

DOI: 10.12096/j.2096-4528.pgt.18178

1 000 MW 深度调峰机组热力系统优化研究

王林, 伍刚, 张亚夫, 高景辉, 王红雨, 孟颖琪

(西安热工研究院有限公司, 陕西省 西安市 710054)

Thermodynamic System Optimization Research on 1 000 MW Deep Peak-regulating Unit

WANG Lin, WU Gang, ZHANG Yafu, GAO Jinghui, WANG Hongyu, MENG Yingqi

(Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, Shaanxi Province, China)

摘要: 为提升超超临界火电机组深度调峰能力, 解决大容量机组在低负荷时效率下降问题, 提出并建设了1 000 MW 高效宽负荷率机组示范工程。该工程对锅炉燃烧器、水冷壁及汽机蒸汽参数等进行了针对性的优化设计, 通过协同增设补汽阀、外置式冷却器、零号高压加热器、低温省煤器等设备, 实现了机组在较宽负荷范围内依然保持较高效率的目标。热力计算结果表明, 示范机组在50%负荷下较现有机组效率提高3%以上, 运行灵活性显著增强, 取得了明显的经济和社会效益, 相关经验对后续同类机组提升灵活性具有示范和参考价值。

关键词: 高效; 宽负荷; 机组调峰; 灵活性; 优化集成

ABSTRACT: In order to enhance the deep peak-regulating capacity of ultra-supercritical thermal power units and solve the problem of large capacity units with low efficiency at low load section, the 1 000 MW unit with high efficiency and wide regulation load demonstration project was put forward and constructed. The burner and water wall of the boiler and steam turbine parameters were applied to the optimization design. The model and operation mode of water supply pumps, condensate pumps, circulating pumps and other auxiliary equipment were optimized. By adding a supplementary steam valve, an external cooler, No.0 high pressure heater, low temperature economizer and other equipment, the unit still maintain a relatively high efficiency in a wide range of target load. The thermal calculation results show that the efficiency of the demonstration unit is 3% higher than the existing unit at 50% load, and the operation flexibility of the demonstration unit has been significantly enhanced, which has made obvious economic and social benefits. The related experience has a reference value for the subsequent similar

units to enhance their flexibility.

KEY WORDS: high efficiency; wide regulation load; unit peak-regulating; flexibility; optimization integration

0 引言

我国能源结构的主要特点是富煤、少油、缺气, 水电资源开发受限。受能源结构的影响, 我国电源结构在相当长的时期内都将以煤电为主。目前我国煤电装机容量占比近70%, 用于调峰的油电、气电、抽水蓄能装机比重仅占8%。随着我国经济的快速发展, 居民用电和商业用电的比重逐年增加, 导致用电负荷峰谷差激增^[1], 使得按照带基本负荷设计的1 000 MW级超超临界机组不得不参与调峰, 且通常处于低负荷运行^[2-3]。随着机组负荷的降低, 机组效率随之下降, 造成供电煤耗升高^[4-5], 超超临界机组节能高效优势无法发挥, 造成较大的经济损失^[6]。

某电厂异地扩建2×100万kW机组上大压小工程建设有2台超超临界燃煤机组, 机组在设计阶段即考虑了低负荷下保持较高效率的综合方案。相较于后期实施多项孤立的灵活性改造措施, 直接将提高调峰能力作为机组的设计初衷具有明显的前瞻性和更强的针对性。超超临界机组在中高以上负荷参与调峰的效果较好^[7-8], 示范机组通过实施系统层面的优化集成, 实现了在额定负荷下与现有超超临界机组效率相当, 在50%负荷下效率提高不低于3%的目标, 综合方案取得了显著的经济效益和社会效益, 相关设计建设经验对于进一步提高火电机组灵活性具有引领和示范意义。

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAA03B01)。

Project Supported by National Science and Technology Supporting Plan (2015BAA03B01).

1 主机技术特点

提升机组灵活性是一个复杂的系统工程, 锅炉、汽机等主机设备的优化改进必不可少。本工程通过选用新型煤粉燃烧器、改进水冷壁循环系统以及优化汽机进汽参数等措施, 结合运行精细化调整, 进一步降低了锅炉最低稳燃负荷^[9], 实现了主机设备在较宽负荷范围内维持较高效率的目标。

1.1 锅炉性能简介

高效宽负荷率超超临界锅炉的技术关键在于实现低负荷范围内汽水参数的合理匹配和有效调节, 这样才能保证机组在宽负荷范围内指标先进。本示范工程锅炉选用了东方锅炉厂设计制造的 DG3063.81/29.3-II1 型高效超超临界、一次再热、变压运行直流炉, 采用了单炉膛、平衡通风设计, 为露天岛式布置的 II 型锅炉。锅炉整体布置如图 1 所示。锅炉主要性能参数如表 1 所示。

1.2 汽轮机性能简介

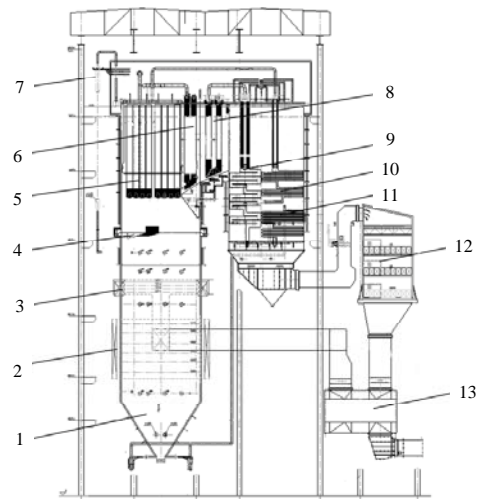
本工程汽轮机选用了上海汽轮机有限公司和德国 SIEMENS 联合设计制造的 N1000-28/600/620 型 1 000 MW 级超超临界凝汽式汽轮机, 采用一次中间再热、单轴、四缸四排汽、双背压设计。汽机设计有 9 级回热抽汽。汽轮机高、中压缸采用分缸布置, 高压缸为单流型, 中压缸和低压缸均为双流型。本机组采用数字电液式调节系统。汽轮机整体布置如图 2 所示。

2 热力系统优化设置

热力系统设置对机组深度调峰能力具有基础性影响, 为提升运行灵活性, 对机组热力系统进行了优化设计。

2.1 补汽阀开启点优化

补汽阀设置主要是为了保证全周进汽汽轮机额定设计点高效以及满足过载工况的出力。过载补汽技术是从某一工况开始, 从主汽阀后、调节汽阀前引出 1 股新蒸汽(额定进汽量的 5%~10%), 经过载补汽阀节流后以低参数(蒸汽温度约降低 30℃)进入高压缸第 5 级动叶后汽室, 与主流蒸汽混合后在以后各级继续膨胀做功的一种措施。



1—冷灰斗; 2—旋流煤粉燃烧器; 3—燃尽风燃烧器;
4—中间集箱; 5—屏式过热器; 6—高温过热器; 7—汽水分离器; 8—高温再热器; 9—低温再热器; 10—低温过热器;
11—省煤器; 12—脱硝 SCR 装置; 13—预热器。

图 1 锅炉整体布置

Fig. 1 The overall arrangement of boiler

表 1 锅炉主要设计参数

Tab.1 The main design parameters of boiler

项目	BMCR	THA	75%THA	50%THA
过热蒸汽流量/(t/h)	3 063.81	2 705.25	2 031.19	1 354.07
过热器出口蒸汽压力/MPa	29.40	28.11	21.20	14.26
过热器出口蒸汽温度/℃	605	605	605	605
再热蒸汽流量/(t/h)	2 502.14	2 229.69	1 637.38	1 089.13
再热器进口蒸汽压力/MPa	6.25	5.58	4.12	2.75
再热器出口蒸汽压力/MPa	6.05	5.40	3.98	2.66
再热器进口蒸汽温度/℃	367	353	354	359
再热器出口蒸汽温度/℃	613	613	613	613
省煤器进口给水温度/℃	306	297	297	287
排烟温度/℃	119	115	108	99
锅炉热效率/%	94.08	94.20	94.29	94.30

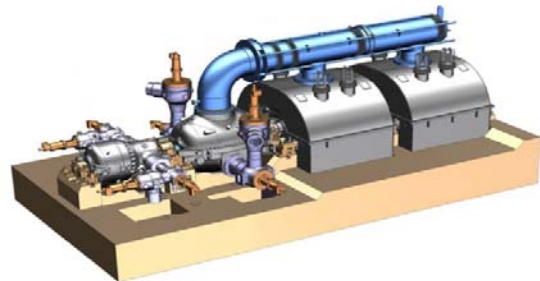


图 2 汽轮机整体布置

Fig. 2 The overall arrangement of steam turbine

该技术可以提高机组额定工况的经济性和出力超额定工况时的运行灵活性。

确定补汽阀合理的开启点(即主调门全开, 进

汽达到额定压力时的流量)对于机组实际运行的经济性有重要意义。补汽阀的功能决定了该主调门流量值应等于热耗保证工况的流量。只有大于该流量,才需要打开补汽阀供汽。如主调门的最大流量设置过大,补汽阀开启点移后,则在热耗保证工况下,机组的进汽压力仍没滑到额定压力,蒸汽压力的潜力尚没用足。反之,如主调门的最大流量设计过小,则在热耗保证工况,补汽阀已开始进汽,则由于补汽要损失5级的做功能力,也要降低保证工况的经济性。

考虑本工程有稳定的工业热负荷120 t/h,为兼顾机组部分负荷运行经济性与机组出力,同时尽量避免补汽阀长时间处于开启运行状态,确定补汽阀开启点定在额定背压(4.7 kPa)条件下,机组带额定工业负荷并发额定功率时。

热平衡分析计算如表2所示,结果表明:相对于补汽阀开启点定为汽机最大连续出力(turbine maximum continue rate, TMCR)工况方案,100%工况热耗减少了11 kJ/(kW·h),75%汽机热耗验收工况(turbine heat acceptance, THA)热耗相对减少12 kJ/(kW·h),50%THA 工况热耗相对减少19 kJ/(kW·h)。

表2 不同补汽阀开启点热经济性比较

Tab. 1 The comparison of thermal economy on different steam valve opening point

项目	50%负荷	75%负荷	100%负荷
TMCR 工况热耗	+19	+12	+11
带工业供热额定功率工况热耗	基准	基准	基准

2.2 采用外置式蒸汽冷却器

再热回热循环汽轮机组再热后抽汽的过热度大,加热器换热温差大,产生的换热损失大。为尽可能地利用再热后抽汽的过热度,减小换热温差产生的换热损失,考虑在再热后第一段抽汽处设置一级外置式蒸汽冷却器,同时提高给水温度,降低机组热耗,提高机组的热经济性。

据建模分析计算,设置该外置式蒸汽冷却器后,给水温度可提高约3℃,热耗值可降低约8.5 kJ/(kW·h)。设置该外置式蒸汽冷却器后,汽轮机本体结构不需进行改进,只需系统中增加一台

外置式蒸汽冷却器设备及相应的管道和阀门等,安全可靠,投资增加也不多;另外,给水温度提高约3℃,对锅炉性能基本没有影响。因此,本工程仍采用3台高压加热器,其中3号高加设置外置式蒸汽冷却器,以提高全厂效率,节约煤耗。

综上,采用外置式蒸汽冷却器的机组在低负荷工况下运行时,相比于常规机组具有更显著的节能效果,因此更适合于机组高效宽负荷运行。

2.3 增设0号高压加热器

1号高加出口增设1个0号高加加热给水。0号高加蒸汽由高压缸第4级(考虑与补汽在同一个接口)后抽出,加热器疏水至1号高加。增设0号高加用来提高低负荷时的最终给水温度(高负荷时,0号高加不投运),从而改善汽轮机在低负荷段的运行经济性^[10-11]。机组在75%负荷以下运行时,0号高加完全投入运行;机组在75%负荷以上运行时,0号高加通过调整抽汽调节阀开度来控制0号高加出口水温基本不变(维持给水温度与THA工况给水温度相当)。图3为0号高加运行时的给水温度随负荷变化曲线。

由图3可知,常规机组部分负荷工况下最终给水温度随一抽压力降低而降低,宽负荷机组增设0号高加,能够提高部分负荷工况下的给水温度,进而提高机组效率^[12]。

2.4 采用低温省煤器

电站锅炉排烟损失是锅炉运行中最重要的一项热损失,约占锅炉热损失的60%~70%。为了减少排烟损失,提高电厂经济性,锅炉烟气系统通常需要设置低温省煤器^[13]。汽轮机热力系统中的凝结水在低温省煤器内吸收排烟热量,降低排烟温度,自身被加热升高温度后再返回汽轮机低压加热器系统,代替部分低压加热器的作用。低温省煤器可节省部分汽轮机的回热抽汽,在汽轮机进汽量不变的情况下,节省的抽汽从抽汽口返回汽轮机继续膨胀做功,因此,发电量不变的情况下,设置低温省煤器可降低机组能耗^[14-15],同时节约水资源。

本工程采用2级低温省煤器设计,1级低温省煤器前、后段分别布置在引风机的进出口烟道,

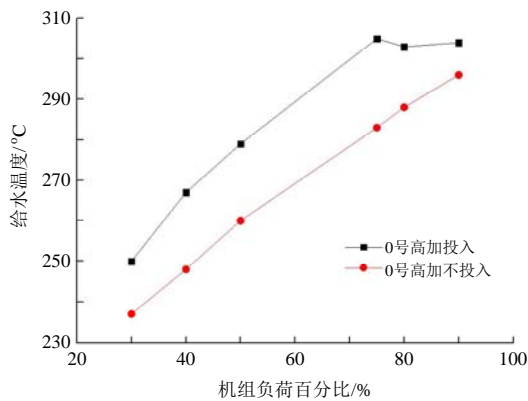


图3 给水温度随负荷变化曲线

Fig. 3 Variation curve of water supply temperature with load

2级低温省煤器布置在引风机后,凝结水吸热后输送至一次风暖风器处。经热力计算,利用低温省煤器加热凝结水,示范机组THA工况热耗降低约41 kJ/(kW·h),50%的THA工况热耗可降低约29 kJ/(kW·h),节能效果显著,改善了机组宽负荷运行的效率。

3 机组经济性分析

通过热力系统集成,主辅机配置优化,机组低负荷运行的热耗明显降低,效率得到改善。具体项目优化结果如表3所示。

由表3可见,相对于主机参数25 MPa/600 °C/600 °C机组(基准1),优化后机组在50%THA工况时,汽轮机热耗率降低了约187 kJ/(kW·h);相对于同主机参数机组(基准2),优化后机组在50%THA工况时,汽轮机热耗率降低了约165 kJ/(kW·h)。利用美国Thermoflow公司能效分析软件Thermoflex建立热平衡图分析,结果表明示范组效率在50%负荷较现有机组提高不小于3%,机组深度调峰能力显著增强,实现了宽负荷高效率运行的目标。

4 结论

为优化提升大容量高参数超超临界机组的深度调峰能力,综合采用了主辅机优化改进,增设补汽阀、外置式冷却器、零号高压加热器、低温省煤器等措施,实现在额定负荷下示范机组效率与现有超超临界机组相当,在50%负荷下示范机

表3 机组热经济性优化结果

Tab. 3 Optimization result of unit thermal economy

项目	50%热耗值/ [kJ/(kW·h)]	备注
汽轮机热耗率 (主机参数: 25 MPa/600 °C/600 °C)	7 650	基准值 1
主机参数优化(28 MPa/600 °C/610 °C)	-22	—
汽轮机热耗率 (主机参数: 25 MPa/600 °C/600 °C)	7 628	基准值 2
配置1×100%容量汽动给水泵组 (自带凝汽器)	-7.5	—
9级回热抽汽系统	-15	—
设置外置式蒸汽冷却器	-8.7	—
设置0号高压加热器	-33.1	—
设置低温省煤器	-29	—
设置补汽阀,优化开启点	-19	—
采用冷端优化措施	-35.8	—
设置外置疏水冷却器及低加疏水泵	-7.4	—
主汽系统压降优化	-1.9	—
再热系统压降优化	-5.7	—
抽汽系统压降优化	-1.9	—
汽轮机热耗率	7 463	优化后
相对基准1热耗降低	-187	—
相对基准2热耗降低	-165	—

组效率较现有机组提高不低于3%的目标,取得了显著的经济效益和社会效益。相关经验对后续同类机组提升灵活性具有引领示范价值。

参考文献

- [1] 张晓鲁,张勇,李振中. 高效宽负荷率超超临界机组关键技术研发与工程方案[J]. 动力工程学报, 2017, 37(3): 173-178.
- [2] 马佳燕. 火电机组运行灵活性及高效宽负荷技术综述[J]. 热力透平, 2017, 46(2): 108-110.
- [3] 王振锋,吴其林,徐晓康,等. 高效宽负荷机组改造设计思路探讨[J]. 东方汽轮机, 2016(4): 1-4.
- [4] 章良利,李敏,周晓蒙,等. 深度调峰下燃煤机组运行方式对能耗的影响[J]. 中国电力, 2017, 50(7): 85-89.
- [5] 张国柱,张钧泰,李亚维,等. 燃煤发电机组深度调峰运行的能耗特性分析[J]. 电力建设, 2017, 38(10): 56-61.
- [6] 宫广正. 超临界火电机组运行灵活性提升控制策略研究及应用[J]. 中国电力, 2017, 50(8): 22-26.
- [7] 顾煜炯,徐婧,李倩倩,等. 燃煤发电机组调峰能

- 力模糊综合评估方法[J]. 热力发电, 2017, 46(2): 15-21.
- [8] 李树明, 刘青松, 朱小东, 等. 350 MW 超临界热电联产机组灵活性改造分析[J]. 发电技术, 2018, 39(5): 449-454.
- [9] 张广才, 周科, 鲁芬, 等. 燃煤机组深度调峰技术探讨[J]. 热力发电, 2017, 46(9): 17-23.
- [10] 乔加飞, 郝卫, 刘颖华, 等. 基于零号高加的宽负荷高效回热技术研究[J]. 中国煤炭, 2014(s1): 228-231.
- [11] 李涛, 陈坤, 辛志波, 等. 超超临界 1 000 MW 机组零号高压加热器宽负荷回热技术[J]. 热力发电, 2018, 47(5): 111-117.
- [12] 余海鹏, 康剑南, 包伟伟. 1 000 MW 高效宽负荷率超超临界机组给水温度的优化研究[J]. 浙江电力, 2017, 36(9): 67-70.
- [13] 张知翔, 徐党旗, 邹小刚, 等. 低温省煤器与暖风器联合系统参数优化[J]. 热力发电, 2018, 47(3): 94-98.
- [14] 刘锁清, 董森, 李军红, 等. 660 MW 超临界机组低温省煤器的经济性研究[J]. 节能技术, 2018, 36(1): 40-43.
- [15] 王学栋, 仲昭伟, 董洋, 等. 多变量因素下的锅炉低压省煤器节能效果测试与分析[J]. 发电技术, 2018, 39(2): 140-145.
-
- 收稿日期:** 2018-09-19.
- 作者简介:**
- 
- 王林(1989), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为大型火电机组启动调试及运行优化, wang2mu@126.com.
- 王林
- (责任编辑 辛培裕)