

关于太阳能保证率 f 的计算

岑 幻 霞

(清华大学)

摘 要

本文讨论了影响太阳能保证率 f 的因素, 介绍了文献上计算保证率 f 值的三种方法—— f 曲线法、 ϕ 曲线法及 $\bar{\phi}$ - f 曲线法, 并指出了它们的特点。通过实例计算, 对上述三种方法进行了比较, 推荐采用 $\bar{\phi}$ - f 曲线法, 并建议对 $\bar{\phi}$ - f 曲线法得出的 f 值加以修正。

所谓太阳能系统的保证率 f , 就是系统总负荷中由太阳能担负的百分数。在系统负荷 L 一定的情况下, 集热器面积 A 值不同, 系统的 f 值也不同, 则太阳能系统每年节省的资金也不同。在太阳能系统的设计中, 首先需要计算出一系列不同集热器面积下的太阳能保证率 f , 以得出不同系统每年节省的资金数, 由此确定系统最经济的集热器面积和太阳能保证率 f 。这样才能确定系统的蓄热以及其他设备的大小。所以说, 太阳能保证率 f 的计算是太阳能系统设计中的一个关键问题。

一、影响太阳能保证率 f 的因素

太阳能保证率 f 实际上是系统来自太阳的有效得热 Q_u 与系统所需热负荷 L 之比, 即

$$f = \frac{Q_u}{L} = \frac{F_R A}{L} \int_{\Delta t} [I_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)]^+ dt \quad (1)$$

式中, F_R ——集热器热转移因子;

A ——集热器面积;

I_T ——照射在集热器表面的总辐射量, 焦耳/米²·小时(大卡/米²·小时);

τ ——集热器罩系统透射系数;

α ——集热器吸收板表面的吸收系数;

U_L ——集热器热损失系数, 瓦/米²·°C(大卡/米²·°C·小时);

T_i ——集热器流体进口温度;

T_a ——室外空气温度;

Δt ——所讨论的时间周期。

中括号外上角的“+”号, 表示仅考虑正值, 也就是说只有当集热板吸收的太阳能大于它向周围环境散失的热量时, 才开泵使系统运行。

图1为1米²集热器在一天内的集热情况。图中曲线1为各小时集热板吸收的太阳辐射量。假若 T_i 不变, 由于 U_L 和 T_a 在运行过程中变化不大, 则集热器的热损失不变, 图中热损线为水平线 ab 。这样, 该日的有效得热量应为实斜线加虚斜线的面积。

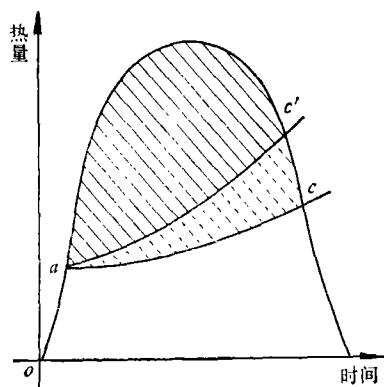


图 1

一地区的有效得热为面积 bsd 加上面积 $bdef$ ；而另一地区的有效得热为面积 $abdcfe$ 。显然前者大于后者，也就是说，辐射量的分布影响有效得热，进而影响系统的太阳能保证率 f 。

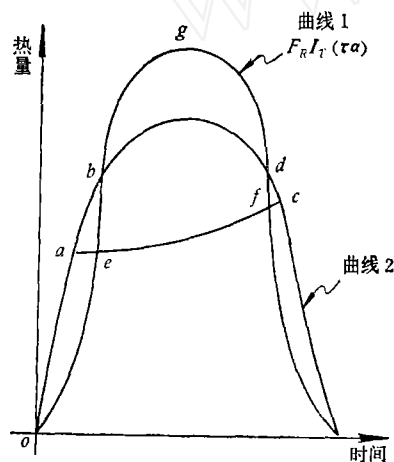


图 2

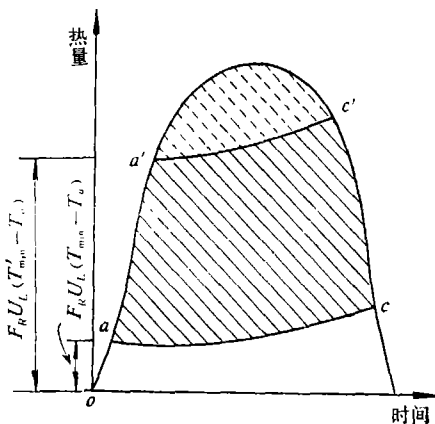


图 3

(2) 集热器运行温度

集热器运行温度越高，热损失越大。图 3 中， ac 线上移为 $a'c'$ 线，而有效得热减少；集热器起始运行温度为 T_{\min} 时，有效得热为实斜线加虚斜线的面积；集热器起始运行温度为 T'_{\min} 时，有效得热则只为虚斜线的面积。所以，其他条件相同时，集热器运行温度越高，太阳能保证率 f 就越小。

(3) 负荷分布

集热器运行期与所需负荷高峰期是否一致，影响蓄热量的大小和集热器进口流体温度的变化，即影响有效得热和太阳能保证率 f 值。

(4) 集热器面积和蓄热箱体积

若有两个系统，所需热负荷和集热器起始运行温度 T_{\min} 均相同。如果集热器面积和蓄热箱体积不同，在运行过程中，集热器流体进口温升程度不同，其有效得热和太阳能保证率就不同。集热器面积越大，蓄热箱体积越小，单位集热面积的有效得热和太阳能保证率越低。

但是，在太阳能系统中，所需热负荷与集热量并不完全一致。当集热量大于所需热负荷时，多余的热量被蓄存在蓄热箱内，蓄热箱温度升高，从而提高了集热器流体进口温度，集热器热损失也就逐渐加大，图 1 中热损失线为曲线 ac 。这时，该日的有效得热量只为斜实线的面积。

系统热负荷一定时，影响太阳能保证率 f 的一些因素：

(1) 辐射量的分布

设两个地区一天的太阳总辐射量相等，但各个小时的辐射量不同(图 2)。当其他运行条件相同时，则

如图 4 所示, 因集热器面积和蓄热箱体积不同, 两个系统在运行过程中集热器温升程度不同, 则一个系统的有效得热为斜实线加斜虚线的面积, 而另一个系统的有效得热只为斜实线部分, 因而太阳能保证率 f 值也就不同。

(5) 系统其他部件的热损失

若系统中管道、蓄热箱等部件的热损失越大, 有效得热的利用率越低, 因而太阳能保证率 f 值越低。

(6) 系统型式

若在集热器和蓄热箱之间加一个热交换器, 当蓄热箱供应的流体温度相同时, 这种系统比没有热交换器的系统的集热器运行温度高, 故有效得热和太阳能保证率降低。此外, 太阳能保证率也与系统的辅助热源投入方式有关。

了解影响太阳能保证率 f 的因素后, 有助于理解计算太阳能保证率 f 的各种方法的特点。

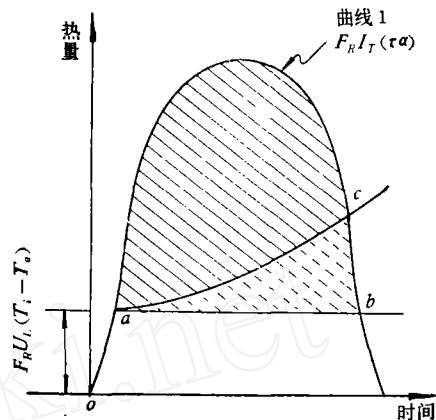


图 4

二、太阳能系统的描述

图 5 是一个闭式太阳能系统的示意图。它用平板式太阳能集热器收集太阳能, 并以显热方式储存在一个液体蓄热箱内。需要用泵把热流体由蓄热箱通过热交换器将热能供给负载。

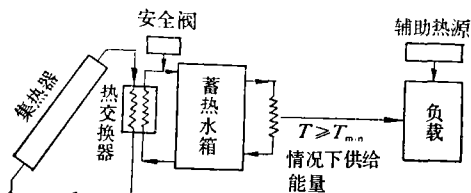


图 5 闭式太阳能系统示意图

负载是一个吸收式空调器的发生器, 或是一个为供暖或其他热过程供应热能的热交换器。若太阳能不能满足负载的要求, 就由辅助热源供给。

集热器起始运行温度 T_{\min} (收集的热能成为有效的、最低的运行温度) 取决于太阳能系统的用途。例如, 住宅供暖用太阳能系统, T_{\min} 是建筑物的室内温度, 约为 20°C ; 太阳能吸收式空气调节系统, T_{\min} 是它能发挥作用的最低温度, 约为 80°C 。

三、 f 曲线法

f 曲线法是针对住宅供暖用太阳能系统提出的, 只适用于 T_{\min} 为 20°C 的情况。因为集热器运行温度较低, 辐射量的分布对 f 的影响较小, 所以 f 曲线法没有考虑辐射量分布的影响, 但系统热损失、系统型式及运行温度变化和升高对 f 的影响, 均已作了考虑。

将(1)式改写成

$$f = \frac{F'_R A}{L} \int_{T_{\min}}^{T_c} [I_T (\tau \alpha) - U_L (T - T_a)]^+ dt \quad (2)$$

式中, T ——蓄热水箱的温度;

F'_R ——热交换器修正系数, 它是一个零至 1 的数。它反映系统型式对 f 值的影响。

将(2)式的最后一项乘、除 $(T_{\text{ref}} - T_a)$ 。 T_{ref} 是一个基准温度, 取为 100°C , 则 f 能够用

无量纲流体进口温度 x'' 来表示

$$f = \frac{F_R' A}{L} \int_0^{\Delta t} [I_T(\tau\alpha) - U_L(T_{ref} - T_a)x'']^+ dt \quad (2)'$$

式中

$$x'' = \frac{(T - T_a)}{(T_{ref} - T_a)} \quad (3)$$

由(2)'式可知, f 与(4)和(5)的两个无量纲数组有关。

$$\frac{F_R' A}{L} \int_0^{\Delta t} I_T(\tau\alpha) dt = \frac{F_R' A}{L} \bar{H}_T N (\overline{\tau\alpha}) = y \quad (4)$$

$$\frac{F_R' A}{L} \int_0^{\Delta t} U_L(T_{ref} - T_a) dt = \frac{F_R' A}{L} U_L(T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t = x \quad (5)$$

式中, \bar{H}_T ——照射在集热器表面的日总辐射量的月平均值, 焦耳/日·米²(大卡/日·米²);

N ——一个月的天数;

$(\overline{\tau\alpha})$ ——透射系数与吸收系数乘积的月平均值;

\bar{T}_a ——室外温度月平均值;

Δt ——一个月中总的秒数;

L ——月总热负荷, 焦耳/月。

忽略波动的运行条件对 U_L 的影响, 引起太阳能保证率 f 的误差不大于 5%, 故(5)式积分时, 可将 U_L 当作常数。

式(4)、(5)中的无量纲数组具有一定的物理意义。 y 表示在 Δt 时间内, 集热器吸收板吸收的总热量与总热负荷之比。 x 表示在 Δt 时间内, 基准集热器吸收板的热损失量和总热负荷之比。

S. A. Klein 等人以 Madison 的气象资料, 用计算机计算出三百多个太阳能系统的逐月的保证率 f 值(时间间隔为半小时)。计算结果与图 6 所示太阳能系统性能图得出的 f 值较接近。计算得出的和用性能图得出的年平均 f 值之间的标准误差是 0.015。研究表明, 太阳能供热系统性能图不仅适用于 Madison, 也适用于其他地区。但应说明, 图 6 适用于对长期或年平均的系统性能的计算, 不能对任何个别月份的系统性能作出精确的计算。

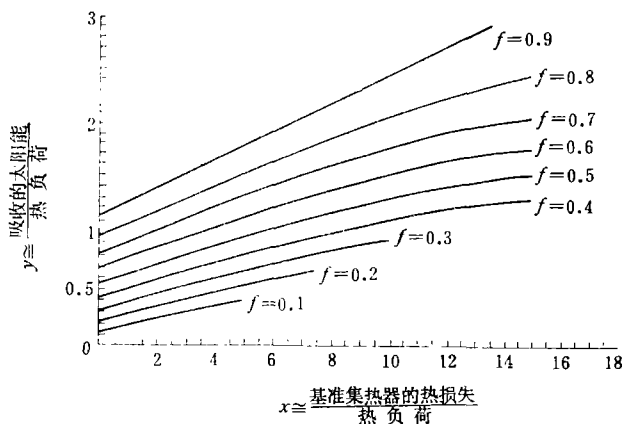


图 6 液体太阳能供热系统性能图(f 曲线)

我们称图 6 所示太阳能供热系统性能图为 f 曲线。利用 f 曲线确定 f 值的方法就叫做 f 曲线法。 f 曲线表明了 f 与 x 、 y 之间的关系。已知太阳能系统的 x 、 y 值就可由图 6 查出 f 值。图 6 中的 x 、 y 和 f 之间的关系也可表示为下列方程

$$f = 1.029y - 0.065x - 0.245y^2$$

$$+ 0.0018x^2 + 0.0215y^3 \quad (6)$$

绘制 f 曲线时, 系统单位集热器面积的流量、蓄热容量以及和供暖负荷大小有关的负载热交换器尺

寸都采用了某一定值。实际应用 f 曲线时, 若上述三个系统参数和绘制 f 曲线时采用的数值不同, 则应对由图 6 得出的 f 值进行修正^[4]。

四、 ϕ 曲线法

ϕ 曲线法可求出 T_{\min} 在不同值时的 f 值。但是, ϕ 曲线法求 f 值时, 假设运行过程中 T_{\min} 是不变的, 这就使得 ϕ 曲线法求出的 f 值高于实际值。另外, ϕ 曲线法也没有考虑系统热损失对 f 值的影响。

当集热器流体进口温度 T_i 高于室外空气温度 T_a 时, 只有入射于集热器表面的辐射强度高于临界辐射强度的期间内, 有效得热才是正值。所谓临界辐射强度就是有效得热为零时的辐射强度。临界辐射强度 I_c 可由下式推出

$$0 = F'_R [I_c (\tau \alpha) - U_L (T_i - T_a)]$$

$$I_c = \frac{U_L (T_i - T_a)}{(\tau \alpha)} \quad (7)$$

当辐射强度低于 I_c 时, 则停止集热器的运行。单位面积集热器的有效得热也可写为

$$q_u = F'_R (\tau \alpha) (I_T - I_c) \quad (8)$$

若以一个月为周期, 则 $(\tau \alpha)$ 值取月平均值 $(\overline{\tau \alpha})$; 室外空气温度取月平均温度 \bar{T}_a ; 在一定的 T_i 值下, 则 I_c 值也一定。所以长期平均小时的有效得热 $\overline{q_u}$ 可写成下式

$$\overline{q_u} = F'_R (\overline{\tau \alpha}) \frac{\sum (I_T - I_c)^+}{n} \quad (9)$$

式中, n ——所取周期的总小时数。括号外的“+”号表示在累计中只取正值。再把式(9)改写成

$$\overline{q_u} = F'_R (\overline{\tau \alpha}) \bar{I}_T \phi \quad (10)$$

式中, \bar{I}_T ——入射在集热器表面的长期平均小时总辐射量。

ϕ ——利用率。我们将式(10)变换一下即可体会出 ϕ 的物理意义。

$$\phi = \frac{\overline{q_u}}{F'_R (\overline{\tau \alpha}) \bar{I}_T} \quad (10)'$$

在式(10)'中, 分子是长期平均小时的有效得热, 分母是长期平均小时集热器吸收板吸收的热量, 所以, ϕ 值也是一个无因次的效率值。它说明了吸收板吸收的热量中转化为有效得热所占的份额, 因而称为利用率。

由式(9)、(10)知,

$$F'_R (\overline{\tau \alpha}) \sum (I_T - I_c)^+ / n = F'_R (\overline{\tau \alpha}) \bar{I}_T \phi$$

$$\frac{1}{n} \sum (I_T / \bar{I}_T - I_c / \bar{I}_T)^+ = \phi \quad (11)$$

$$\text{令} \quad I_c / \bar{I}_T = x_c, \quad (12)$$

$$\text{则} \quad \frac{1}{n} \sum (I_T / \bar{I}_T - x_c)^+ = \phi \quad (13)$$

ϕ 为小时利用率。我们将辐射强度 I_T 改换成日总辐射量 H_T , 式(13)便可改写成

$$\frac{1}{n} \sum (H_T / \bar{H}_T - x_c)^+ = \bar{\phi} \quad (14)$$

式中, $\bar{\phi}$ ——日平均利用率。图 7 给出了 $\bar{\phi}$ 值与 x_c 之间的关系。该图适用于纬度 $30^\circ-50^\circ$ 的地区, 集热器倾角与纬度之差在 $\pm 15^\circ$ 内的各个月份。图 7 中的 K_T 是水平面日总辐射量月平均值与大气层外日总辐射量的比值。

研究表明, 式(12)可写成

$$x_c = \frac{I_c}{r_T \bar{H}_T} \quad (15)$$

式中, r_T 是正午前(后)1.5 小时的太阳辐射量与长期平均日总辐射量的比值。

已知 T_i , 利用式(7)求出 I_c , 由式(15)求出 x_c , 便可由 x_c 、 K_T 从图 7 查出 $\bar{\phi}$ 值。集热器单位面积平均一日的有效得热 \bar{q}_u 为

$$\bar{q}_u = F'_R (\bar{\tau} \alpha) \bar{H}_T \bar{\phi} \quad (16)$$

集热器(面积 A 米²)的太阳能保证率 f 为

$$f = \frac{\bar{q}_u \cdot N \cdot A}{L} \quad (17)$$

式中, N ——每个月的天数。

我们称图 7 的曲线为 ϕ 曲线。利用 ϕ 曲线确定 f 值的方法称为 ϕ 曲线法。

五、 $\bar{\phi}$ - f 曲线法

$\bar{\phi}$ - f 曲线法是 ϕ 曲线法和 f 曲线法的综合。 $\bar{\phi}$ - f 曲线法能确定 T_{\min} 值不同时太阳能系统的 f 值, 故它包含了 ϕ 曲线法的因素; $\bar{\phi}$ - f 曲线法考虑了运行过程中集热器流体进口温度高于 T_{\min} 的情况, 故它包含了 f 曲线法的因素。但是, 在 $\bar{\phi}$ - f 曲线法中没有考虑系统的热损失。

将方程(2)改写为

$$f = \frac{F'_R A}{L} \int^{\Delta'} [I_T(\tau \alpha) - U_L(T_{\min} - T_a)^+] dt - \frac{F'_R A}{L} \int^* U_L(T - T_{\min}) dt \quad (18)$$

式中后一积分限上的星号表示积分仅在 $(T - T_{\min})$ 为正值时进行。引进 $\bar{\phi}$ 并且选择 100°C 为基准温差, 则上式表示为

$$f = \frac{F'_R A}{L} \bar{H}_T N (\bar{\tau} \alpha) \bar{\phi} - \frac{F'_R A}{L} U_L(100^\circ\text{C}) \Delta t \times \int^* \frac{T - T_{\min}}{(100^\circ\text{C}) \Delta t} dt \quad (19)$$

$$\text{令 } x' = \frac{F'_R A}{L} U_L(100^\circ\text{C}) \Delta t \quad (20)$$

将式(4)、(20)代入式(19)得

$$f = \bar{\phi} y - x' \int^* \frac{T - T_{\min}}{(100^\circ\text{C}) \Delta t} dt \quad (21)$$

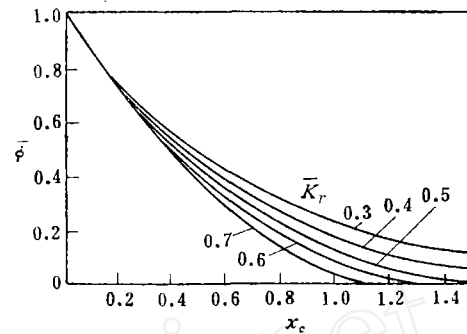


图 7 日平均利用率

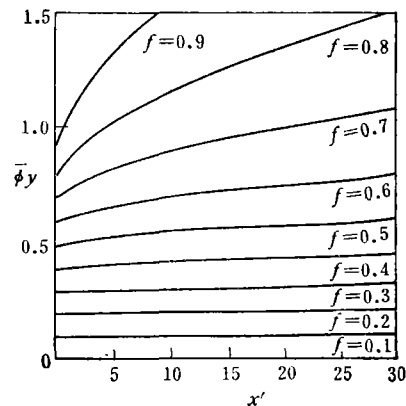


图 8 太阳能系统的 $\bar{\phi}$ - f 曲线

S. A. Klein 等人由式(21)计算出了很多系统的 f 值, 得出了如图 8 所示的 $\bar{\phi}-f$ 曲线。已知每个月的 $\bar{\phi}$ 、 y 、 x' , 就可在图 8 的 $\bar{\phi}-f$ 曲线中查出 f 值来。用 $\bar{\phi}-f$ 曲线确定 f 值的方法, 称之为 $\bar{\phi}-f$ 曲线法。

六、三种计算方法的比较

以北京某太阳能供暖系统为例, 把 1974 年作为“代表年”, 算出了该系统供暖季(11 月—3 月)各月平均热负荷。该系统采用双层玻璃平板式液体集热器。集热器有关参数为: $\frac{\alpha}{\varepsilon}=4$, $\alpha_n=0.90$, $\tau_n=0.76$ 。集热器面向正南, 与水平面的倾角为 55° 。先算出该集热器供暖季各月的 $(\tau\alpha)$ 值及 \bar{H}_T 值。以 $T_{\min}=56^\circ\text{C}$, 计算出该集热器供暖季各月的 U_L 值。集热器单位面积流量、蓄热容量以及和供暖负荷大小有关的负载热交换器尺寸都采用绘制 f 曲线时的数值。该系统的 $\frac{F'_R}{F_R}=0.97$, $F_R=0.96$ 。用 f 曲线法计算出该系统在一系列不同集热器面积 A 下的供暖季各月的 f 值, 称之为 $f_{\text{月}}$ 。再利用下式求出不同 A 值下的每个供暖季的平均太阳能保证率 $f_{\text{季}}$:

表 1 用 f 曲线法计算供暖季(11月—3月)太阳能保证率 $f_{\text{季}}(T_{\min}=56^\circ\text{C})$

月份	各月供暖负荷 L (10^6 焦耳/月)	$\frac{x}{A}$	$\frac{y}{A}$	$f_{\text{月}}$				
				$A=5\text{m}^2$	$A=10\text{m}^2$	$A=15\text{m}^2$	$A=20\text{m}^2$	$A=25\text{m}^2$
1	4602.16	0.179	0.050	0.20	0.35	0.48	0.59	0.70
2	3979.01	0.175	0.046	0.19	0.32	0.43	0.56	0.65
3	3084.96	0.228	0.079	0.31	0.53	0.71	0.84	0.91
11	3083.86	0.245	0.063	0.24	0.42	0.57	0.68	0.75
12	4489.69	0.180	0.040	0.15	0.28	0.38	0.48	0.55
$f_{\text{季}}$				0.21	0.368	0.498	0.600	0.696

$$f_{\text{季}} = \frac{\sum(f_{\text{月}} \times L)}{\sum L} \quad (22)$$

这样, 对应一个 A 值就有一个 $f_{\text{季}}$ 。将计算结果列于表 1, 并将其画成 $f_{\text{季}}-A$ 曲线(图 9)。

用 ϕ 曲线法计算上述太阳能系统的 $f_{\text{月}}$ 及 $f_{\text{季}}$, 结果列于表 2。由式(17)可知, 用 ϕ 曲线法算出的 $f_{\text{月}}$ 与集热器面积 A 成正比, 所以, $f_{\text{季}}-A$ 曲线是一条通过座标原点的直线, 因而只需求出某一 A 值下的 $f_{\text{季}}$ (本例中求出 $A=25\text{m}^2$ 时的 $f_{\text{季}}$), 即可画出 $f_{\text{季}}-A$ 曲线。 $f_{\text{季}}-A$ 曲线也绘于图 9。

用 $\bar{\phi}-f$ 曲线法计算上述太阳能系统的 $f_{\text{月}}$

表 2 用 ϕ 曲线法计算供暖季(11月—3月)太阳能保证率 $f_{\text{季}}(T_{\min}=56^\circ\text{C})$

月份	各月供暖负荷 L (10^6 焦耳/月)	x_c	$\bar{\phi}$	$f_{\text{月}}(A=25\text{m}^2)$
1	4602.16	0.566	0.34	0.426
2	3979.01	0.64	0.31	0.360
3	3084.96	0.502	0.40	0.790
11	3083.86	0.596	0.34	0.538
12	4489.69	0.707	0.27	0.271
$f_{\text{季}}(A=25\text{m}^2)$				0.453

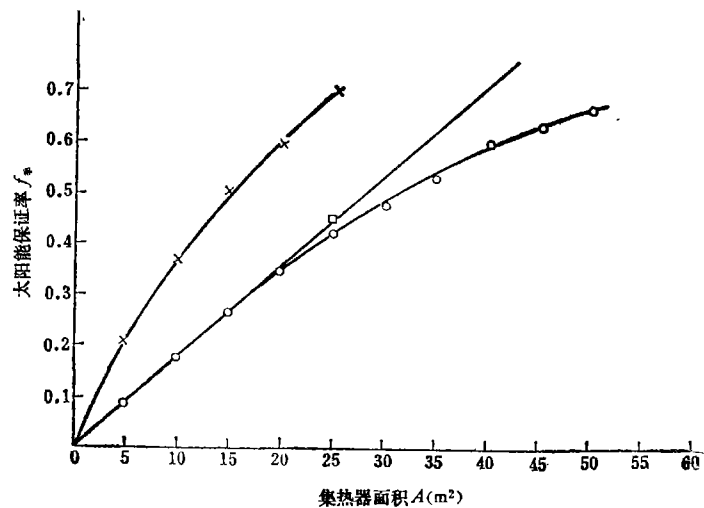
表 3 用 $\bar{\phi}$ - f 曲线法计算供暖季(11月—3月)太阳能保证率 $f_{\text{季}}(T_{\text{min}}=56^{\circ}\text{C})$

月 份	各月供暖负 荷 L (10^6 焦 耳/月)	$\frac{x'}{A}$	$\frac{y}{A}$	$\bar{\phi}$ (m^2)	$f_{\text{月}}$									
					$A=5\text{m}^2$	$A=10\text{m}^2$	$A=15\text{m}^2$	$A=20\text{m}^2$	$A=25\text{m}^2$	$A=30\text{m}^2$	$A=35\text{m}^2$	$A=40\text{m}^2$	$A=45\text{m}^2$	$A=50\text{m}^2$
1	4602.16	0.176	0.050	0.34	0.085	0.170	0.255	0.330	0.40	0.47	0.53	0.65	0.65	0.68
2	3979.01	0.178	0.046	0.31	0.072	0.143	0.215	0.286	0.348	0.40	0.46	0.52	0.57	0.62
3	3084.96	0.241	0.079	0.40	0.158	0.316	0.450	0.580	0.67	0.74	0.80	0.83	0.86	0.89
11	3083.86	0.258	0.063	0.34	0.107	0.214	0.310	0.400	0.49	0.57	0.63	0.68	0.72	0.75
12	4489.69	0.176	0.040	0.27	0.055	0.110	0.165	0.220	0.275	0.32	0.37	0.41	0.46	0.5
$f_{\text{季}}$					0.091	0.181	0.266	0.347	0.418	0.48	0.538	0.601	0.634	0.67

及 $f_{\text{季}}$, 计算结果列于表 3, $f_{\text{季}}-A$ 曲线也绘于图 9。

比较图 9 中的三条曲线可知:

$f_{\text{季}}-A(f)$ 曲线的 f 值最高。这是因为 f 曲线法只适用于 $T_{\text{min}}=20^{\circ}\text{C}$ 的情况, 而该系统 $T_{\text{min}}=56^{\circ}\text{C}$, 查用 f 曲线相当于求 $T_{\text{min}}=20^{\circ}\text{C}$ 时的 f 值, 故所得的 f 值会比实际值高得多。

图 9 $f_{\text{季}}-A$ 图($T_{\text{min}}=56^{\circ}\text{C}$)

×—— f 曲线法
□—— ϕ 曲线法
○—— ϕ - f 曲线法

$f_{\text{季}}-A(\phi)$ 曲线的 f 值次高。它反映的是 $T_{\min}=56^{\circ}\text{C}$ 的情况, f 值较接近于系统实际值。

$f_{\text{季}}-A(\bar{\phi}-f)$ 曲线中的 f 值最低。它既考虑了 $T_{\min}=56^{\circ}\text{C}$, 又考虑了运行过程中集热器流体进口温度要大于 T_{\min} 这一因素, f 值更接近于系统的实际值。从图 9 可看出, f 值越大, $f_{\text{季}}-A(\phi)$ 曲线和 $f_{\text{季}}-A(\bar{\phi}-f)$ 曲线差别也越大。这是因为运行过程中集热器流体进口温度大于 T_{\min} 更甚的缘故。

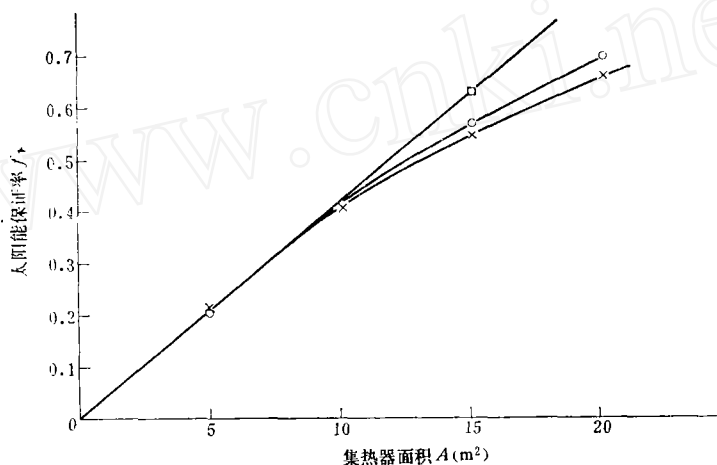


图 10 $f_{\text{季}}-A$ 图 ($T_{\min}=20^{\circ}\text{C}$)

×—— f 曲线法,
□—— ϕ 曲线法,
○—— $\bar{\phi}-f$ 曲线法

实际计算中, 又如何考虑 $\bar{\phi}-f$ 曲线法的缺陷呢? 假设上述太阳能供暖系统的 $T_{\min}=20^{\circ}\text{C}$, 分别用三种方法求出三条 $f_{\text{季}}-A$ 曲线, 如图 10 所示。这时, $f_{\text{季}}-A(f)$ 曲线反映的是系统的实际 f 值; $f_{\text{季}}-A(\bar{\phi}-f)$ 曲线因没有考虑系统的热损失而偏高于实际的 f 值; $f_{\text{季}}-A(\phi)$ 曲线因没有考虑运行过程中集热器流体进口温度要大于 T_{\min} , 也没有考虑系统的热损失, 所以更高于系统的实际 f 值。由图 10 可知, $f_{\text{季}}-A(f)$ 曲线与 $f_{\text{季}}-A(\bar{\phi}-f)$ 曲线的最大相对差别约为 5%。随着 T_{\min} 值的增高, 系统热损失增大, 上述差别也会比 5% 大些。

七、结 论

用 $\bar{\phi}-f$ 曲线法求 f 值较准确。考虑由于系统热损失而降低 f 值的因素, 建议采用 $\bar{\phi}-f$ 曲线法求出的 f 值乘以 0.9 作为系统实际的 f 值。

参 考 文 献

- [1] W. A. Beckman, S. A. Klein, J. A. Duffie, Solar heating design by the f -chart method, John Wiley & Sons.
- [2] S. A. Klein, W. A. Beckman, A general design method for closed-loop solar energy systems, Proceeding of the 1977 annual meeting, American Section of the International Solar Energy Society.
- [3] W. A. Beckman, S. A. Klein, J. A. Duffie, *Solar energy*, Vol. 18, 1976, No. 2, pp. 113—127.
- [4] Liu B. Y. H. and Jordan R. C., *Solar Energy*, Vol. 7, 1963, No. 2, pp. 53—74.
- [5] J. A. 达菲, W. A. 贝克曼著, 葛新石等译, 太阳能—热能转换过程, 科学出版社, 1980.

CALCULATION OF THE FRACTION “ f ” OF THE HEATING LOAD SUPPLIED BY SOLAR ENERGY

Cen Huan-xia

(Qinghua University)

Abstract

In this paper, the factors affecting f value are analyzed at first, then the three methods (f chart, ϕ chart and $\bar{\phi}$ - f chart method) for the determination of the f value are described, and the special feature of each are pointed out. Finally, based on the calculated results of practical examples a comparison of these three methods are made. The author preferred the $\bar{\phi}$ - f chart method, and recommended a correcting factor for the calculated value.