

纯凝机组工业供热改造设计

黎林村

(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: 通过分析当前纯凝机组供热改造的主要技术, 为 2×135 MW 超高压纯凝发电机组设计了符合要求的供热改造方案。综合考虑电负荷的调峰要求和主机设备的安全性、安装工期、运行调节等因素, 电厂采取在主蒸汽管道、高温再热蒸汽管道、回热蒸汽管道上开孔抽汽, 然后利用压力匹配器进行配汽供热, 每台机组的工业供热能力可以达到 150 t/h。电厂的年均供电标煤耗将从 $353.4 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$ 降低到 $333.1 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$, 节能效益显著。

关键词: 纯凝机组; 供热改造; 热电联产

中图分类号: TK284.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)01-0062-04

Design of Industrial Heat-supply Reformation for Condensing Unit

LI Lincun

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

Abstract: This paper designs the feasible scheme of heat-supply reformation for 2×135 MW units by means of analyzing and comparing the current technology of heat-supply reformation. In consideration of the peak loader regulating of power system, the safety of turbine and boiler, the installation time and the unit operation, the power plant uses pressure matcher to inject and mix the main steam, hot-reheat steam and extraction steam for supplying heat, the heat-supply ability of each unit will reach 150 t/h finally. The annual standard coal consumption rate for power supplying in plant will be reduced from $353.4 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$ to $333.1 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$ and the benefit of energy-saving will be remarkable.

Key words: condensing unit; heat-supply reformation; combined heat and power generation

随着社会经济的快速发展, 我国区域性的工业热负荷需求不断增加, 建设分散型的供热锅炉将面对效率较低、环保性差、安全隐患大、管理不集中等问题, 不符合国家产业政策要求。热电联产集中供热是节约能源、减少排放、解决工业用热的有效途径, 但是大量建设热电联产项目当前受到了电力建设总容量和污染物排放总容量的制约。为解决这一难题, 国家积极引导和鼓励将部分现役纯凝发电机组改造为供热机组, 既不增加电力装机规模, 又可增加供热能力。

广东某电厂位于云浮市循环经济工业园, 装机容量为 2×135 MW 燃煤纯凝发电机组。为满足工业园用热企业日益迫切的集中供热需求, 电厂从

2013 年开始实施两台纯凝机组供热改造工程。

1 电厂主机设备及热力系统

1.1 锅炉

型号: DG 420/13.7-II2

型式: 一次中间再热、超高压自然循环汽包锅炉、单炉膛、燃烧器四角布置、切圆燃烧、平衡通风、固态排渣、管式空气预热器、钢筋混凝土结构
制造厂家: 东方锅炉股份有限公司

1.2 汽轮机

型号: N 135-13.24/535/535

型式: 超高压、一次中间再热、单轴、双缸双排冲动凝汽式汽轮机

额定转速: 3 000 r/min

制造厂家: 上海汽轮机有限公司

1.3 发电机

型号: QPS-135-2, 自并励系统

收稿日期: 2014-10-09

作者简介: 黎林村(1980), 男, 湖南华容人, 高级工程师, 博士, 主要从事火力发电厂热机设计的工作(e-mail) lilincun@gedi.com.cn.

冷却方式: 双水内冷

额定功率: 135 MW

制造厂家: 上海电机厂有限公司

1.4 热力系统

机组设置高、低压两级串联旁路, 容量按锅炉B-MCR工况的30%考虑。

机组回热系统由两台高压加热器、一台除氧器和四台低压加热器组成。

机组设置两台100%容量的电动调速给水泵, 一台运行, 一台备用。

机组设置两台100%容量的凝结水泵, 一台运行, 一台备用。

机组除氧器采用滑压运行, 加热汽源采用三段抽汽。

2 设计供热参数

电厂根据与用热企业签订的供热合同, 确定改造工程电厂侧的供热参数为:

1) 中压供热: 1.8 MPa/235 °C, 90 t/h。

2) 低压供热: 0.8 MPa/210 °C, 60 t/h。

根据用热企业的工艺调查, 中压供热蒸汽主要用于表面式换热设备或驱动小型汽轮机, 凝结水的可回收率较高, 预计能够达到80%, 而低压供热蒸汽主要用于混合式加热设备, 凝结水无法回收。为保证工质平衡, 机组供热改造后热力系统需要补充除盐水78 t/h。

3 供热改造方案

当前纯凝发电机组供热改造的技术方案主要有三类^[1-8]: 一是将汽轮机进行通流改造, 按供热机组的结构重新设计; 二是保持汽轮机的通流结构, 利用富余的回热蒸汽进行供热; 三是在主蒸汽管道、再热冷段、再热热段或者中排管道上开孔抽汽。

对汽轮机进行通流结构改造, 优点是电厂能够根据热负荷参数实现最合理的抽汽方式和抽汽参数, 但这种供热改造方式投资较大, 改造时间较长。

利用富余的回热蒸汽对外供热, 优点是改造量较小, 改造时间短, 缺点是纯凝机组回热系统为非调整抽汽, 供热蒸汽量有限, 蒸汽参数(流量、压力、温度)随机组负荷变化, 机组负荷下降较多时

可能无法向外供热。

在主蒸汽管道上开孔抽汽供热的参数(包括压力、温度)可以得到保证, 但因为这种“高能低用”方式的能源利用效率并不高, 同时供热设备、管道的投资较大, 而且供热流量也会受到锅炉安全运行的限制, 因此在实际工程中应用较少。

在再热冷段、再热热段或者中排管道上开孔, 利用汽轮机中联阀或中排管道上加装的蝶阀进行调整抽汽, 改造工程量不大, 供热参数在机组一定负荷范围内可以维持稳定, 是目前纯凝机组供热改造中使用较多的技术方案。

再热冷段开孔抽汽的流量要受到锅炉及汽轮机安全运行的限制, 再热冷段抽汽后进入锅炉再热器的蒸汽流量减少, 影响锅炉再热器温度的控制; 再热热段上开孔抽汽不影响锅炉安全运行, 抽汽流量仅受汽轮机高压缸末级叶片强度的限制。从再热蒸汽抽汽后, 如果汽轮机中联阀不能维持再热系统压力, 将导致汽轮机高压缸末端前后压差增大, 影响汽轮机安全运行。

中排管道上开孔抽汽的压力取决于汽轮机中低压汽缸的分缸压力, 抽汽压力可调节的范围较小, 当机组负荷超过65%额度负荷时, 通过调节连通管上蝶阀的开度, 可保持抽汽压力达到汽轮机纯凝THA工况下中、低压汽缸的分缸压力。

根据电厂2×135 MW超高压纯凝发电机组的主蒸汽、低温再热蒸汽、高温再热蒸汽、中排蒸汽、回热蒸汽的压力、温度、流量参数, 在不改变汽轮机通流结构时, 为满足供热参数的要求, 电厂供热改造可以选择在主蒸汽管道、低温再热蒸汽管道或者高温再热蒸汽管道上开孔抽汽, 然后降温降压的供热方案。

过热蒸汽降温降压的方式主要有三种^[9-13]:

1) 利用减温减压器进行降温降压, 原理是通过节流减压和喷水降温, 将高温高压的过热蒸汽降温降压。这种方式的优点是系统简单, 适应蒸汽负荷变化范围广, 缺点是热效率低, 节流设备容易被冲刷腐蚀。

2) 利用汽轮机进行降温降压, 原理是将通过驱动汽轮机做功, 将高温高压的过热蒸汽降温降压。这种方式的优点是热效率高, 缺点是投资高、系统复杂。

3) 利用压力匹配器进行降温降压, 原理是通

过高温高压蒸汽驱动引射低温低压蒸汽，将高温高压的过热蒸汽降温降压，将低温低压的过热蒸汽升温升压，这种方式的优点是能够利用部分低温低压的低品质蒸汽，热效率比利用减温减压器供热高。

综合考虑电负荷的调峰要求和主机设备的安全性、安装工期、电厂运行调节等因素，电厂最终确定采用压力匹配器配汽供热的改造方案，原则性的配汽方式为：

1) 中压供热蒸汽：主蒸汽 + 高温再热蒸汽 + 减温水。

2) 低压供热蒸汽：主蒸汽 + 三段回热蒸汽 + 四段回热蒸汽 + 减温水。

为保证供热的可靠性，工程按两台机组同时改造、单台机组运行也能提供 100% 供热流量的原则进行，即单台机组的最大供热能力达到中压 90 t/h，低压 60 t/h，保证电厂有足够的供热备用能力。

4 配汽参数与主机设备安全性校核

根据压力匹配器厂家的热力计算，在主蒸汽流量 300 t/h 工况时供热改造工程的配汽参数如下：

1) 中压供热蒸汽：

主蒸汽：13.2 MPa/535 °C，11.5 t/h。

高温再热蒸汽：1.4 MPa/535 °C，58.5 t/h。

减温水：15.0 MPa/155 °C，20 t/h。

2) 低压供热蒸汽：

主蒸汽：13.2 MPa/535 °C，35 t/h。

三段回热蒸汽：0.35 MPa/345 °C，10 t/h。

四段回热蒸汽：0.2 MPa/285 °C，5 t/h。

减温水：1.25 MPa/32.5 °C，10 t/h。

根据东方锅炉集团股份有限公司的计算，主蒸汽最大可以抽取 70 t/h 而不影响锅炉的安全运行，因此改造工程抽取 46.5 t/h 主蒸汽供热是可行的。相对纯凝工况而言，汽轮机在抽汽工况运行时的本体结构强度要求更高，尤其是抽汽口前两级动叶片，根据上海汽轮机有限公司的计算，汽轮机高压 5—8 级，中压 5—10 级动叶安全性都合格，可以保证汽轮机在抽汽工况下安全连续运行，而根据汽轮机在抽汽工况下的参数对汽轮机进行推力计算和轴承比压计算，结果也表明供热改造后汽轮机的推力和轴承比压在允许范围内。

5 系统设计

供热系统主蒸汽接自机组 A、B 侧主蒸汽电动闸阀前的疏水管道。2 × DN 50 管道汇流成 1 × DN 80 管道接至低压匹配器，另从 DN 80 管道上接引 1 × DN 40 管道至中压匹配器。为保证设备检修时的安全，在低压匹配器和中压匹配器的主蒸汽管道上都安装有两道电动隔离阀门。

供热系统高温再热蒸汽接自机组的 A、B 侧高温再热蒸汽管道，2 × DN 200 管道汇流成 1 × DN 300 管道后分两路接至中压匹配器。一路安装有两道电动隔离阀门和止回阀，用于机组低负荷高温再热蒸汽压力低于 1.8 MPa 时，采用主蒸汽驱动引射高温再热蒸汽的供热方式。另一路安装有电动隔离阀、电动调节阀、电动隔离阀，用于机组高负荷高温再热蒸汽压力高于 1.8 MPa 时，采用关闭主蒸汽，高温再热蒸汽直接降温降压的供热方式。

中压匹配器的减温水采用给水泵出口的高压给水，减温水管道上依次安装有两道节流孔板和两道电动截止阀、节流阀、电动调节阀、止回阀。

低压匹配器的三段回热蒸汽、四段回热蒸汽都接自机组回热蒸汽管道气动止回阀后，管路依次安装有电动隔离阀和止回阀。

低压匹配器的减温水采用凝结水泵出口的低压凝结水，减温水管道上依次安装有电动截止阀、电动调节阀和止回阀。

为方便流量调节与计量，高压减温水管路、低压减温水管路、中压匹配器主蒸汽管路、低压匹配器主蒸汽管路、中压匹配器出口蒸汽管路、低压匹配器出口蒸汽管路都安装有流量计。

工程供热补水系统充分利用机组除氧器的上水系统，供热回水接至 40 m³ 上水箱后由上水泵输送至除氧器。为方便实际运行时两台机组供热负荷的调节变化，将上水泵的出口管道由母管制改为单元制，每台上水泵对应一台除氧器，上水管道路安装流量计、调节阀门及其旁路。

工程新安装一台同型号的上水泵作为两台机组共同的备用泵。

除盐水补水利用纯凝机组的补水系统直接输送至凝汽器，当补水系统通流能力不足时可以同时向上水箱补水，由上水泵输送部分除盐水至除氧器，保证每台机组除氧器与凝汽器的补水量之和与供热

流量平衡。

6 供热改造的热经济指标

按照《热电联产项目可行性研究技术规定》中的热量法计算供热机组的热经济指标, 电厂供热改造后, 两台机组供热达到中压 90 t/h、低压 60 t/h 时, 年供热量 3.357×10^6 GJ, 年发电量 14.5476×10^8 (kW·h), 年均供热标煤耗为 39.94 kg/GJ, 而年均供电标煤耗将从 353.4 g/(kW·h) 降低到 333.1 g/(kW·h), 热效率将从 38.2% 提高到 50.6%, 电厂年均热电比为 64.1%, 已经超过了热电联产机组要求的相关指标。

热电联产机组的节约标煤量是指与热电分产耗煤量比较, 热电分产以建设相同供热规模的分散供热锅炉房和相同供电规模的凝汽机组为对象。按照分散供热锅炉的综合效率 0.75, 凝汽机组的供电标煤耗按照供热改造前的 353.4 g/(kW·h) 计算, 电厂实施集中供热后, 每年可以节约标煤量 4.8×10^4 t, 能源利用效率也要比热电分产高出 3.6%。

7 结论

为满足工业供热要求(供热蒸汽压力、温度、流量、备用能力), 在主机厂家、供热设备厂家的配合下, 为电厂 2×135 MW 超高压纯凝发电机组设计了可行的供热改造技术方案。供热改造后, 电厂可以为用热企业提供稳定的、可靠的工业供热蒸汽, 同时电厂的热经济指标得到了大幅度优化, 全年年均热效率和年均热电比已经达到了热电联产机组要求的相关指标。

参考文献:

- [1] 彭献永, 唐兆芳, 葛斌. 凝汽式汽轮机供热改造中汽缸开孔处应力的研究和分析 [J]. 汽轮机技术, 2006, 48(5): 339 - 342.
PENG Xianyong, TANG Zhaofang, GE Bin. Study and Analysis on Stress of the Casing in Retrofitting Condensing Turbine to Extraction Turbine for Supplying Heat [J]. Turbine Technology, 2006, 48(5): 339 - 342.
- [2] 朱雁军. N110-90/535 型汽轮机供热改造及经济性测算 [J]. 河北电力技术, 2007, 26(4): 33 - 34.
ZHU Yanjun. Heat Supply Reformation and Economy Calculation for N110-90/535 Steam Turbine [J]. Hebei Electric Power, 2007, 26(4): 33 - 34.
- [3] 许琦, 马骏驰, 王小伟. 国产 300 MW 机组高再抽汽供热改造 [J]. 华东电力, 2008, 36(6): 101 - 103.
XU Qi, MA Junchi, WANG Xiaowei. Steam Extraction Cogeneration Retrofits for High Temperature Reheaters of Domestically-made 300 MW Units [J]. East China Electric Power, 2008, 36(6): 101 - 103.
- [4] 孔令先, 李继伟, 李宏伟. 220 MW 汽轮机供热改造研究与应用 [J]. 节能技术, 2010, 28(162): 319 - 328.
KONG Lingxian, LI Jiwei, LI Hongwei. Research and Application of 220 MW Steam Turbine Heat Transformation [J]. Energy Conservation Technology, 2010, 28(162): 319 - 328.
- [5] 李志才, 赵巨国, 黄国军. 330 MW 汽轮机打孔抽汽供热改造 [J]. 吉林电力, 2010, 38(3): 44 - 45.
LI Zhicai, Zhao Juguo, HUANG Guojun. Heat-Supplying Retrofitting with Steam Extracted from Inter-connecting Pipe of 330 MW Turbine [J]. Jilin Electric Power, 2010, 38(3): 44 - 45.
- [6] 王聚中, 张维明, 李国政. 200 MW 供热机组工业抽汽改造方案的研究分析 [J]. 河南电力, 2011, 32(2): 49 - 52.
WANG Juzhong, ZHANG Weiming, LI Guozheng. The Heating Steam Turbine of 200 MW Industrial Transformation Feasibility Study Analysis [J]. Henan Electric Power, 2011, 32(2): 49 - 52.
- [7] 杨长春. 凝汽发电机组的供热改造方法研究 [J]. 电力学报, 2011, 26(4): 357 - 360.
YANG Shengchun. Study on Heat Supply Reform Methods of Condensing Steam Turbines [J]. Journal of Electric Power, 2011, 26(4): 357 - 360.
- [8] 柴国旭, 郑蕾燕, 张跃进. 凝汽式机组工业供热改造方案分析与比较 [J]. 浙江电力, 2012, 40(1): 32 - 34.
CHAI Guoxu, ZHENG Puyan, ZHANG Yuejing. Analysis and Comparison of Industrial Heat Supply Retrofit Schemes for Condensing Unit [J]. Zhejiang Electric Power, 2012, 40(1): 32 - 34.
- [9] 戈志华, 杨佳霖, 何坚忍. 大型纯凝汽轮机供热改造节能研究 [J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(17): 25 - 30.
GE Zhihua, YANG Jialin, HE Jianren. Energy Saving Research of Heating Retrofitting for Large Scale Condensing Turbine [J]. Proceeding of the CSEE, 2012, 32(17): 25 - 30.
- [10] 周琳, 谭锐, 卫栋梁. 东汽纯凝 600 MW 级火电机组供热改造探讨 [J]. 东方电气评论, 2012, 26(102): 8 - 13.
ZHOU Lin, TAN Rui, WEI Dongliang. Discussion on the Heat Supply Reform of 600 MW Condensing Thermal Power Unit [J]. Dongfang Electric Review, 2012, 26(102): 8 - 13.
- [11] 郑蕾燕, 柴国旭, 任建兴. 供热改造机组运行性能研究 [J]. 华东电力, 2013, 41(6): 1393 - 1395.
ZHENG Puyan, CHAI Guoxu, REN Jianxing. Operating Performance of Cogeneration Retrofits Unit [J]. East China Electric Power, 2013, 41(6): 1393 - 1395.
- [12] 谭天荣. 粤泷电厂纯凝式机组供热改造 [J]. 吉林电力, 2014, 42(4): 40 - 42.
TAN Tianrong. Heat Supplying Retrofit for Condensing Unit in Yuelong Power Station [J]. Jilin Electric Power, 2014, 42(4): 40 - 42.
- [13] 王明军. 利用汽轮机进行供热的方法探究 [J]. 热力透平, 2014, 43(2): 124 - 126.
WANG Mingjun. Investigation of Heating Supply by Using Steam Turbine [J]. Thermal Turbine, 2014, 43(2): 124 - 126.

(责任编辑 林希平)