

基于实际应用的恒压供水系统实验装置设计

居 荣, 鞠 勇

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 基于变频器、传感器及 PLC 组成的恒压供水系统是目前较为先进的供水系统, 被越来越广泛地应用。研制开发的集变频调速技术、PLC 技术、传感器技术和电气控制为一体的恒压供水系统实验装置, 对培养学生的综合应用知识的能力, 掌握先进的专业技术, 具有积极的意义。介绍了实验系统的组成、设计思路、实现方法和实现的功能, 给出了较详细的 PLC 中 PID 控制的参数设置、子程序设计和组态远程监控设计。该实验装置解决了一般实验装置的单一性, 可以进行多元化的实验, 有一定的通用性, 同时还具有良好的实际应用性能。

[关键词] 恒压供水, 比例积分微分调节, 可编程控制器

[中图分类号] TP273 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2006)04-0021-05

Design of an Equipment of Constant Pressure Water Supplying System Based on Actual Appliance

JU Rong JU Yong

(School of Electrical and Automation Engineering Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract The advanced water supplying system based on frequency converters, sensor and PLC is used nowadays. The experimental system of constant pressure water supply in which the technologies of variable frequency speed regulation, PLC, sensor and electrical control are integrated, has played an active role in improving the student's ability of comprehensive application of knowledge and in their mastery of advanced special technology. This paper presents the structure, functions, thinking of design and realization of this experimental system, discusses in detail parameters of PID and subprogram design of PLC. In this system configuration remote monitoring is used to reflect the reality of its operation. Functions such as real-time and history data display, fault alarm processing are designed. Oneness of traditional experiment system is overcome. Multi-competence experiments carried out with this system is universal and practical.

Key words constant pressure water supply, PID, PLC

由于高层建筑的增多, 人们对生活饮用水和消防供水系统的要求不断提高。随着变频调速技术、PLC 技术和传感器技术的发展, 基于这 3 种技术的支持, 使恒压供水系统的性能能够不断的提高。为培养学生的应用能力, 提高学生的工程素质, 本着本科教育是培养应用型人才的宗旨, 开发研制了这套集变频调速、PLC、传感器和电气控制为一体的恒压供水系统实验装置。

1 系统组成及设计思路

整个实验装置的供水系统如图 1 所示, 采用的是典型的工业过程 PID 控制。该装置是一个综合性的实验装置, 既可以将变频调速技术、PLC 技术和传感器技术综合应用进行实验, 也可以进行各项单独实验, 或进行各种组合性的实验, 可以非常灵活地设置多种验证性、设计性和综合性的实验。

恒压供水系统控制实验时所测量的部分实验数据如图 2 及表 1 所示。当设定值在改变时, 系统进行自动调节, 使管网中的水压逐步达到设定值。该实验控制的主要对象是压力, 本系统中除了压力传感器外, 还

收稿日期: 2006-02-28

基金项目: 江苏省教育厅自然科学基金资助项目 (03KJD470115)。

作者简介: 居 荣 (1964-), 副教授, 主要从事电气技术和自动控制的教学与研究。E-mail: jurong@njnu.edu.cn

增设了流量传感器和液位传感器,因此能很方便地实现不同对象的控制,提高了设备的利用率,实现了多元化的实验.

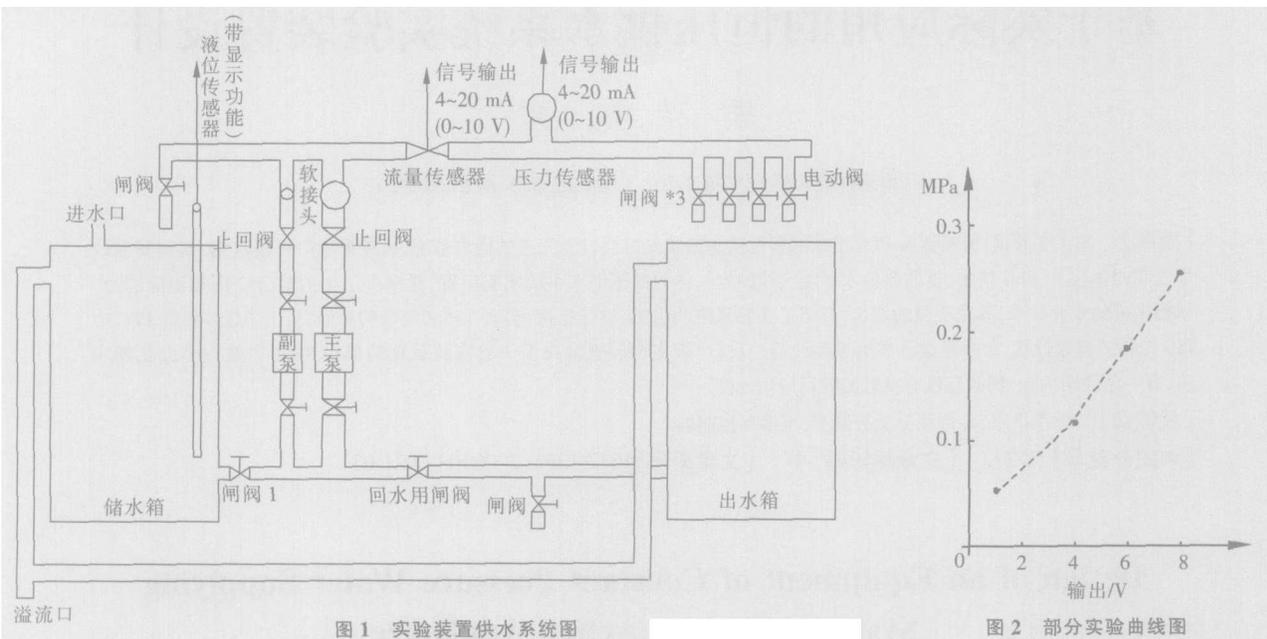


图 1 实验装置供水系统图

图 2 部分实验曲线图

表 1 恒压控制实验数据

给定 /V	2	4	6	8
压力 /MPa	0.06	0.12	0.18	0.24
负载	2# 闸阀开	2# 闸阀开	2# 闸阀开	2# 闸阀开
压力传感器				
输出 /V	1.9	4.2	6.2	8.5
压力 /MPa	0.057	0.126	0.186	0.255

系统的电气控制组成如图 3 所示,由远传压力传感器采集系统的供水压力,再由 A/D 转换模块采集给定值和现行压力,通过 PLC 的 PD 调节,由 D/A 转换模块输出 PD 的调节值,送到变频器,由变频器实现变频控制,通过控制主泵 M1 和辅泵 M2 实现恒压供水.在用水量较大时,变频器输出频率接近工频,而管网压力仍达不到压力设定值,PLC 将当前工作的变频泵由变频切换到工频下工作,并关闭变频器,再将变频器切换到另一台泵,实现一台工频一台变频双泵供水.若用水量减少,变频器输出频率下降,当降至频率下限,而压力仍能达到压力设定值时,PLC 将切除一台工作泵,只由剩下的单泵变频供水.系统无论单泵变频工作,还是双泵一台工频一台变频工作,始终控制管网压力与给定压力值保持一致,实现恒压供水.

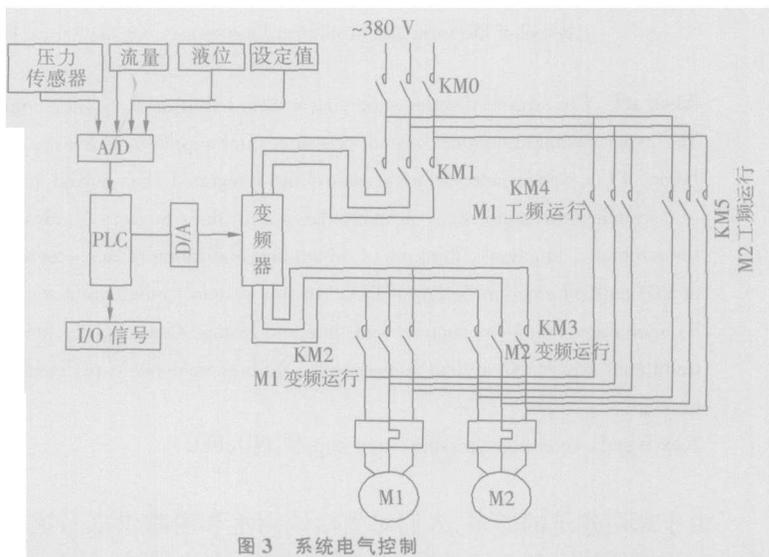


图 3 系统电气控制

另外系统还具有自动水循环功能,以保证在长时间实验和使用节约用水.图 1 系统中回水阀的作用是循环使用水箱中的水,当出水箱中的水很多,而储水箱中的水很少时,打开回水阀,使出水箱中的水回落到储水箱,循环使用.或者将闸阀 1 关闭,使出水箱中的水自身循环使用.

2 PID 控制设计

2.1 控制原则

恒压供水系统的最终控制目标是水压,使水压维持恒定,其控制过程的工作原理如图 4(a)所示.本系统选用的是西门子 S7-200 系列的 PLC, 224CPU, 带有内置的 PD 调节运算指令,可以很方便地实现 PD 调

节控制. 系统闭环控制的方框图如图 4 (b)所示. PID 调节控制的目的是调节输出, 尽量使给定值 $r(t)$ 与过程变量 $b(t)$ 的偏差 $e(t)$ 为零, 使系统达到稳定状态.

2.2 PID 算法

PID 的控制原理基于下面的算式:

$$M(t) = K_C \left[e + \frac{1}{T_I} \int e dt + T_D \frac{de}{dt} \right] + M_0 \quad (1)$$

式中, $M(t)$ 为 PID 回路的输出, 是时间的函数; K_C 为 PID 回路的增益; e 为 PID 回路的偏差值; M_0 为 PID 回路输出的初始值; T_I , T_D 为积分时间常数和微分时间常数.

为了在计算机中实现 PID 控制功能, 将式 (1) 所描述连续函数进行离散化, 即对误差进行周期性的采样并计算输出值, 计算机处理的 PID 算式如下:

$$M_n = K_C e_n + K_I \sum_{i=1}^n e_i + K_D (e_n - e_{n-1}) + M_x \quad (2)$$

式中, M_n 为在第 n 采样时刻 PID 回路输出的值; e_n 为第 n 采样时刻的偏差值; e_{n-1} 为第 $n-1$ 采样时刻的偏差值; M_x 为积分项前值 (第 $n-1$ 采样时刻的积分值); K_I 为积分项的比例系数; K_D 为微分项的比例系数.

将式 (2) 整理得到 PLC 进行 PID 运算的控制算式:

$$M_n = K_C (SP_n - PV_n) + K_C \frac{T_S}{T_I} (SP_n - PV_n) + K_C \frac{T_D}{T_S} (PV_{n-1} - PV_n) + M_x \quad (3)$$

式中, PV_n 为被控对象的输出量; SP_n 为被控对象的给定量; 该控制算式中共有 9 个变量.

2.3 PID 初始化子程序

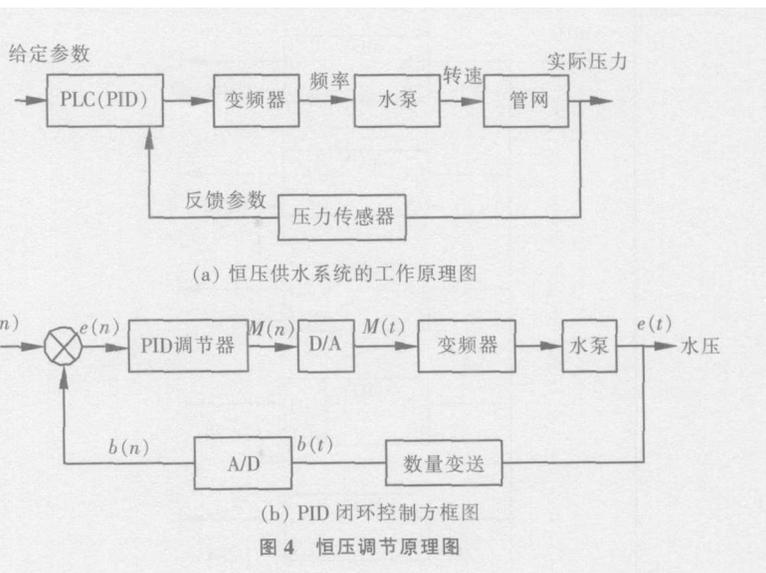
为执行 PID 指令, 要对 PID 参数表进行初始化处理, 将表 2 中的有关参数按照地址偏移量写入到变量寄存器 V 中. 在本设计中, 采用的是调用子程序的方法, 在子程序中对 PID 参数进行初始化处理, 如图 5 所示. PID 运算是比例、积分和微分运算的组合, 在很多控制场合, 往往只需要 PID 中的 1 种或 2 种运算, 不同运算功能的组合可以通过不同的参数设定来实现, 本系统采用 PI 控制, 参数设置见图 5 PID 控制参数初始化子程序.

2.4 PID 控制定时中断服务程序

在本系统中采用定时中断的方式进行数据采集和 PID 运算调节, 中断服务程序如图 6 所示.

3 PLC 控制主程序

当系统启动, 供水系统自动运行时, 给出压力给定值, M1 变频运行, 压力传感器将实时管网水压信号送回 PLC 进行 PID 运算, 与设定的压力值进行比较, 控制变频器调节输出频率, 当变频器输出频率达到上限压力仍不能满足要求时, 在该状态保持一段时间后, M1 由变频运行切换至工频运行. 经过一定时间后,



(a) 恒压供水系统的工作原理图

(b) PID 闭环控制方框图

图 4 恒压调节原理图

表 2 PID 控制参数

参数	地址偏移 (字节)	变量名	变量类型	注释
1	0	PV_n		调节量, 即被控对象的输出量
2	4	SP_n		给定量, 即被控对象的给定输出量
3	8	M_n		控制量, 用于输出到被控对象
4	12	K_C		比例项增益, 可正可负
5	16	T_S	双字实数	采样时间, 单位为 s 必须为正数
6	20	T_I		积分时间常数, 单位为 min 必须为正数
7	24	T_D		微分时间常数, 单位为 min 必须为正数
8	28	M_x		积分项前值
9	32	PV_{n-1}		上次执行 PID 指令时的调节量

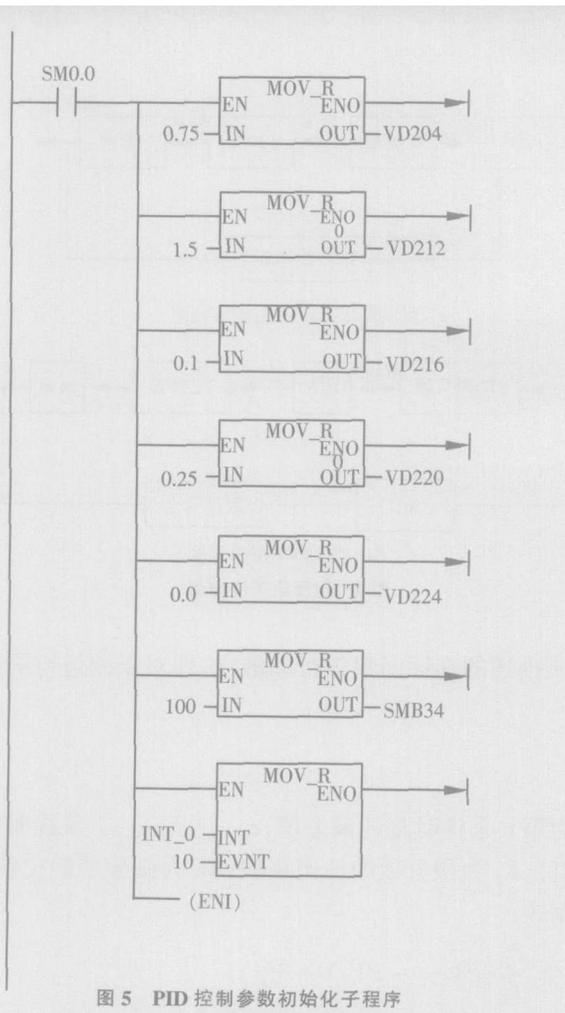


图 5 PID 控制参数初始化子程序

管网压力仍达不到需求时, M2 投入, 并由变频器驱动, 并网供水, 以补充管网的水量, 保持恒压. 如果 M2 运行频率已达变频器输出上限, 一定时间后仍不能达到压力设定值, 则系统将给出报警信号. 当系统中 M1、M2 均投入运行, 实际压力大于设定值时, 变频器将降低输出频率. 当达到下限运行一段时间, 实际压力仍大于设定压力时, M2 停机, 经过一定时间后, 实际压力仍大于设定压力时, M1 由工频切换至变频运行, 从而满足恒压供水的需求. 主程序流程图如图 7 所示.

在工频和变频切换时, 如果切换过程太快, 会有回流损坏变频器, 为了防止故障的发生, 硬件上必须设置互锁保护, 图 3 中的 KM2 和 KM4、KM3 和 KM5 不能同时闭合, 同样软件上也必须设置程序, 以保证 KM2 和 KM4、KM3 和 KM5 不能同时闭合, 防止误动作发生.

4 组态远程监控

采用 MCGS5. 5 工业自动化控制组态软件对该供水系统进行远程监控. 监控画面有供水系统、电气控制、数据显示等, 能真实反映供水系统的运行情况、各个电器的动作情况、变频器的工作状态、水泵的运行情况和水流方向等, 监控画面形象, 同时还能显示压力、给定值以及实时数据和历史数据, 真实地反映了整个供水系统的运行状况. 供水系统组态如图 8 所示.

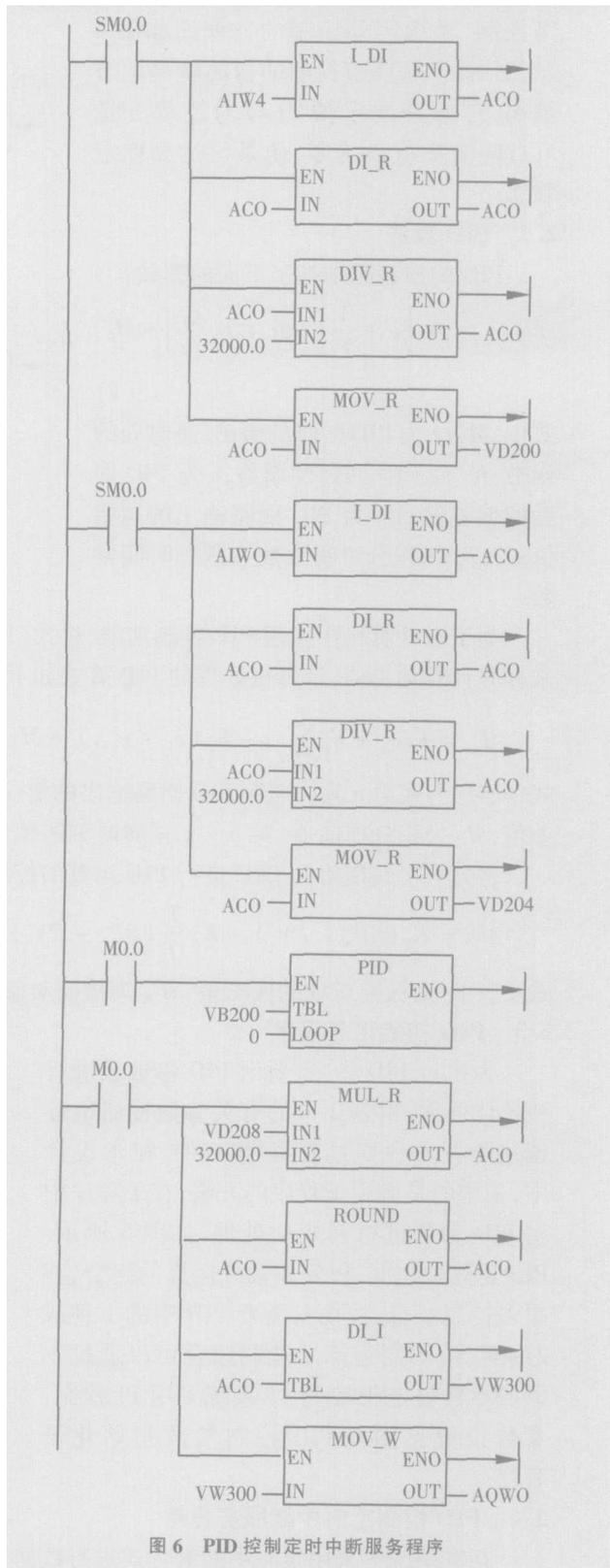


图 6 PID 控制定时中断服务程序

上位机中的工业组态设计, 不仅形象、直观地监视和控制该恒压供水系统, 还可以最大限度对系统运行提供保障, 如水压超限报警、水位超限报警、电动阀故障报警、水泵电机故障报警并处理等。

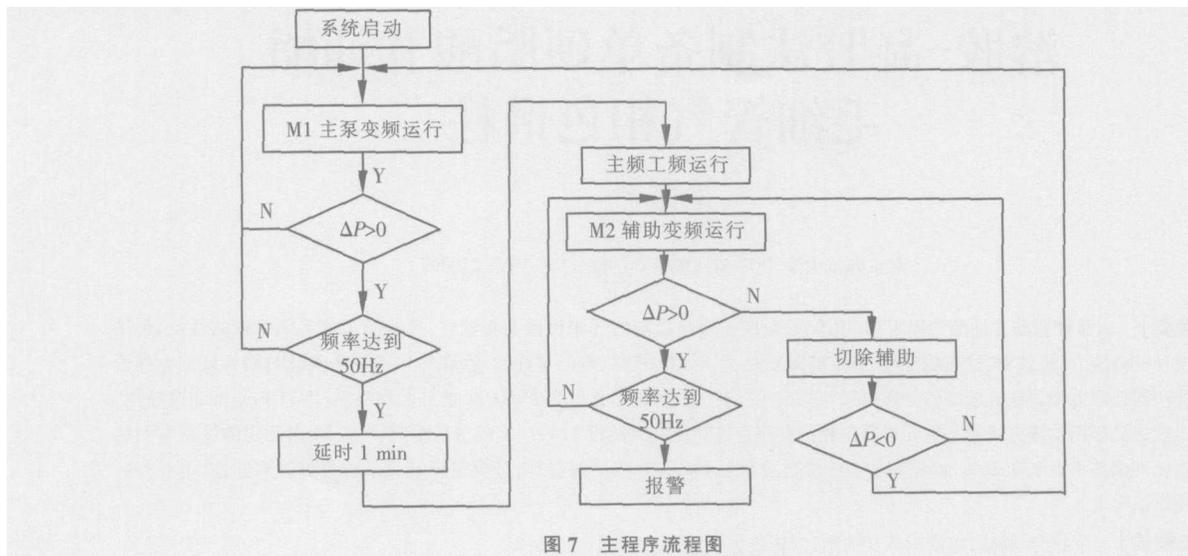


图 7 主程序流程图

5 结语

供水系统采用变频调速、PLC 和传感器技术的结合, 实现了恒压供水。采用组态远程监控, 使系统处于可靠运行的状态。目前该系统已投入使用 1 a 运行可靠。根据本文所提供的思路, 采用不同的传感器, 可以很方便的实现不同实际对象的控制, 还可以很方便地实现 1 台变频器控制多台水泵即一拖多泵的控制系统。

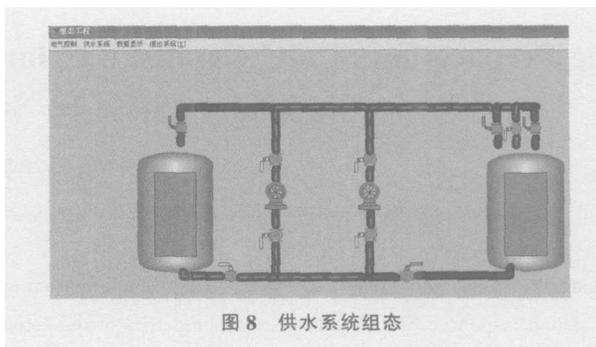


图 8 供水系统组态

[参考文献] (References)

- [1] 王也仿. 可编程控制器应用技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
WANG Yefang. The Applied Technology of Programmable Controller [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2003 (in Chinese)
- [2] 袁秀英. 组态控制技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
YUAN Xiuyin. The Control Technology of Configuration [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2003 (in Chinese)
- [3] 常晓玲. 电气控制系统与可编程控制器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
CHANG Xiaoling. Electrical Control System and Programmable Controller [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2002 (in Chinese)
- [4] 周美兰. PLC 电气控制与组态设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
ZHOU Meilan. PLC Electrical Control and Configuration Design [M]. Beijing: Science Press, 2003 (in Chinese)
- [5] 吴忠智. 变频器应用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
WU Zhongzhi. Frequency Converter Application Manual [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2002 (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]