

## 基于半导体制冷片智能理疗仪的设计

王秀芳, 赵指向, 张念宏, 马 达

上海理工大学, 上海 200093

**【摘 要】目的:**设计一基于半导体制冷片温度在一定范围内可调的智能理疗仪,该仪器主要由控制器、加热制冷模块、温度测量和保护电路、水路循环系统及水敷袋等组成。**方法:**采用单片机 PIC16F877A 作为控制器,采用半导体制冷片作为加热制冷器件,采用 DS18B20 温度传感器测量系统温度,采用微型水泵实现水路循环,通过按键设置加热/制冷或具体温度值,用 PWM 波控制全桥驱动芯片驱动半导体制冷片,实现加热和制冷功能,采用 PID 算法实现温度的稳定控制。**结果:**该仪器能够通过 LCD 显示设置温度和时间温度,能够采用按键设置温度,能够实现温度的加热或制冷调节,温度调节范围为  $-5^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ ,方案简洁实用,体积小巧,方便携带。**结论:**该仪器可用于颈椎病、关节炎等多种慢性疾病的辅助治疗,也可用于运动伤害的辅助治疗,可以家用亦可以在医院使用,前景广阔。

**【关键字】**半导体制冷片; 全桥电路; 单片机; 温度控制; PWM; PID; DS18B20

**【DOI 编码】**doi:10.3969/j.issn.1005-202X.2015.02.026

**【中图分类号】**TP29

**【文献标识码】**D

**【文章编号】**1005-202X(2015)02-0262-03

## Design of Semiconductor Chilling Plate Based Intelligent Therapy Apparatus

WANG Xiu-fang, ZHAO Zhi-xiang, ZHANG Nian-hong, MA Da

Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China

**Abstract:** Objective To design a intelligent therapy apparatus based on Semiconductor Chilling Plate, which can realize the regulation in a certain temperature range. The apparatus is made up of controller, heating and cooling module, temperature measurement and protection circuit, waterway system and water bag. **Methods** Use PIC16F877A as controller; Semiconductor Chilling Plate as heating and cooling device; sensor DS18B20 to detect system temperature; and micro pump to realize waterway loop; PWM to control full-bridge driver IC for Semiconductor Chilling Plate through keys setting heating and cooling or temperature value. **Results** The apparatus can display setting temperature and actual temperature through LCD, and can set temperature through keys. The design can complete the heating and cooling procedures, and the temperature adjustment range is  $-5^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ . The project is simple and good use, small and easy to take along. **Conclusion** the apparatus can be used as an adjuvant therapy measure for cervical spondylosis, arthritis and other chronic diseases, also for sport injuries.

**Key words:** semiconductor chilling plate; full-bridge circuit; microcomputer; temperature control; PWM; PID; DS18B20

### 前言

近年来关节炎、肩周炎、颈椎病、腰腿疼等慢性疾病患者逐年增加,这些疾病的治疗并没有立竿见影的方法,反而日常的保健和家庭的理疗成为这些疾病必不可少的手段。目前国内针对这个需求而设计的仪器还较少,本课题拟设计一家用智能理疗仪,该仪器以单片机为核心,采用 PID 算法控制加热/制冷电路,以调节水敷袋内水的温度,使水温在一定范围内可调,水敷袋可以敷在人体的关节、肌肉、腰腿及颈椎等部位,从而达到对这些部位进行物理治疗的功能,此外,

该仪器也可用于运动员的日常训练及伤病保健中。综上所述,该仪器具有很好的实用价值和意义。

### 1 系统总体设计方案

本系统主要由 MCU、温度采集、温度控制、水路循环模块、显示、按键等部分构成。采用 PIC16F877A 作为核心控制芯片,采用半导体制冷片作为加热制冷器件,使用 DS18B20 温度传感器来采集水路温度,通过按键选择工作模式,由 LCD12864 显示工作状态,额定工作电压 12 V、额定工作电流 0.5 A 的风扇用以系统的散热。系统结构框图如图 1 所示。

### 2 系统电路设计

#### 2.1 微控制器单元

本设计采用 MICROCHIP PIC16F877A 单片机作

**【收稿日期】**2014-12-15

**【基金项目】**上海市大学生创新计划项目;上海理工大学微创新基金

**【作者简介】**王秀芳,女,山东菏泽人,研究方向:医学信号检测与处理。

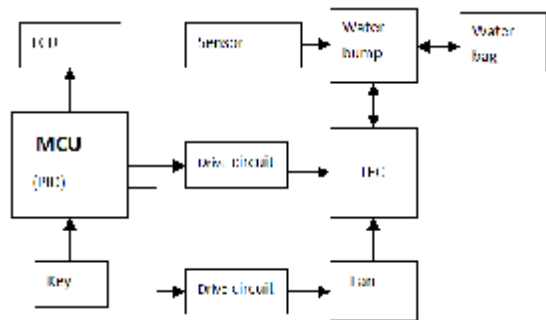


图1 系统结构框图

Fig.1 System Structure Diagram

为系统控制核心, 其工作电压 2.0 V~5.5 V, 8 K 程序存储器, 33 个通用 I/O 口, 2 个 MSSP 模块可同时输出两路 PWM 波, 用以控制全桥驱动芯片驱动半导体制冷片, 实现功率调整和加热制冷模式的翻转。

## 2.2 温度传感和工作模式切换及显示

温度采集使用防水型 DS18B20 数字温度传感器, DS18B20 数字温度传感器可提供 9~12 位分辨率温度测量, 通过一个单总线接口发送或者接收信息, 因此在 MCU 和 DS18B20 之间只需一条连接线(除地线), 电路简单, 且精度能满足实际需要。

采用按键触发单片机引脚电平变化中断, 识别按键动作, 采用 3 个按键分别实现加热制冷主模式切换键及温度设置功能、启动和停止。

显示部分采用 LCD12864 液晶显示器, 用中文显示当前的工作模式、当前温度等信息, 增加了界面友好性。

## 2.3 温度控制

采用直流半导体制冷片作为核心加热制冷元件。半导体制冷又称热电制冷或温差电制冷。主要是利用热电效应中的帕耳帖效应达到制冷目的。系统采用 TLE5206 H 桥驱动芯片驱动半导体制冷片, 其内部封装了 H 桥驱动电路。

如图 2 所示, J4 两端为半导体制冷片的接口, 当 IN1 输入高电平, IN2 输入低电平时, 输出端 OUT1 就为 +12 V, OUT2 接地; 同样当 IN1 输入低电平, IN2 输入高电平时输出电压翻转, 即实现了制冷片发热面和制冷面的交换。向控制端之一输入一定占空比的 PWM 波则可实现加热(制冷)功率的调控。

## 3 系统软件设计

### 3.1 程序结构

系统软件流程图如图 3 所示。系统上电后进行各模块的初始化操作, 包括对 I/O 口进行设定, 中断使能以及定时器的配置。随后向温度传感器发出指令采集温度数据, 并更新显示。上电后默认为驱动停止状态, 两路 PWM 输出均为低电平, 制冷片不工作。待有按键按下, MCU 响应按键中断进入中断函数, 对按键状态进行扫描, 对控制变量进行相应的更改, 并更

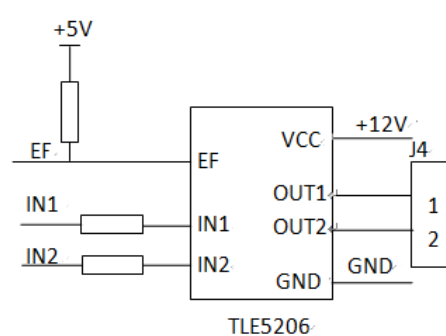


图2 制冷片驱动电路

Fig.2 Driver Circuit of Semiconductor Chilling Piece

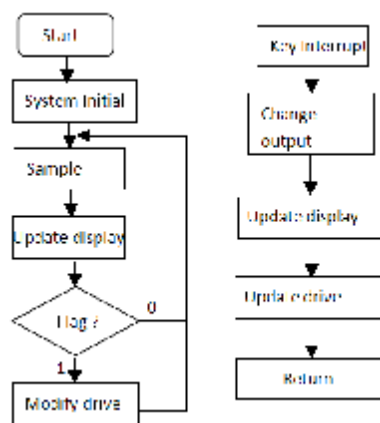


图3 程序流程图

Fig.3 Flow Chart

新显示和驱动状态, 然后返回主程序循环。在启动状态时, 程序将根据当前温度和工作模式调节 PWM 波, 以驱动 H 桥芯片, 进而使半导体制冷片动作, 最终将系统维持在设定温度, 整个过程中温度和工作状态将同步显示在 LCD 上。

### 3.2 控温算法

PID 控制是一种经典成熟的控制方式, 其原理简单, 可靠性、鲁棒性较为突出。本设计采用 PID 算法实现温度的精确控制。

数字 PID 控制系统实质上是时间域的离散系统。数字 PID 控制器的差分方程为:

$$u(n) = K_p[e(n) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^n e(i) + \frac{T_d}{T} [e(n) - e(n-1)]] \quad (1)$$

其中,  $T$  表示采样周期;  $n$  为采样序列号 ( $n=0, 1, 2, \dots$ )。

根据公式(1)递推得增量式 PID 公式:

$$\begin{aligned} \Delta u_k &= u_k - u_{k-1} \\ &= K_p[e_k - e_{k-1} + \frac{T}{T_i} e_k + T_d \frac{e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}}{T}] \\ &= K_p(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T})e_k - K_p(1 + \frac{2T_d}{T})e_{k-1} + K_p \frac{T_d}{T} e_{k-2} \\ &= A e_k - B e_{k-1} + C e_{k-2} \end{aligned} \quad (2)$$

其中:

$$A=K_p(1+\frac{T}{T_i}+\frac{T_d}{T})$$

$$B=K_p(1+\frac{2T_d}{T})$$

$$C=K_p\frac{T_d}{T}$$

增量式 PID 的输出  $\Delta u_k$  用来决定 PWM 占空比的大小。控制的精确度主要取决于 A、B、C 这 3 个参数的整定, 整定 PID 控制参数的方法有很多, 理论计算有根轨迹法整定, 工程上有试凑法、临界比例法、衰减曲线法、响应曲线法等。本文采用界限敏感度法外加试凑法确定 PID 参数的值, 界限敏感度法可以快速精确地算出各参数数值。

## 4 测试结果

测试结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 制冷片制冷能力检测结果(设定温度为 10℃)

Tab.1 Detection Results of Refrigerating Capacity

Refrigerating time(min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Temperature(℃)	25.6	23.1	20.9	18.8	17.0	15.2	13.1	11.9	10.6

表 2 制冷片制热能力检测结果(设定温度为 55℃)

Tab.2 Detection Results of Heating Capacity

Heating time(min)	0	1	2	3	4	5
Temperature(℃)	26.2	34.1	41.4	47.8	53.2	55.6

## 5 结论

本设计以单片机为核心控制器, 采用 PWM 方式控制 H 桥驱动芯片驱动半导体制冷片工作, 实现其加热制冷功能, 通过 DS18B20 进行温度采集, 并把采集到的温度信号反馈给单片机作为温度控制输出量大小的选择依据, 用按键调整工作模式, 由 LCD12864 显示工作状态。该设计使用安全, 功能强, 精度高, 功耗小, 易控制, 解决了同类产品功能单一, 不安全等问题。除了在医疗领域应用外, 亦可用到在其他领域, 如需要精确控温的仪器设备, 车载迷你冰箱, 可加热制冷的饮水设备等, 应用前景极为广阔。

## 【参考文献】

- [1] 贾茜媛. 基于 PIC 单片机的智能多级温控系统的开发[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(9): 2777-2779.
- Jia XY. Development of intelligent multi-level temperature control system based on PIC microcontroller[J]. Journal of Anhui Agricultural

Sciences, 2014, 42(9): 2777-2779.

- [2] 赵畅, 张嵘. 小型温控系统的研究[J]. 微计算机信息, 2008, 24(19): 8-10.
- Zhao C, Zhang R. Research of benchtop temperature control system[J]. Microcomputer Information, 2008, 24(19): 8-10.
- [3] 肖伟平, 黄绍平. 基于模糊 PID 控制的半导体制冷片温控系统的研制[J]. 工业仪表与自动化装置, 2008, 6: 55-56.
- Xiao WP, Huang SP. The development of a temperature control system for a semiconductor chilling plate based on the fuzzy PID control[J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2008, 6: 55-56.
- [4] 戴维涵, 代彦军. 半导体制冷元件特性参数测量及选用[J]. 上海交通大学学报, 2004, 38(10): 1669-1692.
- Dai WH, Dai YJ. Measurement for the characteristic parameters and selection of thermoelectric cooling modules [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2004, 38(10): 1669-1692.
- [5] 秦海涛, 薛晨阳. 半导体制冷温控系统的设计及误差分析[J]. 仪表技术与传感器, 2007, (1): 39-41.
- Qin HT, Xue CY. Design and error analysis of semiconductor refrigeration temperature controlling system[J]. Instrument Technique and Sensor, 2007, (1): 39-41.
- [6] 罗伟. 基于灰色预测的参数自校正构架电阻炉温度模糊控制系统[J]. 计算机测量与控制, 2013, (4): 47-49.
- Luo W. Temperature fuzzy control system for frame resistance furnace based-on gray prediction model's parameter self-control [J]. Computer Measurement & Control, 2013, (4): 47-49.
- [7] 赵萍. 半导体制冷温控系统的设计[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2009, 11(2): 74-76.
- Zhao P. Design of temperature controlling system on semiconductor refrigeration [J]. Journal of Liaoning Provincial College of Communications, 2009, 11(2): 74-76.
- [8] 赵培聪, 袁广超. 半导体制冷片对电子元件降温效果的试验研究[J]. 流体机械, 2012, (3): 64-70.
- Zhao PC, Yuan GC. Experimental study on electronic components cooling effect by semiconductor refrigeration[J]. Fluid Machinery, 2012, (3): 64-70.
- [9] 袁梅, 张利军. 基于半导体制冷器件的温度控制实验平台开发[J]. 实验技术与管理, 2010, 27(12): 73-77.
- Yuan M, Zhang LJ. Development of temperature control experimental platform based on semiconductor refrigerator[J]. Experimental Technology and Management, 2010, 27(12): 73-77.
- [10] 蔡锦达, 杨卫光. 基于 ARM 的化学免疫分析仪温度控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2013, (10): 39-41.
- Cai JD, Yang WG. Design of chemiluminescence immunoassay analyzer temperature control system based on ARM [J]. Instrument Technique and Sensor, 2013, (10): 39-41.
- [11] 周香珍, 杨富锋. 基于 ARM 的模糊自适应 PID 温度控制系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2014, 33(6): 98-102.
- Zhou XZ, Yang FF. Design of fuzzy adaptive PID temperature control system based on ARM[J]. Techniques of Automation and Applications, 2014, 33, (6): 98-102.
- [12] 陈鹏. 基于单片机的模糊 PID 温度控制系统设计[J]. 山东工业技术, 2014, 6: 157-18.
- Chen P. Design of fuzzy PID temperature control system based on MUC[J]. Shandong Industrial Technology, 2014, 6: 157-18.