

城市管道施工

技术问答

陈振木 张润峰 李 广 编著
张崇馥 吴继东 杨俊秋 校审

(上册)

中国建筑工业出版社

城市管道施工技术问答

(上册)

陈振木 张润峰 李 广 编著
张崇馥 吴继东 杨俊秋 校审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市管道施工技术问答/陈振木, 张润峰, 李广编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2015.10
ISBN 978-7-112-17329-7

I. ①城… II. ①陈…②张…③李… III. ①市政工程-管
道施工-问题解答 IV. ①TU990.3-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 226818 号

责任编辑: 李玲洁 王 磊 田启铭

责任设计: 李志立

责任校对: 姜小莲 刘 钰



城市管道施工技术问答

陈振木 张润峰 李 广 编著
张崇馥 吴继东 杨俊秋 校审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

环球印刷 (北京) 有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 106 字数: 3002 千字

2015 年 5 月第一版 2015 年 5 月第一次印刷

定价: 238.00 元 (上、下册)

ISBN 978-7-112-17329-7

(26102)

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)

编者的话

我们在多年市政工程施工实践中，有时感觉到施工现场的管理人员（工长）及中、小型施工队干部对施工中遇到的某些技术和管理上的问题，在概念和处理方法上较为含糊，他们十分需要对施工中出现问题作出简明准确的解答。在中国建筑工业出版社有关领导安排下，我们承担了编写这本《城市管道工程施工技术问答》的任务。

全书分8章：1. 基础知识、2. 排水管道、3. 给水管道、4. 供热管道、5. 燃气管道、6. 通信管道、7. 电力管道、8. 综合管沟，约2000余题。编写时依据有关施工规范、规程、操作工艺，并参考了众多有关技术书籍、杂志、资料和历年的工作札记。同时将新技术内容及发展过程尽量贯穿于问答之中，以便使年轻的同行们能以较少的时间获取较多的知识量，为在管道施工实践中夯实基础。

本文的大部分内容对于具有初中文化程度和具有一定施工经验的施工人员都能看懂。与城市管道施工相关的学科较多，对其基本知识，本书以浅显的名词解释引入相应的问答中，并针对某些内容（概念）从不同角度（措辞）予以反复阐述，以便读者加深理解，扩大视野；对有些形似而意异的问题，本文力求以较明晰的形式满足不同读者的要求。

文中编入安全等方面的问答，希望能使安全、环保、卫生等意识欠缺的施工人员，对自己及周围人员的生命健康引起足够重视。历来时有（个别）发生自来水或燃气等管道被挖断而造成生命财产重大损失的事故，所以安全施工是管道施工人员必须遵守的最基本准则之一。本书在文明施工方面列入了部分北京文明规范的内容，以利于提升施工队伍的整体素质，并提高了维护自身合法权益和遵守法规的自觉性。

鉴于我们水平有限，不妥之处敬请读者及专家指正。

对编写工作给予指导关心的博士生导师任福田教授、教授级高工上官斯煜和康智以及资深市政工程施工管理专家张崇馥、李君英、王静等表示感谢。对《市政技术》、《中国市政》等有关作者和领导表示感谢。在编写过程中曾得到王维安、王健、王丹萍、陈莉、左燕生、陈思璇、左秩彬等的支持和协助，在此一并致谢。

陈振木

目 录

(上册)

第1章 城市管道工程施工的基础知识	1
1.1 城市管道工程施工的相关常识	1
1.2 工程识图	24
1.3 管道工程施工测量	50
1.4 安全、文明施工要求	88
1.5 城市地下管线施工监测与探测	120
1.6 施工管理	129
1.7 管道施工质量检验项目及竣工验收规定	148
第2章 城市排水管道工程施工	158
2.1 概述	158
2.2 管道材料、配件、机具	172
2.3 降排水施工	222
2.4 土方工程	271
2.5 开槽(明挖法)施工	319
2.6 顶管法施工	560
2.7 盾构法施工	620
2.8 浅埋暗挖法施工	653
2.9 盖挖法施工	748
2.10 导向钻进铺管施工	759
2.11 污水处理厂及排水构筑物施工	769

(下册)

第3章 城市给水管道施工	861
3.1 城市给水管网及附属构筑物概述	861
3.2 管材及管件	894
3.3 阀门井、管井施工	941
3.4 下管及给水铸铁管道安装	961
3.5 给水钢管管道安装	1006
3.6 预应力钢筋混凝土给水管道安装	1075
3.7 化学建材管道安装	1104
3.8 给水管道水压试验与消毒冲洗	1174
3.9 给水管道过河、沉井施工	1191

3.10	给水管道安装工程质量检验及验收项目	1206
第4章	城市供热管道工程施工	1214
4.1	城市供热管网	1214
4.2	管材、配件	1221
4.3	城市供热管道敷设	1246
4.4	城市热力工程检验	1334
4.5	城市热力工程竣工验收前准备工作及档案馆资料目录	1378
4.6	城市供热管网热力站及小室施工	1390
第5章	燃气管道施工	1403
5.1	燃气特性及对管材要求	1403
5.2	管材及配件	1409
5.3	燃气管道工程施工与设备安装	1419
5.4	燃气管道工程质量控制及验收	1455
5.5	某燃气工程概算实例	1477
第6章	城市通信管道施工	1484
6.1	通信管道管材	1484
6.2	通信管道铺设	1492
6.3	通信管道工程检验、验收	1501
第7章	电力管道施工	1509
7.1	电缆管埋管及电力沟施工	1509
7.2	电力隧道质量检验与验收	1566
7.3	电缆隧道工程实例	1576
第8章	综合管沟施工	1588
8.1	综合管沟布置规划	1588
8.2	综合管沟施工要求及工程实例	1605
	参考文献	1684

第 1 章

城市管道工程施工的基础知识

1.1 城市管道工程施工的相关常识

1-1-1 路面受行车作用有哪几种力？

答：行车对路面的作用有三种：

- 1) 车辆荷载作用于路面的垂直压力（静止单位垂直压力约为 0.4~0.7MPa）。
- 2) 由于车辆的制动、加速、转向等形成的水平力。在上坡和加速时，汽车对路面有向后的水平力；在下坡制动和减速时，有向前的水平力；在弯道上行驶，汽车对路面产生向弯道外侧的水平力。
- 3) 由于路面高低不平、汽车的振动而形成的冲击力和振动力。

1-1-2 地面车辆荷载对管道作用标准值的计算方法是怎样的？

答：1) 地面车辆荷载对管道上的作用，包括地面行驶的各种车辆，其载重等级、规格型式应根据地面运行要求确定。

2) 地面车辆荷载传递到埋地管道顶部的竖向压力标准值，可按下列方法确定：

(1) 单个轮压传递到管道顶部的竖向压力标准值可按下式计算 [图 1-1-2 (1)]：

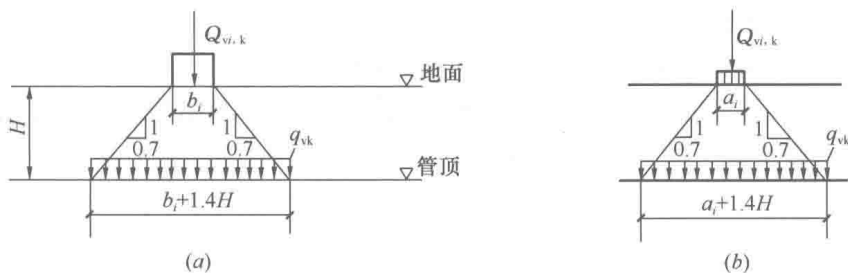


图 1-1-2 (1) 单个轮压的传递分布图

(a) 顺轮胎着地宽度的分布；(b) 顺轮胎着地长度的分布

$$q_{vk} = \frac{\mu_d Q_{vi,k}}{(a_i + 1.4H)(b_i + 1.4H)}$$

式中 q_{vk} ——轮压传递到管顶处的竖向压力标准值 (kN/m²)；

$Q_{vi,k}$ ——车辆的 i 个车轮承担的单个轮压标准值 (kN)；

a_i —— i 个车轮的着地分布长度 (m)；

b_i —— i 个车轮的着地分布宽度 (m)；

H ——自车行地面至管顶的深度 (m)；

μ_d ——动力系数，可按表 1-1-2 采用。

动力系数 μ_d

表 1-1-2

地面在管顶 (m)	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	≥ 0.70
动力系数 μ_d	1.30	1.25	1.20	1.15	1.05	1.00

(2) 两个以上单排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力标准值, 可按下式计算[图 1-1-2 (2)]:

$$q_{vk} = \frac{\mu_d n Q_{vi,k}}{(a_i + 1.4H)(nb_i + \sum_{j=1}^{n-1} d_{bj} + 1.4H)}$$

式中 n ——车轮的总数量;

d_{bj} ——沿车轮着地分布宽度方向, 相邻两个车轮间的净距 (m)。

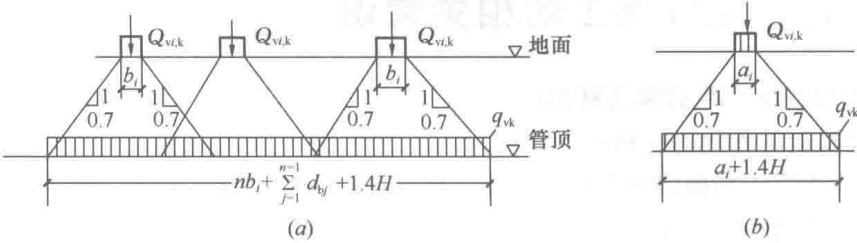


图 1-1-2 (2) 两个以上单排轮压综合影响的传递分布图

(a) 顺轮胎着地宽度的分布; (b) 顺轮胎着地长度的分布

(3) 多排轮压综合影响传递到管道顶部的竖向压力标准值, 可按下式计算:

$$q_{vk} = \frac{\mu_d \sum_{i=1}^n Q_{vi,k}}{(\sum_{i=1}^{m_a} a_i + \sum_{j=1}^{m_a-1} d_{aj} + 1.4H)(\sum_{i=1}^{m_b} b_i + \sum_{j=1}^{m_b-1} d_{bj} + 1.4H)}$$

式中 m_a ——沿车轮着地分布宽度方向的车轮排数;

m_b ——沿车轮着地分布长度方向的车轮排数;

d_{aj} ——沿车轮着地分布长度方向, 相邻两个车轮间的净距 (m)。

3) 当刚性管道为整体式结构时, 地面车辆荷载的影响应考虑结构的整体作用, 此时作用在管道上的竖向压力标准值可按下式计算 (图 1-1-2 (3)):

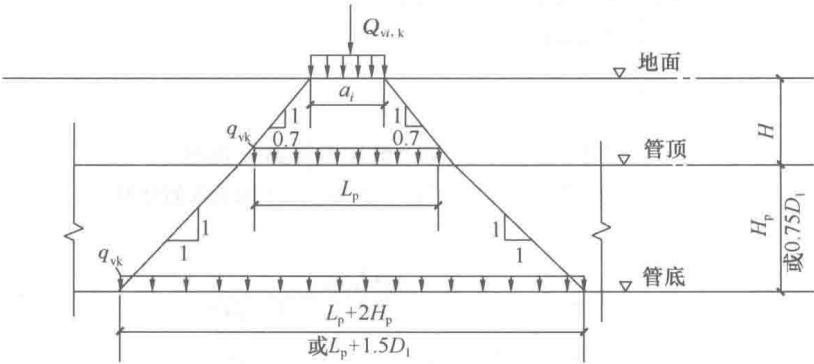


图 1-1-2 (3) 考虑结构整体作用时
车辆荷载的竖向压力传递分布

$$q_{ve,k} = q_{vk} \frac{L_p}{L_c}$$

式中 $q_{ve,k}$ ——考虑管道整体作用时管道上的竖向压力 (kN/m^2);

L_p ——轮压传递到管顶处沿管道纵向的影响长度 (m);

L_e ——管道纵向承受轮压影响的有效长度 (m), 对圆形管道可取 $L_e = L_p + 1.5D_1$; 对矩形管道可取 $L_e = L_p + 2H_p$, H_p 为管道高度 (m)。

4) 当地面设有刚性混凝土路面时, 一般可不计地面车辆轮压对下部埋设管道的影响, 但应计算路基施工时运料车辆和辗压机械的轮压作用影响。

1-1-3 何谓地基容许承载力? 其计算方法是怎样的?

答: 地基容许承载力就是满足土的强度条件和变形要求时的地基单位面积上所能承受荷载的能力。确定地基土的容许承载力数值是以保证建筑物的沉降量不超过容许值和保证地基稳定即不发生剪切破坏为原则。

它是地基基础设计的基本指标, 用符号 $[f_a]$ 表示, 它不是个常数, 随各种情况而变化。地基容许承载力 $[f_a]$ 的确定与土的种类、基础的宽度和埋置深度、建筑物的结构型式、使用要求、荷载和埋质和大小等等一系列因素有关。确定基本容许承载力 $[f_{a0}]$ 的方法有现场荷载法、理论公式法、《公路桥涵地基与基础设计规范》法。

根据对现有工程进行实地调查、收集大量试验资料, 进行统计分析, 提出各类土地基容许承载力数值, 列入《公路桥涵地基与基础设计规范》, 以供使用。使用方法是, 首先根据土的物理力学性质, 查出基本容许应力 $[f_{a0}]$, 然后根据基础具体情况确定容许应力 $[f_a]$, 见下公式:

$$[f_a] = [f_{a0}] + k_1 r_1 (b - 2) + k_2 r_2 (h - 3)$$

式中 $[f_a]$ ——按基础实际深度和宽度修正后的地基土的容许承载力;

$[f_{a0}]$ ——地基土的基本容许承载力;

k_1 、 k_2 ——地基土在宽度和深度方面的修正系数;

b ——基础底面的最小边宽度 (m); 当 $b < 2\text{m}$ 时, 取 $b = 2\text{m}$; 当 $b > 10\text{m}$ 时, 取 $b = 10\text{m}$;

h ——基础底面的埋置深度;

r_1 ——基底下持力层土的天然容重;

r_2 ——基底以上土的天然容重。

本公式适用条件是相对埋置深度 $h/b \leq 4$, 不适于冻土和硬质岩。

上式中 $[f_{a0}]$ 、 k_1 、 k_2 可在《公路桥涵地基与基础设计规范》相关资料表格中查出。

1-1-4 静水压强有几种表示方法? 何谓表压真空度?

答: 1) 压强的表示方法有两种:

(1) 绝对压强

以绝对真空状态为零点起算的压强称为绝对压强, 用 p_{fd} 表示。

(2) 相对压强

以当地大气压强 p_d 为零点起算的压强称为相对压强, 用 p 表示。

一般实际工程多采用相对压强来表示压强的大小。相对压强与绝对压强相差 1 个大气压强, 二者的关系是

$$p = p_{fd} - p_d$$

2) 如果绝对压强大于大气压强, 则相对压强是正值, 称正压, 其值可用压力表测出, 故一般均称表压; 反之, 绝对压强小于大气压强, 则相对压强是负值, 称负压。这是一种真空状态, 真空的大小用真空度 p_k 表示, 即

$$p_k = p_d - p_{fd}$$

上式说明真空度是指某点绝对压强比大气压强少的数值, 而不是该点的绝对压强值。真空度

的大小,可用真空表测出。

几种压强的关系表示在图 1-1-4 中。

1-1-5 压强的度量单位有哪 3 种表示方法?

答: 1) 用单位面积上的压力表示, 单位为 Pa 或 N/m^2 ; 米制单位为 kgf/m^2 或 kgf/cm^2 。

2) 用工程气压表示, 工程上常用工程气压表示压强单位, $1 \text{ 工程气压} = 9.807 \times 10^4 \text{ Pa} = 1 \text{ kgf/cm}^2$ 。有时要用到标准大气压, $1 \text{ 标准大气压} = 101.325 \text{ kPa} = 760 \text{ mmHg}$ 。

3) 用液柱高度表示, 单位为 mH_2O 、 mmH_2O 、 mmHg 。液柱高度用下式计算:

$$h = p/\gamma$$

1-1-6 水动力学几个名词是怎么定义的?

答: 1) 过流断面

过流断面(简称断面)是指流体运动时所通过的横断面, 该断面与流体运动方向垂直。过流断面的形状有圆形、矩形、梯形等。

2) 平均流速

在单位时间内流体所移动的距离, 称为流速。由于黏滞性的影响, 在过流断面上各点的实际流速并不相同, 但在工程上都是采用断面上流速的平均值即平均流速来分析和解决流体运动问题的。平均流速是一个假想的流速, 即假设过流断面上各点的流速都相等, 而按该流速计算出的流量就恰好等于实际流量。可以看出, 过流断面上有些点的实际流速比平均流速小, 有些点的实际流速比平均流速大。

3) 流量

流量是指在单位时间内流体通过过流断面的体积或重力。前者称体积流量, 后者称重力流量。流量、平均流速和过流断面的关系可用下式表示:

$$Q = \omega \gamma$$

式中 Q ——体积流量, m^3/s ;

γ ——平均流速, m/s ;

ω ——过流断面面积, m^2 。

重力流量和体积流量的关系是

$$W = \gamma Q$$

式中 W ——重力流量, N/s ;

γ ——流体重力密度, N/m^3 。

1-1-7 什么是有压流与无压流?

答: 流体沿流程整个周界都与固体壁面接触, 而无自由表面, 这种流动称为有压流或压力流。例如自来水、供热管道中的水流都是有压流动。流体沿流程仅部分周界与固体壁面接触, 具有自由表面, 与大气相接触, 这种流动称为无压流或重力流。例如排水管、明渠与河道中的水流, 都是无压流动。

1-1-8 什么是恒定流与非恒定流?

答: 流体在运动过程中, 其各点的流速和压强不随时间而变化, 仅与空间位置有关, 这种流动称为恒定流; 反之, 流体各点的流速和压强不仅与空间位置有关, 而且还随时间而变化, 这种流动就称为非恒定流。

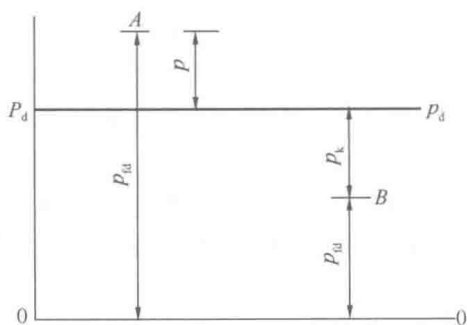


图 1-1-4 几种压强的关系

例如当从水箱下部孔口泄水时，不断向水箱充水，保持箱内水位不变，即使泄水量与充水量相等，此时孔口泄流形状、流速和压强均不随时间而变，这就是恒定流。反之，不向水箱充水，在孔口泄水时，水位是不断下降的，此时泄流形状、流速和压强都随时间变化，这就是非恒定流，如图 1-1-8 所示。水暖与通风工程所涉及的流体运动问题，绝大多数可按恒定流处理。

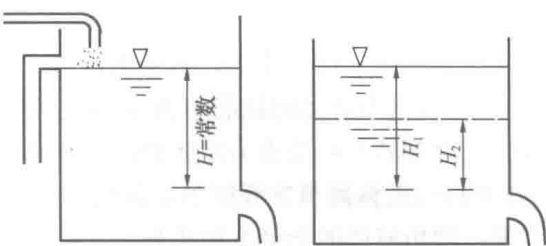


图 1-1-8 恒定流与非恒定流

1-1-9 什么是均匀流和非均匀流？

答：位于同一流线上各质点的流速大小和方向都相同的液流称为均匀流；这就要求液流边界必须是直的，而且过水断面形状大小也都一致。反之，就是非均匀流。在管流中均匀（或非均匀）流和恒定（或非恒定）流相互独立，四种组合中的任何一种都有可能，例如流量不按时而变时，在直径一致的长、直管段中的管流，是恒定均匀流，在渐扩管中的管流，是恒定非均匀流；当流量按时而变时，就分别成为非恒定均匀流和非恒定非均匀流了。在明渠流中，因为有自由表面，一般没有非恒定的均匀流，只可能有恒定均匀流，这时液体质点作匀速直线运动；至于非均匀流，则恒定和非恒定都会发生。

1-1-10 总水头的概念是什么？

答：总水头即液体运动的机械能，就是单位重力流体的位能、动能和压能之总和。

为了应用能量守恒和转换定律解决流体运动问题，首先必须了解流体运动时所具有的能量。

在恒定流中取一管段，如图 1-1-10 (1) 所示。流体自左向右流动，进口断面为 1—1，出口断面为 2—2，其位置高度分别为 Z_1 和 Z_2 ，断面平均流速和压强分别为 v_1 与 v_2 ， p_1 与 p_2 。则该管段各过流断面上所具有的能量有：

1) 位能

流体的质量为 m ，重力为 mg ，当过流断面的位置高度为 Z 时，则位能（或称重力势能）为 mgZ 。那么，单位重力流体的位能应为 Z ，简称位能，又称为位置水头。

2) 动能

重力为 mg 的流体，平均流速为 v ，其动能为 $\frac{1}{2}mv^2$ ，则单位重力流体的动能应为 $\frac{1}{2}mv^2/mg = \frac{v^2}{2g}$ ，简称动能，又称为流速水头。我们可以把它看作是在流速作用下流体所能上升的高度。

在图 1-1-10 (2) 中，测速管与测压管内的液面高差 h_v ，就是断面上 A 点的流速水头。所谓测速管就是一端弯曲为 90° 的玻璃管，开口正对水流方向，与测压管合用，可测流速水头。考虑到断面上流速的分布情况，对于用平均流速计算的流速水头；还应乘以动能修正系数，在工程计算中常取其值为 1。

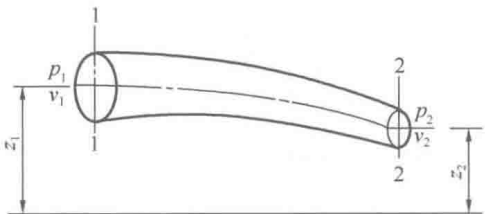


图 1-1-10 (1) 过流断面上的能量

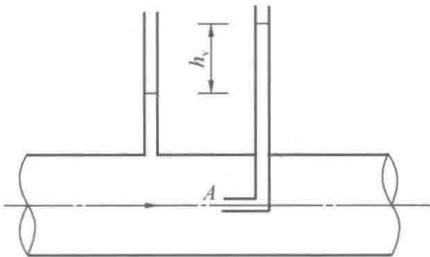


图 1-1-10 (2) 流速水头

3) 压能

流体在压强 p 的作用下, 可沿测压管上升的高度为 $h=p/\gamma$, 所作的功 (压力势能) 为 $mg \cdot p/\gamma$, 则单位重力流体的压能应为 p/γ , 简称压能, 又称为压强水头。单位重力流体的位能、动能和压能之和就是单位重力流体的机械能, 简称单位总能量, 又称为总水头。

1-1-11 液体能量方程概念是什么?

答: 理想液体的能量方程式如下:

$$Z_1 + p_1/\gamma + v_1^2/2g = Z_2 + p_2/\gamma + v_2^2/2g$$

或

$$Z + p/\gamma + v^2/2g = \text{常数}$$

上式说明理想不可压缩恒定流中, 各过流断面上的单位重力流体的位能、压能和动能之和相

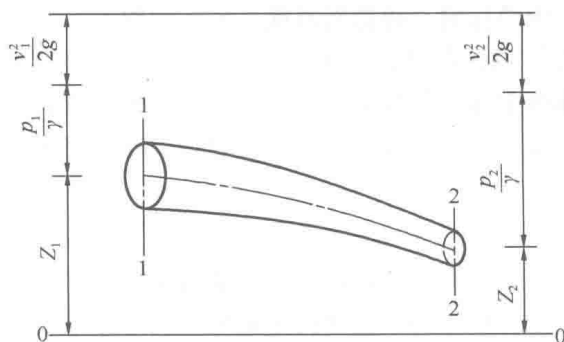


图 1-1-11 理想液体过流断面总水头

等, 即各过流断面单位重力流体的总能量不变, 或者说各过流断面的总水头相等。它体现了能量守恒原理, 故称为能量方程, 也称为伯诺里方程。为便于理解能量方程的意义, 各过流断面上的水头表示于图 1-1-11 中。

与理想液体不同, 实际液体是考虑了液体黏滞性存在的一种真实液体。实际液体在流动中必然要克服阻力而消耗一定的能量, 即沿流动方向, 流体的机械能是减少的。如果液体从断面 1—1 到断面 2—2 间的平均单位能量损失

(也称为水头损失) 为 h_w (见图), 则实际流体的能量方程如下:

$$Z_1 + p_1/\gamma + v_1^2/2g = Z_2 + p_2/\gamma + v_2^2/2g + h_w$$

上式与式比较, 不同之处在于多了一项能量损失 h_w , 因此该方程具有很大的实用意义, 成为解决实际工程水力计算的重要基础。

1-1-12 何谓表面张力? 何谓毛细管现象?

答: 表面张力是液体自由表面在分子作用半径一薄层内由于分子引力大于斥力在表层沿表面方向而产生的拉力。表面张力的大小可用表面张力系数 σ 来量度。 σ 是自由表面上单位长度上所受的拉力, 单位为牛顿/米 (N/m)。 σ 的值随液体种类和温度而变化, 对 20℃ 的水, $\sigma=0.074\text{N/m}$ 。

盛水的细玻璃管如图 1-1-12 由于表面层内液体分子与玻璃管壁固体分子的相互作用而发生毛细管现象。对 20℃ 的水, 玻璃管中的水面高出容器水面的高度 h 约为: $h=29.8/d$ (mm)。 d 为玻璃管的内径, 以毫米计, 通常测压管的 d 不小于 10mm。

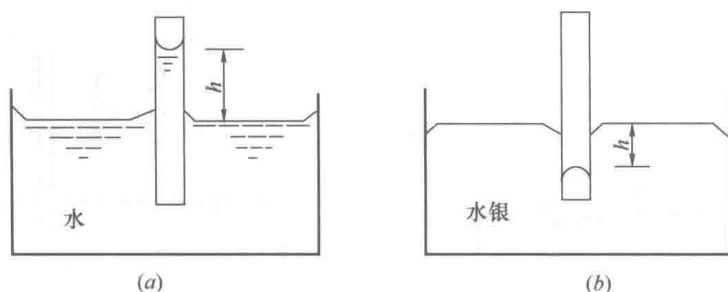


图 1-1-12 毛细管现象

对水银，玻璃管中汞面低于容器汞面高度 h 约为： $h=10.15/d$ (mm)。

1-1-13 黏性的概念是什么？

答：液体运动时若质点之间存在着相对运动，则质点间就要产生一种内摩擦力来抵抗其相对运动，这种性质就叫液体的黏滞性，此摩擦力称为黏滞力。

液体的黏性可用黏性系数 μ 来量度， μ 的国际单位为牛顿·秒/米² (N·s/m²) 或帕斯卡·秒 (Pa·s)，物理制单位为达因·秒/cm²，或称之为“泊斯”，其单位换算为

$$1 \text{ “泊斯” } = 0.1 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$$

液体的黏性还用 $\gamma = \mu / \rho$ 来表示， γ 称为运动黏性系数，其国际单位是 m²/s，过去习惯上把 1 厘米²/秒 (cm²/s) 称为 1 “斯托克斯”，其换算关系为 1 “斯托克斯” = 0.0001 m²/s。

水的运动黏性系数 γ 可用下列经验公式计算：

$$\gamma = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} (\text{cm}^2/\text{s})$$

其中 t 为水温，以℃计

1-1-14 静水压强的定义是什么？

答：若在盛满水的容器的侧面或底部存在缝隙，水会从缝隙中流出，这种现象说明静止的水有压力存在，这种压力叫静水压力

作用在整个容器表面积上的静水压力，称为静水总压力，用符号表示为 P ，作用在单位面积上的静水压力，称为静水压强，因符号表示为 p ，两者的数学计算式如下：

$$P = \frac{p}{W}$$

式中 P ——平均静水压强，N/m² 或 Pa；

p ——总静水压力，N；

W ——受压面积，m²。

1-1-15 静水压强的两点特性是什么？

答：(1) 静水压强方向与作用力的质点方向重合，也即永远垂直并指向作用面。

(2) 同一点的静水压强大小在各个方向上是一样的。

1-1-16 压力流和重力流是指什么？

答：压力流是指液体在流动时，液体整个周界（湿周）和所接触的固体壁面没有自由表面，并对接触壁面具有一定的压力，这种流动称为压力流动。如给水管网即是存在一定压力。

重力流是指液体流动时，液体的部分周界（湿周）和固体壁面相接触，而另一部分周界与大气相接触，并具有自由表面，这种流动称为无压流。由于无压流是借助于自身重力作用而产生由高向低滚动，所以又称为重力流。如作为市政工程的各种雨水及污水管道或管渠即是无压流。

1-1-17 流线和迹线的概念有何不同？

答：流线和迹线是两个完全不同的概念。流线是同一瞬时描述流场中水流质点流动方向的线；而迹线则是指同一个水质点在一段时间内所流经的轨迹。

1-1-18 水头损失有几种形式？各自特点如何？

答：水头损失有两种形式分述如下。

(1) 沿程水头损失，是指水在管道的流动过程中，水与管道内表面间及相邻流层之间的流速大小不同，存在相对运动而产生摩擦阻力，这种摩擦阻力引起的能耗，称为沿程水头损失，以符号 h_f 表示，计算公式（达西公式）为：

$$h_f = \lambda \times \left(\frac{L}{d} \right) \times \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

式中 h_f ——管段的沿程水头损失, m;

L ——管段长度, m;

d ——管段直径, m;

V ——断面的平均流速, m/s;

λ ——沿程阻力系数。

(2) 局部水头损失, 是指水流经管路系统中的阀门、弯头等管道配件时, 由于边界条件突然发生变化, 液体流速也随之相应发生突然变化, 并伴随产生局部涡流及质点间的相互碰撞, 从而消耗自身能量。这种类型的水头损失称为局部水头损失, 以符号 h_m 表示, 计算公式为

$$h_m = \zeta \times \frac{V^2}{2g}$$

式中 h_m ——管道的局部水头损失, m;

V ——断面的平均流速, m/s;

ζ ——局部阻力系数。

1-1-19 液体的能量表现形式有哪几种?

答: 单位重量液体的能量表现形式有 3 种:

(1) 重力势能是指, 重量为 mg 高度为 Z 的液体质点的位能是 mgZ (位置水头)。单位重量的液体的势能是 Z , 单位为 m。

(2) 压强势能是指压能为压强中移动液体质点时压力作功而使液体获得的一种势能 $\frac{p}{\gamma}$ (压强水头), 从几何意义讲 p 为相对压强时也即测压管高度。

(3) 动能是指以速度 v 流动的重量为 mg 的液体质点动能是 $mv^2/2$ (流速水头, 也即液体以速度 v 垂直向上喷射到空气中时所达到的高度)。

1-1-20 什么是恒定流能量方程式?

答: 恒定流能量方程式如下

$$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \text{常数}$$

这就是“伯诺里”方程。表明液体流动过程也是遵循能量守恒定律的, 液体自身的能量不能消灭, 也不能创造, 只能从一种形式的能量转化成另一种形式。

1-1-21 什么叫湿周?

答: 过流断面中管道或管渠边界与液体相接触部分的周长, 一般用 X 表示。

1-1-22 什么叫水力半径?

答: 水力半径是过流断面截面面积 W 与湿周 X 之比, 一般用 R 表示, 单位为米 (m)。

1-1-23 什么叫水力坡度?

答: 单位长度上的能量损失, 一般常用的为沿程水头损失的水力坡度, 计算式如下:

$$J = \frac{\Delta h}{L}$$

式中 J ——水力坡度;

Δh ——沿程水头损失, m;

L ——管道长度, m。

1-1-24 谢才公式、曼宁公式是如何表达的?

答: 谢才公式为:

$$V = C \times \sqrt{R} \cdot J$$

式中 V ——流速, m/s;

C ——谢才系数；

J ——水力坡度；

R ——水力半径，m。

曼宁公式为：

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

式中 n ——粗糙系数（反映壁面粗糙情况的系数）

R ——水力半径，m；

C ——谢才系数。

1-1-25 热、热量和热流量的概念各是什么？

答：（1）热是物体所含能量的一种表现形式。

（2）热量是热能变化过程中的数量表示，符号为“ Q ”。法定计量单位是焦 [耳]，符号“J”。常用的非法定计量单位是“卡”（Cal）或“千卡”（kcal）。其换算关系为 $1\text{cal}=4.1868\text{J}$ 。

（3）热流量是功率的概念，即单位时间上的热功。其计量单位为瓦（W）、千瓦（kW）、兆瓦（MW）。常用换算关系为 $1\text{kW}=860\text{kcal/h}$ 。

1-1-26 饱和温度、饱和水、饱和蒸汽的概念是什么？

答：在一定压力下，水达到沸腾的温度（即沸点），叫饱和温度。饱和温度下的水，叫饱和水。饱和温度下的蒸汽，叫饱和蒸汽。汽化过程中，饱和温不变。如果压力升高，饱和温度升高，例如当压力为 $1(10^5\text{Pa})$ 时，饱和温度为 100°C ；当压力为 $10(10^5\text{Pa})$ 时，饱和温度为 180°C 。

1-1-27 何谓热膨胀？

答：绝大多数物体受热都会膨胀，遇冷都会收缩，这就是热胀冷缩，这种性能称为热胀性。

固体当温度上升 1°C 时所引起的长度增长，与它在 0°C 时的长度之比，称为线胀系数。以 α 表示线胀系数，则

$$\alpha = \frac{L_t - L_0}{L_0 t} \tag{1}$$

式中 α ——线胀系数 ($1/^\circ\text{C}$)

L_t ——固体受热膨胀后 ($t^\circ\text{C}$ 时) 的长度 (m)

L_0 ——固体 0°C 时的长度 (m)

t ——固体受热后的温度 ($^\circ\text{C}$)

不同的物质线胀系数也不同，见表 1-1-27。

知道了线胀系数 α 及 0°C 时的长度 L_0 ，物体在温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的长度 L_t 即可求出：

$$L_t = L_0(1 + \alpha t) \tag{2}$$

几种材料的线膨胀系数 α ($1/^\circ\text{C}$) 值

表 1-1-27

材料名称	α 值 ($1/^\circ\text{C}$)	材料名称	α 值 ($1/^\circ\text{C}$)
碳素钢	0.0000117	铅	0.0000292
不锈钢	0.0000103	铝	0.0000231
铁	0.0000118	水银 (汞)	0.0000182
铸铁	0.0000125	聚氯乙烯	0.00007
灰口铸铁	0.0000108	聚乙烯	0.0001
铜	0.0000165	水泥	0.000014
锌	0.0000165	玻璃	0.000005

上式在实际运用时，常常是已知物体在 $t_1^\circ\text{C}$ 时的长度 L_1 ，要求物体在 $t_2^\circ\text{C}$ 时的长度 L_2 ，则将式 (2) 写成下式，可求出（误差可忽略）：

$$L_2 = L_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (3)$$

物体的温度升高时，除了发生线膨胀外，其体积也会膨胀。物体当温度升高 1°C 时所引起的体积增长，与它在 0°C 时的体积之比，称为体胀系数 β 。则物体受热膨胀后的体积即为

$$V_t = V_0(1 + \beta t) \quad (4)$$

同样，物体从 $t_1^\circ\text{C}$ 升高到 $t_2^\circ\text{C}$ 时的体积 V_2 也可写成：

$$V_2 = V_1[1 + \beta(t_2 - t_1)] \quad (5)$$

V_1 为物体温度在 $t_1^\circ\text{C}$ 时的体积。

线胀系数与体胀系数的关系为：

$$\beta = 3\alpha \quad (6)$$

液体虽无一定的形状，故亦无线胀系数，但它却有一定的体积，故也有体胀系数。

物体的热膨胀在水暖工程中有重要的意义，例如蒸汽管道受热后的膨胀量很大，要用补偿器来调节等。

1-1-28 何谓导热性？

答：物体的热量由温度较高的表面沿厚度方向传送到温度较低的另一表面的性能，称为导热性。一种材料当表面积为 1m^2 、厚度为 1m 、两表面温差为 1°C 时，单位时间所能传导的热量的数值，为此材料的导热系数 λ [$\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]。

导热系数大的物体即传热速度快的物体，如铜、铝、钢铁等，称为热的良导体，如钢的导热系数为 $40 \sim 50$ [$\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]。导热系数小传热速度慢的物体，如烟灰、水垢、石棉、木材等，称为热的不良导体。水垢的导热系数为 $0.5 \sim 2.0$ [$\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]，烟灰为 $0.05 \sim 0.1$ [$\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]，所以烟灰及水垢对传热影响极大。一般 $\lambda < 0.2 \text{kcal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 的材料称为保温材料，一般孔隙多、容重小的材料 λ 值也小，可以用作管道及锅炉的保温材料。

液体除了水银和熔化了金属以外，都不善于导热。气体的导热性能更差。寒冷地区的双层窗户中存在着不流动又不善导热的空气层，以保持室内温暖，就是利用了气体的这个性质。

1-1-29 热的传播方式有哪几种？

答：热量从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到邻近部分的过程，叫做热传递。热的传递方式有三种，即传导、对流与辐射。

1) 传导

两个温度不同的物体互相接触时，或同一物体的两端温度不等时，温度高的部分的热量，会通过物体内部传给温度低的部分，这种传热方式称为热传导。此时热量的传递并没有物质的迁移，而是通过物质分子间的相互碰撞来传递动能的。

2) 对流

当用水壳烧水时，壶底的水受热后温度升高体积膨胀，密度减小而向上浮升；上部温度较低密度较大的凉水往下沉降来补充，受热后又往上升起。壶里的水经过这样上下循环流动，温度逐渐普遍升高。这种依靠流体（液体及气体）本身的流动而传递热量的方式，称为对流。散热器散热使室内空气升温而采暖就是利用了空气的对流。锅炉里高温烟气流动冲刷锅炉受热面也是对流传热。流体的对流能力和导热能力是完全不同的，例如水和空气的导热系数都很低，但它们的对流传热作用却很大。

3) 辐射

热源直接向四周散热，不需要任何物质作热媒，这种借助于不同波长的各种电磁波来传递内能的传热方式，称为辐射。辐射热是以直线方式传播的，它会被物体遮隔，并也有反射与折射等

现象。辐射的速度等于光速，为 30 万 km/s。太阳的直接照射，火炉的直接烤灼，锅炉炉膛内燃烧着的燃料向炉膛水冷壁放热等，都是辐射传热的例子。表面黑暗粗糙的物体，能够迅速地大量吸收辐射热，同时也能迅速地大量辐射出自身的热量。

1-1-30 温度是一种什么标志？

答：物体的冷热程度叫温度。从分子运动论的观点来看，温度是分子平均动能的标志。把在 1 个标准大气压下水的沸点和冰点分别定为 100℃ 和 0℃，二者之间分成 100 等份，每一份为 1°（度），这种温标称为国标百分温标，即摄氏温度，以℃表示。

1-1-31 比热的定义是什么？

答：单位质量的物质温度升高 1℃ 时所需要的热量，称为比热 C ，单位为 $\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 或 $\text{kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 。则质量为 m 的物质，温度从 t_1 升高到 t_2 时所需要的热量公式，即

$$Q = Cm(t_2 - t_1)$$

1-1-32 水的主要性质有哪些？

答：1) 水是无色无味无臭的液体。水在 4℃ 时密度最大，为 1t/m^3 。在 4℃ 以上时也具有热胀冷缩的性质，受热膨胀密度变小，温度降低体积收缩密度增大，但它的体胀系数不是一个固定的数值，即它的体积膨胀和温度之间不是直线关系。而在 4℃ 以下时，水的热胀性却恰恰相反，温度越低体积越膨胀，所以采暖建筑物冬季要注意防寒保温，避免暖气系统中的水受冻结冰体积膨胀，而将散热器、管道等设备胀裂损坏。水在不同温度时的密度见表 1-1-32。

水在不同温度 t (℃) 时的密度 r (kg/m^3) 表 1-1-32

t (℃)	r (kg/m^3)	t (℃)	r (kg/m^3)
1	999.94	75	974.89
2	999.97	76	974.29
3	999.99	77	973.68
4	1,000.00	78	973.07
5	999.99	79	972.45
10	999.74	80	971.83
15	999.15	81	971.21
20	998.26	82	970.57
25	997.11	83	969.94
30	995.72	84	969.30
35	994.09	85	968.65
40	992.24	86	968.00
45	990.25	87	967.34
50	988.07	88	966.68
55	985.73	89	966.01
60	983.24	90	965.34
61	982.72	91	964.67
62	982.20	92	963.99
63	981.67	93	963.30
64	981.13	94	962.61
65	980.59	95	961.92
66	980.05	96	961.22
67	979.50	97	960.51
68	978.94	98	959.81
69	978.38	99	959.09
70	977.81	100	958.38
71	977.23	110	948.93
72	976.66	120	989.82
73	976.07	130	929.97
74	975.48		