

热管空气预热器设计及性能计算软件使用说明书

黄建春

(渝石网络 <http://www.fishsting.com> 中国重庆)

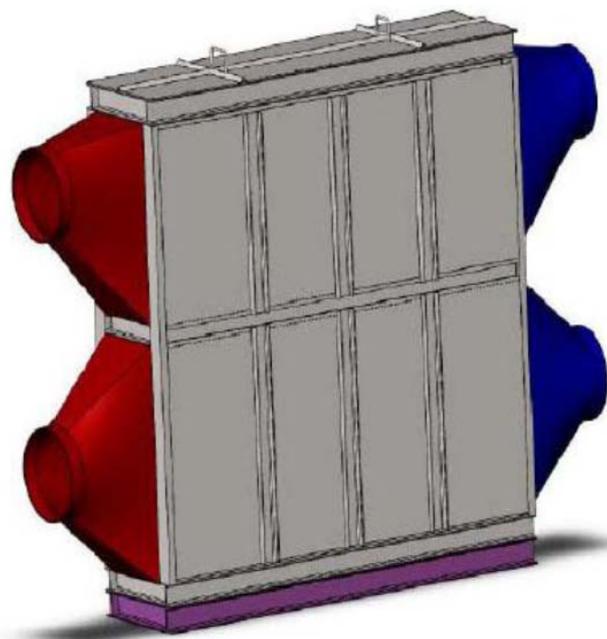
本软件是作者根据大量的实际工程实例编写而成，为了软件的通用性，采用一元三点插值函数及二元三点插值函数对物性参数和肋片效率进行自动计算，采用换热量和迭代步长进行迭代控制，以防止迭代发散。热力性能的计算方法采用陶文铨院士所编写的《传热学》第五版中传统的计算方法，软件中的修正系数来源于大量的实际工程数据，目前该软件自 2010 年以来经过了十多年的修改，已成为国内唯一的，也是实现功能最齐全的整体式热管空气预热器设计及性能计算软件，并且本人也经常采用该软件作为企业讲课的首选资料，该软件同《烧结机双压余热发电性能计算》软件作为渝石网络最耀眼的两颗明珠。该软件主要能实现如下功能：

1. 根据工程参数设计热管空气换热器，通过控制迎风速度，能自动计算出换热面积及空气侧和烟气侧阻力以及两侧的管壁温度，并根据计算结果调整换热器的结构。
2. 根据现有换热器的设计数据，校核换热器能否达到设计条件，并能进行该换热器的变工况计算。
3. 根据现有换热器的设计数据，校核换热器的壁温和阻力。
4. 根据客户的要求可以随意更改热侧和冷测的热管长度及翅片管的结构数据。
5. 根据客户的要求自动排版热力计算汇总表

该软件采用 excel 作为前台，VBA 作为后台，其外观设计美观，并且其表格形式的编排可供初学者学习使用。其使用说明如下：

一、热管空气预热器的结构

该空气预热器的结构为整体式热管空气预热器，其结构如下图所示：



二、软件环境

由于该软件是在 excel 中开发，并采用了 VBA 编程作为后台，所以在运行的时候需要启用宏设置，具体设置为，在菜单《文件—>选项—>信任中心—>信任中心设置—>宏设置》中，把《启用所有宏》选中即可，如下图：



三、设计计算

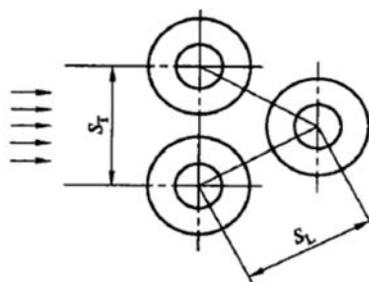
设计计算中，可以更改热管的热侧和冷测的长度以及翅片管的结构（例如：翅片管高度、翅片管厚度、间距），排列方式一般都为叉排。由于是整体热管换热器，所以热管热侧和冷测管子的结构、横向间距和纵向间距保持不变。热管热侧和冷测的污垢热阻和热损失根据实际情况可以手动设置。

设计参数中烟气量、烟气进口温度和出口温度、空气量、空气进口温度根据客户要求手动填写，然后根据迎风面速度的设定，计算出理论的横向排数和理论的纵向排数，最后根据计算结果以及客户的要求自己填写实际的横向排数和实际的纵向排数，该数据在表中为绿色标出的横向排数（实取）和纵向排数（实取），该数据为后面的校核计算提供完整的方案。另外其烟气的阻力和空气的阻力及壁温为实际选取热管的排数提供依据。

注：该表目前处于保护状态，只有可以修改的单元格数据可以随时修改，其他单元数据不能修改。

设计计算的基本参数及计算结果汇总								
热管的基本结构					设计参数及计算结果			
项目名称	符号	单位	热侧数据	冷测数据	项目名称	符号	单位	数值
热管外径	d_o	mm	32	32	烟气量	V_y	Nm^3/h	5000
管壁厚度	δ	mm	2.5	2.5	进口烟气温度	θ'	$^{\circ}C$	325
热管加热段长度	l_h	mm	1000	1000	出口烟气温度	θ''	$^{\circ}C$	200
翅片管高度	l_f	mm	15	15	空气量	V_k	Nm^3/h	4700
翅片管厚度	δ_f	mm	1.2	1.2	进口空气温度	t'	$^{\circ}C$	20
翅片管间距	t	mm	4	4	标准迎风面风速	w_N	m/s	2.5
排列方式	—	—	叉排	叉排	计算结果			
横向间距	S_T	mm	67	67	出口空气温度	t''	$^{\circ}C$	156.0688
纵向间距	S_L	mm	67	67	横向排数(计算)	B	排	8.291874
污垢热阻	R	$(m^2 \cdot ^{\circ}C)/W$	0.00035	0	横向排数(实取)	B	排	9
热损失	q_y	%	3	3	纵向排数(计算)	m	排	8.533537
实际最大气流速	w	m/s	10.77708	6.829957	纵向排数(实取)	m	排	10
每米热管总表面积	A_h	m^2	0.974135	0.974135	热管总数	n	根	85
最小流通截面积	NFA_y	m^2	0.252792	0.252792	烟侧阻力	ΔP	Pa	597.426
有效换热系数	α_c	$W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$	45.44257	35.68521	空气侧阻力	ΔP	Pa	361.1078
翅片效率	η_f	—	0.841552	0.880097	烟气侧迎风速度	w_h	m/s	2.303298
					空气侧迎风速度	w_c	m/s	2.1651

其中：要注意横向间距（ S_T ）和纵向间距（ S_L ）的输入数据，如下图所示：



设计计算时，需要在**计算结果**中，需要根据**横向排数（计算）**中的数据，在**横向排数（实取）**填写合适的数值；同理，对纵向排数的数值也做同样的处理。

四、校核计算

在校核计算中，根据设计的烟气量及进口温度、设计的空气量及进口温度校核实际的烟气出口温度、烟气侧阻力和空气侧阻力、烟气侧和空气侧管壁温度是否达到设计的要求。

在校核计算中，可以通过更改设计参数，实现该换热器的变工况运行，为客户提供更好的服务。

另外在迭代方式方面，可以通过更改迭代步长和假设的烟气出口温度来防止程序运行的过程中出现迭代发散。

该表中标识为蓝色的单元格和迭代步长可以修改，其他单元都禁止修改。如在迭代开始前出现计算结果错误，则可以通过修改“假设烟气出口温度”单元格的数据，使其它数据保持在正常数值状态，然后点击迭代计算即可。

注：该表目前处于保护状态，只有可以修改的单元格数据可以随时修改，其他单元数据不能修改。

校核计算的基本参数及计算结果					
校核计算的基本参数及计算结果				迭代计算	
项目名称	符号	单位	数值	项目名称	数值
校核烟气量	V_b	Nm^3/h	5000	假设烟气出口温度	192.56795
进口烟气温度	θ'	$^{\circ}\text{C}$	325	计算烟气出口温度	192.40388
空气量	V_k	Nm^3/h	4700	最大烟气速度	10.702292
进口空气温度	t'	$^{\circ}\text{C}$	20	最大空气速度	6.9044804
计算结果				相对误差	-0.049933
出口烟气温度	θ''	$^{\circ}\text{C}$	192.56795	迭代步长	1000
出口空气温度	t''	$^{\circ}\text{C}$	163.94748	烟气的有效传热量	214753.44
烟侧阻力	ΔP	Pa	592.24781		
空气侧阻力	ΔP	Pa	365.73955	开始迭代计算	
有效传热量	Q_1	KW	249.44806		
烟侧管壁温度	t_{by}	$^{\circ}\text{C}$	188.14329		
空气侧管壁温度	t_{bc}	$^{\circ}\text{C}$	178.70304		
热管的排列方式					
$9 \times 8 \times 9 \times 8 \times 9 \times 8 \times 9 \times 8 \times 9 \times 8$					
说明：一般来说，烟气量和空气量的初设值是相当的，但是如果两者出现较大差别时，最好先更改“假设烟气出口温度”的初设值使其接近实际工况，并更改迭代步长（变小），然后再更改空气量。除蓝色的数据及热管的结构参数可以修改，其它数据不易修改。 注：烟气的性质是按平均烟气的性质编程计算。如需更改烟气成分，请联系渝石网络站长： http://www.fishsting.com/					

五、汇总表

该汇总表可以根据客户的实际要求做出任何更改，并且可以通过复制和粘贴文字的方法可以随意获得不同工况的汇总表。目前该表是处于保护状态，如有需要可随时联系站长。汇总表如下图所示：

渝石网络		热管空气预热器热力计算			编号			
基本参数								
结构几何参数					设计数据			
项目名称	符号	单位	热侧数值	冷测数值	项目名称	符号	单位	数值
热管外径	d_o	mm	32	32	烟气侧数据			
管壁厚度	δ	mm	2.5	2.5	烟气量	V_y	Nm ³ /h	5000
热管段长度	l_h	mm	1000	1000	进口烟气温度	θ'	℃	325
翅片管高度	l_f	mm	15	15	出口烟气温度	θ''	℃	200
翅片管厚度	δ_f	mm	1.2	1.2	散热损失	q_s	%	3
翅片管间距	t	mm	4	4	空气侧数据			
排列方式	—	—	叉排	叉排	空气量	V_k	Nm ³ /h	4700
横向间距	S_T	mm	67	67	进口空气温度	t'	℃	20
纵向间距	S_L	mm	67	67	散热损失	q_s	%	3
计算结果								
项目名称	符号	单位	计算结果					
烟气量	V_y	Nm ³ /h	5000					
烟气入口温度	θ'	℃	325					
烟气出口温度	θ''	℃	192.567951					
空气量	V_k	Nm ³ /h	4700					
空气进口温度	t'	℃	20					
空气出口温度	t''	℃	163.9474792					
实际最大烟气流速	w_y	m/s	10.70229153					
实际最大空气流速	w_k	m/s	6.90448041					
烟气侧有效换热系数	α_{ye}	W/(m ² ·℃)	45.32559449					
空气侧有效换热系数	α_{ce}	W/(m ² ·℃)	35.8099982					
传热系数	K	W/(m ² ·℃)	18.0753943					
平均温压	ΔT	℃	166.7439693					
横向排数	B	排	9					
纵向排数	m	排	10					
热管总数	n	根	85					
热侧受热面积	A_H	m ²	82.80150619					
空气侧受热面积	A_c	m ²	82.80150619					
计算传热量	Q_{ch}	KW	249.5606753					
热平衡传热量	Q_{ph}	KW	249.4480562					
烟侧管壁温度	t_{by}	℃	188.1432892					
空气侧管壁温度	t_{bc}	℃	178.7030422					
烟气侧阻力	ΔP	pa	592.2478097					
空气侧阻力	ΔP	pa	365.739553					
热量相对误差	e	%	-0.049932578					

六、参考文献

- [1] 车得福 刘银河等编著, 锅炉 (第三版). 西安交通大学出版社, 2021
- [2] 黄建春, 热管空气预热器设计及性能计算. 渝石网络, 2023;
- [3] 侯典峰, 热管讲义. 渝石网络, 2023;
- [4] 陶文铨 编著, 传热学 (第五版). 高等教育出版社出版社, 2019;
- [5] 黄建春, 热管技术及工程应用. 渝石网络, 2023;
- [6] 黄建春, 热管换热器在热能工程中的应用. 渝石网络, 2023;
- [7] 张红 杨峻等编著, 热管节能技术, 化学工业出版社, 2009;
- [8] 黄建春, 给化学工业出版社的建议, 渝石网络, 2023;
- [9] 何非 叶萃娟编著, VBA 高效办公从入门到精通, 中国电子出版社, 2009。
- [10] 黄建春, 肋片效率的计算, 渝石网络, 2023;
- [11] 黄建春, 烟气物性参数计算, 渝石网络, 2023;
- [12] 刘纪福 编著, 翅片管换热器的原理与设计. 哈尔滨工业大学出版社, 2013。
- [13] 黄建春, 焦炉尾部烟气余热回收热力计算. 渝石网络, 2011
- [14] 黄建春, 烧结机双压余热发电性能计算. 渝石网络, 2011
- [15] 黄建春, 锅炉热力计算标准方法总结. 渝石网络, 2016

七、联系方式

联系人: 黄建春

E-mail: hjc13404@163.com

联系电话: 15730252870

19102324127

渝石网络主站: <http://www.fishsting.com/>

渝石网路分站: <http://www.fishsting.cn/>

会员中心: <http://member.fishsting.cn/>

个人网站: <http://huangjianchun.cn/>



注: 最新版本请在渝石网络网站下载。

八、更新记录

2011年5月热管空气预热器设计及性能计算软件正式推出；

2015年5月对肋片效率进行了完善，新的计算方法更加准确；

2018年10月更新了迭代方法，使得软件的迭代方式更先进，计算过程中不会出现计算发散；

2022年2月实现了更改热管的热侧和冷测的长度以及翅片管的结构的功能；

2022年3月对计算结果的汇总进行了更新，新的汇总表更加人性化，适合客户阅读。

2024年12月实现了翅片材料的选择（目前主要是碳钢和铝片）。

学生：黄建春

2024年12月10日