

六 沿程水头损失实验

一、 实验目的和要求

1. 学会测定管道沿程水头损失因数 λ 和管壁粗糙度 Δ 的方法；
2. 分析园管恒定流动的水头损失规律、 λ 随雷诺数 Re 变化的规律，验证沿程水头损失 h_f 与平均流速 v 的关系。

二、 实验装置

1. 实验装置简图

实验装置及各部分名称如图 1 所示。

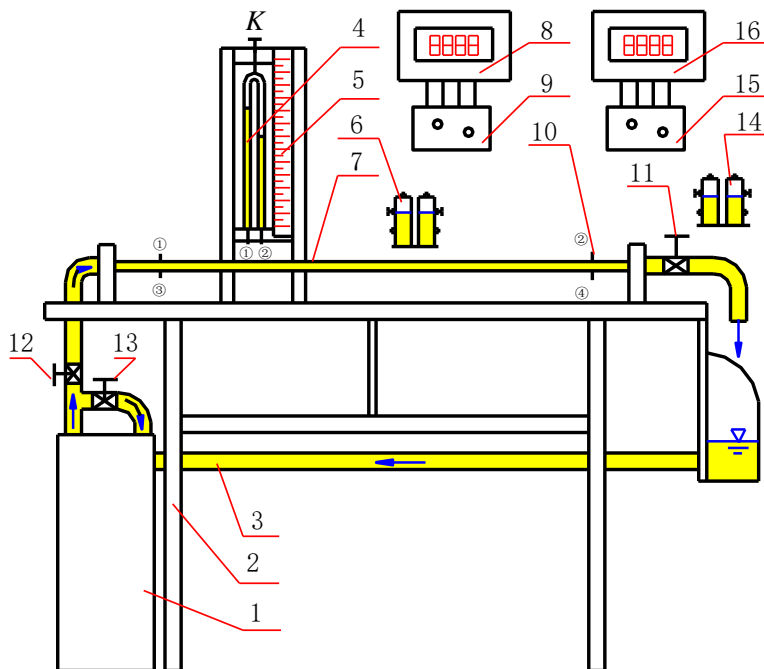


图 1 沿程水头损失实验装置图

1. 自循环高压恒定全自动供水器
2. 实验台
3. 回水管
4. 压差计
5. 滑动测量尺
6. 稳压筒 1
7. 实验管道
8. 压差数显仪
9. 压差传感器
10. 测压点
11. 实验流量调节阀
12. 供水管及供水阀
13. 旁通管及旁通阀
14. 稳压筒
15. 流量传感器
16. 智能流量数显仪

2. 装置说明

(1)水泵与稳压器。自循环高压恒定全自动供水器 1 由水泵、压力自动限制开关、气—水压力罐式稳压器等组成。压力超高时能自动停机，过低时能自动开机。为避免因水泵直接向实验管道供水而造成的压力波动等影响，水泵的供水是先进入稳压器的压力罐，经稳压后再送向实验管道。

(2) 旁通管与旁通阀。由于供水泵设有压力自动限制开关，在供小流量时因压力过高，水泵可能出现断续关闭的现象，为此设有旁通管与旁通阀 13，在小流量实验时，通过旁通管分流可使水泵持续稳定运行。

(3) 阀 11 用于调节层流实验流量；阀 12 用于检修，实验时始终全开；阀 13 层流时用于分流（全开），湍流时用于调节实验流量。

(4) 实验管道 7 为不锈钢管，其测压断面上沿十字型方向设有 4 个测压孔，经过均压环与测点管嘴相连通。

(5) 本实验仪配有压差计 4（倒 U 型气-水压差计）和压差仪 8，压差计测量范围为 $0\sim 0.3\text{ mH}_2\text{O}$ ；压差电测仪测量范围为 $0\sim 10\text{ mH}_2\text{O}$ ，视值单位为 $10^{-2}\text{ mH}_2\text{O}$ 。压差计 4 与压差电测仪 8 所测得的压差值均可等值转换为两测点的测压管水头差，单位以 m 表示。在测压点与压差计之间的连接软管上设有管夹，除湍流实验时管夹关闭外，其他操作时管夹均处于打开状态。

(6) 流量测量——智能化数显流量仪

智能化数显流量仪系统包括实验管道内配套流量计、稳压筒、高精度传感器和智能化数显流量仪（含数字面板表及 A/D 转换器）。该流量仪为管道式瞬时流量仪，测量精度一级。

流量仪的使用方法参见伯努利方程实验，需先排气调零，流量仪所显示的数值为瞬时流量值。

(7) 配有数显温度计。

3. 基本操作方法

(1) 层流实验

层流实验压差由压差计测量，流量用称重法或量体积法。

1) 称重法或量体积法是在某一固定的时段内，计量流过水流的重量或体积，进而得出单位时间内流过的流体量，是依据流量定义的测量方法。

本实验及后述各实验的测流量方法常用称重法或量体积法，用秒表计时，用电子称称重，小流量时，也可用量筒测量流体体积。为保证测量精度，一般要求计时大于 15~20 秒。

2) 压差计连接管排气与压差计补气。启动水泵，全开阀 11，间歇性开关旁通阀 13 数次，待水从压差计顶部流过即可。若测压管内水柱过高须补气，全开

阀门 11、13，打开压差计 4 顶部气阀 K ，自动充气使压差计中的右管液位降到底部（必要时可短暂关闭阀 12），立即拧紧气阀 K 即可。排气后，全关阀 11，测压计压差应为零。

3) 实验时始终全开阀 13，用阀 11 调节流量。层流范围的压差值仅为 2~3cm 以内，水温越高，差值越小，由于水泵发热，水温持续升高，应先进行层流实验。用压差计测量，流量调节后须等待几分钟，稳定后再测量。

(2) 湍流实验

湍流实验测量时用管夹关闭压差计连通管，压差由数显压差仪测量，流量用智能化数显流量仪测量。

1) 调零。启动水泵，全开阀 11，间歇性开关旁通阀 13 数次，以排除连通管中的气泡。然后，在关闭阀 11 的情况下，管道中充满水但流速为零，此时，压差仪和流量仪读值都应为零，若不为零，则可旋转电测仪面板上的调零电位器，使读值为零。

2) 流量调节方法：全开实验流量调节阀 11，调节旁通阀 13 来调节流量。

3) 流量用智能化数显流量仪测量。

无论层流还是湍流实验，每次实验均须测记水温。

三、 实验原理

1. 对于通过直径不变的圆管的恒定水流，沿程水头损失由达西公式表达为

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

式中： λ 为沿程水头损失因数； l 为上下游测量断面之间的管段长度； d 为管道直径； v 为断面平均流速。

若在实验中测得沿程水头损失 h_f 和断面平均流速，则可直接得沿程水头损失因数

$$\lambda = \frac{2gdh_f}{l} \cdot \frac{1}{v^2} = \frac{2gdh_f}{l} \left(\frac{\pi}{4} d^2 / q_v \right)^2 = k \frac{h_f}{q_v^2}$$

其中

$$k = \pi^2 g d^5 / 8l$$

由伯努利方程可得

$$h_f = \left(z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho g} \right) = \Delta h$$

沿程水头损失 h_f 即为两测点的测压管水头差 Δh ，可用压差计或电测仪测得。

2. 圆管层流运动

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

3. 管壁平均当量粗糙度 Δ 在流动处于湍流过渡区或阻力平方区时测量,可由巴尔公式确定

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg\left[\frac{\Delta}{3.7d} + 4.1365\left(\frac{\nu d}{q_v}\right)^{0.89}\right]$$

即

$$\Delta = 3.7d \times \left[10^{\frac{1}{2\sqrt{\lambda}}} - 4.1365\left(\frac{\nu d}{q_v}\right)^{0.89}\right]$$

四、 实验内容与方法

1. 沿程水头损失因数测量与分析实验

参照实验基本操作方法,分别在层流和湍流两种流态下测量流量、水温、压差各 4~6 次。实验数据参考表 1 处理。

2. 设计性实验

试利用图 1 实验仪器设计测定实验管段平均当量粗糙度 Δ 的实验。

五、 数据处理及成果要求

1. 记录有关信息及实验常数

实验设备名称: _____ 实验台号: _____

实 验 者: _____ 实验日期: _____

圆管直径 $d = \underline{\hspace{2cm}} \times 10^{-2} \text{ m}$ 测量段长度 $l = \underline{\hspace{2cm}} \times 10^{-2} \text{ m}$

2. 实验数据记录及计算结果 (参表 1)

3. 成果要求

(1) 测定沿程水头损失因数 λ 值,分析沿程阻力损失因数 λ 随雷诺数的变化规律。并将结果与穆迪图进行比较,分析实验所在区域。

(2) 根据实测管道内流量和相应沿程损失值,绘制 $\lg v \sim \lg h_f$ 关系曲线,并确定其斜率 m 值, $m = \frac{\lg h_{f2} - \lg h_{f1}}{\lg v_2 - \lg v_1}$ 。将从图上求得的 m 值与已知各流区的 m 值

进行比较验证。

(3) 完成设计性实验。

六、 分析思考题

1. 为什么压差计的水柱差就是沿程水头损失？实验管道倾斜安装是否影响实验成果？
2. 为什么管壁平均当量粗糙度 Δ 不能在流动处于光滑区时测量？

七、 注意事项

1. 实验装置长期静置不用后再启动时，需在切断电源后，先用螺丝刀顶住电动机轴端，将电机轴转动几圈后方可通电启动。
2. 实验时，去掉水泵罩壳，以防泵体过热。
3. 其他参见伯努利方程实验。