

(此文档为 word 格式，下载后您可任意编辑修改！)

目录

实验一、流体阻力实验	2
实验二、柏努利实验	14
实验四、对流传热实验	18
实验五、板框压滤机过滤常数的测定	28
实验六、离心泵特性曲线实验	34
实验七、干燥实验	40
实验十、填料式精馏塔的操作	51
实验十二、振动筛板萃取实验	57

(此文档为 word 格式，下载后您可任意编辑修改！)

目录

实验一、流体阻力实验	2
实验二、柏努利实验	14
实验四、对流传热实验	18
实验五、板框压滤机过滤常数的测定	28
实验六、离心泵特性曲线实验	34
实验七、干燥实验	40
实验十、填料式精馏塔的操作	51
实验十二、振动筛板萃取实验	57

中南大学

化工原理实验报告

化学化工院 院系 _____ 专业 _____ 班级

姓名 _____ 学号 _____ 同组者

实验日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日 指导教师

实验一、流体阻力实验

一、实验目的

1. 学习直管摩擦阻力 ΔP_f 、直管摩擦系数 λ 的测定方法。
2. 测定、对比光滑 Dg40 ($\phi 45 \times 2.5\text{mm}$)、Dg32、Dg20 直管、 $\phi 18$ 粗糙直管和 Dg8 光滑管的阻力系数与雷诺数的关系。
3. 测定弯头、阀门等局部阻力系数 ξ 与雷诺数 Re 之间关系。
4. 测量流量计校正系数与雷诺数 Re 之间关系以及流速的几种测量方法。
5. 掌握坐标系的选用方法和对数坐标系的使用方法。

二、实验原理

1. 直管阻力与局部阻力实验

流体阻力产生的根源是流体具有粘性，流动时存在内摩擦。而壁的形状则促使流动的流体内部发生相对运动，为流动阻力的产生提供了条件，流动阻力的大小与流体本身的物理性质、流动状况及壁面的形状等因素有关。流动阻力可分为直管阻力和局部阻力。

流体在流动过程中要消耗能量以克服流动阻力。因此，流动阻力的测定颇为重要。从流程图可知水从贮槽由泵输入恒位水槽，再流经管道，经计量槽计量后回到水槽，循环利用。改变流量并测定直管与管件的相应压差，即可测得流体流动阻力。

2. 直管阻力摩擦系数 λ 的测定

直管阻力是流体流经直管时，由于流体的内摩擦而产生的阻力损失

h_f 。

对于等直径水平直管段根据两测压点间的柏努利方程有：

式中： l — 直管长度 (m)

d — 管内径 (m)

ΔP — 流体流经直管的压强降 (Pa)

u — 流体截面平均流速 (ms)

ρ — 流体密度 (kgm^3)

由式 (1 - 1) 可知，欲测定 λ ，需知道 l 、 d 、 $(P_1 - P_2)$ 、 u 、 ρ 等。

1) 若测得流体温度，则可查得流体的 ρ 值。

2) 若测得流量，则由管径可计算流速 u 。

两测压点间的压降 ΔP ，可由仪表直接读数。

3. 局部阻力系数 ζ 的测定

局部阻力主要是由于流体流经管路中管件、阀门及管截面的突然扩大或缩小等局部位置时所引起的阻力损失，在局部阻力件左右两侧

的测压点间列柏努利方程有：

$$(1-4)$$

即：

式中： ζ — 局部阻力系数

ΔP — 局部阻力压强降 (Pa)

式 (1 - 4) 中 ρ 、 u 、 ΔP 等的测定同直管阻力测定方法。

$$gz_1 + \frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho}$$

4. 文丘里流量计与孔板流量计

文丘里流量计和孔板流量计是应用最广泛的节流式流量计。当流体通过孔板或文丘里时由于流道的缩小，使流速增加，即增加了液体的动能，从而降低了流体的势能，利用压降的变化，可以测量流体的流速，根据柏努利原理，可以得到如下计算公式：

式中： Q ——流量计流量， m^3/s ；

——流量系数，无因次；

A ——喉管（孔口）的截面积；

ρ ——流体密度， kg/m^3 ；

ΔP ——压力差， Pa 。

文丘里流量计的相关数据：

喉管直径：27mm 流量系数：0.99

孔板流量计的相关数据：

孔口直径：18.5mm 流量系数：0.78

其中不仅与（孔口与管道截面积比）有关，而且还与孔板的结构形状、加工进度、流体在管内雷诺数、取压方式以及管壁面的粗糙度等诸多因素有关，所以只能通过实验测定求得，才能利用公式得出流速、流量。

三、实验装置

实验装置：JK-LDZ 流体流动阻力实验装置，湘潭金凯化工装备技术有限公司

1、光滑管有 Dg40、Dg25、Dg20、Dg8， $\phi 18$ Dg15 粗糙管、管长 2000mm，测压点距离 1500mm。

2、水泵型号为 50SGR10-15 型管道式离心泵，流量：10m³，功率 0.75KW。

3、弯头阻力管 Dg25。突扩、突缩，内径分别为 25mm 变 32mm，32mm

变 22mm。

4、差压测量：采用 ZQ501 差压传感器采集信号，电控箱仪表显示，精度：0.3%FS，共六套传感器。

5、流量测量：涡轮流量计（单位 m³、孔板流量计孔径 \varnothing 18.5mm。

6、显示仪表；差压显示采用智能数字显示报警仪，温度显示采用 XMZA 数显仪表。

四、实验步骤

1. 实验操作前先仔细阅读说明书，然后依次检查实验装置的各个部件，了解其名称与作用，并检查是否正常。
2. 向蓄水箱加水，测量并记录实验时的水温，关闭管路上所有阀门包括测压点上的小阀门，待仪器运转正常以后再开启需要测量压差的测压点的小阀门。
3. 打开所需实验的测量管路，接通电源，按下电源开关、按下离心泵启动开关启动离心泵，缓慢调节离心泵出口阀门，如果突然开大流量会损坏涡轮流量计，观察并记录实验数据，实验过程中用泵前阀调节流量，但流量不能调节得太小，每调节一次流量待数据稳定以后方可记录。
4. 若实验只需测量两至三组管路，可关闭其它管路中测压点的小阀门。在测量管路压差要注意几点：差压传感器分高压端和低压端，传感器的 H 一端为高压端、L 为低压端，使用中如果仪表出现负数只需要将两端取压管互换即可。
5. 实验过程中可以关闭不需要测量的测压点，只需关闭测压点上的小阀门即可。这样一只差压传感器就可以测量几组测压点的压差了。
6. 实验完毕以后注意断水断电。

五、实验数据及处理

(1) 数据记录

1. 直管阻力摩擦系数 λ 的测定

①. ϕ 25*2.5 mm

	ΔP (KPa)	V_s (m ³ h)	V_s (m ³ s) *10 ⁻³	λ	$\lg \lambda$	$\lg Re$
1	27.3	6.32495	1.75693	0.	-1.63295	4.93200
2	24.2	5.89635	1.63788	0.	-1.62435	4.90152
3	17.6	4.99836	1.38843	0.	-1.61914	4.82977
4	13.7	4.01580	1.11550	0.	-1.53782	4.73471
5	12.3	3.34920	0.930056	0.	-1.42671	4.65547
6	11.7	2.64890	0.735806	0.	-1.24494	4.55400
7	11.2	1.94820	0.541167	0.100683	-0.99704	4.42057
8	9.5	1.15326	0.320350	0.243710	-0.61312	4.19287

②. ϕ 42*3.5mm

	ΔP (KPa)	V_s (m ³ h)	V_s (m ³ s) *10 ⁻³	λ	$\lg \lambda$	$\lg Re$
1	6.2	16.2532	4.51478	0.	-1.8812	5.0988
2	5.1	14.1119		0.	-1.8434	5.0374
3	4.1	11.5183	3.19953	0.	-1.7618	4.9492
4	3.2	9.85240	2.73678	0.	0	9

					-1.7337	4.8814
					4	4
5	2.1	7.11644	1.97679	0.	-1.6341	4.7401
					1	6
6	1.4	5.29320	1.47033	0.	-1.5531	4.6116
					1	2
7	0.7	3.55321	0.987003	0.	-1.5079	4.4385
					5	2
8	0.3	1.80642	0.501783	0.	-1.2882	4.1447
					5	2

2. 局部阻力系数 ζ 的测定

ΔP (KPa)	V_s (m ³ h)	V_s (m ³ s) *10 ⁻³	u (ms)	ζ	$\lg \zeta$	$\lg Re$
12.5	8.65678	2.40466	6.3258	0.62493	-0.20416	5.0269
			5	2	8	0
10.3	7.72632	2.14620	5.6459	0.64643	-0.18947	4.9775
			2	9	2	2
8.9	6.85626	1.90452	5.0101	0.70933	-0.14914	4.9256
			4	5	9	3
6.5	5.74920	1.57900	4.2011	0.73677	-0.13266	4.8497
			6	4	6	5
4.9	4.85632	1.34898	3.5487	0.77842	-0.10878	4.7758
			0	7	2	5
3.7	3.87479	1.07633	2.8314	0.92329	-0.03465	4.6777

6

6

9

9

2.3	2.77908	0.771967	2.0307	1.11574	0.	4.533
			8			5
1.5	1.82345	0.506514	1.3324	1.69020	0.227939	4.350
			6			4

3. 文丘里流量计与孔板流量计

① 文丘里流量计

	ΔP (KPa)	V_s (m ³ h)	V_s (m ³ s) *10 ⁻³	c	lgc	lgRe
1	19.0	12.3587	3.43297	2.0714	0.31628	5.0925
				8	0	8
2	17.3	11.6701	3.24169	2.0499	0.30427	5.0676
				1	6	8
3	13.1	9.98223	2.77284	2.0150	0.30427	4.9998
				0	6	3
4	9.3	8.28901	2.30250	1.9858	0.29794	4.9191
				4	4	1
5	7.2	7.20330	2.00092	1.9613	0.29255	4.8581
				3	0	4
6	5.0	6.11258	1.69794	1.9398	0.28777	4.7868
				6	1	3
7	3.9	5.42283	1.50634	1.9332	0.28628	4.7348
				3	5	3

②. 孔板流量计

	ΔP (KPa)	V_s (m ³ h)	V_s (m ³ s) *10 ⁻³	c	lgc	lgRe
1	138.8	12.3587	3.43297	0.35981	-0.44392	5.2567
				4	2	7
2	127.9	11.6701	3.24169	0.35394	-0.45106	5.2318
				7	1	7
3	98.5	9.98223	2.77284	0.34325	-0.46438	5.1640
				4	4	2
4	71.2	8.28901	2.30250	0.33694	-0.47243	5.0833
				7	8	0
5	56.3	7.20330	2.00092	0.32928	-0.48242	5.0223
				9	2	2
6	43.1	6.11258	1.69794	0.31936	-0.49574	4.9510
				4	1	2
7	34.5	5.42283	1.50634	0.31667	-0.49938	4.8990
				7	4	2

以以上表格中数据 2 来计算

1. 直管阻力摩擦系数 λ 的测定

① . $\phi 25*2.5$ mm

已知 $\rho = 999.7 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1. \text{ mPa}\cdot\text{s}$, $d = 0.020 \text{ m}$, $L = 1.5 \text{ m}$,

$$u = \frac{V_s}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{1.63788 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.020^2} = 5.21352 \text{ (m/s)}$$

$$= \frac{0.02 \times 5.21352 \times 999.7}{1.3077 \times 10^{-3}} = 79711.80$$

$$\lambda = \frac{2d \Delta P}{\rho u^2 L} = \frac{2 \times 0.020 \times 24.2 \times 1000}{999.7 \times 1.5 \times 5.21352^2} = 0.0237490$$

② . $\phi 42*3.5$ mm

已知 $d=0.035$ ，其他条件不变

$$u = \frac{V_s}{\pi/4 d^2} = \frac{2.40466 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.022^2} = 4.07433(\text{ms})$$

$$\frac{0.02 \times 4.07433 \times 999.7}{1.3077 \times 10^{-3}} = 109014.89$$

$$\lambda = \frac{2d \Delta P}{\rho u^2} = \frac{2 \times 0.035 \times 5.1 \times 1000}{999.7 \times 1.5 \times 4.07433^2} = 0.0143415$$

2. 局部阻力系数 ζ 的测定

已知 $d=0.022\text{m}$

$$u = \frac{V_s}{\pi/4 d^2} = \frac{2.41620 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.022^2} = 5.64592(\text{m/s})$$

$$\text{Re} = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{0.022 \times 5.64592 \times 999.7}{1.3077 \times 10^{-3}} = 9495525$$

$$\zeta = \frac{2\Delta P}{\rho u^2} = \frac{2 \times 10.3 \times 1000}{999.7 \times 5.64592^2} = 0.646439$$

3. 文丘里流量计与孔板流量计

① 文丘里流量计

已知 $d=0.027\text{m}$,

$$u = \frac{V_s}{\pi/4 d^2} = \frac{3.43297 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.027^2} = 5.99892(\text{m/s})$$

$$\text{Re} = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{0.027 \times 5.99892 \times 999.7}{1.3077 \times 10^{-3}} = 11686364$$

$$c = \frac{Q}{\pi/4 d^2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}} = \frac{3.24169 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.027^2 \times \sqrt{\frac{2 \times 17.3 \times 1000}{999.7}}} = 2.04991$$

②. 孔板流量计

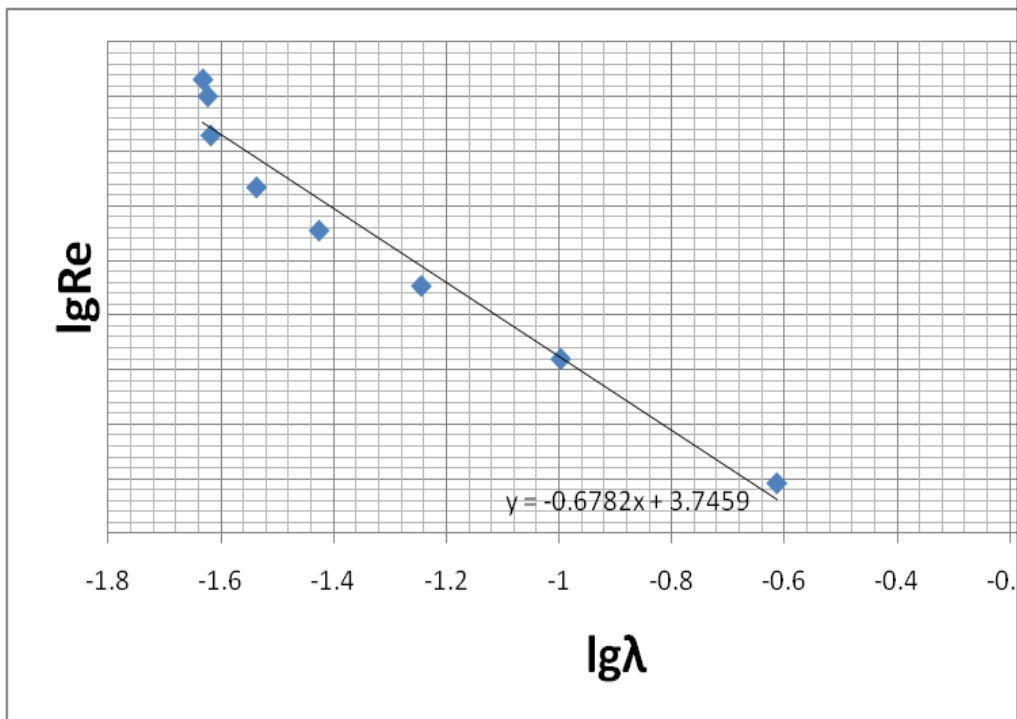
已知 $d=0.0185\text{m}$

$$u = \frac{Vs}{\pi/4 d^2} = \frac{3.43297 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.0185^2} = 12.7778 (m/s)$$

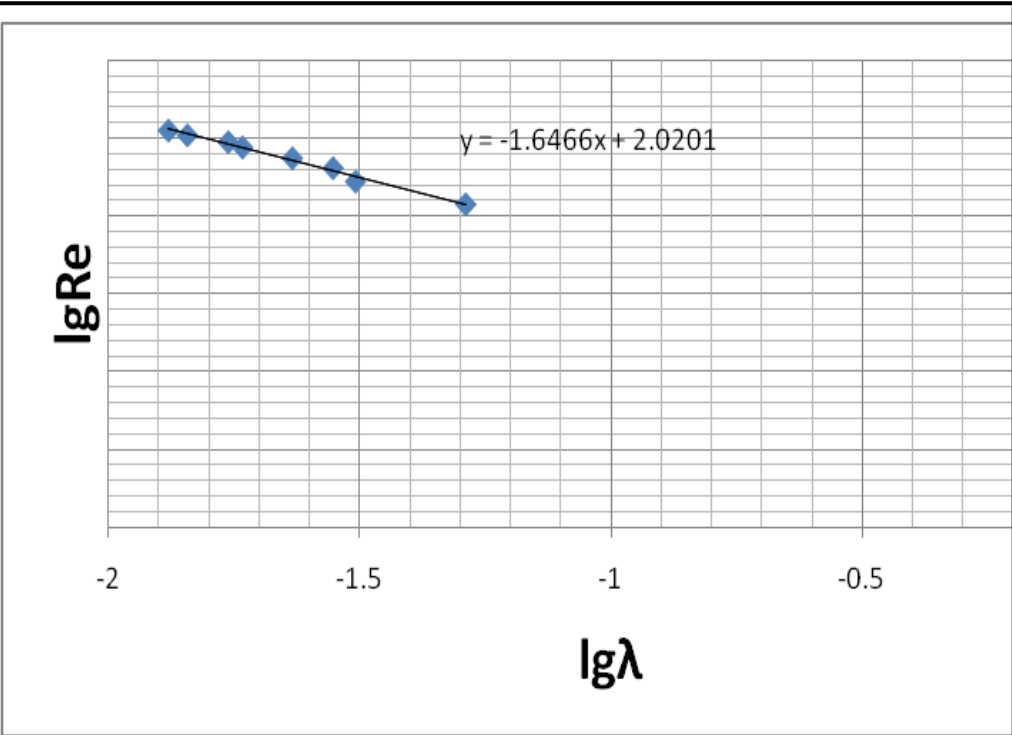
$$Re = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{0.0185 \times 12.7778 \times 999.7}{1.3077 \times 10^{-3}} = 17055774$$

$$c = \frac{Q}{\pi/4 d^2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}} = \frac{3.24169 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.0185^2 \times \sqrt{\frac{2 \times 127.9 \times 1000}{999.7}}} = 0.353947$$

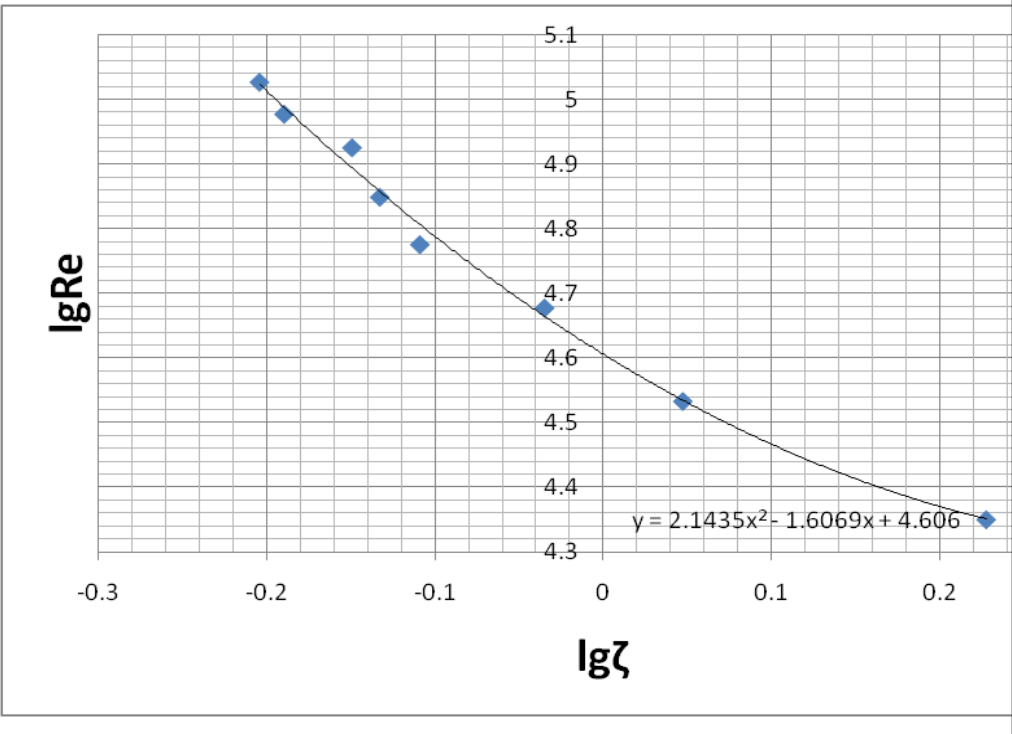
分别由 $\lg \lambda \sim \lg Re$ 、 $\lg \zeta \sim \lg Re$ 、 $\lg c \sim \lg Re$ 作关系曲线：



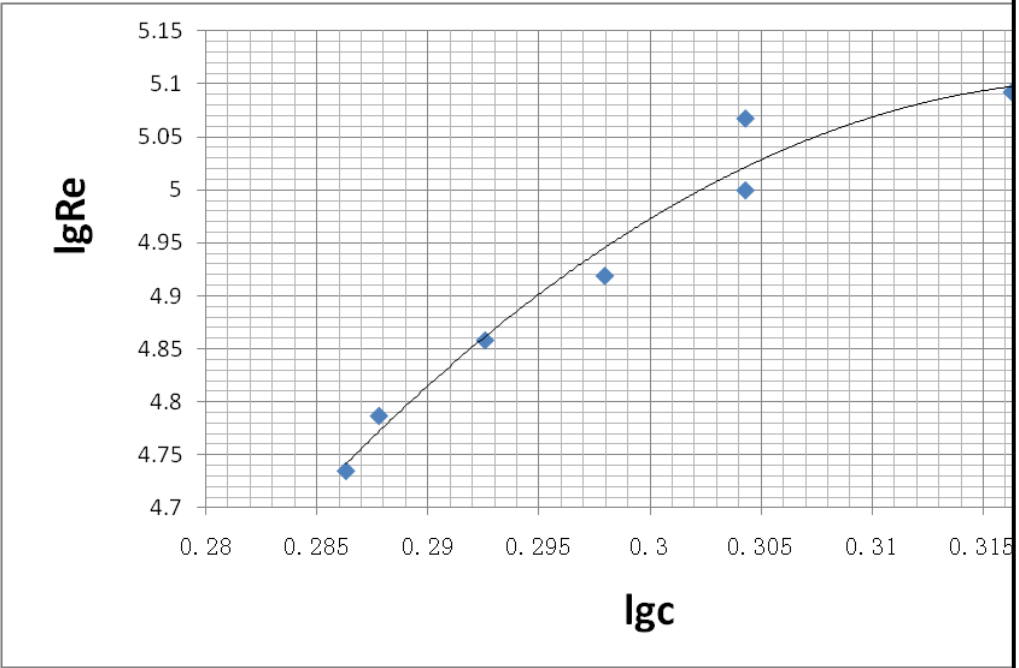
$\phi 25 \times 2.5 \text{ mm}$



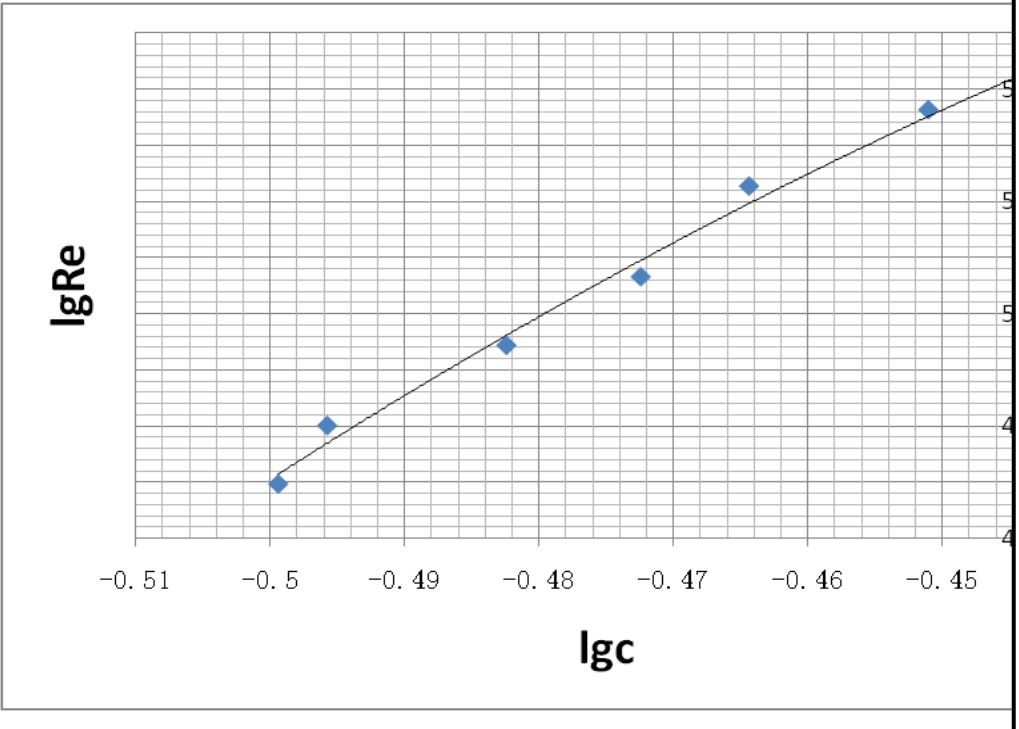
Φ 42*3.5 mm



弯头



文丘里流量计



孔板流量计

根据处理结果可得：

(1) 由图 1 知曲线方程为 $y = -0.6782x + 3.7459$ ，理论上用柏拉修斯公式表示则为： $y = -0.25x - 0.4998$ ，与理论较为接近

(2) 由图 2 知曲线方程为 $y = -1.6466x + 2.0201$ ，理论上用柏拉修斯公式表示则为： $y = -0.25x - 0.4998$ 。

(3) 由图 3 知曲线方程为 $y = 2.1435x^2 - 1.6069x + 4.606$ ，与理论值相差较大。

(4) 由图 4、5 可以看出： c 先随 Re 的增大而增大，到一定值后，就不随 Re 的改变而改变，与理论相符合。

六、结果与讨论

(1) 注意事项

1. 注意实验一段时间后须清洗水箱，更换水质，避免污垢过多影响实验现象。

2. 做完实验后的水应排入地沟，避免冬天因水温过低而冻裂水管。

3. 定期检查各测压点有无漏气现象，更换乳胶管或者用尼绒扎带捆紧乳胶管与测压点和测压管的接口。

(2) 思考题

1. 本实验用水为工作介质做出的 $\lambda \sim Re$ 曲线，对其它流体能否适用？为什么？

答：适用于其他流体。因为光滑管的阻力系数 λ 只与雷诺数 Re 有关，故对其他的流体一样

2. 本实验是测定等直径水平直管的流动阻力，若将水平管改为流体自下而上流动的垂直管，从测量两取压点间压差的倒置 U 形管读数 R 到 ΔP_f 的计算过程和公式是否与水平管完全相同？为什么？

答：过程一样，公式相同， R 值的计算结果不同。通式

$p_1 - p_2 = (\rho_A - \rho_B)gR + \rho_Bgz$ 水平放置： $z=0$ ，，垂直放置： $z=L$ （管

长） $p_1 - p_2 = (\rho_A - \rho_B)gR + \rho gL$

3. 在不同设备上（包括相对粗糙度相同而管径不同）、不同温度下测定的数据是否能关连在一条曲线上？为什么？

答：不能。因为 λ 与 Re 有关，粗糙度或管径任何一个发生改变都会影响 λ

的值。而 Re 与流体的密度、粘度等有关，温度改变会引起密度、粘度的改变，所以会影响 Re 的值。因此，在不同设备上（包括相对粗糙度相同而管径不同）、不同温度下测定的数据不能关连在一条曲线上。

中 南 大 学

实验二、柏努利实验

一、实验目的

1. 研究流体各种形式能量之间关系及转换, 加深对能量转化概念的理解;
2. 深入了解柏努利方程的意义。

二、实验原理

1. 不可压缩的实验液体在导管中作稳定流动时, 其机械能守恒方程式为:

$$z_1 g + \frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + W_e = z_2 g + \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + \sum h_f \quad (1)$$

式中: u_1 、 u_2 一分别为液体管道上游的某截面和下游某截面处的流速, ms;

P_1 、 P_2 一分别为流体在管道上游截面和下游截面处的压强, Pa;

z_1 、 z_2 一分别为流体在管道上游截面和下游截面中心至基准水平的垂直距离, m;

ρ 一流体密度, Kgm;

W_e —液体两截面之间获得的能量, JKg

g 一重力加速度, ms²;

$\sum h_f$ 一流体两截面之间消耗的能量, JKg。

JKg。

2. 理想流体在管内稳定流动, 若无外加能量和损失, 则可得到:

$$z_1 g + \frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = z_2 g + \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} \quad (2)$$

表示 1kg 理想流体在各截面上所具有的总机械能相等, 但各截面上每一种形式的机械能并不一定相等, 但各种形式的机械能之和为常数, 能量可以相互转换。

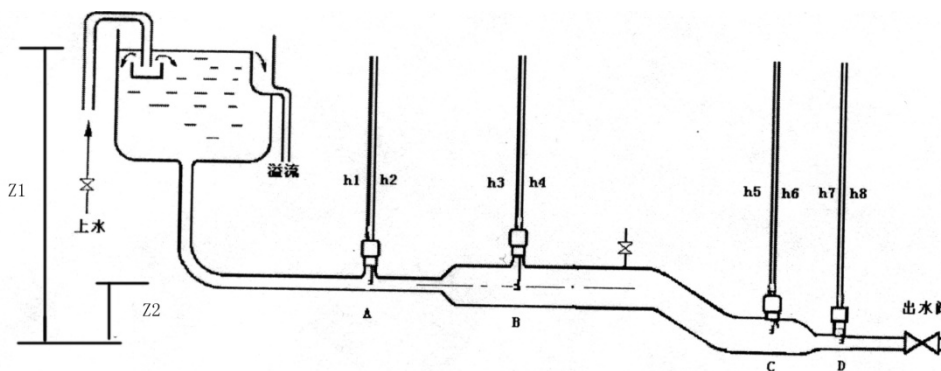
3. 流体静止, 此时得到静力学方程式:

(3)

所以流体静止状态仅为流动状态一种特殊形式。

三、实验装置及流程

试验前，先关闭试验导管出口调节阀，并将水灌满流水槽，然后开启调节阀，水由进水管送入流水槽，流经水平安装的试验导管后，试验导管排出水和溢流出来的水直接排入下水道。流体流量由试验导管出口阀控制。进水管调节阀控制溢流水槽内的溢流量，以保持槽内液面稳定，保证流动系统在整个试验过程中维持稳定流动。



四、实验步骤

1. 静止流体内任一点压强的计算

定量测定流体内任一点的静压强，操作方法同演示部分 1。关闭出口阀门，根据式 (3)，只要测得 Z_1 、 Z_2 高度，可求得 P_c 。

2. 流量一定，确定流体各截面静压能。

接演示部分，试验导管内流量达到稳定后，取一量筒和秒表，在导管出口，用体积法测流量，并对压差计读数进行校核看是否与式 (2) 计算结果相等。

3. 计算 A、C 截面的静压能，并与静止状态时静压能数值进行比较。

五、实验数据及处理

实验设备基本参数 $d_1=30\text{ mm}$, $d_2=18\text{ mm}$

(1) 数据记录

序号	h_1 , Pa	h_2 , Pa	h_3 , Pa	h_4 , Pa	h_5 , Pa	h_6 , Pa	h_7 , Pa	h_8 , Pa	V, m
1	3460	3480	3450	3460	3450	3460	3440	3470	1000
2	3440	3470	3410	3410	3405	3510	3360	3410	1000
3	3290	3330	3280	3280	3280	3290	3200	3250	1000

(2) 数据处理

组 1: 由式计算得,

选取截面 CD 为基准面

$$E_3 = Z_2 g + \frac{u_1^2}{2} + \frac{P_3}{\rho} = Z_2 g + \frac{0.04910^2}{2} + \frac{3.450/10.33}{1000} \times 101325 = 33.84 + Z_2 g$$

$$E_7 = \frac{u_2^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{0.1364^2}{2} + \frac{3.440/10.33}{1000} \times 101325 = 33.75(J/Kg)$$

组 2: 由式计算得,

$$E_1 = Z_2 g + \frac{u_2^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = Z_2 g + \frac{0.2059^2}{2} + \frac{3.440/10.33}{1000} \times 101325 = 33.76 + Z_2 g$$

$$E_3 = Z_2g + \frac{u_1^2}{2} + \frac{P_3}{\rho} = Z_2g + \frac{0.07412^2}{2} + \frac{3.410/10.33}{1000} \times 101325 = 33.45 + Z_2g$$

$$E_5 = \frac{u_1^2}{2} + \frac{P_5}{\rho} = \frac{0.07412^2}{2} + \frac{3.405/10.33}{1000} \times 101325 = 33.40(J/Kg)$$

$$E_7 = \frac{u_2^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{0.2059^2}{2} + \frac{3.360/10.33}{1000} \times 101325 = 32.98(J/Kg)$$

组 3: 由式计算得,
选取截面 CD 为基准面

$$E_1 = Z_2g + \frac{u_2^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = Z_2g + \frac{0.2232^2}{2} + \frac{3.290/10.33}{1000} \times 101325 = 32.30 + Z_2g$$

$$E_3 = Z_2g + \frac{u_1^2}{2} + \frac{P_3}{\rho} = Z_2g + \frac{0.08035^2}{2} + \frac{3.280/10.33}{1000} \times 101325 = 32.18 + Z_2g$$

$$E_5 = \frac{u_1^2}{2} + \frac{P_5}{\rho} = \frac{0.08035^2}{2} + \frac{3.280/10.33}{1000} \times 101325 = 32.18(J/Kg)$$

$$E_7 = \frac{u_2^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = \frac{0.2232^2}{2} + \frac{3.320/10.33}{1000} \times 101325 = 31.41(J/Kg)$$

由上述结果得 ,

六、 结果与讨论

1. 管内的空气泡会干扰实验现象, 请问怎样排除?

答: 调节实验导管出口阀, 使导管内水的流速足够大。

2. 试解释所观察到的实现现象。

答: a、导管内水的流速增加时, 各液柱高度减小, 这是因为流速增加, 水的动能增加, 增加的动能有静压能转换而来, 所以液柱的高度会减小。

b、在保持溢流状态时，流速一定，则液柱高度稳定，而水槽未保留溢流状态，则液柱高度会逐渐下降，这是由于水槽液位下降，使导管内液体流速发生改变，所以液柱高度会发生变化。

3. 实验结果是否与理论结果相符合？解释其原因。

答：实验结果与理论不相符合，因为液体不是理想状态，在管内流动是要克服阻力做功，使液体的机械能逐渐减小。

4. 比较并列 2 根测压管 (h_1 与 h_2 、 h_3 与 h_4 、 h_5 与 h_6 、 h_7 与 h_8) 液柱高低，解释其原因。

答：<，<，<，<在测压管，，，的测压孔正对水流方向，液位高度表示静压头和动压头之和，而测压管，，，的液位高度表示静压头，<，<，<。

中南大学

实验四、对流传热实验

一、实验目的

1.通过对空气—水蒸气光滑套管换热器的实验研究，掌握对流传热系数 α_1 的测定方法，加深对其概念和影响因素的理解。并应用线性回归分析方法，确定关联式 $Nu=ARemPr^{0.4}$ 中常数 A、m 的值。

2.通过对管程内部插有螺纹管的空气—水蒸气强化套管换热器的实验研究，测定其准数关联式 $Nu=BRem$ 中常数 B、m 的值和强化比 Nu/Nu_0 ，了解强化传热的基本理论和基本方式。

二、实验原理

1. 准数关联

影响对流传热的因素很多，根据因次分析得到的对流传热的准数关联为：

$$Nu=CRem^nPr^nGr^l$$

(1)

式中 C、m、n、l 为待定参数。

参加传热的流体、流态及温度等不同，待定参数不同。目前，只能通过实验来确定特定范围的参数。本实验是测定空气在圆管内作强制对流时的对流传热系数。因此，可以忽略自然对流对传热膜系数的影响，则 Gr 为常数。在温度变化不太大的情况下，Pr 可视为常数。所以，准数关联式 (1) 可写成

$$Nu = CRe^m \quad (2)$$

待定参数C和m可通过实验测定蒸汽、空气的有关数据后，对式(2)取对数，回归求得直线斜率和截距。

2. 传热量计算

努塞尔数Nu或 α_1 无法直接用实验测定，只能测定相关的参数并通过计算求得。当通过套管环隙的饱和蒸汽与冷凝壁面接触后，蒸汽将放出冷凝潜热，冷凝成水，热量通过间壁传递给套管内的空气，使空气的温度升高，空气从管的末端排出管外，传递的热量由(3)式计算。

$$Q = W_0 c_{p0} (t_2 - t_1) = V \rho_1 c_{p0} (t_2 - t_1)$$

(3)

根据热传递速率

$$Q = KS \Delta t_m$$

(4)

所以 $KS \Delta t_m = V \rho_1 c_{p0} (t_2 - t_1)$

(5)

式中：Q——换热器的热负荷（即传热速率），kJ/s；

W_0 ——冷流体的质量流量，kg/s；

V——冷流体（空气）的体积流量，m³/s；

ρ_1 ——冷流体（空气）的密度，kg/m³；

K——换热器总传热系数，W/(m²·°C)；

c_{p0} ——冷流体（空气）的平均比定压热容，kJ/(kg·K)；

S——传热面积，m²；

Δt_m ——蒸汽与空气的对数平均温度差，°C。

空气的流量及两种流体的温度等可以通过各种测量仪表测得。综合上面各式即可算出传热总系数K。

3. 传热膜系数的计算

当传热面为平壁或者当管壁很薄时，总的传热阻力和传热分阻力的关系可表示为：

式中： α_1 ——空气在圆管中强制对流的传热膜系数， $W (m^2 \cdot ^\circ C)$ ；

α_2 ——蒸汽冷凝时的传热膜系数， $W (m^2 \cdot ^\circ C)$ 。

当管壁热阻可以忽略（内管为黄铜管而且壁厚 b 较薄，黄铜导热系数 λ 比较大）时，

(7)

蒸汽冷凝传热膜系数远远大于空气传热膜系数，则 $K \approx \alpha_1$ 。因此，只要在实验中测得冷、热流体的温度及空气的体积流量，即可通过热衡算求出套管换热器的总传热系数 K 值，由此求得空气传热膜系数 α_1 。

4. 努塞尔数和雷诺数的计算

$$Re = \frac{d u \rho_1}{\mu} = \frac{d V \rho_1}{\frac{\pi}{4} d^2 \mu} = \frac{V \rho_1}{\frac{\pi}{4} d \mu} \quad (8)$$

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} = \frac{K d}{\lambda} = \frac{V \rho_1 c_{pc} (t_2 - t_1) d}{\lambda S \Delta t_m} \quad (9)$$

式中： λ ——空气导热系数， $W (m \cdot ^\circ C)$ ；

μ ——空气的粘度， $Pa \cdot s$ ；

d ——套管换热器的内管平均直径， m ；

ρ_1 ——进口温度 t_1 时的空气密度， kgm^3 。

由于热阻主要集中在空气一侧，本实验的传热面积 S 取管子的内表面较为合理，即

$$S = \pi d l$$

本装置 $d=0.0178\text{ m}$, $l=1.327\text{ m}$ 。

5. 空气流量和密度的计算

空气密度 ρ_1 可按理想气体计算:

式中: p_a ——当地大气压, Pa ;

t ——孔板流量计前空气温度, $^{\circ}\text{C}$, 可取 $t=t_1$;

空气的流量由 14 喷嘴流量计测量, 合并常数后, 空气的体积流量可由 (11) 式计算

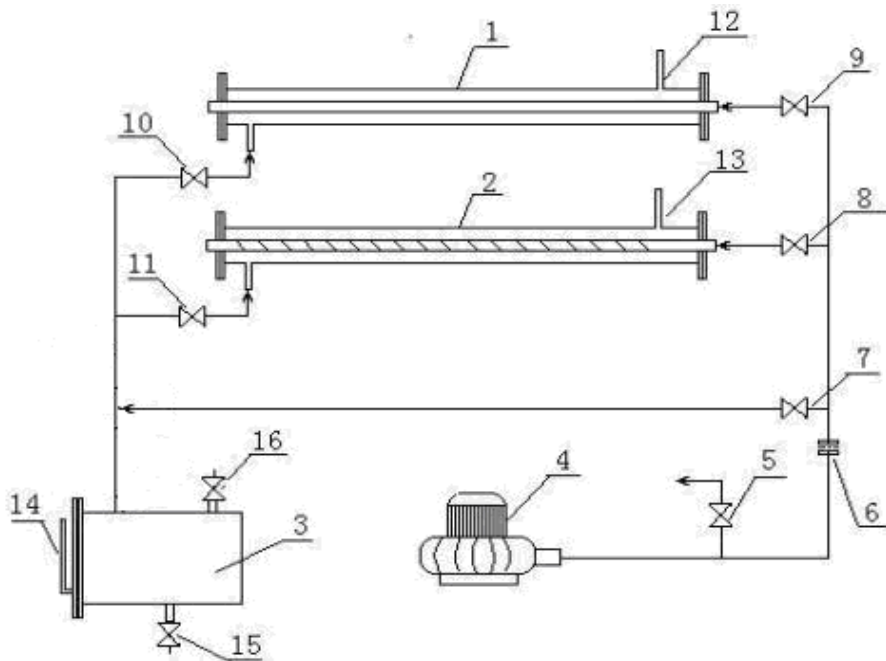
$$(11)$$

式中: C_0 ——合并整理的流量系数, 其值为 $C_0=0.001233$;

R ——喷嘴流量计的压差计示值, mmH_2O 。

V_1 ——空气的体积流量, m^3s 。

三、实验装置图



空气-水蒸气传热综合实验装置流程图

1—光滑套管换热器；2—螺纹管的强化套管换热器；3—蒸汽发生器；

4—旋涡气泵；

5—旁路调节阀；6—孔板流量计；7、8、9—空气支路控制阀；10、11—

蒸汽支路控制阀；12、13—蒸汽放空口；15—放水口；14—液位计；

16—加水口；

四、实验步骤

1. 实验前的准备

(1) 向电加热釜加水至液位计上端红线处。

(2) 检查空气流量旁路调节阀是否全开。

(3) 检查普通管支路各控制阀是否已打开，保证蒸汽和空气管路的畅通。

(4) 接通电源总闸，设定加热电压，启动电热锅炉开关，开始加热。

2. 实验开始

(1) 当蒸汽压力稳定后, 启动旋涡气泵并运行一段时间, 保证实验开始时空气入口温度 ($^{\circ}\text{C}$) 稳定。

(2) 调节空气流量旁路阀的开度或主阀开度, 使孔板流量计的压差计读数为所需的空气流量值。

(3) 稳定 5—8 分钟左右读取压差计读数, 读取空气入口、出口的温度值、(温度测量可采用热电偶或温度计)、空气压力值 p_1 、空气入口、出口之间压力差 p_2 、蒸汽温度值 t_3 及压力值 p_3 , 孔板流量计读数 p_4 。

(4) 调节空气流量, 重复 (3) 与 (4) 共测 6—10 组数据 (注意: 在空气入口、出口之间压力差 p_2 最大值与最小值之间可分为 6—10 段)。

(5) 实验过程, 要尽可能保证蒸汽温度或压力稳定, 在蒸汽锅炉加热过程 (蒸汽温度或压力变化较大) 不要记录数据。

3. 实验结束

(1) 关闭加热器开关。

(2) 过 5 分钟后关闭鼓风机, 并将旁路阀全开。

(3) 切断总电源。

五、实验数据及处理

(1) 数据记录

1. 螺纹管

号	空气入口 温度值	空气出口 温度值	空气入口 压力值 p_1	空气入出口 压力差 p_2	蒸汽温 度值 t_3	蒸汽 压力 p_3	孔板 计读
16		82.5	6670	104	125	0.15	3
18		87.9	5810	140	125	0.15	4
20		100.0	5275	179	125	0.15	5

22	100.9	4885	238	125	0.15	6
24	101.5	4535	301	125	0.15	7

2. 光滑管							
号	空气入口 温度值	空气出口 温度值	空气入口 压力值 p_1	空气进出口 压力差 p_2	蒸汽温 度值 t_3	蒸汽 压力 p_3	孔板 计读
	22.7	63.0	5930	61	130	0.15	4
	23.8	69.0	4940	91	130	0.15	5
	23.5	69.2	4070	126	130	0.15	6
	24.0	70.8	3510	157	130	0.15	7
	24.7	71.4	3110	178	130	0.15	8

(2) 数据处理

1. 先算出测量段上空气的定性温度($^{\circ}\text{C}$), 为简化计算, 取 t 值为空气进口温度($^{\circ}\text{C}$)及出口温度($^{\circ}\text{C}$)的平均值, 即由此查得:

测量段上空气的平均比热; 测量段上空气的平均导热系数 λ ; 测量段上空气的平均粘度;

2. 传热面积 S 的计算。

$$S = \pi dl = 3.142 \times 0.0178 \times 1.327 = 0.07422$$

3. 空气流量和密度的计算

$$\rho_1 = 1.29 \frac{P_p}{101330} \times \frac{273}{273+t} \quad (10)$$

4. 努塞尔数和雷诺数的计算

将上述已得到的值代入公式即可得:

$$\text{Re} = \frac{du\rho_1}{\mu} = \frac{dV\rho_1}{\frac{\pi}{4}d^2\mu} = \frac{V\rho_1}{\frac{\pi}{4}d\mu} \quad (8)$$

$$\text{Nu} = \frac{\alpha d}{\lambda} = \frac{Kd}{\lambda} = \frac{V\rho_1 c_{pc}(t_2 - t_1)d}{\lambda S \Delta t_m} \quad (9)$$

5. 传热量传热膜系数的计算

$$Q = Wc_{pc} (t_2 - t_1) = V \rho c_{pc} (t_2 - t_1) \quad (3)$$

$$Q = KS \Delta t_m, \text{ 所以 } KS \Delta t_m = V \rho c_{pc} (t_2 - t_1)$$

螺纹管数据表

进口空气 密度 (Kg)	对数平 均温度 差	空气的体 积流量V	Re	Nu	lgRe	lgNu	传热量 QKJs	传热系 数K	传
1. 2186	70. 61	0. 00612	27217. 4	59. 61	4. 43	1. 77	0. 4984	0. 0951	0.
			0	0	5	5			
1. 2102	65. 99	0. 00709	31313. 9	77. 52	4. 49	1. 88	0. 6028	0. 1231	0.
			2	0	6	9			
1. 2019	55. 75	0. 00795	34871. 4	116. 9	4. 54	2. 06	0. 7682	0. 1856	0.
			1	4	2	8			
1. 1938	54. 32	0. 00874	38078. 2	129. 2	4. 58	2. 11	0. 8273	0. 2052	0.
			6	6	1	1			
1. 1858	53. 15	0. 00947	40982. 2	139. 6	4. 61	2. 14	0. 8746	0. 2217	0.
			2	5	3	5			

光滑管数据表

进口空气 密度 (Kg)	对数平 均温度 差	空气的体 积流量V	Re	Nu	lgRe	lgNu	传热量 QKJs	传热系 数K	传
1. 1911	85. 57	0. 00723	31428. 2	34. 59	4. 49	1. 53	0. 3488	0. 0549	0.
			8	1	7	9			
1. 1866	81. 52	0. 00800	34644. 0	45. 38	4. 54	1. 65	0. 4312	0. 0713	0.
			3	9	0	7			

以上内容仅为本文档的试下载部分,为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文,请访问:

<https://d.book118.com/388135100001006121>