

变频恒压加油实验系统设计与实现

彭秀艳, 马忠丽, 刘 胜

(哈尔滨工程大学 自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 压力、流量控制是“过程控制”中重要的两大控制参数,是高校自动化专业学生学习过程控制的重要内容。结合机场飞机恒压加油工程项目,根据加油系统的性能指标采用变频调速技术,设计了一套基于可编程控制器(PLC)和WINCC的变频恒压加油实验系统。系统由电机-泵-管路系统、PLC控制器、基于WINCC的上位机监控系统组成。学生可以在系统上建立管路数学模型,设计自适应模糊PID变频加油控制算法,并可以采用PLCSIM系统仿真实验。

关键词: 电机-泵-管路系统;变频调速;恒压控制;可编程控制器;WINCC

中图分类号:TP23 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1672-4305.2017.03.002



Design and implementation of frequency conversion constant pressure refueling experiment system

PENG Xiu-yan, MA Zhong-li, LIU Sheng

(College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: The controls of pressure and flow are two important control parameters of “process control”, and an important part of the learning process control for the automation major students in colleges and universities. Combined with the airport constant pressure refueling project and according to the performance of the refueling system, with variable-frequency speed technology we designed a set of variable frequency constant pressure refueling experiment system which is based on PLC and WINCC. The system consists of the motor-pump-piping system, the PLC controller and the PC monitoring system based on WINCC. Students can establish pipe mathematical model, design the adaptive fuzzy PID frequency refueling control algorithm, and simulate by the PLCSIM system.

Key words: motor-pump-piping system; variable-frequency speed; constant pressure control; PLC; WINCC

“工业过程控制”是自动化等控制类专业的一门重要的专业课程,具有应用性强和工程实践背景强等特点,是培养学生成为卓越工程师过程中非常重要的一门课程^[1-2]。因此,将工程项目引入教学中,结合实际工程项目设计工业过程实验系统成为

研究热点。

针对现有机场加油系统存在的流量波动大、压力控制不精准、能源浪费大、效率低等问题^[3-4],本文设计实现了变频恒压加油实验系统。该实验系统包括系统方案设计、系统建模分析、控制器设计、工艺设计、系统实现、系统调试和参数整定等实验流程。针对加油系统中变量复杂多变,参数测定不精确,系统将“自适应模糊PID控制”应用于变频恒压加油系统中,借助于PID参数的在线模糊自整定,实时修改PID参数^[5-6]。并设计了基于PLC和WINCC的变频恒压加油监控硬件系统和上位机监控软件,实时显示管路压力流量值、压力流量变化趋势、历史数据、安全报警等。

基金项目:黑龙江省教育科学规划重点课题“‘协同育人’构建省域自动化专业创新型人才培养联盟”(项目编号:GJB1316017);哈尔滨工程大学教改项目“自动化专业核心课程群建设研究”(项目编号:JG2016B2D06)。

通讯作者:马忠丽(1974-),女,四川成都人,博士,副教授,主要研究方向:传感器与检测技术。

实验系统可以开展关于加油管路建模、加油管路特性分析、变频控制和参数整定等设计型实验。并可以采用PLCSIM系统仿真实验。也可以用于课程设计与毕业设计,锻炼学生的解决工程能力和创新能力。

1 实验系统总体组成

系统由监控层、控制与检测层、加油设备层三部分组成,各部分介绍如下:

(1) 监控层是系统人机交互层,使用者通过本层监控整个系统的运行情况并对整个系统发出控制命令,实现整个系统的恒压加油控制。主要由PC机、网络交换机、WINCC软件开发的监控系统组成。

(2) 控制与检测层是系统控制功能和检测功能的实现层。由系统控制核心PLC(可编程控制器)及扩展模块、外围电气控制电路、变频器、传感器等组成,实现整个系统的控制和数据采集功能。

(3) 加油设备层由电泵、管路、各类阀门、气压罐、油枪等组成,是系统的最底层,也是加油系统的最终实现层。监控层通过控制硬件设备层实现加油设备的控制,最终实现恒压加油。

变频恒压加油实验系统总体组成结构图如图1所示。

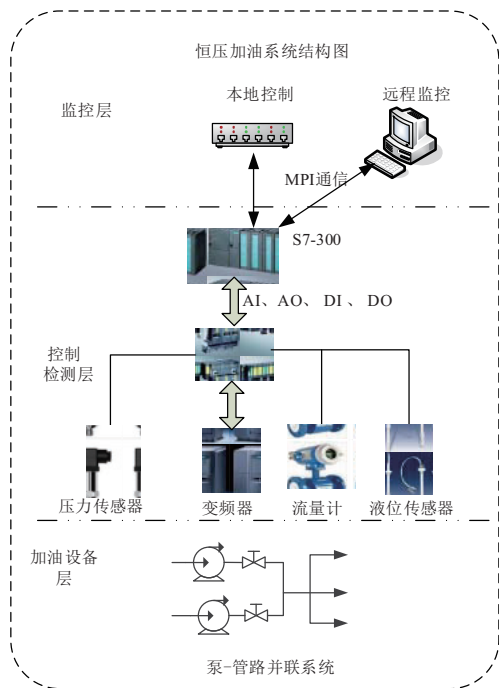


图1 恒压加油系统总体组成图

2 系统分析与建模

2.1 系统设计指标

已知机场现场条件是油库距离飞机加油点约为

150米,管路的垂直高度约为18米。要求机场加油系统最多能为12架飞机同时加油,加油平均流量范围为750~1200L/min,不管有无飞机加油,管路末端加油压力要求为0.4~0.80MPa之间。系统要实现流量范围大、压力控制快速精准、远程监控功能。系统要求采用管线制实现飞机加油替代传统的加油车加油。

图2为变频恒压加油系统框图,由PLC控制器、变频器、压力传感器、电气控制柜、油泵机组等组成的闭环控制系统。变频恒压加油系统在实现恒压加油过程中始终只有一台泵处于变频运行状态,通过对这一台变频泵进行变频调速实现压力从一种状态到另一种状态的恒压加油。

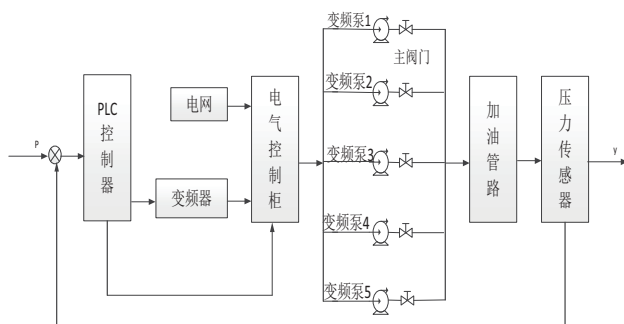


图2 恒压加油系统框图

2.2 建模分析

由于恒压加油系统的控制对象是一个非线性的、时变的、滞后的、模型不确定的对象,很难得出其精确数学模型,只能得出近似等效的模型^[7-8]。油泵由初始状态向管网供油,可分为两个过程:零压过程和压力上升过程。

(1) 零压过程:在这个过程中油泵将油输送到管网中,管网压力基本保持初始压力不变,这是个纯滞后过程。

(2) 压力上升过程:油泵将油充满整个管网,油压逐渐上升直到达到稳定,这是个时间常数比较大的惯性环节。

加油系统的近似模型为:

$$G_1(s) = \frac{p_0(s)}{n_p(s)} = \frac{k_1}{T_1 s + 1} e^{-\tau s}$$

式中, $G_1(s)$ 传递函数;输入为转速 n_p ,即油泵的转速, $n_p(s)$ 是 n_p 的拉斯变换;输出为压力 p_0 ,即加油系统管路出口压力, $p_0(s)$ 是 p_0 的拉斯变换; T_1 为加油系统时间常数; k_1 为加油系统的增益; τ 为加油系统的时滞常数。

系统中变频器和电动机环节可近似等效为时间常数为 T_2 的一阶惯性环节。当确定了油泵的型号

后,时间常数 T_2 也就确定了。该部分传递函数为:

$$G_2(s) = \frac{n_m(s)}{f_c(s)} = \frac{k_2}{T_2s + 1}$$

式中, f_c 为变频器的输入频率, $f_c(s)$ 是 f_c 的拉斯变换; 输出 n_m 为电动机转速, $n_m(s)$ 是 n_m 的拉斯变换; T_2 为电动机惯性时间常数, k_2 为电动机增益。

系统中其他环节,如压力检测环节、继电控制转换等环节的滞后时间和时间常数与加油系统的时间常数相比均可忽略,都可等效为一个比例环节:

$$G_3(s) = k_3$$

系统中油泵转速和电动机转速是相等的,即

$$n_p = n_m$$

综上所述,系统数学模型可等效为以上 3 个环节的串联,即:

$$G(s) = \frac{P_0(s)}{f_c(s)} = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} e^{-\tau s}$$

式中: k 为系统总增益, $k = k_1k_2k_3$; 系统中 T_1 与加油系统加油机器的数目有关,一般加油机器数目越多,系统惯性时间常数也越大。滞后时间 τ 由加油系统的最不利点决定,它由最不利点与加油机器距离和加油系统平均流速决定。 T_2 由变频器加速时间常数和电动机特性决定。

恒压加油系统中,由于加油机器数目是随机不确定的,把它看成一种干扰量。得到系统框图如图 3 所示。

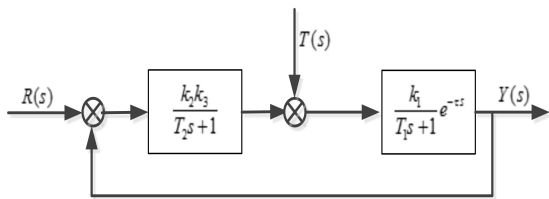


图 3 恒压加油系统闭环方框图

其中, $\frac{k_1}{T_1s + 1} e^{-\tau s}$ 为加油系统的传递函数;

$\frac{k_2k_3}{T_2s + 1}$ 为电机、变频器、其他环节的传递函数;

$R(s)$ 、 $T(s)$ 、 $Y(s)$ 分别为压力设定值、干扰量、压力实际值。当油泵选定后,电机的时间常数则可确定,选择 T_2 为 12 秒。对参数 k_1 、 T_1 、 τ 的辨识采用开环阶跃响应法进行辨识。方法是在开环状态下让控制器输出特定幅度的阶跃信号,使油泵转速达到一定数值后记录油压变化过程,然后根据输入输出数据进行系统辨识。加油系统模型为:

$$G(s) = \frac{P_0(s)}{f_c(s)} = \frac{0.8}{(12s + 1)(100s + 1)} e^{-6s}$$

3 实验系统工艺设计

系统设计方案采用十台油泵,每五台油泵为一组,分两组实现恒压加油,控制方式采用变频器一拖五的方案实现变频恒压加油。变频恒压加油系统工艺图如图 4 所示。

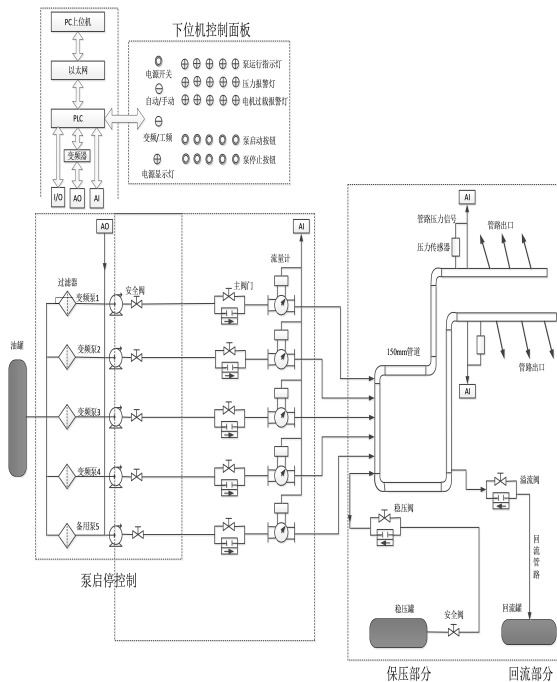


图 4 变频恒压加油系统工艺图

系统主要由上位机、下位机、管路系统三部分组成;上位机是基于 WINCC 开发的监控系统,下位机是基于 PLC 和变频器开发的控制系统,管路系统主要包括加油管路系统、管路保压系统、管路溢流系统。工艺设计包括系统设备选型:电泵机组选型,压力传感器选型,电磁阀、安全阀阀门选型等。

4 恒压加油系统自适应模糊 PID 控制器设计及参数整定

自适应模糊 PID 控制器主要包括模糊推理器和参数可调的 PID 控制器两部分。模糊推理器以偏差 e 和偏差变化率 ec 为输入,以传统 PID 控制器的参数 k_p 、 k_i 、 k_d 为输出,通过模糊推理方法对参数 k_p 、 k_i 、 k_d 在线调整,从而实时满足不同偏差 e 和偏差变化率 ec 对 PID 参数调整的要求。自适应模糊 PID 控制的思想是:运用自适应思想和模糊控制方法,对控制器 PID 参数进行实时调整。将该控制器运用在恒压加油系统中,构成自适应模糊 PID 控制的恒压加油系统^[9-11],控制原理如图 5 所示。学生自主设计控制算法,可应用 MATLAB 仿真整定控制参数^[12]。

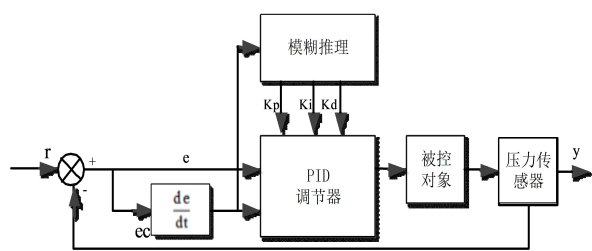


图5 自适应模糊PID控制系统框图

5 监控系统

基于 WINCC 的监控系统界面主要为用户监控、管理、维护系统提供方便。WINCC 画面系统的工作原理为: PLC 中运行数据通过 MPI 通讯与 WINCC 中相应变量发生联系, 图形编辑器在组态中将对象变化属性与变量相连接, 从而当 PLC 运行数据发生变化使得对象属性相应变化, 实现对恒压加油系统运行过程动态监视的功能; 图形对象属性、变量值和 PLC 过程值是一一对应的, 可通过改变图形对象属性来改变 PLC 的运行参数、设备运行状态等, 实现上位机对下位机控制。监控系统图如图 6 所示。

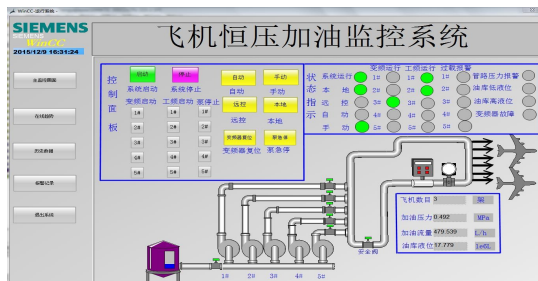


图6 监控系统图

6 结语

本文设计的实验系统, 要求学生完全在工程背景下进行系统设计、实现、调试, 对提高人才培养质量, 加强大学生工程素质培养, 具有重要的意义。该实验系统既可用于学生课程设计实验, 又可用于毕

业设计, 该实验系统既加强了学生对理论的理解, 更强调了工程设计中需掌握的方法和步骤。该套变频恒压加油实验系统的研究和设计对自动化专业的工业工程控制教学的改革和卓越工程师培养具有广泛而深刻的理论和现实意义。

参考文献 (References):

- [1] 雷振伍, 吴秀冰, 孙德辉, 等. 基于 PCS7 和 Simulink 的过程控制虚拟仿真实验平台开发[J]. 实验技术与管理, 2006, 33(1): 134-139.
- [2] 葛亚明, 于鑫, 吕淑平. 基于 LabVIEW 和 PCI-1711 的过程控制实验系统设计[J]. 实验技术与管理, 2005, 32(11): 108-111.
- [3] 苏新兵, 王建平, 李小刚. 某型飞机地面压力加油控制系统设计[J]. 现代制造工程, 2006(11): 115-118.
- [4] 冯仰新, 冯仰敏, 李志鸿. 基于 PLC Fuzzy-PID 控制恒压供水系统[J]. 电机与控制应用, 2009, 36(2): 36-40.
- [5] GAO DaoXiang, SUN ZengQi. Fuzzy tracking control design for hypersonic vehicles via T-S mode[J]. SCIENCE CHINA Information Sciences, 2011, 54(3): 521-528.
- [6] Hongli LU, Lei JIA, Shulan KONG, et al. Predictive functional control based on fuzzy T-S model for HVAC systems temperature control[J]. Control Theory and Technology, 2007, 5(1): 94-98.
- [7] 丁周伟. 泵站恒压供水系统的设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [8] 耿光辉, 王文娟. 用 PLC 与变频实现飞机恒压加油[J]. 科技信息, 2011(35): 204.
- [9] 陈瑞, 周征. 在线自校正模糊 PID 控制器的研究[J]. 自动化技术与应用, 2008, 27(12): 49-52.
- [10] 沈晖, 刘大铭. 参数自适应模糊 PID 在恒压供水中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2007(9): 63-66.
- [11] 刘金琨. 智能控制[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [12] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.

收稿日期: 2016-09-19

修改日期: 2016-10-18

作者简介: 彭秀艳 (1962-), 女, 辽宁开原人, 博士, 教授, 主要研究方向随机估计与控制、工业过程控制。

高等学校教学实验室安全工作部分国家强制性标准

- GB6944-2012 危险货物分类和品名编号
- GB50034-2013 建筑照明设计标准
- GB17914-2013 易燃易爆性商品储藏养护技术条件
- GB17915-2013 附着性商品存储养护技术条件
- GB17916-2013 毒害性商品存储养护技术条件
- GB50016-2014 建筑设计防火规范
- GB3095-2012 环境空气质量标准
- GB18597-2001 危险废物贮存污染控制标准