

厂区级冷却供水系统智能控制设计实现

陈小兵, 梁春芳, 王丰磊, 钟林林, 蔡维利, 陈博荣

(中国人民解放军 91515 部队, 海南 三亚 572000)

摘要: 某厂区冷却供水系统只能以手动模式运行, 无法实现自动恒压供水, 能耗高、设备损耗大, 对管网流量波动适应性差; 通过重新设计系统 PLC 程序, 进行加减泵逻辑控制和管网压力设置, 实现了基于变频器的管网恒压控制; 通过水泵轮巡逻辑控制和冗余配置, 实现了水泵的自动轮换运行; 通过水泵使能功能和管网压力手动设置功能, 提高了系统控制的灵活性; 通过优化水泵加载条件和触摸屏功能, 消除了设备故障对系统自动运行的干扰; 经过 10 个月运行验证, 系统一直稳定工作, 水泵运行数量减少三分之一, 管网运行压力降低 12.8%, 可设置参数由 3 个增加到 15 个, 冷却供水泵组节能 23% 以上。

关键词: 冷却供水; 智能控制; PLC; 恒压; 节能

Intelligent Control Design and Implementation on Factory Area Cooling Water Supply System

CHEN Xiaobing, LIANG Chunfang, WANG Fenglei, ZHONG Linlin,
CAI Weili, CHEN Borong

(91515 Unit, PLA, Sanya 572000, China)

Abstract: The cooling water supply system in a certain factory area can only operate in manual mode, and cannot achieve the automatic constant pressure water supply, it has the characteristics of high energy consumption, high equipment loss, and poor adaptability to flow fluctuations in the pipeline network; The programmable logic controller (PLC) program of the system is redesigned to implement the logic control of the addition and subtraction pumps and the pressure setting of the pipeline network, which achieves the constant pressure control of the pipeline network based on the frequency converter; Through the logic control and redundant configuration of the water pump rotation, the automatic rotation operation of water pumps is achieved; By enabling the water pumps and manually setting the pipeline pressure, the flexibility of system control is improved; By optimizing the loading conditions of water pumps and the touch screen function, the interference of equipment failures on the automatic operation of the system is eliminated. After the operation verification for 10 months, the system runs steadily, with a one-third reduction of water pumps, and the operating pressure of the pipeline network decreases by 12.8%. The number of adjustable parameters increases from 3 to 15, and the saving energy of the cooling water supply pump group reaches more than 23%.

Keywords: cooling water supply; intelligent control; PLC (programmable logic controller); constant pressure; saving energy

0 引言

随着控制器和变频器技术的发展, 作为环境温湿度保障设施中的重要环节和主要耗能设备, 空调除湿机冷却供水系统的控制策略逐渐从实现系统功能、稳定可靠运行向智能控制和绿色节能方向发展, 传统的定流量控制法也逐渐被各种更加智能、高效的变流量控制法取代。

为了适应不同的应用场景, 人们尝试多种不同的智能控制方法。例如冷却供水系统广泛采用的变频恒压控制法, 即控制系统通过变频器实现对水泵电机转速的调节, 电机转速变化影响水泵供水流量和压力, 从而使管网压力维持恒定^[1]。变频恒压供水系统中, 多台水泵并联运行使用时, 采用全变频控制方式可以消除水泵运行低效区, 比单变频

控制方式更节能, 但节能率随着流量增大而减小的趋势明显^[2]。采用模糊预测控制技术时, 可以通过模型预测、滚动优化、反馈校正等方法进行控制, 比 PID (Proportional Integral Derivative) 控制方式能进一步缩小水压波动范围和时间, 因而更适用于供水水压高、流量波动变化大的高层建筑^[3]。通过变频运行空调冷却供水泵组, 使冷却回水与冷却供水的温度差维持在某一恒定值, 即采用定温差控制法, 可以有效降低冷却供水系统设备总功率^[4]。综合运用定温度控制法 (变频运行水泵组维持冷却回水温度恒定) 和定温差控制法, 则可达到更加显著的节能效果^[5]。利用实测数据建立冷却水泵等主要设备的数学模型, 并搭建 TRNSYS 仿真平台, 利用遗传算法确定办公楼空调水系统在不同负荷下最佳的冷却水流量、冷却回水温度等参数,

收稿日期: 2023-11-21; 修回日期: 2024-01-02。

作者简介: 陈小兵 (1985-), 男, 硕士, 工程师。

通讯作者: 王丰磊 (1980-), 男, 硕士, 高级工程师。

引用格式: 陈小兵, 梁春芳, 王丰磊, 等. 厂区级冷却供水系统智能控制设计实现[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(6): 145-151.

并通过模型预测控制算法动态调节运行参数,可实现冷却水泵节能超 15%^[6]。这些控制方法的应用提高了不同场景下冷却供水系统使用效能,也为本文提供了有益借鉴。

某厂区设置有环境温湿度保障系统及配套设施,其中冷却供水问题直接影响水冷空调和除湿机组运行。前期因管道和阀门故障频发、用水设备增多等原因,系统长期在手动模式下运行。手动模式能耗较高且对管网流量需求波动的适应能力较差,难以保证系统安全、稳定、节能运行^[7-8]。该厂区占地面积广、各除湿机组安装分布散,定温差控制法和定温度控制法难以保证安装位置远、耗水量小的除湿机组正常运行;由于系统采用多水泵并联供水方式,冷却水总流量大,所以采用全变频控制方式将造成控制系统改造投入大而节能效果不明显。综合考虑厂区对空调和除湿机组运行可靠性要求和现场冷却供水系统设备实际状态,决定在对厂区原冷却供水系统设备进行整改更新的基础上,对控制系统 PLC 程序进行重新设计,实现厂区冷却供水单变频恒压控制。

1 系统概况

某厂区对温湿度环境保障的要求很高,不允许出现超出时长的温湿度超标。温湿度保障依赖通风空调系统的正常运行,而通风空调系统需要可靠的冷却供水系统为空调、除湿机组提供冷却用水,以确保其能够正常运行。

1.1 冷却供水系统组成结构及功能

厂区冷却供水系统主要由冷却水库、冷却水泵、回水管网、冷却塔和控制系统组成,系统结构如图 1 所示。

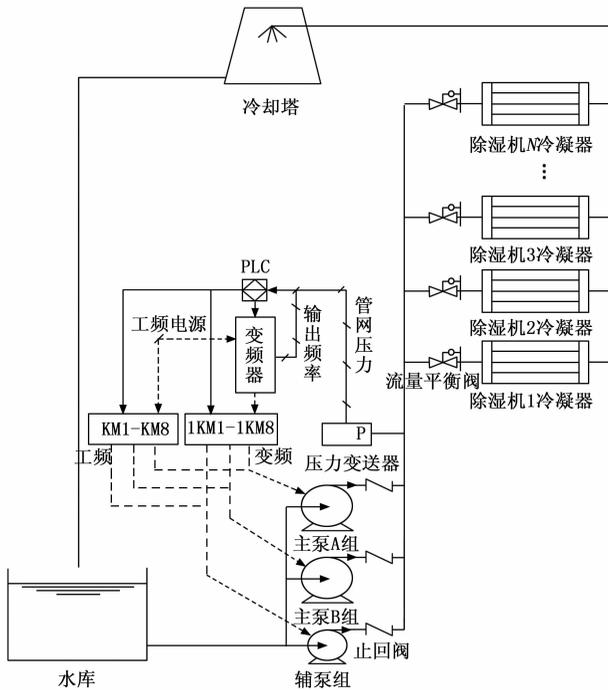


图 1 冷却供水变频恒压系统结构图

冷却水库用于储存冷却用水。冷却供水系统启动时从冷却水库取水,输送至遍布厂区的冷却用水设备,冷却水

给设备降温后会经过管道输送至冷却塔进行降温,然后回流至冷却水库以供循环使用。冷却水库蓄水量要充足,以满足厂区通风空调系统长时间运行对冷却供水的使用需求。

冷却水泵主要由电机、叶轮、泵体、泵轴、轴承和机械密封等构成,为单级、低压、紧凑型离心式管道泵,电机直联驱动。因单台水泵无法同时满足流量需求和运行经济性要求,厂区冷却供水系统采用多台水泵并联运行方式,并设置较小功率的辅泵,主泵电机额定功率 30 kW/台、辅泵电机额定功率 15 kW/台。这种水泵并联运行方式下,输水主管中的流量等于各并联运行水泵出水量之和,通过改变运行水泵的台数和变频运行水泵频率就可以灵活调节厂区冷却供水的流量和扬程,达到安全和节能供水的目的;其中 1 台水泵故障损坏时,其它水泵仍可继续供水,因而具有更高的可靠性。

原供回水管网包括 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 塑料材质管道和止回阀、电子式流量平衡阀等型阀门。止回阀安装于冷却泵出水口管道,通过阀门前后水的压力差作用升降阀芯,达到开关阀门的目的。水泵启动时止回阀阀芯升起,打开出水通道,停泵时则止回阀阀芯下降缓慢关闭,可以有效抑制负压、降低正压,防止水锤对水泵及管道的冲击破坏^[9-10];电子式流量平衡阀安装于各除湿机冷凝器供水或回水管道上,阀门控制器通过阀门前后压力变送器测得的压力之差,动态调节阀芯开度,从而使流经该除湿机冷凝器的冷却水量保持在设定值。

冷却塔建于厂区内地势较高处,主要包括风机、塔体和控制柜,用于对流经空调、除湿机冷凝器的冷却回水进行散热降温,降温后的冷却塔回水靠重力流回冷却水库。

厂区冷却供水系统最基本的功能就是由水泵将水库的冷却用水送至区域内各空调、除湿机组的水冷冷凝器,通过空调、除湿机组制冷系统的热交换将厂区内空气的热量转移到冷却水,被加热的冷却回水再经由冷却塔降温后回流至水库。如此循环,便实现对厂区内空气进行降温除湿的目的。空调除湿机组的稳定、节能运行必须确保冷却供水的温度和流量在允许范围内。冷却供水温度每升高 1℃,空调系统制冷效率降低 2%~3%;当水温过高或流量过低时,冷却供水不足以带走冷凝器热量,将造成制冷系统“高压过高”故障而无法正常运行。为实现冷却供水系统的稳定运行,系统应具备实时监测管网压力确保流量的功能,因此系统控制功能的设计尤为重要。

1.2 控制系统组成及功能

控制系统由 PLC 及其扩展模块、压力变送器、变频器、软启动器以及中间继电器、接触器、热继电器等电器元件组成。PLC 即可编程逻辑控制器,是一种广泛应用于工业自动化领域的数字操作电子设备,具有高可靠性、高效率、高精度和易于维护的优点,可以快速响应各种输入信号,并根据程序指令输出控制信号,从而执行各种自动化控制任务;压力变送器是工业实践中最为常用的一种传感器,具有工作可靠、性能稳定的优点,可以将测压元件感受到

的物理压力转换成标准的气动或电动信号进行远传;变频器是应用变频技术和微电子技术,通过改变电源频率的方式来控制交流电动机运行的电机控制设备,它可以根据电机的实际需要来提供电源,进而达到节能调速的目的,同时还具有过流、过压、过载保护等多种保护功能;与变频器类似,软启动器也是一种集电机控制设备,具备软启动、软停车、轻载节能和多种保护功能,但与变频器改变电机电源频率不同,软启动只改变电机电源的电压,因而结构更为简单,成本更低。

在控制系统中,压力变送器测量范围 0~1 MPa,输出 4~20 mA 电流信号,安装于冷却供水管网主管道,采集的管网压力信号经过扩展模块 AI 通道输入 PLC; PLC 将读取到的管网压力信号与设定值进行比较,经过 PID 运算向变频器输出 0~20 mA 的频率给定信号;变频器按照 PLC 给定的频率信号调整输出频率以控制变频运行水泵电机的转速,同时将实际输出频率信号反馈给 PLC。PLC 还通过向不同接触器输出开关信号实现对各水泵的启停控制,接触器 KM1~KM8 接通时对应水泵经软启动器降压启动后工频运行,接触器 1KM1~1KM8 接通时对应水泵经变频器变频启动运行。

以上系统功能的实现离不开冷却供水控制系统的正常运行,控制系统通过转换开关实现手动、待机和自动 3 种模式的切换。待机模式下,泵停止,按设定间隔时间进行巡检运行;手动模式下,通过控制柜门上的启动和停止按钮启停泵,此时 PLC 仅采集管网压力等状态信息,不控制水泵运行;自动模式下,PLC 将读取到的管网压力与设定压力进行比较,通过加减泵控制逻辑调节运行水泵数量,通过 PID 控制调节变频器的输出频率,实现恒定管网压力运行^[1]。

1.3 存在问题及改进设计

厂区冷却供水系统在运行使用过程中主要存在以下问题。

1.3.1 控制系统程序问题

原控制系统不具备灵活设置管网压力的功能。自动模式运行时的管网压力由 PLC 程序设定为 P_0 MPa,且无法在触摸屏上修改,当管网压力达不到 P_0 MPa 时会出现过多水泵运行的情况,这就造成管网流量大幅增加、冷却塔溢流。

原控制系统不具备自动模式下关停单台水泵的功能。当系统自动模式运行出现水泵出水口止回阀故障或其它设备故障需停泵维修时,必须关停全厂区除湿机组后将控制系统转换至手动模式运行,再组织后续设备维修,这会对整个厂区的环境保障造成不利影响。

此外,原控制系统触摸屏显示信息不全面。触摸屏仅在自动模式下显示各水泵的“工频”或“变频”运行状态,而手动模式下的水泵“工频”运行状态不显示,也不显示系统监测到的设备故障信息,监控中心无法准确掌握冷却供水系统各水泵运行情况。

1.3.2 其他基础性问题

ABS 材质塑料管道性能不稳定。厂区冷却供水系统采用 ABS 塑料管道,因其材质韧性差、吸湿等特点,长期使用易发生法兰脆裂,弯头、变径断裂等故障情况,且停水维修工期长,不利于维护管理。

各除湿机组冷却水流量分配不合理。厂区每台或每两台(一用一备机组)除湿机供水管道上安装一台电子式流量平衡阀,因电子式流量平衡阀故障率较高,为确保除湿机正常运行,故障电子流量平衡阀被设为直通状态,未能起到限制流量、平衡阻力的作用。为满足全厂区除湿机组正常运行需求,启动运行更多水泵,导致冷却供水管网总流量增大^[12-14]。

水泵出水口止回阀动作不可靠。安装于冷却供水泵出水口的防水锤双保护止回阀已安装使用多年,止回阀内部锈蚀、橡胶密封件老化严重。日常运行使用中,多次出现止回阀阀芯卡滞不动作问题——启泵时止回阀未打开,或停泵时止回阀未关闭。必须关停对应水泵和手动蝶阀后再对故障的止回阀进行维修^[15],无法满足自动模式运行条件。

改进厂区冷却供水系统主要是针对以上问题,在将 ABS 管道更换为不锈钢管道,维修更换止回阀、电子式流量平衡阀,合理设置各空调、除湿机组冷却供水流量的基础上,重新设计控制系统程序,以实现基于变频器的管网恒压控制、水泵自动轮换运行、系统参数的灵活设置,消除设备故障对系统自动运行的干扰,提高系统的鲁棒性。

2 智能控制系统设计

在现有控制柜硬件基础上,针对存在的问题,重新进行程序设计,以实现厂区冷却供水系统的智能化控制。采用变频恒压供水方式,自动模式下各水泵进行自动轮巡,管网压力和水泵使能状态可以根据系统运行和维护需要灵活设置,同时优化各水泵运行状态显示和触摸屏功能画面。

2.1 管网恒压控制功能设计

管网恒压控制功能包括两个关键点:一是加减泵控制逻辑设计,用于实现冷却供水管网的恒压控制和水泵启动过程中的平稳加载;二是管网压力参数设计,用于确保所有用水设备冷却水量充足前提下的经济运行,实现绿色节能。

2.1.1 加减泵控制逻辑设计

将厂区冷却供水系统水泵分为 3 组:主泵 A 组、主泵 B 组和辅泵 C 组。自动模式下,主泵 A 组和辅泵 C 组工频运行,主泵 B 组在变频器控制下变频运行。

自动模式下加减泵控制逻辑如图 2 所示^[16-17],切换到自动模式后,辅泵 C 组中 1 台工频运行,主泵 B 组中 1 台变频运行,主泵 A 组用于加减载。当压力达不到阈值 P_0 (根据实验数据设定),而频率又大于某一阈值 f_0 (设定为 47 Hz) 持续 n_0 秒,按顺序将主泵 A 组中 1 台置为工频,若条件仍然满足持续 n 秒,继续加泵,直至主泵 A 组全部工频运行;若管网压力超过阈值 P_1 (设定为 $P_0 + 0.03$ MPa),而频率小于 f_1 (设定为 10 Hz) 持续 n_1 秒,则将主泵 A 组中工频运行时间最长的一台停止,若条件仍然满足继续减泵。

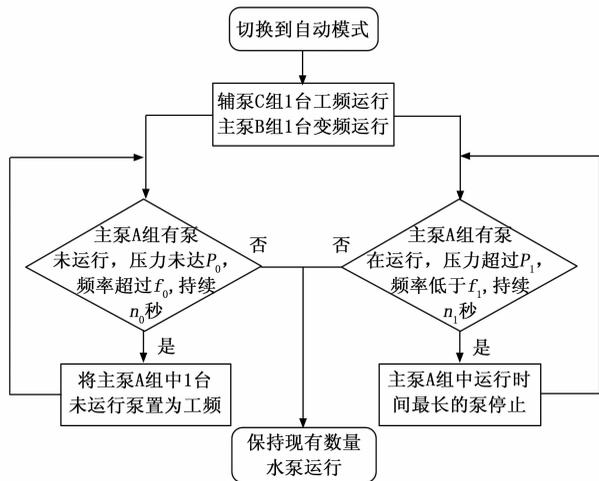


图 2 自动模式下加减泵控制逻辑图

自动模式启泵时首先工频启动小功率辅泵可以较快地排出管内空气，将管网充满，又能避免管网内流速剧增，避免形成启泵水锤，对管网薄弱环节造成破坏。

经实际验证，将主泵 A 组水泵加载时间 n_0 设置为 20 s、减载时间 n_1 设置为 10 s 可以使冷却供水管网压力在水泵机组轮巡倒泵和用水设备增减时的波动幅度小、持续时间短，不影响用水设备的正常运行。

2.1.2 管网压力参数设计

设计通过触摸屏手动设置的压力值功能，为避免操作人员误操作，通过触摸屏手动设置的压力值须在 0.00 ~ 0.90 MPa 范围内，否则采用默认设定值。默认压力设定值应能满足全年各季节系统正常需求，可由炎热潮湿季节的实验数据得到。

于炎热潮湿季节在自动模式下设置不同管网压力，记录对应的管网流量、运行水泵数量、变频器输出频率、厂区冷却供回水温差及除湿机组和冷却塔运行情况见表 1。

表 1 不同工况下厂区冷却供水保障情况

序号	管网压力/MPa	运行水泵数/台	管网流量/(m ³ /h)	变频器输出/Hz	供回水温差/℃	除湿机运行	冷却塔运行
1	0.30	3	549	44	5.3	偶发高压报警	正常
2	0.32	4	578	10	5.1	正常	正常
3	0.34	4	608	36	4.9	正常	正常
4	0.36	5	640	25	4.8	正常	正常
5	0.38	5	651	47	4.5	正常	正常
6	0.40	6	698	40	4.3	正常	溢流

由表 1 可知，设置管网压力越高则启动水泵数量越多、管网流量越大，管网压力 0.40 MPa 时流量接近 700 m³/h 超过冷却塔额定流量造成溢流；设置管网压力越低则启动水泵数量越少、管网流量越小，管网压力 0.30 MPa 时流量不足 550 m³/h，造成部分区域除湿机组因冷却水量不足偶发冷却系统“高压过高”故障。管网压力低至 0.34 MPa 时

厂区各除湿机组运行情况良好，供回水温差 4.9 ℃ 与冷却塔冷却能力（进出水温差约 5.0 ℃）接近，且运行水泵和备用水泵比例合理，因而将 0.34 MPa 作为控制程序默认设定值。设定的压力值经过转换后用于 PID 控制，程序设计中采用西门子 S7-200 编程软件自带的 PID0_INIT 程序块，PV_I 为压力反馈值，Setpoint_R 为压力设定值，Auto_Manual 为变频器运行的启动信号，Output 为变频输出值，即变频器变频运行的外部给定模拟信号^[18-19]。

当季节更替时，可根据厂区外部环境温湿度变化灵活设置管网压力。例如在冬季外界气温低、空气干燥，外部空气温湿度与厂区内要求差别不大，除湿机组不需要满载运行即可保证厂区内温湿度，此时可配合各流量平衡阀参数调节，适当降低管网压力、减少流量，从而降低负载功率，达到进一步节能的目的，详见本文 2.5 节。

2.2 自动轮巡功能设计

自动轮巡功能用于延长水泵使用寿命。水泵长时间不间断运行会导致机械磨损和故障风险增加，而备用水泵长时间不运行会导致碳钢材质的叶轮和泵体容易产生腐蚀，机械密封也容易失效。为延长水泵使用寿命，使每台水泵均能够得到合理使用，设计水泵机组自动轮巡功能。

自动模式下冷却供水系统水泵轮巡控制逻辑如图 3 所示。

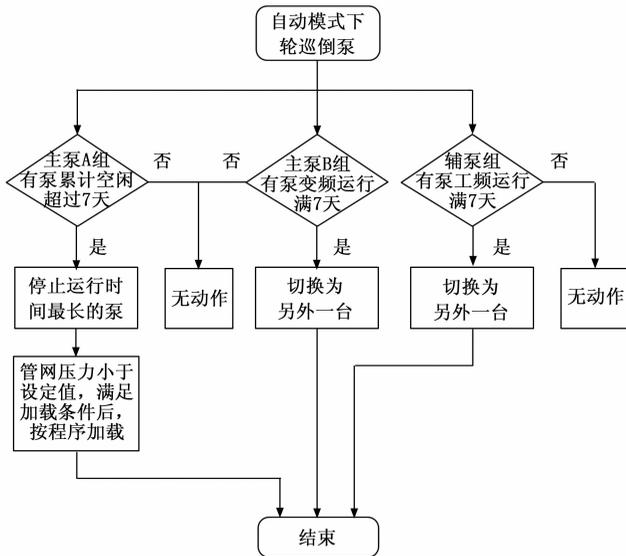


图 3 自动模式下水泵轮巡控制逻辑图

若主泵 A 组多台泵中有累计空闲时间超过 7 天的，则停止主泵 A 组中最先启动运行的泵，此时管网压力下降至低于设定值，满足加载条件后加载泵，空闲泵中按启动顺序轮到的泵投入运行，从而实现主泵 A 组轮巡倒泵。主泵 B 组两台泵中一台泵变频运行超过 7 天时，停止变频器输出和该水泵运行，切换至另外一台泵变频启动运行。辅泵 C 组中一台泵工频运行超过 7 天时，直接切换为另外一台运行。经实际验证，主泵 B 组和辅泵 C 组内水泵切换运行时均能在主泵 A 组加载水泵前恢复管网压力。

2.3 水泵使能状态功能设计

水泵使能状态功能用于灵活控制单台水泵的启停。当某台水泵或水泵出水口止回阀出现故障时, 原控制系统需要停止该区域冷却供水系统运行并切换至手动模式进行处理, 影响冷却供水系统稳定运行和该区域环境保障。当上述故障发生时, 为实现检修时不中断冷却供水系统自动运行, 设计通过触摸屏禁用单台水泵的功能。

触摸屏禁用主泵 B 组或辅泵组中一台, 若该泵正在运行则切换为同组中另外一台, 否则无动作; 禁用主泵 A 组中一台, 若该泵正在运行, 停止该泵, 停止后因管网压力低于设定值, 程序按加减泵控制逻辑自动加泵; 否则不做处理, 无动作。

以主泵 B 组即 3#、4# 泵为例, 如图 4 所示, 3#、4# 泵故障 (V2.7、V3.0 接通) 或者操作人员在触摸屏将 3#、4# 泵设置为禁用状态 (M20.2、M20.3 接通) 时, 将 3#、4# 泵变频运行和工频运行均置 0, 停止泵运行, 同时将 3#、4# 泵故障或不使能状态位 M12.2、M12.3 置 1。

按自动模式下触摸屏禁用泵控制逻辑, 被禁用的 3# 或 4# 泵正在运行时, 应切换为组内另一台泵变频运行。在调试运行中发现, 若不停止变频器输出而直接切换 3#、4# 泵, 变频器报“F0001”过流故障停机^[20]。因而参考按时间轮流倒泵的流程, 对 3#、4# 泵切换运行功能程序段做修改。

按时间轮流倒泵的流程为: 3# 或 4# 泵累计变频运行 10 080 分钟后计数器 C20 接通, C20 接通导致 M5.1 接通, 进而导致 T37 断开, 从而断开 3#、4# 泵和变频器运行; C20 接通同时还导致计时器 T32 开始计时, 0.5 s 后 C0 增加 1, 实现 3#、4# 泵的切换。参考以上控制逻辑, 在网络 12、13、14 中增加常闭触点 M12.2 和 M12.3, 在 3#、4# 泵同时故障或被设为禁用时, T37 停止计时, 停止 3#、4# 泵变频输出和变频器运行, 在 3#、4# 泵中一台恢复正常后, T37 开始计时, 2 s 后恢复正常的泵开始变频输出, T38 开始计时, 再过 2 s 变频器运行。

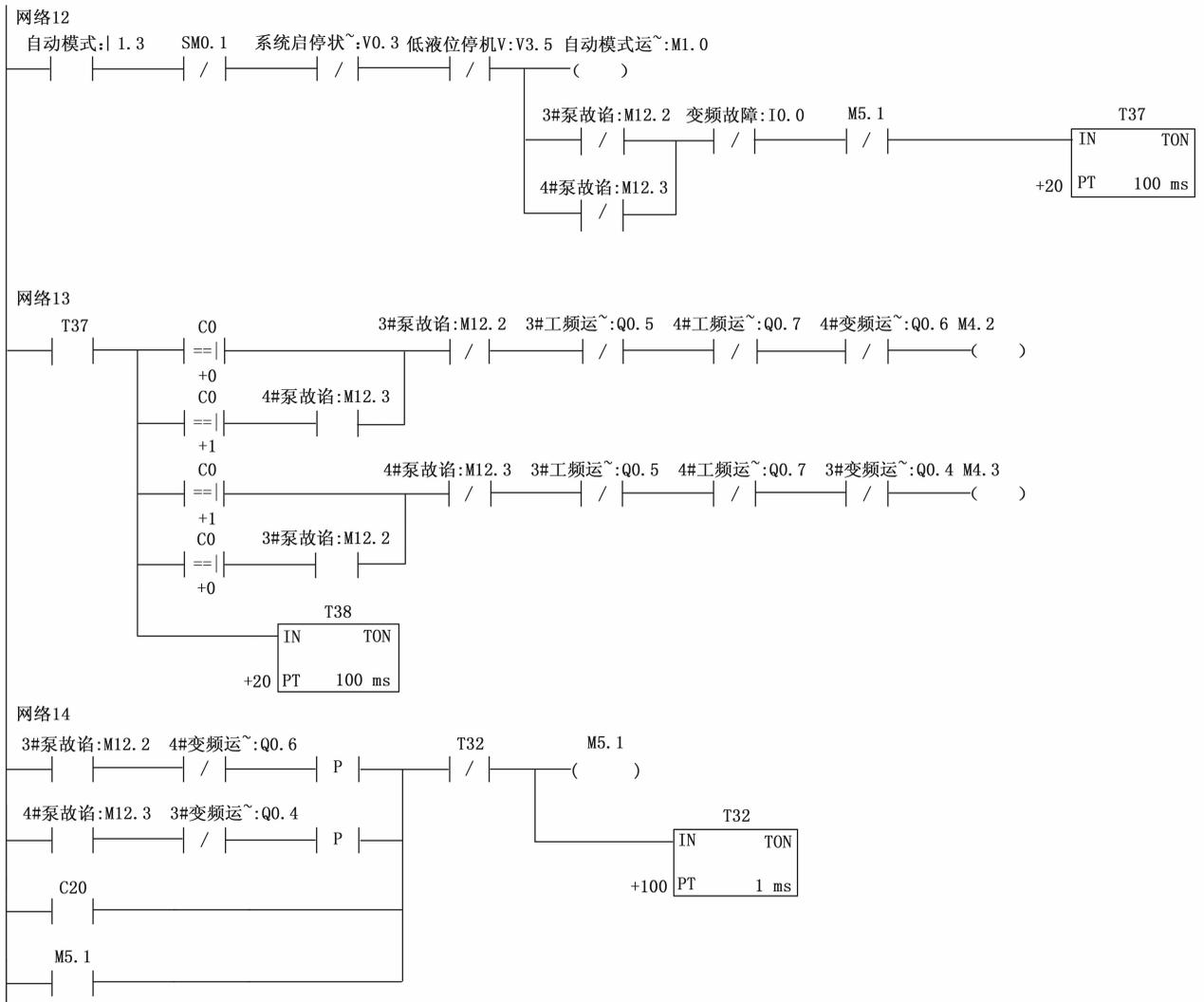


图 4 B 组泵切换运行功能程序段

2.4 水泵加载条件优化设计

水泵加载条件优化用于解决变频器输出异常情况下，管网压力未达到设定值而工频运行主泵不加载的问题。在系统试运行期间，当电源电压波动较大时，变频器报“F0001”过流故障停机无输出频率；当 3#、4#变频运行主泵同时出现故障或设为禁用状态，变频器输出频率为 0 Hz。以上两种情况均不满足变频器输出频率大于 47 Hz 的工频运行主泵加载条件，造成管网压力未达到设定值而工频运行主泵不加载。

修改后的工频运行主泵加载条件程序段，使系统在 3、4#变频运行主泵同时故障或变频器因电网波动等原因出现故障时仍能加载工频运行主泵以保持冷却供水管网压力。此外，压力反馈值 VD474 为压力传感器连续 256 个瞬时值的平均值，避免压力传感器及其线路受干扰时压力反馈值突变，导致 T39 计时中断，使得工频运行主泵无法加载。

2.5 触摸屏功能优化设计

厂区冷却供水系统选用西门子 Smart 700 IE V3 型触摸屏，用 WinCC flexible SMART 绘制厂区冷却供水变频恒压系统监控界面如图 5 所示。

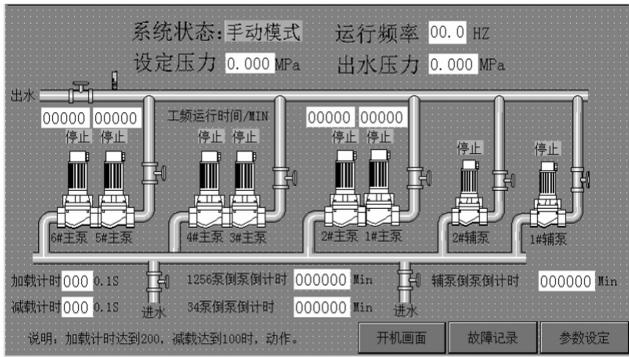


图 5 冷却供水变频恒压系统监控界面

监控画面绘制了冷却供水系统流程图，各水泵编号和相对安装位置一目了然，避免操作人员的误判。画面主要显示各水泵运行状态、系统工作状态、变频器运行频率、设定压力、实际出水压力等参数信息^[21-23]。出现设备故障时，点击“故障记录”按钮，可以查看故障信息，便于排查水泵或控制柜故障。点击“参数设定”按钮，在登录界面输入用户名和密码后可以进入参数设定界面，如图 6 所示。

在参数设定界面操作人员可以灵活设置各水泵的使能状态、管网压力及巡检和 PID 控制相关参数。在自动运行模式下，单台水泵或出水口止回阀故障须停泵检修时点击“泵检修参数”中对应水泵使能的“禁止”按钮，即可停止该水泵运行，人员开展后续设备检修工作，系统仍保持变频恒压供水状态；在冬季外界气温低、空气干燥、除湿机组运行负荷小时，适当调低管网压力值仍可满足全厂区用水设备冷却水量需求，这样可以减少系统能耗，通过参数设定中的“设定压力”功能即可实现。



图 6 冷却供水变频恒压系统参数设定界面

3 功能验证

该厂区冷却供水系统于 2023 年 1 月通过竣工验收并实现变频恒压供水自动模式运行，截至目前已稳定运行 10 个多月。系统改造更新前，管网压力常年维持在 0.39 MPa，水泵运行数量 6 台，改造后管网压力为 0.34 MPa，水泵运行数量 4 台，系统管网压力降低 0.05 MPa，冷却供水泵组半年能耗从 51.7 万 kW·h 降低到 39.5 万 kW·h，节能约 23.6%；系统改造更新前，每年有 3 至 4 次因水泵、管道或阀门故障须全厂区停泵维修，改造后，未发生因水泵、管道或阀门故障全厂区停泵情况，系统鲁棒性明显增强；系统改造后可设置参数数量由 3 个增加到 15 个，系统控制灵活性得到增强。上述功能经过实际验证大幅提高了系统运行效能，基本实现了智能化控制和绿色节能目标。改造前后运行效果对比如图 7 所示。

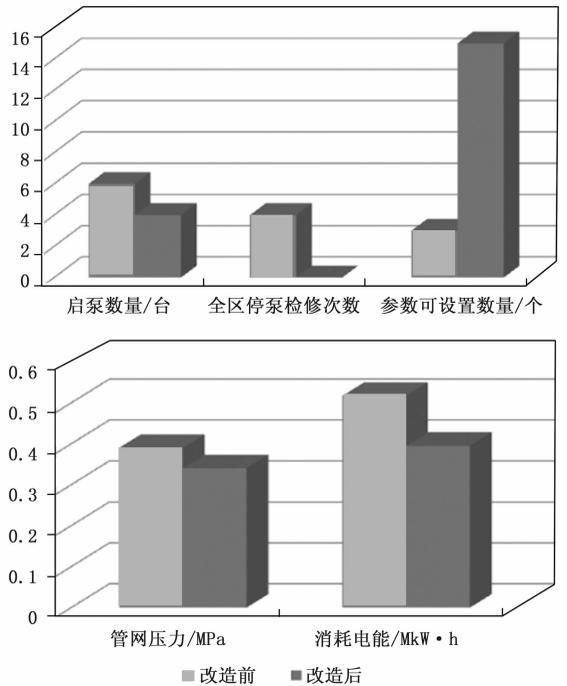


图 7 改造前后运行效果对比图

4 结束语

为提高厂区环境保障效率、降低运行能耗, 本文针对管道压力不稳定、流量分配不合理、止回阀动作不可靠和控制程序功能不完善等问题, 对冷却供水管网进行改造更新, 对控制系统程序进行重新设计。升级后的冷却供水系统能够实现自动模式运行, 在该模式下通过加减泵和变频控制, 可以将管网压力始终稳定在设定压力, 避免了冷却用水状态变化导致的管网压力波动; 当系统出现局部故障时, 例如单台水泵或止回阀故障, 可以单独禁用该故障设备, 不需要将整个冷却供水系统切换至手动模式从而导致整个系统运行中断, 减少了除湿机组运行状态转换, 减少了局部设备故障对整个系统运行的干扰, 提高了系统的鲁棒性; 另外还设计了水泵自动轮巡、加载条件优化等功能, 实现了基本的智能化控制功能。在运行过程中, 还应注意重冷却塔的使用维护, 确保散热效果, 降低水库水温, 使冷却供水系统能够以较少的流量保障各除湿机组正常运行。下一步将继续开展水泵和止回阀状态反馈、管网末端压力反馈、冷却塔运行动态调节等内容研究, 进一步提高系统智能化水平, 持续提高系统运行效能。文中的控制程序设计思路可应用于其它变频恒压循环供水系统, 具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 贺文娟. 变频恒压供水技术在加压站中的应用 [J]. 现代工业经济和信化, 2023 (5): 169-170.
- [2] 王 彤, 刘力嘉, 曹仙桃, 等. 全变频控制恒压供水设备技术探讨 [J]. 中国给水排水, 2023, 39 (4): 42-46.
- [3] 陆 卫, 陈 晨. 基于模糊预测控制技术的变频恒压供水系统设计及实验研究 [J]. 科学技术创新, 2023 (3): 193-196.
- [4] 严 清. 地铁车站空调冷却水变流量控制策略研究 [J]. 暖通空调, 2020, 50 (s1): 15-18.
- [5] 张少晨, 余伟之, 夏三县, 等. 地铁车站空调冷却水系统节能控制策略研究 [J]. 节能, 2022, 41 (9): 22-24.
- [6] 赵 靖, 杜亚慧. 基于遗传算法的中央空调水系统动态调节控

(上接第 144 页)

- [16] 尚林林, 周 盼, 赵 鹏. 应用于电源监控芯片的高精度、低功耗 RC 振荡器设计 [J]. 电子技术应用, 2022, 48 (10): 43-47.
- [17] 周新民, 罗文敏, 刘俊杰, 等. 联盟链视角下基于 II WPSO-BP 的信息安全风险预测模型 [J]. 中国安全科学学报, 2022, 32 (8): 52-60.
- [18] 赖丹晖, 罗伟峰, 黄建华, 等. 基于业务调用认证登录接口的电网信息防泄漏技术 [J]. 中国电力, 2022, 55 (8): 184-189.
- [19] 张 琳, 魏新艳, 刘茜萍, 等. 基于协作信誉和设备反馈的物联网边缘服务器信任评估算法 [J]. 通信学报, 2022, 43 (2): 118-130.
- [20] 赵丙镇, 陈智雨, 闫龙川, 等. 基于区块链架构的电力业务交

- 制研究 [J]. 建筑热能通风空调, 2021, 40 (10): 1-6.
- [7] 侯圣语. 基于 PLC 的变频调速恒压供水技术应用研究 [J]. 科学技术创新, 2023 (13): 209-212.
- [8] 刘叶新. 水电站地下式厂房空调水系统取水温度计算与调控方案分析 [D]. 重庆: 重庆大学, 2021.
- [9] 淮文军, 许晓伟, 吴伟伟, 等. 基于 S7-200 Smart 和 V20 的恒压供水系统优化设计 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2021 (5): 45-51.
- [10] 侯志华, 万 川, 葛 帅, 等. 发电机定子冷却水泵切换不成功原因分析及处理 [J]. 水泵技术, 2020 (2): 32-37.
- [11] 李小周, 惠治国, 张言禾, 等. 泵站供水工程停泵水锤分析及防护方案 [J]. 给水排水, 2022, 48 (s1): 969-974.
- [12] 胡 钦. 空调水系统水力平衡调试及运行优化控制方法 [D]. 成都: 西南交通大学, 2023.
- [13] 庾健文. 关于空调水系统同程式与异程式输配管网适应性的探讨 [J]. 低碳世界, 2022 (7): 97-99.
- [14] 陶端佑. 空调水系统如何应用平衡阀 [J]. 山西建筑, 2021 (16): 36-40.
- [15] 张汉林, 张清双, 胡远银. 阀门手册——使用与维修 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [16] 陈远启. 智能变频恒压供水系统的应用研究 [J]. 机械管理开发, 2022 (6): 193-194.
- [17] 陈经艳. 基于 PLC 和触摸屏的变频恒压供水系统设计 [J]. 软件, 2022, 41 (3): 23-25.
- [18] 韩相争. 西门子 S7-200 SMART PLC 编程技巧与案例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2017.
- [19] 李庆勇, 冀国栋, 邵永生. 基于 PLC 的 PID 调节实现煤气稳流节能 [J]. 山东冶金, 2023 (2): 76-77.
- [20] 张振宇, 汪光森, 王 康, 等. 六相直线感应电机模糊间接矢量控制 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (10): 108-114.
- [21] 章良明. 恒压供水系统故障诊断与处理 [J]. 机电工程技术, 2022, 51 (11): 273-277.
- [22] 刘 刚. 浅谈煤矿井下水泵运行状态监测系统 [J]. 江西煤炭科技, 2015 (3): 89-91.
- [23] 李先山. 变频恒压供水系统设计与实现 [J]. 当代农机, 2021 (9): 38-39.
- [24] 易数据隐私保护 [J]. 电力系统自动化, 2021, 45 (17): 20-26.
- [21] 罗华伟, 王立娜, 吴昌龙, 等. 含电池储能的直流配电网振荡抑制有源阻尼控制及参数计算方法 [J]. 电网技术, 2022, 46 (11): 4403-4414.
- [22] 刘 涛, 刁金玉, 宋战锋, 等. 基于多核并行计算的永磁同步电机有限集模型预测控制策略 [J]. 电工技术学报, 2021, 36 (1): 107-119.
- [23] 李振宇, 丁 勇, 袁 方, 等. 基于 IPv6 网络的移动目标防御与访问控制融合防护方法 [J]. 计算机研究与发展, 2022, 59 (5): 1105-1119.
- [24] 刘宁春, 郜 帅, 侯心迪, 等. 一种信息中心移动自组网中的数据访问控制机制 [J]. 北京邮电大学学报, 2021, 44 (2): 54-60.