

管渠水力计算概论

孙 成 彦 编

中国建筑工业出版社

管渠水力计算概论

孙 成 彦 编

中国建筑工业出版社

本书重点介绍水静力学、水动力学、水流阻力及水头损失、压力管路的水力计算、无压管渠的水力计算。

本书可供七·二一大学和中等专业学校的给排水专业学员学习参考，亦可供从事给水排水专业的设计、施工人员参考。

管渠水力计算概论

孙 成 彦 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 7 字数: 157 千字

1978年11月第一版 1978年11月第一次印刷

印数: 1—23,330册 定价: 0.45元

统一书号: 15040·3469

前 言

本书本着加强基础理论学习的原则，适当地加强了水静力学和水动力学两章的内容，并力求在基本概念上讲述清楚。其它各章的内容则力求少而精、删繁就简。对于在给水处理专业课中将要详细讨论的内容，如环状给水管网的计算、地下水运动等，本书只做了概念性的介绍，以避免内容上不必要的重复。

由于编写时间短促和编者水平所限，有些内容介绍的不够全面细致，敬希读者批评指正。

在这里向对本书进行校阅的长春冶金建筑学校教师门璘生同志和在编写过程中对本书提出宝贵意见的长春市自来水公司副总工程师都本青同志表示谢意。

编者于长春市自来水公司

1977年5月4日

目 录

第一章 绪论	1
第一节 水力学概述	1
第二节 水的主要物理性质	1
第二章 水静力学	8
第一节 水静压力及其特性	8
第二节 水静力学的基本方程式	12
第三节 绝对压力、相对压力、真空	17
第四节 静力高度与计示高度	19
第五节 静力水头与计示水头	21
第六节 连通器、静压力的测量	25
第七节 水静压力分布图	34
第八节 液体作用在平面上的总压力	36
第九节 液体作用在曲面上的总水静压力	42
第十节 阿基米德定律及物体在液体中的浮沉	47
第三章 水动力学	55
第一节 概述	55
第二节 迹线、流线、微小流束及总流	58
第三节 水力要素、流量与平均流速	61
第四节 液体运动的分类	66
第五节 液体运动的连续性方程式	71
第六节 理想液体微小流束的伯诺里方程式	74
第七节 伯诺里方程式的意义	76
第八节 实际液体总流的伯诺里方程式	79
第九节 伯诺里方程式的实际应用	88

第四章 水流阻力及水头损失	93
第一节 概述	93
第二节 液体运动的两种状态——层流和紊流	95
第三节 层流与紊流的内部结构	99
第四节 计算沿程水头损失的基本公式	105
第五节 沿程阻力系数的变化规律	110
第六节 局部水头损失的计算公式	115
第五章 压力管道的水力计算	126
第一节 概述	126
第二节 简单管道水力计算的基本公式	127
第三节 简单管道水力计算的基本问题及举例	133
第四节 串联及并联管道的水力计算	135
第五节 压力管网的水力计算基础	138
第六节 压力管道中的水锤	147
第六章 无压管渠的水力计算	152
I、无压管渠的均匀流动	152
第一节 概述	152
第二节 无压均匀流的基本条件和计算	153
第三节 过水断面形式	157
第四节 最佳水力断面	158
第五节 最大和最小允许流速	161
第六节 渠道无压均匀流的计算	162
第七节 无压排水管道均匀流的水力计算	168
II、无压渠道的不均匀流动	173
第八节 断面单位能量、临界水深	175
第九节 不均匀流动的基本方程式	181
第七章 液体经孔口、管嘴的出流	185
第一节 概述	185
第二节 孔口出流概述	185

第三节	薄壁孔口的稳定自由出流	189
第四节	薄壁孔口的稳定淹没出流	192
第五节	薄壁孔口的不稳定出流	193
第六节	管嘴的液体出流	197
第八章	堰	202
第一节	薄壁堰	203
第二节	实用断面堰和宽顶堰	207
第九章	地下水运动的基本概念	208
第一节	渗透定律	209
第二节	地下水稳定流动	211
第三节	取水井的计算	213

第一章 绪 论

第一节 水力学概述

水力学是研究水或其它液体处于平衡状态和运动状态下所具有的力学规律，并探讨应用这些规律去解决各种实际工程问题。

本书主要是研究水处于相对平衡和运动状态下的力学规律，并应用这些规律去解决给水排水工程中的问题。

在外力作用下，水具有静止和运动两种状态。因此，常把水力学分为两个基本部分，即水静力学和水动力学。

水静力学是研究水处于相对平衡（静止）状态下的力学规律及这些规律在实际工程中的应用。

水动力学是水力学的主要部分，它研究水在管道或渠道中运动时所表现的各种运动规律及把握其运动规律解决有关工程问题。

各种工程都与水力学有着或多或少的联系，对于给水排水工程来说，没有水力学，实际工程问题是无法解决的。因此，水力学是给水排水工程的基础理论。

第二节 水的主要物理性质

在讨论水的物理性质的同时，将某些液体的物理性质一起讨论，以便对水有深刻的了解。

水没有固定的形状，与其它液体一样，随容器的形状而改变；水的基本特征是质点的易流动和在容器内不易被压缩性。

一、密度

与自然界的其它物体一样，水具有质量。水单位体积内的质量叫密度。用 ρ 表示，

即

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4) \quad (1-1)$$

式中 M ——水的质量（公斤·秒²/米或克·秒²/厘米），

V ——水的体积（米³或厘米³）。

某些液体密度的平均值如下：

水 $\rho = 102 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4 \text{ 或克} \cdot \text{秒}^2 / \text{厘米}^4$ ；

石油 $\rho = 90 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4 \text{ 或克} \cdot \text{秒}^2 / \text{厘米}^4$ ；

汽油 $\rho = 71.5 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4 \text{ 或克} \cdot \text{秒}^2 / \text{厘米}^4$ 。

水的密度与温度的变化有一定的关系，其变化关系列于表1-1。

水的密度和温度的变化关系

表 1-1

温度(°C)	0	5	10	15	20	25	30
密度(ρ)	0.9999	1.0000	0.9997	0.9991	0.9982	0.9971	0.9957

二、容重

水的单位体积重量叫容重，用 γ 表示，即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{公斤} / \text{米}^3 \text{ 或克} / \text{厘米}^3) \quad (1-2)$$

式中 G ——水的重量（公斤或克）；

V ——水的体积（米³或厘米³）。

根据牛顿第二定律，物体的重量 G 等于质量 M 与重力加速度 g 之乘积，即 $G=Mg$ 。将上式两端同除以 V ，并将公式（1-1）（1-2）代入得：

$$\frac{G}{V} = \frac{M}{V} g$$

所以 $\gamma = \rho g$ (1-3)

式中 g ——重力加速度， $g=9.81$ （米/秒²或981厘米/秒²）。

在实际工程中的水，一般以容重来度量。

严格地说，水的容重和密度随着温度和压力的变化而变化，明显地表现在温度的变化上，容重的变化较大。

洁净的淡水在大气压力下其容重因温度而发生的变化，列于表 1-2。

在大气压力下各种温度时淡水的容重 表 1-2

温度 (°C)	容 重 (公斤/米 ³)	温度 (°C)	容 重 (公斤/米 ³)	温度 (°C)	容 重 (公斤/米 ³)
0	999.87	20	998.23	70	977.81
3	999.99	25	997.07	80	971.83
4	1000.00	30	995.67	90	965.34
5	999.99	40	992.24	100	958.38
10	999.73	50	988.07		
15	998.64	60	983.24		

由表 1-2 可见：温度由 0°C 变到 30°C，水的容重变化很小（小于 0.5%）。因此在常温下水的容重变化可以不考虑。这样，对于常温下的水来讲，在进行水力计算时，完全可以采用固定的容重值。对于淡水，采用温度为 4°C 时的容重，

即 $\gamma = 1000 \text{ 公斤/米}^3$ 或 $\gamma = 1 \text{ 克/厘米}^3$ 。

除此之外，水的另一重要性质，即当水由液体状态过渡到固体状态（冰）时，水的容重 γ_b 减小了。由实测知道，冰的容重 γ_b 为水的 0.9 倍，即

$$\gamma_b = 0.9\gamma_s$$

由此可知，当一个单位体积的水结成冰时，它的体积 V_b 也将增大。即

$$V_b = \frac{V_s}{0.9} = 1.1V_s$$

式中 V_b ——冰的体积；

V_s ——水的体积。

水结成冰时体积增大 10%。结冰现象会使水箱、管道、给水排水建筑物受到严重的破坏。

几种常见液体的容重列于表 1-3。

几种常见液体的容重

表 1-3

液 体 名 称	容重(公斤/米 ³)	测 量 温 度 (°C)
淡 水	1000	4
海 水	1020	15
汞	13600	0
汽 油	680~780	15
酒 精	790	15
石 油	760~900	20
甘 油	1260	0
重 油	890~920	15

三、压缩性

水的压缩性是指水在外压力作用下体积缩小的性质。水

压缩性的大小用体积压缩系数来度量。体积压缩系数 β 是水在增加单位压力时体积的相对缩小值，按下式进行计算：

$$\beta = \frac{V_1 - V_2}{V_1 \cdot \Delta p} \quad (\text{厘米}^2/\text{公斤}) \quad (1-4)$$

式中 V_1 ——压缩前水的体积（厘米³）；

V_2 ——压缩后水的体积（厘米³）；

Δp ——作用于水上的压力差（公斤/厘米²）。

水的压缩性是很小的。例如，淡水当温度在 $0 \sim 20^\circ\text{C}$ 之间，压力达25个大气压时，它的体积压缩系数等于：

$$\beta = \frac{1}{21000} \quad (\text{厘米}^2/\text{公斤})$$

由于水的压缩性极小，因此，在实际计算中不必考虑。

四、粘滞性

水的粘滞性就是水在流动状态下（特别是在缓慢运动时），可认为水流存在着不同运动速度的流层，这种速度不同的层与层之间运动的结果便产生了内摩擦力，即内摩擦力阻抗着各流层之间做相对运动的性质，叫做粘滞性。

水的粘滞性通常以动力粘滞度 μ 或运动粘滞度 ν 来表示，二者的关系可用下式表示：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-5)$$

式中 μ ——水的动力粘滞度（公斤·秒/米²或克·秒/厘米²）；

ρ ——水的密度（公斤·秒²/米⁴或克·秒²/厘米⁴）；

ν ——水的运动粘滞度（厘米²/秒或米²/秒）。

表1-4和表1-5分别列出了水在标准大气压下不同温度时的运动粘滞度和动力粘滞度。

水的运动粘滞度

表 1-4

温 度 (°C)	ν (厘米 ² /秒)	温 度 (°C)	ν (厘米 ² /秒)	温 度 (°C)	ν (厘米 ² /秒)
0	0.0179	20	0.0101	40	0.0066
1	0.0173	21	0.0098	41	0.0064
2	0.0167	22	0.0096	42	0.0063
3	0.0162	23	0.0094	43	0.0062
4	0.0157	24	0.0091	44	0.0061
5	0.0152	25	0.0089	45	0.0060
6	0.0147	26	0.0087	46	0.0059
7	0.0143	27	0.0085	47	0.0058
8	0.0139	28	0.0084	48	0.0057
9	0.0135	29	0.0082	49	0.0056
10	0.0131	30	0.0080	50	0.0055
11	0.0127	31	0.0078	55	0.0051
12	0.0125	32	0.0077	60	0.0047
13	0.0120	33	0.0075	65	0.0044
14	0.0117	34	0.0074	70	0.0041
15	0.0114	35	0.0072	75	0.0038
16	0.0111	36	0.0071	80	0.0036
17	0.0108	37	0.0069	90	0.0032
18	0.0106	38	0.0068	100	0.0028
19	0.0103	39	0.0067		

对于某些液体，在 $t = 15^{\circ}\text{C}$ 时，其运动粘滞度如下（厘米²/秒）：

汽油 $\nu = 0.008 \sim 0.009$;

煤油 $\nu = 0.025 \sim 0.030$;

石油 $\nu = 0.20 \sim 0.60$;

机油 $\nu = 0.40$;

甘油 $\nu = 12.0$ 。

水的动力粘滞度

表 1-5

温度 (°C)	μ (10^{-6} 公斤·秒/ 米 ²)	温度 (°C)	μ (10^{-6} 公斤·秒/ 米 ²)	温度 (°C)	μ (10^{-6} 公斤·秒/ 米 ²)
0	182.5	35	73.6	70	41.4
5	154.3	40	66.6	75	38.7
10	133.0	45	61.1	80	36.2
15	116.5	50	56.0	85	34.0
20	102.0	55	51.8	90	32.1
25	90.6	60	47.9	95	30.3
30	81.7	65	44.5	100	28.8

水的温度直接影响着水的粘滞度，特别是含污泥的污水，污水在管渠中的运动，其含污泥污水的运动状态，粘滞性起着很重要的作用。所以，要想减小污水由于粘滞性引起的内摩擦力，一方面是提高污水的温度；另一方面是可以在污水中加上一种添加剂，减小粘滞度，从而达到减小内摩擦力的目的（内摩擦力对液流的影响详见水流阻力及水头损失一章）。

水的粘滞度与温度的变化关系，可用下式表示：

$$\frac{\mu_T}{\mu_{50}} = \frac{\nu_T}{\nu_{50}} = \frac{60}{T + 10} \quad (1-6)$$

式中 μ_T —— $T^{\circ}\text{F}$ 时的动力粘滞度；

μ_{50} —— 50°F 时的动力粘滞度；

ν_T —— $T^{\circ}\text{F}$ 时的运动粘滞度；

ν_{50} —— 50°F 时的运动粘滞度；

T ——华氏温度（ $^{\circ}\text{F}$ ）。

第二章 水 静 力 学

水静力学是研究液体处于相对静止状态时所显示的规律，以及这些规律在工程中的应用。

由于液体处于相对静止状态，粘滞力表现不出来，因此液体不存在层与层之间的相对运动，故无切应力表现。这样，水静力学的基本问题就是研究液体静压力问题。

本章的基本内容是阐述静止的液体中压力的性质、压力的分布规律以及总压力的计算方法。

掌握在静止的液体中，液体压力的性质及其变化规律的目的，是应用它们来解决工程技术中的具体问题。大家知道，我国自己设计、制造和安装的一万二千吨水压机，它的工作原理就是水静力学特性的应用实例之一。在给水排水工程中计算水箱不同深度处的水静压力，水池中水对池壁的作用力等，也是水静压力的运用问题。

第一节 水静压力及其特性

在静止液体中，有两种作用力：

1. 作用于液体表面上的外力，如作用于液体表面上的大气压力，活塞传给液体的压力等。

2. 重力即液体的重量；由于液体自身的重量引起了上部液体对于下部液体的压力，或对池底、池壁的压力，这就是

水静压力。

水静力学主要是研究液体由于重量而表现的水静压力的问题。

处于平衡状态的液体，由于液体重量而显示的上部液体对下部液体对于池壁、池底的作用力，称为水静压力。

为了表达液体内部的水静压力，如图 2-1 液体内部的作用力分析图所示，在平衡的液体中，设想划出一个任意形状的液体体积 K 。这部分液体之所以能保持平衡状态，是因为周围液体对它的作用，抵消了它本身的自重。用作用力表示周围液体与这团液体之间的相互联系，使其保持平衡。

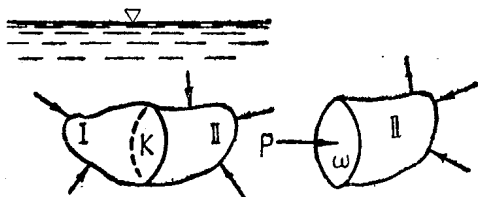


图 2-1 液体内部的作用力分析图

现在，把这团液体截成 I、II 两部分。假若把 I 拿走，同时以力 P 代替被拿走的部分 I 对所留部分 II 的作用。这样，作用力 P 就称为作用在面积 ω 上的总水静压力；而面积 ω 称为总水静压力的作用面。

显然，总水静压力 P 的大小决定于截面面积 ω 的大小。总水静压力 P 与截面面积 ω 的比值，叫做在面积 ω 上的平均水静压力，用符号 $\bar{p}$ 来表示，即

$$\bar{p} = \frac{P}{\omega} \quad (2-1)$$

平均水静压力是静止液体内部单位面积上的压力。按公式(2-1)求得的平均水静压力，只是给予某已知面积上压力平均值的一般概念。对于作用面上某一点来说，平均压力仅是该点水静压力的近似值。若要表达某点水静压力的精确值，必须将所取作用面 ω 缩小到趋近于零而集中在该点，此时总水静压力 P 也趋近于零。在上述情况下， P 与 ω 的比值，当 $\omega \rightarrow 0$ 时，为一有限量 p ，即

$$p = \lim \left(\frac{P}{\omega} \right) \quad (2-2)$$

或

$$p = \frac{dP}{d\omega}$$

p 为度量某点压力大小的量，为点的水静压力，或简称静压力。

作用在面积 ω 上总水静压力 P 的单位采用公斤或吨；平均水静压力即单位面积上的水静压力 $\bar{p}$ 的单位采用公斤/厘米²或公斤/米²。以后凡是提到“压力”即指单位面积上的压力；如果是全面积上的压力则称为“总压力”。点的水静压力与单位面积上的平均水静压力相同。

下面研究点的静压力所具有的两个基本特性。这两个特性是说明静压力的作用方向和传递性质。

第一个特性：水静压力的方向永远沿着作用面的内法线方向。

这个特性指出了两点：其一是说，水静压力与其作用面永远是相互垂直的；其二是说，这个力的方向永远是指向其作用面的。

根据这一特性，当在图上表示水静压力的时候，决不能