

燃煤电厂热耗研究分析与优化

车金虎

中国华电科工集团有限公司, 北京 100700

[摘要] 燃煤电厂中, 热力系统设备的完善程度, 热经济性的好坏, 通常用热经济指标来表征。常用的热经济指标包括以下几种: 全厂热耗、全厂热效率、发电煤耗和供电煤耗。文章通过对燃煤电厂热耗的计算公式进行研究分析, 找出燃煤电厂与热耗的相关技术经济指标。针对性的采取优化方案, 提高燃煤电厂热耗指标。

[关键词] 热耗; 优化; 指标

DOI: 10.33142/sca.v3i2.1859

中图分类号: TM621

文献标识码: A

Analysis and Optimization of Heat Consumption in Coal-fired Power Plant

CHE Jinhu

China Huadian Engineering Co., Ltd., Beijing, 100700, China

Abstract: In coal-fired power plants, perfection degree of thermal system equipment and quality of thermal economy are usually characterized by thermal economic indicators. Commonly used thermal economic indicators include the following: heat consumption, thermal efficiency of the whole plant, coal consumption for power generation and coal consumption for power supply. This paper studies and analyzes calculation formula of heat consumption in coal-fired power plants and finds out relevant technical and economic indicators of heat consumption in coal-fired power plants. The optimization scheme is adopted to improve the heat consumption index of coal-fired power plant.

Keywords: heat consumption; optimization; index

引言

燃煤电厂的技术经济指标包括锅炉及其辅机技术经济指标, 汽轮机及其辅机技术经济指标等。而最终反映这些指标的则是全厂热耗、全厂热效率。

$$q = \frac{q_m}{1 - \frac{e}{100}}$$

全厂热耗:

$$q_m = \frac{3600}{\eta_m} \times 100$$

发电厂热耗:

$$\eta_{r_n} = \eta_{q_n} \eta_{g_l} \eta_{g_d} \times 10^{-4}$$

发电厂热效率:

$$\eta_{q_n} = \frac{3600}{q_{j_m}} \times 100$$

汽轮发电机组热效率:

η_m — 机组的设计发电热效率 (%) ;

η_{g_l} — 锅炉效率 (%) ;

η_{g_d} — 管道效率, 取 99% ;

η_{q_n} — 机组的汽轮发电机组热效率 (%) ;

q_{j_m} — 汽轮发电机组设计热耗 [kJ / (kW · h)] ;

q_m — 发电厂设计热耗 [kJ / (kW · h)] ;

e — 厂用电率 (%) ;

q — 全厂热耗 [kJ / (kW · h)] 。

通过对以上几个公式分析, 保证热耗值可从以下 4 个方面研究分析, 采取针对性措施进行优化, 提供热耗值指标:

汽轮机热耗率、锅炉热效率、管道热效率、厂用电率。

1 汽轮机热耗保证措施

1.1 汽轮机参数选择

以东方汽轮机有限公司的 660MW 超临界一次再热机组为例，此型式汽轮机在节能、降耗、减排方面，相比于其他型式的汽轮机，有很大的优势。先进的四缸排汽超临界机组，比常规三缸、四排汽机组热耗降低 $80\text{kJ}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 以上。

1.2 汽轮机冷端优化

依据《大中型火力发电厂设计规范》(GB 50660—2011)及《火力发电厂水工设计规范》(DL/T5339—2006)中的相关规定，汽轮机背压、凝汽器面积，按照水文水温条件、冷却水供水系统方案，经过优化后确定。汽轮机的额定背压应与循环水系统的设计水温相匹配。根据以上要求，优化时设计工况按 R0 工况进行。经过对各种凝汽器面积、冷却倍率、循管管径进行方案计算组合，得出各种方案的年费用排序。根据凝汽器面积和冷却排水量，可得出如下结果：

年均计算水温、R0 工况下计算背压： 29.10°C 、 7kPa ；

极端最高计算水温、TCC 工况下计算背压： 36°C 、 10.2kPa 。

1.3 回热系统优化

为合理利用三级抽汽过热度，增加 3# 前置蒸汽冷却器，从而提高机组热经济性。增加后，对三段抽汽的放热量不是全部用于给本级水加热，而是利用其一部分热量提高给水温度，达到降低热耗目的。增加此设备技术难度低，成本低，可操作性高，能够减低机组热耗约 $10\text{kJ}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

1.4 高压加热器端差优化

原高压加热器设计上端差技术是沿用上世纪 80 年代技术，分别为 -1.7°C ， 0°C ， 0°C 。高压加热器采用上端差 (-1.7°C ， -1°C ， -1°C)，容易实现，不会影响成本变化，优化后可降低机组热耗 $2\text{kJ}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

2 管道热效率保证措施

2.1 对主蒸汽、再热蒸汽管道进行优化

通过以下途径，减低管道阻力，降低管压损失：合理的选择主蒸汽、再热蒸汽系统管道规格；在适当的位置用弯管代替弯头；统一对管道进行布置优化等。

1) 在相同流量情况下，管道的内径越大，管道阻力越小，压降越小。因此，增大管道内径是降低管阻、压降的最有效方法。然而主蒸汽和再热蒸汽管道为合金钢材料，价格昂贵，保证管道抗压能力的情况下，增加管道内径必会造成投资增加。因此，必须综合考虑以上因素，科学合理的选择主蒸汽、再热蒸汽管道规格，适当位置用弯管代替弯头，在节省投资的情况下，做到减低管阻、压降。

2) 综合优化主蒸汽、再热热段、再热冷段管道布置，减少管道长度。相同情况下，管道越长，管阻越大，管道压降越大，同时投资也越大。因此，通过科学合理优化设备管道布置，减小锅炉前通道尺寸等措施，减少四大管道长度，既可以降低了管道阻力，又可以节省投资。

3) 综合科学优化选择管道内部粗糙度。影响管道阻力的因素中，其内部粗糙度对阻力有较大影响。管道在生产过程中，其内部粗糙度受生产工艺影响。采用进口欧美控制内径管，其等值糙度 $=0.0457\text{mm}$ ，而原标准规定为 $=0.2\text{mm}$ ，相比较管道阻力会有较大降低。

4) 去掉主蒸汽管道上的流量测量喷嘴，降低管阻、压降。

5) 优化结果。通过对主蒸汽、再热冷段、再热热段管道管阻、压降不同程度的优化，提升了机组运行效率，优化成果如下：

主蒸汽压降从 5% 优化至 4%，可降低汽轮机热耗约 $3\text{kJ}/\text{kW}\cdot\text{h}$ ；

再热系统压降从 10% 优化至 8%，可降低汽轮机热耗约 $5\text{kJ}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

通过对管道的优化，科学合理的降低了汽轮机热耗总共约 $8\text{kJ}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

2.2 对抽汽管道压降进行优化，降低汽机热耗

综合考虑，科学合理计算，对汽轮机抽汽管道规格、布置进行优化，同时对高压加热器、低压加热器布置进行合理优化，可降低抽汽管道阻力、压降，汽轮机热耗可降低 $2.5\text{kJ}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

2.3 通过合理优化保温设计，提高机组热经济性

为了减少管道及设备的散热损失，采取节能保温措施，合理选用保温材料材质和保温结构。汽水管道、烟风煤粉管道及辅助设备主保温层的厚度按年最小费用法计算，选择适当的管道保温外表面温度。

合理优化保温的原则是将四大管道、热风道、送粉管道等对热耗有直接影响的管道、风道，保温结构外表面温度限值确定为 47°C ，而常规保温设计方法将该温度限值确定为 50°C ，经过保温设计优化的典型数据分析，因保温优化后的保温厚度有所增加，20 年内引起初投资增加与收益基本持平。从长远来看，保温设计优化不但利于降低电厂车间的环境温度，改善生产和工作环境，随着未来能源价格的上升，保温设计优化方案的经济性将进一步提高。

2.4 疏水优化

对主蒸汽、热段蒸汽管道疏水进行优化，以温度差信号作为控制疏水阀的启闭。与以往采用负荷信号控制疏水阀的做法相比，提高了机组运行的安全性，同时减少了启动和低负荷工况时的工质损失，提高了机组运行的热经济性。在系统设计中适当减少蒸汽管道死端，适当减少连续疏水点，疏水阀选用优质产品，减少运行过程中的疏水量，提高机组运行的热经济性。

3 锅炉热效率保证措施

锅炉机组热效率计算公式（反平衡法）如下：

$$= [1 - ((q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + \text{其他损失}) - \text{增益}) / \text{输入量}] \times 100\%$$

q₂: 排烟热损失

q₃: 气体未完全燃烧热损失

q₄: 固体未完全燃烧热损失

q₅: 锅炉散热损失

q₆: 灰渣热物理损失

通过对影响锅炉效率的各项因素的分析可以看出，提高锅炉效率的措施，主要是减小影响锅炉效率的各项损失。针对本工程超临界煤粉锅炉，通过采取如下措施的保证锅炉效率能够达到先进的水平。

3.1 降低锅炉排烟热损失

选取科学合理的排烟温度，减少锅炉排烟损失。科学合理的增设省煤区域和空预器吹灰器数量，优化吹灰器吹灰性能、增加吹灰器吹扫半径等方式来提高受热面的换热，进一步降低锅炉排烟温度，降低排烟热损失。

3.2 降低气体未完全燃烧热损失

影响气体未完全燃烧热损失的主要因素是燃料的挥发分、过量空气系数、炉膛温度和炉内气流的混合流动工况。通过选取了适当的过量空气系数、一二次风率及合理的二次风配风措施，使燃料与风混合均匀，降低气体未完全燃烧热损失。

3.3 降低固体未完全燃烧热损失

针对工程煤质特点，选取适当合理的煤粉细度，降低固体未完全燃烧损失。

3.4 降低锅炉散热损失

在锅炉本体上充分考虑保温，将炉体外表面温度控制在 50℃ 以下，减少散热损失。

通过以上对锅炉效率计算公式的分析，对影响锅炉效率的各项损失采取针对性的优化措施，可减少热损失，达到提高锅炉效率的目的。

4 厂用电率保证措施

火力发电厂在能量转换过程中自身需要耗费能量，也就是厂用电。因此降低厂用电也是降低全厂能耗非常重要的措施。从以下方面降低电耗：从系统配置、设备选型、布置优化等各方面降低厂用电的措施以及运行起降低能耗及厂用电的措施。

降低厂用电率是个系统工程，所涉及范围很广，主要有以下几个方面：

1) 工程设计，这是最为重要的一个环节，电厂的工艺方案系统的设计，总平面布置，主要设备选型及主要参数的确定等对厂用电率的影响非常大。

2) 设备安装施工，良好的施工工艺能提高保温效果，减少管路的漏风、漏水及漏汽，通过合理的管线布置，缩短路径等减少能量损耗。

3) 电厂运行，提高运行人员的素质，采取奖惩措施，制定不同负荷条件下的最佳运行方式，通过改善运行参数降低厂用电的消耗。

5 总结

虽然燃煤电厂热耗研究分析与优化经过前辈们不断的努力，总结出许多有价值的措施方案，并在实际应用中取得了很大成果，但随着新工艺、新材料不断产生，燃煤电厂热耗研究与优化仍然有很大研究空间，有很多的工作去做。我们只有不断学习、研究、实践，才能不断的节能减排，持续性发展。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 大中型火力发电厂设计规范:GB[50660-2011]. [S]. 北京: 中国计划出版社:2011.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 火力发电厂水工设计规范: (DL/T5339-2006). [S]. 北京: 中国电力电子出版社:2011.

作者简介: 车金虎 (1982.2-), 男, 毕业于山东大学, 所学专业为热能与动力工程, 中国矿业大学 (北京), 建筑与土木工程 (在职研究生 2014—2017), 就职单位: 中国华电科工集团有限公司海外工程分公司, 职务: 专业工程师, 所在职务年限: 15 年, 职称级别: 工程师。