

关于汽轮机灵活性改造技术方案研究

李斌

晋控电力同达热电山西有限公司 山西 大同 037001

【摘要】山西漳电同达热电有限公司安装 2×330MW 亚临界燃煤空冷抽凝汽轮发电机组。电厂作为大同市重要电源点和热源点，在为当地社会经济发展提供电力的同时，也为大同市和城市周边的居民采暖提供优质稳定供热热源，为改善城市环境和保障民生发挥着重要作用。为适应地区供热发展、社会用电需求减少等方面的需求，为提高能源利用效率、提高机组供热能力和供热期深度调峰能力，本项目拟进行#2 机组深度调峰改造。

【关键词】：汽轮机；改造技术；方案研究

1 工程概况

1.1 工程规模及现状

为响应国家大力发展清洁能源的总体要求，结合国家能源局、区域和地方制定和颁布的有关鼓励和激励政策，进一步增强本电厂机组在电力辅助服务调峰市场的竞争力和盈利能力，本项目拟对电厂现有#2 汽轮发电机组进行深度调峰改造，提高机组深度调峰能力及供热能力。

2 灵活性改造方案

2.1 供热机组灵活性改造技术路线的确定

2.1.1 机组灵活性改造方案

光轴改造由于其无法满足高负荷调峰，且投资大，不建

议采用。主再热辅助供热系统运行经济性较差，且电厂供热负荷供热抽汽完全满足现有面积，同时已有再热至热网系统管路，故不再进行此方案改造。采用低压缸微出力运行改造技术，投资小，改造工期短，可同时提高机组深度调峰能力和供热能力，因此，推荐#2 机组采用低压缸微出力运行改造技术。

2.1.2 多种切除低压缸方案技术比较

目前国内实施切除低压缸进汽改造运行的主流方案有以下三种，见表 2-1。

表 2-1 切除低压缸改造方案的比较

改造内容	方案一	方案二	方案三
本体改造	本体可不进行改造(或者根据安全建议增加低压叶片喷涂)	1.低压叶片喷涂; 2.低压缸喷水系统改造	1.更换末级、次末级叶片; 2.低压叶片喷涂; 3.低压缸喷水系统改造
低压缸冷却流量	与末级叶片/运行背压有关。可实现 20~150t/h 调整, 常用流量 40t/h。	固定流量 20t/h	固定流量 20t/h
冷却流量控制	可不增加冷却旁路, 对原连通蝶阀进行改造, 流量可宽幅调整	增加冷却旁路, 流量基本固定	增加冷却旁路, 流量基本固定
低压缸进汽温度控制	不冷却	不冷却	喷水减温
运行背压控制	2~4kPa	运行背压较高, 接近 6kPa	运行背压较高, 接近 6kPa
抽真空系统	增加大容量辅助系统	不做具体要求	不做具体要求
低压缸排汽温度控制	低压缸不喷水, 通过控制低压缸进汽流量调整排汽过热度。	切缸运行连续低压缸喷水运行。	通过控制低压缸进汽温度及低压缸喷水运行来控制排汽温度。
安全监测	低压缸末级、次末级排汽温度。	1.低压缸末级、次末级排气温度监测等 2.制造厂推荐叶片颤振系统	叶片颤振系统。
切缸与非切缸切换	负荷可连续变化, 实现无扰切换。	需快速跨过颤振区, 负荷变化幅度 50MW 左右。	需快速跨过颤振区, 负荷变化幅度 50MW 左右。

负荷适应性	好	较差	较差
最大调峰能力	三种方式一致		
运行经济性	三种方式一致		
安全风险	风险可控, 运行容积流量与设计最大供热工况相近, 避开颤振区。	末级叶片存在水蚀风险, 次末级过热, 容积流量小, 处于鼓风运行, 次末级超温严重。切换需跨颤振区。	虽然切换时需要跨颤振区。但由于更换了新型叶片, 风险可控。

2.1.3 改造方案选择

分析认为, 目前方案二和方案三仅从避开颤振区和控制超温两个方面开展工作, 且存在投切低压缸需快速跨越应力驼峰区、叶片水蚀隐患大、操作风险大、控制范围窄等技术局限性, 真正的改造效果还需在供热结束后揭缸检查后加以检验。

方案一设置通流量较大的旁路冷却系统, 配合机组背压调整, 可合理控制蒸汽容积流量, 实现低背压改造后宽幅调整, 合理避开末叶颤振区, 推迟蒸汽脱流和鼓风过渡工况的发生, 减轻由于级内蒸汽流速低、动叶入口冲角大而导致的水蚀, 降低末叶出口脱流高度, 改善末级和次末级工作状况。

综合以上分析, 推荐方案一作为本厂#2 机组改造方案。

3 工程实例

以国锦煤电#2 机组为例, 在低压缸进汽流量为 39.8t/h 时, 背压为 2.23/2.11kPa, 低压缸末级出口温度最高为 45.7℃, 处于正常范围, 低压缸喷水无需投入运行, 可实现低压缸安全稳定运行。

3.1 改造后的供热运行方式

机组实施低压缸微出力运行改造后, 运行背压可维持低背压运行, 达到提升深度调峰和提高全厂供热能力的目的, 同时提高机组运行经济性。

3.2 设计思路

整体系统设计以解决鼓风、水蚀和颤振问题为主要出发点, 同时优化冷却蒸汽系统容量, 以满足宽幅调整的要求。

抑制鼓风和水蚀: 通过维持机组低背压运行, 提高小质量流量下蒸汽流速, 推迟蒸汽脱流和鼓风过渡工况的发生, 减轻由于级内蒸汽流速低、动叶入口冲角大而导致的水蚀, 降低末叶出口脱流高度, 改善末级和次末级工作状况。

宽幅控制躲避颤振: 配合机组背压调整, 合理控制蒸汽容积流量, 实现低压缸切缸后宽幅调整, 以合理避开末叶颤振区。

3.3 具体改造方案

本次拟计划针对#2 机组实施低压缸微出力改造方案, 其目的是在低压缸本体不做较大改动的前提下, 优化低压缸进

汽蝶阀, 实现低压缸维持较低的进汽流量 (暂按 40t/h), 维持较低背压运行, 低压缸末级叶片出口温度及排汽缸温度控制在原系统报警值以内, 无需低压缸喷水运行, 最大程度利用抽汽进行供热, 具备较强的低负荷调峰能力。改造方案主要包括低压缸进汽系统改造、真空系统优化改造、低加进汽系统改造、凝结水系统改造、热工控制部分优化等。具体改造内容如下:

3.3.1 低压缸进汽系统改造

该改造方案主要包括以下几部分。具体改造如下图所示。

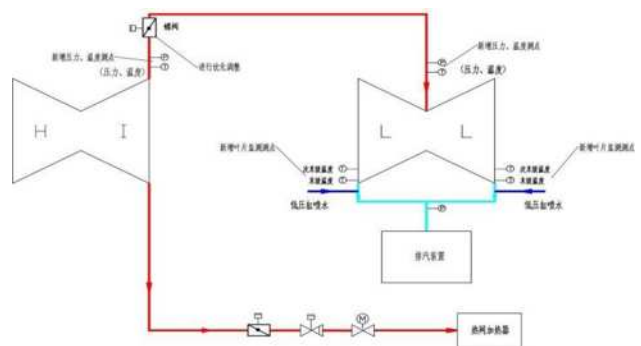


图 3-1 低压缸进汽系统改造示意图

3.3.2 原排汽蝶阀优化调整

本厂中压缸排汽蝶阀可实现全截流功能, 但现阶段进行机械限位控制, 原预留机械角度较大, 在中压排汽蝶阀操作画面模拟量为全关时, 阀门最小通量仍然较高, 造成冷源损失较大。为此, 需对连通管蝶阀机械“0”位进行优化调整, 最小通流能力可实现 30~40t/h, 并同步对逻辑控制进行优化改造。

3.3.3 辅助抽真空设备改造

针对本厂真空系统实际情况, 并结合已实施机组的成功案例, 推荐采用增设辅助机械真空泵组, 该方案通过加装串联式辅助抽真空系统, 可降低原真空泵的入口压力, 有效降低进入真空泵的流量, 使水环真空泵抽空能力增加。

新增设备建议增加在零米布置, 水环真空泵附近。辅助机械真空泵组可实现变频调节, 泵组为集装设备, 包括罗茨真空泵以及冷却器, 通过串接方式接至原水环真空泵母管

前，同时增加旁路，便于切除。

改造后系统推荐按以下方式运行。

初末寒期：投运辅助真空泵组和大水环真空泵，组成二级串联真空泵组，提高真空，实现机组的低背压经济运行。

切缸期：投运辅助真空泵组和大水环真空泵，组成二级串联真空泵组，提高真空，实现机组的超低背压运行。

其他时段：停运罗茨泵，抽吸的汽水混合物经罗茨泵旁路门进入排气冷凝器冷却后进入大水环真空泵，降低水环泵的进气温度，改善水环泵的抽气性能和可靠性。

辅助真空泵进、出口需加装压力（共2个）、温度远传测点（共2个）；排汽冷却器水源为循环冷却水，进、出水管路设置手动门。排汽冷却器气侧出口需加装压力（1个）、温度远传测点（1个）。冷却器疏水设置手动门，并回收至排汽装置。

3.3.4 抽真空系统管路改造

辅助抽真空系统改造后，真空设备的抽空能力增大，原抽真空管路尺寸维持不变的情况下，该管路的沿程阻力会同步增大，造成真空系统整体阻力增大，故需对1~6列抽真空管路进行扩容改造（原 $\Phi 89$ 利旧使用，增设 $\Phi 159$ 管路，原 $\Phi 159$ 更换为 $\Phi 219$ ），在空冷岛平台增加一路联通母管（ $\Phi 377$ ），以减小抽真空系统阻力，与原有六列抽真空管路相连，增加联通管路连接至原有抽真空母管。原抽真空管路电动阀进行匹配更换。

3.3.5 空冷岛封堵装置改造

空冷岛底部为基本正方形结构，风扇口正中位置布置网

格板结构通道平台，在通道平台下方和两侧分别安装对称的长方形封堵装置。

在设计中采用电机带动减速机实现合理的开合线速度，使装置开合平稳自如，在传动中电机带动减速机驱动滚筒转动和轴向移动的复合运动，钢丝绳巧妙缠绕在滚筒上，实现牵引动梁匀速运动，防腐布帘在动梁上通过滚轮在轨道上行驶，利用电机正反转实现封堵装置的合开，钢丝绳的松紧通过调整涨紧轮实现，开合极限位置时压合行程开关实现自动停止。

本方案推荐安装12个电动封堵装置，封闭部分风机的通风口，进一步降低空冷岛的通风量，改善空冷管束的温度分布状态，降低管束冻结的危险性，从而能够部分提高供热能力，提高机组运行的安全性。

3.4 热工控制部分改造

本次改造新增控制设备（不包含空冷岛在线监测）及监测测点需接入原有DCS系统，需对新增系统相配套的热工及电气进行相应改造，并对热工逻辑部分进行优化。

4 结论与建议

（1）实施灵活性切除低压缸改造后，能够有效降低低压缸冷却蒸汽流量消耗，显著提高机组深度调峰能力，一定程度上提高机组供热能力。

（2）本改造安装工程资金投入845.0万元，改造后总收益为800.35万元，单个供热季即可回收95%投资。

（3）灵活性切除低压缸改造，采用低背压运行技术，可实现无需低压缸喷水投入运行，针对低压缸可能出现的鼓风、水蚀和颤振等问题是可控的。建议尽快立项实施。

参考文献：

[1] 陈要华.汽轮机灵活性改造技术方案研究[J].锅炉制造,2021(03):62-64.