(冷凝式)换热器
热力计算软件

用户手册

西安交通大学车得福教授课题组

前言

本手册是“(冷凝式)换热器热力计算软件”的使用说明书，随软件同时提供给客户。

为了使您对该产品有一个总体的认识，方便您的使用，我们专门为您配置了用户手册，主要对“(冷凝式)换热器热力计算软件”的主要功能、使用方法、注意事项、用户界面等进行介绍，使您能够掌握本软件的使用方法，是您使用本软件的必不可少的指南。

本手册使用用户要求具备一定的换热器设计的基本知识，在数据输入过程中必须要注意数值的常规范围，并符合实际情况。

使用前，请您仔细阅读本手册，对本产品有一定的了解。由于编者水平有限，可能在程序设计、编制过程中存在缺点和错误，敬请用户批评指正。另外，在使用过程中，如果您有什么问题，请来电查询，我们定当竭诚为您服务。

目录

(冷凝式)换热器热力计算软件 1
前言 2
一、 概述 4
(一) 计算标准方法及参考文献 4
(二) 基本使用过程描述 4
(三) 软件功能 4
二、 软件界面 7
(一) 菜单栏区域 7
(二) 基本参数输入区域 8
(三) 材质库操作区域 8
(四) 功能按钮区域 8
三、 换热器热力计算过程 9
(一) 选择计算任务 9
(二) 输入结构参数 9
(三) 输入燃料参数 10
(四) 输入热力参数 10
(五) 计算控制 11
(六) 点击“计算”按钮 11
(七) 主要计算结果 12
(八) 输出计算书 13
(九) 点击“保存数据”按钮 14
(十) 点击“打开数据文件”按钮 15
(十一) 材质库操作 16
(十二) 换热工质物性参数定义 16
四、 专题说明 18
(一) 参数输入的基本原则 18
(二) 选择计算任务说明 19
(三) 结构参数输入说明 19
(四) 燃料参数输入说明 21
(五) 热力参数输入说明 22
（六） 计算控制说明 22
(七) 光管材质库操作说明 24
(八) 肋片材质库操作说明 25
(九) 换热工质物性参数定义操作说明 25
(十) 其他计算说明 26

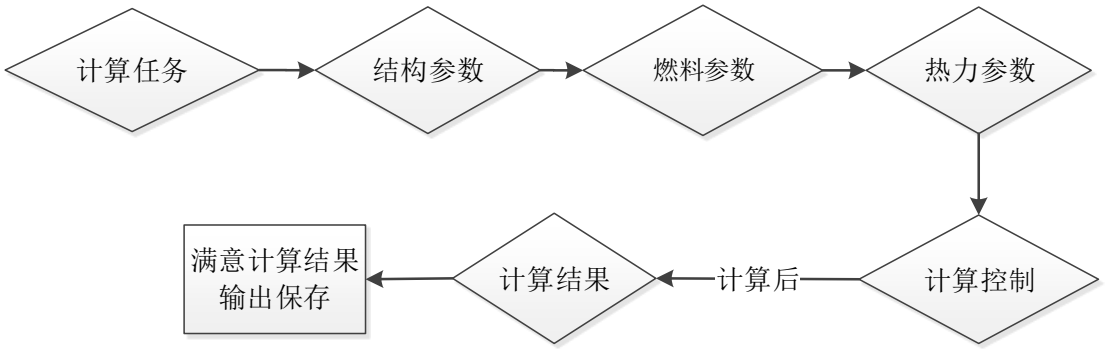
一、 概述

(一) 计算标准方法及参考文献

本程序设计主要依据及参考手册如下

- 《锅炉机组热力计算-标准方法》(57 标准)上海工业锅炉研究所编印
- 《锅炉机组热力计算-标准方法》(73 标准)上海工业锅炉研究所编印
- 《工业锅炉设计计算方法》(03 标准)中国高效工业锅炉项目办公室委托北京科林燃烧工程有限公司组织编纂
- 《锅炉热力计算（标准方法）》（98 标准）
- 《冷凝式锅炉及其系统》车得福著，机械工业出版社
- 《锅炉设备空气动力计算》标准方法 第三版
- 《电站锅炉水动力计算方法》JB/Z201-83
- 《工程优化方法及其应用》张可村，李换琴编著，西安交通大学出版社

(二) 基本使用过程描述



(三) 软件功能

1. 计算功能强大：锅炉间壁式列管式换热器的热力计算（包括设计和校核计算），换热工质之一是高水分烟气的列管式冷凝换热器的热力计算（包括设计和校核计算）；
2. 适用多种传热流体：

(1) 可进行烟气-水换热器、水-空气换热器和烟气-空气换热器这 3 种基本换热器的热力计算；

(2) 换热工质物性参数的重定义：能以 3 种基本换热器为原型，对“水”和“空气”这 2 种换热工质的物性参数（导热系数、运动粘度、普朗特数、密度、定压比热和焓值）进行重定义。如将“水”的物性参数重新定义为一种“油”的物性参数，即可实现对“烟气-油换热器”的热力计算，依次类推；

3. 多种热力计算标准：对常规烟气或空气中水蒸汽无相变发生的换热器，可采用《98 标准》、《73 标准》、《57 标准》及《工业锅炉设计计算方法》这 4 中标准进行热力计算；对烟气中水蒸汽发生冷凝的冷凝式换热器，可采用西安交通大学车得福教授课题组的研究成果《换热单元法》或《冷凝修正系数法》进行该冷凝式换热器的热力计算；
4. 适用多种传热元件：可供选择的传热元件有光管管束、鳍片管管束、膜式管管束、圆形肋片管管束、方形肋片管管束、螺旋横肋管管束、双 H 型鳍片管管束、单 H 型鳍片管管束等；
5. 适用各种燃料：可依据固体燃料、气体燃料、液体燃料及这三种燃料组成的混合燃料的燃料参数计算烟气的成分；在缺少燃料参数的情况下可直接输入烟气成分；
6. 设置了材质库：用户可以选择其中的材质参数对换热器进行材质设计，也可以使用软件的开放接口自行添加新材质或删除旧材质。对于膜式管管束、鳍片管管束、圆形或方形肋片管管束、螺旋横肋管管束和 H 型鳍片管管束，管子和扩展受热面可设计成不同材质；
7. 材质库中的自定义参数：对于光管，可以对材质的密度、粗糙度及导热系数等进行定义，可对应实现对管子重量、管内流体摩擦阻力系数及管子热阻的计算；对于肋片，可以对材质的密度及导热系数进行定义，可对应实现对肋片重量及肋片导热情况的计算；
8. 阻力特性计算：可进行换热器本体烟气侧或空气侧的烟风阻力计算，可进行换热器本体水侧阻力计算；
9. 优化横向节距：给定换热器烟气侧的流速范围，可快速的优化得到符合给

定烟气流速的横向节距；

10. 输出详细的热力计算书；
11. 健壮性：软件具有错误判别功能，对用户输入的数据进行正确性和完整性校验，可避免由于用户输入不完整或不合理造成的计算错误。

二、 软件界面

在桌面上双击“(冷凝式)换热器热力计算软件”图标，此时显示软件主界面如图 2-1 所示。

图2-1 (冷凝式)换热器热力计算软件主界面

(一) 菜单栏区域

在界面的菜单栏区域中，有“文件”， “计算”，“帮助”下拉菜单。其主要功能为：

■ “文件”菜单命令：

➢ “打开”：用于打开已有项目，如图 2-2 所示。
➢ “保存”：保存当前的计算项目。
➢ “退出”：退出软件。

■ “计算”菜单命令：

➢ “开始计算”：根据输入参数计算热力结果。
➢ “输出计算书”：将热力计算结果输出 。

■ “帮助”菜单命令：

➢ “联系我们”：出现本课题组的联系方式。
➢ “软件使用说明”：使用说明文档。

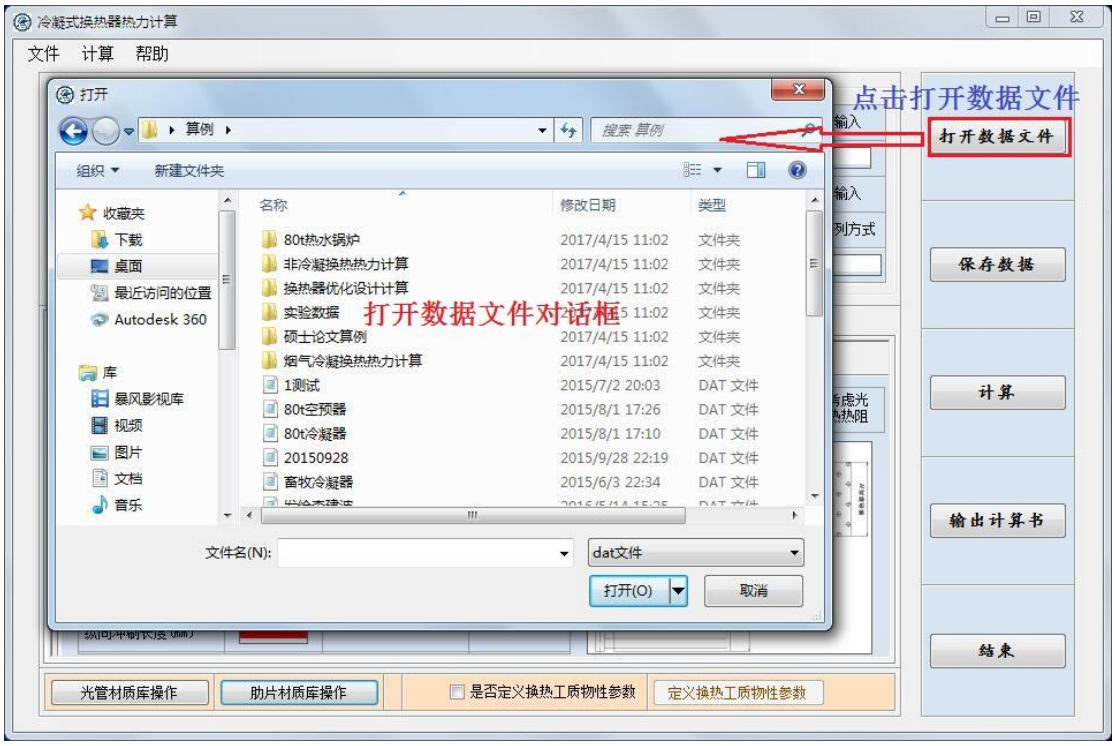


图2-2 打开数据文件界面

(二) 基本参数输入区域

- 计算任务 ：选择计算任务
- 结构参数 ：输入结构参数
- 燃料参数 ：输入燃料参数
- 热力参数 ：输入热力参数
- 计算控制 ：输入计算控制参数
- 主要计算结果 ：显示主要计算结果

(三) 材质库操作区域

- 光管材质库操作 ：对换热器中组成光管的材质进行添加、删除、修改和查询操作
- 肋片材质库操作：对换热器中组成肋片的材质进行添加、删除、修改和查询操作

(四) 功能按钮区域

为了软件的操作使用方便，在软件主界面右侧添加了主要的功能按钮。这些主要功能按钮在菜单栏的下拉菜单都能找到对应的操作。

三、 换热器热力计算过程

热力计算过程中，根据(冷凝式)换热器热力计算任务，按照“计算任务—>结构参数—>（燃料参数）—>热力参数—>计算控制”顺序，完成“参数输入区域”参数的输入，最后进行换热器热力计算。详细说明如下：

(一) 选择计算任务

按照从左到右、从上到下的顺序选择换热器热力计算任务，前一个下拉框的选项通常会决定后一个下拉框的可选值。如图 3-1 所示。

图3-1 计算任务的输入界面

(二) 输入结构参数

当组成换热器的传热元件为光管管束时，只需输入基本结构参数；当传热元件为肋片管束时，需要输入基本结构参数和肋片参数。此外，在输入文本框区域的右侧，给出了换热器的结构示意图。界面如图 3-2 所示。

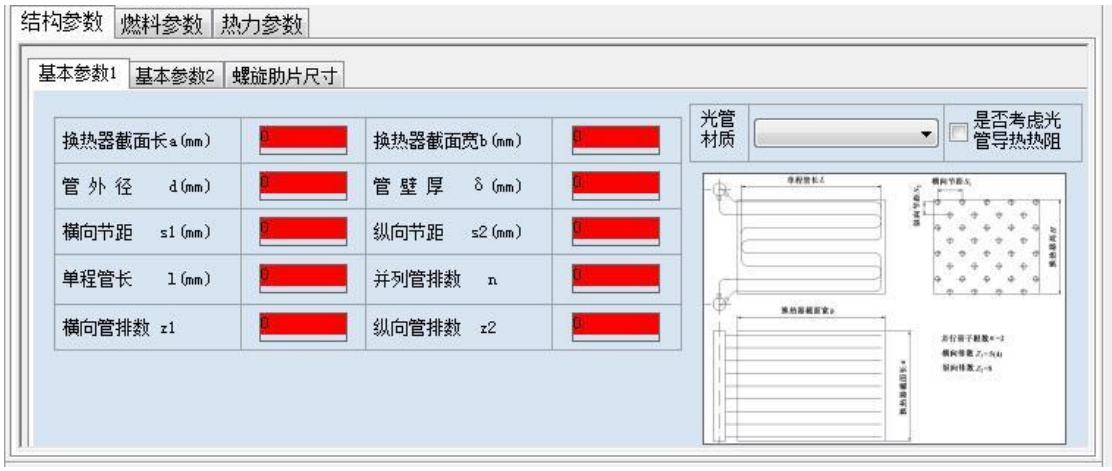


图3-2 结构参数的输入界面

注意事项：

- 数据输入时请注意所选单位是否与软件默认单位对应，若不对应，请转化为软件所使用单位制。
- 结构参数是整个计算过程中重要的参数，请仔细确认，输入合理正确的参数值。
- 用户在使用软件过程中要注意保存项目，防止数据突然意外丢失。

(三) 输入燃料参数

当两种传热流体中有一种是烟气时，需要输入燃料参数：可输入燃料组分后，通过燃料燃烧计算来计算烟气成分，也可以直接输入烟气组分。否则，不需要输入燃料参数。界面如图 3-3 所示。

图3-3 燃料参数的输入界面

(四) 输入热力参数

热力参数主要为两种传热流体的温度、压力、流量、阻力、换热器散热损失等参数。界面如图 3-4 所示。

图3-4 热力参数的输入界面

(五) 计算控制

计算控制参数主要为冷凝修正系数、期望出口温度和热有效系数等参数。界面如图 3-5 所示。

- 冷凝修正系数：进行烟气冷凝换热热力计算时，若采用冷凝修正系数法，冷凝修正系数是对用户的一个开放接口，可根据实际情况输入合适值。
- 期望出口温度：设计计算时，期望得到的出口工质温度，根据实际情况输入。
- 热有效系数：评价换热器污染情况的系数，可根据实际情况输入，也可使用默认值。
- 优化横向节距：根据用户给定的最大最小烟气流速，综合考虑换热器的传热性能、阻力特性等，优化得到较优的横向节距。可根据实际情况来选择是否优化。

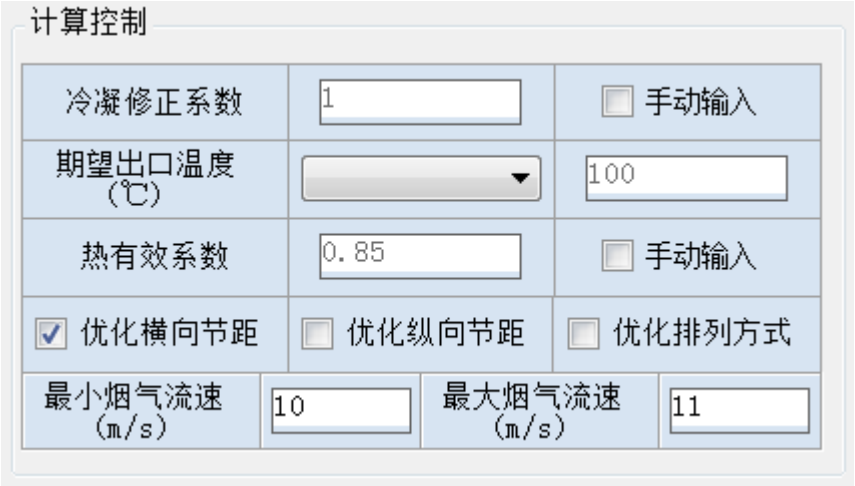


图3-5 计算控制的输入界面

(六) 点击“计算”按钮

当所有参数输入完成后，点击功能按钮区域“计算”按钮或菜单栏中的“计算”下拉子菜单进行换热器热力计算。界面如图 3-6 所示。

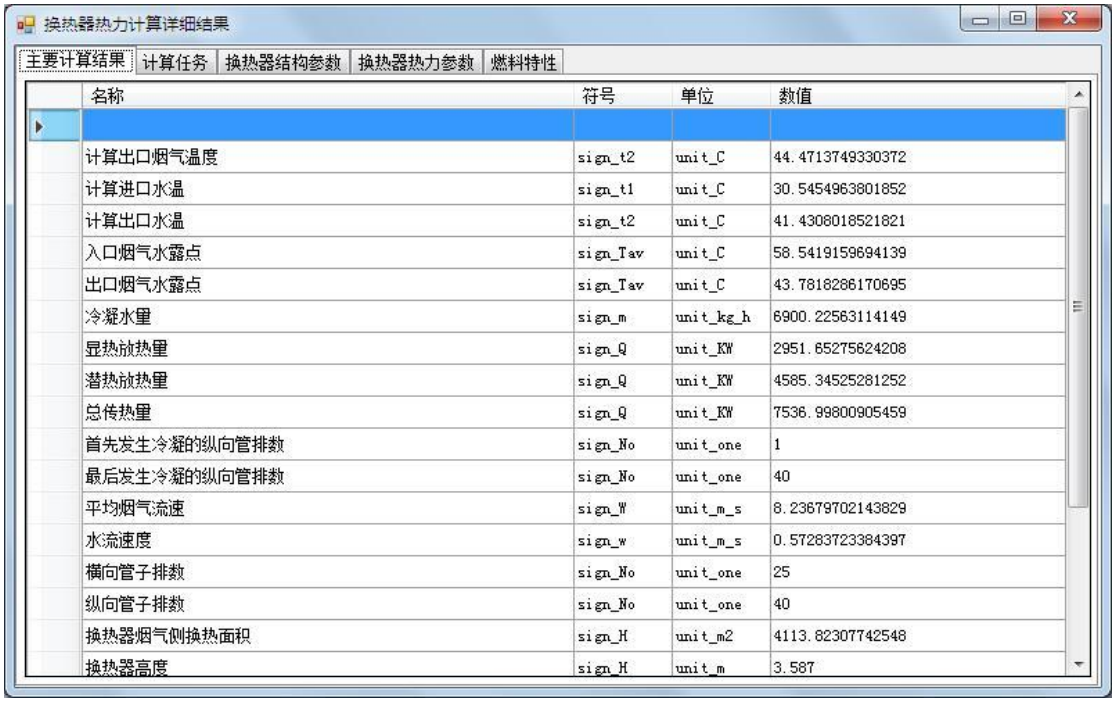
图3-6 计算界面

(七) 主要计算结果

计算完成后，可在“主要计算结果”区域，方便的查看主要计算结果，如果换热器热力计算结果不令人满意，可通过调整部分输入参数后，重新计算，直至设计得到满意的换热器。主要计算结果显示界面如图 3-7 所示。

图3-7 主要计算结果的显示界面

点击主要计算结果按钮即可在弹出的如图 3-8 所示的对话框中，查看详细的热力计算结果。



名称	符号	单位	数值
计算出口烟气温度	sign_t2	unit_C	44.4713749330372
计算进口水温	sign_t1	unit_C	30.5454963801852
计算出口水温	sign_t2	unit_C	41.4308018521821
入口烟气水露点	sign_Tav	unit_C	58.5419159694139
出口烟气水露点	sign_Tav	unit_C	43.7818286170695
冷凝水量	sign_m	unit_kg_h	6900.22563114149
显热放热量	sign_Q	unit_KW	2951.65275624208
潜热放热量	sign_Q	unit_KW	4585.34525281252
总传热量	sign_Q	unit_KW	7536.99800905459
首先发生冷凝的纵向管排数	sign_No	unit_one	1
最后发生冷凝的纵向管排数	sign_No	unit_one	40
平均烟气流速	sign_W	unit_m_s	8.23679702143829
水流速度	sign_w	unit_m_s	0.57283723384397
横向管子排数	sign_No	unit_one	25
纵向管子排数	sign_No	unit_one	40
换热器烟气侧换热面积	sign_H	unit_m2	4113.82307742548
换热器高度	sign_H	unit_m	3.587

图3-8 详细计算结果界面

(八) 输出计算书

计算完成，且设计得到了满意换热器结构后，可通过点击“输出计算书”按钮来获得换热器热力计算的详细计算过程参数及计算结果。如图 3-9、图 3-10 所示。

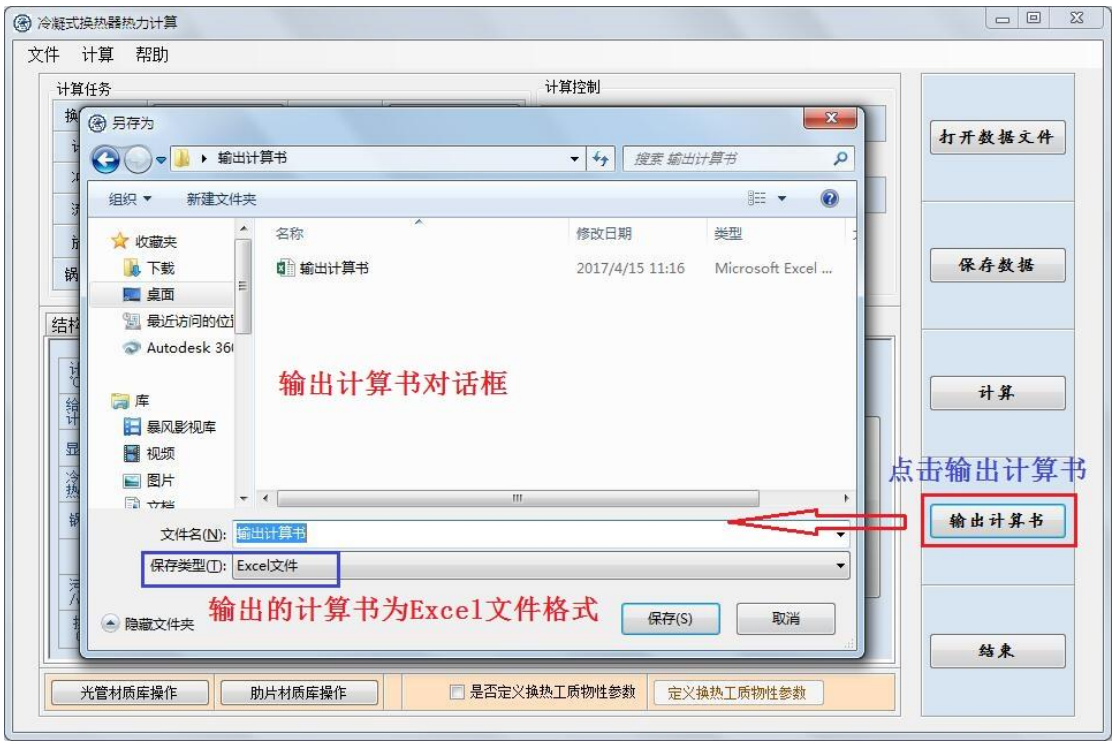


图3-9 输出计算书的保存对话框

图3-10 输出计算书的软件界面

正式计算书如图 3-11 所示。如果用户对输出的计算书不完全满意，则用户可以直接编辑该文件。

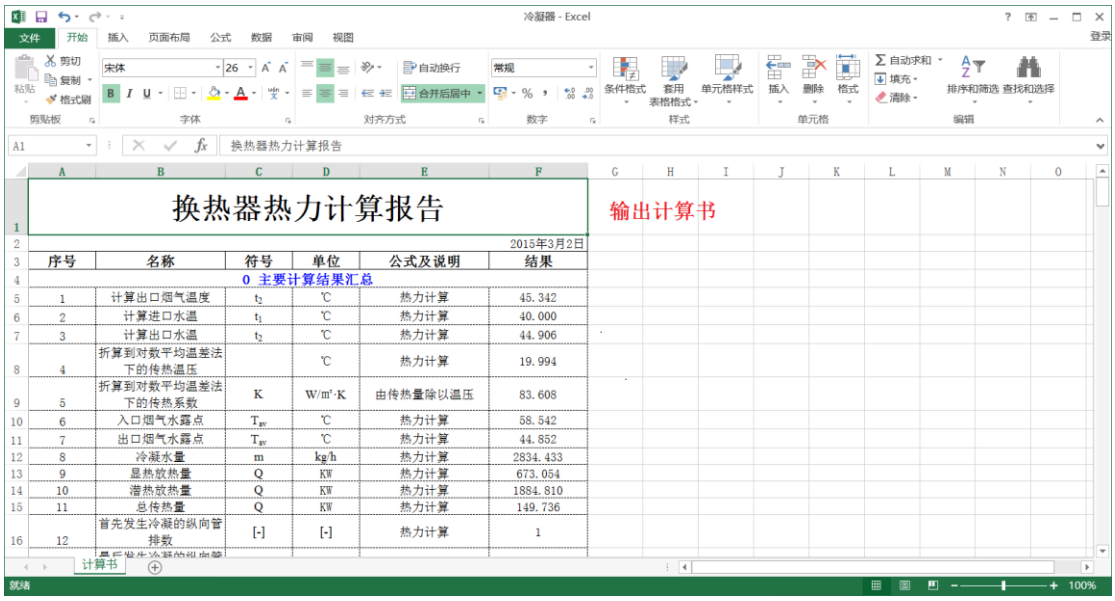


图3-11 Excel 格式的计算书

(九) 点击“保存数据”按钮

当计算完成后，若设计得到了满意的换热器，可点击“保存数据”按钮，保存该换热器的数据(数据格式为.dat 文件)，方便以后使用。界面如图 3-12 所示。

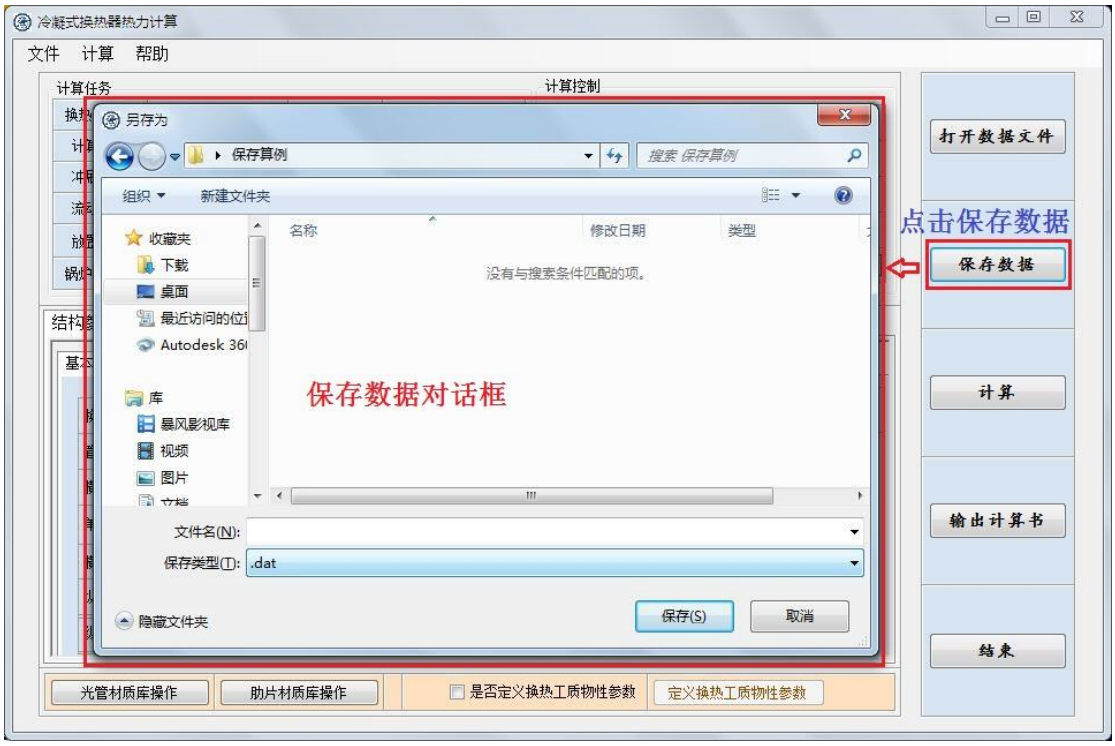


图3-12 保存数据对话框

(十) 点击“打开数据文件”按钮

当需要重新对某个换热器进行热力计算时，点击“打开数据文件”，打开该换热器的数据(数据格式为.dat 文件)，便可进行热力计算。界面如图 3-13 所示。

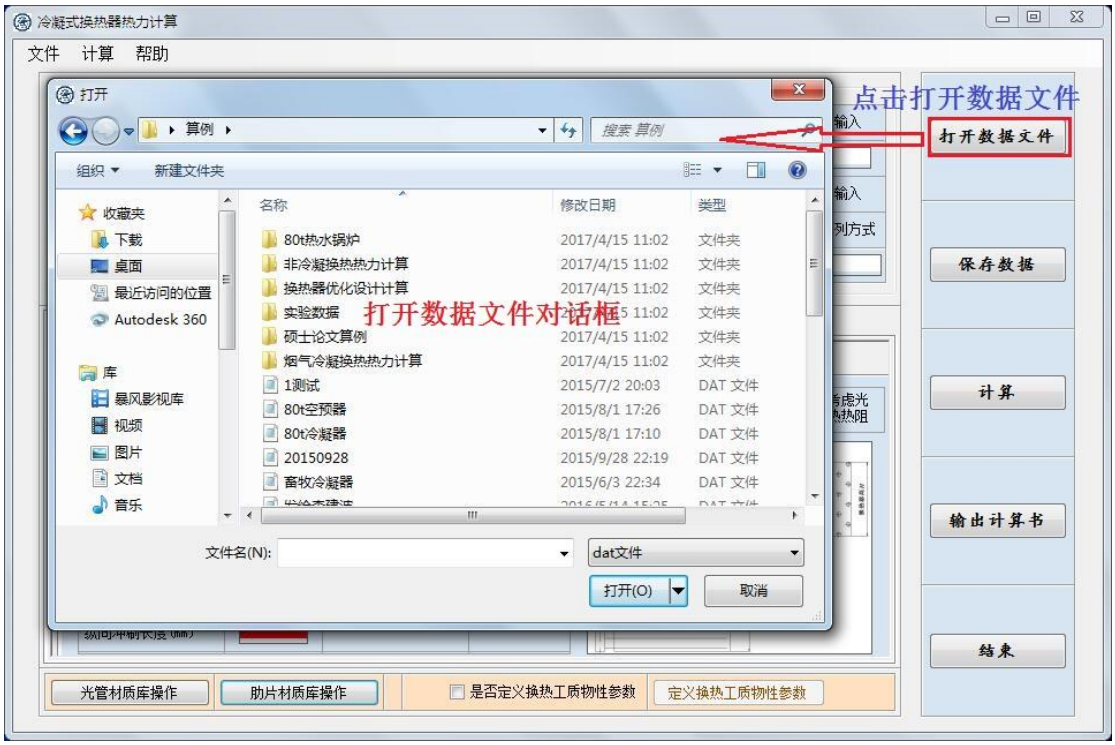


图3-13 打开数据文件界面

(十一) 材质库操作

软件中设置了材质库，用户可以选择其中的材质参数对换热器进行材质设计，也可以使用软件的开放接口自行添加新材质或删除旧材质。对于肋片管束，基管管子和扩展受热面可设计成不一样的材质。光管材质库操作界面如图 3-14 所示，肋片材质库操作界面如图 3-15 所示。

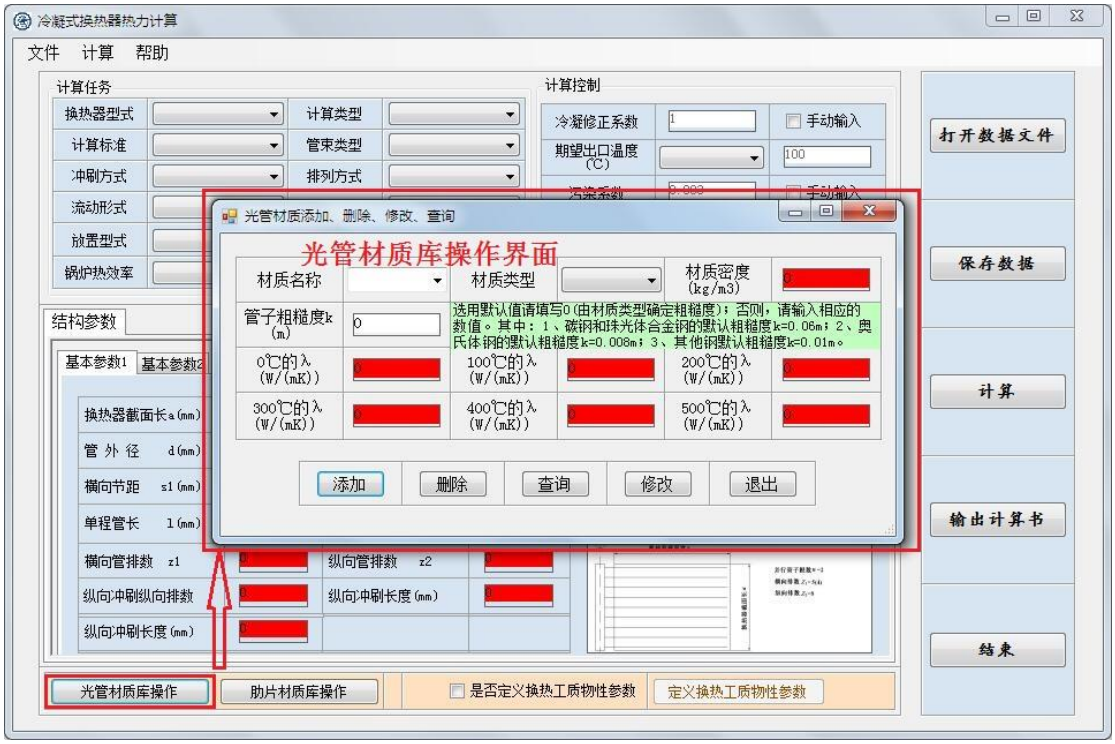


图3-14 光管材质库操作界面

(十二) 换热工质物性参数定义

当需要对“烟气-水换热器”、“水-空气换热器”和“烟气-空气换热器”这 3 中换热器中的“水”或“空气”物性参数进行重新定义时，当选定换热器类型后，即可选中“是否定义换热工质物性参数”点选框，这时“定义换热工质物性参数”按钮变为可用状态；然后点击“定义换热工质物性参数”按钮，即可弹出如图 3-16 所示的换热工质物性参数定义界面。至此，便可对换热工质的物性参数进行重定义。

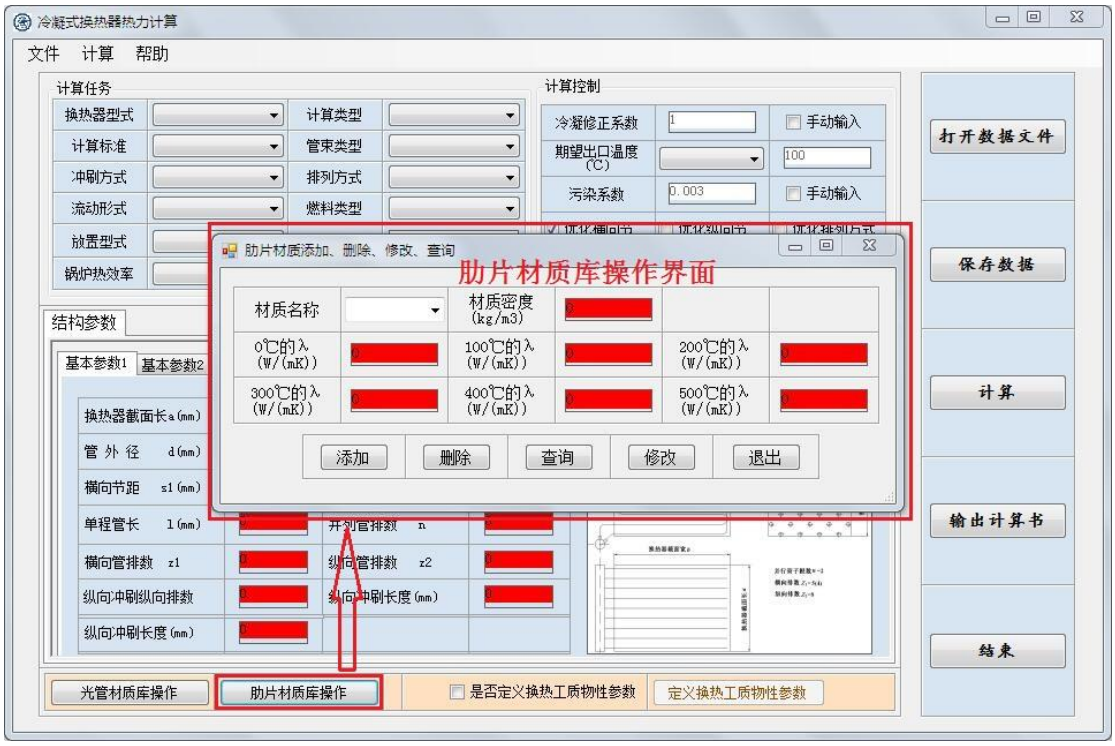


图3-15 肋片材质库操作界面

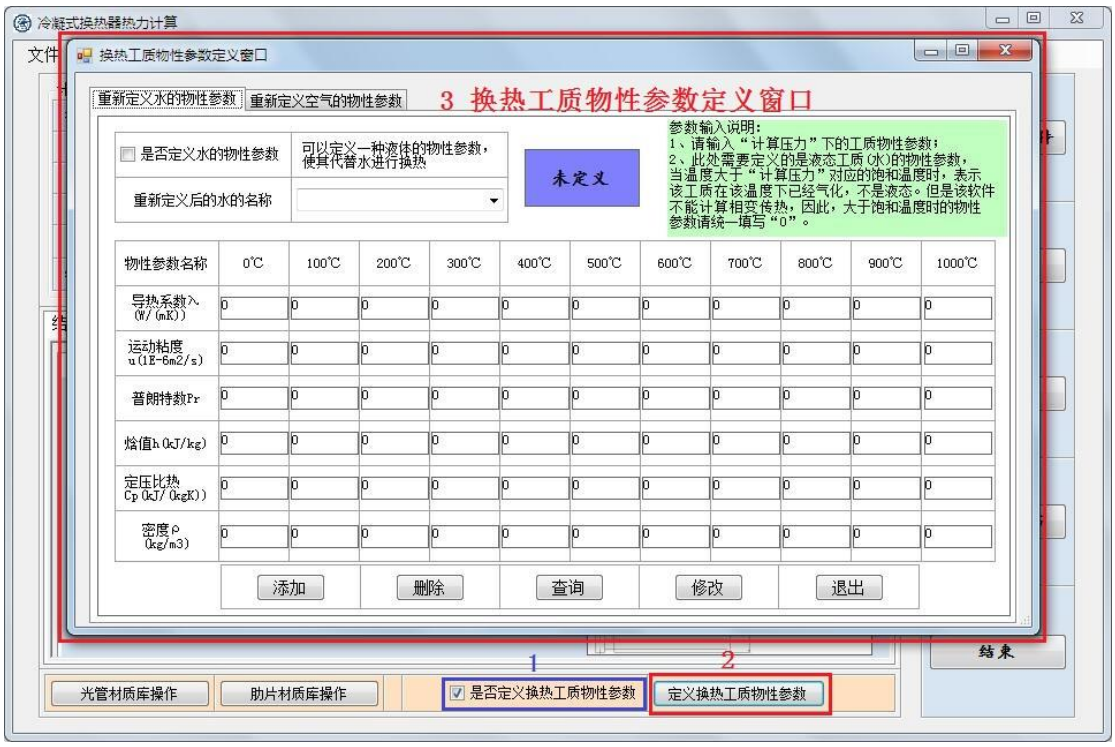


图3-16 换热工质物性参数定义窗口

四、 专题说明

(一) 参数输入的基本原则

1. 使用 Tab 键按顺序输入参数

针对可以被编辑的输入框，按 Tab 键可以按从上到下，从左到右的顺序来输入，省去移动鼠标的时间。

2. 越界提示

文本输入框有输入范围提醒，如果输入数值越界则会变红。并有提示出现，如图 4-1 所示。

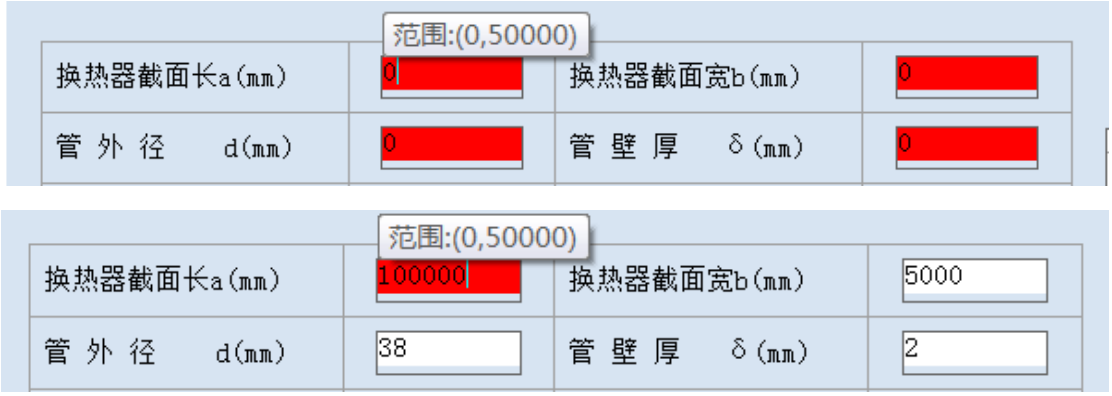


图4-1 输入范围及数据越界提醒

3. 接口开放的参数输入

开放了一些参数的接口。如采用修正系数法计算烟气冷凝换热时的冷凝修正系数、热有效系数等。这些接口的特征是有一个命名为“使用该值”的选择框，如果选择该值，则软件会使用用户的输入值，否则使用软件默认值。如图 4-2 所示。

图4-2 用户选择是否给定接口参数

4. 点选框的输入

对于诸如“优化横向节距”、“优化纵向节距”、“优化排列方式”和“是否考虑光管导热热阻”等参数，它们的变量只有“true”和“false”两种，选中点选框即为“true”，不选中即为“false”。因此，对于这些点选框，可选，也可以不选，应根据实际计算需要进行选择。

(二) 选择计算任务说明

1. 换热器类型：即烟气-水换热器、水-空气换热器和烟气-空气换热器这 3 种换热器型式中的一种；
2. 计算类型：设计计算和校核计算；
3. 计算标准：进行冷凝式换热器热力计算时请选择“冷凝换热计算”；否则，请选择其 “98 标准”、“73 标准”、“57 标准”、 “工业锅炉”这 4 种计算标准中的一种，这四种计算标准主要的不同点在于：1）各标准在计算过程中选取热有效系数、污染系数的判断依据不太一样；2）各标准在计算同一种管型时，选取的烟气侧对流放热系数公式或公式中的系数不完全相同。在您的使用过程中，如无特殊要求，建议采用“98 标准”进行换热器的热力计算。
4. 管束类型：组成换热器传热元件的类型，其中包括光管管束和其他多种肋片管束，计算时请根据需要选择；
5. 冲刷方式：管外介质冲刷管束的方式。当介质流速方向与单根管束垂直时，为横向冲刷；当介质流速方向与单根管束平行时，为纵向冲刷；当换热器的一部分管束被横向冲刷一部分管束被纵向冲刷时，为混合冲刷。对于电站锅炉中的换热器，管外介质冲刷换热器管束的方式大部分都为横向冲刷；
6. 放置型式：水平放置和垂直放置。当换热器为卧式布置时则为水平放置，当换热器为立式布置时则为垂直放置。换热器本体水侧阻力大小与放置型式有关；

(三) 结构参数输入说明

1. 换热器截面长：沿换热器管子横向节距（或入口集箱）方向的换热器长度；
2. 换热器截面宽：沿单程管长方向（或垂直于入口集箱）的换热器宽度；
3. 单程管长：在本软件中，换热器的单程管长必须小于等于换热器截面宽；
4. 并列管排数：对于顺列布置管束，当从入口集箱出来的管排数为 n 时，则并行管排数为 n，如图 4-3 所示；对于错列布置管束，当从入口集箱出来的管排数为 2n 时，则并行管排数为 2n/2=n，如图 4-4 所示；
5. 左侧与烟道距离：指换热器截面长度方向，换热器最左侧管子与烟道壁面之

间的距离，如图 4-3 所示。当输入“0”时，取程序的默认值。需要注意的是，在进行换热器设计计算时，不要将该值设置过大，否则可能会产生烟气走廊现象。

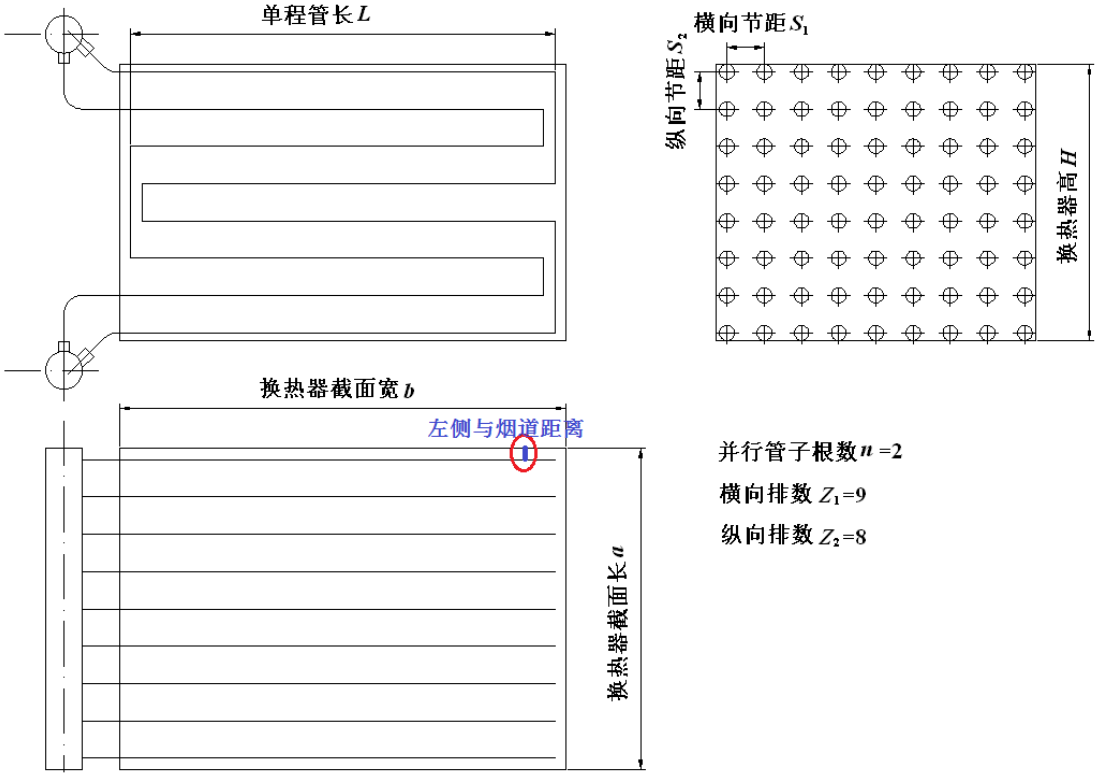


图 4-3 顺列管束换热器结构示意图

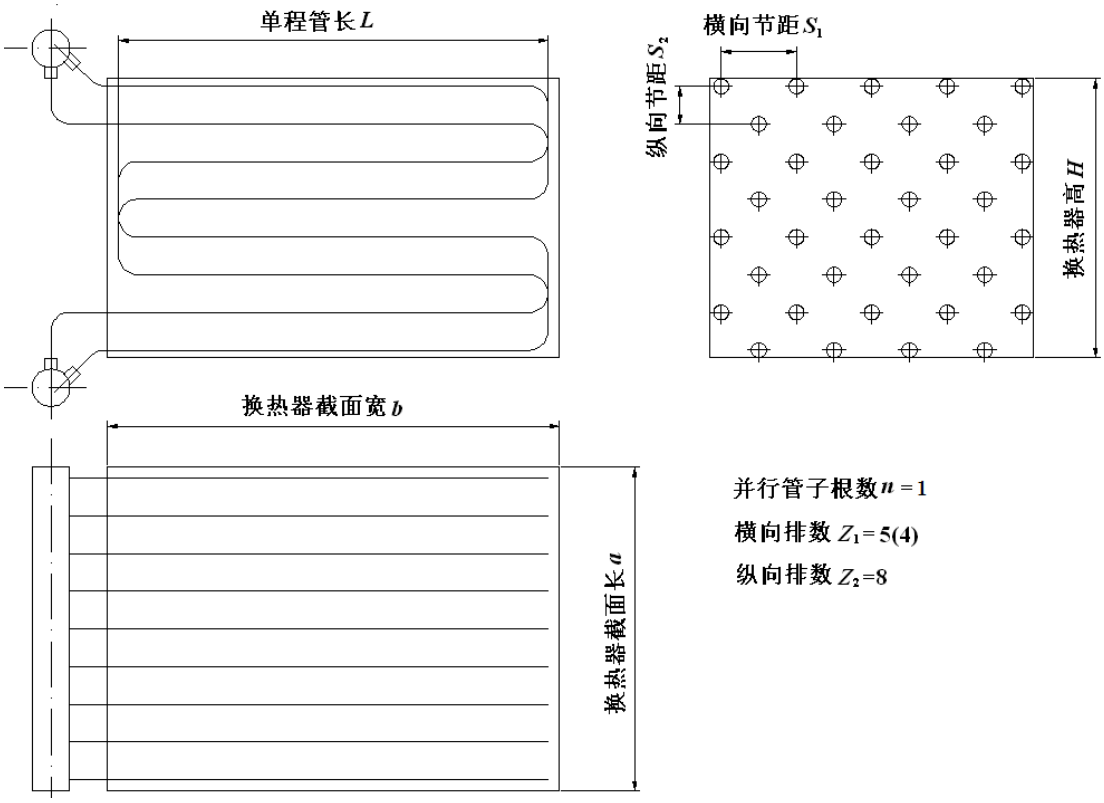


图 4-4 错列布置管束换热器结构示意图

6. 光管材质：在本软件计算过程中，换热器本体水侧阻力大小和换热器光管重量都与光管材质有关；软件默认的三种光管材质为“20G”、“0Cr18Ni9（SUS304）”和“铸铁”，可通过点击“光管材质库操作”按钮，对光管材质库进行操作。如图 3-14 所示。
7. 肋片尺寸的输入：各种肋片管束的结构示意图如图 4-5 所示。
8. 肋片材质：由于肋片管束主要用于换热器的强化传热，因此，肋片管束的导热系数对整个换热器的传热系数影响较大。在进行热力计算过程中，传热系数的大小及肋片重量都与肋片材质有关。

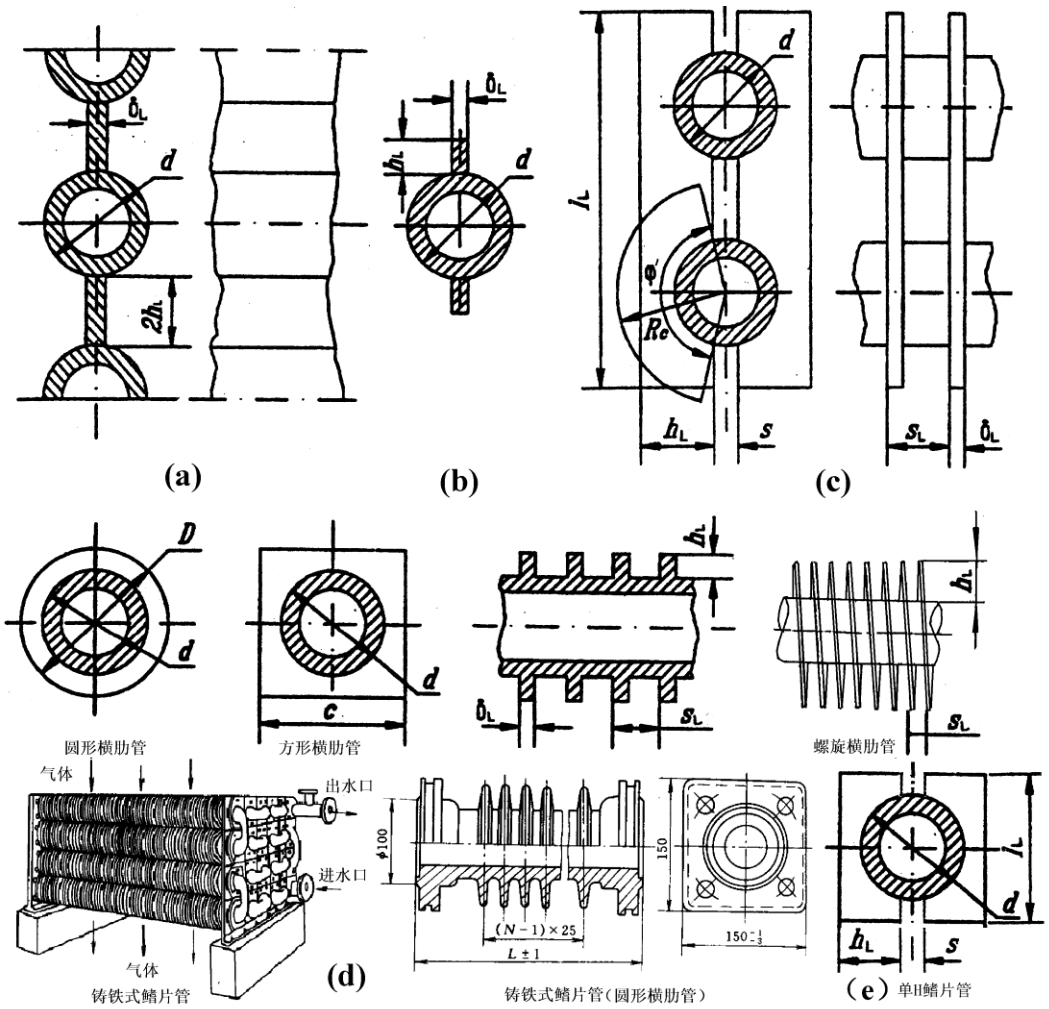


图 4-5 肋片管束结构示意图

(四) 燃料参数输入说明

1. 在输入燃料参数时，所需输入的数据与“燃料类型”和“输入参数类型”有

关；输入时请注意单位，如固体燃料的计算燃料消耗量单位为 t/h，气体燃料的计算燃料消耗量单位为“1000Nm³/h”。

2. 煤的污染程度：在燃烧时能够在管子上生成疏松的一次粘污层的燃料（如无烟煤屑）可以认为是轻度污染的；若生成牢固粘污层的燃料（如基捷洛夫煤）可以认为是强烈污染的。对于轻度污染及带吹灰的强烈污染对流受热面，采用图 4-6 中的曲线 1 来计算热有效系数；对于不带吹灰的强烈污染对流受热面，采用图 4-6 中的曲线 2 来计算热有效系数。

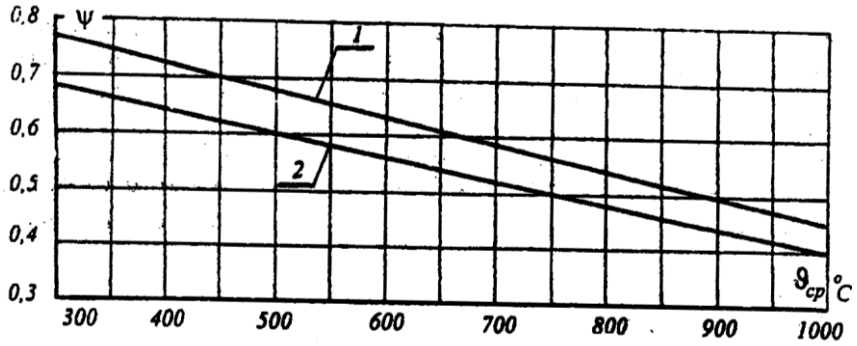


图 4-6 燃用固体燃料时，热有效系数

(五) 热力参数输入说明

1. 入口烟气份额：对应输入的计算燃料消耗量下产生的烟气中，流经换热器、用于换热器传热的份额。
2. 入口烟气压力：对于电站煤粉锅炉（炉膛负压）尾部的换热设备，入口烟气压力值应为 0.098MPa；对于燃油燃气供热锅炉（炉膛通常为正压），入口烟气压力值应为 0.101MPa。

(六) 计算控制说明

1. 换热单元法进行冷凝器热力计算：计算任务区域中计算标准选择“冷凝换热计算”，而计算控制区域不填写“冷凝修正系数”且不选择其右侧的“手动输入”，这样即可实现采用换热单元法进行冷凝器热力计算。如图 4-7 所示。

图 4-7 换热单元法

2. 冷凝修正系数法进行冷凝器热力计算：计算任务区域中计算标准选择“冷凝

换热计算”，选择计算控制区域 “冷凝修正系数”右侧的“手动输入”，并输入冷凝修正系数值，这样即可实现采用冷凝修正系数进行冷凝器热力计算。如图 4-8 所示。

图 4-8 冷凝修正系数法

3. 表 4.1 为换热单元法与冷凝修正系数法的对比情况。

表4.1 换热单元法与冷凝修正系数法

热力计算方法	原理	计算时间	计算结果的准确性	出口烟气状态	是否能预测水蒸汽冷凝发生点	是否可计算冷凝水量
换热单元法	考虑烟气传热和水蒸汽的传质	相对较长	/	一般为过热	是	是
冷凝修正系数法	对数平均温差法	相对较短	与冷凝修正系数的取值有关	饱和	否	是

4. 热有效系数：管子污染状况下的传热系数与清洁状况下传热系数的比值。当用户有准确可靠的热有效系数工程实验数据时，可选择手动输入该值，而不采用软件的默认值。否则，可采用程序计算得到的默认值进行热力计算。
5. 污染系数：烟气侧积灰层厚度与灰污导热系数的比值，也称灰层热阻，单位 (m^2℃)/W。与热有效系数的输入方法一致，可手动输入，也可采用程序默认值。
6. 期望出口温度：进行设计计算时，选择“期望出口烟温”可得到以出口烟温

为目标的计算结果，选择“期望出口水温”可得到以出口水温为目标的计算结果。

7. 优化横向节距、优化纵向节距、优化排列方式：软件综合考虑换热器的传热系数、烟气压降、水侧压降及换热器高度等指标，对换热器进行优化设计。优化原则如下：
   1) 对于校核计算，显然不能进行优化设计；对于设计计算，不适用于采用“换热单元法”进行烟气冷凝换热器的热力计算，而适用于“修正系数法”和非冷凝换热计算。
   2) 当选择对换热器的横向节距进行优化设计时，需要给定烟气的流速范围。软件在进行横向节距的优化设计计算时，就是在满足烟气流速范围的横向节距内，优化选择较优的横向节距。
   3) 对于三个优化参数，当同时选择优化横向节距和纵向节距时，优化时间会相对比较长，优化时请耐心等待。

(七) 光管材质库操作说明

如图 4-9 所示，添加一种光管材质时，需要输入的参数为：材质名称、材质类型、材质密度、管子粗糙度和导热系数。

图 4-9 光管材质库操作界面

1. 材质名称：定义的材质的一种名称编号。
2. 材质密度：材质密度仅用于计算光管的重量。
3. 材质类型和管子粗糙度需配合使用，当管子粗糙度输入值为 0 时，软件将根

据输入的材质类型（碳钢、珠光体钢等）来计算管子粗糙度。工质在管内流动的摩擦阻力系数是由管子粗糙度决定的，因此，管子粗糙度是影响管内工质阻力的重要因素之一。

4. 光管导热系数与“是否考虑光管导热热阻”点选框配合使用，当选中“是否考虑光管导热热阻”点选框后，软件将考虑光管导热热阻对传热的影响。当考虑光管导热热阻时，将根据定义的光管导热系数来进行计算光管导热热阻；否则，定义的光管导热系数将变得没有意义。

(八) 肋片材质库操作说明

如图 4-10 所示，添加一种肋片材质时，需要输入的参数为：材质名称、材质密度和导热系数。

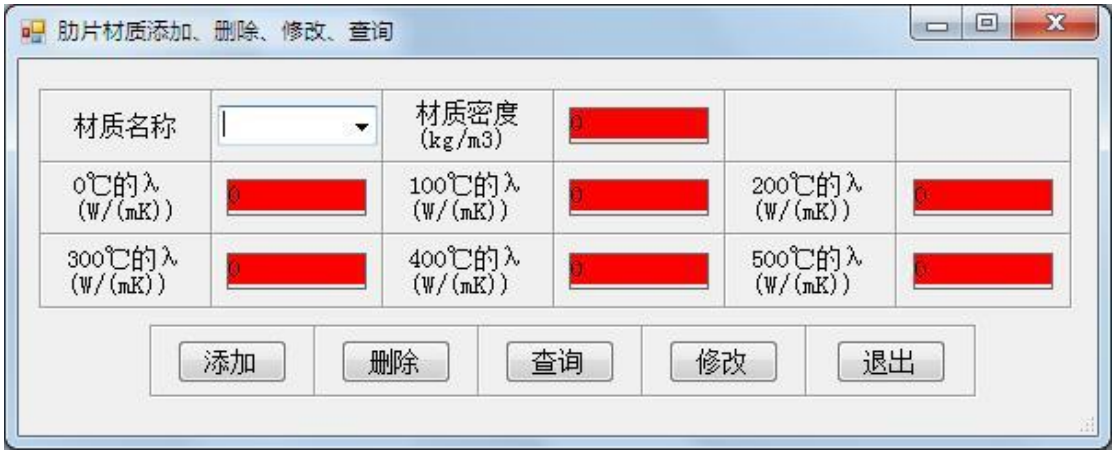


图 4-10 肋片材质库操作界面

1. 材质名称：定义的材质的一种名称编号。
2. 材质密度：材质密度仅用于计算肋片的重量。
3. 导热系数：对于翅片管，肋片的导热系数对整个翅片管的传热效果有很大影响。肋片导热系数主要用于计算肋片的导热性能。

(九) 换热工质物性参数定义操作说明

如图 4-11 所示，当重新定义水或空气的物性参数时，需要输入的参数为：重新定义后的工质名称、导热系数、运动粘性系数、普朗特数、焓值、定压比热和密度。

1. 对于 6 种物性参数的输入：应输入“计算压力”下的工质物性参数；不存在对应温度下的物性参数时，输入 0 值即可。

图 4-11 换热工质物性参数定义界面

2. 对于焓值的输入：必须至少输入 2 个连续温度下的非零焓值，且温度越高，焓值应该越大。
3. 重新定义工质物性参数的顺序，以重新定义水的物性参数为例：
   (1) 先输入“重新定义后的水的名称”；
   (2) 输入水的 6 中物性参数随温度变化的值；
   (3) 点击“添加”按钮，将定义好的水的物性参数添加到材质库中；
   (4) 在“重新定义后的水的名称”下拉框中，选择重新定义后的水的名称；
   (5) 点击选中“是否定义水的物性参数”，即可完成对水的物性参数的重定义。

(十) 其他计算说明

1. 烟气-水换热器：特指烟气在管外流动，水在管内流动的列管式换热器；
2. 水-空气换热器：特指空气在管外流动，水在管内流动的列管式换热器；
3. 烟气-空气换热器：烟气可以在管内或管外流动的列管式换热器，在“结构参数”中选择烟气流动位置；
4. 当换热工质中的一种为“烟气”时，则可以在计算标准中选择“冷凝换热计算”进行烟气冷凝换热计算；否则，不能选择“冷凝换热计算”标准进行计算。