

汽轮机低真空供热改造技术的分析

奇二兵*

国家能源集团内蒙古电力有限公司上湾热电厂 内蒙古 鄂尔多斯 017200

摘要:就目前形势来看,国内中小型电厂及众多企业自备电厂所配置的汽轮机,都是能耗比较高,采用相对落后的汽轮机通流技术,加上煤价、电价等因素,企业的生产经营处于亏损状态。为了提高发电企业的经济效益,充分发挥汽轮机发电及满足供热方面的需求,将原抽汽式汽轮机改造为低真空供热式汽轮机,既解决冬季供热问题,又很好的满足夏季发电,从而使汽轮发电机组效益最大化。本文对汽轮机低真空供热改造技术进行分析。

关键词:汽轮机;低真空;通流;改造;冷凝器;经济效益

DOI: <https://doi.org/10.37155/2717-5197-0309-3>

1 改造具体案例与改造难题分析

1.1 改造具体案例

某热电有限责任公司现有两台CC50-8.83/0/981/0.196型50MW汽轮发电机组,命名为#3、#4机,2台WGZ220/9.8-13型锅炉,6台70MW燃气热水锅炉,2台70MW燃煤热水锅炉,冬季供暖通过汽轮机0.196MPa抽汽和燃气热水锅炉保证周边供暖。随着当地城市发展需要,二期4#50MW双抽汽凝汽式汽轮机组已经改为抽汽背压式汽轮机CB50—8.83/0.981/0.4型,增大4#汽轮机的供热能力,仅供暖季运行,非供暖季停运。该公司承担电厂周边地区供热任务,面临的问题是随着热用户发展(供热汽网用户从目前280t/h逐年减少,供热水网用户逐年增加,缺口较大)供暖期内一是无法满足热用户用热需求;二是天然气供暖成本高。为了提高3#机组供热能力及运行经济性能,将3#50MW双抽汽凝汽式汽轮机组改造为低真空供热机组,同时汽轮机通流进行改造,提高汽轮机发电效率。改造方案如下:整个通流级数为1单列调节级+8压力级+1旋转隔板调节级+4压力级+1旋转隔板调节级+2压力级共17级,较原机少一级。(1)单列调节级替换为南汽Z588的调节级;(2)压力级1-5级替换为南汽Z110第6-10压力级;(3)压力级6-8级替换为南汽Z592第7-9压力级;(4)中压旋转隔板调节级不变[1]。(5)中压旋转隔板与低压旋转隔板调节级之间的4级压力级替换为Z848第10-13压力级;(6)低压旋转隔板调节级后的3压力级替换为南汽Z715末两级;(7)改造后该汽轮机组主蒸汽流量最大约380t/h。

1.2 改造难题

由于凝汽式汽轮机原先排汽都是进入冷凝器中,冷凝器通过抽真空系统保持较高的真空,从而排入冷凝器中的乏汽压力和温度都较低。在汽轮机设计过程中,后汽缸材质通常采用铸铁,无法承受较高的排汽温度。低真空供热改造后,冷凝器真空下降,排汽温度提高,很容易导致汽轮机后汽缸变形。^[4]因此,选择合理的冷凝器低真空压力,对机组安全运行非常重要。

2 改造过程具体实施

2.1 本体改造

原机组部分动叶片为铆接围带结构,通流不光顺,气动性能差。改造后所有动叶片均采用自带围带整圈联接,围带加工为内斜外平结构,按流道形状进行光顺设计,动叶片根部及相邻静叶片根部与顶部也进行光顺设计,减少通流部分分子午面的流动损失。叶片改造后机组性能主要通过先进叶片设计来实现,具体措施如下:①采用最新设计的动静叶叶型,低压部分动静叶采用了先进的高效弯扭叶型,叶型型线损失小;②根据动静叶片排间的相互干扰情况,合理匹配动静叶片参数,从叶型的选择,到焓降的分布,叶片数的选择等均进行了精确计算,进一步提高效率;③叶片前缘设计使得叶片对来流攻角变化不敏感,提高机组变工况运行时各级的效率;④较大的叶片最大厚度增强了叶片的

*通讯作者:奇二兵,1978年01月15日,蒙古族,男,内蒙古东胜区,国家能源集团内蒙古分公司上湾热电厂,助理工程师,大学专科,内蒙古乌海职业技术学院,研究方向:汽轮机。

刚性；⑤除了对单级叶片计算和优化外，还对不同工作条件下的叶片级进行多通道、多级联算，得到包含整个动静干扰在内的详细的流场特征，采取相应措施来改善整级以及多级的叶栅通道内部流动，提高通流效率。这些特点使得汽轮机可以在较大的变工况运行范围内保持较高的效率，并且能够降低动叶的激振力水平，提高机组的安全性。

重点针对调节级动、静叶片和末级动叶进行了选型优化设计，优化后的调节级负荷分配更加合理，做功能力增强，且叶片强度相比原设计有了更明显的优势。末级动叶经过对比核算采用了合适的高叶片，兼顾冬、夏季两种背压运行工况，且能提高供热首末期的电负荷。采用当代最先进的弯曲叶片设计技术：主要采用全四维粘性流设计思想，利用先进的计算机技术及实验流体力学技术进行设计，以大幅度的减小叶片根部及顶部的端损，有效提高了安全性、效率。汽缸内通流子午面采用光滑设计技术，大大减小了流动附加损失。不仅满足了隔板刚度、强度要求，而且能获得较高的气动性能及调频特性；总损失、型线损失、端部损失都比传统叶栅有较大幅度的降低。

2.2 调节保护系统

根据汽轮机改造后的说明书，对原先汽轮机调节系统、监测保护系统进行调整，更改汽轮机的调节特性、监测保护系统的胀差、低真空保护值等参数，满足改造后低真空供热式汽轮发电机组的安全运行。

2.3 附属系统

热力系统不发生较大变化，主要是对冷凝器循环水系统的改造。将循环水去冷却塔改接至供热首站，供热后将循环冷却水回水接至冷凝器进口。综合考虑冬季供暖与夏季供热，需要兼顾考虑循环水系统的切换。

2.4 低真空供热式汽轮机的运行方式

机组改造后运行方式的变化及维护，供热工况下背压和排汽温度限值调整机组改造为高背压供热机组后，由于排汽压力、温度升高，改造后机组的启动运行限制值会有所调整，主要体现在两个方面：第一，机组背压限制值调整；第二，排汽温度限制值调整。低压缸秋冬季通用一套新设计的喷水装置。新增喷水装置在排汽温度高于85℃时投入，如果排汽温度进一步升高，在负荷较低的情况下，需要增大进汽量，保证末级叶片的最小冷却流量，以消除末级鼓风造成的排汽温度升高；如果负荷正常，则可能是由于循环水量不匹配造成的，需要增大循环水量带走多余的热量。如果排汽温度继续升高至120℃则需要立刻打闸停机，排除故障。供热工况下回热系统的变化，供热季JD1因工作压力过低抽不出汽，自动退出运行，其余低加正常运行^[2]。

3 改造后经济效益

根据电厂当前运行状况，计算汽轮发电机组的发电汽耗值为4.6kg/kW·h，发电热耗值为11320kJ/kW·h，转化为发电标煤耗约为386g/kW·h；由于存在冷源损失，汽轮发电机组的热利用率不足40%。通过通流及低真空供热改造后，冬季供热，消除冷源损失，汽轮机发电机组的发电汽耗为4.0kg/kW·h，发电热耗降低至2829kJ/kW·h，转化为发电标煤耗约为98g/kW·h；不考虑汽水损失，汽轮发电机组的发电效率及热利用率达到100%。即主蒸汽流量按200t/h，上网电价按照0.5元/kW·h，全年运行时间按8000h计算；改造前，电负荷为43.48MW，经济效益为17392万元（不考虑成本）；改造后，电负荷50MW，经济效益为20000万元；单是电价方面，在无煤耗增加的情况下，多产生经济效益为2608万元；此外，约160t/h乏汽潜热被供暖利用，总热量约352GJ/h，供暖季按3000h计算，热价按100元/GJ，供热产生的经济效益约10560万元。^[3]因此，改造后前将接近60%的冷源损失转化为热效益，那么对于电厂产生的效益将十分可观。

4 汽轮机低真空运行循环水供热系统存在的问题

发电厂汽轮机低真空运行时会使汽轮机转子的径向推力加大，有可能出现轴承过负荷情况的发生，我们可以用拆除一定比重的汽轮机末级窝轮的方法，降低汽轮机转子的径向推力，从而保证低真空运行汽轮机组的安全稳定运转。

汽轮机低真空运行时静子在汽缸中的膨胀量会加大，运转设备的动静间隙会发生改变，有可能导致汽轮机组振动加剧，造成联接螺栓变形松动，但一般情况下温度变化量不太大，动静间隙的改变不会造成振动的突然加剧。就目前情况看，汽轮机低真空运行对静子在汽缸中的膨胀量影响不大。

汽轮机低真空运行时机组凝汽器转变成循环水供热系统的加热器，这就加大了供热循环水系统的承载负荷，我们需要合理设计安设供热管路系统，加固各类接头管件和阀门，来确保低真空运行机组的安全平稳运转。

5 汽轮机低真空运行循环水供热改造的技术措施

汽轮机低真空运转状态是一种长期且不断变化的运行状态，我们必须根据实际运转情况进行精确的热力、强度、运转参数的计算，准确选择汽轮机低真空运转参数是保障汽轮机组成功技术改造的重要环节。

增大汽轮机组的进油量可以使改造为低真空运行供热的汽轮机组轴承温度不会升高，从而避免了改造后机组轴承高温下工作容易损坏的问题，进行轴承温度变化量的精细检测，确定好新的轴承温度标准工作值，确保不发生低真空运行汽轮机组振动加大的问题。

汽轮机组改造后保留的原有的机组加热器运行参数会发生一定量的变化，我们要对加热器运行参数进行详细的跟踪监测，如有异常情况要进行一定的调整，要保证汽轮机组低真空运行技术改造后适用标高热负荷状态下的安全可靠运转。

6 结束语

综上所述，中小型热电厂及企业自备电厂在有供热需求的情况下，对汽轮发电机组进行通流低真空供热改造是十分关键的。电厂需要立足于当地，发展热用户，提高自身供热能力与发电效率，这既响应国家节能减排与环保政策，又有利于企业的长期生存与发展。

参考文献：

- [1]洪向道.中小型热电联产设计手册[M].中国电力出版社,2006.
- [2]靳智平.电厂汽轮机原理及系统[M].中国电力出版社,2004.
- [3]杨银仁.抽凝式汽轮机组低真空改造及经济性分析[J].大氮肥,2020,43(1):65-68.
- [4]杨谢军.汽轮发电机低真空循环水供暖系统的改造[J].冶金动力,2009,(4).69-71.