



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

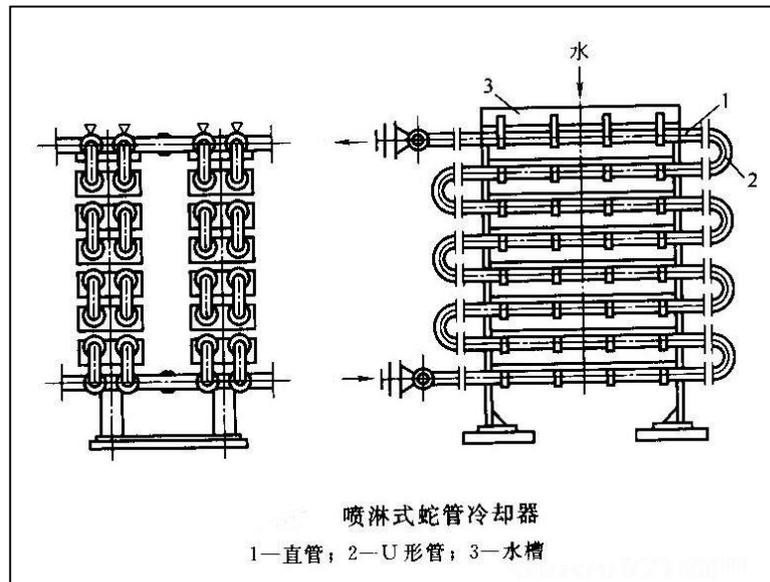
前言

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，却有较大的壳程换热膜系数，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; 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° 。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。

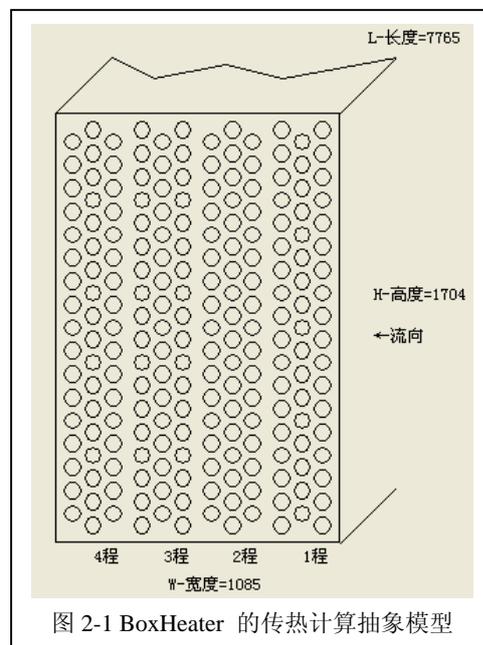


图 2-1 BoxHeater 的传热计算抽象模型

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 $w=20000$ 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 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。

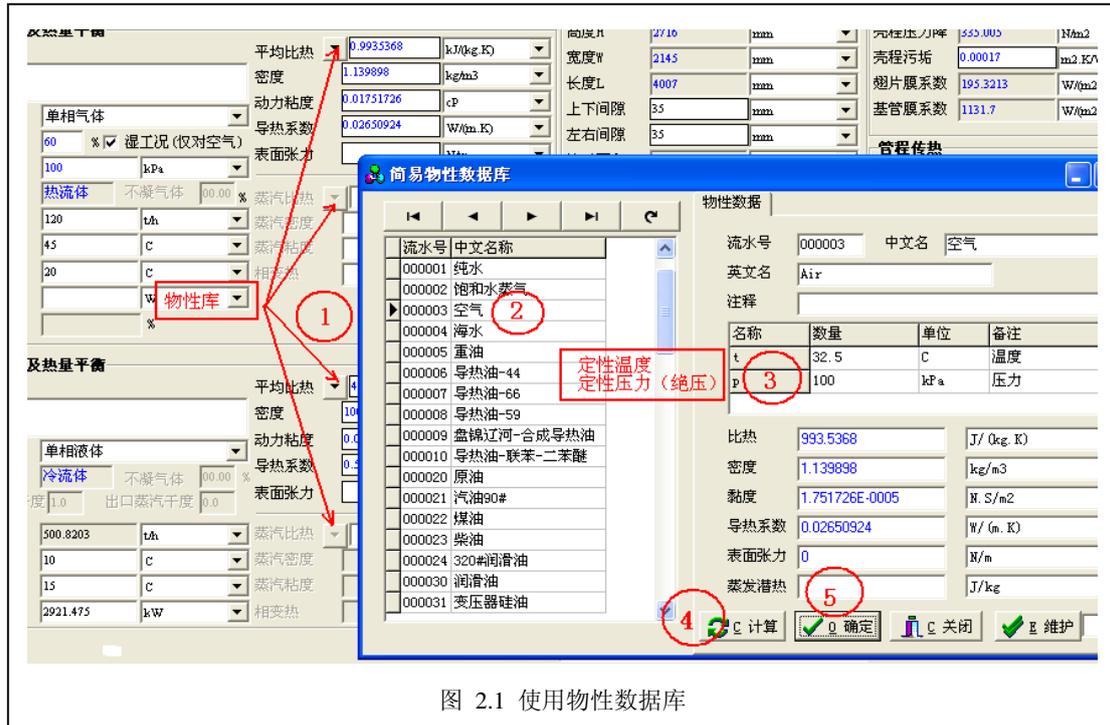
每个数据的后面带有单位选择, 你随时可以选择单位。每个数据输入后回车, 系统会立即响应计算。

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。



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

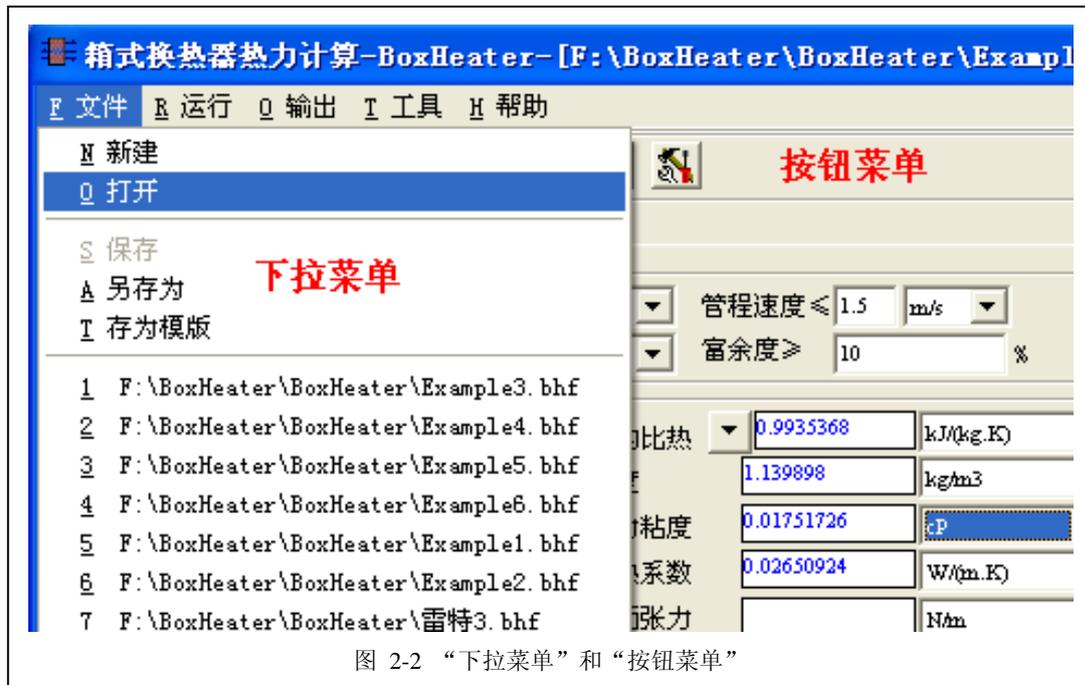
现在简要说明一下部分比较重要的计算结果：

- 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：



- 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) **O** 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。

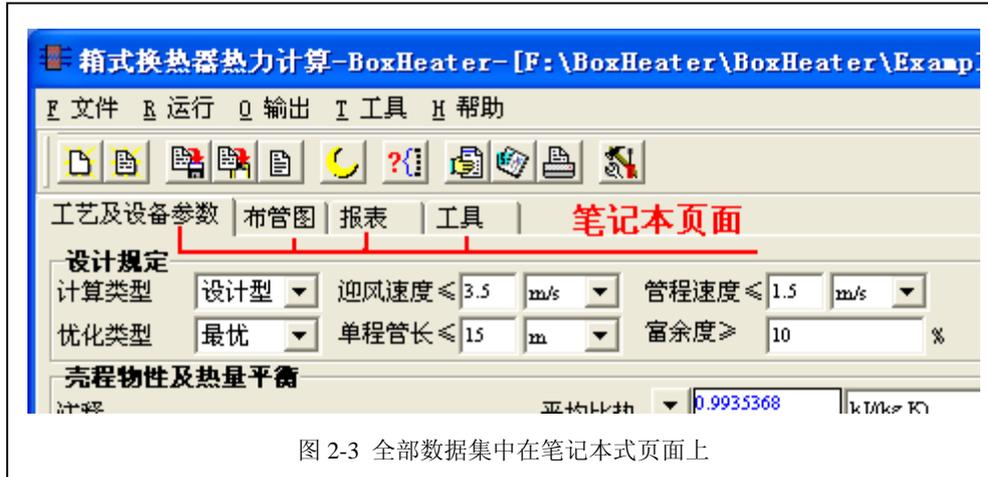


图 2-3 全部数据集中在笔记本式页面上

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。

The screenshot shows the BoxHeater software interface with the following data:

Category	Parameter	Value	Unit
壳程物性及热量平衡	平均比热	0.98983	kJ/(kg·K)
	密度	1.226456	kg/m ³
	动力粘度	0.01597078	cP
	导热系数	0.02496279	W/(m·K)
	表面张力		N/m
	蒸汽比热		J/(kg·K)
	蒸汽密度		kg/m ³
	蒸汽粘度		N·s/m ²
	蒸汽导热系数		W/(m·K)
	蒸汽表面张力		N/m
管程物性及热量平衡	平均比热	4.191335	kJ/(kg·K)
	密度	973.5837	kg/m ³
	动力粘度	0.3334201	cP
	导热系数	0.6722787	W/(m·K)
	表面张力		N/m
	蒸汽比热		J/(kg·K)
	蒸汽密度		kg/m ³
	蒸汽粘度		N·s/m ²
	蒸汽导热系数		W/(m·K)
	蒸汽表面张力		N/m
主要结果	传热热量	483920.8	W
	平均温差	65.78748	°C
	温差校正	0.9895	
	总传热系数	254.4774	W/(m ² ·K)
	理论面积	28.90558	m ²
	实际面积	32.036	m ²
	实际富余度	10.83	%
	壳程压降	82.97004	Pa
	管程压降	265.1788	N/m ²
	管程污垢	0.00017	m ² ·K/W

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。

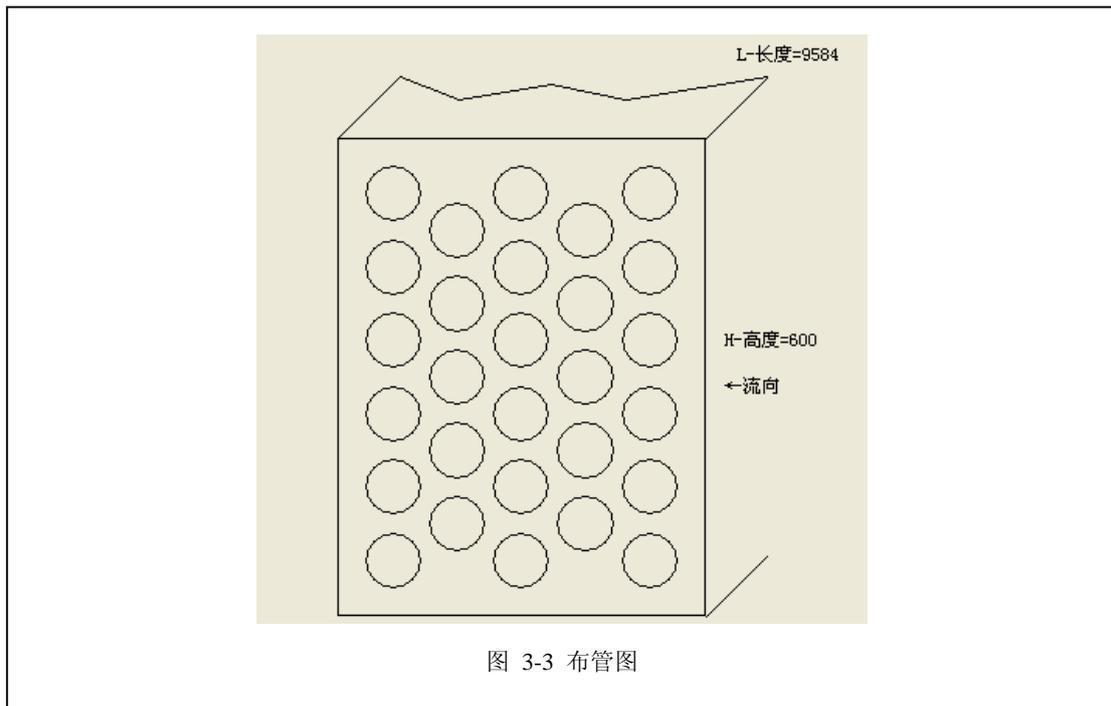


图 3-3 布管图

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 多管程空冷器

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，你需要计算出口气体温度，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。



图 3-5 空气减湿器的热力计算实例

****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 °C，相对湿度 60%，

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

经过第 2 组管束，温度降到 16 °C，即：20 °C——>16 °C，**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 °C，出口温度第一组 15 °C，第二组出口温度可根据计算情况调整（实际调整为 14.4 °C）。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。



设计规定

计算类型: 校核型 | 迎风速度: 9.3 m/s | 管程速度: 1.5 m/s | 优化类型: 最优 | 单程管长: 15 m | 富余度: 10 %

壳程物性及热量平衡

注: 热空气 | 平均比热: 991.0201 J/(kg·K) | 密度: 1.196861 kg/m³ | 动力粘度: 1.6465E-0005 N·s/m² | 导热系数: 0.02546986 W/(m·K) | 表面张力: N/m

流体相态: 单相气体 | 相对湿度: 100 % | 操作压力: 100 kPa | 流体类型: 热流体 | 质量流量: 120 t/h | 入口温度: 20 C | 出口温度: 16 C | 热量: W

管程物性及热量平衡

注: 凉水 | 平均比热: 4192.547 J/(kg·K) | 密度: 998.9672 kg/m³ | 动力粘度: 0.001343234 N·s/m² | 导热系数: 0.5822461 W/(m·K) | 表面张力: N/m

流体相态: 单相液体 | 流体类型: 冷流体 | 质量流量: 85.575 t/h | 入口温度: 10 C | 出口温度: 14.4 C | 热量: 438.509 kW

箱体几何

排管方式: 正三角形 | 高宽比: 1.6 | 高度H: 2716 mm | 宽度W: 2145 mm | 长度L: 4551 mm | 管列数: 24 | 上下间隙: 55 mm | 左右间隙: 55 mm | 迎风面积: 12.36 m² | 迎风面管数: 29 | 管程数: 4 | 总管数: 684

壳程传热

迎风速度: 2.253211 m/s | 管程速度: 4.259494 m/s | 壳程压力降: 224.8188 N/m² | 壳程污垢: 0.00017 m²·K/W | 翅片膜系数: 162.7012 W/(m²·K) | 基管膜系数: 942.6974 W/(m²·K)

管程传热

实际线速度: 0.1532683 m/s | 参考线速度: 0.9785 m/s | 管程压力降: 563.0725 N/m² | 管程污垢: 0.00017 m²·K/W | 管内膜系数: 457.2099 W/(m²·K)

翅片几何

翅片高度: 6 mm | 翅片间隙: 6 mm | 翅片厚度: 1 mm | 翅片材质: 不锈钢 | 翅化比: 8.719298 | 翅片效率: 0.6290554

基管几何

管外径: 58 mm | 管内径: 34 mm | 管间距: 92 mm | 基管材质: 不锈钢

主要结果

传热热量: 438.509 W | 平均温度差: 5.250418 C | 温差校正: 0.9056 | 总传热系数: 290.3157 W/(m²·K) | 理论面积: 333.6542 m² | 实际面积: 371.6177 m² | 实际富余度: 11.38 %

at=457 209923708304 | Dp1=563.072469084014 | 西安市维维计算机科技有限责任公司, 2013 | http://www.vvsoft.com | email: vvsoft@163.com

图 4-1 第 2 组管束的计算结果

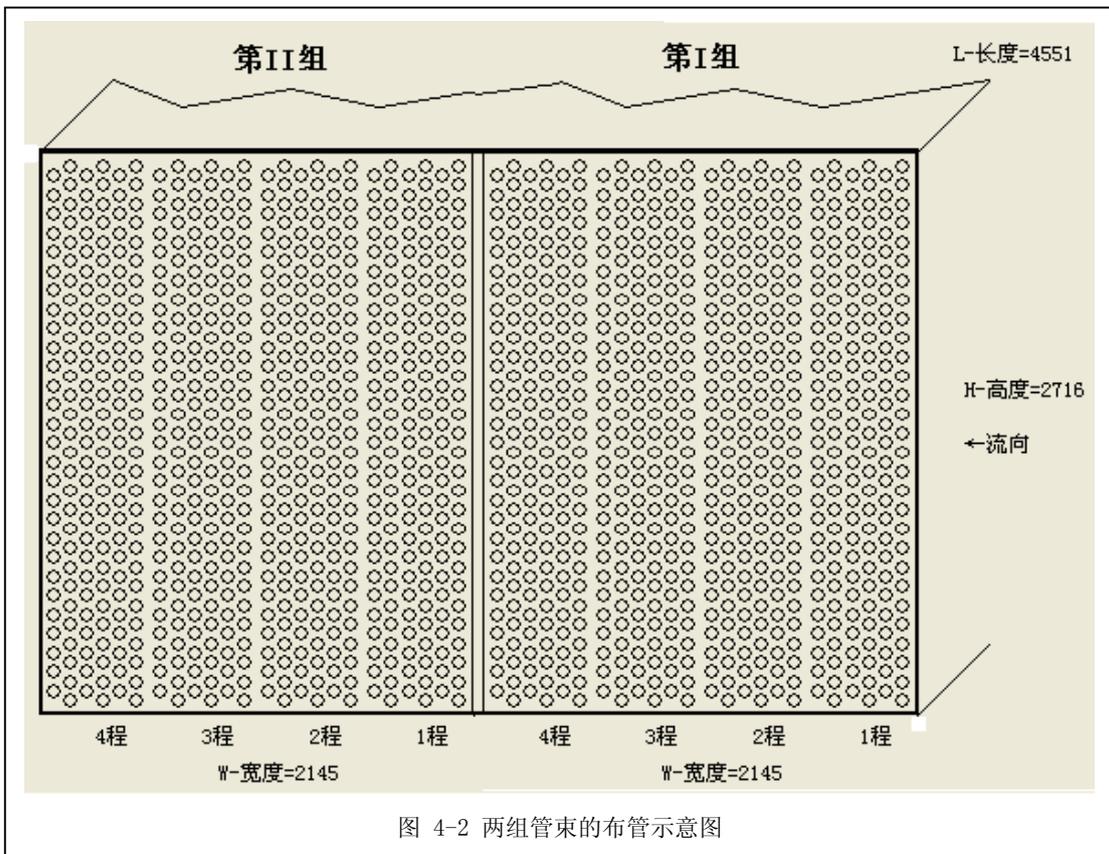


图 4-2 两组管束的布管示意图



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 δ 和扭矩 S 。注意 A 、 B 均指内径。这些参数在 BoxHeater 软件界面上的“工具”页面定义，如图 5-2 所示。填入 A 、 B 、 δ 和 S ，最后按下“确定”按钮，即可生效。

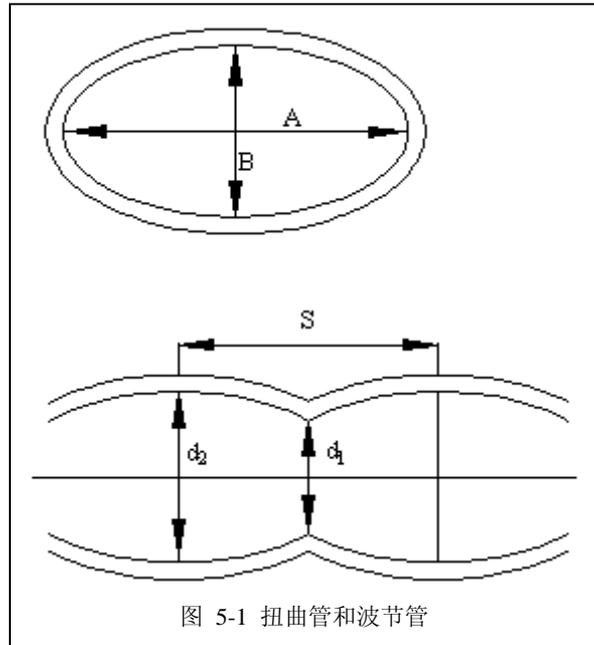


图 5-1 扭曲管和波节管

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 δ 和波节距 S 。注意 d_2 、 d_1 均指内径。这些参数在 BoxHeater 软件界面上的“工具”页面定义，如图 5-2 所示。填入 d_2 、 d_1 、 δ 和 S ，最后按下“确定”按钮，即可生效。



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，kgH₂O/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 kgH₂O/kg干空气**。

6.2.2 空气相对湿度

空气**相对湿度 ψ** 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：**ψ**——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 Ψ 、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 kgH₂O/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 ³
基管材质密度	7850	kg/m ³
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 ³
箱体板面体积	0.1012352	m ³
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 ²
入口温度	20	°C
风压	411.9601	N/m ²
压缩机效率	72	%
气体流量	208.82	m ³ /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

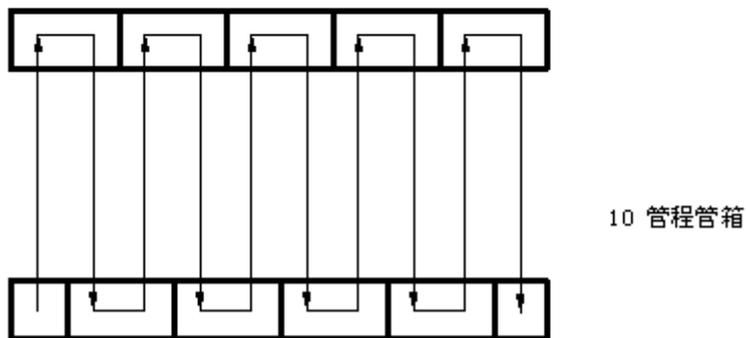
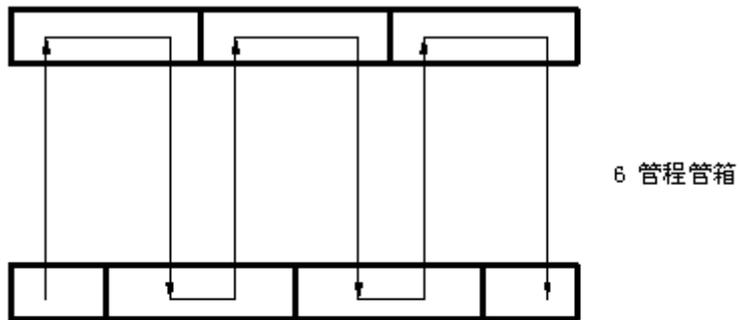
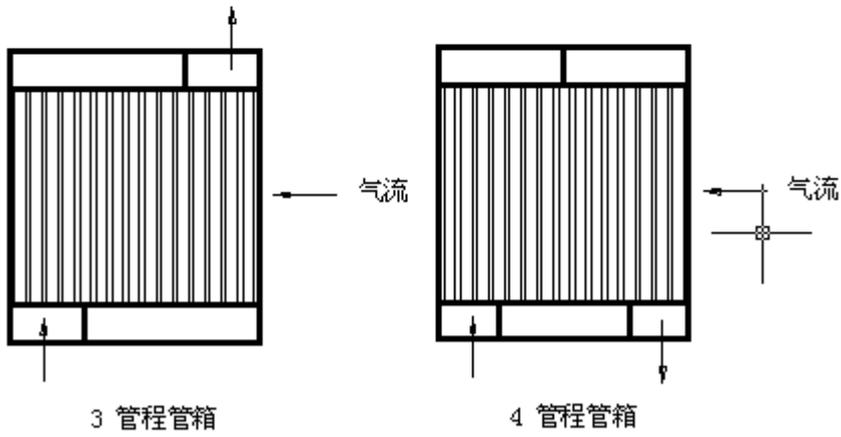
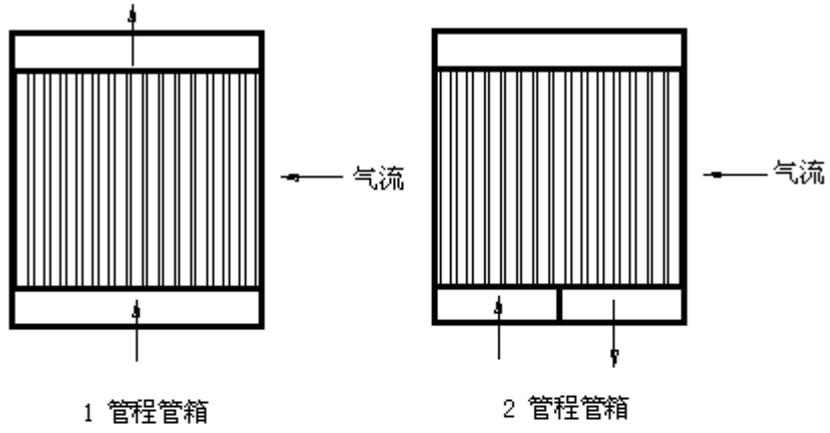
附录 1 常见流体污垢阻力

常见流体污垢阻力

流体	污垢热阻 $m^2 \cdot K/W$
蒸馏水	0.00009
海水	0.00009
清浄的河水	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

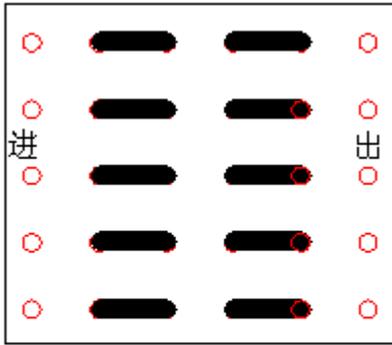


附录 2 多管程管箱简图

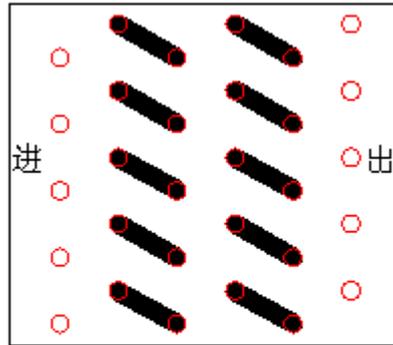




附录 3 U 型管连接



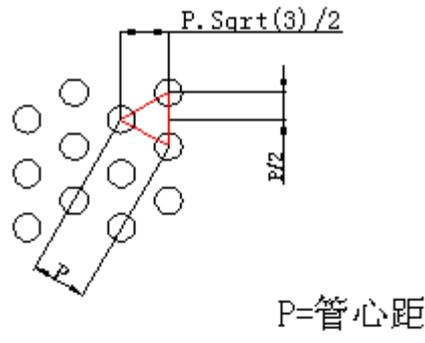
□排列



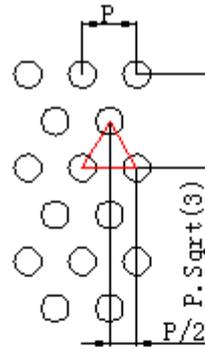
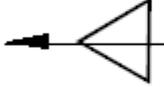
△排列



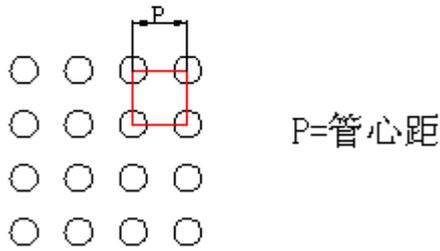
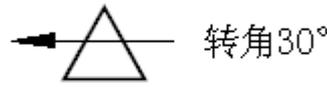
附录 4 排管形式



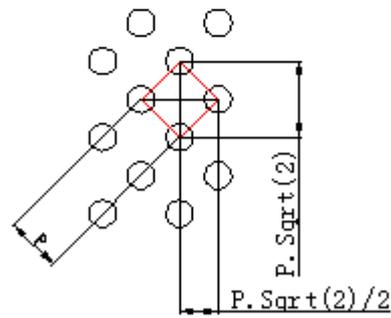
流动方向



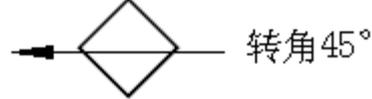
流动方向



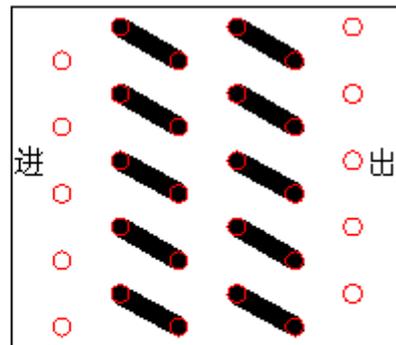
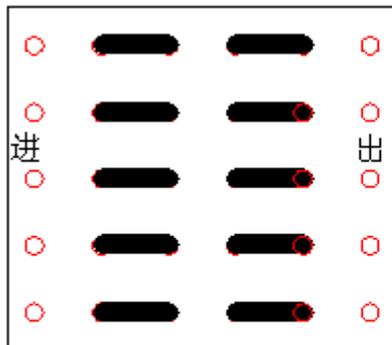
流动方向



流动方向



U 型管连接



□排列

U型管连接

△排列