

流体力学实验指导书

周 爱 平

专 业_____

班 级_____

姓 名_____

学 号_____

焦作工学院流体力学实验室

二〇〇一年九月

流体力学实验室规则

1. 学生在实验课之前必须充分预习，做好和实验有关的理论性问题的问答，否则不得进行实验。
2. 学生要按时上实验课，迟到 15 分钟以上者，教师可停止其实验。
3. 实验室应保持清洁，肃静，不得喧哗取闹，不能随地吐痰。
4. 学生要听从实验教师的指导，爱护仪器，不要随意扭动。设备损坏应立即报告登记。
5. 实验完毕，学生应请实验教师检查数据、验收实验设备并整理妥善后方可离开实验室。
6. 课后应按要求完成实验报告，按时交实验教师批改，不得无故不做实验和不交实验报告，否则不记成绩。

目 录

(一) 流体静力学实验	(1)
(二) 不可压缩流体恒定流能量方程（伯努利方程）实验	(6)
(三) 雷诺实验	(11)
(四) 沿程水头损失实验	(14)
(五) 局部水头损失实验	(19)
(六) 流谱流线显示实验（演示）	(23)
(七) 静压传递自动扬水实验（演示）	(27)

(一) 流体静力学实验

一、实验目的

1. 掌握用测压管测量流体静压强的技能;
2. 验证不可压缩流体静力学基本方程式;
3. 巩固相对强、绝对压强和真空度的概念, 熟悉压强单位的换算.

二、实验原理

对于重力作用下处于静止状态的不可压缩均质液体, 其静力学基本方程式是:

$$Z + \frac{P}{\gamma} = \text{常数} \quad (1-1)$$

对于有自由表面的液体

$$P = P_0 + \gamma h \quad (1-2)$$

两式中: $\frac{P}{\gamma}$ ——单位重量液体的压强势能即压强水头 (M).

γ ——液体的重度 (N/m^3);

P ——液体内部任一点的静压强 (N/m^2);

P_0 ——液体自由表面的静压强 (N/m^2);

h ——液体内部任一点到液体自由表面的距离 (M);

Z ——单位重量液体相对于基准面的位置势能, 即位置水头 (M).

相对压强 P 是液体内部任一点的绝对压强 P' 与大气压强 P_a 之差, 也就是以大气压强为基准计算的压强值. 它的大小可以从该点同一高度引出的开口测压管的液柱高度 h 来表示, 即:

$$p = P' - P_a = \gamma h \quad (1-3)$$

而负的相对压强值称为真空度, 以 P_v 表示,

$$P_v = -P = P_a - p' = |-\gamma h| \quad (1-4)$$

三、实验装置

1. 仪器装置简图

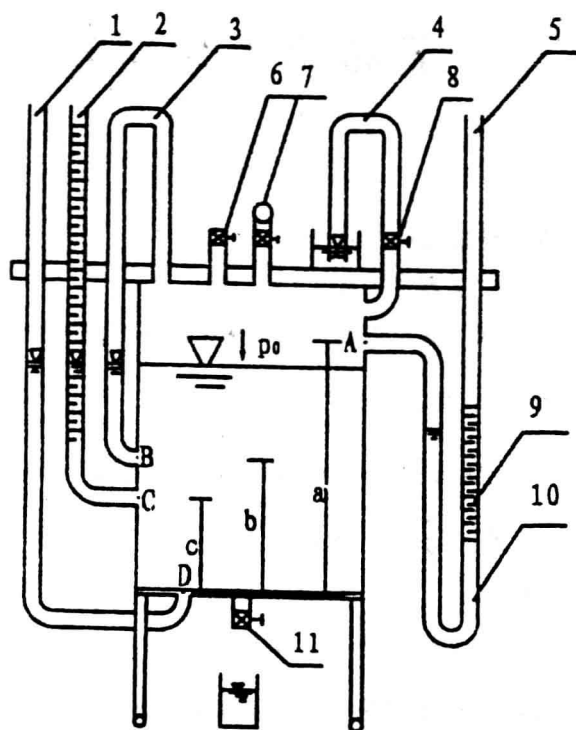


图 1.1 流体静力学实验装置图

1. 测压管 2. 带标尺测压管 3. 连通管 4. 真空测压管 5. U型测压管 6. 通气阀
7. 加压打气球 8. 截止阀 9. 油柱 10. 水柱 11. 减压放水阀

说明:

- (1) 所有测管液面标高均以标尺(测压管 2)零读数为基准;
- (2) 仪器铭牌所注 ∇_B 、 ∇_C 、 ∇_D 系测点 B、C、D 标高,若同时取标尺零点作为静力学基本方程的基准,则 ∇_B 、 ∇_C 、 ∇_D 亦为 Z_B 、 Z_C 、 Z_D ;
- (3) 本仪器中所有阀门旋柄均以顺管轴线为开。

四、实验方法与步骤

1. 搞清仪器的组成及其用法。包括:(1)各阀门的开关;(2)加压方法:关闭所有阀门(包括截止阀),然后用打气球充气;(3)减压方法:开启筒底阀 11 放水;(4)检查仪器是否密封:加压后检查测压管 1、2、5 液面高程是否恒定。若下降,表明漏气,应查明原因并加以处理。

2. 选基准面记录在表一中(一般取带标尺测压管 2 的零点作基准,则 ∇_B 、 ∇_C 、 ∇_D 亦为 Z_B 、 Z_C 、 Z_D)。

表一 流体静压强测量记录及计算表

液面高度	$P_0 = P_a$	$P_0 > P_a$		$P_0 < P_a$		压 强 水 头				测压管水头	
		第一次	第二次	第一次	第二次	$P_A/r = \nabla_H - \nabla_A$	$P_B/r = \nabla_H - \nabla_B$	$P_C/r = \nabla_H - \nabla_C$	$P_D/r = \nabla_H - \nabla_D$	$Z_C + P_C/r$	$Z_D + P_D/r$
水箱液面 ∇_0											
测压管液面 ∇_H (开口测压管 2)											
开口测压管 1											
U 型管 S (压差 Δh_s)											

3. 打开通气阀 6, 使容器内的液面压力 $P_0 = P_a$ (若以大气压为基准则 $P_0 = 0$) 读取测压管 1、2、3 及 U 型管 5 的读数记录在表 1.1 及 1.2 中.

4. 关闭通气阀 6 及截止阀 8, 加压使之形成 $P_0 > P_a$ (若取大气压力为基准则 $P_0 = 0$) 读取测压管 1、2、3 及 U 型管 5 的读数记录在表 1.1 及 1.2 中. 拧开加压打气球上的螺母放气, 再加压记录第二组数据, 取平均值.

5. 打开放水阀 11, 使之形成 $P_0 < P_a$ (若取大气压力为基准则 $P_0 = 0$) 读取测压管 1、2、3 及 U 型管 5 的读数记录在表 1.2 和 1.1 中, 再记录 $P_0 < P_a$ 时一组数据. 取平均值.

6. 测出 4# 测压管插入水杯中的深度. (这时正是显示出了容器中的负压即真空度).

7. 关闭阀 11, 打开通气阀 6, 清理现场.

五、实验报告

1. 记录有关常数:

$\nabla_B =$ _____ cm

$\nabla_C =$ _____ cm

$\nabla_D =$ _____ cm

$P_a =$ _____ cm

表 1.2 的基准面选在标尽零点上即: $Z_C =$ _____, $Z_D =$ _____.

2. 计算表一中的各项数据.

3. 分别求出各次测量时 A、B、C、D 点的压强, 并选择一基准面检验同一静止液体内的任意二点 C、D 的 $(Z + P/\gamma)$ 是否为常数.

4. 分别计算一组 $P_0 > P_a$ 和 $P_0 < P_a$ 时 P_0 的绝对压强分别用单位 cmH_2O 和 N/m^2 表示之.

5. 同一静止液体内的测压管水头线是根什么线?

(二) 不可压缩流体恒定流能量方程 (伯诺里方程) 实验

一、实验目的的要求

1. 验证流体恒定总流的能量方程；
2. 通过对动水力学诸多水力现象的实验分析研讨，进一步掌握有压管流中动水力学的能量转换特性；
3. 掌握流速、流量、压强等动水力学水力要素的实验量测技能。

二、实验装置

本实验的装置如图 2.1 所示。

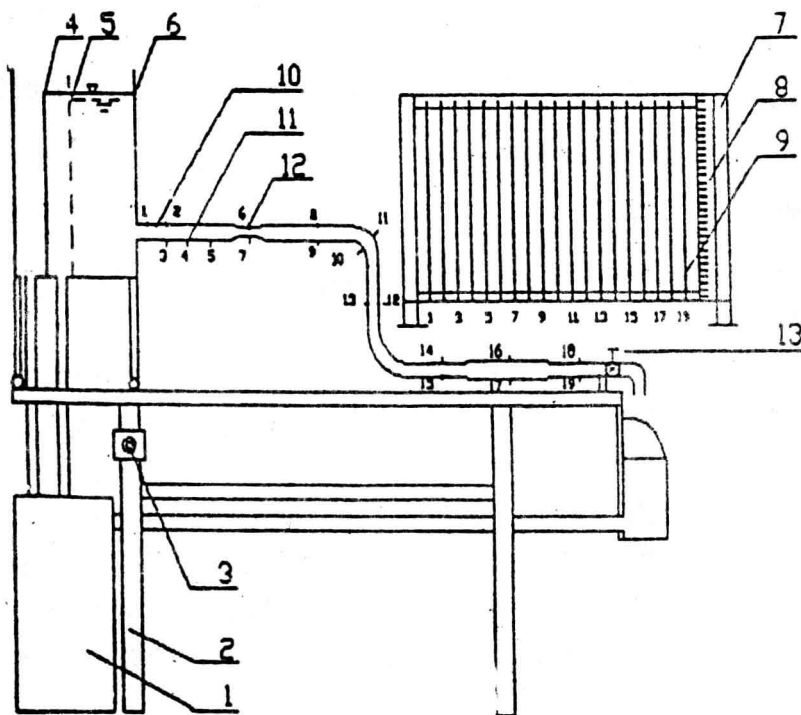


图 2.1 自循环伯诺里方程实验装置图

1. 自循环供水器 2. 实验台 3. 可控硅无线调速器 4. 溢流板 5. 稳水孔板 6. 恒压水箱 7. 测压计
8. 滑动测量尺 9. 测压管 10. 实验管道 11. 测压点 12. 毕托管 13. 实验流量调节阀

说明:

本仪器测压管有两种:

(1) 毕托管测压管 (表 2.1 中标 * 的测压管), 用以测读毕托管探头对准点的总水头 $H' (= Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g})$, 须注意一般情况下 H' 与断面总水头 $H (= Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g})$ 不同 (因一般 $u \neq v$), 它的水头线只能定性表示总水头变化趋势;

(2) 普通测压管 (表 2.1 未标 * 者), 用以定量测压管水头。

实验流量用阀 13 调节, 流量由体积时间法 (量筒、秒表另备) 或重量时间法 (电子称另备) 测量 (以下实验类同)。

三、实验原理

在实验管路中沿管内水流方向取 n 个过水断面。可以列出进口断面 (1) 至另一断面 (i) 的能量方程式 ($i = 2, 3, \dots, n$)

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = Z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{a_i v_i^2}{2g} + h_{w1-i}$$

取 $a_1 = a_2 = \dots a_n = 1$, 选好基准面, 从已设置的各断面的测压管中读出 $Z + \frac{p}{\gamma}$ 值, 测出通过管路的流量, 即可计算出断面平均流速 v 及 $\frac{av^2}{2g}$, 从而即可得到各断面测管水头和总水头。

四、实验方法与步骤

1. 熟悉实验设备, 分清哪些测管是普通测压管, 哪些是毕托管测压管, 以及两者功能的区别。

2. 打开开关供水, 使水箱充水, 待水箱溢流, 检查调节阀关闭后所有测压管水面是否齐平。如不平则需查明故障原因 (例连通管受阻、漏气或夹气泡等) 并加以排除, 直至调平。

3. 打开阀 13, 观察思考: 1) 测压管水头线和总水头线的变化趋势; 2) 位置水头、压强水头之间的相互关系; 3) 测点 (2)、(3) 测管水头同否? 为什么? 4) 测点 (12)、(13) 测管水头是否不同? 为什么? 5) 当流量增加或减少时测管水头如何变化?

4. 调节阀 13 开度, 待流量稳定后, 测记各测压管液面读数, 同时测记实验流量 (毕托管供演示用, 不必测记读数)。

5. 改变流量 2 次, 重复上述测量。其中一次阀门开度大到使 19 号测管液面接近标尺零点。

五、实验成果及要求

1. 把有关常数记入表 2.1.

实验装置台号 No.

表 2.1 有关常数记录表

水箱液面高程 ∇_0 _____ cm, 上管道轴线高程 ∇_1 _____ cm.
$$D_1 = \quad \text{cm}; D_2 = \quad \text{cm}; D_3 = \quad \text{cm}.$$

测点编号	1°	2° 3	4	5	6° 7	8° 9	10 11	12° 13	14° 15	16° 17	18° 19
管径 cm											
两点间距 cm	4	4	6	6	4	13.5	6	10	29	16	16

注: (1) 测点 6、7 所在断面内径为 D_2 , 测点 16、17 为 D_3 , 余均为 D_1 。

(2) 标“*”者为毕托管测点(测点编号见图2.2).

(3) 测点 2、3 为直管均匀流段同一断面上的两个测压点, 10、11 为弯管非均匀流段同一断面上的两个测点.

2. 量测 $(Z + \frac{p}{\gamma})$ 并记入表 2.2.

表 2.2 测记 $(Z + \frac{\rho}{\gamma})$ 数值表

(基准面选在标尺的零点上)

单位: cm

[illegible]

3. 计算流速水头和总水头

4. 绘制上述成果中最大流量下的总水头线 $E-E$ 和测压管水头线 $P-P$ (轴向尺寸参见图 2.2, 总水头线和测压管水头线可以绘在图 2.2 上).

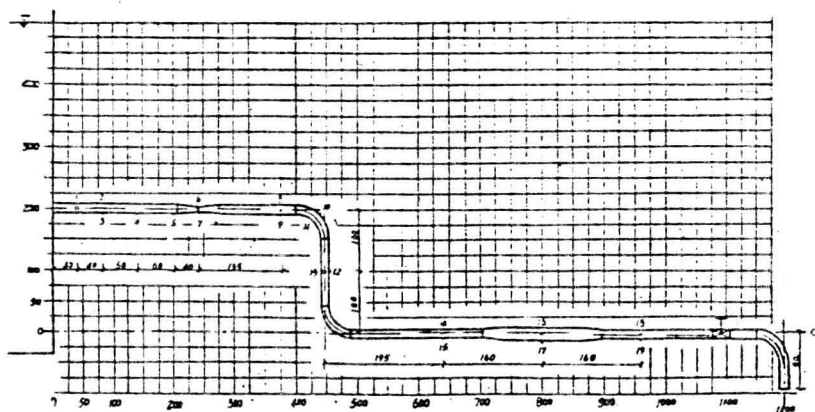


图 2.2

提示: 1. $P-P$ 线依表 2.2 数据绘制, 其中测点 10、11、13 数据不用;

2. E-E线依表2.3(2)数据绘制,其中测点10、11数据不用;

3. 在等直径管段 $E-E$ 与 $P-P$ 线平行.

六、成果分析及讨论

1. 测压管水头线和总水头线的变化趋势有何不同？为什么？
2. 流量增加，测压管水头线有何变化？为什么？
3. 测点 2、3 和测点 10、11 的测压管读数分别说明了什么问题？

(三) 雷诺实验

一、实验目的的要求

1. 观察层流、紊流的流态及其转换特征；
2. 测定临界雷诺数，掌握园管流态判别准则；
3. 学习古典流体力学中应用无量纲参数进行实验研究的方法，了解其实用意义。

二、实验装置

本实验的装置如图 3.1 所示。

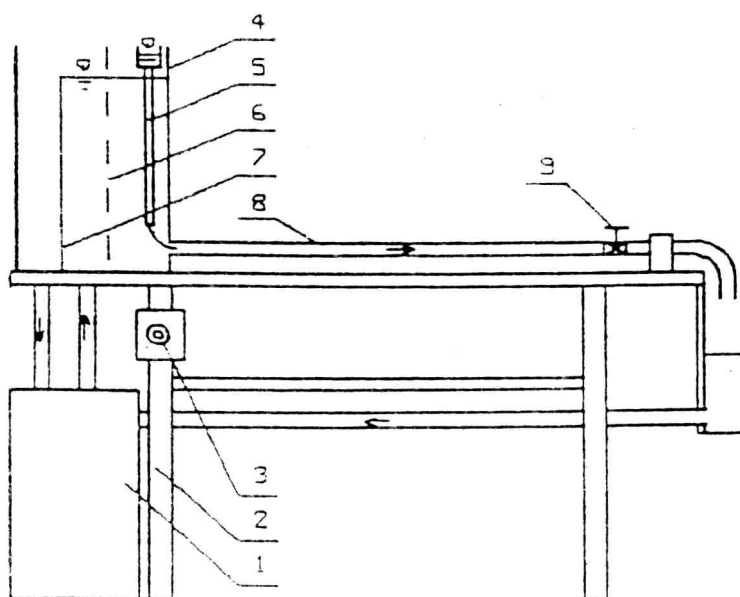


图 3.1 自循环雷诺实验装置图

1. 自循环供水器 2. 实验台 3. 可控硅无级调速器 4. 恒压水箱 5. 有色水水管
6. 稳水孔板 7. 溢流板 8. 实验管道 9. 实验流量调节阀

供水流量由无线调速器调控使恒压水箱 4 始终保持微溢流的程度，以提高进口前水体稳定度。本恒压水箱还设有多道稳水隔板，可使稳水时间缩短到 3-5 分钟。有色水经有色水水管 5 注入实验管道 8，可据有色水散开与否判别流态。为防止自循环水污染，有色指示水采用自行消色的专用色水。

三、实验原理

雷诺形象化揭示了两种不同的流态，而且通过大量实验，建立了一个判别流态的无量纲数——雷诺准则或雷诺数：

$$R_e = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{v d}{\nu} \quad (R_e = \frac{4Q}{\pi d \nu} = KQ, K = \frac{4}{\pi d \nu})$$

不论什么性质的流体 (ρ, μ)，也不论在尺寸 (d) 多大的管道中以多高的平均流速 (v) 流动，凡雷诺数 $R_e < 2320$ 的流动就是层流；当 $R_e > 2320$ 的流动就属于紊流。

当实验设备未受任何干扰，而不引起水箱内液体微小扰动时，由层流向紊流过渡时，可能在很大的雷诺数下流动才变为紊流，这时的雷诺数称为上临界雷诺数 $R_{e_{cr上临}}$ 。反之紊流变成层流时的雷诺数称为下临界雷诺数 $R_{e_{cr下临}}$ 。

四、实验方法与步骤

1. 测记本实验的有关常数。

2. 观察两种流态。

打开开关 3 使水箱充水至溢流水位，经稳定后，微微开启调节阀 9，并注入颜色水于实验管内，使颜色水流成一直线。通过颜色水质点的运动观察管内水流的层流流态，然后逐步开大调节阀，通过颜色水直线的变化观察层流转变到紊流的水力特征，待管中出现完全紊流后，再逐步关小调节阀，观察由紊流转变为层流的水力特征。

3. 测定下临界雷诺数。

(1) 将调节阀打开，使管中呈完全紊流，再逐步关小调节阀使流量减小。当流量调节到使颜色水在全管刚呈现出一稳定直线时，即为下临界状态。

(2) 待管中出现临界状态时，用体积法测定流量；

(3) 根据所测流量计算下临界雷诺数，并与公认值 (2000) 比较，偏离过大，需重测；

(4) 重新打开调节阀，使其形成完全紊流，按照上述步骤重复测量不少于三次；

(5) 同时用水箱中的温度计测记水温，从而求得水的运动粘度。

注意：

a、每调节阀门一次，均需等待稳定几分钟；

b、关小阀门过程中，只许渐小，不许开大；

c、随出水流量减小，应适当调小开关（右旋），以减小溢流量引发的扰动。

4. 测定上临界雷诺数。

逐渐开启调节阀，使管中水流由层流过渡到紊流，当色水线刚开始散开时，即为上临界状态，测定上临界雷诺数 1~2 次。

五、实验报告

1. 记录、计算有关常数：

实验装置台号 No _____

管径 $d = 1.37 \text{ cm}$, 水温 $t = \text{ } ^\circ\text{C}$

运动粘度 $\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.00022t^2} = \text{ } \text{cm}^2/\text{s}$

计算常数 $K = \text{ } \text{s}/\text{cm}^3$

2. 整理、记录计算表

表 3.1

项 目	时间 t (s)	水体积 V (cm ³)	水重量 (g)	流量 $Q = v/t$	雷诺数 $R_e = \frac{4Q}{\pi d\nu} = kQ$
层流 ↓ 紊流					$R_{e, \text{上临}}$
紊流 ↓ 层流					$R_{e, \text{下临}}$

六、实验分析与讨论

1. 流态判据为何采用无量纲参数，而不采用临界流速？
2. 为何认为上临界雷诺数无实际意义，而采用下临界雷诺数作为层流与紊流的判据？实测下临界雷诺数 $\overline{R_{e, \text{下临}}}$ 与公认值偏离多少？原因何在？
3. 雷诺实验得出的园管流动下临界雷诺数为 2320，而目前有些教科书中介绍采用的下临界雷诺数是 2000，原因何在？
4. 为什么在测定 $R_{e, \text{下临}}$ 调小流量过程中，不许有反调？
5. 分析层流和紊流在运动学特性和动力学特征方面各有何差异？

(四) 沿程水头损失实验

一、实验目的要求

1. 加深了解圆管层流和紊流的沿程损失随平均流速变化的规律；
2. 掌握管道沿程阻力系数的量测技术和应用水压差计及电子量测仪测量压差的方法；
3. 将测得的 $R_f \sim \lambda$ 关系值与莫迪图对比，分析其合理性，进一步提高实验成果分析能力。

二、实验装置

1. 实验装置简图

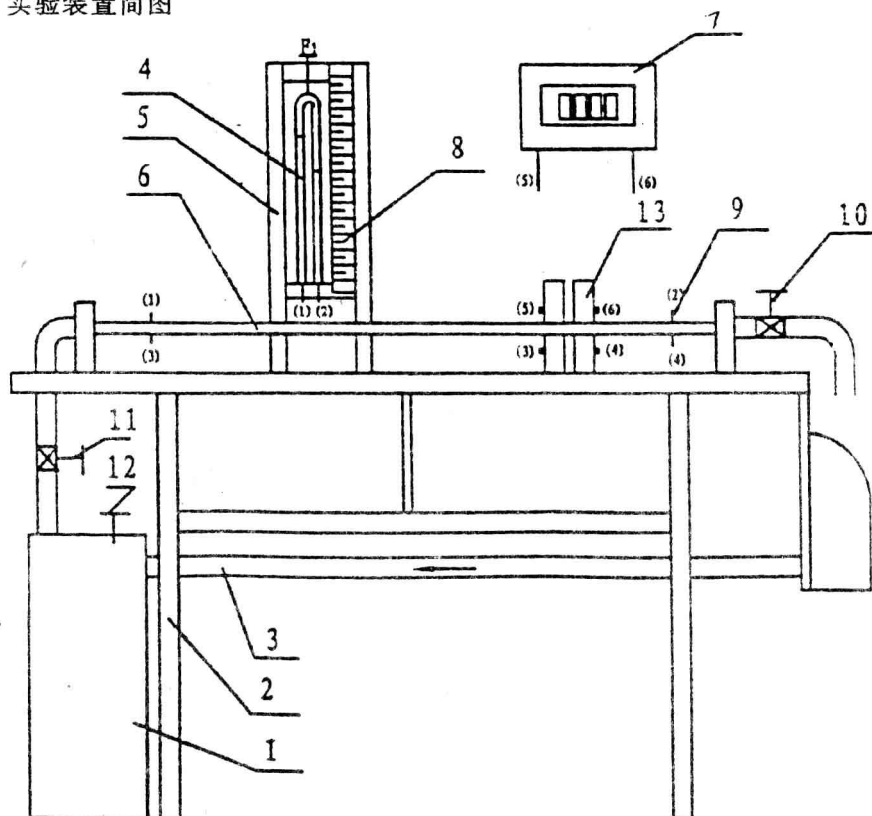


图 4.1 自循环沿程水头损失实验装置简图

1. 自循环高压恒定全自动供水器 2. 实验台 3. 回水管 4. 水压差计 5. 测压计 6. 实验管道 7. 电子量测仪
8. 滑动测量尺 9. 测压点 10. 实验流量调节阀 11. 供水管及供水阀 12. 旁通管及旁通阀 13. 调压筒

本实验装置配备有：

(1) 自动水泵与稳压器

自循环高压恒定全自动供水器 3 由离心泵、自动压力开关、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，离心泵的输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

由于本实验装置所采用水泵的特性，在供小流量时有可能时开时停，从而造成供水压力的较大波动。为了避免这种情况出现，供水器设有与蓄水箱直通的旁通管（图中未标出），通过分流可使水泵持续稳定运行。旁通管中设有调节分流量至蓄水箱的阀门，即旁通阀。实验流量随旁通阀开度减小（分流量减小）而增大，实际上旁通阀又是本装置用以调节流量的重要阀门之一。

(3) 稳压筒 为了简化排气，并防止实验再进气，在传感器前连接由 2 只充水（不满顶）之密封立筒构成。

(4) 电测仪 由压力传感器和主机两部分组成。经由连通管将其接入测点（图 4.2）。压差读数（以米水柱为单位）通过主机显示（高压差时使用）。

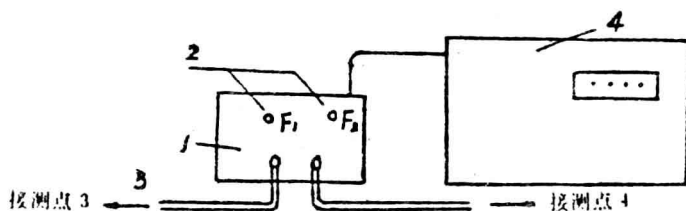


图 4.2

1. 压力传感器 2. 排气旋钮 3. 连通管 4. 主机

三、实验原理

$$\text{由达西公式} \quad h_f = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{得} \quad \lambda = \frac{2gdh_f}{L} \frac{1}{v^2} = \frac{2gdh_f}{L} \left(\frac{\pi}{4} d^2 / Q \right)^2 = K \frac{h_f}{Q^2} \quad (4.1)$$

$$K = \pi^2 g d^5 / 8L$$

另由能量方程对水平等直径圆管可得

$$h_f = (p_1 - p_2) / \gamma \quad (4.2)$$