

## 实验二：能量方程的验证

姓名： 强 组别：第1组 时间：2021.10.21 13:30-14:00

**摘要：** 深入理解能量方程对求解流体力学模型有重要作用，本实验通过不同截面、不同流速水头测量验证了流体沿管道从一个截面流到另一个截面过程中，单位重量流体的势能、静压能和动能可以相互转换，但前一截面单位总机械能应等于后一截面单位总机械能与两截面间流体的机械能损失之和，即能量方程。

### 实验目的：

- (1) 验证实际流体总流能量方程，了解截面积变化时能量的转换特性，及管道均匀段和局部障碍段（管截面变化和转向）对流动阻力的影响；
- (2) 了解文丘利流量计和弯管流量计的测量原理、射流真空泵的工作原理；
- (3) 学习体积流量和平均流速的测量方法。

### 实验原理：

实际流体的流动，即使是最简单的流动，它的横断面上各点流速分布也是不均匀的，从而使断面上各点与流速相关的物理量也各不相同。本实验用总流分析法把实际流动视作一元流动，并假设实际流体为不可压缩流体；实际流动为定常流动；流体质量力只有重力；断点截面为均匀或均匀变化流动。并在此基础上开展实验。

当流量调节阀旋到一定位置后，实验管道内的水流以恒定流速流动，在实验管道中沿管内水流方向取  $n$  个过水断面，从进口断面 1 至另一个断面  $i$  的能量方程式为：

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = Z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{v_i^2}{2g} + h_f = \text{const}, \quad (1)$$

上式中各项量纲均为长度量纲，其中  $i=2, 3, \dots, n$ ， $Z$  表示位置水头， $p/\rho g$  表示压强水头， $v^2/2g$  表示速度水头， $h_f$  表示从截面 1 到  $i$  的截面间水头损失。

从测压计中读出各个断面的测压管水头  $Z_i + \frac{p_i}{\rho g}$ ，通过体积时间法测量出管

道流量，计算不同管道内径时过水断面的平均速度及速度水头  $\frac{v^2}{2g}$ ，从而得到各

断面的测压管水头和总水头。

## 实验装置：

### 1. 数字型伯努利试验仪：

- (1) 自循环供水器；
- (2) 实验台；
- (3) 可控硅无级调速器；
- (4) 溢流板；
- (5) 稳水孔板；
- (6) 恒压水箱；
- (7) 实验管道；
- (8) 测压点 1-19；
- (9) 弯针比托管；
- (10) 测压计；
- (11) 滑动测量尺；
- (12) 测压管 1-19；
- (13) 流量调节阀；
- (14) 回水漏斗。

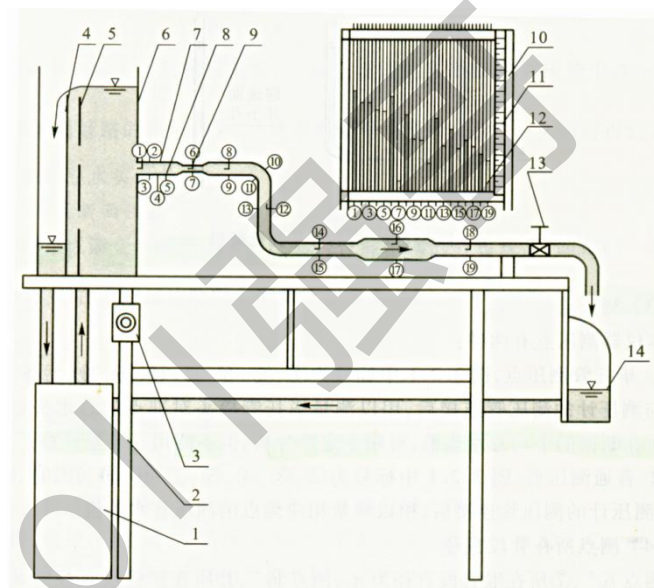


图 11：能量方程实验装置图

说明：本实验装置由供水水箱及恒压水箱、实验管道（共有三种不同内径的管道）、测压计、实验台等组成，流体在管道内流动时通过分布在实验管道各处的 7 根皮托管测压管测量总水头或 12 根普通测压管测量测压管水头，其中测点 1、6、8、12、14、16 和 18 均为皮托管测压管（示意图见图 2.1），用于测量皮托管探头对准点的总水头  $H' = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$ ，其余为普通测压管（示意图见图 2.2），用于测量测压管水头。

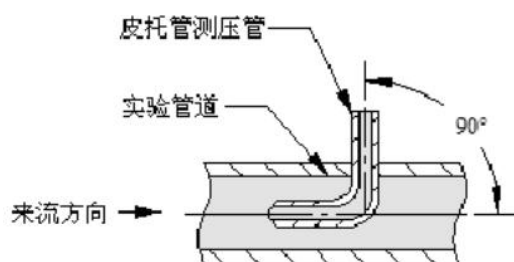


图 2.1 管道中皮托管安装示意图

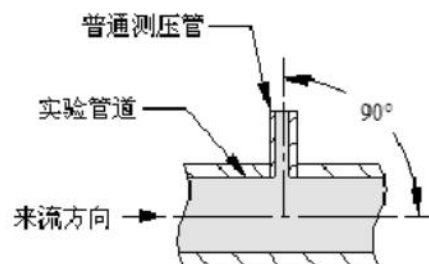


图 2.2 管道中普通测压管安装示意图

2. 秒表、2000ml 量筒、漏斗等。

### 实验步骤:

- (1) 开启调速器向水箱供水, 驱除实验管路和测压管中气泡, 直至出水阀门关闭时所有测压管水面齐平, 验证同一静止液体内成立;
- (2) 打开出水阀门, 观察总水头线的变化规律;
- (3) 打开出水阀门, 观察测压管水头线的变化规律;
- (4) 将流量调到最大, 观察均匀流和急变流断面上不同的压力分布规律;
- (5) 将流量调到最大, 观察文丘利流量计和弯管流量计的测量原理;
- (6) 观察管截面颈缩处的卷吸现象, 了解射流真空泵工作原理;
- (7) 调节流量调节阀开度, 待流量及各测压管读数稳定后, 读取 3、4、5、7、9、13、15、17、19 测压管液面读数; 并用量筒和秒表测量体积流量, 读取采集的液体体积  $V$  及采集时间  $t$ 。
- (8) 调节流量, 重复实验步骤 (7) 得到第二组数据;
- (9) 整理实验仪器, 分析实验数据。

### 实验数据记录:

- (1) 记录基本参数,

表 1: 各测点断面管径记录

测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
编号	D1					D2					D1					D3		D1	
管径 $d(\text{cm})$	1.41					1.02					1.41					2.00		1.41	

- (2) 记录体积时间,

表 2: 体积流量记录

组别	体积 $V(\text{ml})$	时间 $t(\text{s})$
第一组	1610	13.84
第二组	1680	9.25

- (3) 记录测压管静压水头  $z + \frac{p}{\rho g}$ ,

表 3: 测压管静压水头

测点	2	3	4	5	7	9	13	15	17	19
第一组	42.80	42.90	42.50	42.20	31.60	34.30	32.50	29.80	30.55	27.65
第二组	37.95	37.50	36.60	35.95	11.40	18.35	14.30	8.60	10.50	4.10

- (4) 记录皮托管测点总水头,

表 4: 皮托管总压记录

测点	1	6	8	12	14	16	18
第一组	46.90	45.40	38.30	35.00	33.20	32.00	31.15
第二组	46.60	43.80	27.00	20.20	16.25	13.85	11.85

### 数据处理:

根据表 1 计算出各管径截面积  $A$ , 根据表 2 通过  $Q = \frac{V}{t}$  计算各组流量  $Q$ , 从而得到各断面速度水头

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{(Q/A)^2}{2g},$$

总水头

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{静水头} + \text{速度水头},$$

其中  $g = 980 \text{ cm/s}^2$ 。代入数据速度水头:

表 5: 各断面速度水头

组别	流量 $Q(\text{ml/s})$	管径	截面积 $A(\text{cm}^2)$	流速 $v(\text{cm/s})$	速度水头 $\frac{v^2}{2g}(\text{cm})$
第一组	116.33	D1	1.56	74.54	2.83
		D2	0.82	142.44	10.35
		D3	3.14	37.05	0.70
第二组	181.62	D1	1.56	116.37	6.91
		D2	0.82	222.38	25.23
		D3	3.14	57.84	1.71

从而得到总水头:

表 6: 各断面总水头

测点	2	3	4	5	7	9	13	15	17	19
第一组	45.63	45.73	45.33	45.03	41.95	37.13	35.33	32.63	31.25	30.48
第二组	44.86	44.41	43.51	42.86	36.63	25.26	21.21	15.51	12.21	11.01

根据表 3 和表 6 在同一张图纸上分别绘制两次测量的 3、4、5、7、9、13、15、17、19 测点的测压管水头和总水头实验点, 并作出相应的沿实验管道的测压管水头线和总水头线 (图中水箱水位标尺单位为  $\text{cm}$ )。

对于第一组数据:

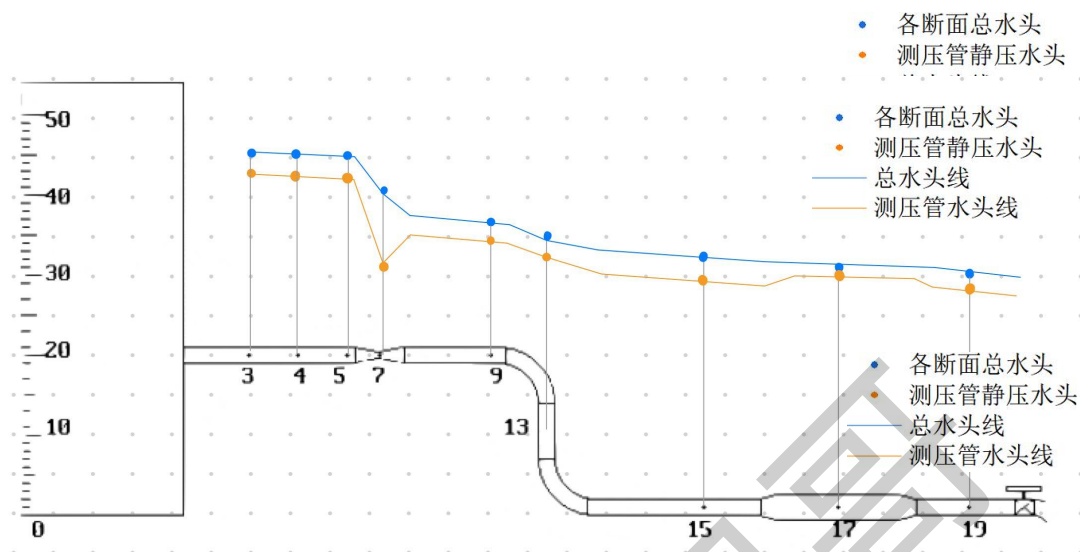


图 1 第一组测得的测压管水头线和总水头线

对于第二组数据:

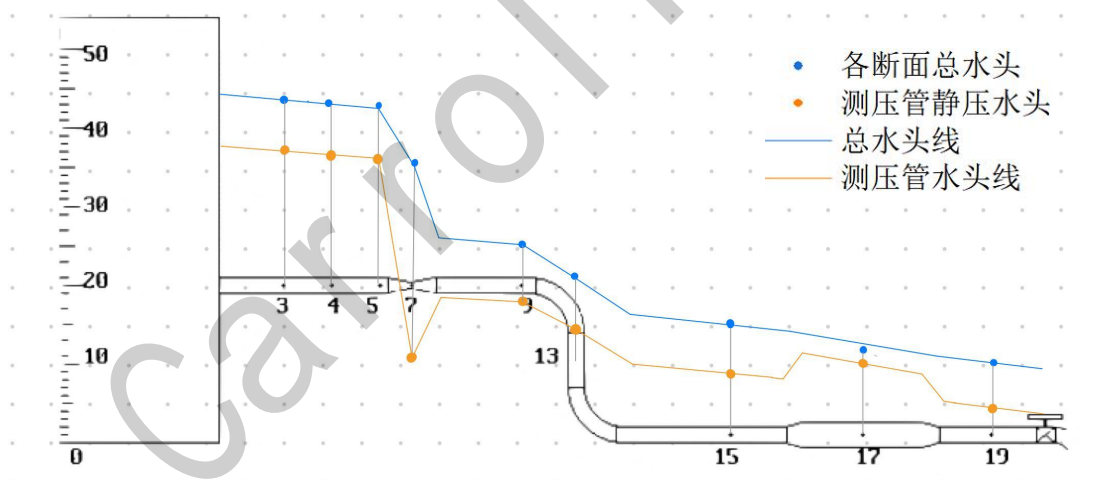


图 2 第二组测得的测压管水头线和总水头线

### 实验现象与结论:

(1) 打开出水阀, 发现总水头线为下降曲线, 下降坡度越大, 表明单位流程上的损失越大。

(2) 1、6 两管的读数差小于与 6、8 两管的读数差, 表明渐扩段的局部水头损失显著大于渐缩段。

(3) 测压管水头线沿流动方向可降可升, 视流速如何变化而定。管截面的减小

或增大引起流速增大或减小，分别使测压管水头线降低或上升，反映了动能与势能、静压能之间的转化。

(4) 将流量调到最大，2、3 测点处于均匀流同一断面，位置高度不同，但测压管水头读数相等；11、10 分别处于弯管急变流同一断面内外两侧，受离心惯性力影响，造成外侧测压管水头读数大于内侧读数。

(5) 将流量调到最大，5、7 两管（代表文丘利流量计收缩管进口和喉道）的读数差和 10、11 两管（代表弯管流量计弯管外侧和内侧）的读数差都随流量增大而增大，因而可用之于检测流量；后者增大较小，表明弯管流量计的灵敏度比文丘利流量计低。

(6) 调节流量调节阀使 7 管的读数略低于该测孔高度（使该点压力低于大气压），然后小心拔开其连接导管，发现管内液体不会流出，反而会把管外空气吸进；继续增大流量，卷吸作用更强；观察完毕，重新接上导管。利用流动的流体在管道截面颈缩处的卷吸作用，这就是射流真空泵的工作原理。

(7) 流体沿管道从一个截面流到另一个截面过程中，单位重量流体的势能、静压能和动能可以相互转换；但前一截面单位总机械能应等于后一截面单位总机械能与两截面间流体的机械能损失之和。能量损失以热能形式耗散，与其他三项能量之间的转换则是不可逆的。

## 思考与讨论：

(1) 实验操作要领和注意事项：

- ①、实验前必须排除管道内及连通管中气体。
- ②、流量调节过程中要保证第 7 根和第 8 根测压管液面在标尺刻度范围内。

(2) 根据总水头和测压管水头沿管道变化趋势线分析总水头和测压管水头沿管道变化趋势线有何不同？为什么？

测压管水头线沿程可升可降，线坡可正可负。而总水头线沿程只降不升，线坡恒为正。这是因为水在流动过程中，依据一定边界条件，动能和势能可相互转换。测压管水头线是沿水流方向各个测点的测压管液面的连线，它反应的是流体的势能，测压管水头线可能沿线可能下降，也可能上升（当管径沿流向增大时），因为管径增大时流速减小，动能减小而压能增大，如果压能的增大大于水头损失时，水流的势能就增大，测压管水头就上升。而总水头线是在测压管水头线的基线上再加上流速水头，它反应的是流体的总能量，由于沿流向总是有水头损失，所以总水头线沿程只能下降，不能上升。

(3) 流量增加，测压管水头线如何变化？为什么？

流量增加，测压管水头线总降落趋势更显著。这是因为管道的流量随测压管水头线坡度的平方根成正比，测压管水头线坡度越大流量就越大，而测压管水头线坡度等于管道起端的测压管水头减去末端的测压管水头，通常管道的起端的测压管水头是基本不变的，所以末端的测压管水头越低，测压管水头线坡度就越大，因而流量也就越大，这就是流量增加，测压管水头线降低的原因。