

火力发电厂水环真空泵存在的问题及优化改造

宗绪东

(华电国际技术服务中心, 济南 250014)

摘 要:列举了火力发电厂水环真空泵存在的各种问题,从原理上分析了问题产生的原因,对现有水环真空泵优化改造方案进行了经济性、安全性比较,制定了最优的优化改造方案。

关键词:火电厂;水环真空泵;耗电率;极限真空;抽吸能力

中图分类号:TM 612 **文献标志码:**B **文章编号:**1674 - 1951(2018)02 - 0029 - 03

0 引言

火力发电厂机组配置的水环真空泵有 2 个作用:一是在机组启动时将凝汽器及负压系统的空气抽出,建立真空,从而降低冲转时的阻力;二是在机组正常运行中抽出漏入凝汽器的空气,防止空气集聚影响凝汽器换热效果,维持真空正常。理论及大量的实践证明:水环真空泵具有启动时间短、启动性能好,在设计压力范围内抽吸能力强以及单位抽吸功耗低等优点^[1]。因此,水环真空泵在火力发电厂中得到了广泛应用。

运行实践表明,水环真空泵存在效率低、耗电率高、极限真空受制于工作水温等缺点。本文从水环真空泵原理等方面分析了原因,对国内现有的各种改造方案进行了比较,制定了最优改造方案。

1 水环真空泵工作原理、性能指标

1.1 水环真空泵的工作原理

水环真空泵是一种粗真空泵,它所能获得的极限真空受制于结构和工作环境,一般为 3 ~ 50 kPa。水环真空泵主要由叶轮、泵体、圆盘(设有吸气口、排气口)等几部分组成。如图 1 所示,叶轮偏心安装在泵体中,当叶轮旋转时,水被抛向泵体并形成与泵体同心的水环,水环和叶轮形成一个月牙形的空间。随着叶轮的旋转,叶轮轮毂、叶片和水环形成的空腔由小变大,通过吸气口吸气,再由大变小,通过排气口排气^[2]。

1.2 性能指标

水环真空泵的性能指标主要有耗电率、极限真空和抽吸能力。

耗电率是指水环真空泵每小时的耗电量,取决于设备选型及真空泵效率。

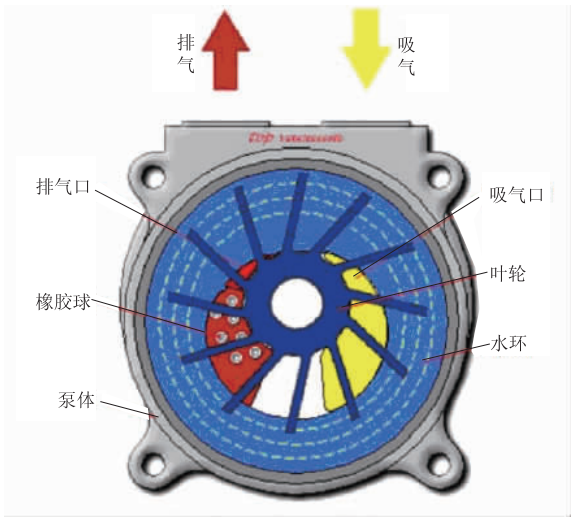


图 1 水环真空泵工作原理

极限真空和抽吸能力不足将造成机组凝汽器真空降低,影响机组煤耗率升高。极限真空是真空泵出口工作水温对应的饱和压力(kPa),是真空泵所能抽取压力的最高数值;抽吸能力是真空泵每小时抽取空气的质量(kg/h)。机组正常运行中,如真空泵抽吸能力能够满足系统要求,极限真空越高,凝汽器真空越接近理论真空应达值;如真空泵抽吸能力不能满足系统要求,极限真空再高,凝汽器真空都将降低。

2 水环真空泵存在的问题及原因

2.1 耗电率偏高

国内汽轮机组配置的单级水环真空泵运行电流约为 190 ~ 220 A,双级水环真空泵运行电流约为 140 ~ 180 A,耗电率均偏高,其主要原因是选型偏大和真空泵效率低。

火力发电厂基建期进行水环真空泵选型时,主要考虑机组启动时快速建立真空需要以及应对运行中真空严密性恶化工况,其抽吸能力设计较高。在正常运行中,机组凝汽器真空是依靠蒸汽凝结成

水、体积大大缩小建立的。在真空严密性合格的情况下,凝汽器漏入空气量较少,较低的抽吸能力即能满足需要。因此,将建立真空的真空泵用于正常运行中维持真空是不合适的,耗电率必然偏高。

水环真空泵效率

$$\eta = \eta_{\text{is}} \eta_{\omega} \eta_{\text{m}},$$

式中: η 为水环真空泵效率; η_{is} 为等温压缩效率; η_{ω} 为叶轮搅动液体流动效率; η_{m} 为机械效率。

水环真空泵自身的特性决定了效率较低,一般在 30% ~ 50%,导致真空泵耗电率高。

2.2 易导致凝汽器真空降低

真空泵极限真空和抽吸能力受制于工作水温,真空泵出口工作水温升高,极限真空和抽吸能力降低。系统运行中需保证冷凝器压力大于真空泵抽吸压力,这样才可抽走其中不凝结气体,要求运行状态下工作液的温度应控制在饱和温度内,避免出现真空恶化甚至气蚀损坏的问题^[3]。

当真空泵工作水流量较低或冷却器冷却效果降低时,均会导致真空泵出口工作水温偏高。

2.3 易发生气蚀损坏

当水环真空泵出口工作水温度对应的饱和压力低于其吸入口压力时,真空泵内的工作水发生汽化。一般情况下,水温与真空升高时系统内的水会因过热产生一定的气泡,形成气泡的过程或气泡发生破裂的情况下,便对叶轮许多部位如叶根或叶顶等进行侵蚀,通常真空泵整体发生振动的情况下可判定气蚀情况比较严重。特别是在气泡破裂过程中,所产生的冲击力会超出叶轮能够承受的冲击力许多,即使设备难以安全运行,也使叶轮的寿命逐渐缩短^[4]。

双级水环真空泵第 1 级叶轮不会发生气蚀,但第 2 级叶轮不能避免气蚀。

3 常规改造方案

近年来,针对水环真空泵存在的问题,火力发电厂采取了一系列优化改造方案。这些方案能够解决某个问题,但由于没有从全局统筹考虑,不能从根本上解决水环真空泵存在的所有问题。

3.1 增加 1 台小型真空泵

增加 1 台小型水环真空泵后,运行电流能降低 40 ~ 80 A,约能降低真空泵耗电率 20% 左右。

此改造方案中真空泵的气蚀问题,以及极限真空、抽吸能力受制于工作水温的问题没有解决。

3.2 相邻机组凝汽器抽空气管道加装联络门

改造后,在冬季凝汽器真空较高时开启联络门,用 1 台真空泵抽 2 台机组的空气,能降低真空泵功耗 50%。

此方案改造后只能在冬季使用,对真空严密性不合格的机组不适用,而且造成机组运行安全性降低。

3.3 降低真空泵入口工作水温度

通过加装溴化锂强制冷却装置提供低温工作水。该方案能解决真空泵气蚀问题,提高极限真空和抽吸能力。

该方案只能在气温较高的季节使用(溴化锂入口冷却水温必须 > 20 ℃,否则溴化锂将结霜而不能工作),而且需要驱动热源(蒸汽或高温水)、冷热循环水泵,系统总能耗大大增加。经测算,该装置运行时驱动热源折合发电功率损失在 500 kW 以上。另外,溴化锂强制冷却装置投资较大,运行维护成本较高。

3.4 加装大气式喷射器

水环真空泵加装大气式喷射器,从汽水分离器出口引出空气作为驱动气源,提高了真空泵入口压力,因此,能解决真空泵气蚀问题,极限真空也能提高。

该方案将导致真空泵总抽气量增加,因此,运行电流增加 20 ~ 30 A,而且导致真空泵对凝汽器的抽吸能力降低。

4 两种新型真空泵系统改造方案

蒸汽喷射器系统、高效真空泵系统为近几年来国内火力发电厂新采用的抽真空设备,主要用于机组运行中维持凝汽器真空。这 2 种改造方案能够解决现有水环真空泵存在的所有问题,但经济性有较大差异。

蒸汽喷射器抽真空系统由蒸汽喷射器、管式换热器、小容量水环真空泵组成,采用高温、高压蒸汽作为驱动汽源,抽取凝汽器中的气体后进入管式换热器冷却,剩余的汽水混合物被真空泵抽走。蒸汽喷射器系统如图 2 所示。

高效真空泵系统由罗茨泵代替了蒸汽喷射器,其余结构与蒸汽喷射器系统相同。高效真空泵系统如图 3 所示。

4.1 两种抽真空系统的优、缺点

优点:耗电率比水环真空泵低 70% ~ 80%;极限真空高,在特定工况下能提高机组凝汽器真空;极限真空和抽吸能力不受工作水温度的制约,能彻底解决水环真空泵的气蚀问题;维护成本低。

缺点:两种抽真空系统不能用于机组启动拉真空,以及运行中真空严密性严重恶化工况。

4.2 节电及防止气蚀原理

两种系统均是基于维持凝汽器真空目的设计,

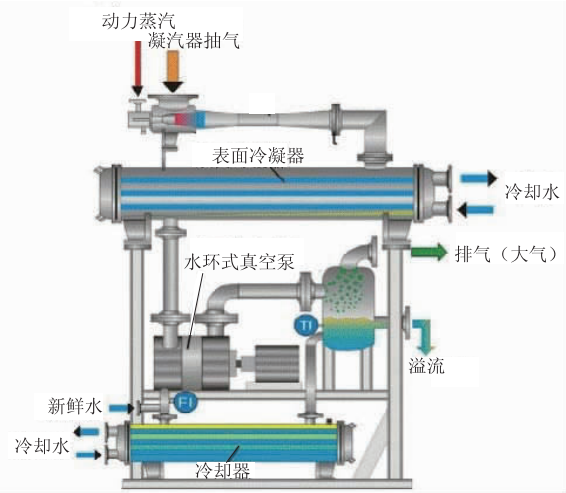


图 2 蒸汽喷射器系统

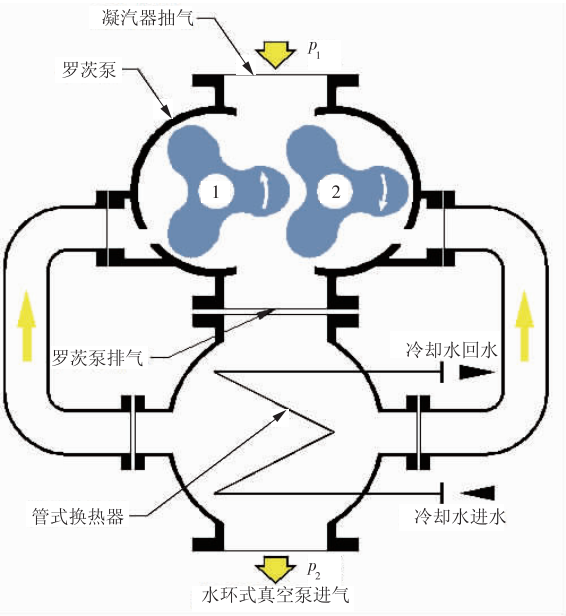


图 3 高效真空泵系统

系统效率较高。蒸汽喷射系统用蒸汽喷射器替代了一部分真空泵功能,高效真空泵系统中罗茨泵效率较高、功率低,因此,两种系统的耗电率比原配置水环真空泵低。

两种系统分别通过蒸汽喷射器和罗茨泵将抽取的气体升压,小容量水环真空泵入口压力提高,高于其出口工作水温对应的饱和压力,因此,配置的小容量水环真空泵不易发生气蚀。

4.3 提高部分机组凝汽器真空的原理

正常运行中凝汽器各部位的压力是不同的,空气冷却区压力最低。空气冷却区出口汽气混合物温度比凝汽器入口平均压力对应的饱和温度低 4.16℃,或为平均压力对应饱和温度与冷却水入口温度差的 25%^[5]。真空泵入口压力对应的饱和温度 = 凝汽器入口水温 + 循环水温升 + 凝汽器端差 - 4.16℃ - 空气管道阻力对应的饱和温度。真空泵极限真

空对应的工作水温 = 凝汽器入口水温 + 真空泵冷却器换热温差 + 工作水温升。从上述公式可以看出,当真空泵冷却器冷却水流量低造成出口工作水温过高、或机组低负荷时凝汽器端差及循环水温降低时,会造成真空泵出口工作水温高于真空泵入口压力对应的饱和温度,抽吸压力高于入口压力,导致真空泵停止抽空气,凝汽器内空气集聚,真空下降。对于配置高、低背压凝汽器的机组,由于低背压凝汽器循环水温升高,水环真空泵极限真空始终不能满足工作需要。

两种新型真空泵系统分别串联了蒸汽喷射器和罗茨泵,系统的极限真空大大提高 (< 1.0 kPa),在任何工况下均能满足系统极限真空要求。运行实践证明,两种系统在特定工况下能提高凝汽器真空 0.2 ~ 1.0 kPa。

4.4 两种改造方案经济性比较

4.4.1 投运后节能效果比较

某 300 MW 机组进行了蒸汽喷射器系统改造,原配置单级水环真空泵电流为 220 A。蒸汽喷射器系统运行时,每小时需消耗压力 0.47 MPa、温度 384℃ 的蒸汽 0.385 t,配置小容量水环真空泵运行电流为 49 A。经近似计算,消耗的蒸汽折合发电量约为 97 kW·h。因此,蒸汽喷射器系统实际运行功率约增加 1.3 kW。

某 300 MW 机组进行了高效真空泵改造,原配置单级水环真空泵电流为 220.0 A,切换为高效真空泵系统运行后,罗茨泵电流为 12.5 A,小容量水环真空泵电流为 22.7 A,系统实际运行功率约降低 103 kW。

从上述分析可以看出,在其他性能相同的情况下,采用蒸汽喷射器系统增加了能耗,高效真空泵系统节能效果良好。

4.4.2 原因分析

蒸汽喷射器系统消耗的高温、高压蒸汽用来发电效率更高,而且驱动蒸汽的消耗导致进入管式换热器蒸汽含量增加,蒸汽不能完全被冷却,造成进入水环真空泵的蒸汽含量较大,因此,配置的小容量水环真空泵功率相对高效真空泵系统较大。

高效真空泵系统的罗茨泵效率较高,而且罗茨泵可以设计为变频控制,运行功率低。由于抽取的汽气混合物中的蒸汽几乎完全被冷却,配置的小容量水环真空泵功率也更低。

5 结论

目前,国内机组在进行真空泵改造或基建阶段选型时,已经从单纯追求真空泵安全性、极限真空和抽吸能力等指标,转为在兼顾以上(下转第 34 页)

形成的根本原因。

3.3 阻垢剂浓度的影响

查询运行加药操作,加药量都正常,因此药剂可能存在问题。A 厂 2015 年年底提供了最后一批阻垢剂,电厂在入库时未进行取样化验或送检,在使用该批药品后,3 台机组循环水有机磷均大幅度下降到 0.1 mg/L 以下,无法有效阻垢,因此,药品有效成分不足是系统结垢的主要原因。

4 处理措施

针对目前 #3 机组凝汽器 2 个水室存在的结垢现象,考虑检修时间紧,不具备进行化学清洗的条件,故采用物理清洗的方法即进行人工除垢,端板及侧板部位均能清理得较干净;钛管内部的结垢尝试采用高压水枪冲洗等方式处理,并采用防结松散剂或稀酸喷洒,令其疏松后再进行水冲洗。

5 防范措施

5.1 做好药品入厂检验工作

循环水中阻垢剂有效成分长时间未检测出,可能与阻垢剂产品质量有关,但厂里对阻垢剂入厂没有进行必要的检验检测,导致无法追溯原因。

5.2 循环水控制策略的更改

添加阻垢剂是防止循环水结垢的有效手段,但阻垢剂的阻垢效果除与其用量有关外,还与水温水质有关,随水温、碳酸盐硬度以及 pH 值的增加,其阻垢效果下降。任何阻垢剂都受到阻垢能力的限制,当循环水浓缩倍率过大,以至水中碳酸盐硬度超过它的允许值时,仍然会有 CaCO₃ 垢生成。循环水控制策略是根据阻垢剂厂家提出的要求进行控制的,应综合考虑循环水温度、pH 值、浓缩倍率、补充

(上接第 31 页)指标的基础上降低真空泵能耗。本文分析了国内火电厂主流配置的水环真空泵存在的各种问题,并对各种解决方案进行了剖析,得出了采用高效真空泵系统是最合理改造方案的结论。

进行高效真空泵改造时,应合理选择罗茨泵压缩比以及抽吸能力。一方面能彻底避免小容量水环真空泵气蚀,另一方面能够适应机组真空严密性较差的工况。

参考文献:

[1] 罗思球. 水环真空泵机组在凝汽器抽真空的应用及介绍[J]. 通用机械,2004(2):28-31.
[2] 徐法俭,雷春栋,刘宝新,等. 水环真空泵能效评价方法

水水质、阻垢剂加药量等多方面因素^[3],设置合理的控制策略。循环水补充水质变化后应及时改变控制策略,该厂在 2015 年 6 月投运废水零排放系统,循环水补充水由江水改为零排放预处理后废水,水质发生变化,主要指标如电导率、硬度、碱度等都发生变化,阻垢剂厂家应根据水质变化情况重新制订控制策略,但厂家未提供更更改的控制策略。

5.3 加强循环水排污

循环水浓缩倍率不宜过高,及时排污是控制浓缩倍率的有效手段,该厂目前机组的循环水排污量均较少,造成水质劣化、指标偏高。应控制水质指标在合格情况下及时排污,防止在指标超标时排污造成环境污染。

5.4 加强循环水水质监测

加强循环水 pH 值、硬度、有机磷、氯根、化学耗氧量(COD)、氨氮等重要运行指标监测,防止循环水碳酸盐硬度达到或超过极限碳酸盐硬度,同时也应防止循环水超标排放。

参考文献:

[1] 于剑峰,霍静,唐仕明,等. 卤水管道中影响碳酸钙垢溶解度的因素及规律[J]. 盐业与化工,2011,40(4):20-23.
[2] 刘辉,盛春林,王福平,等. 循环水高浓缩倍率在火力发电厂的应用[J]. 工业水处理,2003,23(8):67-69.
[3] 王兆岳. 循环冷却水系统结垢问题及控制方法[J]. 科技创新与应用,2013(1):109-111.

(本文责编:白银雷)

作者简介:

高强生(1971—),男,浙江嘉兴人,高级工程师,从事电厂水处理方面的研究工作(E-mail:2809282558@qq.com)。

研究[J]. 真空科学与技术学报,2011,31(4):449-452.
[3] 刘凯,秦惠敏,吴曰舜. 国产 300 MW 汽轮机真空抽气系统技术改造[J]. 华东电力,2004,32(11):49-52.
[4] 吴河生,范朝光. 300 MW 供热机组水环式真空泵系统技术改造[J]. 江苏电机工程,2010,29(5):70-72,76.
[5] 汪国山. 电站凝汽器热力性能数值仿真及其应用[M]. 北京:中国电力出版社,2010.

(本文责编:白银雷)

作者简介:

宗绪东(1972—),男,山东济南人,高级工程师,工学硕士,从事火电厂节能降耗技术工作(E-mail:35266623@qq.com)。