

# Discussion on Parallel Operation of Cooling Water System

Liang Shen

China Electronic System Engineering No.2 Construction Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214151, China

## Abstract

With the development of industry, the application of centralized cooling water system in industrial plant is more and more popular. Because of the characteristics of large system, high energy consumption, strong correlation, fast load change and high requirements of operation parameters, the system is also changing from the original local operation mode to the automatic operation mode. This paper introduces the process of optimizing the automatic control program of cooling water system when the cooling water system is running in the factory, after combining the HVAC and automatic control specialty.

## Keywords

centrifugal water pump; process cooling water; cooling tower; parallel operation; pump operating curve

## 冷却水系统并联运行的探讨

沈亮

中国电子系统工程第二建设有限公司, 中国·江苏 无锡 214151

## 摘要

随着工业发展,集中式的冷却水系统在工业厂房中应用越来越普及,由于存在着系统大、能耗高、关联性强、负荷变化快、运行参数要求高等特点,所以系统也由原来的本地运行模式正在快速地向自动运行转变。论文介绍了工厂冷却水系统运行时,在结合了暖通和自控专业后,优化冷却水系统自控程序的过程。

## 关键词

离心式水泵; 工艺冷却水; 冷却塔; 并联运行; 水泵运行曲线

## 1 系统介绍

工艺冷却水系统在工业企业来讲是必不可少的一部分,工艺冷却水系统输出大、负荷变化快,所以在系统配置上,都会设置水泵并联运行,并加以自动控制,达到输出压力和温度稳工的要求。为简化分析,此处取两台性能相同的离心式水泵在并联运行时进行研究。

## 2 水泵并联运行的三种配置方式

水泵并联运行,是根据系统管路曲线特性和水泵驱动形式进行的。一般水泵并联运行的配置可以有三种方式:(1)双工频泵并联;(2)变频泵和工频泵并联;(3)双变频泵并联。本章节主要讨论(2)和(3)两种运行方式。

## 3 工频泵与变频泵运行模式

水泵并联运行特性曲线。此系统配置的优势:在满足流量调节的同时,节约一台变频器的投资。运行控制逻辑设定:

变频泵设定为主泵,最低运行频率设定为25HZ,当系统流量偏低时,单独运行变频泵,通过控制变频泵运行频率,达到控制水流量和压力的目的;当单台变频泵流量不能满足生产需求时,启动工频泵,同时降低变频泵的运行频率,然后再根据供水压力探头提供的反馈信号来提升或者降低水泵运行频率,同时也能满足流量变化的需求。理论上,该套系统流量可以实现 $0.5Q_1 \sim (Q_1+Q_2)$ 范围内运行。

## 4 实际运行过程分析

当系统以单台水泵运行时,输出正常。当系统需求,双泵同时运行时,并且变频泵以低于工频泵频率运行时发现,供水主管道上检测到的压力实际并没有发生明显变化,而且变频泵的频率出现周期性的加载到50HZ,然后疾速降低频率,然后又开始加载的现象,此时系统运行变得非常不稳定。同时,变频水泵泵体开始发热,水泵电机电流也以不超过30%额定电流运行,此时水泵没有流量输出,发生俗称“打蒙泵”的现象。

## 5 分析

### 5.1 离心水泵工作原理

离心泵是通过叶轮高速旋转，带动叶片间的液体旋转，通过离心力的作用，液体从叶轮中心被甩向叶轮外缘，动能随之增加。所以，离心泵之所以能够输送液体，主要靠离心力的作用，故称为离心泵。所以，水泵的扬程（压头）和水泵的转速有直接的关系，水泵转速越小，叶轮边缘速度越低，此时液体获得地能量越小，水泵的扬程也越小。

### 5.2 结合运行状态分析

所以当两台水泵并联运行时，当变频泵以低于 50HZ 频率运行时，扬程要小于另外一台水泵的扬程，也可以认为此时工频泵的输出压力要大于变频泵的输出压力，此时会导致低压力输出的水泵的出口的单向阀被压住，而不能正常开启，导致的实际情况是此水泵没有流量输出，发生“打蒙泵”的情况，如不进行及时的调整，此水泵机封会被损坏。由于水泵频繁加减载，还会导致电机发生严重的故障。

## 6 改善措施

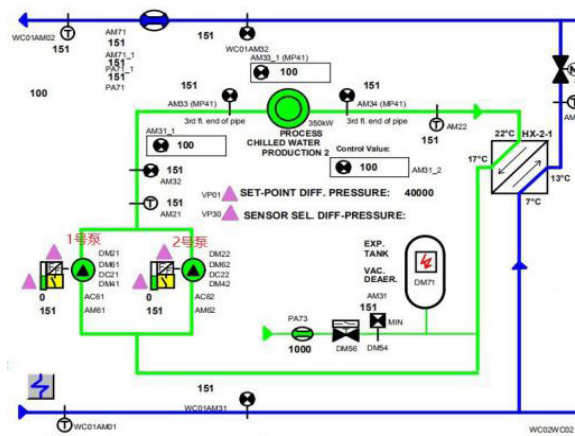


图1 离心水泵工作原理

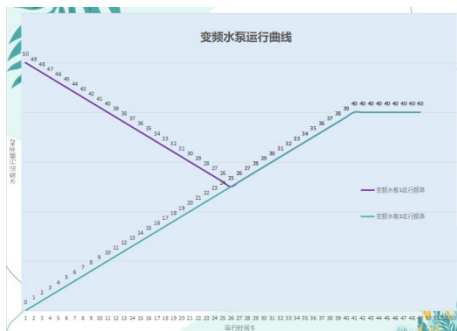


图2 变频水泵频率运行曲线

根据分析，离心式水泵并联运行时，需要保证两台水泵运行时压头输出保持一致，才能有效避免“打蒙泵”的现象，故此系统两台水泵需要同时设置为变频泵，同步在程序作出优化。针对此系统长期现场观察发现，此系统正常运行的频率稳定在 35HZ 左右，当需要启动另外一台水泵时，正在运行的水泵降低运行频率到 25HZ（根据现场实际情况设工最低运行频率，厂家建议不小于 25HZ），准备启动的水泵提升到 25HZ，当同时达到设定的最低点时，再同步加载或者减载，从而达到控制流量和压力的目的，并让系统处于稳工运行状态。

同时由原来供水管道上的压力探头提供的反馈信号控制改善为通过供回水管道上的压差（此处供回水压差设定为：100KPa）来控制水泵的频率。观察 2 周后发现，系统波动在允许范围内，没有触发报警。当负荷出现季节性的大的变化时，我们也可以通过抬高最低频率控制在切换时导致的压力波动偏大的问题。

为了进一步保护水泵，监控水泵是否有流量输出，也可以在水泵出水管道上设置水流开关，当水泵启动后，在程序设定的延期内，没有检测到水流时，及时发出报警信息，此时系统可以进行及时调整或者发出保护动作，并将信息同步到维护人员设备上，以利于维护人员及时做出响应<sup>[1]</sup>。

## 7 冷却塔并联运行自控逻辑优化过程

### 7.1 系统介绍

有大型厂房冷却塔布置共计 14 台，冷却塔每两台为一组，分为 7 组并联控制。风扇电机为变频控制，单组启动爬坡时间设定为 10 分钟，完成全部启动时间需要 70 分钟。控制逻辑，以冷却水供水总管上的温度探头控制，设定温度为 30° C，当水温超过 30° C 时，冷却塔风扇逐台启动，温度达到设定值后，冷却塔风扇频率降低，直到一组停止。

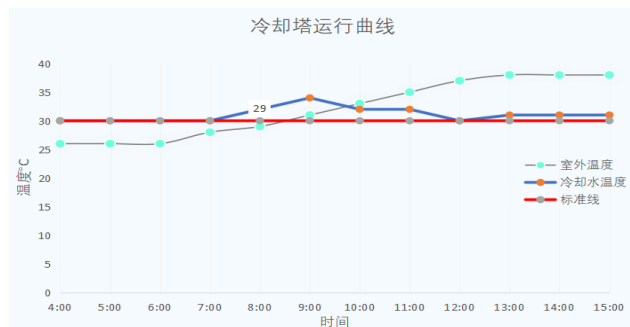


图3 冷却塔运行曲线图

每一台冷却塔供水阀门在设计时,由自动蝶阀全部改为手动蝶阀,作为检修使用。由于单个进口自动蝶阀5万元,14套冷却塔共计可以节省70万以上,同时根据以往的维护使用经验,电动蝶阀安装在室外时,维护成本较高,综合考虑,取消此电动蝶阀的设置,此处的变更引起了旧版本程序的 mismatches。

## 7.2 运行过程

图3曲线是典型的夏季的某一天的冷却塔运行曲线,早上室外天气温度从7:00开始逐步上升,在11:00左右时,温度超过35°C。冷却塔供水温度控制,从曲线上看,从8:00开始,冷却水温度控制开始跟不上天气和负载的变化速度,导致有超过设定温度30°C的情况,有时甚至在35°C附近运行。冷却水温度偏高,导致各类需要冷却的设备运行在恶劣的工况下。

## 7.3 冷却水温度高对各系统的影响

### 7.3.1 冷却水温度高对冷冻机的影响

冷却水温度高会导致冷冻机能效比变差,耗电量增加,有统计表明压缩制冷机的制冷效率与冷却水温度的变化关系分析为:冷却水的供水温度每上升1°C,冷机的COP下降近5%。

如系统中配置有离心式冷冻机组时,冷却水温度高,尤其是超过32°C时,导致机组的冷凝压力偏高,还会引起冷冻机的喘振。冷冻机喘振引起的机组剧烈振动,极易导致机组重大故障<sup>[2]</sup>。

### 7.3.2 冷却水温度高对空压机的影响

空压机在压缩空气的过程中会产生大量的热量,这些热量依赖冷却水来带走。冷却水温度高会导致设备运行油温偏高,机械部件的热量不能及时带走。同时,压缩空气的温度也不能运行在合理的范围,导致压缩空气中水分不能有效去除,也增加了后道冷干机的负载。

### 7.3.3 冷却水温度高对冷干机的影响

冷干机去除压缩空气中水分主要是依靠自身的制冷效果,冷却水温度高对冷干机的影响类似于冷冻机,直接导致压缩空气温度不能有效的降低,使得压缩空气的露点以超过设计露点温度4°C运行。压缩空气中水分不能有效去除,不仅影响生产气动部件的使用寿命,更加使得有些对压缩空气露点有严格要求的工艺步骤直接产生影响,引起产品的报废、损失巨大。

## 7.4 此冷却水系统温度高分析

夏季天气温度从7点开始上升,全天30°C以上的时间从7点开始,到22:00才会下降。公司进入生产时间是8:30,系统从上午9:00监测到冷量需求开始急剧上升。

### 7.4.1 冷却塔控制分析

冷却塔控制逻辑为逐台启动,为了保护皮带和电机,对加载速度进行了限制,完成一个加载过程需要10分钟,7组冷却塔全部完成启动时间需要70分钟,导致系统响应延迟。

### 7.4.2 冷却塔系统分析

由于7组冷却塔并联运行,当冷却塔风扇没有启动时,对应管道内的水还是会有流动,此时室外温度在35°C以上,在风扇没有启动的时候,冷却塔基本没有冷却效果,所以有一部分未经冷却的水(水温37°C左右)直接混合进入了系统,导致水温急剧上升。上文中提到的每台冷却塔会配置电动蝶阀与风扇进行联动控制,为了节约投资,改为手动检修蝶阀,此改动对现有系统产生较大影响。

### 7.4.3 人员上面的分析

当对冷却塔入口的阀门由自动改为手动后,暖通专业和电气专业的工程师未能就此改动进行风险识别和沟通。当冷却水温度高时,人员未能对系统进行有效调整或者调整速度有延迟<sup>[3]</sup>。

## 7.5 系统改善措施

综合评估冷却水温度偏高带来的诸多不利影响,同时结合成本考虑,在不增加投资的情况下,对程序的优化为最具有性价比的方案。在暖通工程师和电气工程师沟通探讨后,在原有的控制逻辑上,在以冷却水供水温度控制的基础上,通过室外温湿度探头计算匹配对应的焓值,将室外空气焓值加入进程序对冷却塔进行控制(此温湿度探头不需要增加投资,在系统中已经配置)。

控制逻辑的优化:(1)设定参考焓值:温度32°C,相对湿度60%对应的焓值,将焓湿图的数据输入到系统中,详见图九;(2)逻辑控制优先级:焓值控制的优先级高于冷却水供水温度控制;(3)冷却塔启动顺序:当室外空气焓值高于设定点时,由原来的逐台启动改为同时启动剩余的全部冷却塔;(4)针对南方的高温高湿天气,结合冷冻机的特性,将原设定温度30°C,优化为26°C~30°C可调。

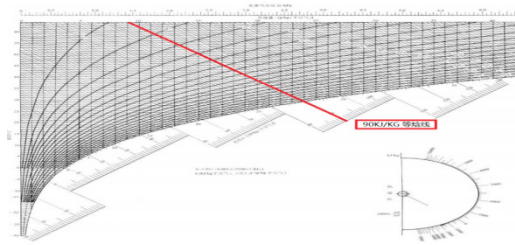


图4 焓湿图

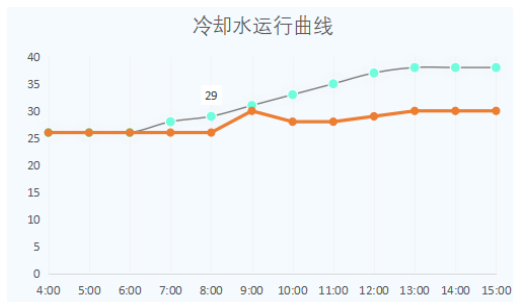


图5 冷却水运行曲线

### 7.6 改善后追踪

经过优化后,7组冷却塔运行时间变长,但是水温控制效果明显,冷却水温度稳定在 $26^{\circ}\text{C} \sim 32^{\circ}\text{C}$ 之间,大量时间稳定在 $30^{\circ}\text{C}$ 以下。优化后带来改善:(1)避免了离心式冷冻机的喘振;(2)提高了冷冻机运行效率:2500KW制冷量冷冻机输入功率为495KW,按降低 $1^{\circ}\text{C}$ 冷却水温度计算,提高冷冻机COP 5%计算,至少可以降低24.75KW的功率,冷却塔运行的投入功率增加30KW/组,实际在能源的消耗统

计上要优于计算值;(3)压缩空气系统的水分大大减少,冷干机效果改善,排水良好,延长了工艺设备和气动部件的使用寿命;(4)直接使用压缩空气的生产工艺部分产品的良品率也有上升,尤其体现在高温高湿天气下;(5)设施维护人员的应急响应次数大大降低,降低了团队在夏季的工作负荷,提升了团队整体运作效率。

### 8 结语

自控系统的运用,在工业厂房中越来越普及,尤其是在工厂设施中应用,基本做到了全覆盖。如何将自控与系统运行结合更加紧密,运行匹配度更加高,这就对跨专业协作提出了更高的要求。通过良好的团队协作,结合各自擅长的专业,多角度的分析,在匹配相对应的系统使用场景后进行优化,必将能更加有效地降低工厂运作成本,提升系统运行稳定性,提高团队运作效率。

### 参考文献

- [1] 凌武. 冷却水与冷冻水对制冷系统的影响 [R]. 南京: 机械制造与研究, 2013:35-49.
- [2] 傅允准, 曹国海. 冷冻水温度变化对空调供冷的影响分析及对策 [N]. 沈阳建筑工程学院学报 (自然科学版), 2014-01-15(002).
- [3] 王璨, 王超给水泵并联运行方式的分析及经济性比较 [J]. 广东化工, 2011, 38.