



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——

**箱式外壳列管式换热器计算软件 V 7.0**

**BoxHeater Version 7.0**

**for**

**Tube-Box Shell Heater Calculation**

**BoxHeater® V 7.0 用户手册**

**BoxHeater® V 7.0 Manual**

省煤器 空冷器 气体加热器 气体冷却器 喷淋式换热器

——各种方壳外形（箱式）换热器 热力计算

西安市维维计算机技术有限责任公司

2018-11-07

<http://www.htcsoft.com>

email:htcsoft@163.com



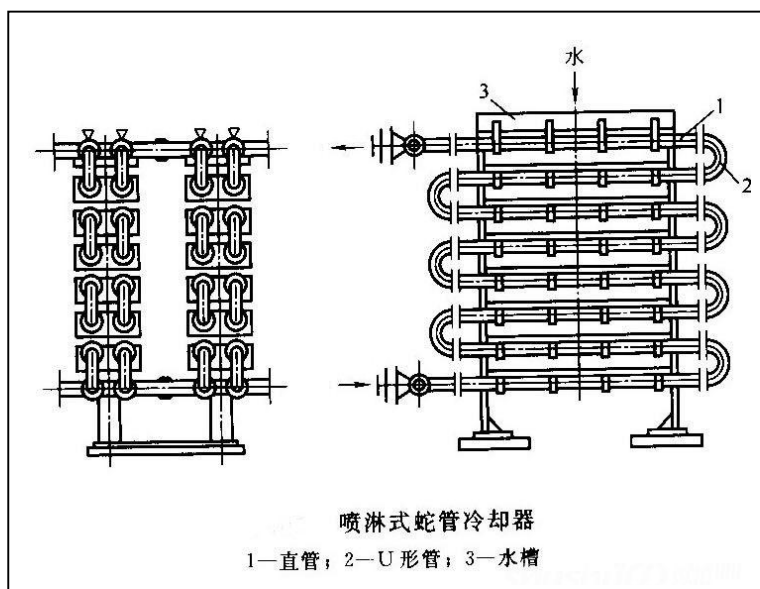
## 前言

管壳式换热器中，长方体外壳的换热器是一个大类别，如空冷器、空气减湿器、柜式空调等。这类换热器的一个显著特点是壳体为长方体形状，在民用市场上远比圆筒形外壳的换热器用途广泛。长方体外壳的换热器最常用于气体换热，如空冷器。为了强化换热，翅片管是最常用的换热管。在一些换热要求不高的场合，也常用光管做换热管。BoxHeater 同时适用于翅片管和光管。尽管为了处理空气，BoxHeater 有专门针对空气的特殊处理，但它不仅仅用于空气换热。化学工业等流程工业的气体冷却、冷凝等使用的长方体外壳的换热器也是 BoxHeater 计算的主要对象。BoxHeater 的热力计算基于一个结构具体的换热器，每次计算中它都做好换热器的详细布管、确定具体几何结构，以便减少误差。



典型的 Box Heater

长方体外壳的换热器的另一个大类别是喷淋式（也称为：淋洒式、淋激式、激冷式）换热器，它的壳程是液体喷淋而不是连续流体。这类换热器结构简单，却有较强的壳程换热膜系数，有广泛的应用。一些冷却塔的换热模式也属于这一类。BoxHeater 也可以计算它。



喷淋式蛇管冷却器

1—直管; 2—U形管; 3—水槽

BoxHeater 支持设计型、核算型两种算法，常常两种算法可自然地混用。设计算法中，分“最快”和“最优”两种优化类型，前者耗时少，得到的结果是较好的；后者耗时长，得到的结果是最优的。“最优”优化类型是一种全局搜索优化，它在数千种结构中选择一台最优（面积最小）的换热器。

BoxHeater 使用比设计手册更严格的数学模型，并有包括热损失在内的热量平衡计算。基于牛顿迭代法的求解方法都做到了绝对收敛。

长方体外壳的换热器的结构特点，使得它的计算和圆筒形外壳的换热器不同，最简单说，它们的布管结构不同，所以圆筒形外壳的换热器计算软件不能计算长方体外壳的换热器，为此维维软件开发了 BoxHeater。

BoxHeater 挟维维软件 3S：“即输、即算、即见”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，制造难度也不大，热力、工艺设计计算将成为抢占市场的核心技术之一，而 BoxHeater 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                      |
|------------|---------------|-----------|-------------------------|
| 2013-05-27 | 2013.05.27.10 | 海川论坛首发体验版 | 基本功能体验                  |
| 2014-07-01 | 2013.07.01.11 | 标准版       | 商业版本完成                  |
| 2015-06-20 | 2015.06.20.12 | 标准版       | 首次商业销售                  |
| 2015-06-29 | 2015.06.29.13 | 标准版       | 数据库更新                   |
| 2015-07-06 | 2015.07.06.14 | 标准版       | 修正部分 BUG、数据库更新          |
| 2015-07-16 | 2015.07.16.15 | 标准版       | 增加了管口计算                 |
| 2015-07-23 | 2015.07.23.16 | 标准版       | 修正了无翅片（光管）的计算 Bug       |
| 2016-06-21 | 2016.06.21.20 | 标准版       | 大幅度升级，修改了优化算法           |
| 2016-08-05 | 2016.08.05.30 | 标准版       | 增加了连接方式，修正了部分 BUG       |
| 2016-08-10 | 2016.08.10.31 | 标准版       | 优化了升级功能                 |
| 2016-09-05 | 2016.09.05.33 | 标准版       | 增加了整体翅片                 |
| 2016-10-17 | 2016.10.17.34 | 标准版       | 增加了曲面（波纹）翅片             |
| 2016-11-11 | 2016.11.11.35 | 标准版       | 数据库扩充                   |
| 2017-01-24 | 2017.01.24.36 | 标准版       | 数据库扩充                   |
| 2017-03-08 | 2017.03.08.37 | 标准版       | 修改 BUG                  |
| 2017-08-04 | 2017.08.04.40 | 标准版       | 增加了喷淋式换热器               |
| 2017-10-01 | 2017.10.01.50 | 标准版       | 增加了 AutoCAD 布管图输出优化了布管图 |
| 2017-10-24 | 2017.10.24.51 | 标准版       | 增加了布管图坐标 Tipes          |
| 2018-01-01 | 2018.01.01.52 | 标准版       | 增加了英文、中英文对照报表           |
| 2018-06-19 | 2018.6.19.60  | 标准版       | 增强了相变计算精度，扩充了 R245FA    |
| 2018-11-7  | 2018.11.07.70 | 标准版       | 增增加了异型管、壳程冷凝、风机功率       |

# 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 BOXHEATER基础 .....         | 2  |
| 2.1 BoxHeater适用范围 .....       | 2  |
| 2.2 基本概念和抽象几何模型 .....         | 2  |
| 2.3 数据输入 .....                | 2  |
| 2.3.1 BoxHeater的智能响应 .....    | 2  |
| 2.3.2 BoxHeater数据输入注意事项 ..... | 3  |
| 2.3.3 BoxHeater物性数据来源 .....   | 3  |
| 2.4 输入数据分论 .....              | 4  |
| 2.4.1 公共数据 .....              | 4  |
| 2.4.2 不同算法的输入数据 .....         | 5  |
| 2.5 计算结果数据 .....              | 5  |
| 2.6 软件系统操作 .....              | 6  |
| 2.6.1 菜单系统 .....              | 6  |
| 2.6.2 软件界面布局 .....            | 6  |
| 第三章 设计型计算 .....               | 8  |
| 3.1 无相变空冷器 .....              | 8  |
| 3.1.1 空冷器设计（1） .....          | 8  |
| 3.1.2 空冷器设计（2） .....          | 10 |
| 3.2 相变空冷器 .....               | 10 |
| 第四章 校核型计算 .....               | 12 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 4.1 算法概述.....           | 12 |
| 4.2 复杂空冷器设计 .....       | 12 |
| 第五章 强化换热管 .....         | 14 |
| 5.1 强化换热管概述 .....       | 14 |
| 5.2 换热管分论.....          | 14 |
| 5.2.1 扭曲管 .....         | 14 |
| 5.2.2 波节管 .....         | 14 |
| 第六章 实用工具 .....          | 15 |
| 6.1 实用工具概述 .....        | 15 |
| 6.2 空气湿度相关概念 .....      | 15 |
| 6.2.1 空气绝对湿度 .....      | 15 |
| 6.2.2 空气相对湿度 .....      | 15 |
| 6.2.3 空气露点 .....        | 15 |
| 6.2.4 空气湿度/温度计算 .....   | 16 |
| 6.2.5 空气饱和湿度/露点计算 ..... | 16 |
| 6.2.6 湿球温度计算 .....      | 17 |
| 6.3 设备重量.....           | 17 |
| 6.4 压缩机估算.....          | 17 |
| 第七章 名词术语 .....          | 18 |
| 7.1 数据部分.....           | 18 |
| 7.2 杂项.....             | 21 |
| 附录.....                 | 23 |
| 附录 1 常见流体污垢阻力 .....     | 23 |
| 附录 2 多管程管箱简图 .....      | 24 |
| 附录 3 U型管连接.....         | 25 |
| 附录 4 排管形式 .....         | 26 |



# 第一章 系统安装

## 1.1 系统需求

### 1.1.1 OS 运行环境

BoxHeater®运行在MS Windows XP, Win2000, Wn2003, Win7 上, 不支持 Win 95/98/Me。

### 1.1.2 硬件运行环境

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

### 1.1.3 软件安装

BoxHeater®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

BoxHeater®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 BoxHeater 基础

### 2.1 BoxHeater 适用范围

BoxHeater 适用于长方体外壳的列管换热器的传热设计计算，可以计算翅片换热管，也可以计算光管换热管，典型的应用是空冷器、空凝器、增湿减湿器、柜式气体冷却加热器，等的传热计算，但不仅仅限于这些。

### 2.2 基本概念和抽象几何模型

长方体外壳的换热器，可以抽象为图 2-1 所示的几何模型。基本外形尺寸分为高×宽×长，即： $H \times W \times L$ 。实际的换热器，高宽长有时候可以调换，比如：空冷器的实际风向常常是自下而上，靠风机推动，而不是抽象模型中的自右向左。如果是喷淋式换热器，液体必须自上而下喷淋，这时实际安装时图 2-1 逆时针旋转  $90^\circ$ 。BoxHeater 做传热计算时使用的是抽象几何模型，尽管和换热器实物的实际摆放位置、方向可能不同，但不影响计算结果。

计算时习惯上指定迎风速度和单程管长  $L$ ，在设计型算法中， $H$ 、 $W$  由 BOXHEATER 计算，在校核型算法中用户可以指定  $H$ ， $W$  自动计算。

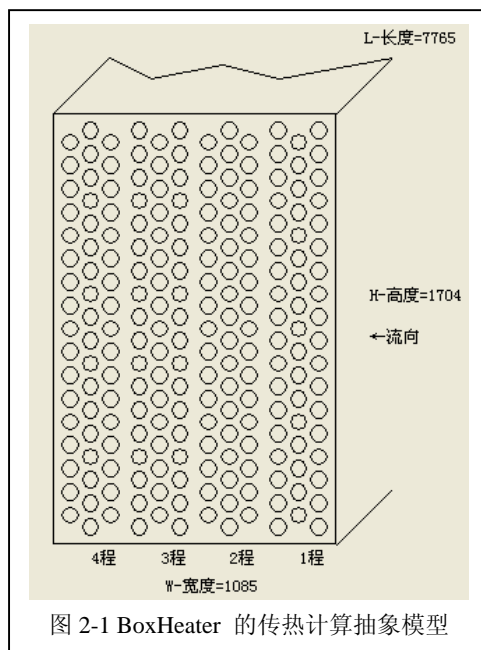


图 2-1 BoxHeater 的传热计算抽象模型

换热管的几何尺寸，包括翅片几何尺寸、管间距、排管方式、管程数，等，由用户指定。

### 2.3 数据输入

#### 2.3.1 BoxHeater 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 $w=20000\text{ kg/h}$ ，从 $t_1=38\text{ }^\circ\text{C}$ 加热到  $t_2=40\text{ }^\circ\text{C}$ 。

热水温度 $T_1=80\text{ }^\circ\text{C}$ ，出口温度 $T_2=50\text{ }^\circ\text{C}$

如果你输入以上 5 个数据，热水的流  $W$  量就自动被 BoxHeater 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。

### 2.3.2 BoxHeater 数据输入注意事项

BoxHeater 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。

如果壳程是空气降温（冷却），就可能存在空气中的水分凝结、析出。这时如果选择“湿工况”（打钩），并输入“相对湿度”，BoxHeater 自动已算气体是否有凝结、凝结量、冷凝热和考虑冷凝的传热系数。需要注意的是，此湿度是指空气在湿度空气温度和常压下（101.325 kPa）下的数值，即入口气体来自大气的空气。

### 2.3.3 BoxHeater 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 BoxHeater 中。
- 使用物性数据库。BoxHeater 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) 填写定性温度和定性压力；4) 按下“计算”按钮；5) 按下“确定”按钮。见图 2.1。

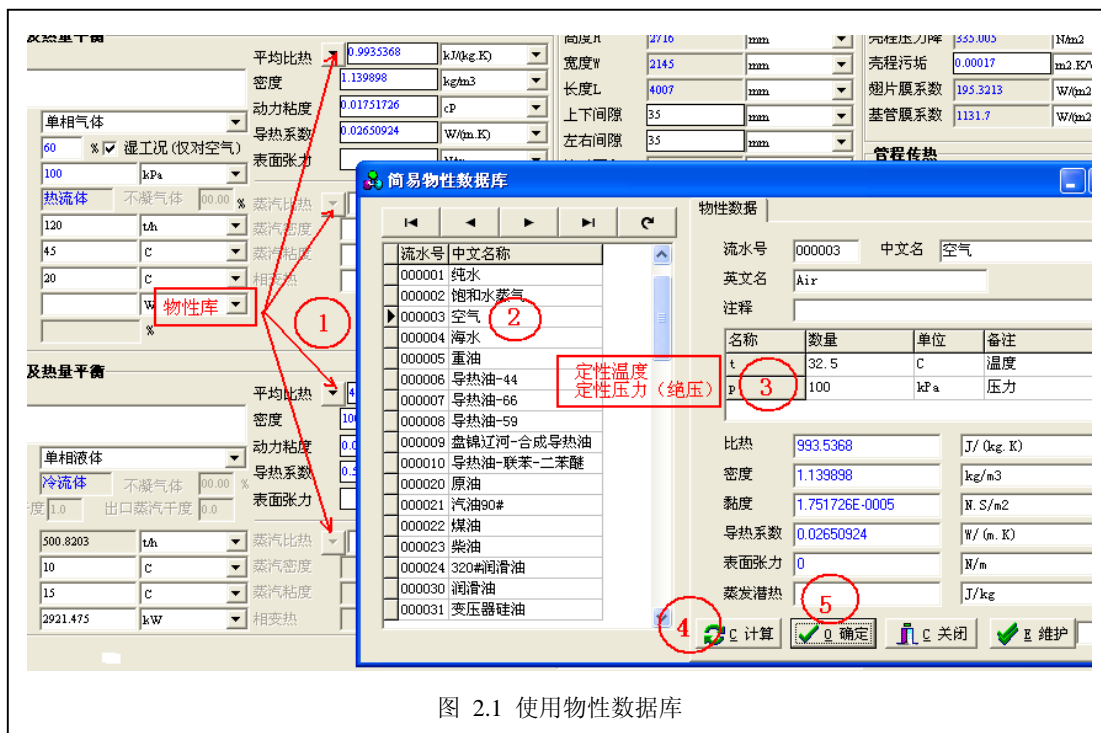


图 2.1 使用物性数据库

## 2.4 输入数据分论

### 2.4.1 公共数据

这些数据，不论是何种算法，设计型和校核型，都需要输入。

#### (1) 必输数据

**必须输入**的数据，它们包括：

- **计算类型**：设计型或者校核型；
- **流体相态**：壳程有 2 种：单相液体、单相气体；管程有 3 种：单相液体、单相气体、蒸汽冷凝；
- **物性数据**：两侧流体的物性数据，根据**流体相态**的不同输入的数据不同；
- **污垢阻力**：两侧流体的污垢阻力；
- **换热管几何**数据：（换热管的管心距、外径、内径；翅片：（有）无翅片、高度、厚度、间隙；
- **材质数据**：换热管材质、翅片材质；
- **箱体几何**：排管方式：三角形或者正方形，是否转角；换热管外边缘距离箱体的上下和左右间隙。**注意**：叉排等于：三角型、正方形转角 45°；顺排等于：三角型转角 30°、正方形。
- **管程数**：管程数可输入从 1 到 8 的整数。除过 1 外推荐偶数管程数：2、4、6、8。

#### (2) 工艺数据



工艺数据共计 6 个：两侧的 2 个流量、4 个温度。你只需要输入其中的 5 个，另外 1 个有 BoxHeater 的热平衡自动计算：你无法全部输入 6 个。

## 2.4.2 不同算法的输入数据

### (1) 设计型算法数据

这些数据都在“设计规定”数据框中：

- 优化类型：快速优化或者稳健优化；  
快速优化：BoxHeater 计算速度最快，优化的结果是一个面积比最小、传热系数最大的换热器；  
稳健优化：BoxHeater 计算速度比较慢，优化的结果同样是一个面积比最小、传热系数最大的换热器。  
大多数情况下，快速优化和稳健优化二者的计算速度相差无几。
- （最大）迎风速度；
- （最大）单程管长；
- （最小面积）富裕度。

### (2) 校核型算法数据

- 箱体高度 H（在“箱体几何”数据框中）；
- 箱体长度 L（即换热管长，等于箱体内部长度，在“箱体几何”数据框中）；
- 箱体宽度 W（在“箱体几何”数据框中）；
- 迎风面管数（垂直于壳体流动（H）方向的管子数，在“箱体几何”数据框中）；

## 2.5 计算结果数据

现在简要说明一下部分比较重要的计算结果：

- 理论面积：富裕度为 0 时的面积，刚好达到传热效果。对于翅片管，面积指基管的外表面积，翅片管理论面积=理论面积×翅化比，用户可自行计算。
- 实际面积：实际富裕度下的面积。对于翅片管，面积指基管的外表面积，翅片管实际面积=实际面积×翅化比，用户可自行计算。
- 实际富裕度：它可能略高于（最小）富裕度，因为管长作了圆整；
- 平均温度差：这是有效温差，它等于对数平均温差×温差修正(系数)
- 传递热量：两侧流体传递的热量；
- 翅片效率：仅对于翅片有效。不同材质的翅片差别可能比较大；
- 翅化比：仅对于翅片有效。翅片管面积=基（光）管面积×翅化比；
- 总管数：换热管总数；

## 2.6 软件系统操作

### 2.6.1 菜单系统

BoxHeater 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 2.2。现在介绍一下主要的菜单和功能：

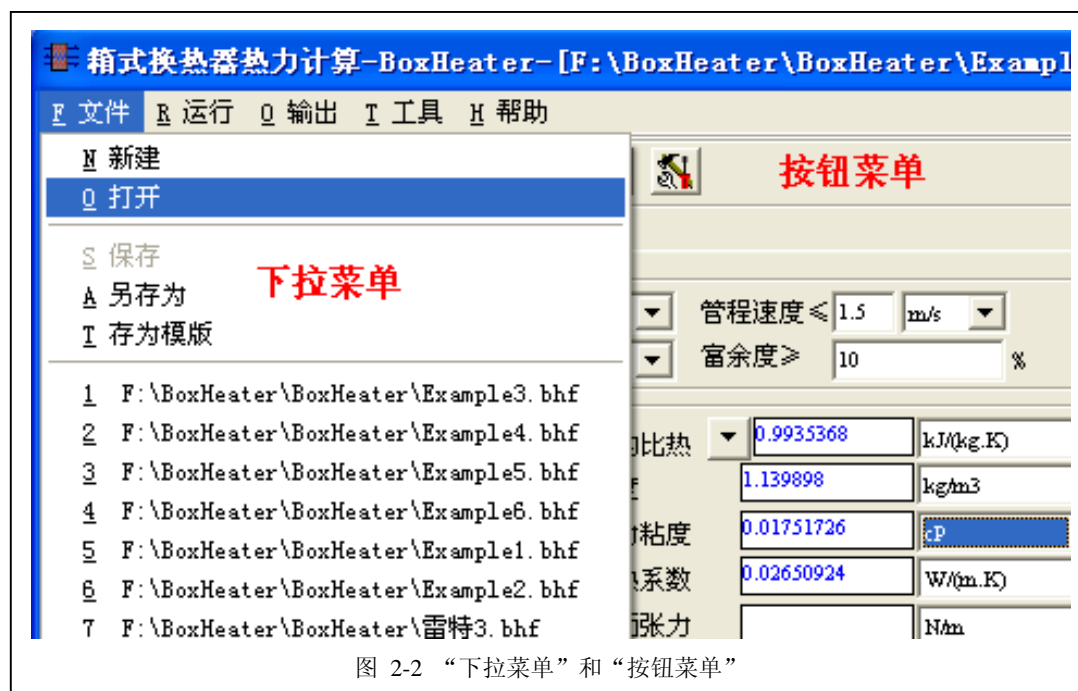


图 2-2 “下拉菜单”和“按钮菜单”

- 1) **F 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 BoxHeater。
- 2) **R 运行** 菜单
  - 优化设计。设计模式下，按设计规定执行设计计算。
- 3) **Q 输出** 菜单：包括 3 个子菜单：
  - 报表。生成报表；
  - 保存报表。把报表保存成 word 文件；
  - 打印报表。打印输出报表。
- 4) **T 工具** 菜单：打开辅助工具页面。

### 2.6.2 软件界面布局

BoxHeater 按不同功能，数据分布在不同的 4 个笔记本式页面上，如图 2-3 所示。用户



可以切换页面查看。数据全部集中在界面上，**界面可直接看到全部数据——输入数据和计算结果**是维维软件的特色。

- 工艺及设备参数：是主要的计算页面，输入数据大多数集中在此；
- 布管图：箱体尺寸和布管图；
- 报表：结果报表；
- 工具：辅助计算工具。



图 2-3 全部数据集中在笔记本式页面上



## 第三章 设计型计算

### 3.1 无相变空冷器

#### 3.1.1 空冷器设计 (1)

空冷器是一类特殊的换热器，常常做的很大：多组管束集成在一起。**BoxHeater** 一次计算一个管束，所以如果是多管束的空冷器，需要分多次计算。关于多管束的空冷器计算将在后续章节介绍。

问题：某厂房需要 80 t/h 的热空气保温。冬天环境空气 0 °C，要求加热到 22 °C。加热介质是 90 °C 热水，出口温度 65 °C。翅片管规格：CPG (Φ38×2/70/6/1-SS/SS)。

从技术角度看，这个问题可以看做是空冷器，冷却热水。做法如下：

- 启动软件 **BoxHeater**;
- 在文件菜单上点“新建”;
- 选择空白模版: **AirCooler1**;
- 输入项目文件名: **Example1**;
- 参考“2.4.2 不同算法的输入数据 (1) 设计型算法数据”，输入数据。主要的输入数据如图 3-1 —3-3 所示。



图 3-1 空气物性数据输入

需要注意的是，尽量先输入物性，然后输入温度。空气的物性数据，定性温度取进出口平均温度  $(0+22)/2=11$  °C，定性压力取常压 100 kPa。注意，对于气体，必须输入正确



的定性压力。

用类似的方法，输入热水的物性。定性温度取  $(90+65)/2=77.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，对于液体，定性压力影响不大，这里取 300 kPa。

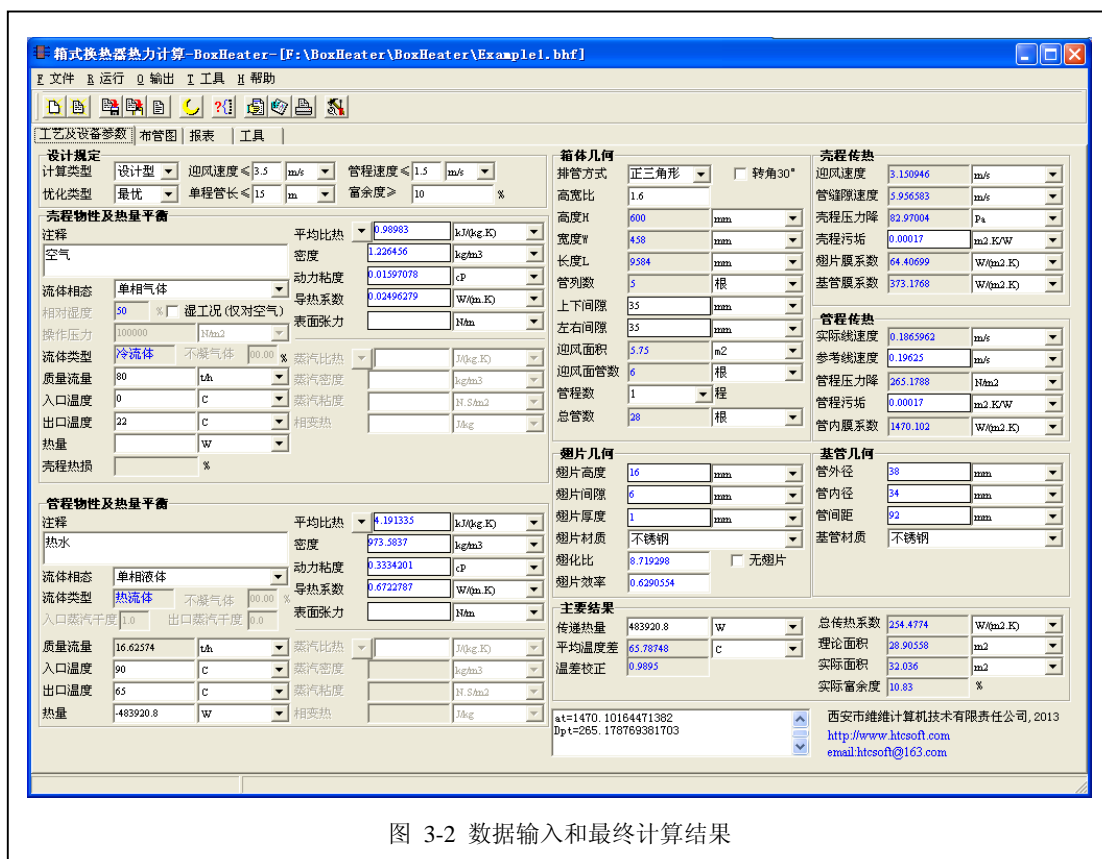


图 3-2 数据输入和最终计算结果

其它数据的输入参照图 3-2。输入完成后，点击菜单“**R**运行 **ID** 优化设计”，计算瞬间完成。你可以在相关页面看到布管图、报表等，现在你也可以保存、打印计算报告。

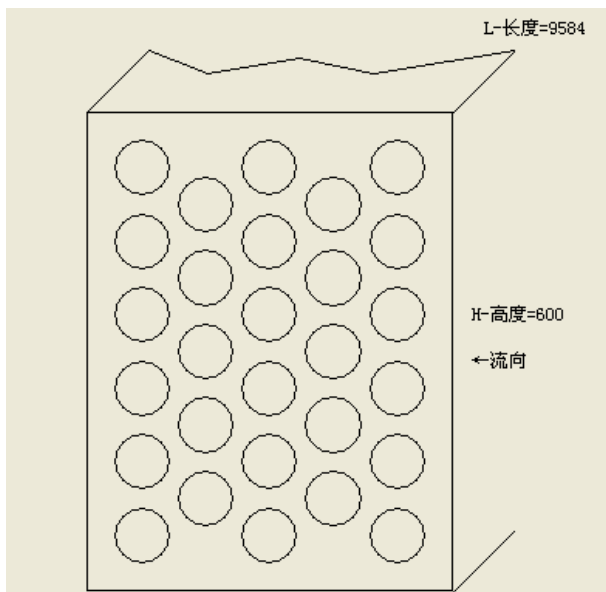


图 3-3 布管图



在布管图页面，你可以按“输出到 CAD”生成 AutoCAD 的 scr 脚本文件。在 AutoCAD 下用 script 命令打开它，布管图就自动绘制出来。在“输出到 CAD”时，为了减少图形失真，首先用图形左边的 滑动条 放大图形至清晰，然后进行“输出到 CAD”操作。

### 3.1.2 空冷器设计（2）

问题：某厂房需要 145.888 t/h 的热空气保温。空气初始温度 25 °C，要求加热到 60 °C。加热介质是 110 °C 热水，出口温度 65 °C。翅片管规格：CPG（Φ25×2.5/49/6/1-SS/SS）。从技术角度看，这个问题可以看做是空冷器，冷却热水。和“3.1.2 空冷器设计（1）”一样的输入方法。

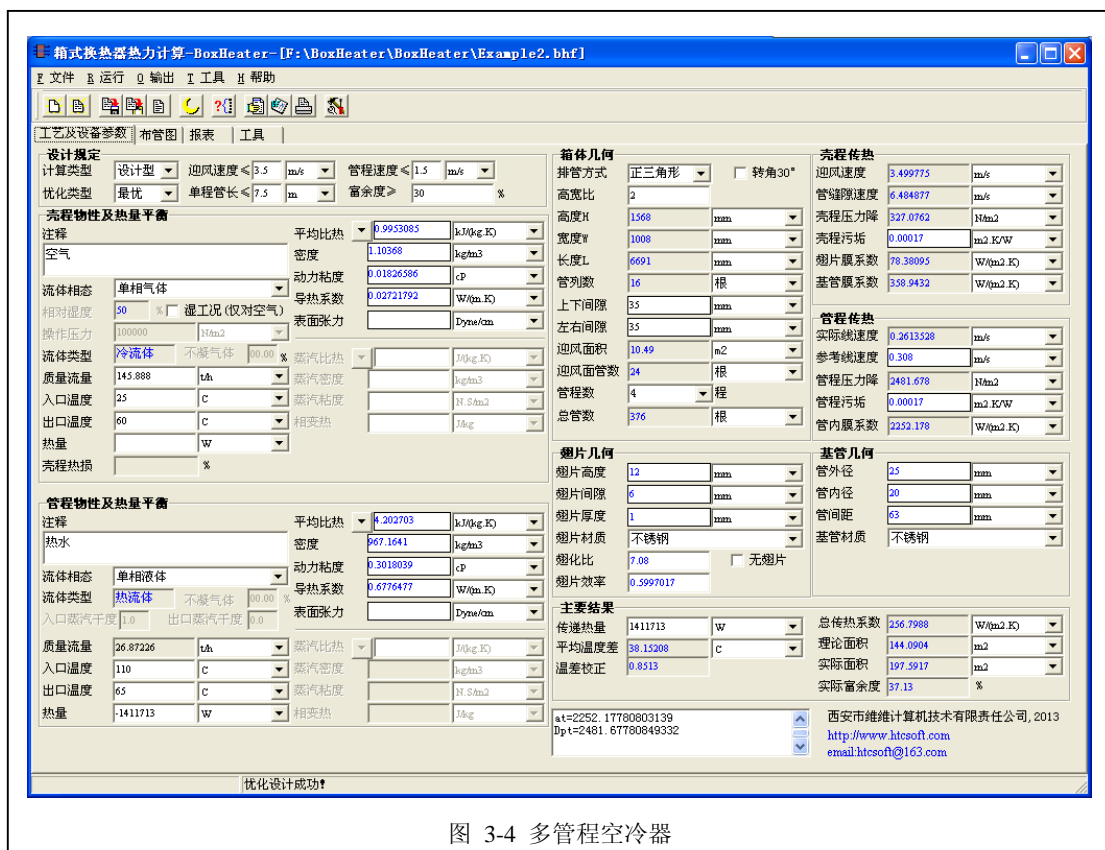


图 3-4 多程管空冷器

注意：因为水流量比较小，管程流速在小管程数时太小，需要提高。故经过试输入、计算，最终确定管程数输入 4。计算结果如图 3-4 所示。计算的输入文件保存在：example2.bhf 中。管程数 4，高宽比 2，都不是绝对的，你可以试验输入，有时候换热器面积差别不大。

## 3.2 相变空冷器

### 3.2.1 空气减湿器设计

空气含有水分，很多情况下可以通过冷却空气，把其中的水分凝结出来，提高空气的干度。在空冷器设计中，这种现象也称为湿工况。空气中的水分凝结，提高了传热系数，同时又增加了冷凝热。两者的综合效果是：和无凝结水相比，换热器面积有可能变大，也可能变小，需要计算才能确定。



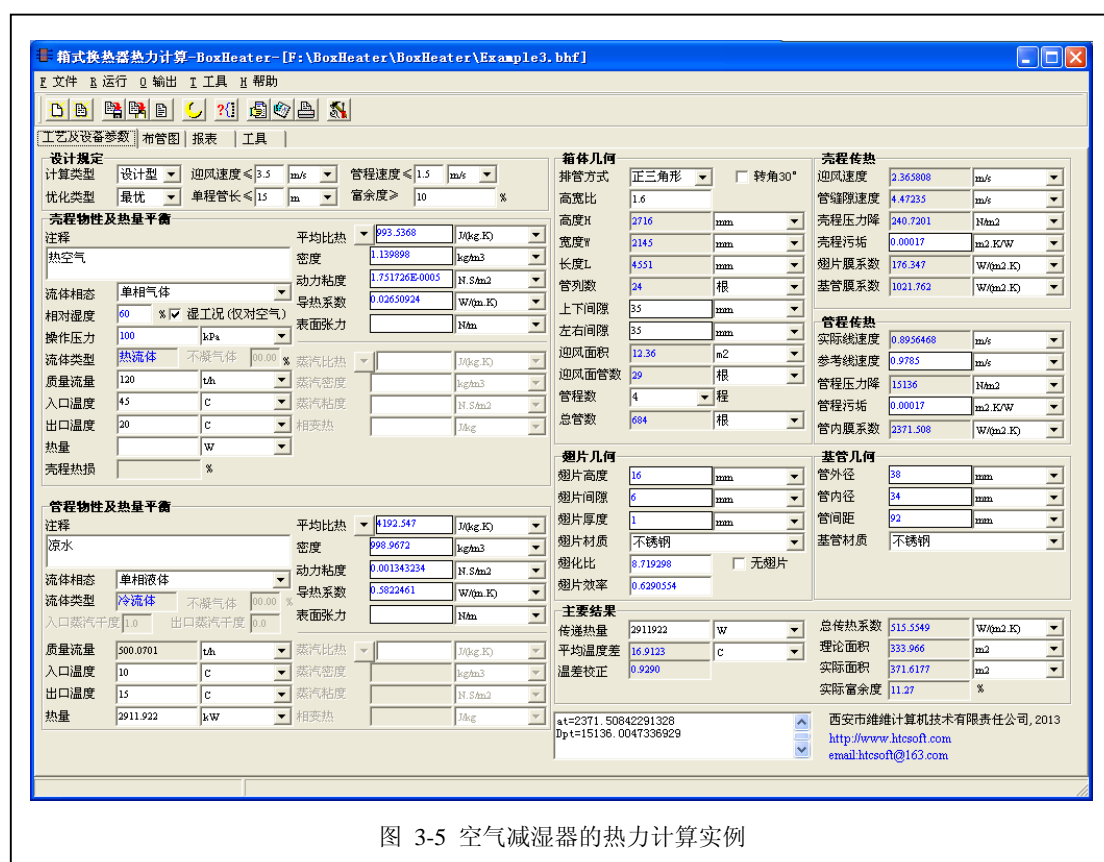


减湿器的典型流程是：湿空气走壳程，冷却剂（液体或者气体）走管程。4 个温度一般由甲方指定，如果甲方不直接指定温度，而是指定**空气产品**的湿度，你需要计算出气体温度，这需要计算热力学。BoxHeater 在“工具” 页有相关计算工具，这将在其后的章节中介绍。数据输入时，**湿工况**需要额外输入以下 3 个数据：

- **湿工况**，打钩选中；
- **相对湿度**，入口空气温度下的相对湿度；
- **操作压力**，壳程的工作压力。因为壳程的压力是变化的，故输入壳程的平均压力。

### 计算实例：

流量 120 t/h，45 °C，相对湿度为 60%的热空气，降温到 20 °C 以减少空气湿度。管内走 10 °C 的凉水，水出口温度 15 °C。输入数据后，计算结果如图 3-5 所示。计算的输入文件保存在：example3.bhf 中。



**\*\*辅助计算，在此这不是必须的。**在“工具”页面，计算了：

- **入口空气**（45 °C，相对湿度为 60%）的含水量：0.03601=3.601%；
- **出口空气**（20 °C）的含水量：0.01451=1.451%。

注意：**出口空气**的量不包括冷凝水。



## 第四章 校核型计算

### 4.1 算法概述

对于用户而言，校核算法是工程计算中的最复杂算法。校核型算法中，用户需要提供设备的大多数结构参数和工艺参数，软件只是校核一下这些参数的结果。而在设计型算法中，这些参数是软件计算的，不需要输入。换言之，校核算法是对一台现成设备的复核计算，要求用户有**现成的设备参数**或者头脑中**臆造的设备参数**，这需要丰富的实际经验。校核型算法的优点是：用户能更细致、“随心所欲”地控制设备参数的细节。

### 4.2 复杂空冷器设计

空冷器常常由多组管束（Module）集成在一起。因为管束多、输入数据太多，BoxHeater以单个管束作为计算单位，这意味着一个复杂的空冷器可能需要分多次计算。因为这多个管束放在一个箱体中，所以每个管束对应**同样高度（H）和长度（L）的箱体**，这些管束沿着宽度（W）方向顺次排列。常常用**设计型计算**算好第一个管束，算出**（H）和长度（L）**，其它管束的**（H）和长度（L）**就用这个**（H）和长度（L）**不变了。于是，除了第一个管束外，其它管束使用校核算法。

在壳程中，空气是一股物流，顺次横过第一、第二束等所有管束；而多个管束内部的流体是独立的——每个管束内都有自己的流体，即管束内部的流体是多股流体。

现列举一个具有2组管束（Module）的空冷器，如何用BoxHeater计算的例子。BoxHeater一次计算1组管束，分2次计算：问题如下：

空气：流量 120t/h，入口温度 45℃，相对湿度 60%，

经过第1组管束，温度降到 20℃，即：45℃——>20℃，相对湿度 60%；

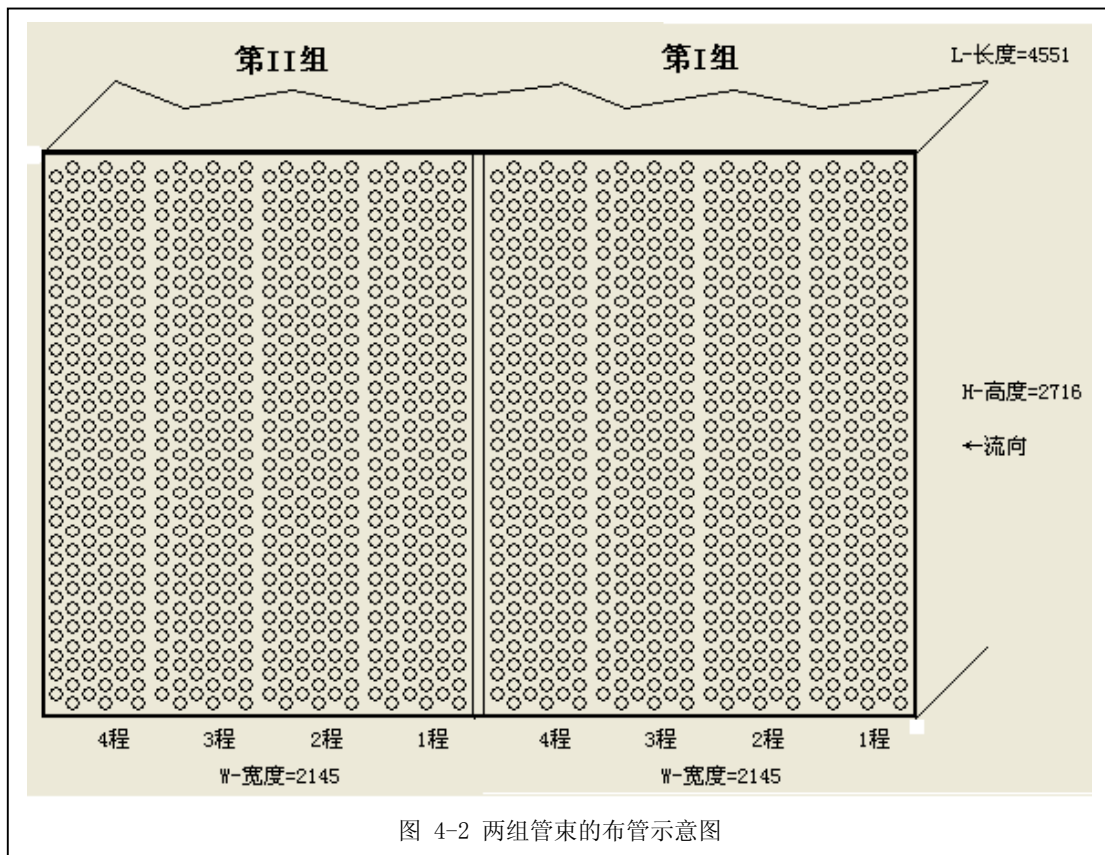
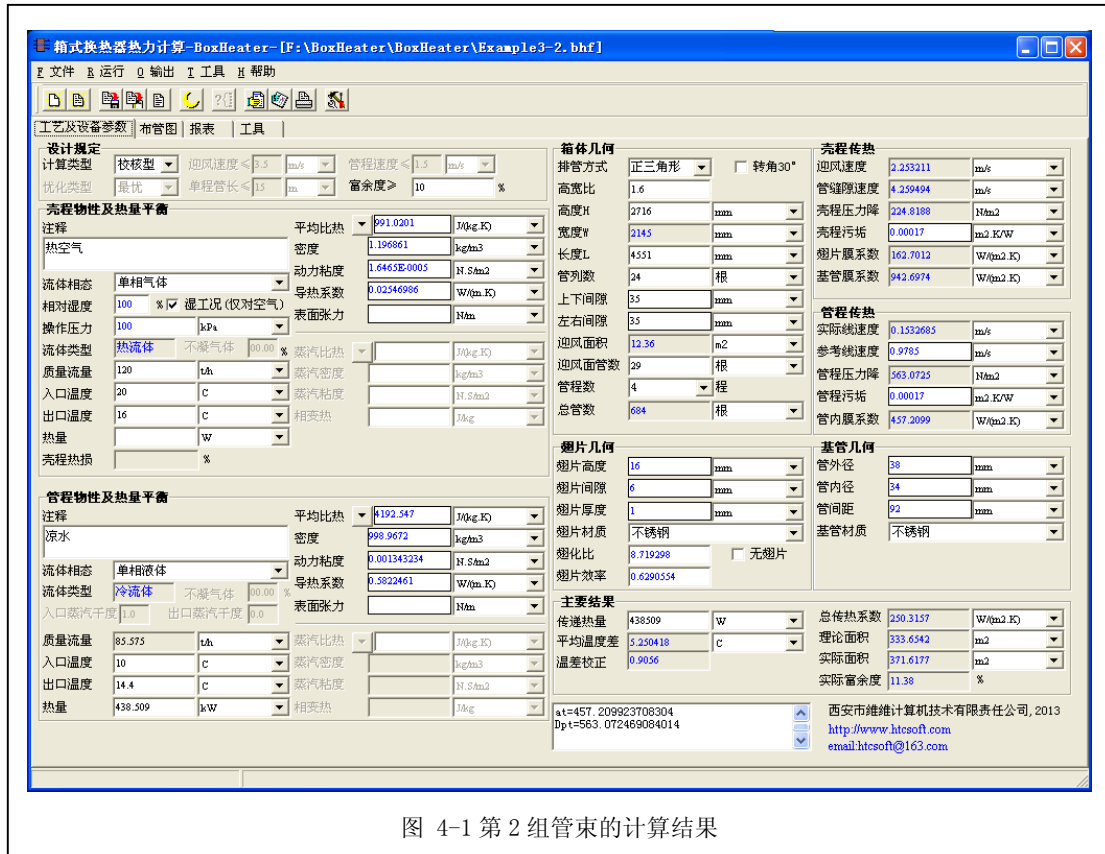
经过第2组管束，温度降到 16℃，即：20℃——>16℃，**相对湿度 100%**

**注意：第一组出来空气已经是饱和空气。**

冷却水：每组管束各有1股冷却水。每股冷却水的入口都是 10℃，出口温度第一组 15℃，第二组出口温度可根据计算情况调整（实际调整为 14.4℃）。2股水的**流量是不同的**，由软件计算。

我们的策略是：**第1组：设计型算法；第2组：校核型算法；**保持第1组算好的箱体高度（H）、跨度（W）和管长（L）不变。第1组管束的计算和“3.2.1 空气减湿器设计”完全一样，保存在 Example3.bhf 中，不再重复。第2组管束的计算结果如图 4-1 所示，计算的输入文件保存在：example3-2.bhf 中。布管示意如图 4-2 所示。最后，换热面积等几何参数，是两组管束的结果相加，富裕度取两组中最小的。

应当指出的是，两组管束的空气、水的物性，根据定性温度不同而不同。但是在有些情况下，物性的变化可能不大，可以复制第1组管束的物性数据。





## 第五章 强化换热管

### 5.1 强化换热管概述

为了强化传热，出现了众多的不同于与光管的换热管，著名的有扭曲管和波纹/波节管等。BoxHeater 为这类特殊的换热管提供热力计算支持。目前集成了扭曲管和波纹/波节管，后续版本将不断扩充中。

### 5.2 换热管分论

#### 5.2.1 扭曲管

扭曲管是将圆管压偏成椭圆截面，然后扭曲得到的强化换热管，如图 5-1 所示。扭曲管参数有：长轴  $A$ 、短轴  $B$ 、壁厚  $\delta$  和扭矩  $S$ 。注意  $A$ 、 $B$  均指内径。这些参数在 BoxHeater 软件界面中的“工具”页面定义，如图 5-2 所示。填入  $A$ 、 $B$ 、 $\delta$  和  $S$ ，最后按下“确定”按钮，即可生效。

#### 5.2.2 波节管

波节管如图 5-1 所示。扭曲管参数有：波峰内径  $d_2$ 、波谷内径  $d_1$ 、壁厚  $\delta$  和波节距  $S$ 。注意  $d_2$ 、 $d_1$  均指内径。这些参数在 BoxHeater 软件界面中的“工具”页面定义，如图 5-2 所示。填入  $d_2$ 、 $d_1$ 、 $\delta$  和  $S$ ，最后按下“确定”按钮，即可生效。

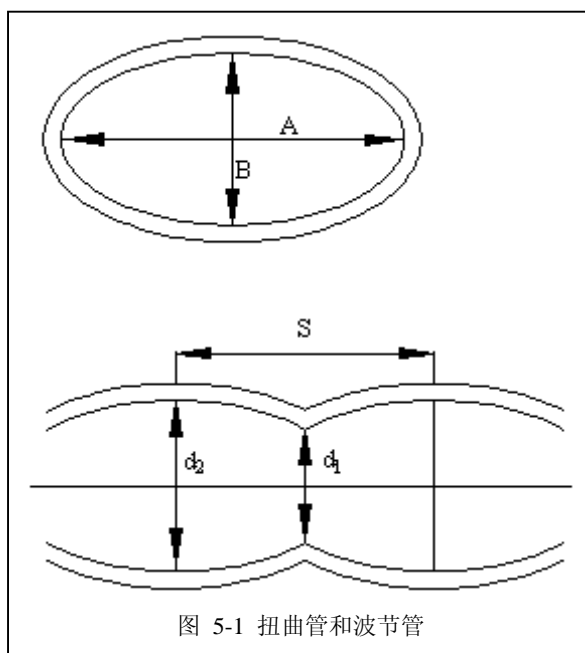


图 5-1 扭曲管和波节管



## 第六章 实用工具

### 6.1 实用工具概述

BoxHeater 提供了一些相关的工具，专门针对空气，等特殊情况。这些工具集中放在“工具”页面。

### 6.2 空气湿度相关概念

#### 6.2.1 空气绝对湿度

空气**绝对湿度**  $H$  的定义为：每**千克干空气**中含有**水蒸气的千克数**。湿度  $H$  和水分质量分数  $y$  的关系如下：

$$H = \frac{Y}{1-Y} \quad (5-1)$$

式中： $H$ ——空气绝对湿度， $\text{kgH}_2\text{O/kg干空气}$ ；

$Y$ ——空气中水的质量分率，无量纲。

举例：1 kg湿空气中，含水蒸气 0.2 kg，那么： $Y=0.2$ ； $H=0.2/(1-0.2)=0.25 \text{ kgH}_2\text{O/kg干空气}$ 。

#### 6.2.2 空气相对湿度

空气**相对湿度**  $\psi$  定义为：一定**温度**和**总压力**下，**空气湿度**和**饱和湿度**的百分比。如不特别指明压力，是指常压空气。可以用下式计算：

$$\varphi = \frac{P}{P^o} \times 100\% \quad (5-2)$$

式中： $\psi$ ——空气相对湿度，%；

$P$ ——空气中水蒸汽的分压，Pa；

$P^o$ ——水在该温度下的**饱和**蒸汽压，Pa。

$$H = \frac{\varphi P^o}{P - \varphi P^o} \quad (5-3)$$

式中： $P$ ——空气总压力，Pa。

#### 6.2.3 空气露点

空气露点定义为：一定**总压力**下，空气**开始**有凝结水析出时的温度。如不特别指明压力，是指常压空气。**注意以下概念：**



- 露点下的绝对湿度为饱和湿度；
- 露点下的相对湿度是 100 %；
- 露点下的空气刚刚开始凝结出水，但凝结量是 0。

## 6.2.4 空气湿度/温度计算

我们最常遇到的，相对湿度  $\Psi$ 、绝对湿度  $H$ 、水的质量分率  $Y$  和温度  $T$ ，存在依赖关系：自由变量有 2 个。你只要需要输入 2 个数据，BOXHEATER 就可以自动计算其余两个，这样避免了你查相关资料的麻烦。

举例：

45 °C、相对湿度 60 % 的常压空气，求绝对湿度和水质量分率。输入这 2 个数据到 BoxHeater 中，计算立即完成，如图 6-1 所示。结果：空气中水的质量含量是 3.601 %，绝对湿度是 0.03736 kgH<sub>2</sub>O/kg 干空气。

| 空气湿度/温度计算 |                 |           |
|-----------|-----------------|-----------|
| 总气压       | 101.325         | kPa       |
| 相对湿度      | 60              | %         |
| 水分质量分率    | 0.03601292      | 无因次       |
| 绝对湿度      | 0.0373583043829 | kg水/kg干空气 |
| 空气温度      | 45              | °C        |

图 6-1 空气湿度计算

## 6.2.5 空气饱和湿度/露点计算

露点计算常常用在空气减湿器计算中。减湿器有时候带有压力，所以 BoxHeater 计算露点时需要输入空气压力。

举例 1：

45 °C、相对湿度 60 % 的常压空气，求常压下的露点。这是上一节“5.3 常压空气湿度/温度计算”的例子中提到的空气，我们把上一节计算的结果：绝对湿度 0.0373583043829155 拷贝到“空气饱和湿度/露点计算”的对应数据框，并输入总气压：100.325 KPA，计算立即完成，如图 6-2 所示。结果：该空气的常压露点是 35.44 °C。

举例 2：

45 °C、相对湿度 60 % 的常压空气，在常压空气减湿气中，要求把水分含量减少到 2.5 %，求空气的出口温度。

分析：从上一节“6.2.4 空气湿度/温度计算”的例子可以看出，该空气的含水量是 3.601 %，即水分质量分率是 0.03601。现在把总气压输入：101.325 kPa，水分质量分率输入：0.025，计算立即完成，如图 6-3 所示，露点温度 29.13 °C 就是我们要求的空气的出口温度。

| 空气饱和湿度/露点计算 |            |           |
|-------------|------------|-----------|
| 总气压         | 101.325    | kPa       |
| 水分质量分率      | 0.03601292 | 无因次       |
| 绝对湿度        | 0.0373583  | kg水/kg干空气 |
| 露点温度        | 35.44382   | °C        |

图 6-2 空气露点计算

| 空气饱和湿度/露点计算 |            |           |
|-------------|------------|-----------|
| 总气压         | 101.325    | kPa       |
| 水分质量分率      | 0.025      | 无因次       |
| 绝对湿度        | 0.02564103 | kg水/kg干空气 |
| 露点温度        | 29.12973   | °C        |

图 6-3 空气出口温度计算



## 6.2.6 湿球温度计算

湿球温度是空气的一个重要参数。BoxHeater 根据空气的相对湿度和温度可以计算出湿球温度，并且相对湿度、温度、湿球温度可以互相还算。BoxHeater 的计算结果比你查《干湿球温度对照表》的结果还要准确。

## 6.3 设备重量

BoxHeater 可以计算设备重量。对于一些特殊换热管，计算误差比常规换热管大一些。部分信息来源于“工艺及设备参数”，你需要补充一些的材质参数。计算需要的数据包括：

- 壳体：壳材质、壳壁厚、壳面厚度、材质密度
- 换热管：材质、翅片材质以及他们各自的密度
- 迎风面是否敞口（无封头、接口管），比如空冷器。



| 设备重量估算                                    |           |                   |
|---|-----------|-------------------|
| 翅片材质密度                                    | 2810      | kg/m <sup>3</sup> |
| 基管材质密度                                    | 7850      | kg/m <sup>3</sup> |
| 管束重量                                      | 15119.73  | kg                |
| <input checked="" type="checkbox"/> 迎风面敞口 |           |                   |
| 箱体材质密度                                    | 7850      | kg/m <sup>3</sup> |
| 箱体板面体积                                    | 0.1012352 | m <sup>3</sup>    |
| 箱体板面重量                                    | 794.6966  | kg                |
| 设备重量/不含附件                                 | 15914.43  | kg                |

图 6-4 设备重量计算

## 6.4 压缩机估算

如果换热器使用空气作为介质，常常需要风机或者压缩机。BoxHeater 提供了风机功率的计算能力。这个计算对于中低压空气很准确。空气量和风压取自“工艺及设备参数”。这个数据是满足换热能力需要的最小压缩机，如果你选择风机，可能风量、风压和电机功率没有刚好合适的，可以往上一档选用。



| 压缩机估算 |          |                   |
|-------|----------|-------------------|
| 壳程/管程 | 壳程       |                   |
| 入口压力  | 101325   | N/m <sup>2</sup>  |
| 入口温度  | 20       | °C                |
| 风压    | 411.9601 | N/m <sup>2</sup>  |
| 压缩机效率 | 72       | %                 |
| 气体流量  | 208.82   | m <sup>3</sup> /S |
| 压缩机功率 | 119.3    | kW                |

图 6-5 压缩机估算



## 第七章 名词术语

### 7.1 数据部分

BoxHeater 数据部分汇总如下：

#### 1. 设计规定

|             |   |
|-------------|---|
| 计算类型        | 设计型/校核型   |
| 优化类型        | 快速优化/稳健优化   |
| 迎风速度 $\leq$ | 迎风面空速最大值  |
| 喷淋负荷 $\leq$ | 等于喷淋密度/管间距，一般取值 $\leq 50 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，注意单位 |
| 单程管长 $\leq$ | 管程最大长度  |
| 管程速度 $\leq$ | 管程最大速度  |
| 富余度 $\geq$  | 面积最小富裕度   |
| 型式          | 普通式：壳程是连续流体；喷淋式：壳程是液体喷淋   |

#### 2. 壳程物性及热量平衡

|        |                           |
|--------|---------------------------|
| 平均比热   | 定性温度下的比热                  |
| 密度     | 定性温度下的密度                  |
| 动力粘度   | 定性温度下的粘度                  |
| 导热系数   | 定性温度下的导热系数                |
| 流体相态   | 单相液体/单相气体                 |
| 相对湿度   | 仅对空气，空气的相对湿度              |
| 湿工况    | 仅对空气，当冷却空气时，检测水分冷凝        |
| 壳操作压力  | 仅对空气，即壳程正常工作压力，切记是绝对压力    |
| 定湿温度   | 计算空气湿度时使用的温度，它不一定是换热器入口温度 |
| 流体类型   | 冷流体/热流体，放热流体为热流体，吸热流体为冷流体 |
| 质量流量   | 总质量流量                     |
| 入口温度   | 入口温度                      |
| 出口温度   | 出口温度                      |
| 散热环境温度 | 计算壳程热损失时的环境温度             |
| 热量     | 总热量，吸热为正，放热为负             |

#### 3. 管程物性及热量平衡

|      |            |
|------|------------|
| 平均比热 | 定性温度下的比热   |
| 密度   | 定性温度下的密度   |
| 动力粘度 | 定性温度下的粘度   |
| 导热系数 | 定性温度下的导热系数 |





|        |                           |
|--------|---------------------------|
| 流体相态   | 单相液体/单相气体/蒸汽冷凝/液体蒸发       |
| 流体类型   | 冷流体/热流体，放热流体为热流体，吸热流体为冷流体 |
| 不凝气体   | 蒸汽中不凝（惰性）气体质量百分比          |
| 入口蒸汽干度 | 入口蒸汽中蒸汽的分率，干蒸汽=1.0        |
| 出口蒸汽干度 | 出口蒸汽中蒸汽的分率，全凝时=0.0        |
| 质量流量   | 总质量流量                     |
| 入口温度   | 入口温度                      |
| 出口温度   | 出口温度                      |
| 热量     | 总热量，吸热为正，放热为负             |

#### 4. 箱体几何

|       |                     |
|-------|---------------------|
| 排管方式  | 正方形/正三角形            |
| 转角    | 30° /45°            |
| 高宽比   | H/W                 |
| 高度 H  | 箱体（外壳）内部高度，不计壁厚     |
| 宽度 W  | 箱体（外壳）内部宽度，不计壁厚     |
| 长度 L  | 箱体（外壳）内部长度，不计壁厚     |
| 管列数   | 管子的列数               |
| 上下间隙  | 管子外表面和箱体（外壳）上下内壁的间隙 |
| 左右间隙  | 管子外表面和箱体（外壳）左右内壁的间隙 |
| 迎风面积  | H×L                 |
| 迎风面管数 | 眼H方向的管子根数           |
| 管程数   | 管束内的管程数             |
| 总管数   | 总管子根数               |

#### 5. 特殊换热管

##### 5.1 翅片几何

|      |     |
|------|-----|
| 翅片高度 | 高度  |
| 翅片间隙 | 即间距 |
| 翅片厚度 | 厚度  |
| 翅片材质 | 材质  |
| 翅化比  | 翅化比 |
| 翅片效率 | 效率  |

##### 5.2 特殊换热管

|                |          |
|----------------|----------|
| 长短轴(管内)比 A/B   | 扭曲管参数    |
| 长轴 A(管内)       | 椭圆长轴，指内径 |
| 短轴 B(管内)       | 椭圆短轴，指内径 |
| 扭距 S           | 即螺距      |
| 管壁厚            | 管壁厚      |
| 大小径(管内)比 d2/d1 | 波节管参数    |
| 波峰内径 d2(管内)    | 大直径，指内径  |



**波谷内径  $d_1$ (管内)** 小直径, 指内径  
**波节距  $S$**  两个波峰之间的距离

## 6. 基管几何

**管外径** 光管外径, 对于翅片管指根径或称为**基管外径**  
**管内径** 光管内径, 对于翅片管指**基管内径**  
**管间距** 管心距  
**基管材质** 光管材质, 对于翅片管指基管材质,

## 7. 壳程传热

**迎风速度** 迎风面 $L \times H$ 空速  
**喷淋负荷** 喷淋总体积流量/喷淋面积, 常用单位:  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$   
**喷淋密度** 单位管长上的喷淋量, 常用单位:  $\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$   
**管缝隙速度** 迎风面上, 流体穿过的最小通道的线速度, 也是最大线速度。  
**壳程压力降** 沿着**W**方向的压力降, 包括了管口压力降  
**壳程污垢** 管子外壁的污垢阻力  
**翅片膜系数** 以**翅片面积**为准的膜系数  
**基管膜系数** 折算到**基管外表面**的膜系数

## 8. 管程传热

**实际线速度** 管内流体线速度  
**参考线速度** 管内流体估计的线速度  
**管程压力降** 压力降, 包括了管口压力降  
**管程污垢** 管子内壁的污垢阻力  
**管内膜系数** 管内的传热膜系数

## 9. 主要结果

**传递热量** 总热量, 绝对值和壳程热量相等  
**平均温度差** 对数平均温度差 $\times$ 温差修正, 即有效温差  
**温差校正** 温差修正系数  
**总传热系数** 基于**基管外表面**的总传热系数  
**理论面积** 所需最小的**基管外表面**传热面积, 无富裕  
**实际面积** 折算到**基管外表面**实际传热面积, 含富裕部分  
**实际富裕度** 实际面积富裕百分数

## 10. 管口计算

**管口压力降** 管道接口产生的压力降, 已经计入了管程或壳程阻力  
**管口流速** 以管口内径为基准计算的流速, 线速度



管口内径

接口管的内径

## 7.2 杂项

BoxHeater 数据部分汇总如下：

**Windows xp**

**Windows7**

**Windows 8**

**Windows 10**

BoxHeater 支持 Windows XP 直到 **Windows 7、8、10**。安装 BoxHeater 时，对于 **Windows 7、8、10**，请用安装程序的缺省目录，**切记不要安装到“Program Files .....**”下，否则可能不会正常运行（**非管理员登录时**）。

**许可证**

BoxHeater 的使用许可，详情参阅“**1.2 使用许可证**”。**正式版本**的使用许可，都带有 USB 加密卡，任何无 USB 卡的情况下，使用正式版本其计算结果都是无效的。另外，不论何种渠道得到的**破解版本**，**计算结果都是错误的**，毫无悬念。

**获得正版许可**

须和 BoxHeater 开发商签订许可合同。联系方式：**htcsoft@163.com**。

**USB 加密卡**

BoxHeater **正版软件**许可的加密硬件，使用时，把它插入到本机的 USB 插槽中，等待其指示灯不闪烁，方可启动软件使用。如果 USB 指示灯**一直闪烁**，证明 USB 卡**已经损坏**。

**破解**

**盗版**

BoxHeater **几乎不可能被盗版**。直到 OS 级的软件加密深度、智能卡加密硬件使一切**盗版努力**付之东流。请勿使用任何盗版的 BoxHeater——那将是徒劳的尝试，不会有正确的计算结果。

**升级**

**损坏**

**更换**

正版用户在**合同期内**，免费升级、免费更换损坏的软（硬）件。**超过合同期**后，不能保证软件能正常使用。如**超过合同期**出现故障，又需要继续使用，需购买新的许可。

**笔记本页面**

BoxHeater 秉承维维软件的一贯传统：数据集中在屏幕上，直观、明了。数据按不同性质和用途分组，分别置于 3 个页面上。它们分别是“工艺及设备参数”、“布管图”、“报表”和“工具”。

**工艺及设备参数**

这是 BoxHeater 计算时的操作界面，数据输入和计算结果都集中在此页面。

**布管图**

这是布管示意图。

**报表**

这是 BoxHeater 的计算报表（计算书），是 Word 格式的文档。

**工具**

一些中间数据的计算模块。它不是 BoxHeater 必须的，用来帮助甲方确认、计算一些物性或工艺参数。





## 附录

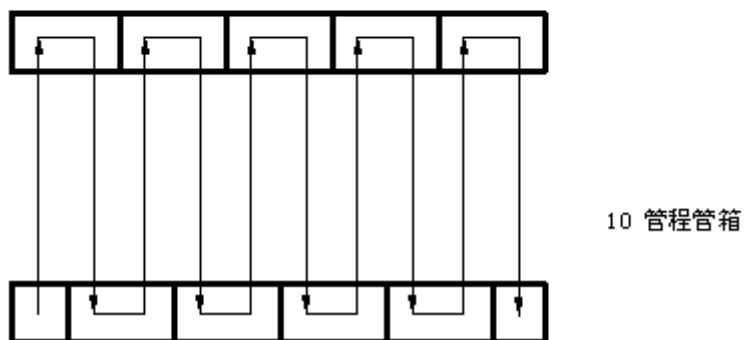
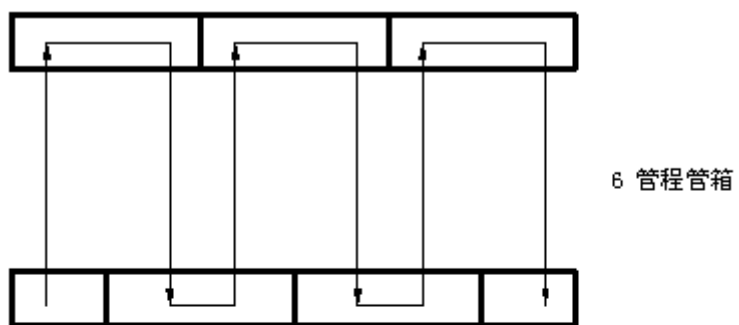
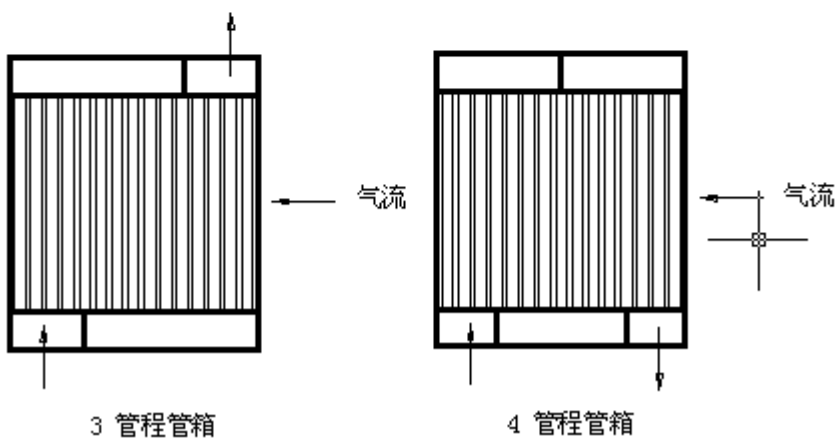
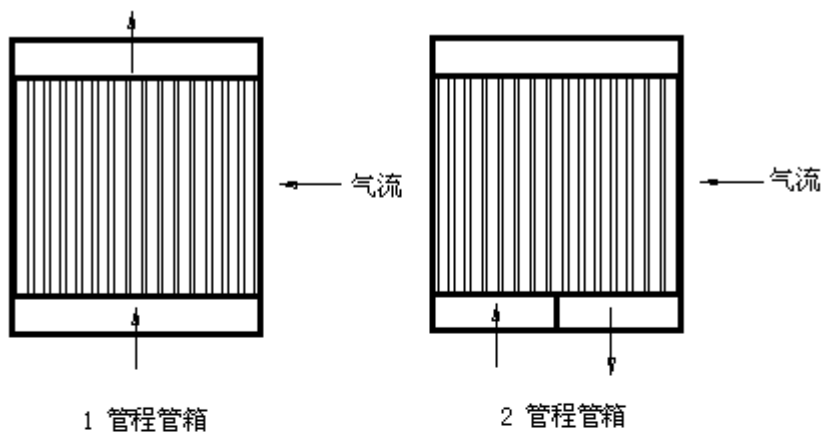
### 附录 1 常见流体污垢阻力

常见流体污垢阻力

| 流体        | 污垢热阻 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ |
|-----------|---|
| 蒸馏水       | 0.00009                                   |
| 海水        | 0.00009                                   |
| 清净的河水     | 0.00021                                   |
| 河水、运河水    | 0.00043                                   |
| 未处理的凉水塔用水 | 0.00058                                   |
| 已处理的凉水塔用水 | 0.00026                                   |
| 已处理的锅炉用水  | 0.00026                                   |
| 硬水、井水     | 0.00058                                   |
| 水蒸汽       |   |
| 优质—不含油    | 0.000052                                  |
| 劣质—不含油    | 0.00009                                   |
| 往复机排出     | 0.000176                                  |
| 液体        |   |
| 处理过的盐水    | 0.000264                                  |
| 有机物       | 0.000176                                  |
| 燃料油       | 0.001056                                  |
| 焦油        | 0.00176                                   |
| 润滑油       | 0.000009~0.000043                         |
| 气体        |   |
| 空气        | 0.00026~0.00053                           |
| 溶剂蒸汽      | 0.00014                                   |

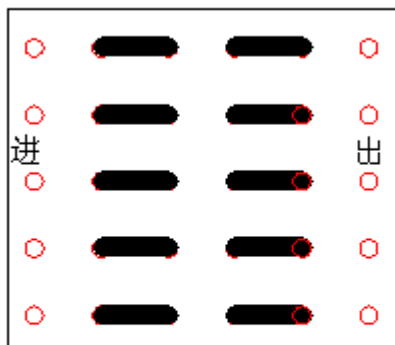


## 附录 2 多管程管箱简图

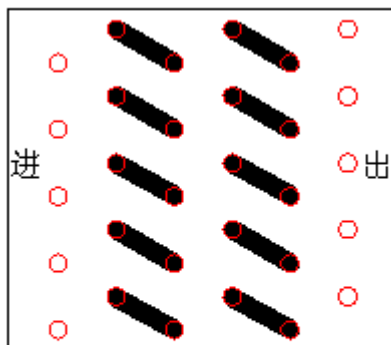




## 附录 3 U 型管连接



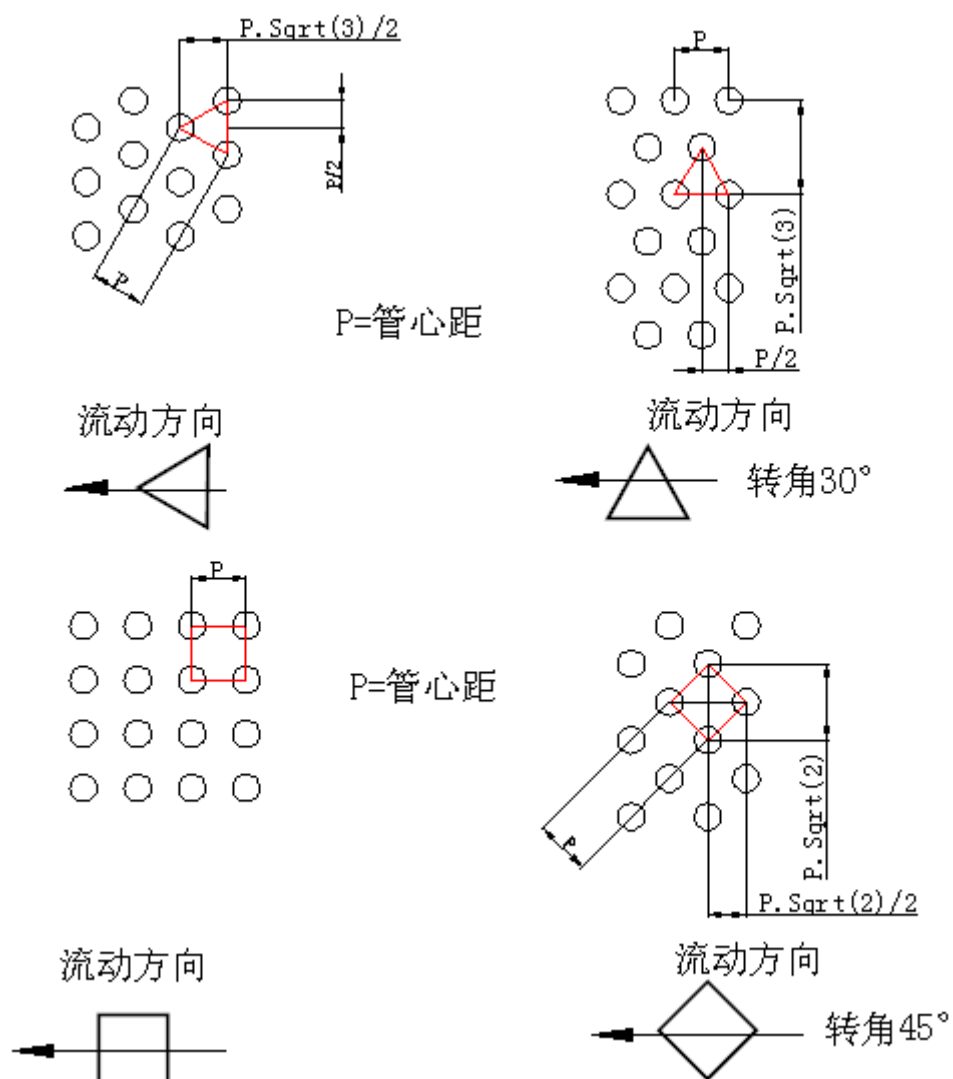
□排列



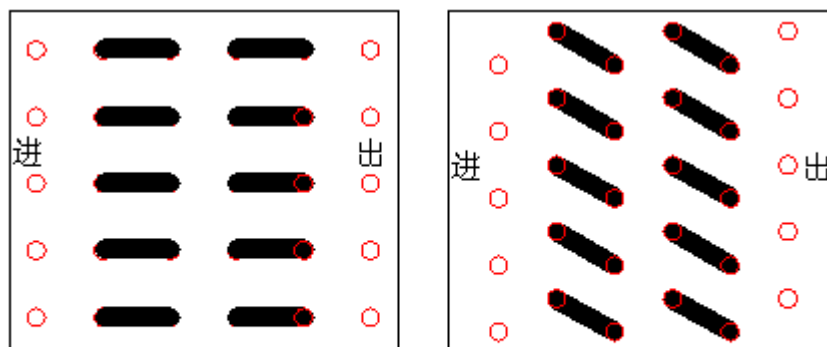
△排列



## 附录 4 排管形式



U 型管连接



□排列

U型管连接

△排列