

文章编号:1007-1180(2011)09-0072-06

# 基于 PC104 总线技术的 限温装置检测仪设计

蒋 宁<sup>1</sup>, 谢 斌<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 空军航空大学 航空机械工程系, 吉林 长春 130022)

**摘 要:** 航空发动机限温装置检测仪用来检测发动机限温装置的性能。本文分析了限温装置的工作和检测原理, 介绍了检测仪的硬件和软件设计。通过 PC104 总线控制技术、可调恒流源技术、先进的隔离传感器技术和 C 语言编程技术完成的硬件和软件设计, 保证了检测仪的各项功能和设计要求。

**关键词:** PC104; 限温装置; 性能检测; 硬件设计; 软件设计

中图分类号: TB942 文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112809.0072

## Design of Temperature Limit Equipment Detector based on PC104 Bus Technology

JIANG Ning<sup>1</sup>, XIE Bin<sup>2</sup>(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*  
*Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*2. *Department of Aviation Machinery, Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)*

**Abstract:** Temperature limit equipment detector for aeroengine was used to detect the performance of temperature limit equipment for aeroengine. The operating and detecting principle of temperature limit equipment were analysed, and the hardware and software design were introduced in this paper. The various performance and design requirement were ensured through the hardware and software, which were designed through PC104 bus control technology, adjustable current source technology, advanced isolation sensor technology and the C programming language technology.

**Keywords:** PC104; temperature limit equipment; performance detecting; hardware design; software design

## 1 引言

航空发动机是飞机的动力装置，它直接影响飞机的性能和安全。发动机涡轮前燃气温度  $T_3$  是反映发动机性能的一个重要参数， $T_3$  越高，发动机的推力就越大。为了使发动机获得更好的性能，发动机工作时  $T_3$  的最大值一般都接近最大允许值。为了防止  $T_3$  超过最大允许值而烧毁发动机，一般在发动机上都设有限温装置来限制发动机  $T_3$  不超过最大允许值，从而保证发动机的安全<sup>[1]</sup>。限温装置能否正常工作直接影响发动机的性能和安全，为此要定期检测限温装置的性能是否满足要求。

## 2 限温装置的工作和检测原理

图1上半部分所示为某型航空发动机限温装置的工作原理框图。限温装置主要由  $T_3$  热电偶、温度控制器、作动电机和测速发电机等组成。温度控制器把  $T_3$  热电偶测量得到的  $T_3$  与预先设定的限制温度  $T_3^*$  进行比较，当  $T_3 \neq T_3^*$  时，根据  $T_3$  与  $T_3^*$  的差值输出控制电机的电压（称作电机控制电压）信号，控制作动电机（交流伺服电动机）正转或反转，带动燃油微调机构工作，增大或减小供油量，直到当  $T_3 = T_3^*$  时，电机控制电压为0，作动电机不工作。测速发电机（直流发电机）与作动电机相连，反馈回与作动电机转速成正比的电压（称作反馈电压）信号到温度控制器的检测插座 CZ2。电机控制电压信号也同时送入到检测插座 CZ2。

根据限温装置的工作原理可知，当发动机静态时（发动机通电但未工作）只要把模拟  $T_3$  的激励信

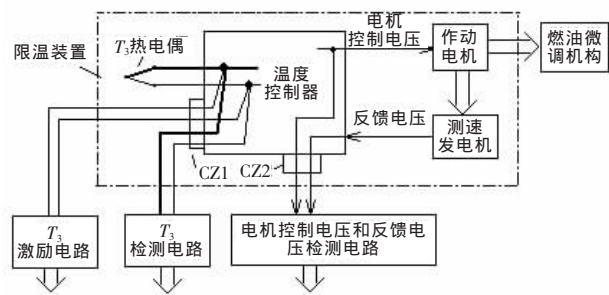


图1 限温装置的工作和检测原理框图

号送入到温度控制器中，通过调节  $T_3$  激励信号使电机控制电压和反馈电压为0，然后通过  $T_3$  检测电路测得模拟的  $T_3$ ，就可以测得限温装置设定的限制温度  $T_3^*$ 。另外，电机控制电压反映了温度控制器的工作性能，而反馈电压反映了作动电机的工作性能，在调节  $T_3$  激励信号时通过查看电机控制电压、反馈电压和模拟的  $T_3$ ，外场维护人员就能够根据发动机生产厂家提供的判定标准判断限温装置性能的好坏。当发动机试车时，通过实时检测  $T_3$ 、电机控制电压和反馈电压，外场维护人员即可观察限温装置的实际工作情况。

## 3 检测仪的主要功能和设计要求

限温装置检测仪的主要功能就是在发动机静态时向限温装置输入  $T_3$  激励信号，同时测量并显示模拟的  $T_3$ 、电机控制电压和反馈电压。试车时实时测量并显示  $T_3$ 、电机控制电压和反馈电压。另外，还可以对检测过程进行记录，以便机务人员在检测后进行分析和排查。

检测仪的主要设计 requirements 是：激励信号稳定、检测精度满足要求、操作简单、安全性好、工作温度范围宽（ $-40 \sim +80 \text{ }^\circ\text{C}$ ）。检测的精度要求为  $T_3 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ，电机控制电压  $\pm 0.5 \text{ V}$ ，反馈电压  $\pm 0.2 \text{ V}$ 。

## 4 检测仪的硬件设计

检测仪的硬件组成框图见图2。

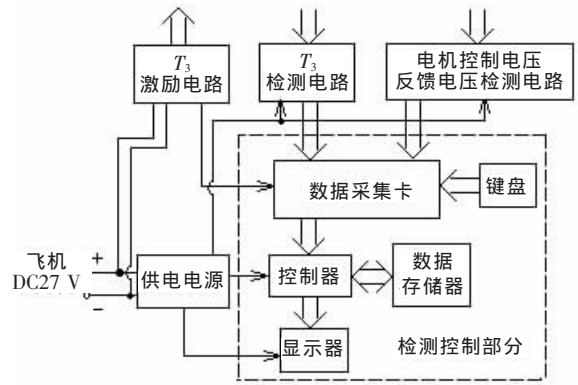


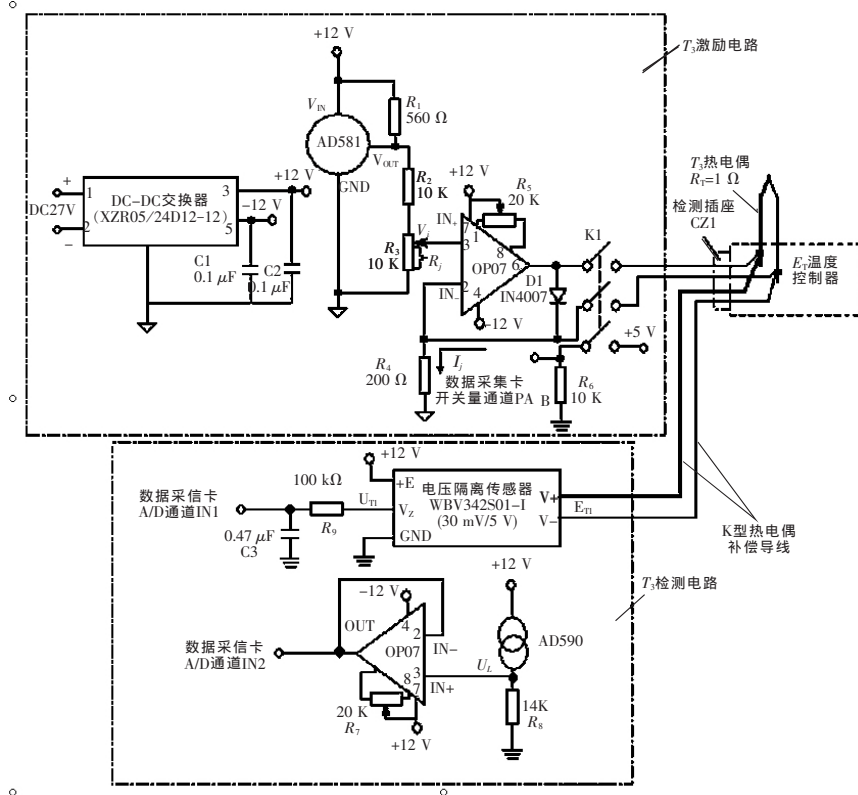
图2 检测仪的硬件组成框图

4.1  $T_3$  激励电路设计

$T_3$  激励电路的功能是向温度控制器输出模拟  $T_3$  的信号。根据热电偶的工作原理可知, 热电偶感受温度变化输出的热电动势是一个毫伏级的电压信号。要想模拟  $T_3$ , 只要提供与  $T_3$  热电偶工作温度范围相

对应的电压信号即可, 也就是说  $T_3$  激励电路输出的是毫伏电压信号, 并且由于要模拟的温度是变化的, 这就要求输出是线性可调的。

图3中上半部分所示为  $T_3$  激励电路图。在图中精密基准电压源 AD581 与电阻  $R_1$ 、 $R_2$  和电位计  $R_3$

图3  $T_3$  激励和检测电路图

构成一个线性可调的基准电压源, 其输出为

$$U_j = \frac{10}{R_2 + R_3} R_j \quad (1)$$

OP07 和电阻  $R_4$  构成了一个恒流源电路, 流过  $T_3$  热电偶的电流为:

$$I_j = \frac{U_j}{R_4} = \frac{10}{(R_2 + R_3) R_4} R_j \quad (2)$$

由于  $R_2=10\text{ k}\Omega$ ,  $R_3=10\text{ k}\Omega$ ,  $R_4=200\ \Omega$ ,  $R_j=0\sim 10\text{ k}\Omega$ , 因此  $I_j$  的范围为  $0\sim 25\text{ mA}$ 。因为  $R_j$  是线性可调的, 所以  $I_j$  也线性可调。

流过  $T_3$  热电偶上的电流  $I_j$  所形成的电压为

$$E_T = I_j R_T \quad (3)$$

因为热电偶的阻抗  $R_T=1\ \Omega$ , 所以  $T_3$  激励电路

可以向温度控制器输出  $0\sim 25\text{ mV}$  的线性可调的电压信号。由于采用了精密基准电压源 AD581, 激励信号的稳定性好, 能够满足检测仪的设计要求。

采用 DC-DC 变换器向激励电路供电是为了保证限温装置和检测仪的电气隔离, 从而保证限温装置的安全。二极管  $D_1$  用来限制激励信号的大小, 保证温度控制器的安全。开关  $K_1$  用来控制激励信号的通断, 另外, 当  $K_1$  接通时还会产生一个高电平信号 ( $5\text{ V}$ ) 送往数据采集卡的开关量通道, 以便控制器记录操作过程。

4.2  $T_3$  检测电路设计

$T_3$  检测电路的功能是静态时测量模拟的  $T_3$ , 试车时实时测量  $T_3$ 。图3中下半部分所示的就是  $T_3$  检

测电路。

根据热电偶的工作原理，首先通过补偿导线把施加到温度控制器的  $E_T$  或试车时  $T_3$  热电偶产生的  $E_T$  从检测插座 CZ1 引入到检测仪内，这相当于把热电偶延长了，这时到达  $T_3$  检测电路的热电动势不再是  $E_T$  而是  $E_{T1}$ ，然后通过测量  $E_{T1}$  和补偿导线与检测电路连接点处的温度  $t_L$  (冷端温度) 就可以计算得到  $T_3$  [2]。

隔离电压传感器 WBV342 将  $E_{T1}$  线性隔离地转换为 0~+5 V 的直流电压信号  $U_{T1}$ ，然后经过滤波电路进入到数据采集卡内，在数据采集卡内完成模数转换变为数字量，控制器读取这个数字量，经过计算就可以得到  $E_{T1}$ 。  $E_{T1}$  和  $U_{T1}$  之间的关系式为：

$$E_{T1} = \frac{30 \times 10^{-3}}{5} \times U_{T1} = 0.006 \times U_{T1} \quad (4)$$

温度传感器 AD590 放置在补偿导线与检测电路的连接点处，测量冷端温度  $t_L$ ，输出与  $t_L$  成线性关系的电流信号 [3]，然后经电阻  $R_8$  成正比地转换为直流电压信号  $U_L$ ，再通过 OP07 组成的射极跟随器进入到数据采集卡内，在数据采集卡内完成模数转换变为数字量，控制器读取该数字量，经过计算即可以得到  $t_L$ ， $t_L$  与  $U_L$  的关系式为：

$$t_L = \frac{U_L}{R_8 \times 10^{-6}} - 237.2 = \frac{U_L \times 1000}{14} - 273.2 \quad (5)$$

得到  $t_L$  后通过 K 型热电偶在冷端温度为 0 °C 时的分度表进行反插值就可以得到冷端补偿电压  $E_{L0}$ 。  $E_{T1}$ 、 $E_{L0}$  和  $E_{T3}$  就是  $T_3$  在冷端温度为 0 °C 时的热电动势，然后通过前述的分度表进行插值即可得到  $T_3$  [4]。以上的插值和反插值是在控制器内完成的。通过对检测仪进行校验， $T_3$  的检测精度为  $\pm 1.5$  °C，满足设计要求。

#### 4.3 电机控制电压和反馈电压检测电路设计

电机控制电压和反馈电压检测电路的功能是将温度控制器检测插座 CZ2 引出的电机控制电压和反馈电压信号线性隔离地转换为数据采集卡能够识别的直流电压信号。电机控制电压和反馈电压检测电路图见图 4。

电机控制电压信号  $u_k$  为 0~30 V、400 Hz 的正弦交流电压信号，反馈电压信号  $u_z$  为 -10~+10 V 的直

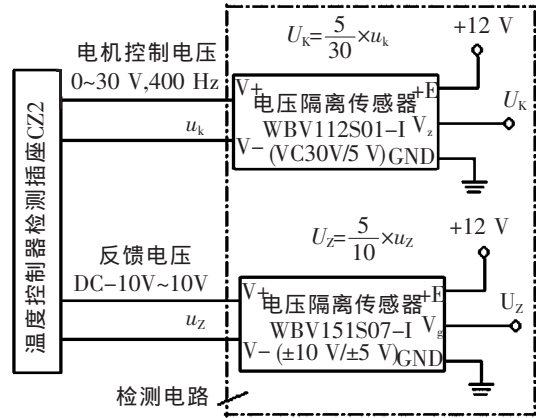


图4 电机控制电压和反馈电压检测电路图

流电压信号。隔离电压传感器 WBV112 和 WBV151，分别将  $u_k$  和  $u_z$  线性隔离地转换为 0~+5 V 的直流电压信号  $U_k$  和 -5~+5 V 的直流电压信号  $U_z$ 。

$U_k$  和  $U_z$  在数据采集卡内经过模数转换变为数字量，控制器读取这两个数字量，经过计算就可以得到  $u_k$  和  $u_z$ 。

通过对检测仪进行校验，电机控制电压的检测精度为  $\pm 0.2$  V，反馈电压的检测精度为  $\pm 0.1$  V，都能很好地满足设计要求。

#### 4.4 检测控制部分设计

检测控制部分用来对检测仪的工作过程进行控制，它的功能是数据采集、计算、显示和存储以及人机交互等。它主要包括控制器、数据采集卡、键盘、显示器和数据存储器等。

控制器是整个检测控制部分的核心，完成数据的计算分析、管理以及人机交互界面管理等。控制器类型有很多种，如单片机、工控机、PC104 总线的工业计算机等。综合考虑检测仪的设计要求，作者选择了 PC104 总线的工业计算机模块作为控制器，型号为 SysCentreModule/SDXpn，其主要特点是体积小、功耗低 (<10 W)、运算速度快 (工作频率为 100 MHz)、能支持 LCD 或 EL 显示屏、工作温度范围宽 (-40~+80 °C) 等。

数据采集卡完成模拟量和开关量信号的采集。将检测电路输出的待检测的模拟量信号进行 A/D 转

换,然后送到控制器,把键盘及开关 $K_1$ 所产生的开关量信号送入到控制器中。根据要采集的模拟量和开关量的数量、精度和转换速度等要求,笔者选择了与控制器相配套的PC104总线的数据采集卡PM511PU,它具有16路A/D转换通道,A/D转换通道的转换精度为12BIT,最高转换速为100 kHz,24路可编程开关量输入输出通道,工作温度为 $-40\sim+80\text{ }^\circ\text{C}$ 。

显示器用来显示检测仪的工作界面、菜单以及检测得到的数据等。根据控制器的类型和实际需要,作者选择了型号为EL320.240.36-EX的EL显示屏。它的主要特点是体积小、功耗低、工作温度范围宽( $-40\sim+80\text{ }^\circ\text{C}$ )等。

数据存储用于存储操作系统、检测程序和检测过程中得到的数据等。根据控制器的类型和数据量的多少,笔者选择了128 M的DOC电子盘作为数据存储,其工作温度为 $-40\sim+80\text{ }^\circ\text{C}$ 。

键盘用于人机交互。由于在外场使用普通的计算机键盘不方便,而且所需要的按键不多,作者采用了简单而又实用的独立式按键的键盘。键盘的电路图见图5。当某一按键按下后,电路将会产生一个相应的高电平信号(5V)进入到数据采集卡的开关量通道PA口内。控制器通过PA口的状态就可以判断出哪一个按键按下,进而执行相应的操作。键盘的消抖采用软件消抖<sup>[5]</sup>。

#### 4.5 供电电源设计

供电电源用于将从飞机上引出的27V的直流电转换为检测仪各组成部分所需的各规格的直流电。考虑从飞机上引出的27V的直流电有一定的波动,以及检测电路的电源精度要求等,作者选用了朝阳电源厂生产的集成军品DC-DC变换器,它能把18~36V的直流电转换为+5V、 $\pm 12\text{ V}$ 的直流电,它的输出精

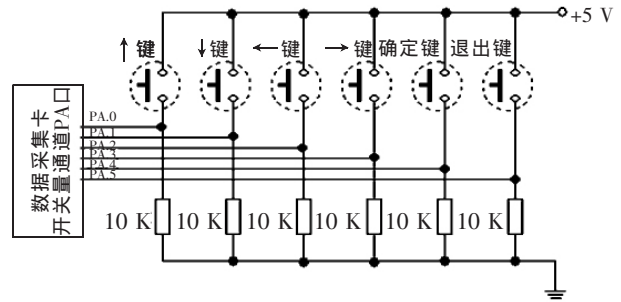


图5 键盘电路图

度高,可在 $-40\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$ 的环境下稳定工作。由于输入和输出是隔离的,所以安全性好。

## 5 检测仪的软件设计

检测控制部分通过软件来完成检测仪的工作过程控制,软件的好坏直接影响检测仪的稳定性、可操作性及检测精度。本检测仪软件的运行环境选用了DOS操作系统,使用DOS操作系统的优点是稳定性好,另外还可以减少硬件的成本。程序编写使用

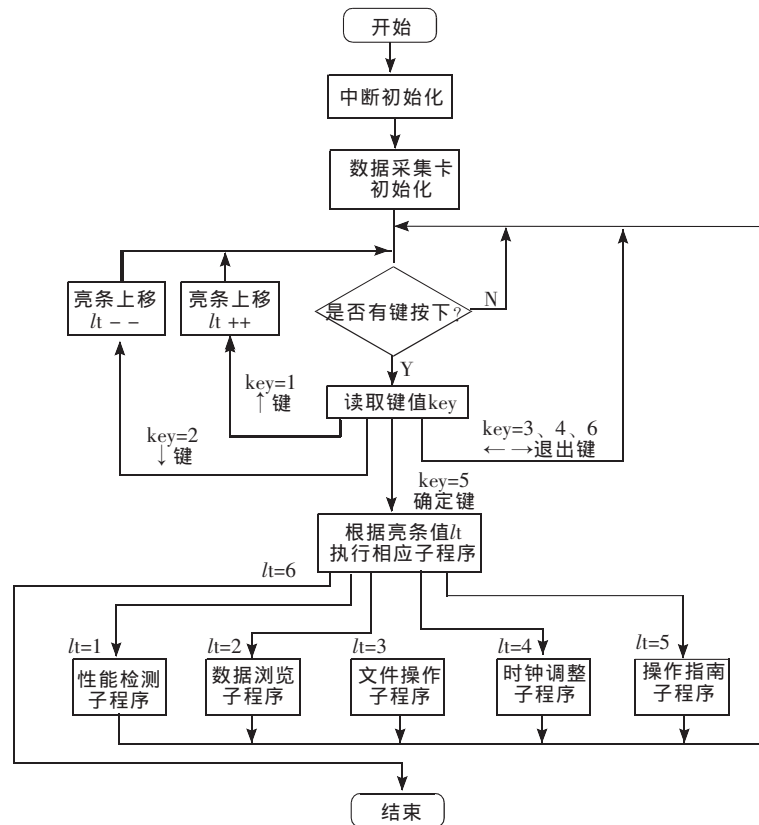


图6 主程序流程图



Turbo C 语言, 采用结构化的程序设计方法, 界面选用亮条式菜单, 通过编程实现西文 DOS 下的汉字显示<sup>[6]</sup>, 界面清晰易懂, 操作简单, 大大地减轻了使用者的负担。通过软件可以实现性能检测、数据浏览、文件操作、时钟调整等功能。主程序流程图见图 6。

## 6 结 论

本文采用 PC104 总线控制技术、可调恒流源技

术和先进的隔离传感器技术, 对检测仪的硬件进行了设计; 使用 DOS 操作系统下的 C 语言进行了软件设计。通过外场使用表明, 该检测仪具有体积小、重量轻、操作简单、性能稳定、检测精度高、安全性好和工作温度范围宽等特点, 很好地满足了使用要求。该检查仪已应用于航空发动机限温装置的性能检测。

## 参考文献

- [1] 贺尔铭. 民用航空发动机控制原理及典型系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [2] 周乐挺. 传感器与检测技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [3] 汤普金斯 W J, 威伯斯特 J G. 传感器与 IBM PC 接口技术[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1993.
- [4] 张岩, 胡秀芳. 传感器应用技术[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2006
- [5] 张毅刚, 彭喜元, 姜守达, 等. 新编 MCS-51 单片机应用设计[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2003.
- [6] 徐金梧, 杨德斌, 徐科. TURBO C 实用大全[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.

作者简介: 蒋宁 (1973-), 女, 汉族, 吉林长春人, 硕士, 工程师, 2011年于长春工业大学获得硕士学位, 主要从事机电产品的设计。E-mail: jiangn73@sina.com