

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.006

高环评标准下 1 000 MW 机组的设计优化研究 及工程实践

黄海华, 吴阿峰

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]新建火电燃煤机组工程选用污染物超低排放配置方案后,电厂初投资及运行费用明显增加,通过优化设计提高机组的运行经济性需进行详细技术研究,并给出推荐意见。[方法]采用理论与实践相结合的方法,选定某 1 000 MW 机组工程进行了应用实践研究。[结果]研究表明:现依托工程的应用效果显著,主要经济技术指标国内领先,文章推荐采用的优化设计成果及研究方法也相应得到了验证。[结论]相关研究成果可为后续的同类型项目建设提供重要参考和借鉴。

关键词: 1 000 MW 机组; 设计优化研究; 工程实践

中图分类号: TM611; TM621

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)02-0034-04

Research on Optimization Design and Application for 1 000 MW Power Plant Under Current Stricter EIA Standard

HUANG Haihua, WU Afeng

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction]The initial investment and operation cost of the power plant are significantly increased after the ultra-low emission configuration is selected for the project of new coal-fired power units. The main purpose of this paper is to carry out detailed technical research on how to optimize the design to improve the operating economy of the units and give recommendations. [Method]By combining theory with practice, this paper selected a 1 000 MW unit project for practical study. [Result]The results show that the application effect of the project is significant, and the main economic and technical indicators are leading in China. The optimization design results and research methods recommended in this paper have been verified accordingly. [Conclusion]The relevant research results of this paper can provide important reference for the construction of similar projects in the future.

Key words: 1 000 MW unit; study on optimization design; engineering application

随着大气污染物排放要求越来越高,新建大容量火电燃煤机组工程已普遍选用了污染物超低排放配置方案,国内各级研究机构现阶段主要集中对污染物超低排放配置方案进行了研究。但需要注意的是,各种各样的超低排放配置方案导致电厂的初投资及运行费用均明显增加,但同时燃煤电厂的机组年利用小时数却逐年下降,电厂利润空间萎缩,电

厂经济效益大受影响。基于上述,本文拟以 1 000 MW 工程为例,开展基于全厂的系统性设计优化方案的研究,以缓解电厂利润空间逐年萎缩的现状。本文着眼于燃煤电厂设备及系统设计,对节能降耗的配置进行详细研究,并提出技术配置更合理,初投资更低的典型方案,在保证污染物超低排放的同时合理降低电厂的运行费用,提高机组的运行经济性及电厂竞价上网的能力。

研究成果进行工程实践应用后,更具实用性,可为后续同类型的工程项目提供重要参考和借鉴。

收稿日期: 2018-09-19 **修回日期:** 2018-11-26

基金项目: 中国能建广东院科技项目“排烟冷却塔在 1 000 MW 级燃煤机组电厂的应用研究”(ER05141W)

1 设备及系统配置的设计优化及应用

1.1 优化主机选型参数

1) 主蒸汽压力

蒸汽初压每提高 1 MPa, 汽机热耗率可降低约 0.13% ~ 0.15%。对一次再热机组而言, 结合现阶段的材料研发制造情况及主机厂加工制造能力, 并兼顾汽机本体机构、排汽湿度要求^[1], 主蒸汽压力可以提高至 27 MPa ~ 28 MPa。

2) 主蒸汽温度

主蒸汽温度每提高 10 °C, 汽机热耗率可降低 0.25% ~ 0.30%。提高主蒸汽温度主要受到高温材料的限制, 锅炉的过热器布置在辐射/半辐射区或对流区的高温位置, 运行中温度偏差难以精确控制, 结合目前市场的奥氏体不锈钢及 SA335 - T/P92 等高温材料的使用温度及加工限制, 推荐主蒸汽温度选择 600 °C。

3) 再热蒸汽温度

再热蒸汽温度每提高 10 °C, 汽机热耗率可降低 0.15% ~ 0.20%。结合汽轮机材料以及高温材料 SUPER304H、HR3C、SA335 - T/P92 的使用温度要求, 再热蒸汽温度可以提高至 610 ~ 620 °C, 但需采取合理的手段进行烟温偏差控制, 并增设必要的壁温测点。

结合上述分析结果, 结合依托工程主机选型阶段主要主机厂的加工制造能力(2009—2010年), 将依托工程项目汽轮机进口的蒸汽参数确定为 27/600/600。相比第一代百万超超临界机组 25 MPa 技术方案^[2], 降低汽机热耗率 10 kJ/kWh。相比第一代百万超超临界机组 26.25 MPa 技术方案, 降低汽机热耗率 8 kJ/kWh。

1.2 单列(1×100%)给水加热器

对于 1000 MW 超超临界机组, 加热器主要有蛇形管和 U 形管两种, 国内大容量机组蛇形管式加热器的加工制造技术发展较慢, 目前应用业绩较少。由于设计压力较高, U 形管高加的管板、水室、筒体均较厚, 加工制造工艺较复杂, 故早期由于已经投运的工程多选择了双列(2×50%)给水加热器。但采用单列方案, 可以简化抽汽系统、高压给水系统、疏水系统、运行控制系统同, 减少相应管道长度及对应阀门、仪表测点, 而且由于管道压损降低, 也可提高机组的热经济性。

近些年来, 随着技术的发展进步, 国内主要的设备制造厂均具备了单列加热器的生产制造能力, 虽结构细节略有不同, 但产品质量均已经能满足电厂的可靠性运行需求, 以依托工程为例进行核算, 尽管单列初投资略高于双列, 但考虑配套系统后, 两台机组可减少投资 400 万元。

故建议 1000 MW 超超临界机组采用单列给水加热器。

1.3 烟气协同治理技术方案

采用锅炉低氮燃烧 + SCR 脱硝 + 低温省煤器 + 低低温静电除尘器 + 高效湿法脱硫 + 湿式除尘器的烟气协同治理技术方案, 同步实现氮氧化物、二氧化硫、三氧化硫、粉尘、汞等的有效脱除, 高效可靠、经济合理。

采用省煤器分级布置方案, 满足 SCR 脱硝装置宽负荷投运(30% BMCR 工况及以上)要求。

采用 3 室五电场低低温静电除尘器(除尘器前设置低温省煤器), 除尘器全部电场设置高频电源, 除尘器出口烟尘出口排放浓度 $\leq 20 \text{ mg/Nm}^3$, 同时辅以除尘控制优化软件, 较常规静电除尘器配置方案省电 40% 以上。

同步设置湿式除尘器, 烟囱出口烟尘排放浓度不超过 5 mg/Nm^3 , 并可以去掉细小颗粒(PM 2.5)以及酸雾、气溶胶等。除尘器排水作为除雾器冲洗水使用, 运行管理简单, 且无额外废水产生。

1.4 无油点火技术

采用无油点火技术, 取消电厂的常规燃油系统, 技术上是可行的。但随着机组参数的提高, 电网对机组可靠性的要求提高, 应注意几个方面的问题: (1) 推荐设置两套等离子点火系统, 并设置壁温自动控制系统, 以提高可靠性; (2) 点火初期锅炉温升较快, 而且不易控制, 为缓解再热器干烧及受热面超温等现象, 应注意优化磨煤机出力, 减少初始热功率等; (3) 点火启动初期, 应注意加强吹灰, 避免炉膛受热面积碳爆燃; (4) 合理安排磨煤机检修计划^[3]。

采用无油电厂因为取消了燃油系统, 运行维护工作量小, 节能效果显著, 以依托工程为例, 在机组试运初期就投入了等离子点火装置, 从锅炉试运到机组通过 168 h 试运行投入商业运行实现了 0 耗油, 仅在机组吹管和调试期间, 用煤粉代油就可以全部回收成本, 具有很好的节能和经济效益。

1.5 烟气余热系统优化

采用烟气余热利用系统,低温省煤器设置于除尘器前,用于加热凝结水,不但具有提高除尘器除尘效率,降低除尘器出口烟尘排放浓度的作用,而且可以回收烟气余热,以依托工程为例,THA工况下机组热耗能降低约24 kJ/kWh,降低发电标煤耗约0.84 g/kWh,可节省年总运行费用为271.5万元。

1.6 采用超大跨度预应力拱形钢桁架结构、常规条形煤场实现真正全封闭式,提高环保标准

为适应日渐严格的环评标准要求,依托工程采用全封闭式煤场,封闭范围包括侧面及两端,仅保留必须的煤场带式输送机出口及推煤机等机械进出通道。采用超大跨度预应力拱形钢桁架结构体系,通过科学合理地引入自平衡的预应力构件,创造出结构力学高效、造型新颖美观的现代建筑结构体系。

其中煤场封闭最大跨度达到191 m(按柱中心距),封闭投影面积 $191\text{ m} \times 252\text{ m}$ (长度方向按最外侧柱中心距) $=48\,132\text{ m}^2$,国内罕见。只有周边一圈钢筋混凝土支撑柱,内部为宽敞的大空间。斗轮机在煤场内自由运行,不受结构立柱影响;同时没有煤堆中间的立柱,不需考虑煤堆自燃和腐蚀影响封闭煤场结构安全。该技术基本解决煤尘飞扬外溢影响周边环境问题,同时减少下雨等天气对存煤质量损失的影响,提高经济效益。

1.7 临机加热技术

与锅炉厂配合,适当降低锅炉的热态清洗水温,建议 $150 \sim 190\text{ }^\circ\text{C}$,采用由邻机辅助蒸汽系统供汽至本机除氧器的临机加热系统^[4]。较低的清洗温度方案既避免了高加启动加热蒸汽系统的有关问题,又可以充分发挥邻机加热的优势,在锅炉启动过程中利用邻机高效的燃煤热量加热本炉给水,热态清洗时无需点火以节约燃料。该配置方案可以节省大量燃料及厂用电,具有一定的节能优势。

1.8 取消启动电动给水泵

对扩建工程而言,可以核算蒸汽系统,在蒸汽量能满足要求的情况下,建议取消启动电动给水泵^[5],直接采用汽动给水泵启动,对1 000 MW等级机组而言,可以降低初投资620万。

1.9 给水泵主泵与前置泵同轴

推荐主泵与前置泵同轴布置,利用给水泵汽轮机驱动前置泵,降低初投资的同时,也可以有效降低机组的厂用电率,经核算,每台1 000 MW机组可节省初投资630万元,厂用率可降低约0.2%。

1.10 三大风机选型裕量合理优化

以依托工程为例,对已有项目进行了主要烟风煤粉管道理论压降与实测值偏差研究,结合研究成果及燃用煤质可能的变化区间,通过分析三大风机不同的运行特点,对三大风机的选型裕量进行了合理优化^[6]。在风机招评标阶段结合不同厂家投标设备的风机性能曲线进行了全负荷风机运行效率的比选,最终选择了综合运行效率最高的风机,也首次对三大风机的全负荷运行效率提出了性能保证及考核要求,在机组年利用小时数普遍偏低的大背景下,可以最大程度的提高本工程的运行经济效益。

1.11 制粉系统主要指标优化

1)降低煤粉细度提高锅炉燃尽率,减少未燃尽碳损失。

2)提高磨煤机末端温度降低锅炉排烟温度,减少排烟热损失。

以依托工程为例,采取上述措施后,锅炉效率由94%提高至94.4%,同时炉膛出口 NO_x 排放浓度由 250 mg/Nm^3 降至 180 mg/Nm^3 。

1.12 采用空压机集中供气系统

将各专业空气供应系统的独自布置,整合为统一的空压机站,由压缩空气站向除灰、热控、热机、脱硫、化水等专业提供气源。降低了同类型系统的备用余量,减少了设备投资和相应的配套系统投资。

2 全厂布局优化

2.1 总平面布局优化

通过采用模块化设计理念和先进的三维设计手段,进行整体综合优化,本期工程A列柱至烟囱中心线的距离为 230.5 m ^[7]。

全厂建、构筑物采取平面和空间组合,做到分区明确、合理紧凑、流程顺畅、生产方便、交通便捷、整体协调^[8]。本期用地仅 18.10 hm^2 ,单位容量用地仅 $0.091\text{ m}^2/\text{kW}$ 。

2.2 紧凑型主厂房布置

主厂房采用混凝土结构型式的紧凑型布置

方案:

1) 汽机房纵向长度为 194.2 m, 跨度 31 m, 运转层标高仅 15.5 m。

2) 除氧间跨度 10 m, 汽动给水泵组采用前置泵与主泵同轴的方案, 创新地将同轴后的汽动给水泵组布置在除氧间零米层, 采用上排汽方式, 接至主机凝汽器, 除氧层标高 26 m^[9]。

3) 采用炉前煤仓方案, 煤仓间跨度 13.5 m, 给煤层标高 17 m, 与锅炉运转层平台标高一致, 便于巡检维护。

4) 炉后布置风机、除尘器、脱硫系统、烟囱等设备和构筑物。利用除尘器前烟道框架下方布置一次风机和送风机后的富裕空间作为联合车间, 3 号机组联合车间布置空压机房, 4 号机组联合车间布置除尘器配电室, 布置巧妙规整、节省用地。

2.3 运煤系统优化

运煤系统通过精细核算, 采用提速优化、改造升级等措施, 由满足原规划容量一期 2 × 600 MW + 二期 2 × 600 MW 条件改为满足一期 2 × 600 MW + 二期 2 × 1 000 MW 供煤需求。该优化利用一期原有建构筑物, 减少新建的建构筑物, 同时整合一期及二期煤场资源, 统筹协调, 较好适应电厂运行中存在的多种燃煤掺混需求, 既降低初投资, 又保证运行可靠性及燃煤的供应品质, 效益高。

3 结论

当前环评标准日益严格, 燃煤电厂利用小时数普遍偏低, 电力企业面临经营亏损的困境, 本文提出从设计优化的源头做起, 降低电厂初投资及运行成本, 减少资源消耗, 对提高电厂综合运行经济效益, 意义重大。

本文从多个方面进行了研究探讨, 并立足工程自身特点, 设计中采用了一系列的创新优化措施, 在确保机组安全运行、保证污染物超低排放的基础上, 大大提高了机组效率, 并有效控制了工程造价和运行费用。依托工程建成投产后, 耗水量 0.065 (m³ · s⁻¹ · GW⁻¹), 全厂厂用电率 3.8%, 供电煤耗 278.3 g/kWh, 静态投资 56.8 千万元, 主要经济技术指标国内领先, 且机组实测污染物排放浓度 NO_x ≤ 30 mg/Nm³, SO₂ ≤ 15 mg/Nm³, 粉尘 ≤ 1 mg/Nm³, 远低于超低排放的限值要求。

随着该依托工程的顺利投产, 本文所推荐的一

系列优化措施也成功地得到了验证, 可为后续的同类型项目建设提供重要参考和借鉴作用。

参考文献:

- [1] 朱宝田. 三种国产超超临界 1 000 MW 机组汽轮机结构设计比较 [J]. 热力发电, 2008, 37(2): 1-8.
- [2] 吴志祥, 王存新, 丁宜. 1 000 MW 机组主机参数优化的技术经济性分析 [J]. 上海电力学院学报, 2016, 32(6): 594-598.
- [3] 吴阿峰, 谭灿燊, 范永春, 等. 1 000 MW 二次再热机组建设无油电厂的技术经济性分析 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(1): 122-126.
- [4] 范永春, 邓成刚, 石佳. 1 000 MW 超超临界机组电动给水泵选择 [J]. 电力建设, 2006, 27(12): 61-63 + 67.
- [5] 邹罗明. 超超临界机组邻炉蒸汽加热系统优化研究 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(2): 127-130 + 20.
ZOU L M. Optimization research on adjacent boiler heating system of ultra supercritical unit [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(2): 127-130 + 20.
- [6] 吴阿峰, 潘灏, 谭灿燊. 1 000 MW 超超临界燃煤锅炉引风机配置的技术经济分析 [J]. 发电设备, 2009, 23(2): 136-139 + 143.
WU A F, PAN H, TAN C S. Configuration of Induced fan for coal-fired of 1 000 MW ultra supercritical power plants [J]. Power Equipment, 2009, 23(2): 136-139 + 143.
- [7] 黄海华. 多种管线敷设方式在台山电厂工程中的应用 [J]. 电力勘测设计, 2005(2): 60-63.
HUANG H H. Application of diversified pipeline layout modes in Taishan power plant project [J]. Electric Power Survey & Design, 2005(2): 60-63.
- [8] 江蛟, 高嘉梁, 王志斌. 华能巢湖电厂 2 × 600 MW 工程创新和优化设计 [J]. 电力建设, 2010, 31(1): 72-76.
- [9] 范永春, 霍沛强. 1 000 MW 超超临界机组主厂房布置格局探讨 [J]. 电力勘测设计, 2009(5): 36-39.

作者简介:



HUANG H H

黄海华(通信作者)

1974-, 男, 广东兴宁人, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司设计总工程师/教授级高级工程师, 西安建筑科技大学总图运输与设计专业, 学士, 主要从事电力设计及管理工(e-mail) huanghahua@gedi.com.cn。

(责任编辑 郑文棠)