



3S技术系列

即输 Synchronous Input

即算 Synchronous Calculation

即见 Synchronous Display

中华人民共和国版权局注册软件

计算机软件著作权登记号: XXXXXX

集成数据界面，智能实时响应，即输即算即见^{3S}——

盘管换热博士

Vessel Heater Calculator

for Inside Tube

VHeater[®]用户手册

VHeater[®] Manual

版本 2016.12.05.25

V2016.12.05.25

容器内置 螺旋/U 型盘管换热器计算

储罐、储槽、罐区热工设计必备工具

西安市维维计算机技术有限责任公司

2016.12.05

<http://www.htcsoft.com>

email:htcsoft@163.com

前言

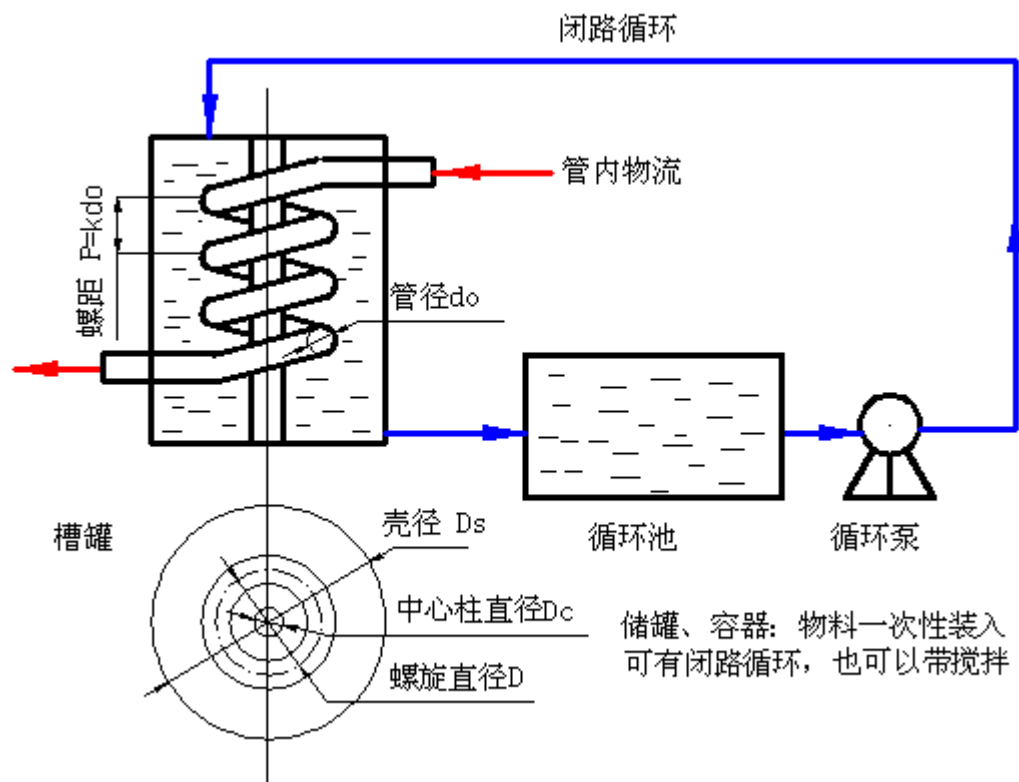
工业设计和生产中，存在大量的基于**盘管换热**的工程问题：

- 储槽、储罐加热、冷却
- 罐区加热冷却系统
- 热水器（工业、民用）
- 热水池（如大型污水生化处理池、民用工程的洗澡池）
- 大型天然气加热器（如中国石油每天处理 400 万立方的巨大形预热器）

以上的换热除了**稳态换热**之外，还有**非稳态换热**。非稳态换热即被加热（冷却）流体的温度随时间而变，在数学上，温度 T 对时间 t 的导数不为零： $\frac{dT}{dt} \neq 0$ ，比如用蒸汽盘管加热热球罐中的煤油，从 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加热到 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。关于此类换热的书籍、资料、研究很多，但是到了工程上，都变成了一些比较粗略的估算公式，计算精度有时候很差。因为受到手算的速度限制，这类文献所载的非稳态传热的精确模型不多，最常见的传热模型中没有考虑保温、环境因素，因为这样会使数学模型高度非线性，增加了建模和求解的难度。文献上有些模型看似非常严格，但是并没有给出求解方法，终是摆饰。**截止目前，一些著名的换热器软件都无法处理以上迫切需要的计算**，为此 **Vheater** 应运而生。在建立了**比较完整的数学模型**和求解方案，最终用软件实现，从而为工程设计提供强大的支持智能化设计工具。

Vheater 适用范围：可以模拟各种类型的盘管换热器，包括螺旋盘管和 U 型管。这些类型的换热器有时候也叫做容积式换热器。以下三类囊括了所有可能的盘管换热器：

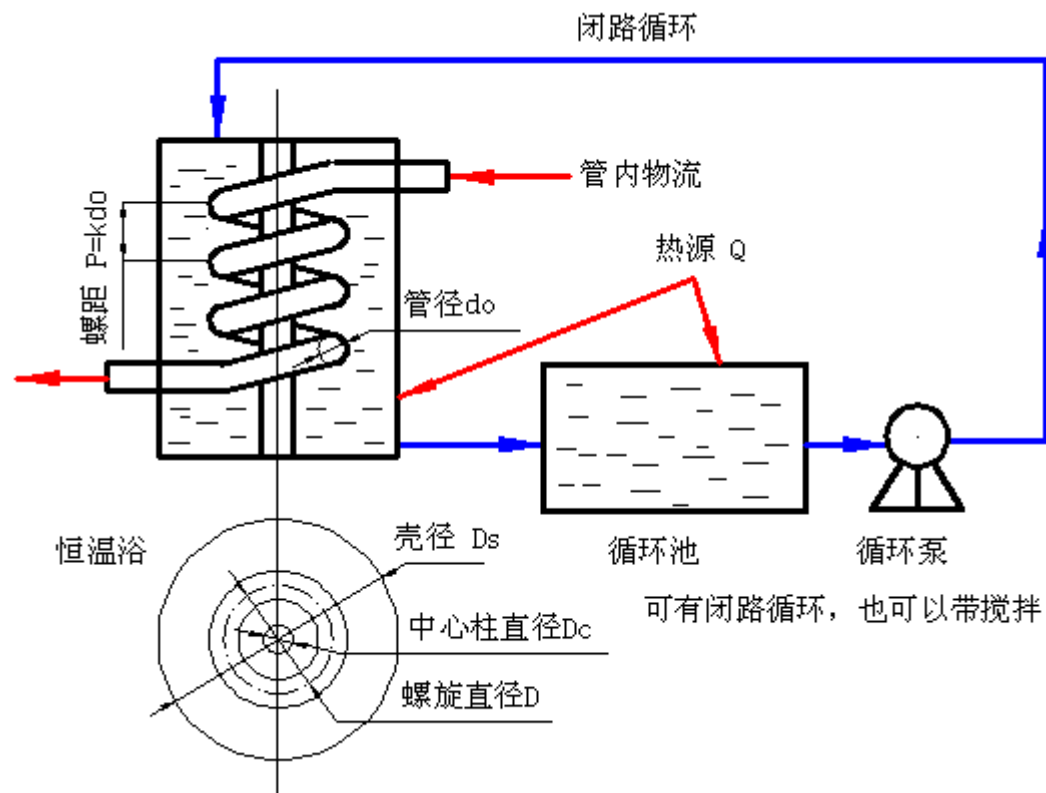
1. 容器（储槽、储罐）加热/冷却:



特点：容器中的流体是一次性加入，在给定的时间内加热或冷却到一定温度。管内流体是

稳定、连续流动的，容器中流体是定量的。
可选结构：可以有闭路循环，也可以有搅拌。
常见用途：储罐、储槽内的物料的加热、冷却。

2. 恒温浴：

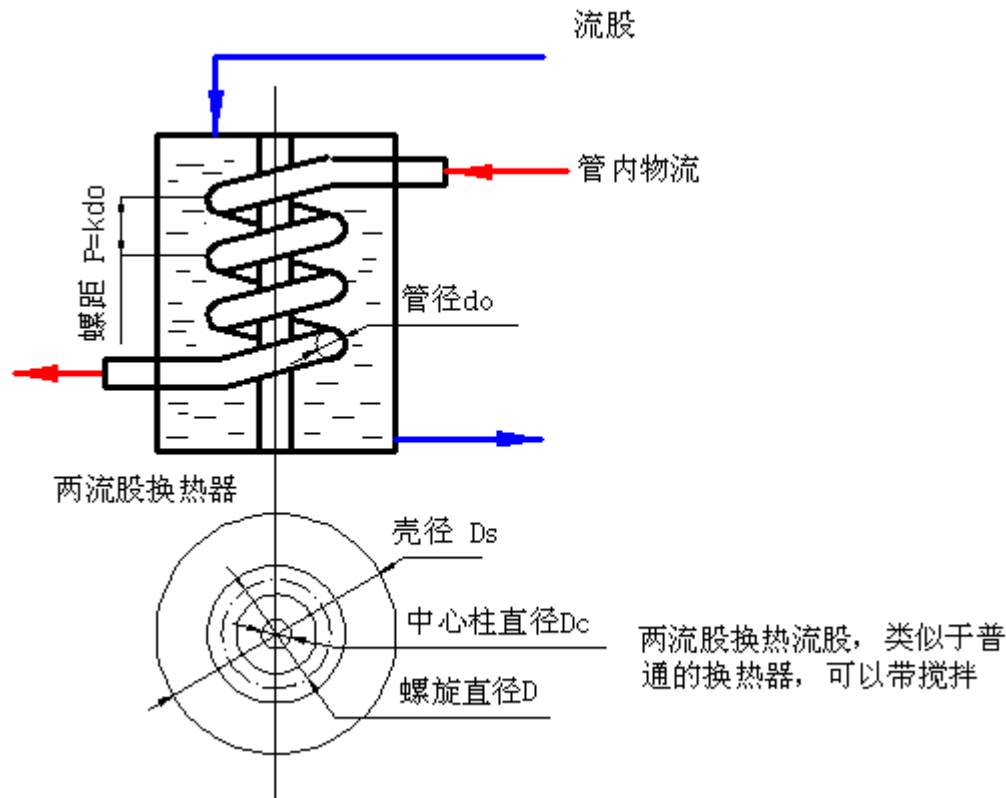


特点：容器中的流体是恒定温度，由自控装置控制恒温。管内流体是稳定、连续流动的，容器中流体是定量的。

可选结构：可以有闭路循环，也可以有搅拌。

常见用途：加热、冷却盘管中的流体。

3. 两流股换热器：



特点：两侧流体都是连续流动的，类似于普通换热器。

可选结构：可以有搅拌。

常见用途：加热、冷却盘管中的流体或者容器中的流体。

Vheate®建模时，作了如下规定：

- 容器中的被加热流体，如果不带搅拌，传热系数计算使用大空间的自然对流传热模型；如果有搅拌，使用搅拌传热模型；如果有闭路循环，使用自然对流+强制对流模型；
- 容器外壁可以带有保温层；
- 热量向环境扩散时候，可以是大气或者地表；
- 容器内的加热元件：直管 U 型管或者盘管，螺旋盘管内部可以有搅拌、也可有中心柱（筒）。加热介质可以是各种蒸汽或者是单相流体；

Vheate®建模时，热平衡方程考虑了容器外壁向环境的热损失，这样使得换热计算更加精确，但是增加了方程组的方程数、变量数和求解难度。比如：器壁向环境散热，膜系数使用： $\alpha_e = a + b(T_w - T_a)$ ，等等。

Vheater建立的方程组中的微分方程，部分能得到了解析解，部分用数值方法解。所有迭代算法的收敛精度不小于 1.0×10^{-4} 。微分方程用在储罐、容器的非稳态传热计算中。

Vheater挟维维软件“自由输入、智能相应、即输即算即见³⁸”的专有技术，是一款最容易掌握、计算精确的容器传热计算软件。设计院、设备制造厂、最终用户，都可以使用它来进行容器热力计算，提高装备的换热技术水平。

在容器、换热设备制造厂，对于这一大类设备的机械设计本不成什么问题，制造难度更是门槛低，热力、工艺设计计算将成为抢占市场的核心技术之一，而 Vheater 可以助你站在竞争的制高点上。

版本更新历史：

日期	版本	描述	功能
2016-12-05	2016.12.05.25	商业版本升级	扩充了数据库，修正了一些 Bug
2016-10-20	2016.10.20.24	商业版本升级	扩充了所有可能的相变计算
2016-09-06	2016.09.06.23	商业版本升级	报表增加了正版软件序列号
2016-07-08	2016.07.08.22	商业版本升级	增加了多根管计算
2016-02-08	2016.02.08.21	商业版本升级	优化了算法、扩充了功能、数据库
2015-12-10	2015.12.10.20	商业版本	扩充了闭路循环、两流股
2012-03-01	2012.03.01.10	首发版本	商业销售，优惠销售期 1 年
2012-02-01	2012.02.01.01	内部测试版	基本功能测试

目录

第一章 系统安装.....	1
1.1 系统需求.....	1
1.1.1 OS运行环境.....	1
1.1.2 硬件运行环境.....	1
1.1.3 软件安装.....	1
1.2 使用许可证.....	1
第二章 入门.....	2
2.1 数据输入.....	2
2.1.1 VHeater的智能响应.....	2
2.1.2 VHeater数据输入注意事项.....	2
2.1.3 VHeater物性数据来源.....	2
2.2 VHeater操作.....	3
2.2.1 入门例子.....	3
2.2.2 菜单系统.....	4
第三章 各型换热器分论.....	6
3.1 容器（储槽、储罐）.....	6
3.2 恒温浴.....	10
3.3 两流股换热器.....	12
第四章 系统参数.....	14
4.1 概述.....	14
4.2 设置参数.....	14
附录A 术语.....	15
A.0.1 数据说明.....	15



第一章 系统安装

1.1 系统需求

1.1.1 OS 运行环境

VHeater®运行在MS Windows XP, 2000, 2003 以上的OS上, 不支持 Win 95/98/Me。

1.1.2 硬件运行环境

VHeater®试用版本需要 Web 连接; LAN 网络版本需要小型局域网; 单机版本对计算机硬件没有特殊要求。

1.1.3 软件安装

VHeater®有非常人性化的安装程序 Setup.exe, 在 Setup.exe 的向导下你会轻松地完成安装。一些病毒防火墙可能阻挡安装的顺利进行, 甚至错误地报告 Setup.exe 是病毒, 因此强烈建议在安装前关闭所有病毒防火墙。

1.2 使用许可证

VHeater®分为试用版本、单机版本和 LAN 网络版本。后两个版本为正式版本, 功能齐全, 需要硬件许可; 试用版本无需任何许可即可使用, 但是功能有限。单机版本的许可为 USB 卡, 安装在本地机器上; LAN 网络版本的许可也是 USB 卡, 安装在服务器上。各种许可汇总如表一:

表一

Xheater®许可形式汇总表

序号	许可类型	许可证形式	功能
1	试用版本	无	功能有限
2	单机版本	USB 卡	正式版本, 功能完全, 单用户
3	LAN 网络版本	USB 卡	正式版本, 功能完全, LAN 网络多用户

在没有许可的情况下, 安装正式版本是无用的。一些破解的版本肯定不会有正确的计算结果。

第二章 入门

2.1 数据输入

2.1.1 VHeater 的智能响应

在数学计算中，相关自由变量指定受到自由度的限制，比如我们熟悉的欧姆定律：

$I = \frac{V}{R}$ ，我们只能输入其中的 2 个变量数值，第 3 个变量就由计算决定了，它是因变量。就

是说它的自由度为 2。维维软件在你输入变量的个数达到自由度时候，软件会立即计算出因变量，因此自动阻止你输入多余的数据。因此你输入数据时候，优先输入设计要求的数据，不要见到数据就输入。举例：

冷水量 $w=20000$ kg/h，从 $t_1=38$ °C 加热到 $t_2=40$ °C。

热水温度 $T_1=80$ °C，出口温度 $T_2=50$ °C

如果你输入以上 5 个数据，热水的流 W 量就自动被 VHeater 计算出来了，你就不能输入。你如果确实想输入热水的流 W 量，首先应当把前面输入的 5 个变量其中 1 个清空，这时候，就可以输入热水的流 W 量了。

2.1.2 VHeater 数据输入注意事项

VHeater 的数据，输入框带有背景色，白色背景的数据的可以自由输入；黑色边框的数据必须输入，一般地它是物性数据或者设计指定数据；其它背景颜色的是计算数据，不必输入也不能输入。

每个数据的后面带有单位选择，你随时可以选择单位。每个数据输入后回车，系统会立即响应计算。

一些数据旁边有下拉箭头，点开它，会有供你选择的数据。

如果不带搅拌，自然对流传热计算需要流体的体积膨胀系数。VHeater 自动已算气体的体积膨胀系数，对于液体的体积膨胀系数 VHeater 数据库自带了一些，但是不可能囊括所有流体，特别是液体混合物。

2.1.3 VHeater 物性数据来源

- 手工输入。物性数据用户收集、查找，然后输入到 VHeater 中。
- 使用物性数据库。VHeater 自带了一个简易的物性数据库，使用方法：1) 在界面中按下“平均比热”右边的箭头，打开物性数据库；2) 选择物质种类；3) 填写温度和压力；4) 按下“计算”按钮；5) 按下“确定”按钮。见图 2-1。
- 使用流程模拟软件。VHeater 能够连接 Hysys，倒入其中的换热器模块数据，使用方法见 2-2。

2.2 VHeater 操作

2.2.1 入门例子

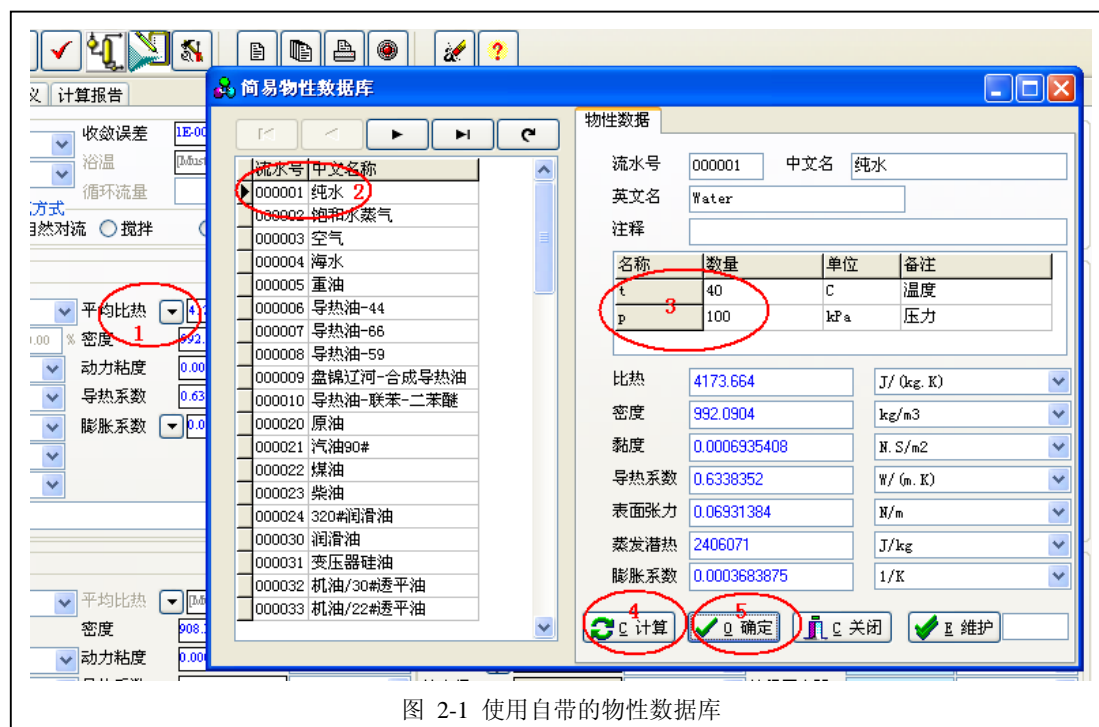


图 2-1 使用自带的物性数据库

计算一个平底、圆柱型容器的加热盘管。容器参数：直径 31 m，高度 14.m，充装系数 0.9，如图 2-2 所示。

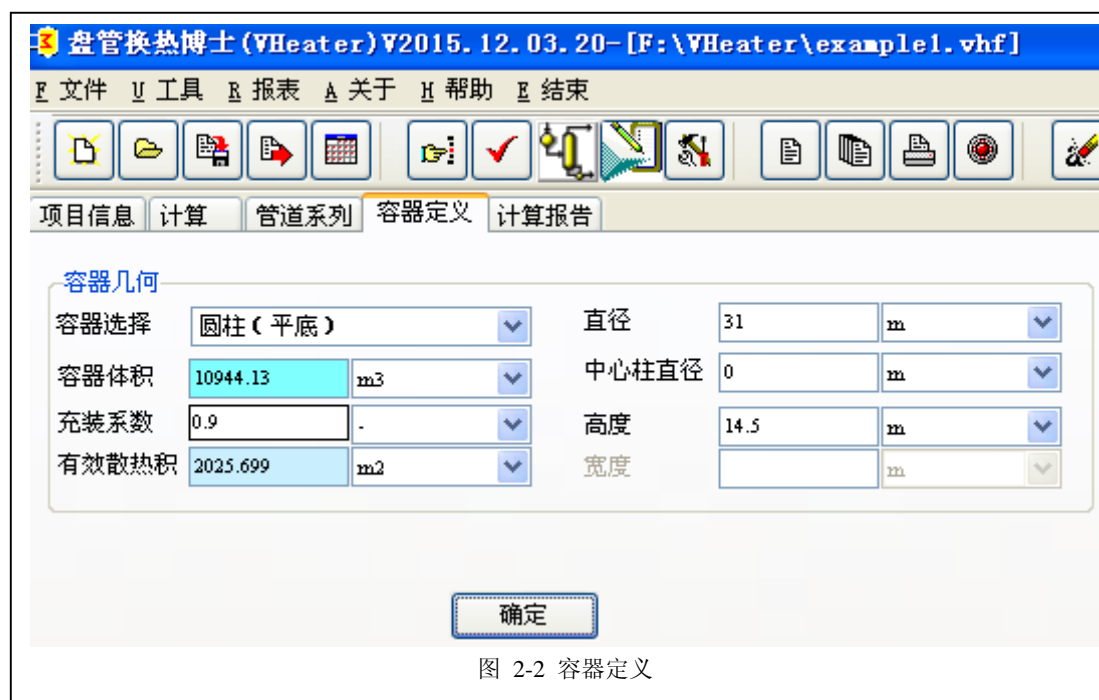


图 2-2 容器定义

按下“确定”，返回“计算”页面。这个容器装 9771810 kg、30° C 的水，用 0.5 Mpa (G)

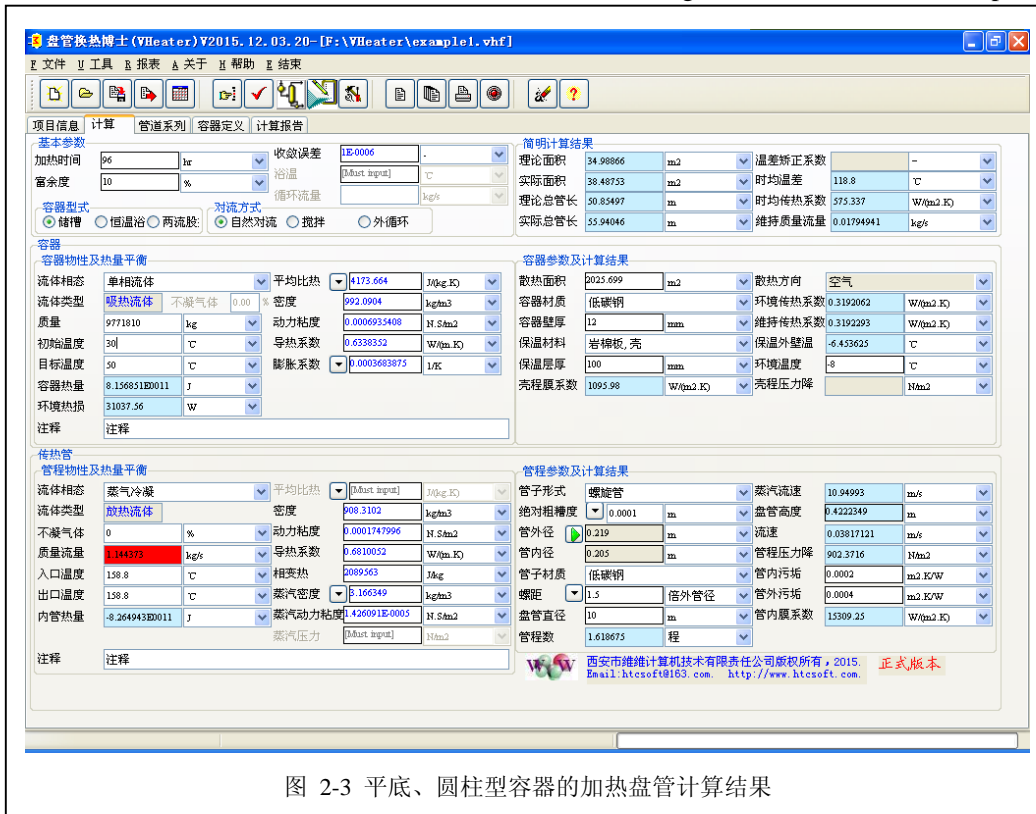


图 2-3 平底、圆柱型容器的加热盘管计算结果

的蒸汽 24 h 内加热到 50° C。输入完这些成后，VHeater 的画面如 2.3 所示。操作这个计算过程十分简洁，计算结果也是一目了然：全部集中在用户界面中。

现在简要说明一下 **部分比较特殊的计算结果**：

- **理论面积**：富裕度为 0 时的面积，刚好达到传热效果；
- **实际面积**：实际富裕度下的面积；
- **管程数**：1.6，你可以圆整到整数 2 根（程）；
- **壳程热损**：就是向环境散热量，它用总体传热量的百分比表示。如果小于 0，说明壳程从环境吸热；
- **环境膜系数**：向环境散热时候的传热系数；

有了这个入门例子，需要进一步了解 VHeater 的菜单系统，以便保存数据文件、生成报表、打印报表等。

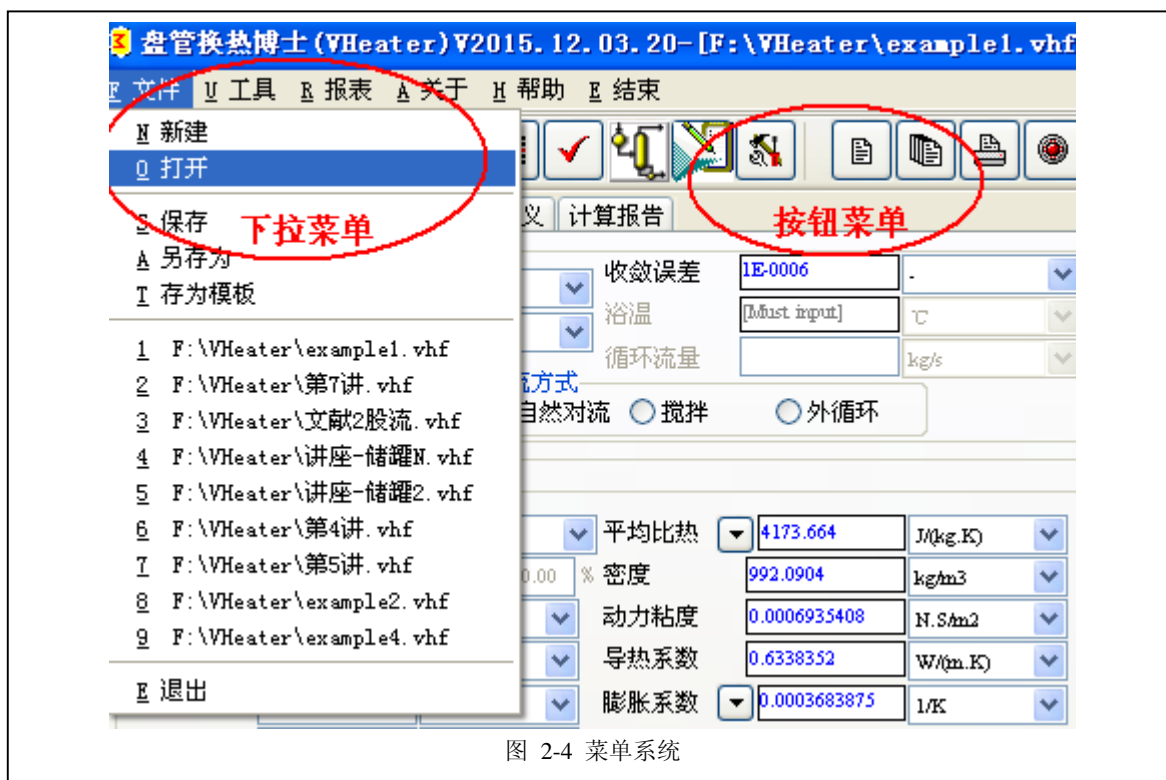
2.2.2 菜单系统

VHeater 的菜单系统分为“**下拉菜单**”和“**按钮菜单**”，前者是文字形式，后者是按钮。二者功能一致，便于你灵活使用，如图 2.4。现在介绍一下 **主要**的菜单和功能：

1) **E 文件** 菜单：包括 5 个子菜单：

- **新建**。新建一个换热器计算，这个操作要求你选择一个模板；
- **打开**。打开以前保存的计算；
- **保存**。保存当前计算数据；
- **另存为**。更名保存当前计算；
- **存为模板**。把当前计算作为模板保存，不影响当前的计算文件；

- 退出。结束 VHeater。



2) U 工具 菜单：包括 3 个子菜单：

- 连接 PROII。连接 PROII 的换热模块（暂缺）；
- 连接 HYSYS。连接 HYSYS 的换热模块（暂缺）；
- 系统设置。在这里，设置 VHeater 的缺省参数（暂缺）；

3) R 报表 菜单：包括 4 个子菜单：

- 生成报表。在“简易报表”页面上生成报表；
- 保存报表。保存“简易报表”页面上的报表为 Word 文件；
- 打印报表。打印“简易报表”页面上的报表；

第三章 各型换热器分论

3.1 容器（储槽、储罐）

3.1.1 纯自然对流

这是最简单的盘管加热器，容器中的物料一次性加入，在限定的时间内加热到指定的温度。如图 3-1 所示。举例：

设备数据：直径 1000 mm，高度 1000 mm 的圆柱储罐，无中心筒。盘管为 25 × 2.5 的碳钢管，罗盘直径 500 mm。螺距、材质等其它参数，参看图 3-3。

工艺数据：罐内装水 400 kg，开始温度 12° C，加热到 40° C，加热时间 60 min。热水为 90° C 的工业废水，出口 80° C。物性、污垢等其它工艺数据，参看图 3-3。

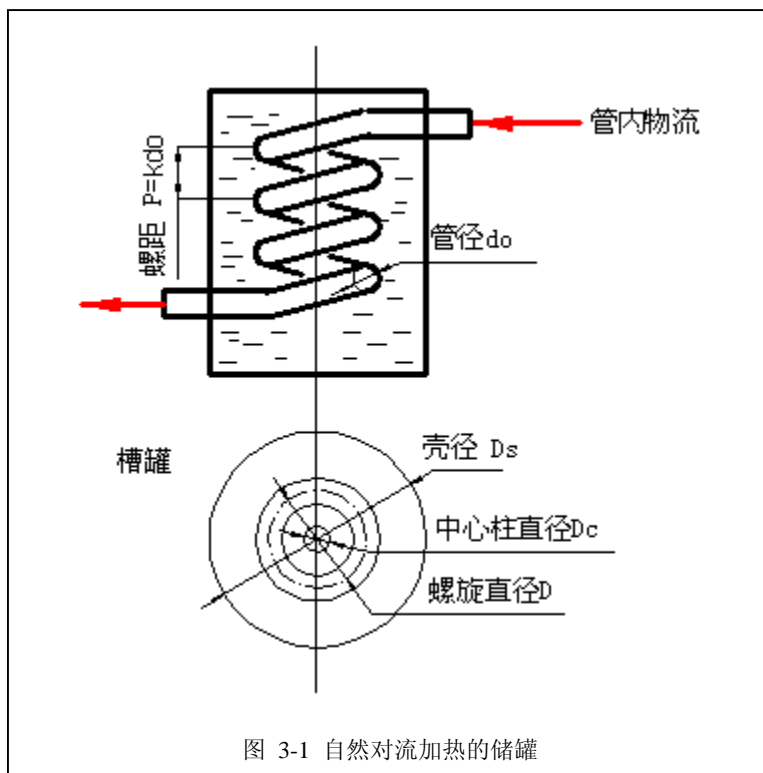


图 3-1 自然对流加热的储罐



图 3-2 设备几何数据

先输入设备数据，如图 3-2。再输入工艺数据。数据输入过程中，因为 VHeater 是 3S



图 3-3 储罐自然对流计算结果

技术（即输、即算、即见）软件，会实时响应：输入完毕，计算也就完成了。图 3-3 是最终结果。可以浏览“计算报告”页面查看详细结果，也可以把结果保存为 MS Word 格式的电子文件或者打印。

计算报告比较长，摘录一部分如下：

容器参数及计算结果：

散热面积	3.2987	m ²
容器材质	低碳钢	
容器壁厚	8.0000	mm
保温材料	岩棉板, 壳	
保温层厚	10.0000	mm
散热方向	空气	
环境传热系数	2.4665	W/(m ² .K)
维持传热系数	2.4810	W/(m ² .K)
保温外壁温	21.4933	°C
环境温度	20.0000	°C
壳程膜系数	787.7112	W/(m ² .K)
壳程压力降		N/m ²

管程参数及计算结果：

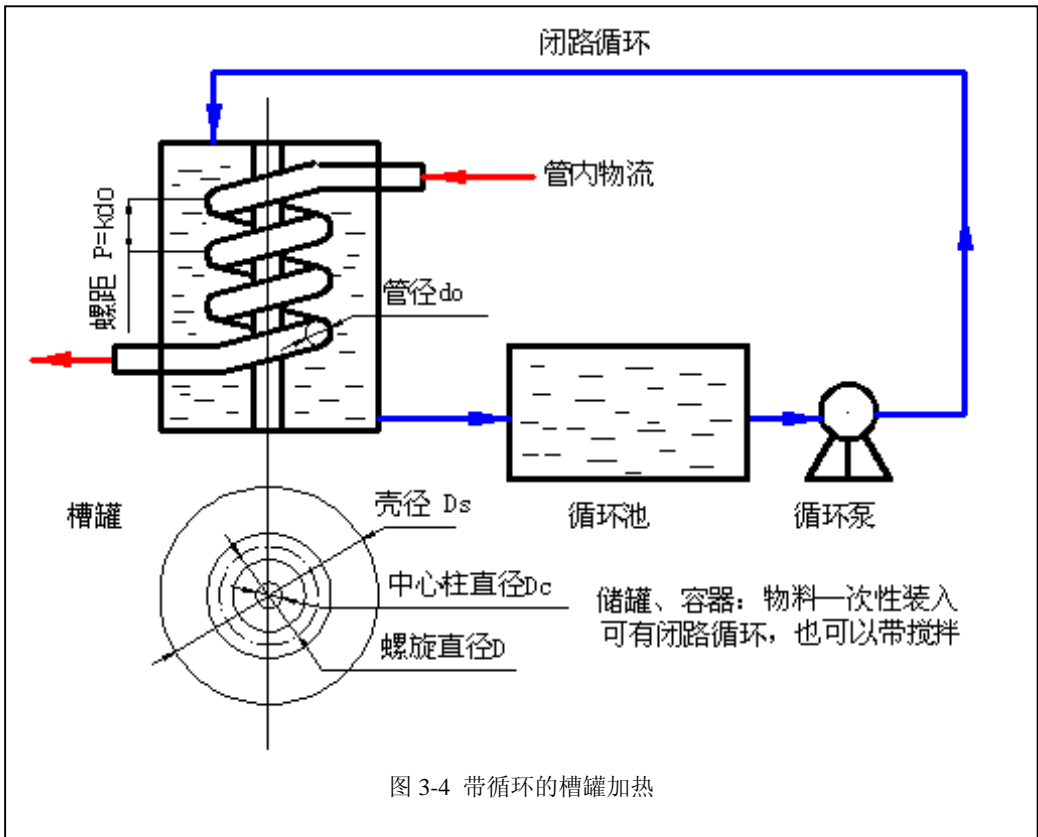
管子形式	螺旋管	
绝对粗糙度	0.1000	mm
管外径	25.0000	mm
管内径	20.0000	mm
管子材质	低碳钢	

螺距	2.0000	倍外管径
盘管直径	500.0000	mm
管程数	2.8536	程
盘管高度	117.6781	mm
流速	1.0151	m/s
管程压力降	4.2893	kPa
管内污垢	0.0000	m ² .K/W
管外污垢	0.0000	m ² .K/W
管内膜系数	5266.1452	W/(m ² .K)

简明计算结果:

理论面积	0.3522	m ²
实际面积	0.3522	m ²
理论单管长	4.4846	m
时均温差	59.0000	°C
时均传热系数	628.1049	W/(m ² .K)
维持质量流量	14.0818	kg/h

3.1.2 带外循环（封闭循环）



和 3.1.1 相比，带有一个循环泵，循环量 100t/h，其它不变，如图 3-4 所示。计算结果如 3.5 所示。在 3.1.1 中，壳程的传热系数为 787.7 W/(m².°C)，本例加了 100 t/h 循环后，壳程的传热系数为 853.3 W/(m².°C)，增加幅度为 8.3 %。可见循环的作用并不明显。其原因是壳体直径 1000 mm，100 t/h 循环产生的线速度 U 很小。为了提供较高的线



速度，可以增加中心筒，见 3.1.3 带外循环和中心柱（筒）。

3.1.3 带外循环和中心筒

和 3.1.2 相比，增加了直径为 800 mm 的中心筒，以提高循环产生的流速，其它不变。中心筒数据在“容器定义”页面输入。计算结果如图 3-6 所示。

在 3.1.2 中，壳程的传热系数为 $853.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，本例加了中心筒后，壳程的传热系数为 $985.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，增加幅度为 15.5 %。和纯粹自然对流壳程的传热系数为 $787.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 相比，**增加循环和中心筒后，壳程的传热系数增加 25.1 %。**

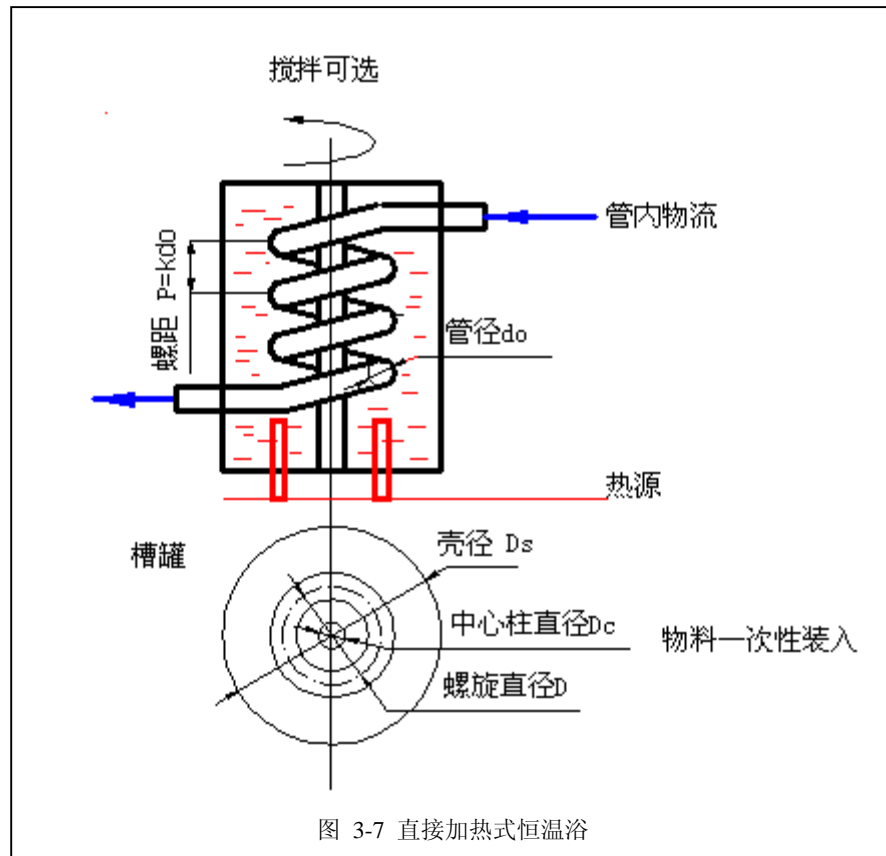


3.2 恒温浴

3.2.1 直接加热式

这是最简单的恒温浴，容器中的流体一直处于恒温状态。热源可有多种形式提供，直接加热容器中的流体，恒温靠自动控制系统维持。如图 3-7 所示。举例：

设备数据：长方体恒温槽：长度 1000 mm，宽度 1000 mm，高度 2000 mm。螺距、材质等其它参数，参看图 3-8
工艺数据：槽内恒温为 180℃的导热油，把 1200



kg/h 的 20℃水加热到 60℃。物性、污垢等其它工艺数据，参看图 3-8。

关于热源。热源的选择和用户资源有关。如果用户有高温烟道气等资源可用，可作为热源；**最简单热源也许是电加热单元**（电阻丝、电热棒等）。Vheater 已经计算出了所需热功率，由此计算电阻丝、电热棒等热源的参数就很容易。恒温槽温度的精确控制需要 DCS 等自控连锁系统，不再赘述。

关于恒温槽加热介质。本例中是导热油，但是不仅限于这一种。实际上水、熔盐、等都可能作加热介质，这根据实际情况决定。而**使用气体的情况极少**，除非特殊需要。但是如果使用气体，Vheater 可以用同样的方法计算。

3.2.2 间接加热式

间接加热式的热源不直接供给恒温槽，而是在外部加热热介质，循环供给恒温槽，如图 3-9 所示。它实际上是一种封闭循环式恒温浴。间接加热式的优点是：1) 热源可以远离恒温槽；2) 热负荷大；3) 传热系数大，适合于大热负荷的场合。缺点是：1) 设备稍复杂，需要循环系统；2) 占地面积大；3) 控制比较复杂。关于间接式恒温浴，不再列举例子。

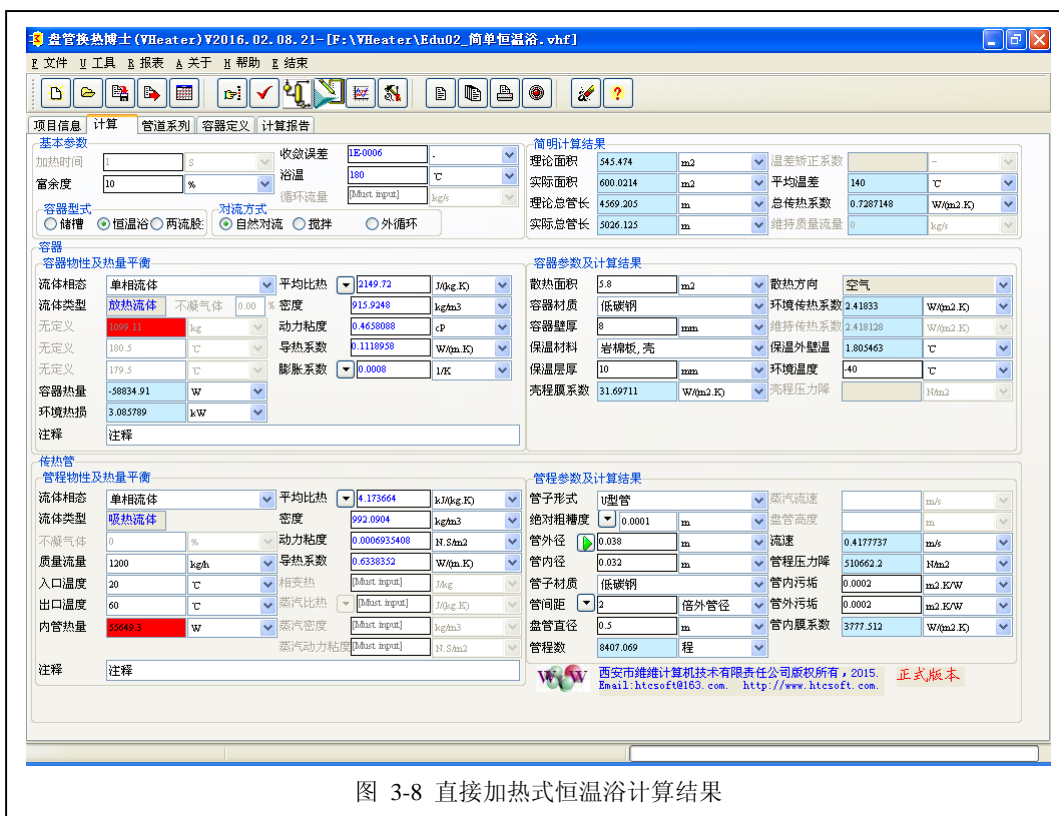


图 3-8 直接加热式恒温浴计算结果

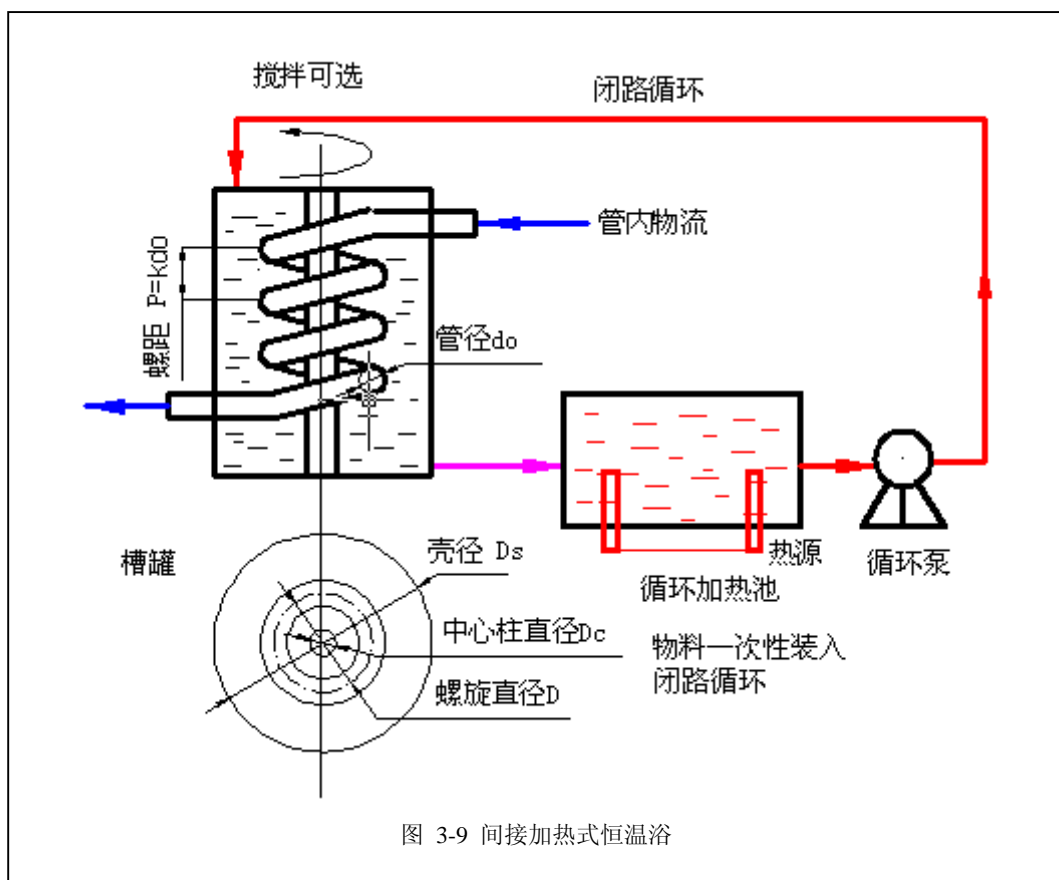


图 3-9 间接加热式恒温浴

3.3 两流股换热器

3.3.1 简介

两流股换热器和普通的换热器区别不大，两侧流体都是有流进、有流出，如图 3-10 所示。因为两侧都是稳定地进出，进出口温度不变，属于稳态传热。

因为这是强制对流传热，为了提高槽内流体速度，常常有一个中心筒（柱子），以减小槽的流通面积，提高流体线速度。尽管有中心筒，常常槽内流速还是很小时，这种情况下，自然对流传热不可以忽略。事实上，许多设计手册都忽略了自然对流传热，导致工程上设计的换热器多大了许多。Vheater 在必要的时候，自动使用自然对流+强制对流

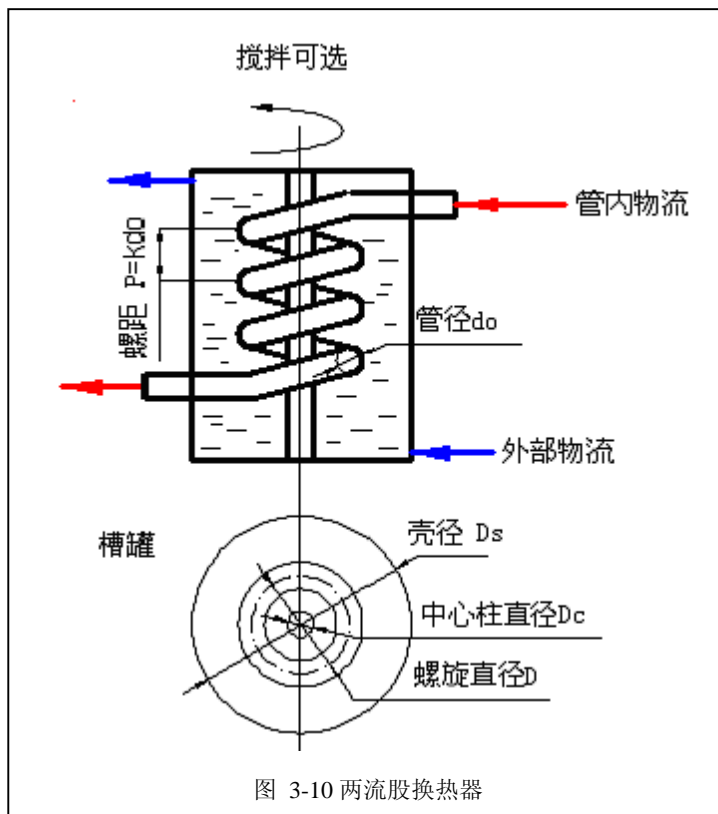


图 3-10 两流股换热器



图 3-11 两流股换热器计算结果



叠加的混合传热算法，提高了准确性。举例：

设备数据：圆柱体槽，直径 460 mm，高度 1600 mm，无中心柱（直径=0）。螺距、材质等其它参数，参看图 3-11

工艺数据：槽内恒温为 30℃，流量 2141 kg/h 的水加热到 47℃。盘管内热水入口温度 127℃。物性、污垢等其它工艺数据，参看图 3-11。



第四章 系统参数

4.1 概述

Vheater 有一些预定义的常数，这些常数是按照经验或者习惯定义的，你可以根据自己的需要设置（更改）它的数值。应当注意的是，更改这些常数需要丰富的知识和经验，否则不要轻易修改它。

4.2 设置参数

按下“U 工具”菜单，打开设置界面你就可以设置了：直接修改参数值，如图 4-1 所示。设置参数后，对于当前计算立即起作用。要让设置永久起作用，请按下“保存”；要恢复缺省值，请按下“恢复缺省”。这些参数的含义比较清晰，不再赘述。



附录 A 术语

A.0.1 数据说明

总质量

被加热流体的质量，kg。

初始温度

流体开始加热时的温度，℃。

基本参数：

加热时间

流体从初始温度加热到，目标温度的时间，hr

收敛误差

迭代计算的误差，一般取：1E-6

富余度

传热管面积的富余量，%

容器几何参数：

容器选择

选择容器的几何形状，分为球罐、圆柱（平底）、立方体和拱顶罐（水平）

容器体积

容器的最大容积，m³

充装系数

装料体积和最大容积之比

有效散热积

容器中，实际装料部分对应的容器外壁面积，m²

直径

球罐、圆柱和拱顶罐的直径，m

高度

圆柱和立方体储槽的高度，m

容器物性及热量平衡，物性：

平均比热

物料在平均温度下的比热，kJ/(kg·K)

**密度**

物料在平均温度下的密度, kg/m^3

动力粘度

物料在平均温度下的动力粘度, Pa/S

导热系数

物料在平均温度下的导热系数, W/(m.K)

膨胀系数

物料在平均温度下的膨胀系数, $1/\text{K}$

容器物性及热量平衡, 工艺和热量平衡数据:**流体相态**

包括所有流体相态: 单相流体、蒸汽冷凝、液体蒸发

流体类型

容器的流体类型只有: 吸热流体

质量

容器中被加热流体的质量, kg

初始温度

容器中被加热流体的开始温度, $^{\circ}\text{C}$

目标温度

容器中被加热流体的要求(终了)温度, $^{\circ}\text{C}$

容器热量

容器中被加热流体吸收的总热量, kJ

环境热损

整个加热过程中向环境散热的平均速率, W

容器参数及计算结果:**散热面积**

即有效散热面积: 容器中, 实际装料部分对应的容器外壁面积, m^2

容器材质

容器壁的材质

容器壁厚

容器壁厚度, mm

**保温材料**

保温材料的种类

保温层厚

保温层的厚度, mm

散热方向

散热的对象, 分为空气和地表(大地)

环境传热系数

整个加热过程中的平均散热(热损失)的传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$

维持传热系数

加热到目标温度后, 维持这个目标温度, 即保温时的散热(热损失)膜系数, $W/(m^2 \cdot K)$

保温外壁温

保温层外面(对着环境)在整个加热过程中的平均温度, $^{\circ}C$

环境温度

环境的极端低温, $^{\circ}C$

管程物性及热量平衡, 物性:**密度**

管程流体(加热介质), 对于蒸汽冷凝, 指冷凝液的密度, kg/m^3

动力粘度

管程流体(加热介质), 对于蒸汽冷凝, 指冷凝液的动力粘度, Pa/S

导热系数

管程流体(加热介质), 对于蒸汽冷凝, 指冷凝液的导热系数, $W/(m \cdot K)$

相变热

管程流体为蒸汽冷凝时的蒸发潜热, kJ/kg

蒸汽密度

管程流体为蒸汽冷凝时的蒸汽密度, kg/m^3

蒸汽动力粘度

管程流体为蒸汽冷凝时的蒸汽动力粘度, Pa/S

管程物性及热量平衡, 工艺和热量平衡数据:**流体相态**

包括所有流体相态: 单相流体、蒸汽冷凝、液体蒸发

**流体类型**

管程流体始终是：放热流体

不凝气体

蒸汽冷凝情况下，蒸汽中含有不凝气体的质量百分数，%

质量流量

管程流体的质量流量，kg/h

入口温度

管程流体的入口温度，C

出口温度

管程流体的出口温度，C

内管热量

整个加热过程管程流体放出的总热量，kJ

管程参数及计算结果：**管根数**

盘管的根数。一般是一根，特殊情况下为多根。

管子形式

分为U型管和螺旋管两种

绝对粗糙度

管内壁的绝对粗糙度，mm

管外径

加热管外径，m

管内径

加热管内径，m

管子材质

加热管材质

螺距

加热管为螺旋管时的螺距，以外管径的倍数表示

管间距

加热管为U型管时的相邻两管的间距，以外管径的倍数表示

**盘管直径**

加热管为螺旋管时的**盘管圆周的直径**，为U型盘管时的一段管长， m

管程数

加热管为**螺旋管**，程数指**螺旋的圈数**；加热管为**U型管**，程数指**U型弯的个数+1**，即**直管段的数**

蒸汽流速

流体相态为蒸汽冷凝时，蒸汽在管中的入口（最大）流速， m/s

流速

流体相态为**单相流体**时为流体的流速；流体相态为**蒸汽冷凝**时，为蒸汽在管中的入口（最大）流速， m/s

压力降

管程压降， Mpa

管内污垢

管内污阻力， $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

管外污垢

管外污垢阻力， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

管外膜系数

管外向容器传热的膜系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

简明计算结果：**理论面积**

传热所需最小面积，无富裕， m^2

实际面积

指定富裕度下的传热面积，有富裕， m^2

理论单管长

1根换热管的理论长度，即富裕为0时的长度， m

实际单管长

1根换热管的实际长度，即富裕度下的长度， m

时均温差

整个加热过程中的平均温度差， C

时均传热系数

整个加热过程中的平均传热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



维持质量流量

维持目标（终了）温度，即保温所需要的加热流体的质量流量，kg/h