

# 基于能量管理的多热源热水系统 监测与控制关键技术研究\*

杨前明,张亚军,李 亭,李 凯

(山东科技大学 机械电子工程学院,山东 青岛 266590)

**摘要:**针对太阳能空气源热泵多热源热水系统(SAMW)运行参数检测与控制技术要求,以系统最优能效比为设计目标,提出了基于能量管理的可视化远程监测与控制系统设计方法。采用“PC+PLC”为控制核心,以 CenturyStar 为平台,开发了系统监控软件,并构建了实验平台。测试结果表明:该监控系统运行稳定、可靠,能够对 SAMW 系统的工况参数进行自动监测、存储分析和过程控制,实现了 SAMW 系统对用能的合理调配,提高了系统热效率和技术文档管理水平。

**关键词:**太阳能空气源热泵多热源热水系统;可视化监测与控制;能量管理;热效率

中图分类号:TK323;TP273

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)07-0774-04

## Key technology of monitoring and control for solar air heat pump multi-heatsource hot water system based on energy management

YANG Qian-ming, ZHANG Ya-jun, LI Ting, LI Kai

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Shandong University of  
Science and Technology, Qingdao 266590, China)

**Abstract:** Aiming at the requirements of operation parameters detected and controlled for the solar air heat pump multi-heatsource hot water system(SAMW), a design method of the visualization remote monitoring and control (VRMC) system based on energy management has been put forward with taking the optimal energy efficiency ratio as the design goal. The experiment platform of VRMC system was constructed with PC and PLC as the control core, and its monitoring software was developed by CenturyStar. The test results show that the operation of the VRMC system is stable and reliable, and the operating conditions parameter of SAMW system can be automatically detected, stored, analyzed and controlled, so as to realize reasonable allocation of heat load, improve thermal efficiency and technical document management level.

**Key words:** solar air heat pump multi-heat source hot water system(SAMW); visualization remote monitoring and control(VRMC); energy management; thermal efficiency

## 0 引 言

以太阳能集热系统、空气源(地热源)热泵热水机组与余热回收等多热源有机组合的热水系统工程,由于其能效比高、组合灵活和易于安装实现等优点<sup>[1-2]</sup>,

近年来在建筑物热水与采暖工程、工业供热等技术领域获得了广泛的应用,受到了业内同仁的高度关注与认可。由于系统热负荷构成的多样性,如何综合考虑系统供热负荷与初投资、构成热源的性价比及系统运行成本、多种热源调配与运行策略则又是一项技术组

合与创新层面上的研究课题。

本研究在对大量国内外最新技术文献研究的基础上,给出太阳能空气源热泵多热源热水系统(SAMW)可视化远程监测与控制(VRMC)的设计方案。

## 1 SAMW 系统组成及其用能策略

### 1.1 系统组成

SAMW 系统组成原理如图 1 所示。该系统主要包括太阳能集热器、集热水箱、空气源热泵、电加热装置、余热回收装置、各类循环水泵、电磁阀、止流阀、管网及控制系统等部件,系统热源由太阳能集热系统(solar collector water system, SCWS)、空气源热泵热水系统(air heat pump water system, AHPWS)、余热回收系统(waste heat recovery system, WHRS)联合提供,电加热系统(electric heating emergency system, EHES)作为特种气候条件下的应急热源。

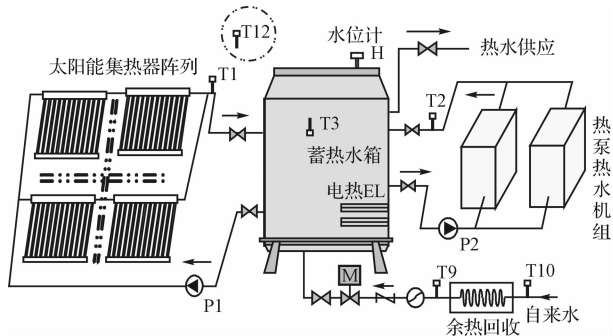


图 1 SAMW 系统组成示意图

### 1.2 用能策略

SAMW 系统的用能策略示意框图如图 2 所示。在 SAMW 系统热源中,一般将污水余热作为常态热源,太阳能作为优先使用热源,热泵热源作为主流热源,电加热作为应急热源;系统热负荷能力及其能效比取决于系统的多热源联合供热策略。多热源系统的用能要求为:以获得系统最佳能效比为目标,优先使用常态热源(废水余热)、太阳能;根据季节与气候条件及系

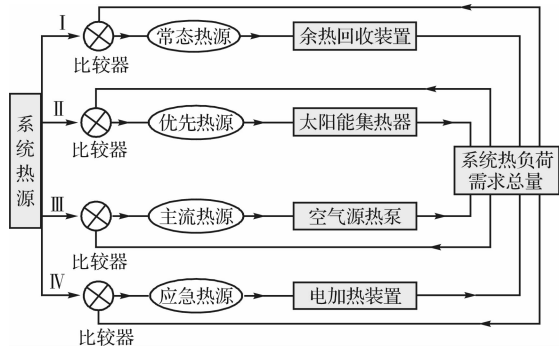


图 2 SAMW 系统用能策略示意框图

统热负荷供应目标,设定温度、时间等运行参数,合理调配使用系统热源构成及占比。

## 2 SAMW 系统 VRMC 实现方法

### 2.1 VRMC 系统组成

VRMC 系统监控原理结构图如图 3 所示。该系统主要由监控计算机(包括服务器端、客户端)、主控制器(可编程控制器 PLC,也可作为 PCI 数据采集与控制板卡等)、工业现场总线(如 RS485、CAN 总线)、电路器件(如继电器、接触器、断路器等)、信号检测元件(如温度、液位、功率、光照等传感器)以及 Internet 网络支持环境等单元组成<sup>[3-4]</sup>。

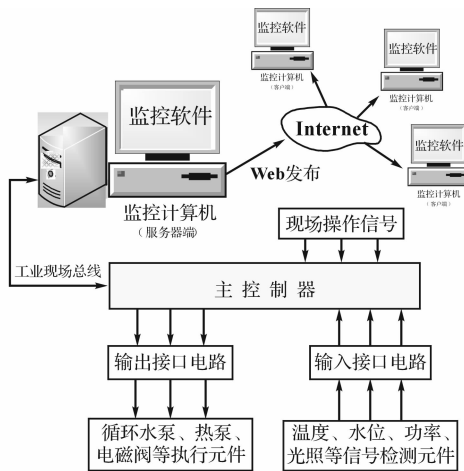


图 3 VRMC 系统结构原理图

现场监控计算机(服务器端)对主控制器运行状态进行可视化显示与过程控制,并通过 Internet 网进行 Web 发布,实现远程监控,工作人员可通过监控软件进行系统参数的相关设置。主控制器通过温度、液位、功率、光照度等检测传感器对系统运行与气候参数进行实时检测,并根据控制程序实施对循环水泵、空气源热泵等执行元件的启停控制。

### 2.2 多热源运行流程

SAMW 系统的 VRMC 监控流程如图 4 所示,各子系统根据用能策略,能量品位及其性价比有机协同,提供系统热负荷需求总量。

(1)SCWS 子系统。太阳能集热系统采用温差循环供热,当  $T_1 > T_3$  ( $T_1$ —集热器出口水温,  $T_3$ —水箱实际水温),且  $T_1 - T_3 \geq \Delta T_{P1on}$  时,循环水泵  $P_1$  运行,直至  $T_1 - T_3 \leq \Delta T_{P1off}$  时,循环水泵  $P_1$  停止。如此反复进行,直至  $T_3 \geq T_{set}$  ( $T_{set}$ —水箱设定温度)时停止。

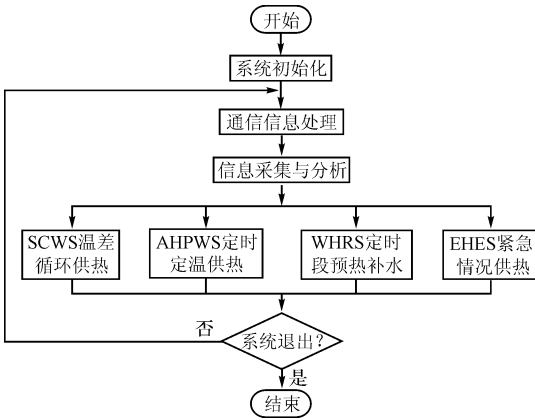


图 4 VRMC 系统控制流程

表 1 SAMW 系统中各热源系统的运行流程

子系统	SCWS	AHPWS	WHRS	EHES
子程序	温差循环供热	定时定温供热	定时补水预热	手动控制
运行条件	$T_1 - T_3 \geq \Delta T_{P1on}$ , $P_1$ 启动; $T_1 - T_3 \leq \Delta T_{P1off}$ , $P_1$ 停止;	$T_{12} \geq T_{HP}$ , $T_{30} \leq T_{set0}$ , HP 及 $P_2$ 运行; $T_3 \geq T_{set}$ , HP 及 $P_2$ 停止。	$t \in [t_1, t_2]$ , $H < H_{set}$ , M 开启; $H \geq H_{set}$ , M 关闭;	应急启动
执行元件	$P_1$	HP & $P_2$	M	EL
控制流程				手动控制

$T_1$ —集热器出口水温; $T_3$ —水箱实际温度; $T_{12}$ —环境气温; $\Delta T_{P1on}$ ,  $\Delta T_{P1off}$ —水泵  $P_1$  启动与停止设定温差; $T_{set}$ —水箱设定温度; $T_{HP}$ —热泵经济运行温度; $t_0$ —热泵设定开始时刻; $t_1, t_2$ —补水设定开始与终止时刻; $H$ —水箱实际水位; $H_{set}$ —水箱设置水位; $P_1$ —集热循环水泵; $P_2$ —热泵循环水泵;HP—空气源热泵热水机组;M—补水电磁阀;EL—电加热

### 3 监控软件设计

#### 3.1 软件结构与功能

SAMW 热水系统采用 CenturyStar 开发其监控软件,软件结构如图 5 所示。以数据库为核心,向上表现为人机界面(HMI,包括报表、趋势曲线、报警等)及 Web 发布、ODBC 数据源等应用,向下表现为现场设备的驱动程序(I/O Driver);监控软件通过 I/O Driver 和工业现场总线与主控制器进行通信,把主控制器采集到的系统运行参数进行实时显示和控制,并通过 Internet 网进行 Web 发布,实现远程监控;监控软件具有系

(2) AHPWS 子系统。空气源热泵热水系统采用定时段、定温度目标循环供热。在某时刻  $t_0$ ,当  $T_{12} \geq T_{HP}$  ( $T_{12}$ —环境气温,  $T_{HP}$ —热泵经济运行温度)且  $T_{30} \leq T_{set0}$  ( $T_{set0}$ —水箱设定在  $t_0$  时刻水温,  $T_{30}$ — $t_0$  时刻水箱实际温度)时,热泵 HP 及其循环水泵  $P_2$  运行,直至  $T_3 \geq T_{set}$  时停止<sup>[5-6]</sup>。

(3) WHRS 子系统。余热回收系统主要由板式换热器(或采用污水源热泵)在自来水通过时进行余热回收。

(4) EHES 子系统。电加热应急系统担负特种恶劣天气下,人工应急启动提供系统需求热负荷。

统运行参数存储、分析计算、绘制趋势曲线、能源管理等功能。

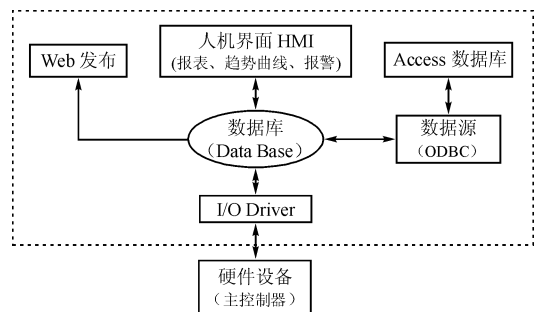


图 5 监控软件结构

## 3.2 软件开发过程

### 3.2.1 监控界面

在 CenturyStar 开发系统的浏览器里面,本研究通过图形控件、变量字典、系统配置等建立监控界面。监控界面<sup>[7-8]</sup>如图 6 所示。可实时显示系统的运行参数及对系统进行过程控制。

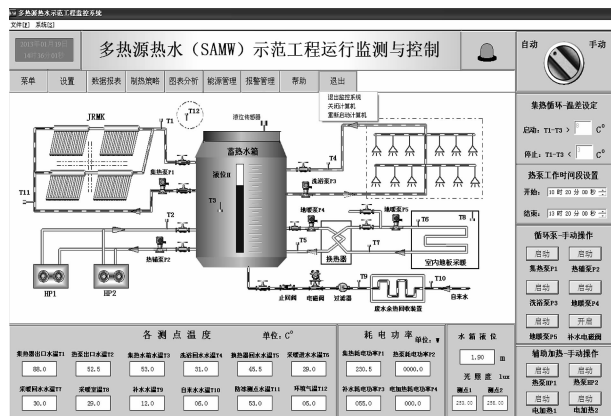


图 6 SAMW 系统监控界面

### 3.2.2 I/O 设备配置

该系统采用主控制器(如 PLC、PCI 板卡)完成底层数据采集和底层控制过程。主控制器通过工业现场总线(如 RS485、CAN 总线)与监控计算机通信。在 CenturyStar 开发系统的浏览器里面,通过“设备驱动”/“设备安装向导”,按提示即可完成主控制器 I/O 驱动程序的配置。

### 3.2.3 远程监控

监控软件可通过 Internet 网络进行数据的 Web 发布,实现对系统的远程监控。具体分为监控计算机连接上网硬件设置与监控软件 Web 发布服务器端和客户端软件设置两部分。

## 4 系统运行测试

该系统在中国东部城市青岛地区进行了运行测试,测试条件为:某年全年,年均气温 12.5℃,补水水温在 3℃~17℃之间,系统每天需提供 40℃热水 150 t。

测试结果如下:系统运行稳定可靠,供应热水及时

合格,节能效果显著,实现了对系统用能状态的实时监测和管理,提高了系统热效率和技术文档管理水平。

## 5 结束语

通过介绍 SAMW 系统的热源结构及用能策略,本研究以能源管理及最优能效比为设计目标,优化了各热源子系统的控制流程,给出了实现其可视化远程监测与控制的一整套开发流程;以“PC + PLC”为控制核心,借助 CenturyStar 平台开发监控软件,构建了 SAMW 系统的实验示范工程。

系统实际测试结果表明,本研究提出的设计方法合理有效,系统运行稳定,能够实现科学用能管理,具有良好的热性能与能效比。该系统为实现太阳能、空气能、污水废热等低品位能源的综合高效利用提供了设计参考依据。

### 参考文献(References):

- [1] 杨前明,李心灵,李亭,等.低品位多热源联供热水系统的节能分析[J].太阳能,2012(15):26-29.
- [2] 冯诗愚,胡伟,高秀峰,等.热泵辅助太阳能中央热水系统年运行特性研究[J].太阳能学报,2008,29(3):283-289.
- [3] YANG Qian-ming, ZENG Qing-liang, LIU Ting-rui, et al. Research on On-line Monitoring of Performance Parameters for Solar-Assisted-Heat Pump Machine[C]//ACRA2006. Korea:[s. n.],2006:739-742.
- [4] YANG Qian-ming, ZENG Qing-liang. CAT and C system design and experimental analysis of a solar heat pump multi-function machine[C]//2007 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments. Xi'an:[s. n.],2007:2595-2600.
- [5] 袁家普.太阳能热水系统手册[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [6] 孔祥强,李瑛,杨前明.太阳能热泵系统综合实验台的研制[J].实验室研究与探索,2010,29(6):18-20.
- [7] 赵廷林,张运真,青春耀,等.洗浴中心节能系统模式[J].可再生能源,2005,31(2):45-47.
- [8] 段朝霞,雷兵山.空气源热泵在学生浴室中的应用[J].建筑节能,2009(8):39-41.

[编辑:罗向阳]