

汽轮机低压缸零出力改造对机组经济性的影响分析

安鹏博

华能国际电力股份有限公司营口电厂, 辽宁 营口 115000

DOI:10.61369/EPTSM.2025050006

摘 要 : 汽轮机低压缸零出力改造在应用中主要就是通过优化低压缸进汽的方式进行处理, 保留少量蒸汽满足冷却以及带走鼓风热量的技术手段。此种技术在应用中可以有效提高机组的供热能力, 增强调峰的灵活性。此种技术手段在热电联产机组中应用, 效果显著。改造之后, 可以有效提高机组自身的供热能力, 提高整体经济效益。但是此技术在应用中还是受到多种因素的影响, 因此, 在对其进行改造处理中, 必须要综合技术可行性、经济性以及安全性等多种因素进行分析, 方可有效保障项目改造的长期性、稳定性。

关 键 词 : 汽轮机; 低压缸零出力; 经济性; 冷源损失

Analysis of the Impact of Zero Output Transformation of Low Pressure Cylinder in Steam Turbine on Unit Economy

An Pengbo

Huaneng International Power Co., Ltd. Yingkou Power Plant, Yingkou, Liaoning 115000

Abstract : The zero output transformation of the low-pressure cylinder of a steam turbine is mainly carried out by optimizing the steam inlet of the low-pressure cylinder, retaining a small amount of steam to meet the cooling needs, and removing the heat from the blast. This technology can effectively improve the heating capacity of the unit and enhance the flexibility of peak shaving in application. This technological approach has been applied in cogeneration units with significant results. After the renovation, it can effectively improve the heating capacity of the unit itself and enhance the overall economic benefits. However, this technology is still influenced by various factors in its application. Therefore, in the process of retrofitting it, it is necessary to comprehensively analyze various factors such as technical feasibility, economy, and safety in order to effectively ensure the long-term and stability of the project renovation.

Keywords : steam turbine; low pressure cylinder zero output; economy; cold source loss

引言

在电力市场的快速发展过程中, 为了有效满足新能源消纳需求, 火电机组在发展中必须要提高自身的灵活性, 并且将其作为提升电网调节能力的关键技术手段。而汽轮机低压缸零出力技术具有高效、低成本的特征, 在应用中可以将原有做功的低压缸进汽引入供热系统中, 有效实现低压缸“近零”出力运行, 这样则可以在满足供热需求的同时, 有效提高机组的调峰能力, 增强运行的经济性。

一、汽轮机低压缸零出力改造核心原理

(一) 改造核心原理

汽轮机低压缸零出力改造是火电厂中对于大型供热机组进行改造处理, 提高其整体的供热能力, 增强灵活性, 降低冷源损失的重要技术手段, 其对于机组经济性会产生复杂的影响。

其中, 改造主要就是通过通过在低压缸进汽管道上添加旁路阀, 主要为蝶阀或者旋转隔板, 根据实际状况合理选择。然后, 根据改造的需求配套对应的控制系统、低压缸冷却蒸汽系统。这样则可以保障系统在供热需求相对较高的时候, 可以通过关闭或者大幅度关小的方式进行处理, 将原本进入到低压缸中的蒸汽, 大部分或者全部抽走, 实现对外供热。在系统中会保留部分冷却蒸

汽, 这些蒸汽则会进入到低压缸带走转子转动而产生的鼓风热量, 充分维持低压缸使其临近真空状态。在此种状态下, 低压缸接近零出力, 其中机组功率主要就是通过中压缸以及高压缸承担主要运行需求。

(二) 核心机制

1. 基础优化

第一, 关断阀与旁路阀

改造中通过通过在低压缸入口位置的蒸汽管道中, 安装液动或者电动关断阀, 这样则可以在操作中快速切断蒸汽流量。其中阀门阀门关闭 $\geq 95\%$, 则可以有效阻断中排蒸汽进入到低压缸中; 而在非供热阶段, 则可以全部打开阀门, 这样则可以有效恢复原蒸汽通路。在设计中, 其阀门与管路系统如表1所示。

表1. 阀门与管路系统技术要求		
组件	技术要求	作用
主关断阀	耐温大于 400℃，耐压大于 1.5MPa，关闭时间小于 30s	切断低压缸进汽
冷却蒸汽调节阀	精确流量控制，保障其误差小于 ± 2%	保障转子安全
旁路管道	应用 AISI304L 等不锈钢材质，保障保温层厚大于 150mm	高温蒸汽输送至热网加热器

第二，旁路系统设计

在设计中根据实际状况增设热网蒸汽旁路管控结构，操作中可以根据需求进行调控，将中压缸排汽直接引入到热网加热器中。

2. 低压缸冷却保护系统设计

冷却蒸汽系统在设计中要保留 3%~5% 的额定蒸汽流量，利用旁路小阀则可以进入到低压缸中，其具有预防低压缸超温变形的作用，也可以避免低压缸在运行中因为无蒸汽流动而出现的真空破坏等诸多问题。同时，利用末级叶片保护：消除鼓风摩擦生热风险。在应用中其主要控制逻辑就是冷却蒸汽流量会通过温度反馈调节阀对其进行动态控制，在应用中可以有效维持低压缸排汽温度处于安全区间范围以内。

3. 热力循环优化

在对其改造之后，原有通过凝汽器像环境排放的热量会通过回收处理，提高整体利用效率，效果显著。

（三）技术实现关键系统

1. 控制系统升级

DCS 逻辑组态在设计中可以根据实际状况增设“供热模式 / 发电模式”的切换按钮，基于实际状况进行优化完善。而通过联动控制关断阀、冷却阀等相关设备则可以进行动态管理，综合实际状况对优化顺序流程。

通过安全连锁进行自动化控制，如果在系统运行中其低压缸金属温度大于 90℃，或者其振动大于 80 μm，则可以自动开启冷却阀系统。同时，如果热网的压力高于上限阈值参数，系统会优先保护中压缸安全，充分提高了系统的稳定性。

2. 监测系统强化

通过在低压缸温度的监控，了解转子表面、缸体轴向等相关区域的温度变化。而在设置中布设末级叶片振动传感器，可以了解其主要温度变化。通过多种技术手段可以实时监测中排蒸汽焓值、热网回水温度等相关参数的匹配度。

二、汽轮机低压缸零出力改造对机组经济性影响分析

（一）正面影响

1. 提高供热能力

通过汽轮机低压缸零出力改造可以有效提高机组的供热能力，增强经济性。其中，通过增加可以抽汽量达到改造的目的，可以有效提高经济性。在没有改造之前，低压缸中最小冷却的流

量会限制最大抽泣量的处理。而对其进行改造拆除之后，可以将原有助于低压缸发电的焓值低、做功能力弱等相关低品位蒸汽进行处理，可以直接的利用其热能达到供热的目的，充分提高了机组整体的供热能力。

2. 提高供热效率

在改造之后，将原有的低品位蒸汽供热替代了新蒸汽或者高参数抽气等高品质的蒸汽，有效实现供热需求，这样则可以有效避免了因为抽汽量过大而出现的低压缸鼓风超温等问题。通过此种方式进行处理，有效到底了单位供热量产生的标准煤耗，切实提高了综合能源的利用效率。

3. 降低发电煤耗

在特定的工况状态下，可以有效减少冷源损失。例如，在纯凝工况中，低压缸排气中的冷源损失是导致电厂在运行中效率不足的主要成因。通过对其进行优化改造，则可以有效满足供热工况的应用需求，可以将原有排入凝汽器中的多数热量用于供热处理，充分减少了冷源损失性问题。而在供热工况中通过此种方式进行改造处理，可以有效减少了低压缸中的低功率做功。其中，低压缸蒸汽粗使相对较低，而在处理中将部分的蒸汽能量用于高效供热系统，则可以有效降低单位发电量的热耗。

4. 切实提高机组运行的灵活性

通过改造拆除之后，机组可以在宽阔的范围中进行处理，独立调节发电功率以及供热量，有效增强了热电解耦能力。在供热需求相对较高的状态下，通过此种系统进行处理可以有效保障其发电功率相对较高，其中高压缸承担的同时也提供了大量的抽汽供热，有效降低了为了满足供热需求而降低发电功率的问题出现，切实提高了电网调峰专特下的供热需求。

5. 提高幅度调峰能力

在非供热或者系统处于低负荷的状态下，低压缸可以恢复运行，但是其改造自身不会降低其整体的运行能力。而在供热季节或者深度调峰等状态下，因为供热符合可以实现独立运行，这样则可以有效降低机组在运行中的发电负荷需求，有效保障了供热参数的稳定性，有效满足了新能源的消纳需求。

（二）负面影响

1. 低压缸效率损失

在切缸状态下，低压缸呈现零处理或者极小的出力运行状态下，其效率接近于零，对其部分损失在运行中会被供热收益覆盖，一般不会将其作为负面经济的主要因素。

2. 厂用电率增加

冷却蒸汽系统在运行中的系统能耗会受到一定的影响。其必须要增加小容量的冷却蒸汽系统，例如可以通过泵、风机等相关设备进行处理，这样则会在一定程度上增加少量的用电量。而在切缸中，凝汽器的热负荷会大幅度的降低，在理论上来说可以有效减少循环水泵的出力。但是在运行中必须要保障循环水量可以有效满足系统运行的需求，保障真空系统可以实现温度控制以及严密性监视，因此无法根据比例降低用电。在整体上来说，厂用电率会在一定程度上提高，但是相对与供热以及发电煤耗来说，其影响相对较小。

3. 设备投资成本

在改造运行中要对阀门、管道以及控制系统、冷却蒸汽系统等进行优化，必须要对其进行一次性投资，因此要分析投资回收期。

4. 增加运行维护成本

改造之后的系统涉及到阀门、冷却等相关设备的维护处理工作，在一定程度上增加了运维成本。同时，低压缸在切缸运行中，转子处于鼓风摩擦的状态，其整体的流量虽然相对较小，但是必须要重点分析转子振动、叶片安全以及轴承温度等多种因素，必须要对其进行严密的监控。最后，在系统运行中，频繁的操作会直接增加设备磨损等风险隐患问题。

5. 非供热季纯凝效率的微小影响

在系统的改造中会增加一定的管道、阀门。这些设备在纯凝工况下会导致其产生微小流动阻力损失变化，严重的会造成纯凝工况热耗出现微小的上升，一般为<0.5%左右，但是此损失相对与供热的收益来说可以忽略。

6. 潜在风险成本

通过改造处理之后，系统复杂程度显著提高，如果在设计、制造以及安装中出现运行不当等诸多问题，则会导致低压缸出现过热损坏等问题，或者会出现冷却蒸汽不足，振动异常等安全隐患问题，这样则会增加维修损失以及停机损失的出现几率。

三、汽轮机低压缸零出力改造对机组经济性探究

汽轮机低压缸零出力改造会直接影响机组经济性。其中，供热需求以及持续的时间是影响经济性的主要因素之一。其中年供热量越大，其供热期越长，则产生的经济性越强。例如，在北方地区的采暖热电厂中因为其供热需求相对较大，持续时间相对较长，其产生的收益则相对较高。

（一）替代热源的成本

替代热源成本也是影响经济性的重要因素之一。如果在对其进行改造处理之后，增加的供热能力替代了效率相对较低的小锅炉，或者有效避免了新建能源的投资，其则会产生显著的经济效

益。相反，如果其替代的是原有效率相对稳定的设备，则收益相对来说则会降低。

（二）燃料价格

燃料价格是影响经济性的重要变量。如果煤价相对较高，其节约的费用成本相对越高，投资回收期也会缩短。例如，在部分区域中煤炭价格波动相对较大，在电厂中应用低压缸零处理技术进行处理，则会降低发电煤耗，这样则可以在高煤价阶段有效提高整体的经济效益。

（三）电价政策与辅助服务收益

受到电力市场环境因素的影响，通过改造处理则可以提高系统的灵活性，增强深度调峰能力，并且在一定程度上获得额外的收益，则可以切实提高项目的经济性。

（四）投资成本与运行维护成本

在进行分析中，要基于实际状况对其进行动态分析。电厂中机组容量差异性、结构不同、改造方案的差异都会直接影响投资成本。对此，在应用中必须要基于实际状况对其进行系统分析。另外，新增设的系统在应用中必须要合理分析其风险成本，方可有效保障改造之后系统运行的安全性、稳定性。

最后，在计算指标中，重点分析增量投资回收期，主要根据改造总投资/(年新增净收益-年新增运行维护成本)的公式对其进行计算分析。通过此指标可以直观的分析项目投资的周期。而其内部收益率是对项目全生命周期经济性进行评估的重要工具，通过其进行分析，可以充分反映项目在全生命周期中产生的平均收益率。

四、结束语

双碳目标驱动影响下，火电机组必须要提高自身的调峰能力，增强供热效率。而通过汽轮机低压缸零出力改造的方式进行处理，切除低压缸进汽，可以有效满足能源梯级利用的发展需求。汽轮机低压缸零出力改造可以有效提高火电机组供热的灵活性，也是提高其经济性的重要技术手段。此技术在应用中效果显著，但是在推广中还是必须要解决相关技术问题。对此，随着技术手段的不断发展与完善，今后，低压缸零出力改造技术势必会更加成熟，可以有效满足电力市场稳定运行需求，也为新能源的消纳工作提供技术支持。

参考文献

- [1] 陈昆. 汽轮机低压缸零出力运行通流部分的鼓风工况与冷却安全性研究 [D]. 山东大学, 2023.
- [2] 陈荣轩, 李晓辉. 350MW 汽轮机低压缸零出力的应用 [J]. 电站辅机, 2023, 44(01): 3034.
- [3] 彩金宝, 刘喆, 徐宪龙, 等. 350MW 三菱 TC2F 汽轮机低压缸零出力改造案例研究 [J]. 汽轮机技术, 2022, 64(05): 388391.
- [4] 左启尧, 唐震, 李慧勇, 等. 电网调峰背景下汽轮机低压缸零出力技术现状综述 [J]. 发电技术, 2022, 43(04): 645654.
- [5] 黄坤. 630MW 汽轮机低压缸零出力改造方案及试验效果 [J]. 能源与环境, 2022, (03): 5961.
- [6] 刘天文. 汽轮机低压缸零出力运行安全性分析及寿命评价 [D]. 山东大学, 2022.
- [7] 岳博. 1000MW 热电联产机组热电解耦改造方案综合评价研究 [D]. 天津大学, 2022.
- [8] 李玉辉. 350MW 超临界汽轮机低压缸零出力运行安全性分析 [J]. 东北电力技术, 2022, 43(03): 3236+39.
- [9] 陈元峰. 325MW 汽轮机低压缸零出力技术应用实践探析 [J]. 中国设备工程, 2021, (23): 234235.
- [10] 东方汽轮机连续中标北方地区低压缸零出力供热改造项目 [J]. 东方汽轮机, 2021, (03): 19.