

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目

● 全国电力工人公用类培训教材

应用水力学基础 (第二版)

闵兆宏 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目
◎全国电力工人公用类培训教材

应用水力学基础(第二版)

闵兆宏 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《应用水力学基础(第二版)》是全国电力工人公用类培训教材之

一。

本书内容包括: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、恒定流的动量及动量方程、水流的水头损失、管流等。在每章后都附有习题,并在书末给出了习题答案。

本书可供火力发电、水力发电、火电建设、水电建设、电力机械修造等专业电力工人培训考核使用;也可作为有关技术人员、学校师生的辅导参考书。

图书在版编目(CIP)数据

应用水力学基础/闵兆宏主编. —2版. —北京:中国电力出版社, 2004

全国电力工人公用类培训教材

ISBN 7-5083-2375-0

I. 应... II. 闵... III. 水力学-技术培训-教材
IV. TV13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 084648 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

利森达印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1994 年 12 月第一版

2004 年 8 月第二版 2004 年 8 月北京第三次印刷

850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 7.75 印张 202 千字

印数 17141—22140 册 定价 15.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

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



出版说明

《全国电力工人公用类培训教材》自1994年出版以来,已用于电力行业工人培训10余年,得到了广大电力工人和培训教师的一致好评。为提高电力职工素质、使电力职工达到相应岗位的技术要求奠定了基础。

近年来,随着国家职业技能标准体系的完善,《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》已在电力行业正式实施。随着电力工业的高速发展,电力行业的职业技能标准水平已有明显提高,为满足职业技能鉴定规范对电力行业各有关工种鉴定内容中共性和通用部分的要求,我们对《全国电力工人公用类培训教材》重新组织了编写出版。本次编写出版的原则是:以《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》为依据,以满足电力行业对从业技术人员基本知识结构的要求为目标,兼顾提高电力从业人员的综合素质。本次编写出版的教材共14种,即:

- | | |
|---------------|---------------|
| 电力工人职业道德与法律常识 | 应用机械基础(第二版) |
| 电力生产知识(第二版) | 应用力学基础(第二版) |
| 电力安全知识(第二版) | 应用水力学基础(第二版) |
| 应用电工基础(第二版) | 实用热工基础 |
| 应用电子技术基础(第二版) | 应用计算机基础 |
| 电力工程识绘图 | 电力工程常用材料(第二版) |
| 应用钳工基础(第二版) | 电力市场营销基础 |

本教材此次编写出版得到了以上各册新老作者的大力支持,在此表示由衷的感谢!同时,欢迎使用本教材的广大师生和读者对其不足之处批评指正。

中国电力出版社

2004.6



前 言

本书的第一版《应用水力学基础》及《应用水力学基础习题解答》自出版以来,受到了电力职业相关工种工人同志们的普遍关注,被选为技能鉴定、岗前培训的教学用书。为了适应形势发展需要,本次修订依据《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》和《技能鉴定指导书》,增加了汽蚀、虹吸现象基本知识等内容,增加了恒定流的动量方程一章。

本书的叙述力求从物理学的概念出发,避开复杂的理论推导,简洁流畅,通俗易懂。为了方便读者自学,书中给出了习题解答。另外本书对第一版中存在的错误进行了修改。

本书由闵兆宏主编。孙效伟编写第二、三、五章,其余各章均由闵兆宏编写。全书的习题解答由孙效伟编写。长春鸿达信息科技股份有限公司李志华给了大力帮助。全书由李奎生主审。

由于我们水平有限,书中难免出现错误,希望读者提出意见。

编者

2004年8月1日



目 录

出版说明

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	7
第二章 水静力学	10
第一节 静水压强及其特性	10
第二节 静水压强基本规律	12
第三节 绝对压强、相对压强、真空	17
第四节 等压面及静水压强测量	19
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	29
复习题	33
第三章 水流运动的初步知识	52
第一节 水流运动的基本概念	52
第二节 恒定流的连续性方程	58
复习题	60
第四章 恒定水流的能量及能量方程	66
第一节 水流的能量	66
第二节 恒定流的能量方程	68
第三节 能量方程的几何意义——测压管水头线 与总水头线	70
第四节 能量方程的适用条件及注意事项	72
复习题	78
第五章 恒定流的动量方程	87

第一节	动量与动量定律	87
第二节	恒定流的动量方程	87
第三节	应用动量方程的解题步骤与注意事项	89
复习题		91
第六章	水流的水头损失	94
第一节	水头损失及分类	94
第二节	层流、紊流和雷诺数	95
第三节	沿程水头损失计算	97
第四节	局部水头损失计算	109
复习题		122
第七章	管流	127
第一节	有压管道及分类	127
第二节	短管的水力计算	127
第三节	长管的水力计算	137
第四节	管径的选择及经济流速的概念	141
第五节	有压管道的非恒定流——水锤	144
复习题		158
附录	复习题解答	163

液体的初步知识

第一节 水力学定义及液体基本特性

一、水力学的定义

水力学是研究液体静止和运动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，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的内聚力大得多，从而液体能够保持固定的体积，在外力的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。

液体与其他物体一样，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、均质连续的介质。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。物体惯性的大小可以用物体质量的大小来度量，质量大则其惯性大，质量小则其惯性小。

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℃ 时纯水的密度值为计算值，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_1, p_1, T_1 ——气体状态变化前的密度、压强及绝对温度；

ρ_2, p_2, T_2 ——气体状态变化后的密度、压强及绝对温度。

其中绝对温度 $T = 273 + t$ (℃)，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 千克的物体，其重力 G

为

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

式中 G ——物体的重量 (N, 牛顿);

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/m^3 , 牛顿/米³)

将式 (1-3) 两边同除以体积 V , 根据式 (1-1) 和 (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

液体的种类	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

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

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

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 时烟气的密度与容重。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

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

800℃时烟气容重，根据式(1-5)得

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

三、黏滯性

液体流动时各流层的速度不同，如图1-1所示。假定a层的速度为 u ，b层的速度为 $u + \Delta u$ ，那么这两个邻近流层之间产生

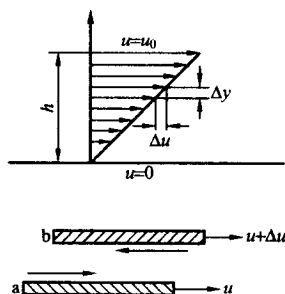


图 1-1

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，以抗拒各液层间的相对运动。液体的这种性质称为黏滯性，其内摩擦力又称为黏滯力。

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

表1-2列出了一个标准大气压下，水在不同温度时的运动黏滯系数值。其他几种常见流体（一个大气压、常温下）的运动黏滯系数见表1-3。

表 1-2 水在不同温度下的运动黏滯系数

温度 (℃)	运动黏滯系数 $\nu \times 10^{-2} (\text{cm}^2/\text{s})$	温度 (℃)	运动黏滯系数 $\nu \times 10^{-2} (\text{cm}^2/\text{s})$
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

其他几种流体的运动黏滞系数

液 体	汽 油	煤 油	石 油	机械油	空 气	
温度 (°C)					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黏滞力就要不断地消耗其能量，所以黏滞力是引起液体能量损失的根源。

另外，液体的黏滞力具有随温度升高而降低的特性。这对于热力发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，由于黏滞力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、表面张力特性

表面张力是由于液体分子内聚力作用，使液体形成一个受力均匀、类似薄膜似的表面，这个表面能够承受极其微小的拉力，这种存在于液体表面的拉力称为表面张力。由于表面张力很小，一般对液体的宏观机械运动不起作用，只有在特殊情况下的微小水滴、地下渗流等情况才显示其影响。如图 1-2 所示，将一根细管插入盛液体的容器中，管中与容器中的液面不在同一水平面上，这种现象称毛细现象。这是因为将两端开口的管子插入液体时，液体的附着力使管内自由液面向上弯曲成凹面，造成液面表面积扩大，但表面张力作用的结果使表面积尽量缩小，使中间液面向上臃起而形成平面，同时附着力的作用又使液面向下弯曲形成新的凹面。如此不断进行，直至上升液柱的重量与表面张力的竖直分力平衡为止。内径小到足以发生这种显著变化的管子称为毛细管。

在常温下玻璃管中水面高出容器水面的高度约为

$$h_{\text{水}} \approx \frac{30}{d} \quad (1-6)$$

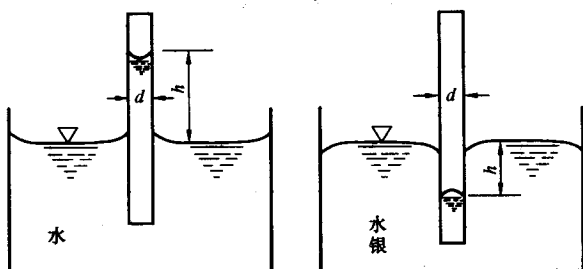


图 1-2

对于水银，由于内聚力大于附着力，玻璃管中水银面低于容器中水银面的高度约为

$$h_{\text{水银}} \approx \frac{10}{d} \quad (1-7)$$

上述两式中玻璃管内径 d ， $h_{\text{水}}$ 和 $h_{\text{水银}}$ 以毫米计，式 (1-6) 和 (1-7) 表明，玻璃管内径愈小，液面差 h 愈大。所以，使用测压管时须考虑毛细理象造成的误差，通常要求测压管内径不小于 10mm (毫米)。

五、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的现象。在一个大气下，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。

六、汽蚀

在水力机械和过流水工建筑物中，水流存在着高速低压区，当该区域水流的压强降低到当时水温下的汽化压强时，则产生大量气泡，这些气泡被水流带到相对的低速高压区时，又被压缩、凝聚以至迅速破裂、溃灭。这一变化过程对过流表面发生侵蚀、破坏；我们把这一整个物理过程，称为汽蚀。

汽蚀会造成水力机械某些过流部件和过流水工建筑物的机械剥蚀破坏。水轮机和水泵等设备在汽蚀状态下运行时,会产生噪声、振动,还会使其效率较明显的下降。

— 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
7. 汽蚀
8. 表面张力

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. 水力学是力学的一个分支,研究的主要对象是_____,
水力学原理适用于各种_____和可以忽略压缩性影响的气体。
3. 物体存在的形式有三种,即_____,_____和
_____。
4. 液体与气体都具有_____性,所以统称为流体。
5. 液体能够保持_____体积,在外力的作用下其变化很
小。
6. 当容器大于液体体积时,液体不会_____整个容器,
而且有_____表面。
7. 气体没有固定的_____,也没有_____表面。
8. 水力学把液体视为内部无任何_____,是由无数个
_____组成的。

9. 水力学中研究的液体是一种_____、_____均质的连续介质。

10. 惯性是物体的基本属性之一，其大小可用_____来度量。

11. 单位体积的液体质量称为液体的_____, 用符号_____表示，其单位是_____。

12. 单位体积的液体重量称为液体的_____, 用符号_____表示，其单位是_____。

13. 一个大气压下，温度为 4°C 时纯水的密度 $\rho =$ _____ kg/m^3 ，容重 $\gamma =$ _____ N/m^3 。

14. 密度与容重的关系是_____或_____。

15. 气体密度随温度、压强的变化关系为_____，其中温度为_____温度。

16. 黏滞性是液体固有的物理属性，它只有在液体处于_____状态下才能显示出来，并且是引起流动液体_____的根源。

17. 不同液体的黏滞力不同，同一种液体的黏滞力具有随温度_____而降低的特性。

18. 汽化是指液体分子运动速度_____时，分子从液面上不断_____而成为蒸汽的现象。

19. 水温一定时，逐步降低水中的压强直至水开始汽化，则该压强称为该水温下的_____。

20. $9800\text{N}/\text{m}^3 =$ _____ $\text{kN}/\text{m}^3 =$ _____ N/cm^3 。

21. $1\text{ (L)} =$ _____ $\text{cm}^3 =$ _____ m^3 。

22. 密度的定义式 $\rho =$ _____，容重的定义式 $\gamma =$ _____。

三、判断题（在题末括号内作记号“√”表示对“×”号表示错）

1. 在一个大气压下，温度为 4°C 时，纯水的密度 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。
()



2. 在一个大气压下, 温度为 4°C 时, 纯水的容重 $9.8\text{N}/\text{m}^3$ 。

()

3. 不同液体的黏滯力各不相同, 同一种液体的黏滯力是一个常数。

()

4. 绝对温度 $T = 273 + t$ (K)。

()

四、计算题

1. 已知海水的容重为 $10000\text{N}/\text{m}^3$, 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 $8000\text{N}/\text{m}^3$, 它的密度为多少?

3. 通常情况下, 500L (升) 淡水的重量和质量各为多少?

4. 水银的容重为 $133280\text{N}/\text{m}^3$, 它的密度为多少?

5. 一个大气压下、 0°C 时空气的密度为 $1.3\text{kg}/\text{m}^3$, 求压强值不变的前提下, 温度为 350°C 时空气的容重。

6. 已知海水容重为 $10100\text{N}/\text{m}^3$, 试求其密度为多少?

7. 汽油的容重为 $7000\text{N}/\text{m}^3$, 试求其密度为多少?

8. 某物体的密度 $\rho = 2.93\text{kg}/\text{m}^3$ 求它的容重为多少?

9. 密度 $\rho = 850\text{kg}/\text{m}^3$ 的润滑油, 其容积为 20L 时, 重量和质量各为多少?

10. 容积为 100L 的气罐, 内装 8kg 的气体, 求气体的密度与容重?

11. 如图 1-2 所示, 两端开口的玻璃管, 直径为 1cm , 插入一装有常温水的容器中, 试计算测压管的水高出容器水面的高度。

五、问答题

1. 什么是流体? 液体、气体与固体有什么区别?

2. 水力学的液体是一种什么介质?

3. 液体的密度和容重有什么区别和联系?

4. 什么是液体的黏滯性? 它在什么情况下才能发生作用?