足煤炭行业发展对人才的迫切需求，依托煤炭职业学（院）校建立煤炭行业技能型人才培养培训基地，培养面向煤矿生产企业一线，具有与本专业岗位群相适应的文化水平和良好的职业道德，了解矿山企业生产的全过程，掌握本专业的基本专业知识和技能，具有从事矿山机电设备的生产运行、维护检修的中级技能型人才，中国煤炭教育协会组织煤炭职业学（院）校专家、学者编写了机电工程配套系列教材。

《矿山固定机械》一书是矿山机电专业中等职业教育规划教材中的一本，可作为中等职业学校机电专业矿山固定机械课程教学用书，也可作为在职人员培养提高的培训教材，书中带“*”的知识链接部分为选修课程。

本书由甘肃煤炭工业学校刘胜利主编并统稿，其编写了绪论、第五章的第七节、第八节、第九节及第六章；平顶山工业职业技术学院王志甫任副主编，其编写了第五章的第一节、第二节、第三节、第四节、第五节、第六节；山东煤炭技术学院陈延广编写了第三章；广西第一工业学校孙经署编写了第四章；石家庄工程技术学校王艳霞编写了第二章；甘肃煤炭工业学校陈玉莲编写了第一章。

中国煤炭教育协会职业教育
教学与教材建设委员会

2009年1月

目 次

绪 论	1
第一章 流体力学基础知识	4
第一节 流体的主要物理性质	4
第二节 流体静力学基础	7
第三节 流体动力学基础	11
第四节 流体流动阻力与能量损失	15
第二章 矿井排水设备	21
第一节 概述	21
第二节 离心式水泵的结构	23
第三节 离心式水泵的性能曲线	36
第四节 离心式水泵在管路中的工作	40
第五节 离心式水泵的工况点调节和联合工作	45
第六节 矿井主水泵房和管路的布置	49
第七节 矿井排水设备的操作与运行、维护及故障处理方法	54
第三章 矿井通风设备	67
第一节 概述	67
第二节 离心式通风机	70
第三节 轴流式通风机	79
第四节 通风机在网路中的工作	84
第五节 通风机的联合工作和工况点调节	86
第六节 通风机布置及反风	90
第七节 通风机的操作与运行、维护及故障处理方法	92
第四章 矿井空气压缩设备	103
第一节 概述	103
第二节 L 型空气压缩机	107
第三节 螺杆式空气压缩机	122
第四节 L 型空气压缩机的操作与运行、维护及故障处理方法	126
第五章 矿井提升设备	134
第一节 概述	134

第二节	提升容器、井架和天轮	136
第三节	提升钢丝绳	144
第四节	单绳缠绕式提升机	151
第五节	液压提升机	166
第六节	提升设备的主要参数和运行规律	170
第七节	斜井提升系统简介	176
第八节	多绳摩擦提升设备简介	180
第九节	矿井提升机的操作与运行、维护及故障处理方法	187
第六章	实训	201
实训一	流体力学基础知识	201
实训二	矿井排水设备	201
实训三	矿井通风设备	202
实训四	矿井空气压缩设备	203
实训五	矿井提升设备	203
参考文献		205

绪 论

煤炭是我国的主要能源,对保证国民经济快速发展起到了非常重要的作用。2007 年我国煤炭产量达到 $25.23 \times 10^8 \text{t}$,在我国一次能源消耗结构中占 70%。在今后相当长的时期内,以煤炭为主的能源格局不会发生根本改变。

随着煤炭工业的快速发展,矿山固定机械在煤炭生产中起到了十分重要的作用。它既能保证煤矿必须和良好的生产工作条件,确保安全生产,又能降低工作人员的劳动强度,提高生产和工作效率,降低生产成本。此外,矿山固定机械属于矿山的大型设备,设备的投资大、容量大、运转时间长,耗电量很大,一般占煤矿总耗电量的 50% ~ 75%。因此,合理地使用维护矿山固定机械,保证其安全可靠、经济高效地运转,对实现矿井安全、高效的生产,提高煤炭企业的经济效益,具有重要的现实意义。

就煤炭开采而言,矿山固定机械包括矿井排水设备、矿井通风设备、矿井空气压缩设备和矿井提升设备,通常需要服务于煤矿整个生产年限。

一、矿井排水设备

矿井排水设备由水泵、电动机、启动控制装置、管路和管路附件、仪表等组成。主水泵是煤矿主要的机械设备,一般采用单吸多级分段离心式水泵。

矿井排水设备的功用就是将矿井中的涌水及时排至地面,确保井下工作人员的人身安全和设备安全,为矿井生产创造良好的工作和生产条件。

为保证煤矿安全生产,矿井排水设备应符合下列要求:

(1) 井下排水设备应有工作水泵、备用水泵和检修水泵。工作水泵的排水能力,应在 20h 内排出 24h 的正常涌水量。备用水泵的能力,应不小于工作水泵能力的 70%,并且工作和备用水泵的总排水能力,应在 20h 内排出矿井 24h 的最大涌水量。检修水泵的能力,应不小于工作水泵能力的 25%。

(2) 必须有工作和备用水管,其中工作水管的能力,应能配合工作水泵在 20h 内排出 24h 的正常涌水量。工作和备用水管的总能力,应能配合工作和备用水泵,在 20h 内排出 24h 的最大涌水量。

(3) 配电设备应同工作、备用和检修水泵相适应,并能够同时开动工作、检修和备用的水泵。主排水泵房的供电线路不得少于 2 条回路,每一条回路应能担负全部负荷的供电。

(4) 主排水泵房至少有 2 个出口:一个出口用斜巷通到井筒,这个出口应高于泵房 7m 以上;另一个出口通到井底车场,在这个出口的通道内,应设置容易关闭的防火、防水的密闭门。

(5) 水管、水泵、闸阀和排水用的配电设备等都必须经常检查和维护。

二、矿井通风设备

矿井通风设备由通风机、电动机、启动控制装置、扩散器和反风装置组成。主要通风机是煤矿的主要机械设备，分为离心式和轴流式两种。

矿井通风设备的功用是给井下工作人员输送足够的新鲜空气，稀释并排出井下的有害、有毒及爆炸性气体，调节井下的温度和湿度，改善井下的工作环境和条件，保证矿井安全生产。矿井通风设备通常被称为煤矿的“肺脏”。

为保证煤矿安全生产，矿井必须采用机械通风。矿井通风设备应符合下列要求：

- (1) 主要通风机必须安装在地面；装有通风机的井口必须封闭严密，其外部漏风率在不提升设备时不得超过 5%，有提升设备时不得超过 15%。
- (2) 必须保证主要通风机连续运转。
- (3) 必须安装 2 套同等能力的主要通风机装置，其中 1 套作备用。备用通风机必须能在 10min 内开动。
- (4) 严禁采用局部通风机或风机群作为主要通风机使用。
- (5) 装有主要通风机的出风井口应安装防爆门，防爆门每 6 个月检查维修 1 次。
- (6) 至少每月检查 1 次主要通风机。改变通风机转速或叶片角度时，必须经矿技术负责人批准。
- (7) 新安装的主要通风机投入使用前，必须进行 1 次通风机性能测定和试运转工作，以后每 5 年至少进行 1 次性能测定。
- (8) 生产矿井主要通风机必须装有反风设施，必须能在 10min 内改变巷道中的风流方向。当风流方向改变后，主要通风机供给的风量不应小于正常风量的 40%。
- (9) 每季度应至少检查 1 次反风设施，每年应进行 1 次反风演习；矿井通风系统有较大变化时，应进行 1 次反风演习。

三、矿井空气压缩设备

矿井空气压缩设备由空气压缩机、电动机、启动控制装置、冷却装置、滤风器、风包和输气管路等组成。空气压缩机是煤矿主要的机械设备，多采用活塞式和螺杆式两种。

矿井空气压缩设备的功用就是为煤矿的风动工具和机械生产输送压缩空气。它是煤矿的动力设备。

压缩空气之所以成为煤矿广泛使用的一种动力，这是因为它具有下列良好性能和优点：空气具有可压缩性和弹性，能满足风镐、凿岩机等冲击机械高速、往复工作的要求，不怕超负荷；输送方便、不凝结；没有污染，不产生火花，在瓦斯矿井中可避免引起爆炸；空气资源丰富、廉价。虽然风动工具的机械效率比较低，但在煤矿仍然广泛使用，因此在使用中要多方提高其效率，节约压缩空气的消耗量。

为了保证安全生产和输送压缩空气，矿井空气压缩设备应符合下列要求：

- (1) 空气压缩机必须有压力表和安全阀。压力表必须定期校准。安全阀和压力调节器必须动作可靠，安全阀动作压力不得超过额定压力的 1.1 倍。使用油润滑的空气压缩机必须装设断油保护装置或断油信号显示装置。水冷式空气压缩机必须装设断水保护装置或断水信号显示装置。

(2) 空气压缩机的排气温度，单缸不得超过 190°C ，双缸不得超过 160°C 。必须装设温度保护装置，在超温时能自动切断电源。

(3) 空气压缩机吸气口必须设置过滤装置。

(4) 空气压缩机必须使用闪点不低于 215°C 的压缩机油。

(5) 空气压缩机的风包应设在室外阴凉处，风包内的温度应保持在 120°C 以下，并装有超温保护装置，在超温时可自动切断电源和报警。

四、矿井提升设备

矿井提升设备由提升机、提升钢丝绳、提升容器、电动机、拖动控制系统、操纵台、井架、天轮及装卸载设备等组成，分为主井提升设备和副井提升设备两种。提升机是煤矿生产最主要的机械设备，分为单绳缠绕式和摩擦式两种。

矿井提升设备的功用：主井提升设备就是提升煤炭；副井提升设备就是提升矸石，提升或下放人员、设备、材料和工具。矿井提升设备是联系地面与井下的重要提升运输工具，在矿井生产中占有重要的位置。因此，通常称其为煤矿的“咽喉”。

矿井提升设备工作的特点，是保证提升容器在井筒内以较高的速度往复运行，完成上提与下放任务。矿井提升机制造质量的好坏、运输性能的优劣，不仅直接影响煤矿生产，而且还与矿山职工的生命安全息息相关。矿井提升设备在工作中一旦发生机械或电气故障，就会严重地威胁矿井安全、损坏设备、影响生产，甚至造成人身伤亡事故。为了保证煤矿安全生产，对矿井提升设备提出下列要求：

(1) 矿井提升设备的选型设计、安装调试、操作运转、检修维护必须符合《煤矿安全规程》的规定。

(2) 矿井选用的提升机应具备良好的机械性能、先进的控制设备和完善的保护装置，可靠性和自动化程度高，减少维修量，延长设备使用寿命，保证提升机能安全、可靠、高效地运行。

(3) 提升机司机、维护和管理人员都要熟悉、掌握矿井提升机的性能、结构、各部件的作用和工作原理，做到严格执行各项规章制度，精心操作，精心维护，加强设备管理，定期检查和维修，及时排除隐患，消除不安全因素，确保提升机安全运行。

自新中国成立，特别是改革开放以来，我国矿山机械制造业发展很快，设计和制造出了先进的固定机械设备，基本满足了煤炭工业的发展和现代化煤矿建设的需要。先进的矿山固定机械的特点主要体现在以下几个方面：①设备大型化。为满足我国年产 3Mt 以上的大型煤矿和年产 10Mt 的特大型煤矿发展的需要，固定机械的工作能力、拖动电动机的功率和设备的运行速度均不断增大。②控制自动化。机械设备采用先进的 PLC 控制系统、电液控制和动态监测监控技术，实现了软启动和自动调速。③运转高效化。随着科学技术的发展，我国矿山固定机械在设计方法、制造工艺、选用材料、设备维修、设备改造等方面都采用先进的科学技术，机械设备的运转效率进一步提高，符合节能环保的要求。④运转安全可靠。随着机械制造水平的提高和设备监测监控技术的应用，固定机械具有完善的保护系统，能够实现安全可靠运行。这些都标志着我国的矿山固定机械在设计、制造和使用等方面已发展到一个新的阶段。

第一章 流体力学基础知识

流体即在一定的外力作用下能够流动的物体，包括液体和气体。流体流动的状态，直接影响流体机械（输送流体的机械和利用流体的能量做功的机械，如泵与风机）的工作性能。因此，讨论和掌握流体静止和流动的基本知识是很重要的。

第一节 流体的主要物理性质

一、流动性

流体的形状随容器形状的不同而改变。流体这种在外力作用下连续不断变形的宏观特性，通常称为流动性（或易流性），这是由于流体不能承受剪力所形成的。流体具有3个特点：①流动性，即抗剪、抗张能力都很小；②无固定形状，随容器的形状而变化；③在外力作用下，流体内部发生相对运动。

流动性是改变液体运动状态的主要因素，例如液体在重力作用下，由高处向低处流。

二、密度与重力密度

流体和固体一样，也具有质量并受到重力作用。通常用密度和重力密度表示其特征。单位体积某种流体的质量叫做这种流体的密度，通常用符号 ρ 表示，单位是 kg/m^3 。

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 m ——流体的质量， kg ；

V ——流体的体积， m^3 。

单位体积某种流体的重量叫做这种流体的重力密度（或重度），通常用符号 γ 表示，单位是 N/m^3 。

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

重力密度与密度的关系式：

$$\gamma = \rho g$$

式中 G ——流体的重量， N ；

g ——重力加速度， m/s^2 。

不同种类的流体重力密度一般不同。穿过浓烟逃生时要尽量使身体贴近地面，就是因为浓烟的重力密度比空气小，烟气会向上扩散到各处。

流体的密度与它在地球上的位置无关，而重力密度随位置的不同而改变。另外，由于流体的密度和重力密度都与体积的变化有关，而体积又受外界压力和温度的影响而变化，因此，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

见的流体密度、重力密度见表 1-1。

表 1-1 常见的流体密度、重力密度

流体名称		密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	重力密度/ ($\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$)	测定条件	流体名称		密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	重力密度/ ($\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$)	测定条件
液体	汽油	680 ~ 740	6670 ~ 7259.4	15℃	气体	氢气	8.819	0.8819	0℃ 760mmHg
	乙醚	740	7259.4	0℃		甲烷	7.0318	7.0318	
	纯乙醇	790	7749.9	15℃		氨气	0.7714	7.5674	
	甲醇	810	7946.1	4℃		乙炔	1.1709	11.4865	
	煤油	800 ~ 850	7848 ~ 8338.5	15℃		一氧化碳	1.2500	12.2625	
	蒸馏水	1000	9810	4℃		氮气	1.2505	12.2674	
	海水	1020 ~ 1030	10006.2 ~ 10104.3	15℃		空气	1.2928	12.6824	
	无水甘油	1260	12360.6	0℃		氧气	1.4290	14.0185	
	水银	13590	133318	0℃		二氧化碳	1.9768	19.3934	
	润滑油	900 ~ 930	8829 ~ 9123.3	15℃		氯气	3.2200	31.5882	

注：1mmHg = 133.322Pa。

【例 1-1】已知水的重力密度 $\gamma = 9.81\text{kN/m}^3$ ，水银的重力密度比水大 13.59 倍，试求水银的密度和重力密度。

解 水银的重力密度

$$\gamma_{\text{水银}} = 13.59 \gamma = 13.59 \times 9.81 \times 1000 = 133.318 \times 10^3 \text{N/m}^3$$

水银的密度

$$\rho_{\text{水银}} = \frac{\gamma_{\text{水银}}}{g} = \frac{133.318 \times 1000}{9.81} = 13590 \text{kg/m}^3$$

三、压缩性和膨胀性

流体受压时体积缩小、密度增大的性质，称为流体的压缩性；流体受热时体积膨胀、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；若压力和温度的变化较大（如空气压缩机）时，气体的压缩性和膨胀性则不能忽略。

四、黏性

1. 黏性的概念

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，称为黏性。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。紧贴管壁的流体质点，黏附在管壁上的流速为零；位于管中心轴

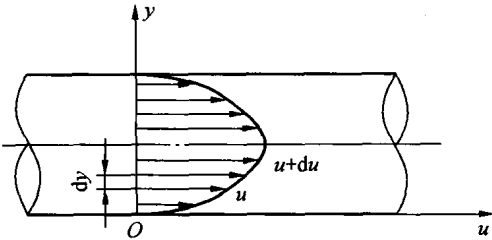


图 1-1 流速分布规律

线上的流体质点，受管壁的影响最小，因而流速最大；介于管壁和管轴线之间的流体质点，将以不同的速度向右运动，其速度将从管壁至管轴线，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。

黏性是流体的基本特性，不同性质的流体具有不同的黏性。阻力大的流体黏性大，反之则黏性小。如在相同作用力下，水比机油流动速度快，或用木棍搅动几种不同的流体会感到阻力不同，这都表明它们的黏性不同。

2. 黏性的度量

黏性的大小用黏度来表示，通常有 3 种表示方法：

- (1) 动力黏度，它反映流体黏性的动力特征，用 μ 表示，单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 、 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。
- (2) 运动黏度，是流体在一个标准大气压（101.325kPa）下，且温度相同时其动力黏度与密度的比值，用 ν 表示，单位是 m^2/s 、 mm^2/s 。
- (3) 相对黏度，是用特定黏度计在规定条件下直接测出的黏度，用 $^\circ\text{E}$ 表示。我国采用恩氏黏度计测定液体的相对黏度，其值称为恩氏黏度。

几种流体在标准大气压下的动力黏度和运动黏度见表 1-2。

表 1-2 几种流体在标准大气压下的动力黏度和运动黏度

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	$\mu/$ ($10^{-6}\text{Pa} \cdot \text{s}$)	$\nu/$ ($10^{-6}\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	$t/$ $^\circ\text{C}$
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

3. 黏性的影响因素

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：当液体的温度升高时，其分子之间的内聚力减小，黏性明显降低，即液体的黏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，内摩擦阻力增大，黏性随之提高，因此气体的黏性随温度升高而增大。

第二节 流体静力学基础

一、流体静压力及其特性

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，它是由与流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，在流体力学中简称为压力，通常用符号 p 表示，单位是 Pa。

若法向作用力 F (N) 均匀地作用在面积 A (m^2) 上，则静压力 p 为

$$p = \frac{F}{A}$$

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) 静止流体中任一点各方向的静压力均相等。这说明在静止流体中，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。

根据流体静压力的基本特性，在实际工程中对容器（如水池、水箱、锅炉等）进行受力分析时，需要画出不同作用面上流体静压力的方向（箭头表示静压力），如图 1-2 所示。

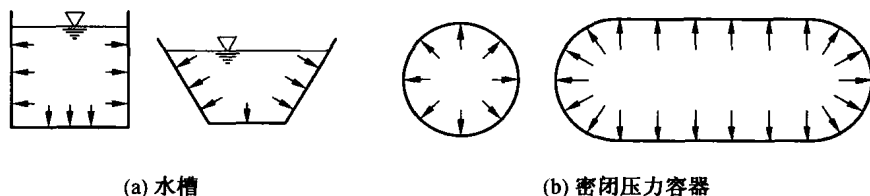
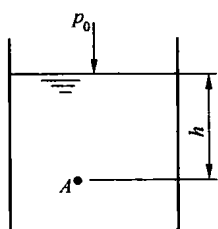


图 1-2 各种容器内流体静压力方向

二、流体静力学基本方程

液体在重力作用下处于静止状态时，即为静止液体。如图 1-3 所示，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 点的静压力根据力学平衡



条件推导为

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

式中 p ——液体内某点的静压力, Pa;

p_0 ——液面上的压力, Pa;

γ ——液体重度, N/m^3 ;

h ——液体内某点在液面下的深度, m。

式 (1-1) 是在重力作用下, 静止液体内部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:

分布规律示意图 (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_j 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的相互关系:

$$p = p_j - p_a$$

某点的绝对压力只能是正值, 但是某点的相对压力则可正可负。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:

$$p_z = p_a - p_j$$

为了区别以上几种压力, 将它们的关系表示在图 1-4 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, 故常用单位有千帕 (kPa) 和兆帕 (MPa), $1\text{kPa} = 10^3\text{Pa}$, $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。

(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 3 种。由于液柱式测压计具有直观、可靠、经济、方便等诸多优点, 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。

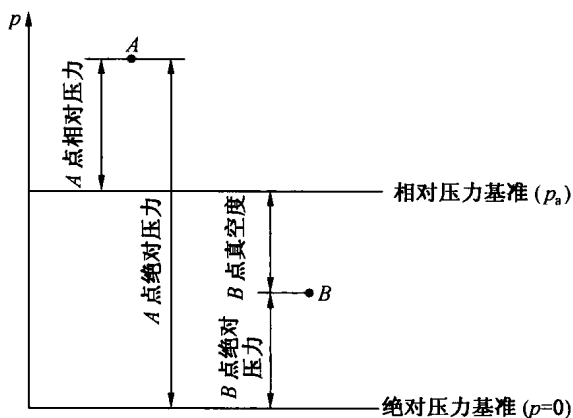


图 1-4 压力关系图示

如图 1-5 所示, U 形管内装有重度为 γ_g 的水银。测量时, U 形管的一端连接被测容器, 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。根据流体静力学基本方程式:

$$p_{1j} = p_{Aj} + \gamma h_1$$

$$p_{2j} = p_a + \gamma_g h_2$$

因为 1 和 2 在同一等压面上, 故 $p_{1j} = p_{2j}$, 因此可算出 A 点的相对压力:

$$p_A = p_{Aj} - p_a = \gamma_g h_2 - \gamma h_1$$

当被测容器内为气体时, 因气体的重度很小, 因此 γh_1 可忽略不计, 于是得到

$$p_A = \gamma_g h_2$$

如图 1-6 所示, 应用 U 形管测压计测定 B 点真空度。当左边管中水银柱上升某一高度值 h_2 时, B 点的真空度为

$$p_{Bz} = \gamma h_1 + \gamma_g h_2$$

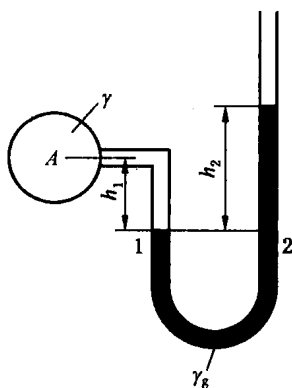


图 1-5 水银测压计

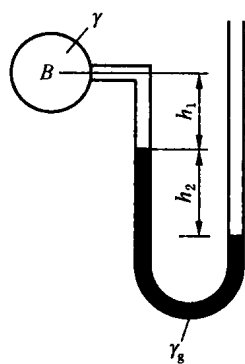


图 1-6 真空计

如果被测液体是气体, 则 B 点的真空度为

$$p_{Bz} = \gamma_g h_2$$

2. 压差计

将 U 形管的两端分别与被测的两容器相连, 即可测量两容器的压力差, 如图 1-7 所示。

根据流体静力学基本方程式, 可得

$$p_1 = p_A + \gamma_A h_1$$

$$p_2 = p_B + \gamma_B h_2 + \gamma_g h$$

因为 $p_1 = p_2$, 则两容器的压力差为

$$p_A - p_B = \gamma_g h + \gamma_B h_2 - \gamma_A h_1$$

若 $\gamma_A = \gamma_B = \gamma$, 则

$$p_A - p_B = \gamma_g h + \gamma(h_2 - h_1)$$

若两容器内均为气体, 则

$$p_A - p_B = \gamma_g h$$

【例 1-2】图 1-8 所示为 U 形管测压计, 已知水银的

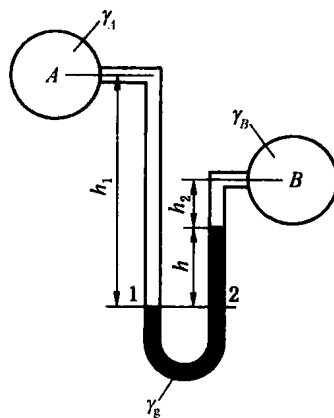


图 1-7 压差计