

罗茨液环真空泵组在1000MW机组上创新应用

仲勇新

江苏华电句容发电有限公司 江苏镇江 212400

摘要: 目前罗茨液环真空泵组在电厂应用比较广泛,配置多为标准化,应用工况受限于环境温度所导致机组凝汽器背压升高以及不好的真空严密性,且1000MW和660MW机组的高低背压凝汽器多为采用两套罗茨液环真空泵组分开工作。这样的布置,增加机组复杂性和机组维护量,占地面积较大。华电句容电厂理论结合实际,首创性地应用单台罗茨液环真空泵组同时维持高低背压凝汽器真空,改善真空且取得的节电80%的节能效果。

关键词: 真空节能;罗茨液环真空泵组;1000MW发电机组

Innovative application of roots liquid ring vacuum pump unit in 1000MW unit

Yongxin Zhong

Jiangsu Huadian Jurong Power Plant Co., Ltd, Zhenjiang City, Jiangsu Province 212400

Abstract: at present, roots liquid ring vacuum pump set is widely used in power plants, and its configuration is mostly standardized. The application condition is limited by the increase of condenser back pressure and poor vacuum tightness caused by ambient temperature. Moreover, the high and low back pressure condensers of 1000MW and 660MW units mostly use two sets of roots liquid ring vacuum pump sets to work separately. This arrangement increases the complexity and maintenance of the unit, and covers a large area. Combining theory with practice, Huadian Jurong power plant is the first to use a single roots liquid ring vacuum pump group to maintain the vacuum of high and low back pressure condensers at the same time, improve the vacuum and achieve 80% energy saving effect.

Keywords: vacuum energy saving; Roots liquid ring vacuum pump set; 1000MW generator set

一、罗茨液环真空泵组节能原理

目前我国很多纯凝发电汽轮机组配备水环真空泵用于启机时建立真空,同时配备一套罗茨液环真空泵组用于凝汽器真空稳定后维持真空,从而达到节电效果。

罗茨液环真空泵组中主体泵型为罗茨泵和液环泵。罗茨真空泵的结构为泵腔内,有两个“8”字型的转子垂直安装在平行轴上,由传动比为1的齿轮带动彼此做同步反向旋转运动。两个转子间,转子与泵壳内壁之间,保持微小间隙。罗茨泵是一个几乎无内压缩的真空泵,它都增压过程是在排气的一瞬间完成,所以该泵不可单独抽气,需要配备前级泵排大气。电厂内真空泵抽的介质,不凝结气体中含水汽较多,所以电厂的罗茨真空泵

组前级泵多配备为水环真空泵。

基于罗茨泵结构以及转子无摩擦运行,罗茨真空泵排气瞬间的增压作用,一定程度上可将罗茨真空泵视为水环真空泵放大器。按照此概念,我们配置一台功率较小的水环真空泵作为前级泵,配置逐级放大抽速的罗茨真空泵,整体真空泵组抽速达到原先机组配备的水环泵抽速,但功率降低,实现节能。

二、初次改造方案及问题

多家电厂实际使用情况证明罗茨液环真空泵组可以维持凝汽器真空,且节电效果明显。华电句容发电厂调研多家电厂的罗茨液环真空泵组运行情况,深入研究,结合自身发电机组情况做了大胆创新尝试。

目前全国汽轮机厂配备的罗茨液环泵组多为两级机组,单套泵组最大抽速最多只可应用于600MW。如果机组为1000MW或者660MW,所配备的凝汽器为高低背压

作者简介: 仲勇新(1967-),男,汉族,江苏扬州,大专,工程师,研究方向:汽轮机精密检修。

凝汽器，则需要两套罗茨液环真空泵组分别对高低背压凝汽器工作。此种应用形式，复杂化了真空系统，占地面积大，维护量大，且节能不够明显。

华电句容电厂此次装备罗茨液环泵组的机组容量1000MW，凝汽器为高低背压凝汽器，原先机组配备三台水环真空泵，两台水环真空泵分别维持高低背压凝汽器真空，另外一台为备用。

结合理论计算，华电句容发电厂认为如果选型得当，配置合理，单套罗茨液环泵组可同时维持高低背压凝汽器真空（如图1），并保证高低背压凝汽器真空差值不低于0.5Kpa，节电率达到不低于75%。

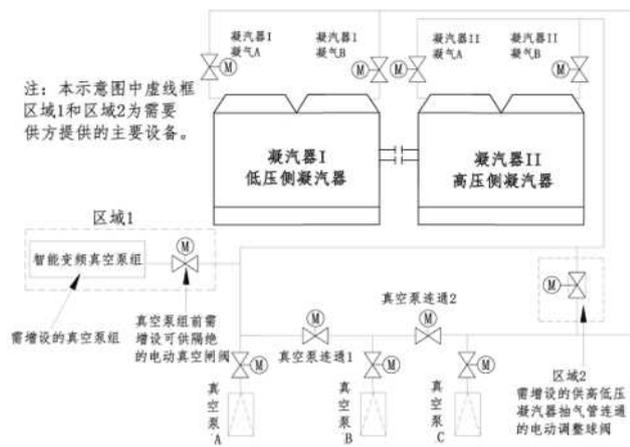


图1

由于是首创，华电句容发电厂初始配置如下，尽可能用小液环泵，增加罗茨泵级数来增大罗茨液环真空泵组整体抽速来实现单泵替代原先两台水环泵的效果，并将三级罗茨真空泵电机配置为变频电机（如表1），保证抽速大有冗余前提下，按照工况变频调速节能。

表1

泵组形式	抽速	电气
前级泵	900m ³ /h	22KW 工频电机
一级罗茨真空泵	4500m ³ /h	15KW 变频电机
二级罗茨真空泵	15000m ³ /h	22KW 变频电机
三级罗茨真空泵	40000m ³ /h	30KW 变频电机

此套泵组，冷却水采用两路：一路为闭式水（常温30℃，夏天最高可至37℃），一路为空调水（夏天为18℃）。由于泵组投入季节为夏季，环境温度达33℃，冷却水为闭式水时，罗茨液环真空泵组不能够同时维持高低背压凝汽器真空，只可维持单侧凝汽器真空。冷却水改为冷冻水时，刚投用时的30min，罗茨液环泵组运转情况良好，可维持凝汽器高低背压两侧真空。由于空调水为压缩机制冷的闭水循环水，冷却水量小，30min后，空调水温度飚至38℃，泵组运行状态急剧恶化（如表2）。

观察罗茨液环真空泵组运行状态，随着冷却水温度的飙升，三台罗茨真空泵的运行频率急剧下降，最低下降至10hz。真空泵组内的压力测点所测压力差变大（如表3），也就代表真空泵组内真空泵运行负载变大，变频器矢量调节，为避免超负载，变频器自动调速。

表2

	前30分钟运行频率	之后运行频率
一级罗茨真空泵	40hz	20hz
二级罗茨真空泵	40hz	15hz
三级罗茨真空泵	30hz	10hz

表3

	前30分钟真空值	之后真空值
液环泵入口真空值	-88kpa	-70kpa
一级罗茨真空泵前真空值	-90kpa	-77kpa
二级罗茨真空泵前真空值	-91kpa	-85kpa
三级罗茨真空泵前真空值	-93kpa	-93kpa

三台罗茨真空泵泵体及泵组间连接管道、液环真空泵泵壳，发热明显，温度可达50℃。另外一个现象，罗茨液环真空泵组运行状态好的30min，气液分离器一直处于高液位溢流状态，代表整个罗茨液化真空泵组抽出大量饱和水蒸气。

结合以上现象和数据，分析罗茨液环真空泵组问题点如下：

第一、罗茨液环真空泵组运行时抽出大量不凝结气体和水蒸气，发热量大。闭式水本身温度高，达不到冷却效果。空调水由于是闭式循环，水量小，冷却量小于泵组发热量。

第二、罗茨液环真空泵组温度升高，前级泵液环真空泵工作效率急剧下降，前级泵进口真空从-88kpa到-70kpa，从而让罗茨真空泵承担压差变大，负载变大，矢量变频下，频率自动下降。

第三、罗茨液环真空泵组抽出的饱和水蒸气，随着机组温度变高，体积膨胀，进一步加大罗茨液环真空泵组负担。

再次投空调冷却水试运行30min，收集到此时间段气液分离器溢流口的排水量为0.05m³，计算出抽出水蒸气重量为50kg。

在标准状态下，1mol水蒸气的体积是22.4升。则可得：在标准状态下（1标准大气压0℃），1Kg水蒸气体积是1244升；

30分钟，泵组抽的水蒸气为2732mol；

气态方程：PV=nRTP：绝对压强V：气体体积n：mol数T：绝对温度R---气体常数8.314472J/（mol*K）

可计算出，这部分水蒸气的体积688m³，需要及时

将这块水蒸气排走。

简而概括，泵组发热、抽吸水汽过大，是罗茨液环真空泵组初始运行效果差的根本原因。结合空调冷却水投用的30min，只要将泵组的热量和抽吸的水汽及时排走，就有信心达到维持高低背压真空的效果。

三、二次改造方案

针对以上发现总结的问题，二次改造方案如下：

1、冷却水改为水量大温度低开放式冷却水，供加装的管式换热器，改善水环泵的运行效率。

2、罗茨液环真空泵间加装管式换热器，将罗茨真空泵排出的不凝结气体和水蒸气及时冷却，气体体积收缩，降低泵的负载。

3、加装排水装置，将罗茨液环真空泵间经过管换冷却形成的冷凝液及时排出，避免冷凝液对在管道内再次汽化，以及对泵组冲击，影响泵组平稳运行。

四、最终改造后的运行节能情况

二次改造后的真空泵组，运行状态良好，秋季环境温度30℃，负荷650MW下，泵组运行采集数据如下（如表4）：

表4

	正常运行频率	运行电流
一级罗茨真空泵	45hz	8A
二级罗茨真空泵	50hz	13A
三级罗茨真空泵	30hz	43A
前级液环泵	工频	40A

泵体及管道温度都在30℃左右，无特殊发热现象。

表5

	真空值
液环泵入口真空值	-92kpa
一级罗茨真空泵前真空值	-93kpa
二级罗茨真空泵前真空值	-95kpa
三级罗茨真空泵前真空值	-96kpa

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0.04kpa，运行电流相比降低456A，节电率达到81%，节能效果极其明显。

五、罗茨泵抽速选择大小的准则

以上的措施是为了整体泵组顺畅的运转，最终能够维持汽轮机凝汽器背压，还是靠富裕的真空抽速。现在市面上，大部分罗茨液环泵组的配置都是固定化的，单台小机组配备的是ZJ600罗茨泵，抽速为2160m³/h，如果是大机组，则高低背压各配一套罗茨液环真空泵组，抽

速为4320m³/h，这种配置抽速本身就比原来水环泵要小，完全是为节能而节能，一旦遇到夏天背压高或者发电机组凝汽器真空严密性不佳，则负载变大，电流变高，不能够维持凝汽器背压。众所周知，背压对机组能耗的影响直接且巨大，如果因为为了节能配备小的抽速罗茨液环泵组，通过牺牲发电机组凝汽器背压来降低运行功率和电流，那就太得不偿失了。

原先华电句容电厂一套水环泵的抽速为3000m³/h，正常情况下运行两台，合计6000m³/h，体积流量大概为180kg/h。

夏季，华电句容电厂的背压为9Kpa，对应的饱和蒸汽温度42℃，过冷度大约为3℃。鉴于以上数据，可以计算，被真空泵抽出的混合气体温度为：42-3=39℃，对应的饱和蒸汽分压为7Kpa，混合气体中干空气的分压强为9-7=2Kpa。由于罗茨真空泵在实际运行中，做功为排气的那一瞬间增压过程，如果不配备巨大的管式换热器对排气进行冷凝，实际体积流量抽速远低于理论体积抽速。此次每个罗茨泵排气口都配备巨大的管换冷凝，且罗茨泵本身为夹套水冷，实际体积流量抽速可等同理论体积流量。

考虑到此次配套的罗茨液环真空泵组运行的大部分时间段，主罗茨泵运行频率为20Hz，可大概估算，整体罗茨液环真空泵组抽速为15000m³/h

混合气体中，干空气按照分压计算为：

$$15000 \times 2/9 = 3333 \text{ m}^3/\text{h}.$$

体积流量折算为质量流量：

$$3333 \times 9/101.3 \times 273 / (273 + 39) \times 1.29 \text{ kg/m}^3 = 334 \text{ kg/h}.$$

此次配备的罗茨液环真空泵组的质量流量抽速远大于原先两台水环泵的质量流量抽速，所以该套泵组可以胜任大部分应用工况。

六、结论

综上所述，冷却水和冷却器的布置，在罗茨液环真空泵组在电厂应用中极其重要。合理妥当的冷却，可以让罗茨液环泵组发挥优秀的运行状态，从而产生良好的节能减耗作用，形成客观的经济效益。

参考文献：

[1]金纬.660MW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]许建林,张青松.1000MW机组真空系统节能优化研究[J].节能与环保.2019(10)