

660MW 机组水环真空泵的汽蚀问题分析及对策

杨春霞, 司徒有功

(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。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: 大气喷射器; 汽蚀; 真空; 节能

0 引言

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, 运行中由于汽蚀产生的振动、噪音很大, 导致多次严重的设备损坏事故, 严重影响工作人员的身心健康和机组的安全运行, 通过研究, 采取对真空泵加装大气喷射器的方案, 解决了真空泵的汽蚀产生的振动、噪音问题, 延长了设备寿命, 提高了机组的安全性和经济性。

1 运行状况

自 2010 年 8 月投用以来, 已运行 2 年, 由于其长期在极限真空中运行时, 产生振动、噪音很大, 产生的噪音在 120dB 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: 叶轮多处裂纹断裂, 转子抱死等(如图 1 所示)。



图 1 真空损坏分配器和叶轮

2011 年 11 月 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 B 真空泵运行中振动增大, 停泵, 叶轮断裂, 返厂;

2013 年 1 月 C 真空泵振动大, 返厂, 叶轮损坏;

2013 年 4 月 A 真空泵电流增大, 返厂, 转子更换。

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 $P_H=3\sim 4\text{kPa}$, 即它具有的膨胀比 $P_p/P_H=100/3\approx 35$ 。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 $10\sim 13\text{kPa}$, 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, (如图 2 所示)。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 (如图 3 所示), 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3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 4~5 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。

当水环泵的进气压力达到 10 kPa 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。

通过原理分析，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。”

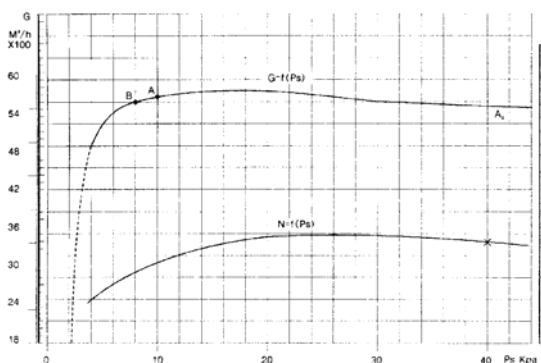


图2 水环真空泵抽气性能

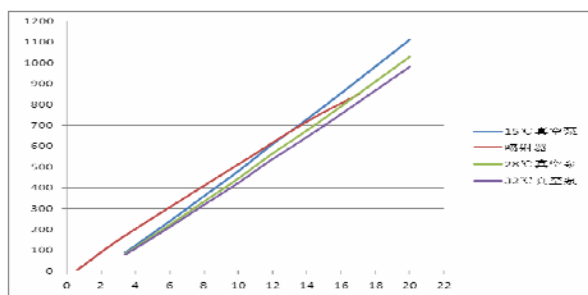


图3 真空泵抽气能力与工作水温的比较

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。

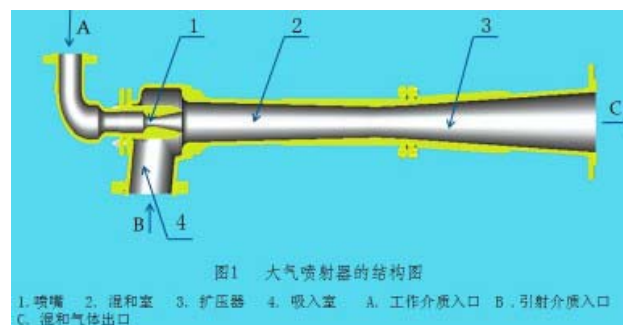


图4 大气喷射器结构

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气混合物。

(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 2 台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 2 台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 100~200 Pa/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

(1) #1 机组真空泵试验情况

2014 年 7 月#1 机组负荷：503MW，#1 号机组 A 真空泵工作水温分别为：32℃，C 泵工作水温为 32℃，当地大气压：100.24kPa，试验数据如表 1 所示。

表 1 #1 机大气喷射器（A/C 泵喷射器）投、切试验数据

运行状态	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)
喷射器未投	-94.18	-93.25	214.6	226.6	113	112
喷射器投用	-94.39	-93.25	246.6	242.65	99	98
变化值	+0.21	+0.00	32	16	14	14

试验结论：

结论一：C 真空泵加装大气喷射器后进行投/退大气喷射器系统前后比较，C 泵的运行噪音从 112dB 下降到 98dB，下降了 14dB，真空泵运行噪音有明显降低；C 泵的电流，从 224A 变为 240A，增加了 16A。

结论二：A 真空泵加装大气喷射器后，进行投/退大气喷射器系统前后比较，A 泵的运行噪音从 113dB 下降到 99dB，下降了 14dB，真空泵运行噪

音有明显降低；A 泵的电流，从 214.6A 变为 246.6A，增加了 32A。A 真空泵投入大气喷射器后，低背压侧 A 凝汽器真空提高 0.21kPa。

(2) #2 机组真空泵试验情况

2014 年 7 月#2 机组负荷：500MW，#2 号机组 A 真空泵工作水温分别为：35℃，C 泵工作水温为 34.6℃，当地大气压：100.24kPa，#2 号机组真空严密性：240 Pa/min，试验数据如表 2 所示。

表 2 #2 机大气喷射器（A/C 泵喷射器）投、切试验数据

运行状态	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)
喷射器未投	-92.19	-90.53	225.6	226.6	111	112
喷射器投用	-92.39	-90.55	246.6	240.65	98	98
变化值	+0.2	+0.02	17	16	13	14

试验结论：

结论一：C 真空泵投入大气喷射器系统前后比较，C 泵的运行噪音从 112dB 下降到 98dB，下降了 14dB，真空泵运行噪音有明显降低；C 泵的电流，从 224A 变为 240A，增加了 16A。

结论二：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 下降到 98dB，下降了 13dB，真空泵运行噪音有明显降低；A 泵的电流，从 228.6A 变为 245.6A，增加了 17A。A 真空泵投入大气喷射器后，低背压侧 A 凝汽器真空提高 0.2kPa。

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 2880 h，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），每年节约费用15万。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平均增加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。1台机组每年综合效益：

$54.3+15-6.0=63.3$ (万元)。

6 结束语

通过对型号 2BW4 353-OEK4 水环式真空泵加装大气喷射器的改造,解决了水环真空泵运行中长期发生汽蚀引起的振动,改善了现场工作环境。延长真空泵运行寿命,提高了机组可靠性。同时加装 1 台节能型大气喷射器,提高凝汽器的 0.2kPA 真空,

又达到节能的效果,值得有同型号真空泵的机组借鉴。

作者简介:

杨春霞(1966-),女,江苏南京人,从事汽轮机运行设备管理多年;

司徒有功(1967-),男,江苏南京人,长期从事电气设备检修和管理。