

前 言

由于社会生产的发展和人们生活水平不断的提高，能量消耗急剧增加。可是，地球上的煤、石油、天然气等常规能源的储量毕竟有限，因此人们都在积极的寻找新能源，太阳能就是其中之一，为了推广利用太阳能，我们结合工作需要翻译了几篇关于利用太阳能进行采暖，空调和制冷以及太阳能热水器的文章。由于我们的水平有限，错误之处在所难免，望批评指正。

目 录

1. 太阳能集热器最佳参数选择..... 1 - 1 2
2. 太阳能加热水的集热板设计
 中材料的经济利用..... 1 3 - 2 5
3. 水平安装的反射式集热器..... 2 5 - 2 9
4. 某贸易大楼的太阳能系统..... 3 0 - 4 8
5. 世界各地的太阳能研究——以色列 4 9 - 5 6

太阳能集热器最佳参数选择

提要:

这篇文章提出了一个选定太阳能集热器系统最佳参数的简单方法。这个方法能预测具有一定外形参数和气象参数的系统能量收集区域和携带流体质量流量的最佳值。虽然目前的分析是针对平板集热器,但进行适当的修正之后对于预估聚焦型集热器最佳设计也是适用的。

前言

对于象加热水,建筑物的采暖和制冷,抽水泵和太阳能发电这样许许多多的应用都需要太阳能集热器来收集太阳能。集热器的最佳设计技术应提出在集热系统的初次投资和运转费用最低情况下,所需要的集热器面积和传热流体的最佳流量值。因为包含了大量的变量,而没有一种能提供这些性能资料内容的分析优化技术(1、2)可加以利用。

在这篇文章里,提出了一个选定太阳能收集系统最佳参数的简单方法,这个方法能预测具有一定外形参数和气象参数的系统能量收集区域的最佳值以及预测载热流体最佳质量流量。虽然目前进行的分析是针对平板集热器,但进行适当的修改之后对于预测聚焦型集热器的优化设计技术也是适用的。

问题的公式化

要求太阳能集热器在给定的位置以特定的热流量(比方说 Q_u),来收集太阳能,在这给定的位置上,在朝北或朝南的适当位置,在能够收集到最大能量的适当倾斜表面上,太阳辐射的日照射率为 S 。集热器的复盖系统透射率与吸收率乘积为 τ ,损失系数 U_L 和平均环境

温度是 T_a 。如果接收能量的带热体进口温度 T_{fi} ，比热 C_p 和在集热器里通过一个特殊的供给管道系统的流速 V ，给定集热器的效率因素 F ；要求求出集热器面积 A 和质量流量的最佳值，其结果应该在所要求的流量里收集太阳能的整个费用要最小。整个费用是由安装费用和机构的运转费用组成。

集热器分析

(1) 集热器获得的热量

对于平板集热器，能量收集率的方程式可以写成为

$$Q_u = A F_R [f_s - U_L (T_{fi} - T_a)] \dots\dots\dots (1)$$

式中的 F_R 是集热器热交换系数，可由下式给定为

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{U_L A} \left[1 - \exp\left(-\frac{U_L F A}{\dot{m} C_p}\right) \right] \dots\dots\dots (2)$$

从等式(1)和(2)我们能写出：

$$\alpha \left[1 - \exp\left(-\frac{F\beta}{\alpha}\right) \right] = \frac{1}{\left[f_s - \frac{U_L (T_{fi} - T_a)}{S} \right]} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$$\alpha = \frac{\dot{m} C_p S}{Q_u U_L}$$

和

$$\beta = \frac{A S}{Q_u}$$

分别是重量流量和集热器面积的无量纲参数。

写成

$$\frac{1}{\left[r - \frac{U_L (T_{pi} - T_a)}{S} \right]} = K_1$$

方程(3)被写成:

$$\alpha \left[1 - \exp \left(- \frac{F\beta}{\alpha} \right) \right] = K_1 \dots \dots (4)$$

方程式(4)对于一个给定的太阳能集热器系统表示出 α 和 β 之间的关系。无量纲方程。 U_L 和 r 单纯地是外形的和气象的因素。而 F 不是。但是应当注意,与 α 比较, F 与重量流量的关系不大, α 是 $\dot{m}$ 的线性函数。因此,由表1可以看出,假设 F 为一个常数,引起的误差将是很小的,可以忽略。

表1: 对于一个代表性的集热器, F 值随 Re 值的变化 (在 $Re = 7500$, $F = 0.89$)

雷诺数的百分比变化

当 $Re = 7500$ 时 $F = 0.89$ F F 的百分比变化

1	-25	0.86	-3.4
2	-50	0.83	-6.7
3.	+25	0.907	+1.9
4	+50	0.915	+2.8
5	+100	0.927	+4.2
6	+1000	0.978	+9.9

这个表由具有简单外形的集热器得出,该集热器里流体在两平行板之间流动,向长宽方向伸展。我们可以看到,重量流量变化100% (α 值的变化为100%), F 的变化仅仅是4.2%和重量流量变化为

1000% (α 的变化 1000%), F 的变化大约仅仅是 10%。因此由重量流量的变化引起集热器的效率因素值的变化可以忽略不计。

(2) 风机功率

在集热器中压力降由参考文献 [4] 给定:

$$\Delta p = \frac{\lambda L \rho V^2}{2 g_c} \dots \dots \dots (5)$$

式中: V = 流动的速度

$$\dot{m} = \rho A_d N V$$

$$\lambda [3] = 0.3164 Re^{-1/4} = 0.3164 \left(\frac{\rho V d}{\mu} \right)^{1/4}$$

A_d = 空气通过的横截面积

N = 在集热器面积 A 里通过的数目 = $n \times A$

n = 每单位集热器面积通过的数目。

等式(5)重新写成:

$$\Delta P = \frac{0.3164 \rho^{1/4} L \dot{m}^{3/4}}{2 g_c L^{5/4} \rho^{3/4} (A_d n)^{1/4} A^{1/4}} \dots \dots \dots (6)$$

经过该压力降重量流量 $\dot{m}$ 所需功率可由下式给出:

$$P = \frac{\Delta P \dot{m}}{\rho} \dots \dots \dots (7)$$

从等式(3)和等式(7), 我们得到

$$P = \frac{0.3164 L Q_u}{2 g_c s} \left[\frac{\rho^{1/4}}{\rho^{7/4}} \left(\frac{U_L}{0_p A_d n L} \right)^{11/4} A_d n L^{3/2} \right] \times \frac{\alpha^{11/4}}{\beta^{7/4}} \dots \dots \dots (8)$$

费用分析

集热器系统的费用包括两部分，即：安装费用和运行费用

(1) 安装费用

集热器，贮箱，管道系统控制和风机的主要费用包括损耗和维护。整个集热器的费用 C_0 是集热器面积的函数。假定集热器的费用 C_0 是集热器面积 A 的线性函数。

$$C_0 = C_1 A \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中 C_1 是单位面积集热器的费用（包括每年的损耗和维护）。贮箱，管道和控制系统的费用与重量流量或集热器的面积无关，因此可以取为一个常数 K 。

风机的费用 C_f 由安装费用和运转费用组成，即

$$C_f = C_{ff} + C_{fr} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中 C_{ff} 和 C_{fr} 分别是风机的安装费用和运转费用。

等式(10)安装费用部分 C_{ff} 是风机功率 P 的函数。假定是线性函数：

$$C_{ff} = C'_2 P \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中 C'_2 是风机单位功率费用（包括每年的损耗和维护）。

(2) 运行费用

倘若维护费用认为是很小的话，那么运转费用就只是功率费用。

因此，假定方程(10)的 C_{fr} 一个功率 P 的线性函数的第二部份可以写成：

$$C_{fr} = C'_2 \frac{P}{\eta_0} = C''_2 P \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中 C''_2 是每年每单位功率的能量费用（取决于每年总工作时间）， $C''_2 = C'_2 / \eta_0$ ， η_0 是整个电动风机的效率。

总费用 C 则将是

$$C = K + C_o + C_F \dots\dots\dots(13)$$

从等式(9)到(13), 我们得出

$$C = K + C_1 A + C_2 P \dots\dots\dots(14)$$

式中 $C_2 = C_2' + C_2''$

把方程式(3)代入方程式(14)中得到:

$$C = K + X \beta + Y \frac{\alpha^{11/4}}{\beta^{7/4}} \dots\dots\dots(15)$$

式中 $X = C_1 \frac{Q_u}{S}$

和 $Y = C_2 X \frac{0.3164 L Q_u}{2 g_c S} \left\{ \frac{r^{1/2}}{\rho^{7/4}} \left(\frac{U_L}{C_P A_d n L} \right)^{17/4} A_d n L^{3/2} \right.$

最佳参数选择

方程式(14)和方程式(15)分别表示集热器的热性能和全部费用。把这些方程结合起来得出:

$$C = K + \frac{X\alpha}{F} \ln \left(\frac{\alpha}{\alpha - K_1} \right) + Y\alpha \left[\frac{1}{F} \ln \left(\frac{\alpha}{\alpha - K_1} \right) \right]^{-7/4} \dots\dots\dots(16)$$

对于最低费用 $\frac{dC}{d\alpha} = 0$

这就得出:

$$\frac{X}{F} \ln X + \frac{X}{F} (1-X) + F^{7/4} Y (\ln X)^{-11/4} [\ln X - 1.75(1-X)] = 0$$

上式简化为

$$\frac{X}{Y F^{11/4}} = \frac{7/4 (1-X) - \ln X}{(1-X + \ln X) (\ln X)^{11/4}} \dots\dots\dots(17)$$

$$\text{式中 } X = \frac{\alpha}{d - K_1}$$

方程式(17)把已知参数 F , K_1 , X 和 Y 联系起来。在图 1 的对数图上已经把这些值画成曲线。

图 2 给出 α/K_1 随 X 变化的曲线。然后通过方程(4)计算 β 值, 公式重新写成为:

$$\frac{F\beta}{K_1} = \frac{\alpha}{K_1} \ln X \dots\dots\dots(18)$$

图 2 也表示 $\frac{F\beta}{K_1}$ 随 X 变化的曲线。因此, 对于给定的集热器外形和已知的气象条件, 通过图 1 和图 2 就可求出无量纲参数 α (重量流量参数) 和 β (集热器面积参数) 的最佳值。

讨论:

上述谈到的最佳参数选择过程是假定集热器外形已知, 并且这个方法并未把形状因素最佳化, 也没有对贮箱, 管道和控制系统进行最佳分析, 因为这些部份或者是与集热器面积和重量流量无关, 或者是纯粹具有随意性质〔5〕, 因此用常数 K 来考虑他们的费用。实际上这个分析仅对集热器部分进行最佳分析。这个分析的另一个局限就是没有考虑温度升高。该局限可由规定温升的高低来克服 (该温升范围要取决于使用的流体和应用的系统)。如果 ΔT_{min} 是温升的下限和 ΔT_{max} 是温升的上限。其数学式:

$$Q_u = \dot{m}_{max} C_p \Delta T_{min} = \dot{m}_{min} C_p \Delta T_{max} \dots\dots\dots(19)$$

$$\text{这样 } \dot{m}_{min} \leq \dot{m} \leq \dot{m}_{max}$$

$$\text{或者 } \alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$$

如果最佳的 α 值 ($=\alpha_{opt}$) 通过最佳方法求出是在该范围内, 那么就不需要考虑这个局限修改设计。但是, 如果 $\alpha_{opt} > \alpha_{max}$ 那么

(1) 要么必须选取 $\alpha = \alpha_{max}$

(11) 或者试图把集热器串联组合 (相对应地 L , n 将变化)。

第一个选择产生恰好是足够的温升。第二个选择试图把2、3、4或更多集热器的组合, 对于其温升上限范围也必须进行试验。

如果 $\alpha_{opt} < \alpha_{min}$, 必须选取 $\alpha = \alpha_{min}$ 该 α 值将给一个温度范围, 这个温度范围是最大容许值。在这样一种情况下, 实际需要的流体温度必须比相应的 ΔT_{max} 值低。要求的该温度可按需要的比例使周围的较多的冷流体与热流体混合起来获得。

应当注意, 为获得最佳结果, 必须要假定参数 β 值。然后可以根据最佳的重量流量值把这个值由第一次试验加以修改。为了获得更合理的 α 和 β 值, 进行第二次试验。

结论:

对于给定的集热器外形和给定的气象参数, 为使集热器系统的总费用最小, 提出了选择集热器面积和重量流量的最佳方法。

符号表:

Q_u — 能量收集率 (W)

S — 太阳日射率 (强度) (W/m^2)

U_L — 损失系数 (W/m^2K)

T_a — 环境温度 (K)

T_{fi} — 进口流体温度 (K)

c_p — 比热	(J/KgK)
F — 集热器效率因素	
$\dot{m}$ — 流体的重量流量	(Kg/s)
A — 集热器面积	(m^2)
τ — 透射率—吸收率的乘积	
ΔP — 在集热里的压降	(N/m^2)
L — 集热器的长度	(m)
V — 流体的速度	(m/s)
g_0 — 比例常数	$(\frac{Kg-m}{N-s^2})$
l — 特征尺寸	(m)
A_d — 流体通过的横截面积	(m^2)
n — 单位集热器面积里的流动通道数	$(1/m^2)$
Re — 雷诺数	
C_c — 集热器的费用	
C_f — 风机的费用	
P — 风机功率	(W)
C_{ff} — 安装风机的费用	
C_{fr} — 风机运行的费用	
C — 整个系统的费用	
α — 无量纲重量流量参数	
β — 无量纲的集热器面积参数	
λ — 摩擦损失系数	
ρ — 流体的密度	
γ — 流体的粘度系数	
η_0 — 电机—风机设备的总效率	
N — 集热器管的数目。	

参考文献

1. G.O.G. Lof and R.A. Tybout, Cost of house heating with solar energy, Solar Energy, 14, 253 (1953).
2. G.O.G. Lof and R.A. Tybout, Design and Cost of Optimum Systems for residential Heating and Cooling by Solar Energy, Solar Energy, 16, 9 (1974).
3. J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar Energy Thermal Processes, John Wiley and Sons New York (1974).
4. S. Pai, Viscous Flow Theory (II), Van Nostrand (1957).
5. B.D. Hunn, G.H.E. Willmott and T.B. Mcswiney, Simulation and Cost optimization of Solar Heating of Buildings in Adverse solar regions, Solar Energy, 19, 33 (1977).

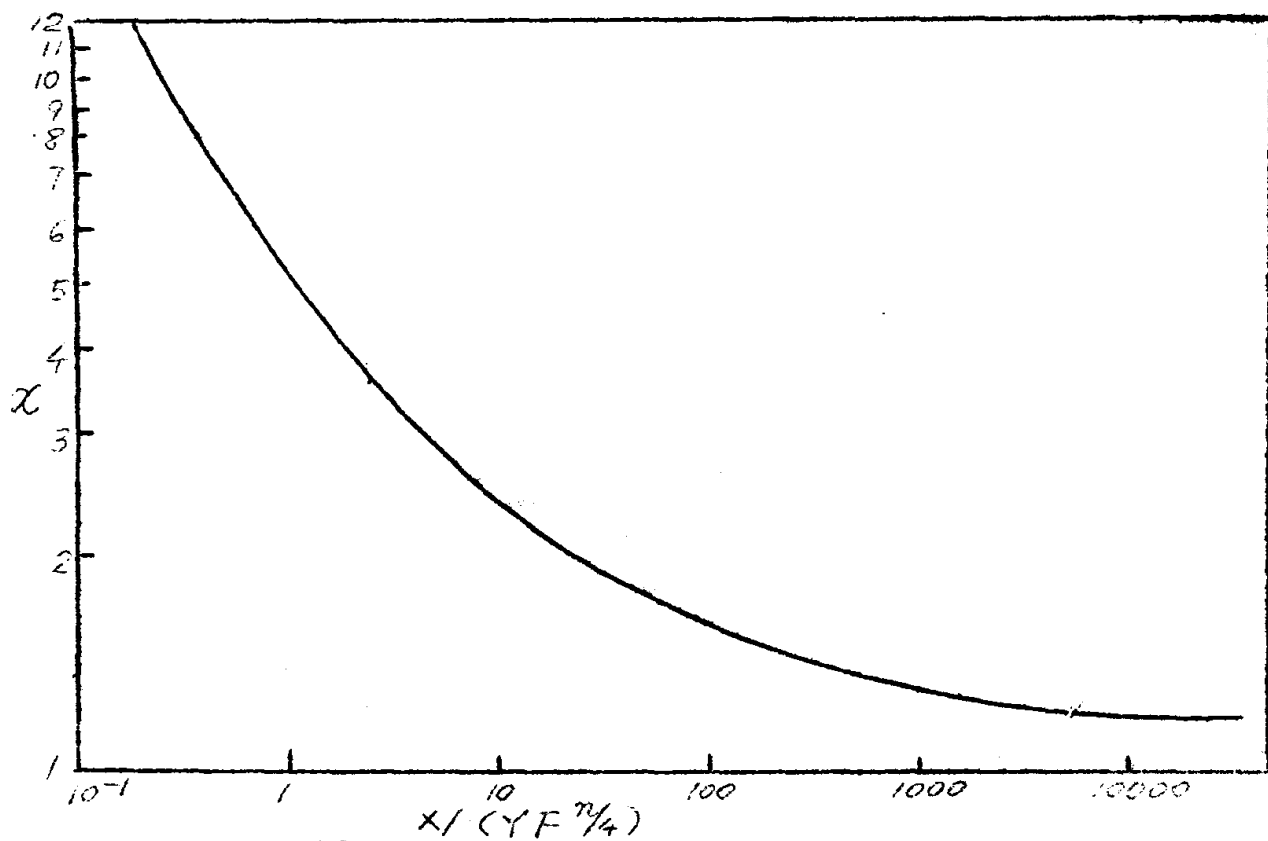


图1 X 与 $X/(YF^{pi/4})$ 的关系曲线

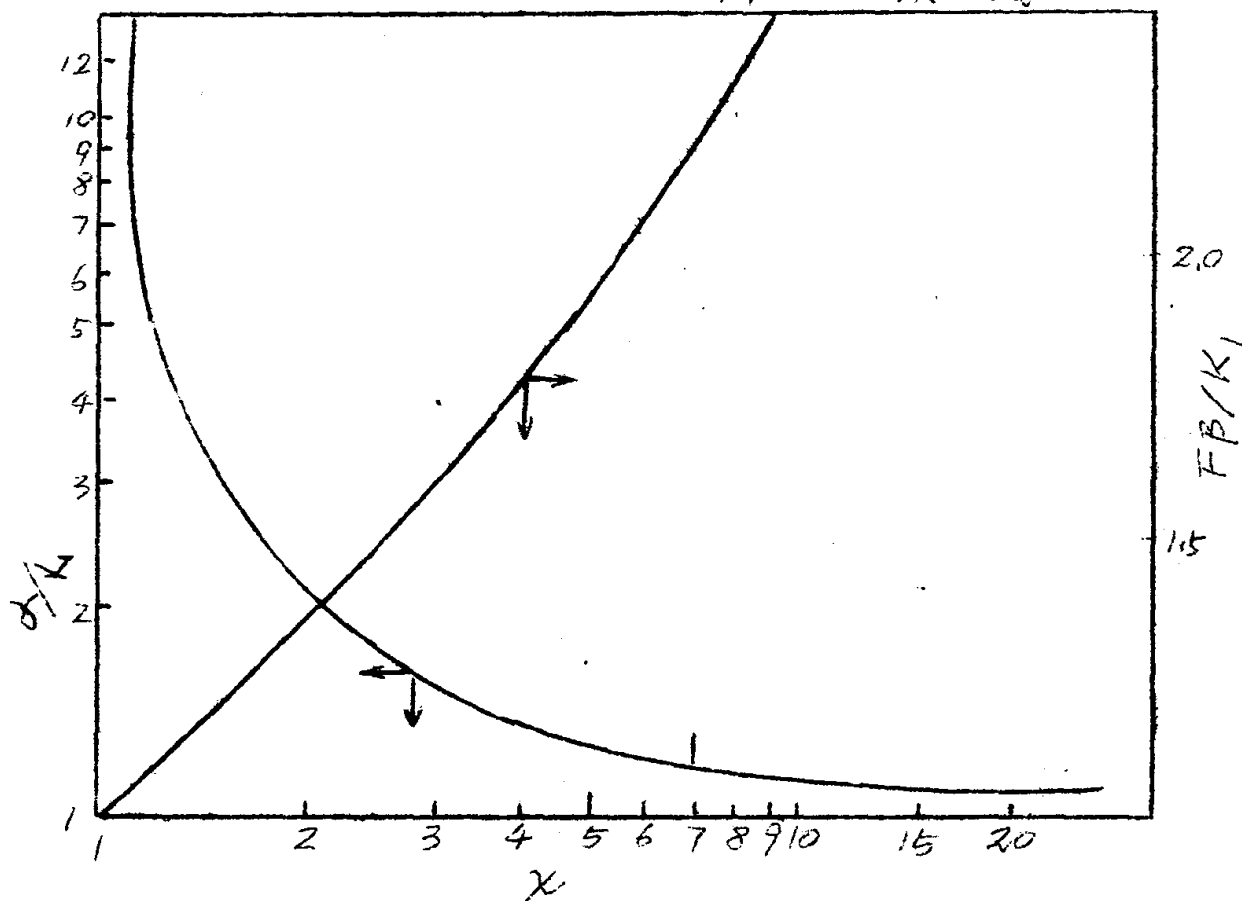


图2 (1) X/K_1 与 X 的关系曲线, (2) $F\beta/K_1$ 与 X 的关系曲线

常玉芝译 李泽英 万才大 校

太阳能加热水的集热器设计中 材料的经济利用

AWK Mac Gregor

Senior Lecturer, Department of Mechanical
Engineering

Napier College of Commerce and Technology
Edinburgh, Scotland .

内容摘要

本文 研究 了改进太阳能加热水的集热器的经济效果的方法。对于集热器的型式鑑定指出：对于家用的太阳能热水器系统，管板式最好。材料的经济比较表明，铝作为集热器是最经济。并且对铝板与铜管的连接方式也进行了讨论。而且从整个系统的最佳的经济效果的观点，对管间距与板厚的组合的最好方式的选择进行了研究。附录中给出了板效率的简单的表示式。

绪

更广泛地使用太阳能热水器的主要障碍是系统的初次投资相当高，特别是集热板。材料的缺乏并且价格很昂贵，因而尽可能有效地利用材料是特别重要。设计者的目标应该是使之具有最好的经济效果，也就是使效率高而费用低。由减少费用比由增加效率来改进太阳能热水器的经济效果大概会有更大的余地。

集热器的型式

根据湿面积与吸收面积之比的大小，太阳能热水器集热板可分为三种基本类型（图1）。该面积比与板材的导热性能有着紧密的关系。

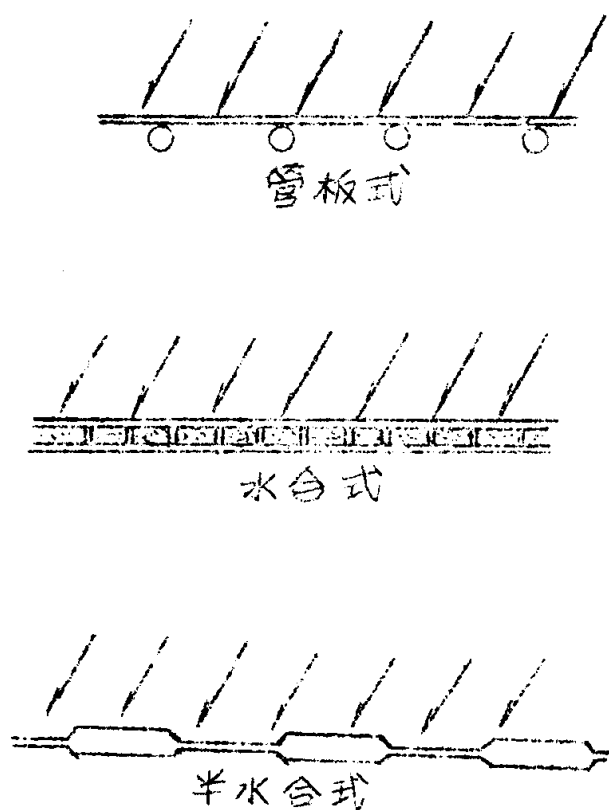


图1. 集热板的型式

图I：管板式，它具有低的湿面积和低的水容量。板材的导热性能必须高。铜和铝是最常用的板料。

图II：水合式，它的湿面积和水容量二者都是高的。因为热传导只经过很薄的外壳，因而可使用传热性能较差的材料。塑料和钢材二者都可以使用。

图Ⅱ，半水合式，它居于Ⅰ型和Ⅱ型之间。虽然也使用铝材，然而中等导热性能的材料，譬如钢材是比较适合的。各种型式比较的简要结果列在表1和表2中。

集热板的比较

表1

型 式	优 点	缺 点
Ⅰ(a)管板式(全铜)	抗腐蚀性能好，热容量低	贵
Ⅰ(b)管板式 (铜管、铝板)	较便宜，内部抗腐蚀性能好。热容量低，材料选择具有一定的灵活性	除非有适当的保护措施，否则有双金属腐蚀的可能性
Ⅱ水合式(塑料)	便宜，轻	限于低湿、易受紫外线损坏，热损大，热容量大
Ⅱ(a)半水合式(钢材) (如，钢制辐射器)	较便宜，材料易得到	长期腐蚀问题，仅对闭式系统适合，重，热容量大
Ⅱ(b)半水合式(铝) (如，卷结型)	较便宜，重量轻	很易受到内部腐蚀，特别是在混合金属(接合处)

热性能相当的三种板材的重量和费用比较 表2

材 料	导热系数 w/mk	容 重 kg/m^3	价 格 p/kg	等效厚度 mm	单位面积费用 P/m^2	单位面积重量 Kg/m^2
铜	390	8690	310	0.25	694	2.24
铝	205	2700	175	0.48	227	1.30
低碳钢	50	7850	56	1.95	857	15.30

注：价格为1977年六月的价格。

取铜板的厚度为0.25 mm

根据费用低、重量轻、热容量低和很好的耐久性的综合要求，由表1中看出，管板式最适于家庭用的热水器。

材料

对于一定的热工性能，板或片应该用费用最小的材料。附录中引出了板效率表示式：

$$\eta_F = \left(1 + \frac{Ua^2}{12Kb}\right)^{-1}$$

当其它各项相等时，乘积 kb 必须是常数，因而片或板厚 b 与材料导热系统 K 必须是成反比。因此，铝板的厚度大约是等效的铜板厚度的两倍，因为铝的导热系数大约是铜的导热系数的一半。表2表明了，相同板效率的铜、铝和钢制集热板的价格和重量。可以看出，铝板无论是费用和重量方面都明显地优于铜板。而钢板在费用方面稍差于铜板，在重量方面就更差了。管材选择的主要标准是要具有良好的抗腐蚀性能和与系统其它管相配合的一致性。主要是选用铜管和不锈钢管。如果使用最经济、最有效的铝板，那么必须考虑铝板与铜管或钢管的有效连接方法。