

# 水源热泵系统自动控制设计与节能应用研究

万浩平, 杨楠

(江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029)

**摘要:** 鄱阳湖模型基地水源热泵空调自动控制系统由上位机监控系统、现场控制系统、数据采集系统3部分组成。本文简要介绍各部分的工作原理和设计方案, 提出了系统节能控制策略。系统设计合理、可靠, 能够达到较好的节能控制效果。

**关键词:** 水源热泵; 数据采集; 节能; 自动控制

**中图分类号:** TP273.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4701(2015)05-0391-04

## 0 引言

鄱阳湖模型基地采用水源热泵<sup>[1]</sup>为实验基地供冷供热。利用谭子湖水源为水源热泵系统供水, 热泵系统在换取热能后退回模型渠道。谭子湖内水量的稳定为水源热泵机组的稳定运行提供了保障。冬季在谭子湖水温不能满足机组运行的工况时, 使用土壤源耦合换热器, 以水为介质通过埋在土壤中的换热管吸收土壤中的热量, 提高冬季进入热泵机组换热的湖水水温, 保证冬季工况时机组的稳定高效运行。

为了保障水源热泵系统的高效稳定运行, 有必要建立一套水源热泵自动控制系统。该系统采用现代先进的计算机网络技术, 能够根据用户负荷需求, 自动调节系统在最高效的工况下运行, 以达到最大限度的节约电能。

## 1 自动控制系统设计

水源热泵自动控制系统实现冷热源站各种机电设备的自动控制和管理, 运用先进技术、合理地配置和有效的组合, 充分利用基于基地内湖渠道水源的热泵机组供冷供热, 在满足冷热负荷的情况下, 力求系统简单、控制方便、节能运行、可靠安全, 使整个冷热源系统发挥最佳节能优势, 获到最佳效率<sup>[2-3]</sup>。

系统采用集中控制的方式, 分为3个部分, 分别为上位机监控系统、现场控制系统、数据采集系统。系统整体结构框图如图1所示。

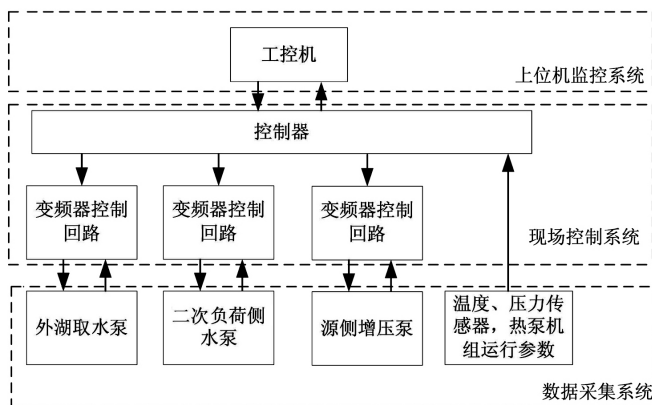


图1 水源热泵自动控制系统结构框图

### 1.1 上位机监控系统

上位机监控系统作为整个测控系统的核心, 负责系统所有数据的采集、计算、分析、发布, 对设备及系统能耗、效率、优化节能控制进行综合分析, 便于运行人员管理。系统设计及应用时, 需遵循以下各项要求:

(1) 系统的硬件和软件必须采用标准化、模块化和系列化的设计, 系统配置通用性强, 组态灵活, 控制功能完善, 数据处理方便, 人机界面友好, 安装、调试、维修方便;

(2) 上位机监控系统应具备第三方系统及设备的集成功能, 包括热泵机组、水源侧负荷侧温度压力监测系统。

(3) 节省能源, 系统设有节能程序, 在满足运行的前提下, 合理组织设备运行, 进行系统优化控制, 降低

运行费用,降低系统能耗。

(4)运行数据库,系统需设计历史运行数据库,可通过对历史数据的分析,提供运行优化策略,进一步降低能耗,提高系统节能效率。

(5)通过建设远程维护管理系统等技术手段,合理减少系统管理、维护的人员配置及工作量,提高系统运行的稳定性、可靠性、高效维护性。

鉴于组态软件在监控领域所具有的内在优势以及工控领域软件的发展水平,以及水源热泵自动控制系统主控软件的需求分析中所要实现的功能,决定在控制系统中引入监控组态软件技术来进行二次开发,作为主控软件。综合考虑软件特色、硬件配置以及软件性价比,测控系统主控软件选择了北京昆仑通泰的MCGS监控组态软件。系统主要监控内容如表1所示。

表1 系统监控内容

监控设备	监控内容
热泵机组	运行状态、压力状态、进出水温度、其它机组内部运行参数
水源侧	取水温度,取水流量
负荷侧	系统供回水温度、流量、供回水压力、压差旁通调节
源侧增压泵	启停控制、变频调节与反馈
负荷二次泵	启停控制、变频调节与反馈
水源侧泵	启停控制、变频调节与反馈

## 1.2 现场控制系统

现场控制系统由控制器、带变频器的控制回路组成。控制器与上位机通信,将现场采集到的温度、压力、流量以及热泵机组运行参数实时传输给工控机,工控机

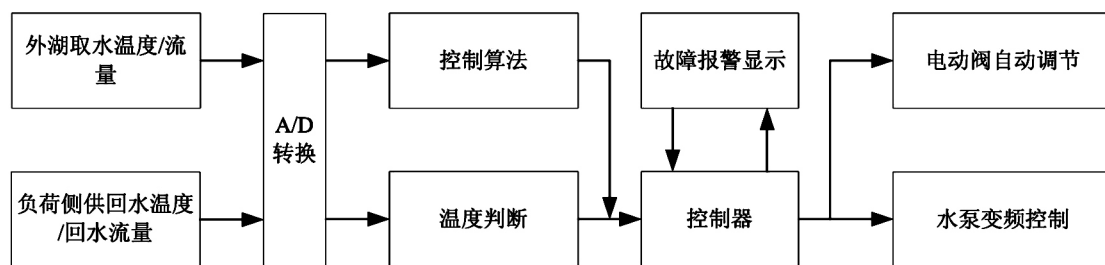


图2 现场控制系统结构框图

在对数据进行分析处理后,发出控制指令传回给控制器,由控制器对现场机电设备进行控制。控制器通过通讯总线,可分别对外湖取水水泵、源侧增压水泵、二次负荷侧水泵等进行启停控制及转速快慢控制。现场控制系统结构框图如图2所示。

控制器作为整个现场控制系统的大脑,选型时应满足以下几点要求:

- (1)以微处理器为系统执行基础、报警和监视程序;
- (2)自带供应时钟和备份数据,使用寿命5年以上的电池,当控制中心工控机不工作时,现场控制器可正常监控;
- (3)现场控制器包含对其自身软、硬件自测诊断程序;
- (4)应具有重新复位功能及断电保护功能;
- (5)达到UL标准的95安全等级及IP21的防护等级;
- (6)现场控制器的平均无故障时间MTBF应达10万小时以上。

经研究比较,控制器选用与热泵螺杆机组同一厂家的克莱门特W3000控制器。W3000控制器采用新型控

制系统,具有良好的人机界面,优良的控制调整功能、较强的扩展能力、监控管理能力和极强的兼容性。操作屏嵌入机组,方便操作、保护良好。全电脑自动控制,实现无人操作。直观LCD界面,多语言多菜单显示数据和参数调整,按照克莱门特传统,压机状态和参数另具有单独的直观显示,运转情况一目了然。

变频器选用ABB公司的ACS510变频器,ACS510是ABB公司的又一款杰出的低压交流传动产品,可应用于广泛的工业领域,特别适合风机水泵传动。系统共配备7台7.5 kW变频器,可分别对外湖取水口2台潜水泵、2台源侧增压泵、3台负荷侧二级泵进行变频控制。

鉴于外湖取水口离水源热泵系统机房距离较远,且布线不方便,采用无线远程通讯方式,一端连接于水源热泵系统机房工控机通信总线,另一端连接于外湖取水水泵房的ACS510变频器通信总线。

控制时,需将变频器分别设置于远程工作状态,否则变频器不能实现联机自动控制。只需按变频器控制面板左侧LOC/REM切换键,即可实现远控/就地转换。变频器在就地控制状态时,可按以下步骤设置远程控制

参数:①设置9802=1;②设置5302=1;③设置5303=9.6 Kb/s;④设置5304=1;⑤设置5305=0;⑥设置1001=10;⑦设置1102=0;⑧设置1103=8。

### 1.2.1 节能控制策略

水源热泵系统中主要耗能设备为两台420 kW热泵螺杆机组,7台7.5 kW水泵,约占系统总能耗的60%~65%。水泵工作时,所耗的电能可用式(1)计算:

$$W=Ph=\frac{\rho GH}{102\eta}h \quad (1)$$

式中, $W$ 、 $P$ 、 $G$ 、 $H$ 、 $\eta$ 、 $h$ 分别表示水泵机械的能耗,水泵的功率,水泵的循环流量,水泵的扬程,水泵电能转换成机械能的效率,水泵运行时间。

由上式可以知道,热泵螺杆机组、水泵所耗费的电能,与水泵流量、扬程以及运行时间成正比,与水泵转换效率成反比。可见,要降低上述热泵螺杆机组、水泵的运行电能消耗,可分别通过降低水泵循环流量、水泵扬程以及水泵的转换效率来实现。由于水泵扬程以及水泵的转换效率不能改变,因此只能通过降低系统的循环流量。系统运行时,根据当前的气温、水温 and 所需达到的温控,通过变频控制技术,使系统水流始终处于变流量运行状态下,达到节能控制的目标。

水泵转速与频率关系以及水泵转速与水泵功率关系分别如式(2)、(3)所示:

$$n=\frac{60f(1-s)}{p} \quad (2)$$

$$\frac{P_1}{P_2}=\frac{n_1^3}{n_2^3} \quad (3)$$

式中, $n$ 、 $f$ 、 $s$ 、 $p$ 、 $P$ 分别表示电机转速,电源频率,转差率,电机极对数,电机功率。通过式(2)、(3),我们可以看出,水泵的输出功率与频率的三次方成正比。当水泵运行频率从工频下降到45 Hz时,输出功率降低为原工频时输出功率的72%,节能效果非常明显。

系统负荷一次侧有2台3 kW水泵,未配变频器,但设有电动旁通阀,当系统末端控制中心、专家公寓、宾馆的使用负荷变化时,电动旁通阀自动调节开度,改变流经末端换热器的水量,使流量随负荷的改变而改变。电动旁通阀的作用就在于维持水源热泵机组运行的最小流量,其示意图如图3所示。

### 1.2.2 节能控制技术

当前,变流量运行模式主要有压差控制法和温差控制法两种<sup>[4-5]</sup>。压差控制法通过在供水管路和回水管路两端设置压力传感器,当两管路之间的压差发生变化且偏离原设定值时,控制器根据压差的变化值发出控制指令

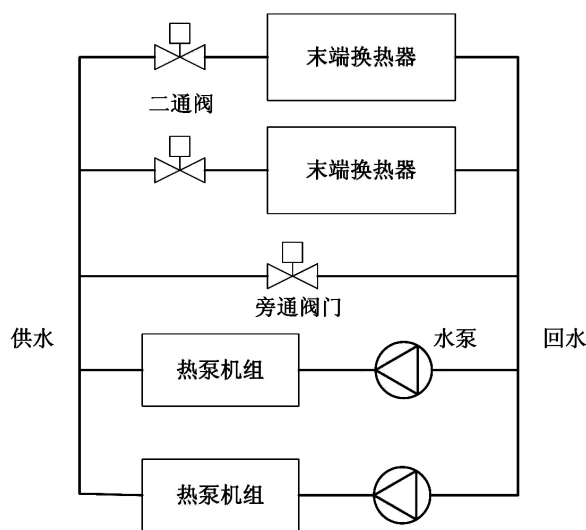


图3 负荷一次侧变流量示意图

给变频器,变频器随即自动改变频率,调节水泵转速以改变流量,使压差始终稳定在原设定值。压差控制法能够充分发挥水泵的运行效率,系统运行稳定,但由于未考虑系统的热力特性,对系统终端负荷变化反映迟缓,节能控制效果不明显。

温差控制法则通过在供水管路和回水管路两端设置温度传感器,当两管路水流温差一定时,流量与冷量成正比。可根据供回水管路水流温差的变化,控制水泵转速,改变系统循环流量。由于温差控制法考虑了系统的热力特性,可及时反映系统终端负荷的变化,因此节能控制效果明显。温差控制法的原理如图4所示。

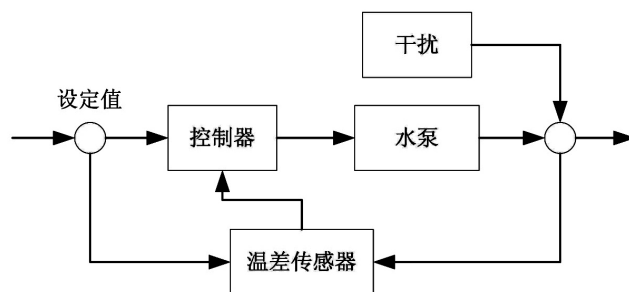


图4 温差控制系统原理图

由于温差控制法较压差控制法节能效果更好,系统决定采用温差控制法,根据系统终端负荷变化,实时控制水泵转速,改变系统循环流量。

### 1.2.3 控制算法

水源热泵系统是一个非线性、多变量的大系统,很难建立精确的数学模型,采用传统的工业控制算法如增量PID算法,往往很难取得满意的控制效果。近年,随着对控制原理的进一步了解,很多人提出过模糊自适应PID

算法。该算法模仿人们日常的手动操作经验,总结为控制规则,并设计装置来执行这些规则,从而实现对系统的有效控制。

模糊自适应PID算法,以偏差和偏差变化率作为输入,采用模糊推理确定比例参数,微分参数,积分参数,以满足不同时刻算法自我调整参数的要求。其结构如图5所示。

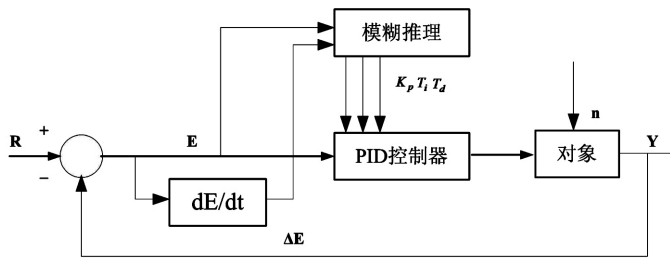


图5 模糊PID控制示意图

本系统的节能控制采用模糊自适应PID算法,以期达到最优节能效果。

### 1.3 数据采集系统

现场数据采集系统主要包括温度传感器、压力传感器、水流传感器以及智能流量计。系统通过传感器实时采集外湖取水进泵进水温度、流量,热泵机组供回水温度、压力,负荷侧供回水温度、压力以及负荷侧回水流量等信息,通过变送器传送给W3000控制器进行数据分析处理。

现场数据采集传感器的选型应满足以下几点:

(1)流量计响应速度快、稳定性好,抗干扰能力强,测量精度优于 $\pm 0.5\%FS$ ;

(2)电动调节阀门、水流开关、压力传感器、温度传感器等现场设备,要求是Honeywell、Siemens等优质的产品,精度满足控制的要求。

经对比,流量计选用上海富沃得公司的智能电磁流量计,电动调节阀、水流开关、温度传感器、压力传感器均选用Honeywell产品。

## 2 结论

本文阐述了鄱阳湖模型基地水源热泵系统的自动控制设计,简要介绍了自控系统各部分的工作原理及设计方案。针对系统的节能控制需求,提出了基于温差控制法,采用模糊自适应PID控制算法的变流量控制策略。试验运行表明,系统设计合理、可靠,达到了预期的节能控制目标。

### 参考文献:

- [1] 胡桂秋.水源热泵空调系统运行优化[J].节能,2012,31(5):55-56.
- [2] 刘世梅,何凤璟,孙云海.污水源热泵技术的应用实例及可行性分析[J].山西建筑,2008,34(18):195-197.
- [3] 万丽华,戴平,雷飞.大规模水源热泵系统的集中控制[J].能源技术,2002,23(4):142-143.
- [4] 肖向阳.地源热泵中央空调节能控制系统研究[D].湖南师范大学,2010:19-26.
- [5] 万丽华.深井回灌式水源热泵及其控制系统研究[D].华中科技大学,2003:24-26.

## Design and implementation of water source heat pump measure-control system and energy conservation application research

WAN Haoping, YANG Nan

(Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang 330029)

**Abstract:** The Water source heat pump measure-control system in Poyang Lake model base is composed of PC monitoring system, Field control system, Data acquisition systems. This paper briefly introduces the working principle, design scheme and raise the energy conservation control strategy. The design of the measure-control system is reasonable and reliable, can achieve better energy conservation control effect.

**Key words:** Water source heat pump; Data acquisition; Energy conservation; Automatic control

编辑:张绍付