



哈尔滨工业大学（深圳）

Harbin Institute of Technology, Shenzhen

实验报告

开课学期：_____

课程名称：_____

实验名称：_____

实验性质：_____

实验时间：_____地点_____台号_____

学生专业：_____

学生学号：_____

学生姓名：_____

指导教师：_____

评 分：_____

实验与创新实践教育中心印制

2020 年 7 月

实验报告撰写要求

- 1. 预习实验要求：**该次实验课前需预习实验指导书，并完成本实验报告中实验目的、实验原理、思考题和实验内容部分的撰写，完成实验后记录实验结果讨论部分。
- 2. 实验报告要求：**详细记录实验原始数据；完成对实验数据的分析和整理，解释实验现象和实验结果，认真回答思考题。
- 3. 实验报告提交要求：**①该次实验课前，将空白实验报告按要求装订，在封面上写上姓名及学号。②实验课中，写上实验台号，并记录原始数据。③实验课后，完成实验报告，并在规定时间内提交，地点：K 栋 524/525。（请班长统一收取本班所有同学的实验报告，并按学号排序）

温馨提示：实验报告撰写过程中如遇预留空白不足，请在该页背面空白接续。

教师	姓名
签字	

不可压缩流体恒定流动量方程实验

1、实验目的与要求

- (1) 验证不可压缩流体恒定流的动量方程，进一步理解动量方程的物理意义；
- (2) 通过对动量与流速、流量、出射角度、动量矩等因素间相关性的分析研讨，进一步掌握流体动力学的动量守恒定理；
- (3) 了解活塞式动量定律实验仪原理、构造，启发创新思维。

2、实验装置

实验装置及各部分名称如图 1 所示。

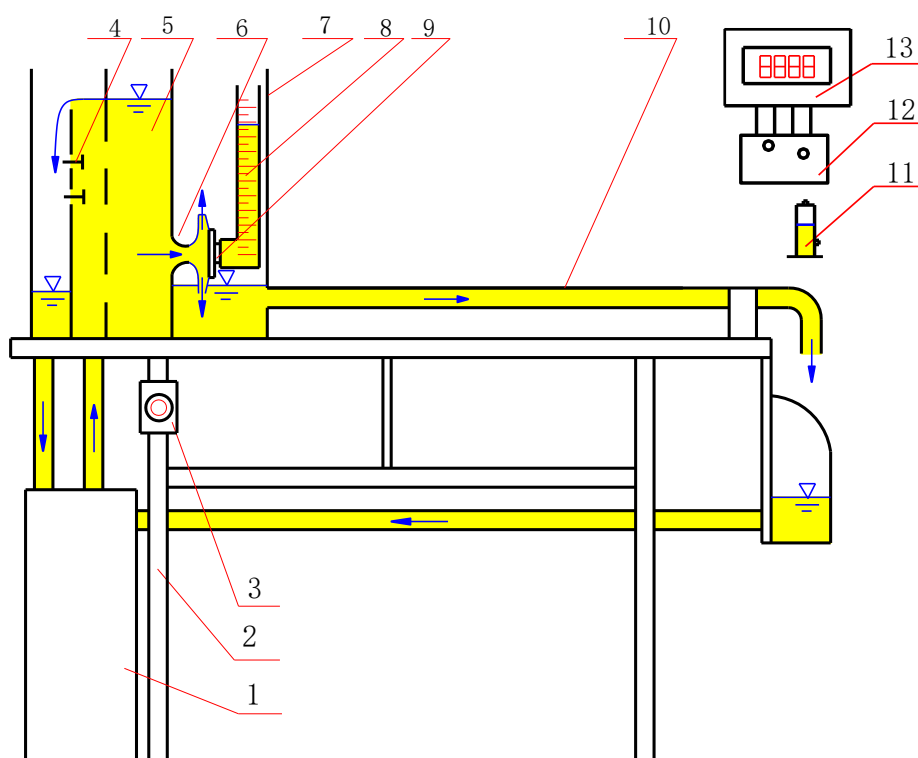


图 1 动量定律综合型实验装置图

- | | | | |
|----------------|--------------|------------|-------------|
| 1. 自循环供水器 | 2. 实验台 | 3. 水泵电源开关 | 4. 水位调节阀 |
| 5. 恒压水箱 | 6. 喇叭型进口管嘴 | 7. 集水箱 | 8. 带活塞套的测压管 |
| 9. 带活塞和翼片的抗冲平板 | 10. 上回水管 | 11. 内置式稳压筒 | |
| 12. 传感器 | 13. 智能化数显流量仪 | | |

(1) 智能化数显流量仪。

配置最新发明的水头式瞬时智能化数显流量仪，测量精度一级。

使用方法：先调零，将水泵关闭，确保传感器联通大气时，将显示值调零。水泵开启后，流量将随水箱水位淹没管嘴的高度而变，此时流量仪显示的数值即

为管嘴出流的瞬时流量值。

(2) 测力机构。

测力机构由带活塞套并附有标尺的测压管 8 和带活塞及翼片的抗冲平板 9 组成。分部件示意图如图 2(a)所示。活塞中心设有一细导水管 a ，进口端位于平板中心，出口端伸出活塞头部，出口方向与轴向垂直。在平板上设有翼片 b ，活塞套上设有泄水窄槽 c 。

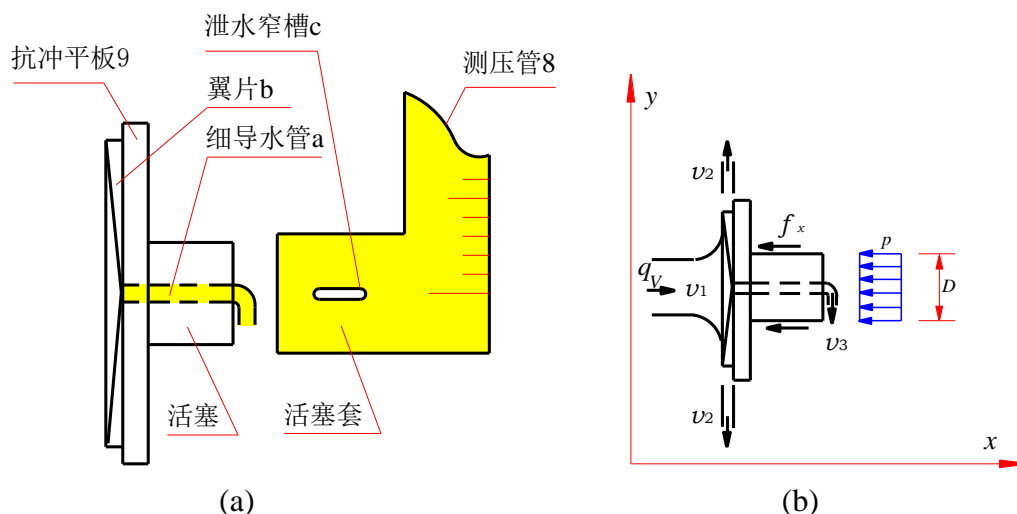


图 2 活塞构造与受力分析

(3) 工作原理。为了精确测量动量修正因数 β ，本实验装置应用了自动控制的反馈原理和动摩擦减阻技术。工作时，活塞置于活塞套内，沿轴向可以自由滑移。在射流冲击力作用下，水流经导水管 a 向测压管 8 加水。当射流冲击力大于测压管内水柱对活塞的压力时，活塞内移，窄槽 c 关小，水流外溢减少，使测压管 8 水位升高，活塞所受的水压力增大。反之，活塞外移，窄槽开大，水流外溢增多，测压管 8 水位降低，水压力减小。在恒定射流冲击下，经短时段的自动调整后，活塞处在半进半出、窄槽部分开启的位置上，过 a 流进测压管的水量和过 c 外溢的水量相等，测压管中的液位达到稳定。此时，射流对平板的冲击力和测压管中水柱对活塞的压力处于平衡状态，如图 2(b)所示。活塞形心处水深 h_c 可由测压管 8 的标尺测得，由此可求得活塞的水压力，此力即为射流冲击平板的动量力 F 。

由于在平衡过程中，活塞需要做轴向移动，为此平板上设有翼片 b 。翼片在水流冲击下带动活塞旋转，因而克服了活塞在沿轴向滑移时的静摩擦力，提高了测力机构的灵敏度。本装置还采用了双平板狭缝出流方式，精确地引导射流的出流方向垂直于来流方向，以确保 $v_{2x}=0$ 。

3、实验原理

恒定总流动量方程为

$$\vec{F} = \rho q_v (\beta_2 \vec{v}_2 - \beta_1 \vec{v}_1)$$

取控制体如图 2(b)，因滑动摩擦阻力水平分力 $F_f < 0.5\% F_x$ ，可忽略不计，故 x 方向的动量方程可化为

$$F_x = -p_c A = -\rho g h_c \frac{\pi}{4} D^2 = \rho q_v (0 - \beta_1 v_{1x})$$

即

$$\beta_1 \rho q_v v_{1x} - \frac{\pi}{4} \rho g h_c D^2 = 0$$

式中： h_c ——作用在活塞形心处的水深；

D ——活塞的直径；

q_v ——射流的流量；

v_{1x} ——射流的速度；

β_1 ——动量修正因数。

实验中，在平衡状态下，只要测得流量 q_v 和活塞形心水深 h_c ，由给定的管嘴直径 d 和活塞直径 D ，代入上式，便可验证动量方程，并测定射流的动量修正系数 β_1 值。其中，测压管的标尺零点已经固定在活塞的圆心处，因此液面标尺读数，即为作用在活塞圆心处的水深。

4、实验步骤

(1) 熟悉实验装置各部分名称、结构特征、作用性能，记录有关常数。

(2) 开启水泵。打开调速器开关，水泵启动 2~3 min 后，关闭 2~3 min，以利用回水排除离心式水泵内滞留的空气。

(3) 调整测压管位置。待恒压水箱满顶溢流后，松开测压管固定螺丝，调整方位，要求测压管垂直。螺丝对准十字中心，使活塞转动松快，然后旋转螺丝固定好。

(4) 测定本实验装置的灵敏度。

为验证本装置的灵敏度，只要在实验中的恒定流受力平衡状态下，人为地增、减测压管中的液位高度，可发现即使改变量不足总液柱高度的 5%（约 0.5~1mm），活塞在旋转下亦能有效地克服动摩擦力而作轴向位移，开大或减小窄槽 c ，使过高的水位降低或过低的水位提高，恢复到原来的平衡状态。这表明该装

置的灵敏度高达 0.5%（此量值越小，灵敏度越高），亦即活塞轴向动摩擦力不足总动量力的 5%。若活塞转动不灵活，会影响实验精度，需在活塞与活塞套的接触面上涂抹 4B 铅笔芯。

（5）测读水位。标尺的零点已经固定在活塞圆心的高程上，当测压管内液面稳定后，记下测压管内液面的标尺读数，即 h_c 值。

（6）测量流量。利用体积时间法，在上回水管的出口处测量射流的流量，流量时间要求在 15-20s 以上。可用塑料桶等容器，通过活动漏斗接水，再用量筒测量其体积（亦可用重量法测量）。

（7）改变水头重复实验。逐次打开不同高度上的溢水孔盖，改变管嘴的作用水头。调节调速器，使溢流量适中，待水头稳定后，按以上步骤重复进行实验。

（8）验证 $v_{2x} \neq 0$ 对 F_x 的影响。

取下平板活塞 9，使水流冲击到活塞套内，便可呈现出回流与 x 方向的夹角 $\alpha > 90^\circ$ （即 $v_{2x} \neq 0$ ）的水力现象[参图 3(a)]。调整好位置，使反射水流的回射角度一致。以某动量实验台为例，某次实验测得作用于活塞套圆心处的水深 $h'_c = 292\text{mm}$ ，管嘴作用水头 $H_0 = 293.5\text{ mm}$ ，而相应水流条件下，在取下带翼轮的活塞前， $v_{2x} = 0$ ， $h_c = 196\text{mm}$ 。表明 v_{2x} 若不为零，对动量力影响甚大。因为 v_{2x} 不为零，则动量方程变为[参图 3(b)]

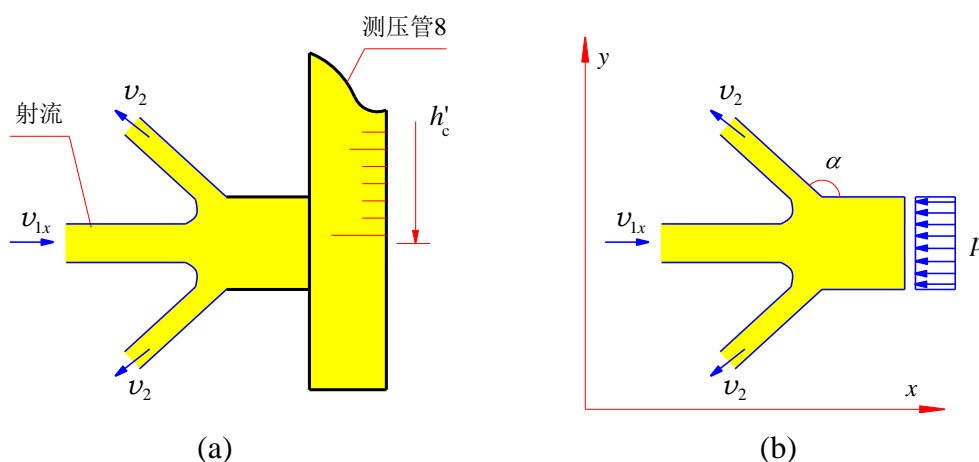


图 3 射流对活塞套的冲击与受力分析

$$-\rho g h'_c \frac{\pi}{4} D^2 = \rho q_v (\beta_2 v_{2x} - \beta_1 v_{1x}) = -\rho q_v [\beta_1 v_{1x} + \beta_2 v_2 \cos(180^\circ - \alpha)]$$

就是说 h'_c 随 v_2 及 α 递增。故实验中 $h'_c > h_c$ 。

5、数据处理及成果要求

(1) 记录有关信息及实验常数

实验设备名称: _____

实验台号: _____

实 验 者: _____

实验日期: _____

管嘴内径 $d =$ _____ $\times 10^{-2} \text{m}$

活塞直径 $D =$ _____ $\times 10^{-2} \text{m}$

(2) 实验数据记录及计算结果

表 1 测量记录及计算表

测次	管嘴作用 水头 H_0 / 10^{-2}m	活塞作用水 头 h_c / 10^{-2}m	流量 q_v / $(10^{-6} \text{m}^3/\text{s})$	流速 v / (10^{-2}m/s)	动量力 F / 10^{-5}N	动量修 正因数 β
1						
2						
3						

(3) 取某一流速，绘出控制体图，阐明分析计算的过程。

6、实验分析与讨论

(1) 实测 β 与公认值 ($\beta = 1.02 \sim 1.05$) 符合与否？如不符合，试分析原因。

(2) 带翼片的平板在射流作用下获得力矩，这对分析射流冲击无翼片的平板沿 x 方向的动量方程有无影响？为什么？

(3) 如图 2，若通过细导水管 a 的分流，其出流角度与 v_2 相同，对以上受力分析有何影响？