

# 汽轮机冷端系统优化

朱江宁，卢 森

（江苏南热发电有限责任公司，江苏 南京 210035）

**摘 要：**通过对影响汽轮机冷端系统经济运行的各相关因素进行分析比较，制定出相关的措施以提高江苏南热 #1、2 机组汽轮机冷端系统的运行经济性。

**关键词：**冷端系统；对标；真空；循泵；凝泵；优化

## 1 概述

火力发电厂的生产过程简单来讲就是一个卡诺循环，要提高循环效率，主要是提高初参数和降低终参数，即提高热端初参数，降低冷端终参数。通俗地讲就是一个要提高热端效率，一个要降低冷端损耗。而机组从设计生产安装定型后，由于设备、管材等多方面原因，相应的热端初参数就已经确定，无法提高。而降低冷端终参数对电厂来说，就是降低冷端损耗。在火力发电厂里循环水泵、凝泵、真空泵及其配套系统和凝器一起构成了汽轮机冷端系统。这些设备系统在运行中有一定的独立性，又互相影响，只有提高整个冷端系统运行效率才能真正做到降低冷端损耗。

## 2 公司冷端系统运行现状

公司#1、2 机组凝汽器清洗系统用的是传统胶球装置，投球数只有凝器钢管数的 1/10，正常运行时只有部分钢管能得到清洗，而且由于循环水压力、设备等原因，收球率也不是很高，只能达到 88%左右，从长期运行效果来看，凝汽器钢管清洁程度较差。

#1、2 机组四台循泵，其中两台进行了双速电机改造，但是同镇江、常熟等电厂相比，运行时循泵电流偏大，低速循泵的电甚至还高于其高速泵，致使循泵电耗居高不下。见图 1、2。

#1、2 机组凝泵系统虽进行了变频改造，且变频凝泵长期运行，较改造前凝泵电耗有明显下降。但由于汽泵密封水、化学精处理等相关联设备的牵制且偏重安全方面考虑，凝泵变频节能的优势还没有完全体现出来。在正常运行时凝泵变频器下限设为 60%，机组负荷在 400MW 以下运行时除氧器上

水调整门还需节流以调节水位，凝泵变频还有一定的富裕量。且现变频凝泵在频率较低时电机存在较大的振动现象，给设备安全运行造成威胁，故凝泵频率在运行时都避开此频率范围，放在较高位置。在控股对标评比中凝泵电耗也不能名列前茅。见图 3。

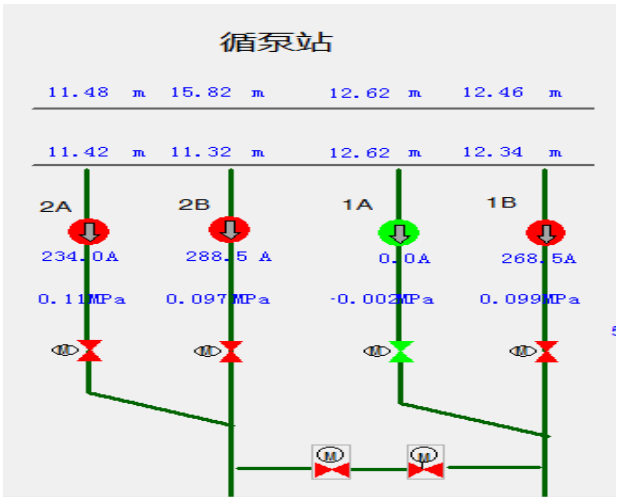


图 1 南热循泵电流



图 2 镇江循泵电流

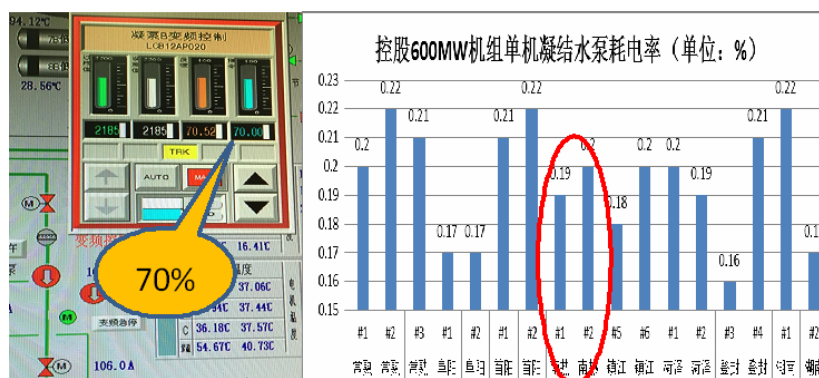


图3 控股对标评比中凝泵电耗排名

#1、2 机组是双背压凝汽器，之间通过连通管相连，压力趋于均衡，造成两侧凝汽器的压差小于设计值。为了充分利用高低压凝汽器回热优势，厂家在高、低压凝汽器抽真空的连通管上安装了节流孔板，但从实际运行情况看，节流孔板未起到高低压凝汽器压差调节作用。

在控股的 600MW 机组对标评比中，江苏南热发电有限公司#1、2 机组冷端系统各项指标均未能名列前茅，循环电耗等指标甚至低于平均水平。这充分说明我公司两台机组冷端系统运行效率同兄弟电厂同类型机组相比还存在一定差距。存在相当的

改善空间和迫切性。

### 3 冷端系统改造和优化

#### 3.1 循环水系统

进行循泵性能试验，以为循泵改造和优化运行提供依据。关闭循环水联络门，将 2B 循环水泵单独运行，调整#2 机组凝汽器循环水出口门开度，测量循环水泵流量、扬程、轴功率和效率。由此得到不同流量下的流量与效率、扬程、功率的关系曲线如图 4 所示。循泵设计性能曲线见图 5。

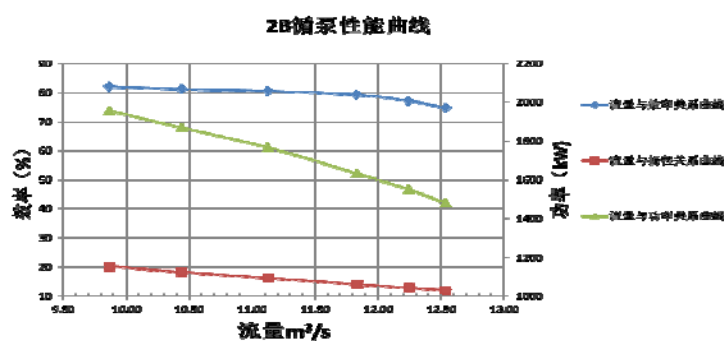


图4 2B 循泵性能曲线

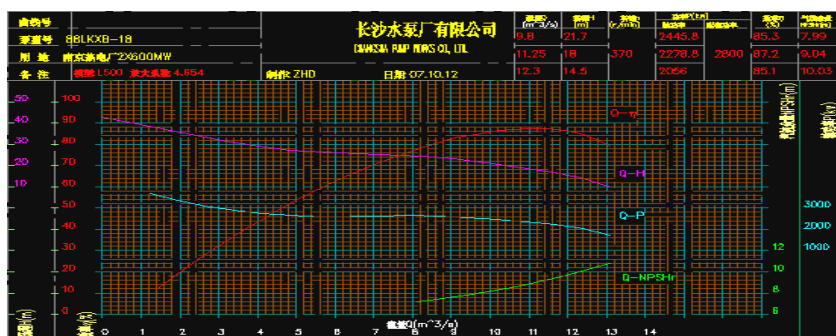


图5 循泵设计性能曲线

通过试验，从 2B 循泵性能曲线可以看出：在 试验工况下，循泵运行在效率下降区间的范围内，

而不是效率上升区间。效率最高是 81.16%。而按制造厂设计，在夏季工况下，循泵效率为 85.3% 。

进行循环水系统经济运行试验,根据不同季节,采用循泵不同运行方式（运行台数、单元制、母管制），通过计算比较机组负荷、真空等参数的变化，制定出经济合理的循泵运行方式。

3.2 凝汽器清洁系统

在充分调研后，利用#2 机组大修机会，对凝汽器清洁系统进行了改造，投运凝汽器真空保持系统（简称 VUES），该系统投球数为钢管数的 80% 甚至更高。较传统胶球清洗系统投球数量增加数倍，运转周期每隔 30 min 运行一次，而且其收球网一直处于封闭状态，收球率理论上可以达到 100%，使凝汽器所有的冷却管得到清洗的几率明显增加。并同步配套了二次滤网和自动反洗装置。以进一步保证凝器钢管清洁程度。

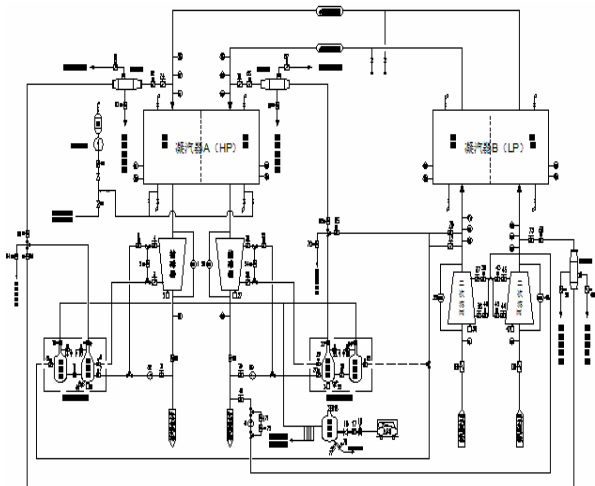


图 6 VUES 系统图



图 7 VUES 系统监控装置

3.3 凝水系统

针对凝泵电机在低频时振动大的问题，经过分

析调研决定在在凝泵电机不同部位采取进行加固（见图 8、9），以增加凝泵电机刚度，避开共振区解决低凝泵电机低频振动问题。之前凝泵变频转速在 70% 以下运行，电机振动都会达到 100um 以上，现在经过加固后，凝泵电机在低频时振动现象有明显好转。



图 8 变频凝泵电机下部支撑



图 9 变频凝泵电机上部支撑

在解决凝泵低频振动问题后，将凝泵变频下限降到 50%，同时为减少节流损失以进一步降低凝泵电耗，在较高负荷时开启凝水主管道电动旁路门，但这样在在特殊工况下有可能造成除氧器满水，威胁机组安全运行，为此加上了相应逻辑后，以降低运行风险。

3.4 凝汽器抽真空系统

在#1 机组 A 修中，对凝汽器抽真空方式进行了改造，将高、低背压凝汽器抽空气管道分开，由原来的母管制抽空气方式改为高、低背压凝汽器单独抽空气方式和母管制连接抽空气方式可任意切换的形式。改造后凝器抽真空系统见图 10。



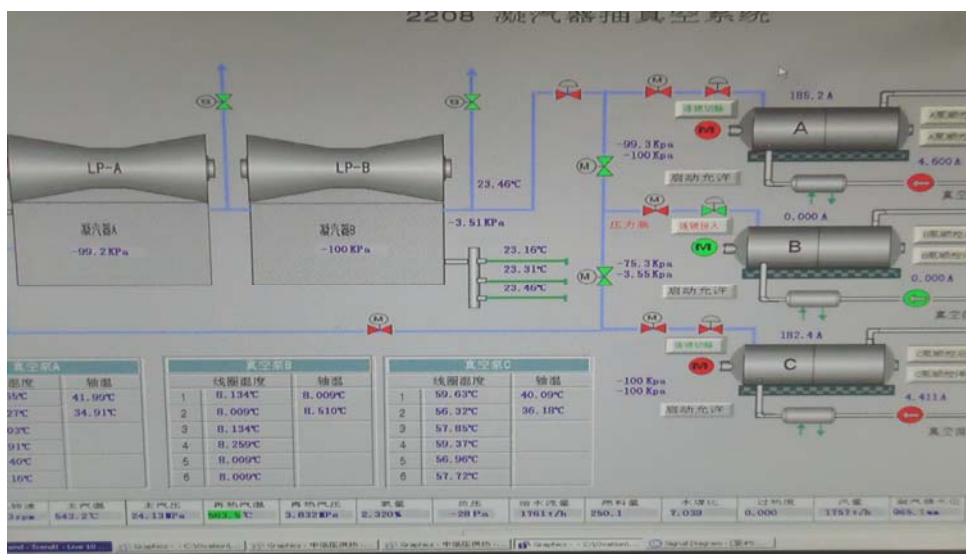


图 10 改造后凝器抽真空系统

#### 4 冷端系统优化后效益评估

#2 机组 VUES 系统经过调试 2014 年 4 月底正式投入运行，正常运行半年时间后，#2 机组真空、凝器端差等指标在 2013 年、2014 年相同时间段下的变化趋势见图 11、12，#1、2 机组凝汽器清洗系统改造前后凝汽器钢管现场清洁程度见图 13、14。

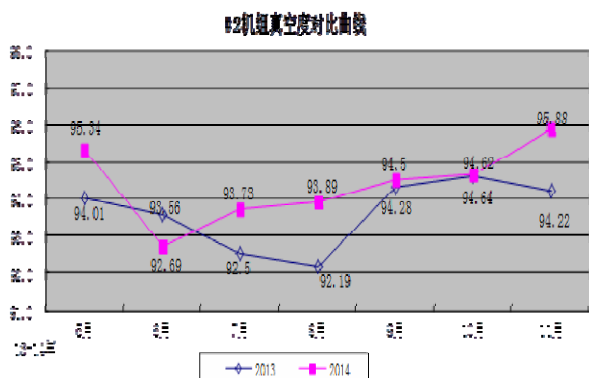


图 11 #2 机组真空度对比曲线

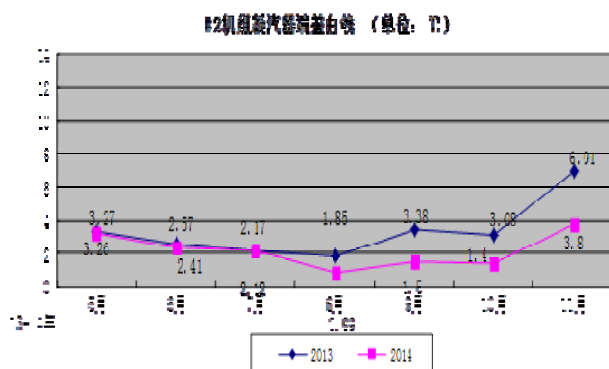


图 12 #2 机组凝器端差对比曲线



图 13 2014 年 7 月 17 日#1 机组调停时凝器钢管照片（未改造）



图 14 2014 年 7 月 26 日#2 机组调停时凝器钢管照片（改造后）

通过图 11~14 可以很明显看出 VUES 系统投运后能长期保持凝汽器在较高的清洁度水平上运行，从而机组真空度、端差等指标有了明显改善。

根据南京电力设备质量性能检验中心试验报告，按 70% 负荷率计算，发电煤耗较 VUES 系统投运前下降 1.395 g/(kW·h)。2014 年下半年#2 机组发

电量  $P=1983425000\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

半年节约煤量： $W=1983425000\times 1.395$   
 $=2766877875\text{ g}=2766.88\text{ t}$  以每吨煤 700 元计算所获经济效益： $2766.88\times 700=1936816$  元。

通过一系列的循泵调整试验，基本确定了比较经济的循泵运行方式。见图 15。

3.1.6 循泵经济运行方式：					
机组运行台数	机组负荷	江水温度	循泵运行台数	高速	低速
1		11℃以下	1		☆
	450MW 以下	11~22℃	1		☆
	450MW 以上	11~22℃	1	★	
	450MW 以下	22℃以上	1	★	
	450MW 以上	22~27℃	2	★	☆
2		27℃以上	2	★★	
		11℃以下	2		☆☆
		15℃以下	2	★★	
		15~18℃	3		☆☆
		18~22℃	3	★★	☆
		22~25℃	4	★★	☆☆
		25~27℃	4	★★★★	☆
		27℃以上	4	★★★★	

图 15 循泵经济运行方式调度表

在考虑了机组负荷、检修、江水温度等因素后，对比 2013 年循泵电耗、2014 年循泵电耗总体呈下降趋势，见图 16。

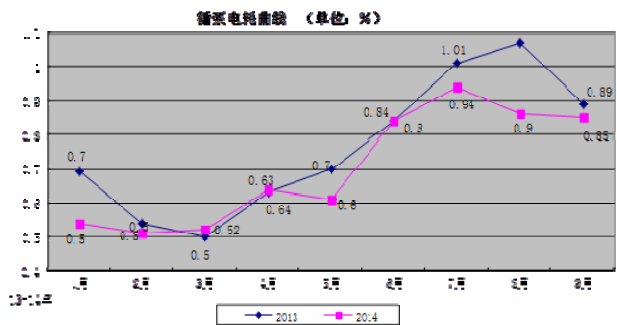


图 16 2013、2014 年循泵电耗对比曲线

由上述循泵电耗曲线可以计算出：

2014 年循泵耗电率为 0.69%，比 2013 年累循泵耗电率 0.77%下降 0.08%，2014 年累发电量： $P=7170136000\text{ kW}\cdot\text{h}$ ；年节约电量： $W=7170136000\times 0.08\%=5736108\text{ kW}\cdot\text{h}$

以上网电价 0.42 元为例，折算 2014 年度节约循泵耗电产生的经济效益： $5736108\times 0.42=2409165$  元

#1 机组凝汽器抽真空系统在 2014 年 11 月份 A 修中进行改造，机组投运后天气已转凉，在单双泵运行时高低压凝汽器都处在高真空状态，该改造项目所产生经济效益暂未能体现。

#1 机组凝泵采取凝泵变频下限下移，凝水调整门旁路门运行中全开等措施后，在较低负荷运行时，凝泵电流较优化前下降约 10A，每小时可以节电 88332 kW·h。但由于实施时间较短，受机组负荷、运行时间等因素影响，且#2 机组还未实施，其所产生的经济效益较少，也不计入优化后的效益评估。

综上所述，在进行汽轮机冷端系统优化后，所产生经济效益共计 434.5981 万元。

5 后续优化措施

通过循泵性能试验可以看出，我公司循泵在实际运行时性能曲线同偏离制造厂设计性能曲线偏离较大。为此已制定计划准备进行循泵电机变频改造，以提高循泵运行效能。

继续进行凝泵变频相关试验，以观察低水压时对汽泵密封水和轴封温度的影响，争取进一步降低凝泵低频下限，扩大凝泵变频运行范围，充分发挥凝泵变频运行的优势，进一步降低凝泵电耗。

参考文献：

[1] 南京电力设备质量性能检验中心.江苏南热发电有限责任公司#2机凝汽器性能试验及变背压试验报告[R]. 2014.

[2] 中国电力投资集团公司.600MW火电机组节能对标指导手册[M].北京:中国电力出版社,2008.

作者简介：

朱江宁（1971-），男，江苏丹阳人，工程师，从事汽机运行管理工作，E-mail: nrjnzhu@crpjs.net;

卢 森（1990-），江苏布泰州人，助理工程师，从事汽机运行管理工作，E-mail: lusen082@126.com。