

责任编辑 / 牛 君
特邀编辑 / 杨 勇
封面设计 / Design  本格设计

- 列车调度指挥实验教程
- 机械认知实践教程
- 机械工程测试与控制技术实验教程
- 微机保护综合实践教程
- 电力电子与电力传动综合实验教程
- 工程流体力学实验指导与报告

ISBN 978-7-5643-1456-9



9 787564 314569

定价: 10.00 元



西南交通大学 323 实验室工程系列教材

工程流体力学 实验指导与报告

刘翠容 编

西南交通大学峨眉校区
国有资产及实验室管理处 主审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

工程流体力学实验指导与报告 / 刘翠容编. —成都:
西南交通大学出版社, 2011.10
西南交通大学 323 实验室工程系列教材
ISBN 978-7-5643-1456-9

I. ①工… II. ①刘… III. ①工程力学: 流体力学—
实验 IV. ①TB126-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 202329 号

西南交通大学 323 实验室工程系列教材

工程流体力学实验指导与报告

刘翠容 编

责任编辑	牛 君
特邀编辑	杨 勇
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	4.25
字 数	106 千字
版 次	2011 年 10 月第 1 版
印 次	2011 年 10 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-1456-9
定 价	10.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

工程流体力学是高等工科院校土建类、机械类、环境类及工程力学各专业的主要技术基础课程，而工程流体力学实验则是其教学中不可缺少的主要环节。实验教学可以增强学生的感性认识和实际动手技能，培养学生分析问题和解决问题的能力，为学生今后从事实际及研究工作打下基础。

为满足教学的需要，编者根据教学的基本要求和近年来对实验教学的一些改革，配合我校流体力学实验室现有的实验设备，并参考高讯主编的《工程流体力学实验》及国内同类教材、相关文献资料编写了此书。

本书内容主要包括流体基本物理量的室内量测技术和教学实验项目。每个实验项目一般包括实验目的、实验原理、实验装置及仪器、实验步骤、实验数据记录、实验结果要求及分析（包括思考题）。

本书可供高等院校土建类、机械类、环境类及工程力学各专业的本科、专科学生使用。各专业教师在教学中可根据各自课程的教学基本要求及学时情况酌情选用。

由于编者水平有限，书中缺点和不足在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 9 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 工程流体力学（水力学）教学实验的目的	1
1.2 工程流体力学（水力学）教学实验的要求	1
第 2 章 流体基本物理量的室内量测技术	3
2.1 压强的量测	3
2.2 水位的量测	7
2.3 流量的量测	8
2.4 流速的量测	12
2.5 转速的量测	17
第 3 章 流体静力学实验	19
3.1 实验目的	19
3.2 实验装置	19
3.3 实验原理	19
3.4 实验提示	20
3.5 实验步骤	21
3.6 实验原始记录	21
3.7 实验结果要求及分析	21
第 4 章 流体动力学基础实验	22
4.1 流动显示实验	22
4.2 管路测压管水头线实验	23
4.3 毕托管测速实验	26
4.4 文丘里流量计实验	29
第 5 章 流动阻力与水头损失实验	34
5.1 雷诺实验	34
5.2 管路沿程水头损失实验	36
5.3 管路局部水头损失实验	40
△ 5.4 管路沿程阻力实验（个性化实验）	44

第 6 章 孔口与管嘴实验	47
6.1 实验目的	47
6.2 实验原理	47
6.3 实验装置	48
6.4 实验方法与步骤	49
6.5 实验成果及要求	49
6.6 实验分析与讨论	50
第 7 章 明渠水流实验	51
7.1 水跃实验	51
7.2 明渠恒定非均匀流水面曲线实验	54
第 8 章 堰流实验	57
8.1 宽顶堰溢流实验	57
8.2 小桥过流演示实验	60
参考文献	62

第1章 绪 论

1.1 工程流体力学（水力学）教学实验的目的

工程流体力学（水力学）是应用性较强的专业技术基础课。从学科发展看，工程流体力学（水力学）属于技术基础学科，实验方法是促进其发展的重要研究手段。由于流体运动的复杂性，工程流体力学（水力学）的研究就更加离不开科学实验。现代工程流体力学（水力学）的蓬勃发展，更是和飞跃进步的现代实验技术分不开的。因此，工程流体力学（水力学）实验是学习理论知识、探索流体运动规律的重要教学环节。

工程流体力学（水力学）教学实验的目的为：

- (1) 观察流动现象，扩大感性认识，提高理论分析能力。
- (2) 根据实测资料验证工程流体力学（水力学）的基本理论或根据所观察的流动现象进行某些深入的思考，以加强和巩固理论知识的学习。
- (3) 会使用工程流体力学（水力学）实验的基本量测仪器，掌握一定的实验技术，培养实验研究的初步能力。
- (4) 培养分析实验数据、整理实验成果和编写实验报告的能力。
- (5) 培养严谨踏实的科学作风和融洽合作的共事态度，为将来进行科学研究打下良好的基础。

1.2 工程流体力学（水力学）教学实验的要求

1.2.1 实验要求

(1) 在每次实验前，必须了解本次实验的目的、实验原理和实验所要验证的理论。为此，实验前应预习实验指导书和教科书中的有关内容。

(2) 进入实验室后，应注意听取指导教师对实验方法的讲授，待完全弄清楚实验方法与步骤后，方能动手实验。

(3) 实验时应爱护仪器设备及实验室其他公物，未经允许不得随便打开或关闭实验室的电路开关及与所做实验无关的水阀。如有损坏应立即报告指导教师，并按学校有关规定处理。在整个实验过程中，均须保持实验场所整洁安静，做到文明实验。

总之，对待实验应有严肃的态度，严格的要求，严密的方法。只有这样才能完成好实验技能的训练任务。

1.2.2 实验报告要求

(1) 实验报告一般应包括以下内容：

- ① 班级、姓名、同组人及实验日期。
- ② 实验名称。
- ③ 实验目的。
- ④ 实验装置简图及仪器。
- ⑤ 流动现象的描述及实验原始记录。
- ⑥ 计算实验结果。

⑦ 实验结果的表示：在实验中除根据实测数据整理并计算实验结果外，有时还要采用曲线图来表示实验的结果。曲线均应绘在方格纸（或坐标纸）上，图中应标明坐标轴所代表的物理量及坐标分度，实验点应当用形如“○”、“×”、“●”、“△”等标记表示。当描绘曲线时，不要用直线逐点连接成折线，简单的方法是根据多数点所在的位置，内插描绘成光滑的曲线。如图 1.1 中虚线为不正确的描法，实线为正确的描法。

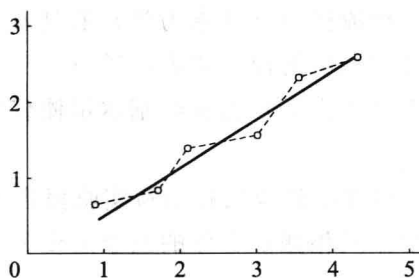


图 1.1

⑧ 在实验报告最后部分应对实验结果进行分析与评价，并回答有关思考题。

(2) 实验报告必须要求每人独立完成一份，并按规定时间交指导教师。报告要求文字通顺、字迹清楚、计算无误，表格曲线须用相应的器具绘制，线条要清楚、整洁。

第 2 章 流体基本物理量的室内量测技术

工程流体力学（水力学）实验目的，一方面在于观察各相应条件下的流动现象，加深感性认识，为理论分析提供基础。另一方面还在于通过对压强、水位、流量、速度等主要物理量的量测，更好地描绘流体运动图像及其力学、几何特性。现就目前普遍采用的主要物理量的量测方法简介如下。

2.1 压强的量测

2.1.1 测压管

测压管是用于测量流体各个单点上的压强水头。它由测压孔、连接管及测压管三部分组成，如图 2.1 所示。测压管一般为直径大于 10 mm 的透明管，其一端与被测压强的测点相通，另一端开口与大气相通。当测量较大压强时，可采用 U 形水银测压计，如图 2.2 所示。测量两点压力差时，可用 U 形或倒 U 形差压计，如图 2.3 (a)、(b) 所示。实验前应及时排除管内积气。测压孔的大小、形状对流动形态和量测精度影响甚大。孔径太大会使量测压强均化，不能真正反映点压强；孔径太小，由于毛细影响则压强变化反应迟缓，并易堵塞。测压孔与引出管轴需垂直，孔口与固体表面齐平。

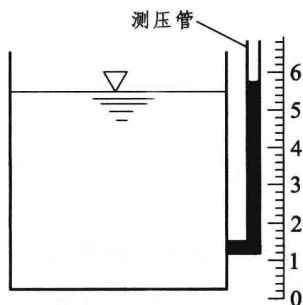


图 2.1

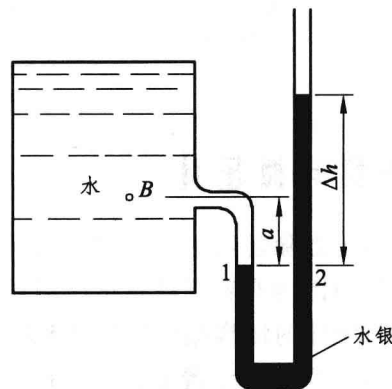


图 2.2

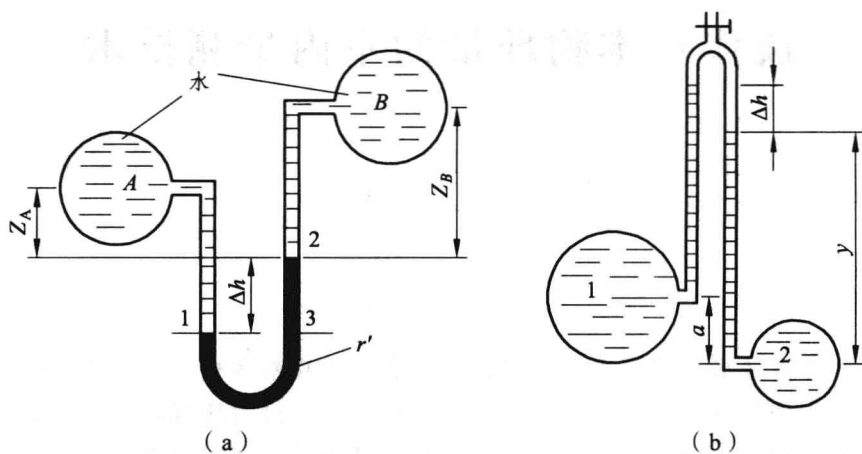


图 2.3

2.1.2 斜管式压力计

斜管式压力计如图 2.4 所示。为提高量测较小压强的精度，将测压管与水平面成 α 角斜置，放大测读范围，其计算式为：

$$p = \gamma h = \gamma \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (2.1)$$

式中 p ——所测液体相对压强；
 γ ——压力计液体重度。

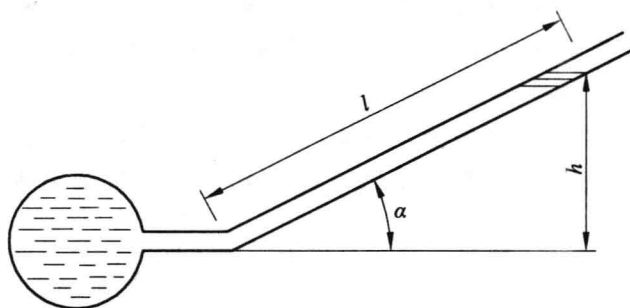


图 2.4

2.1.3 补偿式微压计

测量微小压力除常用的斜管式压力计外，还使用补偿式微压计。这是一种结构比较复杂，在测量范围内有着更高精度的微压计。

补偿式微压计的结构原理如图 2.5 所示。当测量压差 $\Delta p = p_1 + p_2$ 改变时，液壶内液柱高度可以保持在原来的位置上，因而称之为补偿式微压计。它的压力系数 $k=1$ ，并且读数比较精确，测量精度最高可达 0.02 mm 水柱。

使用这种微压计时，先在 $p_1 = p_2$ 的情况下，使液壶中的液体流入高压管中的 A 室，

使液面与指针 8 尖端相接触。这时液壶标尺上有一初读数 H_0 。当 $p_1 > p_2$ 时， p_1 将 A 室之液面向下压，而使指针 8 尖端与液面脱离。这时用手转动转盘，转盘带动螺杆，螺杆将液壶提升，直至 A 室中液面与指针 8 尖端刚刚接触为止。这时液壶在标尺上另有一读数 H ，则所测量之压差 $\Delta p = p_1 - p_2 = (H - H_0)\gamma = \Delta H \cdot \gamma$ 。

测压力时，应将压力接嘴与微压计动压接嘴用橡皮导管相连接，所得读数即为被测压力的水柱高度值。

测负压时，应将负压力接嘴与微压计静压拉嘴用橡皮导管相连接，所得读数即为被测的负压力水柱高度值。这种微压计的工作液体采用蒸馏水，在 $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时， $\gamma = 9\,796\text{ N/m}^3$ 。

补偿式微压计的主要缺点是平衡时间较长，如果压差有波动，读数有显著的时间滞后，或甚至来不及读数，因而不适合压差波动过频的场合。

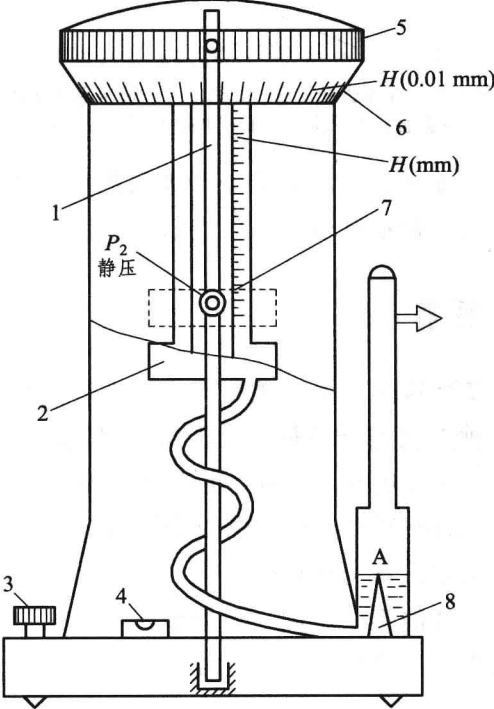


图 2.5

- 1—螺杆；2—液壶；3—调平螺丝；4—水准器；5—转盘；
6—刻度盘；7—刻度尺；8—指针

2.1.4 金属压力计

金属压力计常用于测量较大的压强，图 2.6 为管状金属压力计。其敏感元件是截面呈椭圆形并弯曲成圆弧状的金属弹簧管，当其内壁加压后弯管产生弹性变形使它的曲率变小，导致管的端部产生位移，然后由传动机构将位移反映为指针的偏转，再由表盘读出相应的压力。压力计所测压强为相对压强。

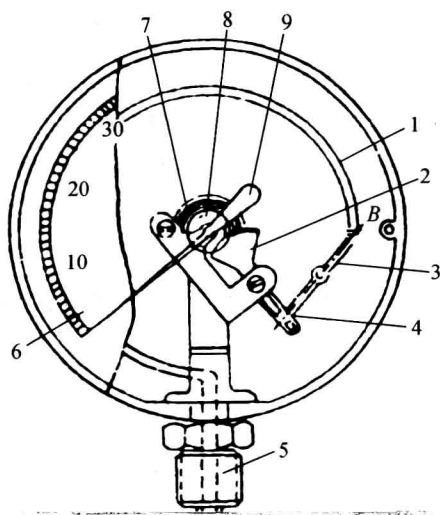


图 2.6

1—弹簧管；2—扇形齿轮；3—拉杆；4—调节螺钉；5—接头；
6—表盘；7—浮丝；8—中心齿轮；9—指针

金属真空计其结构如同金属压力计。当小于大气的压强作用于铜管内壁时，铜管弯曲，通过拉杆和齿轮的作用，使指针偏转，以指示真空值。

2.1.5 脉动压力传感器

近代压力传感技术主要向快速、多点测量的方向发展。对流体脉动压强可采用非电量电测技术进行测量。这种方法主要是利用电子元件制成的探头（传感器）将流体压强的变化转变为电学量的变化（如电压、电流、电容或电感等），然后用电子仪器来计测这些电学量，再经过某些相应的换算而求得压强的变化值。常用的压力传感器有以下几种：电阻应变式压力传感器、电容式压力传感器、电感式脉动压力传感器等。

根据测量要求及测压元件的形式不同，可制成不同形式的应变式传感器。与压力传感器测压时配用的二次仪表如图 2.7 中虚线框内所示。

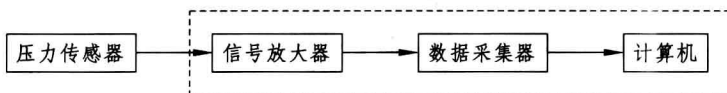


图 2.7

信号放大器将压力传感器的电信号放大，经数据采集器将数据直接输入主控计算机显示及分析处理。

采用压力传感器测量压强的方法可改变以往静态单点测量方式，实现动态连续的多点测量，测量速度及精度大为提高。

在管路沿程阻力实验、绕流阻力实验等提高性、综合性、设计性实验中都采用了压力传感器的测量方法。

2.2 水位的量测

2.2.1 测压管式水位计

由于测压管可以如实地显示无压容器、明渠等的水面标高，因此也可作无压流动的水位的量测。此种方法应用较广，其精度约为 1 mm ，测压管径不宜太细，以内径大于 10 mm 为宜。

2.2.2 水位测针

水位测针是实验室测量水位、水面曲线等基本量的主要仪器之一。如图 2.8 所示, 套筒 1 牢固地安装在支座 2 上, 测杆 3 以弹簧片嵌固在套筒上, 通过齿轮盘带动套筒上下移动来调整测针上下。水位测针结构简单, 而精度可达 0.1 mm 。为了避免表面吸附作用的影响, 还可把针尖做成钩状。

量测时,应自上向下逐渐接近水面(勿从水中提起),直至针与其水中倒影刚巧重合;钩状测针则先将针浸入水中,然后徐徐向上移动至使针尖触及水面时进行测读;量测波动水位时,则应测量最高与最低水位多次,取平均值作为平均水位。

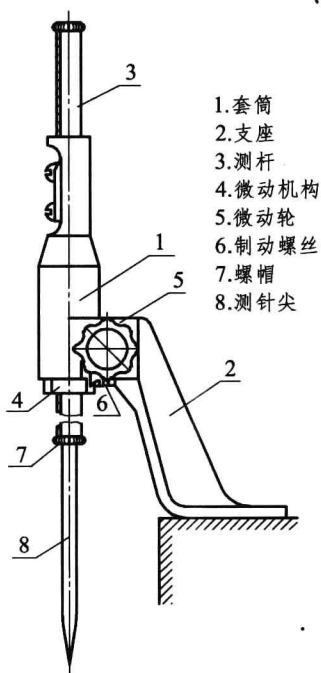


图 2.8

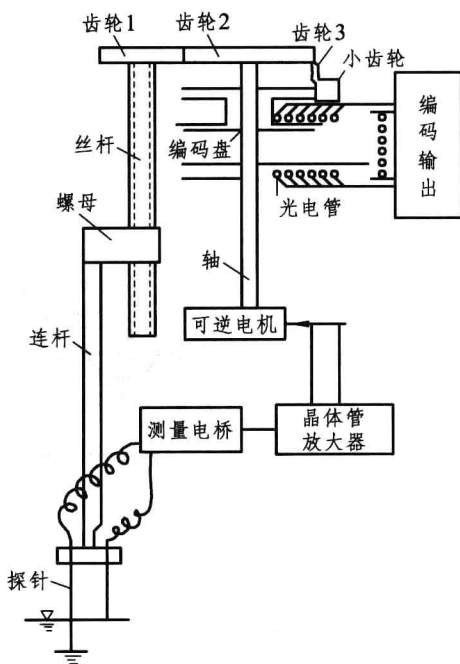


图 2.9

2.2.3 数字编码自动跟踪仪

数字编码自动跟踪水位仪是近年来研制成功的一种测量仪器。它与数字记录仪或巡回检测仪配合，可作多点测量，并将数据打印记录；也可作单点测量，数字显示。

数字编码自动跟踪水位仪由电阻电桥器、可逆电机及传动机构、编码器和数字显示部分组成，如图 2.9 所示跟踪水位仪的传感器是两根不锈钢探针，一长一短，长的一根接地，短的一根插入液体一般 $0.5\text{ mm} \sim 1.5\text{ mm}$ 深度，作为电桥的一臂。当探针相对于水面不动时，两根探针间的水电阻不变，此时电桥处于平衡状态，无讯号输出。当水位升降变化时，水电阻改变，使电桥失去平衡。将电讯号送入放大器，放大的电讯号驱动可逆电机转动，带动探针上下移动，达到平衡位置，电桥亦无输出，电机停止转动，从而达到跟踪水位的目的。

目前国产水位仪最大跟踪速度为 1.5 m/s ，跟踪最大距离 400 cm ，读数精度为 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。

2.2.4 电感闪光测针

电感闪光测针如图 2.10 所示。其原理是利用水为导电介质的特点，当针尖接触水面时，电流接通，闪光灯发亮。电感闪光测针主要用来测量不便于操作的高处或远处的水位及某些无法用目测或需要监测和控制水位的场合。

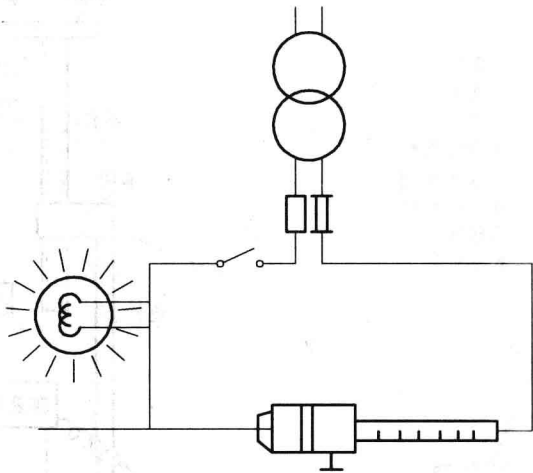


图 2.10

2.3 流量的量测

流量测量分直接测量法与间接测量法两种。

2.3.1 直接测量法

1. 重量法测流量

设 T 段时间内流入水箱内的液体重量为 G ，比值 G/T 就是单位时间液体的重量流量。

2. 体积法测流量

设时间 T 内液体流入准确标定过的水箱（量桶）容积为 V ，比值 V/T 就是单位时间液体的体积流量。

以上两种方法多用于小流量液体的测量，具有较高的精确度。

2.3.2 间接测量法

1. 量水堰测流

量水堰的形式有多种，如薄壁堰、宽顶堰、实用断面堰等。用薄壁堰测流，首先要做出堰板的率定 $Q=f(H)$ 。测量时只要测出水头 H ，即可查得流量 Q 。薄壁堰过流断面形式有多种，如三角形、矩形、梯形等，如图 2.11 所示。

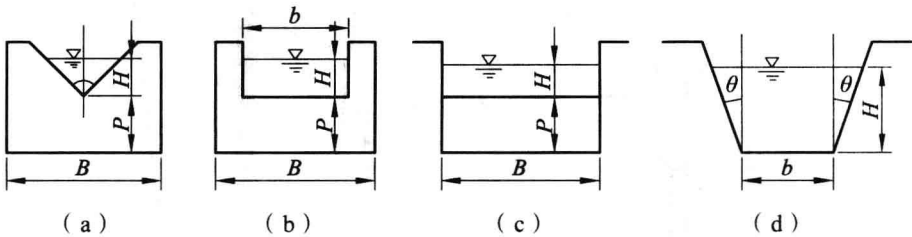


图 2.11

1) 直角形三角堰

直角形三角堰（见图 2.11 (a)）是根据过堰流量 Q 与三角堰顶水头 H 之间的一定函数关系 $Q=f(H)$ ，通过测定 H 转而计算出 Q 。目前采用的公式是 $Q=CH^{5/2}$ ， C 为三角堰的流量系数，随 H 略有变化，初步计算时可取 $C=1.4$ 。也可先制成 $Q-H$ 曲线表，便于查用。式中 H 的单位以 m 计算， Q 的单位为 m^3/s 。其适用范围（ $H \approx 0.05 m \sim 0.25 m$ ）：堰高 $P \geq 2H$ ，堰宽 $B \geq (3 \sim 4)H$ 。

2) 矩形堰

矩形堰或称全宽堰，如图 2.11 (c) 所示。其堰板过流宽度 b 与堰宽 B 相等，流量公式为：

$$Q=m_0 b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (2.2)$$

式中 H ——堰上水头；

m_0 ——流量系数（需通过率定实验确定）。

矩形薄壁堰另有侧收缩堰（四角堰），如图 2.11（b）所示。其堰板宽度 b 小于堰宽 B 。矩形堰可量测大流量，但误差较大，因一部分水的周边和边墙相接，通气条件不好。

2. 孔板流量计

标准孔板是一种使流量截面发生收缩的装置，它做成薄板形状，具有与管道同心的圆孔，在流束流入的一端，圆孔有尖锐的直角边缘。标准孔板如图 2.12 所示。孔板流量计由一块直接安装于管路中的孔板，配合 U 形差压计组成。由于经孔板水流收缩急剧，在孔板前后产生许多一定尺度的反向旋涡，管道的局部阻力加大，因而能量损失较大，故孔板的流量系数较小。

孔板流量计、喷嘴流量计、文丘里流量计均属于变截面差压式测量仪器，它们的原理和流量公式均相同，即 $Q = \mu A \sqrt{\frac{2g\Delta h}{1 - (d_2/d_1)^4}}$ 。由于其结构简单，量测方便，目前被广泛用于工业管道作为计测蒸汽、常温气体、水等流体的流量之用。

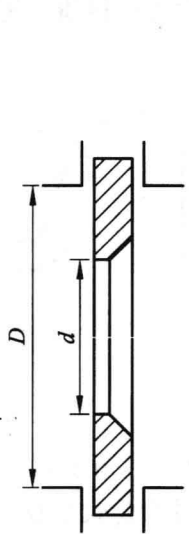


图 2.12

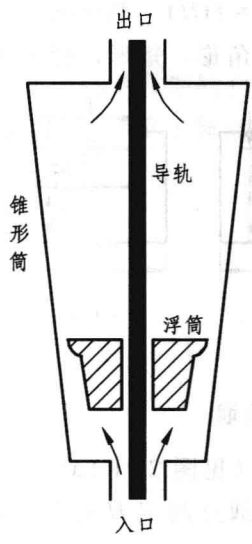


图 2.13

3. 转子流量计

转子流量计（或称浮子流量计），如图 2.13 所示。转子流量计常用于小流量的测量，是工业管道和实验室最常用的流量装置之一。具有结构简单、直观、能量损失小等优点。该装置主要由表面标有刻度、内径上粗下细的锥形玻璃筒和置于筒内可沿中轴上下滑动的不锈钢浮子所组成，被浮子节流，在浮子上下游之间产生压差，浮子在此压差作用下上升。当使浮子上升的力和浮子所受的重力及黏性力三者的合力相等时，浮子处于平衡位置，因此流经流量计的流体流量与浮子的上升高度，即与流量计的流通面积之间，存在着一定的比例关系，这就是转子流量计的基本工作原理。

4. 涡轮流量计

涡轮流量变送器的结构如图 2.14 所示。它主要由叶轮组件、导流件、壳体和前置放大器所组成。当被测介质流过变送器时，变送器内的叶轮借助于流体的动能而旋转，导磁的叶轮即周期性地改变磁感应系统中的磁阻值，使通过线圈的磁通量发生变化而产生脉冲电讯号，经过前置放大器放大后，送至显示仪表实现流量测量。在测量范围内，讯号脉冲数与叶轮的转速成正比，叶轮的转速与流量成正比，所以测得脉冲总数 N 后，除以仪表常数 f ，便得到总流量 $Q=N/f$ 。

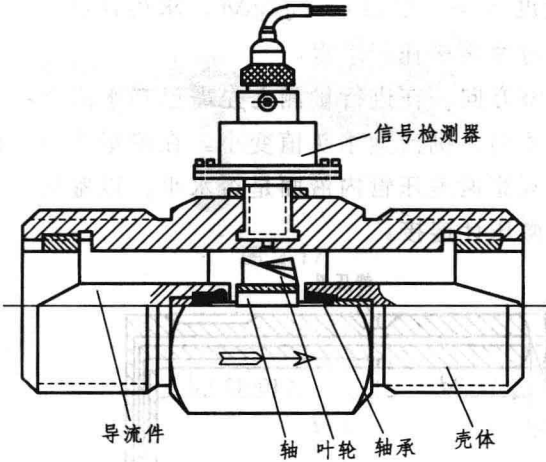


图 2.14

由于涡轮流量计对流量的测量精度高（可达 1%）、反应快、维修方便，故常用于实验室及科学研究中。但其测量小流量的精度不高，且流体通过旋转涡轮时，能量损失较大，并对水质的较高要求。

5. 超声波流量计

超声波流量计如图 2.15 所示，其作用原理是基于同时测量顺流和逆流传播的脉冲——超声波振动的频率。它利用超声波传播的速度在顺水流方向时增大，逆水流方向时减小的特点，测出传播速度的差值，从而求出水流速度以测定出流量。超声波流量计为无阻塞式仪表，它线性范围广，对低流速也能准确测定，并能测量迅速交变的正逆两个方向的流量，以及测量大截面管道中的脏污液体的流量。

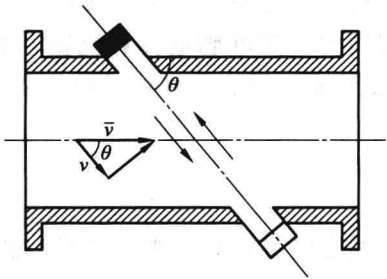


图 2.15