

双背压凝汽器背压优化方案研究

蒋韦庚

江苏省华电句容发电有限公司 江苏镇江 212400

摘要：现代世界依赖能源的需求正在不断上升，而这种需求又在逐渐加重社会的能源负担。现在中国主力能源供应仍然以煤电为主，通过近几年的“上大压力”能源国策，现在煤电的装机类型以 660MW、1000MW 机组为主。该类机组多配备双背压凝汽器，优化双背压凝汽器性能是我们节约能源、优化能源利用效率的关键所在，双背压凝汽器背压优化方案研究势在必行。

关键词：凝汽器；真空；罗茨液环真空泵组

Study on back pressure Optimization Scheme of double back pressure condenser

Jiang Weigeng

Jiangsu Province Huadian Jurong Power Company Limited, Zhenjiang City Jiangsu Province 212400

Abstract: The increasing demand for energy is putting a heavier burden on society, and the world is becoming more and more dependent on it. Currently, China's main energy supply still relies on coal-fired power, with 660MW and 1000MW units being the main types of installed units due to the recent “upward pressure” energy policy. These units are mostly equipped with double-back pressure condensers, and optimizing their performance is key to saving energy and improving energy utilization efficiency. Therefore, it is imperative to study the back-pressure optimization scheme of double-back pressure condensers.

Keywords: Condenser; vacuum; Roots fluid ring vacuum pump set

随着中国的经济发展，对电力需求不断增加，综合发展，需求节能减排且增加电力供应。中国电力供应，经过上层总体设计，大局出发，提出国策“上大压小”关停小机组，新建大机组，集中电力供应，提高效率降低排放，取得了瞩目的成绩。

近几年，随着材料的发展，在材料类选择方面，高热迁移性、高热导率和低热对流损失的材料用于双背压凝汽器，显著提高整个真空的热性能。由于双压凝汽器比单压凝汽器有着更好的经济性和性能，所以近几年来新投运的机组 660MW、1000MW 大多为双背压机组。凝汽器背压是汽轮机运行的重要参数，其数值对机组运行安全性和经济性有直接影响，所以双背压凝汽器背压优化方案极其必要。

一、双背压凝汽器的优点

1、根据传热学原理，双背压凝汽器平均背压在凝汽器相同热负荷、循环冷却进水温度、流量及凝汽器冷却面积相同的情况下，较单背压凝汽器背压低，对应所需热耗降低，极大改善了机组运行经济性。

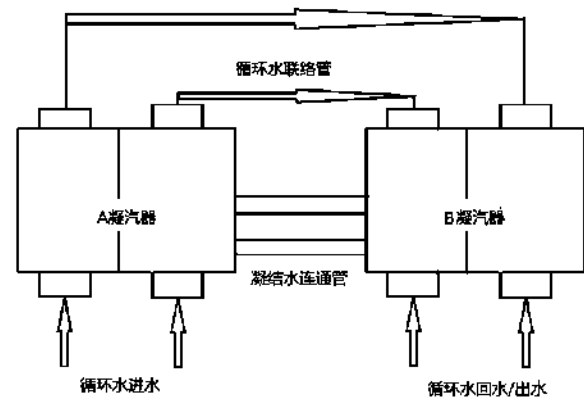


图 1 双背压凝汽器结构

2、图 1 所示，通过凝结水连通管，高背压凝汽器的高温凝结水加热低背压凝汽器的低温凝汽器，降低低加抽气量，发电热耗降低，改善机组经济性。

3、分区结构的特点，根本上改善了蒸汽不均匀性，进而提高了凝汽器的传热性能。

双背压凝汽器性能的发挥关键要素

以上三点优点，都是基于双背压凝汽器中高背压凝汽器和低背压凝汽器有着合理经济有效压差成立的。现实情况中，很多电厂双背压凝汽器运行中，经常出现高、低背压压差偏小或者高低背压压差偏大。对应压差偏小，说明低背压凝汽器背压高了，压差偏大，则高背压凝汽器背压高了。无论高背压凝汽器背压高了，还是低背压

凝汽器背压高了，都会增加热耗，有害机组经济性。

二、双背压凝汽器实际应用的问题及优化方案

结合中国众多双背压凝汽器机组运行数据，目前在运双背压凝汽器机组高低背压压差过大或偏小甚至无差别现象的主要原因可以归纳为四点，如下：

1. 为了运行简单方便，部分电厂将高低背压凝汽器真空管连通门打开，联络运行，高低背压凝汽器串通在一起，高低背压凝汽器背压偏小甚至无差别。

2. 凝汽器真空严密性差，如果低背压凝汽器存在漏点，则高低背压压差偏小，高背压凝汽器存在漏点，则高低背压压差偏大。

3. 实际抽真空能力，造成高低背压凝汽器背压偏差过大或者过小。

4. 真空泵出力不够。

针对以上 4 点的优化方案如下：

1. 改变不经济的运行方式，双背压凝汽器高低背压凝汽器需保持分列运行，保持高低背压压差。

2. 通过惰性气体氦气在线找漏法，在线找到汽轮机组负压系统漏点并处理，保持凝汽器优异的真空严密性。该种找漏方法通过在凝汽器真空泵排气口处架设一台氦质谱检漏仪，在负压系统表面喷稍许氦气。由于氦气为惰性稀有气体，分子量小，扩散快渗透性强，且氦质谱检漏仪检测精度高，最小检测精度可达 $2 \times 10^{-13} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{S}$ 。一旦喷到漏点处，氦气被凝汽器内部的负压吸入，从真空泵排气口排出，继而被氦质谱检漏仪检测到，判断漏点位置及漏点大小。这种方法的优点，在线可检测，且检测范围全面，弥补了之前常用的灌水法需要停机，且只能发现凝汽器喉部以下漏点的缺点。

影响真空严密性顽疾漏点在很多电厂有共通之处，比如轴封问题和汽门门杆漏气处。轴封压力过大，轴封处蒸汽会外逸影响润滑油品质，压力过低，外部空气会漏进低压缸，影响机组严密性。轴封供气压力调整可借助于氦质谱检漏仪，确保氦气喷到轴封处，真空泵排气口处的氦质谱检漏仪检测不到氦气，轴封处也不冒气。外部空气通过气门门杆漏气疏水管进入到高压疏水扩容器连到凝汽器，影响真空严密性。通过将气门门杆漏气疏水管改接至轴封加热器处，可以解决该问题。

抽真空管道管径偏细；抽真空管道走向复杂，弯头变径过多，增大抽气汽阻，影响真空泵实际抽吸效果。以上情况，有条件可以从凝汽器空冷区处的真空管接口处就增大抽真空管处管径，简化抽真空管道走线方案来优化抽真空管道系统。由于基建遗留问题，部分电厂抽真空管道存在 U 型现象，抽真空过程中，和不凝结气体一并抽到真空泵的部分饱和水蒸气被真空管道以及外部环境冷凝，在 U 形低点处聚集，U 型低处管道的可流通横截面积减少，影响真空泵的抽气效率。此类情况，有条件改造真空管道，消除 U 型积液点。条件受限的，在 U 型积液点增加疏水管，在线疏水，保持真空管不被堵塞。

真空在线疏水有三类方案，结合疏水点位置选择方案类型。

一、疏水管道可以接至真空泵进气口，通过真空泵近期口的强负压，将积液吸干。二、如果 U 型低点位置较高，也可以在下部布置多级水封，来实现重力的逐级自流。

三、积液点下部布置疏水罐，疏水罐布置液位传感器或者液位开关，一旦罐内水满，则切断疏水罐上的进水阀，继而开破空阀让罐内压力和大气压一致，打开排水阀排出疏水罐积液，排完积液，关闭破空阀和排水阀，打开进水继续排水，继而往返来实现 U 型处的积液在线排水。

凝汽器配备的水环真空泵选型多参照启机时候，规定时间内凝汽器达到要求真空数值来配置的。但选型时考虑机组正常运行，液环真空泵仅维持真空，所以液环泵抽速的裕量较小。鉴于双背压凝汽器运行时，背压常在 2-8KPa，液环泵在双背压凝汽器正常运行段，效率低，仅为 15%-20%。

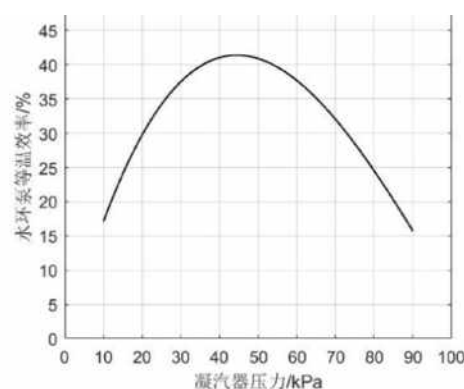
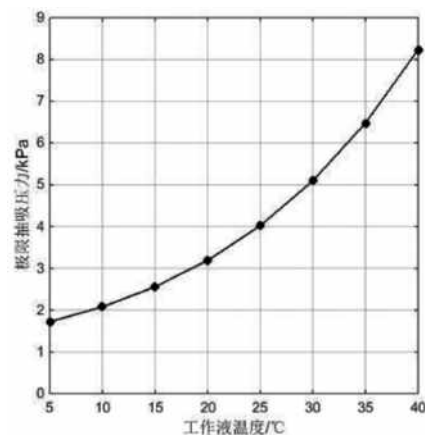


图 2 水环泵等温效率随吸入压力变化曲线

冬季和夏季，由于夏季环境温度高，导致液环泵的工作液温度高以及冬季时候循环水温度低，凝汽器背压较低，水环泵更易发生汽蚀，影响抽气效率，造成真空泵抽力不够。



水环泵汽蚀的极限抽气压力曲线

图 3 水环泵汽蚀的极限抽吸压力曲线

水环泵的特性决定了一味地加大水环泵抽速的边际效用不大。目前好的解决方案是在原先抽真空系统并联增加一套多级罗茨液环真空泵组，利用罗茨液环真空泵组不易汽蚀，在背压不大于 10Kpa 区间段，抽气效率高，机组启动阶段用原先液环真空泵组建立真空，维持真空时投入完成真空抽吸的接力工作，既节电又能够改善凝汽器背压，提升机组效能和经济性。

三、提升真空泵抽力优化双背压凝汽器背压方案详述

目前双背压凝汽器机组配备的抽真空设备组合多为 3 台 50% 水环泵，采用两台分列运行，分别维持高、低背压凝汽器，一台备用。在不牺牲机组安全冗余性情况下，需要增加两套 50% 的罗茨液环真空泵组来分别维持高、低背压凝汽器真空，机组正常运行状态，三台水环泵备用。如此一来，抽真空设备变为 5 台，机组运行复杂性变高，且在运机组厂房内基建未预留足够位置来安装两套泵组。

好的优化方案，在边际效用高的前提下，必须具备可操作性。华电句容电厂进行理论分析，提出了新优化方案：通过配置一套单套 100% 抽力的多级罗茨液环真空泵组来同时维持高低背压凝汽器真空，连接到高背压侧凝汽器管道上装有比列调节阀，运行人员通过调节比列调节阀来控制高低背压压差（如图 4）。

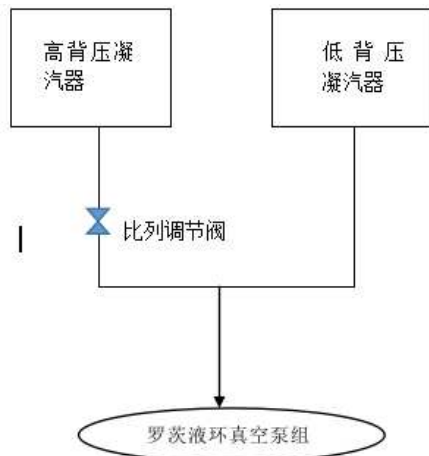


图 4 罗茨液环真空泵组管道连接示意图

目前华电句容电厂在 #1、#2、#4 机组各配置了一套三级罗茨液环真空泵组来维持真空，在背压改善的同时取得了不低于 80% 节电效果。三级罗茨液环真空泵组由三级罗茨泵和初级液环泵（如图 5）以及配套的换热器和阀门组成。

三级罗茨液环真空泵组的组成



图 5 三级罗茨液环真空泵组

从三方面考虑，配置的罗茨液环真空泵组的级数定为三级。

一、罗茨液环真空泵级数越多，极限真空越好，三级比一级和二级有更好的极限真空，可以在维持真空过程中改善凝汽器背压；

二、三级配置结合适当的压缩比，选择抽速和功率较小的前级泵（液环泵），逐级放大一级、二级、三级罗茨泵，实现小功率大抽速的性能；

三、不能为了追求性能而牺牲可靠性，一味追求多级数，三级配置系统可靠，性能稳定，便于后续运行和维护。

罗茨真空泵是一个几乎无内压缩的真空泵，增压过程是在排气的一瞬间完成（如图 6 罗茨真空泵原理图）。罗茨真空泵运行过程中，转子会发热，由于转子和壳体以及端盖间隙必须保持不大于 20um，避免负载过大，转子发热造成卡壳，常规罗茨真空泵要求入口真空度不高于 2kpa。

Working principle

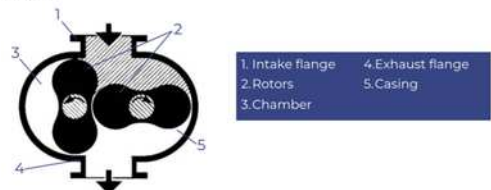


图 5 罗茨真空泵工作原理。

但电厂凝汽器的背压一般在 2-8kpa，所以罗茨真空泵华电句容电厂选用特有的夹套水冷结构罗茨真空泵，并在罗茨真空泵排气口配置了管式换热器，及时将热量带走，避免转子热膨胀造成卡壳。

配备的管式换热器在多级罗茨液环真空泵组运行中，会将吸入的部分乏汽进行冷却，通过自动控制的在线疏水罐及时将积液排出，又一定程度的降低了罗茨液环真空泵组的负载，让罗茨液环真空泵组稳定运行。

原来华电句容电厂需要两台水环泵来分别维持高低背压凝汽器。原来的水环泵功率为 160KW，抽速为 3000m³/h，日常单台泵运行电流为 280A，合计运行电流 560A。

改造后的罗茨液环真空泵组维持的凝汽器真空相比原来两台水环泵维持，真空背压降低 0.4kpa，运行电流相比降低 456A，节电率达到 81%，节能效果极其明显。

四、结论

通过华电句容电厂的案例，双背压凝汽器背压优化方案效果如此显著，如果该优化方案能在全中国双背压凝汽器机组上普及，那对中国能源供应的提能增效是一个巨大的贡献。

参考文献：

[1] 金伟 .660 MW 汽轮发电机组真空泵节能改造 [J]. 华电技术 ,2019,41(07):40-42.

[2] 曹琦,姚伟民,周进,等. 火力发电厂凝汽器真空系统节能应用研究 [J]. 价值工程 ,2021,40(4):217-218.

[3] 张卓澄 . 大型电站凝汽器 [M]. 北京 . 机械工业出版社 ,1993.

[4] 胡洪华, 居文平, 黄廷辉 . 大型电站双背压凝汽器优化运行的研究和实践 [J]. 热力发电 ,2003,32(3):8-11.

[5] Standards for Steam Surface Condensers Copyright January 1984 by Heat Exchange Institute

蒋韦庚,男,1990,汉,江苏扬州,工程师,学士,热能与动力工程