

# 水环式真空泵工作液冷却水系统设计优化

胡琨

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510667)

**摘要:** [目的] 电厂水环式真空泵运行中出现的汽蚀、出力下降等问题已经成为项目业主们主要关注的焦点。[方法] 通过对真空泵工作原理的分析, 指出了产生上述现象的原因, 提出了工作液冷却系统设计优化方案。[结果] 结果表明: 该方案可提高真空泵的抽吸能力, 降低真空泵的轴功率, 提高真空泵运行的安全性和机组运行的经济性。[结论] 本研究对各类型机组真空泵工作液冷却水系统设计有指导意义。

**关键词:** 水环式真空泵; 工作液; 冷水机组; 节能; 经济性

中图分类号: TK264.1; TM611

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0129-04

## Optimized Design of the Cooling Water System for Working Liquid of Water Ring Vacuum Pump

HU Kun

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** [Introduction] The problem of cavitation and reduction of output of water ring vacuum pump that existing in the operation of the pumps in power plant has been the prime focus of project owners. [Method] The working principle of vacuum pump was analyzed, the reason of the problem mentioned above was presented and the scheme solving this problem was proposed. [Result] Results show that the optimized design scheme has the advantages of increasing the output and reducing the energy consumed of vacuum pump, improving the operation security of vacuum pump and economic efficiency of power plant. [Conclusion] Thus, this work provides some guidance for the design of the cooling water system for working liquid of water ring vacuum pump in various types of power plant.

**Key words:** water ring vacuum pump; working liquid; water chiller unit; energy saving; economic efficiency

水环式真空泵具有抽气量大、能耗小、水质损失少、安全可靠、自动化程度高等优点, 因此在发电厂中得到广泛使用。水环式真空泵的转子被偏心的安装在泵体中, 轮毂上装有多片径向分布的叶片, 叶片顺旋转方向成弧形。在泵起动前, 其内部充满了工作液。转子转动时, 由于离心力的作用使叶轮内的水向外围, 上部出现空腔, 形成真空, 空气被吸入。转子继续转动, 收敛形状的壳体把水

压回转子, 空腔逐渐缩小, 其间的空气受压缩最终被排出。

真空泵的工作液采用汽轮机凝结水。真空泵所能达到的真空取决于工作液的温度, 水温越低, 所能达到的真空越高。在真空泵的运行期间, 工作液温度不可避免的升高, 因此需要冷却工作液。目前发电厂中多采用凝汽器循环冷却水来冷却真空泵内的工作液。

但在实际运行中, 当泵内局部区域的压力降低到工作液温度对应的饱和蒸汽压力以下时, 则工作液将发生汽化, 真空泵内部将发生汽蚀和水锤现象, 导致真空泵叶轮发生裂纹、断裂。此外, 在夏季工况下, 受冷却水温升的影响, 工作液的温度也

收稿日期: 2017-07-11 修回日期: 2017-08-21

基金项目: 中国能建广东院科技项目“容量高效超超临界发电关键技术研究及应用”(EV01041W)

将相应升高，导致真空泵出力下降，影响机组的经济型和真空泵的安全性。

### 1 设计优化方案

#### 1.1 设计优化方案的拟定

为了解决常规设计中水环式真空泵运行产生的问题，归根结底是要降低工作液的温度。因此，可以通过降低工作液冷却水的温度来实现。以广西钦州电厂二期扩建工程(2 × 1 000 MW)为例，对该机组真空泵工作液冷却系统进行了优化设计。

##### 1.1.1 系统概况和运行条件

本工程共安装 2 台机组。凝汽器循环冷却水采用海水，平均冷却水温为 25 ℃。VWO 工况下凝汽器平均背压为 5.88 kPa。循环水最高水温为 34 ℃。TRL 工况下凝汽器平均背压为 11.8 kPa。

每台机组凝汽器汽侧配置 3 台真空泵，2 用 1 备。

##### 1.1.2 设计优化方案概述

由于一般发电厂主厂房、集控楼区域均设置中央空调冷水系统，空调主机采用风冷式冷水机组，

用户冷却媒质为空调冷冻水(供、回水温度分别为 7 ℃、13 ℃)。该参数冷却水恰好能满足冷却真空泵工作液的要求，故采用空调冷冻水作为水环式真空泵工作液的冷却水源。

利用已有的中央空调冷冻水作为真空泵冷却水，真空泵被当做一个普通的空调系统用户，虽然增加了空调系统负荷，但仅需增大冷水主机的容量即可实现，对整个空调系统影响不大。同时，在过渡季和冬季空调系统供冷期较短期间，增加的空调系统负荷能充分弥补空调主机低工况或停机工况运行的状况，让空调冷水机组全年均达到满负荷运行，机组利用率较高，机组运行更加高效节能。

系统流程图如图 1 所示。

#### 1.2 技术经济比较

##### 1.2.1 技术指标比较

常规设计方案中，采用凝汽器循环冷却水，即采用海水作为真空泵工作液冷却水。本工程条件下，海水平均温度为 25 ℃。换热器的端差按 3 ℃考虑，则此条件下水环式真空泵最低吸入真空为 4.8 kPa(a)。

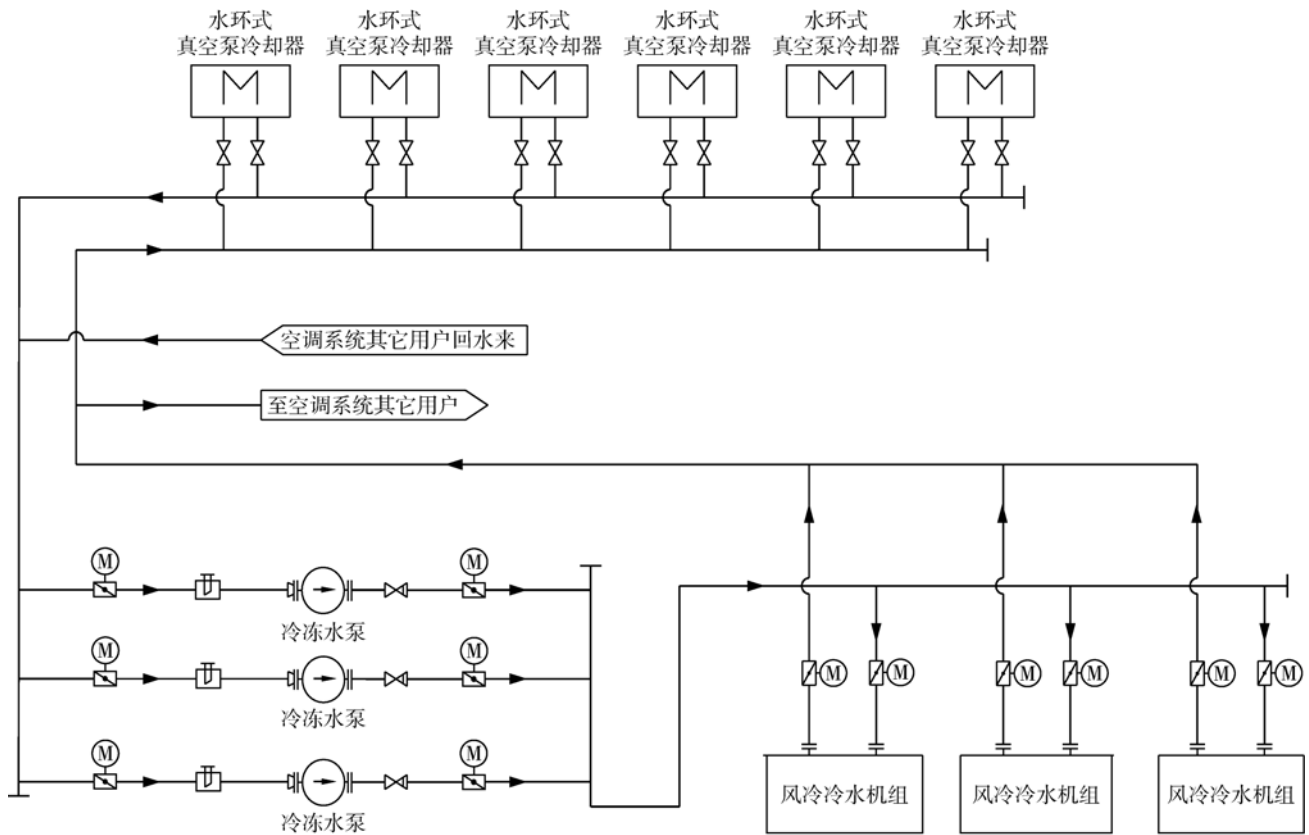


图 1 优化设计后真空泵工作液冷却系统流程图

Fig. 1 Optimized flow diagram of the cooling water system for working liquid of water ring vacuum pump

优化设计方案中, 采用空调冷冻水作为真空泵工作液冷却水。空调冷冻水进水温度为 7 ℃, 回水温度为 13 ℃, 则此时水环式真空泵最低吸入真空可达 2.1 kPa(a)。同时, 由于最低吸入真空降低, 抽吸能力相应增强, 可相应降低真空泵的轴功率。

两种方案的技术指标比较如表 1 所示。

表 1 真空泵工作液冷却水系统优化前后技术指标比较

Tab. 1 Comparison of technical indexes before and after optimization of cooling water system for working liquid of water ring vacuum pump

项 目	常规设计方案	优化设计方案
最低吸入真空/kPa(a)	4.8	2.1
抽吸能力/(kg·h <sup>-1</sup> ) (凝汽器背压 5.88 kPa)	70	78
抽吸能力/(kg·h <sup>-1</sup> ) (凝汽器背压 11.8 kPa)	100	120
工作点轴功率/kW	65	50
工作液冷却水量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	80(海水)	20(空调冷冻水)
换热器面积/m <sup>2</sup>	20	8
换热器管束材质	钛	不锈钢

由表 1 可见, 真空泵工作液冷却水系统经优化设计后, 抽吸能力增强、轴功率降低, 具有较明显的节能效果。

### 1.2.2 经济性比较

#### 1.2.2.1 初投资比较

通过上述分析, 真空泵工作液冷却水系统经优化设计后, 抽吸能力增强。因此在相同的抽吸量要求的条件下, 根据真空泵厂家的核算, 可选小一档型号的真空泵。同时由于冷却水温的降低, 冷却水量大幅减少, 换热器换热面积也相应减少。此外, 工作液冷却水由海水改为空调冷冻水后, 换热器管束材质也由钛管改为不锈钢管。以上变化均可降低初投资。

但由于此时真空泵成为空调用户, 空调冷水机组的出力增加了, 由于冷水机组出力的增加导致增加的初投资大约为 50 万元。

#### 1.2.2.2 运行费用比较

由表 2 可见, 优化方案比常规方案的轴功率低, 因此, 减少了厂用电量。按机组年利用小时数为 7 200 h 计算, 则两台机组每年可节省厂用电量为 432 MWh。本工程发电成本按 0.341 元/kWh 考虑, 则两种方案的经济性比较结果如表 2 所示。

表 2 真空泵工作液冷却水系统优化前后经济性比较

Tab. 2 Comparison of economic efficiency before and after optimization of cooling water system for working liquid of water ring vacuum pump

费用	项 目	常规设计方案	优化设计方案
初投资 (万元, 两 台机组)	泵及电机	基准	-30
	换热器	基准	-6
	空调机组	基准	+50
运行 费用 (两台 机组)	每年节省用电/MWh	基准	432
	每年节电费用/万元	基准	14.73
	全寿命期(按 20 年计) 节电费用/万元	基准	155.41
	两台机组全寿命期 (按 20 年计)综合收益/万元	基准	141.41

注: 20 年折现系数 10.55。

由表 2 可见, 真空泵工作液冷却水系统经优化设计后, 尽管初投资增加约 14 万元, 但年运行费用节省约 14.73 万元, 静态回收期为 1 年。两台机组全寿命期综合收益约 141.41 万元。

## 2 结论

综上, 水环式真空泵工作液冷却水采用水温较低的空调冷冻水, 尽管由于冷水机组负荷增加, 导致初投资增加, 但随着真空泵抽吸能力的增强、换热器面积的减少, 换热器管束材质的改变, 初投资在一定程度上有所降低。同时, 由于显著减少了真空泵的轴功率, 因而具有较明显的节能效果, 两台机组每年可节省运行费用约 14.73 万元。两台机组全寿命期综合收益约为 141.41 万元。更重要的是, 通过优化设计, 改善了真空泵内的工作环境, 避免发生汽蚀的现象, 提高了真空泵运行的安全性, 并提高了机组运行的经济性。该优化方案对各类型机组真空泵工作液冷却水系统设计具有指导意义。

### 参考文献:

- [1] 李毅. 水环式真空泵运行故障分析及对策 [J]. 机电工程技术, 2015(7): 223-224.  
LI Y. Operation failure analysis and countermeasures of water ring vacuum pump [J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2015(7): 223-224.
- [2] 周振起, 时岩, 孙良. 空气凝汽器水环式真空泵优化运行研究 [J]. 热力发电, 2011, 40(1): 58-61.  
ZHOU Z Q, SHI Y, SUN L. Study on operation optimization

- for the water-ring pump of air-cooled condenser [J]. Thermal Power Generation, 2011, 40(1): 58-61.
- [3] 周兰欣, 付文峰, 白中华, 等. 抽气器出力不足对凝汽器真空的影响 [J]. 汽轮机技术, 2008, 50(1): 46-48.  
ZHOU L X, FU W F, BAI Z H, et al. The influence of insufficient output of air extractor upon condenser vacuum [J]. Turbine Technology, 2008, 50(1): 46-48.
- [4] 王兴平, 黄功文, 张林. 电厂水环式真空泵冷却系统的问题及其对机组出力的影响 [J]. 动力工程, 2004, 24(4): 589-592.  
WANG X P, HUANG G W, ZHANG L. The cooling system trouble of water-ring vacuum pump and its effect on turbine exhaust pressure and power output [J]. Power Engineering, 2004, 24(4): 589-592.
- [5] 俞健, 杨建明. 水环式真空泵对凝汽器经济性的影响 [J]. 热力发电, 2009, 38(10): 29-32.  
YU J, YANG J M. Mathematical model of water-ring vacuum pump and its influence upon economic efficiency of the condenser [J]. Thermal Power Generation, 2009, 38(10): 29-32.
- [6] 张子敬, 毛河玉. 电站水环式真空泵汽蚀诊断及对策研究 [J]. 汽轮机技术, 2013, 55(3): 219-221.  
ZHANG Z J, MAO H Y. Power plant water ring vacuum pump cavitation diagnosis and countermeasure research [J]. Turbine Technology, 2013, 55(3): 219-221.
- [7] 孙永平, 周轶喆. 水环式真空泵抽吸能力对凝汽器真空影响的试验分析 [J]. 浙江电力, 2006, 25(1): 45-47.  
SUN Y P, ZHOU Y Z. Test and analysis on the condenser vacuum affected by the suction pressure of a water ring type vacuum pump [J]. Zhejiang Electric Power, 2006, 25(1): 45-47.
- [8] 邹征宇, 石奇光, 王占武, 等. 电厂水环式真空泵密封水温度对单元机组效率的影响 [J]. 华东电力, 2006, 34(2): 54-56.  
ZOU Z Y, SHI Q G, WANG Z W, et al. Influence of sealwater temperature of water ring vacuum bumps on unit efficiency [J]. East China Electric Power, 2006, 34(2): 54-56.
- [9] 居文平, 李素芳, 马汀山, 等. 工作水进口温度对水环式真空泵及凝汽器性能影响的试验 [J]. 热力发电, 2009, 38(1): 77-79.  
JU W P, LI S F, MA D S, et al. Test study on influence of working water's inlet temperature upon performance of the water-ring vacuum pump and the condenser [J]. Thermal Power Generation, 2009, 38(1): 77-79.
- [10] 王标, 李松波, 徐峰. 水环式真空泵节能技术改造措施探讨 [J]. 热能动力工程, 2017, 32(1): 113-116.  
WANG B, LI S B, XU F. Improvement in energy saving technology for water ring vacuum pump [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2017, 32(1): 113-116.

#### 作者简介:



HU K

胡琨(通信作者)

1979-, 女, 广东汕头人, 高级工程师, 学士, 主要从事火力发电厂热机专业设计工作(e-mail)hukun@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)

## 中国能建广东院两项成果获评国家档案局优秀奖

2018年12月, 中国能建广东院报送的两项档案管理工作成果——《档案库房智能化管理带来空间集约化利用及服务效率提升》研究课题、越南永新燃煤电厂一期工程档案专题片, 分别获国家档案局评定的全国企业档案工作管理创新优秀案例优秀奖和建设项目档案专题片优秀奖。

《档案库房智能化管理带来空间集约化利用及服务效率提升》研究课题, 充分展示了广东院推行档案库房智能化管理取得的效果。该成果改变了传统模式下过度依赖手工的情况, 实现了档案上架、拿取、归还完全基于掌上电脑操作, 更加合理地利用了库房空间, 减少了档案服务响应时间, 为用户提供了更优质的服务。

永新一期项目档案专题片以“建境外精品档案 创跨国品牌工程”为主题, 通过对广东院牵头总承包建设的永新一期项目档案管理工作情况进行介绍, 突出展现了项目结合越南当地和项目特点所开展的工作创新, 以及广东院档案管理工作的好经验、好做法。该片还在国家档案局网站上展播。

近年来, 广东院在规范管理、过程控制、资源建设、利用服务、信息化建设等方面, 积极推进档案管理工作, 已搭建了完备的档案管理制度与标准体系, 形成了档案部门抓总、各机构具体负责的档案工作体系, 并将档案工作融入企业生产经营、项目管理全过程, 编制了不同类型文件归档范围和保管期限表, 在提供档案日常利用服务的同时, 加大编研开发力度, 建成了基于电子文件与电子档案全过程管理的数字档案馆, 全面推进档案工作高质量发展, 有力地服务企业各项工作。

(中国能建广东院)