



第2版

● 中等职业教育“十三五”规划教材 ●

煤矿固定机械

主 编 万英盛



煤炭工业出版社

中等职业教育“十三五”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

煤矿固定机械

(第2版)

主 编 万英盛

参编人员 黄少华 蒋增强

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿固定机械/万英盛主编. --2 版. --北京: 煤炭工业出版社, 2017

中等职业教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5020-5782-4

I. ①煤… II. ①万… III. ①煤矿机械—中等专业学校—教材 IV. ①TD4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 069069 号

煤矿固定机械 第 2 版(中等职业教育“十三五”规划教材)

主 编 万英盛
责任编辑 张 成 彭 竹
责任校对 李新荣
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京玥实印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 11¹/₄ 字数 259 千字

版 次 2017 年 6 月第 2 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

社内编号 8645 定价 25.00 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,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书是中等职业教育“十三五”规划教材采矿技术类教材之一。

本书主要包括流体力学基础、矿井排水设备、矿井通风设备、矿井空气压缩设备、矿井提升设备5个模块内容,较为全面地介绍了各种设备的组成、作用、工作原理、结构、技术性能及使用维护等知识。

本书可作为中等职业学校采矿技术类专业教材,也可作为从事矿山生产的工程技术人员、技术工人的培训教材和参考用书。

煤炭中等专业教育分专业教学与教材建设委员会

(采矿技术类专业)

主 任 郭奉贤

副主任 雷振刚 邵 海

委 员 刘 兵 刘跃林 何水明 张玉山 王春城

庞国强 胡贵祥 胡湘宏 荣保金 郭廷基

常现联 梁新成 龚琴生

修 订 说 明

为贯彻国务院、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《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》《关于实施职业院校煤炭行业技能型紧缺人才培养培训工作的通知》精神，加快煤炭行业专业技能型人才的培养培训工作，培养煤矿生产一线需要、具有与本专业岗位相适应的知识技能水平和良好的职业道德、了解矿山企业生产全过程、掌握本专业基本专业知识和技术的技能型人才，根据现代化矿井生产实际情况，我们对2011年出版的采矿技术专业中等职业教育规划教材《煤矿固定机械》进行了修订完善。

教材修订过程中严格按照国家最新颁布的法律法规、行业规章制度进行，删除了滞后的教学内容。为了保证知识体系的完整性，增加了流体力学部分内容，并配套制作了教学课件，从而使学生在掌握煤矿固定机械所必需的专业理论知识的基础上，具有综合技能和全面素养，为学生继续学习和创新创业奠定基础。

本次修订仍由甘肃煤炭工业学校万英盛担任主编并统稿，并编写了模块一、模块二；甘肃煤炭工业学校黄少华编写了模块三、模块四；甘肃煤炭工业学校蒋增强编写了模块五。

由于作者水平有限，书中可能有错误之处，敬请批评指正。

中国煤炭教育协会职业教育
教学与教材建设委员会

2017年1月

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工程的通知》（教职成厅〔2008〕4号）精神，加快煤炭行业专业技能型人才培养培训工程建设，培养煤矿生产一线需要，具有与本专业岗位群相适应的文化水平和良好职业道德，了解矿山企业生产全过程，掌握本专业基本专业知识和技术的技能型人才，经教育部职成司教学与教材管理部门的同意，中国煤炭教育协会依据“采矿技术”专业教学指导方案，组织煤炭职业学（院）校专家、学者编写了采矿技术专业系列教材。

《煤矿固定机械》一书是中等职业教育规划教材采矿技术专业中的一本，可作为中等职业学校采矿技术专业基础课程教学用书，也可作为在职人员培养提高的培训教材。

本书由甘肃煤炭工业学校万英盛主编并统稿，其编写了模块一，模块二，模块三中的项目二；甘肃煤炭工业学校蒋增强任副主编，其编写了模块三中的项目一、项目三、项目四；宁夏煤炭工业学校王纪凤编写了模块四。

中国煤炭教育协会职业教育
教学与教材建设委员会
2011年5月

目 次

模块一 流体力学基础.....	1
项目一 流体的主要物理性质.....	1
项目二 流体静力学基础.....	5
项目三 流体动力学基础	10
项目四 液体流动的能量损失	18
模块二 矿井排水设备	24
项目一 煤矿排水系统	24
项目二 矿用离心式水泵	31
项目三 离心式水泵在管路上的工作	47
项目四 离心式水泵的运行与故障处理	58
模块三 矿井通风设备	66
项目一 矿用离心式通风机	66
项目二 矿用轴流式通风机	79
项目三 通风机在网路上的工作	87
项目四 通风机的运行及故障处理	93
模块四 矿井空气压缩设备	99
项目一 活塞式空气压缩机	99
项目二 螺杆式空气压缩机.....	111
模块五 矿井提升设备.....	122
项目一 矿井提升系统.....	122
项目二 矿井提升机.....	132
项目三 提升设备运行规律.....	150
项目四 提升机的操作、维护与故障处理.....	157
参考文献.....	166

模块一 流体力学基础

项目一 流体的主要物理性质

学习目标

学习和理解流体主要物理性质的概念，着重掌握黏性大小的度量及实际应用。

基础知识

流体力学是以流体（包括液体和气体）为对象，研究流体自身的平衡、运动以及与固体相互作用的科学。流体力学在许多工程技术领域有着广泛应用，如煤矿生产中的通风、排水、水力采煤、水力充填、煤与其他矿物的分离、液压系统等都离不开流体力学。因此，学习和掌握流体力学知识，能为学好流体机械、液压传动等课程奠定理论基础。

流体与固体一样，是由分子组成的。但流体在任何微小的剪切力作用下都会发生连续的剪切变形——流动。因此，能够流动的物质称为流体。流动性是流体的主要特征。流体分为液体和气体。液体具有一定体积，与容纳它的容器大小有关；而气体在任何情况下，其体积随所占空间的体积变化而变化。

流体的物理性质主要有密度与重度、压缩性与膨胀性及黏性。

一、密度与重度

1. 密度

单位体积的流体所含有的质量称为密度，用符号 ρ 表示，则

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

式中 ρ ——流体的密度， kg/m^3 ；

m ——流体的质量， kg ；

V ——流体的体积， m^3 。

密度是流体的惯性特征，与流体的种类有关。

2. 重度

具有质量的流体必然具有重力。单位体积流体所具有的重力称为重度，用符号 γ 表示，则

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

式中 γ ——流体的重度, N/m^3 ;

G ——流体所受的重力 (即流体的重量), N 。

因为

$$G = mg$$

由式 (1-1) 和式 (1-2) 得

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

式中 g ——重力加速度, 常取 9.81 m/s^2 。

二、压缩性与膨胀性及黏性

1. 压缩性

在温度不变的情况下, 流体体积随所受压力增大而减小的性质, 称为流体的压缩性。

压缩性的大小用压缩系数 β_p 来度量:

$$\beta_p = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (1-4)$$

式中 β_p ——压缩系数, Pa^{-1} ;

dV ——体积增量, m^3 ;

dp ——压力增量, Pa ;

V ——流体的体积, m^3 。

其中, dp 为正值时, dV 必为负值, 故上式右端加负号, 使之为正值。

2. 膨胀性

在压力不变的情况下, 流体体积随温度升高而增大的性质, 称为流体的膨胀性。膨胀性的大小用膨胀系数 β_t 来度量:

$$\beta_t = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} \quad (1-5)$$

式中 β_t ——膨胀系数, K^{-1} 或 $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

dt ——温度的增量。

3. 黏性

当流体内部相邻各层之间产生相对运动时, 流体本身所具有阻挡相对运动的性质, 称为流体的黏性。

当流体流过静止的固体表面时, 由于黏性的影响, 紧贴固体的一层流体将贴附在固体表面上不动, 距固体越远流速越大。流速快的对流速慢的有一个加速作用, 而流速慢的对流速快的有一个减速作用。流体在某一断面上的流速分布规律如图 1-1 所示。黏性是流体运动时产生阻力的根源。不同性质流体具有不同的黏性, 黏性大的流体阻力大, 黏性小的流体阻力小。

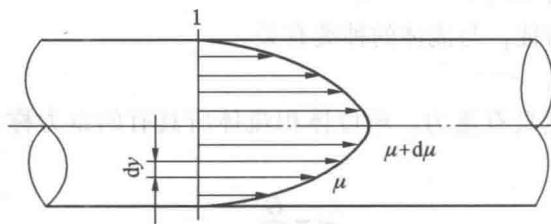


图 1-1 流速分布规律

基本技能

流体黏性大小用动力黏度、运动黏度或恩氏黏度来度量。

(1) 动力黏度是反映流体动力特性的黏度。用 μ 表示, 单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。 μ 值越大, 流体流动时的阻力越大。

(2) 运动黏度是反映流体运动特性的黏度, 它是流体在一个标准大气压下, 在温度相同时的动力黏度 μ 与密度 ρ 的比值。用 ν 表示, 单位为 m^2/s 。运动黏度越小的流体, 其流动性越好。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-6)$$

(3) 恩氏黏度是一个测量值, 用 $^{\circ}E$ 来表示。测量时, 将 200 mL 的被测液体装入容器中, 加热至某一温度 (通常是 50°C) 并保持恒温, 然后让其靠自重流出直径为 2.8 mm 的小孔, 记下所需的时间 t_1 , 再测出 20°C 的 200 mL 蒸馏水流出同一小孔的时间 t_2 , 则该液体的恩氏黏度为

$$^{\circ}E = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-7)$$

恩氏黏度是一个无量纲数, 它与运动黏度 ν 的换算关系为

$$\nu = \left(0.0731^{\circ}E_t - \frac{0.0631}{^{\circ}E_t} \right) \times 10^{-4} \quad (1-8)$$

式中 $^{\circ}E_t$ ——温度为 t 时流体的恩氏黏度;

t_1 ——200 mL 被测液体流过恩氏黏度计锥形管时所用的时间, s;

t_2 ——200 mL 蒸馏水在 20°C 时流过恩氏黏度计锥形管时所用的时间, 一般为 50 ~ 53 s, 常取 51 s。

温度对流体的黏度影响很大。液体的黏度随温度的升高而减小, 气体的黏度则随温度的升高而增大。

标准大气压下水的物理性质见表 1-1。

表 1-1 标准大气压下水的物理性质

温度 $t/^{\circ}\text{C}$	密度 $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	重度 $\gamma/(\text{N} \cdot \text{m}^{-3})$	动力黏度 $\mu/(10^3 \text{Pa} \cdot \text{s})$	运动黏度 $\nu/(10^6 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	弹性系数 $E/10^9 \text{Pa}$
0	999.8	9805	1.781	1.785	2.02
5	1000.0	9807	1.518	1.519	2.06
10	999.7	9804	1.307	1.306	2.10
15	999.1	9798	1.139	1.139	2.15
20	998.2	9789	1.002	1.003	2.18
25	997.0	9777	0.890	0.893	2.22
30	995.7	9764	0.798	0.800	2.25
40	992.2	9730	0.653	0.658	2.28
50	988.0	9689	0.547	0.553	2.29
60	983.2	9642	0.466	0.474	2.28
70	977.8	9589	0.404	0.413	2.25

表 1-1 (续)

温度 $t/^{\circ}\text{C}$	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	重度 $\gamma/(\text{N}\cdot\text{m}^{-3})$	动力黏度 $\mu/(\text{Pa}\cdot\text{s})$	运动黏度 $\nu/(\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1})$	弹性系数 $E/10^9\text{Pa}$
80	971.8	9530	0.354	0.364	2.20
90	955.3	9468	0.315	0.326	2.14
100	958.4	9399	0.282	0.294	2.07

技能训练

1. 何谓流体？其特征是什么？流体与固体有何区别？
2. 流体的密度与重度有什么关系？
3. 什么是流体的黏性？黏性产生的主要原因是什么？
4. 何谓可压缩流体、不可压缩流体？
5. 流体的黏度与温度有何关系？
6. 在当地大气压下，用恩氏黏度计对某种汽油、柴油和水进行测试，并计算出各自的动力黏度、运动黏度。
7. 已知水的重度 $\gamma = 9775 \text{ N/m}^3$ ，动力黏度 $\mu = 848 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ，求其运动黏度 ν 。
8. 取某种润滑油 200 mL，测得当温度为 40°C 时，该油流过恩氏黏度计锥形管时所用的时间为 $t_1 = 328 \text{ s}$ ，求该油的新牌号。

训练成果

由指导老师根据学生训练完成情况进行综合评价。学生训练成果评价表格式见表 1-2。

表 1-2 学生训练成果评价表

项目一 流体的主要物理性质						
学生姓名		班级		组别		
评价内容	评 分 标 准			分数	得分	备注
任务布置， 知识准备（15 分）	接受工作积极主动，态度端正，任务明确			5 分		
	能较快地收集、准备相关资料			5 分		
	有一定的组织协调能力			5 分		
职业素质， 技能验证（65 分）	工作积极，注意力集中，相互之间配合较好			5 分		
	知识准备			15 分		
	按时完成任务			20 分		
	效果、质量评价			20 分		
	注重实效，责任心强			5 分		
资料整理， 成果展示（20 分）	内容简要，规范工整，语言流畅			10 分		
	概念清楚，表达正确，按时完成			10 分		
总 分				100 分		

指导教师签字：

年 月 日

项目二 流体静力学基础

学习目标

正确理解流体静压力、等压面的概念和特性,着重掌握流体静力学基本方程式的内容及应用。

基础知识

流体静力学主要是研究流体处于平衡或相对静止状态下的基本规律及其在工程中应用的学科。由于流体处于平衡或相对静止状态时,各流体质点之间没有相对运动,这样流体的黏性就显现不出来。因此,流体静力学的理论不论对理想流体,还是对黏性流体都适用。

一、流体静压力及其特性

流体处于平衡或相对静止时,流体单位面积上所受的法向作用力称为流体静压力。

$$p = \frac{F}{s} \quad (1-9)$$

式中 p ——流体静压力, Pa;

s ——面积, cm^2 ;

F ——面积 s 上的作用力, N。

流体静压力的特性:一是流体静压力的作用方向总是沿其作用面的内法线方向;二是在静止流体中任意一点压力的大小与作用的方位无关,其值均相等。

二、流体静力学基本方程式

流体静力学方程式是研究静止流体中某一点的流体静压力的大小以及分布规律的数学表达式。如图 1-2 所示,在深度为 h 处的静止液体中任取一点 A ,以 A 点为中心取微小面积 ds ,作高度为 h 的圆柱体。设圆柱体表面的压力为 p_0 ,底面的压力为 p ,将圆柱体从静止液体中分离出来,为使圆柱体保持平衡,作用在圆柱体周围的力有以下几个:

(1) 作用在底面的总压力 $p = pds$, 方向向上。

(2) 作用在液面上的总压力 $p_0 = p_0ds$, 方向向下。

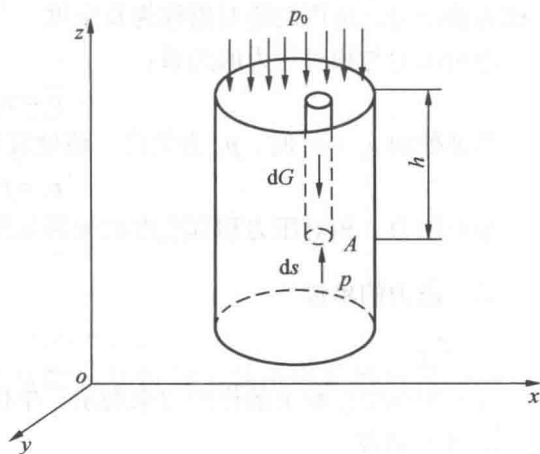


图 1-2 静止液体中深度 h 处的压力

(3) 圆柱体自重力 $dG = \gamma h ds$, 方向向下。

(4) 圆柱体周围受水平方向的侧压力, 大小相等。

作三向坐标轴, 并将作用于圆柱体上的各力均投影到坐标轴上。因液体是静止的, 故作用于圆柱体侧面上的总压力在各坐标轴上的投影之和等于零。 p 、 p_0 和 dG 均垂直于 ox 、 oy 坐标轴, 此三个力在 ox 、 oy 两坐标轴上的投影也为零。因此, 只要 p 、 p_0 和 dG 在 oz 轴上的投影为零, 圆柱体就能保持平衡, 即

$$\begin{aligned} p + p_0 + dG &= 0 \\ p ds - p_0 ds - \gamma h ds &= 0 \\ p &= p_0 + \gamma h \end{aligned} \quad (1-10)$$

式中 p ——深度为 h 处的液体静压力, Pa;

p_0 ——作用于液面上的压力, Pa;

γ ——液体的重度, N/m^3 ;

h ——所研究点与液面之间垂直距离, m。

上式为流体静力学基本方程式, 它表明当流体表面压力一定时, 静止液体内任一点的静压力 p 与其深度 h 成正比, 即水越深, 压力越高。

三、等压面

在静止流体中, 压力相等的各点所组成的面称为等压面。等压面的特征: ①在静止的流体中, 通过任意一点的等压面必与该点所受的重力互相垂直; ②当两种互不相混的流体处于平衡时, 它们的分界面必为等压面, 等压面下的流体必须是均质的。

基本技能

一、压力的计算基准

流体静压力的大小有两个计算基准: 以绝对真空为零点算起的压力, 称为绝对压力 p_j ; 以大气压 p_a 为零点算起的压力, 称为相对压力 p_x 。相对压力又分为正压和负压。正压称为表压力, 负压的绝对值称为真空度。

绝对压力与相对压力的关系:

$$p_j = p_a + p_x \quad (1-11)$$

当某处的 $p_j < p_a$ 时, p_x 为负值, 该处有真空存在。真空的大小用真空度 p_z 表示:

$$p_z = p_a - p_j \quad (1-12)$$

绝对压力、相对压力和真空度的关系如图 1-3 所示。

二、压力的单位

1. 应力

应力用单位面积上的作用力来表示, 单位为 Pa, 在液压传动中常为 MPa。

2. 液柱高度

常用的液柱高度单位有米水柱 (mH_2O)、毫米汞柱 ($mmHg$) 等。

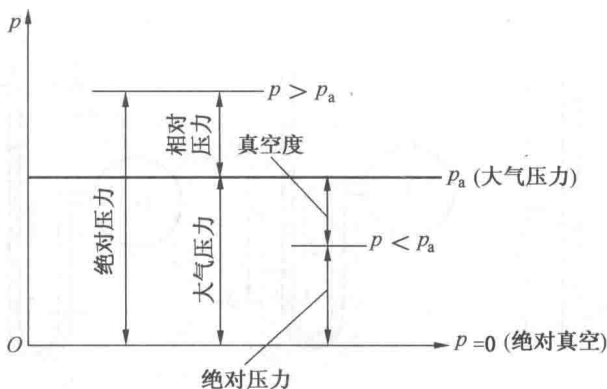


图 1-3 压力关系

3. 大气压力

标准大气压是在北纬 45° 海平面上、温度为 15℃ 时测定的大气压数值。

$$1 \text{ 标准大气压} = 760 \text{ mmHg} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

三、液体压力的测量

液体压力测量的仪器常用的有测压管、压差计和微压计等。一般由一根直径不小于 5 mm 的玻璃直管或 U 形管构成，以水、酒精或水银为工作液体，用于测量水泵、通风机、锅炉等设备的压力、真空度和压力差。

测压计的测量原理：根据测压计玻璃管上的液位读数，计算出被测流体的压力大小。如图 1-4 所示的测压管可用来测定容器中某点的压力。在计算被测流体的压力 p 时，首先要找出一个等压面。选 1—2 的平面为等压面，图 1-4a 作用于 c 点的绝对压力和相对压力为

$$p_{cj} = p_a + \gamma h \quad (1-13)$$

$$p_{cx} = \gamma h \quad (1-14)$$

如果被测的流体压力较大时，可采用 U 形管并在管中装入水银（图 1-4b），选 1—2 的平面为等压面，则

$$p_1 = p_2$$

$$p_1 = p_c + \gamma h_2$$

$$p_2 = p_a + \gamma_g h_1$$

则管内液体的绝对压力：

$$p_{cj} = p_a + \gamma_g h_1 - \gamma h_2 \quad (1-15)$$

管内液体的相对压力：

$$p_{cx} = p_{cj} - p_a = \gamma_g h_1 - \gamma h_2 \quad (1-16)$$

如果 U 形管的两端与被测两容器相接，就能在 U 形管上显示出被测对象的压力差（图 1-4c），则

$$p_1 + \gamma h_1 = p_2 + \gamma h_2 + \gamma_g h_3$$

$$p_1 - p_2 = \gamma_g h_3 - \gamma(h_1 - h_2) \quad (1-17)$$

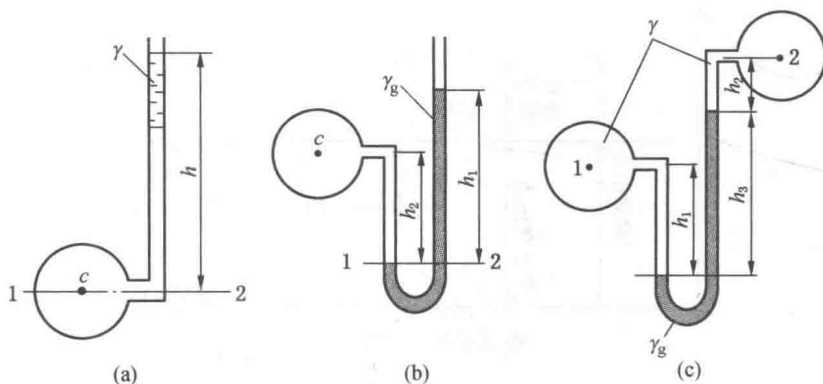


图 1-4 测压管

技能训练

1. 什么是流体的静压力？它的大小、方向与哪些因素有关？
2. 何谓等压面？等压面有何特征？
3. 什么是绝对压力、相对压力？它们之间的关系是什么？真空度又是什么？
4. 不同形状的容器，若储存同一种液体，当液体深度和容器底面积均相等时，液体作用在底面上的总压力是否相同？为什么？
5. 在如图 1-5 所示的容器上，安装两根测压管。已知 $h_1 = 5 \text{ m}$ ， $h_2 = 18 \text{ cm}$ ，求容器中心处水的绝对压力 p_A 及 U 形管中水银面高差 h_3 。
6. 图 1-6 所示为一吸风管道，已知 U 形管中的水面高差 $h = 300 \text{ mm}$ ，求风管中的真空度 p_z 。

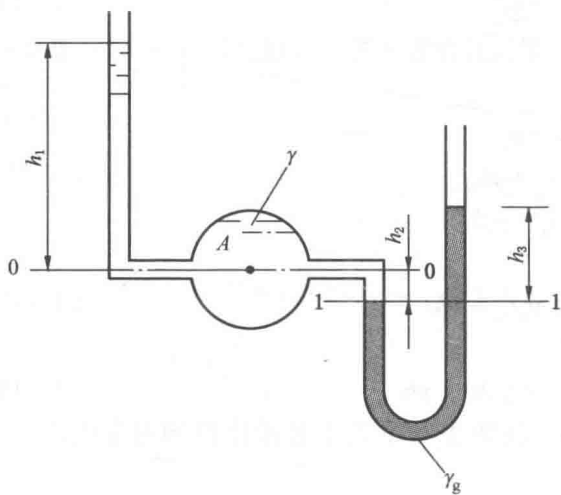


图 1-5 题 5

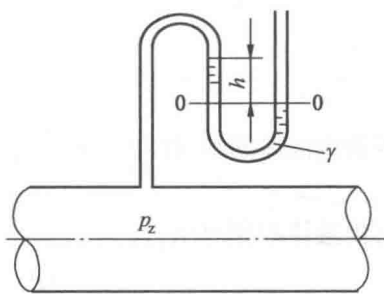


图 1-6 题 6

7. 已知图 1-7 中压差计的读数 $\Delta h = 0.36 \text{ m}$, 两盛水容器的位置高差 $h = 1 \text{ m}$, 求两容器中心处的压力差 $p_A - p_B$ 。

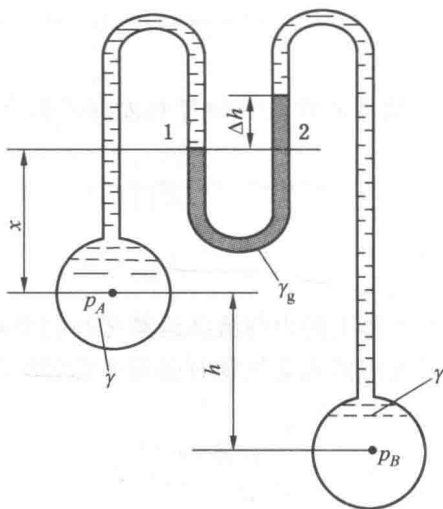


图 1-7 题 7

训练成果

由指导老师根据学生训练操作完成情况及实训报告, 进行综合评价。学生训练成果评价表格式见表 1-3。

表 1-3 学生训练成果评价表

项目二 流体静力学基础						
学生姓名		班级		组别		
评价内容	评 分 标 准			分数	得分	备注
任务布置， 知识准备（15 分）	接受工作积极主动，态度端正，任务明确			5 分		
	能较快地收集、准备相关资料、器材工具			5 分		
	有一定的组织协调能力			5 分		
职业素质， 技能验证（65 分）	工作积极，注意力集中，相互之间配合较好			5 分		
	知识准备			15 分		
	按时完成任务			20 分		
	效果、质量评价			20 分		
	注重实效，责任心强			5 分		
资料整理， 成果展示（20 分）	内容简要，规范工整，语言流畅			10 分		
	概念清楚，表达正确，按时完成			10 分		
总 分				100 分		

指导教师签字:

年 月 日