

国家示范性专业重点规划教材

化工专业实验

胡浩斌 李惠成 武芸◎主 编
张鹏会 韩明虎◎副主编

规划教材

化工专业实验

主 编 胡浩斌 李惠成 武 芸

副主编 张鹏会 韩明虎



本书是作者在总结多年实验教学改革和实践的基础上,针对不同专业方向和教学实际,按照化工原理、化学反应工程、精细化工、石油化工、煤化工5个板块设计的,选编了75个实验,涉及验证性实验、生产模拟实验、综合性实验和设计性实验。为了便于指导,在相关的实验操作后面,提炼归纳了实验的关键操作、注意事项和思考题。本书内容丰富、知识覆盖面广、方向性和实用性强,各种类型的实验统筹安排,既有利于学生完整地、系统地掌握化工专业实验技术,培养工程实践能力,也有利于学生了解前沿知识,激发专业学习兴趣。

本书为应用化学、化学工程与工艺、精细化工、煤化工、石油化工及相关专业学生的实验指导用书,也可作为各类化工专业培训班的教材。

图书在版编目(CIP)数据

化工专业实验 / 胡浩斌, 李惠成, 武芸主编. -- 天津: 天津大学出版社, 2017. 5

国家示范性专业重点规划教材

ISBN 978-7-5618-5828-8

I. ①化… II. ①胡… ②李… ③武… III. ①化学工程—化学实验—高等学校—教材 IV. ①TQ016

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 108763 号

出版发行 天津大学出版社

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内 (邮编: 300072)

电 话 发行部: 022-27403647

网 址 publish.tju.edu.cn

印 刷 北京京华虎彩印刷有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm × 260mm

印 张 18.25

字 数 456 千

版 次 2017 年 5 月第 1 版

印 次 2017 年 5 月第 1 次

定 价 39.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请与我社发行部联系调换

版权所有 侵权必究

■ 前 言

实验技术与技能是化学工程与工艺及相关专业本科生所需的基本素质之一,提高学生的动手能力和应用知识分析及解决问题的能力是教学改革的重要内容。为此,在多年教学实践积累的基础上,陇东学院化学工程与工艺专业教学团队结合生产实际和教学条件,编写了内容比较全面,综合性强,应用范围广,集实验知识、实验技能和实验内容于一体的化学工程与工艺专业实验教材。本教材的内容包括化工原理实验、化学反应工程实验、精细化工实验、石油化工实验和煤化工实验5个部分。化工原理实验部分包括15个实验,其中前面13个实验为常规的化工原理实验,后面2个实验是本校教师在多年的科研成果的基础上开发的综合实验;化学反应工程实验部分共编写了8个实验,其中2个实验是我校教师精心设计开发的实验,实验内容涵盖反应动力学、全混釜、间歇釜、流化床反应器,同时涉及气固相催化反应、催化剂的制备与活化等内容;精细化工实验以综合性实验为主,增加了部分设计性实验,主要涉及表面活性剂、助剂、涂料、胶黏剂、染料与颜料、食品添加剂、日用化学品、香料与香精和中间体等精细化学品的合成与性能测试;石油化工实验部分主要结合原油质量评价的内容编写,依据现有的国家标准和行业标准,设计了原油实沸点蒸馏和油品各项主要性能的测定等13个专业实验;煤化工实验主要根据一般实验室的现有条件编写了煤中全水分的测定、煤的工业分析、煤炭发热量的测定及中温煤气化等14个实验。书中大部分实验来源于教学实践,因此具有内容可靠、指导性强、符合教学规律和教学实际、再现性好、便于教学等特点。

本书共分五篇,由陇东学院化学化工学院的胡浩斌、李惠成、武芸任主编,张鹏会、韩明虎任副主编。其中,李惠成负责编写第一篇,武芸负责编写第二篇,胡浩斌负责编写第三篇,韩明虎负责编写第四篇,张鹏会负责编写第五篇。全书由胡浩斌教授统稿。西北大学的马晓迅教授对全书进行了审定,并提出了许多宝贵意见。

在本书的编写和出版过程中,我院的张小伟、孙海玲、王玉峰、张甜甜、张艳敏老师对部分实验内容提出了指导和修订意见,天津大学化工基础实验中心提供了设备和技术方面的支持,陇东学院化学化工学院及教务处的有关领导和教师也给予了大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

鉴于编者知识水平和编写时间有限,书中错误之处在所难免,敬请广大教师、学生在使用过程中多提宝贵意见和建议,以使本教材内容更加完善,实验过程更加安全环保。

编 者

2016年12月于陇东学院

目 录

第一篇 化工原理实验	1
实验一 雷诺实验	1
实验二 流线演示实验	3
实验三 能量转化（伯努利方程）实验	4
实验四 化工流动过程综合实验	9
实验五 非均相分离实验	22
实验六 恒压过滤常数测定实验（板框过滤）	24
实验七 综合传热实验	29
实验八 单管升膜蒸发实验	40
实验九 二氧化碳吸收与解吸实验	44
实验十 连续精馏数据采集和过程控制实验	49
实验十一 液—液萃取塔实验	57
实验十二 流化床干燥操作实验	64
实验十三 喷雾干燥实验	70
实验十四 干燥特性曲线测定实验	72
实验十五 超滤微滤膜分离实验	76
第二篇 化学反应工程实验	81
实验一 全混釜反应器反应动力学的测定	81
实验二 间歇釜反应器转化率的测定	83
实验三 多釜串联反应器返混状况测定	87
实验四 阶跃示踪法测定连续搅拌釜反应器的停留时间分布	91
实验五 乙醇气相脱水制乙烯	95
实验六 乙苯脱氢制备苯乙烯	98
实验七 流化床反应器的特性测定	102
实验八 沸石催化剂的制备与成型	107
第三篇 精细化工实验	111
实验一 阴离子表面活性剂——十二烷基苯磺酸钠的合成	111
实验二 N,N-二甲基十二烷胺的合成及分离	114
实验三 苯甲醇的合成与分析	116

实验四	光稳定剂——苯并三氮唑 (BTA) 的合成	119
实验五	增塑剂——邻苯二甲酸二辛酯 (DOP) 的合成与分析	121
实验六	药物中间体——2-苯基丁酮酸的合成	124
实验七	水解法合成 2,4-二硝基苯酚	126
实验八	雪花膏的制备	129
实验九	固体酒精的制备	130
实验十	文化污渍去除剂的制备	132
实验十一	食品防腐剂——丙酸钙的合成与鉴定	133
实验十二	苯甲酸的合成	135
实验十三	食品色素——苋菜红的合成	136
实验十四	香蕉油的合成	139
实验十五	甘草中黄酮的提取与检测	141
实验十六	美多心安的合成	143
实验十七	聚醋酸乙烯酯乳液的合成	146
实验十八	羧甲基淀粉胶黏剂的制备	148
实验十九	聚乙烯醇—水玻璃内墙涂料的制备	151
实验二十	色酚 AS 的合成	153
实验二十一	阳离子翠蓝 GB 的合成	154
实验二十二	光谱纯二氧化钛的合成	157
实验二十三	从人发中提取 L-胱氨酸	158
实验二十四	超临界 CO ₂ 流体萃取紫苏油	161
实验二十五	综合性设计实验——美沙拉嗪的合成	163

第四篇	石油化工实验	166
实验一	原油黏度测定 (旋转黏度计法)	166
实验二	石油产品运动黏度的测定	170
实验三	石油产品馏程测定	173
实验四	原油实沸点蒸馏	178
实验五	石油产品实际胶质含量的测定	182
实验六	石油产品密度的测定	185
实验七	石油产品低温流动性能的测定	187
实验八	石油产品水溶性酸及碱的测定	194
实验九	石油产品闪点和燃点的测定	196
实验十	石油产品苯胺点和水分的测定	201
实验十一	石油产品铜片腐蚀性能的测定	204
实验十二	润滑脂滴点的测定	209
实验十三	轻质油产品碘值和不饱和烃含量测定 (碘—乙醇法)	211

第五篇 煤化工实验 214

实验一 煤中全水分的测定 214

实验二 煤的工业分析 219

实验三 煤中全硫含量的测定 227

实验四 煤中碳氢元素含量的测定 230

实验五 煤炭发热量的测定 235

实验六 烟煤黏结指数的测定 241

实验七 煤可磨性指数的测定 245

实验八 煤灰熔融性的测定 249

实验九 烟煤胶质层指数的测定 254

实验十 煤的真相对密度的测定 264

实验十一 煤的视相对密度的测定 266

实验十二 烟煤相对氧化度的测定 270

实验十三 煤自燃倾向性的测定 271

实验十四 中温煤气化 276

第一篇 化工原理实验

实验一 雷诺实验

一、实验目的

- (1) 观察流体在管内流动两种不同流型。
- (2) 测定临界雷诺数 Re_c 。

二、实验原理

流体流动有两种不同形态,即层流(或称滞流)和湍流(或称紊流),这一现象最早是由雷诺(Reynolds)于1883年发现的。流体作层流流动时,其流体质点作平行于管轴的直线运动,且在径向无脉动;流体作湍流流动时,其流体质点除沿管轴方向向前运动外,还在径向脉动,从而在宏观上显示出紊乱地向各个方向作不规则的运动。

流体流动形态可用雷诺数(Re)来判断,这是一个由各影响变量组合而成的无因次数群,故其值不会因采用不同的单位制而不同。但应当注意,数群中各物理量必须采用同一单位制。若流体在圆管内流动,则雷诺数可用下式表示:

$$Re = \frac{d u \rho}{\mu} \quad (1)$$

式中: Re ——雷诺数,无因次;

d ——管子内径, m;

u ——流体在管内的平均流速, m/s;

ρ ——流体密度, kg/m^3 ;

μ ——流体黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

层流转变为湍流时的雷诺数称为临界雷诺数,用 Re_c 表示。工程上一般认为,流体在直圆管内流动,当 $Re \leq 2\,000$ 时,为层流;当 $Re > 4\,000$ 时,圆管内已形成湍流;当 Re 在 $2\,000 \sim 4\,000$ 的范围内时,流动处于一种过渡状态,可能是层流,也可能是湍流,或者是两种流型交替出现,这要视外界干扰而定,一般称这一雷诺数范围为过渡区。

式(1)表明,对于一定温度的流体,在特定的圆管内流动,雷诺数仅与流体流速有关。

本实验即是通过改变流体在管内的速度,观察不同雷诺数下流体的流动形态。

三、实验装置与流程

实验装置如图1所示,主要由玻璃实验管、转子流量计、流量调节阀、低位贮水槽、

循环水泵、稳压溢流水槽等部分组成,演示主管路为 $\phi 20\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 的硬质玻璃。

实验前,先将水充满低位贮水槽,关闭流量计后的流量调节阀,然后启动循环水泵。待水充满稳压溢流水槽后,开启流量计后的流量调节阀。水由稳压溢流水槽流经缓冲槽、实验管和流量计,最后流回低位贮水槽。水流量的大小可由流量计和调节阀调节。

示踪剂采用红色墨水,它由红墨水贮瓶经连接管和细孔喷嘴注入实验导管。细孔玻璃注射管(或注射针头)位于实验导管入口的轴线部位。

注意:实验用的水应清洁,红墨水的密度应与水相当,装置要放置平稳,避免震动。

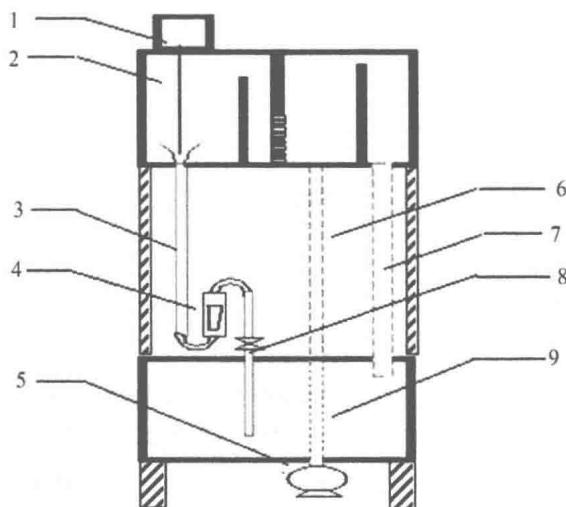


图1 流体流型演示实验

1—红墨水贮瓶; 2—稳压溢流水槽; 3—实验导管; 4—转子流量计; 5—循环水泵;
6—上水管; 7—溢流回水管; 8—流量调节阀; 9—低位贮水槽

四、实验步骤

1. 层流流动形态

实验时,先稍许开启调节阀,将流速调至所需要的值。再调节红墨水贮瓶的下口旋塞,并作精细调节,使红墨水的注入流速与实验导管中主体流体的流速相适应,一般以略低于主体流体的流速为宜。待流动稳定后,记录主体流体的流量。此时,在实验导管的轴线上就可观察到一条平直的红色细流,好像一根拉直的红线一样。

2. 湍流流动形态

缓慢地加大调节阀的开度,使水流量平稳地增大,玻璃实验导管内流体的流速也随之平稳地增大。此时可观察到,玻璃实验导管轴线上呈直线流动的红色细流开始发生波动。随着流速的增大,红色细流的波动程度也增大,最后断裂成一段段的红色细流。若流速继续增大,红墨水进入实验导管后立即呈烟雾状分散在整个导管内,进而迅速与主体水流混为一体,将整个管内的流体染为红色,以致无法辨别红墨水的流线。实验数据记录于表1中。

表 1 实验数据记录

流量	平均流速	雷诺数	流动类型	实验现象

五、思考题

- (1) 什么是临界雷诺数？怎样确定？
- (2) 本实验对示踪剂有什么特殊要求？
- (3) 示踪剂的流速对本实验有什么影响？
- (4) 在湍流的条件下，在垂直直管中和水平直管中观察到的水的现象是否不同？在垂直直管中，对管长不同位置处的水的平均流速而言，是否会因重力加速度而使下部的速度大于上部的速度？为什么？

实验二 流线演示实验

一、实验目的

观察流体流经阀门、孔板、管件（即流道截面突然变化以及绕过固体物）时所产生的现象。

二、实验原理

当流体流经固体壁面时，由于流体具有黏性，黏附在固体壁面上静止的流体层和与其相邻的流体层间产生摩擦力，使其相邻流体层的流动速度减慢。因此在垂直于流体流动的方向上便产生了速度梯度 du/dy ，有速度梯度存在的流体层被称为边界层。

提出边界层的概念，为的是研究真实流体沿着固体壁面流动的情况，要重点关注流体边界层内的变化，它的变化将影响到动量传递、能量传递和质量传递。在化学工程学科中非常重视对边界层的研究。

在流体流过曲面，或流体的流道截面大小和流体流动方向发生变化时，若流体的压强梯度 dp/dx （沿着流动方向的流体压强变化率）比较大，那么流体边界层将会与壁面脱离，形成旋涡，加剧流体质点间的互相碰撞，损耗流体的能量，边界层自壁面脱离的现象被称为边界层的分离或脱体。由此，我们可寻找到流体在流动过程中能量消耗的原因。这种旋涡（或称涡流）造成流体微团杂乱运动并相互碰撞或混合，也会使传递过程大大强化。

三、实验装置与流程

流线仪是观察流动过程中流体微团运动规律的装置，主要由流体导流装置和演示板组成。

流线流经文氏管与吸入的气泡混合，由导流装置使流体形成流线，当流线流过演示板

上固定的物件时,可观察流线在绕过固体物时发生的变化以及旋涡的发生、发展、移动和消除过程,以增加感性认识。

用户可自行设计演示板(自己确定研究对象)插入流线仪内加以探讨。

- (1) 观察流体流经孔板时,孔板前后的流线变化。
- (2) 观察流体流道突然扩大时产生旋涡的情况。
- (3) 观察流体流道突然缩小时产生旋涡的情况。
- (4) 观察流体流经大小圆柱体时流线的变化情况。
- (5) 观察流体流经文丘里段时流线的变化情况。
- (6) 观察流体流经复杂管件时流线的变化情况。

四、实验步骤

(1) 将水箱中的水充到 3/4 水位。注意:要保持水质良好,避免杂物进入循环系统,防止水结垢,以保证流线仪观察清晰及流道畅通。流线演示仪流程如图 1 所示。

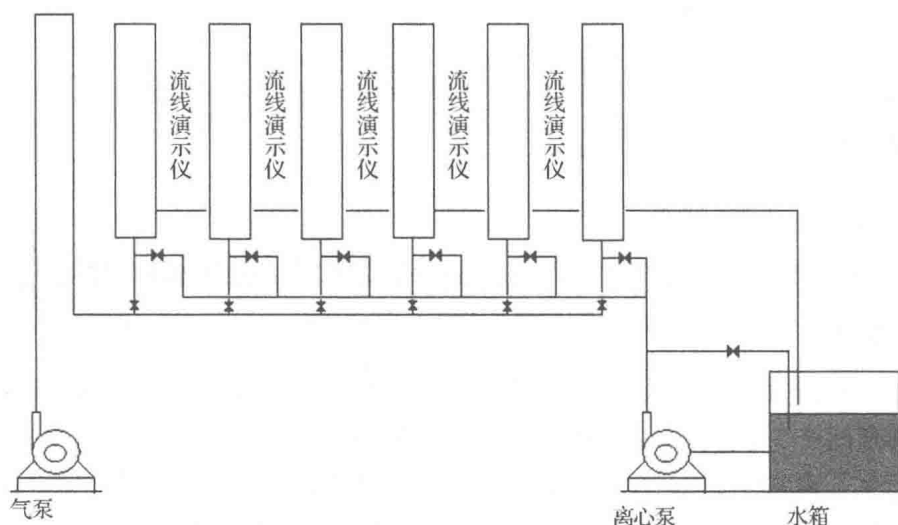


图1 流线演示仪流程示意图

(2) 接通电源,首先启动空气压缩机,再启动离心泵,控制流量,调节进气流量调节阀,使吸入的气泡量适宜。

(3) 实验结束,先关离心泵,再关闭空气压缩机,防止水倒灌进压缩机损坏设备。

实验三 能量转化(伯努利方程)实验

一、实验目的

(1) 观察流体在管内流动时静压能、动能、位能相互之间的转换关系,加深对伯努利方程的理解。

(2) 了解流体在管内流动时其流体阻力的表现形式。

(3) 观察流体经过扩大、收缩管段时,各截面上静压头的变化过程。

二、实验装置

实验设备与演示流程见图 1。实验测试导管的结构尺寸见图 2。

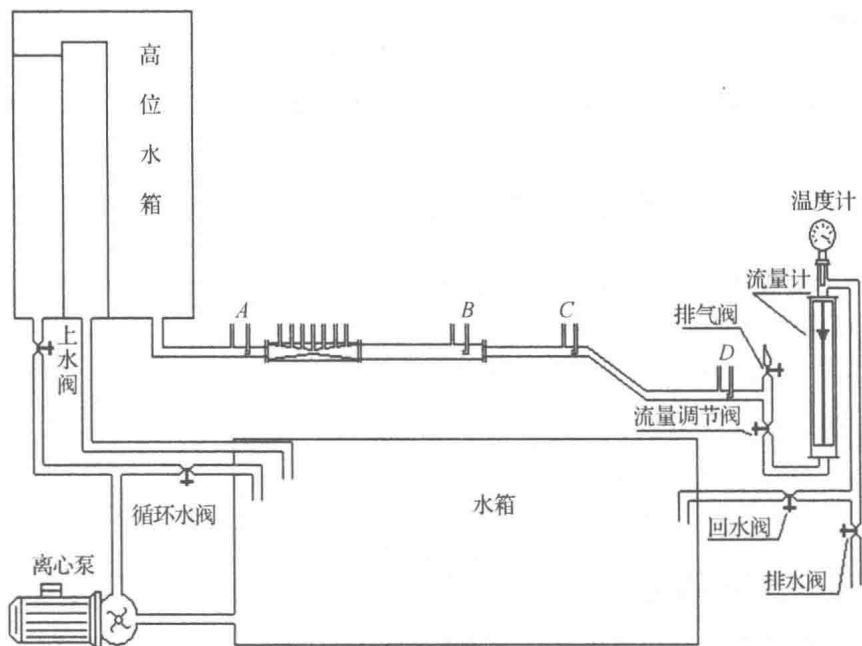


图 1 能量转化演示实验流程图

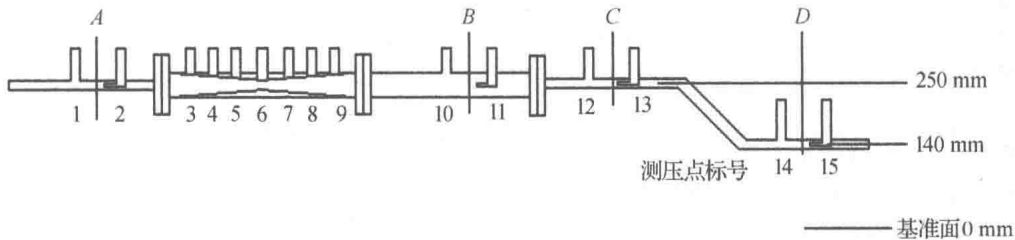


图 2 实验测试导管路图

实验设备的主要技术参数如下。

主体设备离心泵：型号 WB50/025。

低位槽尺寸：880 mm × 370 mm × 550 mm，不锈钢材质。

高位槽尺寸：445 mm × 445 mm × 730 mm，有机玻璃材质。

三、实验步骤

- (1) 将低位槽灌入一定量的蒸馏水，关闭离心泵出口的上水阀及实验测试导管出口的流量调节阀、排气阀、排水阀，打开回水阀和循环水阀后启动离心泵。
- (2) 逐步开大离心泵出口的上水阀，当高位槽溢流管中有液体溢流后，利用流量调节阀调节出水流量，稳定一段时间。
- (3) 待流体稳定后读取并记录各点数据。

- (4) 逐步关小流量调节阀, 重复以上步骤继续测定多组数据。
- (5) 分析讨论流体流过不同位置的能量转换关系并得出结论。
- (6) 关闭离心泵, 结束实验。

四、注意事项

- (1) 不要将离心泵出口的上水阀开得过大, 以免水流冲击到高位槽外, 导致高位槽液面不稳定。
- (2) 水流量增大时, 应检查一下高位槽内水面是否稳定, 当水面下降时要适当开大上水阀补充水量。
- (3) 调小水流量调节阀时要缓慢, 以免造成流量突然减小, 使测压管中的水溢出管外。
- (4) 注意排出实验导管内的空气泡。
- (5) 离心泵不要空转, 不要在出口阀门全关的条件下工作。

五、数据记录

实验完毕后将数据记录于表 1 中。

表 1 能量转化实验数据表

序号	压头	流量 500 L/h		流量 400 L/h		流量 300 L/h	
		压强测量值 /(mmH ₂ O)	压头 /(mmH ₂ O)	压强测量值 /(mmH ₂ O)	压头 /(mmH ₂ O)	压强测量值 /(mmH ₂ O)	压头 /(mmH ₂ O)
1	静压头	886	636	928	678	964	714
2	冲压头	932	682	967	717	978	728
3	静压头	871	621	916	666	957	707
4	静压头	868	618	914	664	954	704
5	静压头	838	588	896	646	944	694
6	静压头	753	503	842	592	912	662
7	静压头	827	577	890	640	940	690
8	静压头	837	587	894	644	944	694
9	静压头	842	592	898	648	946	696
10	静压头	843	593	898	648	945	695
11	冲压头	847	597	902	652	946	696
12	静压头	803	553	874	624	926	676
13	冲压头	844	594	897	647	944	694
14	静压头	757	617	842	702	911	771
15	冲压头	797	657	868	728	923	783

六、实验结果分析

在图 2 中, A 截面的直径为 14 mm, B 截面的直径为 28 mm, C 截面、 D 截面的直径为 14 mm; 以标尺的零刻度线为零基准面。 D 截面中心距基准面的距离为 $Z_D = 140$ mm; A 截面和 D 截面间的距离为 140 mm; A 、 B 、 C 截面 $Z_A = Z_B = Z_C = 250$ mm (即标尺为 250 mm)。

对实验数据分析如下。

1. 冲压头分析

冲压头为静压头与动压头之和。在实验中观测到,从测压点 2 到 11 截面上的冲压头减小,这符合式 (1) 所示的截面 2 至截面 11 的伯努利方程。

$$\left(\frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g}\right) = \left(\frac{p_{11}}{\rho g} + \frac{u_{11}^2}{2g}\right) + H_{f,2-11} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} H_{f,2-11} &= \left(\frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g}\right) - \left(\frac{p_{11}}{\rho g} + \frac{u_{11}^2}{2g}\right) \\ &= (932 - 250) - (847 - 250) = 85 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned} \quad (2)$$

2. 截面间的静压头分析 (同一水平面处静压头的变化)

截面 1、截面 10 处于同一水平位置,截面 10 的面积比截面 1 大,这样截面 10 处流体的流速比截面 1 处小。设流体从截面 1 流到截面 10 的压头损失为 $H_{f,1-10}$,在截面 1、截面 10 间列伯努利方程。

$$\left(\frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g}\right) = \left(\frac{p_{10}}{\rho g} + \frac{u_{10}^2}{2g}\right) + H_{f,1-10} \quad (Z_1 = Z_{10}) \quad (3)$$

$$\left(\frac{p_{10}}{\rho g} - \frac{p_1}{\rho g}\right) = \left(\frac{u_1^2}{2g} - \frac{u_{10}^2}{2g}\right) - H_{f,1-10} \quad (4)$$

两截面的静压头之差是由动压头的减小和两截面间的压头损失决定的,即 $\frac{u_1^2}{2g} - \frac{u_{10}^2}{2g} < H_{f,1-10}$ 。当实验导管出口的调节阀全开时,截面 1 处的静压头为 $886 - 250 = 636 \text{ mmH}_2\text{O}$,截面 10 处的静压头为 $843 - 250 = 593 \text{ mmH}_2\text{O}$, $p_A > p_B$,说明 A 处的动能转化为了静压能。

3. 截面间的静压头分析 (不同水平面处静压头的变化)

对于截面 12、截面 14,当出口阀全开时,截面 12 和截面 14 处的静压头分别为 $803 - 250 = 553 \text{ mmH}_2\text{O}$ 和 $757 - 140 = 617 \text{ mmH}_2\text{O}$,流体从测量点 12 流到测量点 14,静压头增大了 $64 \text{ mmH}_2\text{O}$ 。由于截面 12、截面 14 的截面积相等,动能相同,在 C 点和 D 间列伯努利方程如下。

$$\left(\frac{p_{14}}{\rho g} - \frac{p_{12}}{\rho g}\right) = (Z_{12} - Z_{14}) - H_{f,12-14} \quad (5)$$

可以看出,从截面 12 到截面 14 静压头的增大值取决于 $(Z_{12} - Z_{14})$ 和 $H_{f,12-14}$ 。当 $(Z_{12} - Z_{14})$ 大于 $H_{f,12-14}$ 时,静压头增值为正,反之静压头增值为负。

4. 压头损失的计算

以出口阀全开时 C 到 D 的压头损失和 $H_{f,C-D}$ 为例,在 C、D 两截面间列伯努利方程。

$$\frac{p_C}{\rho g} + \frac{u_C^2}{2g} + Z_C = \frac{p_D}{\rho g} + \frac{u_D^2}{2g} + Z_D + H_{f,C-D} \quad (6)$$

压头损失的算法之一是用冲压头来计算。

$$\begin{aligned} H_{f,C-D} &= \left[\left(\frac{p_C}{\rho g} + \frac{u_C^2}{2g}\right) - \left(\frac{p_D}{\rho g} + \frac{u_D^2}{2g}\right) \right] + (Z_C - Z_D) \\ &= (594 - 657) + (250 - 140) = 47 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned} \quad (7)$$

压头损失的算法之二是用静压头来计算 ($u_C = u_D$):

$$H_{t,C-D} = \left(\frac{p_C}{\rho g} - \frac{p_D}{\rho g} \right) + (Z_C - Z_D)$$
$$= (553 - 617) + (250 - 140) = 46 \text{ mmH}_2\text{O}$$

(8)

两种计算方法所得结果基本一致，说明所得实验数据是正确的。
测量点高度示意及能量转换位置—压强关系见图 3 和图 4。

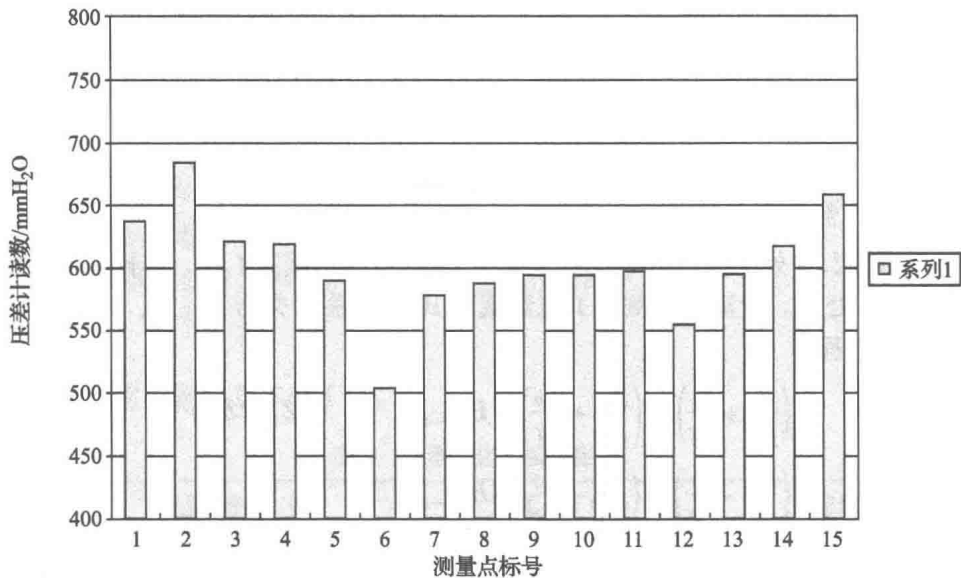


图 3 测量点高度示意图

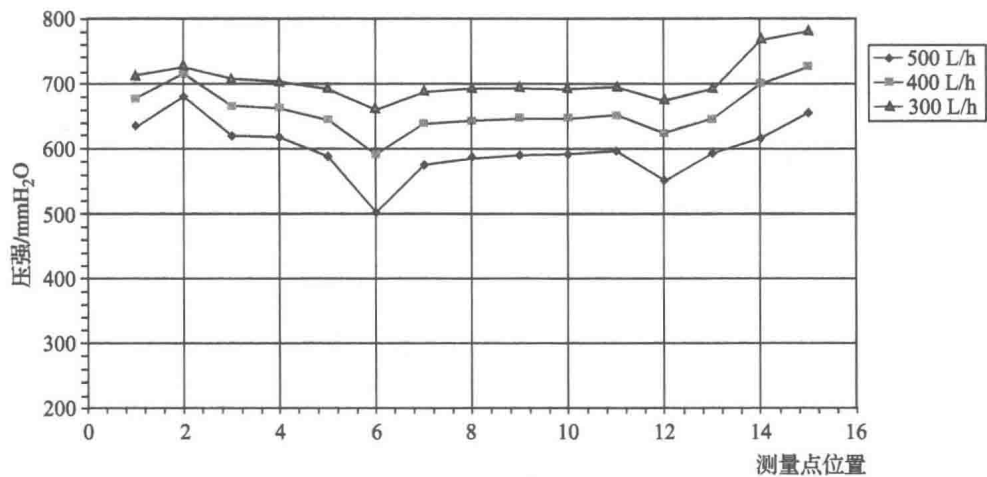


图 4 能量转换位置—压强图

5. 文丘里测量段分析结论

本实验 3~9 测量段为文丘里管路。3~6 横截面积依次减小，6~9 横截面积依次增大。测量点 6 为喉颈，横截面积最小。通过测量数据可以看出，由于横截面积不断减小，测量点 3~6 的流速逐渐增大，静压能转化为动能，得出结论测量点 3~6 静压头不断减小，在测量点 6 处横截面积最小、流速最大、静压头最小。反之，测量点 6~9 动能转化为静压能，静压能逐渐增大。

七、思考题

- (1) 压头的物理意义是什么？什么叫冲压头？写出其表达式。
- (2) 应用机械能守恒方程式应注意哪些问题？
- (3) 如何保证定态流动？
- (4) 流体在直管内作定态流动时，其平均流速 u 沿流程保持定值，并不因内摩擦而减小，这一说法是否正确？为什么？

实验四 化工流动过程综合实验

一、实验目的

- (1) 熟悉将流体阻力实验、离心泵性能实验、流量计流量系数测定实验有机结合在一起的多功能实验装置。
- (2) 熟悉光滑直管、粗糙直管的摩擦阻力系数与雷诺数的测量方法，并能绘制关系曲线。
- (3) 学习几种压差测量方法，理解流体流动阻力的概念。
- (4) 了解离心泵的结构、操作方法，掌握离心泵特性曲线的测定方法，掌握管路特性曲线的测定方法，并能绘制相应的曲线，加深对离心泵性能的理解。
- (5) 了解各种流量计（节流式、转子式、涡轮式）的结构、性能及特点，掌握其使用方法。掌握节流式流量计的标定方法，学会测定并绘制文丘里流量计的流量标定曲线（流量—压差关系），掌握流量系数和雷诺数之间的关系（ C_0-Re 关系）。

二、实验设备主要技术参数

1. 流体阻力部分

- (1) 被测直管段材料如下。

光滑管：不锈钢，管径 d 为 0.008 m，管长 l 为 1.690 m。

粗糙管：不锈钢，管径 d 为 0.010 m，管长 l 为 1.690 m。

局部系数测量管：不锈钢，管径 d 为 0.015 m，管长 l 为 1.690 m。

- (2) 玻璃转子流量计型号规格如下。

型号	测量范围	精度
LZB—25	100 ~ 1 000 L/h	1.5 级
LZB—10	10 ~ 100 L/h	2.5 级

- (3) 压差传感器：型号 LXWY，测量范围为 200 kPa。

- (4) 数字显示仪表选用宇电数字显示仪表，型号规格如下。

测量参数名称	仪表名称	数量
温度	AI—501B	1 个
压差	AI—501BV24	1 个
流量	AI—501BV24	1 个
功率	AI—501B	1 个

(5) 离心泵的型号为 WB70/055。

2. 流量计性能部分

流量测量采用文丘里流量计，文丘里喉径为 0.020 m。

实验管路管径为 0.043 m。

3. 离心泵性能部分

(1) 离心泵：型号 WB70/055，电机效率为 60%。

(2) 真空表：用于泵入口真空度的测量，测量范围为 $-0.1 \sim 0$ MPa，精度 1.5 级，真空表测压位置管内径 $d_A = 0.036$ m。

(3) 压力表：用于泵出口压力的测量，测量范围为 $0 \sim 0.25$ MPa，精度 1.5 级，压力表测压位置管内径 $d_{出} = 0.043$ m。

(4) 流量计：采用涡轮流量计，精度为 0.5 级。

(5) 两测压口之间的距离：真空表与压力表测压口之间的垂直距离 $h_0 = 0.280$ m。

4. 管路特性部分

变频器的型号为 N2—401—H，量程为 $0 \sim 50$ Hz。

三、实验装置

实验装置流程示意如图 1 所示。

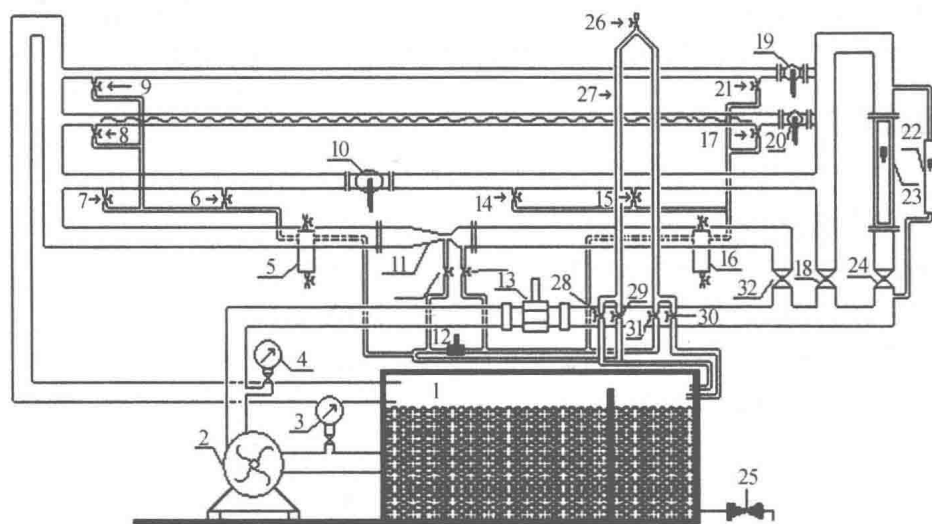


图 1 化工流动过程综合实验流程示意图

- 1—水箱；2—水泵；3—入口真空表；4—出口压力表；5、16—缓冲罐；6、14—测局部阻力近端阀；
7、15—测局部阻力远端阀；8、17—粗糙管测压阀；9、21—光滑管测压阀；10—局部阻力阀；
11—文丘里流量计（孔板流量计）；12—压力传感器；13—涡轮流量计；18、24、32—阀门；
19—光滑管；20—粗糙管阀；22—小转子流量计；23—大转子流量计；25—水箱放水阀
26—倒 U 形管放空阀；27—倒 U 形管；28、30—倒 U 形管排水阀；29、31—倒 U 形管平衡阀

实验装置仪表面板如图 2 所示。

(1) 流体阻力测量。水泵 2 将水箱 1 中的水抽出，送入实验系统，经玻璃转子流量计