

四川大學

化工原理实验报告



题 目 冷空气-蒸汽对流传热实验报告

学 院 化学工程学院

专 业 化学工程与工艺（虚拟的）

学生姓名 王诗煜

学 号 2022141500089 年级 2023

指导教师 吴潘

不是教务处制表
二〇二五年一月二十六日

冷空气-蒸汽对流传热实验报告

化学工程与工艺（虚拟的）

学生: 王诗煜 指导教师: 吴潘

[摘要]: 这一部分有意留白。

[主题词]: 化工原理实验; 对流传热

Experimental Report of Cold air-steam convection heat transfer

Chemical Engineering and Technics(virtual)

Student:Shiyu Wang Adviser:Pan Wu

Abstract: This part intentionally left black.

Key Words: Chemical Engineering Experiment; convection heat transfer

目录

第一章 报告正文	2
1.1 实验目的	2
1.2 实验原理	2
1.3 实验装置图及主要设备 (包括名称、型号、规格)	3
1.4 实验步骤	4
1.5 实验原始数据记录列表	5
1.6 实验数据处理 (以一组实验数据为例进行计算)	5
1.7 实验结果 (列表和作图)、结论与分析	6
1.7.1 实验结果	6
1.7.2 分析与结论	7
1.8 实验思考题	8
声 明	8

第一章 报告正文

1.1 实验目的

1. 了解套管换热器的结构及操作。
2. 测定冷空气-蒸汽在套管换热器中的总传热系数。
3. 测定冷空气在普通管内的给热系数，确定 Nu 、 Re 和 Pr 之间的关系。
4. 测定冷空气在螺纹管内的给热系数，确定 Nu 、 Re 和 Pr 之间的关系。
5. 掌握热电阻或热电偶的测温方法，观察水蒸气在水平管外壁上的冷凝现象。
6. 比较普通管、螺纹管、列管三种换热器，了解强化传热操作的工程途径。
7. 掌握用特征数方程处理实验数据的方法。
8. 熟悉涡轮或涡街流量计、温度和压力等的化工测试仪表的使用。

1.2 实验原理

在套管换热器中，管程通空气，壳程通蒸汽，蒸汽冷凝放热通过管壁面加热空气。传热过程经历了蒸汽对管程外壁面的对流传热、间壁的固体热传导和内壁面对冷空气的对流传热三种传热过程。在传热过程稳定后有：

$$Q = KA\Delta t_m = h_i A_i \Delta t_{mi} = h_o A_o \Delta t_{mo} \quad (1.i)$$

$$\Delta t_{mo} = \frac{(T_1 - T_{w1}) - (T_2 - T_{w2})}{\ln \frac{T_1 - T_{w2}}{T_2 - T_{w1}}} \quad (1.ii)$$

$$\Delta t_{mi} = \frac{(t_{w1} - t_1) - (t_{w2} - t_2)}{\ln \frac{t_{w1} - t_1}{t_{w2} - t_2}} \quad (1.iii)$$

冷空气强制对流，无相变时，雷诺数，努塞尔数，普朗特数的关系如下：

$$\frac{Nu}{Pr^{0.4}} = C Re^m \quad (1.iv)$$

只要在双对数坐标系下做出 $\frac{Nu}{Pr^{0.4}}$ 随雷诺数变化曲线，拟合出直线方程即可得出这三个准数之间的关系。

1.3 实验装置图及主要设备 (包括名称、型号、规格)

实验装置图如下：

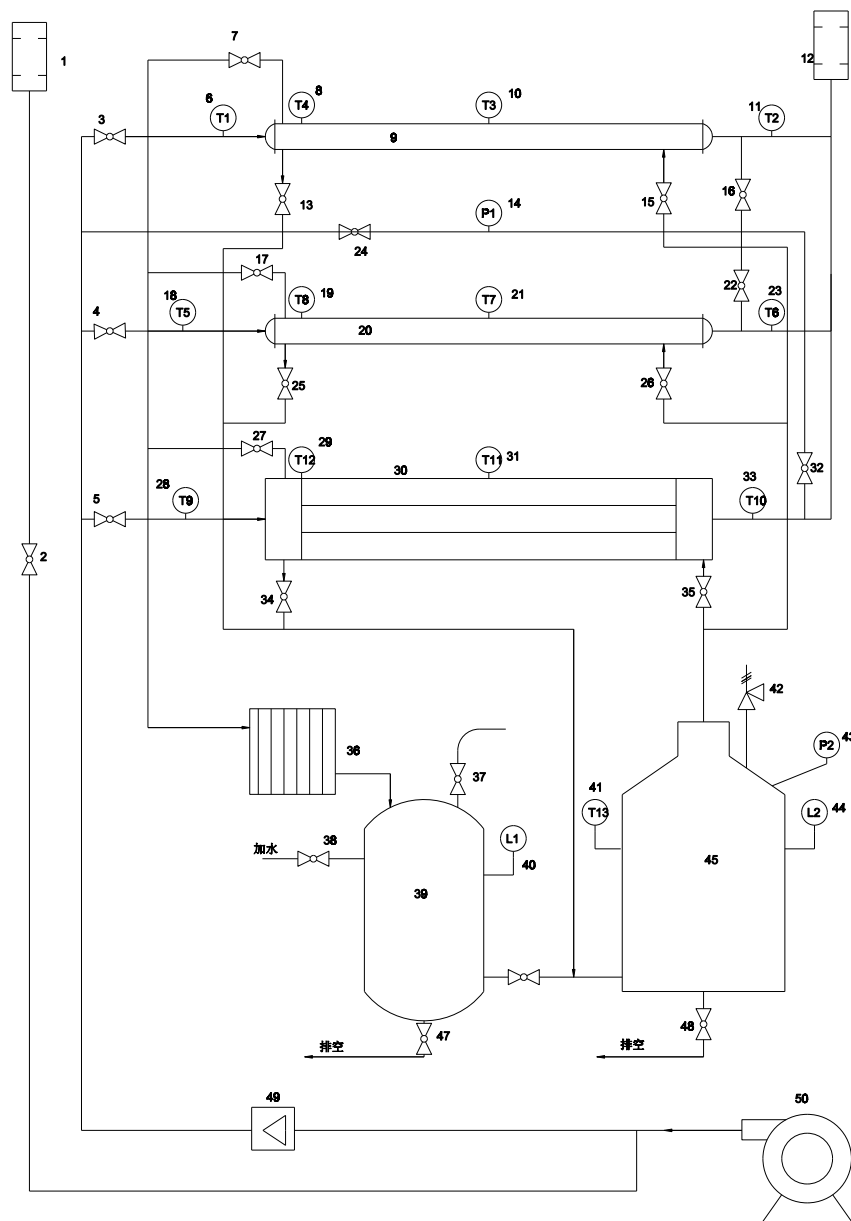


图 1.1: 本实验的装置图

实验所使用的设备如下：

- HG1-5 型风机 ($210\text{m}^3/\text{h}$, 200mbar)
- 功率为 3Kw 的蒸汽发生器
- 普通套管换热器
- 螺纹套管换热器
- 涡轮流量计, 温度传感器, 差压变送器

- 控制箱, 设备控制模块

1.4 实验步骤

1. 关闭所有阀门, 启动总电源和仪表电源.
2. 检查蒸汽发生器液位是否正常, 若不正常则补液, 正常则设定加热温度, 启动蒸汽发生器.
3. 全开冷空气支路调节阀, 全开 a 换热器的切换阀, 启动风机
4. 蒸汽温度上升到 100 摄氏度时开启蒸汽进口阀, 缓慢升温。稍微开启排空阀排除壳程中的不凝气体。开启冷凝液出口阀排出壳程中的冷凝液.
5. 稳定 10 15 分钟, 当换热器壳层蒸汽温度达到 100 摄氏度时记录冷空气流量、冷空气进出口温度和蒸汽温度。
6. 调节空气支路调节阀 2, 改变冷空气流量, 稳定 3 分钟左右, 记录冷空气流量、进出口温度和蒸汽温度。重复此操作, 记录 10 组数据.
7. 重复 3 到 6 步操作完成 b 换热器的测定
8. 关闭蒸汽发生器, 壳程温度降低到 80 摄氏度以下时关闭蒸汽进口阀, 排空阀和冷凝液出口阀, 以此关闭风机电源, 仪表电源和总电源.

1.5 实验原始数据记录列表

	E2001			
	$q_v/(m^3/h)$	$t_1/degree$	$t_2/degree$	$T/degree$
1	54.006	35.0	74.0	100.6
2	52.022	46.6	80.3	102.0
3	49.792	50.9	82.7	101.7
4	48.295	51.4	83.2	101.5
5	46.132	50.5	83.6	101.2
6	44.36	49.3	83.6	101.2
7	43.211	48.4	83.5	101.4
8	40.495	46.4	83.1	101.6
9	38.651	44.6	82.6	101.8
10	36.49	43.1	82.4	102.1
	E2002			
	$q_v/(m^3/h)$	$t_1/degree$	$t_2/degree$	$T/degree$
1	53.436	29.3	66.1	101.4
2	50.896	34.2	68.7	101.4
3	47.087	35	69.7	101.6
4	44.934	34.7	70.1	101.8
5	41.373	33.7	70.2	102
6	39.256	32.4	69.9	102
7	37.068	31.2	69.7	102
8	33.754	30	69.4	101.9
9	30.65	29	69.2	101.9
10	25.183	27.7	69.3	102

图 1.2: 本实验的原始数据

1.6 实验数据处理 (以一组实验数据为例进行计算)

这里我们以 E2001 的第一组数据为例进行计算, 首先以进口温度和出口温度的平均为定性温度, 查得在此温度下空气的密度为 $1.067kg/m^3$, 粘度为 $1.96 * 10^{-5}pa * s$, 比热容为 $1009J/(Kg * K)$, 热传导系数为 $0.0285W/(M * k)$

之后先算出进口处压差 $\Delta t_1 = 65.6$ 摄氏度, 出口处压差 $\Delta t_2 = 26.6$ 摄氏度, 然后计算对数平均温差:

$$\Delta T = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = 43.2^\circ C$$

因此传热功率为:

$$Q = q_v \rho C_p (t_2 - t_1) = 629.89W$$

以内壁面为基准的总传热系数为:

$$K = \frac{Q}{k\pi d_i l} = 193.39 \text{ W}/(\text{m}^2 * \text{K})$$

普朗特数为:

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k} = 0.694$$

努塞尔数为:

$$Nu = \frac{hd}{k} = 135, 71$$

雷诺数为:

$$\frac{\rho u d_i}{\mu} = 52000$$

用同样的方法可以算出其余组的雷诺数, 努塞尔数以及普朗特数.

1.7 实验结果 (列表和作图)、结论与分析

1.7.1 实验结果

本实验的结果如下:

	E2001						
	$q_w/(\text{m}^3/\text{h})$	t1/degree	t2/degree	T/degree	dt1/degree	dt2/degree	logmean/degree
1	54.006	35.0	74.0	100.6	65.6	26.6	43.20542223
2	52.022	46.6	80.3	102.0	55.4	21.7	35.95559005
3	49.792	50.9	82.7	101.7	50.8	19.0	32.33490418
4	48.295	51.4	83.2	101.5	50.1	18.3	31.57518631
5	46.132	50.5	83.6	101.2	50.7	17.6	31.2846456
6	44.36	49.3	83.6	101.2	51.9	17.6	31.71755983
7	43.211	48.4	83.5	101.4	53.0	17.9	32.33559146
8	40.495	46.4	83.1	101.6	55.2	18.5	33.5714061
9	38.651	44.6	82.6	101.8	57.2	19.2	34.80989521
10	36.49	43.1	82.4	102.1	59.0	19.7	35.82762891
	E2002						
	$q_w/(\text{m}^3/\text{h})$	t1/degree	t2/degree	T/degree	dt1/degree	dt2/degree	logmean/degree
1	53.436	29.3	66.1	101.4	72.1	35.3	51.52826964
2	50.896	34.2	68.7	101.4	67.2	32.7	47.89683142
3	47.087	35	69.7	101.6	66.6	31.9	47.14042592
4	44.934	34.7	70.1	101.8	67.1	31.7	47.20834876
5	41.373	33.7	70.2	102	68.3	31.8	47.74715346
6	39.256	32.4	69.9	102	69.6	32.1	48.45533832
7	37.068	31.2	69.7	102	70.8	32.3	49.05759903
8	33.754	30	69.4	101.9	71.9	32.5	49.61990552
9	30.65	29	69.2	101.9	72.9	32.7	50.14259699
10	25.183	27.7	69.3	102	74.3	32.7	50.68622114

图 1.3: 实验结果列表

根据计算结果做出的 a 换热器 $\frac{Nu}{Pr^{0.4}}$ 随雷诺数变化曲线如下:

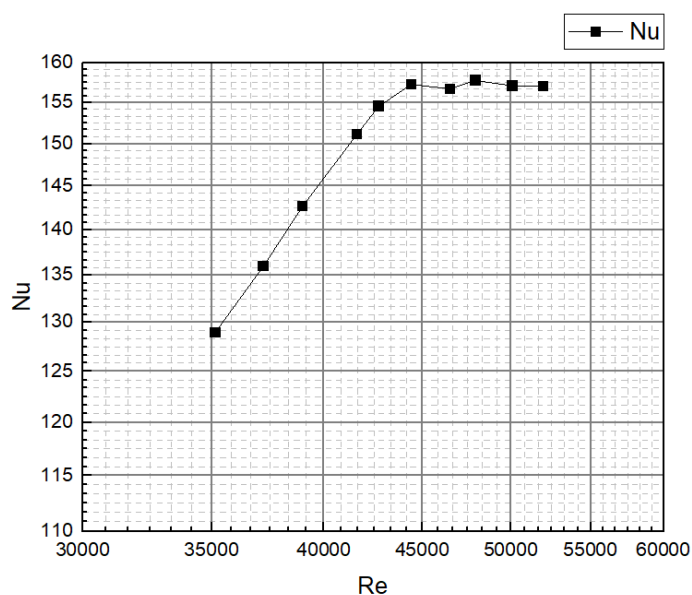


图 1.4: a 换热器 $\frac{Nu}{Pr^{0.4}}$ 随雷诺数变化曲线

b 换热器 $\frac{Nu}{Pr^{0.4}}$ 随雷诺数变化曲线如下:

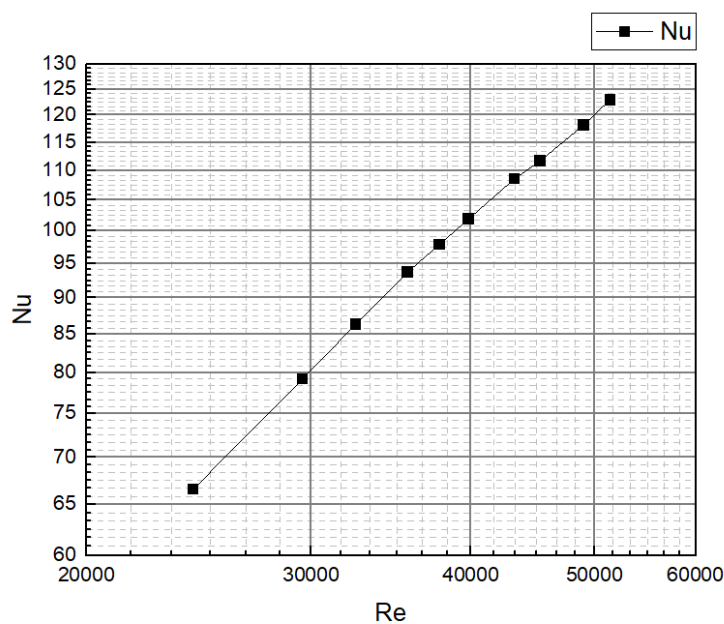


图 1.5: b 换热器 $\frac{Nu}{Pr^{0.4}}$ 随雷诺数变化曲线

1.7.2 分析与结论

a 换热器的最后几组数据中 $NuPr^{0.4}$ 随雷诺数变化偏离了曲线, 其原因可能是测这机组数据时没有等到稳态传热再测, 而是调整阀门后直接测量了数据, 从而导致很大的偏差. b 换热器的实验结果符合预期, 在双对数坐标系下 $\frac{Nu}{Pr^{0.4}}$ 与雷诺数的关系符合一条直线. 在雷诺数相等时 E2001 的努塞尔数更大, 所以初步推测 E2001 为内螺纹套管换热器.

1.8 实验思考题

1. 分析影响传热系数及给热系数的因素。

答: 首先是流体的物性(如导热系数、密度、比热容和黏度)、流动状态(层流或湍流)以及流速, 流速增加通常会增强对流传热; 换热表面特性(如表面粗糙度和清洁程度)也会显著影响热阻, 污垢或表面沉积物会降低给热系数; 此外, 换热设备的结构(如管径、管长和布置方式)以及冷热流体之间的温差和流动方式(并流、逆流或交叉流)也有一定影响。

2. 采取何种措施可提高 K 和 h 值?

答: 可以通过增加流速, 定期清洁换热器, 使用内螺纹换热器, 选择合适的流动方式等措施来提高。

3. t_m 、 Δt_m 的物理意义是什么? 如何确定?

答: t_m 是定性温度, 是进出口温度的算数平均, Δt_m 是对数平均温差, 物理意义是传热推动力

4. 实验中管壁温度应接近哪一侧温度? 为什么?

答: 更接近蒸汽侧, 因为蒸汽侧的给热系数更大。

声 明

本人声明所呈交的实验报告是本人在教师指导下进行的实验工作及取得的实验成果。据我所知, 除了文中特别加以标注和致谢的地方外, 报告中不包含其他人已经发表或撰写过的成果, 也不包含为获得四川大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本实验所做的任何贡献均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

本实验报告成果是本人在四川大学修读课程化工原理及仿真实验期间在教师指导下取得的, 报告没有所有权归属。任何组织或个人被允许以任何合法目的, 在不取得任何许可的情况下使用此报告中的部分或全部内容且需要承担由此引发的全部后果, 特此声明。

实验报告作者(签名) _____

报告指导教师(签名) _____

二〇二五年一月二十六日