

水环式真空泵优化改造对于机组经济运行的探讨

赵秀志

(南京华润热电有限公司, 江苏 南京 210039)

摘 要: 介绍了公司关于真空泵所进行的优化改造内容, 并通过对真空泵其他改进方向的分析, 探讨进一步的优化改造对于机组经济运行的意义。

关键词: 水环式真空泵; 冷却水; 经济运行

1 概述

南京华润热电有限公司(以下简称“我公司”)2台 330MW 火力机组采用的抽气设备为 NASH 公司生产的 TC-11 型水环式真空泵(锥体两级)(见图 1)。每台机组配置 2 台真空泵, 正常一用一备。针对该真空泵, 我公司前期进行过相关的技术改造。本文希望通过对真空泵进一步优化改造的探讨, 达到提高机组经济运行的目的。

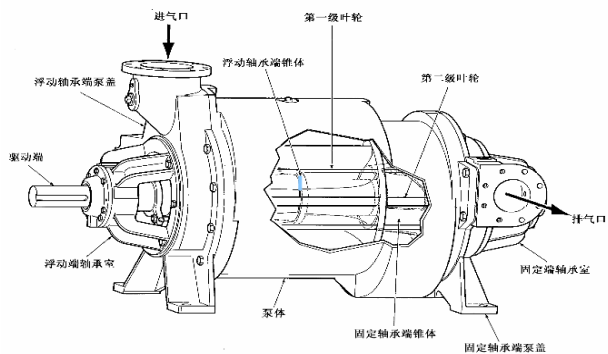


图 1 NASH 双级 TC11 真空泵的示意图

2 真空泵已进行的优化改造措施

我公司水环式真空泵的原先的运行中采用工业水作工作介质, 而冷却水为闭冷水。夏季高温时, 由于循环水温的升高以及系统采用闭式冷却系统, 闭冷水温度较高约在 31~34℃左右。使真空泵的工作水温达到 36℃以上, 严重制约了真空泵抽吸能力, 导致机组真空度降低甚至恶化, 极大地影响机组运行的经济性和安全性。

关于水温对气量的影响, 根据标准 GB/T 13929《水环真空泵和水环压缩机试验方法》规定, 水温对水环真空泵抽气量的影响系数 K_1 可用下式计算。

$$K_1 = \frac{p_1 - p_{15}}{p_1 - p_t} \quad (1)$$

式中: p_1 —泵入口气体压力(绝压), kPa;
 p_{15} —水温 15℃时饱和蒸汽压, 17.04 kPa;
 p_t —水温为 t ℃时饱和蒸汽压, kPa。

由以上可以推导出, 在入口压力一定的情况下, 工作水温的升高制约了真空泵的抽气能力, 并且随着工作水温的越来越高, 对真空泵抽气能力的影响也越来越大。

为此, 我公司利用溴化锂空调系统制冷站的空调冷冻水作为真空泵冷却水源进行了技术改造, 取得了一定的效果。改造见图 2。



图 2 冷却水水源的优化改造

我公司溴化锂制冷设计容量为 1050kW, 实际装机两台 60%的 630kW 制冷机机组, 任意一台能满足整个空调系统容量 60%的需求, 冷冻水单机流量为 135t/h, 其设计供回水温度为 7~12℃, 实际夏天炎热时高容量运作时供回水温度为 14~17℃。

3 真空泵进一步优化的探讨

3.1 继续利用空调冷冻水，再引一路管道作为真空泵的补充水水源

由于之前的改进主要集中在了真空泵工作水的冷却水方面。真空泵的补充水仍是工业水，（2015 年增加一路除盐水作为工作水补充水）而在夏天高温时的工业水温和循环水温是接近的，温度高时可达 30℃。

我公司采用的 TC-11 型锥体泵，有个较平面泵有较大优势的地方在于：我公司真空泵采用锥体结构的特殊设计，泵的进气、排气通道较大，允许被抽气体中夹带更多的液体，泵对进气中含有的水汽不敏感，泵效率下降很小。因此我公司的真空泵允许在入口处部分喷射冷却水，对真空泵吸入口的气体进行预冷却，这样从凝汽器处吸入的不凝结气、汽混合物中，大部分的水蒸汽会被冷凝成水，使得吸入泵部的气体体积会大大减少，从而进一步提高抽干空气的能力。

对比以上，此时进入真空泵的补充水对于被空调冷冻水冷却过后的工作水来说，成为了也是需要冷却的热源，这无疑会导致真空泵工作水温的升高，降低真空泵的抽气能力。另外高温的补充水也势必影响冷凝抽入的气、汽混合物的效果。这对于真空泵的泵效是不利的。

因此，进一步的优化想法是，继续利用空调冷冻水，再引一路作为真空泵的补充水水源。

3.2 在春、秋两季将真空泵的冷却水改造为接近循环水温的冷却水源

前文改进的内容主要是依赖于我公司溴化锂制冷机组的投用，一旦溴化锂制冷机组停用，上述经济运行即无法实施。而溴化锂制冷机组在环境温度 26℃ 以下投用次数大为减少。而此时我公司不得不继续采用闭冷水作为冷却水源。闭冷水温通常高于循环水温 2℃ 以上，而循环水量不足时，闭冷水温会更高。而经闭冷水冷却的真空泵工作水温又会比闭冷水温高出 2~4℃。

图 3、4 引用“真空技术网”的数据（注：各个泵由于性能、工况，工艺的不同需要加入修正系数）。由图 3、4 所示真空度的变化趋势对于我公司实际指导意义在于，在循环水温度为 15~20℃ 时，降低工作水温已经具有现实的需求。而在循环水温度 20℃

以上，降低真空泵工作水温获得的经济效益更加可观。

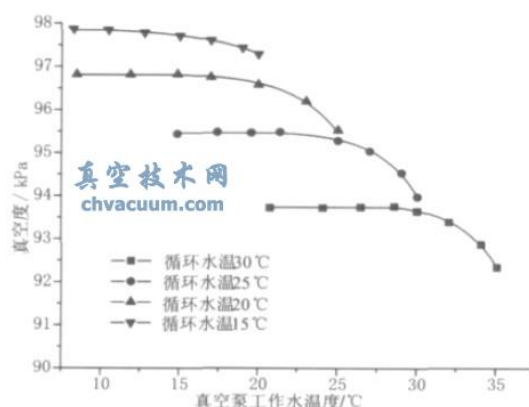


图 3 00%负荷时工作水温对凝汽器真空的影响

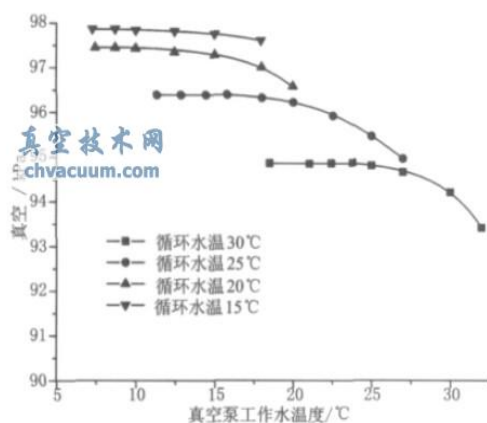


图 4 75%负荷时工作水温对凝汽器真空的影响

在春秋两季，多数也是机组面临大小修，或者面临调停的时间段。通常，我公司会在这一时间段选择根据运行方式，停用部分循环水泵（或者将循环泵切至低速运行），即牺牲部分真空以换取更加经济的运行方式。在此种工况下，如果能够增进真空泵的抽气能力无疑大大提升机组的经济性。图 5 和图 6 也可以直观反映出在循环水量有限的情况下，改进真空泵的冷却水源对于实际运行中的需求。

图 6 反映出闭冷器虹吸破坏后对闭冷水温的影响。破坏后，闭冷水温同开式侧温差达到了 6℃，而即使没有破坏的 2 组闭冷器同循环水的温差也达到了平均 3.2℃ 的温差。

由以上所述，春、秋两季进一步优化改进真空泵的冷却水源是具有现实需求和意义的。而改造的方向为将冷却水源增加一路循环水或者接近循环水温的冷却水源。

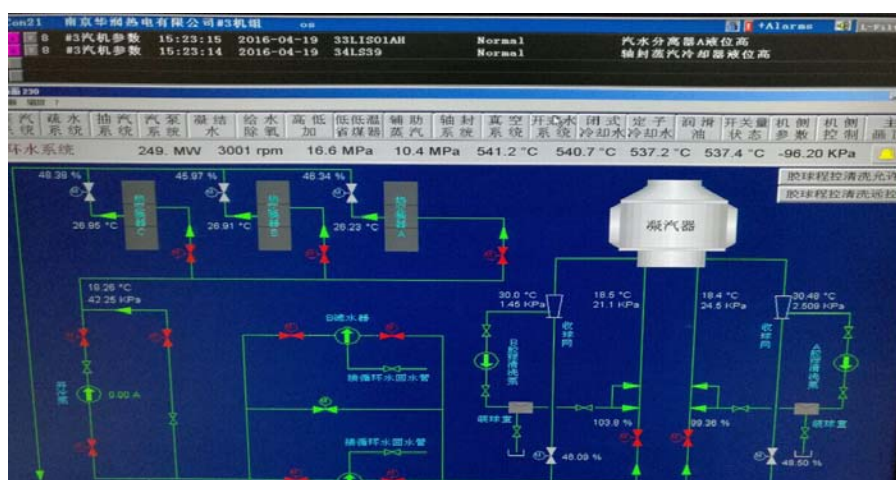


图 5 循环水温升已经在 12℃上下

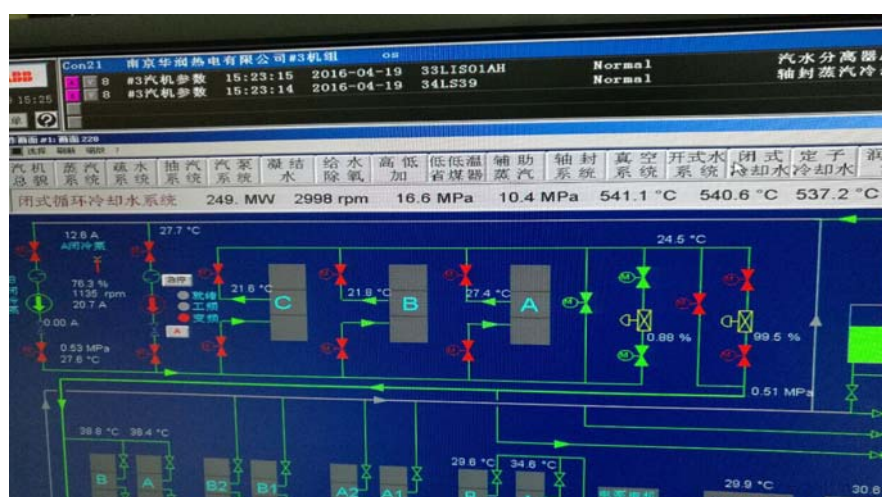


图 6 闭冷器虹吸破坏后对闭冷水温的影响

3.2.1 改造为循环水

我公司曾经尝试过，要求：

(1) 由于本身的循环水压较低，再加上单机运行时，停用部分循环水泵使得循环水压存在出现更低的情况，循环水量较难控制。

(2) 循环水的管路改造中必须要有加装循环水滤网的和维护的方案，而对于现有的管路及滤网的布置来说也存在不小的难点。完全改造耗费巨大。

(3) 接近循环水温度的循环水源，目前的现场存在的管路为除盐水管路和工业水管路。

3.2.2 改造除盐水作为冷却水源

(1) 关于利用除盐水管路，在某些情况下有其优越性，如我公司有较为稳定的供热用户使得凝汽器补水需求比较大，这时，采用除盐水作为真空泵工作水的冷却水，利用储水箱和凝汽器的负压形成

的压力差设计相应的流量，这时不但可以提高真空泵的效率，提高机组的真空。

(2) 而且加热后的除盐水补入凝汽器对于降低过冷度也是有好处的。

(3) 缺点也是显而易见，在凝汽器补水量很低的时候（比如供热切至#4 机组，#3 机组的凝汽器每小时补水量是极少的），这时为了保证真空泵冷却水量的需求，势必要配套一台的相应的输送泵打循环。（或者进行现有凝结水输送泵的管路改造）

3.2.3 利用工业水管路进行冷却水源的改造

(1) 关于利用工业水管路。我公司工业水泵设计流量为 360-612t/h，设计扬程 0.56-0.71MPa 现阶段采用的运行方式为一台变频泵调压运行，控制压力在 0.4-0.6MP 之间。另外，我公司现阶段工业水系统是开式系统，即不回收系统。正常工况时每个小时消耗的工业水量为 46t/h。

(2) 利用工业水作为优化方向也具有可行性,重新从机组侧引入管路接入真空泵工作水冷却器,冷却器后回水作为锅炉定排扩容器减温水,(原先定排扩容器减水管路进行改造)并考虑到在定排减温水过量情况下直排废水池的设计。

3.3 其他方面的进一步优化

3.3.1 真空泵抽气管道进行冷却和降温的优化

我公司凝汽器至真空泵的进气管道全长约 10m (见图 7),根据美国 HEI 标准中关于蒸汽表面凝汽器的工作条件,从冷凝器中抽出的气体 2/3 都是水蒸汽。如果能够对该进气管道进行冷却和降温,则可以促进气、汽混合物的气体容积减小,对于真空泵的抽气能力也是一种提高。



图 7 凝汽器至真空泵的进气管道

由于这样的冷却方式多为表面式冷却并且管材的选用不会刻意以换热系数作为选材方向,这样和我公司真空泵内部的接触式冷却比效果会大打折扣,但是作为预先式冷却,对于真空泵性能的提高也会是一种补充。

而采取的优化方向是利用工业水管路改造的描述,如果真空泵冷却水采取工业水,由于工业水不回收,则可以分流一部分工业水对进气管道加以冷却。诸如将真空泵的进气管道改装成套管式,用以连接真空泵的冷却水回水,冷却后最终排放至凝汽器排污坑内。

3.3.2 现有运行条件下的优化

在无其他条件变动的情况下,采取的优化方向找到最佳的真空泵补水量。

利用真空泵的补水温度较泵内的工作水温低,也比经过冷却器冷却后的工作水温度低。此时可以通过排放一部分压缩后的高温工作水,增加低温补充水量,以降低工作水温达到提高真空泵抽气能力的目的。

不过找到最佳的补水量是关键。进水量过大,虽然工作水温降低,但是真空泵的吸入腔也要被过多的进水量占据一部分,这样对进气量增加并不明显,相反会增加泵的轴功率。进水量过少,则间隙的密封作用减弱,气量降低,水温也升高过快。另外,如果最佳的补水量需要靠排放一部分工作水用以维持水位的平衡,也需要考虑制水方面的成本。

这个优化方向需要我公司进行一系列的实验方可找出适合我厂的补水量。

4 结束语

在对真空泵的优化运行,优化改造上,针对不同季节、不同工况的改进方法有多种。也还有诸如泵体结构,工艺,除垢等方面的优化改造。而真空泵优化改造的成功,对于我公司经济运行,节能降耗是大有裨益的,而如果能在集团内进行拓展实施,则必将产生可观的经济效益。

参考文献:

- [1] 李生泉,冯岩. NASH 双级锥体水环真空泵特性分析[J].黑龙江电力,2004,26(2):121-124.
- [2] 王国清.汽轮机设备运行[M].北京:中国电力出版社,2013.
- [3] 王欢,黄纯亮,张培杰.水环真空泵抽气不足对凝汽器真空的影响[J].电站辅机,2013,34(1):26-29.
- [4] 陈维茂.水温、进水量、水压对水环真空泵抽气量的影响[EB/OL].<http://www.chvacuum.com/pumps/jexie/liquid-ring-vacuum-pump/095452.html>.

作者简介:

赵秀志,南京华润热电有限公司 330MW 机组副值, E-mail: zhaoxiuzhi@crpower.com.cn.