直流式系统中平板型集热器非稳态效率研究

陈 海
（甘肃第三建设集团公司，甘肃 兰州 730000）

摘 要：对平板型太阳能集热器的直流工作方式的非稳态传热作了分析，建立了数值传热模拟模型，利用 fluent6.0 软件对其作了数值模拟分析，探讨了直流式平板集热器在非稳态传热中的排管间距、管径的集热器结构优化参数。模拟结果表明，集热器在管径相同的情况下，管中心距越小，集热器效率越高，本研究提供的5组数据中，管中心距50mm被认为最佳。当采用最佳管中心距时，管径大的集热器效率高于管径小的集热器效率。

关键词：太阳能集热器；平板型；非稳态效率
中图分类号：TK513

在太阳能低温利用方式中以太阳能热水利用最为广泛，集热器则是太阳能热水系统中的核心部件，它能将太阳辐射能转化为热能，是一种比较特殊的热交换器。集热器的效率高低对整个系统的效率有着重要的影响。长久以来对集热器的测试一直存在费时、费力的问题。采用软件在计算机上对平板集热器进行模拟，计算集热器效率。从热力学角度评价集热器的主要设计参数对其工作性能的影响。

常用的太阳能热水系统按介质流动形式主要分为封闭式和直流式。其中直流式太阳热水系统是由我国科学家率先提出的，在国际上有着重要的影响。该系统是传热工质一次流过集热器加热后进入储水箱或用水点的非循环系统。直流式系统又分为热虹吸型和定温放水型。为了使热水温度达到用户的使用要求，通常选用定温放水式。在出口处装有测温元件以保证出口热水温度。选用定温放水型直流式太阳热水系统中吸热板芯为翼管式的平板集热器为研究对象，如图1、2所示。集中讨论了管之间的中心距和管径对于集热器的效率和出水量的影响。

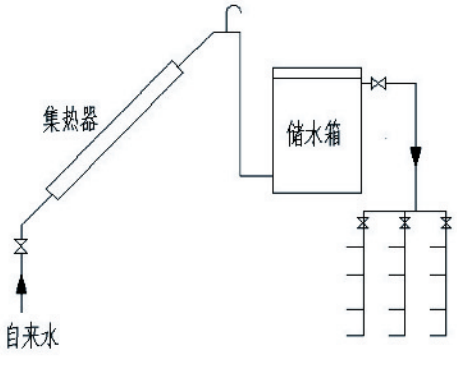

图1 直流式太阳能热水系统

图2 翼管式吸热板芯

1 性能分析的基本理论

1.1 非稳态下集热器的效率

$$\eta = \frac{(Mc)_w (T_{fa} - T_{fb})}{A} \frac{I_1 + I_2 + \cdots + I_n}{n} \Delta\tau \qquad (1)$$

其中$(M_c)_w$为水的总热容，kJ/kg；T_{fa}为水初始温度，℃；T_{fb}为水的最终温度，℃；A为集热器的采光面积，m^2；$\frac{I_1 + I_2 + \cdots + I_n}{n}$为平均辐照度，$W/m^2$，$\Delta\tau$为时间间隔，s。

1.2 直流式太阳能热水系统的产水量

产水量＝集热器加热冷水的次数×每次加热的水量 (2)

2 建立模型及条件

在家用条件下出水温定为50℃，可用于盥洗、沐浴和洗涤用，完全可以满足用户对水温的要求。初始冷水温度为10℃，模拟的是定温放水型直流式系统，当集热器内水温低于50℃时，冷水停留在集热器中吸收太阳能被加热直至达到指定温度，此时集热器处于闷晒状态；当水温达到50℃时，水阀打开，热水流入储水箱。集热器吸热板厚度1mm，盖板到吸热板距离40mm，玻璃盖板发射率为0.88，集热器长度为1m，宽度随管间距变化。环境温度为293K。

3 模拟结果及分析

首先给出5组不同的管中心距，在非稳态条件下，看不同的管中心距对集热器瞬时效率的影响。计算结果见表1。太阳辐射强度如图3所示。

表1 不同管中心距的集热器性能计算结果

管径 (mm)	中心距 (mm)	面积 (m^2)	出水次数	总出水量 (kg)	每平米出水量 (kg)	用时 (s)	集热器效率
10	50	0.4	62	30.18	75.45	25080	0.63
20	50	0.4	19	36.955	92.39	25036	0.78
20	75	0.6	27	52.515	87.53	25073	0.74
20	100	0.8	33	64.185	80.23	24903	0.68
20	125	1	40	77.8	77.8	24901	0.66
20	150	1.2	46	89.47	74.56	25150	0.62

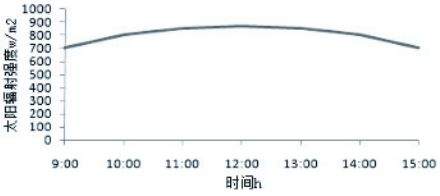

图3 太阳辐射强度

由表1可知，管径为20mm时，随着管中心距减小，集热器效率上升，当管中心距为50mm时，集热器效率最高，每平米的出水量最多。经过对数据的比较分析，在不同的太阳辐照度下，不同管中心距对应的集热板温度的变化趋势是一样的，因此，仅以太阳辐照度为700的情况下为例，如图4所示。

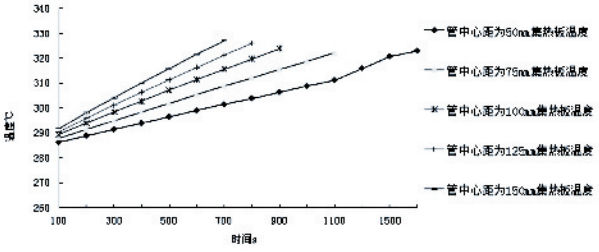

图4 不同管中心距对应的集热板温度

集热器的集热板吸收太阳辐射，通过管翼把热量传递给管中流体使流体升温。由于管径相同，管内流体所能接受管翼向其传导的热量相同，根据传热学中的傅里叶定律，管翼长度减小，使得吸热板与管中流体的温差也降低。因为管翼长度小接受太阳能辐射少，在相同的时间下管中流体相对于长管翼的集热器管中流体的温升较小，所以相应吸热板温度比较低。这样就出现了图4所示的情况，随着管中心距的减小，吸热板温度降低，单次出水用时较长，总出水量少。而集热板温度又对平板集热器的热损有重要的影响，集热板温度低，热损小；相反，吸热板温度高，集热器热损增加，这就导致出现了管翼长度大的集热器效率低的情况。

从表1还可以看出，当管间距相同时，管径大的集热器效率高，每平米出水量大。同理，也以太阳辐照度为700的情况下为例来说明这种现象。如图5所示，管径小的集热器集热板温度高于管径大的集热器集热板温度，并且单次出水用时明显较短。出现这种现象的原因是管径小，使得管内流体质量小，那么管翼能向里传递的热量减小，当集热器的管翼长度相同，吸收太阳辐射量相同。这样造成了管径小的集热器集热板温度较高，热损增加，使得集热器效率降低。并且在相同时间情况下，质量小的流体温升大，管内流体温度分布均匀。

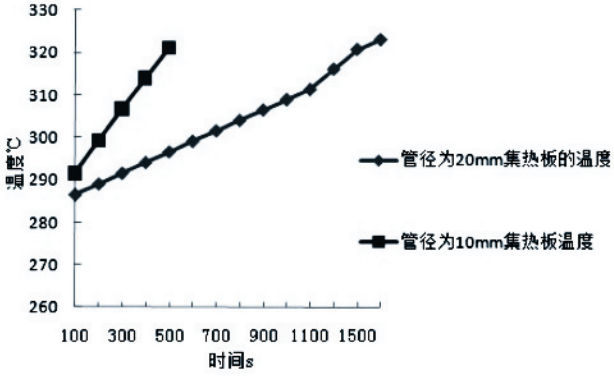

图5 管间距相同时，管径小的集热器集热板温度高于管径大的集热器集热板温度

4 结论

主要讨论了直流式定温放水系统中在非稳态条件下管中心距和管径对集热器效率的影响。经过以上对数据的分析可以看出，仅从热力学角度来讲，集热器在管径相同的情况下，管中心距越小，对提高集热器效率越有利，每平米集热器出水量多，更能够满足用户的需求。提供的5组数据中，管中心距50mm被认为最佳。当采用最佳管中心距时，管径大的集热器效率高于管径小的集热器效率。