

化工原理实验

B.H.Zhang

2021 年 12 月 6 日

1 流体阻力测定

序号 (量纲)	流量 Q $L \cdot h^{-1}$	压差 Δp Pa	水温 θ $^{\circ}C$	水的密度 ρ $kg \cdot m^{-3}$	水的粘度 μ Pa·s	直管摩擦系数 λ 1	雷诺数 Re 1
1	10	98.10	20.40	998.1225	0.00099236	0.2881	456.07
2	14	137.34	20.50	998.1013	0.00098995	0.2058	640.03
3	20	147.15	20.50	998.1013	0.00098995	0.1080	914.33
4	30	206.01	20.60	998.0801	0.00098754	0.0672	1374.82
5	40	343.35	20.60	998.0801	0.00098754	0.0630	1833.09
6	50	519.93	20.70	998.0590	0.00098513	0.0611	2296.92
7	60	618.03	20.70	998.0590	0.00098513	0.0504	2756.30
8	80	990.81	20.70	998.0590	0.00098513	0.0455	3675.07
9	100	1530.36	20.80	998.0378	0.00098272	0.0449	4605.01
10	160	2766.42	20.80	998.0378	0.00098272	0.0317	7368.01
11	200	4071.15	20.80	998.0378	0.00098272	0.0299	9210.01
12	280	8260.02	20.90	998.0167	0.00098031	0.0309	12925.44
13	360	11600.00	20.90	998.0167	0.00098031	0.0263	16618.43
14	400	14200.00	20.90	998.0167	0.00098031	0.0261	18464.92
15	600	28700.00	20.90	998.0167	0.00098031	0.0234	27697.38
16	800	48600.00	20.90	998.0167	0.00098031	0.0223	36929.83
17	1200	101200.00	21.00	997.9955	0.00097790	0.0206	55530.09
18	1600	166800.00	21.00	997.9955	0.00097790	0.0191	74040.12

表 1: 流体阻力数据计算整理, 过度区在表中用 粉色 标出了

序号 (量纲)	近端压差 Pa	远端压差 Pa	流体温度 $^{\circ}C$	局部阻力引起的能量损失 J·kg	局部阻力系数 1
1	76500.00	78200.00	21.35	74.93	15.16
2	61600.00	62800.00	21.60	60.51	15.12
3	48200.00	50800.00	21.80	45.69	14.45
4	37600.00	38700.00	22.05	36.57	15.10
5	28300.00	29100.00	22.25	27.56	15.49

表 2: 局部阻力实验数据处理

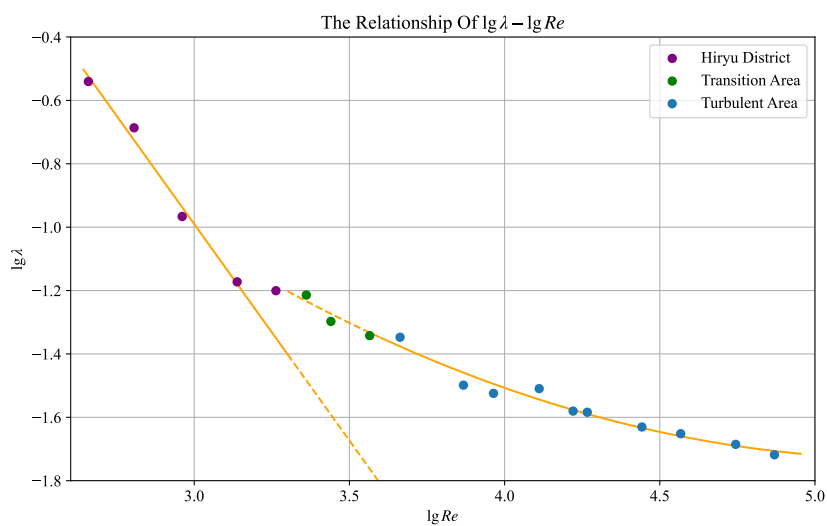


图 1: 直管摩擦系数 λ 与雷诺数 Re 之间的关系 (采用双对数坐标), 其中层流、过度、湍流用不同颜色的点进行标出。并在过度区域使用虚线进行分隔。

压力差 Δp Pa	流量 Q_e $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	功率 kW	水温 t $^{\circ}\text{C}$	水的密度 ρ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	压头 H m	扬程 H_e m	有效功率 N_e kW	轴功率 N kW	效率 η 100%
220000	0.0000000	0.32	20.8	998.03366	22.49	22.67	0.0000	0.192	0.00
195000	0.0006930	0.44	20.9	998.01198	19.94	20.12	0.1364	0.264	51.67
185000	0.0009773	0.49	20.9	998.01198	18.92	19.10	0.1826	0.294	62.10
175000	0.0011949	0.53	21.0	997.99030	17.89	18.07	0.2113	0.318	66.44
169000	0.0013780	0.57	21.0	997.99030	17.28	17.46	0.2354	0.342	68.83
163000	0.0015392	0.59	21.1	997.96862	16.67	16.85	0.2537	0.354	71.67
157000	0.0016849	0.61	21.2	997.94694	16.05	16.23	0.2676	0.366	73.11
151000	0.0018187	0.62	21.3	997.92526	15.44	15.62	0.2779	0.372	74.71
145000	0.0019432	0.64	21.4	997.90358	14.83	15.01	0.2853	0.384	74.30
139000	0.0020600	0.65	21.5	997.88190	14.21	14.39	0.2901	0.39	74.38
131000	0.0021705	0.66	21.6	997.86022	13.40	13.58	0.2883	0.396	72.80
125000	0.0022755	0.67	21.6	997.86022	12.78	12.96	0.2886	0.402	71.78
119000	0.0023758	0.67	21.7	997.83854	12.17	12.35	0.2870	0.402	71.40
113000	0.0024642	0.67	21.8	997.81686	11.56	11.74	0.2829	0.402	70.37
110000	0.0025187	0.67	21.8	997.81686	11.25	11.43	0.2816	0.402	70.05

表 3: 离心泵实验数据计算整理

编号	压力差 Δp Pa	流量 Q_e $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	水温 t $^{\circ}\text{C}$	水的密度 ρ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	压头 H m	扬程 H_e m
15	7000	0.0003485	22.4	997.6777	0.716	0.8959
14	10000	0.0004915	22.4	997.6777	1.023	1.2028
13	12000	0.0006930	22.3	997.7004	1.227	1.4073
12	15000	0.0008474	22.3	997.7004	1.534	1.7141
11	18000	0.0010168	22.3	997.7004	1.841	2.0210
10	22000	0.0011949	22.3	997.7004	2.250	2.4301
9	31000	0.0013493	22.3	997.7004	3.171	3.3506
8	40000	0.0015136	22.3	997.7004	4.091	4.2710
7	49000	0.0016732	22.3	997.7004	5.012	5.1915
6	58000	0.0018294	22.3	997.7004	5.932	6.1120
5	67000	0.0019829	22.2	997.7231	6.852	7.0323
4	78000	0.0021343	22.2	997.7231	7.977	8.1573
3	87000	0.0022670	22.1	997.7458	8.898	9.0776
2	101000	0.0024003	22.0	997.7685	10.329	10.5092
1	110000	0.0024955	21.9	997.7912	11.249	11.4293

表 4: 管路实验数据计算整理

2 流体输送综合实验

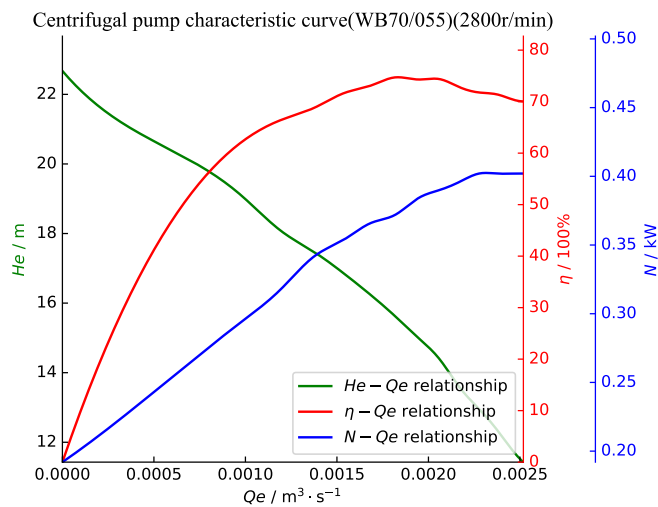


图 2: 离心泵的特性曲线, 其泵型号为 WB70/055, 转速为 2800r/min。该图有三根坐标轴, 三条曲线, 均在坐标轴旁做了标记。

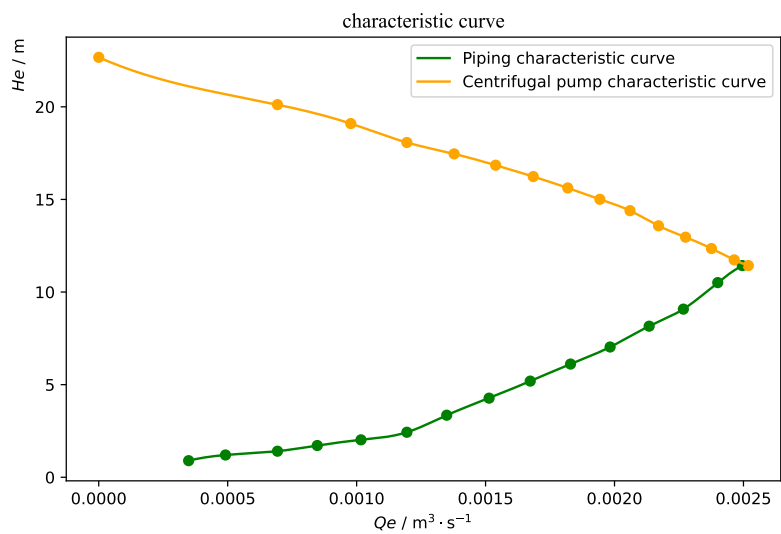


图 3: 管路的特性曲线、离心泵的特性曲线, 其交点即为工作点。横坐标为流量 (去单位 m^3/s), 纵坐标为扬程 (去单位 m)。

3 流量计标定及流量系数测定

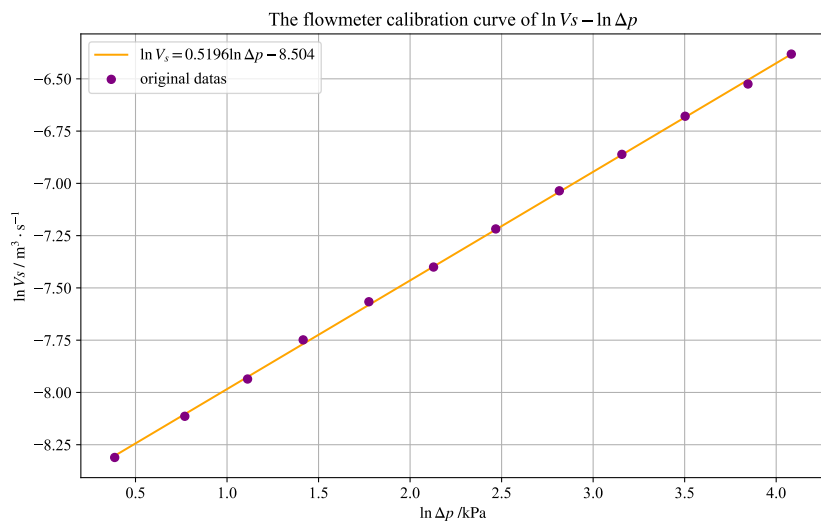


图 4: 节流式流量计 (这里使用的流量计是文丘里流量计) 的流量标定曲线 (双对数坐标): 纵坐标为节流式流量计的流量 V_s (去单位为 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), 横坐标为压差 Δp (去单位为 kPa)。

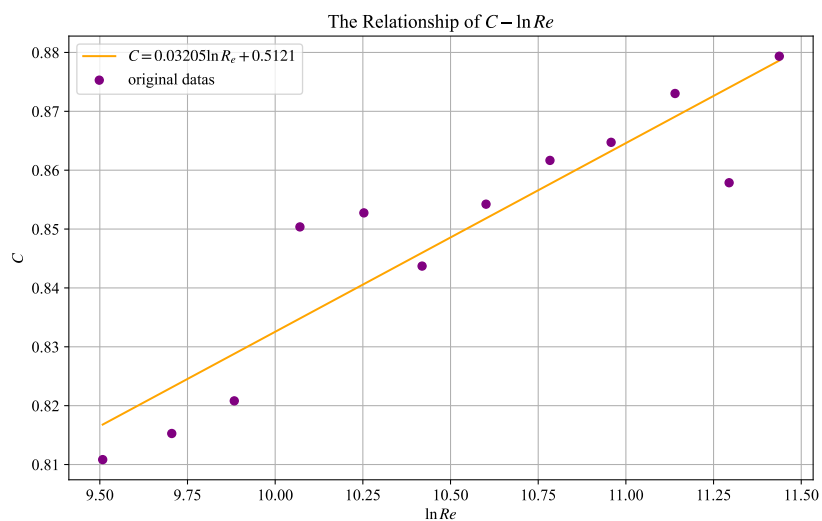


图 5: 流量系数 C 与雷诺准数 Re 的关系曲线 (单对数坐标)

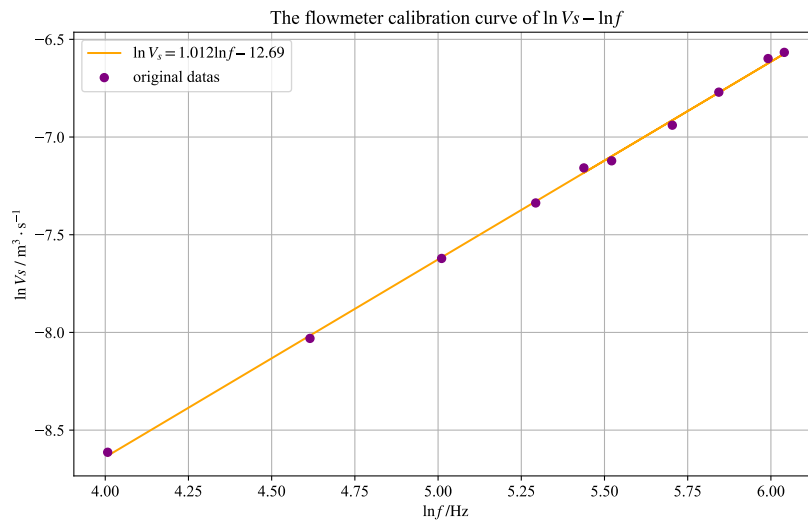


图 6: 涡轮流量计的流量标定曲线 (双对数坐标): 纵坐标为涡轮流量计的流量 V_s (去单位为 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), 纵坐标为频率 f (去单位为 Hz)。

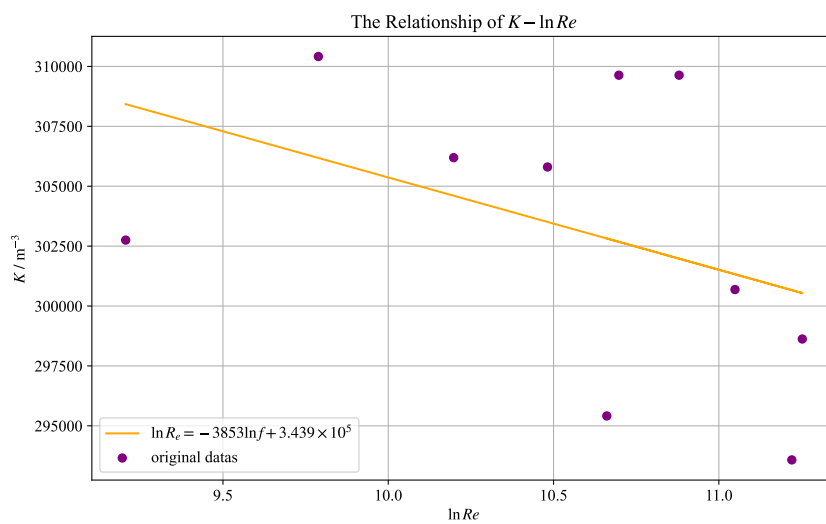


图 7: 仪表常数 K (去单位为 m^{-3}) 与雷诺准数 Re 的关系曲线 (单对数坐标)

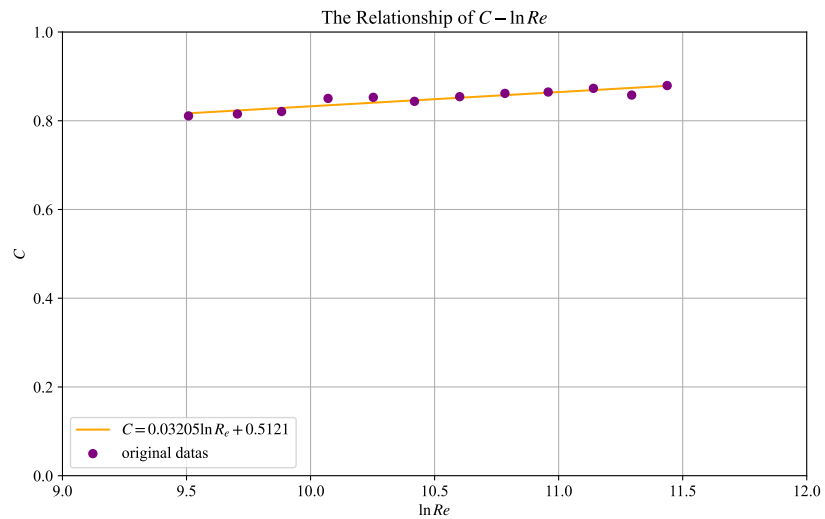


图 8: 流量系数 C 与雷诺准数 Re 的关系曲线 (单对数坐标从 0 开始)

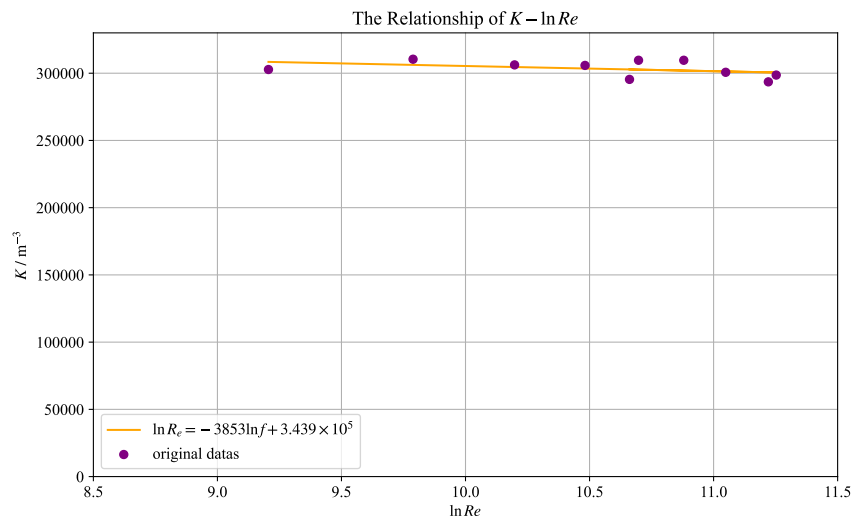


图 9: 仪表常数 K (去单位为 m^{-3}) 与雷诺准数 Re 的关系曲线 (单对数坐标从 0 开始)

序号	压差 $\Delta p/\text{kPa}$	液面高度差 Δh	平均用时 Δt	体积流量 $V_s/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	流速 $u/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	雷诺数 Re	流量计系数 C
1	1.471	200.0	89.50	0.0002458	0.4630	13469	0.8108
2	2.158	200.0	73.50	0.0002993	0.5638	16401	0.8153
3	3.041	200.0	61.50	0.0003577	0.6738	19602	0.8208
4	4.120	200.0	51.00	0.0004314	0.8125	23637	0.8504
5	5.900	200.0	42.50	0.0005176	0.9750	28365	0.8527
6	8.400	200.0	36.00	0.0006111	1.151	33486	0.8437
7	11.80	200.0	30.00	0.0007333	1.381	40183	0.8542
8	16.70	200.0	25.00	0.0008800	1.657	48220	0.8617
9	23.50	200.0	21.00	0.001048	1.973	57405	0.8647
10	33.20	200.0	17.50	0.001257	2.368	68886	0.8730
11	46.80	200.0	15.00	0.001467	2.762	80367	0.8579
12	59.30	200.0	13.00	0.001692	3.187	92731	0.8794

表 5: 文丘里流量计实验数据处理 (计算示例见上)

序号	频率计读数 f	液面高度差 Δh	平均用时 Δt	体积流量 $V_s/\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	流速 $u/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	雷诺数 Re	仪表常数 K/m^{-3}
1	55	200.0	120.0	0.0001817	0.3420	9955	302752
2	101	200.0	67.0	0.0003254	0.6130	17829	310413
3	150	200.0	44.5	0.0004899	0.9230	26844	306193
4	199	200.0	33.5	0.0006507	1.230	35658	305803
5	250	200.0	27.0	0.0008074	1.520	44242	309633
6	300	200.0	22.5	0.0009689	1.820	53091	309633
7	345	200.0	19.0	0.001147	2.160	62871	300688
8	400	200.0	16.0	0.001362	2.570	74659	293578
9	420	200.0	15.5	0.001406	2.650	77067	298624
10	230	200.0	28.0	0.0007786	1.470	42662	295413

表 6: 涡轮流量计实验数据处理 (计算示例见上)

4 传热综合

序号	流量计读数 量纲	t_{1i} kPa	t_{mi} °C	压降 kPa	ρ_i $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	μ_i $\text{kg/m} \cdot \text{s}$	λ_i $\text{W/m} \cdot \text{K}$	C_p J/K	V_i m^3/h	α $\text{W/m} \cdot \text{°C}$	Nu 1	Re 1	Pr 1
1	0.21	39.40	38.14	0.25	1.1337	0.00001909	0.02648	1007	0.003219	50.32	36.57	11151	0.7261
2	0.29	39.50	38.35	0.31	1.1329	0.00001910	0.02650	1007	0.003782	58.30	42.36	13096	0.7260
3	0.39	40.00	38.19	0.40	1.1335	0.00001910	0.02649	1007	0.004383	66.50	48.33	15180	0.7261
4	0.53	40.40	38.36	0.50	1.1329	0.00001910	0.02650	1007	0.005106	75.59	54.91	17678	0.7260
5	0.73	40.90	38.20	0.66	1.1335	0.00001910	0.02649	1007	0.005988	87.18	63.36	20738	0.7261
6	1.00	41.50	37.97	0.86	1.1343	0.00001909	0.02647	1007	0.007001	100.72	73.25	24263	0.7261
7	1.37	42.20	37.70	1.12	1.1353	0.00001907	0.02645	1007	0.008186	116.06	84.47	28386	0.7262
8	1.88	43.00	37.35	1.49	1.1365	0.00001906	0.02642	1007	0.009577	133.20	97.04	33238	0.7263
9	2.58	44.20	36.93	1.98	1.1381	0.00001904	0.02639	1007	0.011198	151.99	110.86	38904	0.7264
10	3.45	45.50	36.25	2.58	1.1405	0.00001901	0.02634	1007	0.012923	171.56	125.37	44970	0.7266

表 7: 普通管数据及其处理

序号	流量计读数 量纲	t_{1i} kPa	t_{mi} °C	压降 kPa	ρ_i $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	μ_i $\text{kg/m} \cdot \text{s}$	λ_i $\text{W/m} \cdot \text{K}$	C_p J/K	V_i m^3/h	α $\text{W/m} \cdot \text{°C}$	Nu 1	Re 1	Pr 1	$\frac{Nu}{Nu_0}$ 1
1	0.21	41.30	36.94	0.25	1.1380	0.00001904	0.02639	1007	0.003209	50.48	36.82	11149	0.7264	1.007
2	0.28	41.00	36.98	0.32	1.1379	0.00001904	0.02640	1007	0.003708	58.92	42.97	12879	0.7264	1.015
3	0.37	40.90	36.77	0.43	1.1386	0.00001903	0.02638	1007	0.004263	68.72	50.14	14814	0.7265	1.038
4	0.50	41.00	36.56	0.57	1.1394	0.00001902	0.02637	1007	0.004954	81.01	59.15	17227	0.7265	1.077
5	0.67	41.20	36.23	0.75	1.1406	0.00001901	0.02634	1007	0.005733	94.58	69.12	19951	0.7266	1.091
6	0.91	41.50	35.98	1.02	1.1415	0.00001900	0.02632	1007	0.006678	110.65	80.92	23254	0.7267	1.105
7	1.22	42.00	35.87	1.34	1.1419	0.00001899	0.02631	1007	0.007726	126.26	92.37	26911	0.7267	1.094
8	1.64	42.60	35.36	1.77	1.1437	0.00001897	0.02628	1007	0.008949	147.50	108.06	31209	0.7269	1.114
9	2.22	43.30	35.03	2.32	1.1449	0.00001895	0.02625	1007	0.010400	170.07	124.71	36299	0.7269	1.125
10	3.00	44.50	34.26	3.11	1.1477	0.00001892	0.02620	1007	0.012067	196.46	144.37	42194	0.7272	1.152

表 8: 强化管数据及其处理

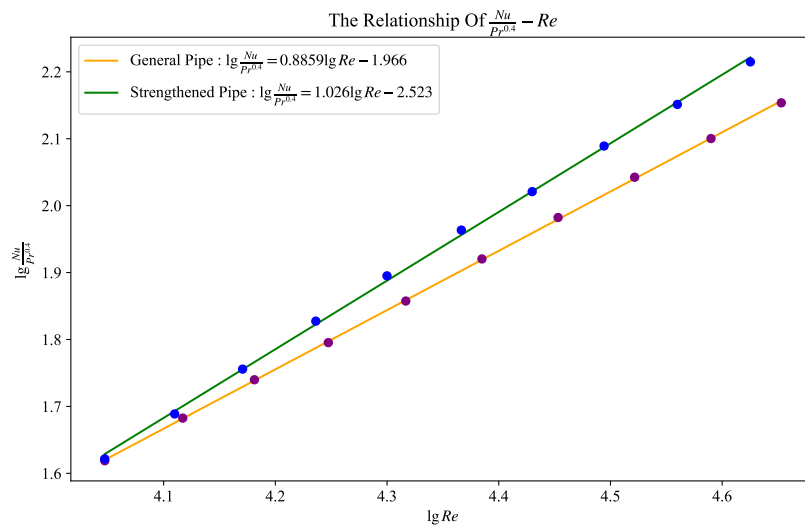


图 10: 强化管、普通管的 $\frac{Nu}{Pr^{0.4}}$ 与 Re 之关系 (双对数坐标)

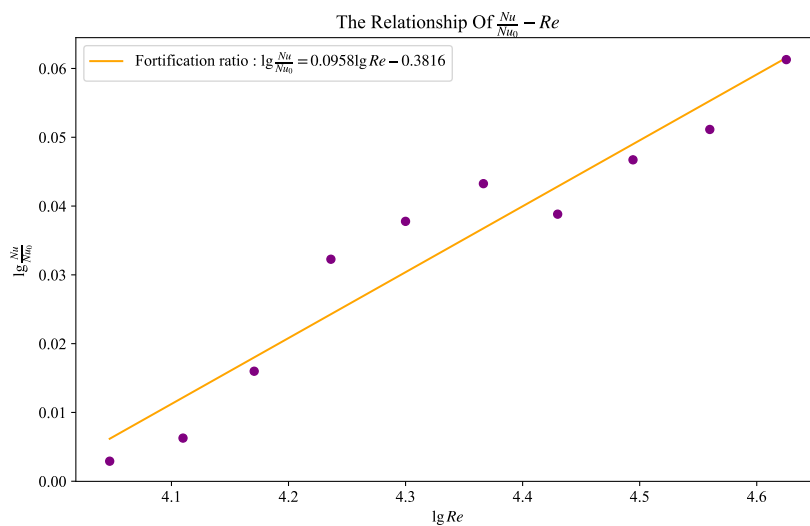


图 11: $\frac{Nu}{Nu_0}$ (强化比) 与 Re 之关系 (双对数坐标)

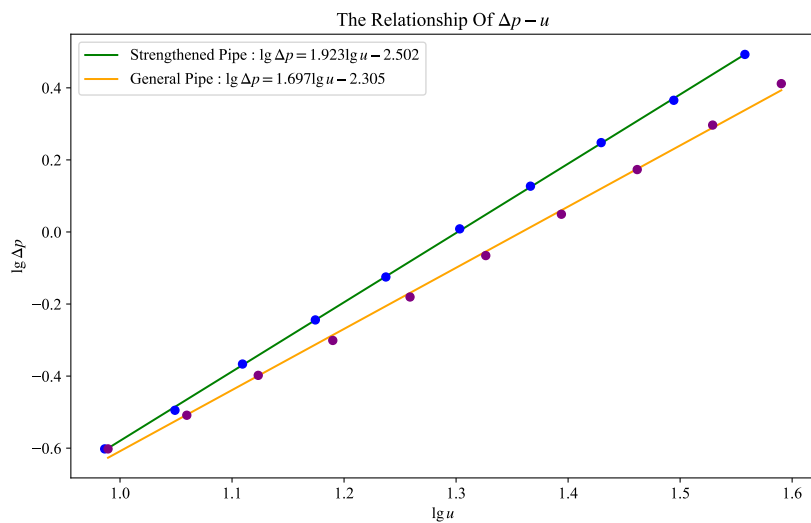


图 12: 强化管、普通管的 Δp (压降, 去单位为 kPa) 与 u (流速, 去单位为 m/s) 之关系 (双对数坐标)

5 精馏综合实验

6 填料吸收综合实验

表 1: 干塔数据及处理

序号 量纲	空气流量计读数 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	填料层压降 mmH_2O	空气温度 $^{\circ}\text{C}$	V_{OB} $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	u $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
1	2.5	6	23.5	0.0006433	0.1280
2	5.0	19	26.2	0.001281	0.2548
3	7.5	41	29.5	0.001911	0.3801
4	10.0	72	31.0	0.002541	0.5056
5	12.5	109	32.4	0.003169	0.6305
6	15.0	150	33.8	0.003794	0.7549
7	17.5	205	34.6	0.004421	0.8795
8	20.0	259	36.0	0.005041	1.003
9	22.5	319	37.0	0.005662	1.126
10	23.5	345	38.6	0.005899	1.173

 表 2: 湿塔数据及处理 ($L = 60\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)

序号 量纲	空气流量计读数 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	填料层压降 mmH_2O	空气温度 $^{\circ}\text{C}$	水温 $^{\circ}\text{C}$	V_{OB} $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	u $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
1	2.5	16	43.6	13.3	0.0006225	0.1239
2	3.0	20	43.4	13.3	0.0007473	0.1487
3	4.0	33	43.8	13.4	0.0009957	0.1981
4	5.0	53	44.6	13.4	0.001243	0.2473
5	6.0	78	45.4	13.4	0.001490	0.2964
6	7.0	130	44.0	13.3	0.001742	0.3466
7	7.5	150	43.4	13.3	0.001868	0.3717
8	8.0	337	42.4	13.6	0.001996	0.3971
9	8.5	406	41.4	13.7	0.002124	0.4226
10	9.0	442	40.2	14.4	0.002253	0.4483

表 3: 湿塔数据及处理 ($L = 80\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)

序号 量纲	空气流量计读数 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	填料层压降 mmH_2O	空气温度 $^{\circ}\text{C}$	水温 $^{\circ}\text{C}$	V_{OB} $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	u $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
1	2.5	19	46.2	13.3	0.0006200	0.1233
2	3.0	31	46.8	13.3	0.000743303	0.1479
3	4.0	51	47.0	13.4	0.0009908	0.1971
4	5.0	85	47.5	13.4	0.001237	0.2462
5	5.5	106	47.9	13.3	0.001360	0.2706
6	6.0	264	48.1	13.4	0.001484	0.2952
7	6.5	298	47.9	13.4	0.001608	0.3198
8	7.0	342	47.8	13.4	0.001732	0.3445
9	7.5	376	47.5	13.2	0.001856	0.3693
10	8.0	362	47.0	13.2	0.001982	0.3942

表 4: 填料吸收塔传质实验数据现象记录

序号	名称	记录
1	填料种类	拉西环
2	填料层高度 h	1m
3	CO_2 转子流量计读数 V_{CO_2}	$0.3\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
4	CO_2 转子流量计处温度 T_{CO_2}	35.6°C
5	空气转子流量计读数 $V_{\text{空气}}$	$0.7\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
6	水转子流量计读数 V_{sL}	$80\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$
7	中和 CO_2 用 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 的浓度 $c_{\text{Ba}(\text{OH})_2}$	$0.1013\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
8	中和 CO_2 用 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 的体积 $V_{\text{Ba}(\text{OH})_2}$	10.00mL
9	滴定用盐酸的浓度 c_{HCl}	$0.1106\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
10	滴定塔底吸收液消耗盐酸的体积 $V_{\text{底HCl}}$	14.56mL
11	滴定用样品的体积 $V_{\text{溶液}}$	20.00mL
12	塔底液相的温度 $T_{\text{液}}$	13.1°C

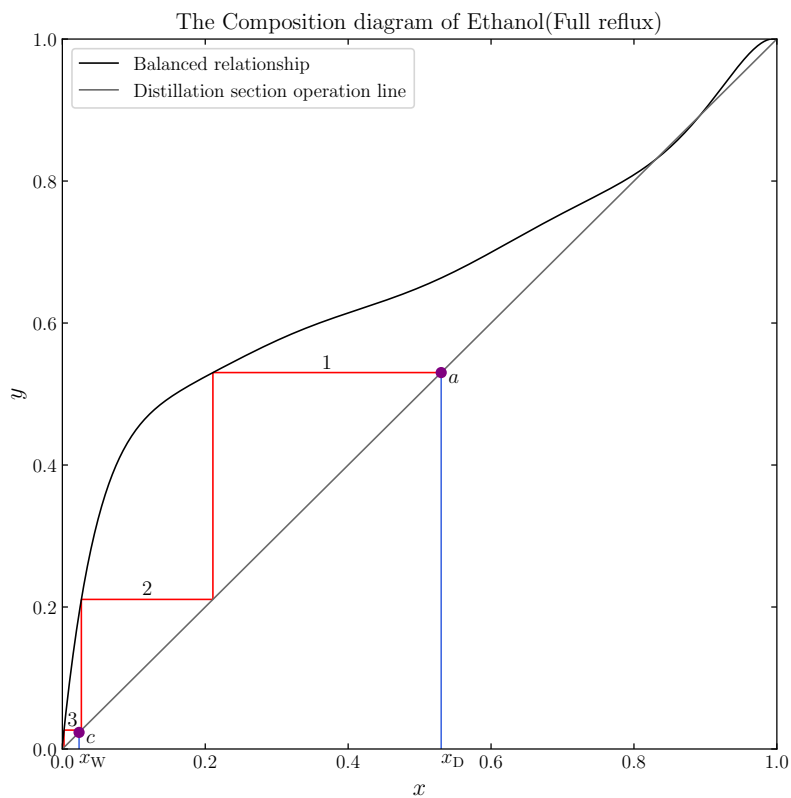


图 13: 二组分常压连续精馏-全回流-理论塔板数计算, 计算结果为理论板数(取整) $N_T = 3$ 。

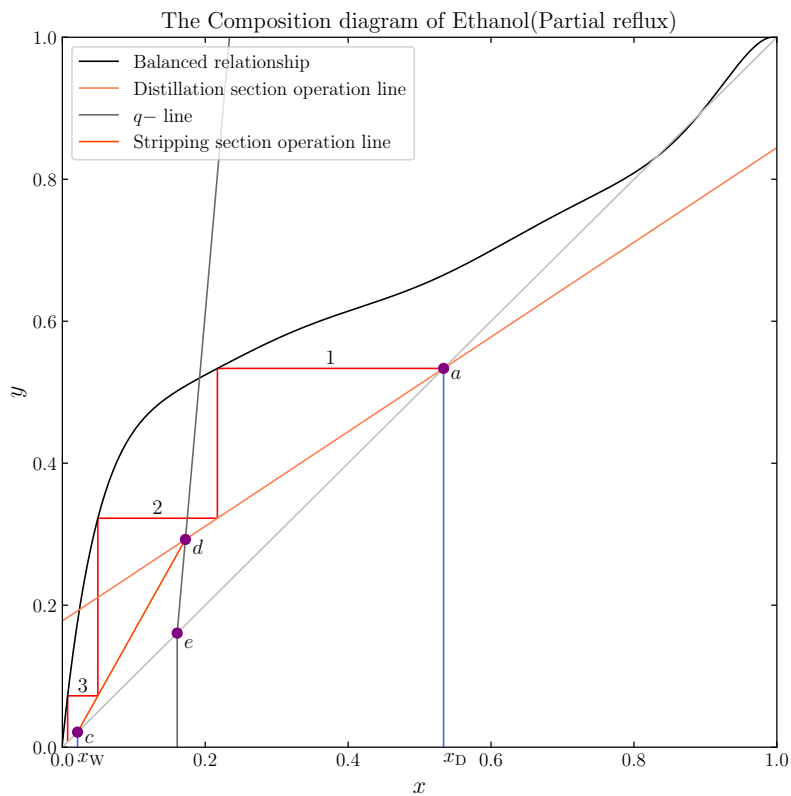


图 14: 二组分常压连续精馏-部分回流-理论塔板数计算, 计算结果为理论板数(取整) $N_T = 3$ 。

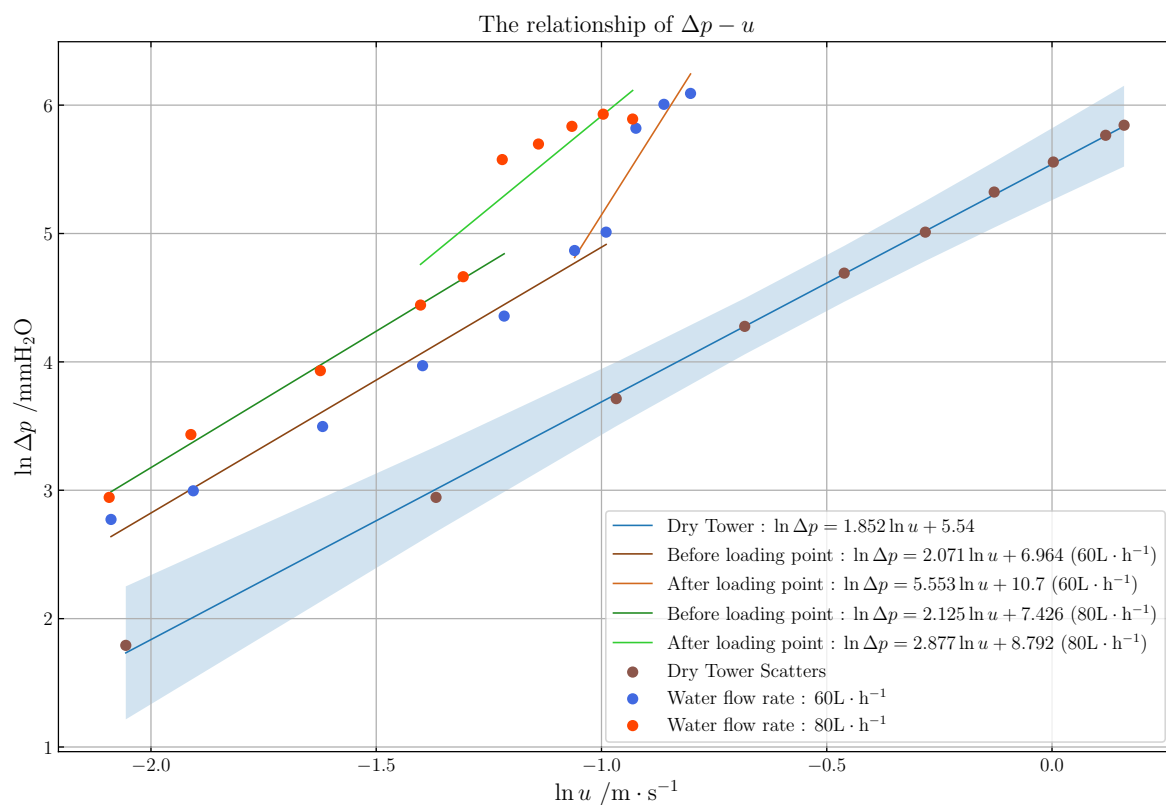


图 5: 干塔填料层压降 Δp 与空塔气速 u 之关系、 $L = 60 \text{L} \cdot \text{h}^{-1}$ 时的关系曲线、 $L = 80 \text{L} \cdot \text{h}^{-1}$ 时的关系曲线; 横坐标为填料层压降 Δp (去单位为 mmH_2O), 纵坐标为干塔气速 u (去单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

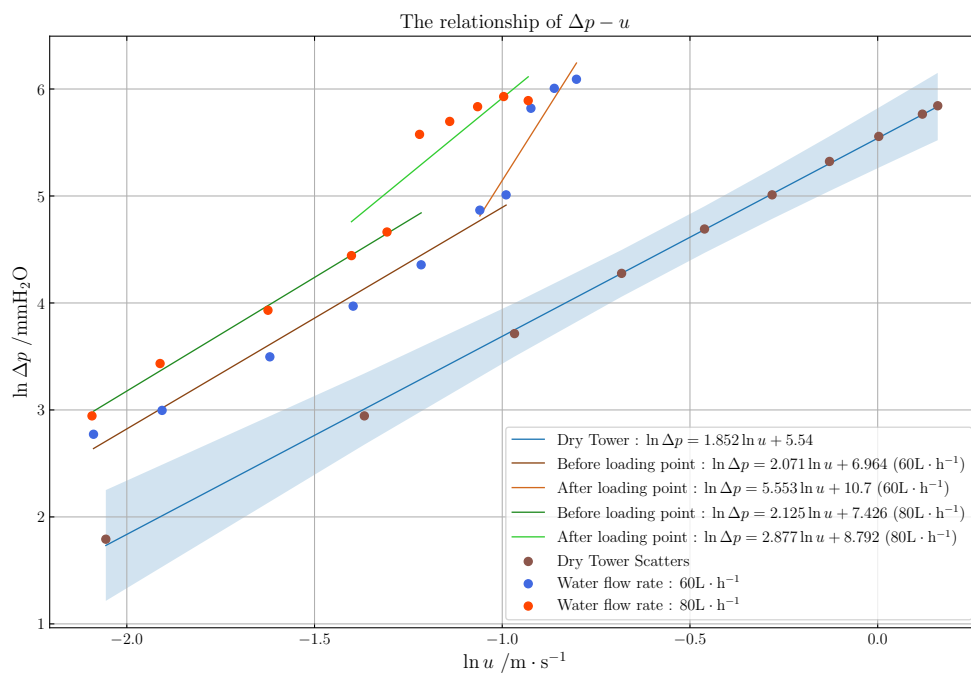


图 6: 干塔填料层压降 Δp 与空塔气速 u 之关系、 $L = 60 \text{L} \cdot \text{h}^{-1}$ 时的关系曲线、 $L = 80 \text{L} \cdot \text{h}^{-1}$ 时的关系曲线; 横坐标为填料层压降 Δp (去单位为 mmH_2O), 纵坐标为干塔气速 u (去单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)