

火电厂循环水泵节能提效研究

崔传涛, 常浩, 王宝玉, 庄兆意

(华电电力科学研究院, 浙江 杭州 310030)

摘要: 针对火电厂循环水泵普遍存在效率偏低的问题, 分析了循环水泵效率偏低的原因, 并提出了提高循环水泵运行效率的方法, 通过对循环水泵通流部分的优化设计, 根据实际运行情况选择运行参数, 优化循环水泵运行方式等措施, 使循环泵运行效率提高20%。改造后, 水泵每年节电百万度, 取得了良好的节电效果。

关键词: 循环水泵; 厂用电; 优化改造
中图分类号: TK232.2 **文献标识码:** B
DOI: 10.16146/j.cnki.mdlgc.2015.03.044

引言

300 MW 及以上容量机组是我国火力发电的主力机组, 循环水泵是火力机组的主要耗能辅机之一, 做好循环水泵的高效经济运行, 降低其能耗水平是提高火电机组经济性、降低机组厂用电的重要举措。

循环水泵是火力发电机组重要的辅助设备, 循环泵电耗是机组厂用电的重要组成部分, 随着科学技术的不断进步, 新技术不断被应用到电厂设备改造中。火电厂循环水泵普遍存在效率偏低的问题, 文章分析了循环水泵效率偏低的原因, 并提出了提高循环水泵运行效率的方法, 通过对循环水泵进行通流部分优化设计, 根据实际运行情况选择运行参数, 优化循环水泵运行方式等措施, 使循环泵运行效率提高百分之二十, 年节电百万 kW·h, 取得了良好的节电效果。不同于以往的循环水泵运行优化, 文章根据机组负荷及环境温度的不同, 以机组最佳真空为优化目标, 确定出循环水泵的最佳运行方式, 在分析过程中, 对机组在各个负荷段、各环境温度条件下的运行时间进行了统计。

1 存在问题分析

由于受到设计、制造、设备选型及运行方式等因素的影响, 循环水泵的运行经济性比较差, 普遍存在

出力不配套, 运行效率低等问题, 严重的增加了电厂的能耗水平。目前, 火电厂循环泵主要存在以下几个方面的问题:

(1) 循环水泵的运行效率低, 电耗高。

目前, 循环水泵的实际运行效率多在 65% - 75% 之间, 比设计值偏低 10% - 15% 不等。造成循环水泵效率偏低、耗电高的主要原因是泵的运行工况偏离设计工况, 泵内部通流部分的结构设计、通流部件的型线不合理, 设备选型不合理等。

(2) 循环水泵的运行工况与设计工况不相符。

循环水泵的实际运行工况与设计工况不符, 主要是指循环水泵设计及设备选型不合理, 循环水泵的设计扬程与循环水系统阻力不匹配, 循环水泵在选型过程中留有较大裕量或循环水泵与电机不匹配, 运行工况偏离设计值是引起循环水泵的实际运行效率低的主要原因。

(3) 泵的通流部分设计不合理

按照实际运行工况进行核算, 发现循环水泵内通流部件壳体内流速偏高, 叶轮叶片的进、出口角度均不尽合理, 出口水流与壳体螺旋角偏差较大, 水从叶轮流后不能顺利进入压水室, 而与泵体压盖及出口壳体发生冲击。通流能力不足以及叶轮与壳体的配合不当是导致循环水泵运行效率低的原因之一。

(4) 循环水泵运行方式难以满足最佳真空的要求。

机组循环水系统设计方式多种多样, 目前, 300 MW 机组循环水泵主要有以下 3 种配置方式: (1) 配 3 台 50% 容量循环水泵, 2 台运行 1 台备用; (2) 配 2 台 50% 容量循环水泵, 无备用循环水泵; (3) 3 台 35% 容量泵, 无备用循环水泵。对于多数电厂来说, 循环水泵的运行台数或高低速搭配是根据经验来调整的。机组负荷和循环水温度不断发生变化,

收稿日期: 2014-03-03; 修订日期: 2014-05-12

作者简介: 崔传涛(1982-), 男, 山东聊城人, 华电电力科学研究院工程师。

为获得凝汽器最佳真空,所需循环水量不同,仅仅依靠经验是无法满足机组最佳真空的要求。

2 循环水泵优化改造

针对循环水泵普遍存在的问题,对循环水泵及其系统进行详细的性能试验,了解循环水泵的运行效率,掌握循环水系统的阻力特性,根据存在的问题有针对性的进行改造,确定改后循环水泵的运行参数,确保与运行工况的吻合;并根据机组负荷和循环水温度,确定循环水泵的运行方式,以维持凝汽器最佳真空。

2.1 叶轮优化

循环水泵叶轮叶片与衬套之间多为曲面配合,间隙较大,易发生叶片与衬套之间动静磨擦,并容易出现汽蚀现象,影响循环水泵的安全稳定运行。

优化设计通流部件,试验新的水力型线,在保证泵流量不降低的前提下,降低泵的耗功,减少运行电流,解决线圈超温问题。改造后的叶轮为不完全前盖板式结构,增加了一个半前盖板,把曲面配合改为立面配合。这种结构消减了容积损失,减少旋转阻力,即轮盘的摩擦损失,解决根部多次出现裂纹、吸力面出口边局部低压出现汽蚀等问题,而且保证叶轮可以安全的运行。只需更换循环水泵叶轮及密封环等部件,而原进水管、电机等不需改动,根据凝汽器所需要的循环水量,结合系统阻力,通过对循环水泵叶轮优化设计,保证改造后循环水泵实际运行效率达到预期的改造效果。

2.2 循环水泵扬程与系统阻力相匹配

循环水泵扬程偏离设计值是影响循环水泵效率的重要因素,在保证足以克服循环水系统阻力和凝汽器循环水回水正常进入冷却塔的前提下,优化循环水泵设计扬程,使的泵设计扬程与系统阻力相匹配。

2.3 电机改为双速驱动

早期投产的循环水泵为单速运行,根据机组负荷和循环水温度决定循环水泵运行台数,当运行台数发生变化时,循环水泵的运行工况发生较大变化,效率波动较大,并且运行调整方式比较单一,特别是对单元制系统问题更加严重。进行循环水泵的双速改造是缓解此问题的重要措施之一,近期投产的循环水泵在设计中采用了双速调节方式。

由泵的相似定律知,在不小范围内改变泵的转速,泵的效率近似不变,其性能的近似变化关系为:

$$Q_1/Q_2 = n_1/n_2$$

$$H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2$$

$$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3$$

式中: Q_1 、 Q_2 —转速 n_1 、 n_2 下泵的流量; H_1 、 H_2 —转速 n_1 、 n_2 下泵的扬程; P_1 、 P_2 —转速 n_1 、 n_2 下泵的功率。

目前大型循环水泵的电动机磁极对数多分部在 5-9 对之间,当驱动电机为 8、9 对磁极的双速电机,考虑转差损失后,工频下对应转速分别为 375 和 334 r/min,其转速差较小只有 40 r/min,由高速变为低速运行后,将对应转速代入上式,则泵的性能近似变为:流量、扬程是原来的 0.89 和 0.79 倍,轴功率下降 0.71 倍。循环水泵可以利用上述特性,采用转速差不大的相邻磁极对数的双速电机驱动,根据各季节气象条件的改变选择驱动转速,到达调节供水量,节能降耗的目的。

2.4 根据机组负荷和循环水温度确定循环水泵运行方式

循环水系统是对电厂经济性有较大影响的重要辅机系统,循环水泵是循环水系统的核心,是改造汽轮机真空的重要可调因素,合理选择循环水泵的运行方式对提高电厂的经济性有重要意义,但大多数电厂对循环水泵的运行方式缺乏可操作性的理论依据,对循环水量的调节一般是凭经验进行,造成循环水泵运行的数量很难与机组工况相匹配,使耗电量增加。

循环水泵运行优化的核心是根据凝汽器最佳真空所需要的循环水量合理调节循环水泵的组合方式。当循环水量增加时,应使得汽轮机功率增量大于循环水泵功率增量;当循环水量减小时,应使得汽轮机功率减少量小于循环水泵功率减少量。在机组热耗率及循环水温度一定的情况下,使功率微增发电量与循环水泵多耗电量差值最大,此水量为循环水最佳水量。

机组负荷一定情况下,循环水泵运行方式不同,循环水流量也有所不同,根据凝汽器和循环水泵性能试验,计算得到凝汽器压力所对应的饱和温度,并进一步计算的得到凝汽器真空。当凝汽器真空发生变化时,汽轮机功率发生变化,根据机组微增出力曲线,可计算出汽轮机功率变化量。主要计算公式有:

$$t_s = t_{w1} + \Delta t + \delta_i$$

$$\delta_i = \Delta t / e^{\frac{A_c \cdot K}{4 \cdot 178 D_w}} - 1$$

$$p_k = 9.81 \times \left(\frac{t_s + 100}{57.66} \right)^{7.46}$$

式中: t_s —循环水入口温度, °C; Δt —循环水温升, °C; δ_i —凝汽器端差, °C; A_c —凝汽器冷却面积, m^2 ; K —凝汽器的总体传热系数, $kJ/(m^2 \cdot s \cdot K)$; p_k —凝汽器保温温度对应的压力, Pa。

3 优化改造案例

某机组循环冷却水系统配套设置循环水泵 2 台, 泵为转子可抽式立式斜流泵, 由外壳、内壳、转子、结合部组成, 型号为 1800KLA-24。优化改造前, 循环水泵存在运行效率低、扬程与系统阻力不匹配及运行方式不合理等问题, 根据循环水系统存在的问题, 进行了如下改造:

(1) 更换了循环水泵的叶轮及密封环等部件, 提高循环水泵运行安全性;

(2) 优化循环水泵设计扬程, 使泵设计扬程与系统阻力相匹配;

(3) 进行循环水泵双速改造, 循环水泵低速运行比高速运行电流下降 35 A, 增加了循环水流量的调节方式, 提高循环水泵运行经济性;

(4) 为优化循环水泵运行方式, 根据凝汽器及循环水泵性能试验结果, 结合机组微增功率曲线, 在不同机组负荷、不同凝汽器进水温度下, 确定循环水泵的最佳运行方式。

循环水泵改造前后的主要参数如表 1 所示, 可以看出改造效果明显。

表 1 循环水泵改造效果参数对比

Tab. 1 Contrast of the parameters before and after the modification of the circulating water pump

参 数	设计值	修前	修后
机组功率/MW	300	302.99	302.10
凝汽器压力/MPa	4.90	5.18	4.95
循环水泵转速/ $r \cdot \min^{-1}$	425	425	425
泵出口流量/ $t \cdot h^{-1}$	22 068	21 826	25 044
扬程/m	17.00	13.42	15.58
有效功率/kW	1 173	797.70	1 060.50
循环水泵效率/%	87.10	62.52	83.12

根据改造完成后凝汽器和循环水泵的性能试验, 并结合机组微增功率曲线, 优化得出循环水泵的最佳运行方式, 机组负荷变化范围为 50% - 100%, 凝汽器循环水进水温度变化范围取 5 - 30 °C。

表 2 循环水泵最佳运行方式汇总

Tab. 2 Summing-up of the optimum operation modes of the circulating water pump

负荷率/%	温度/°C					
	5	10	15	20	25	30
100	G	DD	DD	DG	DG	GG
90	G	DD	DD	DD	DG	GG
80	G	G	G	DD	DD	DG
70	D	G	G	G	DD	DD
60	D	G	G	G	G	DD
50	D	D	D	D	G	G

上表中, D 表示 1 台低速泵运行, G 表示 1 台高速泵运行, DD 表示 2 台低速泵运行, DG 表示 1 台高速泵和 1 台低速泵运行, GG 表示 2 台高速泵运行。

4 优化改造经济性分析

通过循环水泵的改造, 实现循环水泵的经济运行。

(1) 通过循环水泵扬程的优化设计, 使扬程与循环水系统阻力相匹配;

(2) 通过叶轮及密封部件的更换, 减少旋转阻力, 解决根部多次出现裂纹、吸力面出口边局部低压出现汽蚀等问题, 证叶轮可以安全的运行;

(3) 通过循环水泵双速改造, 优化循环水泵运行方式, 在满足循环水流量的前提下, 减少了循环水泵运行电流;

(4) 根据机组负荷和循环水入口温度确定循环水泵运行方式, 得出凝汽器最佳真空的运行方式。

为评价循环水泵改造效果, 按照《回转动力泵性能验收试验》2 级的要求, 试验为独立的单元制循环水系统及热力系统、循环水母管联络门关闭、试验时工况稳定、各加热器正常投入运行、系统无异常泄漏。试验测得循环水泵优化改造后, 循环水泵的流量增加了 14.75%, 有效功率增加了 32.95%, 循环水泵效率增加了 20.60%, 低速运行期间, 循环水泵

电流减少 35 A。

改机组年均负荷率约 80%，年利用小时数约 5 500 h，运行小时约 6 875 h，机组在不同负荷、不同循环水入口温度下的运行小时数如下表所示，

表 3 机组运行小时数汇总(h)

Tab.3 Summary of units operating hours(h)

负荷率/%	温度/℃						合计
	>30	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	
100	108	48	35	103	233	160	687
90	340	272	181	302	358	60	1 513
80	462	570	625	610	463	20	2 750
70	309	206	218	215	290	0	1 238
60	144	103	74	50	41	0	412
50	96	82	44	41	12	0	275
合计	1 459	1 281	1 177	1 321	1 397	240	6 875

为充分比较循环水泵改造效果，结合优化改造前的凝汽器及循环水泵性能，以 1 年为时间段，机组运行小时数和负荷率大致相同的情况下，比较优化前后经济性。

循环水泵改造完成后，有效功率大幅提高，凝汽器真空得到改善，出于维持凝汽器最佳真空的考虑，会适当减少循环水泵的运行台数，或采用低速泵运行。每年循环水泵运行小时数减少 665 h，低速泵运行小时数约 6 216 h，高速泵运行电流为 160 A，低速泵运行电流为 125 A，则每年循环水泵运行时间减少而节电 85 万 kW·h，低速泵运行节电 176 万 kW·h，年节电 261 万 kW·h，可以有效降低厂用电。按机组发电成本 0.30 元/(kW·h) 进行计算，每年因厂用电降低而产生的经济效益为 78.30 万元，投资回收期不足 1 年，经济效果十分显著。

5 结 论

机组循环水系统的运行经济性对机组能耗指标有重要影响，分析了循环水泵效率偏低的原因，并提出了提高循环水泵运行效率的方法，通过对循环水泵进行通流部分优化设计，根据实际运行情况选择运行参数，优化循环水泵运行方式等措施，使循环水泵运行效率提高。

(1) 循环水泵的流量增加了 14.75%，有效功

率增加了 32.95%，循环水泵效率增加了 20.60%，低速运行期间，循环水泵电流减少 35 A。

(2) 循环水泵改造完成后，每年循环水泵运行小时数减少 665 h，低速泵运行小时数约 6 216 h，每年循环水泵运行时间减少而节电 85 万 kW·h，低速泵运行节电 176 万 kW·h，年节电 261 万 kW·h，可以有效降低厂用电。

(3) 根据机组负荷及环境温度的不同，以机组最佳真空为优化目标，确定出循环水泵的最佳运行方式，在分析过程中，对机组在各个负荷段、各环境温度条件下的运行时间进行了统计。

根据循环水泵的性能，有针对性的进行改造，提高了循环水泵运行经济性和安全性，在此基础上进行循环水泵运行方式的优化，可有效维持凝汽器最佳真空，降低机组厂用电，节能效果显著。

参考文献:

- [1] 刘 哲. 300 MW 机组单元制循环水系统优化运行 [J]. 汽轮机技术, 2010, (52) 6: 475 - 480.
LIU Zhe. 300 MW unit for circulating water system optimization operation of [J]. steam turbine technology, 2010, (52) 6: 475 - 480
- [2] 唐铃凤. 离心泵叶轮的优化设计模型 [J]. 北京工业大学学报, 2008, (26) 2: 115 - 118.
TANG Ling-feng. Optimization design of model [J]. Journal of Beijing University of Technology of centrifugal pump impeller, 2008, (26) 2: 115 - 118
- [3] 吴喜东. 哈尔滨第三发电厂 600 MW 机组循环水泵改造叶轮优化设计 [J]. 电网与清洁能源, 2009, (25) 7: 81 - 84.
WU Xi-dong. The 600 MW unit in Harbin third power plant retrofit of circulating water pump impeller optimization design of [J]. power grid and clean energy, 2009, (25) 7: 81 - 84
- [4] 李兴平, 宋 涛, 潘持平. 300 MW 机组斜流式循环水泵改造 [J]. 中国电力, 2010, 33(10): 23 - 26
LI Xing-ping, SONG Tao, PAN Chi-ping. 300 MW The unit diagonal flow type circulating water pump of [J]. power transformation China, 2010, 33(10): 23 - 26
- [5] 肖兴和, 佛铁梁, 肖秀媛. 永济热电厂 32SA - 19A 循环水泵节能技术改造 [J]. 中国电力, 2010, 34(9): 23 - 25.
XIAO Xing-he, FO Tie-liang, XIAO Xiu-yuan. Yongji thermal power plant circulating water pump energy saving technical reconstruction of 32SA - 19A [J]. power transformation China, 2010, 34(9): 23 - 25.

(陈 滨 编辑)

bility of both systems. **Key Words:** total loss of plant service power supplies, unit tripping, bypass system, action process, reconstruction, reliability, verification test

1 036 MW 超超临界燃煤机组锅炉等离子点火系统的设计及应用 = **Design and Applications of a Plasma Ignition System for a 1 036 MW Ultra-supercritical Coal-fired Boiler Unit** [刊, 汉] ZHONG Bin, LI Geng, QIAN Feng, LIU Yan-tao (Shenzhen Orient Boiler Control Co. Ltd. , Shenzhen, China, Post Code: 518057) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(3) . -478 -481

Described were the principles for the plasma ignition technology. For the Boiler No. 4 of a 1036 MW ultra-supercritical coal-fired unit in a domestic power plant, a plasma ignition system equipped with low NO_x plasma pulverized coal burners was designed. On this basis, the authors made it realized that the flow field formed by using plasma pulverized coal burners and the pulverized coal concentration distribution is controllable. The simulation calculation results by using the software Fluent and the practical operation effectiveness show that when the plasma pulverized coal burners serve as the ignition ones, the plasma ignition system can maintain a stable operation and has a high burn-out rate of the pulverized coal, the temperature and pressure rise speed of the boiler meeting the requirements stipulated in the operation specifications. When the plasma pulverized coal burners serve as the primary ones, the flow field and the pulverized coal concentration distribution originally designed for the boiler can be restored very well, thus guaranteeing that the performance of the boiler can meet the design requirement. **Key Words:** plasma ignition, pulverized coal burner, plasma generator, oil-free start-up

火电厂循环水泵节能提效研究 = **Study of the Enhancement in the Efficiency of a Circulating Water Pump in a Thermal Power Plant** [刊, 汉] CUI Chuan-tao, CHANG Hao, WANG Bao-yu, ZHUANG Zhao-yi (Huadian Electric Power Science Research Institute, Hangzhou, China, Post Code: 310030) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(3) . -482 -486

In the light of the problem that the efficiency of circulating water pumps in thermal power plants is universally on the low side, the authors analyzed its causes and proposed a method for enhancing the operation efficiency of circulating water pumps. Through taking such measures as an optimized design of the flow path of a circulating water pump and optimization of the operation mode of the pump according to the actual operating conditions and others, the authors have made the operation efficiency of the pump increased by 20%. After the modification, using the pump can save millions of kilowatt-hour electricity each year, thus achieving a good power-saving result. **Key Words:** circulating water pump, plant service power, optimization modification