

4. 效率和卡诺系数

主题:

一台机器的效率被定义为所传输的有用能量与所提供的总能量的比值，即

$\eta = \text{有用能量} / \text{总提供的能量}$.

对于一个通常的电热器（电阻器），其效率为

$\eta = 1$.

对于一台热机，效率表达式中的分母是来自热源的所有能量，也就是实际流入热机的能量。如果热机是理想热机，即热机运行时没有熵产生，其效率就是所谓的卡诺系数(Carnot factor):

$$\eta = (T_2 - T_1) / T_2.$$

对于一台热泵，所有传输的有用能量是在高温 T_2 下离开热泵的能量，因此，其效率为

$$\eta = T_2 / (T_2 - T_1).$$

缺点:

上面所定义的效率是不合适的。合理的效率概念应该具有以下几个特点:

1. 它的值必须在 0 到 1 之间;
2. 一台理想机器的效率应该为 1;
3. 一台非理想机器的效率应该小于 1。

当机器的运行是可逆的，换句话说，当机器运行时没有熵产生，这台机器就是一台理想机器。

上面所定义的效率不符合以上三条标准。热泵的效率大于 1，这不符合第一条标准。理想的卡诺热机的效率小于 1，这不符合第二条标准。电热器的的工作过程是不可逆的，是一种大家都知道的能量耗散器件，但它的效率却等于 1，这不符合第三条标准。

历史:

人们几乎用了近一百年的时间来寻找一个有效的热机效率的定义。这实际上是一个区分能量和熵的曲折过程。在卡诺的著作中没有找到这个定义。卡诺也许不会对现在普遍使用的定义持肯定意见。我们在亥姆霍兹的著作中找到了这个定义，但我们不能肯定他是这个定义的发明者。

虽然当时一开始人们选择了这个定义是一种不幸，但我们至少还能理解当时人们为什

么会这样定义它的。一方面，当时还没有热泵，即还没有（根据上面所定义的）效率大于 1 的机器。另一方面，当时还没有燃料电池，人们还以为我们只有通过燃料碳才能将它的能量释放出来。因此，在当时把蒸汽机的效率归因于炉膛或机器本身都是一样的。

建议：

我们建议使用下面的效率定义：

$$\eta = P_{\text{理想}} / P_{\text{实际}}.$$

这里， η 属于一台实际的机器的， $P_{\text{理想}}$ 是这台实际的机器的能耗。 $P_{\text{实际}}$ 是与那台实际的机器具有相同功能但在运行过程中没有产生熵的机器（理想的可逆机器）的能耗。

根据这一定义，对于可逆卡诺热机， $\eta=1$ ；这是因为卡诺热机是理想的可逆机器。

对于热泵，其 η 值总是小于或等于 1 的。如果机器在工作时没有任何损耗，即没有任何摩擦损耗、热损耗或电路中的损耗，它就是一台理想机器，其效率就等于 1。如果有损耗，则其效率小于 1。

一个电阻电热器在高温 T_2 下提供一定量的熵流（热流） I_S 。其相对应的理想机器是在相同温度 T_2 下提供相同熵流 I_S 的热泵。它从温度为 T_1 的环境中吸收这部分熵流。这样，它的能耗为

$$P_{\text{理想}} = (T_2 - T_1) \cdot I_S.$$

另一方面，那个提供相同热流 $T_2 \cdot I_S$ 的电阻电热器的能耗为

$$P_{\text{实际}} = T_2 \cdot I_S.$$

其效率为

$$\eta = P_{\text{理想}} / P_{\text{实际}} = (T_2 - T_1) / T_2.$$

它等于卡诺系数。

环境温度 T_1 越高电阻电热器所浪费掉的能量就越多。实际上， T_1 越高，用热泵将熵从环境温度提升到所要达到的温度所消耗的能量越少。

根据同样的道理，其他任何一种加热器，如火力发电厂中的煤炉的效率也等于这个卡诺系数。因此，这种发电厂的“缺点”不是由几乎是可逆运行的汽轮机引起的，而由是煤炉的不可逆性引起的。

上面所给出的效率的定义是热力学中大家所知道的“第二定律效率”。这是一个现代的概念。我们建议一开始就运用这个概念，并直接把它叫做“效率”。

（陈敏华 2012 年 1 月 10 日译于绍兴县豫才中学）