

# 汽水全流及闪蒸发电系统 能量利用率的比较

顾维军 胡亮光 范文伯 王之安 张凤山 王维

(天津大学热能研究所)

〔提要〕 本文从能量利用角度,对热水、汽水混合物的全流发电方法和闪蒸发电方法进行了比较。在汽水混合发电系统中,提出当量热水温度概念,简化了汽水混合发电系统的热力计算。在实际汽水发电系统中,对与闪蒸发电量相同的全流发电系统进行热力计算,得到了不同热源温度、干度下全流动力机的最小内效率曲线。

主题词 全流发电 闪蒸发电 能量 利用率

## 一、导 言

低温能源主要有热水型和汽水混合型两种。七十年代中期,美国劳伦斯利费莫尔研究所提出的全流发电方法能很好地适用于这两种资源。全流发电的主要原理是将作为热源的汽水混合物,甚至一些可溶性固体,直接通入全流动力机进行发电,而不经任何预先的热力工程处理。在实际应用中,全流动力机相对内效率甚低是其主要障碍。但由于理想的全流发电系统具有优良的能量利用率,很有希望弥补全流动力机相对内效率较低的不足。如果期求全流概念商业化,则必须要求全流发电系统具有比目前常用的发电方案(如闪蒸及中介质发电系统)更高的能量利用率,更好的经济性,至少同样的运行可靠性。

本文主要从热力学角度,比较热水、汽水混合物的全流发电系统和闪蒸发电系统的能量利用率。计算了不同热源温度、干度下,全流发电系统要达到与闪蒸发电系统发电出力相同时,其全流动力机所要求的最低内效率曲线。

## 二、热水全流与闪蒸发电系统的能量利用率分析

在闪蒸热水发电系统中,闪蒸发电循环可近似看成是卡诺循环\*,在T-S图上可以表示为图1的循环abcd。

可以推导出热水闪蒸发电系统每吨热水的电量为

$$\bar{W}_e = AC_p T_1 \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right) \left(1 - \frac{T_b}{T_a}\right) \quad (1)$$

收稿日期:1988-06-07 修改稿日期:1988-09-14

注: \* 这个近似在热源温度不太高时,有很好的精度,当热源温度较高,如接近临界点时,其误差较大。

式中,  $T_1$  为热水源温度,  $C_p$  为水的定压比热,  $A$  为单位变换系数。  $T_a$ 、 $T_b$  分别为循环点  $a$ 、 $b$  的温度。

当闪蒸温度取最佳蒸发温度时

$$T_a = \sqrt{T_b T_1} \tag{2}$$

故

$$\bar{W}_c = AC_p T_1 \left(1 - \sqrt{\frac{T_b}{T_1}}\right)^2 \tag{3}$$

当冷凝温度  $T_b$  等于环境温度  $T_0$  时, 达到

$$\bar{W}_{cmax} = AC_p T_1 \left(1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_1}}\right)^2 \tag{4}$$

汽水发电系统的热效率为

$$\eta = \bar{W} / \bar{Q}_0 \tag{5}$$

式中,  $\bar{W}$  为每吨汽水混合物的发电量。

$\bar{Q}_0$  为每吨汽水混合物由热源温度冷却到环境温度的水时释放的热量。

对于热水热源

$$\bar{Q}_0 = AC_p (T_1 - T_0) \tag{6}$$

对于热水闪蒸发电系统,  $\bar{W} = \bar{W}_c$ , 故热水闪蒸发电系统的热效率为

$$\eta_c = \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right) \left(1 - \frac{T_b}{T_a}\right) / \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) \tag{7}$$

当蒸发温度为最佳蒸发温度, 且  $T_b = T_0$  时, 热效率达到最大值

$$\eta_{cmax} = \left(1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_1}}\right) / \left(1 + \sqrt{\frac{T_0}{T_1}}\right) \tag{8}$$

定义汽水发电系统的焓效率为

$$\eta_e = \bar{W} / \bar{E}_0 \tag{9}$$

式中  $\bar{E}_0$  为每吨汽水混合物的焓, 对于热水源

$$\bar{E}_0 = AC_p \left(T_1 - T_0 - T_0 \ln \frac{T_1}{T_0}\right) \tag{10}$$

对于闪蒸系统, 其焓效率

$$\eta_{ec} = \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right) \left(1 - \frac{T_b}{T_a}\right) / \left(1 - \frac{T_0}{T_1} - \frac{T_0}{T_1} \ln \frac{T_1}{T_0}\right) \tag{11}$$

当  $T_a$  为最佳蒸发温度, 且  $T_b = T_0$  时, 焓效率取得最大值

$$\eta_{ecmax} = \left(1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_1}}\right)^2 / \left(1 - \frac{T_0}{T_1} - \frac{T_0}{T_1} \ln \frac{T_1}{T_0}\right) \tag{12}$$

对于热水的全流发电系统, 它的热力循环相当于一曲边三角循环, 如图 2 所示, 该三角循环的吸热过程在  $T-S$  图上为曲边吸热过程。图中热水的放热线 1-2 与三角循环的吸热线  $C_0$  完全重合。

对于这种曲边三角循环的热水发电系统, 其每吨热水的电量为

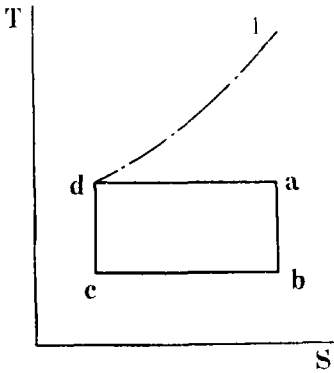


图 1

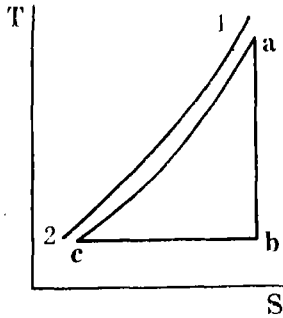


图 2

$$\bar{W}_T = AC_p T_1 \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_2}{T_1} \ln \frac{T_1}{T_2} \right) \quad (13)$$

式中,  $T_1$  仍为热源热水温度,  $T_2$  为放热后热水的终温。

当  $T_2$  等于环境温度  $T_0$  时, 每吨热水的发电量达到最大值

$$\bar{W}_{T_{\max}} = AC_p T_1 \left( 1 - \frac{T_0}{T_1} - \frac{T_0}{T_1} \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \quad (14)$$

式 (14) 表明, 全流热水发电系统每吨热水的发电量在极限情况下, 可以利用热水的全部焓。

全流发电系统的曲边三角循环的热效率为

$$\eta_T = \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_2}{T_1} \ln \frac{T_1}{T_2} \right) / \left( 1 - \frac{T_0}{T_1} \right) \quad (15)$$

当  $T_2 = T_0$  时, 全流热水发电系统的热效率达到最大值

$$\eta_{T_{\max}} = \left( 1 - \frac{T_0}{T_1} - \frac{T_0}{T_1} \ln \frac{T_1}{T_0} \right) / \left( 1 - \frac{T_0}{T_1} \right) \quad (16)$$

全流热水发电系统的焓效率为

$$\eta_{eT} = \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_2}{T_1} \ln \frac{T_1}{T_2} \right) / \left( 1 - \frac{T_0}{T_1} - \frac{T_0}{T_1} \ln \frac{T_1}{T_0} \right) \quad (17)$$

当  $T_2 = T_0$  时, 全流热水发电系统的焓效率达到最大值

$$\eta_{eT_{\max}} = 1 \quad (18)$$

比较全流热水发电系统与闪蒸发电系统, 全流热水发电系统每吨热水的发电量比闪蒸系统提高

$$\begin{aligned} \Delta \bar{W} &= (\bar{W}_T - \bar{W}_c) / \bar{W}_c \\ &= \left[ \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_2}{T_1} \ln \frac{T_1}{T_2} \right) - \left( 1 - \sqrt{\frac{T_b}{T_1}} \right)^2 \right] / \left( 1 - \sqrt{\frac{T_b}{T_1}} \right)^2 \end{aligned} \quad (19)$$

全流热水发电系统的冷凝温度  $T_c$  (等于  $T_2$ ) 与闪蒸发电系统中的冷凝温度  $T_b$  一样, 由冷凝水源温度及冷凝温升决定, 其受控于冷凝水温度的程度也一样, 故令  $T_b = T_2$ , 则

$$\Delta \bar{W} = \left[ 2 \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \left( 1 - \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} - \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \ln \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \right) \right] / \left( 1 - \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \right)^2 \quad (20)$$

$\Delta \bar{W}$  随  $T_2$  的下降而减少, 随  $T_1$  的下降而增大, 随  $T_2/T_1$  比值的下降而减少。

当  $T_2 = T_0$  时,  $\Delta \bar{W}$  取得最小值, 即

$$\Delta \bar{W}_{\min} = \left[ 2 \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \left( 1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} - \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \ln \sqrt{\frac{T_1}{T_0}} \right) \right] / \left( 1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \right)^2 \quad (21)$$

同样, 全流发电系统的热效率比闪蒸系统热效率的相对增大量为

$$\begin{aligned} \Delta\eta &= (\eta_T - \eta_c) / \eta_c \\ &= \left[ \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} - \frac{T_2}{T_1} \ln \frac{T_1}{T_2} \right) - \left( 1 - \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \right)^2 \right] / \left( 1 - \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \right)^2 = \Delta\bar{W} \end{aligned} \quad (22)$$

同样可以明证，全流发电系统的炯效率比闪蒸系统的炯效率的相对增大量为

$$\Delta\eta_e = (\eta_{e_t} - \eta_{e_c}) / \eta_{e_c} = \Delta\bar{W} \quad (23)$$

图 3 分别是热水的闪蒸发电系统与全流发电系统的热效率、炯效率随热源温度的变化曲线。

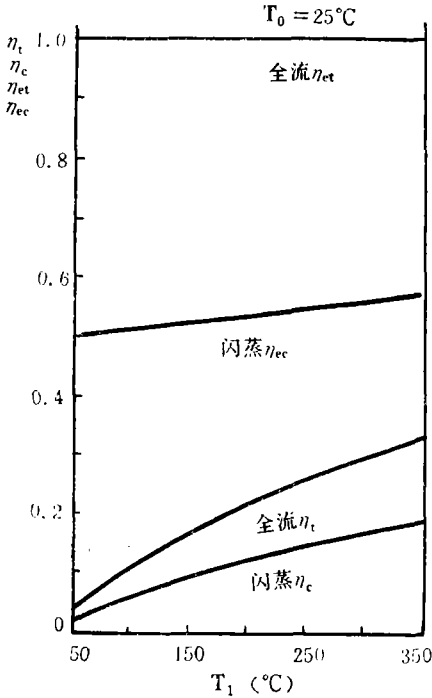


图 3

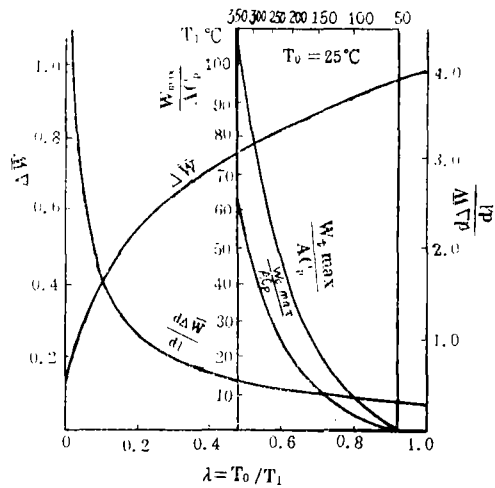


图 4

由图 4 可见，随着热源温度的升高，与闪蒸系统相比，全流发电系统发电量的绝对增量也大幅度增加，而相对增量则减少。

### 三、汽水全流与闪蒸发电系统的能量利用率比较

在汽水混合物的发电系统中，如果仍采用闪蒸发电方法，则最佳蒸发温度将随着热源干度的增大而提高。当干度增大到一定值时，最佳蒸发温度将等于热源温度，此时闪蒸系统等价于简单汽液分离系统。这时的干度称为闪蒸发电系统的转折干度(简称转折干度)。

设汽水混合物热源，温度为 $T_1$ ，干度为 $X_1$ ，环境温度为 $T_0$ ，采用闪蒸发电系统。 $T_a$ 表示闪蒸发电系统的蒸发温度。

此时，闪蒸发电系统的循环如图 5 所示，其循环发电量

$$\bar{W}_e = (T_a - T_b)(S_a - S_b)G \quad (24)$$

式中， $S_a$ 、 $S_b$ 分别为图 5 中 a、b 点的熵， $G$ 为循环工质流量。

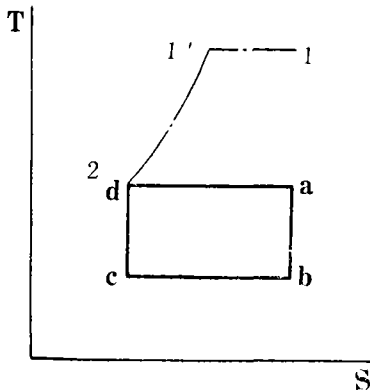


图 5

根据闪蒸器热平衡要求

$$GT_0(S_a - S_d) = \{x_1[H_g(T_1) - H_l(T_1)] + C_p(T_1 - T_0)\}G_0A \quad (25)$$

式中,  $H_g$ 、 $H_l$  分别是混合物时饱和汽及饱和水的比焓,  $G_0$  为热源汽水混合物流量。

将式 (25) 代入式 (24) 得

$$\bar{W}_c = \frac{W_c}{G_0} = A \frac{(T_a - T_b)}{T_a} \{x_1[H_g(T_1) - H_l(T_1)] + C_p(T_1 - T_0)\} \quad (26)$$

对  $T_a$  求导, 并令  $d\bar{W}_c/dT_a = 0$  得

$$T_a = \sqrt{T_b T_1 + \frac{T_b X_1 [H_g(T_1) - H_l(T_1)]}{C_p}}$$

令  $T_a = T_1$ , 可以得出转折干度的表达式

$$x_0 = \frac{T_1(T_1 - T_b)C_p}{T_b[H_g(T_1) - H_l(T_1)]} \quad (27)$$

对一已知热源, 当热源干度  $x_1 < x_0$  时, 应选用闪蒸发电系统。当热源干度  $x_1 \geq x_0$  时, 最佳蒸发温度等于热源温度, 故闪蒸发电系统等价于简单汽液分离发电系统。

定义:

$$\Delta T_f = \frac{x_1[H_g(T_1) - H_l(T_1)]}{C_p} \quad (28)$$

$$T_f = T_1 + \Delta T_f \quad (29)$$

$T_f$  称为汽水混合物热源的当量热水温度 (简称当量热水温度);  $\Delta T_f$  称为汽水混合物热源的当量热水温差 (简称当量热水温差)。引用当量热水温度概念, 可使汽水发电系统的每吨汽水发电量表达式变得与热水发电系统类似。

将式 (28)、(29) 代入式 (26) 整理得

$$\bar{W}_c = AC_p T_f \left(1 - \frac{T_b}{T_a}\right) \left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right) \quad (30)$$

比较式 (1) 与式 (30) 发现, 只要用  $T_f$  代替  $T_1$ , 则式 (26) 与 (1) 相同。

应该注意的是, 在式 (30) 中如果要求  $T_a$  总是等于最佳蒸发温度, 则

$$\text{当 } x_1 < x_0 \text{ 时, } T_a = \sqrt{T_b T_1 + \frac{T_b x_1 [H_g(T_1) - H_l(T_1)]}{C_p}} = \sqrt{T_b T_f} \quad (31)$$

当  $x_1 \geq x_0$  时,  $T_a = T_1$

把单位质量的汽水混合物由热源温度下冷却到环境温度  $T_0$  的水时, 其放热量

$$\bar{Q}_0 = A\{x_1[H_g(T_1) - H_l(T_0)] + C_p(T_1 - T_0)\} = AC_p(T_f - T_0) \quad (32)$$

故汽水闪蒸发电系统的热效率为

$$\eta_c = \frac{AC_p T_f \left(1 - \frac{T_b}{T_a}\right) \left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right)}{AC_p(T_f - T_0)} = \frac{\left(1 - \frac{T_b}{T_a}\right) \left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right)}{\left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right)} \quad (33)$$

$$\text{当 } x_1 < x_0, \quad \eta_c = \left(1 - \sqrt{\frac{T_b}{T_f}}\right)^2 / \left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right) \quad (34)$$

$$\text{当 } x_1 \geq x_0, \quad \eta_c = \left(1 - \frac{T_b}{T_1}\right) \left(1 - \frac{T_1}{T_f}\right) / \left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right)$$

比较式 (7) 与式 (33), 不难发现它们是十分相似的。

每吨汽水混合物的焓

$$\begin{aligned} \bar{E}_0 &= A \left\{ x_1 [H_s(T_0) - H_l(T_1)] \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) + C_p \left(T_1 - T_0 - T_0 \ln \frac{T_1}{T_0}\right) \right\} \\ &= AC_p \left[ \Delta T_f \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) + \left(T_1 - T_0 - T_0 \ln \frac{T_1}{T_0}\right) \right] \\ &= AC_p \left[ T_f - T_0 - T_0 \left(\ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{\Delta T_f}{T_1}\right) \right] \end{aligned} \quad (35)$$

所以, 汽水闪蒸系统的焓效率

$$\eta_{ec} = \left(1 - \frac{T_b}{T_a}\right) \left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right) / \left[1 - \frac{T_0}{T_f} - \frac{T_0}{T_f} \left(\ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{\Delta T_f}{T_1}\right)\right] \quad (36)$$

当  $x_1 < x_0$ ,

$$\eta_{ec} = \left(1 - \sqrt{\frac{T_b}{T_f}}\right)^2 / \left[1 - \frac{T_0}{T_f} - \frac{T_0}{T_f} \left(\ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{\Delta T_f}{T_1}\right)\right] \quad (37)$$

$x_1 \geq x_0$ ,

$$\eta_{ec} = \left(1 - \frac{T_b}{T_1}\right) \left(1 - \frac{T_1}{T_f}\right) / \left[1 - \frac{T_0}{T_f} \left(\ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{\Delta T_f}{T_1}\right)\right]$$

当  $T_b = T_0$  时,  $\bar{W}_c, \eta_c, \eta_{ec}$  都取得最大值。

当  $x_1 < x_0$

$$T_a = \sqrt{T_0 T_f}$$

$$\bar{W}_c = AC_p T_f \left(1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_f}}\right)^2$$

$$\eta_c = \left(1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_f}}\right)^2 / \left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right)$$

$$\eta_{ec} = \left(1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_f}}\right)^2 / \left[1 - \frac{T_0}{T_f} - \frac{T_0}{T_f} \left(\ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{\Delta T_f}{T_1}\right)\right]$$

当  $x_1 \geq x_0$

$$T_a = T_1$$

$$\bar{W}_c = AC_p T_f \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) \left(1 - \frac{T_1}{T_f}\right)$$

$$\eta_c = \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) \left(1 - \frac{T_1}{T_f}\right) / \left(1 - \frac{T_0}{T_f}\right)$$

$$\eta_{ec} = \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) \left(1 - \frac{T_1}{T_f}\right) / \left[1 - \frac{T_0}{T_f} - \frac{T_0}{T_f} \left(\ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{\Delta T_f}{T_1}\right)\right]$$

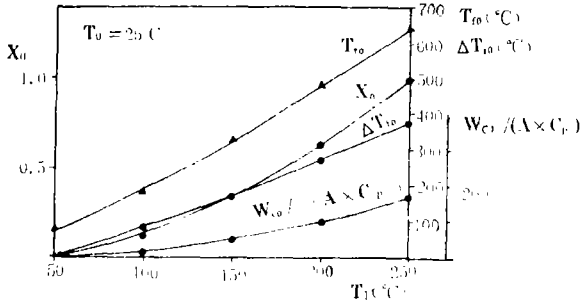


图 6

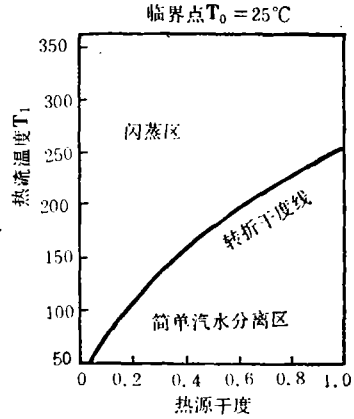


图 7

图 6 是不同热源温度下转折干度及与转折干度对应的当量热水温度、当量热水温差。

图 6 中  $\Delta T_{f0}$  代表对应于转折干度时的当量热水温差。 $T_{f0}$  代表对应于转折干度时的当量热水温度。 $\bar{W}_{e0}$  为转折发电量。

图 7 为转折干度与热源温度下的关系曲线。

对于汽水混合物的全流发电系统则比较简单，它的热力循环如图 8 所示。

汽水全流发电系统每吨汽水混合物的发电量  $\bar{W}_T$

$$\begin{aligned} \bar{W}_T &= A \left\{ \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) x_1 \left[ H_g(T_1) - H_l(T_1) \right] \right. \\ &\quad \left. + C_p \left[ T_1 - T_2 - T_2 \ln \left( \frac{T_1}{T_2} \right) \right] \right\} \\ &= AC_p \left[ T_f - T_2 - T_2 \left( \ln \frac{T_1}{T_2} + \frac{\Delta T_f}{T_1} \right) \right] \end{aligned} \quad (38)$$

全流汽水发电系统的热效率

$$\begin{aligned} \eta_T &= \bar{W}_T / \bar{Q}_0 \\ &= \left[ T_f - T_2 - T_2 \left( \ln \frac{T_1}{T_2} + \frac{\Delta T_f}{T_1} \right) \right] / (T_f - T_0) \end{aligned} \quad (39)$$

全流汽水发电系统的焓效率为

$$\begin{aligned} \eta_{eT} &= \bar{W}_T / \bar{E}_0 \\ &= \left[ T_f - T_2 - T_2 \left( \ln \frac{T_1}{T_2} + \frac{\Delta T_f}{T_1} \right) \right] / \left[ T_f - T_0 - T_0 \left( \ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{\Delta T_f}{T_1} \right) \right] \end{aligned} \quad (40)$$

当  $T_2 = T_0$  时,  $\bar{W}_T$ 、 $\eta_T$ 、 $\eta_{eT}$  都取得最大值

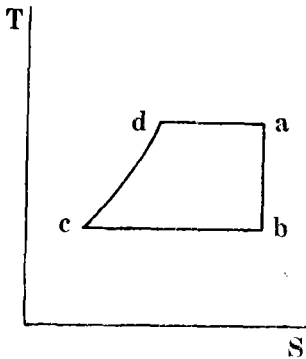


图 8

$$\bar{W}_{T_{\max}} = AC_p \left[ T_f - T_0 - T_0 \left( \ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{\Delta T_f}{T_1} \right) \right] \quad (41)$$

$$\eta_{T_{\max}} = \left[ T_f - T_0 - T_0 \left( \ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{\Delta T_f}{T_1} \right) \right] / (T_f - T_0)$$

$$\eta_{eT_{\max}} = 1$$

全流系统每吨热水的发电量比闪蒸系统发电量的相对增量为

$$\begin{aligned} \Delta \bar{W} &= (\bar{W}_f - \bar{W}_c) / \bar{W}_c \\ &= \frac{\left[ T_f - T_2 - T_2 \left( \ln \frac{T_1}{T_2} + \frac{\Delta T_f}{T_1} \right) \right] - W_c}{W_c} \end{aligned} \quad (42)$$

当  $x_1 < x_0$  时:

$$\Delta \bar{W} = 2 \sqrt{\frac{T_2}{T_f}} \left[ 1 - \sqrt{\frac{T_2}{T_f}} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_2}{T_f}} \left( \ln \frac{T_1}{T_2} + \frac{\Delta T_f}{T_1} \right) \right] / \left( 1 - \sqrt{\frac{T_2}{T_f}} \right)^2 \quad (43)$$

当  $x_1 \geq x_0$  时

$$\Delta \bar{W} = \frac{\left[ \frac{T_2}{T_1} + \frac{T_1}{T_f} - 2 \frac{T_2}{T_f} - \frac{T_2}{T_f} \left( \ln \frac{T_1}{T_2} + \frac{\Delta T_f}{T_1} \right) \right]}{\left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \left( 1 - \frac{T_1}{T_f} \right)} \quad (44)$$

当  $T_2 = T_0$  时

$x < x_0$

$$\Delta \bar{W} = 2 \sqrt{\frac{T_0}{T_f}} \left[ 1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_f}} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_0}{T_f}} \left( \ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{\Delta T_f}{T_1} \right) \right] / \left( 1 - \sqrt{\frac{T_0}{T_f}} \right)^2 \quad (45)$$

$x \geq x_0$

$$\Delta \bar{W} = \frac{\frac{T_0}{T_1} + \frac{T_1}{T_f} - 2 \frac{T_0}{T_f} - \frac{T_0}{T_f} \left( \ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{\Delta T_f}{T_1} \right)}{\left( 1 - \frac{T_0}{T_1} \right) \left( 1 - \frac{T_1}{T_f} \right)} \quad (46)$$

可以证明:  $\Delta \eta = (\eta_f - \eta_c) / \eta_c = \Delta \bar{W}$

$$\Delta \eta_e = (\eta_{e,f} - \eta_{e,c}) / \eta_{e,c} = \Delta \bar{W}$$

图9和图10给出了不同热源温度下,全流发电系统与闪蒸发电系统的每吨汽水混合物的发电量、热效率、焓效率及其相对增量  $\Delta \bar{W}$  与热源干度的关系。

当热源温度较低时,全流系统与闪蒸系统的每吨汽水混合物的发电量,热效率在整个干度范围内,其绝对量相差较小。随着热源温度的增高,其绝对差值在增大。当热源干度小于转折干度,其相对差值很大。当热源干度大于转折干度之时,其相对差值较小。他们的焓效率在所有热源温度及干度区域内相差都较大。



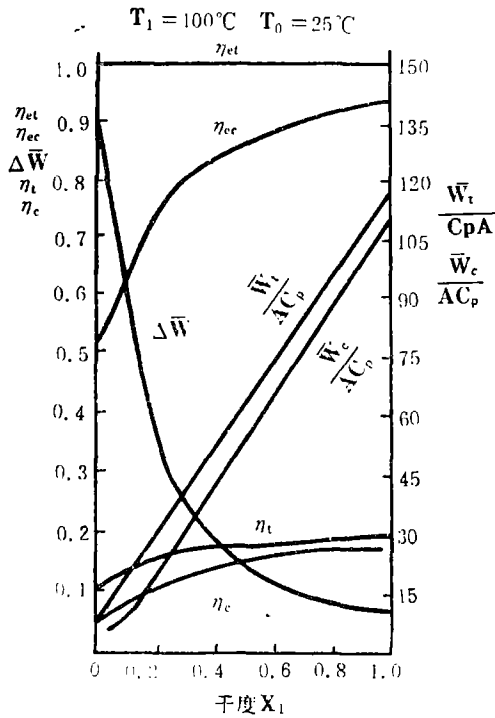


图 9

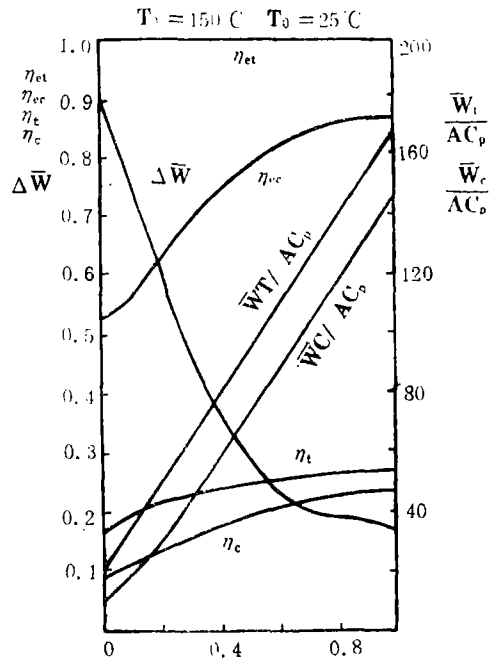


图 10

#### 四、实际全流发电系统与闪蒸发电系统的比较

在目前的技术水平下，实际全流发电系统的全流动力机效率还不高，远远不及闪蒸发电系统的透平效率。但由于全流发电系统具有优良的能量利用性能，很有希望弥补全流动力机内效率不高的缺陷。

图11表示了在同一热源条件下（热源温度及干度相同），全流发电系统要达到与闪蒸发电系统的发电量相同时，全流动力机必须具有最低内效率曲线。当实际全流动力机效率在对应曲线上方时，使用全流发电系统在能量利用上就是有利的。当实际全流动力机效率在对应曲线下方时，使用闪蒸发电系统在能量利用上将更为有利些。

由图11可以看出，当干度较低时，全流发电系统与闪蒸发电系统出力相同时，所需的最低全流动力机内效率很低，是目前全流动力机可以达到的。

#### 五、结 论

1. 全流热水发电系统可近似为一曲边三角循环发电系统。它每吨热水的发电量在极限情况下，等于热水的焓。这个结论对汽水混合物的全流发电系统也同样成立。

2. 在热水发电系统中，全流系统比闪蒸系统每吨热水发电量的相对增量可达 80% 以上。此值随着热源温度的升高而降低。

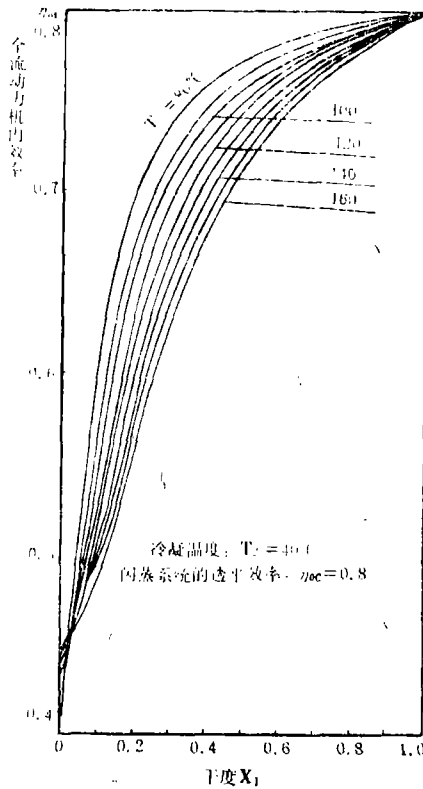


图 11

参 考 文 献

1. The LLL Geothermal Energy Program a Status Report on the Development of the Total—flow Concept. UCRL-50046-77. 1978
2. Carey B. Total Flow Power Generation from Geothermal Resources Using a Helical Screw Expandar. Proc. 5th. NZ. Geothermal Workshop: 1983
3. Tyuji Ikeha, Seiji Fukuda. Hot Water Turbine for Waste Heat Recovery Power Generation. Energy Development in Japan, 1981, 4: 129-152
4. Austin A L, House P A. New Concepts for converting the Energy in Low-to Medium Temperature Liquiels With Emphasis on Geothermal Applications. UCRL-52583. 1978
5. Austin A L. et al. The Total-Flow Concept for Recovery of Energy from Geothermal Hot Brine Deposits. Lawrence Livermore Laboratory Rept, UCRL-51366. 1973
6. 王之安, 胡亮光. 汽液两相螺杆膨胀机的流动特性分析. 中国工程热物理学会工程热力学与能源利用学术会议, 1986. 11
7. 凌志光, 张家华. 低温余热全流热水发电系统的热力分析. 中国工程热物理学会工程热力学与能源利用学术会议, 1986. 11

(孙显辉 编辑)

3. 在汽水混合闪发电系统中, 当热源干度大于转折干度时, 闪蒸系统与简单汽液分离系统完全等效。

4. 在汽水发电系统中, 当热源温度较低时, 全流系统与闪蒸系统的发电量、热效率的绝对差值在整个干度范围内都甚小。但焓效率则在所有热源温度及干度区域都相差较大。

5. 在汽水发电系统中, 全流系统比闪蒸系统发电量的相对增量, 在同一热源温度及冷凝温度下, 随着干度的增大而减少。

6. 在低干度区域, 全流汽水发电系统的全流动力机内效率只要达到 0.4—0.5 左右, 其发电量即可与目前的闪发电系统的发电量相同。

# JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL ENERGY AND POWER

No.4 1989

## CONTENT

- 1. Comparison of the steam-water mixture full flow power system and the flash evaporation power generating system in respect of energy utilization rate ..... *GuChuju<sup>u</sup>, etc.* (1)

*Abstract*

A comparison is made in this paper of the power generation method based on hot water and steam-water mixture full flow with that based on flash evaporation form an energy utilization view point. An equivalent hot water temperature concept has been proposed in the steam-water mixture power generating system, which simplifies the thermal calculation of the steam-water mixture power generating system. In an actual steam-water power generating system, a thermodynamic calculation is conducted of the full flow power generating system which has the same generating capacity as that of the flash evaporation version. The minimum internal efficiency curves of the full flow generator at various thermal source temperatures and dryness have been obtained.

*Key words:* full flow power generation, flash evaporation power generation, energy, utilization rate

- 2. Thermal energy utilization by stages at Shazhong Gas Turbin Thermal Power Station of Dacqing ..... *Di Hongrui* (11)

*Abstract*

This paper analyzes the stage-by-stage thermal energy utilization of the SK 15HE cogeneration plant (imported from England) of Shazhong Thermal Power Station by using the "exergy efficiency" concept.

*Key words:* cogeneration plant, exergy efficiency, analysis

- 3. A practical application of fan and water-pump energy-saving control ..... *Yang Qingsheng* (15)

*Abstract*

Taking a fan and water pump as an example, this paper discusses the variable transmission and energy-saving of the small-sized power station boiler auxiliaries, as well as the formulation principle and practical implementation of the transmission system. The author points out that the proposed version can be readily