



土木工程实验系列教材
TUMU GONGCHENG SHIYAN XILIE JIAOCAI

水力学实验

SHUILIXUE SHIYAN

程香菊 田 甜 编著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

土木工程实验系列教材

水力学实验

程香菊 田 甜 编著



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

水力学实验/程香菊,田甜编著. —广州:华南理工大学出版社, 2017. 2

土木工程实验系列教材

ISBN 978 - 7 - 5623 - 5156 - 6

I. ①水… II. ①程… ②田… III. ①水力实验 - 高等学校 - 教材 IV. ①TV131

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 006938 号

水力学实验

程香菊 田甜 编著

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutcl3@scut.edu.cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 赖淑华

责任编辑: 刘 军 骆 婷 庄 彦

印 刷 者: 佛山浩文彩色印刷有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 10 字数: 241 千

版 次: 2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 20.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

土木工程实验系列教材

编辑委员会

主 任：苏 成

副主任：王 湛

编 委：（按姓氏笔画排序）

巴凌真 邓 晖 杨医博

时丽珉 张汉平 郑亚晶

郑国梁 黄文通 程香菊

前 言

水力学是一门研究液体(主要是水)的运动规律以及实际应用的学科,是许多工科专业重要的技术基础课。在许多工农业生产部门,如水利、水力、航运、交通、建筑、环境、石油、化工等部门,都涉及大量与液体运动规律相关的生产技术问题,具备水力学知识是解决这些问题的必备条件之一。

本书为与水力学配套的实验手册,不仅介绍了传统的现场观测方法、实验研究方法以及相关仪器设备,注重学科基础理论知识的运用,还介绍了现代测量技术,紧跟学科及科研的发展,在内容上比较全面和实用。

全书共5章,第1章是实验数据基础分析方法,介绍了量纲分析和数据误差分析两种数据处理方法;第2章是流体测量的基本要素,介绍了液位、流速、流量和压强4个基本要素的测量方法;第3章是操作测量类实验,第4章是演示类实验,两章共介绍了25个水力学实验项目,涵盖了水力学教学大纲要求的所有实验。每个实验项目都包括实验目的、装置、原理、方法与步骤、数据分析以及思考题。第5章是现代化测量技术,介绍了粒子图像测速技术、多普勒全场测速技术、平面激光诱导荧光技术、现代水准仪测量技术以及现代海洋造波技术等7项高科技测量技术。

本书编写人员有:华南理工大学土木与交通学院水利系程香菊教授(第1、4、5章)、水力学及水工实验室田甜实验员(第2、3章)。全书由程香菊统稿,田甜和研究生谢宇宁参与部分校核工作。

本书在编写过程中参考了相关的论著、文献、规范和资料,在此谨向相关文献的作者致谢。由于编者水平有限,书中难免出现疏漏与不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2016年6月

目 录

第1章 实验数据基础分析	1
1.1 量纲分析	1
1.2 数据误差分析	2
第2章 流体测量的基本要素	4
2.1 液位的测量	4
2.2 流速的测量	14
2.3 流量的测量	21
2.4 压强的测量	32
第3章 操作测量类实验	40
3.1 静水压强测量实验	40
3.2 平面静水总压力实验	44
3.3 恒定总流能量方程实验	48
3.4 恒定总流动量方程实验	52
3.5 毕托管测速实验	55
3.6 文丘里流量计实验	58
3.7 雷诺实验	61
3.8 沿程水头损失实验	63
3.9 局部水头损失实验	67
3.10 孔口与管嘴出流实验	71
3.11 明渠水跃实验	74
3.12 堰流实验	77
3.13 达西渗流实验	81
3.14 渗流的电模拟实验	84
3.15 明渠糙率测定实验	86
3.16 闸孔出流实验	88
第4章 演示类实验	92
4.1 静压传递自动扬水演示实验	92
4.2 流谱流线演示实验	94
4.3 壁挂式自循环流动演示实验	96
4.4 自循环虹吸原理演示实验	99

4.5	紊动机理演示实验	101
4.6	明渠水面曲线演示实验	104
4.7	水击综合演示实验	107
4.8	空化机理演示实验	110
4.9	势流叠加演示实验	112
第5章	水力学现代化测量技术	114
5.1	激光多普勒测速技术	114
5.2	相位多普勒粒径测速技术	117
5.3	粒子图像测速技术	120
5.4	多普勒全场测速技术	122
5.5	平面激光诱导荧光技术	124
5.6	现代水准仪测量技术	128
5.7	现代海洋造波技术	133
附录	水力学常用数据表	138
参考文献		148

第1章 实验数据基础分析

1.1 量纲分析

1.1.1 量纲分析基本概念

物理量一般分为有量纲量(与测量单位有关)和无量纲量(与测量单位无关)。不同的物理量具有不同的量纲,量纲也称为因次,分为基本量纲和导出量纲。基本量纲普遍选取为时间 T 、长度 L 、质量 M 和温度 θ ,它们具有独立性,相互之间不能由其他基本量纲组合或推导出来。导出量纲由基本量纲组合或推导获得。不难看出,某一物理量的量纲可以由基本量纲的幂次式乘积形式表示。

量纲分析是对所涉及物理量的属性进行分析,推求各物理量之间规律性的方法。当用物理方程正确描述一个物理现象所代表的客观规律时,等号两端各项必须保持量纲的一致性,也均可以改写为无量纲的项组成的方程而不会改变物理过程的规律性,即量纲和谐原理。

1.1.2 量纲分析的基本定理—— π 定理

当一物理现象可由 n 个物理量的函数关系来描述,而这些物理量包括有 m 种基本因次时,则可以用因次分析的方法获得 $n-m$ 个无因次数群。而这个现象的特征可以用这 $n-m$ 个无因次数群的关系形式来表示,即 π 定理,它是由布金汉(Buckingham)于1914年根据物理方程式量纲和谐的原理导出的。

对于某个物理现象,如果存在 n 个变量互为函数,即 $F(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ 。而这些变量中含有 m 个基本量,则可排列这些变量成 $n-m$ 个无量纲数的函数关系 $\phi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0$,即可合并 n 个物理量为 $n-m$ 个无量纲 π 数。

π 定理的解题步骤:

(1) 确定关系式。根据对所研究现象的认识,确定影响这个现象的各个物理量及其关系式。

(2) 确定基本量。从 n 个物理量中选取所包含的 m 个基本物理量作为基本量纲的代表,一般取 $m=3$ 。在管流中,一般选管径 d 、黏度 ν 、密度 ρ 三个作基本变量,而在明渠流中,则常选用水深 H 、黏度 ν 、密度 ρ 。

(3) 确定 π 数的个数 $N(\pi) = n - m$,并写出其余物理量与基本物理量组成的 π 表达式。

(4) 确定无量纲 π 参数。由量纲和谐原理解联立指数方程, 求出各 π 项的指数 x 、 y 、 z , 从而定出各无量纲 π 参数。 π 参数分子分母可以相互交换, 也可以开方或乘方, 而不改变其无因次的性质。

(5) 通过实验求解无因次化变量的函数关系。

从以上步骤可以看出, 量纲分析法的特点在于, 它不是直接寻求单个因素之间的关系, 而是通过无因次化处理, 将单个变量组合成数目较少的无因次变量, 然后求解无因次变量间的函数关系。按无因次变量组织实验, 实验次数大为减少, 实验工作简便易行, 实验结果便于推广应用。在量纲分析法指导下的实验研究, 只得到过程的外部联系, 而对于过程的内部规律则不需深入了解, 这是量纲分析法的另一大特点。原则上量纲分析法对于各种研究对象皆适用。

1.2 数据误差分析

1.2.1 误差的基本概念

我们对物理量进行测量, 为的是能获得该物理量的真值, 但真值只是一个理想值, 再精确的测量也无法获得。所以, 每一次的测量, 总会因为仪器、人员、环境、方法等因素的影响, 使测量必定出现一定程度的误差, 从而获得的只是一个近似值。误差是指真值与近似值之差, 即

$$\text{误差} = \text{真值} - \text{近似值}$$

1.2.2 平均值

测量时, 对物理量进行多次测量后, 由于误差的存在, 每次的测量结果都会不尽相同, 此时, 可以取一组测量结果的平均值作为近似的真值, 具有一定的代表性。在等精度的几次测量中, 测得一组近似值 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 通过最小二乘法原理可知, 在等精度测量中, 算术平均值为最佳值。算术平均值的算式为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1-1)$$

在测量时, 如果进行非等精度测量, 其结果就会有不同的可靠程度。在计算平均值时, 对可靠性更大的测量结果赋予更大的权重, 从而算得的平均值为加权平均值。设一非等精度测量结果为 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 其权重分别为 $p_1, p_2, \dots, p_n$, 其加权平均值的算式为

$$\bar{x}_{\text{权}} = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_n x_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} \quad (1-2)$$

均方根平均值是通过所测得的一组测量结果 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 平方的平均值再进行开方来表示的平均值, 其算式为

$$\bar{x}_{\text{均方根}} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} \quad (1-3)$$

1.2.3 误差估算

在对物理量进行的 n 次测量中, 所得各次绝对误差的绝对值的算术平均值, 叫作算术平均误差。设进行的 n 次测量中的绝对误差为 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$, 则算术平均误差算式为

$$\bar{\Delta} = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_n|}{n} = \frac{\sum |\Delta_i|}{n} \quad (1-4)$$

式中, $|\Delta_i|$ 为测量值与平均值的绝对误差, 即偏差。

算术平均误差的计算虽然简单, 但是不能显著地反映出测量数列中存在较大误差的影响。如当两个测量数列的算术平均误差相等时, 不能以此认为这两个测量数列具有相同的精度, 只能通过其他方法进行分析。

均方根误差 σ , 即标准误差, 是为了解决算术平均误差的显著不足, 在实际测量中求得各个测量值误差平方的算术平均值后进行开方所得的值。其算式为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}} \quad (1-5)$$

在有限次的测量中, 均方根误差通常用贝塞尔公式来计算, 即

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1-6)$$

通常把均方根误差(标准误差)作为判别测量数列精度的标准。采用均方根误差不仅避免了正、负误差的相互抵消作用, 而且较大的误差在平方后显得更大, 可以显著地反映出误差的精度, 因此, 在实际测量中得到广泛的应用。

第2章 流体测量的基本要素

2.1 液位的测量

液位的测量是水力要素测量中的重要内容之一，准确地测量液位，是做好水力学实验的重要基础。因为在水力学实验操作中，需要测量的流速、流量和压强等基本水力要素，都需要首先测量液位。

当水流的运动状态不同时，水流的表面特性也有区别。静止状态的液体或流速较小的液流，其液面较为稳定，很少发生波动；对于流速较大的液流，液面常常会出现不规则的波纹，因此会发生较明显的波动；而对于高速的液流，液面的波动会更大，甚至还会掺入气体。所以对于液位的测量也必须针对其不同的特点来选取比较合适的测量仪器和测量方法。

2.1.1 恒定液位的测量

恒定液位即不随时间的变化而发生变化的液位。主要的测量方法有测尺、测针、测压管等。

1. 测尺

测尺主要有木制或者金属制两种，并带有刻度。测量方法是：直接将测尺垂直插入液体中或者在玻璃水槽、玻璃测管外面直接测读液面高程。这种方法虽然简单、直接，但是由于液体的表面张力和液面波动的影响，导致精度相对较低。在测量过程中要注意尺子的起始刻度所在的位置，读数时视线要与刻度线平齐。

2. 测针

测针是测量恒定液位时最常用的一种仪器。

构造：其构造如图2-1所示。套筒牢固地安装在支座上，测针杆是可以上下移动的标尺杆，测量时置于刻有游标的套筒上，微动齿轮可以使测针和标尺做上下的微量移动，达到测针尖刚好与液面接触的目的。测针尖可以做成针形或者钩形。

数值：液位值即为测针尖刚好接触液面时，

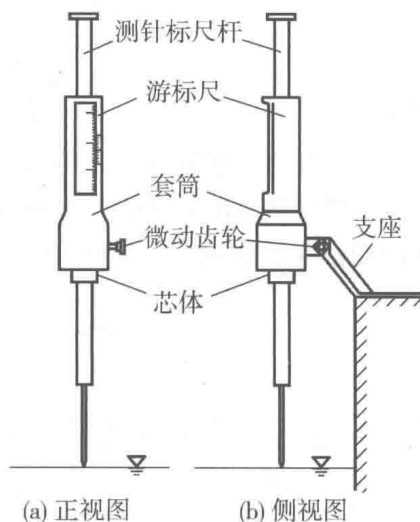


图 2-1 测针

游标尺上的零对应测针标杆尺的数值。测针的单位刻度为 1mm，游标刻度与测针刻度重合处游标的读数精度为 0.1mm。

操作方法：移动测针杆测量液位时，应一只手托住套筒，另一只手抓住测针杆将其向上或向下移动到测点的位置附近，此为粗调；然后旋转微动齿轮，使其上下做微量移动至针尖刚好接触液面，此为细调。细调的范围有限，一般不大于 0.4cm，防止损坏测针。当微动齿轮向某一方向移动受阻时，应将齿轮向相反的方向旋转，使测针杆向上或向下移动 1.5cm 左右，再重新按粗调、细调的步骤将测针移至测点的位置。有时为了操作更方便，在旁侧安装测量筒，将液体引出后，直接在量筒上进行测量。此时液面平静，测量精度较高，但只适用于渐变流断面；同时要特别注意连通管内不得存留气泡，否则会使测量结果失真。

使用测针时的注意事项：测针尖不宜过于尖锐，应该以半径为 0.25mm 的圆尖为宜；测量时，应该使针尖自上而下地逐渐接近液面，当针尖刚好与液面接触时便立即停止移动测针，微调至测针尖与其在液中的倒影刚好重合时，即为液位的读数。钩形测针则先将针尖浸入水中，再逐渐上移至针尖刚好触及液面时，即为液位的读数。液面有波动时，应测量多次，取其均值作为最终的液位。经常检查测针有无松动、针尖有无变形等情况。

3. 测压管

测压管是根据连通管等压面原理制作的，它由测压孔、连通管、测压管和刻度尺等几部分组成，如图 2-2 所示。测量时，测压管内液位与容器、水槽内部的液位等高，利用安装在测压管旁的刻度尺即可间接地读出容器内液位值。但应该注意管内不能存有气泡，如果有，测量前应该设法排除，这样才能保证测量读数的准确性。测压管的精度为 1mm 左右。因为测压管法测读方便、精度也高，所以广泛应用在实验室及工业生产中。

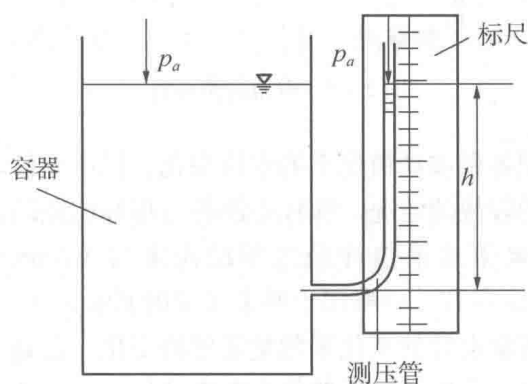


图 2-2 测压管

2.1.2 非恒定液位的测量

非恒定液位即随时间的不同而发生变化的液位。一般采用液位计来进行测量，主要有跟踪液位计和浮子液位计等。

1. 跟踪液位计

跟踪液位计因其传感器的方式不同分为电阻式液位计和电容式液位计。

电阻式液位计的构造原理如图 2-3 所示。电阻式液位计的传感器是两根不锈钢探针，较长的一根接地并且没入液体中较深处，较短的一根针尖没入液体中 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$ 处。当探针相对于液面不动时，两根探针之间的液体电阻是不变的。此时该电阻作为测量电桥的一个臂，电桥是平衡的，无信号输出。当液位发生变化时，电流通过液体，电阻值也随着液位发生变化，电桥随之失去平衡，从而产生输出信号。输出信号经放大器放大后，驱动可逆电机，通过齿轮的转动使测杆上下移动，驱使探针又回归到平衡位置，从而探针自动跟踪液位的变化。

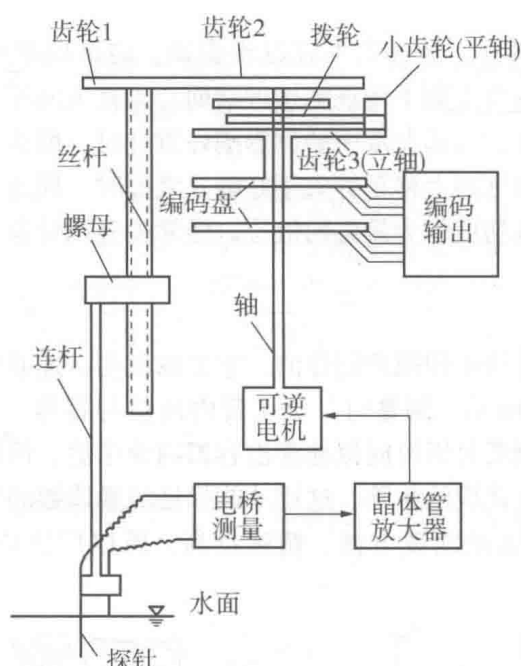


图 2-3 电阻式液位计

这种液位计可以测记各种波动情况下的水位变化，但由于传动部分中的惯性还不能完全消除，故对水位波动较快的情况，探针不能进行很好的跟踪。

目前实验室常用的电阻式液位计最大跟踪速度为 5.5mm/s ，跟踪距离为 $20 \sim 40\text{cm}$ ，读数误差为 0.1mm 左右，一般用于明渠水位的测量。

电容式液位计通过测量电容的变化来测量液面的变化。它是一根金属棒插入盛液容器内，金属棒作为电容的一个极，容器壁作为电容的另一极。两电极间的介质即为液体及其上面的气体。由于液体的介电常数 ϵ_1 和液面上气体的介电常数 ϵ_2 不同，比如： $\epsilon_1 > \epsilon_2$ ，则当液位升高时，电容式液位计两电极间总的介电常数值随之加大，因而电容量增大。反之，当液位下降， ϵ 值减小，电容量也减小。所以，电容式液位计可通过两电极间电容量的变化来测量液位的变化。电容液位计的灵敏度主要取决于两种介电常数的差值，而且，只有 ϵ_1 和 ϵ_2 恒定才能保证液位测量准确，因为被测介质具有导电性，

所以金属棒电极都有绝缘层覆盖。电容液位计体积小，容易实现远传和调节。其良好的结构及安装方式适用于高温、高压、强腐蚀环境。它可测量强腐蚀性、高温或密封容器内介质的液位，与介质的黏度、密度、工作压力无关。

2. 浮子液位计

浮子液位计是机械式非恒定液位跟踪测量设备，结构如图 2-4 所示。

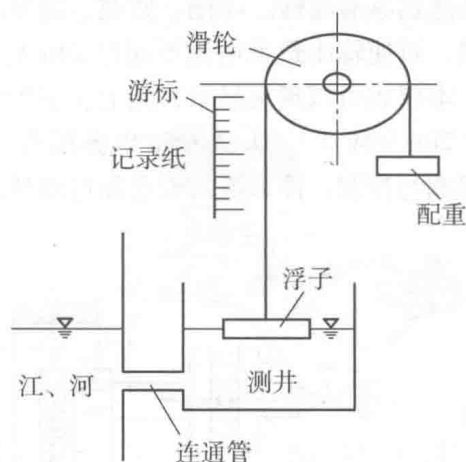


图 2-4 浮子液位计

密度低于液体密度的物体最终会浮在液体表面，这个物体被称为浮子。在条件不变的情况下浮子受到的浮力是恒定的（恒浮力）。当浮子受到一个小于其自身重量的向上的力或者受到一个小于与自身体积相同液体重量的向下的力时，浮子最终会浮在液体表面的特性不会被改变。在稳定状态下浮子受到的浮力是恒定的，在液体表面位置发生垂直改变时，浮子的垂直位置在恒浮力作用下会随液体表面位置变化而同步变化，从而带动游标做相应的运动，自动在运动着的时间记录纸上绘制液位变化曲线。

浮子液位计较笨重且测量精度较差，只适合于测量较大幅度液位的变化，主要用于江河、湖泊、海洋等水位的野外自动跟踪记录。

2.1.3 液位变送器

液位变送器可以直接投入到各种液体中进行测量，适用于恒定液位和非恒定液位。它使用方便，可以直接显示液位，并可与计算机相连，进行数据处理，但精度相对来说不算高。主要介绍下面几种液位变送器。

1. 静压式液位变送器

静压式液位变送器利用液体高度产生压力的测量原理，一般选用扩散硅压力传感器将测量到的压力信号转换成电信号，再经电路放大和补偿，转化成 $4 \sim 20\text{mA}$ 或 $0 \sim 10\text{mA}$ 电流方式输出，或 $0 \sim 5\text{V}$ 直流电压输出。这种液位变送器适用于测量敞口容器的液位。静压式液位变送器安装方式如图 2-5 所示，可分为投入式和直接安装式。

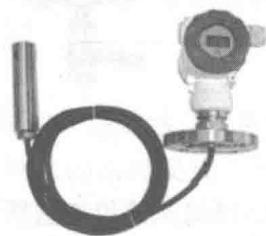


图 2-5 静压式液位变送器

2. 浮球式液位变送器

浮球式液位变送器也可称为磁翻板液位计，它是由磁性浮球、测量导管、信号单元、电子单元、接线盒及安装件组成，如图 2-6 所示。一般磁性浮球的相对密度小于 0.5，可漂于液面之上并沿测量导管上下移动。导管内装有测量元件，它可以在外磁作用下将被测液位信号转换成正比于液位变化的电阻信号，并将电信号转换成 $4 \sim 20\text{mA}$ 或其他标准信号输出。该变送器具有耐酸、防潮、防震、防腐蚀等优点，电路内部含有恒流反馈电路和内保护电路，可使输出最大电流不超过 24mA ，因而能够可靠地保护电源并使二次仪表不被损坏。本仪表可以现场显示，配上、下限位开关可实现距离报警控制，配置变压器转换成 $4 \sim 20\text{mA}$ 或 $0 \sim 10\text{mA}$ 标准电流信号，可与显示仪或微机连接实现液位的远距离显示、检测与控制。浮球液位变送器可测量敞口容器的液位，也可测量密封容器的液位。

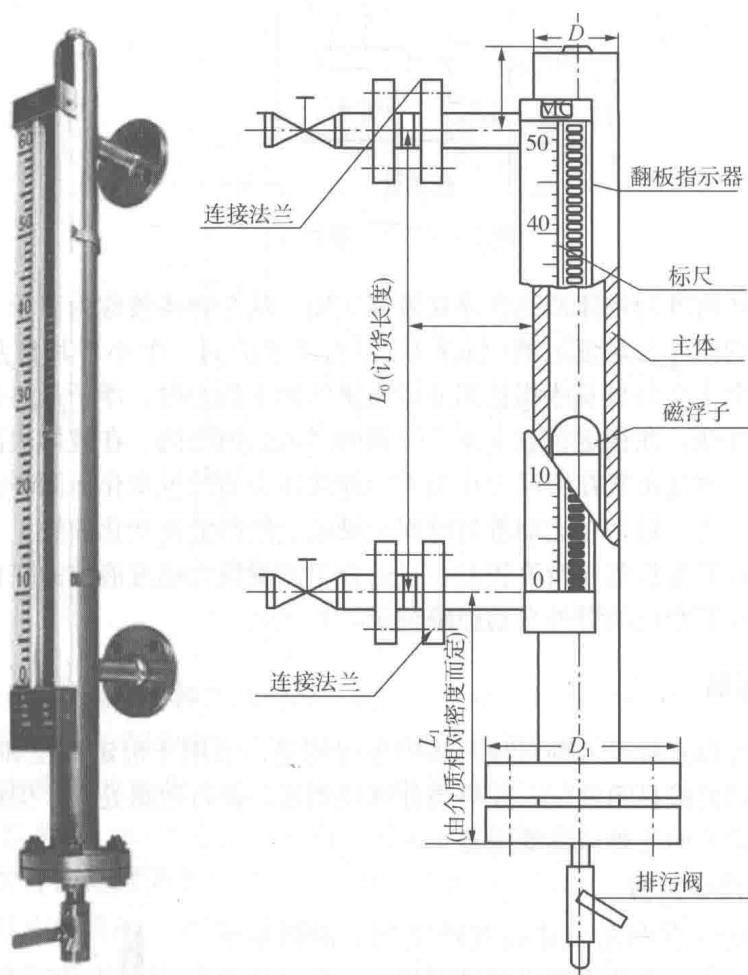


图 2-6 浮球式液位变送器

3. 浮筒式液位变送器

浮筒式液位变送器是将磁性浮球改为浮筒，根据阿基米德浮力原理而设计，利用微

小的金属膜应变传感技术测量液体的液位、界位或密度。它在工作时可以通过现场按键进行常规的设定操作。

4. 双法兰远传差压式液位变送器

双法兰远传差压式液位变送器利用差压原理,通过安装在管道或容器上的远传装置来感受被测压力,如图2-7所示。被测压力经毛细管内的灌充硅油(或其他的液体)传递至变送器的主体,然后由差压变送器主体内的 δ 室和放大线路板,将压力或压差转换成DC4~20mA信号输出。



图 2-7 双法兰远传差压式液位变送器

双法兰液位变送器主要用于高温下黏稠介质、易结晶的介质、带有固体颗粒或悬浮物的沉淀性介质、强腐蚀或剧毒性介质等环境中。双法兰远传差压式液位变送器可防止导压管泄漏污染周围环境,避免了采用隔离液时,因测量信号的不稳定需要经常补充隔离液的麻烦;连续精确测量界面和密度,远传装置可避免不同瞬间介质的交混,从而使测量结果真实地反映过程变化情况。在卫生清洁要求很高的场合,如食品、饮料和医药工业生产中,不仅要求变送器接触介质部位符合卫生标准,而且应便于冲洗,以防止不同批量介质的交叉污染。

2.1.4 潮位的测量

潮位是海洋水文学的基本要素,是物理海洋学重要的研究内容,是变化最快最大的要素之一。水体的自由水面距离固定基面的高度统称为水位,海洋中的水位又称为潮位。潮位变化包括在天体引力潮作用下发生的周期性的垂直涨落,以及风、气压、大陆径流等因素所引起的非周期变化,故潮位站观测到的水位是以上各种变化的综合结果。潮位测量实际上就是测量该点的水深变化。潮位测量的手段很多,主要包括传统水尺法、浮子式潮位仪、引压钟式潮位仪、声学式潮位仪、压力式潮位仪等潮位测量设备,以及GPS和遥感潮位测量技术,这些验潮手段目前国内均有使用。

1. 传统水尺测量法

临时观测站一般利用水尺对潮位进行观测,在没有自计验潮仪的观测站,通常也采用传统水尺的方法进行观测。传统水尺法测量潮位就是将一把特制的水尺安装于水中,如果在码头上,可直接安装在港池壁上;如果在野外,一般要先竖一个木桩,再将水尺固定在桩上。此种潮位观测方法不仅简单、直观,而且便于进行水准联测,无须消耗能源,维护费和设备费低,但是需要人工定时进行读数记录,人力投入相对较大,所得的

数据无法直接进入自动化的流程。这种方法目前已很少使用，但国内一些单位在较偏远、条件差的地区进行短期验潮时仍有采用。

2. 浮子式与引压钟式潮位计测量法

这两种潮位测量法均属于有井验潮测量法。浮子式潮位测量法是利用在海面上漂浮的浮子，随海面的上升与下降而上下浮动，通过传动机构将浮子的上下运动转换为记录纸滚轴的旋转，记录笔则在记录纸上留下潮汐变化的曲线。引压钟式潮位测量法是将引压钟放置于水底，将海水压力通过管路引到海面以上，通过自动记录器对潮位进行记录。因为这两种潮位测量法均属于有井验潮测量法，因此需要专门在水中建立验潮井，即从海底竖立一井至海面，其井底留有小孔与井外的海水相通，通过“小孔滤波”的方法将海水的波动进行滤除，使井内的海面几乎不受井外海面涌波的影响，只会随着潮位而发生改变。这两种测量方法的特点是精度较高、维护方便，国内的长期验潮站大多采用这两种方法。这两种测量方法由于安装复杂，须打井建站，适用于岸边的长期定点验潮。

3. CCD 传感器测量法

CCD 传感器的测量系统主要由 CCD 图像采集单元、长焦成像单元、均码标尺、数据处理和结果显示等组成，如图 2-8 所示。测量系统主要采用标尺相对高度的方法进行测量。首先需要标定标尺的顶部高度 H_a ，以此作为测量的基准，通过目标物与基准的相对距离 H_b 来求得目标的绝对高度 H_c 。此种方法自动化程度较高，能够从一定意义上减少工作量。但是此种方法在夜间运行时，信号获取不太稳定。

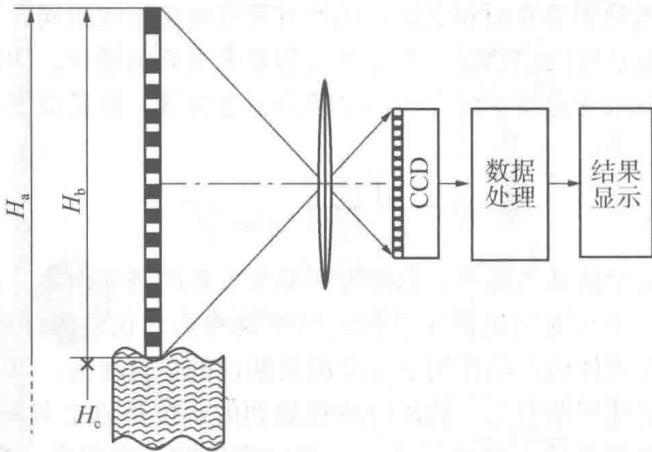


图 2-8 标尺测高原理图

4. 声学式验潮仪测量法

利用声学仪器进行潮位的测量，不需要建设验潮井，主要是利用空气声学回声测距的原理。根据探头的安装位置，声学式验潮仪可以分为水上与水下两种。

水上声学式验潮仪一般将垂直朝向海面的声学探头安装在海面上的某一固定位置（如固定的桩上或者海上固定平台），探头定时向海面发射声波，声波传播到海面后经海面反射，返回到声学探头。根据声波往返于探头的时间，即可算得设备安装位置与海