

内部试用教材

消防水力学

景绒 马恒 张学魁 编

中国人民武装警察部队专科学校训练部

消 防 水 力 学

景 绒 马 恒 张 学 魁 编

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

中国人民武装警察部队专科学校训练部

一九八四年十月

内 容 提 要

本书系统地阐述了消防水力学的基本原理。全书共计七章。内容为：绪论、水静力学、水动力学、流动阻力和水头损失、孔口和管嘴出流以及有压管流、消防射流、供水减阻简介等。另外，在每章后还附有思考题、习题以及习题答案。

本书是为武警专科学校消防专业编写的试用教材，同时也可供消防业务干部、建审人员、战训人员、消防战士以及各类学校消防专业学习、教学参考。

消 防 水 力 学

(内部试用教材)

景 绒 马 恒 张学魁 编

中国人民武装警察部队
专科学校训练部

西安友谊印刷厂印装

一九八四年十一月

开本：787×1092 1/32 印张：8.31

印数：000,001—6,000册 字数：160,000

前 言

本书是为中国人民武装警察部队专科学校消防专业水力学课程编写的试用教材，也可供有关消防人员参考。水力学是一门独立的学科，由于该书是从消防角度来讨论水力学的，故叫做消防水力学。《消防水力学》是消防专业的一门专业基础课，《室内消防给水》、《室外消防给水》、《火场供水》、《泡沫消防给水》等专业课大量应用到《消防水力学》的基本原理。因此，学好《消防水力学》，对消防业务干部、建审人员、战训人员以及消防战士无疑是有帮助的。本书系统地阐述了《消防水力学》的基本原理。在编写过程中，力求作到结合消防实际，突出其在消防工程中的应用。

本书共计七章。第一、二、三章由景绒同志编写，第四、五、六章由马恒同志编写，第七章和全书的插图、习题、思考题、附录以及总的核对工作由张学魁同志承担。在编写过程中，得到了消防教研室领导的大力支持。

由于《消防水力学》教材在我国首次编写，再加之资料少，编者水平所限，故本书缺点和错误在所难免，诚恳欢迎读者批评和指正，以便改进。

编 者

一九八四年十月

目 录

第一章 绪论	(1)
§1-1. 消防水力学的定义及其应用.....	(1)
§1-2. 国际单位制和工程单位制.....	(1)
§1-3. 作用在液体上的力.....	(3)
§1-4. 液体的基本特性和主要物理性质.....	(4)
思考题与习题.....	(11)
第二章 水静力学	(16)
§2-1. 静水压强及其特性.....	(16)
§2-2. 水静力学基本方程式.....	(20)
§2-3. 静水压强的表示方法和计量单位.....	(26)
§2-4. 常用的测量压强仪器.....	(31)
§2-5. 静水压强分布图.....	(39)
§2-6. 作用在平面上的静水总压力.....	(41)
§2-7. 作用在曲面上的静水总压力.....	(47)
§2-8. 浮体的浮力和稳定性.....	(51)
§2-9. 管道、水带强度计算.....	(57)
思考题与习题.....	(60)
第三章 水动力学	(73)
§3-1. 液体运动的一些基本概念.....	(73)
§3-2. 恒定总流的连续性方程.....	(84)
§3-3. 恒定总流的能量方程.....	(87)
§3-4. 恒定总流的动量方程.....	(111)

思考题与习题.....	(118)
第四章 流动阻力和水头损失.....	(128)
§4—1. 流动阻力和水头损失的两种类型.....	(128)
§4—2. 液体运动的两种型态.....	(129)
§4—3. 沿程水头损失计算公式.....	(133)
§4—4. 沿程阻力系数 λ 的确定.....	(139)
§4—5. 局部水头损失.....	(142)
思考题与习题.....	(143)
第五章 孔口、管嘴出流和有压管流.....	(149)
§5—1. 孔口出流.....	(150)
§5—2. 管嘴出流.....	(154)
§5—3. 短管的水力计算.....	(160)
§5—4. 长管的水力计算.....	(169)
§5—5. 水带系统水力计算.....	(181)
§5—6. 有压管路(水带)中的水击.....	(187)
思考题与习题.....	(190)
第六章 消防射流.....	(202)
§6—1. 射流的类型.....	(202)
§6—2. 直流水枪的构造.....	(203)
§6—3. 密集射流的喷嘴流量和压力.....	(205)
§6—4. 直流水枪充实水柱计算.....	(206)
§6—5. 密集射流的特性.....	(210)
§6—6. 直流水枪反作用力.....	(211)
思考题与习题.....	(213)
第七章 供水减阻简介.....	(214)
§7—1. 减阻的意义及其途径.....	(214)

§7—2. 添加剂 (减阻剂)	(215)
§7—3. 消防车供水减阻试验	(220)
§7—4. 消防供水减阻研究需解决的问题	(224)
附录一、消防水力学中常用单位的换算	(226)
附录二、常见图形的 ω 、 γ 及 J 值	(230)
附录三、铸铁管水力计算表	(232)
附录四、钢管水力计算表	(238)
附录五、局部阻力系数表	(240)
附录六、钢管的比阻 A 值	(245)
附录七、铸铁管的比阻 A 值	(246)
附录八、钢管和铸铁管 A 值的修正系数 K	(246)
附录九、每条水带水头损失	(247)
附录十、直流水枪的密集射流技术数据表	(249)
附录十一、直流水枪密集射流反作用力	(250)
习题答案	(251)

第一章 绪 论

在这一章里，首先介绍消防水力学的定义和应用，使得对消防水力学的概念及其在消防工程中的应用有一个概括性的了解；同时介绍国际单位制与工程单位制、液体的基本特性和主要物理性质及作用在液体上的力等预备知识，为后面系统地学习消防水力学打下必要的基础。

§1—1. 消防水力学的定义及其应用

与固体力学一样，水力学是力学的一个分支，它是研究液体平衡和机械运动规律及其应用的一门科学。水力学研究的对象是以水为代表的液体，但它的理论不仅仅适用于水，也适用于各种液体和可忽略压缩性影响的气体。就我们消防水力学而言，主要是从消防角度来讨论水力学及其在消防工程中的应用。

消防水力学是消防专业的一门专业基础课，它的任务就是解决一些与消防工程有关的问题。比如：消防供水管道管径的合理确定；如何防止水带爆破；消防水泵的压力计算等等。故学习和研究消防水力学对从事消防工作的人员来说是十分重要的。

§1—2. 国际单位制和工程单位制

单位制，是由选定的基本单位和它们的导出单位组成的一系列量度单位的总称。

在水力学上，用到的基本物理量有四个，即力（F）、质量（M）、长度（L）和时间（T）。但在实际应用中，只需规定三个基本物理量，再根据牛顿第二定律可推出另一个物理量。若以长度（L）、质量（M）、时间（T）作为基本物理量，且以相应的米（m）、公斤（kg）、秒（s）作为基本物理量单位，则这种单位制就叫做国际单位制。若以长度（L）、力（F）、时间（T）作为基本物理量，且以相应的米（m）、公斤力（kgf）、秒（s）作为基本物理量单位，则这种单位制就叫做工程单位制。长度和时间不论在那种单位制中，都是基本量，因此，国际单位制与工程单位制的区别就是另一个基本量的规定。在国际单位制中，规定质量为基本量，力是导出量，力的单位为 MLT^{-2} 称为牛顿，

即 $1\text{ 牛顿} = \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{秒}^2}$ 。而工程单位制则规定力为基本量，

质量为导出量，质量的单位为 $FL^{-1}T^2$ 称为工程质量单位，

即 $1\text{ 工程质量单位} = \frac{\text{公斤力} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}}$ 。国际单位制与工程单位

制可以互换，其重量换算基本关系是

$$1\text{ kgf} = 9.8\text{ N}$$

质量换算基本关系是

$$1\text{ kgfs}^2/\text{m} = 9.8\text{ kg}$$

压强换算基本关系是

$$1\text{ kgf/m}^2 = 9.8\text{ N/m}^2$$

其它各量之间的换算关系详见附录一。

应该指出，工程单位制是我国在水力学上已往常用的单位制。但为便于国际间的科学技术交流，目前我国及世界各国

都在积极地推广使用国际单位制。国务院在1984年2月27日发布命令，规定市制计量单位可以延续使用到1990年。因此本书也采用国际单位制，但根据需要，适当并用工程单位制。

§1—3. 作用在液体上的力

液体无论处于平衡（包括静止）或运动状态，都受到各种力的作用。为便于分析液体的运动和平衡规律，把作用在液体上的力按其性质分为两类。一类是质量力；另一类是表面力。

一、质量力

质量力是作用在液体的每个质点上的力，其大小与受作用的液体的质量成正比。对于均质液体，质量的大小与体积的大小成正比，所以均质液体的质量力也称为体积力。属于这类力的有重力和惯性力两种。

重力是地球对液体每一个质点的吸引力，液体所受的重力等于液体的重量，根据牛顿第二定律，重量等于质量乘以重力加速度，即 $G=Mg$ 。

惯性力是外力使得液体质点作变速运动时，由于惯性而在质点上表现的一种力。工程上把惯性力定义为：质点所受惯性力的大小等于该质点质量与其加速度的乘积，方向和加速度方向相反。

消防水力学的水流现象通常都认为仅在重力的作用下。需要另外考虑惯性力作用的并不多。（例如弯管中的水流等）

二、表面力

表面力是作用在液体表面上的力。它的大小与受作用的液体表面积成正比。属于这一类的力有：气体对液体表面的压力，液体内部各部分之间相互作用的压力，内摩擦力以及固体对液体的摩擦力和压力等。

表面力可分解为平行于作用面的切向分力（又称切力）和垂直于作用面的法向分力。法向分力的方向可以沿表面的内法线方向或沿表面的外法线方向。沿外法线方向的分力是拉力，由于液体承受拉力的能力很低，故均忽略不计；沿内法线方向的分力，称为压力。

§1—4. 液体的基本特性和主要 物理性质

一、液体的基本特性

我们知道，物质有三种状态：固体、液体和气体。液体与固体的主要区别是液体容易流动；液体与气体的主要区别是液体体积不易压缩。

液体的真实结构是由运动着的分子所组成，分子与分子间具有空隙。从微观角度来看，液体是不连续的，不均匀的。但是在水力学中，研究的并不是液体的分子运动，而是液体的宏观机械运动，以及液体和固体之间相互作用的力。从宏观力学观点出发，液体可以看成是连续介质，即把液体看作是由无数多的液体质点（所谓质点，是指由一群分子所组成，占有无限小的空间体积，具有无限小的质量，且具有液体性质的物理点）毫无空隙地充满它所占有的空间的连续体，而且液体的各种物理量随着空间的变化是连续的。这样，在分析液体的平衡和运动时，可以利用数学的连续函数来表

示液体的各种物理量（如速度、密度和压强等）在液体内部的变化。

在连续介质假设的基础上，一般还认为液体具有均匀等向性，即液体是均质的，各部分和各方向的物理性质是一样的。

总之，在水力学中研究的液体是一种容易流动的，不易压缩的，均匀等向的连续介质。

二、液体的主要物理性质

液体的平衡和运动，除了与作用于液体的外界因素有关外，更重要的是取决于液体本身的物理性质。因此研究液体的物理性质可以作为研究液体机械运动的基本出发点。在水力学中，和液体运动有关的液体的主要物理性质有如下几点。

（一）密度和容重

液体单位体积内所具有的质量称为密度，用符号 ρ 表示。对于均质液体设其体积为 V ，质量为 M ，则

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1-1)$$

对于非均质液体，根据连续介质的假设，则

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V} \quad (1-1')$$

密度的国际单位是公斤/米³ (kg/m^3)；工程单位是公斤力·秒²/米⁴ ($\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)。

液体单位体积内所具有的重量称为容重，用符号 γ 表示。对于均质液体设其体积为 V ，重量为 G ，则

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

对于非均质液体，根据连续介质的假设，则

$$\gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V} \quad (1-2')$$

容重的国际单位是牛/米³ (N/m³)，工程单位是公斤力/米³ (kgf/m³)。

根据牛顿第二定律，知 $G=Mg$ ，将它代入(1-2)式得密度和容重的关系式为

$$\gamma = \frac{Mg}{V} = \rho g \quad (1-3)$$

式中： g 为重力加速度， g 的数值大小和纬度有关，一般可视为常数，在水力学上为便于计算，采用 $g=9.81\text{m/s}^2$ 。

不同液体的密度和容重各不相同、同一种液体的密度和容重又随温度和压强而变化。

在正常大气压强条件下，水在不同温度下容重见表1—1。由于水的容重随温度变化甚微，故一般工程上视为常数。

表1—1.不同温度时水的容重 γ 值 (标准大气压下)

温 度 (°C)	0°	4°	10°	20°	30°	40°	60°	100°
容 重(N/m ³)	9806	9807	9801	9789	9764	9730	9642	9399

在工程计算中，通常取纯水的容重为 9810N/m^3 。(工程单位中水的容重为 1000kgf/m^3)。密度为

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{9810}{9.81} = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (工程单位制中水的密度为}$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1000}{9.81} = 102 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \text{) 。}$$

例 1—1 求一升水的重量和质量。

解：根据 (1—1) 式得 1 升水的质量为

$$\text{(采用国际单位制)} M = \rho V = 1000 \times 1 \times 10^{-3} = 1 \text{ kg}$$

根据 (1—2) 式得 1 升水的重量为

$$G = \gamma V = 9810 \times 1 \times 10^{-3} = 9.81 \text{ N}$$

$$\text{或由 } G = Mg = 1 \times 9.81 = 9.81 \text{ N}$$

(采用工程单位制)

$$M = \rho V = 102 \times 1 \times 10^{-3} = 0.102 \text{ kgfs}^2/\text{m}^4$$

$$G = \gamma V = 1000 \times 1 \times 10^{-3} = 1 \text{ kgf}$$

(二) 粘滞性

液体具有易流动性，在相对静止时，液体不能抵抗切力，在微小切力的作用下，将破坏原来的相对静止状态，产生无限止的变形，即发生流动。但是当液体一旦流动时，则分子间的作用力确立即显示为对流动的阻抗作用，即显示出所谓粘滞性阻力（内摩擦阻力），液体的这种阻抗变形运动的特性就称为粘滞性，也叫“内摩阻”。需要说明的是当液体运动一旦停止，这种阻力就立即消失。因此，粘滞性在液体静止或平衡时是不显示作用的。液体运动时的粘滞阻力只能使液体的变形即流动缓慢下来，但不能阻止静止液体在任何微小的切向力作用下开始流动。

举例说明一下液体的粘滞性。如果测出渠道水流的过水断面上各点的流速 u ，并绘出过水断面上的流速分布，如图

1—1a 所示（图中每根带箭头的线段的长度表示该点流速的大小）。就会发现过水断面上的流速分布是不均匀的。渠底流速为零。随着离开固体边界的距离的增加，流速逐渐增大，至水面附近流速最大。为什么水流过水断面上会形成不均匀的流速分布呢？因为水流具有粘滞性。紧靠固体壁面的第一层极薄水层由于附着力的作用而贴附在壁面上不动，第一水层将通过粘滞（摩阻）作用而影响第二水层的流速，如此逐层影响下去。离开壁面的距离愈大，壁面对流速的影响愈小，其结果就形成了图1—1a所示的流速分布规律。就是这样，固体边界通过液体的粘滞性，而对液体运动起着阻滞作用。液体的粘滞性可用粘滞力即内摩擦力来表达。流得快的水层对流得慢的水层起拖动作用，因而快层作用于慢层的内摩擦力与流向相同；反之慢层对快层起阻滞作用，则慢层作用于快层的摩擦力与流向相反，如图1—1b所示。两力大小相等、方向相反，都具有抗拒其相对运动的性质。

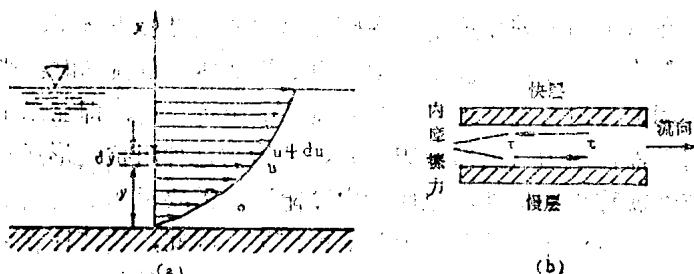


图 1—1

实验证明，在这种成层流动的液体中，发生在各层间的相互带动又相互阻滞的内摩擦力 F 的大小与液体的性质有关，与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 和接触面积 A 成正比，而与接触面上的

压力无关，即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

式中： μ 为比例系数，它和液体的种类有关，称为动力粘滞性系数，其国际单位为牛·秒/厘米² (N·s/cm²)；工程单位为公斤力·秒/米² (kgf·s/m²)。

若以 τ 表示单位面积上的内摩擦力，即粘滞切应力，则

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

式(1-4)或(1-5)是由牛顿在1686年首先提出的，故又称为牛顿内摩擦定律，它表明：只要液体运动，则流层间就会产生内摩擦力。如果在 $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ 中， $du=0$ ，即速度增量等于零，则 $\tau=0$ ，即说明此时液体处于静止（相对）状态，同时表明在静止液体中不承受切应力。

液体的粘滞性还可以用动力粘滞性系数和液体密度 ρ 的比值来反映。把它命名为运动粘滞性系数，记作 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ，其国际单位和工程单位均为米²/秒(m²/s)。

在同一种液体中， μ 或 ν 值均随温度和压力而异，但随压力变化关系甚微，对温度变化较为敏感。

为了使用方便，在表1—2中列出了不同温度时，水的 ν 值。

表1—2. 不同温度时的 ν 值

温度 (°C)	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°
ν 值 (cm ² /s)	0.01775	0.01674	0.01568	0.01473	0.01387	0.01310	0.01289
温度 (°C)	14°	16°	18°	20°	22°	24°	26°
ν 值 (cm ² /s)	0.01176	0.01118	0.01062	0.01010	0.00989	0.00919	0.00877
温度 (°C)	28°	30°	35°	40°	45°	50°	
ν 值 (cm ² /s)	0.00839	0.00803	0.00725	0.00659	0.00603	0.00556	