

本文引用格式: 赵旭,程华,王帅,等.全自动拍击式酶标板洗板机设计[J].自动化与信息工程,2024,45(2):29-33;49.

ZHAO Xu, CHENG Hua, WANG Shuai, et al. Design of a fully automatic tapping enzyme label plate washing machine[J]. Automation & Information Engineering, 2024,45(2):29-33;49.

全自动拍击式酶标板洗板机设计*

赵旭 程华 王帅 李玉霞 张田龙

(河北省自动化研究所有限公司, 河北 石家庄 050081)

摘要: 为提高酶标板清洗效率,减少操作人员的工作量,降低检测交叉感染风险,设计一种具有参数设定、数据记录、流程状态显示等功能的全自动拍击式酶标板洗板机。该洗板机的控制核心为嵌入式系统,通过读取及判断接近传感器、编码器等设备的状态信息,控制各执行机构进行对应动作,模拟人手拍击自动清理酶标板清洗后的废液。通过实验测试,清洗后的酶标板残液量 $<2\mu\text{L}/\text{孔}$,清洗效果良好。

关键词: 洗板机;拍击式;酶标板;STM32F103RET6

中图分类号: TP273

文献标志码: A

文章编号: 1674-2605(2024)02-0005-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2024.02.005

Design of a Fully Automatic Tapping Enzyme Label Plate Washing Machine

ZHAO Xu CHENG Hua WANG Shuai LI Yuxia ZHANG Tianlong

(Hebei Institute of Automation Co., Ltd., Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: To improve the efficiency of enzyme label plate cleaning, reduce the workload of operators, and reduce the risk of cross infection detection, a fully automatic tapping enzyme label plate washing machine with functions such as parameter setting, data recording, and process status display is designed. The control core of this plate washer is an embedded system, which reads and judges the status information of proximity sensors, encoders, and other devices, controls each executing mechanism to perform corresponding actions, and simulates manual tapping to automatically clean the waste liquid after enzyme label plate cleaning. Through experimental testing, the residual liquid amount of the cleaned enzyme label plate is less than $2\mu\text{L}/\text{hole}$, good cleaning effect.

Keywords: plate washing machine; tapping; enzyme label plate; STM32F103RET6

0 引言

洗板机是用于清洗酶标板检测后残留物质的专用仪器^[1],可降低后续因残留物质而导致的检测误差。残留物质通过清洗液和蒸馏水混合清洗去除^[2]。现有的洗板机一般利用清洗针吸取废液至废液容器或采用离心甩干的方式清理废液。但清洗针容易堵塞^[3],在酶标板清洗后,还需要操作人员手动磕打几次,才能将剩余残液基本清理干净。采用离心甩干方式清理废液,虽然残液量较少,但在离心甩干的过程中可能产生气溶胶,造成交叉干扰和生物污染,导致后续检

测结果不准确。

为此,本文设计了全自动拍击式酶标板洗板机,通过模拟人手拍击的方式清洗 12×8 孔的酶标板废液,提高酶标板的清洗效率,减小清洗残液量,降低检测时的交叉感染。

1 洗板机结构及动作原理

全自动拍击式酶标板洗板机(以下简称洗板机)主要由洗针排动作机构、翻转拍击机构、擦拭及排液机构、支撑框架、废液槽等部分组成,其结构及拍击动作示意图如图1所示。

* 基金项目: 河北省科学院基本科研业务费制度试点项目(2022PF02-1)

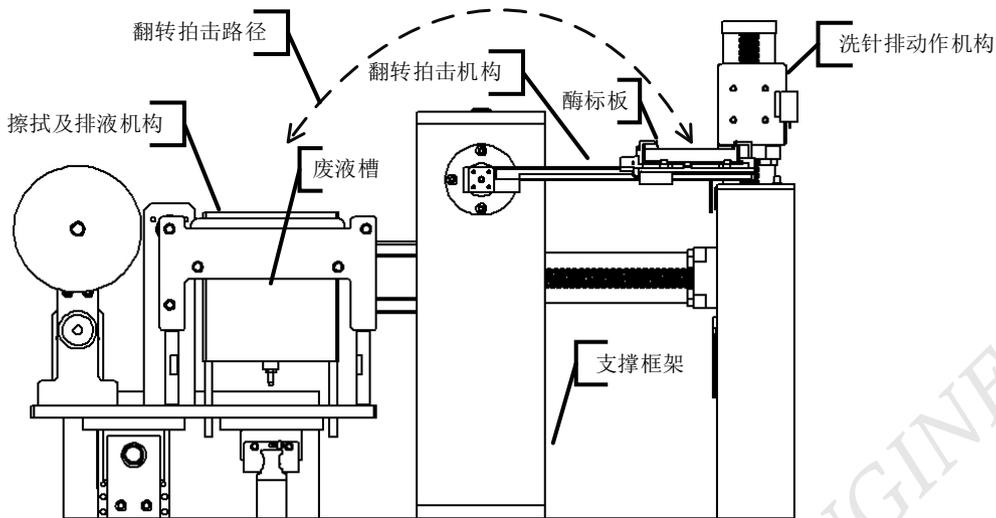


图 1 洗板机结构及拍击动作示意图

洗针排动作机构带动清洗针横向、纵向移动，实现洗板动作时的定位注液功能；翻转拍击机构模拟人手进行翻转拍击，将酶标板上的废液拍击到废液槽内，在翻转拍击过程中，由于存在惯性和表面张力，酶标板内的清洗液不会挥洒，保证了洗板效果；擦拭及排液机构盛接酶标板排出的废液，并用清洁纸擦拭剩余残液，保证残液尽量少；支撑框架可使洗板机结构更加稳固，降低由拍击、机构运动等引起的震动，提高洗板机的可靠性。

2 控制系统硬件设计

洗板机控制系统采用嵌入式系统，以 STM32F103RET6 为控制核心，通过读取限位开关、接近传感器、编码器、中断等信号状态，控制滚珠丝杠、直流电机、液泵、液阀、状态指示等执行机构动作，并通过 RS232 与串口触摸屏通信，实现洗板机的人机交互与动作控制功能。STM32F103RET6 是一款 ARM Cortex-M0 架构的 32 位高密度性能微控制器，可提供模数转换器、通用计时器、PWM 计时器、标准与高级通信接口以及多种增强型 I/O 与外设，最高运行频率为 72 MHz。洗板机控制系统硬件示意图如图 2 所示。

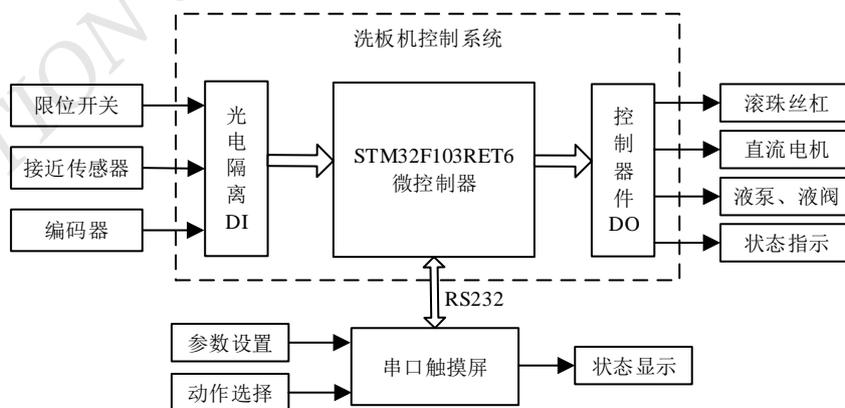


图 2 洗板机控制系统硬件示意图

洗板机控制系统除 STM32F103RET6 外，还包括光电隔离器、控制器件、DC-DC 稳压电路、RS232 通

信电路等部分。光电隔离器用于隔离输入信号，以提高抗干扰性；控制器件包括三极管、继电器等，用于

驱动滚珠丝杠的步进电机、直流电机、液泵、液阀、蜂鸣器等动作；该控制系统并非由单一电源统一供电，DC-DC 稳压电路用于电压转换；RS232 通信电路用于控制系统与串口触摸屏的通信。

3 转速计算

洗板机工作时，通过翻转拍击可排出绝大部分注入酶标板检测孔内的清洗液。但由于液体具有表面张力，若拍击力度不够，残留在检测孔壁上的清洗液难以被完全清理。因此，拍击时离心力需大于残液表面张力，才能清理残液。经过多次试验得知，检测孔内壁或底部的残液一般为直径约 2 mm 的凸起液珠，其表面张力公式为

$$F_L = \alpha \cdot L \quad (1)$$

式中： F_L 为残液的表面张力， $\alpha = 72.8 \times 10^{-3}$ N/m 为清洗液的表面张力系数^[4]， L 为液面边界长度。

由公式(1)计算得出，残液表面张力 $F_L \approx 4.57 \times 10^{-4}$ N。

在翻转拍击时，具有一定速度的旋转臂受外力停止运动，此时残液由于惯性作用继续运动产生离心力，离心力计算公式^[5]为

$$F_\omega = \omega^2 \cdot r \cdot m \quad (2)$$

式中： F_ω 为离心力， ω 为旋转臂运动角速度， r 为旋转臂长度， m 为凸起液珠的质量。

变换公式(2)，求 ω 值为

$$\omega = \sqrt{F_\omega / (r \cdot m)} \quad (3)$$

将 $F_L = F_\omega = 4.57 \times 10^{-4}$ N， $r = 0.3$ m，底部残液质量 1.6×10^{-6} kg 代入公式(2)，可得 $\omega \approx 30.86$ rad/s；即 294 r/m。当旋转臂旋转速度大于 294 r/m 时，旋转臂停止旋转，可使残液脱离酶标板检测孔壁。

4 控制系统软件设计

洗板机控制系统程序基于 STM32CubeIDE 编制。STM32CubeIDE 是针对 STM32 微控制器的开发平台，

采用 C/C++ 进行代码编制，具有 STM32 微控制器的配置、代码生成、代码编译和调试等功能^[6]。

4.1 引脚配置

根据硬件设计要求，洗板机控制系统共留有接近传感器接口 6 个、编码器接口 1 个、限位开关接口 4 个、LED 接口 3 个、蜂鸣器接口 1 个、直流电机接口 2 个、液泵、液阀接口 5 个、步进电机接口 4 个、串口触摸屏接口 1 个。根据接口的不同定义，设定控制系统的微控制器引脚的定义如图 3 所示。

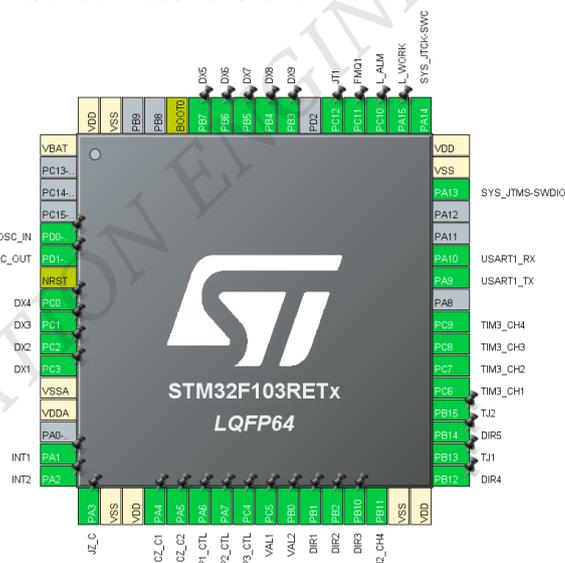


图 3 控制系统微控制器引脚定义图

在 STM32CubeIDE 环境内选择 STM32F103RETx 作为开发芯片，在 PinOut & Configuration 内将对应引脚按照功能进行可视化配置，开发环境即可按照配置自动生成初始化代码^[7]。定时器、USART、中断等配置操作类似。

4.2 PWM 输出占空比和频率设定

在步进电机驱动旋转臂对酶标板进行拍击动作时，步进电机需要一个加速过程，以确保系统的稳定运行^[8]。根据系统设定，定时器 3 的通道 1 为 PWM 发生器，带动拍击动作的步进电机进行控制脉冲输出，即微控制器的第 37 引脚连接步进电机的脉冲接收端。进行拍击动作时，设定 PWM 输出占空比为 50%，以保证脉冲信号高/低周期相同，避免因脉宽调整影响翻转拍击效率，并以中断 PWM 输出的方式开启定时器

3 的通道 1，其代码为：

```
HAL_TIM_PWM_Start_IT(&htim3,
TIM_CHANNEL_1);
```

普通定时器 8，设定每 10 μs 产生 1 次中断，在中断回调程序中写入设定的 PWM 重装值与分频值。其中，重装值可固定；分频值在普通定时器 8 中每中断一次增加一定的值，可实现 PWM 输出频率逐渐增加，以此逐渐加大步进电机的速度，其代码为：

```
__HAL_TIM_SET_AUTORELOAD(&htim3,value1); //设定重装值
__HAL_TIM_SET_PRESCALER(&htim3,value2); //设定分频值
```

PWM 以中断的方式输出，该方式通过脉冲数量计数，实现步进电机的控制。当步进电机达到设定速度并保持一段时间后，微控制器控制步进电机脱机，由于惯性作用，步进电机继续旋转直到碰到废液槽，从而实现拍击功能，并避免翻转拍击机构与废液槽的硬接触。在将酶标板检测孔内的残液排到废液槽后，步进电机回到初始位置。

4.3 控制系统流程程序设计

控制系统流程程序具有数据通信、数据存储、洗板流程控制等功能。

数据通信实现了控制系统与串口触摸屏之间的数据交换。通过 RS232 协议互相发送数据指令实现界面显示、按键操作、数据切换等功能，一条完整的串口指令结构如表 1 所示。

表 1 串口指令结构表

| 名称 | 长度/字节 | 说明 |
|--------|-------|--------------------------|
| 帧头 | 2 | 默认帧头为 5A A5，可修改配置参数 |
| 数据长度 | 1 | 其右侧全部数据长度加和 |
| 指令 | 1 | 0x10~0x84 其中之一 |
| 数据 | N | 符合各个控件要求的数据 |
| CRC 校验 | 2 | 左方全部数据的 CRC 校验，可通过设置是否启用 |

洗板机的数据存储在微控制器的 flash 里。由于洗板机控制程序也存储在 flash 内，为保证程序运行

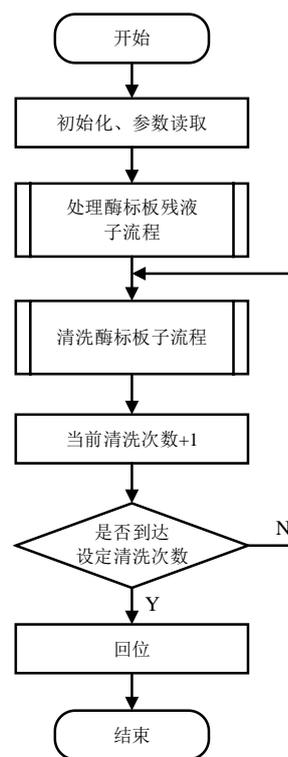
不紊乱，数据存储在相对较后的空间内。本系统以 0x804B000 作为存储数据的初始地址，每 2 k 字节为一个扇区，以此类推，其代码为：

```
#define flash_ADDR 0x804B000
//flash 存储数据初始地址
在数据写操作时，首先，解锁 flash 的只读功能，
擦除要写入扇区内的数据；然后，进行数据对应地址
的写操作；最后，加锁 flash 的只读功能，其代码为：
HAL_FLASH_Unlock(); //解锁 flash
Erase_Flash(Flash_ADDR); //擦除扇区
Write_Flash(0xa5, Flash_ADDR); //写入数据
Write_Flash(0xb6, Flash_ADDR+4); //写入数据
Write_Flash(0xc7, Flash_ADDR+8); //写入数据
HAL_FLASH_Lock(); //加锁 flash
```

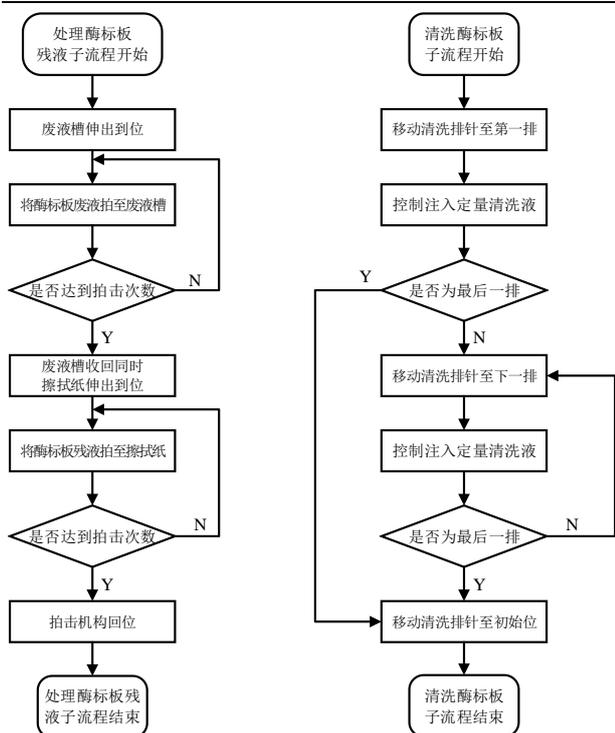
微控制器数据读出操作非常方便，读出数据的代码如下：

```
tmp=*(__IO uint32_t*)(Flash_ADDR); // 读取 flash 地址值
```

洗板机控制程序流程图如图 4 所示。



(a) 洗板机清洗控制流程图



(b) 处理酶标板残液子流程图

(c) 清洗酶标板子流程图

图4 洗板机控制程序流程图

在处理酶标板残液子流程和清洗酶标板子流程中,拍击次数、清洗排数、清洗液注入量均可根据实际情况设定。清洗液注入量为 $50\sim 300\ \mu\text{L}/\text{孔}$,根据注入清洗液持续时间进行控制。经过大量实际操作并计量, $50\sim 300\ \mu\text{L}/\text{孔}$ 的清洗液注入量能够控制在 $\pm 5\%$ 以内,可使酶标板的残液量尽可能少。

5 使用测试

全自动拍击式酶标板洗板机实物如图5所示。



图5 全自动拍击式酶标板洗板机实物图

清洗 12×8 孔的酶标板、清洗液注入量为 $300\ \mu\text{L}/\text{孔}$ 、清洗7次,记录酶标板的空板质量和清洗后的质量,以便于计算残液量;记录每次清洗流程所用时间。经统计,每块酶标板清洗流程在 $1\sim 2\ \text{min}$,清洗残液量如表2所示。

表2 清洗残液量记录表

| 序号 | 空板质量/g | 洗板后质量/g | 总残液量/ μL | 平均每孔残液量/ μL |
|----|--------|---------|---------------------|------------------------|
| 1 | 45.930 | 46.060 | 130 | 1.35 |
| 2 | 45.738 | 45.921 | 203 | 1.91 |
| 3 | 45.721 | 45.874 | 153 | 1.59 |
| 4 | 45.735 | 45.919 | 194 | 1.92 |
| 5 | 45.713 | 45.883 | 170 | 1.77 |
| 6 | 45.663 | 45.795 | 192 | 1.38 |
| 7 | 45.787 | 45.863 | 76 | 0.79 |

由表2可知,平均残液量 $< 2\ \mu\text{L}/\text{孔}$,满足实验室对于残液量的要求,说明该洗板机使用效果良好。

6 结论

本文设计了一款全自动拍击式酶标板洗板机,可清洗 12×8 孔的酶标板,具有清洗次数、清洗排数、清洗液注入量、拍击次数设置等功能。该洗板机适用于医院、血站、卫生防疫站、试剂厂、研究室的酶标板清洗工作,提高了酶标板的清洗效率,减轻了操作人员的工作量,降低了检测时的交叉感染。但该洗板机后续仍需在体积、质量等方面进行改进。

参考文献

- [1] 崔丽娟,陈治水,袁蓉,等.安图iWO-960全自动洗板机的维护与保养[J].医疗卫生装备,2014,35(2):155;164.
- [2] 方志军,刘耀煌,刘金柱.DEM-III型自动酶标洗板机清洗针头堵塞的预防及处理[J].现代检验医学杂志,2004(4):46.
- [3] 谭志文,刘鑫,徐明明.全自动洗板机故障分析维修与保养[J].中国医疗器械信息,2021,27(5):179-181.
- [4] 胡粉娥,魏生贤,时有明,等.水的表面张力系数与温度的关系的对比研究[J].曲靖师范学院学报,2015,34(3):7-10.
- [5] 周卿倩,岳晓婷.离心力概念辨析[J].物理教学探讨,2021,39(9):59-62.

(下转第49页)