

冷热联供系统的能耗估算（二）注册建筑师考试 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/586/2021\\_2022\\_\\_E5\\_86\\_B7\\_E7\\_83\\_AD\\_E8\\_81\\_94\\_E4\\_c57\\_586511.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/586/2021_2022__E5_86_B7_E7_83_AD_E8_81_94_E4_c57_586511.htm) 把建筑师站点加入收藏夹

四．联产供热能耗 在作热电联产节能计算时，一般都是与被替代的凝汽式电厂加被替代的锅炉房电热分产作比较的。但在考虑热电分摊时，目前普遍采用的热量法把热电联产的好处全部归电。联产供热能耗等于供热量除以热电厂锅炉效率。联产供热的初次能耗率将永远大于1。如果锅炉效率等于0.8，PER就等于1.25，而不管汽轮机型式、进汽参数、供热参数如何。若以这种方法计算纷繁多样的冷热联供系统能耗，并用来进行各方案的比较，显然难以得到可信的结果。汽轮机热电厂利用做功后的蒸汽供热，大大提高了电厂热能利用率。但由于只有高于环境温度的热能才可以利用，因而供热蒸汽压力总是高于凝汽器压力。从而导致消耗同样燃料热量所发电量要比被替代的凝汽式发电厂少。把所减少的发电量，折合成初次燃料热，即应为联产供热所消耗的能量。笔者下面将用此法（简称发电量减少法）计算汽轮机供热能耗。显然，供热量一定时，发电量越高，供热能耗越小。但发电和供热的比例并不能任意设定。它与汽轮机的新汽初参数、供热排汽压力和设备构造的完善程度等多个因素有关。文献[3]给出利用表征汽轮发电机组耗热量 $Q$ 、发电量 $W_h$ 和供热量 $Q_h$ 之间关系的热力特性方程估算能耗的方法。本文为简便起见，利用文献[4]给出的背压汽轮发电机组的供热电能生产率曲线（图1）来计算。供热电能生产率（简称电能生产率）是指在热电联产过程中，供热抽汽每向用户供应1GJ热能

时所发出的电能，单位为“kWh/GJ”。它是表征热电厂在生产电能方面完善程度的主要指标之一。另一个衡量热电厂生产过程经济效益的重要指标是热能利用系数K。它是指热电厂有效利用的热量（包括发电和对外供热）与同时期内所消耗的总热量之比。当已知  $\eta$ 、K和 $Q_h$ 时，就可以利用以下几个简单的式子计算联产供热的初次能耗率  $PER_h$ ：

$PER_h = \frac{W - W_h}{Q} = \frac{\eta Q_h - \eta_p Q_h}{\eta Q_h + \eta_c Q_h + \eta_d Q_h} = \frac{\eta(1 - \eta_p)}{\eta(1 - \eta_p) + \eta_c + \eta_d}$  (11) 热电联产发电量  $W_h = \eta Q_h$  MW  
 (12) 供热汽轮发电机组的耗热量  $Q = \frac{Q_h}{K} = \frac{Q_h}{\eta}$  GJ/h  
 (13) Q相同时凝汽式发电厂发电量  $W = \eta Q$  MW  
 (14) 热电联产供热的初次能耗量  $PE_h = (W - W_h) / Q$  GJ/h  
 (15) 热电联产供热的初次能耗率  $PER_h = PE_h / Q_h$   
 (16) 将式(12)~(15)代入(16)得： $PER_h = \frac{\eta(1 - \eta_p)}{\eta(1 - \eta_p) + \eta_c + \eta_d}$   
 (17) 式中  $\eta$ 、 $\eta_p$  热电厂的锅炉效率、反映主蒸汽管散热损失的管道效率  $\eta_c$ 、 $\eta_d$  对比凝汽式电厂的锅炉效率、反映主蒸汽管散热损失的管道效率  $\eta$  替代凝汽式发电厂的总效率 根据式(17)作出曲线图，如图2。由公式和图可见，背压汽轮机组供热的初次能耗率由热电厂的热能利用率、汽轮机组的供热电能生产率和替代凝汽式电厂的总效率决定。若K和  $\eta$  一定，则  $\eta_p$  越高，或者说汽轮机的进汽参数越高和出汽压力越低， $PER_h$  越低。若  $\eta$  一定，则K越高、 $\eta_p$  越低， $PER_h$  越低。由式(17)还可得到利用背压汽轮机排汽热制冷主机的初次能耗率

$PER_r = \left( \frac{1.0036}{b} \right) \frac{p}{(bc - pcK) - .0036 / pl}$ 
  
 ) / COP GJ/GJ (18) 利用燃气轮机或内燃引擎余热供热供冷，不会影响发电量却提高了热能利用率，按本文方法则视为废热利用。但对于发电功率小的机器，发电效率可能低于替代凝汽式电厂。故这种情况将另作考虑，不在本文讨论。

五．供暖与供冷能耗 在进行冷热联供系统能耗估算时，由于采暖与供冷负荷一般并不同时出现，且它们所消耗能的品位不同，比较对象不同，可以按上述方法分别计算供热、供冷初次能耗率以后，再按下式得出冷热联供系统的全年能耗  $Q$ 。

$Q = Q_c H_c PER_c + Q_h H_h PER_h$  (19) 式中  $Q_c$ 、 $Q_h$  分别为供冷量和供热量 GJ/h  $H_c$ 、 $H_h$  分别为供冷和供热当量满负荷小时数 h/年 对于在不同系统方案间进行能耗比较分析来说，仍可主要看它的供冷、供暖初次能耗率。图3、图4给出在替代凝汽电厂总效率35%，热电厂热能利用率80%条件下，计算得到的各种系统供冷、供暖初次能耗率柱形图。由图3可见，热驱动制冷系统初次能耗率随制冷机COP的降低而升高。吸收式系统初次能耗率由低到高顺序为三效、双效、单效、两级。这在利用直燃或锅炉热时是毫无疑问的，就是在热电联产的情况下，虽然三效、双效吸收式制冷需要汽机排汽压力相对较高，汽轮发电机组的电效率降低，供热PER增大，但供冷PER随COP的变化趋势依旧。吸收式供冷PER还随汽轮机进汽压力降低而增大，这一影响在制冷机COP低时越发明显。联产热制冷与直燃或锅炉热制冷相比

总是省能的；而且热制冷机COP越低，这种差别也越大。两级吸收式制冷系统尽管用与供暖相同的85℃热水驱动，但因COP太低，并从而辅助电耗也高，以至制冷初次能耗率很高。即使利用废热或太阳能、地热等可再生能源，由于通常需要辅助加热，是否节能还要看“免费”热所占份额。例如，欲使制冷PER小于1，废热利用的两级机“免费”热所占份额须大于三分之二。因此，为了利用“免费”热，应当研究开发再生温度低而热力系数高的热驱动制冷系统。此外，在系统设计时还应采取诸如蓄热等措施，以减少辅助加热，提高废热利用率。当与电制冷相比时，须确定一些有影响的条件，并考虑COP的不同。家用小型电空调器，COP为2~3制冷初次能耗率较高；大型电动离心式制冷机COP=5~6，与高参数汽轮机联产热驱动三效、双效吸收式制冷之间能耗相近，是应当根据具体情况仔细计算比较的。由图4可见，用锅炉或直燃热供暖，即使按90%效率计算，也是初次能耗率最高。与之相比，利用各种热泵和热电联产热供暖总是省能的。小型电动热泵，COP为3~4，供暖初次能耗率较高。中高进汽压力较好的背压汽轮机供暖初次能耗率最低。需要说明的是：本文联产热供暖按85℃热水计算能耗，而热泵供暖大约是50℃热水。如果联产热供暖按与热泵相同的温度计算，则供暖初次能耗率将会更低。大型电动热泵，COP=4~6，供暖初次能耗率与联产热驱动的吸收式热泵相近，这是指设计工况点，在非设计工况下，电动热泵效率会有较大降低。在这方面吸收式热泵将更优越些。此外，图4热泵是=630) {this.resized = true. this.width=550} else { this.resized = false. }" align=baseline border=0 resized="false"> 图3 各种制冷系统初次能耗率的比较

(  $\eta_p=35\%$  ,  $K=0.8$  ) 电制冷 , 制冷系数 : 12.0 , 23.0 , 34.0 , 45.0, 66.0 吸收式制冷 : 1直燃或锅炉热驱动,锅炉效率85% 汽轮机进汽压力(Mpa) : 23.5, 39.0, 413.0, 524.0 汽轮机排汽压力(Mpa) : 三效1.5 , 双效0.9 , 单效0.2 , 两级0.08 制冷系数 : 三效1.6, 双效1.2 , 单效0.7 , 两级0.4 =630) {this.resized = true. this.width=550} else { this.resized = false. }" align=baseline border=0 resized="false"> 图4 供暖初次能耗率的比较 (  $\eta_p=35\%$  ,  $K=0.8$  ) 电热泵 , 制热系数 : 13.0 , 24.0 , 35.0 , 46.0 吸收式热泵 , 汽轮机进汽压力(Mpa) : 13.5, 29.0, 313.0, 424.0 汽轮机排汽压力0.63 Mpa , COP=1.7 联产热 , 汽轮机进汽压力(Mpa) : 13.5, 29.0, 313.0, 424.0 汽轮机排汽压力 : 0.08 MPa 锅炉 , 效率 : 170%, 280%, 390%, 4100% 按没有辅助加热计算的 , 事实上冬季热泵常受到低温热源条件限制 , 而需要辅助加热 , PER 将比图示值增高。 目前利用燃煤锅炉冷热联供不节能这一点已普遍达到共识 , 应尽可能避免采用。至于直燃吸收式冷温水机组, 从能耗上看相当于以锅炉为热源的冷热联供 , 只不过把这种系统的燃煤改成直接燃气或燃油 , 因而燃料转换到热的效率稍高而已。但即使按高的锅炉效率计算 , PER仍高。何况直燃机更应与相同燃料的燃气轮机或内燃引擎比较。按[2]给出的已由实际区域供能站运行证实了的数据 : 燃气两效吸收式制冷PER=1 , 而带热回收的燃机三联产供冷PER已降低到0.317。 六 . 结论 由于热源和热制冷设备种类繁多 , 导致冷热联供系统形式多样 , 其能耗和技术经济性能彼此差异很大 ; 必须针对不同情况 , 尤其要区别电、热来源和参数分别计算。本文阐述了采用热电联产热、锅炉直燃热和“免费”热等不同热源时各种系统方案供热供冷初次能耗率的计算方

法。汽轮机供热能耗用发电量减少法估算，不但符合与替代凝汽电厂对比的原则，而且可以考虑到汽轮机型号、参数及供热参数不同对供热能耗的影响，这一点对形式多样的冷热联供系统的能耗估算和分析是十分必要的。“热量法”不能区别这些不同情况，若应用于热电冷联供系统的能耗分析中，将有很大的局限性。计算分析表明，无论采用什么热源、能源，制冷机或热泵的COP高对降低能耗总是最重要的因素。用直燃或锅炉热时，供暖的初次能耗率在所有系统中最高，供冷的初次能耗率比联产热制冷要高，故应尽量避免采用。用中高进汽压力、好的背压汽轮机，带COP高的热制冷机的冷热联供系统与电制冷加锅炉的冷热分供系统相比，在能耗上是有竞争性的。采用大型高效热泵/制冷机的冷热联供系统在能耗上有优势。但要注意，热泵与利用“免费”热的系统都会遇到类似问题：辅助加热量对能耗的影响是不容忽视的。文中给出了在一定条件下计算得到的一些典型系统的供热、供冷初次能耗率，仅供选择方案时参考。文中介绍了国外已有燃气轮机热电冷联产工程实际达到供冷PER低至0.317的先进水平。我们目前差距还很大，应当努力。100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问

[www.100test.com](http://www.100test.com)