

消防水力学

沈友弟 张文铮 编译



华东化工学院出版社

消防水力学

沈友弟 张文铮 编译

GA 30/18

华东化工学院出版社

(沪)新登字 208 号

消防水力学

Xiaofang Shuixue

沈友弟 张文铮 编译

华东化工学院出版社出版

(上海市梅陇路 130 号)

新华书店上海发行所发行

浙江上虞科技外文排印厂排版

上海长鹰印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 6.125 字数 161 千字

1992 年 3 月第 1 版 1992 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—3600 册

ISBN7-5628-0259-9/TV·1 定价: 5.00 元

序

水是取之不尽,用之不竭的天然灭火剂,目前在消防工程中它是应用得最广泛的灭火剂。消防水力学则是从消防角度研究水的平衡和运动规律及其应用的一门科学,其任务是解决以消防给水灭火为中心的与消防工程有关的水系统问题,如消防给水管径的确定,消防水带爆破的预防,消防流量压力的计算等等,以使人类能更好地用水灭火。

关于消防水力学问题,世界先进国家早已引起重视,不仅运用现代科学技术进行研究,而且作了大量投资予以普及。美国把《消防水力学》一书列为消防队员必读课本之一,因为学习消防水力学对于从事消防工作的人员来说是十分重要的。

随着消防事业的发展,我国也把消防水力学的研究摆上了议事日程,例如我国的武警指挥学校已把消防水力学列为消防工程系的专业基础课程之一。消防工作者应该学习和掌握消防水力的专业知识,这是提高我国消防队伍整体素质,更好地做好消防保卫工作的需要。但是,目前我国专论消防水力学的书本极少,消防水力学对广大消防工作者来说还是相当陌生的。

鉴于这种状况,沈友弟、张文铎两同志最近编译了《消防水力学》一书。我本人从事消防工作数十年,阅读该书后感到此书由浅入深,通俗易懂,条理清楚,实用性强,是一本消防科普书籍,尤其适用从事消防工作和建筑设计的人员阅读。

徐耀标

1991年5月于上海

前 言

消防水力学是从消防角度来研究水力学及其在消防工程中应用的一门科学。因此它研究的对象是水流经供水管道、消防水带、消防水泵、水枪喷口,最后以消防射流的形式穿过大气过程的平衡和运动的规律。它是消防专业的一门基础课,其任务是解决以消防供水为中心的与消防工程有关的水系统问题,比如,如何确定灭火所需的供水量和供水压力;如何计算消防供水管道、水带等的压力损耗;如何预防消防水带的爆破等等。因此,学习消防水力学的基本原理,掌握燃烧的基本知识,了解火灾的性质和大小,熟悉消防给水的一般规律,掌握消防供水量与供水压力的计算方法,对于消防给水设计人员和从事消防工作的人员来说是十分重要的。

编译本书的目的是,帮助读者了解和掌握消防水力学的基本原理,学会各种消防的基本计算方法,从而更好地做好消防保卫工作。

本书以阐述消防水力学基本原理为主,同时也简要地介绍了学习消防水力学所必需的数学基础知识和燃烧基础知识。内容由浅入深,循序渐进,通俗易懂,可读性较强。

在本书编译过程中,得到了许多领导的热情支持和鼓励,也得到了许多同志的热心指导和帮助,特别是上海市消防局局长徐耀标同志为本书写了序,上海机械学院的徐桂中高级工程师审阅了初稿并对有关内容作了修改,在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,经验缺乏,时间仓促,书中难免有错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编译者

1992年4月于上海

目 录

第 0 章	绪论	1
第 1 章	数学基础知识	3
1.1	导言	3
1.2	符号与记号	4
1.3	公式与方程式	11
1.4	面积与体积	17
1.5	计算图表	21
	习题	24
第 2 章	燃烧基础知识	26
2.1	燃烧的物理性质和化学性质	26
2.2	火灾的控制和扑灭	28
2.3	比热和潜热	29
2.4	水的灭火效用	34
2.5	估算消防用水量	37
	习题	43
第 3 章	水的性质	44
3.1	物质性能介绍	44
3.2	力学基础知识	45
3.3	水的蒸汽压	48
3.4	密度	50
3.5	粘滞性,水流的阻力	53
3.6	表面张力	55
3.7	泡沫	56
	习题	57
第 4 章	水静力学	59
4.1	水静压强	59
4.2	绝对压强和相对压强	63

4.3	压强的测定	66
4.4	静水总压力	69
	习题	74
第 5 章	水动力学	76
5.1	导言	76
5.2	水流的基本参数	77
5.3	牛顿定律对流体的应用	82
5.4	功、能、力	86
5.5	能量守恒定律	88
	习题	95
第 6 章	管道和水带中的水流	97
6.1	导言	97
6.2	水力和能量坡度线	98
6.3	水管和水带中的摩擦损失	100
6.4	并联和串联	107
6.5	支线	110
6.6	局部损失	112
6.7	水锤	116
6.8	经验算法	117
6.9	给水	119
	习题	124
第 7 章	水泵	126
7.1	水泵的分类	126
7.2	流量、压力和功率	132
7.3	允许吸水高度	139
7.4	并联和串联	141
7.5	发动和故障检查	143
7.6	水泵浦车测试	144
7.7	接力供水	147
	习题	150

第 8 章 消防射流	151
8.1 导言	151
8.2 消防射流的路径	152
8.3 水枪流量	155
8.4 消防射流的扩散	160
8.5 理想消防射流的射程	163
8.6 自动喷水灭火系统	168
习题	173
附录	174
附录 1 容量单位换算表	174
附录 2 流量单位换算表	174
附录 3 压力单位换算表	175
附录 4 中华人民共和国国家标准, 地上消火栓	176
附录 5 中华人民共和国国家标准, 地下消火栓	178
附录 6 中华人民共和国国家标准, 地上地下消火栓 通用技术条件	181
附录 7 参考文献	185

第0章 绪 论

本书是专为消防专业工作者编译的，它汇集了国外有名望的消防指挥员编写的几本同类教科书的内容。我们所了解的消防射流、水枪流量、水带中的水流等水力学问题，多数来自约翰 R·弗雷孟先生和其他先生于一百年以前在美国民用工程学会的学报上发表的文章。此后，又有一些新的实验数据问世，对原来的水力学公式偶尔地作了一些修正。但是，几十年来在科学理论上的重大进展没有与消防设备和专职消防员训练方面巨大的进步结合起来。过去 50 年间，在水力学工程方面取得的科技成果还没有应用于消防水力学的实践。因此，许多消防水力学的公式和数据还处于非常落后的水平。

本书论述的重点是水力学而不是消防硬件，但笔者并不认为我们可以忽视消防硬件。消防员经过充分的训练和工作实践，能够熟悉消防器材设备，他们所要求的是阐述与自己的工作有关的水力学原理。

本书内容安排的原则是要求读者注重理论和概念的理解，而不是死记硬背。前几章主要帮助读者掌握学习水力学所需的数学基础知识，详细阐述水力学的理论和法则，在此基础上，引伸出消防水力学的公式和计算方法。必要的地方用水力学工程的现代科学水平修改传统的公式，这样可导出适合实际工作的更简明、有效的公式，并导出计算消防水带流量和压力的新方程式。本书也编入了有关消防水泵流量的计算以及消防水泵的检修、验收和运转测试等方面的内容。在初步掌握水力学理论的基础上，阐明造成消防射流损失的物理原因。对水平和垂直方向射程表中的数据，用国际商业机器公司 (IBM) 生产的计算机作了广泛的分析。并以这些分析结果为依据，导出了简单、科学、详细、正确的射程方程

式。书中一些重要的消防水力学公式也用列线图表示，以便使读者不用计算器就能迅速地求解方程式。

过去的经验公式和数据表都用英制单位，为便于读者使用，对于绝大部分常用的公式都已将其改成国际制（SI制）单位。本书基本上采用国际制单位详解各个例题。习题已给出答案，只要具有一般的数学知识，都能借助于电子计算器解出习题。

第1章 数学基础知识

本章目的：使读者知道应该如何设置方程式、符号、指数和量纲；学会计算表面积和体积；能够使用方程图解的方法。

1.1 导言

水力学是一门科学，它研究的主要对象是水。人类生活依赖于水，因此，了解水的性质是建设现代文明生活的基础。从某种意义上来说，伟大文明的形成和发展，都是以人类利用水的能力为基础的。自从有历史以来，文明包括了人类供水、洪水控制、水利灌溉，某种程度上还有扑救火灾的能力。

力学是产生水力学的一门主要科学。力学研究的对象是物质运动之间的相互关系和作用于物质（无论是固体、液体、还是气体）的各种力之间的相互关系。力学涉及的范围很广，从机器和建筑的设计，到对银河星系和原子颗粒性质的理解，都离不开力学。尽管如此，力学的基础只是一些基本原理，诸如“作用力和反作用力相等”或“力等于质量乘以加速度”等等。要理解水力学的原理，必须知道有关力学的这些基本原理是怎样应用于水的运动和压力的。

消防水力学是水力学的一个特殊分支，它是关于火场供水及其应用的一门技术科学。因此，消防水力学研究的对象是流经供水管道、消防水带、消防水泵、水枪喷口，最后以消防射流的形式穿过大气的水的平衡和运动的规律，消防供水的目的是将水作为灭火剂送到火场，并将其应用于灭火的行动。要做好这项工作，必须掌握作为一种化学反应的燃烧的基本知识。根据火灾的性质和大小，确定所需的供水量和供水压力。这是消防水力学的精髓。从

广义上来讲,学习消防水力学,也应包括熟悉用于实现其目的的消防硬件。消火栓、消防泵浦车、消防水带、水枪和其他各种器材,是消防员的日常工具。消防员经过认真的训练,每天接触消防器材设备,能很快学会和掌握其有效的使用方法。但学习消防水力学并不这么容易。作为一门科学,要掌握它,非经过正规的学习不可。学习消防水力学,如同建造一所房屋,需要有坚实的基础和仔细、扎实、循序渐进的步骤。知识就是对事物的认识,而对事物的认识就是要知道事物的性质及其原因。死记硬背是与理解背道而驰的。对记电话号码来说,死记硬背是可取的,但对学习消防水力学来说,死记硬背是不可取的。死记硬背不能取代灵活理解的学习方法。

数学是科学的语言,它可以使我们用简单的符号和公式来表述一些基本原理和物理量的相互关系,避免了冗长的文字说明,减少混淆,有利于理解。因此,学习消防水力学,必须掌握数学基础知识。

1.2 符号与记号

当我们步入市场商店,看到以¥16.99的形式标明某商品的价格时,我们是不会充分注意这种标价法给我们带来的便利的。事实上这一标价清楚地告诉我们,商品的价格单位是人民币元,也十分清楚地表明了十进位制小数。不管怎样,这一商品的价格也可用其他方式来表示。设想一下不使用小数点和阿拉伯数的罗马人的标价情况,也可设想一下使用基尼、先令和分的老式英制货币单位的情况。如果没有数字符号,上述¥16.99的价格就会写成“拾陆元玖角玖分”。如同我们用¥符号标明人民币单位一样,在消防水力学和技术工程其他各个领域,我们也用符号来替代一些基本概念。例如,通常我们用“ v ”(velocity 的缩写)表示速度,用“ Q ”(quantity的缩写)表示流量,用“ L ”表示长度,等等。本书使用的各种符号列于表 1.1。大多数符号或记号习惯使用拉丁字母,但由

于字母有限，有时就用大写字母和小写字母分别表示不同的概念。例如，在计算中遇到两个不同的直径时，我们就用小写字母“ d ”和大写字母“ D ”来表示不同的直径。如果有两个以上的同类概念，我们就用下标加以区别。例如，对三条不同水带的直径，我们可用 D_1 、 D_2 、 D_3 来表示，这样通过使用下标，就可分别替代三条不同直径的水带。这三条水带的流量则可用 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 来表示。在力学中，一些基本概念常用希腊字母表示，而不用拉丁字母来表示。开始时，对希腊字母符号可能比较生疏，但经过一段时间的实践，就可证明这些符号是非常有用的。世界科学技术各个领域，都使用希腊字母表示同样的概念。例如： ρ （希腊语 rho）表示单位质量或密度； Δ （希腊语 delta）表示其后物理量的微小变化，像 ΔV 说明速度 V 的增加或减小。对本书中使用的少量而必要的希腊字母符号，在第一次出现时，将作些解释。有些符号读者已经熟悉。例如，圆的周长与直径的比率是一个常用的常数 π 用下列公式表示：

$$\frac{\text{圆周}}{\text{直径}} = 3.1416 = \pi \quad (1.1)$$

式中符号 π 是希腊文 pi。

书中使用其他的表示数学运算的符号，如 +（加）表示加法，-（减）表示减法。读者不太熟悉的符号恐怕只有一个，即 Σ ，这是希腊字母意思为“……的总和”，表示其后的物理量符号必须相加。如：

$$\Sigma(D) = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$

下面介绍每个读者都熟悉的，但是对许多人来说也许会造成混淆的另一个数学符号是根号“ $\sqrt{\quad}$ ”。它表示根号内的数的“平方根”。一个数的平方根是一个数值，当其自乘时就得出根号内的数。如：

$$\sqrt{9} = 3$$

因为

$$3 \times 3 = 9$$

一个数自乘，在数学上用指数来表示，例如：

$$3 \times 3 = 3^2$$

式中指数 2 表示 3 应自乘一次。大于 2 的指数，也以此类推。例如：

$$3 \times 3 \times 3 \times 3 = 3^4$$

指数也可称为“乘方”，如“2 的乘方”。根据数学法则，根号也可写作 $\frac{1}{2}$ 指数，叫做“ $\frac{1}{2}$ 次方”，也就是说，

$$\sqrt{9} = (9)^{1/2} = 3$$

指数的数学运算规则是：

$$a^0 = 1$$

$$a^1 = a$$

$$a^{-1} = \frac{1}{a}$$

$$a^n \times a^m = a^{(n+m)}$$

$$\frac{a^n}{a^m} = a^n \times a^{-m} = a^{(n-m)}$$

$$a^{(n \times m)} = (a^n)^m$$

在这些式中， a 是基数，指数 n 和 m 可以是任意一个数。

例题 1.1

试用各种有效形式表示 $Q^{-0.25}$ 。

题解：

根据已知指数运算的规则，

$$Q^{-0.25} = \frac{1}{Q^{0.25}} = \frac{1}{Q^{1/4}}$$

因为 $1/4 = 1/2 \times 1/2$

$$\frac{1}{Q^{1/4}} = \frac{1}{Q^{(1/2 \times 1/2)}} = \frac{1}{\sqrt{\sqrt{Q}}}$$

消防水力学中，大部分公式都有指数，而且这些指数往往不是整数，而是小数，例如 2.33, 2.5, 等等。因此读者应熟悉指数的数学意义。前述指数运算的一般规则也适用于小数指数的运算。在小型便携式计算器应用于数学运算以前，计算有小数指数的值是

项复杂的工作,如今使用计算器运算,这种计算就不困难了。使用计算器,我们可直接应用水力学公式进行计算,而不需要使用十几年以前水力学计算必备的工具计算表了。

例题 1.2

试用指数的规则简化 $D/(D^2)^2$ 的表示形式,并求出 $D=0.5$ 时的值。

题解:

$$\frac{D}{(D^2)^2} = \frac{D^1}{D^4} = D^1 \times D^{-4} = D^{-3} = \frac{1}{D^3} = \frac{1}{D \times D \times D}$$

将 $D=0.5=1/2$ 代入,则得

$$\frac{1}{1/2 \times 1/2 \times 1/2} = \frac{1}{1/4 \times 1/2} = \frac{1}{1/8} = 8$$

在技术计算中,常常会碰到一连串的零数。这么多零数写起来很不方便,而且往往还会导致计算错误。在进行计算时,不管怎样精确,如果点错了小数点,计算结果就会出错。使用指数记法,就可避免书写一连串的零。它以 10 为基数,自乘若干次方,例如:

$$10 \times 10 = 10^2 = 100$$

$$10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10^5 = 100\,000$$

$$10^6 = 1\,000\,000 = 1\text{ 百万}$$

上述例子表明,10 的指数表示在 1 后面有若干个零,组成相当大的数。对于基数 10 的负指数来说,结果也是一样。例如,根据已知的指数规则,

$$10^{-1} = \frac{1}{10} = 0.1$$

$$10^{-5} = \frac{1}{10^5} = 0.00001$$

上述例子也表明,基数 10 的负指数表示在 1 前面有若干个零,小数点必须从最初的位置如 1.0 移到整数 1 的左边。

表示大数的另一个方法是使用词头。许多词头是我们日常语

言的一部分：如原子弹的爆炸威力以兆吨表示，电力以千瓦为单位，新的直尺使用毫米刻度，药剂的化学组分以毫克计量。这些词头都来自国际制单位，其意义和符号列于下表：

词头	符号	意 义	指数记法
giga-	G	以 1 000 000 000 乘基数	$\times 10^9$
mega-	M	以 1 000 000 乘基数	$\times 10^6$
kilo-	k	以 1 000 乘基数	$\times 10^3$
centi-	c	以 100 除基数	$\times 10^{-2}$
milli-	m	以 1 000 除基数	$\times 10^{-3}$

使用符号时，前后必须始终保持一致，并要用国家标准形式，不得将小写字母改为大写字母，因为大写字母和小写字母的意义不同。例如，表示厘米的符号是 cm，而不是 CM，表示每小时行驶公里的符号是 km/h，而不是 KMH，等等。符号与缩写词的差别在于它们后面没有缩写句点，所以“cm”是正确的。在计算公式时，符号后面不用缩写句点有好处，因为它们有可能被当作数中的小数点，它也表示乘法，代替“ $\times$ ”号。

任何参数的基本度量可通过四个基本单位的组合表示。这四个基本单位是：长度、力、时间和温度。这些基本单位的特殊组合可以描述任何符号。它们被称为符号的量纲，例如，流量的量纲是体积/时间，可简化为立方长度/时间；压强的量纲是力/面积，可简化为力/平方长度。不管选用何种度量制，国际制(SI 制)或美国以前常用的英制单位，或公制，或基本度量单位构成的任何组合单位，符号的量纲不变。如表 1.1 所示，消防水力学中使用的符号，绝大部分都可采用任何一种度量单位描述。因此，使用符号(而不是缩写)是非常方便的。不管选用何种度量单位，水力学的公式都是适用的。唯一的要求是前后必须使用同样的度量单位，并始终保持一致。例如计算一个桶的体积时，须使用标有同样度量单位的测量杆测定其高度和直径，测量杆上的度量单位则可任选，或

用米,或用厘米表示。

本书中的水力学公式,大部分不受度量单位的限制。这些公式可任选度量制进行计算,但要始终保持使用一致的度量制。计算中,开始选用答案所要求的一种度量单位后,就没有必要使用本书附录中的换算分数表,将一组度量单位改为另一组度量单位。

美国过去常用的重力和度量单位制中,实际上并不是符号而是缩写的常用记号有几个,例如表 1.1 内列有三个典型的记号,即 Btu,gpm 和 hp。Btu 表示热量单位,gpm 表示流量单位,hp 是功率单位。因此缩写词和符号有很大差别,因为缩写词取决于特殊的测量方法。

美国常用单位制和新的国际制单位(SI制)之间的一个微小差别是,时间单位秒的表示方法有所不同。在使用英制单位的公式中,秒缩写成“sec”,而在使用 SI 制单位的公式中,则用符号“s”表示秒。本书采用 SI 制。

表 1.1 符号及其意义

符号	定 义	度量制
<i>A</i>	面积,其量纲为平方长度	任选
<i>a</i>	加速度,其量纲为长度/时间平方	任选
Btu	热量单位	英制
°C	摄氏温度	国际制
<i>C</i>	流量系数	—
<i>D</i>	直径,其量纲为长度	任选
<i>d</i>	直径,其量纲为长度	任选
<i>E</i>	能量(可用焦耳或者相对高度表示)	任选
<i>e</i>	管道壁粗糙度,其量纲为长度	任选
<i>F</i>	力,其单位为牛顿或磅	任选
<i>f</i>	管道摩擦系数(无量纲)	—
gpm	流量(加仑/分)	英制
<i>g</i>	重力加速度,其量纲为长度/时间 ²	任选
<i>H</i>	高度,其量纲为长度	任选
<i>H</i>	消防射流的水平射程,其量纲为长度	任选
hp	功率(马力)	英制