

水力学基本知识

周俊昌 张玉书 編著

人民交通出版社

7726
9211

502
7726

水力学基本知识

周俊昌 張玉书 編著

人民交通出版社

本書介紹水力学各方面的基本知識。內容包括靜水力学、動水力学、水流阻力和水頭損失，液體的無壓均勻流動，液體在有壓管路中的流動，液體的孔口洩流和管咀洩流，堰頂洩流和公路過水建築物中洩水孔之計算等等。

本書可供公路部門水工建築部門中的具有初中文化程度的工人和初級技術人員學習參考。

水 利 學 基 本 知 識

周俊昌 張玉書 編著

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新 華 書 店 發 行

人民交通出版社印刷廠印刷

*

1960年1月北京第一版 1960年1月北京第一次印刷

開本：787×1092 1/32 印張：5 1/4 張

全書：153,000字 印數：1—3,000冊

統一書號：15044·2939

定價(3)：0.57元

目 录

第一章 水力学概說	5
第一节 水力学研究些什么	5
第二节 水力学的发展簡史	6
第三节 液体的物理性質	6
(一)液体的单位体积重量	6
(二)液体的密度	10
(三)液体的压缩性	11
(四)液体的粘滯性	11
(五)液体的温度膨胀	13
(六)理想液体的概念	13
第二章 靜水力学	14
第一节 靜水压力和水压机	14
第二节 什么是等压面	19
第三节 連通器是什么? 有何用处?	21
第四节 測量压力的仪器	23
第五节 平面上的靜水压力和奇妙的“靜水現象”	26
第六节 压力作用点	29
第七节 圓柱面上的靜水压力	32
第八节 如何繪制靜水压力图	37
第九节 物体在水中的沉浮	39
第三章 动水力学基础	43
第一节 动水力学研究些什么	43

第二节 基本概念	44
第三节 液体运动的种类	45
(一) 稳定流和不稳定流	45
(二) 等速流和变速流	47
(三) 压力流和无压流(自由流)	48
(四) 层流和紊流	49
第四节 什么叫做过水断面、湿周、水力半径、 流量和平均流速	50
第五节 一个重要的公式——伯诺里方程式	54
第六节 怎样测定输水管里水的流量	62
第七节 如何测量河流和渠道中的流速与流量	66
第四章 水流阻力和水头损失	71
第一节 液体的粘滞性和牛顿的内摩擦定律	71
第二节 液体运动的两种状态	74
第三节 液体运动的层流状态	78
第四节 液体运动的紊流状态	81
第五节 水头损失的基本公式	84
第六节 局部水头损失的计算	88
第五章 液体的无压均匀流动	91
第一节 什么是明渠等速流	91
第二节 明渠的水力计算	94
第三节 明渠的水力最佳断面是怎样的	101
第四节 容许流速	106
第五节 天然河槽	107
第六节 无压管流	109
(一) 圆形断面	109
(二) 卵形断面	110

(三) 矩形断面	111
第六章 液体在有压管路中的流动	112
第一节 管路系统的分类	112
第二节 管路计算的基本公式	114
第三节 简单管路	118
第四节 虹吸管是怎样工作的	123
第五节 复杂管路的简单介绍	124
(一) 分支管路	125
(二) 环形管路	127
第七章 液体的孔口洩流和管咀洩流	129
第一节 薄壁底部孔口洩出之液流	129
第二节 流速系数、收缩系数和流量系数	131
第三节 侧壁孔口洩出之液流	134
第四节 管咀之洩流	136
(一) 外伸式圆柱形管咀	136
(二) 内插式圆柱形管咀	136
(三) 收缩式圆锥形管咀	137
(四) 扩张式圆锥形管咀	139
(五) 钟形管咀	139
第八章 堰顶溢流	140
第一节 堰及其分类	140
第二节 薄壁堰	144
第三节 宽顶堰	148
第四节 实用断面堰	152
第九章 公路过水建筑物中洩水孔之计算	155
第一节 水流通过小型桥孔及无压涵洞的 基本形式	155

第二节 基本的計算公式	158
第三节 小桥和涵洞的孔径計算	161
(一)不淹沒式小桥的孔径計算	162
(二)淹沒式小桥的孔径計算	165
(三)无压式涵洞的孔径計算	167
(四)压力式涵洞的孔径計算	168
第四节 大中桥孔径計算的基本概念	174
附希臘字母表	180

第一章 水力学概說

第一節 水力学研究些什么

水力学是一門实用科学，它研究液体的靜止和运动的规律，并运用这些规律来解决工程实践中各种各样的問題。

水力学的实用意义是非常巨大的，因为它是很多技术部門工程計算的基础。任何一种专业的工程技术人员和工人，都要在自己的工作中和水力現象发生关系，只是研究的范围和深度有或大或小的不同而已。

正如大家知道的，水力学这门知識不仅在水利技术，水力机械，上下水道和水运等方面得到实践应用，而且在公路工程方面也早已显示出它的重要性。例如在路基工程方面，路面积水的排除，边溝的設置，地下水体的处理，路基临水边坡的加固等等；在桥涵工程方面更广泛的运用着水力計算，桥梁和涵洞孔徑的决定，河床的加固，导治結構物的設置，河流的改道，以及桥涵基础工程等方面都不同程度地应用着水力学方面的知識。

水力学和另一个研究液体靜止和运动规律的科学——流体力学是不相同的。一般說来，水力学的結論是建筑在簡化了的的水力現象基础之上的。在水力学的理論方程式中，常常要列入一些由經驗和試驗得来的系数。因此，有人也把水力学称为經驗式的科学，也即是一种經驗的公式和系数的科学。尽管如此，在实用上它的正确性仍然是令人满意的。流体力学和水力学不同的地方是它在解答方面的精确性和普遍性。流体力学具有严密的純理論的数学性質，在研究水力現象时，常常得使用高等数学中的微分方程。現時，使用流体力学来解决实际問題依然大大地受到限制，但流体力学研究的方法与成果，愈来愈多地在水力学方面得到使用，从而减少了这两門学科的差別。

水力学可以分为两部：研究液体平衡规律的靜水力学，和研究液体

运动规律的动水力学。

在古代时，水力学的应用范围只限于研究输水管的计算与修建，而现代水力学所研究解决的问题就广泛得多了。

第二節 水力学的发展簡史

在人类的发展历史里，水是起过巨大作用的。人們曾用它供給飲用，灌溉田地以及带动最简单的机械等等。在我国、埃及和叙利亞，早在公元前四千多年的时候，就已經能在河上建筑堤壩，在田地上修筑灌溉系统，而且也制造出行駛在海河上的船只了。

約在两千多年以前，出現了最简单的水力机械——水力发动机。

公元前250年希臘的物理学家阿基米德发现了第一条水力学定律——液体內潛体的平衡定律。水力学之成为一門科学，就常常以此为它的起始年代。但是，在其后的五百多年間，水力学未曾获得任何显著的发展。直到十七、十八世紀才奠定了水力学的理論基础。

第三節 液体的物理性質

在物理学上，把宇宙間的物質分为气态的、液态的和固态的三种。

液态的物質——液体，具有流动性。例如我們把水注入容器內，此时，水就具有容器內壁所規定的形状，这是由于液体各个質点之間具有非常小的內聚力，因而能够很方便地改变自己的形状。而固体則恰恰相反，我們要改变固体的形状就得加很大的力才行。

每一种气体都可以認為是液体的蒸发汽，它們是在液体加热以后变为气体状态的。我們也知道，所有的气体在压力变化的时候都会被压缩或膨胀，而液体則恰恰相反，在压力改变的情况下，它原有体积的大小是不易改变的。換句話說，液体具有不可压缩的性質。

液体具有一些固定的物理性質，例如单位体积重量，液体的密度、压缩性，粘滯性……等等。下面分別加以討論：

(一) 液体的单位体积重量

液体的单位体积重量常常称为該液体的“容重”，也可称为該液体

的“重率”，为了便于了解和记忆，我们今后仍使用“单位体积重量”并以习惯上常使用的字母 γ 来代表它。

“单位体积重量”即一个单位体积（即一立方米或一立方厘米等等）的液体具有的实际重量。例如，有某一种液体，其体积为5立方米，重量为6吨，那么，它的单位体积重量是

$$\gamma = \frac{6(\text{吨})}{5(\text{立方米})} = 1.2(\text{吨/立方米})$$

因此，我们也可以用一句数学上的术语来说明它：单位体积重量等于液体的重量 G 与该液体体积 V 之比值。即

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

式中： G 代表液体的重量。常用的单位是公吨、公斤或克。

V 代表液体的体积。常用的单位是立方米或立方厘米。

由公式(1-1)可以很容易地推演出另一计算式

$$G = \gamma \times V$$

这计算式表明：只要知道液体所占有的体积（可以实际地测量出来）和该液体的单位体积重量（可以从手册或书本中查到），我们就能立即算出该体积液体的总重量。这样的计算给我们带来了许多方便。例如，我们想知道一个能装水10立方米的水塔，当水装满以后，这些水有多少重，我们就用不着把这些水一部分一部分地分开来称过，只要利用上述的计算式就行了。我们知道水的单位体积重量 $\gamma = 1$ （公吨/立方米），体积 $V = 10$ 立方米，因此，水塔里水的总重量是

$$G = \gamma \times V = 1(\text{吨}) \times 10(\text{立方米}) = 10(\text{吨})。$$

当压力改变，或加热于液体时，仅能引起液体单位体积重量很小的变化。我们通常采用水的单位体积重量 $\gamma = 1$ （吨/立方米） $= 1000$ （公斤/立方米） $= 0.001$ （公斤/立方厘米） $= 1$ （克/立方厘米），是指淡水在摄氏温度零上4度时的单位体积重量。这时的压力等于一个大气压力。当温度上升到摄氏零上25度（河水的温度普通都在这个范围内变化）而压力仍为一个大气压力时，水的单位体积重量等于

$$\gamma = 0.997(\text{吨/立方米})$$

由此可見，它和 $\gamma=1$ （吨/立方米）是相差極微的（只相差0.3%）。

純淨的淡水在大气压力下，由于溫度的变化所引起的单位体积重量的变化列于表1中。

在大气压力下和各种溫度时淡水的单位体积重量 表 1

溫度 $t^{\circ}\text{C}$	单位体积重量 (公斤/立方米)	溫度 $t^{\circ}\text{C}$	单位体积重量 (公斤/立方米)	溫度 $t^{\circ}\text{C}$	单位体积重量 (公斤/立方米)
0	999.87	20	998.26	70	977.94
3	999.99	25	997.12	80	971.94
4	1000.00	30	995.76	90	965.56
5	999.99	40	992.35	100	958.65
10	999.75	50	983.20		
15	999.15	60	983.33		

由表1可知：当溫度由 0°C 变到 30°C 时，水的单位体积重量是变化不大的。因此，在解决实际工程問題所进行的水力計算时，常常把这些微小的变化忽略不計，而以 4°C 时水的单位体积重为标准。即 $\gamma=1000$ （公斤/立方米）。由該表中我們还可以看出，当溫度低于 4°C 和高于 4°C 时，水的单位体积重量都比 4°C 时为小。因此，我們就可以用它来解釋日常生活中遇見的液体的两种現象。例如，当水的溫度加热到 4°C 以上时，热的水层因为单位体积重量較小，乃向上升。而較冷的水层则因为单位体积重量較大，乃向下降。因此，洗脸盆中的热水使往上面較熱，而下面的則較冷（它們的溫度差非常小，用手是試不出来的）。与此相反的則是当水冷却到 4°C 以下时，較热的水层则因单位体积重量較大，乃向下降，而較冷的水层因单位体积重量較小反而上升。

除此而外，我們还得提出水的另一个重要性質。即当水由液体状态过渡到固体状态（冰）时，水的单位体积重量減小了。由实测知道：冰的单位体积重量是水的0.9倍。即

$$\gamma_{\text{冰}}=0.9\gamma_{\text{水}}$$

由此可知，当一个单位体积的水全部变成冰时，它的体积也将增大。

$$V_{\text{冰}} = \frac{V_{\text{水}}}{0.9} = 1.1 V_{\text{水}}$$

式中 V 分别代表冰和水的体积，由上式知道：当水变成冰时体积增长了10%。因此，当水管和其他盛水的容器内的水结冰时，水管和容器壁将因水体积之膨胀而受力，严寒时盛水的水缸和花瓶常常会破裂就是这个缘故。在公路桥涵和隧道工程上，这种由于水的冰冻所引起的危害现象，也是很严重的。例如，当水侵入石砌圬工的缝隙中而结冰时，由于体积的膨胀使原来的缝隙更为扩大，严重地破坏了这些建筑物。

几种常见液体的单位体积重量

表 2

液体名称		摄氏温度	单位体积重量 (公斤/立方米)
淡	水	4°	1000
淡	水	15°	999
海	水	15°	1020
水	银	0°	13600
水	银	15°	13553
汽	油	15°	680—780
酒	精	15°	790
石	油	20°	760—800
甘	油	0°	1260
牛	奶	15°	1030

物理学中常用到的比重和上述单位体积重量的区别。如前所述，单位体积重量是一个有单位的量，例如公吨/立方米或公斤/立方米等等单位；而比重则是一个无单位的抽象的量，它表示某已知液体单位体积重量和摄氏4°时淡水的单位体积重量之比值。例如，水银的比重 δ 是：

$$\delta_{\text{水银}} = \frac{13.6(\text{吨/立方米})}{1(\text{吨/立方米})} = 13.6$$

酒精的比重是：

$$\delta_{\text{酒精}} = \frac{0.79(\text{吨/立方米})}{1(\text{吨/立方米})} = 0.79$$

(二) 液体的密度

单位体积内所含的液体的质量叫做液体的密度。以 ρ 代表密度， m 代表质量， V 代表体积。则

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

由物理学中知道，物体重量 G ，物体质量 m 和重力加速度 g 之间有
这样的关系：

$$G = m \times g$$

式中： g 为重力加速度，在计算中常采用

$$g = 9.81 \text{ 米/秒}^2$$

由上式得

$$m = \frac{G}{g}$$

将此式代入 ρ 之关系式中得：

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G}{g \times V}$$

以 $G = \gamma \times V$ 代入上式

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

这个公式表明液体的密度和单位体积重量之间的关系，在水力学的
计算上要常常遇见的。密度 ρ 的单位如下：

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \left(\frac{\text{公斤}}{\text{米}^3} \right) / \left(\frac{\text{米}}{\text{秒}^2} \right) = \left(\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4} \right)$$

由公式 (1-2) 可知：当液体的单位体积重量和重力加速度不变时，
液体的密度也是一定的。换言之，此时的密度将是一常数。

某些液体密度的平均值如下：

水	$\rho = 102$	公斤·秒 ² /米 ⁴
石油	$\rho = 90$	公斤·秒 ² /米 ⁴
汽油	$\rho = 71.5$	公斤·秒 ² /米 ⁴

(三) 液体的压缩性

液体的压缩性是指液体在外力作用下体积缩小的性质。液体的特点是压缩性很小。例如一公升的水在摄氏零度，且外压力从零增到1公斤/平方厘米时，仅仅压缩（即体积缩小）0.005%（即缩小0.0525立方厘米）。

液体压缩性的大小常用体积压缩系数来表示，并按下式计算：

$$\beta = \frac{W_1 - W_2}{P \times W_1} \quad (1-3)$$

式中： W_1 ——压缩前的液体体积

W_2 ——压缩后的液体体积

P ——加于液体上的压力强度，常以公斤/平方厘米表示。

由公式(1-3)可以看出，等式右边的分子 $W_1 - W_2$ 表示压缩前后体积之差，即体积压缩了的数值，再以分母 W_1 除之，表示压缩了的体积占原体积 W_1 的百分数再除以 P 即得每单位压力强度时体积压缩系数。

压缩系数 β 的单位是

$$\beta = \frac{\text{立方厘米}}{\text{公斤/平方厘米} \times \text{立方厘米}} = \frac{\text{平方厘米}}{\text{公斤}}$$

实际上，正如前面已经谈到的，由于液体的压缩性很小，因此，体积压缩系数也是很小的。例如，压力由1个大气压（即 $P_1 = 1$ 公斤/平方厘米）增加到500个大气压（即 $P_2 = 500$ 公斤/平方厘米）时，水的压

缩系数 $\beta = \frac{1}{20,000}$ 。而且压力在这个范围内变动时， β 均保持为一个常数。

由此可见，由于液体的压缩性极小，在解决绝大多数水力学问题时，常不考虑液体的压缩性。

(四) 液体的粘滞性

液体流动的时候，其内部各质点之间；以及质点和外表面（如水管

的管壁，水槽的槽底和槽壁）之間要发生摩擦。这摩擦力的太小决定于液体的抗剪力 and 外表面的粗糙程度。

液体的抗剪力，常以液体的粘滞性来表示。而粘滞性又以运动粘滞系数来表征。

水的运动粘滞系数可按下列的经验公式来决定：

$$\nu = \frac{0.0173}{1 - 0.0337t - 0.000221t^2} \quad (\text{平方厘米/秒}) \quad (1-4)$$

式中 t 为温度，由此可见，运动粘滞系数 ν 是随温度而变化的，温度升高时，运动粘滞系数减小。

根据公式 (1-4) 算出不同温度时水的 ν 值列于表 3 中

水的运动粘滞系数值

表 3

温 度 $t^{\circ}\text{C}$	ν (平方厘米/秒)	温 度 $t^{\circ}\text{C}$	ν (平方厘米/秒)
0	0.0179	20	0.0101
2	0.0162	25	0.0090
4	0.0157	30	0.0081
5	0.0152	40	0.0066
6	0.0147	50	0.0050
8	0.0139	60	0.0043
10	0.0131	70	0.0042
12	0.0124	80	0.0037
14	0.0117	90	0.0033
16	0.0111	100	0.0025
18	0.0106		

在进行概略计算时，可以取水的运动粘滞系数 $\nu = 0.01$ 平方厘米/秒。

对于其他一些液体，在温度 $t=15^{\circ}$ 时，它们的运动粘滞系数如下：

汽油	$\nu = 0.003 \sim 0.009$	平方厘米/秒
煤油	$\nu = 0.025 \sim 0.030$	平方厘米/秒
石油	$\nu = 0.200 \sim 0.600$	平方厘米/秒
机器油	$\nu = 0.400$	平方厘米/秒

由上列的数据可以看出：流动性較大的液体，其运动粘滞系数就小；反之，則較大。拿汽油和机器油的流动情况来比較，也可以有助于我們对于液体粘滞性性質的理解。

(五) 液体的温度膨胀

液体和其他一切物体一样，当温度变化时，会改变自己的体积和密度。

前面已經談到，淡水在温度 $t = 4^{\circ}\text{C}$ 时，具有最大的单位体积重量 $\gamma = 1000$ 公斤/立方米，而將水冷却到 $t = 0^{\circ}\text{C}$ 时，单位体积重量 $\gamma = 999.87$ 公斤/立方米。

把水加热到 4°C 以上时，它的体积也会增大，但增大的值非常小。其体积的变化量（温度膨胀），是用温度膨胀系数 β_t 来表示的。 β_t 可表示如下：

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V \times \Delta t} \quad (1-5)$$

式中： V ——液体原有的体积。

ΔV ——温度升高 Δt 度时体积的变化数值。

公式(1-5)表明：每增高摄氏 1° 时，增长的体积数 ΔV 与原有体积之比值。由实验测出：当温度由 4°C 升到 10°C 时，温度膨胀系数平均值 $\beta_t = 0.00014$ ，当温度由 10°C 到 20°C 时，平均值 $\beta_t = 0.00015$ ，当温度由 20°C 到 30°C 时，平均值 $\beta_t = 0.00025$ 等。

由此可見，由温度而引起的液体体积膨胀是很小的。可以忽略不计，在实际的水力学計算上也常常不考虑液体的温度膨胀。

(六) 理想液体的概念

由以上(三)(四)(五)等节的叙述中，我們知道实际存在于自然界中的液体是有抗剪力（即具有粘滞性）的，当压力和温度改变时，其体积与密度也会有极小的变化。虽然我們在实际計算时并不考虑它們，但事实上它們是存在的。为了便于推寻动水力学的某些理論原理，我們引入理想液体这一概念。

所謂理想液体（即假想的液体），是完全沒有抗剪力（即粘滯性），並且在壓力和溫度變化的情況下不改變其本身的體積的一種液体。

利用這種理想液体來研究液体的運動規律要簡單得多。對於實際的液体，只須在推演的最後結果中將粘滯性影響考慮進去就行了（壓力和溫度的影響可以不考慮）。為此，我們常常用一些經驗資料（即實驗資料）加入到推演的結果中進行改正。

第二章 靜水力學

在第一章里我們已經談到：水力學是一門研究液体靜止和運動規律的科學。當我們了解和掌握了這些規律以後，就可以利用它來解決具體的工程技術問題，使它為工農業生產服務。

現在，我們就開始來研究處於“靜止”狀態時液体的各種問題。什麼叫做液体的靜止狀態呢？例如說裝在洗臉盆的水，當我們沒有去震動它的時候，這盆水是平靜地盛在洗臉盆里的。它不會自動跳到洗臉盆的外面來。象這樣平靜不動的水我們就叫做處於“靜止”狀態的液体。相反的，我們再看看小溪溝和大河中的水，它們日以繼夜地流個不停，很顯然，這是運動着的水了。關於流動着的水的若干問題，我們將在下一章里討論。

我們特別強調“靜止”這兩個字，因為這一章所討論的某些問題常常需用它來解釋。

第一節 靜水壓力和水壓機

當我們挑土的時候，我們的肩膀上能感覺到扁担在肩上的“壓力”。一輛推土的小車當土裝得太多的時候，它可能會被壓壞。這也是我們常見的。這種“壓力”的產生就因為土是有重量的緣故。裝在洗臉盆里的水自然也是有重量的，那麼水對於洗臉盆不也要產生“壓力”么？現在，我們就看看這種壓力是怎樣計算的。

我們設想在洗臉盆里取出某一個體積的水（圖1），它的形狀可以