

## 温差发电实验台温度控制系统设计\*

焦龙飞,王志铠,魏杰涛,马宗正

(河南工程学院 机械工程学院, 河南 郑州 451191)

**摘要:** 温差发电技术研究的基础是搭建一套满足需求的测试平台,其中最为关键的是温度控制系统。为此基于单片机建立了温度控制系统,主要对硬件电路,特别是传感器处理电路、加热电路、PID 控制系统进行了设计。实验数据表明,该系统能够满足实验要求,温差发电片的开路电压与其两端的温差基本呈线性关系。

**关键词:** 温差发电技术;测试平台;温度控制

中图分类号: TH811

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)14-0021-04

## Design of temperature control system for thermoelectric generation test bed

Jiao Longfei, Wang Zhikai, Wei Jietao, Ma Zongzheng

(Department of Mechanical Engineering, Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, China)

**Abstract:** For thermoelectric generation technology research, it is necessary to build a test platform to meet the needs, and one of the most critical is the temperature control system. Therefore, the microcontroller-based temperature control system is designed, specially the design of the hardware circuit, the sensor processing circuit, the heating circuit and PID control system. The experimental data show that the system can meet the requirement of experiment, and the open-circuit voltage of TEG and the temperature difference between the two sides shows a linear relationship.

**Key words:** thermoelectric generation; test bed; temperature control

随着世界各国对能源的需求以及环境污染的日益加剧,温差发电在新能源领域中获得了广泛的关注和研究。温差发电技术是利用热电材料的塞贝克效应(Seebeck effect)直接将热能转化为电能的技术,只要存在温差就可以产生电能,具有无需增加发动机负载、无噪声、体积小等特点。特别是对于发动机来说,内燃机的发展已经超过 100 年的历史,虽然热效率与最初的发动机相比有了显著提高,但是大部分的能量还是以废气和冷却的方式浪费掉,所占燃油能量的 60%左右<sup>[1]</sup>。同时,传统车辆上的电源由与发动机相连的发电机输出,而采用发动机发电时的效率较低,综合发电效率在 10%~15%之间,也即产生 1 kW 的电能大约需要 10 kW 的化学能。如果能够对这部分能量进行回收利用,则会明显提高内燃机的燃油经济性。有研究表明,如果能够将废气能量进行回收利用,内燃机的燃油经济性能够轻而易举地提

高 20%<sup>[2]</sup>。因此,温差发电是一种较为理想的能量回收技术,日益受到关注<sup>[3-4]</sup>。

图 1 为对温差发电器的热电性能进行测试时的实验系统示意图。该实验系统中需要对热端(利用加热丝)进行加热,以模拟实际的热源,而热源温度对于温差发电器热电性能有着重要的影响<sup>[5-8]</sup>,需要对其温度进行精确控制,为此,对恒温控制系统进行了设计。

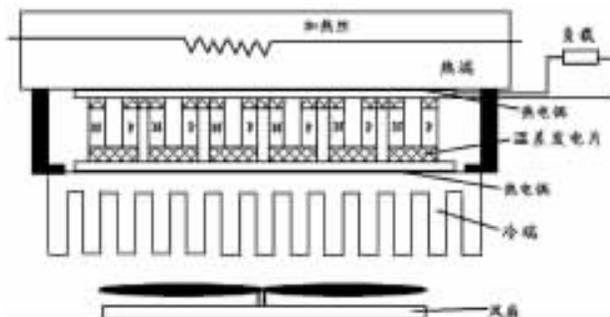


图 1 温差发电片试验台示意图

\* 基金项目:河南省教育厅科学技术研究重点项目(13B480007);河南工程学院博士基金资助项目(D2012011)

# 硬件纵横

Hardware Technique

## 1 温控系统硬件原理及构成

该系统的控制对象是加热水箱内水的温度,即需要控制在实验条件下温差发电片的热端温度。首先,通过热电偶传感器将水的温度转化为电阻值,再通过MAX6675内部放大电路输出电压,并将其保存在数据采集装置中;然后,重新设定水的温度,经温度标度转化成二进制数,保存到单片机的存储单元中;然后,调用显示子程序显示设定温度和采样温度,再将采样值与设定值输入单片机内,与系统的给定值进行比较得到误差量,采用PID控制算法得到控制量进行数字PID控制算法的运算,运算结果由单片机输出;最后,通过固态继电器的功率调节电路调节寄存器的断开与闭合,以实现设定温度的恒定。该控制采用继电器接触器控制系统,使整个设计系统电路简单,调试方便,实际应用可达到理想的精度。该系统原理结构如图2所示。

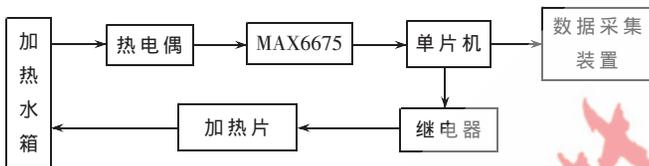


图2 温控系统原理结构框图

该恒温控制电路由AT89C51单片机时钟和复位电路、温度传感器、加热控制电路、整流滤波电路、稳压电路、电源电路、显示装置电路等构成<sup>[9]</sup>,其主电路图如图3所示。

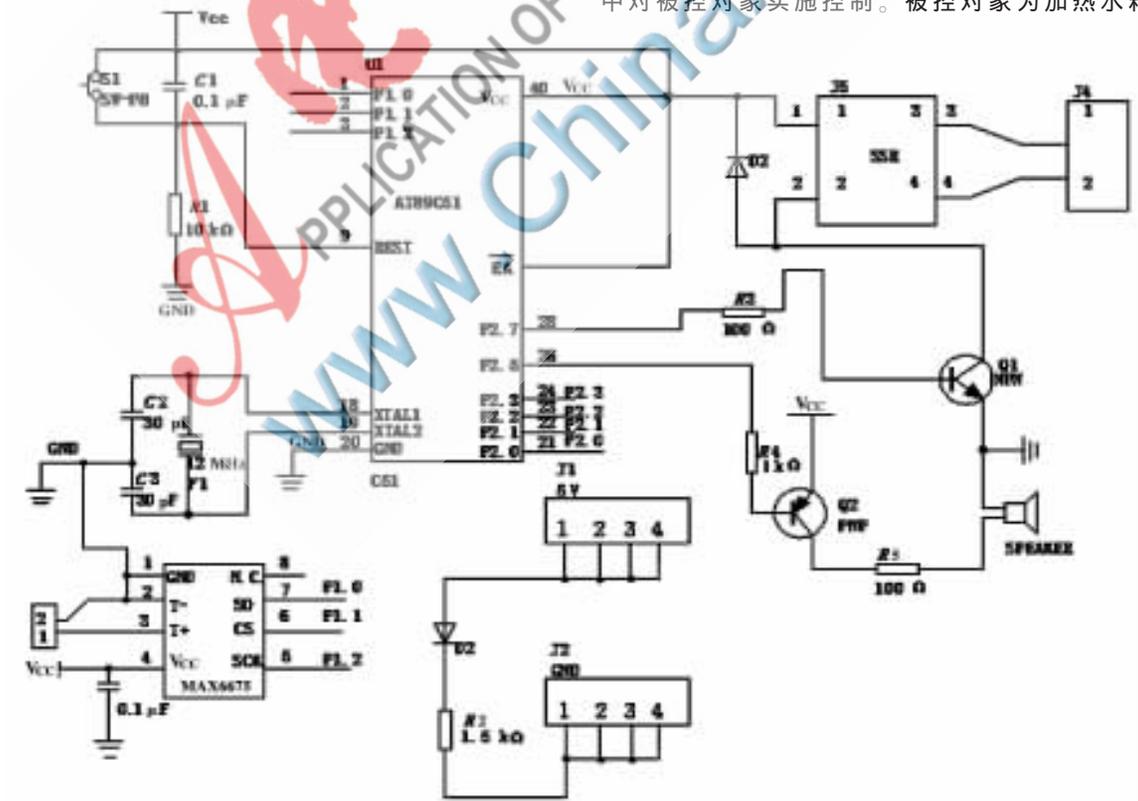


图3 恒温控制系统主电路

## 2 温控系统硬件设计及其实现

### 2.1 传感器信号处理

温度测量转换部分是整个系统的数据来源,直接影响系统的可靠性。测量装置采用K型热电偶与MAX6675模/数转换器作为温度测量电路核心器件。传统的K型热电偶需要进行冷端补偿及修正因热电偶本身的非线性所带来的测量误差,而MAX6675是一种带有冷端补偿、线性校正、热电偶断线检测的串行K型热电偶模/数转换器,从而给K型热电偶的使用带来了极大的方便。

温度数据采集及转换部分的电路如图4所示。MAX6675的T+、T-接热电偶正、负极,用于接收热电偶的模拟信号,经过内部的放大、补偿、修正后转换为数字信号,通过SO端发送给单片机,进而为后续温度控制系统提供输入信号。

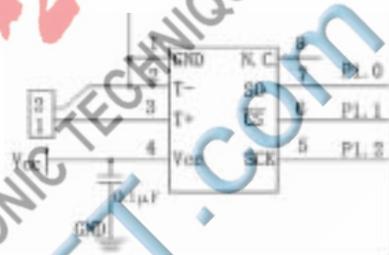


图4 温度采样装置

### 2.2 加热控制电路

加热控制电路图如图5所示,用于在闭环控制系统中对被控对象实施控制。被控对象为加热水箱,采用对

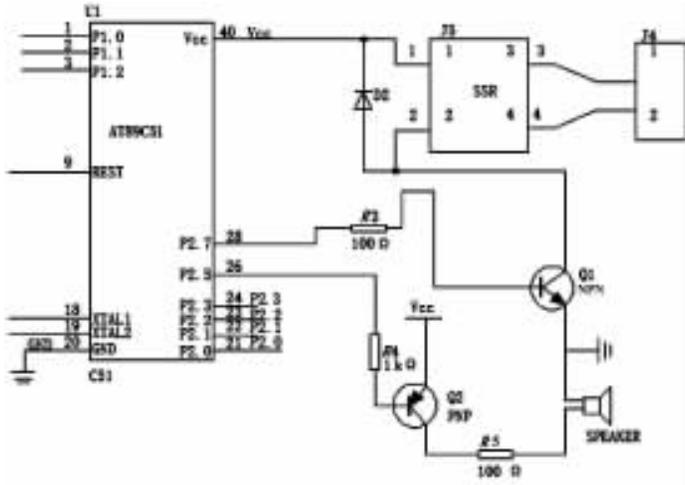


图5 加热控制电路

加载热水箱两端的电压通断的方法进行控制,以实现  
对水加热功率的调整,从而达到对水温控制的目的。对电  
炉丝的通断控制采用 SRD-05VDC-SL-C 固态继电器。  
它的使用非常简单,只要在控制端加上一个 TTL 电平,  
即可实现对继电器的开关控制。当单片机的 P2.7 为高  
电平时,三极管驱动固态继电器工作,接通加热器工作;  
当单片机的 P2.7 为低电平时,固态继电器关闭,加热片  
不工作。

### 3 PID 恒温控制算法

#### 3.1 PID 控制调节器原理

在控制系统中,控制器最常用的控制规律是 PID 控  
制<sup>[10-11]</sup>。PID 控制系统原理框图如图 6 所示,系统由 PID  
控制器和被控对象组成。



图6 PID 控制系统原理框图

连续系统 PID 控制器的微分方程为:

$$y(t) = K_p P[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (1)$$

其中,  $y(t)$  为控制器的输出;  $e(t)$  为控制器的输入;  $K_p$  为  
比例放大系数;  $T_i$  为控制器的积分时间常数;  $T_d$  为控制  
器的微分时间常数。

通过离散化处理,可以得到以下 PID 控制计算公式:

$$Y(n) = Y(n-1) + K_p[e(n) - e(n-1)] + K_i e(n) + K_d[e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)] \quad (2)$$

其中,  $e(n)$  为第  $n$  次采样的偏差值;  $e(n-1)$  为第  $(n-1)$  次  
采样时的偏差值;  $n$  为采样序列。

#### 3.2 PID 参数的确定

在实验过程中采用面积法对 PID 的参数进行调整,  
设  $u(t) = u_0 f(t)$ , 则有:

$$t_T = \frac{A_0}{y(\infty)}, A_0 = \int_0^{\infty} [y(\infty) - y(t)] dt, A_1 = \int_0^{t_f} y(t) dt \quad (3)$$

由此可通过实验得出特征参数  $K$ 、 $L$ 、 $T$ :

$$K = \frac{y(\infty)}{u_0}, T = \frac{eA_1}{y(\infty)}, L = \frac{A_0}{y(\infty)} \quad (4)$$

其中,  $K$  为放大系数;  $L$  为惯性时间系数;  $T$  为延迟时间。  
因为在本实验中仅用了 PI 控制, 所以在这里仅给出 PI  
控制时的各参数:  $K_p = 0.9 \frac{KL}{T}, T_i = 3L$ 。

通过对 PID 的 3 个比例系数赋初始值, 然后将采集  
的信号与给定值进行比较, 得到偏差量, 代入控制公式  
(2) 求得控制信号。其流程图如图 7 所示, 图中  $P_p$ 、 $P_i$ 、 $P_d$   
分别为第  $n$  次测量时比例、积分、微分环节所得的结果。

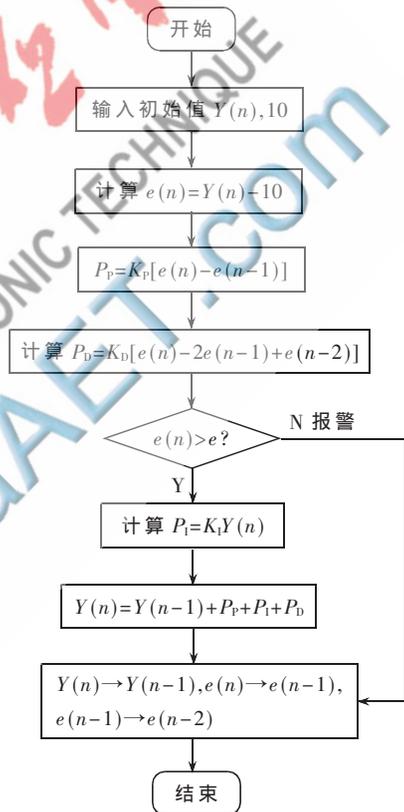


图7 基于 PID 算法控制流程图

### 4 恒温控制系统应用

由参考文献[3]可知, 温差发电片的开路电压与塞贝  
克系数之间的关系为:

$$\alpha = \frac{V_0}{(T_H - T_C)} \quad (5)$$

其中,  $\alpha$  为塞贝克系数;  $V_0$  为开路电压, 单位为  $V$ ;  $T_H$  为  
温差发电片热端温度, 单位为  $^{\circ}C$ ;  $T_C$  为温差发电片冷端  
温度, 单位为  $^{\circ}C$ 。

图 8 所示为温差发电片两端温差与开路电压之间的  
关系曲线, 由图可知, 开路电压与温差基本呈线性关系。

基于单片机建立了能够用于测试温差发电系统特  
性的温度控制系统, 通过设计与实验可得到以下结论:

《微型机与应用》2013 年 第 32 卷 第 14 期

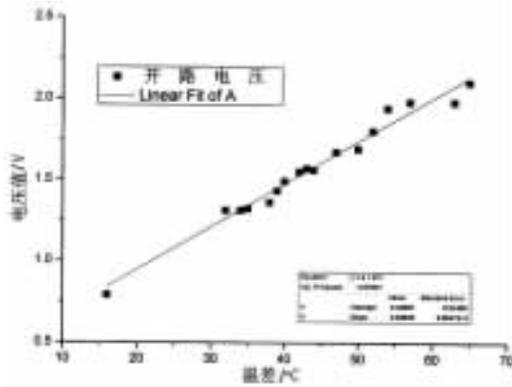


图 8 温差发电片开路电压与温差的关系

(1)所设计的恒温控制系统能够实现对温度的控制,满足实验要求;

(2)对于温差发电片,其开路电压与温差发电片两端的温差基本呈线性关系。

#### 参考文献

- [1] Yang Jihui. Opportunities & challenges of thermoelectric waste heat recovery in the automotive industry[C]. 2005 Diesel Engine Emissions Reduction (DEER) Conference Chicago, IL August 25, 2005.
- [2] SNYDER G J, TOBERER E S. Complex thermoelectric materials [J]. Nature Materials, 2008(7):105-114.
- [3] WOO B C, LEE H W. Relation between electric power and temperature difference for thermoelectric generator [J]. International Journal of Modern Physics B, 2003,17(8/9): 1421-1426.

- [4] Chen Wei-Hsin, Liao Chen-Yeh, Hung Chen-I, et al. Experimental study on thermoelectric modules for power generation at various operating conditions[J]. Energy,2012, 45(1):874-881.
- [5] HOLLLOT C. Analysis and design of controllers for AQMroters supporting TCP flows[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2002, 47(6):945-959.
- [6] 郑文波,王禹,吴知非,等.温差发电器热电性能测试平台的搭建[J].实验技术与管理,2006,23(11):62-65.
- [7] 徐立珍,李彦,杨知,等.汽车尾气温差发电的实验研究[J].清华大学学报(自然科学版),2010,50(2):287-289.
- [8] 周泽广,朱冬生,吴红霞,等.温差发电器的传热特性分析与实验研究[J].华南理工大学学报,2009,39(11):47-52.
- [9] 曹龙汉,刘安才,高占国.MCS-51 单片机原理及应用[M].重庆:重庆出版社,2004.
- [10] 马江涛.单片机温度控制系统的设计及实现[J].计算机测量与控制,2004(12):219-229.
- [11] 黄祯祥,邓怀雄,郭延文,等.基于 MCS-51 单片机的温度控制系统[J].现代电子技术,2005,28(6):22-24.

(收稿日期:2013-04-26)

#### 作者简介:

- 焦龙飞,男,1990年生,本科生,主要研究方向:机械设计制造及其自动化。
- 马宗正,男,1981年生,博士,主要研究方向:节能减排技术。