

哈尔滨工业大学（深圳）

工程流体力学实验报告

实验题目：____雷诺实验____

院 系：____机电工程与自动化学院____

班 级：____机械二班____

姓 名：____杨敬轩____

学 号：____SZ160310217____

指导教师：____曹勇____

实验日期：____2018年12月24日____



哈爾濱工業大學(深圳)

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SHENZHEN

雷诺实验报告

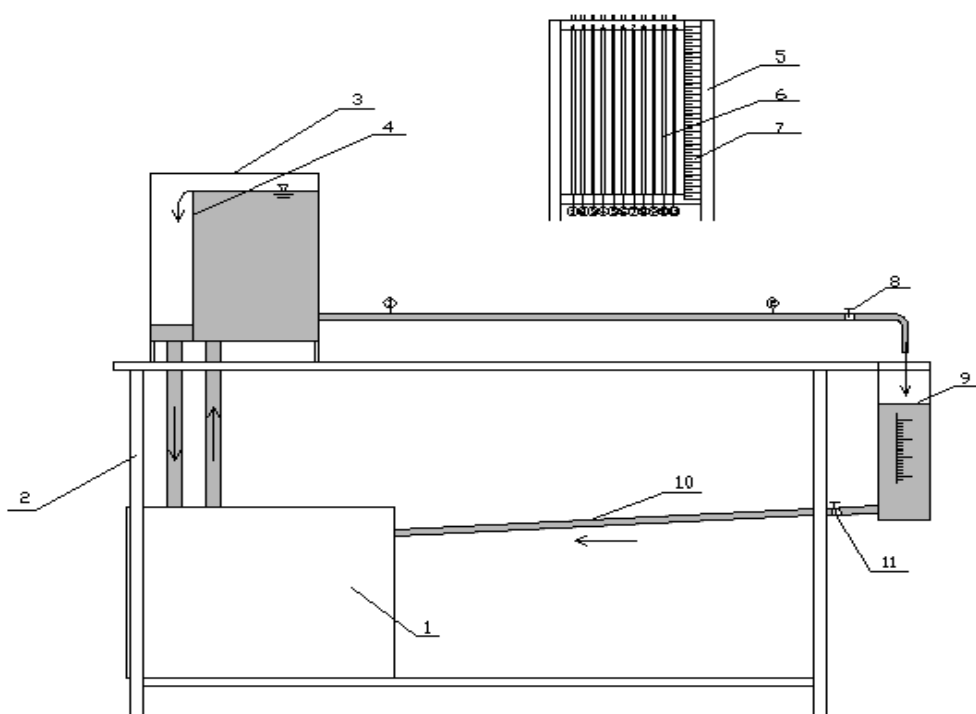
一、实验目的和要求

1. 观察层流、湍流的流态及其转换过程；
2. 测定临界雷诺数，掌握圆管流态判别准则；

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。



1. 自循环供水器 2. 实验台 3. 恒压水箱 4. 溢流板
5. 测压计 6. 测压管①~⑪ 7. 滑动测量尺 8. 实验流量调节阀
9. 计量漏斗 10. 下回水管道 11. 回水阀

图 1 流体力学综合实验仪（雷诺—沿程）装置图

2. 装置说明与操作方法

供水流量由无级调速器调控，使恒压水箱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注入实验管道，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。实验流量由调节阀调节。流量采用体积法测量。水温由数显温度计测量显示。

三、实验原理

1883 年，雷诺(Osborne Reynolds)采用类似于图 1 所示的实验装置，观察到液流中存在着层流和湍流两种流态：流速较小时，水流有条不紊地呈层状有序的直线运动，流层间没有质点混掺，这种流态称为层流；当流速增大时，流体质点作杂乱无章的无序的直线运动，流层间质点混掺，这种流态称为湍流。雷诺实验还发现存在着湍流转变为层流的临界流速 v_c ， v_c 与流体的粘性 ν 、圆管的直径 d 有关。若要判别流态，就要确定各种情况下的 v_c 值，需要对这些相关因素的不同量值作出排列组合再分别进行实验研究，工作量巨大。雷诺实验的贡献不仅在于发现了两种流态，还在于运用量纲分析的原理，得出了量纲为一的判据——雷诺数 Re ，使问题得以简化。量纲分析如下：

$$\text{因} \quad v_c = f(\nu, d)$$

根据量纲分析法有

$$v_c = k_c \nu^{\alpha_1} d^{\alpha_2}$$

其中 k_c 是量纲为一的数。

写成量纲关系为

$$[LT^{-1}] = [L^2T^{-1}]^{\alpha_1} [L]^{\alpha_2}$$

由量纲和谐原理，得 $\alpha_1 = 1$ ， $\alpha_2 = -1$ 。

$$\text{即} \quad v_c = k_c \frac{\nu}{d} \quad \text{或} \quad k_c = \frac{v_c d}{\nu}$$

雷诺实验完成了管流的流态从湍流过度到层流时的临界值 k_c 值的测定，以及是否为常数的验证，结果表明 k_c 值为常数。于是，量纲为一的数 $\frac{v_c d}{\nu}$ 便成了适合于任何管径，任何牛顿流体的流态由湍流转变为层流的判据。由于雷诺的贡献， $\frac{v_c d}{\nu}$ 定名为雷诺数 Re 。于是有

$$Re = \frac{v_c d}{\nu} = \frac{4q_v}{\pi v_c d} = K q_v$$

式中： v 为流体流速； ν 为流体运动粘度； d 为圆管直径； q_v 为圆管内过流流量； K 为计算常数， $K = \frac{4}{\pi v_c d}$ 。

当流量由大逐渐变小，流态从湍流变为层流，对应一个下临界雷诺数 Re_c ，当流量由零逐渐增大，流态从层流变为湍流，对应一个上临界雷诺数 Re'_c 。上

临界雷诺数受外界干扰，数值不稳定，而下临界雷诺数 Re_c 值比较稳定，因此一般以下临界雷诺数作为判别流态的标准。雷诺经反复测试，得出圆管流动的下临界雷诺数 Re_c 值为 2300。工程上，一般取 $Re_c=2000$ 。当 $Re < Re_c$ 时，管中液流为层流；反之为湍流。

四、实验内容与方法

1. 定性观察两种流态

启动水泵供水，使水箱溢流，经稳定后，微开流量调节阀，打开颜色水管道的阀门，注入颜色水，可以看到圆管中颜色水随水流流动形成一直线状，这时的流态即为层流。进一步开大流量调节阀，流量增大到一定程度时，可见管中颜色水发生混掺，直至消色。表明流体质点已经发生无序的杂乱运动，这时的流态即为湍流。

2. 测定下临界雷诺数

先调节管中流态呈湍流状，再逐步关小调节阀，每调节一次流量后，稳定一段时间并观察其形态，当颜色水开始形成一直线时，表明由湍流刚好转为层流，此时管流即为下临界流动状态。测定流量，记录数显温度计所显示的水温值，即可得出下临界雷诺数。注意，接近下临界流动状态时，流量应微调，调节过程中流量调节阀只可关小、不可开大。

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： 雷诺实验仪 实验台号： 8

实验者： 杨敬轩 实验日期： 2018 年 12 月 24 日

管径 $d =$ 1.4 $\times 10^{-2}$ m, 水温 $t =$ 22 $^{\circ}\text{C}$

运动粘度 $\nu = \frac{0.01775 \times 10^{-4}}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2}$ (m^2/s) = 0.0096 $\times 10^{-4}$ m^2/s

计算常数 $K =$ 94.735 $\times 10^6$ s/m^3

2. 实验数据记录及计算结果

表 1 雷诺实验记录计算表

实验次序	颜色水线形状	流量 q_v ($10^{-6}\text{m}^3/\text{s}$)	雷诺数 Re	阀门开度 增(↑)或减(↓)	备注
1	混乱不规则	56.12	5316.22	↑	湍流

2	近似直线	28.87	2735.23	↓	下临界
3	近似直线	20.04	1898.50	↓	层流
4	近似直线	40.20	3808.44	↑	上临界
5	混乱不规则	111.23	10537.82	↑	湍流
6	近似直线	29.66	2809.46	↓	下临界
7	近似直线	15.23	1442.59	↓	层流
实测下临界雷诺数（平均值） $\overline{Re_c} = 2772.35$					

3. 成果要求

测定下临界雷诺数（测量 2~4 次，取平均值）；见表.1

六、分析思考题

1. 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湍流的判据？

答：上临界雷诺数受外界干扰，数值不稳定，而下临界雷诺数 Re_c 值比较稳定，因此一般以下临界雷诺数作为判别流态的标准。

2. 试结合紊动机理实验的观察，分析由层流过渡到湍流的机理。

答：未做紊动机理实验，查阅参考资料可知此实验观察到的现象为：层流在剪切流动情况下，分界面由于扰动引发细微波动，并随剪切流速的增大，分界面上的波动增大，波峰变尖，以至于间断面破裂而形成一个个小旋涡，使流体质点产生横向紊动。

圆管层流的流速按抛物线分布，壁面上的流速恒为零，相同管径下，如果平均流速越大，则梯度越大，即层间的剪切流速越大，于是就容易产生紊动，进而由层流过渡到湍流。

七、注意事项

1. 为使实验过程中始终保持恒压水箱内水流处于防震动的微溢流状态，应在调节流量调节阀后，相应调节变频调速器，改变水泵的供水流量。

2. 实验中不要推、压实验台，以防水体受到扰动。