

高等职业教育土建类“教、学、做”理实一体化特色教材

城镇给排水技术

主 编 张思梅 葛 军 李敬德



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等职业教育土建类“教、学、做”理实一体化特色教材

城镇给排水技术

主 编 张思梅 葛 军 李敬德



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是安徽省地方技能型高水平大学建设项目重点建设专业——市政工程技术专业的理实一体化教材之一,是以具体工作项目为载体、以工作过程为导向进行开发的。全书内容共分为7个学习项目,主要包括水力学与水泵站基础、城镇给水管网系统、城镇排水管道系统、城镇给排水管道开槽施工、城镇给排水管道不开槽施工、排水管道附属构筑物施工、室外排水管道施工综合实训等内容。

本书可作为高职高专学校市政工程技术专业的教学用书,也可作为给排水工程技术、道路与桥梁工程技术等专业及其他相关专业的教学用书,还可供从事市政工程、路桥工程方面的技术人员与相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

城镇给排水技术 / 张思梅, 葛军, 李敬德主编. --
北京: 中国水利水电出版社, 2017.7
高等职业教育土建类“教、学、做”理实一体化特色
教材
ISBN 978-7-5170-5671-3

I. ①城… II. ①张… ②葛… ③李… III. ①城镇—
给排水系统—高等职业教育—教材 IV. ①TU991

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第181130号

书 名	高等职业教育土建类“教、学、做”理实一体化特色教材 城镇给排水技术 CHENGZHEN JIPAISHUI JISHU
作 者	主 编 张思梅 葛 军 李敬德
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市密东印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 19.75印张 493千字
版 次	2017年7月第1版 2017年7月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	47.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

本书是安徽省地方技能型高水平大学建设项目重点建设专业——市政工程技术专业建设与课程改革的重要成果，是“教、学、做”理实一体化的特色教材。

它是根据教育部有关指导性的精神和意见，遵循市政工程技术专业的“工学结合——项目导向”人才培养模式，“以工作项目为载体、以工作过程为导向”进行开发的。在校企共同开发的课程标准与教学组织设计、教材编写大纲的基础上编写而成的。培养学生具备城镇给排水管道施工、质量控制与管理的职业能力。

本书突出高等职业技术教育的基于工作过程开发的主要特色，体现“校企合作、工学结合”主要精髓，加大了实践运用力度，其基础内容具有系统性、全面性；重点内容具有针对性、实用性，满足专业特点要求。

近年来，城镇给排水管道技术有了很大的发展，高等职业院校对本课程提出了一些新要求。因此，本书针对高等职业教育的特点和多年来积累的教学经验、施工及管理经验，充分吸收了近年来城镇建设（市政工程建设）中的先进技术和施工方法，较全面地介绍了给排水管道系统新知识和城镇给排水管道施工的新技术、新方法、新工艺等。同时，为了便于学生掌握先进的施工技术和系统的施工内容，提高学生的实践能力，精选了一定数量的、具有一定代表性的工程案例。

本书由张思梅教授、葛军高级工程师和李敬德任主编；赵慧敏、蒋红、常小会任副主编；全书由张思梅负责统稿。合肥工业大学资源与环境工程学院胡淑恒编写学习项目1；安徽水利水电职业技术学院赵慧敏、常小会编写学习项目2；安徽水利水电职业技术学院蒋红、王凤娇、高慧慧编写学习项目3；合肥滨湖投资控股集团有限公司葛军、北京市大兴区水务局李敬德、安徽水利水电职业技术学院王涛、王慧萍、康小燕编写学习项目4；安徽水利水电职业技术学院郑溪、孙梅编写学习项目5；安徽水利水电职业技术学院王丽娟编写学习项目6；安徽水利水电职业技术学院张思梅、安徽省第二建筑工程公司高德扬、合肥市市政集团韩涛编写学习项目7。

全书由安徽水利水电职业技术学院张延副教授、安徽水利水电勘测设计院高级工程师龚宾主审。

限于编者水平，不足之处在所难免，敬请读者对本书的缺点予以批评指正。

编者

2017年4月

前言

学习项目 1 城镇给水排水管道工程水力学与水泵站基础	1
学习情境 1.1 城镇给水排水管道工程水力学基础	1
学习情境 1.2 水泵与水泵站	9
思考题与习题	24
学习项目 2 城镇给水管网系统	25
学习情境 2.1 城镇给水管网系统概论	25
学习情境 2.2 城镇给水管网系统设计	30
学习情境 2.3 城镇给水管道材料、附件及附属构筑物	51
思考题与习题	59
学习项目 3 室外排水管道基本知识	60
学习情境 3.1 排水管道系统的组成	60
学习情境 3.2 排水管道系统的体制	62
学习情境 3.3 排水管道系统的布置	64
学习情境 3.4 排水管道的埋深与衔接	68
学习情境 3.5 排水管道的水力计算	71
学习情境 3.6 排水管道工程图的绘制与识读	99
思考题与习题	107
学习项目 4 城镇给排水管道开槽施工	110
学习情境 4.1 施工准备	110
学习情境 4.2 沟槽开挖与验槽	115
学习情境 4.3 管道基础施工	144
学习情境 4.4 下管与稳管	155
学习情境 4.5 管道铺设与接口	158
学习情境 4.6 闭水试验	164
学习情境 4.7 沟槽回填	166
学习情境 4.8 质量检查与竣工验收	169
思考题与习题	172
学习项目 5 城镇给排水管道不开槽施工	174
学习情境 5.1 施工准备	175

学习情境 5.2 掘进顶管施工	179
学习情境 5.3 盾构施工	197
学习情境 5.4 水平定向钻施工	205
思考题与习题	215
学习项目 6 室外排水管道附属构筑物施工	216
学习情境 6.1 检查井施工	216
学习情境 6.2 雨水口施工	229
学习情境 6.3 化粪池施工	233
思考题与习题	238
学习项目 7 室外排水管道施工综合实训	239
学习情境 7.1 排水管道测量实训	239
学习情境 7.2 排水管道质量检测实训	253
学习情境 7.3 排水管道开槽施工方案实例	262
学习情境 7.4 排水管道不开槽（顶管）施工方案实例	272
附录	279
参考文献	309

学习项目 1 城镇给水排水管道工程

水力学与水泵站基础

【学习目标】 学生通过本学习项目的学习，能够理解各种水流流态的类型和区别。掌握无压圆管的水力计算管道水力计算的方法；常用水泵的类型、原理和特点；给水泵站和排水泵站的类型、特点。了解非满流管渠的计算方法；泵站中的辅助设施。

在自然界和工程实践中，液体常处于运动状态。液体运动受其本身物理性质和边界的影响，其运动状态十分复杂，尽管如此，液体运动仍然遵循物体机械运动的普遍规律。在给水处理排水管道工程设计中，我们所遇到和解决的问题，最多还是水力计算问题。因此，为了更好地解决工程实际问题，必须熟练掌握水力学的基本概念和基本理论。

水泵和水泵站是给排水工程不可缺少的重要组成部分，是给水排水系统正常运行的水力枢纽。水泵是一种应用广泛的水力通用机械，在航空航天、发电、矿山、冶金、钢铁、机械、造纸、市政工程、建筑以及农林排灌等方面都有着广泛的应用，发挥着非常重要的作用。城市给排水系统中水的循环都是由一系列不同功能的水泵站来完成的。

学习情境 1.1 城镇给水排水管道工程水力学基础

1.1.1 基本概念

1.1.1.1 层流和紊流

水的流动有层流、紊流及介于两者之间的过渡流 3 种流态。当流速较小时，各流层的液体质点是有条不紊地运动，互不混杂，这种形态的流动称为层流。当流速较大时，各流层的液体质点形成涡体，在流动的过程中，互相混掺，这种形态的流动称为紊流。判别流态的标准采用临界雷诺数 Re_k ，临界雷诺数大都稳定在 2000 左右，当计算出的雷诺数 $Re < 2000$ 时，一般为层流，当 $Re > 4000$ 时，一般为紊流，当 $2000 < Re < 4000$ 时，水流状态不稳定，属于过渡流态。

对给水排水管道进行水力计算时，管道内流体流态均按紊流考虑。因为绝大多数情况下管渠里水流处于紊流流态。以圆管满流为例，给水排水管网中管道流速一般为 $0.5 \sim 2.5 \text{ m/s}$ ，管径一般为 $100 \sim 1000 \text{ mm}$ ，水温一般为 $5 \sim 25^\circ\text{C}$ ，水的动力黏度系数为 $(1.52 \sim 0.89) \times 10^{-6}$ ，经计算得水流雷诺数一般为 $33000 \sim 2800000$ ，显然处于紊流状态。对于排水管网中常用的非满管流和非圆管流，情况也大致如此。

1.1.1.2 恒定流与非恒定流

流场中任何空间上所有运动要素都不随时间而改变，这种水流称为恒定流。如果流场中任何空间点上有任何一个运动要素是随时间而变化的，这种水流称为非恒定流。

在实际管道系统中，由于组成系统的某一元件工作状态的变更（如阀的开度变化、泵的脉动等）或给水量、排水量的经常性变化，将不可避免地产生流量和压力的冲击或



脉动, 形成非恒定流。但是, 非恒定流的水力计算特别复杂, 在设计时, 一般也只能按恒定流 (又称稳定流) 计算。近年来, 采用数值模拟的方法计算给水排水管网非恒定流。由于计算机技术的发展与普及, 国内外已经有人开始研究和采用非恒定流计算给水排水管网, 而且得到了更接近实际的结果。

1.1.1.3 有压流与无压流

水体沿流程整个周界与固体壁面接触, 而无自由液面, 这种流动称为有压流或压力流。水体沿流程一部分周界与固体壁面接触, 另一部分与空气接触, 具有自由液面, 这种流动称为无压流或重力流。

压力流输水通过封闭的管道进行, 水流阻力主要依靠水的压能克服, 阻力大小只与管道内壁粗糙程度、管道长度和流速有关, 与管道埋设深度和坡度等无关。重力流输水通过管道或渠道进行, 管渠中水面与大气相通, 且水流常常不充满管渠、水流的阻力主要依靠水的位能克服, 形成水面沿水流方向降低, 称为水力坡降。重力流输水时, 要求管渠的埋设高程随着水流水力坡度下降。

给水排水管网根据条件和需要, 可以采取压力流输水或重力流输水两种方式。给水管网基本上采用压力流输水方式, 而排水管网多采用重力流输水方式。但是, 在给水管长距离输水时, 当地形条件允许时也可以采用重力流输水以降低输水成本。对于排水管网, 泵站出水管和过河倒虹管均为压力流, 排水管道的实际过流超过设计能力时也会形成压力流。

1.1.1.4 均匀流与非均匀流

液体质点流速的大小和方向沿流程不变的流动, 称为均匀流; 反之, 液体质点流速的大小和方向沿流程变化的流动, 称为非均匀流。从总体上看, 给水排水管道中的水流不但多为非恒定流, 且常为非均匀流, 即水流参数往往随时间和空间变化。

对于满管流动, 如果管道截面在一段距离内不变且不发生转弯, 则管内流动为均匀流; 而当管道在局部有交汇、转弯与变截面时, 管内流动为非均匀流。均匀流的管道对水流的阻力沿程不变, 水流的水头损失可以采用沿程水头损失公式进行计算; 满管流的非均匀流动距离一般较短, 采用局部水头损失公式进行计算。

对于非满管流或明渠流, 只要长距离截面不变, 也没有转弯或交汇时, 也可以近似为均匀流, 按沿程水头损失公式进行水力计算, 对于短距离或特殊情况下的非均匀流动则运用水力学理论按缓流或急流计算。

1.1.1.5 水流的水头和水头损失

水头是指单位重量的流体所具有的机械能, 一般用符号 h 或 H 表示, 常用单位为米水柱 (mH_2O) ($1\text{mH}_2\text{O}=9.8\text{kPa}$, 全书下同), 简写为米 (m)。水头分为位置水头、压力水头和流速水头 3 种。位置水头是指因为流体的位置高程所得的机械能, 又称位能, 用流体所处的高程来度量, 用符号 Z 表示; 压力水头是指流体因为具有压力而具有的机械能, 又称压能, 根据压力进行计算, 即 p/γ (式中的 p 为计算断面上的压力, γ 为流体的比重); 流速水头是指因为流体的流动速度而具有的机械能, 又称动能, 根据动能进行计算, 即 $v^2/2g$ (式中 v 为计算断面的平均流速, g 为重力加速度)。

位置水头和压力水头属于势能, 它们两者的和称为测压管水头, 流速水头属于动能。流体在流动过程中, 3 种型式的水头 (机械能) 总是处于不断转换之中。给水排水管道中的测压管水头较之流速水头一般大得多, 在水力计算中, 流速水头往往可以忽略不计。



实际流体存在黏滞性,因此在流动中,流体受固定界面的影响(包括摩擦与限制作用),导致断面的流速不均匀,相邻流层间产生切应力,即流动阻力。流体克服阻力所消耗的机械能,称为水头损失。当流体受固定边界限制做均匀流动(如断面大小,流动方向沿流程不变的流动)时,流动阻力中只有沿程不变的切应力,称沿程阻力。由沿程阻力所引起的水头损失称为沿程水头损失。当流体的固定边界发生突然变化,引起流速分布或方向发生变化,从而集中发生在较短范围的阻力称为局部阻力。由局部阻力所引起的水头损失称为局部水头损失。

在城镇给水排水管道中,由于管道长度较大,沿程水头损失一般远远大于局部水头损失,所以在进行管道水力计算时,一般忽略局部水头损失,或将局部阻力转换成等效长度的管道沿程水头损失进行计算。

1.1.2 管渠水头损失计算

1.1.2.1 沿程水头损失计算

给水排水管道的沿程水头损失常用谢才公式计算,其形式为

$$h_f = \frac{v^2}{C^2 R} l \quad (1.1)$$

式中 h_f ——沿程水头损失, m;

v ——过水断面平均流速, m/s;

C ——谢才系数;

R ——过水断面水力半径,即过水断面面积除以湿周, m, 圆管满流时 $R=0.25D$ (D 为圆管直径);

l ——管渠长度, m。

对于圆管满流,沿程水头损失也可用达西公式计算:

$$h_f = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (1.2)$$

式中 D ——圆管直径, m;

g ——重力加速度, m/s²;

λ ——沿程阻力系数, $\lambda = \frac{8g}{C^2}$ 。

沿程阻力系数或谢才系数与水流流态有关,一般只能采用经验公式或半经验公式计算。目前国内外较为广泛使用的主要有舍维列夫公式、海曾-威廉公式、柯尔勃洛克-怀特公式和巴甫洛夫斯基等公式,其中,国内常用的是舍维列夫公式和巴甫洛夫斯基公式。

1. 舍维列夫公式

舍维列夫公式根据他对旧铸铁管和旧钢管的水力实验(水温 10℃),提出了计算紊流过渡区的经验公式。

当 $v \geq 1.2$ m/s 时

$$\lambda = 0.00214 \frac{g}{D^{0.3}} \quad (1.3)$$

当 $v < 1.2$ m/s 时

$$\lambda = 0.001824 \frac{g}{D^{0.3}} \left(1 + \frac{0.867}{v} \right)^{0.3} \quad (1.4)$$



将式 (1.3)、式 (1.4) 代入式 (1.2) 分别得

当 $v \geq 1.2 \text{ m/s}$ 时

$$h_f = 0.00107 \frac{v^2}{D^{1.3}} l \quad (1.5)$$

当 $v < 1.2 \text{ m/s}$ 时

$$h_f = 0.000912 \frac{v^2}{D^{1.3}} \left(1 + \frac{0.867}{v} \right)^{0.3} l \quad (1.6)$$

2. 海曾-威廉公式

海曾-威廉公式适用于较光滑的圆管满管紊流计算:

$$\lambda = \frac{13.16gD^{0.13}}{C_w^{1.852}q^{0.148}} \quad (1.7)$$

式中 q ——流量, m^3/s ;

C_w ——海曾-威廉粗糙系数, 其值见表 1.1;

其余符号意义同式 (1.2)。

表 1.1 海曾-威廉粗糙系数 C_w 值

管 道 材 料	C_w	管 道 材 料	C_w
塑料管	150	新铸铁管、涂沥青或水泥的铸铁管	130
石棉水泥管	120~140	使用 5 年的铸铁管、焊接钢管	120
混凝土管、焊接钢管、木管	120	使用 10 年的铸铁管、焊接钢管	110
水泥衬里管	120	使用 20 年的铸铁管	90~100
陶土管	110	使用 30 年的铸铁管	75~90

将式 (1.7) 代入式 (1.2) 得

$$h_f = \frac{10.67q^{1.852}}{C_w^{1.852}D^{4.87}} l \quad (1.8)$$

3. 柯尔勃洛克-怀特公式

柯尔勃洛克-怀特公式适用于各种紊流:

$$C = -17.7 \lg \left(\frac{e}{14.8R} + \frac{C}{3.53Re} \right) \text{ 或 } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad (1.9)$$

式中 Re ——雷诺数, $Re = \frac{4vR}{\nu} = \frac{vD}{\nu}$ (其中 ν 为水的动力黏滞系数, 和水温有关, 单位为 m^2/s);

e ——管壁当量粗糙度, m , 由实验确定, 常用管材的 e 值见表 1.2。

表 1.2 常用管渠材料内壁当量粗糙度 e 值

单位: mm

管 渠 材 料	光滑	平均	粗糙
玻璃	0	0.003	0.006
钢、PVC 或 AC	0.015	0.03	0.06
有覆盖的钢	0.03	0.06	0.15
镀锌钢管、陶土管	0.06	0.15	0.3



续表

管 渠 材 料	光滑	平均	粗糙
铸铁管或水泥衬里	0.15	0.3	0.6
预应力混凝土管或木管	0.3	0.6	1.5
铆接钢管	1.5	3	6
脏的污水管道或结瘤的给水主管线	6	15	30
毛砌石头或土渠	60	150	300

该式适用范围广，是计算精度最高的公式之一，但运算较复杂，为便于应用，可简化为直接计算的形式：

$$C=-17.7\lg\left(\frac{e}{14.8R}+\frac{4.462}{Re^{0.875}}\right)\text{或}\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=-2\lg\left(\frac{e}{3.7D}+\frac{4.462}{Re^{0.875}}\right)$$
 (1.10)

4. 巴甫洛夫斯基公式

巴甫洛夫斯基公式适用于明渠流和非满流管道的计算，公式为

$$C=\frac{R^y}{n_b}$$
 (1.11)

其中 $y=2.5\sqrt{n_b}-0.13-0.75\sqrt{R}(\sqrt{n_b}-0.10)$

式中 n_b ——巴甫洛夫斯基公式粗糙系数，见表 1.3。

表 1.3 常用管渠材料粗糙系数 n_b 值

管 渠 材 料	n_b	管 渠 材 料	n_b
铸铁管、陶土管	0.013	浆砌砖渠道	0.015
混凝土管、钢筋混凝土管	0.013~0.014	浆砌块石渠道	0.017
水泥砂浆抹面渠道	0.013~0.014	干砌块石渠道	0.020~0.025
石棉水泥管、钢管	0.012	土明渠（带或不带草皮）	0.025~0.030

将式 (1.11) 代入式 (1.2) 得

$$h_f=\frac{n_b^2v^2}{R^{2y+1}}l$$
 (1.12)

5. 曼宁公式

曼宁公式是巴甫洛夫斯基公式中 $y=1/6$ 时的特例，适用于明渠或较粗糙的管道计算：

$$C=\frac{\sqrt[6]{R}}{n}$$
 (1.13)

式中 n ——粗糙系数，与式 (1.12) 中 n_b 相同，见表 1.3。

将式 (1.13) 代入式 (1.1) 得

$$h_f=\frac{n^2v^2}{R^{1.333}}l\text{或}h_f=\frac{10.29n^2q^2}{D^{5.333}}l$$
 (1.14)

1.1.2.2 局部水头损失计算

局部水头损失用下式计算：

$$h_j=\zeta\frac{v^2}{2g}$$
 (1.15)



式中 h_j ——局部水头损失, m;
 ζ ——局部阻力系数, 见表 1.4。

表 1.4

局部阻力系数 ζ

配件、附件或设施	ζ	配件、附件或设施	ζ
全开闸阀	0.19	90°弯头	0.9
50%开启闸阀	2.06	45°弯头	0.4
截止阀	3~5.5	三通转弯	1.5
全开蝶阀	0.24	直流三通	0.1

在管网系统中, 各种配件、附件或设施种类数量繁多, 局部水头损失计算起来十分繁复, 所以为了简化计算, 可以将局部水头损失等效于一定长度的管道 (称为当量管道长度) 的沿程水头损失, 从而可以与沿程水头损失合并计算。

设某管道直径为 d , 管道上的局部阻力设施的阻力系数为 ζ , 令其局部水头损失与当量管道长度的沿程水头损失相等, 则有

$$\zeta \frac{v^2}{2g} = \lambda \frac{l_d v^2}{d 2g} = \frac{v^2}{C^2 R} l_d$$

经简化得

$$l_d = \frac{d \zeta}{\lambda} = \frac{d \zeta}{8g} C^2 \quad (1.16)$$

式中 l_d ——当量管道长度, m。

【案例 1.1】 已知某管道直径 $d=800\text{mm}$, 管壁粗糙系数 $n=0.0013$, 管道上有 2 个 45° 和 1 个 90° 弯头, 2 个闸阀, 2 个直流三通, 试计算当量管道长度 l_d 。

【解】 查表 1.4, 该管道上总的局部阻力系数:

$$\zeta = 2 \times 0.4 + 1 \times 0.9 + 2 \times 0.19 + 2 \times 0.1 = 2.28$$

采用曼宁公式计算谢才系数:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0.013} \times (0.25 \times 0.8)^{\frac{1}{6}} = 58.82$$

求得当量管道长度为

$$l_d = \frac{d \zeta}{8g} C^2 = \frac{0.8 \times 2.28}{8 \times 9.81} \times 58.82^2 = 80.41(\text{m})$$

在实际中, 室外给排水管网中的局部水头损失一般不超过沿程水头损失的 5%, 因和沿程水头损失相比很小, 所以在管网水力计算中, 常忽略局部水头损失的影响, 不会造成大的计算误差。

1.1.3 无压圆管的水力计算

所谓无压圆管, 是指非满流的圆形管道。在城镇给水排水工程中, 圆形断面无压均匀流的例子很多, 如城市排水管道中的污水管道、雨水管道以及无压涵管中的流动等。这是因为它们既是水力最优断面, 又具有制作方便、受力性能好等特点。由于这类管道内的流动都具有自由液面, 所以常用明渠均匀流的基本公式对其进行计算。

圆形断面无压均匀流的过水断面如图 1.1 所示。设其管径为 d , 水深为 h , 定义 $\alpha = \frac{h}{d} =$



$\sin^2 \frac{\theta}{4}$, α 称为充满度, 所对应的圆心角 θ 称为充满角。

由几何关系可得各水力要素之间的关系为

过水断面面积:

$$A = \frac{d^2}{8} (\theta - \sin \theta) \quad (1.17)$$

湿周:

$$\chi = \frac{d}{2} \theta \quad (1.18)$$

水力半径:

$$R = \frac{d}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) \quad (1.19)$$

所以

$$v = \frac{1}{n} \left[\frac{d}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) \right]^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (1.20)$$

$$Q = \frac{d^2}{8} (\theta - \sin \theta) \frac{1}{n} \left[\frac{d}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) \right]^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (1.21)$$

为便于计算, 表 1.5 列出不同充满度时圆形管道过水断面面积 A 和水力半径 R 的值。

表 1.5 不同充满度时圆形管道过水断面面积 A 和水力半径 R 的值 (表中 d 以 m 计)

充满度 α	过水断面面积 A/m^2	水力半径 R	充满度 α	过水断面面积 A/m^2	水力半径 R
0.05	$0.0147d^2$	$0.0326d$	0.55	$0.4426d^2$	$0.2649d$
0.10	$0.0400d^2$	$0.0635d$	0.60	$0.4920d^2$	$0.2776d$
0.15	$0.0739d^2$	$0.0929d$	0.65	$0.5404d^2$	$0.2881d$
0.20	$0.1118d^2$	$0.1206d$	0.70	$0.5872d^2$	$0.2962d$
0.25	$0.1535d^2$	$0.1466d$	0.75	$0.6319d^2$	$0.3017d$
0.30	$0.1982d^2$	$0.1709d$	0.80	$0.6736d^2$	$0.3042d$
0.35	$0.2450d^2$	$0.1935d$	0.85	$0.7115d^2$	$0.3033d$
0.40	$0.2934d^2$	$0.2142d$	0.90	$0.7445d^2$	$0.2980d$
0.45	$0.3428d^2$	$0.2331d$	0.95	$0.7707d^2$	$0.2865d$
0.50	$0.3927d^2$	$0.2500d$	1.00	$0.7845d^2$	$0.2500d$

【案例 1.2】 已知圆形污水管道, 直径 $d=600\text{mm}$, 管壁粗糙系数 $n=0.014$, 管底坡度 $i=0.0024$ 。求最大设计充满度时的流速 v 和流量 Q 。

【解】 管径 $d=600\text{mm}$ 的污水管最大设计充满度 $\alpha = \frac{h}{d} = 0.75$; 由表 1.5 查得, $\alpha=0.75$ 时, 过水断面上的水力要素为

$$A = 0.6319d^2 = 0.6319 \times 0.6^2 = 0.2275(\text{m}^2)$$

$$R = 0.3017d = 0.3017 \times 0.6 = 0.1810(\text{m})$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0.014} \times 0.181^{\frac{1}{6}} = 53.722(\text{m}^{1/2}/\text{s})$$

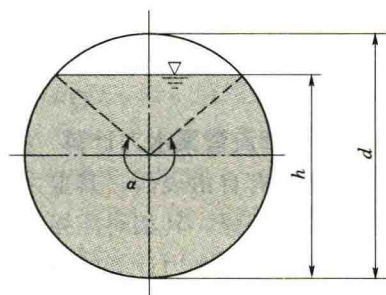


图 1.1 圆形管道充满度示意图

d —管道直径; h —管内水面高度



从而得

$$v = C \sqrt{Ri} = 53.722 \times \sqrt{0.181 \times 0.0024} = 1.12 (\text{m/s})$$

$$Q = vA = 1.12 \times 0.2275 = 0.2548 (\text{m}^3/\text{s})$$

1.1.4 非满流管渠水力计算

流体具有自由表面，其重力作用下沿管渠的流动称为非满流。因为在自由水面上各点的压强为大气压强，其相对压强为零，所以又称为无压流。

非满流管渠水力计算的目的是，在于确定管渠的流量、流速、断面尺寸、充满度、坡度之间的水力关系。

非满流管渠内的水流状态基本上都处于阻力平方区，接近于均匀流，所以，在非满流管渠的水力计算中一般都采用均匀流公式，其形式为

$$v = C \sqrt{Ri} \quad (1.22)$$

$$Q = Av = AC \sqrt{Ri} = K \sqrt{i} \quad (1.23)$$

其中

$$K = AC \sqrt{R}$$

式中 K ——流量模数，其值相当于底坡等于 1 时的流量；

C ——谢才系数或称流速系数。

式 (1.22)、式 (1.23) 中的谢才系数 C 如采用曼宁公式计算，则可分别写成：

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (1.24)$$

$$Q = A \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (1.25)$$

式中 Q ——流量， m^3/s ；

v ——流速， m/s ；

A ——过水断面面积， m^2 ；

R ——水力半径（过水断面面积 A 与湿周 χ 的比值： $R = A/\chi$ ）， m ；

i ——水力坡度（等于水面坡度，也等于管底坡度）， m/m ；

n ——粗糙系数。

式 (1.24)、式 (1.25) 为非满流管渠水力计算的基本公式。

粗糙系数 n 的大小综合反映了管渠壁面对水流阻力的大小，是管渠水力计算中的主要因素之一。

管渠的粗糙系数 n 不仅与管渠表面材料有关，同时还和施工质量以及管渠修成以后的运行管理情况等因素有关。因而，粗糙系数 n 的确定要慎重。在实践中， n 值如选得偏大，即设计阻力偏大，设计流速就偏小，这样将增加不必要的管渠断面面积，从而增加管渠造价，而且，由于实际流速大于设计流速，还可能会引起管渠冲刷。反之，如 n 选得偏小，则过水能力就达不到设计要求，而且因实际流速小于设计流速，还会造成管渠淤积。通常所采用的各种管渠的粗糙系数见表 1.3，或参照有关规范和设计手册。

在非满流管渠水力计算的基本公式中，有 q 、 d 、 h 、 i 和 v 共 5 个变量，已知其中任意 3 个，就可以求出另外两个。由于计算公式的形式很复杂，所以非满流管渠水力计算比满流管渠水力计算要繁杂得多，特别是在已知流量、流速等参数求其充满度时，需要解非线性方程，手工计算非常困难。为此，必须找到手工计算的简化方法。



应用非满流管渠水力计算的基本公式 [式 (1.24) 和式 (1.25)], 制成相应的水力计算图表, 将水力计算过程简化为查图表的过程。这是《室外排水设计规范》(GB 50014—2006) 和《给水排水设计手册》(第五册 城镇排水) 推荐采用的方法, 使用起来比较简单。

水力计算图适用于混凝土及钢筋混凝土管道, 其粗糙系数 $n=0.013$ (也可制成不同粗糙系数的图表)。每张图适用于一个指定的管径。图上的纵坐标表示坡度 i , 即是设计管道的管底坡度, 横坐标表示流量 Q , 图中的曲线分别表示流量、坡度、流速和充满度间的关系。当选定管材与管径后, 在流量 Q 、坡度 i 、流速 v 、充满度 h/d 4 个因素中, 只要已知其中任意两个, 就可由图查出另外两个。参见附录 1.1、设计手册或其他有关书籍, 这里不详细介绍。

学习情境 1.2 水泵与水泵站

城市的水源水 (天然水体) 需要通过给水系统上的取水泵站、送水泵站、一级加压泵站的连续工作 (增压), 才能够被输送到城市的各个用水户。对于城市中排泄的生活污水和工业废水, 经排水管渠系统汇集后, 必须由中途提升泵站、总提升泵站将污水和工业废水抽送至污水处理厂, 经过处理后的污水再由另外一个排水泵站 (或用重力自流) 排放入江河湖海中去, 或者排入农田作灌溉之用。

1.2.1 水泵

水泵是输送液体或使液体增压的机械。它将原动机的机械能或其他外部能量传送给液体, 使液体能量增加。

1.2.1.1 水泵的分类

1. 叶片式水泵

叶片式水泵 (图 1.2) 对液体的抽送是靠装有叶片的叶轮的高速旋转来完成的。根据叶轮出水的水流方向可以将叶片式水泵分为径向流、轴向流和斜向流 3 种。有径向流叶轮的水泵称为离心泵, 液体质点在叶轮中流动主要受到离心力的作用; 有轴向流叶轮的水泵称为轴流泵, 液体质点在叶轮中流动时主要受到轴向升力的作用; 有斜向流叶轮的水泵称为混流泵, 它是上述两种叶轮的过渡形式, 液体质点在叶轮中流动时, 既受到离心力的作用, 又受到轴向升力的作用。

2. 容积式水泵

容积式水泵对液体的压送是靠水泵内部工作室的容积变化来完成的。一般使工作室容积改变的方式有往复运动和旋转运动两种。属于往复运动的容积式水泵有活塞式往复泵、柱塞式往复泵等; 属于旋转运动的容积式水泵有转子泵等。容积式水泵的工作原理如图 1.3 所示。当活塞向右拉动时、工作室容积增大, 压力降低, 进水阀打开, 出水阀关闭, 吸水池中水在大气压力作用下, 通过进水管进入工作室; 当活塞向左推动时, 进水阀关闭, 出水阀打开, 工作室内存水进入压水管, 如此循环进行连续工作。

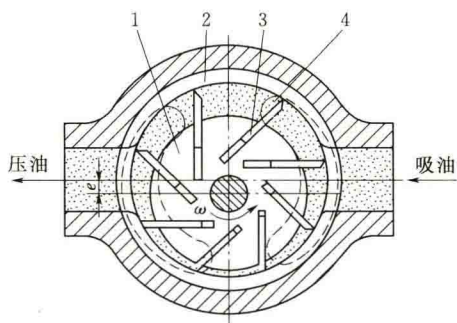


图 1.2 叶片式水泵示意图

1—转子; 2—定子; 3—叶片; 4—配流盘

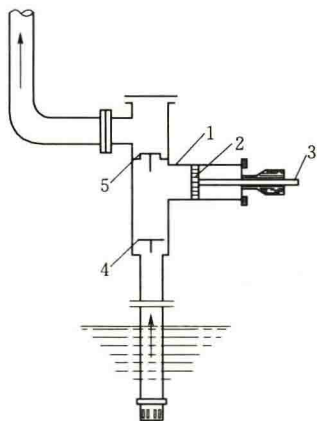


图 1.3 容积式水泵工作原理示意图

1—泵缸；2—活塞；3—活塞杆；
4—吸入阀；5—排出阀

3. 其他水泵

其他水泵是指除叶片式水泵和容积式水泵以外的特殊泵。其他水泵主要有螺杆泵（图 1.4）、射流泵（又称水射器，图 1.5）、水锤泵、水轮泵以及气升泵（又称空气扬水机）等。这些水泵当中，除螺旋泵是利用螺旋推进原理来提高液体的位能以外，其他水泵都是利用高速液流或气流（即高速射流）的动能来输送液体的。这些水泵的应用虽然没有叶片式水泵那样广泛，但在给水排水工程中，结合具体条件，应用这些特殊的水泵来输送液体，常常会获得良好的效果。例如，在城市污水处理厂中，二沉池的沉淀污泥回流至曝气池时，常常采用螺杆泵或气升泵来提升；射流泵在给水处理厂投药方面的应用也比较多，通常用来投加混凝剂或消毒剂等。

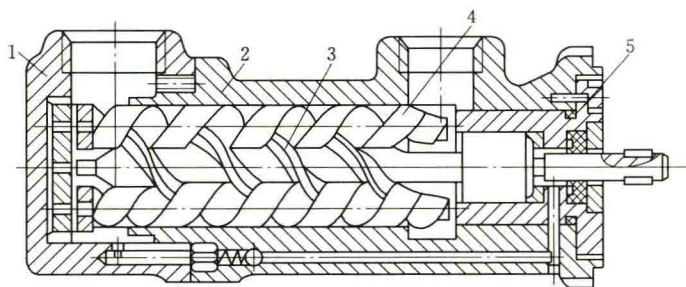


图 1.4 螺杆泵

1—后盖；2—泵体；3—主动螺杆；4—从动螺杆；5—前盖

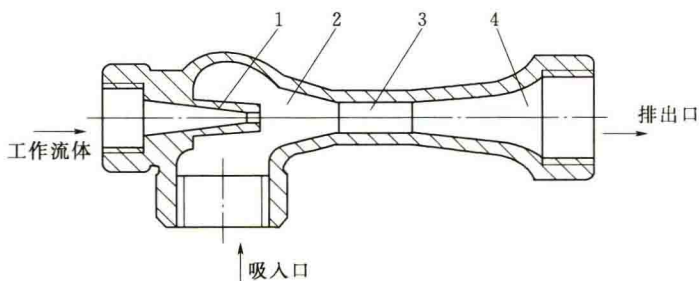


图 1.5 射流泵

1—喷嘴；2—混合室；3—喉管；4—扩散管

1.2.1.2 离心泵

离心泵是利用叶轮旋转而使水发生离心运动来工作的。水泵在启动前，必须使泵壳和吸水管内充满水，然后启动电机，使泵轴带动叶轮和水做高速旋转运动，水发生离心运动，被甩向叶轮外缘，经蜗形泵壳的流道流入水泵的压水管路，如图 1.6 所示。

1. 离心泵的基本构造

(1) 叶轮。叶轮是离心泵的核心部分，叶轮上的叶片又起到主要作用，叶轮在装配前要

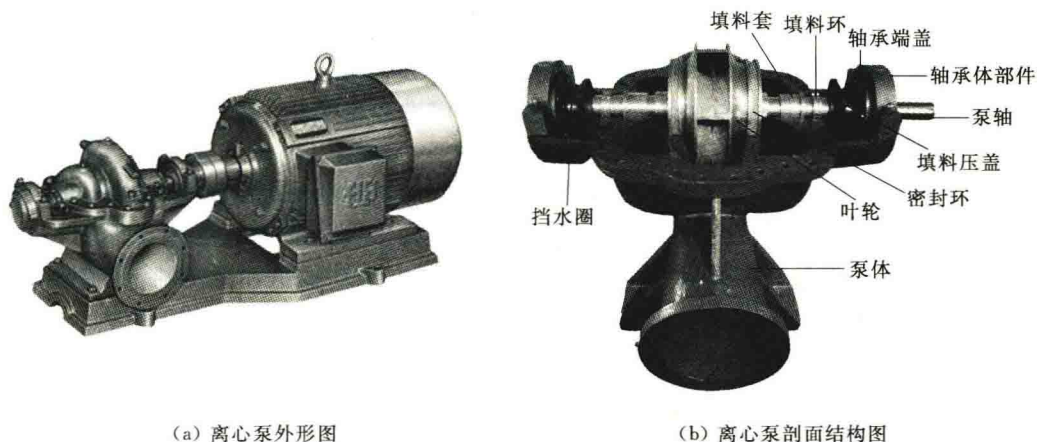


图 1.6 离心泵

通过静平衡实验。叶轮上的内外表面要求光滑，以减少水流的摩擦损失。叶轮一般由两个圆形盖板以及盖板之间若干片弯曲的叶片和轮毂所组成。叶轮按吸入口数量可分为单吸式（图 1.7）与双吸式（图 1.8）两种；叶轮按其盖板情况可分为封闭式、敞开式和半开式叶轮 3 种型式，如图 1.9 所示。

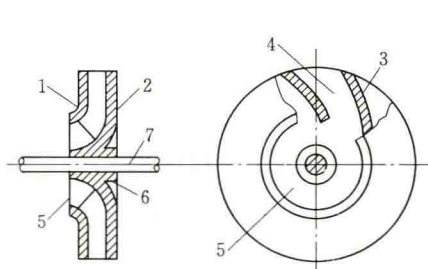


图 1.7 单吸式叶轮

1—前盖板；2—后盖板；3—叶片；4—叶槽；
5—吸水口；6—轮毂；7—泵轴

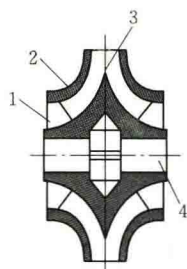


图 1.8 双吸式叶轮

1—吸水口；2—盖板；3—叶片；4—轴孔



图 1.9 叶轮型式

(2) 泵壳。离心泵的泵壳通常铸成蜗壳形，其过水部分要求有良好的水力条件。叶轮工作时，沿蜗壳的渐扩断面上，流量是逐渐增大的，为了减少水力损失，在水泵设计中应使沿