

水力学基本知识

周俊昌 张玉书 編著

人民交通出版社

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、动水力学、水流阻力和水头損失，液体的无压均匀流动，液体在有压管路中的流动，液体的孔口洩流和管咀洩流，堰頂洩流和公路过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 学 基 本 知 識

周俊昌 張玉书 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号

新 華 書 店 發 行

人民交通出版社印刷厂印刷

*

1960年1月北京第一版 1960年1月北京第一次印刷

開本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張：5 $\frac{1}{2}$ 張

全書：158,000字 印數：1—3,000冊

統一書号：15044·2039

定價(8)：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 动水力学基礎	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 液体的孔口泄流和管咀泄流	129
第一节 薄壁底部孔口泄出之液流	129
第二节 流速系数、收缩系数和流量系数	131
第三节 侧壁孔口泄出之液流	134
第四节 管咀之泄流	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 公路过水建筑物中流水孔之计算	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

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 动水力学基礎	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 液体的孔口湍流和管咀湍流	129
第一节 薄壁底部孔口湍出之液流	129
第二节 流速系数、收缩系数和流量系数	131
第三节 侧壁孔口湍出之液流	134
第四节 管咀之湍流	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 公路过水建筑物中浪水孔之计算	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規律，并运用这些規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，边溝的设置，地下水的处理，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，导治結構物的设置，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規律的科学——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來的系数。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滿意的。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：研究液体平衡規律的靜水力学，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統，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壓縮或膨脹，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，液体具有不可壓縮的性質。

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、壓縮性，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。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	988.20		
15	999.15	60	983.38		

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，洗臉盆中的熱水往往上面較热，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，較热的水层則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 分別代表冰和水的体积，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結冰时，水管和容器壁将因水体积之膨脹而受力，严寒时盛水的水缸和花瓶常常会破裂就是这个緣故。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現象，也是很严重的。例如，当水侵入石砌圬工的縫隙中而結冰时，由于体积的膨脹使原来的縫隙更为扩大，严重地破坏了这些建筑物。

几种常見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
水銀	0°	13600
水銀	15°	13558
汽油	15°	680—730
酒精	15°	730
石油	20°	760—900
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；而比重則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，水銀的比重 δ 是：

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

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