

195

761.82
G26

水质科学与工程理论丛书

建筑给水排水工程学

Building Water and Wastewater Engineering

高明远 岳秀萍 编著
曾雪华 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑给水排水工程学/高明远, 岳秀萍编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2002
(水质科学与工程理论丛书)
ISBN 7-112-04882-6

I. 建... II. 高... III. ①建筑—给水工程②建筑—
排水工程 IV. TU82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 077775 号

本书由我国建筑给水排水工程学科的发展、回顾与展望; 所需跨学科
的基础理论知识以及本学科的基本理论和应用技术三部分内容组成。

绪论部分介绍本学科在我国发展的简况和现状, 展望我国 21 世纪建
筑给水排水学科理论与技术的发展前景。

建筑给水排水的研究、应用与发展受基础学科制约。书中还介绍了本
学科所需跨学科的基础理论知识。

本书主要介绍本学科的基本理论和应用技术, 包括建筑及居住小区给
水 (包括以水为灭火剂的消防给水系统)、排水、热水供应及中水工程方
案的优化选择、管道的布置、计算和相关设备的选择计算等; 应用计算机
软件绘制建筑给水排水工程施工图的操作方法; 园林绿化喷灌、水景喷
泉、室内游泳池、水疗、停车场等建、构筑物的给水、排水等。

本书可供从事给水排水工程、环境工程和市政工程建设的技术人员、
管理人员阅读, 也可作为大专院校教师、研究生、本科生的教学参考用
书。

* * *

责任编辑 俞辉群

水质科学与工程理论丛书

建筑给水排水工程学

Building Water and Wastewater Engineering

高明远 岳秀萍 编著

曾雪华 审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

有色曙光印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 35¹/₄ 字数: 856 千字

2002 年 3 月第一版 2002 年 3 月第一次印刷

印数: 1—2,500 册 定价: 76.00 元

ISBN 7-112-04882-6

TU·4359 (10361)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

21 世纪人们对生活、生产环境质量的要求日趋提高,建筑作为人类生活和生产活动的遮蔽物,其共性的功能是为人们提供一个安全、舒适、能高效率从事生产活动的场所和愉快、卫生的生活环境。为使现代各类建筑充分发挥各自的功能,建筑给水排水工程是重要的技术措施之一,例如任何建筑内如果缺少符合要求的水质、水量的供应,将会造成室内环境卫生恶化、人体健康受害、产品质量受损或生产效率不高等后果。另外,建筑内的污、废水如不能及时、有序、合理的排放,会在室内产生臭气并滋生对人体有害的病毒、病菌,污染室内环境、传染各种疾病。

建筑给水排水工程作为应用科学在我国社会主义经济建设中,特别是在改革开放以后社会主义市场经济快速发展形势的带动下,融进了多种工程技术成就,在水工业体系中形成了一门独立的学科。

本书包括三部分内容:学科发展的回顾与展望;本学科涉及到的各种科学技术基础理论知识和本学科的基本理论和应用技术。

本书前言、绪论和第 6 章由高明远编写;第 1 章中 1.1、1.3、1.4、第 2 章、第 3 章中 3.5、3.6、第 4 章中 4.7、4.8、4.9,第 7 章由岳秀萍编写;第 3 章中 3.1、3.2、3.3、3.4、第 4 章中 4.1、4.2、4.3、4.4、4.5、4.6 由员建编写;第 5 章、第 9 章中 9.2、9.4、9.5 由吴俊奇编写;第 1 章中 1.2、1.5、1.6、第 8 章、第 9 章中 9.1、9.3 由宋秀兰编写。全书由高明远、岳秀萍主编。

本书在编写过程中得到太原理工大学建筑与环境工程学院杨云龙、太原市市政工程设计研究院曹京哲、山西省电力勘探设计院张平等诸同仁提供资料、提供工程实例、传递信息等多方协助,此外冀文侃和万志贤为本书描绘了众多插图并抄写、打印书稿,编者一并致谢。

此外,借此书出版之际向曾指导和帮助编者们成长的王继明、肖正辉等前辈,《建筑给水排水工程设计规范》、《民用建筑给水排水设计技术措施》、《建筑给水排水设计手册》以及《给水排水》刊物的作者和编委们致敬。

由于编者水平有限,书中存在的缺点和错误请读者给予批评和指正。

目 录

绪论	1
第 1 章 建筑给水排水技术基础理论简述	4
1.1 给水排水在管道中的流动规律	4
1.2 传热	25
1.3 建筑给水排水系统的噪声	32
1.4 排水系统的臭气	41
1.5 水压与水量的量测	43
1.6 生活污水处理原理简介	49
第 2 章 现代建筑卫生洁具、管材、附件及水表	56
2.1 现代建筑卫生洁具种类及材质	56
2.2 卫生洁具的设置和布置	76
2.3 现代建筑给水排水管道材料、管件及防腐、保温材料	86
2.4 建筑给水排水附件、器材及水表	98
第 3 章 建筑给水	119
3.1 给水方式及其技术经济比较	119
3.2 用水定额与设备选择计算	127
3.3 建筑给水管设计流量	139
3.4 给水管网水力计算方法	148
3.5 建筑给水水质的污染与防护	153
3.6 建筑给水工程中节水节能措施	157
第 4 章 建筑消防系统及设备	159
4.1 消火栓系统设计要点及配管计算	159
4.2 自动喷水灭火系统	176
4.3 水喷雾灭火系统	207
4.4 泡沫灭火系统	217
4.5 二氧化碳灭火系统	241
4.6 卤代烷灭火系统	256
4.7 蒸汽灭火系统	264
4.8 干粉灭火系统	267
4.9 火灾自动报警系统简介	273
第 5 章 建筑排水	284
5.1 建筑排水的水质和分质分流	284
5.2 排水管道系统的分类及组成	286
5.3 排水管道的水流规律及提高通水能力的方法	287
5.4 排水管道系统的存水弯和地漏	299

5.5 建筑内部排水系统设计	304
5.6 屋面雨水系统、排放规律及水力计算	311
5.7 居住小区排水	325
5.8 生活污水局部处理与污水提升	331
5.9 排水管壁结垢、堵塞与疏通	338
5.10 压力流排水系统	338
第6章 建筑热水供应	342
6.1 热水供应方式及系统选择	342
6.2 水质、水温及生活用热水定额	352
6.3 热水量、耗热量的计算	356
6.4 热源、加热设备和贮热设备	358
6.5 热水供应管网的水力计算	382
6.6 热水供应系统管材、附件及保温和敷设	394
6.7 饮水供应	399
第7章 建筑中水技术	404
7.1 概述	404
7.2 水质与水量	405
7.3 水量平衡与集流方式	411
7.4 中水管道系统	416
7.5 生活污水处理	418
7.6 中水处理工艺流程选择	468
第8章 计算机辅助设计及其在建筑给水排水设计中的应用	473
8.1 计算机辅助设计概述	473
8.2 用 Auto CAD 绘图的基本步骤	474
8.3 Auto CAD 在建筑给水排水设计中的应用	475
8.4 建筑给水排水设计软件	475
8.5 建筑给水排水软件在设计中的应用	476
第9章 专用构筑物中给水排水设计	484
9.1 园林绿化喷灌工程	484
9.2 水景配管技术及计算要点	492
9.3 室内游泳池给水排水设计	503
9.4 水疗给水排水技术简介	511
9.5 停车场的洗车给水设施和配管计算	517
附录	523
参考文献	555

Contents

Preface	1
Chapter 1	
Brief Introduction to the Basic Theory of Building Water and Wastewater Technology	4
1.1 Flowing Regularity in the Pipes of Water and Wastewater	4
1.2 Heat Transmission	25
1.3 Noise in Building Water and Wastewater System	32
1.4 Odour from the Drainage System	41
1.5 Measurements for water Pressure and Flow	43
1.6 Brief Introduction to the Principle for Domestic Sewage Treatment.	49
Chapter 2	
Plumbing Fixtures, Pipe Materials, Accessories and Water Meters	56
2.1 Kinds and Materials of Plumbing Fixtures Used in the Modern Buildings	56
2.2 Installation and Layout of Plumbing Fixtures	76
2.3 Pipe Materials, Fittings, Materials Used in Prevention of Pipe Corrosion and Thermal Insulation ...	86
2.4 Accessories, Apparatus and Water Meter for Building Water and Wastewater	98
Chapter 3	
Building Water Supply	119
3.1 Technological Comparison and Economic Analysis on the Modes of Water Supply	119
3.2 The Water Quota and Calculation for Selecting Equipment	127
3.3 Design Flow in Building Water Piping System	139
3.4 Hydraulic Calculation in Water Piping System	148
3.5 Building Water Pollution and its Technical Precaution	153
3.6 The Measures of Water-saving and Energy-saving in the Building Water Supply Engineering	157
Chapter 4	
Building Fire System and Equipment	159
4.1 Design and Calculation of Fire Hydrant System	159
4.2 Automatic Sprinkling Fire System	176
4.3 Water Spray Extinguishing System	207
4.4 Foam Fire-extinguishing System	217
4.5 Carbon Dioxide Fire-extinguishing System	241
4.6 Halogenide Fire-extinguishing System	256
4.7 Steam Fire-extinguishing System	264
4.8 Dry Powder Fire-extinguishing System	267
4.9 Automatic Fire Alarm System	273

Chapter 5

Building Drainage	284
5.1 Water Quality and Split-flow of Building Drainage	284
5.2 Classification and Components of the Drainage Piping System	286
5.3 Flow Regularity in the Drainage Pipe and Method for Improving Flow	287
5.4 Building Trap and Floor Drainer in the Drainage Piping System	299
5.5 Design of Building Drainage System	304
5.6 Roof Rainwater Discharge, Flow Feature and Calculation	311
5.7 Drainage in Residential Region	325
5.8 Locally Treatment for Domestic Sewage and Sewage Lift	331
5.9 Scale, Blocking and Clearing in the Drainage pipe	338
5.10 Drainage System in Pressure Flow	338

Chapter 6

Building Hot water Supply	342
6.1 Modes of Hot Water Supply and System Choice	342
6.2 Water Quality, Temperature and Residential Hot Water Quota	352
6.3 Calculation on Hot Water Volume and Heat Consumption	356
6.4 Heat Source, Equipment for Heating and Storing Water	358
6.5 Hydraulic Calculation on Pipe Distribution in the Hot Water Supply System	382
6.6 Pipe Materials, Fittings, Insulation and Layout	394
6.7 Drinking Water Supply System	399

Chapter 7

Building Reclaimed water	404
7.1 General	404
7.2 Water Quality and Flow	405
7.3 Flow Balance and Collection Modes	411
7.4 Reclaimed Water Piping System	416
7.5 Treatment of Domestic Sewage	418
7.6 Selection on the Process Flowage of Reclaimed Water Treatment	468

Chapter 8

Computer Aided Design and its Application in the Design of Building Water and Wastewater	473
8.1 Summary of Computer Aided Design	473
8.2 Basic Procedures for Application of Auto CAD in Drawing	474
8.3 Application of Auto CAD in the Building Water and Wastewater Design	475
8.4 Drawing Software Used in the Design of Building Water and Wastewater	475
8.5 Application of the Drawing Software in the Design of Building Water and Wastewater	476

Chapter 9

Water and Wastewater Design in the Special Construction	484
9.1 Spraying Work in Landscape Garden	484
9.2 Pipe Distribution and Calculation on Water Landscape	492
9.3 Water and Wastewater Design in Indoor Swimming Pool	503
9.4 Brief Introduction to the Technology of Water and Wastewater for Water Cure	511
9.5 Water Facilities and Calculation for Vehicle Washing at the Parking Place	517
Appendix	523
References	555

绪 论

近十余年来,我国众多大、中城市扩展建设居民小区和高新技术产业开发区;全国建造了很多小城市;乡村民居建筑拆旧翻新、新建扩建更是日新月异。这种建筑业发展的热潮极大地带动和促进了建筑给水排水工程学科的发展。在进入 21 世纪之际,回顾本学科在我国的发展状况并展望其未来动向,使其更适应我国社会主义市场经济的需求是必要的。

建筑给水排水工程学,一方面要求科学地满足近代各种用途建筑对水量和水质的需求,如生活、生产需要的冷水和热水,建筑中以水或气—固两相流体为灭火剂的灭火设施,防止或治理室内给水受到二次污染、保证水质卫生等等。另一方面还应保证在建筑排水过程中产生的臭气、噪声和污水中的有害、有毒物质不能污染建筑环境、损害人体健康,使屋面雨水及时、有序排放,不致使室内遭到水灾等。

建筑给水排水工程学科于 20 世纪 50 年代被引入国内,成为水工业系统中一门独立学科。50 年代我国开始有计划地进行经济建设,为适应当时经济建设的需要,国家建设领导部门组织人力制定了适合当时建设需要的《室内给水排水设计规范》。特别是 70 年代末改革开放后,在科学技术作为第一生产力的推动下,根据国内本学科实践经验和吸收国外先进技术内容,又持续不断组织人力、投入财力更新和提高,编制出《建筑给水排水设计规范》、编写了大专及中专多层次工科院校使用的《建筑给水排水工程》教材和《给水排水设计手册》、《建筑给水排水设计手册》等适用于建筑给水排水工程设计、施工通用的工具书。

上述国内本学科的“规范”、“手册”、“教材”等所介绍的技术内容与世界上经济发达地区建筑给水排水工程技术内容相比还是有差距的:诸如国内当前生产的卫生洁具品种尚少;造型和色彩不够丰富、配水水嘴适应各种用途的品种还不全、各种功能附件开发尚不够深入、管材及管件品种少、水压、水量及温度自动控制所需设备的系列不够完善、冷水及热水量远程自动计量推广应用尚不普及、建筑排水过程产生的臭气、噪声防止技术有待提高、建筑给水排水配管计算使用的设计秒流量计算公式有待修正、完善。

产生以上差距的原因是多方面的,仅就本学科工程技术本身而言,是发展本学科技术所需跨学科基础理论融入得不够深刻,致使技术上受限于经验而存在一定盲目性,导致技术从业人员在一定程度上存在革新思路不宽、创新方向欠明。

本书编写内容增强了与本学科有关的跨学科基础理论知识的介绍,在各章中引进了当前国内外较成熟的新产品、新设备和新技术,如:理论上介绍了生活污水产生臭气的化学机理、编写内容中增加了国内已开发生产的复合钢管、铝型管材和新型阀门等附件、引进经济—技术定量计算给水管网方法、归纳并系统化了以水为灭火剂的消防给水管网配管计算方法、引进压力流排水新技术、提出几种创新的热热水供应方式、介绍了具有实验研究作为根据的热热水供应配水管网中循环泵的选用方法、介绍了中水工程中生活污水处理新方

法、对几种专用构筑物中给水、排水管道配管方法作了系统化的归纳等。

进入 21 世纪，人类对自然的认识向更深入和更广泛方面发展，作为自然科学中工程技术领域将会迎来新时代的技术革命，迎来科学与工程技术日渐一体化趋向、迎来用更高的科技手段来制止或扭转过去落后的技术水平对人类生存环境所产生的消极恶果，使人类社会生产力得到健康而持续的发展。本学科是水工业体系中配水终端、排水始端，并紧密联系着现代建筑成就，为创造更加适合于人们进行生活和生产的场所，本学科在 21 世纪新时代的发展将会是：

1. 按照我国经济发展状况，采用自动量测技术记录，取得全国各地区各类建筑长年日用冷水量、日用热水量和日排水量瞬时变化曲线资料，随之出现更加符合我国实际情况的全国各地给、排水量定额，产生采用概率法分析获得的建筑给水排水工程设计应用的设计秒流量公式（最大瞬时用水量）。

2. 会出现以数学中运筹学理论为基础的、符合本学科应用的建筑给水管网配管水力计算的新方法。

3. 出现适用于实际屋面暴雨强度计算公式，并按水—气两相流动规律精确计算大面积屋面多斗雨水管系所需的管径。

4. 应用流体力学中紊流理论发展修正我国目前采用的管道沿程阻力计算式，并按新计算公式制定出新型管材沿程阻力计算用图、表、计算机用软件。

5. 经过实测制定出本学科采用的各种新型管材中各种类附件、给水系统中各种功能配件的局部阻力系数。

6. 水工业中水质处理创新技术所生产的中、小型水处理设备会被纳入本学科；并被应用于农村、建筑小区、高新科技开发区或建筑内部给水二次污染净化、污水处理、中水技术中。

7. 出现创新的给水、排水、热水供应方式以适应各种用途的新型建筑对水质、水量、水压、防振、抗震等功能要求，如百米以上超高层建筑给水、排水管系的防振、抗震新技术措施、居住建筑中的楼中楼给水、排水新方式、生产高新产品时所需的特殊水质的制备和供应方法等。

8. 设计、生产出具有多种功能并且智能化、适应老年人和残疾人居住建筑中设置的专用给水、排水、热水供应等卫生设施和设备。

9. 出现建筑内饮用水集中制备、分散或分户供应，给水恒压、定量自动控制，智能化计量水费装置的普及应用。

10. 具有耐压、防火、重量轻、价廉、易连接、防冻、保温、防腐性能的新型管材和附件用于建筑给水、排水装配化安装。

11. 新材料预制组合管道应用于厨房、卫生间等整体安装。

12. 随着太阳能集热器的发展，以太阳能加热冷水为热源的集中热水供应系统会在我国日照时间较长的地区得到广泛应用。

13. 低成本、一体化海水淡化创新技术的发展，会应用于我国沿海广大农村、旅游风景区。

14. 环保型干厕在我国干旱缺水地区或高寒地区得到推广应用。

15. 本学科所需要的跨学科基础理论将会以“深入浅出”、“扼要明确”地被融入有关

内容中，如流体运动规律中单相、水—气两相、气—固两相等流动理论，建筑科学中房屋构造、工业建筑、建筑声学，室内环境卫生学，传热学，水质净化基础理论，水压、水量、水质展示自动控制理论等。本书第一章中虽已介绍了几种与本学科有关的几种跨学科的基础理论知识，但还限于罗列式介绍，紧密结合技术内容融为整体的论述不足。真正取出与本学科各种技术所需基础理论的精华融合于本学科各种技术内容的论述尚待进一步努力。

第 1 章 建筑给水排水技术基础理论简述

1.1 给水排水在管道中的流动规律

1.1.1 流体的主要物理性质、运动参数、流动模型和运动分类

1. 流体的主要物理性质

流体是对自然界中液相和气相物质的统称。研究流体运动的力学规律被称为流体力学。不同流体的运动规律具有共性，但在运用这些规律解决工程实际问题时，应对各种液体或气体的物理性质区别对待，才能得出正确的计算结果。

流体的主要物理性质有：

流体密度 (ρ) 设 ΔV 为流体体积 (m^3)， Δm 为 ΔV 对应的流体质量 (kg)，则流体密度定义为单位体积的质量，计算式为：

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (\text{kg}/\text{m}^3) \quad (1.1-1)$$

不同液体和气体的密度是不同的，流体密度随其所受外界压力大、小和温度高、低而变化。例如水在大气压力为 101.3kPa 和温度 $0 \sim 90^\circ\text{C}$ 时，其密度 $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 999.9 \sim 965.3 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，而干空气在相同压力和温度状态下其密度 $\rho_a = 1.293 \sim 0.972 \text{ (kg}/\text{m}^3)$ 。

流体的粘性（粘滞力）实验量测发现：充满边界的流体流动，如在圆管中流动，其任一圆截面上各点的流速是不相同的：管中心流速最大，愈靠近管壁其流速愈小。如图 1.1-1 所示。这种物理现象的出现，是由于流体具有粘性而形成的内摩擦力，这种内摩擦力使得任一断面上流速产生差异。最早建立的流体运动过程由于粘性而产生内摩擦力计算式是牛顿内摩擦力定律，符合牛顿定律的流体被称为牛顿型流体。其计算式为：

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{du}{dn} \quad (\text{N}/\text{m}^2) \quad (1.1-2)$$

式中 τ ——流层单位面积上的内摩擦力，又称切应力 (N/m^2) 或 (Pa)；

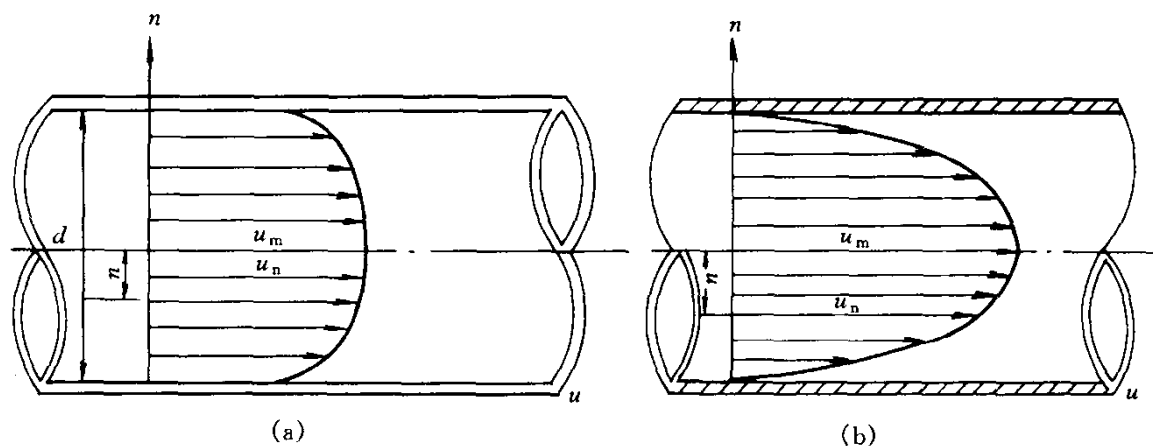


图 1.1-1 流体在圆管中流动
(a) 流速较小时；(b) 流速大时

F ——流层之间的内摩擦力 (N);

S ——摩擦流层的接触面积 (m^2);

$\frac{du}{dn}$ ——流速沿断面 n 轴向变化率 ($1/\text{s}$);

μ ——比例系数, 与流体的性质有关, 流体粘性大则其值也大, 故称为动力粘度 ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$) 或 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)。

在流体力学紊流规律表达式中, $\frac{\mu}{\rho} = \gamma$ (m^2/s) 被称为运动粘度。

不同流体的粘度可实测得到。流体中液体和气体受到不同压力作用时, 液体的粘度基本不变, 气体的粘度变化也很小。但温度升高时, 液体粘度会降低, 而气体粘度会增大。表 1.1-1、1.1-2 分别为水和空气的粘度。

水的粘度

表 1.1-1

t ($^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^{-3}$ ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)	$\gamma \times 10^{-6}$ (m^2/s)	t ($^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^{-3}$ ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)	$\gamma \times 10^{-6}$ (m^2/s)
0	1.792	1.792	40	0.656	0.661
5	1.519	1.519	50	0.549	0.556
10	1.308	1.308	60	0.469	0.477
15	1.140	1.140	70	0.406	0.415
20	1.005	1.007	80	0.357	0.367
25	1.894	0.897	90	0.317	0.328
30	0.801	0.804	100	0.284	0.296

一个大气压下空气粘度

表 1.1-2

t ($^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^{-3}$ ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)	$\gamma \times 10^{-6}$ (m^2/s)	t ($^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^{-3}$ ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)	$\gamma \times 10^{-6}$ (m^2/s)
-20	0.0166	11.9	70	0.0204	20.5
0	0.0172	13.7	80	0.0210	21.7
10	0.0178	14.7	90	0.0216	22.9
20	0.0183	15.7	100	0.0218	23.6
30	0.0187	16.6	150	0.0239	24.6
40	0.0192	17.6	200	0.0259	25.8
50	0.0196	18.9	250	0.0280	42.8
60	0.0201	19.6	300	0.0298	49.9

应该说明, 上述流体粘度的物理概念对大多数气体或液体都是适用的 (牛顿型流体)。但对某些流体如油脂、油漆、淀粉悬浮液、纸浆、溶胶等流体, 从实验中可以得知其切应力与流速梯度并不服从牛顿定律, 这类液体被称为非牛顿液体, 图 1.1-2 为牛顿流体与非牛顿流体的流变图。此外, 按单一流体与非单一流体密度比较, 当不同流体互相掺杂而形成连续介质运动又被称为混合型异种流, 这又是一类由不同流体密度差所形成的特殊流动, 例如建筑消防中泡沫灭火系统中管中的流动。

流体的压缩性和热胀性 当流体受压或受热, 将会产生体积被压缩或膨胀。实验说明: 液体的压缩性和热胀性很小, 比如水从 1atm 增加到 100atm

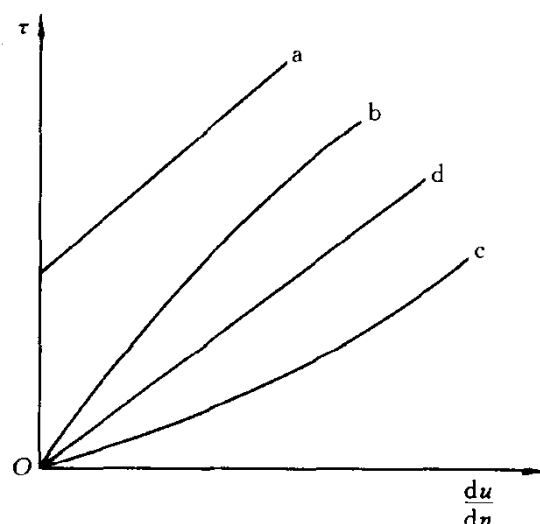


图 1.1-2 牛顿流体与非牛顿流体的流变图

a—牛顿型流体; b、c、d—非牛顿型流体

时，每增加 1atm 水体积的变化为 1/20000（密度增加 1/20000）；水在 10~20℃ 时，温度每增加 1℃ 水密度则减少 1/10000；而温度在 90~100℃ 时，温度每增加 1℃ 密度减少 7/10000。气体却有明显的压缩性和热胀性，当温度不过低、压强不过高时，气体的密度、压强和温度之间的关系服从理想气体状态方程，即：

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (1.1-3)$$

式中 p ——气体的绝对压强 (N/m²)；

ρ ——气体密度 (kg/m³)；

T ——气体绝对温度 (K)；

R ——气体常数 (J/(kg·K))，为 1kg 质量气体在一定压力作用下，温度升高 1℃ 时所作的膨胀功，对空气 $R = 287$ ；其他气体 $R = \frac{8314}{N}$ ， N 为该气体的分子量。

在工程技术中，气体如遇到等温、等压、绝热和多变过程，则理想气体状态方程分别为：

等温过程气体状态方程（波义尔定律）：

$$\frac{p_1}{\rho_1} = \frac{p_2}{\rho_2} \quad (1.1-4)$$

等压过程气体状态方程（盖吕萨克定律）：

$$\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2 \quad (1.1-5)$$

绝热过程气体状态方程：

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1.1-6)$$

多变过程气体状态方程：

$$\frac{p}{\rho^n} = \text{常数} \quad (1.1-7)$$

式中 p_1 、 p_2 ——变化前后的压力 (N/m²)；

ρ_1 、 ρ_2 ——变化前后的密度 (kg/m³)；

T_1 、 T_2 ——变化前后的绝对温度 (K)；

k ——绝热指数；

n ——多变指数。

如果气体流动速度远低于音速 (280m/s)，在其流动过程所受的压力和温度变化也不大，实验说明其密度变化也不大。只有在气体流动速度超过音速时，其密度的变化是显著的。

对气体和液体，凡压缩性和膨胀性可忽略不计者被称为不可压缩性流体，反之则为可压缩性流体。

2. 描述流体运动的几个物理参数

流量 流体在流动的边界内，单位时间内通过流体过流断面的流体体积称为体积流量，用符号 Q 表示，单位为 m³/s 或 L/s。把单位时间内通过流体过流断面的流体质量称

为质量流量，用符号 Q_ρ 表示，单位为 kg/s 。两者的关系为： $Q_\rho = \rho Q$ 。当不考虑流体的压缩性和热胀性时，多采用体积流量来描述流体的运动，并简称流量。

流速 采用固定的测量点量测出流体在单位时间内沿着流动方向所流过的实际距离，该数值称为流体的真实流速 (u)；将某一时间过程的真实流速的平均值称为时间平均流速 (u_t)。实测已知，在任一断面上各个不同位置的真实流速是不同的，圆管上任一断面的流速分布见图 1.1-1 所示。因此该断面不同位置上的时间平均流速也是不同的。而绝大多数的工程问题并不要求确定断面上各点的流速，通常是用断面平均流速来代替实际的流速分布。断面平均流速可以认为是垂直于过流断面上各个时间平均流速的平均值，以符号 v 表示，单位为 m/s ，简称流速。

流速 v 与 Q 或 Q_ρ 的关系式为：

$$\left. \begin{aligned} Q &= v\omega \quad (\text{m}^3/\text{s}) \text{ 或 } (\text{L/s}) \\ Q_\rho &= \rho v\omega \quad (\text{kg/s}) \text{ 或 } (\text{kg/h}) \end{aligned} \right\} \quad (1.1-8)$$

式中 ω ——垂直于流速 v 的过流断面面积 (m^2)；其他符号同前。

压强 流体间的相互作用力以压力表达，单位作用面积上的压力称为压强。若流体处于静止状态下称为静压强；反之，称为动压强。如图 1.1-3 所示，将被作用流体的隔离体微小面积 $\Delta\omega$ 上的作用力假设为 ΔF ，该 ΔF ，可以分解成法向分力 Δp 和与 $\Delta\omega$ 相切的分力 ΔT 。 Δp 被称为 $\Delta\omega$ 表面平均压力， ΔT 被称为 $\Delta\omega$ 表面平均切力。

当 $\Delta\omega$ 取为 $d\omega$ 时，则有：

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta\omega} = \frac{dp}{d\omega} \quad (1.1-9)$$

$$\tau = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta\omega} = \frac{dT}{d\omega} \quad (1.1-10)$$

p 称为 A 点压强， τ 称为 A 点切应力。单位均为 N/m^2 或 Pa 。

当不考虑流体粘性，即： $\mu = 0$ ，则： $\tau = 0$ ， p 垂直指向于作用面。如对仅有重力作用的静止流体，其流体的粘性不显示作用，即： $\tau = 0$ ， p 亦垂直指向所作用面，如图 1.1-3 (c) 所示。

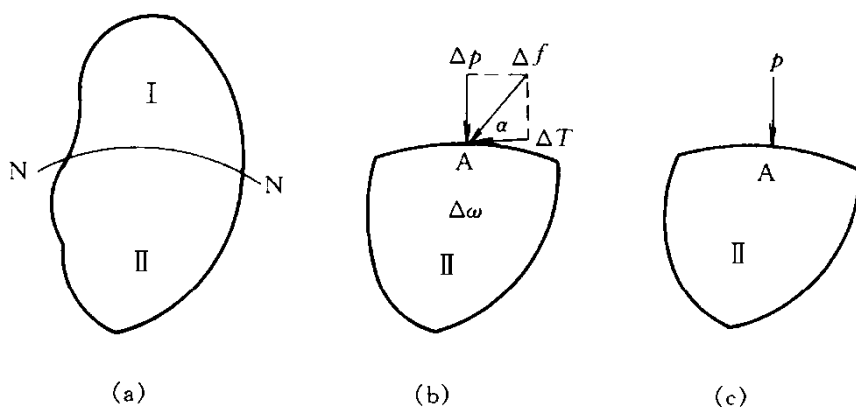


图 1.1-3 流体隔离体法向及切向力

3. 流动模型和运动分类

流线、元流和总流

流线是指在流体流动空间所构成的流速场中，通过连续质点绘成某一时刻的 1 条曲线，此曲线上任何一点的切线与该点在此刻的流速方向线相重合（见图 1.1-4a）。显然，

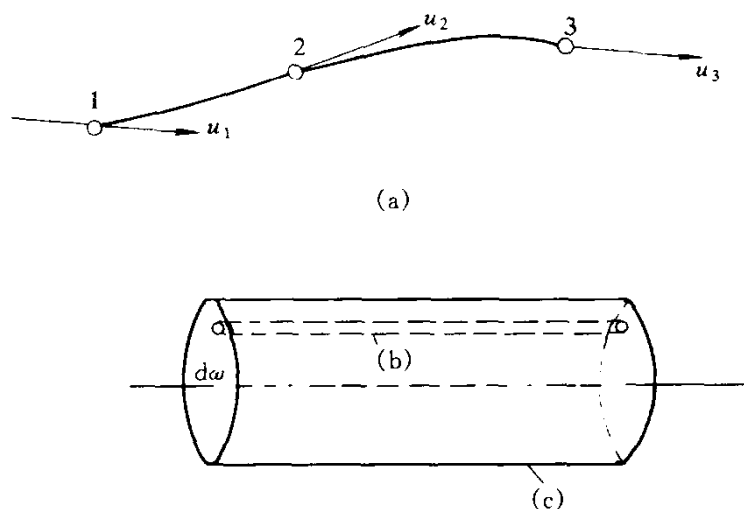


图 1.1-4 流线、元流和总流
(a) 流线; (b) 元流; (c) 总流

某流体流线疏密程度,反映了该流体在某一时刻的流速大小。“密”表示其流速快,“疏”则表示流速慢。

元流是指围绕一股流线周界形成的微元管状面积所构成的流束,见图 1.1-4 (b) 所示。在某一瞬间元流形状不变,外部流体不能流入,内部流体也不能流出,其本身形成一个流动单元。元流断面上的流速和压强均匀分布。

总流则是无数个元流的总和,见图 1.1-4 (c) 所示,即是全部流线组成的流体流动。

实际流体的物质结构和物理性质是非常复杂的,所以在分析研究流体流动问题时,往往需要建立流动模型,把实际流体的流动用流线、元流和总流来描述,以便于列出反映流体运动规律的数学方程式。

流体运动分类

恒定流与非恒定流 流体运动过程中,各点流速不随时间变化,由流速决定的压强、粘性力和惯性力也不随时间变化,这种流动称为恒定流;反之,流体运动时,各点的流速、压强等运动要素随时间的变化而变化的流动称为非恒定流。自然界中非恒定流是普遍的,客观上并不存在绝对的恒定流。但工程上常把变化较为缓慢的非恒定流视为恒定流,如水库人为控制的出流、城市供水工程中输水管道中的水流等等。

压力流与无压流 流体在流动过程中充满固体边界、无自由表面的流动称为压力流,比如室内外给排水管道、通气管内的流动均属压力流;液体在重力作用下流动,且一部分周界与空气相接触形成自由表面,这种流动称为无压流,比如室内重力排水管、明渠输水等。

均匀流与非均匀流 流体运动时,流线是平行直线的流动称为均匀流,比如等截面的直管中的水流运动、等截面的明渠流等。反之,流线非平行直线的流动称为非均匀流。根据流线接近于平行直线或不能视为平行线的程度,还可以把非均匀流又分为渐变流或急变流。

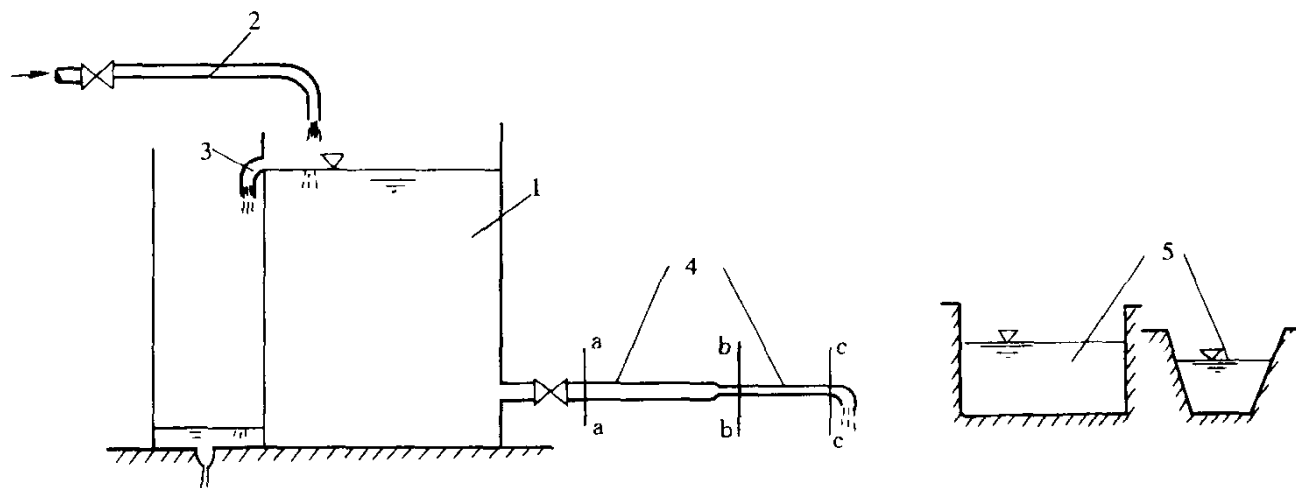


图 1.1-5 流动分类示意图

1—容器; 2—进水管; 3—溢流管; 4—管道; 5—明渠

以上对流体运动的分类仅是从单方面区别划分的, 实际上对于某种具体的流体流动来讲应从几个方面来描述其运动的特征。如图 1.1-5 中某容器内的液体流动, 在充满液体的容器中打开阀门时, 容器进水管不补水或补少量水 (少于其出水量), 此时管道中的流动为非恒定有压流动; 把管道换为明渠, 则为非恒定无压流; 如果补充足够水量使容器中水位保持恒定, 则管中 a-a 至 b-b (或 c-c) 断面间为恒定非均匀压力流, b-b 与 c-c 管段为恒定均匀压力流; 若将管道换成明渠, 则相应的渠段为恒定非均匀无压流和恒定均匀无压流。

在给水排水工程的水体输送过程中, 绝大多数是不可压缩流体的恒定有压流和恒定无压流。

1.1.2 不可压缩流体恒定流连续性方程

图 1.1-6 所示的 1~2 过流段, 恒定流时两断面间流动空间内流体质量不变。设 1-1、2-2 过流断面面积分别为 ω_1 、 ω_2 , 断面平均流速为 v_1 、 v_2 , 根据质量守恒定律在单位时间内流入 1-1 断面的质量流量应等于流出 2-2 断面的质量流量, 即:

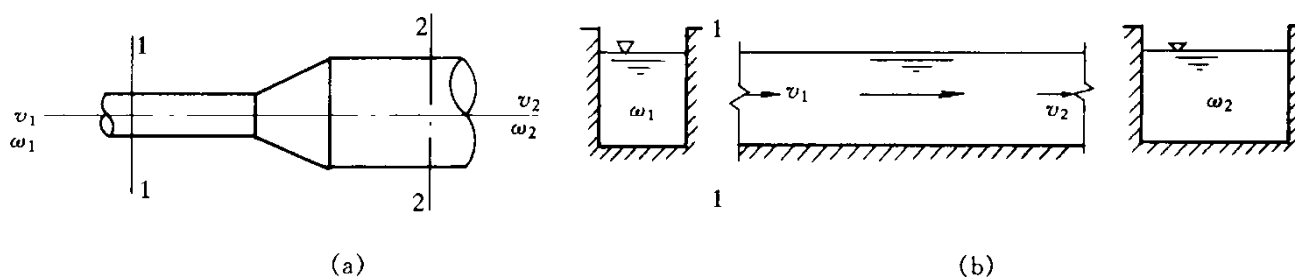


图 1.1-6 连续性方程推导示意图

(a) 有压流; (b) 无压流

$$\rho_1 v_1 \omega_1 = \rho_2 v_2 \omega_2 \quad (1.1-11a)$$

当流体不可压缩时, $\rho_1 = \rho_2$, 所以不可压缩流体恒定流连续性方程式为:

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 \quad (1.1-11)$$

1.1.3 理想流体能量方程及其应用

能量守恒及其转化规律是物质运动的一个普遍规律。1738 年瑞士科学家达·伯努里根据功能原理建立了理想不可压缩流体能量方程式, 揭示了流体在运动过程中流速、压强等运动要素随空间位置的变化关系, 为解决工程技术计算问题奠定了基础。

以图 1.1-7 为推导用图, 设研究管段的进、出口过流断面分别为 1-1、2-2, 图中符号分别表示:

u_1 、 u_2 ——为流体在其过流断面的时间平均流速 (m/s);

p_1 、 p_2 ——流体在其过流断面的压强 (Pa);

Z_1 、 Z_2 ——过流断面 1-1、2-2 中心到基准水平面 0-0 垂直距离 (m);

ω_1 、 ω_2 ——过流断面 1-1、2-2 的面积 (m²);

ν_1 、 ν_2 ——过流断面 1-1、2-2 单位质量的容积 (比容) (m³/kg)。

则单位质量 ($m = 1\text{kg}$) 流体在过流断面 1-1、2-2 之间的输入和输出能量为:

(1) 流体内部能量总和 U_1 、 U_2 (J/kg);

(2) 流体对基准面 0-0 的位能 Z_1 和 Z_2 (J/kg);