

全国电力工人公用类培训教材

应用水力学基础

水利电力出版社

13
3

全国电力工人
公用类
培训教材

应用水力学基础

闵兆宏 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是新颁《电力工人技术等级标准》的配套教材之一。全书共分六章。主要讲述：液体的初步知识、水静力学、水流运动的初步知识、恒定流的能量及能量方程、水流的水头损失、管流。为便于培训与考核，各章之后均附有复习题。

本书可供火力发电、水力发电、火电建设、水电建设、电力机械修造等5部分、16个专业、78个工种的初级工、中级工和高级工培训考核使用；也可以作为工人就业前的培训教材及电力行业技术人员的参考书。

全国电力工人公用类培训教材

应 用 水 力 学 基 础

闵兆宏 主编

*

水利电力出版社出版、发行

(现中国电力出版社)

(北京三里河路6号)

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4.625印张 99千字

1994年12月第一版 1996年1月北京第二次印刷

印数 7101—17140册

ISBN 7-120-02277-6/TV·831

定价 4.10元

努力搞好教材建設
為提高電業職工
素質服務

史大楨

丁巳年春

出版者前言

1991年12月能源部颁布的《电力工人技术等级标准》，是按照全国第三次修标工作的统一部署，对原标准进行修订后形成的。它将原八级制改为初、中、高三级制。这是一项重大突破。新标准颁布的文件中明确指出：工人技术等级标准是衡量工人技术水平和工作能力的客观尺度，是对工人进行培训、考核、使用和给予相应待遇的重要依据。

由于颁发了新标准和工人考核条例，所以培训工作必须适应这一改革的要求。为此，本社组织出版了这一套《全国电力工人公用类培训教材》，旨在为全国电力系统广大工人的技术定级、上岗、转岗、晋级及电力职业技能鉴定等的培训、考核工作服务。

在编写这套《全国电力工人公用类培训教材》时，首先对新标准的七大部分各专业的内容进行了逐条摘录和分类归纳，然后取其共性和通用部分，产生了教材目录，再经重点调查研究和广泛征求意见后才着手编写。初稿形成后，又广为征询修改意见，并进行了审稿和统稿。因此，定稿后的公用类培训教材内容，深信是紧扣新标准的实用性教材，它具有按照工人培训的特殊要求和规律建立的教材体系，以及重点突出、层次分明、深入浅出、易教易学、图文并茂等特点。各分册教材中还附有各工种培训、考核范围表。这可以指导工人自学和开展培训、考核时掌握教学和考核的范围。

在编写这套《全国电力工人公用类培训教材》的全过程中，得到了电力工业部领导的关怀和各有关司局的大力支持，

同时也取得了全国电力系统各有关单位和人员的关注、支持和帮助。山西省电力工业局的解一凯、关增荣二位同志也为此做了大量的工作。在此一并表示感谢。

《应用水力学基础》是《全国电力工人公用类培训教材》之一，它适用于5部分16个专业78个工种的学习。本书由丰满水电技术学校闵兆宏主编。吴明玉编写第二章，李奎生编写第五章，汪玉斌编写第六章，其余各章由闵兆宏编写。全书由丰满发电厂方仁治主审。

各单位和广大读者在使用本套教材过程中，如发现不妥之处或有修改意见，请随时函告，以便再版时修改。

水利电力出版社

1994年7月

目 录

史大桢部长题词

出版者前言

第一章 液体的初步知识	1
第一节 水力学的定义及液体基本特性	1
第二节 液体的主要物理性质	2
复习题	6
第二章 水静力学	8
第一节 静水压强及其特性	8
第二节 静水压强基本规律	10
第三节 绝对压强、相对压强、真空	16
第四节 等压面及静水压强测量	18
第五节 作用于平面壁上的静水总压力	23
第六节 作用于曲面壁上的静水总压力	30
复习题	33
第三章 水流运动的初步知识	39
第一节 水流运动的基本概念	39
第二节 恒定流的连续方程	46
复习题	48
第四章 恒定水流的能量及能量方程	50
第一节 水流的能量	50
第二节 恒定流的能量方程	52
第三节 能量方程的几何意义 ——测压管水头线与总水头线	54
第四节 能量方程的适用条件及注意事项	56
复习题	63

第五章 水流的水头损失	67
第一节 水头损失及分类	67
第二节 层流、紊流和雷诺数	68
第三节 沿程水头损失计算	70
第四节 局部水头损失计算	84
复习题	97
第六章 管流	101
第一节 有压管道及分类	101
第二节 短管的水力计算	101
第三节 长管的水力计算	110
第四节 管径的选择及经济流速的概念	114
第五节 有压管道的非恒定流——水锤	117
复习题	133
附录 全国电力系统各工种培训考核范围表	137

第一章 液体的初步知识

第一节 水力学的定义及液体基本特性

一、水力学的定义

水力学是研究液体平衡（包括静止）和运动的规律及其应用的一门科学。它是力学的一个分支，由于研究的主要对象是水，故通常称为水力学。

二、液体的基本特性

物体存在的形式有三种，即固体、液体和气体。

液体与固体的主要区别是液体容易流动，因为液体分子之间的距离相对较大，内聚力较小，分子之间容易移动，只要有很小的外力（包括自身重力），液体就可以改变形状而发生流动。

液体与气体都具有易流动性，所以统称流体。它们的区别是液体分子内聚力比气体分子内聚力大得多，从而液体能够保持固定的体积，在外力作用下其体积变化很小，当容器大于液体体积时，液体不会充满整个容器，而且有自由表面。气体分子间距较大，内聚力很小，不仅没有固定的形状，也没有固定的体积，极易膨胀和压缩，它可以任意扩大体积，直到充满容器的整个空间，故没有自由表面。

液体与其它物体一样，从微观角度看，它是由彼此之间有间隙的分子构成，因此，液体是不连续、不均匀的。而水力学则从宏观的角度来研究液体的机械运动，因此，常把液

体视为内部无任何间隙、由无数个水质点充满液体内部整个空间的均匀、连续介质。

综上所述，水力学中研究的液体是一种易流动、不易被压缩、均质的连续介质。水力学原理适用于各种液体和可以忽略压缩性影响的气体。

第二节 液体的主要物理性质

一、惯性、质量和密度

惯性是物体的基本属性之一，是指物体所具有的保持其原有运动状态的性质。物体惯性的大小以物体质量的大小来度量，质量大则惯性大，质量小则惯性小。

单位体积液体的质量称为液体的密度，用符号 ρ 表示，表达式为

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

式中 ρ ——液体的密度 (kg/m^3 , 公斤/米³)；

m ——液体的质量 (kg , 公斤或千克)；

V ——液体的体积 (m^3 , 米³)。

不同液体的密度各不相同，同一种液体的密度随压强、温度的变化而稍有变化。水力学中可以把液体的密度视为常数。水的密度采用在一个大气压下，温度为 4℃ 时纯水的值为计算值，即 $\rho = 1000 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

气体的密度随温度、压强的不同变化很大，工程上不能忽略。气体密度随温度、压强的变化关系可以用完全气体的状态方程表示，即

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{p_1}{p_2} \frac{T_1}{T_2} \quad (1-2)$$

式中 ρ_2, p_2, T_2 ——气体状态变化后的密度、压强及绝对温度；
 ρ_1, p_1, T_1 ——气体状态变化前的密度、压强及绝对温度。
 其中绝对温度 $T = 273 + t$ (°C)，其计量单位为开 (K)。

二、万有引力特性、重量和容重

万有引力特性是指任何物体之间相互具有吸引力的性质。地球对物体的吸引力称为重力。质量为 m 的物体，其重力 G 为

$$G = mg \quad (1-3)$$

式中 G ——物体的重量 (N, 牛)；

g ——重力加速度，一般取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ (米/秒²)。

单位体积液体的重量称为液体的容重，用符号 γ 表示，表达式为

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-4)$$

式中 γ ——液体的容重 (N/m³, 牛/米³)。

将式 (1-3) 两边同除以体积 V ，根据式 (1-1) 和式 (1-4) 可得容重与密度的关系为

$$\gamma = \rho g$$

或

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1-5)$$

液体的容重与密度一样，通常也可视为常数。水的容重为 $\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$ 。几种常见液体的容重见表 1-1。

表 1-1 几种常见液体的容重

液体种类	汽 油	酒 精	海 水	水 银
容重 (N/m ³)	6664~7350	7778	9996~10084	133280

例 1-1 在一个标准大气压下, 水和水银的容重分别为 $\gamma_{\text{水}} = 9800 \text{ N/m}^3$; $\gamma_{\text{水银}} = 133280 \text{ N/m}^3$ 。试求两种液体的密度各为多少?

解 根据式 (1-5) 求得

$$\text{水的密度 } \rho_{\text{水}} = \frac{\gamma}{g} = \frac{9800}{9.8} = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{水银的密度 } \rho_{\text{水银}} = \frac{\gamma}{g} = \frac{133280}{9.8} = 13600 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

例 1-2 烟气在一个大气压下、温度在 0°C 时的密度为 1.3 kg/m^3 。试求炉膛内温度为 800°C 时的密度与容重。炉膛内压强的变化不计。

解 已知 $\rho_1 = 1.3 \text{ kg/m}^3$, $T_1 = 273 + 0 = 273 \text{ (K)}$, $T_2 = 273 + 800 = 1073 \text{ (K)}$ 。 800°C 时烟气的密度, 根据式 (1-2) 得

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{T_2}{T_1} = 1.3 \times \frac{273}{1073} = 0.331 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

800°C 时烟气的容重, 根据式 (1-5) 得

$$\gamma = \rho g = 0.331 \times 9.8 = 3.24 \text{ (N/m}^3\text{)}$$

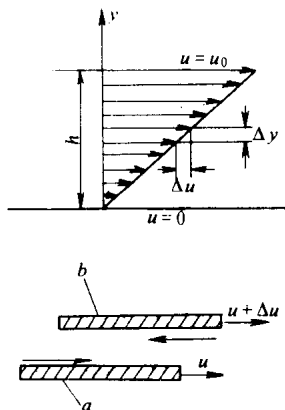


图 1-1

三、粘滞性

液体流动时各流层的速度不同, 如图 1-1 所示。假定 b 层的速度为 $u + \Delta u$, a 层的速度为 u , 那么这两个邻近流层之间产生了相对运动, 相对运动速度为 Δu 。因此也就产生了与固体摩擦相似的摩擦力, 称为液体的内摩擦力, 以抗拒层间的相对运动。液体的这种性质称为粘滞性, 其内摩擦力又称

为粘滞力。

液体的粘滞性是液体固有的物理属性，粘滞力大小与液体的种类有关，如机械油的粘滞力大于水的粘滞力。同一种液体粘滞力的大小与液层之间相对运动速度有关。如处于静止状态的液体，没有层间相对运动，粘滞性不起作用，粘滞力为零。

表 1-2 列出了一个标准大气压下，水在不同温度时的运动粘滞系数值，其它几种常见液体（常温下）的运动粘滞系数见表 1-3。

表 1-2 水在不同温度下的粘滞系数

温 度 (℃)	运动粘滞系数 $\nu \times 10^{-2}$ (cm ² /s)	温 度 (℃)	运动粘滞系数 $\nu \times 10^{-2}$ (cm ² /s)
0	1.78	30	0.80
4	1.57	40	0.66
5	1.52	50	0.55
10	1.31	60	0.47
12	1.24	70	0.41
15	1.14	80	0.36
20	1.00	90	0.33
25	0.87	100	0.29

表 1-3 其它几种液体的粘滞系数

液 体	汽 油	煤 油	石 油	机械油	空 气	
温度 (℃)					20	40
$\nu \times 10^{-2}$ (cm ² /s)	0.5~0.9	2.5	7.0~70	30	15	16.8

液体在运动过程中为了克服粘滞力就要不断地消耗其能

量，所以粘滞性是引起液体能量损失的根源。

另外，液体的粘滞性具有随温度升高而降低的特性。这对于热电厂中输送燃油和提高雾化质量，起到了良好作用，但对汽轮发电机组、水轮发电机组、泵与风机等旋转机械的轴承润滑，将有不良影响。因为当润滑油温超过 60°C 时，由于粘滞性下降而导致润滑效果变差，造成轴承温度升高，可能引起轴瓦烧毁的事故。

四、汽化压强

汽化是指液体分子运动速度（动能）足够大时从液面上不断逸出而成为蒸汽或沸腾的现象。在一个大气压下，水温上升到 100°C 时就开始汽化；在压力小于一个大气压时，水温不到 100°C 就会汽化。这说明压力愈小，水分子愈容易从水中逸出而汽化。如果保持某一水温，逐步降低液面的压强，当液面压强降低到某一数值时，水便开始汽化，此时的压强称为水在该温度下的汽化压强。水的汽化将影响水流运动，对建筑物或水力机械造成气蚀危害，应注意防止。

复 习 题

一、名词解释

1. 惯性
2. 密度
3. 万有引力特性
4. 容重
5. 汽化
6. 汽化压强

二、填空题

1. 水力学是研究液体_____和_____规律及其应用的一门科学。
2. 物体存在的形式有三种，即_____、_____和_____体。

3. 液体与气体，都具有_____性，所以统称为流体。
4. 液体能够保持_____的体积，在外力作用下其_____变化很小。
5. 当容器大于液体体积时，液体不会_____整个容器，而且有_____表面。
6. 气体没有固定的形状，没有固定的_____，也没有_____表面。
7. 水力学中把液体视为内部无任何_____、由无数个水质点_____液体内部整个空间的均匀、连续介质。
8. 单位体积液体的质量称为液体的_____。
9. 单位体积液体的重量称为液体的_____。
10. 温度为 4°C 时纯水的密度 $\rho =$ _____ kg/m^3 ，容重 $\gamma =$ _____ N/m^3 。
11. 粘滞性是引起液体_____的根源。
12. 液体的粘滞性具有随温度_____而降低的特性。

三、计算题

1. 已知海水容重为 10000N/m^3 ，若以单位 N/L (牛/升) 及 N/cm^3 (牛/厘米³) 表示，其容重值各为多少？
2. 酒精的容重为 8000N/m^3 ，它的密度为多少？
3. 通常情况下， 500L (升) 淡水的重量和质量各是多少？
4. 已知水银的容重为 133280N/m^3 ，求它的密度为多少？

四、问答题

1. 什么是流体？液体、气体、固体有什么区别？
2. 水力学中研究的液体是一种什么介质？
3. 液体的密度和容重有什么区别及联系？
4. 什么是液体的粘滞性？它在什么情况下才能发生作用？

第三章 水静力学

第一节 静水压强及其特性

一、静水压强

在生活和生产实践中经常遇到静水压强问题。例如：人们在游泳时，如果水淹没胸口就会感到受压；用手堵住开启的自来水嘴手会受到压力；管道破裂时液体会喷射至一定高度；闸门如果没有足够的强度，挡水后会被压弯；堤坝的重量不够，挡水后亦可能发生位移而破坏。上述实例都是水压力作用的结果，衡量作用在受压面上压力的大小，常用单位面积上所受的压力来表示，即压强，其表达式为

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

式中 p ——受压面上的平均静水压强 (Pa 或 kPa, 帕或千帕)；

P ——作用在受压面上的静水总压力 (N 或 kN)；

ω ——受压面的面积 (m^2 或 cm^2 , 米^2 或 厘米^2)。

如果受压面上各处的静水压强相等，如图 2-1 所示的容器底部，由式 (2-1) 可求出作用在受压面上的静水总压力 $P = p\omega$ ，但实际上受压面各处的压强不一定相等，如图 2-1 所示容器侧壁上的压强。为使式 (2-1) 具有更普遍的意义，今提出点压强的概念。某一点的点压强可以理解为：在它周围一块极小面积 $\Delta\omega$ 上承受静水总压力 ΔP 的平均值，即

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

式(2-1)和式(2-2)对压强的表达方式不同,但其涵义是相同的,只不过所取的受压面大小不同而已,因此具有相同的单位。

在水力学中提到的压强,若无特殊说明,均指点压强。

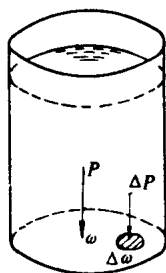


图 2-1

二、静水压强基本特性

静水压强有两个重要的基本特性:

(1) 静水内部任何一点各方向的静水压强大小相等,与受压面方位无关。这一特性可用图 2-2 所示的装置进行实验证明。将一个两端开口的 U 形玻璃管固定在有刻度的木板上,在管中注入有色液体,用胶管将一个扎有胶膜的小盒接到 U 形管任意一端 A,当胶膜不受力时,U 形管中液面水平。用手指压胶膜时管内液面 A 端下降,B 端上升,形成液面差 h 。在胶膜上加的力愈大,U 形管中液面差 h 值愈大,这说明胶膜受力的大小可以用 U 形管中液面差来反映。

把扎有胶膜的小盒放入水中,可以看到 U 形管中液面也形成高度差 h ,说明静止液体中存在着压力或压强。当该小盒入水深度增大时,液面差 h 愈大,说明静止液体中压强的大小与水深成正比。

当扎有胶膜的小盒在水中前后左右转动,并保持其中心高度不变时,U 形管中液面差 h 亦不变。这说明静水内任一点各方向的静水压强均相等,静水压强的方向总是垂直指向受压面。

(2) 静水压强的方向总是垂直指向受压面。不论容器或