

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.12.020

# 基于 S7-200 PLC 与 MCGS 的螺杆式 冷水机组控制系统\*

师 铎<sup>1</sup>, 陆广华<sup>2</sup>, 孙松丽<sup>2\*</sup>, 殷劲松<sup>3</sup>

(1. 江苏春兰动力制造有限公司, 江苏 泰州 225300; 2. 南京理工大学 泰州科技学院 智能制造学院, 江苏 泰州 225300; 3. 南京理工大学 泰州科技学院 工程训练中心, 江苏 泰州 225300)

**摘要:**针对中央空调系统高能耗问题,通过对系统结构及工作原理分析,以电子膨胀阀作为节流元件,针对系统节能与可靠运行的关键—电子膨胀阀的控制,提出了一种基于 S7-200 PLC 与 MCGS 组态监控的螺杆式冷水机组控制系统。采用增量型 PID 算法控制了电子膨胀阀开度,进而控制了制冷系统过热度,采用平衡负荷算法实现了压缩机四段容调能量调节。完成了控制系统的硬件设计、PLC 控制程序以及 MCGS 组态软件设计。研究表明,该控制系统人机交互界面设计友好,智能化水平高,性能可靠。

**关键词:**电子膨胀阀; PLC; MCGS; 螺杆式冷水机组; 能量调节

中图分类号: TP273; TB753

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2016)12-1523-06

## Control system for screw chiller based on S7-200 PLC and MCGS

SHI Duo<sup>1</sup>, LU Guang-hua<sup>2</sup>, SUN Song-li<sup>2</sup>, YIN Jing-song<sup>3</sup>

(1. Jiangsu Chunlan Power Manufacturing Co., Ltd, Taizhou 225300, China;

2. School of intelligent manufacturing, Taizhou Institute of Sci. &Tech., NUST., Taizhou 225300, China;

3. Engineering Training Center, Taizhou, Institute of Sci. &Tech., NUST., Taizhou 225300, China)

**Abstract:** Aiming at the heavy energy-consumption of the central air conditioning system, by analyzing the structure and working principle, it was clear that electronic expansion valve as throttling element and the control of electronic expansion valve were the key factor to achieve energy saving and reliable operation, a control system of screw chiller based on S7-200 PLC and MCGS configuration monitoring was designed. To control the superheat of refrigeration system, the incremental PID algorithm was used to control the opening of the electronic expansion valve. To realize compressor four section accommodation energy regulation, the balanced load algorithm was used. The hardware design, PLC control program and MCGS configuration software program design were completed. The results indicate that the control system has friendly man-machine interface, high intelligent level and reliable performance.

**Key words:** electronic expansion valve; PLC; MCGS; screw chiller; energy regulation

## 0 引 言

中央空调系统主要的耗能设备有空调主机、水系统拖动设备(冷冻水泵、冷却水泵和冷却塔风机)和风

机盘管拖动设备。主机是中央空调系统的主要耗能部件<sup>[1]</sup>。螺杆式冷水机组作为冷源中央空调系统的主机部分得到越来越广泛的应用,成为中央空调工程中应用最多的机型<sup>[2]</sup>,故其节能设计尤为重要。而节流

收稿日期: 2016-06-12

基金项目: 江苏省高校自然科学研究面上项目(14KJD460003); 泰州市科技支撑(工业共性关键技术)项目(TG201419)

作者简介: 师 铎(1975-), 男, 江苏丰县人, 工程师, 主要从事制冷设备研发方面的研究. E-mail: shduo@163.com

通信联系人: 孙松丽, 女, 高级工程师. E-mail: sunsongli75@163.com

装置的控制是满足制冷系统节能与可靠性的最为关键的因素<sup>[3-4]</sup>。

本研究以公司 CLLS380SL1K 型螺杆式冷水机组为例,采用电子膨胀阀作为节流装置,冷冻水出水温度和系统过热度作为控制参数,将基于平衡负荷算法的压缩机四段容调能量调节技术与基于增量型 PID 算法

的电子膨胀阀控制技术相结合,研究设计螺杆式冷水机组控制系统。

## 1 制冷系统工作原理

中央空调制冷系统的工作原理如图 1 所示。

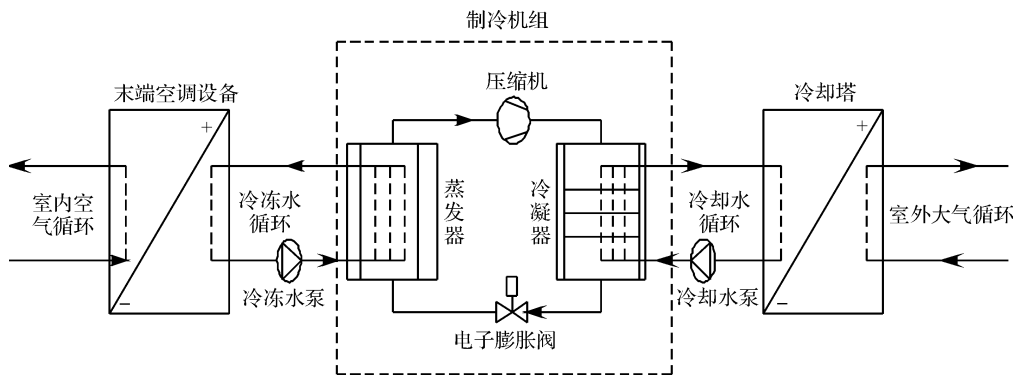


图 1 中央空调制冷原理图

相对于传统的毛细管或热力膨胀阀,电子膨胀阀的调节振荡小,能精确控制过热度,并能使蒸发器在很宽的工况范围内都处于很小的过热度下,使蒸发器的传热面积得到充分利用,具有明显的节能效果<sup>[5]</sup>。本研究的 CLLS380SL1K 型螺杆式冷水机组即采用 SEHI 型电动式电子膨胀阀作为节流元件。

空调制冷系统的四大部件中,只有实现四大部件协调有效的控制,才能保证系统节能和稳定运行。因此,该螺杆式冷水机组通过对系统温度、压力等重要参数的采集处理,将双螺杆压缩机变容量能量调节与电子膨胀阀 PID 控制技术相结合,实现系统的节能稳定运行。

## 2 螺杆式冷水机组能量调节

机组的能量调节主要通过压缩机的能量调节机构实现。控制系统首先检测冷冻水进水温度或冷冻水出水温度,并与设定值进行比较,然后发出能量调节指令,使机组制冷量增加或减少<sup>[6]</sup>。此处,采用冷冻水出水温度作为控制参数,并根据工程实际需要,将其目标值设定为 5℃。

### 2.1 四段式容调

该系统使用的复盛压缩机采用四段式容调系统,

由一个容调滑阀、3 个容调电磁阀与一组容调油活塞组成,为滑阀有级调节方式,可调节的范围有 25%、50%、75%、100% 四段。由于压缩机必须使负载降到最低才易启动,此时 25% 电磁阀通电打开,容调滑阀旁通空间最大,负载只有 25%,待 Y-Δ 启动完成后,压缩机才逐渐加载(一般启动 25% 负载运转时间约为 30 s),所以 25% 只用于启动和停止。因此,作为能量调节的有效段数为 3 段。随着启动程序的执行,会相应打开 50% 电磁阀或 75% 电磁阀,压缩机作 50% 或 75% 负载运转。当压缩机启动完成后,25%、50%、75% 电磁阀全部失电关闭,此时压缩机全负载 100% 运转。

### 2.2 平衡负荷算法

系统工作时,采用平衡负荷算法,将温度控制区分为加载区、保持区、卸载区和快速卸载区。以温度控制周期为单位,对冷冻进水温度进行采样并判断其所属区域,决定具体执行的能量调节动作,然后由 PLC 控制压缩机相对应的能量电磁阀来实现。

冷冻进入温度当前值  $> =$  设定温度 + 加载温差时,处于加载区;设定温度  $<$  当前温度  $<$  设定温度 + 加载温差,处于保持区;设定温度 - 快速卸载温差(急停温差)  $<$  当前温度  $< =$  设定温度,处于卸载区;当前温度  $< =$  设定温度 - 快速卸载温差(急

停温差),处于快速卸载区。以冷冻进水设定温度 12 ℃、加载温差 2 ℃、快速卸载温差 2 ℃ 为例,若当前温度 ≥ 14 ℃,进入加载区;12 ℃ < 当前温度 < 14 ℃,进入保持区;10 ℃ < 当前温度 < 12 ℃ 时,为卸载区;当前温度 < 10 ℃,则进入快速卸载区。

### 2.3 能量调节控制流程图

以制冷工作模式为例的能量调节控制流程图如图 2 所示。

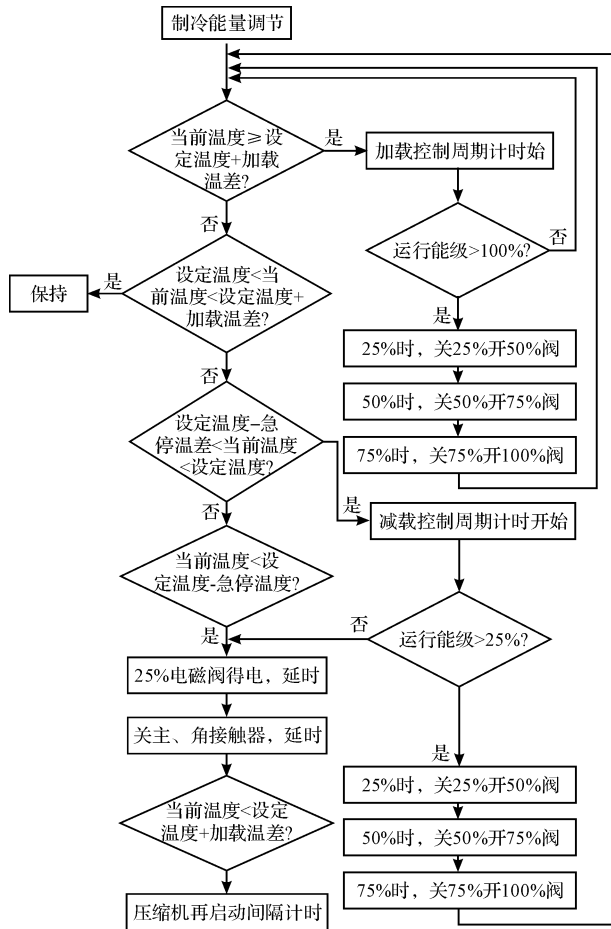


图 2 制冷模式下的能量调节控制流程图

## 3 电子膨胀阀控制

### 3.1 电子膨胀阀工作原理

本系统采用 SEHI 型电动式电子膨胀阀。这是由两相步进电机驱动的流量控制阀,总步数为 6 386 步,步进电机定子绕组的通电状态按照一定的逻辑关系每改变一次,转子便转过一个角度。改变步进电机定子绕组的通电顺序,转子的旋转方向

随之改变。

### 3.2 电子膨胀阀的控制算法

电子膨胀阀系统的控制参数为蒸发器出口过热度或者吸气过热度<sup>[7]</sup>。制冷系统中,制冷剂蒸气的温度高于同一压力下饱和蒸气的温度称为过热,两者温度之差称为过热度<sup>[8]</sup>。过热度控制是制冷系统控制的一个重要环节,过热度控制是制冷系统控制的核心环节。

为获取真实过热度,常用的检测方法是用一只压力传感器和一只温度传感器,分别检测蒸发器出口处压力  $p_2$  和温度  $t_2$ ,  $p_2$  即蒸发压力  $p_E$ ,将  $p_E$  折算成对应的制冷剂饱和温度即蒸发温度  $t_E$ ,计算  $(t_2 - t_E)$  之差即得过热度的值。

由于 PID(比例、积分、微分)调节具有控制精度高、适应性强等特点,用步进电机作电子膨胀阀的执行机构时,它输出的是每次阀的开度变化  $\Delta u_v(k)$ ,此时应采用增量控制。电子膨胀阀目前最常用的控制算法仍是传统的增量式 PID 控制<sup>[9]</sup>,增量型控制算法公式为:

$$\Delta u_v(k) = u_v(k) - u_v(k - 1) = K_p \{ e(k) - e(k - 1) + \frac{T_s}{T_i} e(k) + \frac{T_D}{T_s} [e(k) - 2e(k - 1) + e(k - 2)] \} \quad (1)$$

式中:  $u_v(k), u_v(k - 1)$ —采样  $kT, (k - 1)T$  采样时刻电子膨胀阀开度;  $e(k), e(k - 1)$ —采样  $kT, (k - 1)T$  时的目标过热度与实际过热度的偏差;  $K_p$ —比例调节系数;  $T_i$ —积分调节系数;  $T_D$ —微分调节系数;  $T_s$ —采样周期。

PID 参数整定,系统采用工程实践整定法,确定系统稳定运行时 PID 参数为:比例系数为 6、积分系数为 12、微分系数为 1。

在启动、关机、负荷变化较大等非稳定运行工况下,过热度控制方案需特殊处理。启动阶段由于过热度变化缓慢,会导致压缩机短时间内发生低压保护,可以设置阀门的最小开度以保证系统的正常启动<sup>[10-11]</sup>。另外还需对电子膨胀阀的开关速度进行控制。

### 3.3 电子膨胀阀的控制实现

该系统电子膨胀阀开度控制由独立的控制器完成,此控制器与 S7-200 PLC 主控制器通过 RS-485 通

信电缆相连。电子膨胀阀本体、吸气温度与吸气压力传感器、电子膨胀阀控制器以及电源共同构成吸

气过热度的闭环反馈调节系统。控制框图如图 3 所示。

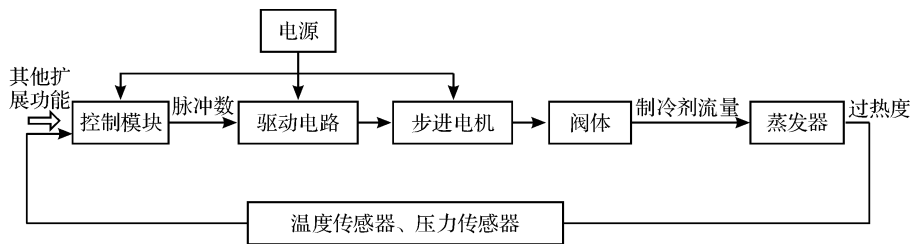


图 3 电动式电子膨胀阀对过热度的控制框图

## 4 PLC 控制系统设计

### 4.1 控制系统硬件架构

螺杆式冷水机组控制系统以西门子 CPU226 型 PLC 作为主控制器,为了增强控制系统通用性和柔性,电子膨胀阀采用独立控制器并通过 RS-485 与 PLC 进行通信,同时配有扩展模块以实现总体控制要求。控制系统的结构框图如图 4 所示。

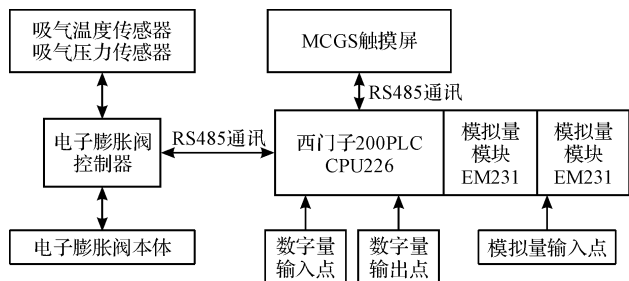


图 4 PLC 控制系统框图

PLC 的数字量输入、输出点地址分配如表 1 所示。模拟量输入点主要包括冷冻进水温度、冷冻出水温度、冷却进水温度、冷却出水温度、排气温度、机油温度。

表 1 I/O 分配表

数字输入量名称	地址	数字输出量名称	地址
压缩机高压保护 HP	I0.0	主接触器	Q0.0
压缩机低压保护 LP	I0.1	星接触器	Q0.1
压缩机过载保护 FR1	I0.2	角接触器	Q0.2
压缩机机内保护 K2	I0.3	25%电磁阀	Q0.3
油位开关	I0.4	50%电磁阀	Q0.4
压缩机压差开关 ΔP	I0.5	75%电磁阀	Q0.5
相序保护 K1	I0.6	机油加热	Q0.6

续表

数字输入量名称	地址	数字输出量名称	地址
冷冻水泵过载	I0.7	冷冻泵	Q0.7
冷冻水流量保护 SK1	I1.0	冷却泵	Q1.0
冷却水泵过载	I1.1	冷却塔风机	Q1.1
冷却水流量保护 SK2	I1.2	电子膨胀阀复位	Q1.2
冷却塔风机过载	I1.3	故障指示	Q1.3
外部连锁控制	I1.4		
远程开关 SB1	I1.5		
电子膨胀阀保护 K3	I1.6		

### 4.2 控制系统软件设计

梯形图在 PLC 中的应用非常广泛,通常各厂家、各型号 PLC 均将其作为第一用户语言<sup>[12]</sup>。该控制系统以梯形图作为编程语言,详细编写了系统控制、能量调节、温度采集转换、制冷制热、故障检测、故障处理等程序。

## 5 MCGS 监控系统设计

根据实际控制需求,本研究采用 MCGS 组态软件设计了上位机监控系统。该监控系统由菜单主页、主监控窗口、系统状态窗口、用户参数设置窗口、运行参数设置窗口、输出状态窗口、模拟量状态窗口、历史信息查询窗口、报警窗口等近 20 个用户窗口组成,以界面友好的画面实时显示系统运行状态,及时调整相关参数设置,获得了良好的控制效果。

### 5.1 监控画面设计流程

MCGS 实现用户窗口实时动画监控画面的主要设计流程是:①根据系统要求定义数据对象,建立实时数据库;②创建静态监控画面;③设置静态画面中的图元、图符等对象的动画属性并将其与实时数据库中的

数据对象连接,以实现监控画面的动态效果;④进行设备组态,完成与下位机 PLC 的实时通信<sup>[13-14]</sup>。系统制冷模式控制流程图如图 5 所示。

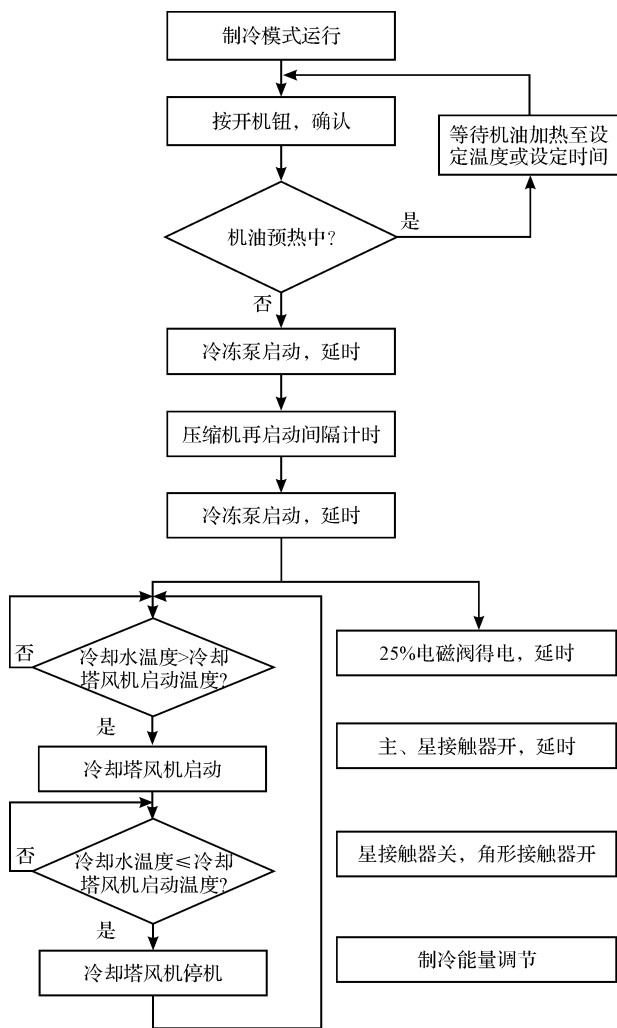


图 5 制冷模式控制流程图

创建的实时数据库如图 6 所示。

名字	类型	注释	报警
@beep_on_time	数值型	蜂鸣器限时鸣叫时长	报警
@cold_back_move	数值型	冷冻进水移动	
@cold_back_offset	数值型		
@cold_back_sensor	开关型		
@COLD_BACK_SENSOR_ERR	开关型	冷冻进水温度探头故障	开关量报警:报警值为1;...
@cold_back_temp	数值型	冷冻进水温度	
@COLD_OUT_COLD	开关型	冷冻出水温度过低	开关量报警:报警值为1;...
@cold_out_cold_normal	数值型		
@cold_out_cold_temp	数值型		
@cold_out_move	数值型		
@cold_out_offset	数值型		
@cold_out_sensor	开关型		
@COLD_OUT_SENSOR_ERR	开关型	冷冻出水温度探头故障	开关量报警:报警值为1;...
@cold_out_temp	数值型	冷冻出水温度	
@cold_pump_delay_stop	数值型		
@cold_pump_manual	开关型	冷冻水泵强制动作	
@COLD_PUMP_OVER	开关型	冷冻水泵过载	开关量报警:报警值为1;...
@cold_pump_start_delay	数值型		
@COLD_WATER_FAIL	开关型	冷冻水流量不足	开关量报警:报警值为1;...
@common_error_delay	数值型		
@comp_dir_move	数值型	冷媒流动	
@comp_min_run	数值型		
@comp_num	数值型		
@comp_preser	数值型		
@comp_restart_delay	数值型		
@comp_start_delay	数值型		
@comp_stop_delay	数值型	压缩机卸载延时	
@comp_current	数值型		
@comp1_error	开关型		
@comp1_full_set	开关型		
@comp1_grade	数值型		

图 6 MCGS 实时数据库

## 5.2 用户界面设计及实验运行测试

### 5.2.1 操作主页设计及实验运行测试

机组运行时操作主页界面显示如图 7 所示。



图 7 机组运行时操作主页界面显示

用户通过操作主页左下角的“开机”、“关机”按钮可实现开关机操作。为避免误操作,用户点击“开机”、“关机”按键后均会弹出确认提示窗,再次点击“确定”键后方可开机,点“取消”键则取消开机操作。该机组设计有 3 种工作状态:待机、运行、缓停。“开机”键在机组处于待机状态时有效,“关机”键在机组处于运行状态时有效,机组处于缓停状态时,“开机”和“关机”键均无效。若机油温度未到达设定值或加热时间不足 8 h,按“开机”键提示油预热。

### 5.2.2 其他用户界面设计及实验运行测试

其他用户界面主要有用户参数设置界面(用于设置系统主要的控制参数)、强制动作界面(用于机组调试、故障时强制开关冷冻和冷却水泵)、运行参数设置界面(用于设置时间参数、温度参数等)、系统状态界面、实时温度查询界面(用于了解系统温度、压力等模拟量值)、电子膨胀阀控制信息显示界面以及报警查询、历史数据查询、复位设计等。机组运行时系统电子膨胀阀界面如图 8 所示。

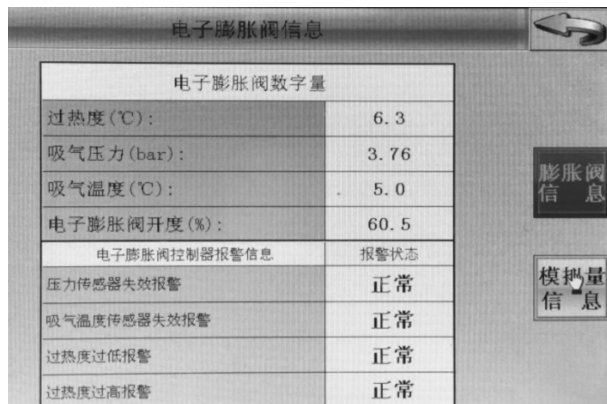


图 8 机组运行时系统电子膨胀阀界面显示

冷冻水进水温度、冷冻水出水温度历史趋势曲线如图 9 所示。

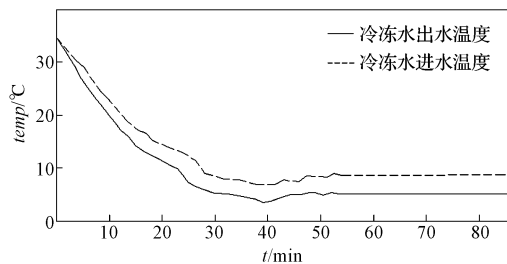


图 9 冷冻水进水温度、冷冻水出水温度历史趋势曲线

图 9 中,虚线代表冷冻水进水温度,实线代表冷冻水出水温度,横坐标表示时间,纵坐标表示温度。该趋势图表明系统在启动后,可以在较短时间内达到稳态,并实现连续、可靠运行。

## 6 结束语

本研究提出的基于 S7-200 PLC 与 MCGS 的螺杆式冷水机组控制系统,以 S7-200 PLC 作为主控制器,采用增量型 PID 算法并通过独立的专用控制器进行电子膨胀阀开度控制,获得了稳定的系统过热度,并与基于平衡负荷算法的压缩机四段容调的能量调节技术配合,实现了制冷系统冷冻水出水温度维持恒定工程需求值的控制目标。利用 MCGS 组态软件设计的多种用户界面,则实现了制冷系统的动态实时监控,包括控制参数设置、运行数据查询、故障诊断与报警等。

样机型式试验及多个工程实践应用项目表明,该控制系统运行可靠、人机交互界面友好、智能化水平高,可实现制冷系统节能、稳定运行。

## 参考文献 (References):

- [1] 李令言. 中央空调节能控制系统的研究与开发[D]. 合肥:中国科学技术大学工程科学学院,2011.
- [2] 王虎侠. 螺杆式冷水机组在空调系统中的应用分析[J]. 能源与节能,2011,16(7):82-83,86.
- [3] 张宁,沙陆,郭皓. 电子膨胀阀过热度控制技术的研究[J]. 制冷,2013,32(2):15-18.
- [4] 章晓龙,李征涛,陈忆喆,等. 电子膨胀阀对蒸发器过热度稳定性的影响[J]. 流体机械,2014,42(4):72-75.
- [5] 隋志蔚,杨前明,赵芳. 空调系统中电子膨胀阀(EEV) PID 控制技术探讨[C]. 2007 年山东省制冷空调学术年会论文集. 山东:山东省制冷学会,2007.
- [6] 邱世平,张玉柱,李智. 主厂房布置模块化设计优化[J]. 电力勘测设计,2006,13(1):54-59.
- [7] 朱瑞琪,陈文勇,吴业正. 电子膨胀阀的控制[J]. 流体机械,1998,26(5):20-25.
- [8] 吴业正. 制冷原理及设备[M]. 陕西:西安交通大学出版社,2009.
- [9] 江明旒,王如竹,吴静怡,等. 电子膨胀阀的应用领域及关键技术[J]. 制冷与空调,2009,9(1):100-104.
- [10] 王恕清. 计算开度法电子膨胀阀供液控制技术研究[J]. 制冷与空调,2012,12(3):116-121.
- [11] 张锐,李长春,杨雪松. 阀控液化伺服系统的辨识与优化设计研究[J]. 液压气动与密封,2014,34(3):19-22.
- [12] 陈建民. 电气控制与 PLC 应用[M]. 北京:电子工业出版社,2014.
- [13] 孙松丽,王荣林,张桂新. 基于 MCGS 的 PLC 仿真实训系统设计[J]. 实验室研究与探索,2015,34(1):87-91.
- [14] 梁生龙. 基于 MCGS 和 FX2N-20GM 的双轴伺服系统的研究与开发[J]. 机电工程技术,2015,44(11):94-97.

[编辑:周昱晨]

### 本文引用格式:

师 铎,陆广华,孙松丽,等. 基于 S7-200 PLC 与 MCGS 的螺杆式冷水机组控制系统[J]. 机电工程,2016,33(12):1523-1528.

SHI Duo, LU Guang-hua, SUN Song-li, et al. Control system for screw chiller based on S7-200 PLC and MCGS[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(12):1523-1528.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>