

食品包装机热封温度控制方法

庞惠文¹, 刘省珍², 李梅³

(1.山西铁道职业技术学院, 太原 030013; 2.北京印刷学院, 北京 102600;

3.运城学院, 山西 运城 044000)

摘要: **目的** 为了实现对食品包装机热封温度的精准控制、提升食品包装质量, 该研究基于 PLC 技术设计一种食品包装机热封温度控制方法。**方法** 选取 DS18B20 温度传感器采集食品包装机热封温度信息, 将所采集的信息转换至串行数字信号后发送至 PLC 控制器, PLC 控制器计算温度信息与已设定温度信息之间的差值, 再利用 PLC 控制器的闭环控制模块, 通过 RBF-PID 热封温度控制算法实现温度自动控制, 并将控制结果发送至人机交互界面, 实现对食品包装机热封温度的精准控制。**结果** 该方法可将食品包装机热封温度误差控制在 0.5 °C 以内, 添加扰动时仍可快速恢复温度精准控制。**结论** 基于 PLC 技术的控制方法实现了对食品包装机热封温度的精准控制, 有效提升了食品包装的热封质量。

关键词: 可编程逻辑控制器; 食品包装机; 热封温度; 温度控制; 闭环控制

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)07-0245-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.07.034

Temperature Control Method of Food Packing Machine Heat Seal

PANG Hui-wen¹, LIU Sheng-zhen², LI Mei³

(1.Shanxi Railway Vocational and Technical College, Taiyuan 030013, China; 2.Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China; 3.Yuncheng University, Yuncheng 044000, China)

ABSTRACT: Purpose In order to realize accurate control of the heat sealing temperature of food packaging machine and improve the quality of food packaging, this study designed a heat sealing temperature control method of food packaging machine based on PLC technology. Select gathering food packages installed heat sealing temperature DS18B20 temperature sensor information, information will be collected after conversion to a serial digital signals sent to the PLC controller, PLC controller calculated temperature information and has the difference between the set temperature information, using PLC controller of closed-loop control module, through the RBF-PID heat sealing temperature control algorithm to realize the automatic temperature control, and the control result is sent to the human-computer interaction interface to realize accurate control of food packages installed heat sealing temperature. The method can control the heat sealing temperature error of the food packaging machine within 0.5 °C, and the temperature can be quickly recovered when disturbance is added. The control method based on PLC technology can realize accurate control of the heat sealing temperature of food packaging machine, and effectively improve the heat sealing quality of food packaging.

KEY WORDS: PLC; food packing machine; heat sealing temperature; temperature control; closed-loop control

收稿日期: 2020-09-29

基金项目: 山西省教育科学“十三五”规划 (GH-18167, ZX-18141)

作者简介: 庞惠文 (1988—), 女, 硕士, 山西铁道职业技术学院讲师, 主要研究方向为智能包装信息处理及印刷包装质量控制。

温度是工业生产和日常生活中重要的受控参数,对温度展开精准监控可保障恒温箱、反应炉等仪器平稳、良好运行。在食品包装领域,包装机封口普遍采用热封的方式^[1],包装机封口的温度在很大程度上决定食品包装的质量。只有在包装机采用最佳温度热封时,才可获取最佳包装封口质量。由于食品包装机热封装置受热量传递惯性以及升温、降温速率影响较大,且包装机运行过程中受执行器电压波动以及各种干扰因素影响^[2],因此,热封温度控制是目前食品包装领域的重点研究内容之一。

温玉春等^[3]设计了基于模糊PID的包装机热封切刀温度控制方法,其中的PID控制算法通过比例、积分、微分3个参数实现控制过程的参数调节。虽然PID控制算法具有动态响应速度快、结构简单的优势,对于控制复杂、时变性严重且存在非线性状态的系统控制较为困难。陈明霞等^[4]设计了基于RBF神经网络的自动包装机温度控制方法。利用RBF神经网络可提升参数正定水平,其具有非线性映射能力以及自学习能力可实现精准调节,更适用于复杂的控制系统中,但其控制过程反应耗时较长,难以实现实时控制。

可编程控制器(Programmable Logic Controller, PLC)选取微处理器为控制核心,是一种充分考虑自动控制技术、计算机技术以及通信技术的工业自动化控制装置^[5]。PLC可依据用户需求利用编制程序实现各种设备不同参数控制,具有较高的控制有效性。PLC利用所包含的可编程存储器实现各项顺序控制、逻辑运算、技术、定时以及算术等各项操作指令的运算^[6],可通过输入、输出数字和模拟信号实现设备以及电路的自动化控制。此外,PID控制算法通过积分、比例、微分等逻辑运算输出控制信号,利用所输出控制信号实现温度、压力等各项参数的控制,因此,文中将RBF神经网络与PID控制算法相结合,应用于PLC控制器中,从而设计基于PLC技术的食品包装机热封温度控制方法,实现食品包装机热封温度的自动调节与控制。

1 食品包装机热封温度控制整体思路设计

选取DS18B20温度传感器作为食品包装机热封温度控制过程的温度信息采集装置。该温度传感器是单线数据传输方式的温度传感器^[7],其测量范围和电源电压分别为55~125℃,3~5.5V,仅需要一个I/O接口即可实现温度传感器芯片I/O端口的控制需求。

选取西门子公司的S7-200较小型PLC控制器作为食品包装机热封温度控制器。该控制器电源电压为24V,操作便携,且具有较高的通讯能力以及可靠性,可实现内存扩展^[8],直接连接变送器和传感器,是可编程逻辑控制器中具有较高性价比的控制器。基于

PLC技术的食品包装机热封温度控制方法实现温度自动控制架构见图1。

基于PLC技术的食品包装机热封温度控制流程见图2。

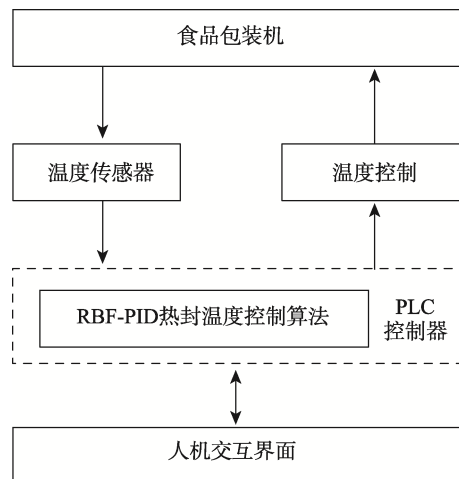


图1 热封温度控制架构
Fig.1 Heat sealing temperature control architecture diagram

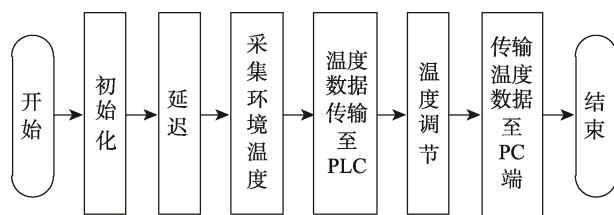


图2 温度自动控制过程示意
Fig.2 Diagram of automatic temperature control process

根据图1—2可以看出,利用PLC控制器、温度传感器、人机交互界面组成了热封温度控制架构。其中,温度传感器用于采集食品封口机热封温度信息,将所采集温度信息转换至串行数字信号^[9—11],并将所获取数字信号发送至PLC控制器,再利用PLC控制器计算对所采集温度信息与已设定温度信息展开比较,通过RBF-PID热封温度控制算法利用温度比较结果实现温度自动控制,并将最终控制结果发送至人机交互界面,实时展示食品包装机热封温度,用户可通过人机交互界面实时观测温度情况。

2 PLC控制器设计

在利用PLC实现食品封口机热封温度控制的过程中,温度控制所需温度数据采集、处理以及调节均需通过PLC控制实现。PLC的CPU包括电源、中央处理单元以及输入/输出端口。选取CPU226作为PLC控制器的CPU,该CPU包括输入与输出点数量分别为24个以及16个,可实现扩展模块连接数量为8,其中包括独立的计算器数量为6,包括20kHz高速脉

冲输出 2 个，闭环控制模块采用 RBF-PID 热封温度控制算法实现热封温度控制。

PLC 控制器通过按键实现控制器启动和停止，利用制冷与加热功能实现温度控制^[12]，PLC 的 I/O 口分配情况见表 1。温度控制信号由输出端口输出。

表 1 I/O 地址分配情况
Tab.1 I/O port distribution

输入端口		输出端口	
10.0	开始	Q0.0	运行
10.1	暂停	Q0.1	暂停
		Q0.2	正常
		Q0.3	加热
		Q0.4	制冷

PLC 的 CPU226 使用 RS485 通讯/编程端口，可通过 MPI 通达协议、PC/PPI 通讯协议实现控制器与食品包装机、人机交互界面的通信。PLC 通讯端口与计算机通过 PC/PPI 电缆利用 PPI 串口通信方式连接，分别设置 PC/PPI 电缆通讯地址以及接口分别为 0 以及 COM1。PLC 控制器正常运行时可通过 PC 显示界面实现人机交互^[13]，用户通过 PC 显示界面可时刻关注热封温度以及温度控制情况。

3 RBF-PID 热封温度控制算法

3.1 PID 控制算法

PID 控制算法是依据采样值 PV 和设定值 SP 叠加误差 $e(t)$ 的积分、微分以及比例运算，获取输出信号的控制过程，其过程如下所述。

$$u(t) = G_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

式中： G_p 为积分参数； T_I 为积分时间常数； T_D 为微分时间常数。离散化处理式 (1) 获取增量式 PID 见式 (2)。

$$\begin{aligned} \Delta u(t) &= G_p [e(t) - e(t-1)] + G_I e(t) + \\ &G_D [e(t) - 2e(t-1) + e(t-2)] \end{aligned} \quad (2)$$

式中： $G_I = G_p/T_I$ 为微分参数； $G_D = G_p \times T_D$ 为比例参数。在食品封口机处于运行状态时，通过调节 G_p ， G_I ， G_D 等参数可实现温度最优控制。由于温度控制过程中受温度传递滞后性等情况影响^[14]，难以通过人为调整获取最优控制结果，因此选取 RBF 神经网络优化 PID 控制算法。

3.2 RBF 神经网络

假设 $X = [x_1, x_2, \dots, x_L]^T$ 表示 RBF 神经网络输入量，可得其输出公式见式 (3)。

$$y_m(t) = \left(\sum_{j=1}^m w_j h_j \right) \times X \quad (3)$$

式中： $j=1, 2, \dots, m$ ； w_j 为径向基向量； h_j 为高斯基函数，其计算公式为：

$$h_j = \exp \left(-\frac{\|X - C_j\|^2}{2b_j^2} \right) \quad (4)$$

$$b_j = y_m(t) \times w_j h_j \frac{|X - C_j|^2}{m} \quad (5)$$

式中： C_j 为第 j 个聚类中心； b_j 为基宽向量，可得径向基函数基宽向量公式为：

$$b_j(t) = b_j(t-1) + \alpha [b_j(t-1) - b_j(t-2)] \quad (6)$$

依据以上公式可得径向基函数的节点中心向量公式为：

$$c_{ji}(t) = \mu \Delta c_{ji} + \alpha [c_{ji}(t-1) - c_{ji}(t-2)] \quad (7)$$

$$c_{ji} = [y(t) - y_m(t)] w_j h_j \frac{x_i - c_{ji}}{b_j^2} \quad (8)$$

式中： $y(t)$ 为食品包装机热封温度设定值； μ 为网络学习率； α 与 c_{ji} 分别为动量因子以及节点中心向量。

3.3 RBF-PID 温度控制算法

PID 控制算法可令 PLC 控制器实现闭环控制，通过 RBF 神经网络方法设置食品包装机热封温度误差为控制输入量^[15]，令 PID 控制参数最优数据作为输出数据，实现食品包装机热封温度精准控制。

假设当时间为 t 时，食品包装机热封温度误差为：

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (9)$$

式中： $r(t)$ 与 $y(t)$ 分别为输入信号和输出信号。

若存在：

$$n_1 = e(t) - e(t-1) \quad (10)$$

$$n_2 = e(t) \quad (11)$$

$$n_3 = e(t) - 2e(t-1) + e(t-2) \quad (12)$$

则存在：

$$\begin{cases} u(t) = u(t-1) + \Delta u(t) \\ \Delta u(t) = G_p(t) n_1 + G_I(t) n_2 + G_D(t) n_3 \end{cases} \quad (13)$$

RBF 神经网络训练的目标函数为：

$$E(t) = \frac{1}{2} e(t)^2 \quad (14)$$

则整定增量式 PID 控制参数的过程为：

$$\begin{cases} G_p(t) = G_p(t-1) + \mu e(t) \frac{\partial y(t)}{\partial u} n_1 \\ G_I(t) = G_I(t-1) + \mu e(t) \frac{\partial y(t)}{\partial u} n_2 \\ G_D(t) = G_D(t-1) + \mu e(t) \frac{\partial y(t)}{\partial u} n_3 \end{cases} \quad (15)$$

式中: $G_p(t-1)$, $G_I(t-1)$, $G_D(t-1)$ 均为采样时间为 $t-1$ 时的 PID 参数; $\frac{\partial y(t)}{\partial u}$ 为温度控制的输出灵敏度。

获取食品包装机热封温度控制的输出量公式为:

$$u(t) = u(t-1) + G_p(t) + G_I(t) + G_D(t) \quad (16)$$

4 实验与结果分析

为检测基于 PLC 技术的食品包装机热封温度控制方法的实际应用性能, 设计如下仿真实验加以验证。

实验设备及材料: 选取 DXDK160B 立式食品包装机作为温度控制实验的主要设备, 食品包装材料为 0.6 mm 的聚乙烯薄膜。

为直观展示文中方法在温度控制方面的性能, 选取模糊 PID 方法 (参考文献[3]) 以及 RBF 神经网络方法 (参考文献[4]) 作为对比方法。

以控制器输出端的输出幅值为检验指标, 对比 3 种温度控制方法运行 100 s 内的控制性能, 对比曲线见图 3。

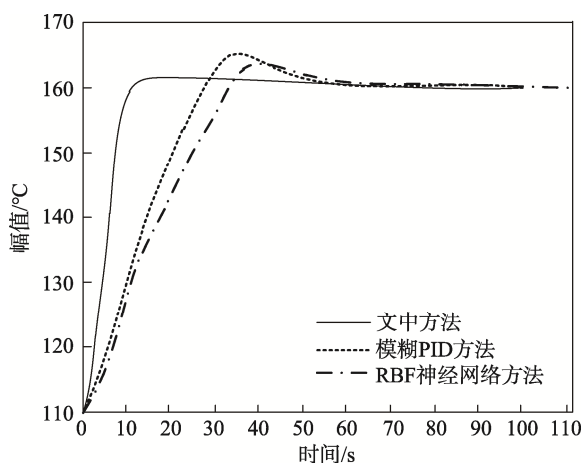


图3 控制性能对比曲线
Fig.3 Control performance comparison curve

依据图 3 所示的性能对比曲线可以看出, 应用文中方法控制食品包装机热封温度时, 可在 10 s 内快速实现控制器输出幅值的稳定, 且具有极低的超调; 而模糊 PID 方法和 RBF 神经网络方法的超调较高, 且实现理想控制的用时明显多于文中方法。由此可以看出, 文中方法的控制性能优于 2 种对比方法。

由于食品包装机热封温度控制过程存在时变性和非线性的特征, 因此在 3 种控制方法运行到第 50 秒时, 添加一个幅值为 0.1 的阶跃干扰量, 此时 3 种控制方法性能对比曲线见图 4。

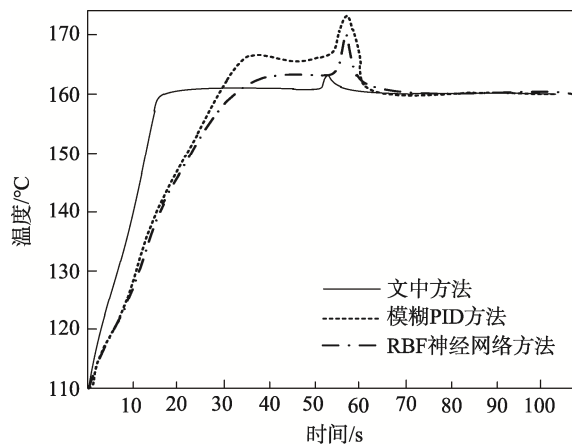


图4 抗干扰鲁棒性对比
Fig.4 Anti-jamming robustness comparison

依据图 4 所示的性能对比曲线可以看出, 模糊 PID 方法、RBF 神经网络方法以及文中方法的二次超调量分别为 4.3%, 2.5% 和 0.2%, 3 种方法分别通过 12, 9, 3 s 实现稳态。对比上述结果可以看出, 文中方法具有较高的抗干扰鲁棒性, 可适用于具有较高时变性以及非线性控制中。

在此基础上, 设置预设温度分别为 50, 100, 150 °C, 统计采用 3 种方法在不同实际温度情况下调节的最终温度, 统计结果见表 2。

根据表 2 所示的实验结果可以看出, 采用文中方法调节的温度与预设温度最为接近, 可将温度误差控制在 0.5 °C 以内; 而应用模糊 PID 方法和 RBF 神经网络方法控制误差温度均高于 1 °C。由此可以看出, 文中方法依据预设温度调节实际温度, 能够实现对封装温度的精准控制。

统计设定食品包装机热封目标温度为 160 °C, 统计运行时间为 100 s 内 3 种方法控制食品包装机热封温度情况, 结果见图 5。

根据图 5 所示的实验结果可以看出, 当设定目标温度为 160 °C 时, 文中方法可将食品包装机热封温度值控制在 159.2 ~ 160.8 °C 之间; 模糊 PID 方法可将食品包装机热封温度值控制在 158 ~ 163 °C 之间; RBF 神经网络方法可将食品包装机热封温度值控制在 156 ~ 164 °C 之间。由此可以看出, 文中方法对食品包装机热封温度的控制性能明显高于另 2 种方法, 控制过程具有较高的精确性。

在采用 3 种方法控制食品包装机热封温度运行 50 s 时, 施加 5 s 大小为 10 °C 的扰动量, 3 种方法的抗干扰结果见图 6。

根据图 6 所示的实验结果可以看出, 当 2 种对比方法受到扰动后, 其稳定性受到较大影响, 需通过较长的调整时间才可实现温度的稳定控制。文中方法采用的 PLC 控制器将 PID 控制算法与 RBF 神经网络方法有效结合, 使自身具有较强的自适应能力, 尽管受到 10 °C 的扰动量, 可通过 RBF-PID 算法实现较少的

表 2 不同预设温度时控制结果
Tab.2 Control results at different preset temperatures

实际温度/℃	预设温度/℃	最终温度/℃		
		文中方法	模糊 PID 方法	RBF 神经网络方法
17.5	50	50.1	48.5	48.9
29.4	50	50.2	49.3	51.4
34.5	50	49.9	47.5	52.6
41.9	50	49.8	48.2	51.7
59.4	50	50.1	51.6	51.9
17.5	100	100.1	102.3	103.2
29.4	100	100.3	102.4	102.4
34.5	100	100.2	101.9	101.9
41.9	100	99.8	103.2	98.7
59.4	100	99.9	101.8	102.4
17.5	150	150.2	151.4	152.4
29.4	150	150.1	151.6	152.3
34.5	150	150.1	151.7	151.4
41.9	150	149.9	148.6	151.8
59.4	150	150.2	147.6	151.7

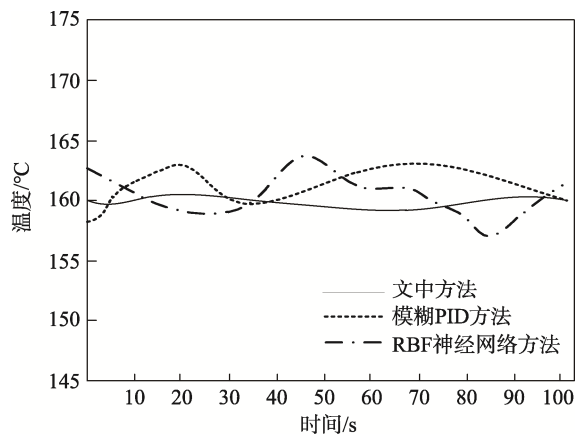


图 5 热封温度控制结果
Fig.5 Heat sealing temperature control results

超调量实现温度的精准控制,快速将温度调节至设定温度,可有效提升食品包装机热封温度控制有效性。

5 结语

为解决传统方法存在的食品包装机热封温度控制精度较差的不足,再利用温度传感器采集食品包装机热封温度数据的基础上,将 PID 控制算法与 RBF 神经网络方法相结合,应用于 PLC 的闭环控制模块中,有效解决了食品包装机热封由于温度控制效果差而造成的质量问题。通过实验验证了这一方法具有较

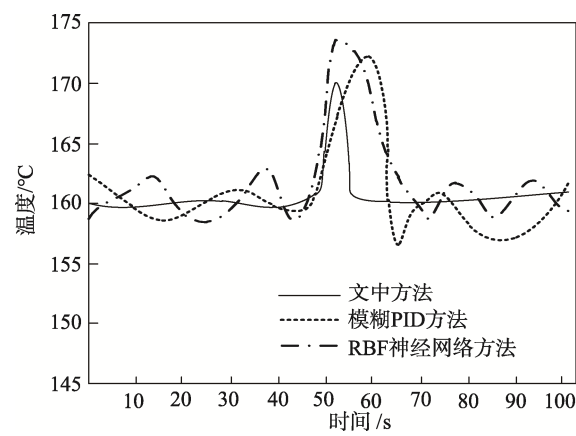


图 6 施加扰动时温度控制结果
Fig.6 Temperature control results when disturbance is applied

高的温度控制能力以及较强的抗干扰能力,可将食品包装机温度误差控制在 1.6℃以内,且有效提升了食品包装机热封温度控制的鲁棒性,证明了该方法可靠性和实用价值较高。

参考文献:

[1] MAKAREMI M, PASBAKHS P, CAVALLARO G, et al. Effect pf Morphology and Size of Halloysite Nanotubes on Functional Pectin Bionanocomposites for Food Packaging Applications[J]. ACS Applied Mate-

- rials & Interfaces, 2017, 9(20): 174—181.
- [2] 丰会萍, 胡亚南, 闫琛钰, 等. 基于 TIA Portal 的多功能茶叶包装机控制系统设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 85—88.
FENG Hui-ping, HU Ya-nan, YAN Chen-yu, et al. Design of Control System for Multi-Functional Tea Packaging Machine Based on TIA Portal[J]. Food & Machinery, 2017, 33(7): 85—88.
- [3] 温玉春, 刘祺君. 基于模糊 PID 的包装机热封切刀温度控制[J]. 包装工程, 2017, 38(3): 109—113.
WEN Yu-chun, LIU Qi-jun. Temperature Control of Heat-Sealing Cutter of Packaging Machines Based on Fuzzy PID[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(3): 109—113.
- [4] 陈明霞, 张寒, 郑谊峰. 基于 RBF 神经网络的自动包装机温度控制算法研究[J]. 包装工程, 2018, 39(19): 160—166.
CHEN Ming-xia, ZHANG Han, ZHENG Yi-feng. Temperature Control of Automatic Packaging Machine Based on RBF Neural Network[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(19): 160—166.
- [5] LIU R, MABURY S A. Identification of Photoinitiators, Including Novel Phosphine Oxides, and Their Transformation Products in Food Packaging Materials and Indoor Dust in Canada[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 53(8): 4109—4118.
- [6] 杨桂府, 杨扬. 基于 PLC 的塑料挤出机温度控制系统设计[J]. 塑料科技, 2019, 47(3): 93—95.
YANG Gui-fu, YANG Yang. Design of Temperature Control System for Plastic Extruder Based on PLC[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(3): 93—95.
- [7] 张克平, 田佳壮, 李妙祺, 等. 基于 PLC 气动式水果套网包装机自动控制系统设计[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(3): 117—125.
ZHANG Ke-ping, TIAN Jia-zhuang, LI Miao-qi, et al. Design of Automatic Control System of Pneumatic Fruit Packaging Machine Based on PLC[J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(3): 117—125.
- [8] 杨丹. 食品包装机薄膜横封温度控制的算法设计[J]. 食品工业, 2020, 41(10): 225—228.
YANG Dan. Algorithm Design of Temperature Control of Film Cross Seal for Food Packing Machine[J]. The Food Industry, 2020, 41(10): 225—228.
- [9] ZHANG Y, HAN S. The Principle and Current Situation Analysis of Time-Temperature Indicator for Food Packaging[J]. Plastics Packaging, 2018, 28(2): 59—62.
- [10] 李文杰, 李冬梅. 几种基于 PLC 的硅片清洗设备流量控制方法[J]. 电子技术应用, 2018, 44(4): 69—72.
LI Wen-jie, LI Dong-mei. Flowrate Control Methods Based on PLC in Wafer Clean Tool[J]. Application of Electronic Technique, 2018, 44(4): 69—72.
- [11] LI A, ZHANG C, WANG H, et al. Design of Temperature-immunization System Packaging for the Resonant Pressure Sensor[J]. Modern Physics Letters B, 2017, 31(8): 175—185.
- [12] 李鑫, 张煜星, 高博. 基于 S7-1200PLC 的啤酒发酵温度控制系统研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 116—119.
LI Xin, ZHANG Yu-xing, GAO Bo. Research on Temperature Control System of Beer Fermentation Based on S7-1200PLC[J]. Food & Machinery, 2018, 34(4): 116—119.
- [13] 冯硕. 基于 PLC 的全自动粮食包装机电气控制系统的设计[J]. 农机化研究, 2019, 41(12): 205—209.
FENG Shuo. Design of Electric Control System for Automatic Grain Packaging Machine Based on PLC[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019, 41(12): 205—209.
- [14] XIN L. Investigation on Effect of PCMs on the Temperature Control of Asphalt and Its Mixture[J]. New Chemical Materials, 2019, 159(3): 647—655.
- [15] WANG C, GAO W, LIANG Y, et al. Migration of Chlorinated Paraffins from Plastic Food Packaging into Food Simulants: Concentrations and Differences in Congener Profiles[J]. Chemosphere, 2019, 225(1): 557—564.