

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.S1.010

# 闭式循环冷却水泵节能驱动系统

胡琨, 张鹏, 李莹莹

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州, 510663)

**摘要:** 针对当前电厂定速闭式循环冷却水泵在冬季运行中出现流量低、扬程高、不节能的问题, 在多种可行的解决方案中, 选取了投资最少和运行最优的双速电机方案。通过分析该方案的技术可行性、运行经济性, 论证了该方案能显著降低能耗, 具有明显的节能效果。广西钦州电厂2 GW机组为国内首个采用该方案的项目, 相比采用常规定速电机方案, 两台机组每年可节电1.231 2 GWh, 全寿命期综合收益408.53万元。它的成功应用可为各类型机组设计所借鉴。

**关键词:** 双速电机; 节能; 经济性

中图分类号: TQ085

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)S1-0052-04

## Energy Saving Driving System for Closed Circulating Cooling Water Pump

HU Kun, ZHANG Peng, LI Yingying

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

**Abstract:** Concerning the problems of low-flow, high-head and high-energy-consumption that existing in the operation of closed circulating cooling water pump in winter, the scheme of two-speed motor has been selected from a variety of feasible solutions, which is the most cost efficient and best solution for operation. The feasibility, technical and economic efficiency of the scheme have been analyzed and demonstrated. The results show that the scheme has the advantage of reducing the energy consumption, and has remarkable energy-saving effect. Guangxi Qinzhou 2 GW power plant is the first one implementing this scheme in domestic. Compared to the conventional scheme, these two units can save 1.231 2 GWh each year, and generate the total amount of revenue of RMB4, 085, 300 during the full life circle. This scheme can be widely used in the design of the cooling water system for auxiliary machines in various types of power plant.

**Key words:** two-speed motor; energy saving; economic efficiency

目前国内火力发电厂闭式循环冷却水系统一般配置2台100%容量定速闭式循环冷却水泵, 1用1备。闭式循环冷却水泵的选型按照夏季工况各辅机设备所需冷却水量确定。水泵出口经各管线输送至各用户。常规闭式循环冷却水系统流程图如图1所示。

根据对电厂运行情况的调研, 闭式循环冷却水泵在夏季运行情况良好, 但到了冬季, 由于各辅机

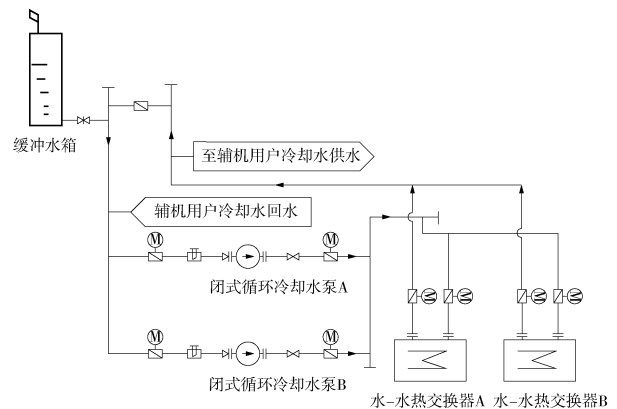


图1 常规闭式循环冷却水系统流程图

Fig. 1 Conventional flow diagram of closed circulating cooling water system

收稿日期: 2017-09-28

作者简介: 胡琨(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。

设备用水量减少, 运行中发现大部分调阀开度极小, 仅 6% 左右, 导致闭式循环冷却水泵出现“憋泵”的情况, 为此只能开启闭式循环冷却水母管联络门以降低压力。由于闭式循环冷却水泵转速不可调, 此时水泵运行在额定工况下, 通过联络门调节供水量, 不可避免的造成了能量损失, 同时调节性能较差。

## 1 解决方案

### 1.1 供选方案

为了解决闭式循环冷却水系统运行中的问题, 对闭式循环冷却水系统进行优化设计, 有以下三种供选方案:

1) 除原有 2 台 100% 容量闭式循环冷却水泵外, 再配置 1 台容量较小的水泵用于冬季工况。根据电厂运行经验, 冬季工况辅机冷却水用水量约为夏季工况的 75%, 故可按 75% 容量进行泵的选型设计。

2) 通过改变闭式循环冷却水管路特性来改变泵的工作点。具体实施方案是在原有供水母管上设置调节阀门, 其中, 主路上设置全容量阀门, 旁路上设置 75% 容量调节阀。

3) 通过改变泵的转速来改变泵的工作点, 将原有的闭式循环冷却水泵配套的定速电机改为双速电机, 在夏季工况电机采用高转速, 而在冬季工况电机采用低转速。

### 1.2 供选方案的分析、比较

上述 3 种方案中, 方案 1 增加了泵组及相连接管路, 方案 2 增加了调阀组, 方案 3 需改变电机的绕组, 因此 3 种方案均需增加初投资。经比较, 方案 1 增加的初投资最多, 方案 2 与方案 3 增加的初投资相当, 但由于方案 2 采用节流调节的方法将增加能耗, 因此方案 3 最优。

### 1.3 可行性分析

典型离心泵特性曲线如图 2 所示。

根据离心泵特性曲线可知, 离心泵的工作运行范围很大。但实际工作时的运行状况要受到管路的制约, 因为泵是安装在管路上工作的。

而在特定的管路中, 液体所需压头 ( $H_e$ ) 与流量 ( $Q_e$ ) 的关系为:

$$H_e = K + GQ_e^2 \quad (1)$$

式中:  $K$ 、 $G$  均为常数。

这种关系只与管路的布置条件有关, 而与泵的

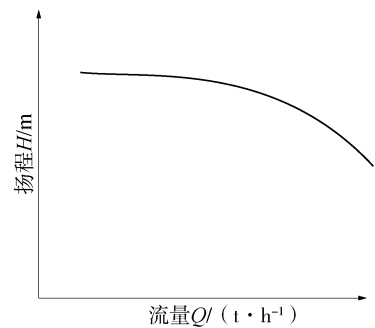
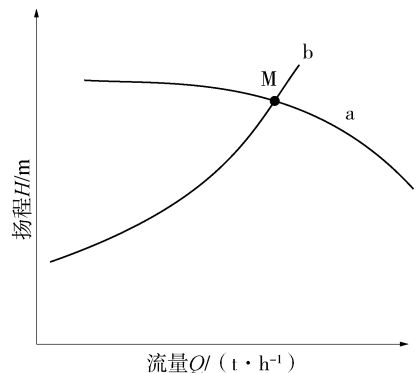


图 2 典型离心泵特性曲线

Fig. 2 Typical characteristic curve of centrifugal pump

性能无关。将其关系标绘在  $H-Q$  坐标图上, 即为管路特性曲线, 为一抛物线型。

当离心泵安装在一管路中时, 泵所提供的压头与流量, 必然和管路所要求的压头与流量相一致才能工作, 因此同时满足管路特性和泵特性的点称为泵的工作点。在  $H-Q$  图中即为管路特性曲线和泵特性曲线的交点  $M$ ,  $M$  点表示了离心泵在特定管路中实际能输送的流量和提供的压头, 如图 3 所示。



注: a 为离心泵特性曲线; b 为管路特性曲线。

图 3 特定管路中离心泵的工作点

Fig. 3 Working point of centrifugal pump in specific pipeline

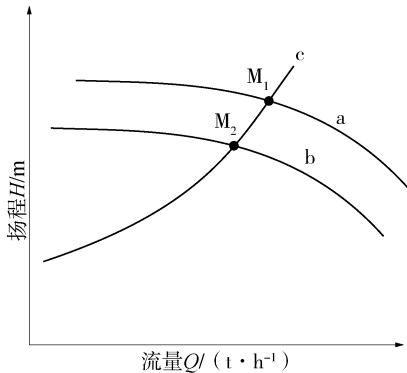
再根据离心泵的相似理论, 当液体粘度不大且假设泵的效率不变, 泵的转速变化小于 20% 时, 泵的流量、压头、轴功率与转速的近似关系可按比例定律进行计算:

$$\begin{aligned} \frac{Q_1}{Q_2} &= \frac{n_1}{n_2} \\ \frac{H_1}{H_2} &= \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \\ \frac{N_1}{N_2} &= \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \end{aligned} \quad (2)$$

式中:  $Q_1$ 、 $H_1$ 、 $N_1$  为转速为  $n_1$  时的流量、扬程、

功率;  $Q_2$ 、 $H_2$ 、 $N_2$  为转速为  $n_2$  时的流量、扬程、功率。

$n_1$  转速下, 泵的工作点在  $M_1$  点。当泵的转速变化时, 泵的工作点应相应移动。由于管路布置不变, 因此管路特性曲线不变, 故新的工作点  $M_2$  应为管路特性曲线与新的转速  $n_2$  下离心泵的特性曲线的交点, 如图 4 所示。



注: a 为转速为  $n_1$  时的离心泵特性曲线; b 为转速为  $n_2$  时的离心泵特性曲线; c 为管路特性曲线。

图 4 不同转速下离心泵的工作点

Fig. 4 Working point of centrifugal pump at different speeds

从图 4 及离心泵比例定律可知, 当泵的转速变化小于 20% 时, 离心泵特性曲线 a, b 近似, 因此如转速为  $n_1$  时离心泵的特性曲线与管路特性曲线有交点, 则当转速为  $n_2$  时离心泵的特性曲线与管路特性曲线必有交点, 即此时泵提供的压头可满足管路摩擦阻力损失。同时, 闭式循环冷却水泵入口设置有膨胀水箱, 安装于主厂房内最高层楼板上, 高于需用冷却水的辅机设备的安装标高, 因此, 静压头可以满足供水要求。

通过上述分析可知, 对应不同泵的流量, 可通过调节转速来调节泵的工作点。即闭式循环冷却水泵采用双速电机是可行的。设计时, 可先根据  $Q_1$ ,  $H_1$  进行泵的选型计算, 确定此时泵的转速  $n_1$ , 再根据新的流量数值  $Q_2$  确定泵的转速  $n_2$ , 确定泵的第二转速。

## 1.4 技术经济分析

### 1.4.1 技术分析

通过上述分析可知, 双速电机的低转速  $n_2$  可由流量比 ( $Q_2/Q_1$ ) 与高转速  $n_1$  相乘求得。但是, 双速电机的低速选择不是任意的。因为电机的变速通过改变绕组的连接方式, 即改变电机旋转磁场的磁

极对数来实现。

以广西钦州电厂 2 GW 机组为例, 闭式循环冷却水泵选型工况为  $Q = 3\ 100\ \text{m}^3/\text{h}$ ,  $H = 411.6\ \text{kPa}$ 。经咨询电机厂, 闭式循环冷却水泵额定转速为 990 r/min (6 极), 低速方案只能 750 r/min (8 极); 或者是额定转速为 750 r/min (8 极), 低速方案为 660 r/min (10 极)。根据电厂运行经验, 冬季工况辅机冷却水用水量约为夏季工况的 75%, 因此泵的转速可取为 990 r/min (6 极) 和 750 r/min (8 极), 对应电机功率为 500 kW 和 215 kW, 由此可见采用双速方案具有明显的节能效果。

### 1.4.2 经济性分析

由于采用双速电机方案需改变电机的绕组, 增加端子接线等, 每台设备初投资约增加 8.6 万元。但在低速工况下, 电机功率降低 285 kW。按机组冬季运行 2 160 h 计算, 则每台机组每年可节约厂用电 615.6 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 1 所示。

表 1 双速电机与定速电机方案经济性比较

Tab. 1 Comparison of economic efficiency between

项 目	定速电机方案	双速电机方案
1 初投资/(万元/两台机组)	基准	34.40
2 运行费用/两台机组	—	—
2.1 每年节省用电/GWh	基准	1.231 2
2.2 每年节电费用/万元	基准	41.98
2.3 全寿命期(按 20 年计)节电费用/万元	基准	442.93
3 两台机组全寿命期/(按 20 年计)综合收益/万元	基准	408.53

注: 20 年折现系数为 10.55。

由表 1 可见, 采用双速电机方案后, 尽管初投资增加约 34.4 万元, 但年运行费用节省约 41.98 万元, 静态回收期为 1 年。两台机组全寿命期综合收益约 408.53 万元。

## 2 结论

综上, 闭式循环冷却水泵采用双速电机驱动, 尽管由于改变电机的绕组导致初投资略有增加, 但由于低速工况下电机功率显著减少了, 因而具有明显的节能效果, 两台机组每年节省用电 1.231 2 GWh, 每年可节省运行费用约 41.98 万元。两台机

组全寿命期综合收益约为 408.53 万元。该节能驱动方案适用于冬夏两季辅机冷却用水量变化较大的机组, 既可用于闭式循环冷却水系统, 又可用于开式冷却水系统, 且不受机组容量、等级的限制, 因而具有较强的推广意义。

#### 参考文献:

- [1] 郭立君. 泵与风机 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1986.
- [2] 范德明. 工业泵选用手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [3] 杨兴瑶. 电动机调速的原理及系统 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [4] 刘桂生, 马骏驰, 丁平, 等. 双速电机在电厂大功率循环水泵上的节能应用 [J]. 电力科学与工程, 2008(5): 66-67+74.  
LIU G S, MA J C, DING P, et al. Energy-saving application of dual-speed motor for circulating water pump in power plant [J]. Electric Power Science and Engineering, 2008(5): 66-67+74.
- [5] 鲍金春. 循环水泵双速电机的节能改造 [J]. 华电技术, 2011(9): 59-60.
- [6] 朱沛清. 600 MW 机组循环水泵电机双速改造应用与节能探究 [J]. 机电信息, 2017(9): 58-59.
- [7] 谭定, 李峰. 循环水泵电机双速节能改造 [J]. 广西电力, 2014, 1(2): 106-107.
- [8] 陈晓辰. 循环水泵电机双速节能改造 [J]. 宁波节能, 2016(3): 35-37.
- [9] 喻士发. 火电厂循环水泵电机双速改造及经济性分析 [J]. 安徽电力, 2012(1): 5-7+41.  
YU S F. Transformation and economic analysis of two-speed pump motor cycle plant in luohu power plant [J]. Anhui Electric Power, 2012(1): 5-7+41.
- [10] 梁思伟. 火电项目节能评估要点探讨 [J]. 南方能源建设, 2016(4): 26-31.  
LIANG S W. Discuss on key points of energy saving evaluation for thermal power projects [J]. Southern Energy Construction, 2016(4): 26-31.
- (责任编辑 高春萌)
- 
- (上接第 22 页 Continued from Page 22)
- [2] 中共中央国务院. 关于进一步深化电力体制改革的若干意见 [EB/OL]. (2015-03-15) [2015-03-31]. <http://news.ncepu.edu.cn/xyyd/llxx/52826.htm>.
- [3] 蔡光宗, 蔡百川. 提升电力设计企业核心竞争力 [J]. 中国电力企业管理, 2003(7): 61-62.
- [4] 庞可. 三维设计技术应用及前景展望 [J]. 电力建设, 2003, 24(5): 4-7.  
PANG K. Application of 3-Dimensional design technique with its forecast [J]. Electric Power Construction, 2003, 24(5): 4-7.
- [5] 赵惠东. 电力设计企业如何向电力工程咨询公司转型 [J]. 学习月刊, 2009(9): 132.
- [6] 秦晋. 总承包项目设计优化管理思考 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(1): 76-79.  
QIN J. Discussion on engineering optimization management of EPC project [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(1): 76-79.
- [7] 鲁皓. 浅谈设计院海外电站 EPC 项目设计管理优化 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(1): 41-45.  
LU H. Optimization of engineering management in the oversea EPC power plant project of design institute [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(1): 41-45.
- [8] 郗鑫, 齐立忠, 胡君慧. 三维数字化设计技术在输变电工程中的应用 [J]. 电网与清洁能源, 2012, 28(11): 23-26.  
QIE X, QI L Z, HU J H. Application of 3D digital design technique in power transmission project [J]. Power System and Clean Energy, 2012, 28(11): 23-26.
- [9] 范光甫, 朱中耀, 蒋荣安. 三维数字化电网解决方案 [J]. 电力勘测设计, 2005(1): 30-34.  
FAN G F, ZHU Z Y, JIANG R A. Solving plan of 3D digital electric network [J]. Electric Power Survey & Design, 2005(1): 30-34.
- [10] 景钦刚. 基于 GIS 的三维输电线路规划设计系统的研究 [J]. 电力建设, 2008, 29(6): 35-38.  
JING Q G. Study on GIS-Based 3-D transmission line planning design system [J]. Electric Power Construction, 2008, 29(6): 35-38.
- [11] 李铁鼎, 刘文勋, 林芳, 等. 输电线路工程数字化设计全过程应用及展望 [J]. 智能电网, 2016, 4(3): 323-327.  
LI T D, LIU W X, LIN F, et al. Overall process application and prospects of digital design for transmission line projects [J]. Smart Grid, 2016, 4(3): 323-327.
- [12] 李志海. 数字化三维变电站设计技术研究 [J]. 电气技术, 2015(11): 83-86, 90.  
LI Z H. Research on 3D digital substation design technology [J]. Electrical Engineering, 2015(11): 83-86, 90.
- [13] 张羽, 胡亮. 关于总承包业务设计优化、采购成本控制的思考 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(增刊 1): 165-167+185.  
ZHANG Y, HU L. Design optimization and procurement cost control of EPC project [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(Supp. 1): 165-167+185.
- (责任编辑 高春萌)