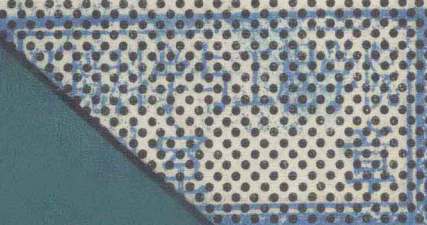


节能资料

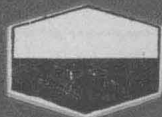
节能技术途径



北京能源学会

节能资料

节能技术途径



北京能源学会

目 录

能源的巨大作用及节能途径.....	袁希兴(1)
热能的合理利用及节能方向.....	丁国安(5)
火力发电厂节能初探.....	刘长永(14)
变压器经济运行与年经济容量.....	谭镒田(19)
汽车混合燃料..... 周国安	文昌金(25)
蒸汽的再利用.....	刘太和(26)
远红外加热技术问答.....	葛世名(28)
汽车运输节油兼谈子午胎的节油效果.....	郑正仁(33)
关于建筑能耗与建筑设计.....	曹庆涵(37)
节约能源与保护环境的对策.....	吕震寰(43)
核燃料废物的利用.....	芮尊元(48)
几种节能用仪表.....	刘桂珠(54)
炼油厂的节能与.....	杨 凡(63)
节能新产品介绍	
9—19 高压离心通风.....	(4)
户外箱式中型电动机.....	(18)
200D—65×2型多级.....	(42)
GFC—3B型手车式高.....	(62)

能源的巨大作用及节能途径

袁 希 兴

一、前 言

人类社会当中的一切物质的生产，都是多种能源经一系列转化的结果。在生产过程中，由原料经过一系列工艺过程转化为新形式或种类的产品的动力就是能量。能量的来源谓之能源，也就是说凡是能够提供能量的物质资源就谓之能源。

辩证唯物主义者认为：“没有运动的物质和非物质的运动是同样不可想象的”，运动和物质是不可分割的。运动的形式是多种多样的，互相是可以转化的，由一种形式的运动转化为另一种形式的运动的衡量，就叫做能量。自然界的一切均由物质组成，物质是由分子组成，分子由原子组成，原子由质子、中子组成；物质由这些微观粒子组成，微观粒子始终处于运动状态，组成物质的微观粒子所具有的能，称之为内能。

人类在生活中对于各种物质的需求是不断提高的，而这种需求的愿望是无有止境的。这就要求将自然界中的原料不断转化为更多更高级的产品，以满足人类对各种物质的需求。若想使原料转化为产品，就必须改变原料的内能(内能的变化一般通过作功与传热两条途径实现)，使原料转化为人们需要的另外一种新形式和种类的产品。为了满足原料按着一定的工艺条件转化为产品，必须向原料传递所需要的能量，即有效能量(被加工对象按着一定的工艺条件从供给能量中所需要吸收的能量，称之为有效能量)。

科学理论明确地指出，供给能量只有一部分传递或转化到被加工对象上去，变成为有效能量；另外一部分未被利用到被加工对象上去的能量，称之为损失能量。根据能量守恒定律可得出能量平衡方程式如下：

$$Q_{\text{GQ}} = Q_{\text{yx}} + Q_{\text{SS}}$$

式中： Q_{GQ} ——单位时间内消耗于过程的总能量；

Q_{yx} ——单位时间内消耗于过程的有效能量；

Q_{SS} ——单位时间内损失于过程的损失能量。

当前在节能思路普遍的都是从损失能方面去回收能源，这当然是很重要的。但对供给能量、有效能量方面的潜力却不够重视。作者认为，供给能量、有效能量、损失能量都是可变的，都有潜力可挖。下边就从供给能量、有效能量、损失能量去探讨节能的方向。

二、从供给能量中挖掘能源潜力

充分挖掘工艺过程中的化学能源潜力，是降低供给能量、降低单耗的有效措施之一。含有大量化学能源潜力的典型例子是未经焙烧的硫化物氧化熔炼。该熔炼所需的热量是依靠两个源泉而获得的：焦炭中碳的燃烧和硫化铁的氧化以及下一步的造渣反应。

该熔炼的热平衡方程式为：

$$Q_{\text{GQ}} = CQ_C + MQ_M (\text{千卡/小时})$$

可以求出焦炭耗量为:

$$C = \frac{Q_{GG} - MQ_M}{Q_C} \text{ (公斤/小时)}$$

式中: C和M——同时间内碳量和实际烧掉的M元素量(公斤/小时);

Q_C 和 Q_M ——烧C和M的热效应(千卡/公斤)。

采用热风富氧熔炼可以降低焦炭耗量。过剩空气可以使预热带造成氧化气氛,促使焙烧的氧化反应在这里得到发展。焦炭着火温度为 $550 \sim 800^\circ\text{C}$,大多数硫化物的着火温度比它低,所以在预热带的过剩空气首先燃烧的是硫化物,而不是焦炭。这样,也就提高了化学能源 MQ_M 的析出量。

当鼓风量一定时,由于焦炭的发热量是硫的三倍,故每节省一公斤焦炭可以多脱出3公斤硫,挖掘出6600千卡的化学能源。充分挖掘化学能源的潜力的例子在化工、冶金等行业的生产过程中经常遇到,这是节能的主攻方向之一。

三、从有效能量挖掘能源潜力

在划定的体系内,在确定的工艺条件下,外部对被加工的对象所做的有效功,称之为有效能量,也就是被加工对象从供给能量当中所需要吸收的能量。当工艺条件确定之后,有效能量也就成为定值;当工艺条件改变时,有效能量 Q_{yx} 也随工艺条件而改变。有效能量与工艺条件存在函数关系,有效能量是因变量,工艺条件是自变量,其函数关系可用下式表示:

$$Q_{yx} = F(\text{工艺条件}), \text{也可以写成下式:}$$

$$Q_{yx} = F(P, T, n, \dots)$$

式中: P、T、n……分别为压力、温度、物料的成分……

例如在加热和熔化物料的生产过程中,被加热合格产品所需有效能量与温度的函数关系可以用下式表示:

$Q_{yx} = F(T)$ (如图1所示),加于物体上的有效能量 Q_{yx} 是物体温度的函数。当T为熔化温度 T_2 或气化温度 T_3 ,函数 Q_{yx} 不连续,在这些点上它没有确定的值。函数 $Q_{yx} = F(T)$ 在RB、CE、FS是连续的;也就是在 T_1 和 T_2 以及 T_2 和 T_3 、 $T > T_3$ 时改变温度来改变 Q_{yx} 的数值,即从改变被加热物的初始温度和终点温度来挖掘有效能量的潜力。对有效能量的节约,其热价值大于供给炉子按发热量计算当量燃料的热价值。

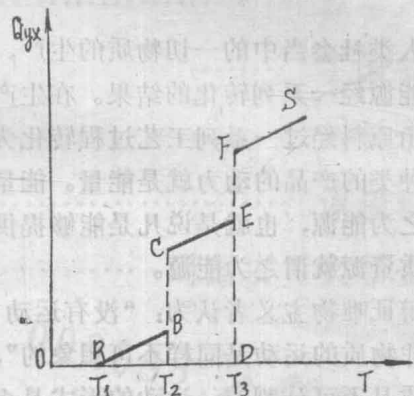


图1

四、从损失能量中挖掘能源潜力

通过能量平衡查出设备及企业的损失能量状况,可研究损失能量利用的方向和措施。在划定的体系内,在确定的工艺条件下,未被利用的能量(指未被利用到被加工对象上去的能量),称之为损失能量。损失能等于余能加上浪费能之和。

余能就是用能设备在满足工艺要求的前提下,必须排出设备之外的能量,称之为余能;由于操作管理不善多排出到设备之外的能量,称之为浪费能。浪费之能可以通过加强企业管理,加强培训,在技术培训的同时更应该加强政治思想教育,提高职工的主人翁责任感;也要建立和完善能源管理制度,尽早制定能源法,强化行政对能源工作的干预。

余能应该通过余能回收设备来回收利用,应该采取分段综合回收措施。以强化主体用能设备为主。回收的余能既要看到回收的数量,更应该看到回收的质量,也就是余能的利用要向提高能质的方向发展。

五、目前回收利用余能和减少损失的途径

1. 用换热器预热空气,使热量又回到炉子热工设备内,就可提高了供热气体的热价值,降低单耗,强化生产,改善燃烧过程,提高燃烧效率。将化学能尽最大的可能转化为高温燃气的内能,提高能源转换效率。扩大以低质燃料代替高质燃料的使用范围。

对于含有可燃性物质的烟气余能利用必须首先进行能量转换,然后才能进行热量交换。这样不但提高了余能利用率,同时也避免了在换热器中的二次燃烧时对换热器具有的破坏性,特别是当产生火焰流股时更是严重的(节能的同时也改善了环境)。在换热器中经济的合理的回收余热值应占出炉烟气所含热量的30~60%。

2. 以余热锅炉回收余热供生产和生活使用,这是回收余热效率最高的方法,也是目前使用得最多、最普遍的方法,但该法对主体热工设备的本身没有直接好处。回收蒸汽一般要求不要在热工设备内取热(热工设备内的热量不属于余热),以免影响炉子热工设备的热效率,影响工艺的正常进行。如果炉内必须设有冷却件时也应该采取可塑料包扎绝热。

3. 利用余热产生高压蒸汽发电或加热热风以及将蒸汽供生产和生活联合使用。这是当前世界上能源综合利用的先进技术,它可以提高能源利用率,强化主体热工设备的生产能力,国外的日本,国内的葫芦岛锌厂等均有实践。

4. 通过冷却件的冷却水热量的回收和

利用。在寿命允许的情况下,应尽量少用或不用冷却件,特别是炉子本体。在精心操作的条件下,水温应该尽量高一些。回收的热水可以引进锅炉,提高锅炉水的初始热焓,提高出力,提高能源利用率。

5. 以余热预热物料和降低炉膛热损失 $Q_{\text{失}}$,可以达到降低被加热物的单耗的目的。

根据炉子热平衡可得:

$$BQ_H = \frac{Q_{\text{效}} + Q_{\text{失}}}{\eta_{\text{燃}}}$$

$$b = \frac{\Delta i + \frac{Q_{\text{失}}}{G}}{\eta_{\text{燃}}} \quad (\text{被加热物的单耗})$$

$$\eta_{\text{燃}} = \frac{Q_H + q_{\text{预}} - q_{\text{废膛}}}{Q_H} \quad (\text{燃料利用系}$$

数)

式中: Q_H —— 燃料的发热量(千卡/公斤或千卡/标米³);

$q_{\text{预}}$ —— 单位燃料所需空气或燃料预热带入的热量(千卡/公斤或千卡/标米³);

$q_{\text{废膛}}$ —— 单位燃料所生成的烟气量从尾部排出时带出热量(千卡/公斤或千卡/标米³);

Δi —— 被加热物的热焓增量(千卡/公斤, $\Delta i = i_{\text{终}} - i_{\text{始}}$);

BQ_H —— 热负荷(千卡/小时);

G —— 单位时间处理的物料量(公斤/小时);

$Q_{\text{效}}$ —— 单位时间的有效热(千卡/小时);

$Q_{\text{失}}$ —— 单位时间炉膛热损失(千卡/小时);

预热物料可以提高被加热物的初始热焓 $i_{\text{始}}$,从公式 $\Delta i = i_{\text{终}} - i_{\text{始}}$ 可以看出被加热物的热焓增量 Δi 降低,降低了被加热物的单耗 b 。

综上所述,若想降低单耗必须从以下几方面采取措施:

(1) 在满足工艺条件的前提下,尽量降

低被加热物料的终点热焓 $t_{\text{终}}$ ，提高初始热焓 $t_{\text{始}}$ ；提高单位时间处理的物料量 G ；提高燃料利用系数 $\eta_{\text{燃}}$ 。燃料利用系数的提高，主要要提高单位燃料所需要空气或燃料的预热温度，降低尾部排烟损失。

(2) 尽量降低炉膛热损失 $Q_{\text{失}}$ ，达到降低被加热物料单耗 b 的目的。

$Q_{\text{失}}$ ——炉膛热损失(包括： $Q_{\text{辐}}$ 、 $Q_{\text{散}}$ 、 $Q_{\text{气}}$ 、 $Q_{\text{不完全}}$ 、 $Q_{\text{蓄}}$ 、 $Q_{\text{冷}}$)(千卡/小时)；

$Q_{\text{辐}}$ ——由炉门等处向周围空间的辐射热损失。

炉门孔应该尽量少一些，要严密一些。国外的炉门有沙封，用来减少逸出气体热损失；不要经常开启炉门，炉膛要维持微正压操作；要避免热负荷过大，因燃料不能充分燃烧，会造成大量的浪费；炉子正压过大，不仅热损失大，而且也烧坏了炉体和钢结构。正压过大，燃烧和排烟也都有困难。当火焰炉的炉门能闭合严密时，热损失不至于超过向炉子供热总量的2%，据美国特林克斯估计平均为1%，但是当炉门闭合不严密时以及当火焰或一股股的热气流扑向炉门时，热损失很容易达到8%，甚至更高一些。

$Q_{\text{散}}$ ——经炉顶、炉墙的热损失。

炉体散热损失一般为5~10%，国外已经减少到2~3%。如果寿命允许，应该采取绝热保温、降低热损失，提高传热能力；如果寿命不允许，应该首先采用风冷，将吸热后的风引入换热器进一步预热(提高入换热器热风初始热焓，提高热风温度)，然后引入炉内，强化生产，提高炉子热效率；也可以

采用水冷，吸热后的水进入锅炉(提高入锅炉水的初始热焓)，提高锅炉出力，提高能源利用率。

$Q_{\text{不完全}}$ ——化学不完全燃烧热损失。

要采用先进的燃烧装置，控制好燃料与空气的比例，保证足够的燃烧温度、燃烧空间、燃烧时间、可燃混合物的浓度等，使燃烧趋近于完全燃烧，提高能量转换效率。如果工艺条件要求不完全燃烧，则 $Q_{\text{不完全}}$ 是客观存在的。许多工业炉内都有一些燃料在尚未烧完时就排出炉外。有时是为了减少工件的氧化，加热者故意使炉内的气氛带有黑烟。含碳的黑烟很难燃烧，碳粒子含碳99%，燃料中含碳量越多越不容易着火和燃烧。含 H_2 较多的燃料燃烧时，易生成烟子(炭黑)。因此，重油及含 H_2 量高的固体燃料，往往生成带黑头的火焰。由于不完全燃烧的客观存在，故必须在热工设备外配有能量转换设备(二次燃烧室)及余热回收设备，达到强化生产，提高能源利用率，改善环境的目的。

$Q_{\text{蓄}}$ ——周期性工作的炉子炉体的蓄热损失。

要组织好生产，减少 $Q_{\text{蓄}}$ ，也可以采用蓄热量小的耐火保温材料，如硅酸铝耐火纤维毡等。

$Q_{\text{冷}}$ ——冷却水热损失。

在寿命允许的条件下，应尽量少用或不用冷却件。根据多年来国内外的实际和理论计算，减少炉子冷却件的吸热面积，是降低热耗以节约燃料的有效措施。

节能新产品 高压离心通风机

北京风机厂制造

用于锻冶炉、工业燃油锅炉的高压强制通风，可广泛用于物料运送。该风机效率比以往产品高21%，噪音较低，性能曲线平坦，高效区宽广，结构简单。

热能的合理利用及节能方向

丁 国 安

能源是人类赖以生产和生活、也是我们实现现代化的物质基础和重要动力。当前由于种种原因,新能源暂时还难以大规模使用,而常规能源又供不应求,从而使能源供应紧张,如不妥善解决,必将影响和制约我国实现四个现代化的速度。

我们固然可以向开发要能源,但我们更应该向节约要能源。节约是解决能源供应不足的最有效、最经济的办法之一。美国电力公司经过研究得出结论:节省一个千瓦的用电要求所花的投资要比增加一个千瓦的生产能力所花的投资更少。根据他们的计算,增添100万千瓦的发电设备的投资需要约15亿美元,而节约相应电力所需的投资却不到它的三分之一。世界各国均对节能给予高度的重视,投入了大量的人力物力,拟订了许多大型的多学科的科研项目和计划,日本从1978年开始的研究开发省能技术的“月光计划”即是其中之一。我国全国范围的节能工作也已经蓬蓬勃勃地开展,至今方兴未艾,成效显著。但是,就目前的节能工作而言,着眼于从节约用热“数量”入手的较多,而着眼于对不同“质”的热量做到合理使用入手的较少。前者固然重要,也大有节约潜力可挖,但后者则更具有指导性意义,而且与前者并不矛盾,二者可以相互补充,相辅相成。本文着重就后者进行探讨,并从理论上指出节能方向。

一、热的品位

长期以来,人们仅仅习惯于用数量多少

来量度热能,通常认为1大卡热量总比2大卡作用小,其实并不尽然。我们谈论热量时,应该注意到它的温度。

能量守恒定律指出:在自然界,能量不能被创造,也不能被消灭,只能从一种形式转换为另一种形式。在生产和生活中,人们总是以热或机械功(或电)的形式使用能量,它们的相互转换是经常需要和经常发生的。除燃料电池外,任何燃料的利用无不凭借热的形式,功热转换在能量利用中具有特别重要的地位。它们可以无条件地相互转换吗?从热力学第二定律知道,热量只有其中的一部分可以转变为机械功,其余部分仍以热的形式传给另一较冷的物体。反之,机械功却可以全部转换为热。显然,机械功和热虽同是能量,却并不等价。机械功是一切形式的能量中最高级的能量之一(此外还有电、水力、风力等,理论上它们彼此可以等价)。因此,工程上常用能量转换为机械功的程度来衡量它的价值、描写它的品位(或质量)。经验证明,即便同是热量,由于温度不同,其可以转换为机械功的部分也多寡不同,从而显示出其可用价值有高低之分。或者说热能有不同的品位,温度高的热能品位高(质量高),温度低的热能品位低(质量低),相对于同一环境温度,前者转换为机械功的部分将多于后者。温度与环境相同的热能其品位(质量)最低。

二、焓——区分热的品位的量度

仅仅用热能的温度还不足以全面地描述

它的品位，只有烟才是热的品位的数值量度。

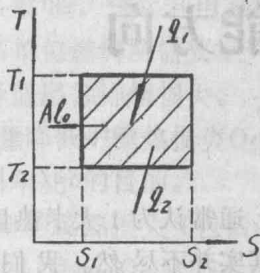


图 1

借助于热力机械，可以将热能转变为机械功。热力机械要连续地工作，其工质必须执行热力循环(正循环)。卡诺循环是最完善的热力循环。图 1 为温熵图上卡诺循环的表示， q_1 是温度为 T_1 的高温热源等温输入的热量， q_2 是温度为 T_2 的低温热源等温吸出的热量，斜线部分的面积对应于输出的理想机械功 $A1_0$ 。热量 q_1 中可以转变机械功的部分，我们称之为该热量的有效部分：

$$A1_0 = (1 - \frac{T_2}{T_1}) q_1$$

从上式不难看出，低温热源(改称冷源更形象些)的温度最低，热量 q_1 的有效部分越大。环境温度是无代价所能获得的冷源的最低温度，通常记以 T_0 。以环境温度为冷源温度的卡诺循环拥有最大的作功能力。我们把热量 q_1 在这种情况下所能转变为机械功的部分称之为该热量的有效能或烟，记为 e_q ：

$$e_q = (1 - \frac{T_0}{T_1}) q_1 \dots \dots \dots (1)$$

烟表示任何载热工质经历任何可逆过程从某一状态变化到环境状态所具有的最大作功能力，或者说烟是工质所载能量中可能有的最大潜功。不发生化学变化的稳定流动系统中的工质，可以从能量平衡方程和熵平衡方程导出其烟(物理烟)的计算公式，当不计动能与位能变化的影响时：

$$e = (i - i_0) - T_0(s - s_0) \dots \dots \dots (2)$$

i 和 s 为工质的焓和熵， T 为温度。脚标

注以“0”者表示环境状态，未注脚标者表示工质的某一状态。

引入烟的概念后，对于能量的可用价值立即一目了然。烟值大的热量其可供转变的部分大，理想作功能力强；反之，其可供转变的部分小，理想作功能力差。烟确是热量品位或质量高低的恰当量度。烟(Exergy)这个词是1958年由法国科学家Z.Rant首先提出来的，借助于烟计算可以将热工过程中有效能利用情况用数字表示出来，故推动了节能本质的研究。

热量 q_1 及它的温度 T_1 和环境温度 T_0 决定了热烟 e_q 的大小，环境温度越低，其值越大。在相同条件下，烟 e_q 是热源温度 T_1 的单值函数，温度更高的热源具有更大的烟值，从烟值相等(理想作功能力相等)的观点出发，单位数量的高温(T_1)热量 q_1 将相当于数倍的低温(T_2)热量 q_2 。我们可以用一个当量系数 ψ 来表示这个倍数：

$$\psi = \frac{q_2}{q_1} = \frac{1 - T_0/T_1}{1 - T_0/T_2} = \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_2 - T_0}$$

(T_0 为环境温度)

因为 $T_1 > T_2$ ，所以 $\frac{T_0}{T_1} < \frac{T_0}{T_2}$ ，因此 ψ 必

大于 1。例如 1 大卡 1500℃ 的热量其作功能力相当于 3.15 大卡 100℃ 的热量，或者说前者的作功能力将比后者大 3.15 倍 ($\psi = 3.15$)。可见，笼统地说 1 大卡热量总比 2 大卡作用小是不严密的，1 大卡 1500℃ 的热量不是比 3 大卡 100℃ 的热量作用还大吗！这是一个在能源的使用和节约中十分需要人们高度重视的问题。

烟值表示了热量在理想情况下具有的作功能力。当把作功能力变为实际作的功时，随变换方式、或者说随热量使用方式的不同，存在着不同程度的作功能力的损失，也就是烟损失。而当使用不恰当时，则更会招致烟的很大损失，使作功能力得不到充分的发挥，能量利用的完善程度下降，造成能源的

浪费。

三、能量损失的渠道—

节能方向分析

由于篇幅的限制,这里所讨论的损失渠道和节能方向仅从狭义的局限于热力学的角度出发,而避开从更广泛的含义上进行探讨。后者往往包括改革工业结构和产品结构,优先发展耗能少而国民经济产值大的工业和产品,调整好轻重工业关系,降低单位产值能耗以及加强能源管理,千方百计降低能源在加工、转换、贮运、分配过程中的损耗和能源生产部门的自身消耗(目前这种损耗和自耗是惊人的,各占全国能源总产量的9.4%和8.8%)等等,这方面的内容已有不少文章作过详尽的讨论。

狭义的能量损失大致可分为两大类,一为“量”方面的损失即数量方面的减少,一为“质”方面的损失,即品位(质量)的下降。

第一类损失实际上就是热量的非计划流失,其渠道和方式是多种多样的。如燃烧过程中的高温排烟,各种工艺过程中的释放热,各种高温产品的显热以及工业中排出的可燃废气、废液、废料等等,它们因不加利用地排入环境而流失,这些流失的热量统称余热(有些场合不加分析地称之为废热是不妥当的,它们未必废)。减少这一类损失的根本途径是调整改革工艺、改进操作运行的方式方法及更新陈旧低效的设备,以减少余热数量和千方百计地把流失热量又收回来加以利用。前者应该优先于后者,以防患于未然。

第二类损失则是热量品位的无代价(未做功)降低,或者说表现为焓损失。它由任何实际过程都偏离理想过程所引起,贯穿于热量的产生和使用中。组成循环的可逆过程只存在于理想境界中。任何实际过程都是不可逆过程,都存在焓损失,不可逆程度愈

大,损失愈大。

产生热量的最常规办法是燃烧石化燃料(此处不讨论核能、太阳能、地热能等新能源),燃烧使燃料的化学能转换为燃烧产物的热能。燃烧所发生的是氧化反应。当燃料仅与理论需氧量反应时,燃烧产物的温度最高;当利用空气燃烧时,由于空气中不能参加反应的非氧气体占76%以上,故燃烧过程还伴有热传递过程,燃烧产物的温度将有降低。燃烧和热传递两个过程都不可逆,都存在焓损失。

理想的传热过程(吸热或放热)发生于无温差条件下,可逆。受换热器表面积大小及一定的传热速度要求的限制,实际传热存在温差,是过程不可逆的根本原因,且温差越大,不可逆程度越大,焓损失越大。

实际工质(流体)具有粘性,存在内部阻力。实际的膨胀和压缩过程不可能是等熵过程。所以,内部阻力和流体与边界的摩擦作用使功变为热,造成焓损失。

努力减少过程的不可逆程度,使实际循环尽可能地逼近卡诺循环或逆卡诺循环,把第二类损失减至最少,是当前节约能源中值得强调的重要方向。

四、热平衡与焓平衡、热效率与焓效率

对于一个系统(例如一个企业或一台设备),能量应该保持数量上的收支平衡,或称热平衡(能量平衡)。其一般表达式为:

$$\Sigma E_{\text{入}} = \Sigma H_{\text{出}}$$

$H_{\text{入}}$ 表示进入系统的各项能量, $H_{\text{出}}$ 表示离开系统的各项能量,各自包括各股工质流的内能、热能、机械能等。系统热平衡帮助我们全面了解系统内能量的转换和传递过程,从中找出哪些利用合理?哪些存在浪费?耗能的重点部位在哪?回收利用的潜力何在?应该采取什么措施等等,特别是借助

于企业热平衡工作(企业热平衡工作如何搞,请参阅有关专著),可以得到企业的实有热能利用效率、余热率、可以回收余热率、可回收余热利用率等综合数据,还可绘制出企业的热流图(能流图),以使企业对能源的收支做到心中有数,从而用它指导和推动减少第一类损失的节能工作。

通常所称的热效率,表示系统对热能数量的利用程度,可用下式计算:

$$\eta_h = \frac{\text{得到利用的热量}}{\text{进入系统的总热量}} \\ = 1 - \frac{\text{系统总损失的热量}}{\text{进入系统的总热量}} \dots\dots(3)$$

各类热工设备的热效率计算公式已为大家所熟知,无需赘述。

一个系统在热和工质的作功能力方面同样也应该保持收支平衡,即焓平衡或有效能平衡。

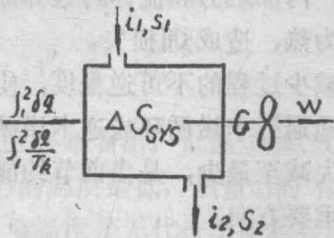


图 2

图 2 示出某一开口系统。我们用 i_1, s_1 及 i_2, s_2 表示进入和离开系统时工质的焓及熵, w 表示系统所作的功, $\int_1^2 \delta q$ 及 $\int_1^2 \frac{\delta q}{T_h}$ 则表示 1、2 两状态间温度为 T_h 的热源加入该系统的热量及放出热量时热源的熵变, ΔS_{sys} 则为系统内由于过程不可逆而产生的熵增。取环境温度为 T_0 , 由(2)式和(1)式可计算工质进入和离开系统时的焓值 c_1, c_2 及 $\int_1^2 \delta q$ 的焓值 e_q 。熵增 ΔS_{sys} 所引起的焓损失(系统内部因过程不可逆引起的焓损失)为:

$$d = T_0 \Delta S_{sys} \dots\dots\dots(4)$$

当工质离开系统时,若其温度高于环境,则仍有理想作功能力,具有较大的焓值,相对指定的系统来说亦是损失,称为外部焓损失。

离开一个系统的焓加上该系统对外输出的焓(机械功)和系统的内部焓损失应该等于进入系统的焓,如果忽略工质进出系统的动能和位能变化,可建立焓平衡方程如下:

$$e_q + e_1 = W + e_2 + d \dots\dots\dots(5)$$

对于更一般系统的更一般形式可表达为:

$$\Sigma E_m \text{入} + \Sigma E_q \text{入} + \Sigma A1 \text{入} = \Sigma E_m \text{出} + \Sigma E_q \text{出} + \Sigma A1 \text{出} + \Sigma D$$

E_m, E_q 表示物质流和热量的焓值, $A1$ 表示机械功, D 表示系统内因过程不可逆性引起的焓损失。注脚“入”“出”表示入口和出口状态。

焓效率表示系统对理想作功能力的利用程度,可记为:

$$\eta_o = \frac{\text{得到利用的焓}}{\text{进入系统的焓}} \\ = 1 - \frac{\text{内外部焓损失}}{\text{进入系统的焓}}$$

相对(5)式,

$$\eta_o = \frac{W}{e_q + e_1} = 1 - \frac{e_o + d}{e_q + e_1}$$

常用热工设备的焓效率计算公式摘录于附表,供参改。

通过焓平衡,我们可以剖析能量作功能力的利用情况,通盘掌握能量的使用价值。与热平衡相似,亦可借助于焓平衡绘制系统焓流图,焓流图形象地反映了能量作功能力的分配(损失也可视为一种分配)亦是能源研究的良好工具,附图收录某空气液化装置焓流图,供参考。

热平衡和焓平衡从不同角度对能量利用进行分析,热效率和焓效率分别从量和质的方面反映了能量利用的完善程度。前者立足于热力学第一定律,体现了能量守

恒原则；后者还从热力学第二定律出发，反映了工程实际中的过程方向性问题。由于实际过程不可逆，总有一部分烟损失为无效能，所以烟是不守恒的。实践证明，单纯考虑能源“量”的节约，往往十分片面。如果把环境也包括在分析系统内，则能量在使用前后，其数量并不变，但是其“质”量却在不断地降低，可用价值越来越小。热平衡和热效率有一定局限，它把不同品位的能量等量齐观，揭示不出这种变化。而烟平衡和烟效率却是可以胜任的良好工具。从工程需要出发，人们固然应该关心“量”的变化，但是尤其应该关心“质”的变化。如果我们对火力发电厂用能进行考察，着眼于量的分析，仅仅会得出节能的重点应该放在循环冷却水的回收利用上的结论，因为在热平衡中，它占热损失的80%以上。但是如果再着眼于“质”的分析，通过烟平衡我们会发现，烟损失主要存在于锅炉炉膛内的燃烧过程中，石化燃料可产生一、二千度的高温位热能，而水蒸汽仅三、五百度，传热温差极大，过程不可逆度极大，有效能大量损失，一般烟效率在30%以下，此一环节自然更应该是节能研究的重点（当然，与循环冷却水回收利用毫无冲突，两者可以相辅相成）。正因为烟平衡、烟效率有利于指出节能的本质，所以随着认识的深化，愈来愈受到工程界的重视。

热平衡、烟平衡并不矛盾，后者是前者的发展；热效率、烟效率反映了同一件事物的两个方面，彼此存在着一定的相依关系。综合利用这些手段，相互补充，将把能源研究工作推向更深更广的程度。

物流和能流的烟值计算公式可根据它们的热力学性质推得，(2)式和(3)式可用于计算热量和稳定流动中工质的烟值；电能和机械能的烟值就是本身数值；石化燃料的烟值通常采用由Z·Rant提出的近似公式计算：

对固体燃料： $e_{\text{燃}} = Q_{\text{低}} + rG_{\text{w}}$ ；

液体燃料： $e_{\text{燃}} = 0.975Q_{\text{高}}$ ；

气体燃料： $e_{\text{燃}} = 0.950Q_{\text{高}}$ 。

式中 $Q_{\text{低}}$ 、 $Q_{\text{高}}$ 分别为燃料的低、高位热值， r 为水的蒸发潜热， G_{w} 为燃料中水份的重量百分数。

五、热能要合理使用，以尽其能

烟分析显示出，使用能量的过程，实际上就是能量质量降低的过程（有时伴有能量形式的转换），所谓能量质量降低就是指作功能力减少或烟值降低。一旦能量的质量降低到相对环境状态完全没有作功能力，即使其数量仍与降低前相同，在不付代价的前提下，就一点用处也没有了。合理使用能量，就是不能让它无谓的降质，要求在降质的过程中，保持尽可能高的烟效率，使其作功能力为某种目的发挥作用。

要提高烟效率，就必须减少过程的不可逆程度。为此，除了必须千方百计提高各类机械和设备等用能装置的完善性，以减少摩擦引起的热质贬值外（这显然是增加烟效率的途径之一，也比较为人们所注意），还必须根据用能目的和要求使用适当的用能流程，使之优化以趋于合理。

生产和生活中常常要求不同温度的热量，实际生活中也常常存在不同温度的可供利用的热量（如各种余热），如果从高温热源处取得需要的低温热量，高品位热当低品位热使用，由于有温差传热过程中存在很大的不可逆度，必造成很大的烟损失，此时，尽管热的数量无变化，但由于高温热量被贬值，大量作功能力丧失，能量的损失已经发生了。例如：生产5公斤/厘米²的饱和水蒸汽(151℃)，用2000℃的高温燃烧产物比用600℃的中温烟气烟损失大1.6倍，其不合理性可见一斑。

热量按烟值分等分级使用，保持能质上供需一致，这是能量合理使用的根本原则，

应是节约能源的重要措施。

理论上藉理想变(换)热器从不同温度的热源处获得需要温度的热量,或使某固定温度的热源适合任意温度的要求,将可完全避免烟损失,是合理用能的最佳流程。变(换)热器是热泵和热机的组合体,分降温变(换)热器和升温变(换)热器,前者使高温热源无烟损地降温,后者使低温热源无烟损地升温。图3为降温变(换)热器。温度为 T_1 的热量 q_1 在 T_1 、 T_2 (被加热物体的温度)间执行卡诺循环,输出机械功

$$A1_0 = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) q_1$$

降温后的剩余热量 $q_2' = q_1 - A1_0$ (温度为 T_2)等温传给被加热物体。机械功 $A1_0$ 被用于驱动热泵,将环境温度 T_0 下的热量,增质为被

加热物体所需温度 T_2 下的热量, $q_2'' = A1_0 + q_0$ 。被加热物体得到的热量是 $q_2' + q_2'' = q_1 + q_0$,虽然被加热物体得到的是比烟值较热

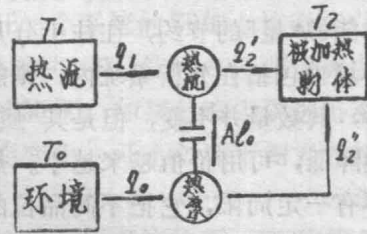


图3

源(T_1)低的热量,但获得的热量的数量增加了 q_0 ,被加热物体得到的总热量的总烟值与热源 q_1 的总烟值相等,由于是可逆过程,作功能力没有损失。亦可用数学证明如下:

被加热物体得到的烟值为

$$\begin{aligned} e_{q_2'} + q_2'' &= \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right) (q_2' + q_2'') \\ &= \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right) \left(q_1 - A1_0 + \frac{T_2}{T_2 - T_0} A1_0\right) \\ &= \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right) \left(q_1 + \frac{T_0}{T_2 - T_0} \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1} q_1\right) \\ &= q_1 \left[1 + \frac{T_0(T_1 - T_2)}{T_1(T_2 - T_0)} - \frac{T_0}{T_2} \right. \\ &\quad \left. - \frac{T_0^2(T_1 - T_2)}{T_1 T_2(T_2 - T_0)} \right] \\ &= q_1 \left[1 + \frac{T_0 T_2(T_1 - T_2) - T_0 T_1(T_1 - T_2) - T_0^2(T_1 - T_2)}{T_1 T_2(T_2 - T_0)} \right] \\ &= q_1 \left[1 + \frac{T_0 T_1 T_2 - T_0 T_2^2 - T_0 T_1 T_2 + T_0^2 T_1 - T_0^2 T_1 + T_0^2 T_2}{T_1 T_2(T_2 - T_0)} \right] \\ &= q_1 \left[1 + \frac{T_0^2 T_2 - T_0 T_2^2}{T_1 T_2(T_2 - T_0)} \right] \\ &= q_1 \left[1 - \frac{T_0 T_2(T_2 - T_0)}{T_1 T_2(T_2 - T_0)} \right] \\ &= q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right) \\ &= e_{q_1} \end{aligned}$$

图4为升温变(换)热器。由于热源的温

度比被加热物体所需温度更低,此时可在 T_1 、

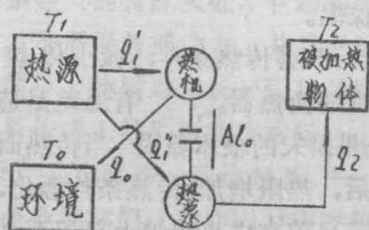


图 1

T_0 (环境)间进行卡诺循环, 输出机械功

$$A1_0 = \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) q_1',$$

而剩余热量

$$q_0 = \frac{T_0}{T_1} q_1',$$

降质后被释放给环境。功 $A1_0$ 用于驱动热泵将 T_1 温度下的热量 q_1'' 提高品位, 满足用热要求, 等温传给被加热物体, 被加热物体得到的热量为 $q_2 = q_1'' + q_1' - q_0$ 。升温变(换)热器以牺牲一部分中质热量为代价, 实现了热量从低温传向高温的过程, 获得了所需温度的高品位热量。因过程可逆, 仍无熵损失, 物体得到的总熵值仍与热源($q_1' + q_2''$) 被加热总熵值相等。

实际变(换)热器, 由于热机和热泵不可能真正实现卡诺循环和逆卡诺循环, 仍然存在熵损失, 但可努力减少, 能量的利用方式逼近于最合理。如果以回收的常规条件下较难利用的中、低温余热作为升温变(换)热器中的热源或降温变(换)热器中的吸热源, 分别着眼于“量”和“质”的节能就相互补充、相辅相成。

变(换)热器方式供热, 在设备和技术方面还存在某些实际困难, 还有许多科技问题需要解决, 但无疑是个方向, 已引起人们的注意, 国内外都在进行广泛的实用技术研究。据报导, 1975年美国西屋变压器厂就投运了一台440千瓦的升温变(换)热器, 以30℃的电弧焊机的冷却水为热源, 可供93℃热量; 美国西屋电力公司也研制了类似的升温变(换)热器, 可提供110℃的热量。

热泵供热也是较好的用能方式, 值得推广。一千瓦机械功(或电)直接转变为热只能提供860大卡。如将一千瓦机械功(或电)供给热泵, 可提供的热量则为 $\varphi \times 860$ 大卡, φ 为热泵的供热系数, 理论上

$$\varphi = \frac{A1_0 + q_0}{A1_0} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} > 1,$$

T_2 为热泵供热温度, T_1 为热泵吸热温度, q_0 为温度为 T_1 的热量(往往是环境或回收的低温余热)。可见, 同样一千瓦机械功, 热泵供热将比直接供热提供更多需要的热量, 由于热泵使一部分低品位热提高了品位, 所以系统熵效率较高。

热泵供热在如下三种情况下尤显其优越性:

(1) 在石油、轻化等企业的热电联合生产中, 为了提高热效率, 往往提高蒸汽初参数, 追求输出的高功热比, 从而使企业中功多于热, 功热生产不平衡。此时如将富裕的功作为热泵动力, 向企业供热, 效率最高。

(2) 在企业热平衡中出现低温热大大富裕, 而中温热却缺乏时, 可用热泵使低温热增质为中温热, 平衡热负荷。

(3) 用热泵供暖取代直接燃烧燃料取暖, 由于避免大温差传热损失, 所以可收节能效果。热泵供暖特别适用于有大量低温热源回收的场合。

其实, 热泵供热仍属于变(换)热器供热范畴。推广使用热泵的当务之急是努力提高热泵本身的效率。

除了加速研究使用变(换)热器和推广使用热泵外, 当前着眼于改善用能方式, 使尽量趋于合理的其它措施尚有:

(1) 改善燃烧和合理选用燃料。在燃料电池尚未付之使用以前, 燃烧还是燃料释放化学能的主要方式。我们必须用供富氧空气的办法控制燃烧过程的过量空气, 并使之预热, 使燃烧产物的理论燃烧温度尽可能提高。不同品种和质量的石化燃料所含化学

能不一样，发热值不一样，燃烧后产物可能达到的理论燃烧温度将不同，因而焓值也不一样。故对于需要的热源温度，要用合理选择燃料而不用加大过量空气的办法获得相应温度的燃烧产物，以减少热传递焓损失。

(2)综合利用蒸汽。用热机(如汽轮机)代替供热中的减温减压装置，使减温减压过程中的焓降转变为机械功(或电)。

(3)重视热力设备及热力管网的绝热保温。从式(2)可知，热量的温度越高，其焓值越高，工质温度的降低意味着其做功能力的降低，有效能被损失，我们必须高度重视

绝热保温。

(4)改善传热条件，减少传热温差，选用优良的换热器。有温差是造成热传递过程焓损失的根本原因。当传热面被污染或结垢后，热阻增加，传热条件恶化，传热温差扩大。当前在中小锅炉上普遍存在这个问题，必须加紧解决(如改善水质，定期清洗等等)。换热器的形式很多，在使用中应该根据压降小、传热系数大、效率高、净换热系数大、维修管理方便等要求选用优良的换热器。热管是近十几年来发展的一种新型换热装置，具有传热温差小、因而焓损小、热回收率

附表：若干热工设备焓效率

热工设备	进入系统的焓	得到利用的焓	焓效率	备 注
闭口蒸汽动力循环	$(1-\frac{T_u}{T_m})\dot{q}$	$\dot{i}_t$	$\frac{\dot{i}_t}{(1-\frac{T_u}{T_m})\dot{q}}$	蒸汽冷凝温度 $T_o=T_u$, $\dot{i}_t$ —功率, T_m —平均加热温度, $\dot{q}$ —加热率
蒸汽压缩变热器	$\dot{i}_t$	$(1-\frac{T_u}{T_R})\dot{q}$	$\frac{(1-\frac{T_u}{T_R})\dot{q}}{\dot{i}_t}$	吸热温度 $T_o=T_u$, 放热温度 $T=T_R$
蒸汽压缩制冷机	$\dot{i}_t$	$(1-\frac{T_u}{T_o})\dot{q}_o$	$\frac{(1-\frac{T_u}{T_o})\dot{q}_o}{\dot{i}_t}$	放热温度 $T=T_u$, T_o —制冷温度 $\dot{q}_o$ —制冷率
吸收式制冷机	$(1-\frac{T_u}{T_a})\dot{q}_a$	$(1-\frac{T_u}{T_o})\dot{q}_o$	$\frac{(1-\frac{T_u}{T_o})\dot{q}_o}{(1-\frac{T_u}{T_a})\dot{q}_a}$	放热温度 $T=T_u$, T_a —加热温度, $\dot{q}_a$ —加热率
涡轮	$m(e_1-e_2)$	$\dot{i}_t$	$\frac{\dot{i}_t}{m(e_1-e_2)}$	m —流率, e_1, e_2 —工质入口、出口焓
压气机	$\dot{i}_t$	$m(e_2-e_1)$	$\frac{m(e_2-e_1)}{\dot{i}_t}$	e_1, e_2 —气体入口、出口焓
燃烧室	$m_f e_f$	$m_p e_p - m_a e_a$	$\frac{m_p e_p - m_a e_a}{m_f e_f}$	f, a, p —燃料、空气、燃气量
表面式换热器	$m_1(e_1^+ - e_1^-) + N_1^+ + N_2^+$	$m_2(e_2^- - e_2^+)$	$\frac{m_2(e_2^- - e_2^+)}{m_1(e_1^+ + e_1^-) + N_1^+ + N_2^+}$	+、-——流入、流出的量, N —功率 1、2——热、冷流体的量

高、传热系数大的特殊长处，它结构简单，形式多样，不需要外部动力，并且无运动部件，维修简单，使用寿命长，正日益广泛地被作为热量传递工具采用在许多场合。

(5)推广热电联产、冷热量联产。许多工厂、企业和部门，往往同时需要热量和电力或冷量和热量。对它们实行联合生产，可以对能量进行综合利用。热电联产时，高温热能生产电力后仍具有一定质量，被用于供热，符合能量梯级使用原则。冷热量联合生产时，从冷源处取出的热量经增质后，成为所需的热源，减少了同环境的热交换。热电联产、冷热量联产，均起到了节能的作用。

总之，只要我们不仅重视和注意研究热能数量的节约，而且重视和注意研究热能焓值的节约，就不难发现和找出更多的节能途径。

六. 结语

(1)能量不仅有数量多少之分，而且有品位高低之别，在一切形式的能量中，机械能的品位最高，温度与环境相同的热能品位最低。其他条件相同时，温度越高的热能品位越高。

(2)衡量能源质量高低的标准是其理想

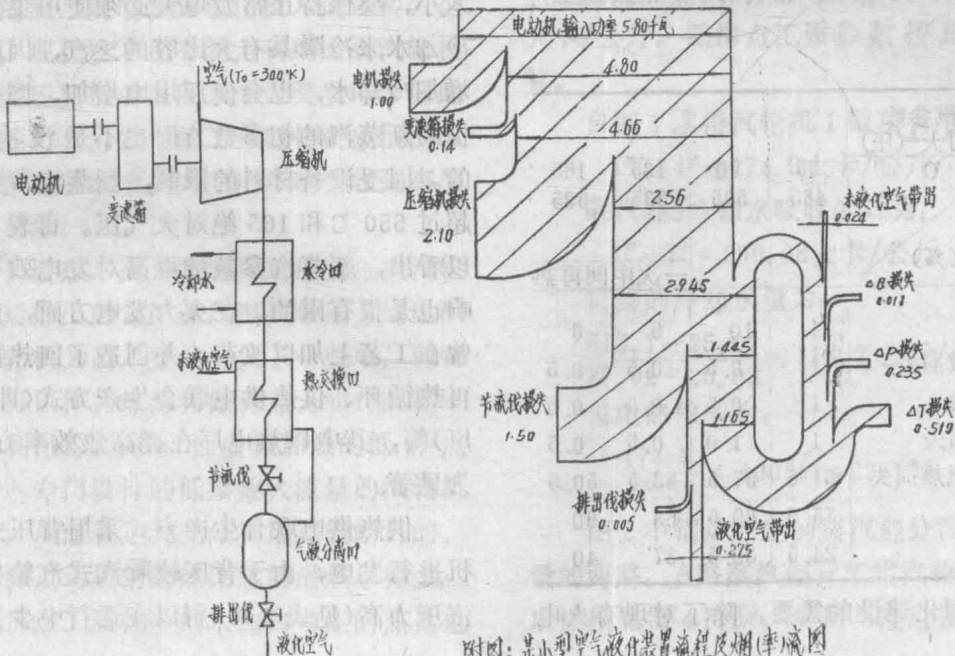
作功能力，焓是能源质量的数值表示。

(3)热平衡、焓平衡都是能量分析的手段；热效率、焓效率都反映了能量利用的完善程度。综合利用这些手段，相互补充，将把能源研究工作推向更深更广的程度。

(4)对使用能源的流程要进行优化。节约能源，既要注意用能数量上的节约，也要注意防止能量品位的无代价降低。使用能源时要温度对口，梯级使用，或者说按焓值分等分级使用，做到质量上供需一致，这是能量合理利用的根本原则。

(5)通过变(换)热器将不同温度的热量变为需要温度的热源是最佳的供热流程。变(换)热器是热泵和热机的组合体，有升温变(换)热器和降温变(换)热器二种。理想变(换)热器没有焓损失。实际变(换)热器存在焓损失，但可努力减少，仍不失为供热最佳流程，国内外都在进行实用技术的研究，国外已有试制装置问世。

(6)着眼于能质观点的节能措施很多，不限于文中列举的数种，有些尚兼收量、质两方面的节约效果。随着认识的深化，着眼于能质的节能研究正日益广泛地开展，可以预料，节约能源的工作将向纵深发展。



附图：某小型空气液化装置流程及焓(率)流图

火力发电厂节能初探

刘 长 永

电力工业是国家的基础工业。在现代化大规模的电力工业中,火力发电占最大比重,在我国,火力发电更占全部电力工业的75%以上。在当前世界能源日趋紧张的形势下,如何改造现有火力发电厂和寻求新的设计思路来建设新的火力发电厂以达到节能的目的,具有头等重要意义。

据有关资料介绍,1979年我国用于发电的一次能源约占总消耗量的23.7%,如果效率从一次能源到最终用户提高1%,则每年即可节约30多亿度电。一座20万千瓦的火力发电厂,一天就要烧掉2000多吨煤,而其中60%以上是作为各项热损失在发电过程中白白浪费了(见表1)。为了造成必要的真空度,在汽轮机的出口处还需要大约70倍率蒸汽量的冷却水,因此扩建或新建火力发电厂对自然资源和交通运输无疑会造成过重的负担和浪费。

表 1

新蒸汽参数 (绝对大气压) ℃	35	90	135	165
	435	535	535	535
比较项目(%)	一次中间再热			
锅炉损失	11	10	9	8
汽轮机机械损失	1	0.5	0.5	0.5
发电机损失	1	0.5	0.5	0.5
管道系统损失	1	1.0	0.5	0.5
汽轮机排汽热损失	61.5	57.5	52.5	50.5
总损失	75.5	69.5	63	60
发电效率	24.5	30.5	37	40

随着四化建设的需要,除了对现有火电

站进行改造外,还将新建许多火电站。可以说,从火力发电问世以来,怎样提高火力发电效率以更有效地利用燃料,就已成为各国科学家、工艺师们的研究课题。通过他们不懈的努力,如对目前的火力发电再在传统工艺的基础上进行改造,确实已接近“吃光榨尽”没有太大潜力可挖的地步了。目前的火力发电,大多采用凝汽式汽轮机。其排汽真空度已达到0.03绝对大气压;排汽温度仅为30℃左右,已近似于环境温度,而且真空度越高,排汽温度就越低,在生产过程中就越难维持正常,而为保持正常生产所需要的设备就越复杂,也势必增加发电成本。况且真空度越高,排汽的比容越大,使用的汽轮机叶片、转子尺寸过大,造成设计困难、材料浪费、运转不易等一系列问题。又由于高真空度下排汽温度与环境温度下的冷却水温差太小,要保持正常发电就必须使用更大量的冷却水来冷凝具有大比容的乏汽,因而大量增加冷却水,也会使厂用电增加。同样,在提高新蒸汽的初参数方面也不是没有限度的。因受设备材料的限制,新蒸汽参数很少超过550℃和165绝对大气压。自表1中可以看出,新蒸汽参数的提高对发电效率的影响也是很有限的。在火力发电方面,前人也曾在工艺上加以改革,并创造了回热循环、再热循环、供热供电联合生产方式(即热电厂)等,其中以热电厂在提高热效率方面最为显著。

供热供电联合生产方式采用背压式汽轮机进行发电,由于背压较凝汽式汽轮机的排汽压力高(见表2),所以在运行中少发一些