



仪器仪表工人 技术培训教材

流量和物位仪表 装校工艺学

机械工业部仪器仪表工业局 统编

机械工业出版社

本书以流量和物位仪表机械装校工艺为主,着重叙述了流量和物位仪表的基本概况、流体力学基础知识、流量和物位的校验装置、节流装置以及流量和物位仪表中典型产品的工作原理、结构特点和装校方法等。

本书由开封仪表厂主编。参加编写的有黄慧良、郑根泉、姜惠棟、周永清、樊文骏、李祖耀、尹国礼、孙海清、乐毅同志等;参加审稿的有蔡武昌、蔡洪集、肖井贵、宋永章同志等。

本书可作为仪表部门流量和物位仪表机械装校工人的培训教材,也可作为仪器仪表工人的自学读物以及有关仪器仪表专业技术人员的参考书籍。

流量和物位仪表装校工艺学

机械工业部仪器仪表工业局 统编

责任编辑:俞逢英

封面设计:郭景云

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张13·插页2·字数 296 千字

1987年8月北京第一版·1987年8月北京第一次印刷

印数 0,001— 2,630·定价:2.60 元

统一书号:15033·6736

前 言

贯彻中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对广大工人进行系统的技术培训，是智力开发的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地开展这项工作，教材是关键。有了教材才能统一教学内容；才能逐步建立起正规的工人技术教育体系，提高工人的技术素质，以适应四化建设的需要。为此，我们在全仪器仪表行业有关的重点企业中，组织了有长期从事技术、教育工作经验的工程技术人员和教师，编写了这套仪器仪表专业工种的初级、中级工人技术培训教材，共七大类四十六本。

这套教材编写的依据是原国家仪器仪表工业总局一九八一年颁发的《工人技术理论教学计划、教学大纲（仪器仪表专业工种初、中级部分）》。学员学完初级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到部颁《工人技术等级标准》中本工种三级以下的“应知”要求；学完中级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到本工种六级以下的“应知”要求。在教材编写过程中，注意了工人培训和仪器仪表行业的特点，力求做到既要理论联系生产实际，学以致用，又要循序渐进。考虑到工种工艺学的特殊性，避免不必要的重复，对工种工艺学初级、中级教材采用合一册或上、下册的形式。通过教学计划和大纲，体现初级、中级培训的阶段性和连续性。

这套教材的出版，得到了北京、天津、上海、江苏等省市仪表局机械厅和有关企业、学校、研究单位的大力支持，在

此特致以衷心的感谢。

由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们在使用中提出批评和指正，以便进一步修订。

机械工业部仪器仪表工业局
工人技术培训教材编审领导小组

一九八二年十二月

目 录

前言

第一章 流体力学基础知识	1
1-1 流体的主要物理性质	1
一、流体的概念	1
二、流体的物理性质	2
1-2 流体静力学	10
一、静压力与静压强	10
二、流体静压强的规律	10
1-3 流体动力学基础	17
一、流体动力学的基本概念	17
二、恒定流的连续性方程式	19
三、流体的能量守恒——理想流体的伯努利方程式	20
四、雷诺数及其意义	26
五、流体的水头损失	28
复习题	36
第二章 流量和物位测量仪表概述	39
2-1 流量测量仪表	39
一、流量测量的一般知识	39
二、流量计的用途和分类	46
三、流量计的基本技术性能	47
四、流量测量中存在的问题	54
2-2 流量测量仪表的工作原理	55
一、水表	55
二、差压式流量计	58
三、转子流量计	63

四、涡轮流量计	68
五、靶式流量计	70
六、容积式流量计	72
七、电磁流量计	77
八、其它流量计	81
2-3 物位测量仪表	85
一、物位测量的一般知识	85
二、常用物位测量仪表的工作原理	88
复习题	117
第三章 流量和物位测量仪表的校验装置	119
3-1 流量仪表校验装置的附属设备	119
一、过滤器	119
二、整流器	121
三、消气器	123
四、减压阀	124
3-2 流量仪表校验装置	126
一、流量校验中的几个问题	126
二、液体流量的校验装置	128
三、气体流量的校验装置	134
3-3 液位仪表校验装置	138
复习题	139
第四章 节流变压降流量计的装校	140
4-1 概述	140
一、节流装置的工作原理	140
二、流量实用公式	142
4-2 标准节流装置的装校	143
一、标准节流装置的组成	143
二、取压方式简介	146
三、标准节流装置的安装及其正确工作的条件	148

四、节流装置的检验和标定	151
4-3 非标准节流装置	156
一、非标准节流装置的使用特点	156
二、几种常用非标准节流件	157
复习题	162
第五章 流量仪表典型产品的装校	163
5-1 双波纹管差压计的装校	163
一、双波纹管差压计的结构	163
二、双波纹管差压计的装配	172
三、双波纹管差压计的调校	176
5-2 转子流量计的装校	179
一、转子流量计的组成及其装配与调校	179
二、转子流量计的校验	202
三、转子流量计的安装与使用	203
5-3 涡轮流量计的装校	204
一、涡轮流量变送器的结构	205
二、涡轮流量变送器的装配	216
三、涡轮流量变送器的校验	221
四、涡轮流量计显示仪表	228
5-4 靶式流量变送器的装校	234
一、靶式流量变送器的结构	234
二、靶式流量变送器的装配	239
三、靶式流量变送器的调校	241
四、靶式流量变送器的使用与调整计算	248
5-5 容积式流量计的装校	252
一、椭圆齿轮流量计的结构与装配	252
二、腰轮流量计的结构与装配	256
三、刮板流量计的结构与装配	269
四、容积式流量计的校验	281

5-6 电磁流量计的装校	303
一、电磁流量变送器的结构	303
二、电磁流量变送器的装配	309
三、电磁流量转换器的校验	314
四、电磁流量计的校验	316
复习题	320
第六章 物位仪表典型产品的装校	323
6-1 玻璃管液位计和玻璃板液位计的装校	323
一、阀的结构和装配	324
二、玻璃管液位计的结构和装配	326
三、玻璃板液位计的结构和装配	328
6-2 浮球式液位信号器的装校	331
一、普通浮球式液位信号器的装校	331
二、隔爆型浮球式电动液位信号器的装校	335
6-3 阻旋式料位信号器的装校	340
一、阻旋式料位信号器的装配	340
二、阻旋式料位信号器的调整和校验	344
6-4 浮筒式遥测液位计的装校	346
一、发送器的结构和装配	346
二、指示器的结构和装配	349
三、液位计的校验	354
6-5 气动浮筒液位调节变送器的装校	358
一、气动浮筒液位调节变送器的系列组成及应用范围	358
二、气动浮筒液位调节变送器基本元件的装校	359
三、气动浮筒液位调节变送器的总装校	396
四、气动浮筒液位调节变送器的安装和使用	402
五、附录	404
复习题	405

第一章 流体力学基础知识

1-1 流体的主要物理性质

一、流体的概念

物质的状态一般分为气态、液态、固态三种。就气态而言，由于组成气态的分子间距较大，所以分子间的相互作用力就小，分子处在极其不规则的自由运动的状态，而且有着很强的扩散作用。它没有一定的形状和体积。

液态分子的间距比气态分子小得多，分子间的相互作用力较大。分子的运动也不如气态那样活跃。由于分子不断地振动，每一瞬间的位置都在变化。所以液态物质的形状容易改变，扩散作用较为缓慢。只有处在表面的分子，由于受到的相互作用力较小，能从表面逸出，产生蒸发或挥发现象。它没有固定的形状，一般情况下有一定的体积。

至于固态，它的分子排列紧密，只能在自己的平衡位置附近作振动。因此固态物质有固定的表面形状和体积。

物质都是在一定的条件下，以某种状态存在的。随着条件的变化，物质的状态也会发生变化。例如，水随着温度和压力的变化，可以分别呈现汽态、液态或固态。其它一些物质的状态，同样会随着外界条件的改变而发生变化。

流体力学研究的对象就是在一定的条件下，呈现液态或气态的物质，这些物质称为流体。

从分子的构成与运动角度来看，流体分子的运动比固态分子的运动要剧烈。流体都没有固定的几何外形。

二、流体的物理性质

1. 流体的密度和重度

(1) 密度 流体和固体一样具有质量。即使是无色无嗅无味的空气，同样也具有质量。我们把单位体积流体所具有的质量称为流体的密度。对于均质的流体，用符号 ρ 来表示密度。

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

式中 ρ ——流体的密度 (公斤/米³);

M ——流体的质量 (公斤);

V ——流体的体积 (米³)。

在热力学和空气动力学中，常用单位质量的气体所具有的体积，即比容 v ，来度量气体的体积。对于均质流体，比容等于流体体积与其质量的比值，即

$$v = \frac{V}{M} = \frac{1}{\rho} \quad (1-2)$$

(2) 重度 与固体一样，流体在地心引力的作用下，具有重量。单位体积的流体所具有的重量称为流体的重度。对于均质的流体，以符号 γ 表示重度，则有

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-3)$$

式中 γ ——流体的重度 (牛/米³);

G ——流体的重量 (牛)。

(3) 密度、重度的关系 由牛顿第二定律可知，重量等于质量与重力加速度的乘积，即 $G = mg$ 。两边均以体积相除，则得

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1-4)$$

式中 g ——重力加速度, 其值 $g = 9.81 \text{ 米/秒}^2$ 。

通常以 4°C 的蒸馏水密度来表示水的密度, 即

$$\rho = 1000 \text{ 公斤/米}^3, \quad \gamma = \rho, \quad g = 9810 \text{ 牛/米}^3$$

在温度为 0°C , 压力为一个大气压的物理学标准状态下, 空气的密度为 $\rho_0 = 1.293 \text{ 公斤/米}^3$, 对应的重度为

$$\begin{aligned} \gamma_0 &= \rho_0 \cdot g = 1.293 \text{ 公斤/米}^3 \times 9.81 \text{ 米/秒}^2 \\ &= 12.684 \text{ 牛/米}^3 \end{aligned}$$

(4) 单位制换算 国际单位制、厘米克秒制、工程单位制中, 有关物理量的单位及换算关系, 见表1-1。

从表1-1中的量纲可知:

1) 在国际制中 γ 的单位应为 $\text{米}^{-2} \cdot \text{公斤} \cdot \text{秒}^{-2} = \text{牛/米}^3$;

2) 在厘米克秒制中 γ 的单位应为 $\text{厘米}^{-2} \cdot \text{克} \cdot \text{秒}^{-2} = \text{达因/厘米}^3$;

3) 在工程制中 γ 的单位应为 $\text{米}^{-2} \cdot \frac{\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}} \cdot \text{秒}^{-2} = \text{公斤力/米}^3$ 。

2. 易流性 气体有扩散能力, 它能充满整个容器, 在压力作用下, 气缸内的气体能压缩到某一端; 液体在不同的容器里, 就呈现出不同的形状, 在重力的作用下, 会从高处向低处流动; 流体都没有固定的几何外形, 这些现象都体现了流体特有的易流性。

3. 压缩性与膨胀性 流体无论是气体或液体, 当温度保持不变时, 若受到的压强增大, 体积便会缩小。而压强保持不变时, 若温度升高, 体积就增大。这一特性称为流体的压缩性和膨胀性。

(1) 压缩性 液体的压缩性可用体积压缩系数 β_p 表示。其定义是指温度不变时, 每增加一个单位压力, 液体体积发生的相对变化量。即

表1-1 不同单位制的单位及相互换算关系

物理量	国际单位制		厘米克秒制	工程单位制	三种单位制换算关系 1(国际单位)=X(厘米克秒单位) 秒单位)=Y(工程单位)
	中文代号	国际代号	用基本单位表示		
长度 L	米	m	m	米 m	1米=100厘米=1米
质量 M	公斤	kg	kg	公斤力·秒 ² /米	1公斤=10 ³ 克 = $\frac{1}{9.81}$ 公斤力·秒 ² /米
时间 T	秒	s	s	秒 s	1秒=1秒=1秒
力 F	牛	N	m·kg·s ⁻²	公斤力 kgf	1牛=10 ⁵ 达因= $\frac{1}{9.81}$ 公斤力
密度 ρ	公斤/米 ³	kg/m ³	m ⁻³ ·kg	公斤力·秒 ² /米 ⁴	$\frac{1 \text{ 公斤}}{\text{米}^3} = 10^{-3} \frac{\text{克}}{\text{厘米}^3}$ = $\frac{1}{9.81} \frac{\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4}$
比容 v	米 ³ /公斤	m ³ /kg	m ³ ·kg ⁻¹	米 ⁴ /(公斤力·秒 ²)	$\frac{1 \text{ 米}^3}{\text{公斤}} = 10^3 \frac{\text{厘米}^3}{\text{克}}$ = $9.81 \frac{\text{米}^4}{\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2}$
重度 γ	牛/米 ³	N/m ³	m ⁻³ ·kg·s ⁻²	公斤力/米 ³	$\frac{1 \text{ 牛}}{\text{米}^3} = 10^{-1} \frac{\text{达因}}{\text{厘米}^3}$ = $\frac{1}{9.81} \frac{\text{公斤力}}{\text{米}^3}$

压力 p	帕 = $\frac{\text{牛}}{\text{米}^2}$	$\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$	达因/厘米 ²	公斤力/米 ²	1帕 = $10 \frac{\text{达因}}{\text{厘米}^2}$ = $\frac{1}{9.81} \frac{\text{公斤力}}{\text{米}^2}$
动力粘性系数 μ	帕·秒 = $\frac{\text{牛} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2}$	$\text{Pa} \cdot \text{s} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{s}$	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	泊 = $\frac{\text{达因} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2}$	公斤力·秒/米 ²	1帕·秒 = 10泊 = $\frac{1}{9.81} \frac{\text{公斤力} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2}$
运动粘性系数 γ	米 ² /秒	m^2/s	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	斯 = 厘米 ² /秒	米 ² /秒	1米 ² /秒 = 10 ⁴ 斯 = 1米 ² /秒
功 W	焦 = 牛·米	$J = \text{N} \cdot \text{m}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$	尔格 = 达因·厘米	公斤力·米	1焦 = 1牛·米 = 10 ⁷ 达因·厘米 = $\frac{1}{9.81} \text{公斤力} \cdot \text{米}$
功率 N	瓦 = 焦/秒	$W = \text{J}/\text{s}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$	$\frac{\text{尔格}}{\text{秒}} = \frac{\text{达因} \cdot \text{厘米}}{\text{秒}}$	公斤力·米/秒	1瓦 = $1 \frac{\text{焦}}{\text{秒}} = 10^7 \frac{\text{达因} \cdot \text{厘米}}{\text{秒}}$ = $\frac{1}{9.81} \frac{\text{公斤力} \cdot \text{米}}{\text{秒}}$

注：1. 国际制和厘米克秒制的基本单位，均为长度、质量和时间。其它量均为导出单位：例如力的单位为 $\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ ，

其量纲为 $L \cdot M \cdot T^{-2} = M \cdot \frac{L}{T^2}$ 即质量与加速度的量纲之积；

- 2. 工程制的基本单位为长度，力（重力）和时间。其它量为导出单位；
- 3. 作量纲（因次）分析时，长度量纲为 L 、质量量纲为 M 、时间量纲为 T ，此三者为国际制基本量纲，其它量为导出量纲；例如重度的量纲为

$$[Y] = [\rho \cdot g] = \frac{M}{L^3} \cdot \frac{L}{T^2} = L^{-2} \cdot M \cdot T^{-2}$$

$$\beta_p = \frac{\frac{V_1 - V_2}{V_1}}{\Delta P} = \frac{V_1 - V_2}{V_1 \cdot \Delta P} \quad (1-5)$$

式中 β_p ——液体体积压缩系数 (帕⁻¹);

V_1 ——压缩前液体的体积 (米³);

V_2 ——压缩后液体的体积 (米³);

ΔP ——压力的改变量 (帕)。

工程上常用弹性系数 K 来表示液体的压缩性, 它实际上就是液体体积压缩系数的倒数。

通常每增加 1 大气压^①时, 水的体积缩小不到二万分之一, 可见水的压缩性是很小的。其它液体的压缩性也很小。因此工程上认为液体是不可压缩的。但在特殊的流动状态下, 例如在分析水击现象及高压测量系统中, 必须考虑到液体的压缩性。

气体的压缩性相当突出。由物理学可知, 气体比容、压力、温度的关系服从理想气体状态方程, 即

$$Pv = RT \quad (1-6)$$

式中 P ——绝对压力 (帕);

v ——比容 (米³/公斤);

T ——开氏温度, $T = T_0 + t$, 标准状态下 $T_0 = 273$ 开;

R ——气体常数 [牛·米/(公斤·开)]。

气体常数 R 可由标准状态下的参数 $R = P_0 V_0 / T_0$ 来确定。对于空气标准大气压下, $P_0 = 101325$ 帕, $v_0 = 0.773$ 米³/公斤; $T_0 = 273$ 开, 代入上式可得 $R = 287$ [牛·米/(公斤·开)]。

由式 (1-6) 可看出, 当温度保持不变时, 气体的压力与比容成反比。

① 1 大气压 = 98.0665 千帕。

(2) 膨胀性 温度升高时, 液体体积膨胀。膨胀性的大小用体积膨胀系数 β_t 来表示, 其定义为增加一单位温度时, 液体体积所发生的相对变化量, 即

$$\beta_t = \frac{\frac{V_2 - V_1}{V_1}}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{\Delta t \cdot V_1} \quad (1-7)$$

式中 β_t ——液体体积膨胀系数 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$);

V_1 ——液体膨胀前的体积 (米^3);

V_2 ——液体膨胀后的体积 (米^3);

Δt ——温度的改变量 ($^{\circ}\text{C}$)。

实验指出, 在 1 个大气压下, 当温度较低时 ($10 \sim 20^{\circ}\text{C}$), 温度每增高 1°C , 水的体积相对改变量仅是万分之一点五。温度较高时 ($90 \sim 100^{\circ}\text{C}$), 也只改变万分之七。其它液体的膨胀系数也很小。因此, 除了在供热系统中需考虑液体的膨胀性外, 一般可不予考虑。

气体的膨胀性也比液体大得多, 由式 (1-6) 可知, 当气体压力不变时, 比容与温度成正比。

不论液体还是气体, 在压缩或膨胀时, 其质量总保持不变, 只是密度或重度相应地增大或减小。

4. 粘滞性 流体由大量的分子所组成, 流动时, 分子的运动造成互相碰撞, 引起分子的动量交换。同时, 流体分子与管壁之间还存在着附着力, 这种附着力改变了流体分子的运动状态, 对流体的运动产生了阻力。管道内的流体在流动时的速度分布如图 1-1 所示。

管壁处由于流体质点贴在管壁上, 受管壁的引力作用, 流速为零。管中心处的流体受管壁的影响最小, 所以流速最大。从管壁到管中心, 可以看成流体是以极薄的层状在流动,

靠近中间流速大的流层，对靠近管壁处流动较慢的流层产生向前的拉力，同时流速较小的流层反过来对流动较快的流层产生了大小相等、方向相反的往后拖力。我们把流体流动时，只要它的各部分之间具有相对运动，就会产生摩擦切应力来阻止这种运动的特性，称为粘滞性，把流层间的一对互为反作用的力称为粘滞力。

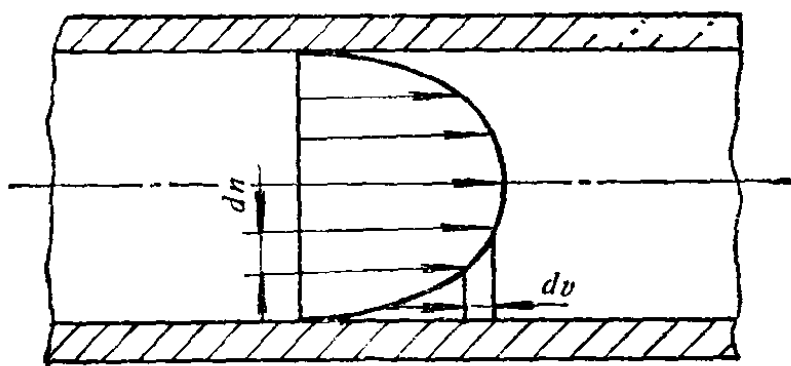


图1-1 管道内的流速分布

研究图1-1，设相邻两层间的距离为 dn ，而其速度的增量为 dv ，流层间单位距离上的流速增量 $\frac{dv}{dn}$ 为速度梯度。

实验表明，粘滞力 F 的大小与速度梯度成正比，与两个流层间的接触面积 A 的大小成正比，并与各种流体不同的动力粘度 μ 有关，这就是牛顿内摩擦定律的内容，可记为

$$F = \mu \frac{dv}{dn} A \quad (1-8)$$

式中 F ——内摩擦力 (牛)；

μ ——动力粘性系数，与流体的种类、温度有关，
(帕·秒)；

A ——接触面积 (米²)；

$\frac{dv}{dn}$ ——速度梯度 (秒)⁻¹。

μ 的厘米克秒单位为 $\frac{\text{达因}}{\text{厘米}^2} \cdot \text{秒} = \text{泊}$ ，实际常用厘泊

(cP) 来表示动力粘度，1 厘泊 = 0.01 泊。因为 μ 的量纲中有力的因素，因此称为动力粘性系数。

单位面积上的内摩擦力称为流体的切应力，即

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{F}{A} \\ &= \mu \frac{dv}{dn}\end{aligned}\quad (1-9)$$

式中 τ ——切应力 (牛/米²)。

描述粘度的另一个物理量是 ν ，它与 μ 的关系为

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-10)$$

式中 ν ——运动粘性系数 (米²/秒)；

ρ ——密度 (公斤/米³)。

ν 的厘米克秒单位为厘米²/秒 = 斯，实际常用厘斯(cSt)，1 厘斯 = 0.01 斯。因为 ν 的量纲中有运动的因素，所以称为运动粘度。

温度对流体的粘度影响很大。对于液体，温度越高，液体的粘性越小。例如，用管道运输粘度很大的原油时，需要加热，减小粘度后，才能流动。气体则相反，温度升高，粘性也随着增大。这是因为，气体的粘滞性主要是由分子运动时互相碰撞造成动量交换所引起的。温度升高，动能增加，分子的碰撞加剧，因此运动阻力增大，粘滞性随着增大。液体分子间距较小，粘滞性主要是由分子间的引力及刚体壁对液体的附着力所引起的。温度升高后，分子间距增大，分子间的引力与附着力都减小，粘滞性就减弱了。