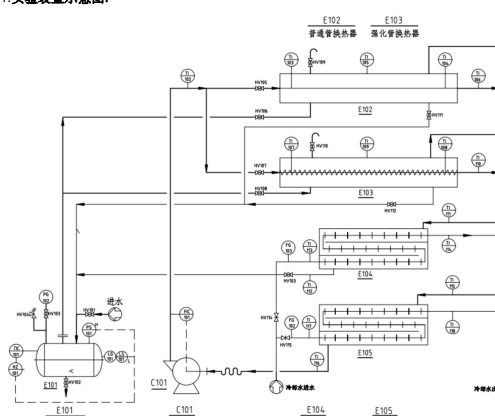


- 1:过滤速度 v 为滤液在过滤过程中的表现速率，并非滤液在孔道内的真实速度(线速度)
2:在滤液速度 p 不变, 重力(真空度 A 不变)的情况下, u 即代表传质速率
3:过滤的推动力是:压差 (压力,真空气压,离心力), 阻力是粘度和滤饼的物理结构
4:产生推动力的设备: 空气压缩机、离心泵、减压设备、阀门开度、气压定值调节阀
过滤介质: 滤布、板框、测量滤液量设备: 量筒; 悬浮液储罐: 设计管道、控制流向
5:筛饼过滤中, 过滤介质常用多孔织物,其网孔大小一定小于或被截留的颗粒直径
6:当操作压力增大一倍 K 的 v 值增大 K 值小于一倍
7:深层过滤中,固体颗粒尺寸小于介质的空隙
8:不可压缩滤饼是指筛饼的空隙结构不会因为操作压力的增大而变形
9:助滤剂是坚硬而形状不规则的小颗粒、形成过滤疏松的固体层(硅藻土、纤维粉末等)
10:板框过滤的推动力为压力差
11:如果实验中测量用的秒表偏慢, 则所测得的 K 值没有影响
12:如果采用本实验的装置对清水进行过滤,则所测得的曲线为平行于 X 轴的直线
13:如果滤布没有清洗干净,则所测得的 q_e 值偏大
14:在板框过滤过程中,过滤阻力主要要滤饼阻力
15:在本实验中,液体在板框内的细微孔隙中的流动属于层流
16:实验初得到的滤液通常是混浊的,可能因为开始阶段滤饼层太薄,过滤能力不足
17:在一定压力下,液体通过速率随过滤时间的延长而减小
18:在实验过程中需要保持压缩空气压力稳定,这是因为测定恒压下的实验数据
19:过滤介质:多孔性、孔径大小适宜、耐腐蚀、耐烧、足够机械强度。(工业常用织物
介质:棉麻丝毛、合成纤维、金属丝)、多孔性固体介质(多孔陶瓷、多孔塑料、烧结金
属、新通过滤介质(聚合物膜、无机膜))
20:助滤剂使用方法:将助滤剂预先单独配成悬浮液并先行过滤(预涂):将助滤剂筛到滤
浆中一起过滤,若过滤目的是回收固体且不许混入助滤剂则该方法不行。只有悬浮液
中的固体量很少且含杂质、助滤剂用量不大时此法才经济可用
21:板框压滤机(间歇式)每个板、框与框角均有开孔,滤浆组合后分别构成滤腔、滤
液流通道、洗涤液流通道,每个操作框面由过滤、洗涤、卸渣、整理组成三个阶段,固体物
积存于框内形成滤饼,洗涤液由侧水侧过滤浆上的斜孔进入右侧,穿过滤布到达滤
框,然后穿过整个滤饼即另一侧的滤布,再经过非滤液下角的斜孔排出(横穿洗法)
22:新泻网筛尺寸为毫米级,口罩孔为微米级,筛网后空气可以通过筛网不通过
23:古酒(浊酒)过滤:布袋,头巾(葛巾漉酒)。现代酒(澄清酒)过滤:板框过滤机与织物纱布

传热实验:

1:实验装置示意图:



本实验装置由蒸汽发生器、风机、套管换热器(光滑管与强化管)、冷凝器、风
冷器及温度传感器、温度显示仪表、压力显示仪表、流量显示仪表(孔板流量计)等
构成。装置参数: 紫铜管规格 25x1.5mm, 内径为 22mm, 长度为 1.120m。

2:参数计算:

需要记录的数据
空气流量、空气进口温度 t_1 、空气出口温度 t_2 、空气进口壁温 t_{w1} 、空气出口壁温 t_{w2} 、
流量计量附近空气温度 t_s

换热面积: $A_2 = \pi d L$ 为内径大小; 流量计量密度计算: $\rho(t_s) = 10^{-5} t^2 - 4.5 \times 10^{-3} t + 1.2916$; 比热: $C_p = 1005 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$; 热敏度密度计算: $\rho(t)$; 导热系数: $\lambda = -2 \times 10^{-6} t^2 + 8 \times 10^{-5} t + 0.0244$; 粘度: $\mu = (-2 \times 10^{-6} t^2 + 5 \times 10^{-3} t + 1.7169) \times 10^{-5}$
(传热推动力) 对数平均温差 LMTD 计算: $(t_w + t_m) = \frac{(t_{w1} - t_1)(t_{w2} - t_2)}{\ln(t_{w1} - t_1) / \ln(t_{w2} - t_2)}$

对流传热系数 α 的计算: $\alpha = \frac{q}{A_2(t_w - t_f)}$
努赛尔准数 Nu: $Nu = \frac{\alpha L}{\lambda} = \frac{q L}{\lambda(t_w - t_f)}$
雷诺准数 Re: $Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{\rho}{\mu} \times \frac{4 V}{\pi d^2} = \frac{\rho}{\mu} \times \frac{4 Q}{\pi d^2} \times \frac{V(t_s)}{\rho(t)}$

3:基本原理

本装置主要研究空气-气综合换热, 采用夹套式换热器(包括普通管和加强管)
。对于夹套式换热器, 水蒸汽与空气通过紫铜管间接换热, 空气走紫铜管内, 水蒸汽走
紫铜管外, 采用直接换热。所谓加强管, 是在紫铜管内加弹簧, 增大了绝对粗糙度,
进而增大了空气流动的湍流程度, 使换热效果更明显。

对于风冷器和风冷器, 来自夹套换热器壳程的蒸汽进入冷凝器壳程, 与翅片式换
热器的冷却水换热后, 蒸汽冷凝水返回到蒸汽发生器内; 来自夹套换热器管程的空气
进入风冷器壳程, 与翅片式换热器内的冷却水换热后, 空气返回到风机进口。

在工业生产过程中, 大量情况下, 冷、热流体通过固体壁面(传热元件)进行
热量交换, 称为间壁式换热。如图(4-1)所示, 间壁式传热过程由热流体对固体壁面的
的对流传热, 固体壁面的热传导和固体壁面对冷流体的对流传热所组成。

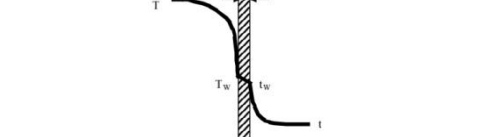


图 4-1 间壁式传热过程示意图

间壁式传热元件, 在传热过程达到稳态后, 有
 $Q = m_1 c_{p1} (T_1 - T_2) = m_2 c_{p2} (t_1 - t_2) = \alpha_1 A_1 (T - T_w) = \alpha_2 A_2 (T_w - t_m)$
 $C(T - T_w)_{\text{热流体与固体壁面的对数平均温差}}^\circ\text{C}$
 $(t_w - t_m)_{\text{热流体与冷流体的对数平均温差}}^\circ\text{C}$;
在本装置的套管换热器中, 换热桶内通水蒸汽, 内铜管管内通水, 水蒸汽在铜管
外冷凝放热而加热水, 在传热过程达到稳态后, 有如下关系式: $\alpha_2 A_2 (t_w - t_w) =$
 $V \rho(t_s) C_p (t_2 - t_1)$

当管内材料导热性能很好, 即 λ 值很大, 且管壁厚度很薄时, 可认为 $T_{w1} = T_{w2} =$
 t_w , 即所谓测得的冷点的壁温, 则可得 $\alpha = \frac{q}{A_2(t_w - t_f)}$
对于流体在圆形直管内作强制湍流对流传热时, 传热准数经验式为 $Nu = 0.023 \times$
 $Re^{0.8} \times Pr^n$, 其中 Nu: 努赛尔数; $Nu = \frac{\alpha L}{\lambda}$; 无因次; Re: 雷诺数; $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$; 无因次; Pr: 普朗
特数; $Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda}$; 无因次

上式适用范围为: $Re = 1.0 \times 10^4 - 1.2 \times 10^5$, $Pr = 0.7 - 120$, 管长与管内径之比
 $L/d \geq 60$, 当流体被加热时 $n = 0.4$, 流体被冷却时 $n = 0.3$ 。

4:实验步骤和方法 实验操作步骤

- 1) 检查仪表、风机、蒸汽发生器及测温点是否正在正常;
- 2) 打开 HV01 向蒸汽发生器内加满其液位量的 1/2-3/4; 关闭阀门, 在仪表控制柜
(或电脑监控软件)上, 启动蒸汽发生器加热系统, 加热开度为 50%, 5min 后, 可
将加热功率开度调到 100%;
- 3) 普通管实验, 打开普通管蒸汽进口阀 HV106, 普通管空气进口阀 HV105, 保证
普通管换热器管路畅通;
- 4) 在仪表控制柜将蒸汽发生器加热系统,投入自动,控制蒸汽发生器温度105°(加
热大概 10min 左右), 待蒸汽发生器内温度高于 95°左右, 在仪表控制柜上启动风
机控制按钮, 并控制流量大小, 设置风机流量自动, 最大流量 20m³/h; 同时, 打开阀门
HV114 和 HV115, 向冷凝器和风冷器进行冷却水, 冷却水流量大概 9L/min;
- 5) 注意观察蒸汽发生器内压力, 稳定状态大概 6kPa 左右, 若压力偏高, 通过打开

- 或关闭普通管换热器放空阀 HV109 调节, 压力偏高, 打开阀门 HV109, 待压力下降
即可关闭;
- 6) 待冷风出口温度稳定(2-5min 基本不变),记录普通管换热器进出口所有温度、风的
流量、冷凝器和风冷器进出口温度以及冷却水流量, 整个换热稳定过程大概需要
10-15min;
- 7) 在仪表控制柜的仪表上, 调节风的流量 8、12.6、20m³/h (按照等比数列设定),
记录 3 组数据;
- 8) 关闭阀门 HV105 和 HV106, 打开阀门 HV107 和 HV108, 切换换热器, 由普通管
到强化管;
- 9) 重复操作(4)-(7), 改成强化管, 调节风的流量 8、10.3、14m³/h (按照等比数列设
定), 记录 3 组数据;
- 10) 实验结束, 首先关闭蒸汽发生器加热系统, 待套管换热器冷风出口温度低于 40℃后,
关闭风机, 仪表电源开关及切断总电源。

注意事项

- 1) 操作过程中, 蒸汽压力一般控制在 10kPa (表压) 以下;
- 2) 测定各参数时, 必须是在稳定传热状态下, 并且随时注意情气的排空和压力表读
数的调整, 一般稳定时间都至少需保证 15 分钟以上, 以保证数据的可靠性。

实际操作步骤:

- 1) 检查仪表、风机、蒸汽发生器及测温点是否正在正常;
- 2) 打开蒸汽发生器加水至液位 4/5 处;
- 3) 打开总电源开关、仪表电源开关, 启动控制软件, 开启蒸汽发生器开始加热, 排除
不凝性气体, 打开冷却水排放阀, 控制温度在 105℃;
- 4) 温度上到开水的沸点后, 开启风机;
- 5) 选择普通管管路, 与仪表显示一致后, 通过控制软件上的“流量设定”, 按等比系
数改变冷流体流量, 从 20m³/h 测到 8m³/h 以等比数列减小, 需要考虑实验装置是否
能达到 20m³/h;
- 6) 在每个实验点时, 观察温度变化, 特别注意冷流体出口温度的变化, 等待系统稳定,
系统稳定后, 冷流体出口温度不再有明显变化的变化时, 点击读取数据按钮, 保存得到该
冷流体流量下的系统数据;
- 7) 完成普通管的测定后, 切换到强化管, 按第 5、6 两步相同的操作进行测定和数据
的采集, 14m³/h 测到 8m³/h 以等比数列减小;
- 8) 完成实验后, 按序切断电加热器电源、水源, 停风机, 最后导出实验数据, 关闭计算
机。

注意事项:

- 1) 开始加热功率可以很大, 但当温度达到 100℃左右, 有大量不凝气体排出时, 加热
电压一般控制在 250V 左右;
- 2) 实际实验管路要和仪表柜上选择开关及计算机上的显示一致, 否则实验失败。
- 3) 实验中冷凝水阀门要一直开启, 防止积冰, 影响实验效果;
- 4) 测定各参数时, 必须是在稳定传热状态下, 一般传热稳定时间都至少需保证 5 分钟
以上, 以保证数据的可靠性 (第一组数据的测定至少稳定 15 分钟) 。
- 5) 实验过程中, 要确保蒸汽发生器内水位不能低于警戒水位。

5.实验思考题

- A1:实验冷流体和热流体的传热, 对传热效果有什么影响。
A1:一般说来, 在没有发生相变的传热过程中, 逆流传热效果要强于并流的传热效果,
主要是由于逆流流程中的 Δt_m 比并流流程中的 Δt_m 更大, 传热效果更好, 但在本次实
验中可以近似认为没有影响, 因为本次实验中热流体的传热过程为相变传热过程, 即
由相律 $F=C-P+2$ 可知, 当相数 $P=2$, 组分数 $C=1$ 时, 体系的自由度 $F=1$, 即在并流
传热过程中操作压力不变的情况下, 热流体的温度将保持不变, 则无论是逆流还是并
流, Δt_m 均可以认为保持不变, 即对传热效果没有影响。
- Q2:在计算冷流体质量流量时所用的密度与求雷诺数时的密度值是否一致? 它们
分别表示什么位置的密度, 应在什么条件下进行计算?
A2:不一致, 计算冷流体质量时所用的密度为冷流体进入流量计的温度下的密度,
应用冷流体计量附近的高温进行计算, 而计算雷诺数时用的密度值, 是冷流体传热前
后定性温度下的密度值, 这个密度从冷流体进到换热段到出换热段都在改变, 所以我们
选择冷流体的定性温度来计算。
- A3:实验中过程, 冷凝水不及时排走, 会产生什么影响? 如何及时排走冷凝水?
A3:冷凝水不及时排走, 不断累积附着在管外壁上, 形成液膜, 使对流换热热阻增大,
降低了对流传热速率, 还会减小水蒸汽的有效换热面积, 导致传热热效率, 及时排除冷凝
水的方法是:在换热器管段中段加设一段冷凝水排水口, 达到及时排走冷凝水的作用。
- Q4:如果采用不同压力的蒸汽进行实验, 对 α 关联式有何影响?
A4:本次实验中热流体的传热过程为相变传热过程, 即由相律 $F=C-P+2$ 可知, 当相数
 $P=2$, 组分数 $C=1$ 时, 体系的自由度 $F=1$, 即热蒸汽的压力的变化能控制热蒸汽的温
度, 从而对传热造成影响。

由 Dittus-Boelter 公式可知, $Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4}$, 另一方面由努赛尔准数
的定义可知, $\alpha = \frac{k \lambda}{L} = \frac{0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4}}{L} \times \frac{4 V}{\pi d^2} \times \frac{V(t_s)}{\rho(t)}$, 但是 Dittus-Boelter 公式适用
的范围是传热温差小于 50℃的范围, 随着热蒸汽的压力上升, 热蒸汽的温度也会随之上
升, 就会导致传热温差高于 50℃的范围, 从而该方程需要重新修正为: $\alpha = \frac{k \lambda}{L} \times \frac{4 V}{\pi d^2} \times \frac{V(t_s)}{\rho(t)}$

即用不同压力的蒸汽进行实验, 对 α 关联式存在需要修正的影响。

6.实验误差分析

- 1) 理论计算时假设紫铜管导热性能好, 即 λ 值很大, 且认为管壁厚度较薄并且各处管
壁温度均一, 即在热流体内通过实验, 温度保持不变的过程中, 默认整个紫铜管各处的
管壁温度相同, 但实际上从实验数据也可以发现, 管壁出口与管壁入口的管壁存在微
笑的差异, 同理在整条管路中就不能保证各处的管壁温度完全相同, 这与理想情况存在
差异, 造成误差。
- 2) 测定实验数据时, 要求稳定时间在 10min 以上, 而实验中, 由于蒸汽发生器加热的
不稳定导致实验数据不稳定, 气流速度等数据也无法保持恒定, 即使能保持十分钟以
后, 各个数值还在发生微小的变化, 因此在测量数据的时候, 测量物理量在小范围内
波动, 甚至可能会出现一度的变化, 因此实际测量的值可能并未完全到达稳态状态,
或者说实验测量仪器系统存在滞后等情况, 导致测量的值与理论情况存在偏差, 会造
成一定的误差。
- 3) 蒸汽发生器的温度不稳定, 导致管内蒸汽温度不稳定, 测量仪器也有一定误差, 另外,
由于过程中测试装置的多次数使用, 会导致管内污垢积累, 使管内热阻增大, 导致测
得的数据失真, 或者测量仪器的探头由于使用实验过久导致污质沉积, 从而使得测
量的实验数据与实际的数值存在偏差。
- 4) 普通管和强化管各有一组数据雷诺数在经验公式所要求的 10000 的附近并且相差
不大, 不能完全达到理论拟合的要求, 另外本实验中 $V/d=70$, 而公式的运用要求 $V/d \geq$
 60 , 也只是刚好满足条件, 对于公式的拟合会有一定影响, 选取的 $Pr=0.7$, 同样也是在
经验公式的 Pr 范围 0.7-120 的范围边缘, 同样存在一定误差。
- 5) 打开排冷凝水阀时要求有少量蒸汽和冷凝水排除, 对于阀门开度的控制会有影响,
实验中很难做到既保证冷凝水不断排出, 同时保证有微量蒸汽不断排出, 很难做到二
者的平衡点, 所以对传热会有一些影响。
- 6) 在读取流量计时冷流体的温度时, 该温度的读取的方式是人工读取流量计附近的温
度表的示数, 一方面这种读取方式是为人为实现的, 就会有不可避免的误差为视觉误差
因素, 另外一方面, 读取流量计时冷流体的温度时选取的温度时流量计量附近较方便
读取温度的位置读取温度, 这就会导致虽然温度读取更加方便, 但是读取的温度与流
量计中的实际温度存在一定误差。
- 7) 实验次数太少, 可能存在一定的偶然性误差。

作出结果表达式

实验雷诺数-努赛尔准数双对数图
经验公式: Dittus-Boelter 方程: $Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4}$
对于冷流体空气来说, Pr 近似为 0.7, 因此可以改写为: $Nu = 0.02 Re^{0.8}$
强化系数比:

已知 $Nu = \frac{\alpha L}{\lambda}$, 即考虑到冷流体的导热系数变化不大, 可以近似忽略, 则 Nu 正
比于对流传热系数, 当传热温差, 管路条件等都相等时, 强化管的对流传热系数的强
化效果可以用如下方式表示: $\frac{\alpha_{\text{强化管}}}{\alpha_{\text{普通管}}} = \frac{Nu_{\text{强化管}}}{Nu_{\text{普通管}}}$

8.其他

- 1) 列管式换热器)管壳式换热器是最常见的一种换热器类型, 优点:传热面积大, 结构
紧凑, 传热效果好, 高温高压大型设备使用。管壳式换热器也是管壳式换热器的一种,
紫铜管优点结构简单便于维修, 用于高温高压小容积流体, 缺点流动阻力大, 金属消耗
多, 而且体积大, 多用于传热面积较小的传热过程
- 2) 板式换热器的优缺点
优点: 可拆卸清洗; 传热系数高; 可拆卸操作灵活; 可调整换热面积; 热面积大
缺点: 密封性可能较差; 比管壳式换热器压降高; 结构更加复杂
- 3) 螺旋板换热器: 冷热流体通常在螺旋板内反向流动, 操作压力温度不能过高, 维修
困难, 但是结构紧凑, 制造简单, 安装方便
- 4) 普通管与强化管的区别: 二者均为套管式换热器, 不同的是强化管中有一段弹簧状
强化管, 减少管内外边界层, 用者均加强传热作用, α 增大
- 5: 对冷空气侧而言, 强化表现为强化传热
- 6: 孔板流量计
根据孔板流量计处的双金属温度计的温度查此处的密度, 再乘上孔板流量计的
体积流量示数即可获得质量流量示数: $V = C_p A \sqrt{\frac{2 \rho (p_1 - p_2)}{\rho}}$, $m = \rho V$
- 7: 用实验方法(普通管)与经验方法进行: 将普通管与强化管进行比较
- 8: 烧蚀加速过程材料: 树脂基体高温热降解-氧化反应与传热过程
树脂分子结构-裂解-产生气-热阻效应-隔热性能(边界层>1200℃, 烧蚀层
>1000℃)氧化-碳化反应, 气体扩散, 对流与辐射, 热传导)边界层-600℃裂解反应

气(气体吸收, 原始材料层-300℃(热传导), 飞行器安全温度-200℃
边界气(体射带部分热量, 改变气动边界层, 阻止外界气流直接接触)
裂解形成气(体)生成部分热量, 改变防热材料结构, 改变材料内部传热
树脂裂解吸收部分热量, 改变防热材料结构, 改变材料内部传热
外部绝热: 高超声速气流(气动热(热流, 绝热压力), 辐射加热, 对流加热
9: 近似法计算空气侧对流传热系数 α_2 :
以管内面积为基础的总传热系数与对流传热系数间的关系为:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_{\text{管内}}} + \frac{R_{\text{管}}}{\lambda} + \frac{b_{\text{管}}}{\alpha_{\text{管外}}} + \frac{R_{\text{垢}}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{管外}}}$$

总传热系数 K: $K = \frac{Q}{A_{\text{管内}} \Delta t_m} = \frac{Q}{A_{\text{管外}} \Delta t_m}$, 用本装置进行实验室时, 换热器外侧, 管壁、
内外污垢热阻均忽略不计, 即 $\alpha_2 = K$

10: 当用强化管时, 其流速略低于普通管, 因为在管内增加弹簧, 虽然可以提高传热
效率, 但是却降低了管路的效率, 增加传热时动能的消耗, 通过加弹簧方法来提高传
热效果, 对于非湍流流体易产生污垢产生热阻和流体运行阻力的增加, 管路传递流
体的能力下降, 故实际生产中需要综合考虑, 且雷诺数越大, 弹簧对于湍流程度的提
升越小。

11: 强化原因分析: 根据普通管和强化管的实验数据和计算结果可以看出相同流量下,
强化管的 α 值较普通管大很多, 即强化管的传热效果比于普通管, 传热效果有明显
提高, 由理论分析可知在管内加弹簧装置, 增大空气流动时的湍流程度, 空气在换
热过程中所获得的热量增大, 而雷诺数越大, 弹簧管对于空气湍流程度的增大越多,
故增大空气的速率随雷诺数增大而减小。

- 2) 影响对流传热系数的因素有: (1) 流体的状态, 气态、液态或者蒸汽在传热过程中
否有相变发生; (2) 流体的物理性质, 如密度、比热容、粘度及导热系数等; (3)
流体的流动形态, 层流或湍流; (4) 流体的对流传热, 自然对流, 强制对流等; 5)
传热面积的形状、位置及大小; (6) 换热管的材料等。
- 3) 与传热有关的三种基本方式: 热传导、对流传热、辐射传热(电磁波传能)
- 14: 热传导与对流传热不同, 辐射传热不需要借助中间介质传递热量(真空中传递)
- 15: 纯金属的导热系数一般随温度升高而减小, 金属温度对导热系数影响很大, 合金
的导热系数一般比纯金属的导热系数小, 杂质导致导热系数下降, 非金属材料导热
导热系数与组成、结构、温度和材料的湿度有关; 空隙率大的导热系数小
- 16: 接触面积光滑、材料的硬度较小和界面间的压力较大均有助于减小接触热阻
- 17: 对流换热影响因素: 流体的相态变化, 单相流动以显热传递为主, 相间时则是相
变潜热传递作用; 引起流动的原因, 强制对流(流体由泵、风机输送或受搅拌等外力
作用产生的对流传热)、自然对流(流体系统内部存在温差, 流体各部分的密度存在
差异), 混合对流(流体的流动形态, 湍流时对流传热系数要比层流大的多); 流
体的物理性质, 不同流体种类(牛顿/非牛顿流体)、密度、粘度、比热容、导热系数等
; 传热面的几何因素, 传热面积的形状、大小、流体与传热面做相对运动的位置和
方向以及传热面的表面情况。
- 18: 汽包上装有不凝气排放口和冷凝液排放口, 注意二口的位置特点并分析其作
用: 不凝气排放口安装在汽包上方, 而冷凝液排放口在汽包下方。不凝气排放口是为
了排出水蒸气中的不凝气, 防止其积累或者进入换热器中, 影响热量衡算的准确性。
冷凝液排放口也有相似作用, 但位置不同

19: 冷凝液处理: 蒸汽与低于饱和温度的传热面接触是有膜状冷凝和珠状冷凝, 由于没
有液膜引起附加热阻, 因此珠状冷凝的传热系数比膜状冷凝高很多, 但是比较难以维
持, 工业设计都是按照膜状冷凝来考虑温度的(也有采用加入促进剂的方式产生珠状凝
冷凝传热的影响因素及强化: 冷凝器的液膜厚度及流动状况是影响传热的重要因素
不凝性气体影响: 蒸汽中含有不凝性气体(如空气), 蒸汽冷凝时, 不凝性气体回复
记载液膜表面, 形成不凝性气膜, 会使得蒸汽分压及相应的饱和温度下降, 使液膜
表面温度低于蒸汽主温度, 相当于在传热过程中增加了额外热阻, 在冷凝器操作作
过程中需要设法不断排除不凝性气体, 提高蒸汽流速也可以减少不凝性气体的影响
流体的物性及液膜两侧的温差: 冷凝液粘度越大, 粘度越小, 液膜越薄, 传热系数
数越大, 液体导热系数增大也有利于冷凝传热加强, 如果流体的冷凝潜热比较大, 在
相同的冷凝负荷下, 冷凝液量减少, 液膜变薄, 当液膜呈层流流动时, 增大液膜两
侧温差, 将使蒸汽冷凝速率增大, 冷凝液膜增厚。

蒸汽流速与流向: 蒸汽流速对冷凝液的影响较大, 若蒸汽与液膜流动方向相同, 蒸汽
流速较大时, 界面上的粘滞力将使液膜变薄, 并促使液膜产生波动, 从而使冷凝传
热加强; 若蒸汽与液膜流动方向相反, 界面上的粘滞力将阻碍液膜流动, 使液膜增
厚, 使传热减弱, 但是粘滞力超过液膜重力时, 液膜会被蒸汽撕破脱落, 传热加强
蒸汽过热的影响: 过热蒸汽冷凝过程包括蒸汽的显热与潜热, 过热蒸汽的冷凝传热系
数要比饱和蒸汽冷凝时大, 但是相差并不明显, 实际工程中可以忽略蒸汽过热的影
响; 液膜过厚的非线性温度分布的影响: 努赛尔的分析中忽略了过冷与温度非线性的影响
冷凝液过厚的非线性温度分布的影响: 主要途径是通过减小冷凝液膜的厚度, 实现方法包括改善冷凝管中的
管束的排列方式, 设置冷凝液排渣控制和改进冷凝液流动方式, 获得珠状冷凝强化
20: 传热三步: 聚热流体以对流传热的方式将热量传递给固体壁面; 热量在固体的侧面
面以热传导的方式传递; 冷流体以对流传热的方式将热量带走

- 21: 污垢热阻: 与流体性质、流速、温度、换热器结构与运行时间有关, 增大流体流速
可以降低污垢在传热面上的沉积的可能性, 由于难以测定污垢与传热系数, 经验式判断
- 22: 逆流与并流流动的优点: 并流流动传热系数小所需换热面积大, 蒸汽出口处温
度与液面壁温较低, 较为安全但是经济性差, 一般用于蒸汽温度最高的末级过热器
或再热器, 或者需要控制温度以保护产品时; 逆流传热温差大, 传热面积小, 可以节
省加热或冷却介质用量, 但是较为不安全, 一般用于过热器和再热器的低段
- 23: 流体通道选择: 不洁净和易结垢的流体宜走管程, 以便于清洗管; 腐蚀性流体
宜走管程, 以免管束和壳体同时受腐蚀, 而且管内也便于检修和清洗; 高压流体宜走
管程, 以免壳体受压, 并且可节省壳体金属的消耗量; 饱和蒸汽宜走壳程, 以便于及
时排出冷凝液, 且蒸汽较洁净, 不易污染冷却; 被加热的流体宜走壳程, 可利用壳体
散热, 增强冷却效果; 有毒流体宜走管程, 以减少流体泄漏; 黏度较大或流量较小的
流体宜走管程, 在较低雷诺数下也能达到湍流时。

其他问题:

- 1) 作离心泵特性曲线测定时, 首先要把泵腔灌满水以防止气缚现象发生, 而阻力实验对
泵加水却不无要求, 为什么? 阻力实验水箱中的水位远高于离心泵, 由于静压差使水
泵泵体始终充满水, 所以不需要灌水。
- 2) 为什么本实验数据须在双对数坐标纸上标绘? 因为用对数坐标纸可以把大数变成小
数, 又可以把小数扩大为整数, 使实验数据更为集中清晰, 传出来的图一目了然
- 3) 开闭阀门要以顺时针旋关, 关闭阀门要顺时针旋关, 为什么? 工作会形成什么习惯?
顺时针旋转方便顺手, 工厂遇到紧急情况时, 要在最短的时间, 迅速关闭阀门, 久而
久之就形成习惯, 为什么阀门制造商满足客户的需求, 阀门制成顺关呢?
- 4) 离心泵送液能力, 当什么可以通过出口阀门调节改变? 往复式的送液能力是否也可
采用同样的调节方法? 为什么? 离心泵送液能力可以通过调节出口阀门开度来改变路
特性曲线, 从而使工作点改变, 往复泵是正位移泵送液与行程无关, 若把出口堵死,
泵内压强会急剧升高, 造成泵架、管路和电机的损坏。
- 5) 测试时为什么要求同一时刻下的瞬时数据? 流体流动时, 由于诸种原因, 各参数
的值是波动的, 为了减少误差, 应采取瞬时值, 同时即时读取。
- 6) 为什么停泵时, 要先关闭出口阀, 再关闭进口阀? 使泵体内的水不被抽空, 另外也
起到保护泵进口处底阀的作用。
- 7) 启动泵前, 为什么先切断排管路测压口至压强表的通路? 为保护压强
表的指针, 用手夹子夹住通往压强表的管子。
- 8) 恒压过滤时, 如何保证溶液的浓度不变? ①把抽滤瓶中的水倒回滤浆槽中, ②及时
补充点清水, ③滤渣(滤饼)必须倒回滤浆槽中。
- 9) 为什么向电加热釜中加水至液位计上端红线以上? 需要产生蒸汽, 并且避免干烧,
造成加热管损坏, 时刻观察是防止水量不够或者水量太多溢出
- 10: 为什么水沸腾 5min, 可调节空气旁路开度的方法? 为使系统的换热充分恒定
- 11: 为什么实验结束先关电泵表, 5 分钟后再次关闭风机? 让鼓风机输送的气体系统中的
的热量尽快带走, 恢复常温
- 12: 为什么在套管换热器上安装有一通大气的管子? 为使不凝性的气体排出
- 13: 为什么每次改变一次流量都要等 5-6 分钟才能读取数据? 为使系统的换热充分恒定
- 14: 离心泵输送的液体密度变大, 则其流量变大, 流量不变, 效率不变, 输功效率大
- 15: 离心泵的流量常用出口阀门调节, 关小出口阀门, 其表示的读数减小, 压力表的
读数增大, 当离心泵出口阀门开大时, 流量增大, 泵出口压力降低
- 16: 某一离心泵在运行一段时期后, 发现吸入口真空表读数不断下降, 管路中的流量
也不断减小直至断流, 经检查, 电机、轴、轴封都处于正常运转时, 可以断定泵内发
生气缚现象; 应检查管路入口管路有否漏气现象
- 17: 离心泵流量上标明的流量和扬程指的是效率最高时的流量和扬程
- 18: 提高悬浮液浓度, 单位过滤时间所得滤液量将增加; 提高悬浮液的固体含量, 单位
过滤时间所得滤液量将减小
- 19: 离心泵运行一年后发现气缚现象, 应检查进口管路是否有泄漏现象
- 20: 对流传热系数关联式中普兰特数表示物性影响的参数
- 21: 强化传热系数关联式以线数距 H 与管内径 d 的比值以及管壁粗糙度 $2d/\lambda$
为主要技术参数, 且长短比表示传热效果和阻力系数的主要因素
- 22: 离心泵流量增大时, 压力表与真空表的数值如何变化? 为什么? 流量越大, 需要推
动力即水头越大, 水头压强与泵入口真空度之间的压强差就越大, 大气压不变, 入口
处压强就应该越小, 而真空度增大, 离心泵的输功效率 $\eta = \rho Q H / N$, Q 与
 H 之间的关为 $Q \propto H^{1/2}$, 而 $H = \rho / \rho$, 所以流量增大, 出口处压强表的读数变小
- 23: 出现“汽蚀”? 当泵的吸入高度过高, 使泵内压力等于或低于输送液体温度下的
饱和蒸汽压力时, 液体汽化, 汽化后, 破裂等过程中引起的剧烈振动
- 24: 滤液的粘度较大, 如何改善过滤速度? 使用助滤剂, 改善滤饼特性; 加热滤液,
降低滤液粘度; 使用聚酰胺, 改变颗粒聚集状态; 限制滤饼厚度; 降低过滤阻力
- 25: 离心泵泵的扬程特性曲线需要测定的主要参数 温度、流量、压力差