

恒定总流伯努利方程综合性实验

一、实验目的和要求

1. 通过定性分析实验，提高对动水力学诸多水力现象的实验分析能力；
2. 通过定量测量实验，进一步掌握有压管流中动水力学的能量转换特性验证流体恒定总流的伯努利方程，掌握测压管水头线的实验测量技能与绘制方法；

二、实验原理

1. 伯努利方程: 在实验管路中沿管内水流方向取 n 个过水断面，在恒定流动时，可以列出进口断面(1)至另一断面(i)的伯努利方程式($i=2,3,\dots,n$)

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g} + h_{w1-i}$$

取 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_n = 1$, 选好基准面, 从已设置的各断面的测压管中读出 $z + \frac{p}{\rho g}$ 值,

测出通过管路的流量, 即可计算出断面平均流速 v 及 $\frac{\alpha v^2}{2g}$, 从而可得到各断面测

管水头和总水头。

2. 各项的物理意义

z 表示单位重量流体具有的位置势能, 即位置水头

$\frac{v^2}{2g}$ 表示单位重量流体具有的动能, 即速度水头

$\frac{p}{\rho g}$ 表示单位重量流体具有的压强势能, 即压强水头

$z + \frac{p}{\rho g}$ 表示单位重量流体具有的总的势能 即测压管水头

$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$ 表示单位重量流体具有的总的机械能 即总水头

h_w 表示粘性流体流动过程的消耗的能量 即水头损失

3. 过流断面性质。均匀流或渐变流断面流体动压强符合静压强的分布规律, 即

在同一断面上 $z + \frac{p}{\rho g} = C$, 但在不同过流断面上的测压管水头不同,

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \neq z_2 + \frac{p_2}{\rho g}; \text{ 急变流断面上 } z + \frac{p}{\rho g} \neq C。$$

三、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。

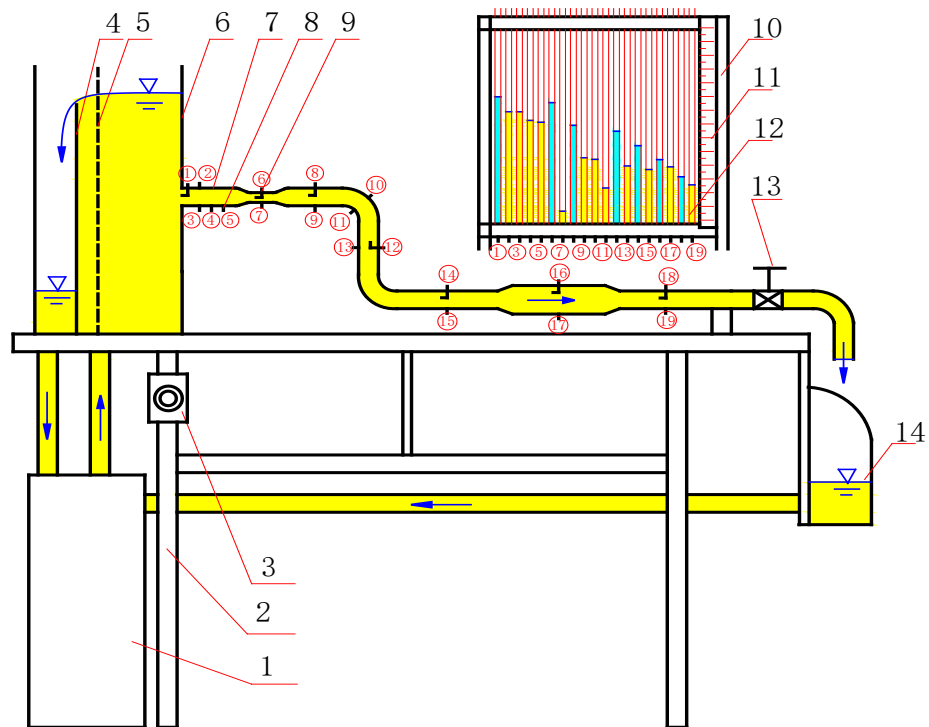


图 1 伯努利方程综合性实验装置图

1. 自循环供水器 2. 实验台 3. 开关 3. 溢流板 5. 稳水孔板
 6. 恒压水箱 7. 实验管道 8. 测压点①~⑱ 9. 弯针毕托管 10. 测压计
 11. 滑动测量尺 12. 测压管①~⑱ 13. 实验流量调节阀 14. 回水漏斗

2. 装置说明

(1) 流量测量——体积法

(2) 压力测量：管道不同位置的测压通过软管接入多管压力计，采用水柱高度显示，单位是厘米水柱高度，测压点类型有两种。

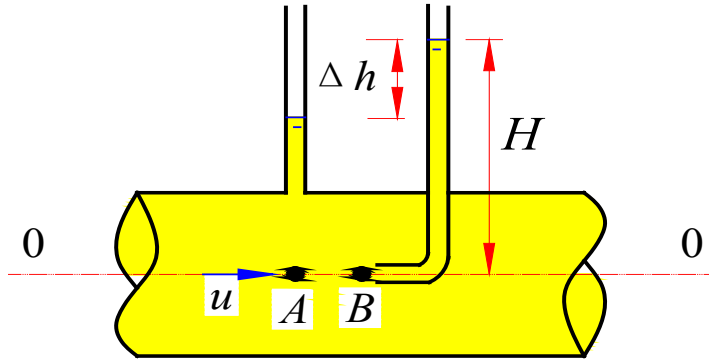


图 2 测压管类型

1、弯针管毕托管（总压管）

弯针管毕托管用于测量管道内的点流速，为减小对流场的干扰，本装置中的弯针直径为 $\phi 1.6 \times 1.2 \text{ mm}$ （外径 \times 内径），相对实验管路的。实验表明只要开孔的切平面与来流方向垂直，弯针管毕托管的弯角从 $90^\circ \sim 180^\circ$ 均不影响测流速精度，本实验采用 90° 弯针，弯针置于管道中间。

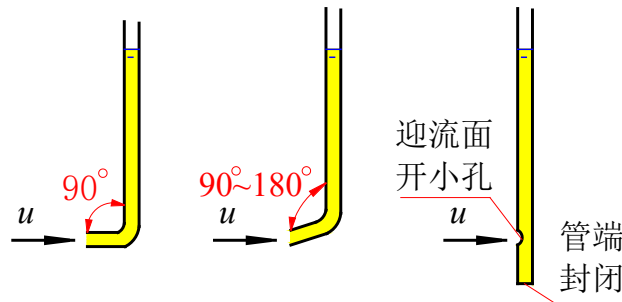


图 3 弯针管毕托管类型

图 1 中标号为①、⑥、⑧、⑫、⑭、⑯、⑱（后述加*表示）为毕托管测压点，与测压计的测压管连接后，用以测量毕托管探头对准点的总水头值，近似替代所在断面的平均总水头值，可用于定性分析，但不能用于定量计算。

2、普通测压管（测压管水头）

图 1 中标号为②、③、④、⑤、⑦、⑨、⑩、⑪、⑬、⑮、⑰、⑲，垂直于管壁开设小孔与测压计的测压管连接后，用以测量相应测点的测压管水头值。

(3) 管道内径分布：测点⑥*、⑦所在喉管段直径为 d_2 ，测点⑯*、⑰所在扩管段直径为 d_3 ，其余直径均为 d_1 。

均匀段 $d_1 = \underline{1.37} \times 10^{-2} \text{ m}$ 喉管段 $d_2 = \underline{1.00} \times 10^{-2} \text{ m}$ 扩管段 $d_3 = \underline{2.00} \times 10^{-2} \text{ m}$

表 3 毕托测压管水头 h_i , 流量测记表 (单位 10^{-2}m , i 为测点编号)

实验次数	h_1	h_6	h_8	h_{12}	h_{14}	h_{16}	h_{18}	q_V /($10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$)
1								
2								

表 3 计算数值表

(1) 流速水头

管径 d / 10^{-2}m	$q_{V1} = V_1/t_1 = 201.3$ /($10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$)			$q_{V2} = V_2/t_2 =$ /($10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$)		
	A / 10^{-4}m^2	v /($10^{-2}\text{m}/\text{s}$)	$v^2/2g$ / 10^{-2}m	A / 10^{-4}m^2	v /($10^{-2}\text{m}/\text{s}$)	$v^2/2g$ / 10^{-2}m
1.37						
1.00						
2.00						

(2) 总水头 H_i (其中 $H_i = z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{\alpha v_i^2}{2g}$, 单位 10^{-2}m , i 为测点编号)

实验次数	H_2	H_4	H_5	H_7	H_9	H_{13}	H_{15}	H_{17}	H_{19}	q_V /($10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$)
1										du
2										

四、实验分析与要求

(1) 观察不同流速下, 某一断面上水力要素变化规律。

以测点⑧*、⑨所在的断面为例, 阐述在不同流速下各水头变化情况。

(2) 观察均匀流断面、急变流断面测压管水头情况。

观察测点②和③, 9 和 10 其测压管的液面高度情况,

是否满足 $z + \frac{p}{\rho g} = C$ 。

(3) 绘制最大流速下各测点的总水头线和测压管水头线图，分析测压管水头线和总水头线的变化趋势有何不同？为什么？（参见图 4）

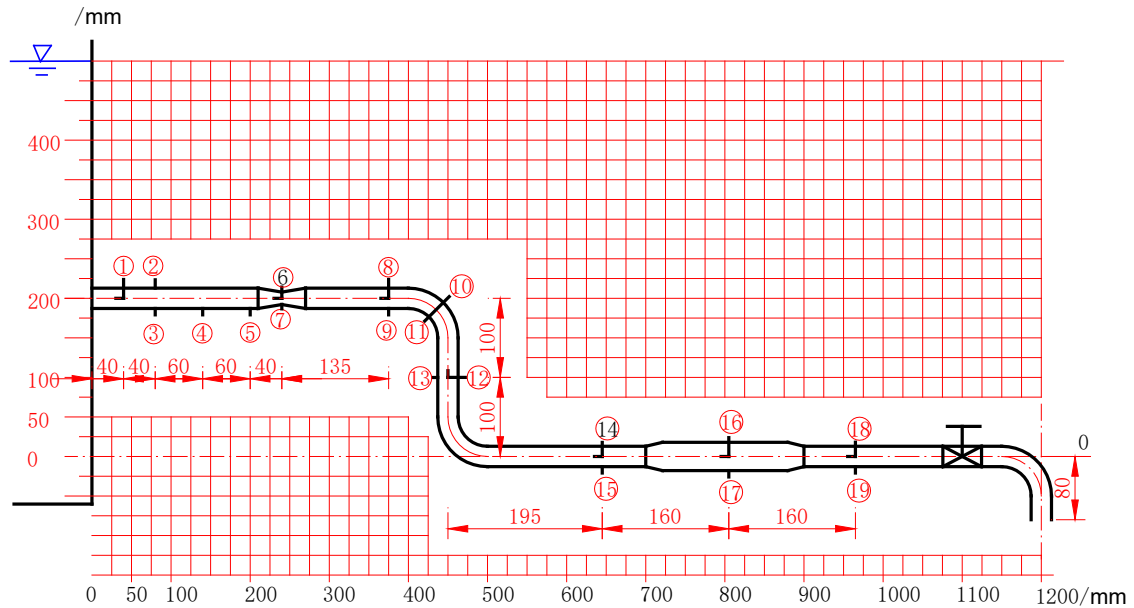


图 4 绘制测压管水头线坐标图

(4) 分别绘制不同流速下各测点的总水头线和测压管水头线比较图分析其变化规律为什么？

(5) 对比同一位置计算的总水头线和毕托测压管水头，分析产生差异的原因？

(6) 分析若改变水箱中的液位高度对喉管真空度影响，为什么？

测压管水头线高于管轴线，表明该处管道处于正压下；测压管水头线低于管轴线，表明该处管道处于负压下，出现了真空（⑥*、⑦处）。高压和真空状态都容易使管道破坏。为避免引水管道的局部负压，可采取的技术措施有(a)减小流量；(b)增大喉管管径；(c)降低相应管线的安装高程；(d)改变水箱中的液位高度。如对于措施(c)，以本实验装置为例（参图 4），可在水箱出口先接一下垂 90°弯管，后接水平段，将喉管的高程降至基准高程 0—0，使位能降低，压能增大，从而可能避免点⑦处的真空。该项措施常用于实际工程的管轴线设计中。请同学们分析 (d) 改变水箱中的液位高度对喉管真空度影响，为什么？（注：水头损失因数 ζ ，当阀门开度不变时，在 h 的有限变化范围内，可设 ζ 近似为常数）

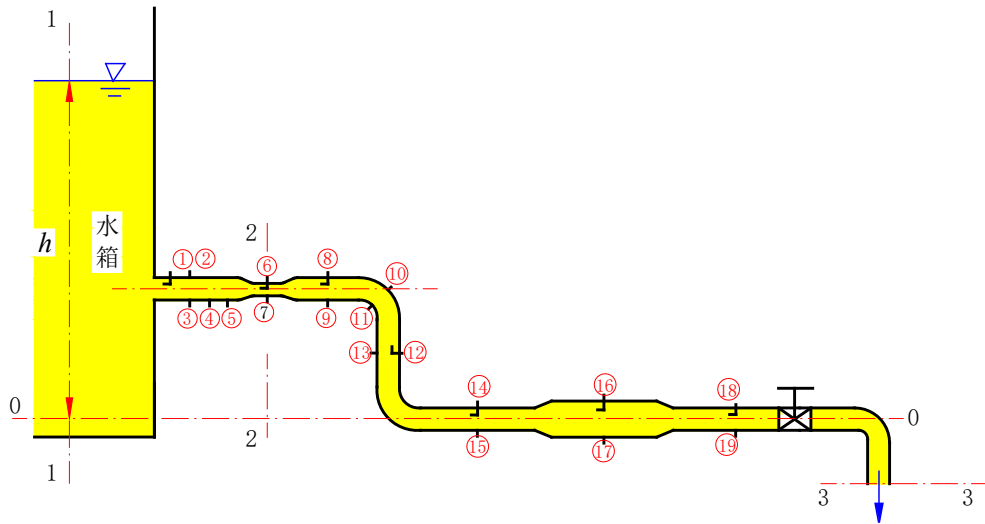


图 5 实验管道系统图