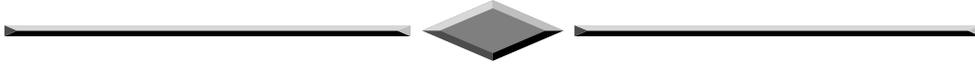




# 气气传热实验 3D 仿真软件 操作手册



北京东方仿真软件技术有限公司

二零一六年五月



# 目录

1、软件背景.....	3
2、实验原理.....	3
2.1、实验目的.....	3
2.2、实验原理.....	4
2.2.1、普通套管换热器传热系数及其准数关联式的测定 .....	4
2.2.2、强化套管换热器传热系数及其准数关联式及强化比的测定 .....	6
3、软件操作.....	7
3.1、软件运行界面.....	7
3.2、3D 场景仿真系统介绍.....	8
3.2.1、移动方式.....	9
3.2.2、视野调整.....	9
3.2.3、任务系统.....	9
3.2.4、阀门操作/查看仪表.....	10
4、实验步骤.....	10
4.1、实验准备.....	10
4.2、实验一：普通管实验.....	11
4.3、实验二：强化管实验.....	11
4.4、实验结束.....	12
附：实验思考题答案.....	12



# 1、软件背景

虚拟现实技术是近年来出现的高新技术，也称灵境技术或人工环境。虚拟现实是利用电脑模拟产生一个三维空间的虚拟世界，提供使用者关于视觉、听觉等感官的模拟，让使用者如同身临其境一般，可以及时、没有限制地观察三维空间内的事物。

虚拟现实技术的应用正对员工培训进行着一场前所未有的革命。虚拟现实技术的引入，将使企业进行员工培训的手段和思想发生质的飞跃，更加符合社会发展的需要。虚拟现实应用于培训领域是教育技术发展的一个飞跃。它营造了“自主学习”的环境，由传统的“以教促学”的学习方式代之为学习者通过自身与信息环境的相互作用来得到知识、技能的新型学习方式。

虚拟现实已经被世界上越来越多的大型企业广泛地应用到职业培训当中，对企业提高培训效率，提供员工分析、处理能力，减少决策失误，降低企业风险起到了重要的作用。利用虚拟现实技术建立起来的虚拟实训基地，其“设备”与“部件”多是虚拟的，可以根据随时生成新的设备。培训内容可以不断更新，使实践训练及时跟上技术的发展。同时，虚拟现实的交互性，使学员能够在虚拟的学习环境中扮演一个角色，全身心地投入到学习环境去，这非常有利于学员的技能训练。由于虚拟的训练系统无任何危险，学员可以反复练习，直至掌握操作技能为止。

# 2、实验原理

## 2.1、实验目的

- 1、通过对空气—水蒸气简单套管换热器的实验研究，掌握对流换热系数 $\alpha_i$ 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  $Nu = A * Re^m * Pr^{0.4}$  中常数 A、m 的值；
- 2、通过对管程内部插有螺旋线圈和采用螺旋扁管为内管的空气—水蒸气强化套



管换热器的实验研究，测定其准数关联式  $Nu = B * Re^m$  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；

3、了解套管换热器的管内压降  $\Delta p$  和  $Nu$  之间的关系；

## 2.2、实验原理

### 2.2.1、普通套管换热器传热系数及其准数关联式的测定

1、对流传热系数  $\alpha_i$  的测定

对流传热系数  $\alpha_i$  可以根据牛顿冷却定律，用实验来测定。

$$\alpha_i = \frac{Q_i}{\Delta t_m \times S_i}$$

式中：  $\alpha_i$  —管内流体对流传热系数， $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ；

$Q_i$  —管内传热速率，W；

$S_i$  —管内换热面积， $m^2$ ；

$\Delta t_m$  —内管壁面温度与内管流体温度的平均温差， $^\circ C$ 。

平均温差由下式确定：

$$\Delta t_{mi} = t_w - \left( \frac{t_{i1} + t_{i2}}{2} \right)$$

式中：  $t_{i1}$ ，  $t_{i2}$  —冷流体的入口、出口温度， $^\circ C$ ；

$t_w$  —壁面平均温度， $^\circ C$ ；

因为换热器内管为紫铜管，其导热系数很大，且管壁很薄，故认为内壁温度、外壁温度和壁面平均温度近似相等，用  $t_w$  来表示。

管内换热面积：

$$S_i = \pi d_i L_i$$

式中：  $d_i$  —内管管内径，m；

$L_i$  —传热管测量段的实际长度，m；

由热量衡算式：



$$Q_i = W_i c_{pi} (t_{i2} - t_{i1})$$

其中质量流量由下式求得:

$$W_i = \frac{V_i \rho_i}{3600}$$

式中:  $V_i$ —冷流体在套管内的平均体积流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$c_{pi}$ —冷流体的定压比热,  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\rho_i$ —冷流体的密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

$c_{pi}$  和  $\rho_i$  可根据定性温度  $t_m$  查得,  $t_m = \frac{t_{i1} + t_{i2}}{2}$  为冷流体进出口平均温度。

$t_{i1}$ 、 $t_{i2}$ 、 $t_w$ 、 $V_i$  可采取一定的测量手段得到。

## 2、对流传热系数准数关联式的实验确定

流体在管内作强制湍流, 处于被加热状态, 准数关联式的形式为

$$Nu_i = A Re_i^m Pr_i^n$$

$$Nu_i = \frac{\alpha_i d_i}{\lambda_i}$$

其中:

$$Re_i = \frac{u_i d_i \rho_i}{\mu_i}$$

$$Pr_i = \frac{c_{pi} \mu_i}{\lambda_i}$$

物性数据  $\lambda_i$ 、 $c_{pi}$ 、 $\rho_i$ 、 $\mu_i$  可根据定性温度  $t_m$  查得。经过计算可知, 对于管内被加热的空气, 普兰特准数  $Pr_i$  变化不大, 可以认为是常数, 则关联式的形式简化为:

$$Nu_i = A Re_i^m Pr_i^{0.4}$$

通过实验确定不同流量下的  $Re_i$  与  $Nu_i$ , 然后用线性回归方法确定  $A$  和  $m$  的值。

## 2.2.2、强化套管换热器传热系数及其准数关联式及强化比的测定

强化传热又被学术界称为第二代传热技术，它能减小初设计的传热面积，以减小换热器的体积和重量；提高现有换热器的换热能力；使换热器能在较低温差下工作；并且能够减少换热器的阻力以减少换热器的动力消耗，更有效地利用能源和资金。强化传热的方法有多种，本实验装置是采用在换热器内管插入螺旋线圈的方法来强化传热。

螺旋线圈的结构图如图 2-1 所示，螺旋线圈由直径 3mm 以下的铜丝和钢丝按一定节距绕成。将金属螺旋线圈插入并固定在管内，即可构成一种强化传热管。在近壁区域，流体一面由于螺旋线圈的作用而发生旋转，一面还周期性地受到线圈的螺旋金属丝的扰动，因而可以使传热强化。由于绕制线圈的金属丝直径很细，流体旋流强度也较弱，所以阻力较小，有利于节省能源。螺旋线圈是以线圈节距  $H$  与管内径  $d$  的比值为主要技术参数，且节距与管内径比是影响传热效果和阻力系数的重要因素。科学家通过实验研究总结了形式为  $Nu = BRe^m$  的经验公式，其中  $B$  和  $m$  的值因螺旋丝尺寸不同而不同。

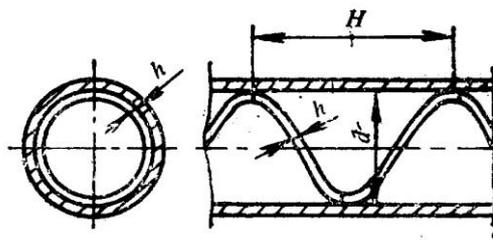


图 2-1 螺旋线圈强化管内部结构

在本实验中，采用实验 2.2.1 中的实验方法确定不同流量下的  $Re_i$  与  $Nu_i$ ，用线性回归方法可确定  $B$  和  $m$  的值。

单纯研究强化手段的强化效果（不考虑阻力的影响），可以用强化比的概念作为评判准则，它的形式是： $Nu/Nu_0$ ，其中  $Nu$  是强化管的努塞尔准数， $Nu_0$  是

普通管的努塞尔准数，显然，强化比 $Nu/Nu_0 > 1$ ，而且它的值越大，强化效果越好。需要说明的是，如果评判强化方式的真正效果和经济效益，则必须考虑阻力因素，阻力系数随着换热系数的增加而增加，从而导致换热性能的降低和能耗的增加，只有强化比高且阻力系数小的强化方式，才是最佳的强化方法。

## 3、软件操作

### 3.1、软件运行界面



图 1：3D 场景仿真系统运行界面

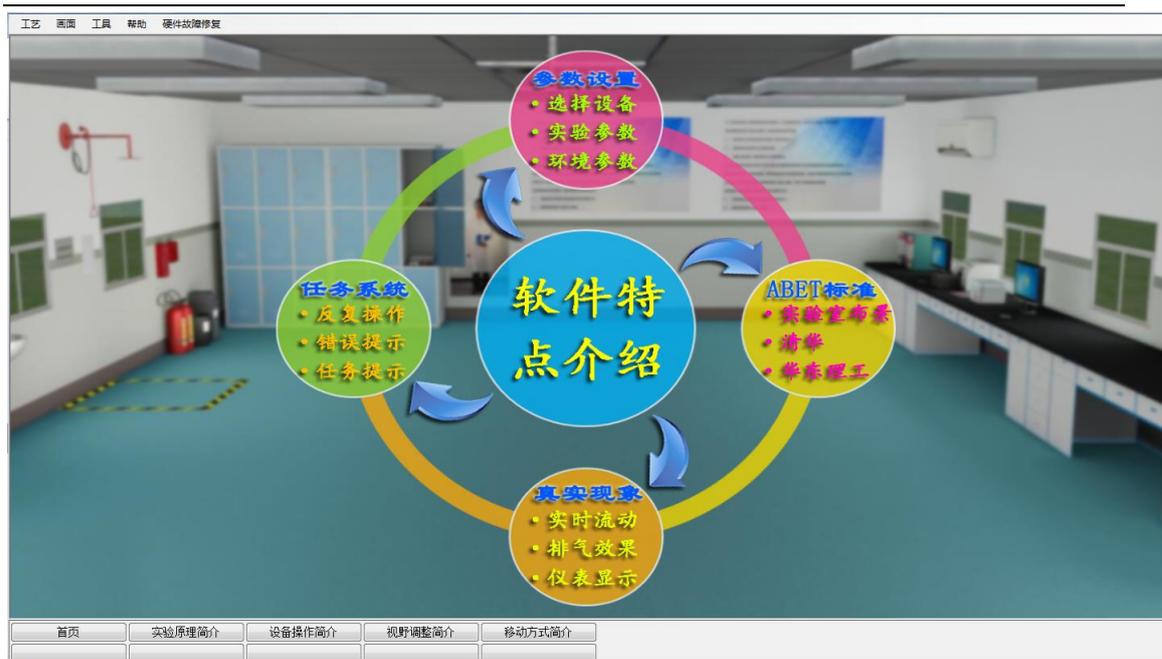


图 2：实验操作简介界面

ID	步骤描述	得分	组信息	操作说明
U...	设定实验参数1: 设置普通管管长及半径。	10.0		
U...	设定实验参数2: 设置强化管管长及半径。	10.0		
U...	设定实验参数3: 设置蒸汽温度。	10.0		
U...	设定实验参数完成后, 记录数据。	0.0		
U...	打开注水阀VA102, 向蒸汽发生器加水。	0.0		
U...	等待蒸汽发生器内的液面上升到大约2/3左右高度。	0.0		
U...	关闭注水阀VA102。	0.0		
U...	检查空气流量旁路调节阀VA106是否全开。	0.0		
U...	检查普通管空气管路控制阀VA107是否打开。	0.0		
U...	打开连通阀VA101, 使水槽与蒸汽发生器相通。	0.0		
U...	检查普通管蒸汽管路控制阀VA104是否打开。	0.0		

图 3：操作质量评分系统运行界面

操作者主要在 3D 场景仿真界面中进行操作，根据任务提示进行操作；实验操作简介界面可以查看软件特点介绍、实验原理简介、视野调整简介、移动方式简介和设备操作简介；评分界面可以查看实验任务的完成情况及其得分情况。

## 3.2、3D 场景仿真系统介绍

本软件的 3D 场景以化工原理实验室为蓝本进行仿真。

### 3.2.1、移动方式

- 按住 WSAD 键可控制当前角色向前后左右移动。
- 点击 R 键可控制角色进行走、跑切换。

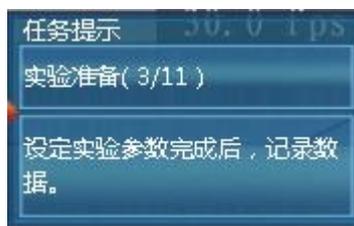
### 3.2.2、视野调整

- 软件操作视角为第一人称视角，即代入了当前控制角色的视角。所能看到的场景都是由系统摄像机来拍摄。
- 按住鼠标左键在屏幕上向左或向右拖动，可调整操作者视野向左或是向右，相当于左扭头或右扭头的动作。
- 按住鼠标左键在屏幕上向上或向下拖动，可调整操作者视野向上或是向下，相当于抬头或低头的动作。

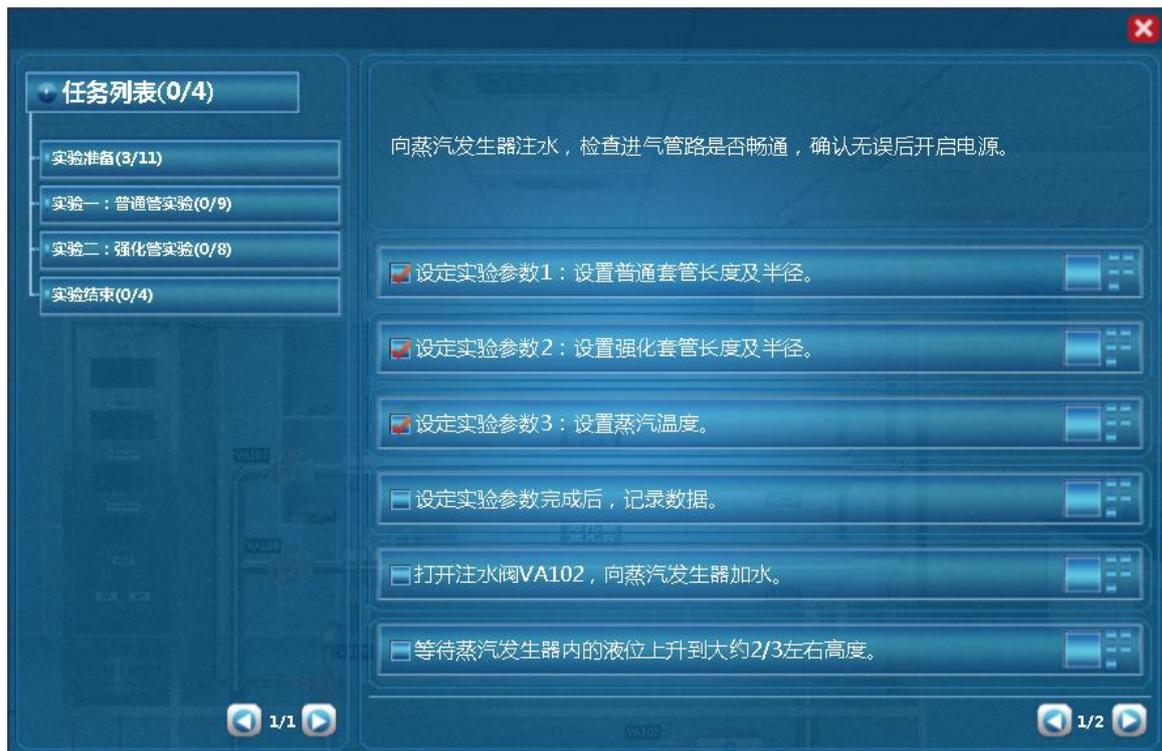
按下键盘空格键即可实现全局场景俯瞰视角和人物当前视角的切换。

### 3.2.3、任务系统

- 点击运行界面右上角的任务提示按钮即可打开任务系统。



- 任务系统界面左侧是任务列表，右侧是任务的具体步骤，任务名称后边标有已完成任务步骤的数量和任务步骤的总数量，当某任务步骤完成时，该任务步骤会出现对号表示表示完成，同时已完成任务步骤的数量也会发生变化。



### 3.2.4、阀门操作/查看仪表

当控制角色移动到目标阀门或仪表附近时，鼠标悬停在该物体上，此物体会闪烁，说明可以进行操作。

- 左键双击闪烁物体，可进入操作界面，切换到阀门/仪表近景。
- 在界面上有相应的设备操作面板或实时数据显示，如液位，压力。
- 点击界面右上角关闭标识即可关闭界面。

## 4、实验步骤

### 4.1、实验准备

- (1) 设定实验参数 1：设置普通套管长度及半径。
- (2) 设定实验参数 2：设置强化套管长度及半径。
- (3) 设定实验参数 3：设置蒸汽温度。
- (4) 设定实验参数完成后，记录数据。



- (5) 打开注水阀 VA102，向蒸汽发生器加水。
- (6) 等待蒸汽发生器内的液位上升到大约 2/3 左右高度。
- (7) 关闭注水阀 VA102。
- (8) 检查空气流量旁路调节阀 VA106 是否全开。
- (9) 检查普通管空气支路控制阀 VA107 是否打开。
- (10) 打开连通阀 VA101，使水槽与蒸汽发生器相通。
- (11) 检查普通管蒸汽支路控制阀 VA104 是否打开。

## 4.2、实验一：普通管实验

- (1) 启动总电源。
- (2) 启动蒸汽发生器电源，开始加热。
- (3) 等待普通管蒸气排出口有恒量蒸汽排出。
- (4) 普通管蒸气排出口有恒量蒸汽排出，标志实验可以开始。
- (5) 启动风机电源。
- (6) 步骤 A：调节阀 VA106 开度，调节流量所需值，待稳定后，记录数据。
- (7) 重复进行步骤 A，总共记录 6 组数据。
- (8) 空气最小流量一定要做。
- (9) 空气最大流量一定要做。

## 4.3、实验二：强化管实验

- (1) 打开强化管蒸汽支路控制阀 VA105。
- (2) 关闭普通管蒸汽支路控制阀 VA104。
- (3) 等待强化套管蒸气排出口有恒量蒸汽排出。
- (4) 强化套管蒸气排出口有恒量蒸汽排出，标志实验可以开始。
- (5) 打开强化管空气支路控制阀 VA108。
- (6) 关闭普通管空气支路控制阀 VA107。
- (7) 步骤 B：调节阀 VA106 开度，调节流量所需值，待稳定后，记录数



据。

- (8) 重复进行步骤 B，总共记录 6 组数据。

#### 4.4、实验结束

- (1) 关停蒸汽发生器电源。
- (2) 关停风机电源。
- (3) 全开空气流量旁路调节阀 VA106。
- (4) 关停总电源。

### 附：实验思考题答案

1-5: ACCBC

6-10: BBDAB

11-15: BCBDA

16-20: ABDAD