

660MW 机组水环真空泵的汽蚀问题分析及对策

杨春霞

(大唐南京发电厂, 江苏 南京 210057)

摘 要: 针对水环真空泵发生汽蚀, 运行时会出现极限抽吸能力不足等问题进行分析, 采取加装大气喷射器解决真空泵的汽蚀现象, 降低噪声及振动, 提高真空泵安全性能和使用寿命。对运行泵同时进行节能改造, 提高凝汽器真空, 有利于机组安全经济运行。

关键词: 汽蚀; 真空; 大气喷射器; 节能

1 运行状况

大唐南京发电厂每台 660MW 超超临界汽轮机的抽真空系统配置了水环式真空泵 3 台, 正常运行中 2 台运行, 1 台备用, 水环式真空泵系湖北同方高科泵业有限公司制造, 型号为 2BW4 353-OEK4, 自 2010 年 8 月投用以来, 已运行 2 年, 由于其长期在极限真空下运行时, 产生振动、噪音很大, 产生的噪音在 120 dB(A) 以上, 生产劳动环境差, 严重影响工作人员的身心健康, 更主要是真空泵运行中由于汽蚀产生的振动, 存在极大的安全隐患, 多次出现泵进口真空表、补充水温度表, 进口真空表振动失灵, 泵体两端平衡管接头松动, 泵地脚螺丝松动; 多次出现严重的质量事故。如: 叶轮碎断, 转子抱死等(图 1)。



图 1 真空损坏分配器和叶轮

2011 年 11 月#1 机 A 真空泵运行中电流突然增大, 跳闸, 转子抱死, 返厂。

2012 年 8 月#2 机 B 真空泵运行中振动增大, 停泵, 叶轮断裂, 返厂。

2013 年 1 月#2 机 C 真空泵振动大, 返厂, 叶轮损坏。

2013 年 4 月#1 机 A 真空泵电流增大, 返厂, 转子更换。

2013 年 5 月大修 B/C 真空泵解体, 发现叶轮多处裂纹, 返厂。

2 制定解决方法

水环真空泵噪声大是由于真空泵入口汽蚀造成, 运行时间长了, 必然会造成叶轮损坏, 影响着机组的安全运行, 在夏季工况时, 真空泵的工作水温过高, 加上机组的真空严密性差, 这两个因素制约凝汽器真空的提高, 从而增加了机组耗能, 降低了机组经济性运行。为了解决上述问题, 开展了大量的技术咨询和调研工作, 采取真空泵加装大气喷射器的改造方案, 简单可行。

2.1 大气喷射器工作原理

它以大气 ($P_p=100\text{kPa}$) 作为工作气体, 通过喷嘴产生高速 (约 400m/s), 使喷嘴后的压力降到 $P_H=3\sim4\text{kPa}$, 即它具有的膨胀比 $P_p/P_H=100/3\approx35$ 。将凝汽器及其系统中的气体抽出并与工作气体相混合, 经扩散管压缩至 $10\sim13\text{kPa}$, 这时喷射器的压缩比 $P_c/P_H=4.3<5$ 。显然, 这时水环泵的压缩比会由 30 降低到 10 左右, 其运行区间也移至曲线的 A0-A 稳定区段, (见图 2)。其结果不仅可使凝汽器及其系统有良好的真空, 还会使水环泵避开汽蚀侵害, 延长寿命, 提高可靠性。而且真空泵抽气能力随着工作水温的提高而逐渐降低 (图 3), 喷射器由于工作介质为空气, 没有饱和点的限制, 因此受温度的影响非常小, 由图三可以看出随着真空泵工作水温的提高, 喷射器的抽气能力相对于真空泵抽气能力就越大, 水环真空泵带一级大气喷射器时, 如果设计合理, 在吸入压力为 $4\sim5\text{kPa}$ 时仍有较大的抽气量, 这大大扩大了水环真空泵的使用范围。

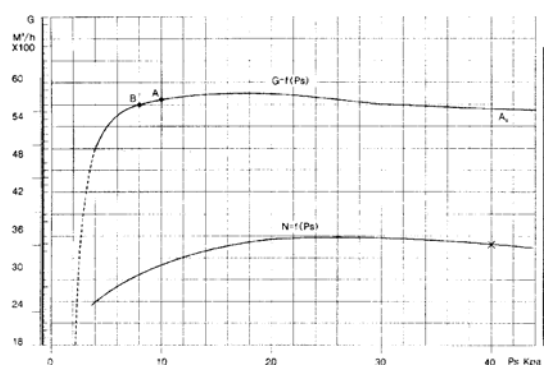


图2 水环真空泵抽气性能

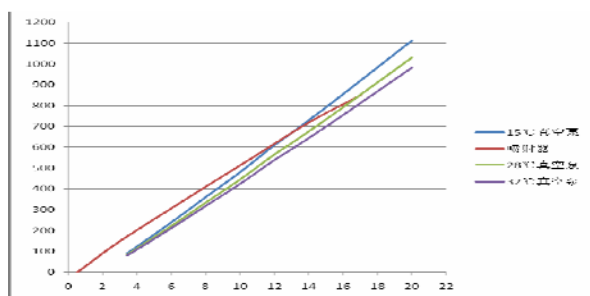


图3 真空泵抽气能力与工作水温的比较

当水环泵的进气压力达到 10kPa 时，对应工作水的饱和温度高达 46℃，实际水温通常维持在 35℃ 左右，有 10℃ 的富裕空间。因此，大大弱化了对水环泵工作水冷却器性能的苛刻要求，甚至工作水冷却器性能出现一定程度的恶化，也不会影响水环泵的性能。

通过以上分析，综合起来，大气喷射器在抽气设备中可起到下述的良好作用：

(1) 能有效地延伸水环泵的工作范围，大幅度降低它的压缩比（由 30 降至 10）。并提高极限真空，实现机组的经济运行。

(2) 使水环泵避开高真空的不稳定区段运行，改善汽蚀性能，延长设备运行寿命，提高可靠性。

(3) 机组启动和运行工况分别由水环泵和“前置喷射器+水环泵”的运行方式相适应，实现抽气设备高效能低消耗运行。”

2.2 大气喷射器结构和主要特点

2.2.1 喷射器结构

大气喷射器由喷嘴、吸气室和扩压器组成。其排气口与水环泵进气口相连，如图4所示。

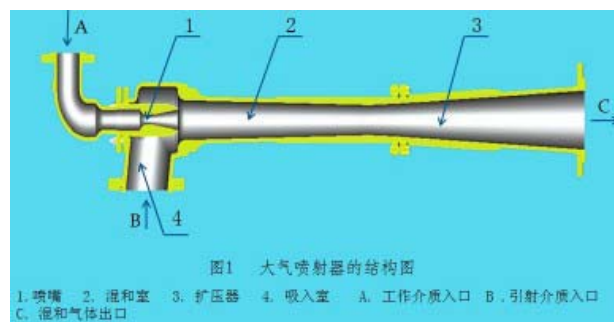


图4 大气喷射器结构

2.2.2 主要特点

(1) 喷射器在结构上有一个基本特点，就是无磨损部件，其流道为同轴不同径的圆柱形，流体通过的流线分布规则，用其承担水环泵高真空的区段的性能时，会有优于水环真空泵的性能表现。

(2) 喷射器工作不受润滑、振动等条件限制，因此其抽气能力很大。

(3) 结构简单，工作稳定可靠，使用寿命长。只要喷射器的结构、材质选择适当，可以很好地抽出来自凝汽器内的汽水混合物。

(4) 系统无油污染。

(5) 工作压力范围较宽，可以根据需要产生不同压力的真空。

3 现场实施

经过现场勘查设计，根据#1、#2 机组的真空泵的运行情况及机组真空严密性的实际情况，确定对#1、#2 机组的真空泵加装德国 Korting LW 系列大气喷射器的方案，在解决真空泵安全性问题的同时，提高凝汽器的真空。具体方案如下：

在机组高背压侧 B 凝汽器的 C 真空泵加装 Korting LW-C 安全型大气喷射器，旨在解决真空泵汽蚀、噪音大等安全性问题；

在机组低背压侧 A 凝汽器的 A 真空泵加装 Korting LW-V 节能型大气喷射器，旨在解决真空泵汽蚀、噪音等安全性问题的同时，提高凝汽器真空达到节能增效的目的，在真空严密性在 100~200pa/min 时，提高凝汽器真空 0.2kPa 以上；达到机组的安全经济运行。

2013 年 4 月#2 机在 A、C 真空泵前加装了大气喷射器，2013 年 6 月#1 机在 A、C 真空泵前加装了大气喷射器。现场改造前后图对比见图 5、6。



图 5 改造前



图 6 改造后

4 改造后试验情况

2013 年 5 月 31 日 #2 机组负荷：500MW，#2 号机组 A 真空泵工作水温分别为：29℃，C 泵工作水温为 28.6℃；#2 号机组循环水进口温度：23.6℃ 出口温度：35.33℃，当地大气压：100.5kPa，#2 号机组真空严密性：220 Pa/min。

表 1 #2 机大气喷射器投、切试验数据

项目	A 凝汽器 真空/kPa	B 凝汽器 真空/kPa	A 泵电流 /A	C 泵电流 /A	A 泵噪音 / dB(A)	C 泵噪音 / dB(A)
A/C 泵喷射器 未投	-95.44	-94.28	228.6	224.6	111	112
A/C 泵喷射器 投用	-95.59	-94.29	245.6	240.65	98	98
变化值	+0.15	+0.01	17	16	13	14

结论：

(1) 2 号机组 C 真空泵加装大气喷射器后，在 500MW 负荷时进行投/退对比试验，真空泵投入大气喷射器系统前后比较，C 泵的运行噪音从

112 dB(A)下降到 98 dB(A)，下降了 14dB(A)；C 泵的电流，从 224A 变为 240A，增加了 16A。A 真空泵加装大气喷射器后，在 500MW 负荷时进行投/退对比试验，真空泵投入大气喷射器系统前后比较，A 泵的运行噪音从 111dB(A)下降到 98dB(A)，下降了 13 dB(A)；A 泵的电流，从 228.6A 变为 245.6A，增加了 17A。#2 机 A、C 真空泵投运大气喷射器后，真空泵运行噪音有明显降低，改善了现场工作环境。

(2) 在 2 号机组带 500MW 负荷时,进行投/退大气喷射器对比试验，A/C 真空泵投入大气喷射器后，低背压侧凝汽器真空提高 0.15kPa，高背压侧凝汽器真空 0.01kPa。虽然未达到提高真空 0.2kPa 要求，是由于在 75% 额定负荷以上工况，在 75% 额定负荷以下工况时，提高真空 0.2kPa，是可以达到的，下一步将做试验。

5 节能效果

(1) 加装大气喷射器提高机组真空 0.2kPa 保守计算。对 660MW 机组，按机组年夏季运行小时 2880h（4 个月），标煤单价按每吨 550 元计算，一年由于真空提高而带来的经济效益：54.3 万元/年。

(2) 改造前每两年更换叶轮约需 30 万元费用（两台泵），改造后更换周期最少延长至 6 年。每年节约费用：15 万/年。甚至在更换喷射器后汽蚀大大减轻，叶轮可以采用铸铁材质，更可以进一步节约费用。

(3) 由于喷射器投入使泵工况点改变，喷射器投入后工况点电流较未投时增加 20A。按每年机组运行 6000h，上网电价 0.45 元/(kWh) 计算，由于 1 台泵电流上升导致增加的运行成本约为：3.0 万元/年，2 台 6 万元/年。综合效益：G = 54.3+15 -6.0 =63.3 万元/年。