

# 不同供热工况下联合循环机组性能研究

李炜

(华电电力科学研究院有限公司 浙江 杭州 310030)

**摘要:** 燃气-蒸汽联合循环供热机组在不同供热工况下, 机组的运行性能不同。为了全面掌握供热机组性能, 对机组进行性能试验, 通过调整机组供热量, 结合热力学方法, 分析不同供热工况下联合循环机组的输出功率、热耗率及热效率, 以及机组供热气耗与发电气耗等, 从而计算机组运行的性能, 寻求优化空间, 制定合理的供热模式, 提升供热机组的经济性, 为同类型机组提供技术支持。

**关键词:** 联合循环机组; 供热机组; 气耗率; 热效率

## 0 引言

燃气-蒸汽联合循环供热机组既能满足日益严格的节能环保要求, 减少能源消耗; 又能在满足电网调度的基础上, 高效运行。具有启动速度快、自动化程度高、可靠性高等优点, 在国家能源布局中显现出巨大的优势。

燃气-蒸汽联合循环机组热电联产与燃煤热电联产循环方式有一定的区别, 综合考虑工业抽汽供热和采暖抽汽供热的方式, 机组容量大小以及热电比差异, 可根据实际情况采用适宜的能耗分摊计算方法进行分析。

## 1 联合循环机组供热计算

联合循环机组上游发电设备主要为布雷顿循环, 下游发电设备热力循环方式为朗肯循环。对于供热机组, 主要依靠下游电站中蒸汽轮机进行抽汽供热。在供热机组运行中, 消耗天然气, 输出有效的电负荷和热负荷, 进而产生联合循环机组发电气耗和供热气耗, 通过合理的成本分摊比计算, 确定两种不同形式负荷的能量消耗, 进一步确定机组整体性能。

根据联合循环机组总热量消耗、供热热量以及发电热量综合考虑采用热量法进行分摊计算。

(1) 联合循环机组总消耗热量  $q_t$

$$q_t = W_t \times Q_{net} \quad (1)$$

式中:  $W_t$  为天然气消耗量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $Q_{net}$  为在试验条件下计算的燃料的低位发热量 ( $Q$ )。

(2) 机组供热热量  $q_{gr}$

$$q_{gr} = D_{gr} \times (h_{gr} - h_{hs}) / \eta_{hr} / \eta_p \quad (2)$$

式中:  $D_{gr}$  为供热抽汽量,  $\text{kg}/\text{h}$ ;  $h_{gr}$  为供热抽汽的焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;  $h_{hs}$  为供热回水的焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;  $\eta_{hr}$  为换热效率, 推荐取值 0.95;  $\eta_p$  为管道效率, 推荐取值 0.99。

(3) 供热成本分摊比  $\beta_{gr}$

$$\beta_{gr} = \frac{q_{gr}}{q_t} = \frac{q_{gr}}{W_t \times Q_{net}} \quad (3)$$

计算出燃气-蒸汽联合循环供热机组中由于供热所产生的成本消耗比例, 通过比例计算从而得出机组的供热气耗和发电气耗。

(4) 供热气耗  $g_{gr}$

$$g_{gr} = \beta_{gr} \times \frac{W_t}{q_{gr}} \quad (4)$$

## 2 供热对比分析

某燃气-蒸汽联合循环供热机组采用西门子生产的 SGT5-2000E (V94.2) 型燃气轮机, 配套型号为 DG233.9/7.95/57.4/0.63-M106 型双压、无补燃的余热锅炉, 汽轮机为 LZCC81-7.65/2.3/1.3/0.6 型次高压、单缸、单轴、双压、双抽汽凝汽式汽轮机。

本文通过对某燃气-蒸汽联合循环供热机组进行不同供热负荷下的性能试验, 结合数据及以上方法原理计算不同供热工况下联合循环机组的输出功率、热耗率及热效率, 以及机组供热气耗与发电气耗等, 得出机组运行的性能。

在机组负荷保持基本稳定的前提下, 逐步增加机组的供热能量, 机组的供热出力与发电出力的比值逐步增大, 即热电比增加, 如表 1 所示。供热机组中供热成本分摊比按照热量法进行计算, 计算后得出机组供电成本分摊比, 从而计算出机组的供热气耗和发电气耗, 进一步得出机组的综合热效率。

表格中根据热量法来计算机组的供热成本分摊比, 机组供热气耗与燃料的发热量有关。

即与燃料的成分有一定的比例关系, 不同的燃料成分决定着机组的供热气耗。对于燃气-蒸汽联合循环机组, 燃料成本基本上保持稳定, 供热气耗基本上保持不变。随着供热量的增加, 在机组发电负荷基本保持稳态的条件下, 机组的发电气耗逐步降低 (见图), 机组的综合热效率逐渐增大。

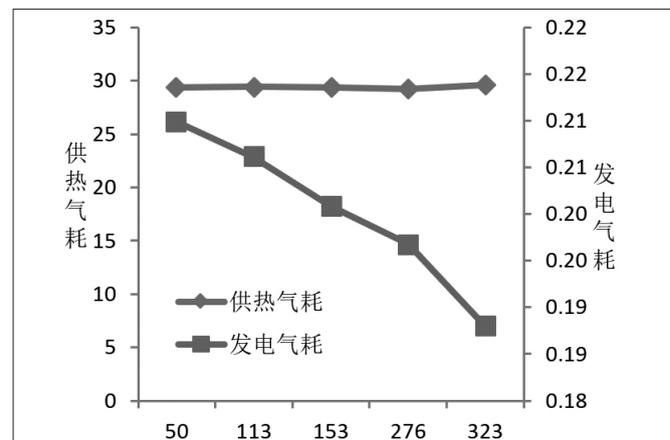


图 不同供热负荷机组发电气耗和供热气耗变化

表 1 不同供热能量下联合循环机组性能对比

| 名称                     | 单位                      | 工况 1     | 工况 2     | 工况 3     | 工况 4     | 工况 5     |
|------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 联合循环功率                 | MW                      | 196.89   | 195.67   | 199.51   | 193.54   | 200.39   |
| 燃料流量                   | Nm <sup>3</sup> /h      | 42795.35 | 43666.73 | 44580.63 | 46135.46 | 47250.50 |
| 燃料化学能                  | kJ/kg                   | 47900.77 | 47883.31 | 47929.45 | 48002.22 | 47816.85 |
| 总输入热量 Qin              | GJ/h                    | 1456.26  | 1482.61  | 1517.92  | 1579.01  | 1596.70  |
| 机组综合热效率                | %                       | 52.11    | 55.16    | 57.43    | 61.58    | 65.43    |
| 热电比                    | %                       | 7.06     | 16.09    | 21.37    | 39.55    | 44.82    |
| 供热能量 Qr                | GJ/h                    | 50.07    | 113.36   | 153.48   | 275.56   | 323.35   |
| 供热成本分摊比 β <sub>r</sub> | %                       | 3.97     | 8.65     | 11.22    | 18.54    | 20.85    |
| 供电成本分摊比 β <sub>d</sub> | %                       | 96.03    | 91.35    | 88.78    | 81.46    | 79.15    |
| 供热气耗                   | Nm <sup>3</sup> /GJ     | 29.39    | 29.45    | 29.37    | 29.22    | 29.59    |
| 发电气耗                   | Nm <sup>3</sup> /(kW·h) | 0.210    | 0.206    | 0.201    | 0.197    | 0.188    |

故通过提升机组的供热量可以进一步提升机组的运行效率，增加机组运行的经济性。

综合不同的供热需求，在机组热电比达到 40% 时，折算至供热总出口（同时系数 0.9、等焓系数 0.985、损失系数 1.08）供热流量约为 218.29t/h，其中高压蒸汽供热量为 174t/h，低压蒸汽供热流量 44.29t/h。综合累计供热能量为 735.54GJ/h，按照机组全年有效利用小时数为 5500h，年供热负荷为 404.55 万吉焦。

根据供热机组热电比为 40% 可知，综合累计供热能量

表 2 综合供热气耗估算

| 项目      | 单位                      | 参数       |
|---------|-------------------------|----------|
| 机组负荷    | MW                      | 510.79   |
| 燃料化学能   | kJ/kg                   | 47906.52 |
| 供热能量 Qr | GJ/h                    | 735.54   |
| 利用小时数   | h                       | 5500     |
| 年供热量    | 万 GJ                    | 404.55   |
| 热电比     | %                       | 40       |
| 年均供热气耗  | Nm <sup>3</sup> /GJ     | 29.40    |
| 年均发电气耗  | Nm <sup>3</sup> /(kW·h) | 0.189    |

在 735.54GJ/h 的工况下，机组运行的负荷为 510.79MW，估算出综合供热气耗 29.40Nm<sup>3</sup>/GJ，全厂发电气耗为 0.189Nm<sup>3</sup>/(kW·h)。

注：以上数据按照年均热电比 40% 进行估算。

所以针对燃气-蒸汽联合循环供热机组，提升供热流量，可以降低机组的发电气耗，进而降低机组的综合气耗。在热用户用量满足的情况下，尽可能的提高供热量，能够降低机组气耗，提升机组综合利用效率提高运行的经济性。

### 3 结语

燃气-蒸汽联合循环供热机组综合气耗随着供热量的提升而降低，机组的综合效率和经济性均可以提升。而且，对于抽汽供热而言，供热能源利用效率远高于发电效率，故提升机组供热能量，虽然降低了部分负荷，就机组整体而言，综合热效率会有很大提升。

### 参考文献：

- [1] 贡文明, 李炜, 李明. 燃气-蒸汽联合循环机组在线性能试验研究 [J]. 华电技术, 2019, 41(9): 25-28.
- [2] 中国华电集团公司. 大型燃气—蒸汽联合循环发电技术丛书·性能试验分册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [3] 宋晓玮, 张国强, 等. 燃气轮机联合循环热电联产供热供电量优化分配研究 [J]. 热力发电, 2019, 48(3): 47-53.
- [4] 许可, 李蔚等. 燃气—蒸汽联合循环热电联产机组供热特性分析 [J]. 热力发电, 2019, 48(5): 1-6.
- [5] 吴为彪. 460MW 联合循环供热机组热效率与经济性分析 [J]. 应用能源技术, 2017, 4(7): 26-29.

作者简介: 李炜 (1988-), 男, 汉族, 河南临颍人, 工程师, 硕士, 研究方向: 燃气轮机及其节能技术。

