

2-8 直管沿程水头损失实验

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。

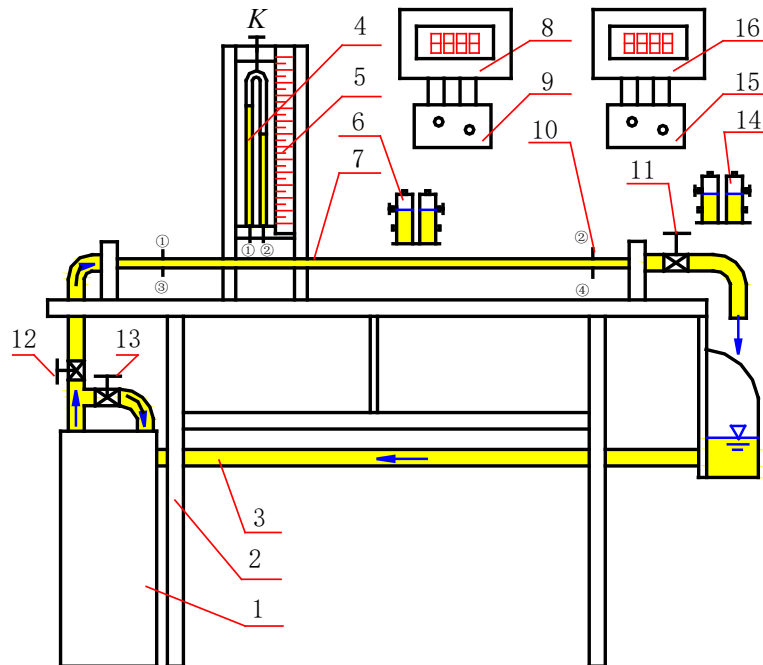


图 1 沿程水头损失实验装置图

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、高精密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 $15\sim 20$ 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至底部（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

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

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

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

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

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.1 \lg \left[\frac{\Delta}{3.7d} + 4.1365 \left(\frac{vd}{q_v} \right)^{0.89} \right]$$

即

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

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

水温 25℃

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。

