

大容量机组低压缸双背压双转子互换循环水供热改造技术应用

北京全四维动力科技有限公司

王琦 李阳 陈春峰 李宝清 徐克鹏

摘要：本文介绍了高背压循环水供热改造技术，并在此基础上引入了双背压的设计概念，通过关键核心技术的掌握，实现了大容量机组低压缸双转子互换的运行方式，在保障运行安全的前提下，最大限度的增加汽轮机供热能力、消除冷端损失，降低年平均能耗水平。

关键词：低压缸；双背压；双转子互换；循环水供热

1 前言

目前，在国家节能减排政策的鼓励和推动下，各发电企业在具备供热条件的地区实施热电联产并通过技术改造增加供热能力，提高供热运行经济性，已成为必然趋势。从目前运行的热电联产机组的供热型式分析，50MW 以下机组一般普遍采用可调抽汽或背压机组供热，100MW 及以上机组基本全部采用抽凝式供热型式，但抽凝式供热机组与背压式机组的供热经济性差距明显，其供热经济性根本的差异在于：背压机组在供热工况下运行时，其冷源损失全部被利用，而抽凝式机组受低压缸最小冷却流量的限制，汽轮机排汽但仍存在较大冷源损失，由于只有部分抽汽能被用于供热，其供热量增长空间极其有限。

高背压循环水供热是将凝汽器中乏汽的压力提高，提高冷却水出水温度，将凝汽器改为供热系统的热网加热器，而冷却水直接用作热网的循环水，充分利用凝汽式机组排汽的汽化潜热加热循环水，完全消除冷源损失，从而提高机组的循环热效率。采用该方法供热是在不增加机组规模的前提下，减小了供热抽汽量，增大了供热面积，因为其施工周期短、经济效益显著，因此在供热企业中多有应用。

2 高背压循环水供热技术路线

为尽可能满足一级热网与二级热网的换热要求，高背压循环水供热采用串联式两级加热系统，热网循环水首先经过凝汽器进行第一次加热，吸收低压缸排汽余热，然后再经过供热首站蒸汽加热器完成第二次加热，生成高温热水，送至热水管网通过二级换热站与二级热网循环水进行换热，高温热水冷却后再回到本机凝汽器，构成一个完整的循环水路，供热首站蒸汽来源为本机或邻机供热抽汽。

在采暖供热期间高背压循环水供热工况运行时，机组纯凝工况下所需要的冷水塔及循环水泵退出运行，将凝汽器的循环水系统切换至热网循环泵建立起来的热水管网循环水回路，形成新的“热-水”交换系统。循环水回路切换完成后进入凝汽器，凝汽器背压由 5~7 kPa 左

右升至 30~45kPa，低压缸排汽温度由 30~45℃升至 69~78℃（背压对应的饱和温度）。经过凝汽器的第一次加热，热网循环水回水温度由 55℃提升至 66~75℃（凝汽器端差 3℃），然后经热网循环泵升压后送入首站热网加热器（即尖峰加热器），由本机或者相邻机组的抽汽将热网供水温度进一步加热后供向一次热网。

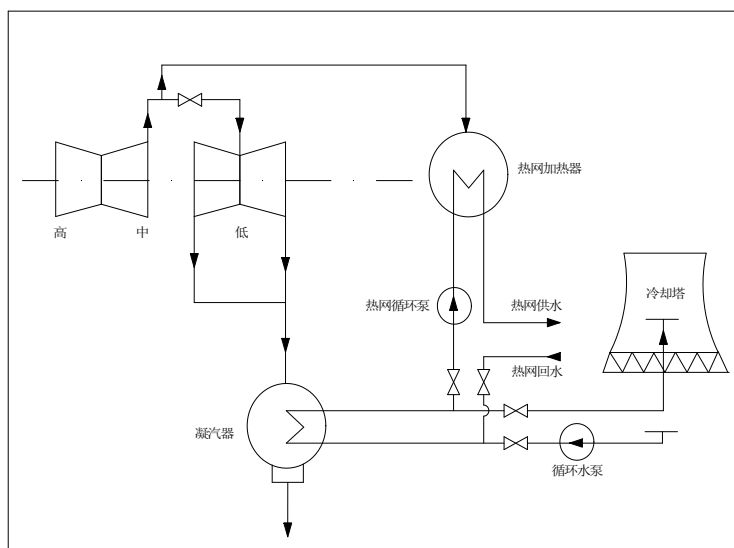


图 高背压供热系统简图

机组在纯凝工况运行时，退出热网循环泵及热网加热器运行，恢复原循环水泵及冷却塔运行，凝汽器背压恢复至 5~7kPa。

3 大容量机组低压缸双背压双转子互换高背压循环水供热改造提出的背景

高背压循环水供热机组是近年为适应北方采暖供热而出现的改造型机组，大都是由纯凝或抽凝式机组经改造而成。该供热方式于上世纪 80 年代最早出现在我国东北地区，如沈阳发电厂、长春发电厂等供热企业就开始进行低真空循环水供热技术的尝试，机组容量等级涵盖 6MW~50MW，机型涉及纯凝、抽凝式，均集中在 50MW 以下的小容量单缸单排汽机组。2009 年起，大容量多缸多排汽机组开始进行高背压循环水供热改造探索，烟台电厂与哈尔滨汽轮机厂合作，首次在容量为 150MW 机组上进行了低压缸高背压循环水供热改造，并取得了一些成功的经验。烟台电厂#7 机改造后经过一个供热季的运行表明：

- 1) 高背压循环水供热改造实现了冬季供热期间汽轮机排汽余热完全被利用，消除了冷源损失，发电煤耗率降至 150g/kW.h 以下。
- 2) 机组改造后低压缸、转子、凝汽器等各部件膨胀正常，轴系振动、低压缸排汽温度、凝汽器背压等技术指标基本控制在设计范围内，整机运行正常。

与此同时，该机组实施的低压缸高背压循环水供热改造弊端也相当显著，由于改造采取对低压转子及隔板进行一次性改造的常规方案，即通过减少低压通流级数，更换低压缸隔板、末级叶片、转子等部件，使汽轮机具备在较高背压下连续安全运行的能力，由此带来的

问题是采暖供热工况下运行经济性好，非供热期运行经济性恶化。为适应高背压供热工况下的低压缸小排汽量运行，烟台电厂#7机改造后低压通流面积及末级排汽面积大幅减小，导致非供热期纯凝工况下机组出力不足、热耗率高达 9435kJ/kW.h，原设计纯凝工况下的机组热耗率为 8661.85kJ/kW.h，改造后机组纯凝运行经济性过差，造成机组全年综合经济效益没有明显改善。

为解决一套高背压低压转子无法兼顾适应供热期高背压运行、非供热期纯凝运行两种不同工况条件的问题，在此基础上提出了低压缸双背压双转子互换的设计思路，即：采暖供热期间使用动静叶片级数相对减少的低压转子，非采暖期使用原设计配备的纯凝转子，采暖期凝汽器运行高背压，非采暖期运行低背压。如 150MW 等级机组，原低压转子为 2×6 级，在进入采暖期前更换为减少动叶和隔板级数的 2×4 级转子，排汽背压提升至 30~45kPa，对应排汽温度限制在最高 80℃，满足循环水供热运行要求。当结束采暖供热后，再将原 2×6 级动叶的纯凝转子和对应隔板恢复，即完全恢复至纯凝机组原设计状态，汽轮机排汽背压同时恢复至 4.9kPa，从而使机组完全恢复原运行工况。

采用该技术措施采暖，供热期内循环水供热工况下的汽轮机排汽余热全部被利用，冷源损失降低为零，可获得最大节能经济效益；非采暖期纯凝运行工况下机组热耗率不高于原纯凝设计工况下的热耗水平，实现了全年综合经济效益最优化的目标。

4 低压缸双转子互换关键技术及改造案例

在供热期使用新低压转子，非供热期使用旧低压转子，必须保证新、旧转子具备完全互换性以满足轴系对转子的联接要求一致，由此带来主要的问题是如何保证联轴器销孔的一致性。

实施高背压供热改造后，每年需要更换低压转子二次，在反复拆装联轴器螺栓、更换转子的情况下，可通过以下技术手段保证更换转子后不再进行重新铰孔：对旧高中压转子、旧低压转子及新低压转子的对轮螺栓孔进行标准化加工，即保证三根转子上的对轮螺栓孔具有相同的位置度、尺寸精度及公差。

该措施已在多个双背压双转子互换改造工程项目实施中验证可行，目前已经过了两个供热季双转子互换装配的实施，证实了其操作可靠性。

4.1 100MW 等级机组高背压循环水供热改造

改造范围：低压整锻转子主轴，低压动叶片，隔板套，低压隔板，分流环，排汽导流环，汽封及汽封体，联轴器及螺栓

保留部件：低压内、外缸

运行方式：双转子互换，供热期新转子、非供热期旧转子

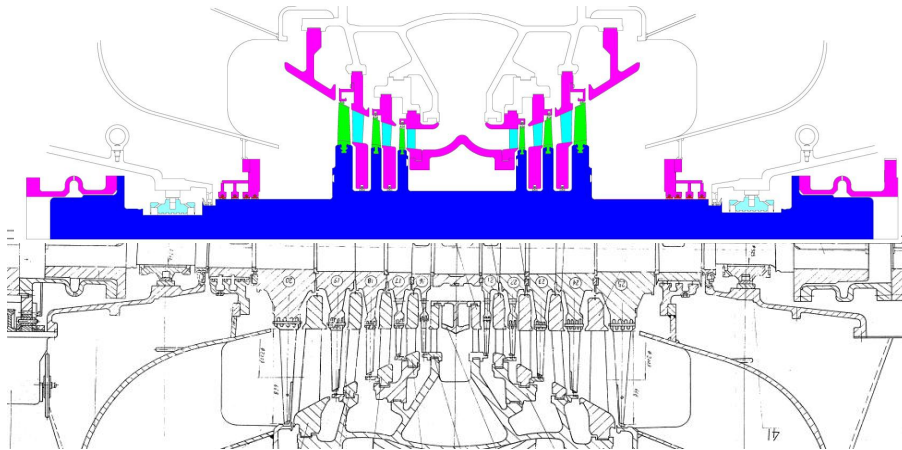


图 100MW 等级机组低压缸部件对比示意图

4.2 135/150MW 等级机组高背压循环水供热改造

4.2.1 典型冲动式机组

改造范围：低压整锻转子主轴，低压动叶片，低压隔板，分流环，排汽导流环，汽封及汽封体，联轴器及螺栓

保留部件：低压内、外缸

运行方式：双转子互换，供热期新转子、非供热期旧转子

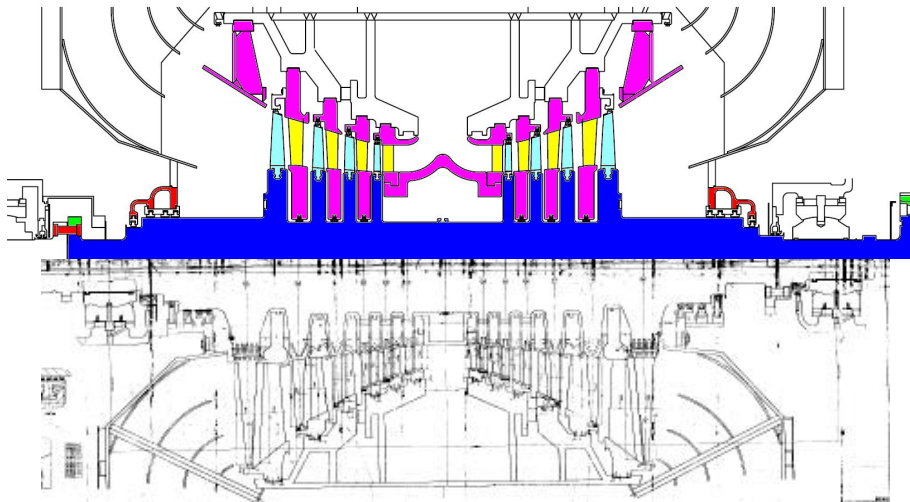


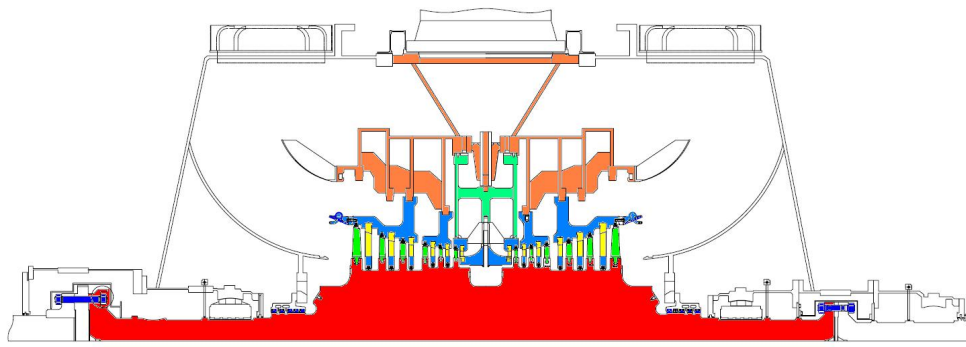
图 135/150MW 等级机组低压缸部件对比示意图

4.2.2 典型反动式机组

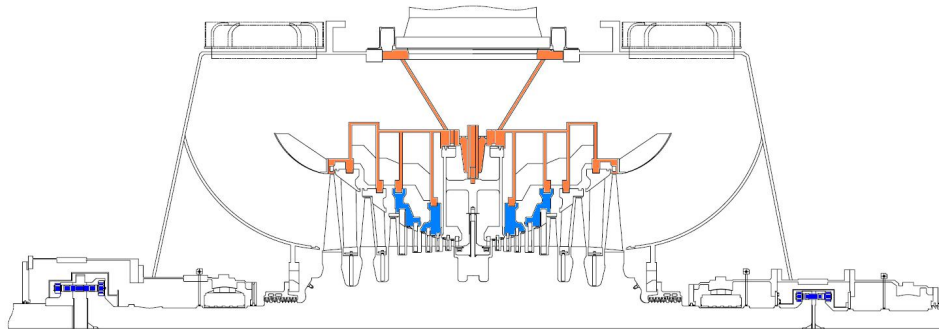
改造范围：低压内缸，低压持环，低压整锻转子主轴，低压动叶片，低压隔板，分流环，排汽导流环，汽封及汽封体，联轴器及螺栓

保留部件：低压外缸

运行方式：双转子互换，供热期新转子、新内缸；非供热期旧转子，新内缸



高背压供热期更换部件示意图



非供热期更换部件示意图

4.3 200MW 等级机组高背压循环水供热改造

改造范围：低压套装叶轮，低压动叶片，低压隔板，分流环，排汽导流环，汽封及汽封体，联轴器螺栓

保留部件：低压转子主轴，低压内、外缸

运行方式：单转子，供热期新转子，非供热期停运或低负荷运行

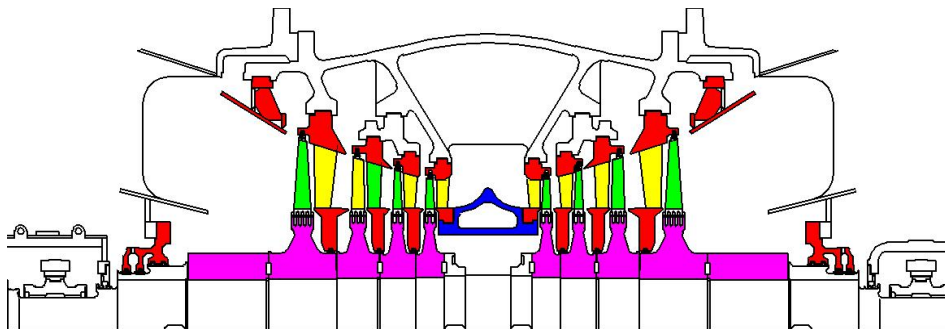


图 200MW 等级机组低压缸更换部件示意图

4.4 300MW 等级机组高背压循环水供热改造

改造范围：低压整锻转子主轴，低压内缸，低压动叶片，低压隔板，分流环，排汽导流环，汽封及汽封体，联轴器及螺栓

保留部件：低压外缸

运行方式：双转子互换，供热期新转子、非供热期旧转子

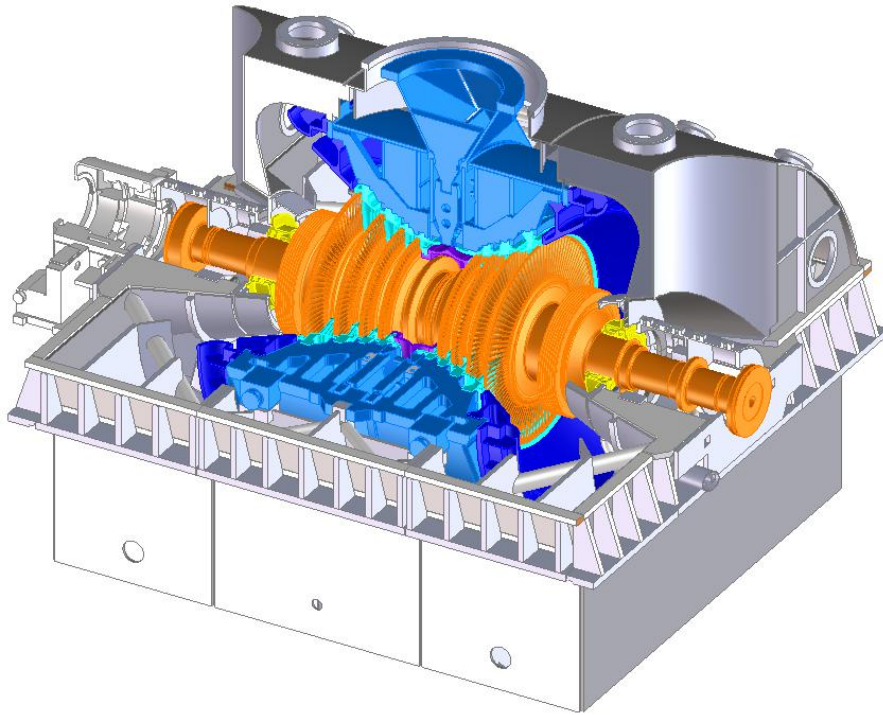


图 300MW 等级机组低压缸更换部件示意图