



机工建筑考试

# 2012年

全国注册  
环保工程师资格考试

## 专业基础考试考点 精析及强化训练

曹亚莉 主 编  
王 敏 王文海 副主编

突出重点·突破难点·精讲精练·触类旁通

✓ 解读考试大纲

✓ 解悟命题规律

✓ 解释疑难问题



NL1C2970800400

解剖教材内容

解析重点习题



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 2012 年全国注册环保工程师 资格考试专业基础考试考点 精析及强化训练

主 编 曹亚莉  
副主编 王 敏 王文海  
参 编 石伟强 刘建伟  
王丽华 杨海燕



NLIC2970800400



机械工业出版社

本书按照《注册环保工程师制度暂行规定》和《注册环保工程师资格考试实施办法》的相关要求,以《勘察设计注册环保工程师资格考试大纲》(专业基础考试下午部分的题量、分数)为依据,组织富有教学和实践经验的  
相关教师进行编写。

本书的内容包含工程流体力学与流体机械、环境工程微生物学、环境监测与分析、环境评价与环境规划和污染防治技术 5 部分。大纲中基础考试上午部分和职业法规部分未包含在本书内。本书内容紧扣大纲要求,每节均有知识点及精析、强化训练题库、强化训练题库答案及解析,以提高考生复习效率。

本书可供参加全国注册环保工程师资格考试的考生作为复习辅导书及相关培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

2012 年全国注册环保工程师资格考试专业基础考试考点精析及强化训练/曹亚莉主编. —4 版. —北京:机械工业出版社,2012. 5

ISBN 978-7-111-37833-4

I. ①2… II. ①曹… III. ①环境保护-工程技术人员-资格考试-自学参考资料 IV. ①X

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 052690 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:关正美 责任编辑:关正美

版式设计:石 冉 责任校对:张玉琴

封面设计:张 静 责任印制:杨 曦

唐山丰电印务有限公司印刷

2012 年 5 月第 4 版第 1 次印刷

184mm×260mm·19.25 印张·525 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-37833-4

定价:68.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服 务 中 心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

## Contents

|                          |                          |    |
|--------------------------|--------------------------|----|
| 前言                       | 10.5.1 大纲要求 .....        | 26 |
| 第10章 工程流体力学与流体机械 .....   | 10.5.2 本节知识点及精析 .....    | 26 |
| 本章要点 .....               | 10.5.3 强化训练题库 .....      | 27 |
| 10.1 流体动力学 .....         | 10.5.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 28 |
| 10.1.1 大纲要求 .....        | 10.6 气体动力学基础 .....       | 29 |
| 10.1.2 本节知识点及精析 .....    | 10.6.1 大纲要求 .....        | 29 |
| 10.1.3 强化训练题库 .....      | 10.6.2 本节知识点及精析 .....    | 29 |
| 10.1.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 10.6.3 强化训练题库 .....      | 30 |
| 10.2 流体阻力 .....          | 10.6.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 31 |
| 10.2.1 大纲要求 .....        | 10.7 相似原理和模型试验方法 .....   | 32 |
| 10.2.2 本节知识点及精析 .....    | 10.7.1 大纲要求 .....        | 32 |
| 10.2.3 强化训练题库 .....      | 10.7.2 本节知识点及精析 .....    | 32 |
| 10.2.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 10.7.3 强化训练题库 .....      | 35 |
| 10.3 管道计算 .....          | 10.7.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 37 |
| 10.3.1 大纲要求 .....        | 10.8 泵与风机 .....          | 38 |
| 10.3.2 本节知识点及精析 .....    | 10.8.1 大纲要求 .....        | 38 |
| 10.3.3 强化训练题库 .....      | 10.8.2 本节知识点及精析 .....    | 38 |
| 10.3.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 10.8.3 强化训练题库 .....      | 45 |
| 10.4 明渠均匀流和非均匀流 .....    | 10.8.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 47 |
| 10.4.1 大纲要求 .....        | 第11章 环境工程微生物学 .....      | 48 |
| 10.4.2 本节知识点及精析 .....    | 本章要点 .....               | 48 |
| 10.4.3 强化训练题库 .....      | 11.1 微生物学基础 .....        | 48 |
| 10.4.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 11.1.1 大纲要求 .....        | 48 |
| 10.5 紊流射流与紊流扩散 .....     | 11.1.2 本节知识点及精析 .....    | 48 |
| 26                       | 11.1.3 强化训练题库 .....      | 57 |

|                          |     |                          |     |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 11.1.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 59  | 12.3 大气和废气监测与分析 .....    | 117 |
| 11.2 微生物生理 .....         | 59  | 12.3.1 大纲要求 .....        | 117 |
| 11.2.1 大纲要求 .....        | 59  | 12.3.2 本节知识点及精析 .....    | 117 |
| 11.2.2 本节知识点及精析 .....    | 60  | 12.3.3 强化训练题库 .....      | 129 |
| 11.2.3 强化训练题库 .....      | 65  | 12.3.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 131 |
| 11.2.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 66  | 12.4 固体废弃物监测与分析 .....    | 133 |
| 11.3 微生物生态 .....         | 67  | 12.4.1 大纲要求 .....        | 133 |
| 11.3.1 大纲要求 .....        | 67  | 12.4.2 本节知识点及精析 .....    | 133 |
| 11.3.2 本节知识点及精析 .....    | 67  | 12.4.3 强化训练题库 .....      | 135 |
| 11.3.3 强化训练题库 .....      | 71  | 12.4.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 137 |
| 11.3.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 73  | 12.5 噪声监测与测量 .....       | 137 |
| 11.4 微生物与物质循环 .....      | 74  | 12.5.1 大纲要求 .....        | 137 |
| 11.4.1 大纲要求 .....        | 74  | 12.5.2 本节知识点及精析 .....    | 137 |
| 11.4.2 本节知识点及精析 .....    | 74  | 12.5.3 强化训练题库 .....      | 143 |
| 11.4.3 强化训练题库 .....      | 77  | 12.5.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 144 |
| 11.4.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 79  | 第13章 环境评价与环境规划 .....     | 146 |
| 11.5 污染物质的生物处理 .....     | 80  | 本章要点 .....               | 146 |
| 11.5.1 大纲要求 .....        | 80  | 13.1 环境与生态评价 .....       | 146 |
| 11.5.2 本节知识点及精析 .....    | 80  | 13.1.1 大纲要求 .....        | 146 |
| 11.5.3 强化训练题库 .....      | 83  | 13.1.2 本节知识点及精析 .....    | 146 |
| 11.5.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 84  | 13.1.3 强化训练题库 .....      | 148 |
| 第12章 环境监测与分析 .....       | 86  | 13.1.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 150 |
| 本章要点 .....               | 86  | 13.2 环境影响评价 .....        | 151 |
| 12.1 环境监测过程的质量保证 .....   | 86  | 13.2.1 大纲要求 .....        | 151 |
| 12.1.1 大纲要求 .....        | 86  | 13.2.2 本节知识点及精析 .....    | 151 |
| 12.1.2 本节知识点及精析 .....    | 86  | 13.2.3 强化训练题库 .....      | 170 |
| 12.1.3 强化训练题库 .....      | 101 | 13.2.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 173 |
| 12.1.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 103 | 13.3 环境与生态规划 .....       | 175 |
| 12.2 水和废水监测与分析 .....     | 105 | 13.3.1 大纲要求 .....        | 175 |
| 12.2.1 大纲要求 .....        | 105 | 13.3.2 本节知识点及精析 .....    | 175 |
| 12.2.2 本节知识点及精析 .....    | 105 | 13.3.3 强化训练题库 .....      | 182 |
| 12.2.3 强化训练题库 .....      | 113 | 13.3.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 184 |
| 12.2.4 强化训练题库答案及解析 ..... | 116 | 第14章 污染防治技术 .....        | 186 |
|                          |     | 本章要点 .....               | 186 |

|        |             |     |
|--------|-------------|-----|
| 14.1   | 水污染防治技术     | 186 |
| 14.1.1 | 大纲要求        | 186 |
| 14.1.2 | 本节知识点及精析    | 186 |
| 14.1.3 | 强化训练题库      | 230 |
| 14.1.4 | 强化训练题库答案及解析 | 234 |
| 14.2   | 大气污染防治技术    | 237 |
| 14.2.1 | 大纲要求        | 237 |
| 14.2.2 | 本章知识点及精析    | 237 |
| 14.2.3 | 强化训练题库      | 259 |
| 14.2.4 | 强化训练题库答案及解析 | 261 |

|        |             |     |
|--------|-------------|-----|
| 14.3   | 固体废弃物处理处置技术 | 263 |
| 14.3.1 | 大纲要求        | 263 |
| 14.3.2 | 本节知识点及精析    | 263 |
| 14.3.3 | 强化训练题库      | 282 |
| 14.3.4 | 强化训练题库答案及解析 | 285 |
| 14.4   | 物理污染防治技术    | 288 |
| 14.4.1 | 大纲要求        | 288 |
| 14.4.2 | 本节知识点及精析    | 288 |
| 14.4.3 | 强化训练题库      | 298 |
| 14.4.4 | 强化训练题库答案及解析 | 300 |

## 第10章 工程流体力学与流体机械

### 本章要点

#### 1. 流体动力学

恒定流动与非恒定流动,理想流体的运动方程式,实际流体的运动方程式,伯努利方程式及其使用条件,总水头线和测压管水头线,总压线和全压线。

#### 2. 流体阻力

层流与紊流、雷诺数,流动阻力分类,层流和紊流沿程阻力系数的计算,局部阻力产生的原因和计算方法,减少局部阻力的措施。

#### 3. 管道计算

孔口(或管嘴)的变水头出流,简单管路的计算,串联管路的计算,并联管路的计算。

#### 4. 明渠均匀流和非均匀流

明渠均匀流的计算公式,明渠水力最优断面和允许流速,明渠均匀流水力计算的基本问题,断面单位能量,临界水深,缓流、急流、临界流及其判别准则,明渠恒定非均匀渐变流的基本微分方程。

#### 5. 紊流射流与紊流扩散

紊流射流的基本特征,圆断面射流,平面射流。

#### 6. 气体动力学基础

压力波传播和音速概念,可压缩流体一元稳定流动的基本方程,渐缩喷管与拉伐管的特点,实际喷管的性能。

#### 7. 相似原理和模型试验方法

流动相似,相似准则,方程和因次分析法,流体力学模型研究方法,试验数据处理方法。

#### 8. 泵与风机

泵与风机的工作原理及性能参数,泵与风机的基本方程,泵与风机的特性曲线,管路系统特性曲线,管路系统中泵与风机的工作点,离心式泵或风机的工况调节,离心式泵或风机的选择,气蚀、安装要求。

### 10.1 流体动力学

#### 10.1.1 大纲要求

主要内容有:恒定流动与非恒定流动,理想流体的运动方程式,实际流体的运动方程式,伯努利方程式及其使用条件,总水头线和测压管水头线,总压线和全压线。

#### 10.1.2 本节知识点及精析

##### 1. 恒定流动与非恒定流动

描述流体运动时,如果各运动参数既是空间坐标的函数,又是时间的函数,这样的流动称为非恒定流动。运动参数以速度为例。

$$\left. \begin{aligned} u_x &= u_x(x, y, z, t) \\ u_y &= u_y(x, y, z, t) \\ u_z &= u_z(x, y, z, t) \end{aligned} \right\} \text{或 } \frac{\partial u}{\partial t} \neq 0 \quad (10-1)$$

式(10-1)不仅反映了流速在空间的分布,也反映出流速随时间的变化。

如果流场中各点流速不随时间变化,由流速决定的压强、黏性力和惯性力也不随时间变化,这种流动称为恒定流动。

$$\left. \begin{aligned} u_x &= u_x(x, y, z) \\ u_y &= u_y(x, y, z) \\ u_z &= u_z(x, y, z) \end{aligned} \right\} \text{或 } \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (10-2)$$

图 10-1 所示是恒定流与非恒定流示例,左图有水不断地补充进水箱,使水箱水位恒定,则出流流速及流量不随时间的变化而变化,为恒定流;右图没有水补充进水箱,随时间的推移水面不断下降,出流的流速及流量也会不断减小,为非恒定流。

## 2. 伯努利方程式及其使用条件

伯努利方程式又称为能量方程。

(1) 理想流体恒定元流的伯努利方程 在流场中选取元流,如图 10-2 所示。在元流上沿流向取 1-1、2-2 两断面,两断面的高程和面积分别为  $z_1$ 、 $z_2$  和  $dA_1$ 、 $dA_2$ ,两断面的流速和压强分别为  $u_1$ 、 $u_2$  和  $p_1$ 、 $p_2$ ,有

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} \quad (10-3)$$

这就是理想不可压缩流体恒定元流能量方程,或称为伯努利方程。其应用条件是:理想流体、恒定流动、质量力仅为重力、沿元流(流线)、不可压缩流体。

式(10-3)中各项值都是断面值,其几何意义和物理意义分述如下:

$z$  是断面相对基准面的高度,称为位置水头,表示单位重量流体的位置势能,简称位能。

$p/\rho g$  是断面压强作用使流体沿测压管所能上升的高度,称为压强水头,表示单位重量流体的压强势能,简称压能。

$u^2/2g$  是以断面流速  $u$  为初速的垂直上升射流所能达到的理论高度,称为流速水头,表示单位重量的动能,简称动能。

前两项相加,以  $H_p$  表示

$$H_p = z + \frac{p}{\rho g} \quad (10-4)$$

$H_p$  表示断面测压管水面相对于基准面的高度,称为测压管水头,表明单位重量流体具有的势能,简称为势能。

三项相加,以  $H$  表示

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} \quad (10-5)$$

$H$  称为总水头,表明单位重量流体具有的总机械能,简称为总能。

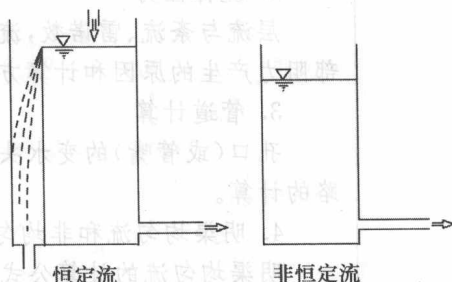


图 10-1 恒定流与非恒定流

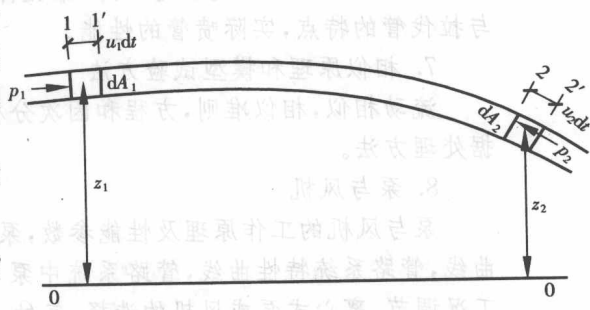


图 10-2 元流能量方程

能量方程式说明,理想不可压缩流体恒定元流中,各断面总水头相等,或单位重量流体的总机械能保持不变。

(2) 实际流体恒定元流的能量方程 在实际流体的流动中,黏性阻力做负功,使机械能沿流向不断衰减。符号  $h'_{1-2}$  表示元流 1-1、2-2 两断面间单位能量的衰减,称为水头损失。则单位能量方程式将改变为

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_{1-2} \quad (10-6)$$

(3) 实际流体恒定总流能量方程 质点流速的大小和方向均不变的流动称为均匀流动,反之为不均匀流动。不均匀流动又按流速随流向变化的缓或急,分为渐变流动和急变流动,如图 10-3 所示。

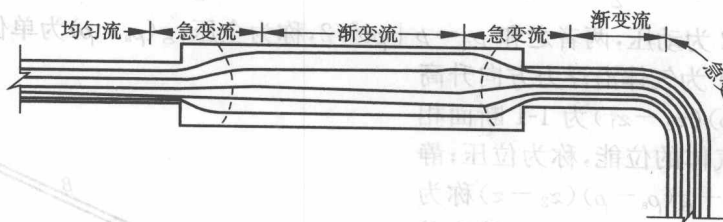


图 10-3 均匀流和不均匀流

均匀流的流线是相互平行的直线,因而它的过流断面是平面。在断面不变的直管中的流动,是均匀流动最常见的例子之一。

在均匀流过流断面上,压强分布符合静压基本方程,即

$$z + \frac{p}{\rho g} = C \quad (10-7)$$

渐变流的流线近乎平行直线,流速沿流向变化所形成的惯性小,可忽略不计。过流断面可认为是平面,在过流断面上,压强分布也可认为服从于流体静力学规律。也就是说,渐变流可近似地按均匀流处理。

在流动上下游选取两个均匀流或渐变断面 1-1 和 2-2,有

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{1-2} \quad (10-8)$$

这就是极其重要的恒定总流伯努利方程式,或称恒定总流能量方程式。

式中  $z_1, z_2$ ——选定的 1-1、2-2 渐变流断面上任一点相对于选定基准面的高程(m);

$p_1, p_2$ ——计算断面对应点的压强(Pa),使用相对压强或绝对压强均可;

$v_1, v_2$ ——相应断面的平均流速(m/s);

$\alpha_1, \alpha_2$ ——计算断面的动能修正系数,无量纲,通常为简化取  $\alpha=1.0$ ;

$h_{1-2}$ ——1-1、2-2 两计算断面间的平均单位水头损失(m)。

### 3. 总水头线和测压管水头线

图 10-4 所示是典型的总水头线和测压管水头线,需要注意的有以下几点:①由于有沿程损失和局部损失的存在,总机械能沿程减小,总水头线总是沿程下降的。而由于能量之间存在转化关系,测压管水头可以上升,也可以下降。②有局部损失的地方总水头突然下降。③等管径的地方两线平行,间距为速度水头。④流量及粗糙度相同条件下,管径小处水头线斜率较大。

### 4. 总压线和全压线

对于高差较大的气体流动,气体密度和空气密度不等的情况下,须考虑大气压强因高度不同的差异。气流能量方程可写成

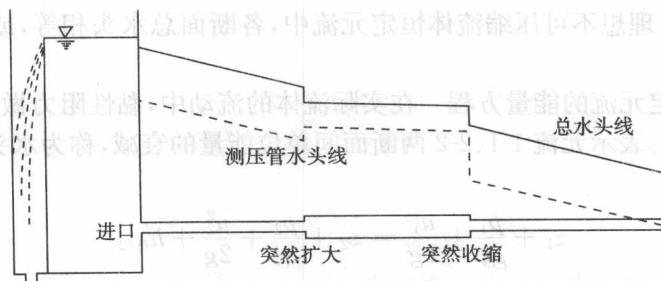


图 10-4 总水头线和测压管水头线

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + g(\rho_a - \rho)(z_2 - z_1) = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + p_{1-2} \quad (10-9)$$

式中,  $p$  为静压;  $\rho v^2/2$  为动压, 两者之和  $p_q = p + \rho v^2/2$ , 称为全压;  $g(\rho_a - \rho)$  为单位体积气体所受的有效浮力;  $(z_2 - z_1)$  为气体沿浮力方向升高的距离, 乘积  $g(\rho_a - \rho)(z_2 - z_1)$  为 1-1 断面相对 2-2 断面单位体积气体的位能, 称为位压; 静压与位压相加  $p_s = p + g(\rho_a - \rho)(z_2 - z)$  称为势压;  $p_z = p + \rho v^2/2 + g(\rho_a - \rho)(z_2 - z)$  称为总压,  $p_{1-2}$  为两断面间的压强损失。

沿流程将全压  $p_q = p + \rho v^2/2$  和总压  $p_z = p + \rho v^2/2 + g(\rho_a - \rho)(z_2 - z)$  数值的大小分别用几何图线表示出来, 即为全压线和总压线。

图 10-5 所示为气流的静压线、全压线、位压线和总压线: 图 10-5a 表示气流从静压箱 A 沿管路排向高空, 管外为空气。图 10-5b~d 中 ABC 表示压强基准线, 是 A、B、C 各点管道外的大气相对压强, 显然都是零; 图 10-5b 表示管中气体与管外均为空气时的情况, 由于内外气体密度一致, 式(10-9)简化为

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + p_{1-2} \quad (10-10)$$

图 10-5 中  $a'c'$  为静压线,  $ac$  为全压线, 两者之差为动压  $\rho v^2/2$ , 由于不存在位压, 所以  $ac$  也是总压线; 图 10-5c、d 中管内气体密度小于管外空气密度, 例如煤气的情况,  $a'c'$  为静压线,  $ac$  为全压线, 两者之差为动压  $\rho v^2/2$ , 存在位压  $g(\rho_a - \rho)(z_c - z)$ ,  $a''c''$  为位压线, 注意位压是相对出口 C 点高度 Z 的, Z 越小则位压越大, 将位压线  $a''c''$  叠加到全压线  $ac$  上方, 得到图 10-5d 中的总压线  $ef$ 。

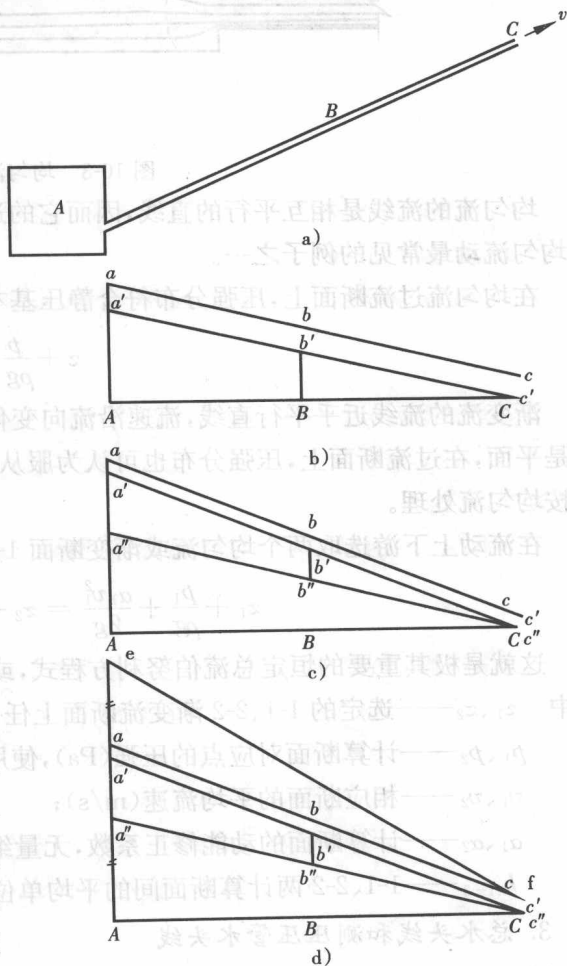


图 10-5 静压线、全压线、位压线和总压线

### 10.1.3 强化训练题库

#### 单项选择题:

1. 恒定流是指( )。

A. 流动随时间按一定规律变化的流动

B. 流场中任意空间点的运动要素不随时间变化的流动

C. 各过流断面的速度分布相同的流动

D. 各过流断面的压强相同的流动

2. 一元流动是指( )。

A. 均匀流

B. 速度分布按直线变化的流动

C. 运动参数随一个空间坐标和时间变化的流动

D. 流线为直线的流动

3. 在恒定流条件下,( )。

A. 流线和迹线正交

B. 流线和迹线重合

C. 流线是平行直线

D. 迹线是平行直线

4. 恒定流条件下,流场内( )。

A.  $\frac{\partial u}{\partial t} \neq 0, \frac{\partial p}{\partial t} \neq 0$

B.  $\frac{\partial u}{\partial t} = 0, \frac{\partial p}{\partial t} = 0$

C.  $\frac{\partial u}{\partial t} = 0, \frac{\partial p}{\partial t} \neq 0$

D. 以上均不对

5. 非恒定流条件下,流场内( )。

A.  $\frac{\partial u}{\partial t} \neq 0, \frac{\partial p}{\partial t} \neq 0$

B.  $\frac{\partial u}{\partial t} \neq 0, \frac{\partial p}{\partial t} = 0$

C.  $\frac{\partial u}{\partial t} = 0, \frac{\partial p}{\partial t} \neq 0$

D.  $\frac{\partial u}{\partial t} = 0, \frac{\partial p}{\partial t} = 0$

6. 在恒定流条件下,( )。

A. 流线形状不变

B. 流线形状不断变化

C. 流线是平行直线

D. 迹线是平行直线

7. 理想流体的运动方程式与实际流体的运动方程式的差别在于( )。

A. 后者考虑了加速度

B. 后者考虑了质量力

C. 后者考虑了压力

D. 后者考虑了黏性

8. 如图 10-6 所示,等直径管考虑损失,A-A 断面为过流断面, B-B 断面为水平面,则 1、2、3、4 各点的物理量的关系是( )。

A.  $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g}$

B.  $p_3 = p_4$

C.  $p_1 = p_2$

D.  $z_3 + \frac{p_3}{\rho g} = z_4 + \frac{p_4}{\rho g}$

9. 条件同上题,各点的物理量的关系是( )。

A.  $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} > z_2 + \frac{p_2}{\rho g}$

B.  $p_3 = p_4$

C.  $p_1 = p_2$

D.  $z_3 + \frac{p_3}{\rho g} > z_4 + \frac{p_4}{\rho g}$

10. 总流能量方程中,  $z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$  表示( )。

A. 单位重量流体具有的机械能

B. 单位质量流体具有的机械能

C. 单位体积流体具有的机械能

D. 通过过流断面流体的总机械能

11. 水平放置的渐扩管如图 10-7 所示,如忽略水头损失,断面形心点的压强的关系是( )。

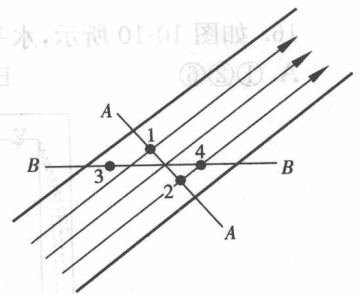


图 10-6

- A.  $p_1 > p_2$   
 B.  $p_1 = p_2$   
 C.  $p_1 < p_2$   
 D. 不定

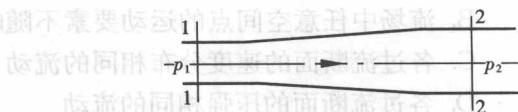


图 10-7

12. 黏性流体总水头线沿程的变化是( )。

- A. 沿程下降  
 B. 沿程上升  
 C. 保持水平  
 D. 以上情况都有可能

13. 黏性流体测压管水头线的沿程变化是( )。

- A. 沿程下降  
 B. 沿程上升  
 C. 保持水平  
 D. 以上情况都有可能

14. 如图 10-8 所示垂直下泄恒定流水管, 出口流速  $v=6\text{m/s}$ , 管径不变, 上游断面 1-1 高于出口断面 2-2, 高差为 4m, 水头损失不计。则上游断面 1-1 的压强水头为( )m  $\text{H}_2\text{O}$ 。

- A. 4  
 B. 6  
 C. 5  
 D. -4

15. 如图 10-9 所示为高压喷嘴, 喷嘴出口断面 1-1 的平均流速为  $10\text{m/s}$ , 喷至 2-2 断面的平均流速减少为  $1\text{m/s}$ , 不计水头损失, 则喷射高度  $H$  为( )m。

- A. 4.54  
 B. 3.25  
 C. 5.05  
 D. 6.22

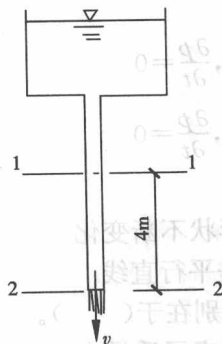


图 10-8

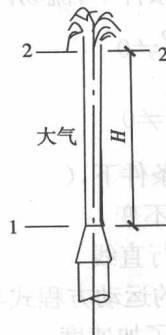


图 10-9

16. 如图 10-10 所示, 水头线有( )处错。

- A. ①②⑥  
 B. ②④⑥  
 C. ①③④  
 D. ①②③⑥

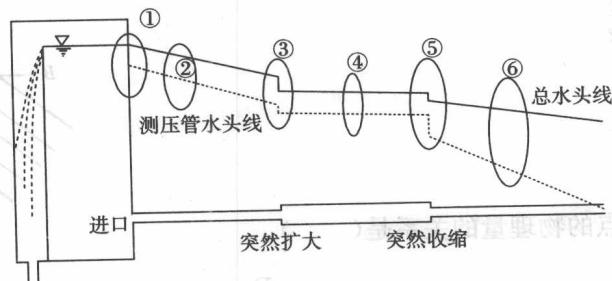


图 10-10

17. 等直径输气管道, 气体密度比空气轻, 进口低、出口高, 则总压线与全压线( )。

- A. 平行  
 B. 重合  
 C. 成一定角度  
 D. 以上情况都有可能

18. 等直径输空气管道, 进口低、出口高, 则总压线与全压线( )。

- A. 平行  
 B. 重合

C. 成一定角度 D. 以上情况都有可能

19. 一水平渐扩输水管道,其总水头线和测压管水头线沿程分别( )。

A. 下降、上升

B. 下降、水平

C. 下降、下降

D. 以上情况都有可能

20. 一水平渐扩输水管道,其总水头线和测压管水头线沿程分别( )。

A. 下降,上升

B. 下降,水平

C. 下降,下降

D. 以上情况都有可能

21. 如图 10-11 所示, A、B 两水箱水面相同, 水管出口高度相同, 水管直径、长度、阻力相同, 则两者沿水平方向( )。

A. A 的总水头线高

B. A 的测压管水头线高

C. A、B 的总水头线等高

D. A、B 两水头线都等高

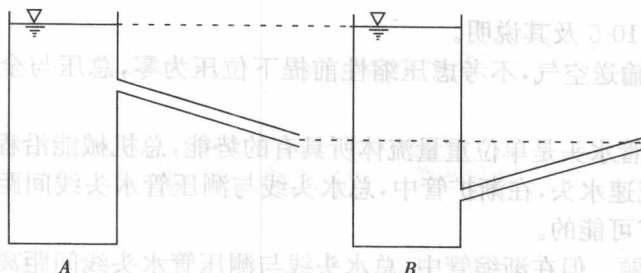


图 10-11

#### 10.1.4 强化训练题库答案及解析

1. B. 解析: 恒定流定义。

2. C. 解析: 一元流定义。

3. B. 解析: 略。

4. B. 解析: 恒定流定义。

5. A. 解析: 非恒定流定义。

6. A. 解析: 恒定流特性。

7. D. 解析: 略。

8. A. 解析: 均匀流过流断面压强符合静压分布, 测压管水头为常数。

9. D. 解析: 列 3-3、4-4 两断面能量方程, 并考虑  $v_3 = v_4$ , 有  $z_3 + \frac{p_3}{\rho g} = z_4 + \frac{p_4}{\rho g} + h_{3-4}$ 。

10. A. 解析: 能量方程的物理意义。

11. C. 解析: 列 1-1、2-2 两断面能量方程  $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$ , 而  $v_1 > v_2$ ,  $z_1 = z_2$ 。

12. A. 解析: 总水头的物理意义, 是过流断面的总机械能, 由于损失的存在, 总机械能是沿程减小的, 所以总水头总是沿程下降的。

13. D. 解析: 测压管水头是单位重量流体所具有的势能, 总机械能沿程减小, 但势能可以通过改变管径, 进而改变流速水头, 所以测压管水头上升、下降、水平都是有可能的, 但在等管径条件下, 速度水头为常数, 测压管水头线与总水头线间距离相等。两水头线平行, 且沿程下降。

14. D. 解析: 列 1-1、2-2 两断面能量方程  $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{a_2 v_2^2}{2g}$ , 而  $v_1 = v_2$ 。

15. C. 解析:列 1-1、2-2 两断面能量方程  $z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ ,  $p_1 = p_2 = 0$ 。

16. D. 解析:如图 10-12 所示。

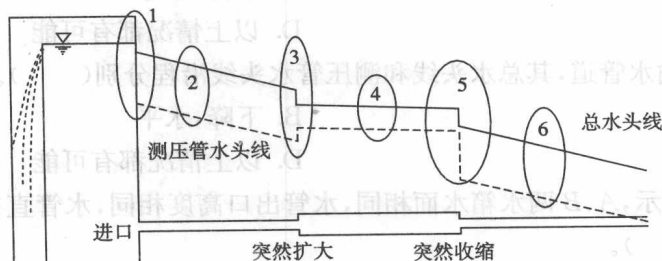


图 10-12

17. C. 解析:见图 10-5 及其说明。

18. B. 解析:由于输送空气,不考虑压缩性前提下位压为零,总压与全压相等,所以总压线  
与全压线重合。

19. D. 解析:测压管水头是单位重量流体所具有的势能,总机械能沿程减小,但势能可以通  
过改变管径进而改变流速水头,在渐扩管中,总水头线与测压管水头线间距离渐小,测压管水头  
上升、下降、水平都是有可能的。

20. C. 解析:同上题。但在渐缩管中,总水头线与测压管水头线间距离渐大,所以测压管水  
头只能沿程下降。

21. D. 解析:题述条件下,总水头起始位置相同,下降规律相同,所以总水头线等高,而管  
径、流量相同时两水头线距离相同,所以测压管水头线也等高。

## 10.2 流体阻力

### 10.2.1 大纲要求

主要内容有:层流与紊流、雷诺数,流动阻力分类,层流和紊流沿程阻力系数的计算,局部阻  
力产生的原因和计算方法,减少局部阻力的措施。

### 10.2.2 本节知识点及精析

#### 1. 层流与紊流、雷诺数

层流为各层质点互不掺混、分层有规则的流动状态;紊流为流体质点互相强烈掺混、运动极  
不规则的流动状态。层流与紊流流动状态简称为流态。

圆管内流态的判别条件是雷诺数  $Re$ 。

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (10-11)$$

式中  $Re$ ——雷诺数,无量纲;

$v$ ——管内平均流速(m/s);

$d$ ——管道内径(m);

$\nu$ ——管内流体的运动黏性系数(m<sup>2</sup>/s)。

$Re_K = 2000$ , 是圆管流的临界雷诺数值。层流:  $Re < 2000$ , 紊流:  $Re > 2000$ 。

层流和紊流的根本区别在于层流各流层间互不掺混,只存在黏性引起的各流层间的滑动摩  
擦阻力;紊流时则有大小不等的涡体动荡于各流层间。除了黏性阻力,还存在着由于质点掺混、  
互相碰撞所造成的惯性阻力,也称为雷诺切应力。因此,紊流阻力比层流阻力大得多。

雷诺数反映惯性力和黏性力的比值。

## 2. 流动阻力分类

在边壁沿程不变的管段上,流动阻力沿程也基本不变,称这类阻力为沿程阻力。克服沿程阻力引起的能量损失称为沿程损失,常用  $h_f$  表示,单位是 m。

在边界急剧变化的区域,阻力主要集中在该区域内及其附近,这种集中分布的阻力称为局部阻力。克服局部阻力的能量损失称为局部损失,常用  $h_m$  表示,单位是 m。

整个管路的能量损失等于各管段的沿程损失和各局部损失的总和。即

$$h_l = \sum h_f + \sum h_m \quad (10-12)$$

沿程水头损失计算公式为

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (10-13)$$

式中  $\lambda$ ——沿程阻力系数,无量纲,是沿程损失计算的关键;

$l, d$ ——管长和管径(m);

$v$ ——管内平均流速(m/s);

$\frac{v^2}{2g}$ ——速度水头。

式(10-13)表明,沿程水头损失与速度水头成正比。

局部水头损失计算公式为

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (10-14)$$

式中  $\zeta$  为局部损失系数,无量纲,是局部损失计算的关键;其余符号同前。

式(10-14)表明,局部水头损失也与速度水头成正比。

## 3. 层流和紊流沿程阻力系数的计算

圆管层流的沿程阻力系数为

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (10-15)$$

它表明圆管层流的沿程阻力系数仅与雷诺数有关,而与管壁粗糙无关。

一般来讲,影响沿程阻力系数  $\lambda$  的因素有雷诺数和相对粗糙度,即

$$\lambda = f\left(Re, \frac{K}{d}\right) \quad (10-16)$$

尼古拉兹对人工粗糙管的试验表明,沿程阻力系数  $\lambda$  的变化可归纳如下:

I 层流区

$$\lambda = f_1(Re)$$

II 临界过渡区

$$\lambda = f_2(Re)$$

III 紊流光滑区

$$\lambda = f_3(Re)$$

IV 紊流过渡区

$$\lambda = f_4(Re, K/d)$$

V 紊流粗糙区(阻力平方区)

$$\lambda = f_5(K/d)$$

关于  $\lambda$  值的计算公式主要有:

1) 光滑区的布拉修斯公式

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (10-17)$$

2) 粗糙区的希弗林松公式

$$\lambda = 0.11 \left( \frac{K}{d} \right)^{0.25} \quad (10-18)$$

3) 克列伯洛克公式

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \lg \left( \frac{K}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (10-19)$$

4) 阿里特苏里公式

$$\lambda = 0.11 \left( \frac{K}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \quad (10-20)$$

**【例 10-1】** 如管道的长度不变,允许的水头损失  $h_f$  不变,若使管径增大一倍,不计局部损

失,流量增大几倍,试分别讨论下列三种情况:

- 1) 管中流动为层流,  $\lambda = \frac{64}{Re}$ 。
- 2) 管中流动为紊流光滑区,  $\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$ 。
- 3) 管中流动为紊流粗糙区,  $\lambda = 0.11 \left( \frac{K}{d} \right)^{0.25}$ 。

【解】管中流动为层流,则有

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = \frac{64}{Re} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = \frac{128\nu l}{\pi g} \frac{q_v}{d^4}$$

令  $C_1 = \frac{128\nu l}{\pi g}$ , 则  $h_f = C_1 \frac{q_v}{d^4}$ 。

可见层流中若  $h_f$  不变,则流量  $q_v$  与管径的四次方成正比。即

$$\frac{q_{v1}}{q_{v2}} = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^4$$

当  $d_2 = d_1$  时,  $\frac{q_{v1}}{q_{v2}} = 16$ ,  $q_{v2} = 16q_{v1}$

层流时管径增大一倍,流量为原来的 16 倍。

管中流动为紊流光滑区

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = \frac{0.3164}{\left( \frac{\nu d}{v} \right)^{0.25}} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = \frac{0.3164\nu^{0.25} l q_v^{1.75}}{2g \left( \frac{\pi}{4} \right)^{1.75} d^{4.75}}$$

$$\left( \frac{q_{v2}}{q_{v1}} \right)^{1.75} = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^{4.75}, q_{v2} = (2)^{\frac{4.75}{1.75}} q_{v1}, q_{v2} = 6.56 q_{v1}$$

管中流动为紊流粗糙区

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} = 0.11 \left( \frac{K}{d} \right)^{0.25} \frac{l}{d} \frac{1}{2g} \frac{q_v^2}{\left( \frac{\pi}{4} \right)^2 d^4} =$$

$$0.11 \frac{K^{0.25} l}{2g \left( \frac{\pi}{4} \right)^2} \frac{q_v^2}{d^{5.25}}$$

$$\left( \frac{q_{v2}}{q_{v1}} \right)^2 = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^{5.25}, q_{v2} = 2^{\frac{5.25}{2}} q_{v1}, q_{v2} = 6.17 q_{v1}$$

#### 4. 局部阻力产生的原因和计算方法

与沿程损失相似,局部损失也用流速水头的倍数来表示,即

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (10-21)$$

局部阻碍的种类虽多,如分析其流动的特征,也不过是过流断面的扩大或收缩、流动方向的改变、流量的合入与分出等几种基本形式,以及几种基本形式的不同组合。

下面列出几种典型的局部阻力系数。

##### 1) 突然扩大管

$$h_m = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \zeta_1 \frac{v_1^2}{2g} = \zeta_2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (10-22)$$

$$\zeta_1 = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \quad (10-23)$$

$$\zeta_2 = \left( \frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \quad (10-24)$$

当液体从管道流入断面很大的容器中或气体流入大气时,  $A_1/A_2 \approx 0, \zeta_1 = 1$ 。

2) 突然缩小管, 对应流速水头为缩小后速度水头  $\frac{v_2^2}{2g}$ , 则有

$$\zeta = 0.5 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \quad (10-25)$$

当流体由断面很大的容器进入无圆角的管道时,  $A_2/A_1 \approx 0, \zeta = 0.5$ 。

### 5. 减少局部阻力的措施

减小紊流局部阻力的措施主要有:

1) 适当加大管径, 由于局部损失与速度水头成正比, 加大管径则速度水头显著减小, 局部阻力随之减小, 但要以牺牲材料和空间为代价。

2) 通过优化设计减小局部损失。例如: 用逐渐扩大、缩小或分级扩大、缩小来代替突然扩大、缩小(图 10-13), 可以有效减小局部损失; 为减小弯管因二次流产生的损失, 可以在弯管处设置导流板(图 10-14); 扩大或缩小与转弯在一起时, 将转弯设置在粗管段时的损失小(图 10-15); 流线形或锥形管道进口的损失要小于直管管道进口(图 10-16)等。

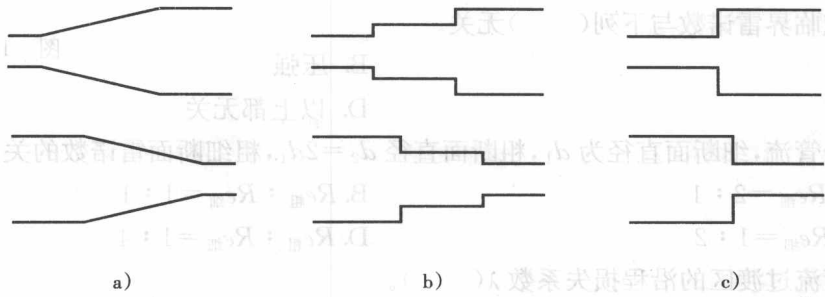


图 10-13 扩大和缩小的形式

a) 尺寸渐变(好) b) 分级扩大缩小(较好) c) 尺寸突变(差)

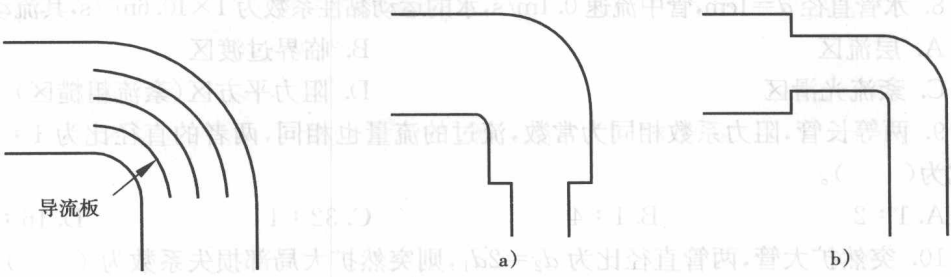


图 10-14 大尺寸矩形弯道中的导流板

图 10-15 扩大与转弯的组合

a) 先弯后缩(好) b) 先缩后弯(差)

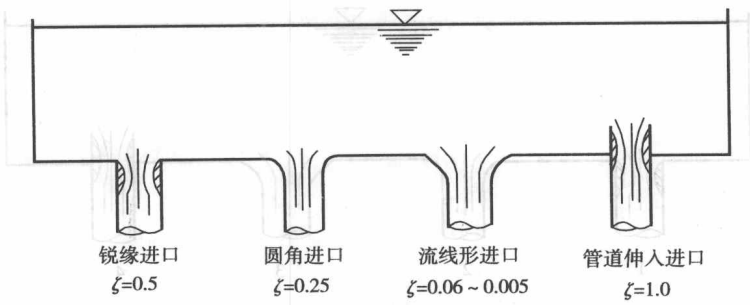


图 10-16 几种管道进口的局部损失