

基于 PLC 控制的全自动在线清洗系统的设计

Design of automatic cleaning in place system based on programmable controller

李湘伟¹ 刘 尉²

LI Xiang-wei¹ LIU Wei²

(1. 广东轻工职业技术学院, 广东 广州 510300; 2. 广州轻机机械设备有限公司, 广东 广州 510250)

(1. Guangdong Industry Technical College, Guangzhou, Guangdong 510300, China;

2. Guangzhou Light Machinery Equipment Limited Company, Guangzhou, Guangdong 510250, China)

摘要:介绍一种基于 PLC 控制的全自动在线清洗系统的设计过程,包括系统总体设计、电气控制系统设计、工作流程和人机界面设计等内容。该系统采用西门子 S7 200 PLC、Profibus DP 现场总线、触摸屏等先进控制技术,具有多个工艺流程。系统投入运行后,工作稳定,操作简便,自动化程度高,清洗成本低。

关键词:PLC; CIP 系统; 西门子; 人机界面

Abstract: Presents the design process of a automatic cleaning in place system based on programmable controller, including the overall design of the system, electrical control system design, work processes and the man-machine interface design, etc. The system adopts Siemens S7-200 PLC, Profibus DP fieldbus, man-machine interface and other advanced technologies, with multiple technological processes. After the system is put into operation, it works stably, operates simply, and has a high degree of automation, which brings good economic benefits for the company.

Keywords: PLC; CIP system; siemens; human machine interface

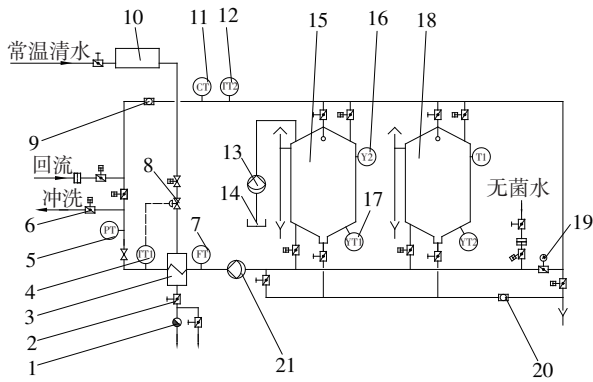
在食品生产过程中,需要利用水和清洗液对容器及管道内部进行清洗,以去除残留的产品和其他沉淀物质,保证清洁,必要时还要通过高温溶液进行杀菌处理,由于这些管道都是全封闭且固定安装无法拆卸,因此需就地清洗,一般采用在线清洗系统(cleaning in place, CIP)进行。就地清洗要求 CIP 系统不能拆卸和移动原有的管道和设备,直接和待清洗设备固连,其清洗过程能够按照产品生产和清洗工艺流程自动对设备进行清洗,从而保证清洗过程的高效率和质量。

目前工厂大部分的 CIP 系统处于单机控制,或是通过电

缆硬接线和主机通讯,容易受现场电磁干扰,CIP 系统和被清洗主机之间数据通讯量少,不能够实现主机和清洗过程的全程自动化控制。根据某公司一台小型全自动啤酒灌装机的生产工艺要求,本课题组研制与其配套的基于西门子 S7200 PLC 控制的全自动 CIP 系统,实现对啤酒灌装机及其管路的清洗过程,还可作为一个液体输送站,为其他容器输送液体。为达到 CIP 系统和灌装机联机控制,两机通过 Profibus 现场总线通讯,触摸屏控制,完成啤酒灌装与清洗过程的自动化控制。

1 总体设计

图 1 为 CIP 系统的工艺流程图,主要组成部分包括:碱液混合系统、加热系统、液体输送管道系统、传感器、泵、管道阀门、气动元件等。



1. 过滤器
2. 手动阀
3. 板式过滤器
4. 温度计 1
5. 压力计
6. 气动阀
7. 流量计
8. 气动调节阀
9. 视镜 1
10. 电热水器
11. 电导率计
12. 温度计 2
13. 气动隔膜阀
14. 浓碱液槽
15. 碱罐
16. 上液位计
17. 下液位计
18. 热水罐
19. 电动阀
20. 视镜 2
21. 离心泵

图 1 CIP 系统工艺流程图

Figure 1 CIP system process flow diagram

作者简介:李湘伟(1975—),男,广东轻工职业技术学院副教授,博士。E-mail:lxw1234@163.com

收稿日期:2015-05-30

(1) 碱液混合系统。分为碱罐和热水罐,均为 304 不锈钢,容积均为 500 L,均配液位检测和液位自动控制(传感器由静压式和液位开关相结合)。罐体均设取样装置和自清洗装置。碱罐配浓碱添加系统:配置浓碱添加泵,自动对碱罐添加浓碱;配合电导率传感器实现浓碱液的自动添加,使碱液浓度能自动达到设定的要求。

(2) 加热系统。采用热水作为热媒对清洗液进行加热,常温水通过热水器加热,经板式换热器(板片材质不锈钢 304)加热混合碱液,换热器热媒管道配置温度计、气动调节阀,通过 PLC 主控制器实现对混合碱液温度的 PID 控制。

(3) 液体输送管道。包括:热水加热管道、碱液混合管道、纯净水输送管道、冲洗管道和液体回流管道,均采用不锈钢 304 材质,入口处配置角座阀及过滤器;回流及排污处配置视镜,方便观察清洗液状态。整个管路设计合理,无积液和卫生死角。

(4) 传感器:采用温度、液位、压力、流量、电导率等在线检测传感器,用于相关参数的检测和自动调节。

(5) 泵。浓碱添加泵采用气动隔膜泵(流量 19 L/min)。循环泵采用离心泵(流量 3 m³/h,扬程 20 m,功率 1.5 kW),泵体不锈钢 304 材质,配 ABB 电机,具有变频调速控制功能。

(6) 管路阀门:在系统自动运行过程中,均可采用气动阀门和电动阀门,全自动控制;同时配手动阀门,便于设备的调试与检修。

(7) 气动元件:配置气动开关阀、过滤器、减压阀、压力表、电磁阀、快速接头、气管等气动元件,均采用日本 SMC 产品。

2 电气控制系统设计

2.1 主要硬件设计

整个系统的主控制器采用 PLC 控制,控制器采用西门子 S7-200 PLC,型号为:CPU 226XP CN,配 EM223 数字量模块、EM231 模拟量模块,对整个 CIP 进行工作和流程控制。同时,配网络模块 EM277 和全自动啤酒灌装机的 S7 314 PLC 进行 Profibus DP 现场总线通讯,EM277 作为从站,S7 314 作为主站,通讯量大,抗干扰能力强,从而实现灌装、清洗的全过程自动化。整个系统能实现实时控制,并具有历史记录。设有故障保护程序,确保各流程的安全操作与运行。配置西门子 TP 177B 6 寸人机界面和开关操作面板模块;配置标准电柜及相关控制系统^[1-4]。图 2 为控制系统原理框图。

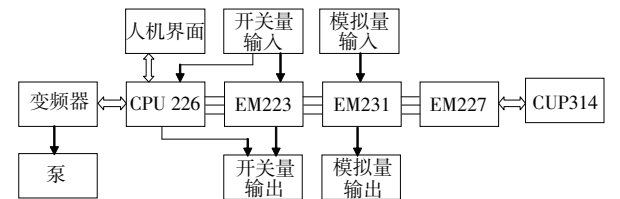


图 2 控制系统原理框图

Figure 2 Control system principleblock diagram

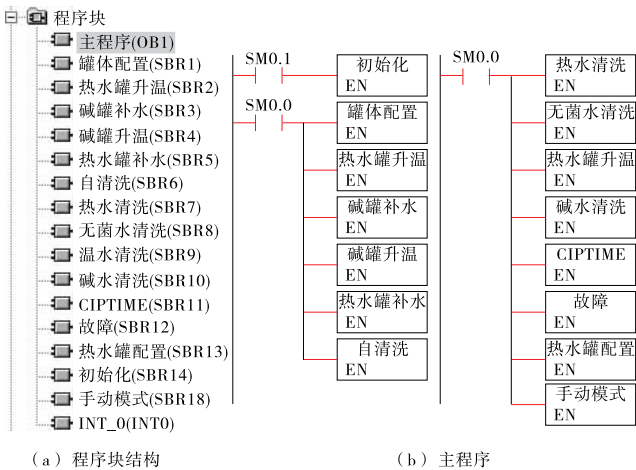
2.2 PLC 程序设计

2.2.1 PLC 地址分配 PLC 的物理地址分配见表 1。

表 1 PLC I/O 地址表
Table 1 PLC I/O address table

输入元件		输出元件	
元件号	地址	元件号	地址
控制电压开/停	I0.0	热水罐出水阀	Q0.0
热水罐上限	I0.4	碱罐出水阀	Q0.1
碱罐上限	I0.5	总排放阀	Q0.2
热水罐出水阀	I0.7	无菌水排出阀	Q0.3
碱罐出水阀	I1.0	热水罐回流阀	Q0.4
无菌水出水阀	I0.6	碱水回流阀	Q0.5
管道清洗回流阀	I1.1	CIP 回流阀	Q0.6
总排放阀	I1.2	加热回流阀	Q0.7
热水罐回流阀	I1.3	CIP 清洗排出阀	Q1.0
碱罐回流阀	I1.4	管道清洗回流阀	Q1.1
CIP 回流阀	I1.5	气动隔膜泵	Q1.2
加热回流阀	I1.6	泵正转	Q1.3
CIP 排出阀	I1.7	泵高速	Q1.4
循环泵过载	I2.0	泵中速	Q1.5
		泵低速	Q1.6
		循环泵	Q2.0

2.2.2 程序结构 采用模块化结构,包括:主程序、罐体配置程序、热水管升温、碱罐补水、碱罐升温等程序块,见图 3。



(a) 程序块结构

(b) 主程序

图 3 程序结构示意图

Figure 3 Program structure diagram

2.3 工作流程

2.3.1 主清洗流程 分为 3 个阶段,按次序进行^[5]:

(1) 第一阶段(热水罐加水):

打开热水罐回流阀、无菌水进水阀→加水至热水罐高液位→关闭无菌水进水阀、打开热水罐排出阀、加热回流阀→启动循环泵→打开加热管道阀门→开始升温→升温至设定温度值,并保持设定时间→停止循环泵→关闭热水罐回流阀、热水罐排出阀、加热回流阀

(2) 第二阶段(碱罐加水):

打开碱罐回流阀、无菌水进水阀→加水至碱罐高液位→关闭无菌水进水阀、打开碱罐排出阀、加热回流阀→启动循环泵→打开加热管道阀门→开始升温、加碱→升温至设定温度及碱液浓度至设定值,并保持设定时间→停止循环泵→关闭碱罐回流阀、碱罐排出阀、加热回流阀

(3) 第三阶段(冲清管道):

打开无菌水进水阀、总排放阀、加热回流阀→清洗一定时间后→关闭无菌水进水阀、加热回流阀,打开自清洗排放阀→排几秒钟后→关闭自清洗排放阀、总排放阀(完毕)

2.3.2 无菌水清洗流程

打开 CIP 排出阀、CIP 回流阀、无菌水进水阀、总排放阀→启动循环泵

2.3.3 热水清洗流程

打开 CIP 排出阀、CIP 回流阀、热水罐排出阀、热水罐回流阀→启动循环泵

2.3.4 碱水清洗流程

打开 CIP 排出阀、CIP 回流阀、碱罐排出阀、碱罐回流阀→启动循环泵

2.4 其他控制环节

2.4.1 碱液浓度自动调配 根据输入请求自动启动气动隔膜泵及相关阀门,抽取适量浓碱配置,使碱罐中碱溶液达到要求浓度。

2.4.2 CIP 清洗过程 根据碱清洗的典型工艺流程,结合时间、温度、浓度、流量等参数要求,按时序控制相关电磁阀、继电器的动作,抽取热水罐和碱罐中液体,按步骤自动运行,进行 CIP 清洗过程。

2.4.3 温度控制 清洗液的温度控制是系统控制的重点,采用电热水器将清水加热,然后再用加热后的热水作为热媒经换热器对清洗液进行加热,提高了操作的安全性;温度信号通过 A/D、D/A 转换,实现温度的闭环 PID 控制。

2.4.4 参数设定 对温度、浓度、时间等参数,通过编程使其可以根据工艺的需要触摸屏上(或上位机)进行修改,使用方便灵活,PID 参数同样也可在触摸屏上设定,以方便调试。

2.4.5 故障报警 对检测到的超出设定范围的参数,如:压缩空气低压等异常现象,通过触摸屏提示和闪光灯报警,对比较严重的报警,会暂停程序运行,直到故障排除方可继续运行。

3 操作界面设计

采用一台西门子 TP 177B 6 寸触摸屏开发操作界面,主要界面包括主控制界面、CIP 系统自动清洗控制界面、参数设置界面、手动控制界面、温控及温控参数设定界面、故障显示界面^[6]。

3.1 主控制界面

主控制界面包含:切换画面、实测数据显示(清洗液浓度、清洗液流量、清洗液温度、回流管温度)等,见图 4。

3.2 CIP 系统自动清洗控制界面

CIP 系统自动清洗控制界面包含:切换画面(主界面、故障显示、参数设置)和工艺流程图(阀开关反馈、有关泵信号反馈、水位高低反馈),见图 5。

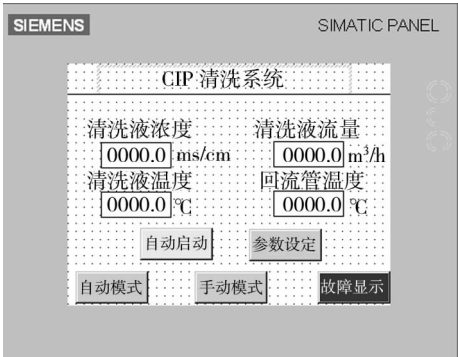


图 4 主控制界面

Figure 4 Main control interface

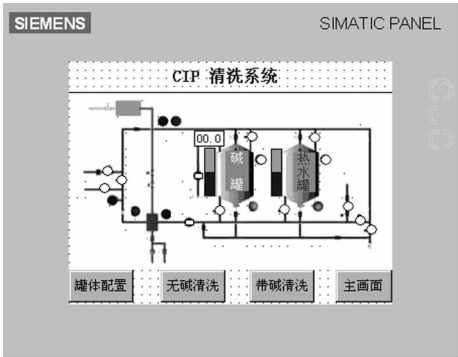


图 5 CIP 系统自动清洗控制界面

Figure 5 CIP automatic cleaning control interface

3.3 参数设置界面

参数设置界面包含:切换画面(主画面、温度控制)和相关参数设定(略),见图 6。

3.4 手动控制界面

手动控制界面包含,切换画面(主界面)和手动按钮,见图 7。单击相应按钮,将打开相对应的电磁阀及泵,并在工艺流程图中反馈开关阀信号。

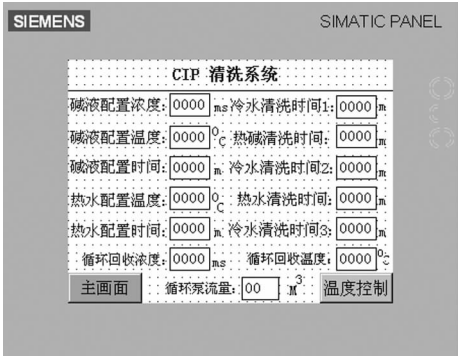


图 6 参数设置界面

Figure 6 Parameter setting interface

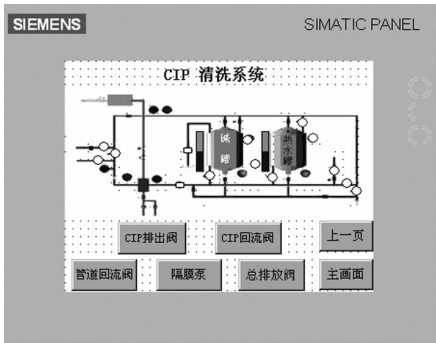


图 7 手动控制界面

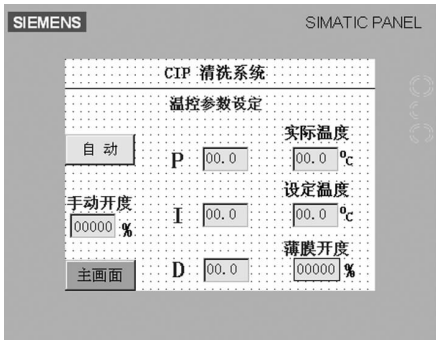
Figure 7 Manual control interface

3.5 温控及温控参数设定界面

温控及温控参数设定界面包括:切换画面(主画面)和温度设定,见图 8。控制模式:自动、手动(自动时,薄膜阀开关比例根据 PV 与 SV 及 P、I、D 参数调节;手动时,薄膜阀开关比例根据手动设定值比例调节)。

3.6 故障显示界面

故障显示界面包含:切换界面(主画面)和显示系统当前故障,见图 9。具体阀故障及泵故障在工艺流程图中反馈具体位置结束语。



P. 比例增益参数 I. 积分参数 D. 微分参数

图 8 温控及温控参数设定界面

Figure 8 Temperature control and temperature control parameters setting interface

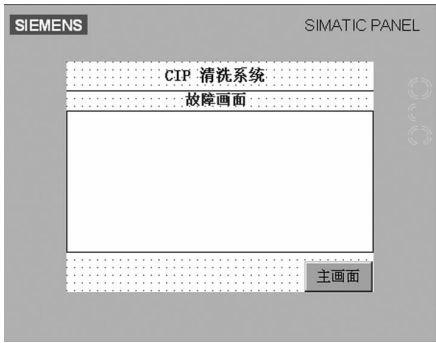


图 9 故障显示界面

Figure 9 Fault display interface

4 结论

该 CIP 系统采用基于西门子 S7 200 PLC 和触摸屏技术为核心的自动控制系统,具有多个工艺流程,设计合理,自动化程度高。为克服以往 CIP 系统单机清洗及和主机数据通讯不稳定等缺点,使用 Profibus DP 现场总线技术与原有全自动啤酒灌装 S7300 PLC 系统联网通讯,通讯稳定,数据量大,实现了啤酒生产和清洗过程联机控制。目前该系统已经投入使用,由于其自动化程度高,实现了啤酒生产清洗全过程控制,操作方便,保证了啤酒生产工艺过程中的清洗彻底和安全,大大降低了清洗成本,经济效益和社会效益明显。

参考文献

- 1 廖晓科,廖罗尔,文卫. 基于 PLC 改进啤酒灌装线控制系统故障诊断的研究[J]. 食品与机械,2009,25(5):82~83,119.
- 2 韩慧,倪荣军,孙计赞,基于 PLC 食品检测实验室自动加液装置的设计与实现[J]. 食品与机械,2014,30(1):130~132.
- 3 唐文军,樊石,李磊. 乳品厂 CIP 系统的自动控制改造[J]. 自动化技术与应用,2011(4):77~78,81.
- 4 廖常初. PLC 编程及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005:1~125.
- 5 吕守军,CIP 清洗系统的分析及优化[J]. 啤酒科技,2011(9):26~28,30.
- 6 刘文芳. 基于 PLC 及触摸屏技术的 CIP 清洗控制系统的设计[J]. 制造业自动化,2011(3):143~144,212.

(上接第 74 页)

- 15 田春莲,康炼常. 流动注射化学发光法测定茜草总黄酮清除羟自由基能力的研究[J]. 林产化学与工业,2011,31(5):100~104.
- 16 郭兴峰,傅茂润,杜金华,等. 不同干燥方法对荷花花瓣抗氧化活性和化学成分的影响[J]. 食品与发酵工业,2010,36(2):146~149.
- 17 王岱杰,王晓,耿岩玲,等. 反相高效液相色谱测定不同品种皱皮木瓜中齐墩果酸和熊果酸含量[J]. 食品科学,2008,29(10):497~499.
- 18 Liu Na-na, Liu Wei, Wang Dai-jie, et al. Purification and partial characterization of polyphenol oxidase from the flower buds of *Lonicera japonica* Thunb[J]. Food Chem., 2013, 138(1): 478~483.
- 19 李秀芳,杨拉弟,韩叶,等. 温度对采后‘红富士’苹果果皮色

- 泽、色素及其相关酶活性变化的影响[J]. 西北农业学报,2014,23(5):97~103.
- 20 王利群,戴雄泽. 色差计在辣椒果实色泽变化检测中的应用[J]. 辣椒杂志,2009(5):23~33.
- 21 郝英超,罗磊,刘云宏,等. 酶促褐变中酚类化合物代谢机理研究进展[J]. 农产品加工(学刊),2013(5):55~58.
- 22 王晓丽. 光皮木瓜黄酮类物质的提取及抗氧化性研究[D]. 泰安:山东农业大学,2014:1~2.
- 23 俞佳. 不同道地产区木瓜指标成分分析及川木瓜总黄酮提取纯化工艺研究[D]. 成都:成都中医药大学,2007:2~4.
- 24 白永亮,段金殿,宿树兰,等. 桑叶干燥过程中黄酮类和生物碱类成分动态变化分析[J]. 中药材,2014,37(7):1158~1163.
- 25 张伟伟. 宣木瓜果实生长发育及主要营养物质动态变化研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2010:27~28.