

关于流动阻力和能量损失课件

学习导引

实际流体在流动过程中必然要克服流动阻力而消耗一定的能量，形成能量损失。能量损失的计算是流体力学计算的重要内容之一，也是本章要着力解决的基本问题。本章将以恒定流为研究对象，从介绍流体流动形态入手，分析不同流态下能量损失产生的规律，最后给出能量损失的常用计算公式与方法。

学习要求

- 1.了解流动阻力的两种形式，掌握能量损失的计算式。
- 2.理解雷诺实验过程及层流、湍流的流态特点，掌握流态判断标准。
- 3.了解圆管层流和湍流流速分布规律，了解边界层概念。
- 4.理解湍流的层流底层和粗糙度对流体流动的影响，理解莫迪图中沿程阻力系数 λ 的变化规律，掌握用莫迪图及公式法确定 λ 的方法，并能应用范宁公式进行沿程损失计算。
- 5.了解非圆管的当量直径概念，了解非圆管的沿程损失计算方法。
- 6.理解局部损失产生的主要原因，能正确选择局部阻力系数进行局部损失计算。
- 7.了解减小流动阻力的措施。

重点与难点

- 本章的重点是雷诺数及流态判断，沿程阻力系数 λ 的确定，沿程损失和局部损失计算。

- 本章的难点在于：

- 1.层流和湍流的概念较抽象，理解起来有一定难度，结合雷诺实验增加感性认识，理解起来会容易些。

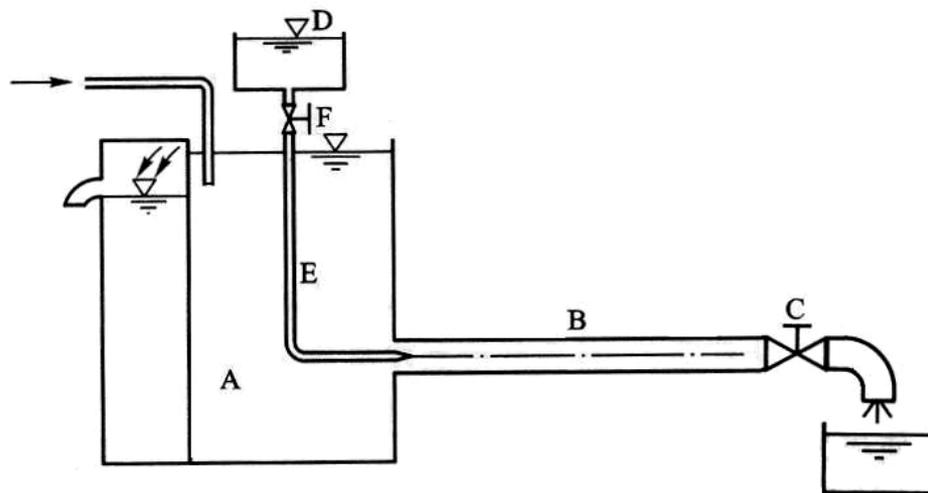
- 2.对莫迪图中的阻力分区和沿程阻力系数 λ 不同计算公式的应用会有一定难度。对于经验公式只需会用即可，不必对其来源多加探究，也不必对经验公式死记硬背，能根据条件选用公式即可。

第一节 流体的两种流态

一、雷诺实验和流态

1883年英国物理学家雷诺（Reynolds）通过大量实验发现，流体的运动有两种不同性质的流动状态，简称流态。能量损失的规律与流态有关。

雷诺实验装置的示意图如图所示。



雷诺实验

• 实验过程

(1) 微开阀门C:

有色液是一条界线分明的直线，与周围的清水不相混。

(2) 逐渐开大阀门C:

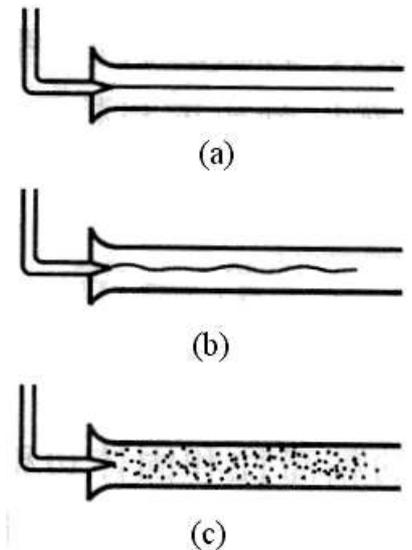
v'_c 时，有色细流开始出现波动而成波浪形细线。

(3) 继续开大阀门C:

有色开始抖动、弯曲，然后断裂与周围清水完全混合。

(4) 逐渐关小阀门C:

实验现象将按相反程序出现， v_c 小于 v'_c 。



雷诺实验

• 实验表明

(1) 当流速不同时，流体的流动具有两种完全不同的流态。

{
层流(滞流)
过渡流
湍流(紊流)

(2) 两种流态在一定的流速下可互相转变。

临界流速 $v'_c > v_c$ 。

v'_c : 上临界流速

v_c : 下临界流速

一般用下临界流速 v_c 作为判别流态的界限， v_c 也直接称为临界流速。

二、流态的判断依据

流体的流动状态不仅与流体的速度 v 有关，还与流体的黏度 μ 、密度 ρ 和管径 d 有关。

引入无因次准数——雷诺数 Re :

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{v d}{\nu}$$

只要雷诺数相同，
流态必然相同。

ρ : 流体密度, kg/m^3 ;

v : 截面的平均流速, m/s ;

d : 管内径, m ;

μ : 流体动力黏度, $\text{Pa}\cdot\text{s}$;

ν : 流体运动黏度, m^2/s 。

利用雷诺数的大小可判断流体的流态。

两种流态

临界雷诺数 Re_c :对应于临界流速的雷诺数。

$$Re_c = \frac{\rho v_c d}{\mu} = \frac{v_c d}{\nu}$$

Re_c 稳定在2000~2320，一般取 $Re_c=2000$ 。

{ $Re \leq 2000$ 时，是层流流动；
 $Re > 2000$ 时，是湍流流动。

雷诺数 = $\frac{\text{惯性力}}{\text{黏性力}}$

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{v d}{\nu}$$

例10-1 某低速送风管道，内径 $d=200\text{mm}$ ，风速 $v=3\text{m/s}$ ，空气温度为 40°C 。求：（1）判断风道内气体的流动状态；
（2）该风道内空气保持层流的最大流速。

例10-2 某油的黏度为 $70 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$ ，密度为 1050kg/m^3 ，在管径为 $\phi 114 \text{mm} \times 4 \text{mm}$ 的管道内流动，若油的流量为 $30 \text{m}^3/\text{h}$ ，试确定管内油的流动状态。

第二节 沿程损失和局部损失

- 流体在流动过程中受到流动阻力,由此产生能量损失。流动阻力是造成能量损失的根本原因,而能量损失则是流动阻力在能量消耗上的反映。
- 影响流动阻力的主要因素:
 - { 流体的黏滞性和惯性(内因)
 - { 固体边壁形状及壁面的粗糙度的阻碍和扰动作用(外因)
- 能量损失分为两种形式:
 - { 沿程损失 h_f
 - { 局部损失 h_j

一、沿程阻力与沿程损失

沿程阻力: 流体在边壁沿程不变的管段（直管段）上流动时所产生的；其值沿程均匀分布。

沿程损失: 为克服沿程阻力产生的能量损失，用符号 h_f 表示，单位为J/kg、kJ/kg。

沿程损失 h_f 的大小与流程的长度成正比。

二、局部阻力与局部损失

局部阻力: 流体流过管件，阀门及进出口等局部阻碍时，因固体边壁形状的改变，使流体的流速和方向发生变化，导致产生局部阻力。

局部损失: 为克服局部阻力产生的能量损失，用符号 h_j 表示，单位为J/kg、kJ/kg。

局部损失与管长无关，只与**局部管件**有关。

三、能量损失的计算公式

整个管路的总能量损失等于各管段的沿程损失和各地的局部损失的总和，即：

$$h_w = \sum h_f + \sum h_l \quad (\text{J/kg})$$

以压头损失形式表示

$$H_w = \sum H_f + \sum H_l \quad (\text{m})$$

以压力降（压力损失）形式表示

$$\Delta p_w = \sum \Delta p_f + \sum \Delta p_l \quad (\text{Pa})$$

(1) 沿程损失的计算

$$h_f = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2} \quad (\text{J/kg})$$

范宁公式

式中 λ ——沿程阻力系数，为无因次系数；
 v ——截面的平均流速，m/s。

$$H_f = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (\text{m})$$

$$\Delta p_f = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Pa})$$

(2) 局部损失的计算

$$h_j = \zeta \frac{v^2}{2} \quad (\text{J/kg})$$

式中 ζ ——局部阻力系数，为无因次系数。

或

$$H_j = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (\text{m})$$

$$\Delta p_j = \zeta \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Pa})$$

第六节

流体在管内流动阻力损失的计算

一、沿程损失计算

1.沿程阻力系数的影响因素

流体流态不同，对流动阻力的影响也不同。

流体层流流动时： Re 较小，黏性力起主导作用，产生黏性阻力，其值取决于雷诺数 Re ，而与管壁粗糙度无关。

因此，对于层流：

$$\lambda = f(Re)$$

流体湍流流动时: Re 较大, 其阻力为黏性阻力和惯性阻力之和, 其值分别取决于雷诺数 Re 及管壁面粗糙度。

K 为绝对粗糙度, d 为管径

壁面粗糙度对沿程损失的影响取决于相对粗糙度 K/d 。

绝对粗糙度 K : 管壁表面粗糙突起绝对高度的平均距离。

因此, 对于湍流:

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

2. 圆形管内层流时沿程阻力系数的计算

理论分析得出，流体在圆形直管内作层流流动时的压力损失 Δp_f 为：

$$\Delta p_f = \frac{32\mu Lv}{d^2}$$

哈根-泊谟叶方程

由于 $\Delta p_f = \rho h_f$ \rightarrow $h_f = \frac{32\mu Lv}{d^2 \rho} = \frac{32 \times 2}{\rho v d} \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2}$

而 $h_f = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2}$

可得圆管层流流动时的沿程阻力系数为：

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

沿程阻力系数 λ 与 Re 成反比，与管壁粗糙度无关。

例10-3 用内径为 $d=10\text{mm}$ ，长为 $L=3\text{m}$ 的输油管输送润滑油，已知该润滑油的运动黏度 $\nu=1.802\times 10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$ ，求流量为 $q_V=75\text{cm}^3/\text{s}$ 时，润滑油在管道上的沿程损失。

3.圆形管内湍流时沿程阻力系数的计算

实验发现，流体在管内作湍流流动时，其沿程阻力系数 λ 不仅与 v 、 d 、 ρ 和 μ 有关，而且还与管壁的粗糙度(K 、 K/d)有关。

(1) 管壁的粗糙度对沿程阻力系数的影响

流体层流时，

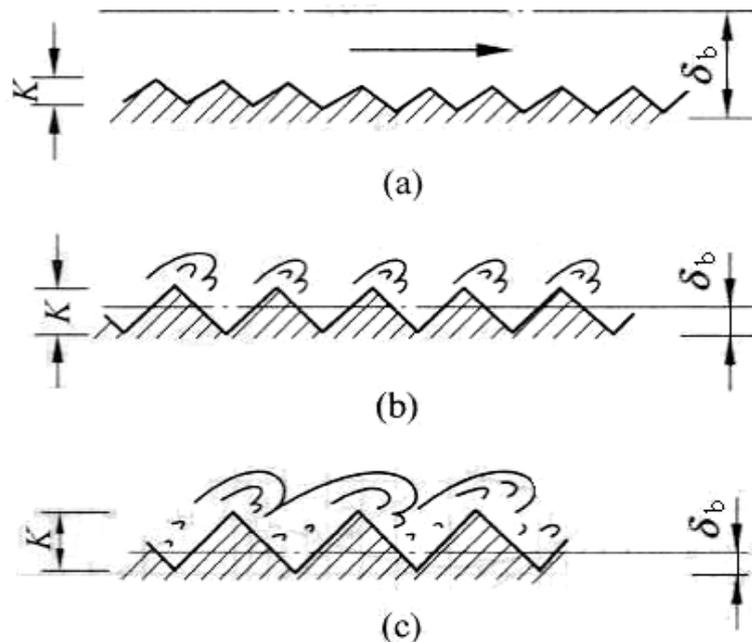
管壁上凸起部分都被有规则的流体层所覆盖，而流速又较缓慢，流体质点对管壁凸起部分不会有碰撞作用，所以， λ 与 K/d 无关。

δ_b 层流底层厚度

流体湍流时，

- $\delta_b > K$ ，管壁凸起部分被层流底层覆盖，此状态下为光滑管， λ 与 Re 有关。
- $\delta_b < K$ ，粗糙度影响到湍流核心区的流动， λ 与 Re 、 K/d 有关。
- $\delta_b \ll K$ ，管壁凸起部分完全暴露于湍流核心区中，为粗糙管， λ 主要与 K/d 有关。

湍流中流速较大的流体质点冲击凸起部位，形成旋涡，能量损失激增



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/818070060057007012>