

上海交通大学

硕士学位论文

多功能熏/蒸/烤箱嵌入式控制系统的研制

姓名：李学斌

申请学位级别：硕士

专业：控制工程

指导教师：路林吉;周磊高

20060728

多功能熏/蒸/烤箱嵌入式控制系统的研制

摘 要

多功能熏/蒸/烤箱这样的设备，是随着八十年代初改革开放后引进的第一批西式肉制品加工设备进入我国的，随着人们生活水平的提高和工作/生活节奏的加快，目前在国内的西式肉制品加工中已经越来越多地被使用。早期的设备以进口为主，随着该型设备在国内的广泛使用，国内的肉类加工设备制造商从仿制开始生产熏/蒸/烤箱以满足市场需求。但是缺乏一种适用于熏/蒸/烤箱的专用控制系统，几乎所有的设备厂家都使用由通用 PLC 组成的控制系统，对于熏/蒸/烤箱这样的批量生产的设备，性价比不高，产品无个性和特色，控制性能与进口设备相比差距明显。

目前的国内市场上，中高档的多功能熏/蒸/烤箱主要由进口的韩国和欧洲等品牌所占领，这些进口的国外熏/蒸/烤箱设备，其所用的控制系统基本上都采用 8/16 位微处理器为主构成的嵌入式控制系统。因此研制开发专用于熏/蒸/烤箱的嵌入式控制系统，填补国内设备在此方面的空白，增强产品的竞争力和性价比，扩大国产设备的市场占有率并逐步拓展高端应用市场具有较高的经济价值和意义。

本文从实际应用的角度出发，从以下几方面介绍了多功能熏/蒸/烤箱嵌入式控制系统的研制：

1. 第一章介绍分析了国内外生产的熏/蒸/烤箱设备的现状及国产设备尤其在控制系统上与进口产品的差距，同时介绍了本课题的研究意义，主要内容和课题来源。

2. 第二章介绍了对熏/蒸/烤箱嵌入式控制系统的基本要求,基于这一要求已经完成的整体设计方案,并从硬件和软件的角度分别进行了介绍。
3. 第三章主要介绍了此嵌入式控制系统的硬件部分的电路组成和设计,包括了单片机及其外围辅助电路,显示及操作面板,开关量输入/输出接口,模拟量(温/湿度)信号处理及变换,电源等几大部分。最后介绍了印刷线路板的结构和组成方式。
4. 第四章对控制系统的软件设计过程和内容进行了介绍,并分别给出了内部寄存器和外部数据存储器的地址分配,主程序控制流程图,中断服务程序和其它程序的内容分析和说明。
5. 第五章介绍了控制系统的硬件和软件在设计开发中和完成后所进行的运行试验,以及开发调试环境等,并对调试中碰到的问题和所采用的解决办法进行了说明。

在总结和展望一章中,介绍了本文设计的多功能熏/蒸/烤箱嵌入式控制系统的市场应用前景和进一步的升级、提高计划

关键词：多功能熏/蒸/烤箱，嵌入式控制系统，SOC 单片机 C8051F020，温湿度测量和 PID 控制，干湿球湿度计。

DEVELOPMENT OF EMBEDDED CONTROL SYSTEM FOR MULTIFUNCTIONAL SMOKING/STEAMING/ROASTING OVEN

ABSTRACT

Multifunctional Smoking/Steaming/Roasting Oven came to China together with other imported west-meat-food equipments followed the step of innovation and opening of China about 20 years ago. With better of people's life quality and more fast of working rhythm, its application becomes more popular in internal west-meat-food manufacture field. From the beginning, most of these kinds of equipment are imported. Now, there are some local west-meat-food equipments manufacturers to make Multifunctional Smoking/Steaming/Roasting Oven start from strypped-down, but there isn't a suitable control system specialy for Multifunctional Smoking/Steaming/Roasting Oven. All manufacturers have to almost use general PLC for their control systems. The equipments don't have personality and speciality, they are obviously deficient compare with Imported ones.

At the present time, middle and high-end Multifunctional Smoking/Steaming Roasting Oven in Chinese market mainly occupied by European and Korean makers. Almost of these imported equipments adopted embedded control systems based on 8/16 bits MCU. Therefore it is also rather high economic value and meaningful to develop embedded control system specialy for Multifunctional Smoking/Steaming/Roasting Oven so that fill the blank of in this application and boost up the rivalrousness of internal equipment, and market share of local equipment gradually increases even the high-end application.

In the view of practical application, this article introduces the development of embedded control system specialy for Multifunctional Smoking/Steaming/Roasting Oven from following points:

1. In first chapter, it introduces the developing history and status of Multifunctional Smoking/Steaming/Roasting Oven at internal and

abroad, analysis the difference and weakness between local and foreign equipment especially on control system. It also introduces the main content, purpose of development and task source.

2. In second chapter, introduce the basic request of embedded control system specially for Multifunctional Smoking/Steaming/Roasting Oven, the general design project explained from hardware and software side.
3. In third chapter, it introduces hardware design and composing of this embedded control system, including MCU and accessorial peripheral circuits, display and operation panel, logic interfaces for input/output signals, transaction and transform of analog signals (temperature and humidity), power regulation, design and consists of PCB etc.
4. In fourth chapter, it explains the software design of this control system, including distribution of internal register and outside data register, control flow drawing of main software, interrupt program, introducing and analysis of other programs.
5. In fifth chapter, it introduces debugging surroundings, ways and tools in hardware and software design period. It also describes the problems found during this process and their solutions.

In summary and outlook, it introduces the potential market of this embedded control system specially for Multifunctional Smoking Steaming Roasting Oven, its further development and improvement plan.

Keywords: multifunctional smoker/steaming roasting oven, embedded control system, SOC microcontroller C8051F020, temperature humidity measurement and PID control , psychrometer.

上海交通大学

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：李学斌

日期：2006 年 7 月 28 日

上海交通大学

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权上海交通大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本学位论文属于 **保密**，在____年解密后适用本授权书。
不保密。

（请在以上方框内打“ ”）

学位论文作者签名：李学斌

指导教师签名：路林吉

日期：2006 年 7 月 28 日

日期：2006 年 7 月 28 日

第一章 概述

1.1 本课题的研究意义及背景

随着生活水平的提高和工作/生活节奏的加快，西式的肉制品越来越受到人们的喜爱。目前在国内外的西式肉制品加工中，越来越多地使用了多功能熏/蒸/烤箱这样的设备，它包括以蒸汽或电加热方式为主的加热系统，制烟系统，循环清洁系统，热量分配及均衡系统等，有的还具有制冷系统。它具有烟熏（冷/热熏）、发色（发红）、干燥、蒸、烘烤、风冷、清洗等功能，在具体使用中，以这些功能为基础的工艺既可以独立的单步使用，也能以多个工艺的任意顺序排列组合使用，通过精确地控制各加工工艺过程的温度、湿度、风速等参数并配合以不同位置的气阀门开闭从而生产出各种色、香、味俱佳的西式肉制品^{[1] [2]}。其结构和功能示意如下页图 1 - 1。

多功能熏/蒸/烤箱这样的设备，是随着八十年代初改革开放后引进的第一批西式肉制品加工设备进入我国的，早期的熏/蒸/烤箱控制系统多采用传统的继电器逻辑控制和模拟式温控仪表相结合的控制方式，工艺参数的设定和操作比较繁琐。后来国内肉联厂于八十年代末九十年代初引进的熏/蒸/烤箱设备，已经大量采用了以微处理器为核心的数字控制方式。随着该型设备在国内的广泛使用，国内用户和肉类加工设备制造商对熏/蒸/烤箱的制造工艺和控制要求已经十分熟悉，而国外进口设备虽然制造工艺精湛；功能丰富和控制技术先进，但高昂的售价和难以令人满意的售后服务，限制了其产品在国内的进一步推广；而于此同时，国内的肉类加工设备制造商开始生产熏/蒸/烤箱以满足市场需求。目前，国内生产的熏/蒸/烤箱已经达到了较高的市场份额，在与洋品牌的竞争中处于越来越有利的地位，但是缺乏一种适用于熏/蒸/烤箱的专用控制系统，几乎所有的设备厂家都使用由通用 PLC 组成的控制系统，对于熏/蒸/烤箱这样的批量生产的设备，性价比不高，市场迫切需要一款针对于多功能熏/蒸/烤箱的控制要求和特点的专有控制系统，功能和性能更完善，价格更低，这也是本课题推出的市场背景^[2]。

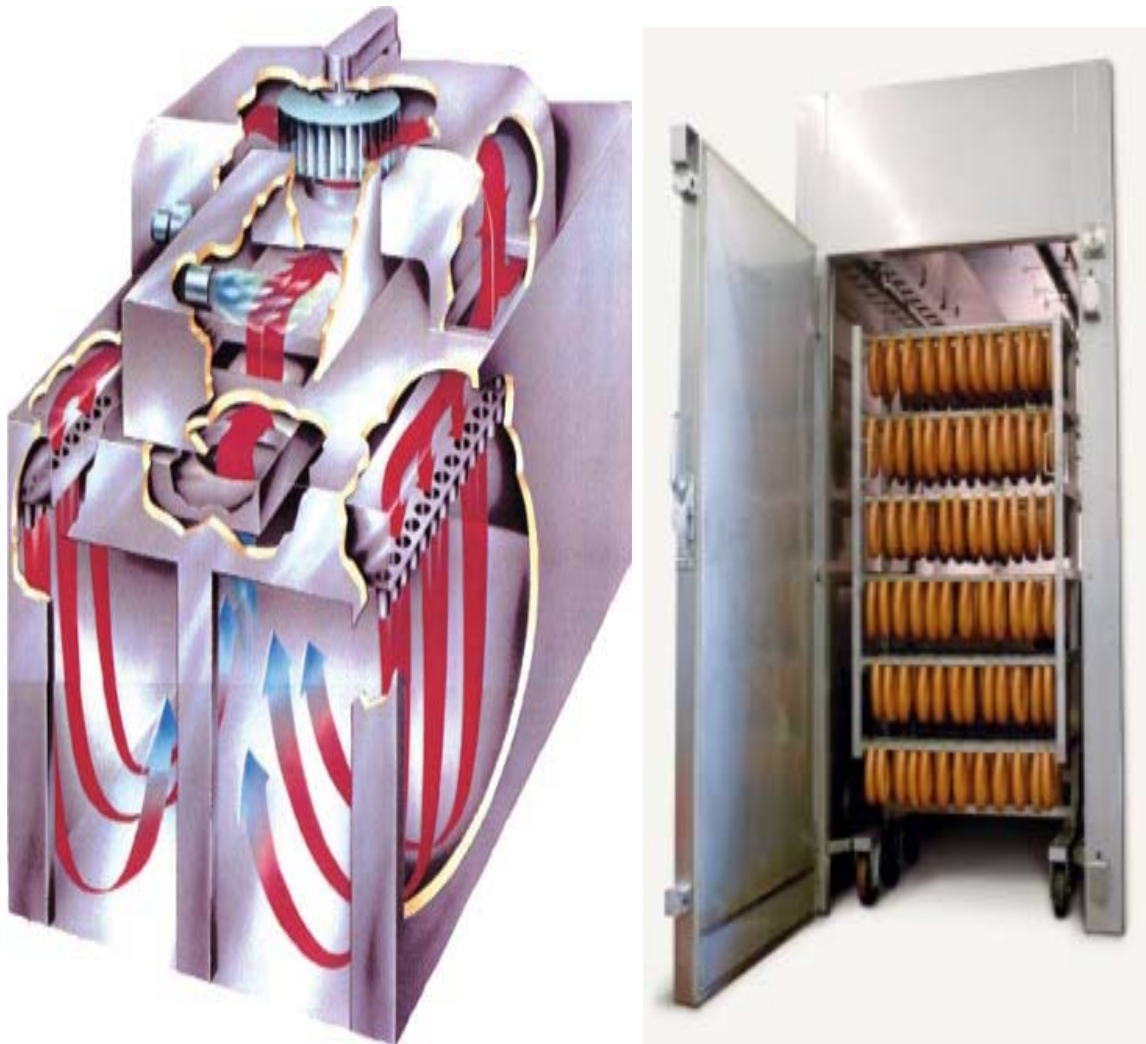


图 1 - 1 多功能熏/蒸/烤箱结构和功能示意图

Fig. 1-1 Composing and function diagram of multifunctional Smoking/Steaming/Roasting Oven

1.2 本课题的国内研究现状

目前的国内市场上，进口的多功能熏/蒸/烤箱产品主要有欧洲的 MURRER、FESSMANN、VEMAG；韩国的 HAKKON 等品牌，国内也有几家单位生产类似的产品，比较有影响力的有浙江的瑞邦、艾博、凯斯、天津的浦英、江苏常熟的通达等品牌，他们主要是仿制进口的欧洲产品。在这些进口设备中，其所用的控制系统基本上都采用 8/16 位微处理器为主构成的嵌入式控制系统，其人/机界面的显示方式为高亮度的发光数码管。由于需要设置和实时显示的参数很多，需要配置一定数量的参数键和大量

的显示位数码管,而且控制系统需要多路温度和湿度的实时测量,显示和控制,也需要配置相应的测温回路,对硬件和软件的设计要求较高,在早期的部分进口产品中,甚至使用了双 8 位 CPU 控制,一个用于温湿度测量和系统控制,另一个专用于参数设置和显示控制。因此,在目前国内生产的多功能熏/蒸/烤箱产品中,控制系统都无一例外的使用了具有大容量数据存储器的中小型 PLC 并配以使用 LCD 的触摸屏人机界面终端,比较有代表性的国内厂家如艾博、凯斯、瑞邦等都使用 OMRON 的 COM1-42 系列 PLC 和 NT 系列触摸屏或 Digital 公司的 Proface 系列触摸屏。这样的控制系统基本上满足了多功能熏/蒸/烤箱的控制要求,但在使用中也存在以下几方面不足^{[3][4]} :

1. 存储的产品加工方案数量有限。由于为多功能熏/蒸/烤箱,客户会使用此设备加工各种各样的产品,对应每种产品,都需要输入并保存许多参数,包括相应的工艺组合配置顺序及每一种选择的工艺的加工参数。使用嵌入式控制系统的进口设备一般都能设置保存至少从 00 - 99 共 100 个左右的产品加工工艺方案,而目前国内的使用 PLC 的控制系统由于数据存储容量的限制仅可保存不超过 30 种加工工艺方案。
2. 可维护性较差。由于国内肉制品加工工厂的条件限制,设备往往运行在高热高湿的现场环境下,而昂贵的 LCD 人机界面终端时常会出现显示缺线甚至损坏的情况,碰到此种情况,一般只能更换终端而无法修复,造成使用及维护的成本增加。并且与高亮度数码管显示方式相比,LCD 的显示亮度和可视角度都比较差。
3. 产品无个性和特色。由于各个厂家使用类似的通用性 PLC 控制系统,技术保密性差,不同厂家的产品并无明显的功能和个性区别。同时由于通用 PLC 温度模块的量程范围固定,并不能较好的利用现有的 A/D 位数而达到应有的理论测温测温精度,温度控制方式采用常规的开关位式控制,控温精度较差和超调量较大。
4. 性价比较低。由于国内客户的购买力所限和目前的市场竞争激烈,以致国产熏/蒸/烤箱的售价较低,在这样的条件下,使用以 PLC 和触摸屏为主的控制系统性价比较低,特别是在批量性重复生产的熏/蒸/烤箱设备中尤为如此。

而本课题正是着眼于综合国内外熏/蒸/烤箱设备控制系统的发展现状,开发适用于多功能熏/蒸/烤箱的专用嵌入式控制系统,以填补国内空白,适应目前国产熏/蒸/烤箱的发展要求,以期在与进口产品的竞争中,处于更加有利的地位。

1.3 本课题涉及的主要研究内容

本课题围绕此嵌入式控制系统专用于熏/蒸/烤箱设备的要求，以最新推出的混合信号系统级芯片（SoC）C8051F020 单片机为核心，根据熏/蒸/烤箱设备的控制要求，对产品的加工工艺参数和过程进行准确的控制。主要完成的工作有以下几个方面：

1. CPU 选型及外围相关电路设计。包括程序/数据存储器及 RTC 方案选择及电路设计。
2. 精确度较高的温度和相对湿度的测量及控制，包括传感器选择、信号变换及 A/D 转换电路等（4 段温度测量通道，预留至 8 通道能力，测温分辨率 0.1°C ，控温精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ）。
3. 大量参数的按键输入和数码管显示的接口电路（17 个按键和 16 位数码管）。
4. 多路开关量的输入/输出控制硬件电路及线路板设计。
5. 与外部设备相连（打印机和上位机）的通讯方案选择及电路设计。（预留）
6. 有大量数据处理且实时性要求高的监控软件设计。

1.4 课题的来源

基于国产的多功能熏/蒸/烤箱控制系统的不足和与进口产品的差距，国内市场迫切需要高性价比的专用于熏/蒸/烤箱的嵌入式控制系统。由于此设备在肉类食品加工中的应用越来越广且销量越来越大，但竞争也越发激烈，导致设备售价降低。而与此同时，高端的应用市场也被进口设备所占据，国内的设备厂商只能在低端市场恶性竞争。应国内某食品机械设备厂商的要求，开发适用于熏/蒸/烤箱专用的嵌入式控制系统，由对方提供资金和提出功能控制要求，以期通过专用于熏/蒸/烤箱的嵌入式控制系统的研制开发，填补国内设备在此方面的空白，增强产品的竞争力和性价比，并逐步拓展高端市场。

1.5 本章小结

本章从多功能熏/蒸/烤箱设备在国内肉制品加工领域的应用入手，分析了国内外生产的熏/蒸/烤箱设备的现状及国产设备尤其在控制系统上与进口产品的差距，介绍了本课题的研究意义，主要内容和课题来源。

第二章 控制系统的要求和总体设计

2.1 控制系统的基本要求

在充分了解和分析国内外多功能熏/蒸/烤箱产品性能的基础上,基于本课题的研究目标,结合进口和国内现有的控制系统的特点,满足企业和市场需求的多功能熏/蒸/烤箱的嵌入式控制系统需具有以下功能和特色:

1. 具有烟熏(冷/热熏)、发色(发红)、干燥、蒸煮、分级蒸煮、烘烤、风冷、清洗等功能,在具体使用中,以这些功能为基础的工艺既可以独立的单步使用,也能以多个工艺的任意顺序排列组合使用,且同种的工艺在一个加工方案中可以多次重复调用,每一个产品加工方案的最大工艺组合数为16种。
2. 系统可以设置保存的加工工艺方案数量为100种,根据需要,可以进行扩展为更多(200-500)种。以一种产品加工方案最多16种工艺组合,每种工艺最多16种设置参数计,存储100种产品方案需要约25K byte的数据存储器容量。控制系统应有至少32K byte数据存储器并能保证128K byte的数据存储器扩展能力,这些数据存储器应具有断电数据保持能力。
3. 具有四路以上的温度测量回路(目前在用),而且根据需要,控制系统的方案应具有可扩展到8路以上测温回路的能力。对于箱内的相对湿度的测量,采用分别测量干球/湿球温度并进行查表计算的方法求得。由于相对湿度是温度的函数,温度严重地影响着指定空间内的相对湿度。温度每变化 0.1°C 。将产生0.5%RH的湿度变化(误差)^[5]。考虑到相对湿度测量的分辨率和精度问题,硬件电路的测温回路的理论分辨率要求达到 0.1°C 的水平。
4. 参数的设置和控制状态选择采用按键输入,显示界面采用16位的高亮度发光数码管。对监控软件和系统的性能设计要求:无论设备是在等待或运行状态,所有的加工工艺方案参数都可以随时调出进行显示和修改。
5. 对于系统控制所需的数字I/O变量,经过估算,应保证16位输入通道,34位输出通道,且系统应预留8通道左右的I/O以备扩展功能所用。
6. 控制系统须具有较高的性价比,良好的可维护性和较高的维护费效比。

2.2 控制系统的总体方案设计

结合上面提出的本嵌入式控制系统的整体性能及指标的要求,经过阅读相关的参考文献资料,对可供选择的多种方案进行比较、筛选,选取的本控制系统的设计总体实现方案如下:同时在整体方案的选择中,有一个原则:在满足系统的功能要求和可靠性的前提下,应降低系统的实现成本,从而降低企业的生产成本和取得较高的性价比,这也是本课题的初衷。

本控制系统选择以 MCU (C8051F020) 为核心,它是美国 Silabs 公司最新推出的混合信号系统级 (SoC) 单片机,运行速度高达每秒 25MIPS,具有 4352 字节的内部数据 RAM 和 64K 字节内部 FLASH 程序存储器。运算速度和程序存储器容量完全可以满足需求。

C8051F020 具有硬件 SMBUS (即 I^2C 串行总线) 接口,经综合考虑,放弃并行接口扩展数据存储器的方式而选用了深圳威帆公司的串行 NVSRAM+RTC 的模块 SD2001EPI,内部包含 I^2C 总线接口的实时时钟芯片和 256K 位的非易失 NVSRAM 并内置可充电电池,既占用很少的硬件资源而且可靠。

测温传感器选用阻值 $R_0=100\Omega$ 、允差为 A 级的铂电阻,使用 BB 公司的 XTR105 直接与铂电阻相连构成温度传感器/变送器电路,系统中设置了 4 路温度测量回路,分别用于箱内干球温度、湿球温度、芯内温度和发烟温度;这些温度回路转换后的信号直接送入 C8051F020 内置的 12 位 ADC0 进行处理,经运算处理后得到各个测温点的温度值,再通过查表运算得到相对湿度。

温度控制方式摒弃原来常规的开关位式控制,采用分段式控制温度的方法。即在初始阶段到设定温度值的 80%,采用全功率输出方式,加快加热时间;在温度达到设定值的 80%后,采用比例、积分、微分 (PID) 的控制方式,以减小超调量和提高控温精度。对温度控制的输出通道采用光耦合隔离的可控硅以脉宽调制 (PWM) 的方式进行控制。对于相对湿度控制,直接采用时间/比例的方式对湿度通道的输出以 PWM 的调制方式进行控制。

参数输入及显示的按键和数码管显示电路选用串行接口的智能显示驱动芯片 ZLG7289B。两片共驱动控制 16 位高亮共阴的发光数码管,同时还兼任按键的输入扫描控制。由于需要显示的信息非常多,为保证需要显示的信息量,各参数的设置值和测量及实际运行值采用共用显示位的方法,而显示的内容属性由一单独控制的 LED 指定,这样做,既节约了硬件资源,同时缩小了显示 PCB 的尺寸便于安装,只是相

应增加了软件的设计难度。

控制系统的硬件选择和通道设计应首要保证稳定可靠,抗干扰性强,所有对外的输入/输出通道都采用光电耦合的方式以切断干扰,主要元器件全部选用工业级的产品。硬件电路及线路板设计采用模块化的方式;把控制系统按功能划分为三块:分别为 CPU 及外围相关电路,输入/输出接口及驱动电路,参数键入及显示电路。这三块功能分别做成独立的 PCB,所有的对外 I/O 都通过可插拔连接,彼此间由连接器件互联组成一个完整的系统。维护时,只需更换相应的故障板即可,简单且费用低廉,从而保证了良好的可维护性和较高的维护费效比。

考虑到一些特殊的应用要求,系统应该有两套对外通信端口的连接能力;一个用于和串行接口打印机的连接,用作生产数据的记录用途;另一个可用于建立 RS-485 接口,作多个设备互连并且可与上位机连接组成一个网络式的监控系统。(硬件方案预留,但软件设计不包括在本论文研究内容中)^{[6][7][8][9][10][11][12][13]}。

控制系统的软件部分由初始化配置程序、工作流程控制主程序、中断服务程序及若干子程序组成并在设计中考虑了软件抗干扰技术,温/湿度测量、按键键入响应和故障报警及处理设计为中断服务程序,以保证响应和处理的及时性。而按键输入处理、参数显示、查表和计算等处理设计为子程序方式,可以重复调用以降低程序容量。

在整个控制系统的方案设计中,尽量采用新技术、新器件、新方法,并把一些由硬件实现的功能转为由软件来实现,以达到较低的系统硬件规模,从而降低了系统成本并增加了可靠性。控制系统的整体硬件组成的照片请见附录。

2.3 本章小结

本章主要介绍了对熏/蒸/烤箱嵌入式控制系统的基本要求,基于这一要求已经完成的整体设计方案,并分别从硬件和软件的角度进行了介绍。

第三章 控制系统的硬件电路设计

多功能熏/蒸/烤箱的嵌入式控制系统的硬件电路主要由微处理器及其控制的外围元件和接口电路组成。按照功能可分为单片机及其外围辅助电路、显示及操作面板、开关量输入/输出接口、模拟量（温/湿度）信号处理及变换、电源等几大部分。

3.1 系统的组成和框图

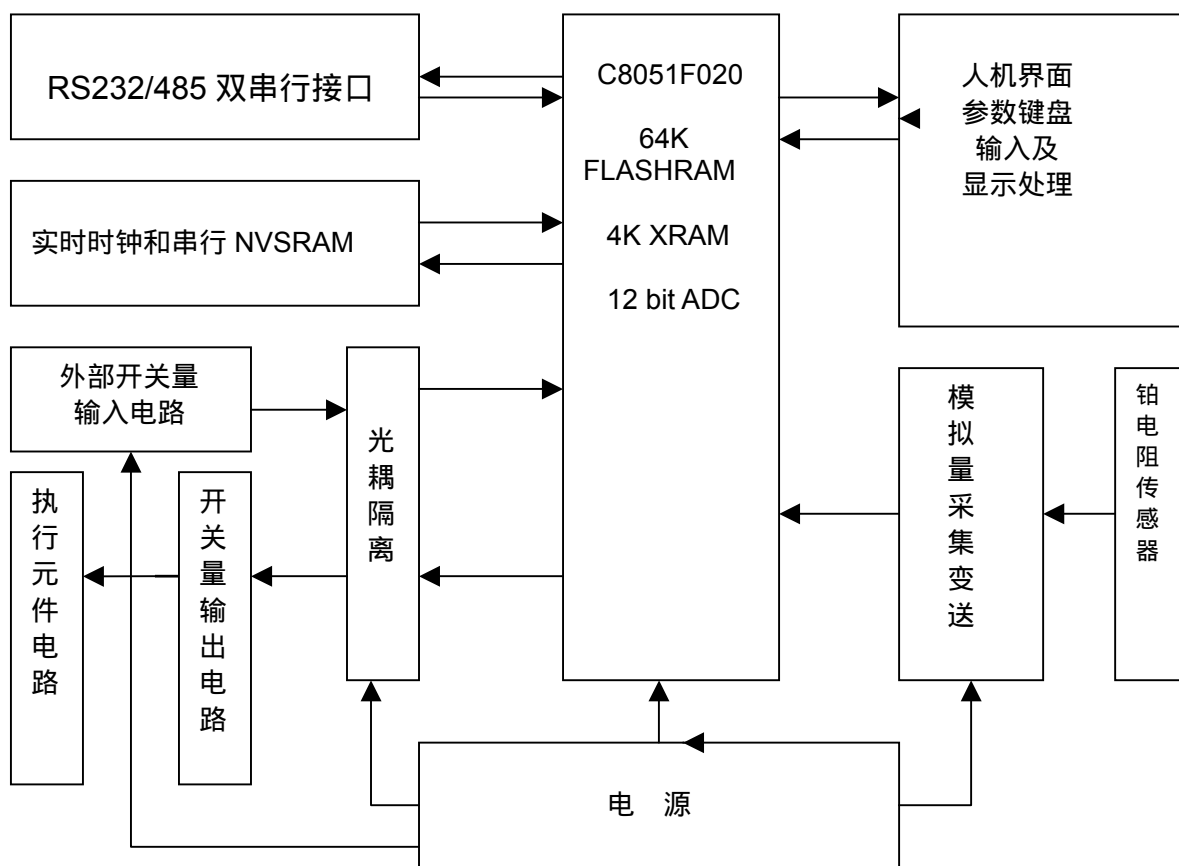


图 3-1 控制系统的总体结构

Fig. 3-1 General structure of control system

3.2 单片机选型及外围相关电路设计

3.2.1 单片机芯片的选择及性能特点

对一个嵌入式控制系统来说,微处理器或单片机的选择是最关键的,不但要有足够快的运算处理能力,还必须要有丰富的外设接口能力以满足多功能熏/蒸/烤箱的控制要求,同时还必须要兼顾性价比。目前国内通常选用的 INTEL 的 51 系列、MICROCHIP 的 PIC16/17 系列、MOTOROLOR 的 68 系列、ATMEL 的 AVR 系列等 8 位单片机、INTEL 的 196 系列和 TI 的 MSP430 系列 16 位单片机和以 ARM7/9 为内核的各种 32 位 RISC 单片机。

分析多功能熏/蒸/烤箱的嵌入式控制系统的整体要求后,发现此控制系统要检测处理的模拟变量为温度信号,其变化速度相对来说较慢,不需要非常高的采样速度和大量的数据高速运算处理,其它相关的控制操作主要是对外界输入信号进行采集、处理,对外界对象实现控制,并与操作者进行人机交互和其它 I/O 设备间进行数据交换等,根据这些功能和控制要求,结合仿真设备,开发成本以及系统性价比等综合因素考虑,以 8 位单片机为主构成的嵌入式控制系统能够满足这样的要求。

在众多的 8 位单片机中,美国 Silabs 公司最新推出的 C8051F 系列是完全集成的混合信号系统级芯片(SoC)单片机,具有与 8051 兼容的高速 CIP-51 内核,片内集成了数据采集和控制系统中常用的模拟、数字外设及其他功能部件;内置 FLASH 程序存储器、内部 RAM,大部分器件内部还有位于外部数据存储器空间的 RAM,即 XRAM。C8051F 单片机具有片内调试电路,通过 4 脚的 JTAG 接口可以进行非侵入式、全速的在线系统调试,具体方案中,选择了 C8051F020 芯片,其结构框图如图 3-2,与其它公司的 8 位单片机相比具有以下显著的优点^[14]:

一. 指令运行的高速度

当前 8 位单片机在不扩展数据总线的情况下,Silabs 公司在提升 8051 速度上采取了新的途径,即设法在保持 CISC 结构及指令系统不变的条件下,对指令运行实行流水作业,推出了 CIP-51 的 CPU 内核模式。在这种模式中,废除了机器周期的概念,指令以时钟周期为运行单位。平均每个时钟可以执行完 1 条单周期指令,从而大大提高了指令运行速度。即与 8051 相比,在相同时钟下单周期指令运行速度为原来的 12 倍;整个指令集平均运行速度为原来 8051 的 9.5 倍,在 25MHZ 的时钟下运行速度高达每秒 25MIPS,进入了 8 位高速单片机的行列^[15],速度完全可以满足本嵌入式控制系统的需要。

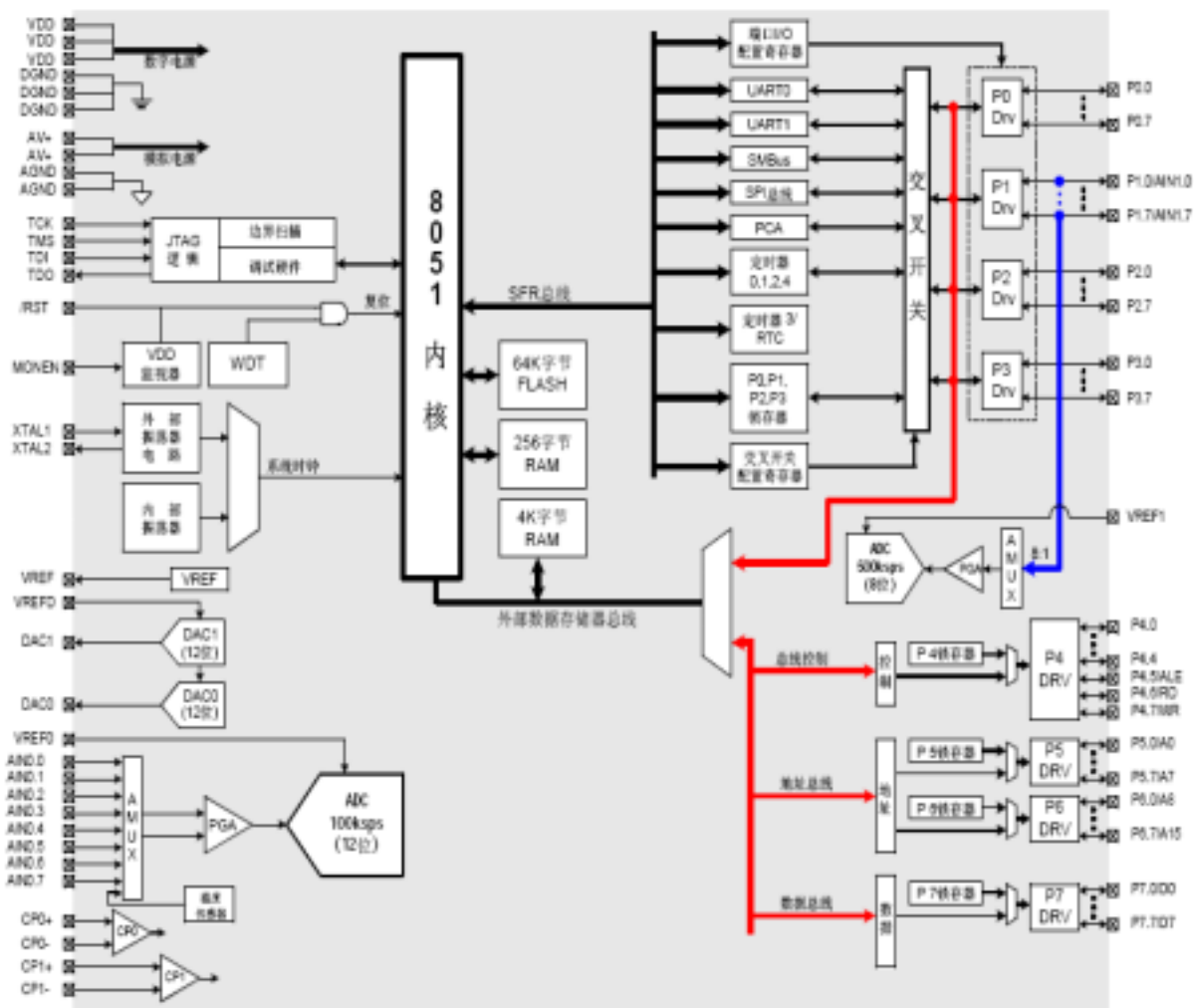


图 3-2 C8051F020 单片机内核结构图

Fig. 3-2 Composing structure for internal core of Microcontroller C8051F020

二. 内置高性能的模拟量处理电路

C8051F020 的芯片引脚中有 8 路 12 位 ADC 的输入端。每路 12 位的转换精度都是其自身的 $\pm 1\text{LSB}$ （最低位）。实际上，对应 12 位逐次逼近寄存器型（SAR）ADC 只有 1 个，在它与各输入端之间有 1 个具有 9 通道输入的多路选择开关（可配置模拟多路开关 AMUX）。AMUX 的第 9 通道连接温度传感器。在 F020 中，12 位 ADC 称为 ADC0，另有 8 路 8 位在系统可编程（ISP）的 ADC 电路称为 ADC1。其 8 个外接引脚与 P1 口复用，片内结构与 ADC0 相近，只是转换的位数为 8 位，转换精度为 8 位的 $\pm 1\text{LSB}$ 。另外还有两路独立输出的 12 位 DAC。本系统的模拟量转换就利用了 C8051F020 内带的 12 位 ADC0，实现方式具体在温湿度测量处理电路的内容中进行详细介绍。

三. 功能丰富的数字外设

C8051F020 采用 TQFP100 封装, 具有 8 个字节宽度的端口 I/O (P0-P7), 每个端口引脚都可以通过编程配置为推挽或漏极开路输出, 在标准 8051 中的弱上拉功能可以被禁止, 适合低功耗应用的场合。芯片工作于 2.7-3.6V 电压, 但每一个 I/O 端口均耐 5V 的电压输入, 配以上拉电阻的漏极开路输出, 可以方便的与 5V 的逻辑器件相连。

C8051F020 还具有 SMBUS (即 I²C 串行总线), SPI 总线及两个 UART 串口, 所有这些串行接口都全部由硬件实现, 都能向 CIP-51 产生中断请求, 因此很少需要 CPU 的干预, 效率极高。这些串行总线不共享定时器、中断或端口 I/O, 所以可以使用一个或全部同时使用。它内部的两个 UART 都是增强型全双工串口, 具有硬件地址识别和错误检测功能。

除了具有 5 个通用的 16 位计数器/定时器之外, C8051F020 还有一个片内可编程计数器/定时器阵列 (PCA), PCA 包括一个专用的 16 位计数器/定时器时间基准和 5 个可编程的捕捉/比较模块。时间基准的时钟可以是下面的六个时钟源之一: 系统时钟/12、系统时钟/4、定时器 0 溢出、外部时钟输入 (ECI)、系统时钟和外部震荡源频率/8。每个捕捉/比较模块都有 4 或 6 种工作方式: 边沿触发捕捉、软件定时器、高速输出、8 位脉冲宽度调制器、频率输出、16 位脉冲宽度调制器。PCA 捕捉/比较模块的 I/O 和外部时钟输入可以通过下面介绍的数字交叉开关连到 MCU 的端口引脚 [16]。

Si Labs 公司在 C8051F 中引入了数字交叉开关这一新概念, 这是采用开关网络以硬件方式实现 I/O 端口的灵活配置, 与具有标准复用数字 I/O 的微控制器不同, 这种结构可支持所有的功能组合。在这种通过交叉开关配置的 I/O 端口系统中, 单片机外部为通用 I/O 口, 如 P0 口、P1 口和 P2 口。内有输入/输出的电路单元通过相应的配置寄存器控制的交叉开关配置将片内的计数器/定时器、串行总线、硬件中断、ADC 转换启动输入、比较器输出以及其它数字信号配置到所选择的端口上。

由以上特点可以看出, C8051F020 丰富的数字外设完全可以满足本设计方案的要求。8 个字节宽度的端口 I/O (P0-P7) 共 64 个通道已可以满足本控制系统的 I/O 需求而不必扩展并行接口芯片来增加 I/O 端口; 丰富的串行总线可以使得设计方案更灵活, 比如使用 SMBUS (即 I²C 串行总线) 和 SPI 总线来扩展串行接口的存储器, I/O 芯片, 以免占用过多的系统 I/O 资源。两个全双工增强型 UART 正好可以用来配置串行接口, 用于连接串行打印机和上位机连接用的 RS-485 接口。这样的特点可以使得以 C8051F020 构成的控制系统硬件规模较小, 但性能和可靠性却更好。

四. 灵活丰富的存储器配置选择

C8051F020 的 CIP-51 内核有标准 8052 的程序和数据地址分配。它包括 256 字节的数据 RAM, 其中高 128 字节为两个地址空间。用间接寻址访问通用 RAM 的高 128 字节, 用直接寻址访问 128 字节的特殊功能寄存器 (SFR) 地址空间。数据 RAM 的低 128 字节可用直接或间接寻址方式访问。C8051F020 的 CIP-51 核中还具有 4352 字节的内部数据 RAM, 可以在大量数据的采集和处理中使用以弥补通用 256 字节 RAM 的不足。此外 C8051F020 还可以利用外部数据存储器接口 (EMIF) 扩展 64K 字节的外部数据 RAM, EMIF 可以被配置为地址/数据复用方式和非复用方式^{[16] [19]}。

CIP-51 内置 64K 字节 FLASH 存储器作为程序存储器, 该存储器以 512 字节为一个扇区, 可以在系统编程, 而且不需要特别的编程电压, 除此之外, CIP-51 还提供了安全选项以保护 FLASH 存储器不会被软件修改, 以及防止产权程序代码和常数被读取^[16]。

由以上数据看出: C8051F020 的程序存储器已能满足此设计方案的程序存储需求, 内部数据存储器容量也没有问题。但设计方案中需要一定容量的外部数据存储器来保存大量的产品加工工艺参数和设备生产数据供打印机打印记录, 而且此外部数据存储器必须为断电保存型。考虑到使用 EMIF 接口扩展并行非易失型存储器需要占用大量的 I/O 资源, 而 C8051F020 芯片具有丰富的串行总线, 因此, 本设计方案拟采用 SMBUS (即 I²C 串行总线) 来扩展使用 I²C 总线的 NVSRAM 或 EEPROM 芯片, 一片 256K bit 的串行非易失型存储器具有 32K byte 容量, 使用几片就可达到要求, 具体内容在外围存储器方案设计中介绍。

五. JTAG 接口调试和边界扫描功能

C8051F 在 8 位单片机中率先配置了标准的 JTAG 接口 (IEEE1149.1)。引入 JTAG 接口将使 8 位单片机传统的仿真调试方式产生彻底的变革。在上位机软件支持下, 通过串行的 JTAG 接口直接对产品系统进行非侵入式、全速的在系统仿真调试。C8051F 的 JTAG 接口不仅支持 Flash ROM 的读/写操作及非侵入式在系统调试, 支持断点、单步、运行和停机命令。它的 JTAG 逻辑还为在系统测试提供边界扫描功能。通过边界寄存器的编程控制, 可对所有器件引脚、SFR 总线和 I/O 口弱上拉功能实现观察和控制^[17]。

C8051F 的调试系统对于开发和调试嵌入式应用系统来说, 比采用标准的传统单片机仿真器要优越得多。传统标准的单片机仿真器要使用在板仿真芯片和目标电缆, 还需要在应用板上有 MCU 芯片的插座。而 C8051F 的调试系统既便于使用又能保证精确模拟外设的性能, 从而使所选的设计方案具有了和 PLC 一样方便的调试手段。

六. 重点加强和扩展的通用性能

C8051F020 与标准的 51 内核相比,下面的一些性能也有显著的改进和加强:

1. 扩展的中断系统:

C8051F020 的 CIP-51 内核提供多达 22 个中断源(标准的 8051 只有 7 个中断源),允许大量的模拟和数字外设中断微控制器。一个中断驱动的系统需要较少的 CPU 干预,却有更高的执行效率。在设计一个多任务实时系统时,这些增加的中断源是非常有用的。

2. 从引脚复位到多源复位:

迄今为止的 8051 系列单片机仍然停留在引脚复位这一水平上,为了系统的安全和单片机的功耗管理,对系统的复位功能提出了越来越高的要求。Silabs 公司的 C8051F020 把 8051 单一的外部复位发展成多达 7 个复位源的多源复位。一个片内 VDD 监视器、一个看门狗定时器、一个时钟丢失检测器、一个由比较器 0 提供的电压检测器、一个强制软件复位、CNVSTR 引脚及/RST 引脚。/RST 引脚是双向的,可接受外部复位或将内部产生的上电复位信号输出到/RST 引脚。除了 VDD 监视器和复位输入引脚以外,每个复位源都可以由用户用软件禁止。众多的复位源为保障系统的安全、操作及设计的灵活性以及零功耗系统设计带来极大的好处。

3. 从系统时钟到时钟系统:

早期单片机都是用 1 个时钟控制片内所有时序。进入 CMOS 时代后,由于低功耗设计的要求,出现了在一个主时钟下 CPU 运行速度可选择在不同的时钟频率下操作;或设置成高、低两个主时钟,按系统操作要求选择合适的时钟速度,或关闭时钟。而 C8051F020 则提供了一个完整而先进的时钟系统。在这个系统中,片内设置有一个可编程的时钟振荡器(无需外部器件),可提供 2、4、8 和 16 MHz 时钟的编程设定。外部振荡器可选择 4 种方式。当程序运行时,可实现内外时钟的动态切换。编程选择的时钟输出 CYSCLK 除供片内使用外,还可从随意选择的 I/O 端口输出,能够胜任各种应用场合的需求。

综上所述,Silabs 公司的 SOC 芯片级 C8051F020 单片机,运行速度快,具有丰富的数字和模拟外设且功能强大,存储器配置容量大且选配灵活,程序开发和调试手段方便先进,其芯片全部为工业级产品,工作温度范围宽,完全胜任和满足多功能熏/蒸/烤箱的嵌入式控制系统的要求。在选定了嵌入式控制系统的 CPU 方案后,下面介绍外围电路的配置。

3.2.2 C8051F020 单片机管脚功能分配

C8051F020 采用 TQFP100 封装，下面介绍在本控制系统中的具体的管脚功能定义和分配。

表 3-1: 本控制系统中 C8051F020 的管脚设定和具体功能分配
List 3-1 Pin function setting and assignment of C8051F020 in the control system

引脚名称	引脚号	类型	管脚功能设定和具体分配说明
VDD	37/64/90	电源	数字电源+，三引脚并接 3.3V
DGND	38/63/89	电源	数字电源地，三脚并接。
AV+	11/14	电源	模拟电源+，二引脚并接到 3.3V AV+。
AGND	10/13	电源	模拟电源地，二引脚并接。
TMS	1	数字输入	连接到 JTAG 插口并可通过跳线短接到数字地。
TCK	2	数字输入	连接到 JTAG 插口并可通过跳线短接到数字地。
TDI	3	数字输入	连接到 JTAG 插口并可通过跳线短接到数字地。
TDO	4	数字输出	连接到 JTAG 插口并可通过跳线短接到数字地。
/RST	5	数字 I/O	与外部复位电路相连。
XTAL1	26	模拟输入	连到外部晶振的一极作为晶体输入。
XTAL2	27	模拟输出	连到外部晶振的另一极作为晶体的震荡电源。
MONEN	28	数字输入	与数字电源+ VDD 短接，允许内部 VDD 监视器工作。
VREF	12	模拟输出	设置 2 倍增益后的 2.4V 电压连接到 16 脚 VREF0。
VREF0	16	模拟输入	与 12 脚 VREF 端相连。
VREF1	17	模拟输入	与模拟电源地相连，不用 ADC1。
VREFD	15	模拟输入	与模拟电源地相连，不用 DAC。
AIN0.0	18	模拟输入	与发烟温度传感器回路相连，通过 10UF 电容接模拟地。
AIN0.1	19	模拟输入	通过跳线与模拟电源地相连，暂时不用此通道。
AIN0.2	20	模拟输入	与芯球温度信号回路相连，并通过 10UF 电容接模拟地。
AIN0.3	21	模拟输入	通过跳线与模拟电源地相连，暂时不用此通道。
AIN0.4	22	模拟输入	与干球温度信号回路相连，并通过 10UF 电容接模拟地。
AIN0.5	23	模拟输入	通过跳线与模拟电源地相连，暂时不用此通道。
AIN0.6	24	模拟输入	与湿球温度信号回路相连，并通过 10UF 电容接模拟地。
AIN0.7	25	模拟输入	通过跳线与模拟电源地相连，暂时不用此通道。
CP0+	9	模拟输入	与模拟电源地相连，暂时不用此通道。
CP0-	8	模拟输入	与模拟电源地相连，暂时不用此通道。
CP1+	7	模拟输入	与模拟电源地相连，暂时不用此通道。
CP1-	6	模拟输入	与模拟电源地相连，暂时不用此通道。
DAC0	100	模拟输出	目前没有使用。
DAC1	99	模拟输出	目前没有使用。
P0.0	62	数字 I/O	数字交叉开关设定为 UART0 的 TX0 功能引脚。
P0.1	61	数字 I/O	数字交叉开关设定为 UART0 的 RX0 功能引脚。
P0.2	60	数字 I/O	数字交叉开关设定为 SMBUS 的 SDA 功能引脚。
P0.3	59	数字 I/O	数字交叉开关设定为 SMBUS 的 SCL 功能引脚。
P0.4	58	数字 I/O	数字交叉开关设定为 UART1 的 TX1 功能引脚。

ALE/P0.5	57	数字 I/O	P0.5/交叉开关设定为 UART1 的 RX1 功能引脚。
/RD/P0.6	56	数字 I/O	P0.6/交叉开关设定为/INT0 功能引脚, 键盘中断信号入。
/WR/P0.7	55	数字 I/O	P0.6/交叉开关设定为/INT1 引脚, 外部故障中断信号入。
AIN1.0/A8/P1.0	36	数字 I/O	P1.0/输出, 芯温控制方式-设置指示用 LED。
AIN1.1/A9/P1.1	35	数字 I/O	P1.1/输出, 实际运行参数显示(当前)-信号指示用 LED。
AIN1.2/A10/P1.2	34	数字 I/O	P1.2/输出, 按键和显示第二功能方式-状态指示用 LED。
AIN1.3/A11/P1.3	33	数字 I/O	P1.3/输入, 第二功能方式 (SHIFT) 按键信号输入。
AIN1.4/A12/P1.4	32	数字 I/O	P1.4/输出, 显示控制及驱动芯片 2 片选信号(低有效)。
AIN1.5/A13/P1.5	31	数字 I/O	P1.5/I/O, 显示控制及驱动芯片用串行数据信号线。
AIN1.6/A14/P1.6	30	数字 I/O	P1.6/输出, 显示控制及驱动芯片用串行时钟信号线。
AIN1.7/A15/P1.7	29	数字 I/O	P1.7/输出, 显示控制及驱动芯片 1 片选信号(低有效)。
A8M/A0/P2.0	46	数字 I/O	P2.0/输出, 代码 8 的工序号指示 LED 信号。
A9M/A1/P2.1	45	数字 I/O	P2.1/输出, 代码 6 的排汽工序指示 LED 信号。
A10M/A2/P2.2	44	数字 I/O	P2.2/输出, 代码 4 的分级蒸煮工序指示 LED 信号。
A11M/A3/P2.3	43	数字 I/O	P2.3/输出, 代码 3 的蒸煮工序指示 LED 信号。
A12M/A4/P2.4	42	数字 I/O	P2.4/输出, 代码 5 的烘烤工序指示 LED 信号。
A13M/A5/P2.5	41	数字 I/O	P2.5/输出, 代码 7 的工序号指示 LED 信号。
A14M/A6/P2.6	40	数字 I/O	P2.6/输出, 代码 2 的烟熏工序指示 LED 信号。
A15M/A7/P2.7	39	数字 I/O	P2.7/输出, 代码 1 的干燥工序指示 LED 信号。
AD0/D0/P3.0	54	数字 I/O	P3.0/输出, 运行状态指示用 LED 信号。
AD1/D1/P3.1	53	数字 I/O	P3.1/输出, 停机状态指示用 LED 信号。
AD2/D2/P3.2	52	数字 I/O	P3.2/输出, 时间控制方式-设置指示用 LED。
AD3/D3/P3.3	51	数字 I/O	P3.3/输出, 风机低速方式-设置指示用 LED。
AD4/D4/P3.4	50	数字 I/O	P3.4/输出, 风机高速方式-设置指示用 LED。
AD5/D5/P3.5	49	数字 I/O	P3.5/输出, 设置参数显示(当前)-信号指示用 LED。
AD6/D6/P3.6/ IE6	48	数字 I/O	IE6/外部中断 6 输入, 连到外部 RTC 秒脉冲信号。
AD7/D7/P3.7/ IE7	47	数字 I/O	IE7/外部中断 7 输入, 连到外部 RTC 分脉冲信号。
P4.0	98	数字 I/O	与 UART0 的 232 接口芯片相连, 作为 RTS 信号脚。
P4.1	97	数字 I/O	与 UART0 的 232 接口芯片相连, 作为 CTS 信号脚。
P4.2	96	数字 I/O	与 UART1 的 232 接口芯片相连, 作为 RTS 信号脚。
P4.3	95	数字 I/O	与 UART1 的 232 接口芯片相连, 作为 CTS 信号脚。
P4.4	94	数字 I/O	输出, 发烟器木屑增湿阀控制用。
ALE/P4.5	93	数字 I/O	P4.5/输出, 预留的输出信号通道, 控制外部执行元件。
/RD/P4.6	92	数字 I/O	P4.6/输出, 讯响器控制信号通道使用。
/WR/P4.7	91	数字 I/O	P4.7/输出, 进气阀门控制信号通道使用。
A8/P5.0	88	数字 I/O	P5.0/输出, 进烟阀门控制信号通道使用。
A9/P5.1	87	数字 I/O	P5.1/输出, 小排气阀门控制信号通道使用。
A10/P5.2	86	数字 I/O	P5.2/输出, 风机高速运行控制信号通道使用。
A11/P5.3	85	数字 I/O	P5.3/输出, 预留的输出信号通道, 控制外部执行元件。
A12/P5.4	84	数字 I/O	P5.4/输出, 清洗泵控制信号通道使用。
A13/P5.5	83	数字 I/O	P5.5/输出, 低压蒸汽阀门控制信号通道使用。
A14/P5.6	82	数字 I/O	P5.6/输出, 预留的输出信号通道, 控制外部执行元件。
A15/P5.7	81	数字 I/O	P5.7/输出, 预留的输出信号通道, 控制外部执行元件。

A8M/A0/P6.0	80	数字 I/O	P6.0/输出, 发烟器木屑搅拌电机控制用通道。
A9M/A1/P6.1	79	数字 I/O	P6.1/输出, 发烟器烟气输送风机控制用通道。
A10M/A2/P6.2	78	数字 I/O	P6.2/输出, 高压蒸汽阀门控制信号通道使用。
A11M/A3/P6.3	77	数字 I/O	P6.3/输出, 发烟器点火/加热控制用通道。
A12M/A4/P6.4	76	数字 I/O	P6.4/输出, 预留的输出信号通道, 控制外部执行元件。
A13M/A5/P6.5	75	数字 I/O	P6.5/输出, 湿度控制用增湿阀门控制信号通道使用。
A14M/A6/P6.6	74	数字 I/O	P6.6/输出, 大排气阀门控制信号通道使用。
A15M/A7/P6.7	73	数字 I/O	P6.7/输出, 风机低速运行控制信号通道使用。
AD0/D0/P7.0	72	数字 I/O	P7.0/输入, 外部电路故障信号输入 1#通道。
AD1/D1/P7.1	71	数字 I/O	P7.1/输入, 外部电路故障信号输入 2#通道。
AD2/D2/P7.2	70	数字 I/O	P7.2/输入, 外部电路故障信号输入 3#通道。
AD3/D3/P7.3	69	数字 I/O	P7.3/输入, 外部电路故障信号输入 4#通道。
AD4/D4/P7.4	68	数字 I/O	P7.4/输入, 外部电路故障信号输入 5#通道。
AD5/D5/P7.5	67	数字 I/O	P7.5/输入, 外部电路故障信号输入 6#通道。
AD6/D6/P7.6	66	数字 I/O	P7.6/输入, 外部电路故障信号输入 7#通道。
AD7/D7/P7.7	65	数字 I/O	P7.7/输入, 外部电路故障信号输入 8#通道。

3.2.3 单片机系统的程序存储器

对于单片机控制系统所需的程序存储器,没有通过常规做法来扩展并行接口的外部程序存储器,而是使用 C8051F020 的 CIP-51 内核已经内置了的 64K 字节 FLASH 程序存储器,可以通过 JTAG 接口或由软件使用 MOVX 指令对 FLASH 存储器进行在系统编程,FLASH 存储器被设计为能承受至少 20000 个擦/写周期。它不仅能完全满足系统需求,可靠且不占用系统硬件资源。

CIP-51 同时提供了安全选项以保护 FLASH 存储器被软件意外修改,以及防止产权程序代码和常数被读取。程序存储写允许和 (PSCTL.0) 和程序存储擦除允许 (PSCTL.1) 位保护 FLASH 存储器不会被软件意外修改。保存在地址 0xFDFE 和 0xFDFE 中的安全锁定字节集可以保护 FLASH 存储器,使得不能通过 JTAG 接口读取或修改其内容。读锁定字节位于 0xFDFE,写锁定字节位于 0xFDFE,一旦设置了锁定位,解锁的唯一办法就是用 JTAG 擦除操作擦除整个程序存储器空间,C8051F020 内部 FLASH 存储器的访问限制这一安全功能,可以保护运行在 F020 上的产权程序代码和数据不被读取^[16]。

3.2.4 单片机系统的数据存储器及实时时钟电路 (RTC)

数据存储器在本控制系统的需求有两种:一种为在温/湿度测量中保存数据和结果运算时暂存中间变量之用,以弥补 51 系列单片机通用 256 字节 RAM 的不足,对于

此种需求，可以利用 C8051F020 还具有的 4352 字节的内部数据 RAM，它位于 CIP-51 核中，但是通过外部数据总线与 CPU 相连，相当于在芯片内扩展了 4K 字节的（外部）数据存储器，参阅图 3-2，这 4K 字节 XRAM 使用 MOVX 指令进行访问，完全可以胜任上述需求。

另一种数据寄存器用来保存大量的产品加工工艺参数和最近一段时间的生产数据供打印记录。这部分数据存储器不需要很高的访问速度，但需要较大的容量而且需要断电数据保持，考虑到利用 C8051F020 的外部数据存储器接口（EMIF）仅能扩展 64K 字节的 RAM 且占用大量的 I/O 端口，因此选择利用 C8051F020 的 SMBUS（即 I²C 串行总线）来扩展使用串行总线（I²C）的 NVSRAM 或 EEPROM 芯片，在具体的选择中，NVSRAM 或 EEPROM 都具有断电保存功能，但二者的重复可擦写次数是不一样的，串行 NVSRAM 擦写次数可达 100 亿次，EEPROM 的擦写次数在 10-100 万次之间，因此本控制系统的存储器选择了串行 NVSRAM^{[48][49]}。

由于控制系统的整体方案中预留了生产数据的记录打印功能和预置时间启动运行等功能，需要在系统中配置实时时钟且要保证时钟在控制系统停止运行或断电期间不间断运行。

具体的芯片电路选择了深圳威帆公司的内置晶振/电池/串行 I²C 总线 NVSRAM+RTC 的模块 SD2001EPI（工业级产品），从而把基本要求的数据存储器和 RTC 结合在一起得到解决^[20]。

表 3-2 SD2001EPI 管脚配置状态

List 3-2 Pin arrangement and function assignment of module SD2001EPI

引脚名称/编号	功能设定	连接方式
VBAT/2	外加备用电池引脚	空置不接
TEST/3	测试引脚。	内部电池电压检测脚（不接）
ON/OFF/4	打开/关闭 SRAM。	此脚接系统数字电源地。
SCL/13	RTC 串行数据时钟输入脚	与 SCL 脚并接一上拉电阻后连到 F020 的 P0.3
SDA/15	NVSRAM 串行数据输入/输出脚，	与 SDA 脚并接一上拉电阻后连到 F020 的 P0.2
SDAE/20	SRAM 串行数据输入/输出脚。	与 SDA 脚并接一上拉电阻后连到 F020 的 P0.2
SCLE/21	SRAM 串行数据时钟脚。	与 SCL 脚并接一上拉电阻后连到 F020 的 P0.3
INT1/19	中断 1 输出脚，由中断寄存器设置为每秒钟脉冲输出。	接一上拉电阻后连到 F020 的外部中断 6 引脚 P3.6

INT2/23	中断 2 输出脚,由中断寄存器设置为每分钟脉冲输出。	接一上拉电阻后连到 F020 的外部中断 7 引脚 P3.7
VDD/24	正电源	接系统数字电源 5V 脚。
VOUT/14	3.3V 稳压输出脚,当 $VDD \geq 3.4V$ 时有效	空置,没有用。
GND/10/11/12	负电源 (GND)	接系统数字电源地

主要性能特点：

- 低功耗：典型值 $1.0 \mu A$ ($VDD=3.5V$)。
- 工作电压：3.0 ~ 5.5V (其中 NVSRAM 在 4.5 ~ 5.5V 工作), 工作温度：工业级 -40 ~ 85。
- 年、月、日、星期、时、分、秒的 BCD 码输入/输出。
- 自动日历到 2099 年 (包括闰年自动换算功能)。
- 可设定的两路闹钟 (定时) 及 32768Hz ~ 1Hz 的方波信号输出。
- 内置稳压电路及电源掉电检测电路, 24 脚 DIP 封装形式。
- 内置电源管理电路, 当 $VDD = 3.0V$ 时, 内部电池不耗电。
- 内置充电电路 (SD2001 系列), 总电量超过 1.6Ah, 保证时钟使用寿命超过 10 年或更长时间。
- 内置 256kbit 的非易失性 SRAM, 其擦写次数 100 亿次, 且没有内部写延时。
- 内置晶振, 出厂前已对时钟进行校准, 保证精度 $\pm 4ppm$, 即时钟年误差小于 2 分钟 (25 ± 1 下)。

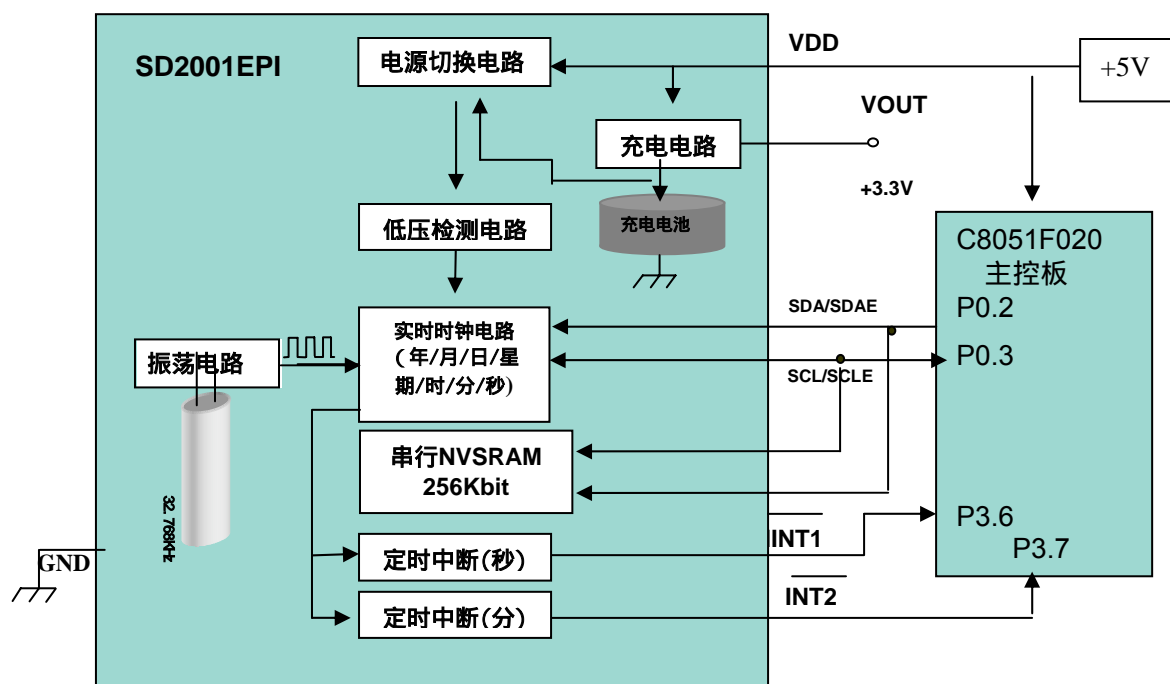


图 3-3 SD2001EPI 内部原理及外部连接框图

Fig. 3-3 Sketch for internal principle and outside wire connection of SD2001EPI

实时时钟 (RTC) 电路**1. I²C 串行接口**

SD2001EPI 实时时钟部分通过基于 I²C 总线的串行接口方式去接收各种命令并读写数据。基于 I²C 总线传输方式描述如下^{[21] [20]}：

(1) 开始条件

当 SCL 处于高电平时，SDA 由高电平变成低电平时构成一个开始条件，对 SD2001 的实时时钟部分的所有操作均必须由开始条件开始。

(2) 停止条件

当 SCL 处于高电平，SDA 由低电平变成高电平构成一个停止条件，此条件发生时对 SD2001 的实时时钟部分的所有操作均停止。

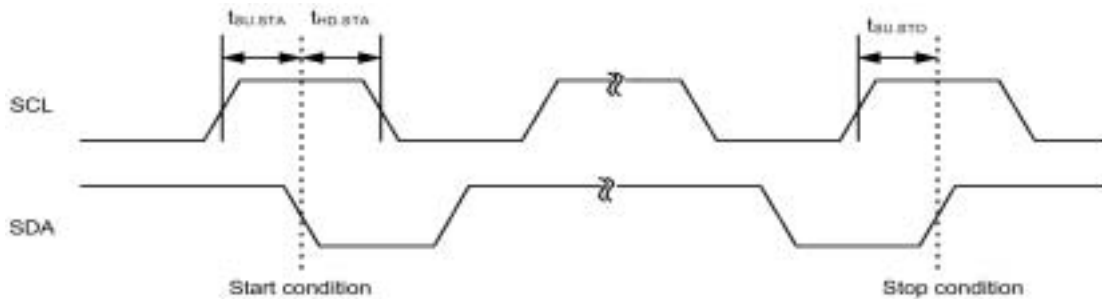


图 3-4 实时时钟部分串行接口的命令

Fig. 3-4 Command of I²C serial interface of real-time-clock module**(3) 数据传输**

当 SCL 为低电平，且 SDA 线电平变化时，则数据由 CPU 传输给 SD2001；当 SCL 为高电平，且 SDA 电平变化时，SD2001 收到一个开始或停止条件。

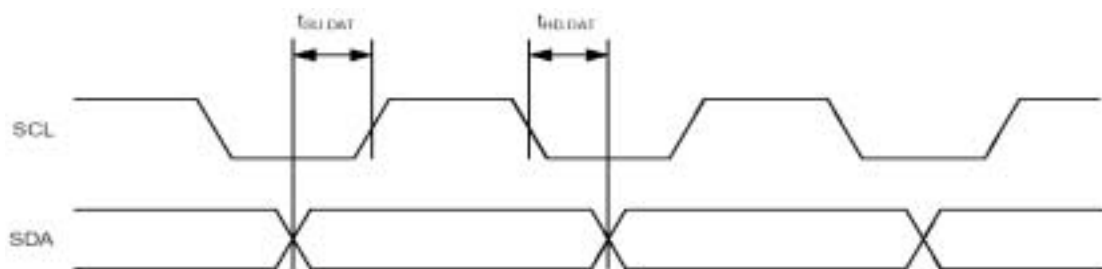


图 3-5 实时时钟数据传输时序

Fig. 3-5 Time-sequence of data transfer for real-time-clock module

(4) 确认

数据传输以 8 位序列进行。SD2001 在第九个时钟周期时将 SDA 置位为低电平，即送出一个确认信号（Acknowledge bit，以下简称“ACK”），表明数据已经被其收到。

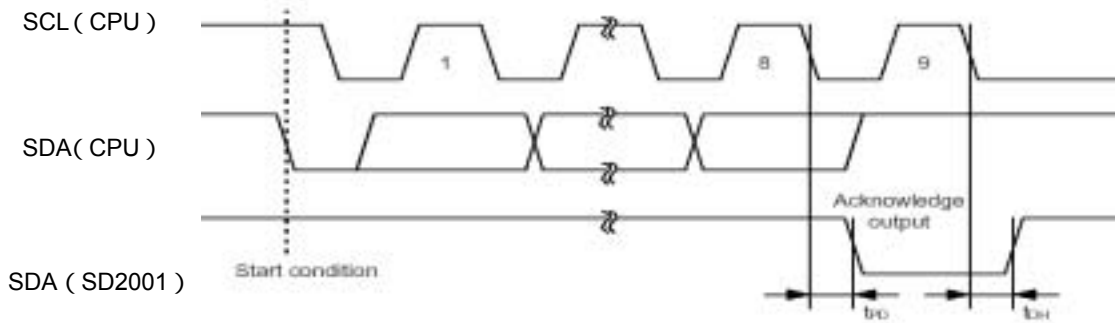


图 3-6 实时时钟确认信号

Fig. 3-6 Acknowledge signal of data transfer for real-time-clock module

2. 操作指令

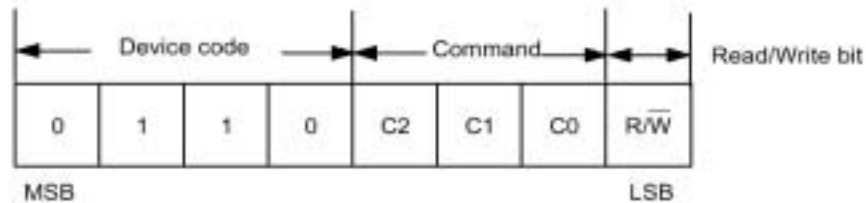
当 CPU 发出开始条件与实时时钟部分建立连接后，CPU 通过 SDA 总线连续输出 4 位器件地址，3 位操作指令和 1 位读/写指令。

(1) 器件代码：

其中高四位称“器件代码”，它代表实时时钟部分的器件地址，固定为“0110”。

表 3-3 实时时钟器件代码和命令字

List 3-3 Device code and command code of real-time-clock module



(2) 由三位操作指令共构成对实时时钟部分操作的八条指令：

表 3-4 实时时钟指令表

List 3-4 Command code list of real-time-clock module

C2	C1	C0	操作	ACK 数目
0	0	0	复位 (00 (年), 01 (月), 01 (天), 0 (星期) 00 (分), 00 (秒))	1
0	0	1	状态寄存器存取	2
0	1	0	实时数据读写方式 1 (从年数据开始)	8
0	1	1	实时数据读写方式 2 (从小时数据开始)	4
1	0	0	报警中断/频率设置 1 (TINT1 脚)	3
1	0	1	报警中断/频率设置 2 (TINT2 脚)	3

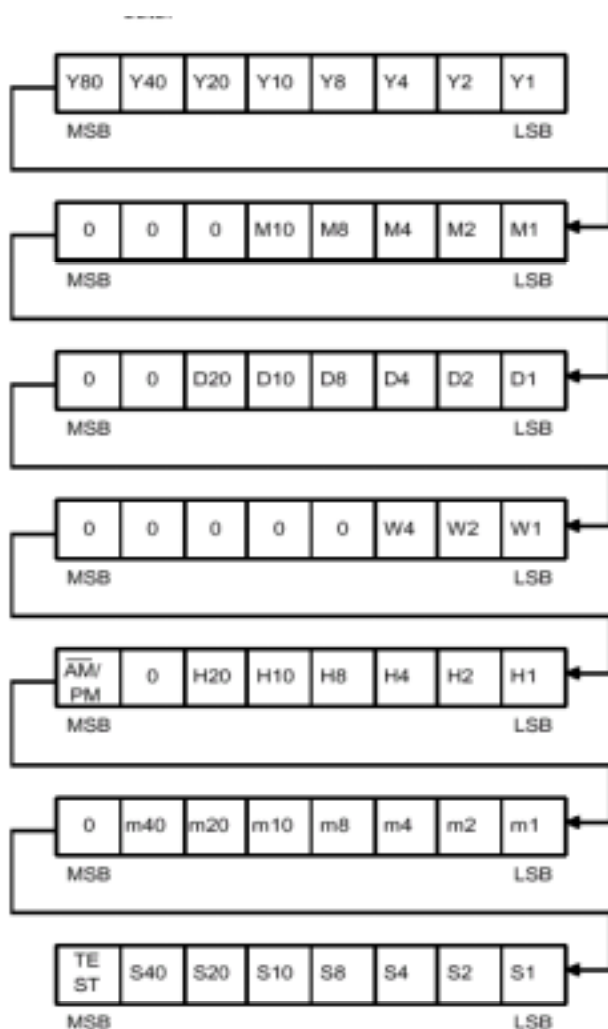
其中 R/W 位信号为“1”时为读命令，R/W 位信号为“0”时为写命令。

3. 寄存器

实时时钟部分共包括四个寄存器：实时数据寄存器，状态寄存器，两组报警时间/频率设置寄存器。

(1) 实时数据寄存器

实时数据寄存器^[20]是一个 56 位的存储器，它以 BCD 码方式存贮，包括年、月、日、星期、时、分、秒的数据。实时数据的读/写操作都通过发送或接收年(实时数据读写方式 1)或小时(实时数据读写方式 2)数据的第一位“LSB”开始执行的。



年数据 (00~99): 设置最后两位数字 (00~99), 通过自动日历功能计至 2099 年。

月数据 (01~12) 每月包含天数通过自动日历功能来更改。

日数据 (01~31)

星期数据 (00~06): 七进制计数器, 00 对应星期天, 01 对应星期一, 依次类推。

小时数据 (00~23 或 00~11) 12 小时进制 0: AM, 1: PM 对于 24 小时进制, 这一位没有意义但芯片内部必须将其设置为“0”或“1”

分数据 (00~59)

秒数据 (00~59) 与测试标志 TEST 位: 在测试模式变为“1”

图 3-7 实时时钟实时数据寄存器
Fig. 3-7 Data register of real-time-clock module

(2) 状态寄存器

状态寄存器^[20]是一个 8 位寄存器，它允许你用来显示和设置不同的模式，其中“Power”是只读位，其它均可读/写。

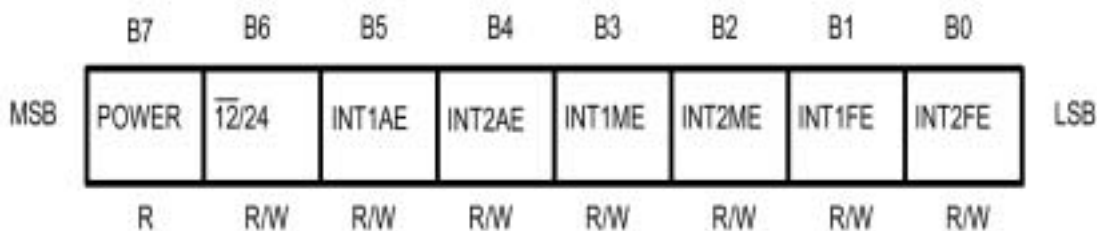


图 3-8 实时时钟状态寄存器
Fig. 3-8 Status register of real-time-clock module

- B7** Power 在上电时或在电源电压改变时（小于 VDET），电源电压检测电路工作，此位置为“1”。该位一旦置为“1”，即使电源电压达到或超过检测电压，此位也不会变为“0”，而必须通过操作指令中的复位命令才能使之复“0”。本标志位为只读位。
- B6** 12/24：本标志用于设置 12 小时制或 24 小时制：0：12 小时制；1：24 小时制。
- B5** INT1AE；**B4** INT2AE：此位用于设置从 INT1 脚（或 INT2 脚）输出的报警中断的状态。通过 INT1（INT2）寄存器来设置报警时间。0：报警中断输出禁止；1：报警中断输出允许。
- B3** INT1ME；**B2** INT2ME：此位用于设置从 INT1 脚（或 INT2 脚）的输出为每分钟边沿中断或每分钟固定中断。如设为每分钟固定中断输出，需将 INT1ME 和 INT1FE（或 INT2ME 和 INT2FE）均置为 1。0：报警中断或可选频率的固定中断输出；1：每分钟边沿中断或每分钟固定中断输出。
- B1** INT1FE；**B0** INT2FE：此位用于设定 INT1 脚（或 INT2 脚）的输出为每分钟固定中断（周期一分钟，占空比 50%）或可选频率的固定中断。如果可选频率的固定中断输出被允许时，INT1 寄存器或 INT2 寄存器是用来存放频率数据的寄存器。
0：报警中断或每分钟边沿中断输出。
1：每分钟固定中断输出或可选频率的固定中断输出。

(3) 两组报警时间/可选频率设置寄存器^[20]

有两组 16 位报警时间/可选频率设置寄存器，用于设置报警时间或可选频率，它们由 INTxAE 与 INTxFE 控制。该寄存器为只写寄存器。

INTxAE=1 时

INT1 和 INT2 寄存器用来存放报警时间数据，其格式用 BCD 码代表小时与分钟，与实时数据寄存器中的小时和分钟寄存器设置相同。

INTxFE=1 时

INT1 与 INT2 寄存器用来存放频率数据，如对相应位置“1”，则对应频率以“与”的方式输出。

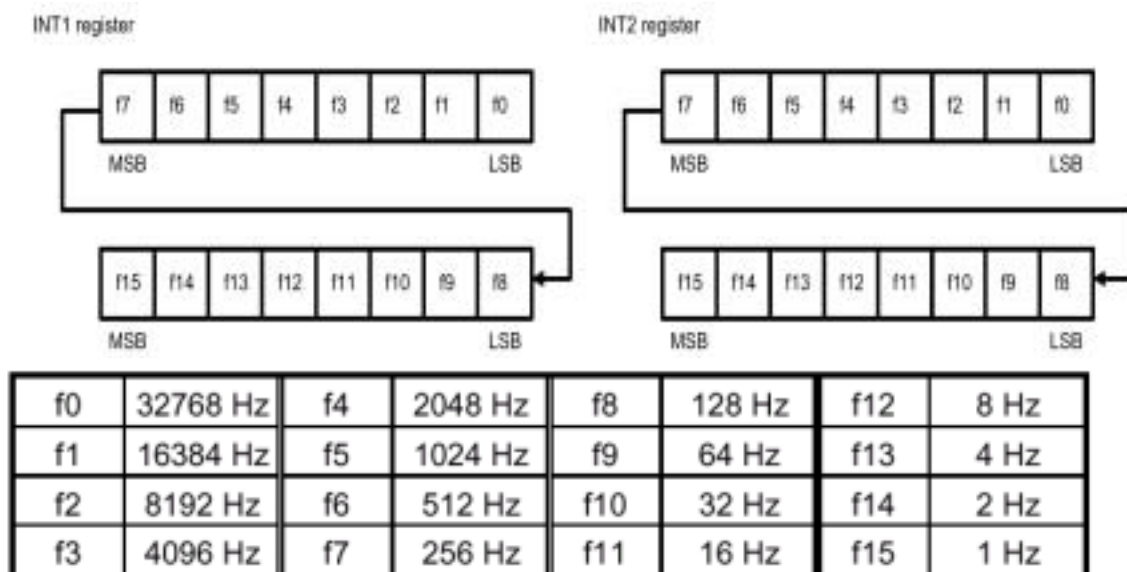


图 3-9 实时时钟 INT1 和 INT2 寄存器频率数据

Fig. 3-9 Frequency setting data of register INT1 and INT2 of real-time-clock module

在具体使用中，专门编写了实时时钟校时和 INT1/INT2 寄存器设置程序，INT1 由中断寄存器设置为每秒钟脉冲输出，作为 C8051F020 的外部中断 6 的输入，用来每秒执行一次温湿度测量流程。INT2 由中断寄存器设置为每分钟脉冲输出，作为 C8051F020 的外部中断 7 的输入，用来作为每步工序运行时间的控制用途。

数据存储 - 串行 NVSRAM 电路

1. NVSRAM 数据传输协议(I²C 接口) [20] [21]

(1)开始条件/(2) 停止条件/(3)数据传输/(4)应答信号 (Acknowledge bit)
如图 3-10 所示，以 SCLE 对应 SCL，以 SDAE 对应 SDA，参照本文有关实时时钟串行接口部分的描述。

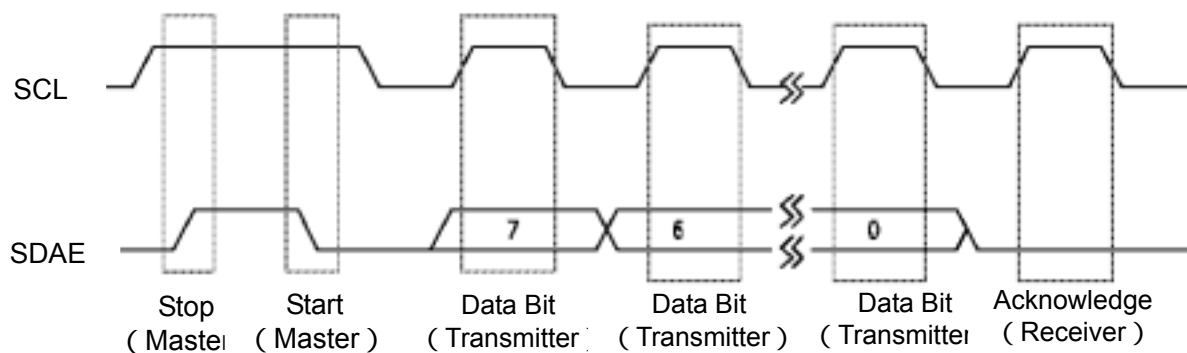


图 3-10 NVSRAM 数据传输

Fig. 3-10 Data transfer of serial interface NVSRAM

2. 操作指令

当 CPU 要对 SD2001 中的 NVSRAM 进行操作时，首先发出开始信号给 SD2001，然后 CPU 发出包括四位器件代码（固定为“1010”）、三位页地址、一位操作码（读操作为“1”，写操作为“0”）的八位数据，即为“从器件地址”（SLAVE ADDRESS）。对于 SD2001EPI，三位页地址（A2-A0）为 000，操作码（R/W）读“1”写“0”，页内范围为 0000~7FFFH。

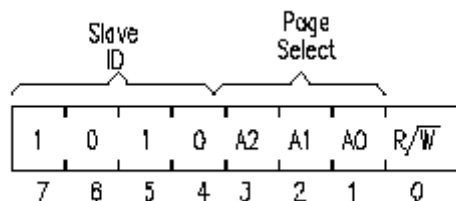


图 3-11 NVSRAM 操作指令结构

Fig. 3-11 Operation command code of serial interface NVSRAM

（1）写操作

对 NVSRAM 的写操作可分为两种，单字节写操作和连续写入操作。单字节写操作指每次只写入一个字节的的数据，连续写入操作指可以写入任意数量字节的数据。

（2）读操作

对 NVSRAM 的读操作除读/写位被设定为“1”外，CPU 以与写操作同样的方式初始化读操作。读操作有三种方式：立即地址读操作，随机地址读操作，连续读操作。

对实时时钟和 NVSRAM 的具体设定/读写等内容将在第四章有关软件设计的内容中进行介绍。

3.2.5 晶振和复位电路

1. 晶体振荡器电路

C8051F020 有一个内部振荡器和一个外部振荡器驱动电路，都可用来产生系统时钟，复位后系统从内部振荡器启动，频率可编程设定在 2/4/8/16MHz。由于内部振荡器使用 RC 网络，其不同芯片间的频率值差异不大于 25%^[16]，由于本控制系统预留了双 UART 端口用于配置串行通信接口，因此需要重复精度高的时钟系统，为此使用了 22.1184MHz 和 33PF 电容的外置晶振振荡电路，采用复位后首先从内部振荡器启动工作，然后允许外置晶振振荡器工作并待其运行稳定后切换系统到外部时钟。具体步骤如下：

- (1) 允许外部振荡器
- (2) 等待至少 1MS
- (3) 查询 XTVDL “0” 外置晶振振荡器有效标志是否为 “1”
- (4) 将系统失重切换到外部振荡器

由于晶体振荡器电路对 PCB 布局非常敏感，设计时使其尽量靠近 F020 的 XTAL 脚并在晶体引脚接负载电容，布线尽可能短并用地线屏蔽以防止其它引线导入噪声或干扰。

2. 复位电路

C8051F020 有 7 个能使 MCU 进入复位状态的复位源，上电/掉电、外部/RST 引脚、外部 CNVSTR 信号、软件命令、比较器 0、时钟丢失检测器及看门狗定时器。在具体应用中，本控制系统只选择使用了上电/掉电、外部/RST 引脚、时钟丢失检测器及看门狗定时器四种复位源。上电/掉电和时钟丢失检测器的检测判断及复位信号已经做在芯片内部，对外部/RST 引脚复位源，设计了复位电路如下：

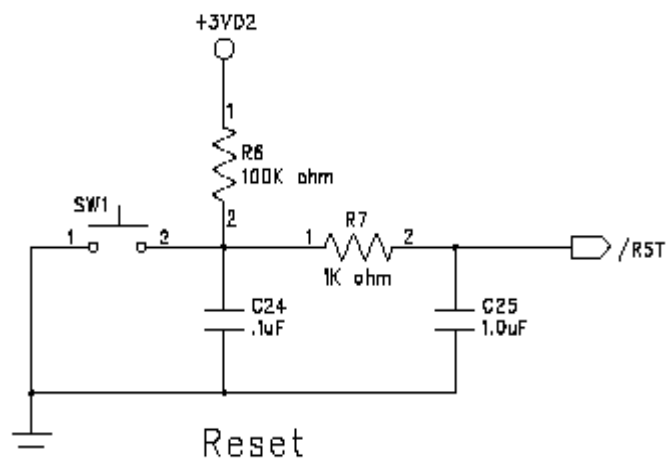


图 3-12 外部/RST 引脚复位电路

Fig. 3-12 Outside circuit diagram for Reset process

C8051F020 的 MCU 内部有一个使用系统时钟的可编程看门狗定时器 (WDT)，当看门狗定时器溢出时，WDT 将强制 CPU 进入复位状态。为了防止复位，必须在溢出发生前由软件重新触发 WDT。如果系统出现了软件/硬件错误，使应用软件不能重新触发 WDT，则 WDT 将溢出并产生一个复位，以用来防止系统失控。在本控制系统中，采用软件的方式每间隔约 50ms 周期性地向看门狗定时器控制寄存器 WDTCN 写入 0_{xA5} 来复位看门狗定时器，以防止其溢出并产生复位。

3.3 温湿度传感器信号变换及 A/D 处理电路

3.3.1 温度传感器及信号转换

测量用的传感器选用阻值 $R_0=100\ \Omega$ 、允差为 A 级的铂电阻，铂电阻是一种精度非常高的温度传感器，在 -150°C 至 650°C 内具有其它温度传感器无法相比的精度，并且由于它的性能非常稳定，重复特性好，所以在高精度的温度测量和标准测温装置中常使用由铂电阻构成的温度传感器。根据 DIN IEC 751 标准，Pt100 铂电阻在测温范围为 $-200^{\circ}\text{C} \sim 850^{\circ}\text{C}$ 内，其阻值与温度的关系式为^{[23][47]}：

1) $-200^{\circ}\text{C} < T \leq 0^{\circ}\text{C}$ 时,

$$R(T)=100 \times [1+3.90802 \times 10^{-3}T-0.5802 \times 10^{-6}T^2-4.27350 \times 10^{-12}(T-100)T^3]$$

2) $0^{\circ}\text{C} < T < 850^{\circ}\text{C}$ 时，

$$R(T) = 100(1+3.90802 \times 10^{-3}T-0.5802 \times 10^{-6}T^2)$$

由此可见铂电阻阻值的温度特性呈非线性，在整个测温范围内，其未校正的最大非线性度约在 4%—5%，而这一特性往往会成为影响铂电阻温度测量系统精度的主要原因。在本测量系统中采用了基于 XTR105 的测温传感器处理电路，有效地克服了这一难题。

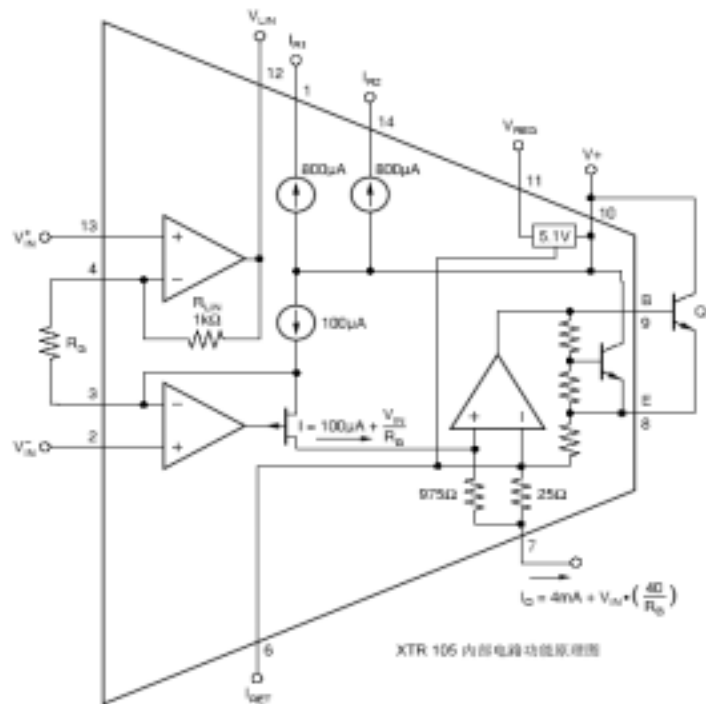


图 3-13 XTR105 内部电路功能原理图

Fig. 3-13 Internal principle circuit diagram of chipset XTR-105

XTR105 是 BB (BURR -BROWN) 公司最新生产的自带传感器激励源和内置线性化电路的 4~20mA 变送器芯片, (其内部电路功能定义如图 3-13), 它可直接与铂电阻相连构成温度传感器/变送器电路。

XTR105 集成芯片通过 I_{R1} (Pin 1) I_{R2} (Pin 14) 引脚提供两路 800μA 的精密电流源来激励外接的铂电阻和置 0 电阻 R_z (对应于铂电阻在量程范围内最小测温点的电阻值)。精心调节 R_z 的值可使最小温度点的输出电流为 4mA, 内置的线性化电路通过外接的线性化电阻 (R_{LIN1}/R_{LIN2}) 对选定的铂电阻量程范围内的温度特性的非线性进行矫正, 通过精心选配外接电阻, 可达到 40:1 的改善。片内仪表放大器增益可通过接在 Pin3 与 Pin4 间的外部电阻 R_0 调节以适应不同的温度测量范围。芯片通过电流环路供电, 具有极宽的电源工作范围, 可工作在 7.5V~36V^[47]。本测温系统中选用由 DC/DC 变换器产生的 12V 稳压电源供电, XTR105 输出为电流信号, 可进行远距离传输。由于 XTR105 具有的这些优点, 在测温系统的传感器处理电路设计中选用了它。

使用 XTR105 构成的温度测量电路可采用二线制或三线制, 由于本测温系统中测温点铂电阻位于距离处理电路较远的场合, 故采用了三线连接方式, 此方式可以修正连接导线本身电阻产生的误差, 电路连接原理图如下图 3-14:

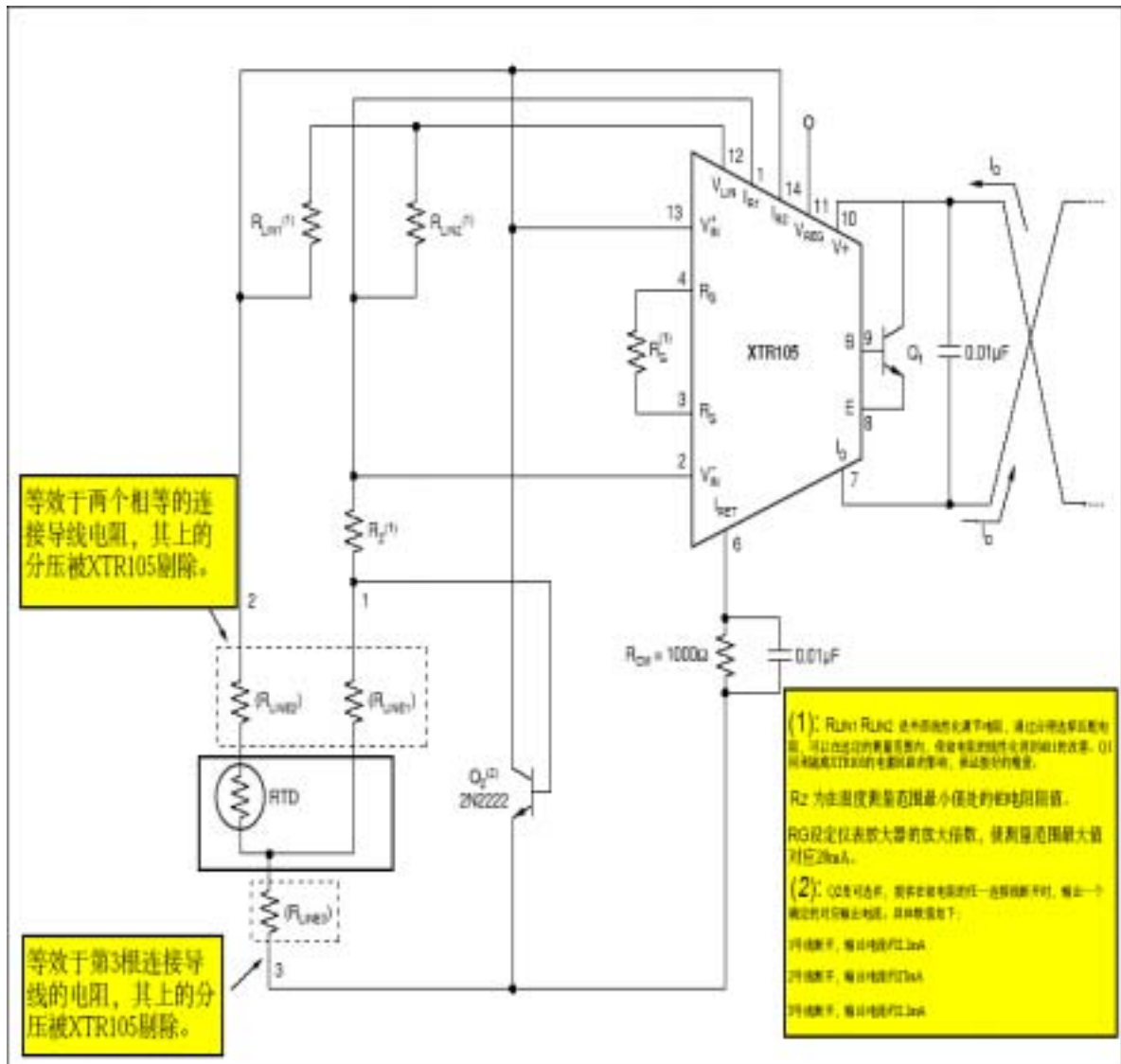


图 3-14 XTR105 与铂电阻连接电路

Fig. 3-14 Connection circuit diagram for transducer P_t100 and XTR-105

下面结合具体的要求，说明： R_Z 、 R_G 、 R_{LIN1}/R_{LIN2} 取值计算步骤，选取的温度测量范围的下限记为 T_{MIN} ，测量范围的上限记为 T_{MAX} 。

$R_Z = R_{TD}$ 在测温范围下限 T_{MIN} 时的电阻值，

$$RG = 2(R2 - RZ)(R1 - RZ) / (R2 - R1)$$
$$RLIN1=RLIN(R2-R1)/2(2R1-R2-RZ)$$
$$RLIN2=(RLIN+RG)(R2-R1)/2(2R1-R2-RZ)$$

其中 R_1 = 铂电阻在 $(T_{MIN} + T_{MAX})/2$ 温度时的电阻值,

R_2 = 铂电阻在测温上限 T_{MAX} 时的电阻值,

$R_{LIN} = 1K$ 欧姆 (芯片内部)

根据系统的实际要求, 温度测量范围取为 $0^{\circ}C \sim 200^{\circ}C$, 测量值的分辨率选为 $0.1^{\circ}C$, 由选定的温度上下限测量范围, 计算求得对应的修正电阻参数如下:

$R_Z = 100$ 欧姆;

$R_{LIN} = 1K$ 欧姆;

$R_1 =$ 铂电阻在 $100^{\circ}C$ 时的阻值 $= 138.5$ 欧姆

$R_2 =$ 铂电阻在 $200^{\circ}C$ 时的阻值 $= 175.84$ 欧姆

$$R_G = 2(R_2 - R_Z)(R_1 - R_Z) / (R_2 - R_1) = 2(175.84 - 100)(138.5 - 100) / (175.84 - 138.5) = 156.39 \approx 156.4 \text{ 欧姆}$$

$$R_{LIN1} = R_{LIN}(R_2 - R_1) / 2(R_1 - R_2 - R_Z) = 1000(175.84 - 138.5) / 2(2 \times 138.5 - 175.84 - 100) = 16094.83 \approx 16095$$

欧姆

$$R_{LIN2} = (R_{LIN} + R_G)(R_2 - R_1) / 2(R_1 - R_2 - R_Z) = (1000 + 156.39)(175.84 - 138.5) / 2(2 \times 138.5 - 175.84 - 100)$$

$$R_{LIN2} = 18611.90 \text{ 欧姆} \approx 18612 \text{ 欧姆}$$

即 $R_G = 156.4$ 欧姆; $R_Z = 100$ 欧姆; $R_{LIN1} = 16095$ 欧姆; $R_{LIN2} = 18612$ 欧姆。为了保证测温范围内的线性度和测量精度, 具体实施中采用了如下办法:

R_Z 、 R_G 、 R_{LIN1} / R_{LIN2} 分别用接近目标值的普通金属膜电阻 + 可调电阻的方式进行电路配置, 而 XTR105 芯片采用 DIP14 插座的方式安装在 PCB 上, 在用高精度欧姆表或精密电阻箱把 R_Z 、 R_G 、 R_{LIN1} / R_{LIN2} 阻值按照上面的结果一一设定后再安装上 XTR105 芯片。然后把各个通道的温度传感器分别放入 $0^{\circ}C$ 的冰水混合物和 $100^{\circ}C$ 的沸水中进行标定和校准, 最后把各个可调电阻用红漆粘定。

3.3.2 A/D 转换电路

系统的 A/D 转换电路也完全利用 C8051F020 芯片内置的系统, 它包括一个 9 通道的可编程模拟多路选择器(AMUX0), 一个可编程增益放大器(PGA0)和一个 100Kbps/12 位分辨率的逐次逼近寄存器型 ADC0, ADC0 中同时集成了跟踪保持电路和可编程窗口检测器。ADC0 控制寄存器中的 ADOEN 位被置 1 来允许 ADC0 子系统工作^[16]。通过设置通道选择寄存器 AMUXOSL 的低 4 位和通道配置寄存器 AMUXOCF 的低 4 位把 AIN0.0-AIN0.7 编程设置为单端输入。将 REFOCN 的位 3 置"1", 允许使用温度传感器

(置“0”时,温度传感器的输出为高阻态)。温度传感器的值可用于修正参数的非线性或记录/调整与温度相关的数据,下图 3-15 为 ADC0 的原理框图。

F020 的片内有 1 个 $1.2\text{V}/15 \times 10^{-6}/$ 的带隙电压基准发生器 (15ppm) 和 1 个两倍增益的输出缓冲器。由此得到的 2.4V 的电压通过外部 (VREF) 输出引脚接到 VREF0 作为 ADC0 的参考电压。VREF 对外带载能力为 $200\mu\text{A}$ 。由于 C8051F020 芯片内 A/D 的最大允许输入电压为 2.4V, XTR105 测量电流范围为 4-20 mA, 外加断线和短路保护的输出电流约为 27mA, 所以取分压电阻值 R_L 为 80 欧姆, 其上产生的最大电压为 2.02V, 在 A/D 的允许输入电压范围内^{[16] [24]}。

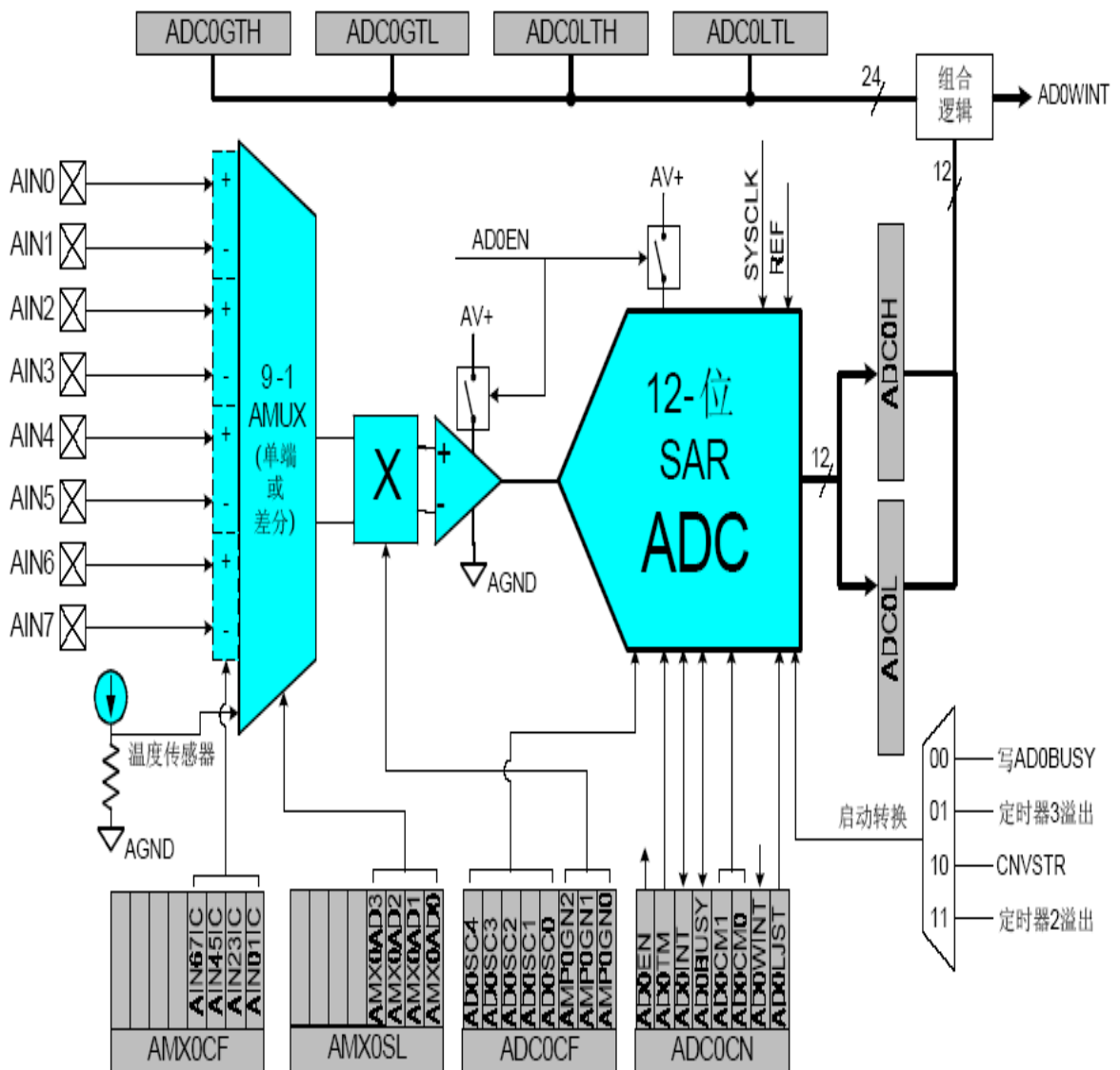


图 3 - 15 C8051F020 中的 12 位 ADC 原理框图

Fig. 3-15 Principle diagram of internal 12-digits ADC in C8051F020

在 F020 的 ADC0 电路中, 输入多路选择开关 AMUX 后面带有 1 个可编程设置增益的内部放大器 (PGA0)。当各模拟通道之间输入的电压信号范围差距较大时, 或需要放大一个具有较大直流偏移的信号时 (在差分输入方式, DAC 可用于提供直流偏移) 显得尤为有用。由于送入各个输入端的模拟量信号电平范围与 A/D 的允许输入电压相匹配, 配置寄存器 ADCOCF 中的 AMP0GN2-0 位置为 000 而使增益设为 1。C8051F020 的 A/D 内还设有数据相关窗口中断发生器或称可编程窗口检测器, 也叫 ADC 上 (下) 数据寄存器 ADCOG (L) TH (L), 用后台方式监视一个关键电压。当转换数据位于规定的窗口之内 (或之外) 时, 向控制器申请转换结束中断。本控制系统把此功能用于温度测量中的传感器故障或超温报警, 非常有益。正常测量温度范围对应的输入电压为 0.32-1.6V, 传感器断线或短路引起的输入电压为 2.02 或 0.18V, 利用 ADC 的窗口比较寄存器值和窗口比较中断可以实时地对输入电压大于 2V 或小于 0.2 的通道产生传感器断线或短路报警信息。

具体方案实施中, 系统基本型有 4 路需要测量的温度信号: 分别为箱内干球温度、湿球温度、芯内温度、发烟器温度; 经过变送处理后的信号和 A/D 输入通道的连接如下:

箱内干球温度, AIN0.4 通道; 湿球温度, AIN0.6 通道;
产品芯内温度, AIN0.2 通道; 发烟器温度, AIN0.0 通道。

A/D 转换采用定时中断的方式进行触发, 来自 RTC 的 1HZ 脉冲连到外部中断 6 的 P3.6 脚, 在对应的每秒定时中断触发后, 每秒钟进行一次温湿度测量过程, 对于温湿度这样的变化缓慢的信号完全满足要求。A/D 转换器工作在跟踪保持方式, 每个测温点的温度采用采样 10 次然后求算术平均值的方法进行处理以消除测量误差。对湿度值, 采用查表转换的方式。具体做法为以干球温度为索引, 干湿球温度的偏差作为转移量进行查表运算, 求出相对湿度。对于温湿度测量及查表运算程序的内容在软件设计章节中进行详细介绍。

3.4 键盘参数输入及显示电路

多功能蒸/熏烤箱的控制系统需要大量参数的按键输入和数码管显示的接口电路 (17 个按键和 16 位数码管/基本型)。如果使用传统的并行显示和键盘输入芯片如 8279 等, 由于需显示的位数较多, 将占用很多的 I/O 口线资源, 而在将来根据需求

扩展和增加数码管位数时会非常麻烦。为此选用了具有 SPI 串行接口功能的可同时驱动 8 位共阴式数码管的智能显示驱动芯片 ZLG7289B，其特点如下^[25]：

- 串行 SPI 接口，操作方便，占用 I/O 资源少；
- 各位独立控制译码/不译码及消隐和闪烁属性；
- 具有(循环)左移/右移，闪烁，消隐，段点亮等强大指令功能；
- 具有段寻址指令，方便控制独立 LED；
- 64 键键盘控制器，内含去抖动电路，具有键盘中断信号输出接口；
- 工作电压/温度范围宽，电压 2.7V ~ 6.0V，温度 -40 到 85 ；

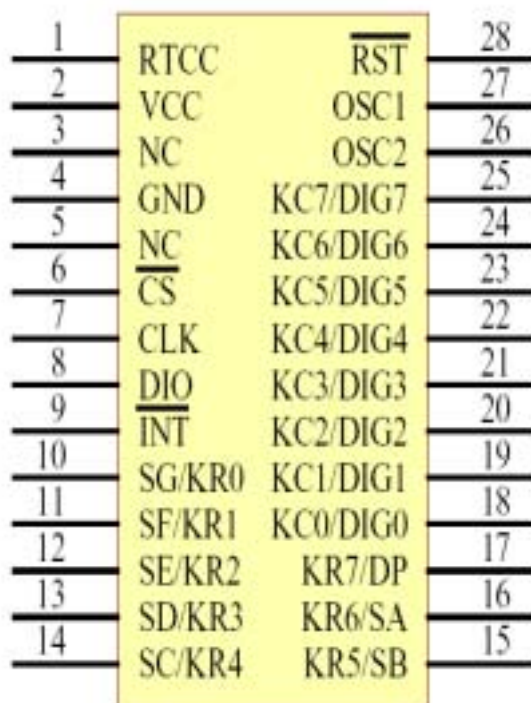


图 3-16 ZLG7289B 引脚排列（DIP-28）

Fig. 3-16 Pin arrangement of Chipset ZLG7289B

下面为按键输入和显示控制及驱动芯片 ZLG7289B 的引脚功能列表：

表 3-5 ZLG7289B 的引脚功能

List 3-5 Pin function explanation of Chipset ZLG7289B

引脚序号	引脚名称	功能描述
1	RTCC	接电源
2	Vcc	电源, +2.7~6V
3	NC	悬空
4	GND	接地
5	NC	悬空
6	$\overline{\text{CS}}$	SPI 总线片选信号, 低电平有效
7	CLK	SPI 总线时钟输入信号, 上升沿有效
8	DIO	SPI 总线数据信号, 双向
9	$\overline{\text{INT}}$	键盘中断请求信号, 低电平(下降沿)有效
10	SG/KR0	数码管 g 段 / 键盘行信号 0
11	SF/KR1	数码管 f 段 / 键盘行信号 1
12	SE/KR2	数码管 e 段 / 键盘行信号 2
13	SD/KR3	数码管 d 段 / 键盘行信号 3
14	SC/KR4	数码管 c 段 / 键盘行信号 4
15	SB/KR5	数码管 b 段 / 键盘行信号 5
16	SA/KR6	数码管 a 段 / 键盘行信号 6
17	DP/KR7	数码管 dp 段 / 键盘行信号 7
18	DIG0/KC0	数码管字选信号 0 / 键盘列信号 0
19	DIG1/KC1	数码管字选信号 1 / 键盘列信号 1
20	DIG2/KC2	数码管字选信号 2 / 键盘列信号 2
21	DIG3/KC3	数码管字选信号 3 / 键盘列信号 3
22	DIG4/KC4	数码管字选信号 4 / 键盘列信号 4
23	DIG5/KC5	数码管字选信号 5 / 键盘列信号 5
24	DIG6/KC6	数码管字选信号 6 / 键盘列信号 6
25	DIG7/KC7	数码管字选信号 7 / 键盘列信号 7
26	OSC2	晶振输出信号
27	OSC1	晶振输入信号
28	$\overline{\text{RST}}$	复位信号, 低电平有效

ZLG7289B 与微控制器的接口采用 3 线制 SPI 串行总线, 由 CS、CLK、和 DIO 这 3 根信号线组成, CS 和 CLK 是输入信号, 由微处理器提供。DIO 信号是双向的, 需接到微处理器的双向 I/O 上。操作 SPI 总线的时序请参见图 3-17/图 3-18 和图 3-19^[25]。

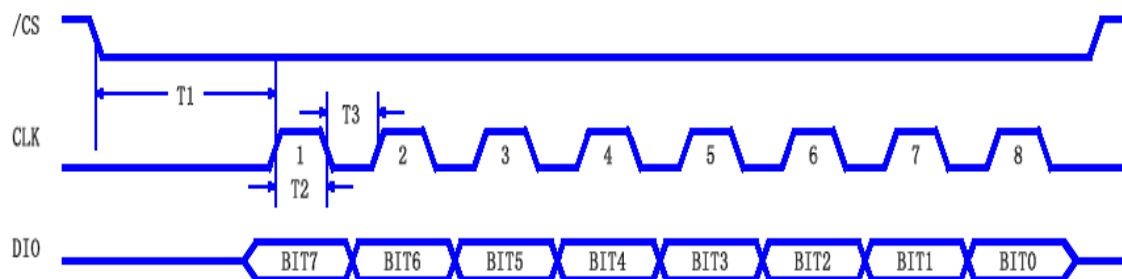


图 3-17 纯指令时序图（单字节命令）

Fig. 3-17 Diagram of Time-Sequence for pure command (single byte command)

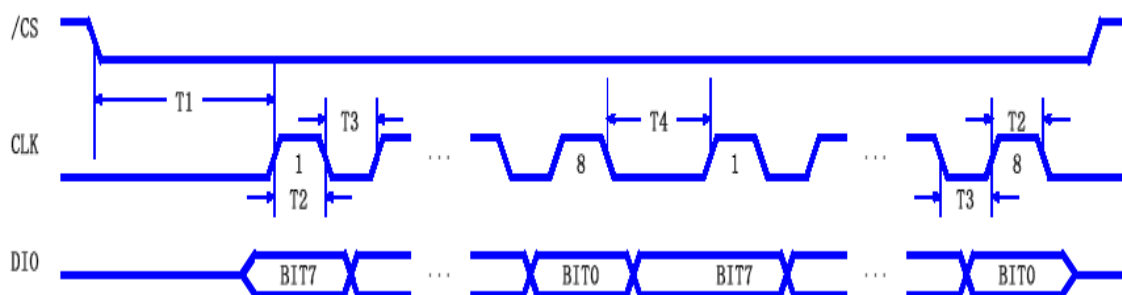


图 3-18 带数据指令时序图（命令字在前，输入数据在后）

Fig. 3-18 Diagram of Time-Sequence for command with data (command before data)

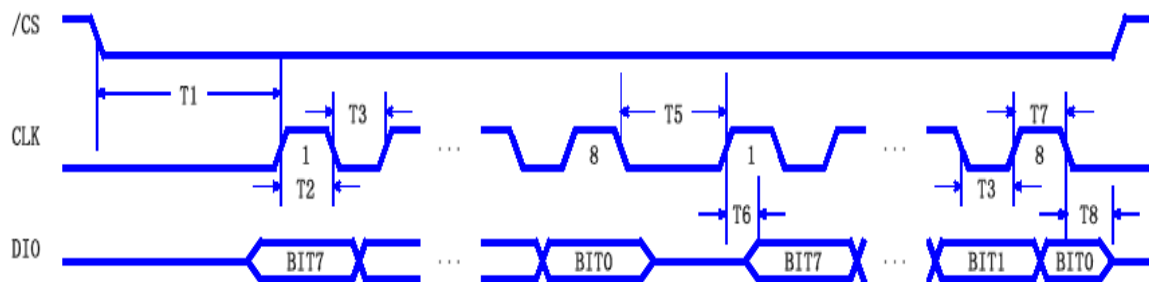


图 3-19 读键盘指令时序图（命令字在前，键值数据在后）

Fig. 3-19 Time-Sequence for reading key-value command (command before key-value)

时序图中各项延迟时间值请见表 3-6， $V_{CC}=5V$ ， $F_{OSC}=16MHz$ 条件下。在实际的程序设计中，须根据所选择的硬件电路参数，合理设定程序中的各个信号电平延迟时间，以确保系统稳定可靠工作。

表 3-6 指令时序图中的各项延迟时间

List 3-6 Delay time of every period on Time-Sequence diagram of comands

符号	名称	最小值	典型值	单位
T1	片选信号 \overline{CS} 的建立时间	25	50	μs
T2	CLK 信号高电平的宽度	5	8	μs
T3	CLK 信号低电平的宽度	5	8	μs
T4	命令字与输入数据之间的时间间隔	15	25	μs
T5	命令字与输出数据（按键值）之间的时间间隔	15	25	μs
T6	输出数据（按键值）建立时间	5	8	μs
T7	读取输出数据（按键值）时 CLK 信号高电平的宽度	5	8	μs
T8	DIO 信号从输出状态切换到输入状态的时间	—	5	μs

ZLG7289B 具有片选信号，可方便地级连实现多于 8 位的显示。其配置方式灵活，在扩展多片用于显示时，CLK 和 DIO 信号可以共用，只需提供另外的 \overline{CS} 片选信号即可，如果把选择的多位片选信号用多路译码器的方式提供，则 2 位片选线可以提供 4 路，3 位可以提供 8 路片选信号，仅仅占用很少的系统资源，就可以使用多片来满足此方案中目前及将来需要大量数码管显示的要求。

本系统参数键盘输入及数码管显示使用两片 ZLG7289B。共驱动控制 16 位高亮共阴的发光数码管，同时其中的一片还兼任按键的输入扫描控制。由于需要显示的信息非常多，为保证需要显示的信息量，各参数的设置值和测量及实际运行值采用共用显示位的方法，而显示的内容属性由一单独控制的 LED 指定，这样做，既节约了硬件资源，同时缩小了显示 PCB 的尺寸便于安装，只是相应增加了软件的设计难度。

系统硬件设计中，C8051F020 与 ZLG7289B 之间共需要 5 根信号线，分别为：
P1.5 —DIO 串行数据信号线(1#/2#芯片公用)，P1.6—CLK 串行时钟信号线(1#/2#芯片公用)，P1.7— \overline{CS} 片选信号线(1#用)，P1.4— \overline{CS} 片选信号线(2#用)，P0.6—键盘中断信号线(2#)。

整个控制系统有 17 个按键，除了“SHIFT”键通过单独的开关和脉冲整形电路，把按键信号独立送到 F020 的引脚 P1.3 由微处理器处理外，其余的 16 个输入按键由 ZLG7289B2#芯片处理，有键按下后，ZLG7289B 的 INT 变为低电平，此信号设计为经过脉冲整形电路送到 C8051F020 的外部中断 0 引脚 P0.6，由中断 0 处理程序来读出键值，然后由相应的键值处理程序来进行判断和处理。根据图 3-20 的电路设计，按键由 ZLG7289B2#芯片的键盘矩阵来实现，对应的读出键值分别为：

键值 00—“SET”键，键值 01—“PRT”键，键值 02—“PSN”键，键值 03—“ENT”键，键值 04—“CLR”键，键值 05—“PRN”键，键值 06—“↑”键，键值 07—“RUN”键，键值 08—“ACT”键，键值 09—“←”键，键值 10—“→”键，键值 11—“INS”键，键值 12—“NEXT”键，键值 13—“PS”键，键值 14—“↓”键，键值 15—“STOP”键。

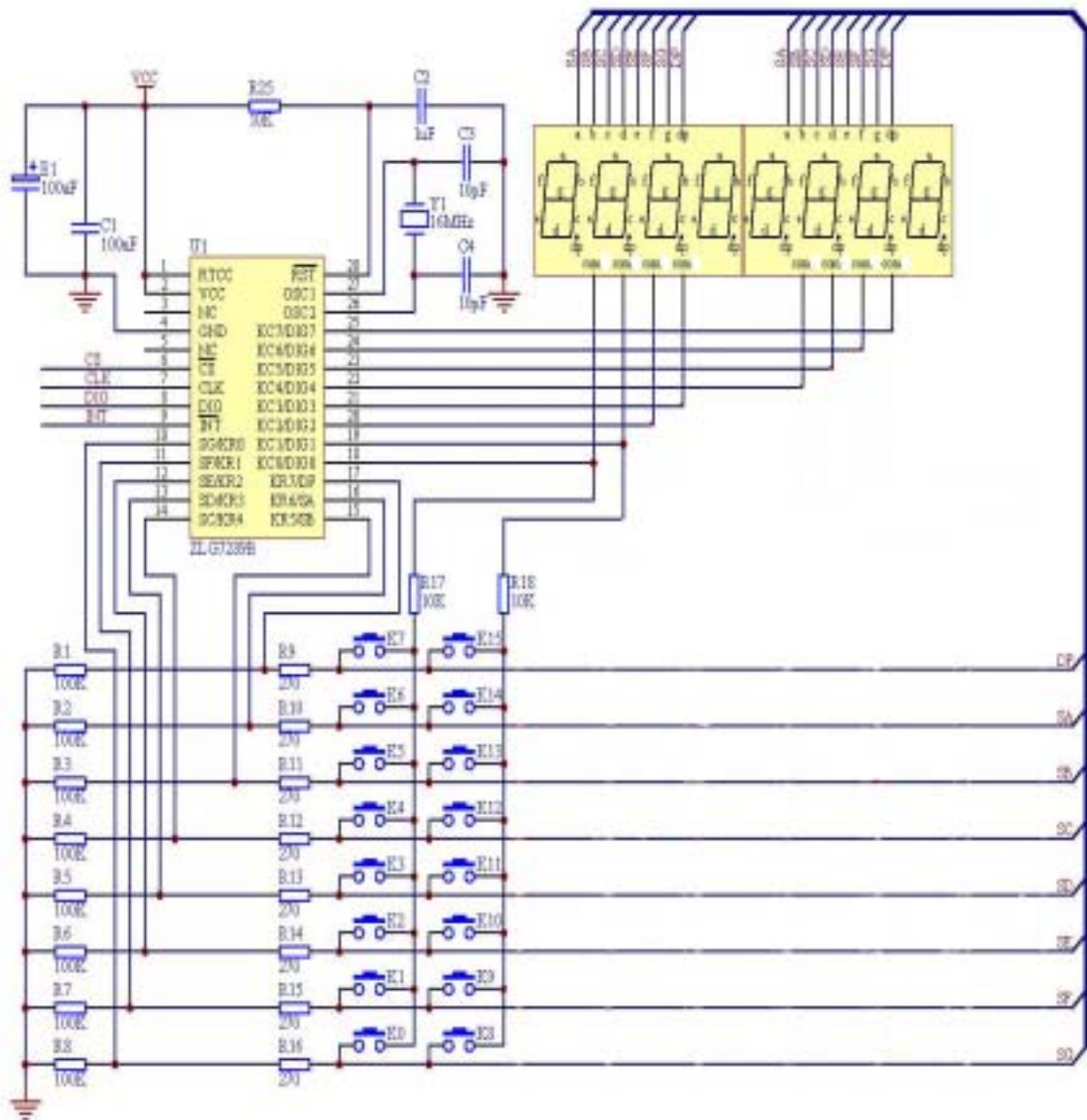


图 3-20 1# 键盘输入及显示控制芯片 ZLG7289B 配置图

Fig. 3-20 Diagram of key-input and displaying control processing chipset ZLG7289B 1#

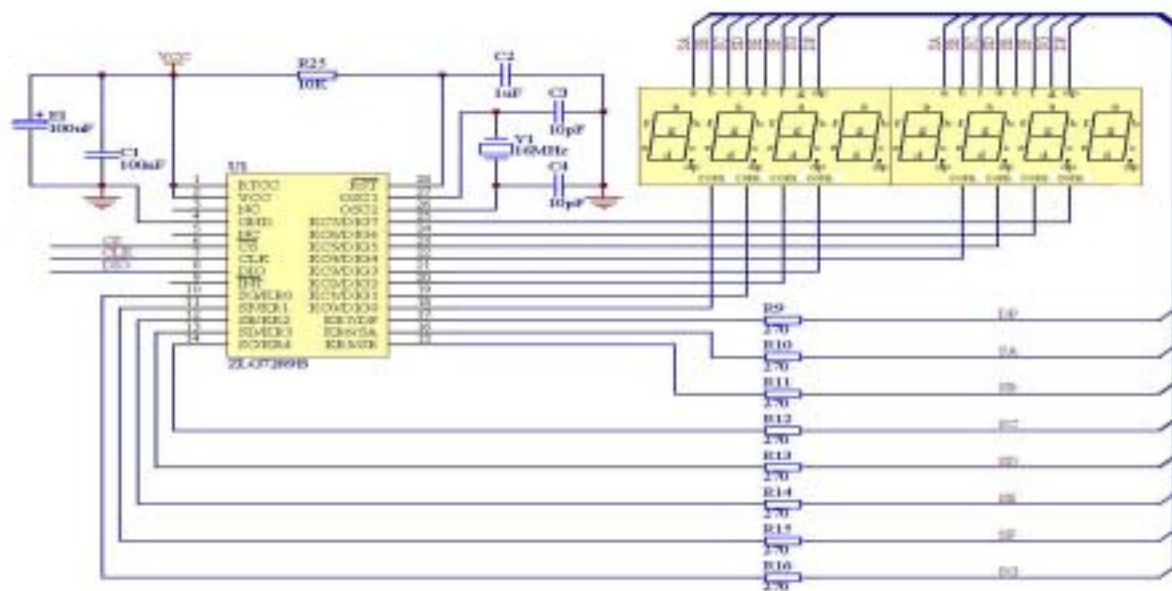


图 3 - 21 2# 显示控制芯片 ZLG7289B 配置图

Fig. 3-21 Diagram of parameters displaying control processing chipset ZLG7289B 2#

有关参数按键输入和数码管显示程序的设计内容，请参见下一章软件设计部分的内容。

3.5 外部故障开关量输入/负载输出接口电路

C8051F0120 的工作电源为 3.3V，由于它的 I/O 使用耐 5V 电压的输入结构，所以外部 5V 接口电路的 TTL 电平信号可以直接输入而不会造成任何危害。但当 C8051F0120 的 I/O 口用作输出与一个 5VTTL 电平的器件相连时，它的最大输出电压只有 VDD 水平，必须进行额外的配置。具体做法为把用于输出的端口引脚设置为“漏极开路”方式，并将此引脚通过一上拉电阻接到+5V 电源，这样 C8051F0120 的逻辑“1”输出将被提升到 5V，而逻辑“0”仍为低电平，参见图 3-23。对于电阻值的选取，对于输出频率不高的端口引脚，在满足驱动电流能力的情况下尽量取得大些以得到较低的功耗；而对于输出频率高的通道，此电阻应取得小一些，以减小寄生电容影响得到可接受的上升时间，从而满足高频率的输出要求，本系统中，这一电阻选为 4.7K。

3.5.1 外部故障信号开关量输入电路

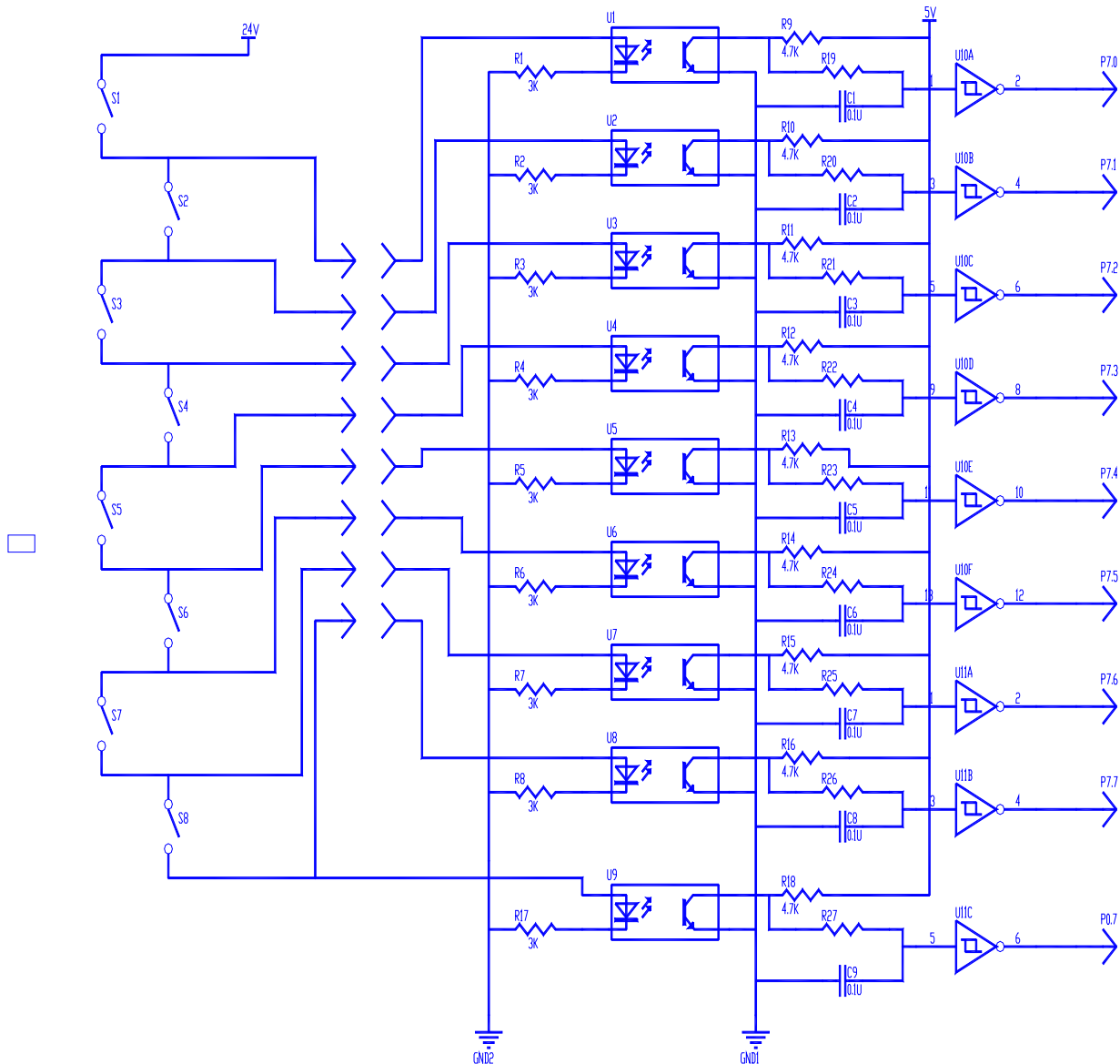


图 3-22 外部电路故障信号输入回路

Fig. 3-22 Input circuit diagram used for outside trouble signals

外部电路产生的故障如马达保护开关触发或设备急停/停止回路有故障，所有这些信号都可以通过设计的外部开关量输入电路即时地把信息传递给微处理器^{[26][27]}。预留的输入通道有 8 个且都通过光电藕荷器 4N25 和斯密特脉冲整形电路 74HC14 输入到 F020 的 P7 口，对于多于 8 个的输入，可以把几个信号串在一起作为一组送入一个通道，所有的输入触点回路串在一起经过光电藕荷器和脉冲整形后送到 F020 的外部

中断 1 引脚 P0.7, 也就是任意一个触点发生断开都会触发微处理器外部中断 1 进行即时响应, 在外部中断 1 的处理程序中, 通过读取 P7 口的输入状态从而判断出是哪个通道的输入信号故障, 进行处理并给出故障代码和讯响报警以提醒操作者, 原理电路如上图 3-22。当所有外部输入触点都闭合时, P7 口读到的数据为 FF; 当只有第 8 组触点断开时, P7 口读到的数据为 7F; 当第 7 组触点断开时, P7 口读到的数据为 3F; 当第 6 组触点断开时, P7 口读到的数据为 1F; 当第 5 组触点断开时, P7 口读到的数据为 0F; 当第 4 组触点断开时, P7 口读到的数据为 07; 当第 3 组触点断开时, P7 口读到的数据为 03; 当第 2 组触点断开时, P7 口读到的数据为 01; 当第 1 组触点断开时, P7 口读到的数据为 00。

3.5.2 外部负载开关量输出电路

本控制系统中用于外部负载输出目的的开关量信号有 20 路, 用来控制的外部负载类型主要有启动/停止马达, 切换马达转速, 打开/关闭阀门等, 用来控制的执行元件主要为接触器/继电器, 电磁阀线圈等。本来这些开关量信号要求的执行频率和响应时间不高, 继电器输出类型的接口电路就能满足, 但考虑到温度和湿度控制时的常规位式开关控制精度不高, 本控制系统拟在开关执行元件的条件下采用精度更好的比例或 PWM 方式^[31], 这就要求这些开关元件有一个较高的执行频度。为此在输出电路通道设计上选用了以 MOC3061 光耦合过零触发芯片控制双向可控硅的无触点开关输出回路^{[26][27][29][51]}, 并把高/低压蒸汽阀选用为气控型, 输出通道直接控制一小功率的电磁气阀, 由这一快速响应的电磁气阀来控制驱动高/低压蒸汽阀。这样的电子无触点开关与继电器式开关相比, 不仅允许的动作频率提高还具有使用寿命长的优势。

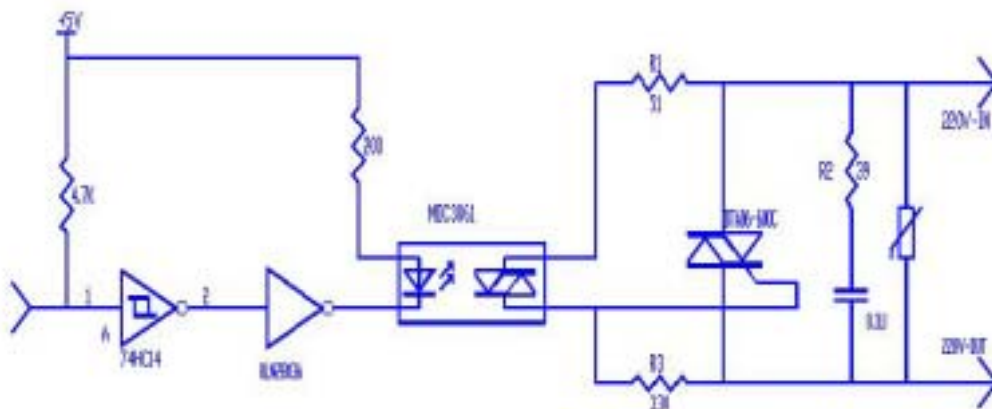


图 3-23 外部负载开关量输出电路

Fig. 3-23 Output circuit diagram used for outside output load

本系统设计的输出电路如上图 3-23 所示，MOC3061 的输入端为低电平时约有 15mA 的电流输入，在它的输出端之间的电压刚过零时，内部双向可控硅导通，从而触发外部双向可控硅 BTA06 导通。当输入端为高电平时，内部光控可控硅关断，外部双向可控硅截止。由于 MOC3061 在输出截止的情况下也有小于或等于 500 μ A 的电流，加入电阻 R3 可以消除这个电流对外部可控硅的影响。R1 是 MOC3061 的限流电阻，用来限制流经 MOC3061 输出端的电流最大值不超过 1A，MOC3061 的过零电压检测阈值为 20V，一般限流电阻取稍大于 20 欧姆，由于本控制系统的输出负载为感性，由于电感的影响，触发外部可控硅的时间延长，这时流经 MOC3061 输出端的电流会增加，因此本系统中增大了这一电阻值而取为 51 欧姆。并联在外部可控硅两端的压敏电阻是为了有效抑制电感性负载产生的瞬态电压和过快的电压指数上升率 dv/dt 对可控硅的损坏^[29]。具体选择时，考虑得是负载电路的最大瞬态电压和压敏电阻的标称电压的允许偏差并加上一定的安全系数(10%)，对本控制系统 220V 的负载电压，选择了标称电压为 470V 的压敏电阻。

3.6 电源电路

本控制系统的硬件电路需要多路的直流稳压电源，分别为 C8051F020 工作所需的数字电源 VDD(+3.3V)、模拟电源 AV+(+3.3V)、外部数字接口电路用电源(+5V)、测温回路变送器芯片工作用电源(+12V)、外部电路故障信号输入电路用电源(+24V)。如图 3-20 所示，首先选用市售的外置成品双路输出开关电源作为整个控制系统的母电源，进线电压 AC/220V，输出一组电压为 24V/12W(电源地为数字地 2)，用于外部电路的故障信号输入回路；另一组为 5V/20W(电源地为数字地 1)，两组电源的地即数字地 1 和 2 在电气上是完全隔离的。5V/20W(电源地为数字地 1)电源除了作为外部数字接口电路用电源的目的外，它还作为 C8051F020 工作所需的数字电源 VDD(+3.3V)，模拟电源 AV+(+3.3V)和温度变送器芯片工作用电源的母电源提供者。

C8051F020 工作所需的数字电源 VDD 共用数字地 1 只是电压为 3.3V，因此通过 LM2937IMP-3.3 低压差三端线形稳压芯片稳压后得到 3.3V 的电压 VDD，C8051F020 中模拟电路工作所需的电源 AV+同样来自这一稳压器，只是与 VDD 之间加了 LC 滤波器。温度变送器芯片工作用 12V 电源由 DC/DC 变换器得来，选用深圳耀华公司出品的高隔离加强稳压的低纹波 DC/DC 模块 WDY05S12，功率 2W，相当于 DIP20 的封装尺寸，体积小巧，但输出功率和电压品质完全满足要求。

在电源地的处理上，VDD 与 5V/20W 电源共用数字地 1，AV+与温度变送器芯片工作用 12V 电源同属于模拟电源，他们共用模拟地，最后模拟地和数字地 1 在 PCB

上仅通过 0 欧姆的线绕电阻在一点相连。

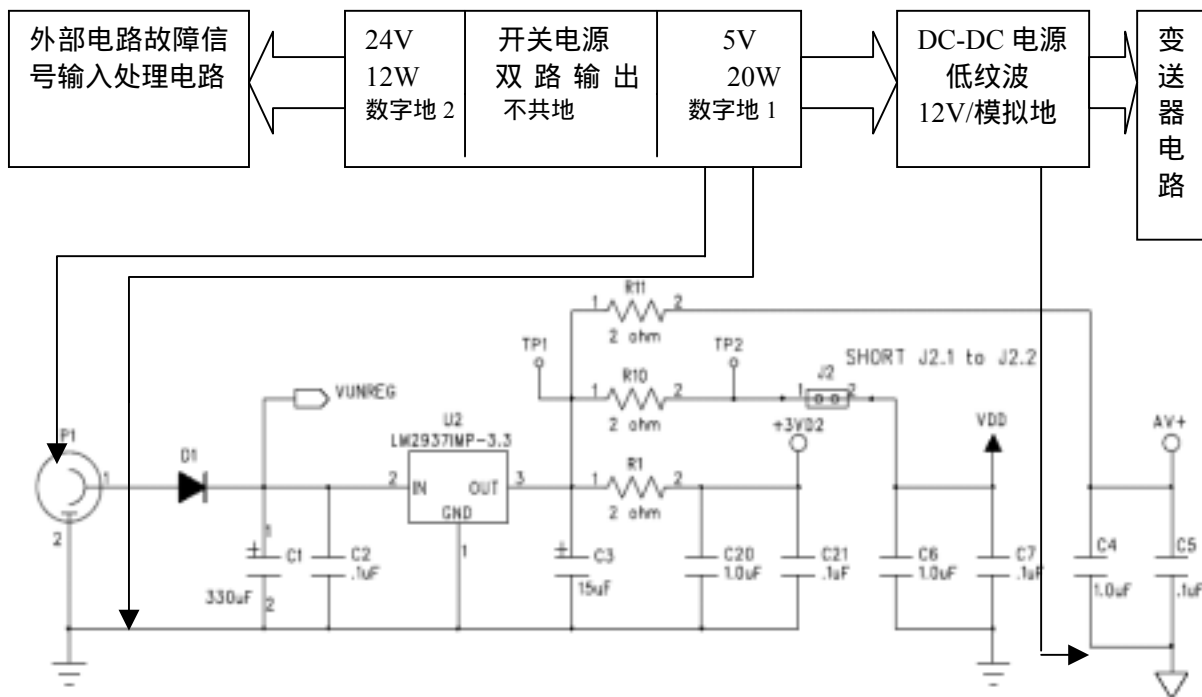


图 3-24 控制系统电源配置图

Fig. 3-24 Power composing of control system

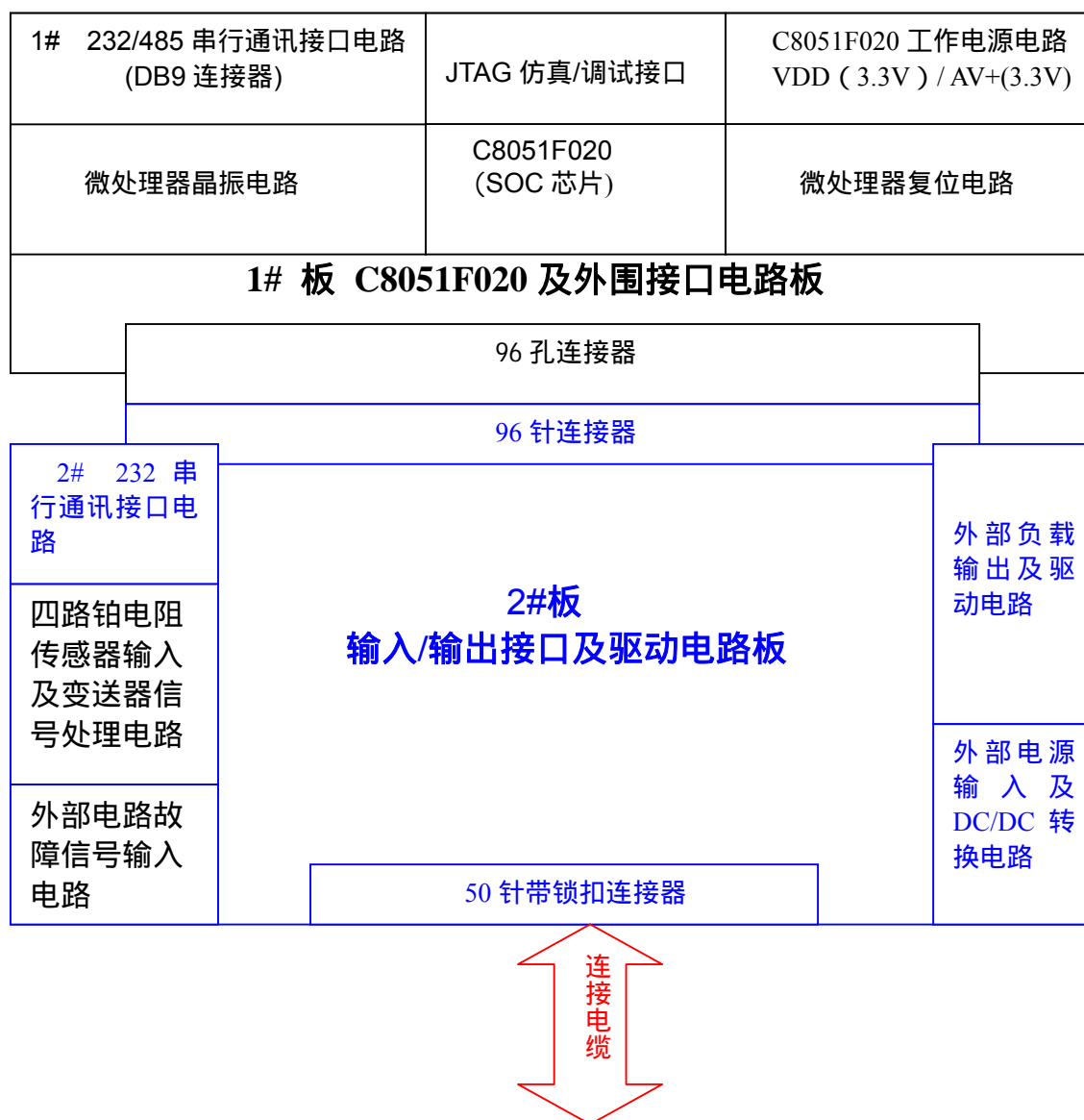
3.7 印刷线路板（PCB）的设计

在控制系统的硬件选择和电路设计方案完成后,比较重要的硬件电路设计工作就是设计印刷线路板（PCB）了。它是嵌入式控制系统中各电子元器件的支撑载体并提供各元器件间的电气信号连接,线路板的设计软件有很多,本控制系统 PCB 选用了国内较常用的 PROTEL99SE 设计软件,它具有大量的原理图库和 PCB 库,自动布线功能可以按照一定的设计规则自动完成布线设计^[32]。

设计步骤为先根据设计方案完成原理图的设计,完成之后进行电气规则检查,电气规则检查是保证原理图输入正确有效以及生成正确的网络表的可靠手段。检查工作完成并确保无误后就可以利用原理图来生成网络表,它是原理图和印刷线路板之间的桥梁,电路模拟分析和自动布线功能正是基于网络表来进行的。正确的网络表生成后,就可以进行真正的 PCB 设计了,首先确认好控制系统根据功能要划分为多少块 PCB 板来实现,各块 PCB 拟采用的板形尺寸和类型,是采用单面板,双面板还是多面板,这些因数确定后就可以进行各块 PCB 的布局,首先把对位置和尺寸要求严格的各个连接器,安装固定孔在 PCB 上就位,然后根据各 PCB 上的功能区域划分,把对应的

元器件安放到位。所有的元器件就位后，接下来就可以进行自动布线的工作了，不过在根据网络表自动布线前，最好把电源网络，屏蔽接地区等一些往往有特殊要求的布线先单独手工进行，随后再利用网络表展开自动布线。自动布线完成后可以利用导出的网络表与其布线时依据的原理图产生的网络表进行校对和检查。

本控制系统的线路板设计采用模块化的方式；把控制系统按功能划分为三块：分别为 CPU 及外围相关电路、输入/输出接口及驱动电路、参数键入及显示电路。具体说明参见图 3-25，这三块功能分别做成独立的 PCB，采用双面板布线设计。所有的对外 I/O 都通过可插拔方式连接，彼此间由连接器件互联组成一个完整的系统。维护时，只需更换相应的故障板即可，简单且费用低廉，从而保证了良好的可维护性和较好的维护费效比。



50 孔带锁扣连接器	
3#板 - 键盘参数输入及数码管显示电路	
工作状态和参数显示窗口信息指示 LED 电路	
按键输入处理电路	
数码管显示控制和驱动电路	

图 3 - 25 控制系统的 PCB 组成结构图

Fig. 3-25 Composing sketch of PCB in control system

3 . 8 本章小结

本章主要介绍了此嵌入式控制系统的硬件部分的电路组成和设计 ,包括了单片机及其外围辅助电路、显示及操作面板、开关量输入/输出接口、模拟量 (温/湿度) 信号处理及变换、电源等几大部分。最后介绍了印刷线路板的结构和组成方式。

第四章 控制系统的软件设计

根据多功能蒸/熏烤箱控制系统的功能定义和要求, 结合已经确定并完成设计的硬件电路, 就可以正式进行控制系统的软件设计了。由于是嵌入式系统, 为了保证软件的实时性和得到较高的执行效率, 全部采用了汇编语言进行编写, 同时充分利用 C8051F020 的 CIP-51 内核中断源多的优势, 尽量多的把那些随机偶发事件和任务交由中断系统来完成而不必 CPU 的重复循环扫描。为了减少程序代码容量和做到易读易维护, 在软件的设计中, 尽量采用模块化的程序结构, 可以共用的功能部分尽量写成子程序来进行调用。根据各部分软件实现的功能, 画出程序流程图并参照流程图编写程序。本控制系统软件的控制流程图请参见图 4-1 (P51), 同时合理分配内存和存储器资源。下面介绍具体的设计内容和方法 [33][34]。

4.1 内存和数据存储器的分配

4.1.1 内部寄存器的分配

单片机的内部寄存器 RAM 的分配是否合理, 在很大程度上影响着程序的质量。根据硬件设计和软件的功能分析, 本控制系统的内存分配如表 4-1 所示。

表 4-1 内部 RAM 功能分配一览表
List 4-1 Assignment list of Internal register

RAM 地址	分配的功能 (变量)
00 到 1FH	通用寄存器 (R0-R7) / 数学运算子程序中的中间变量暂存或中断程序处理的快速切换
20H.1 (位)	SMBUS (I ² C) 的读/写标志位: 1=读; 0=写
20H.2 (位)	SMBUS (I ² C) 的忙/闲标志位: 1=忙; 0=空闲
20H.3 (位)	串行 NVSRAM 地址的高位发送标志: 0=未发送; 1=已发送
20H.4 (位)	串行 NVSRAM 地址的低位发送标志: 0=未发送; 1=已发送
20H.5 (位)	串行 NVSRAM 写出错次数超过 10 次标志位
21H.1 (位)	马达速度指示用 LED 闪亮标志位
21H.2 (位)	温度/时间控制方式选择位: 0=芯温控制方式; 1=时间控制方式
21H.3 (位)	增加湿度标志位
21H.4 (位)	有按键输入标志位: 1=有键输入; 0=无键输入
21H.5 (位)	SHIFT 使用/指示位; 若为 1, 表示显示的为第二功能参数
21H.6 (位)	步序数/步序号显示标志位: 0=步序数; 1=步序号
22H.1 (位)	步序数/步序号输入处理过程中的键 按压标志位

22H.2 (位)	步序数/步序号输入处理过程中的键 按压标志位
22H.3 (位)	工艺号输入处理过程中的键 INS 按压标志位
22H.4 (位)	马达速度闪烁显示用标志位
22H.5 (位)	温度/时间控制闪烁显示用标志位
22H.6 (位)	步序数实值显示标志位
23H.0 (位)	干燥工序运行标志位
23H.1 (位)	烟熏工序运行标志位
23H.2 (位)	排汽工序运行标志位
23H.3 (位)	烘烤工序运行标志位
23H.4 (位)	风机启动时的间隔标志位
23H.5 (位)	查表运算值错误标志位
23H.6 (位)	运行各工序中的显示刷新标志位
23H.7 (位)	输出通道用标志位
24H	湿度查表运算中的干球温度值的奇-偶数转换用
25H	已用作标志位使用(见表后段)
26H	数码管间隔显示用
27H	数码管显示的消隐控制数据存储用
28H	烘烤时,大小排汽门和进气门间歇动作
29H	干湿球温度 A/D 转换值之差值
2AH	运算处理过后的发烟器温度值
2BH	湿度控制时间间隔时间记数用
2CH	发烟器马达搅拌时间用
2DH	干球/湿球温度的差值-度
2EH-2FH	各步工序运行时间设置值 (BCD) 转换后的二进制值
30H	SMBUS 用待发送数据寄存器
31H	SMBUS 用刚收到数据寄存器
32H	SMBUS 用芯片的 SLAVE 地址
33H	SMBUS 用从地址+写
34H	SMBUS 用从地址+读
35H	SMBUS 用待访问的低字节地址
36H	SMBUS 用 NVSRAM 发送或接收的总字节数
37H	SMBUS 用待访问的高字节地址
38H	SMBUS 用接收或发送循环增加地址用(低位地址)
39H-3AH	温度 A/D 转换处理过程的中间数据暂存用
3BH-3CH	干球温度 A/D 转换后的数值
3DH	显示程序用的参数闪烁位置位
3EH	显示程序用的参数闪烁位置窗口
3FH	外部故障输入信号状态字
40H-41H	显示的延时控制子程序用
42H	显示程序用串行通讯用接收寄存器
43H	显示程序用串行通讯用发送寄存器
44H	显示程序用 10 位数暂存寄存器
45H	键值内容读出用存储器
46H-47H	湿球温度 A/D 转换后的数值
48H-49H	芯球温度 A/D 转换后的数值
4AH	相对湿度查表运算结果值存储用
4BH	运算处理过后的干球温度值
4CH	运算处理过后的湿球温度值
4DH	运算处理过后的芯球温度值

4EH-4FH	各步工序实际运行时间值
50H	加工产品的程序号用存储器 (显示用)
51H	加工产品的程序号所拥有的总步骤数值寄存器 (显示用)
52H	目前显示的工艺代码在总步骤数中的序号值寄存器 (显示用)
53H	目前在工艺窗口显示的工艺代码值寄存器 (显示用)
55H	加工产品的程序号用存储器 (当前运行用)
56H	加工产品的程序号所拥有的总步骤数值寄存器 (当前运行用)
57H	目前运行的工艺代码在总步骤数中的序号值寄存器 (当前运行用)
58H	目前在运行状态的工艺代码值寄存器 (当前运行用)
60H-6FH	当前显示的工艺代码所拥有的具体参数存储区(显示用)
70H-7FH	目前在运行状态的工艺代码所拥有的具体参数存储区(当前运行用)
25H.1	有键输入标志位
25H.2	运行/停止标志位；0=停止；1=运行
25H.3	单步/连续运行方式标志位：1=单步运行方式；0=连续运行方式
25H.4	湿度控制标志位：0=不需湿度控制；1=需要湿度控制
25H.5	风机速度选择位：1=高速；0=低速
25H.6	SET/ACT 方式标志位：1=ACT；0=SET

4.1.2 数据存储器的分配

本控制系统配置的数据存储器有两种,即位于 CIP-51 核内的 4K 字节 XRAM 和外部 256K 位的串行 NVSRAM,对于 4K 的 XRAM,对应地址空间 000-0FFFH,主要用于 A/D 转换结果的暂存和大量工作/显示数据的缓存用,以弥补内部 RAM 的容量不足和外部串行 NVSRAM 的低速度。其具体分配见表 4-2。

表 4-2 内部 XRAM 的分配
List 4-2 Assignment list of extend register memory

XRAM 地址	分配的功能 (变量)
000-0FFFH	当前运行的产品程序/配方号对应的工作参数存储区 (256 字节)
100H	当前显示的产品程序/配方号值用存储器
110H	当前运行的产品程序/配方号值用存储器
120H	当前运行的产品程序/配方号所拥有的总步骤数用存储器
150H	当前显示的产品程序/配方号所拥有的总步骤数用存储器
200-2FFFH	当前显示的产品程序/配方号对应的工作参数存储区 (256 字节)
300H-30FH	当前运行的产品程序/配方号对应的所有工艺号用存储器区 (16 字节)
400-40FH	当前显示的产品程序/配方号对应的所有工艺号用存储器区 (16 字节)
340-349H	干球温度的 A/D 转换值存储区 (10 字节)
440-449H	干球温度的 A/D 转换值存储区 (10 字节)
350-359H	湿球温度的 A/D 转换值存储区 (10 字节)
450-459H	湿球温度的 A/D 转换值存储区 (10 字节)
360-369H	芯球温度的 A/D 转换值存储区 (10 字节)
460-469H	芯球温度的 A/D 转换值存储区 (10 字节)
370-379H	发烟器温度的 A/D 转换值存储区 (10 字节)
470-479H	芯球温度的 A/D 转换值存储区 (10 字节)
480H-0FFFH	预留数据存储器空间

对于外部串行 NVSRAM, 基本型具有 256K 位即 32K 字节的存储空间, 地址空间从 0000-7FFFH, 系统要求的加工产品配方/程序共有 100 种, 从 00-63H, 每个产品配方/程序号下的参数对应的存储地址分配方法如下; 产品配方/程序号作为参数存储地址的高位字节, 每个配方/程序下拥有 256 字节的参数存储空间。每个配方/程序允许有最大 16 个步骤数可以输入 (从 8 个备选工艺中), 即对应 0-F 共 16 步工艺数, 每步工艺下的参数按其对应步骤序号安放。即 00-0FH 中安放第一步工艺的参数, 10-1FH 中安放第二步工艺的参数, 以此类推, F0-FF 中安放第 16 步工艺的参数。66XXH 地址中存放每个产品配方/程序号码 (XX) 下的总步骤数 (6600-6663H 对应共 100 个配方/程序号)。7XX0-7XXFH 中存储产品配方/程序号码 (XX) 下每一步骤对应的工艺号共 16 个。地址 7700H-7FFFH 用来保存断电前的一些运行参数。这样的外部 NVSRAM 地址分配方案既便于参数读写时的地址空间自动计算, 减小程序容量, 又可以较好地利用存储器空间, 且地址标记简单明了, 易于检查和方便了程序调试, 参见表 4-3。

表 4-3 外部串行 NVSRAM 的地址-功能分配

List 4-3 Address-function assignment list of external serial register NVSRAM

NVSRAM 地址	分配的功能 (变量)
XX00-XXFFH	存储产品配方/程序号码 (XX) 下的所有加工工艺参数 (25K 字节)
66XXH	存储产品配方/程序号码 (XX) 下的总步骤数 (100 字节)
7XX0-7XXFH	存储产品配方/程序号码 (XX) 下的每一步加工工艺代码 (1600 字节)
7700-7FFFH	用来保存断电前的一些运行参数

4.2 系统的初始化和主程序的控制流程

控制系统的软件采用的是结构化和模块化设计, 各种功能都尽量由相应的子程序来完成。控制系统通电后 C8051F020 从地址 0000H 开始执行程序, 首先进行系统的初始化; 它包括 C8051F020 的芯片功能配置和初始化, 外部中断向量初始化配置, A/D 转换器的初始化设置, 显示电路初始化, I/O 初始化和系统内存单元初始化等。在所有初始化操作完成后, 系统调入上一次断电前的运行的产品配方/程序号, 同时把这个配方号下的所有参数读入 XRAM 中作为缓存备用, 同时把总步骤数及要显示的工艺号及其下的所有工作参数送入内部 RAM 中用于显示和产品加工运行时的控制用途。

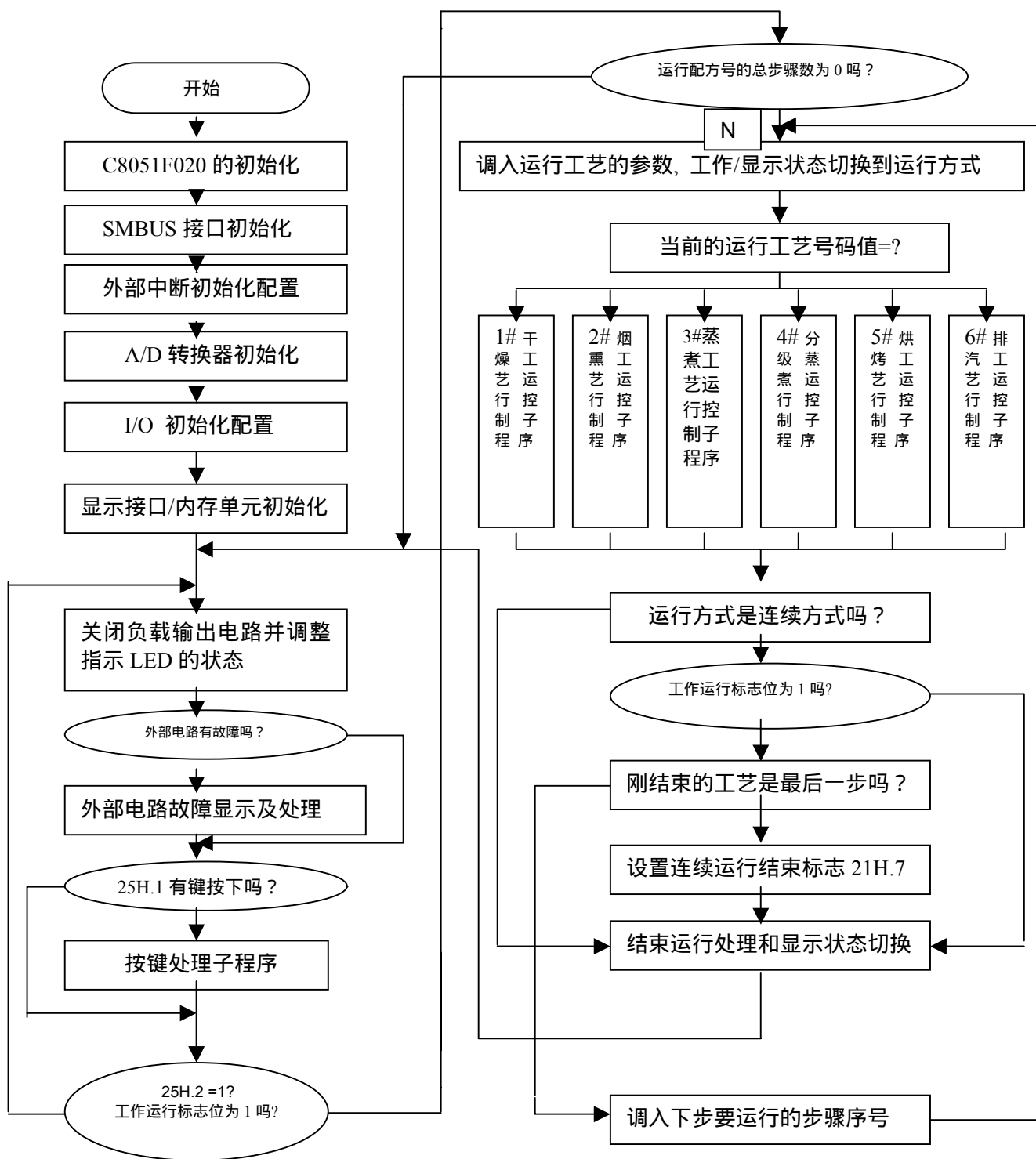


图 4-1 控制系统软件的控制流程图

Fig. 4-1 control process diagram of software for this control system

在初始化程序完成后，软件进入主控制程序流程，MCU 不断地检测有无外部故障信号输入，若有进行故障处理后返回主程序继续执行，然后判断有无按键按下，若有转到键盘输入处理程序执行，完毕后返回主程序继续运行；接着判断工作运行标志位 25H.2 的状态，若为“1”，转到运行处理程序，否则，继续返

回主程序的起始端重复运行刚才的处理流程。

若转到运行处理程序后,根据当前的运行的产品工艺代码调用相应的工艺运行程序,在各工艺运行过程中,除了执行各个加工工艺参数的控制外,还不断的扫描检测是否有按键输入,若有调用键输入处理程序,以确保通过操作面板对控制系统进行即时干预。当前运行的工艺程序结束后,会进行判断目前的运行方式是连续方式还是单步方式,若为单步运行方式,则在执行结束运行流程处理和显示状态切换后转到主程序的起始端开始运行;若为连续运行方式,则判断刚才运行的工艺是否为最后一个工序,若是,与单步运行同样的结束处理,否则调入下一步要运行的工艺号并转到运行处理程序的起始端开始运行,如此重复,直到运行的所有工艺全部完成,再返回到主程序的起始端开始运行。主程序的结构框图如图 4-1 所示。

4. 2. 1 C8051F020 的初始化

C8051F020 的初始化程序主要用来设置 CPU 上电时的工作模式 配置 CPU 工作所需要的复位源,选择所用的振荡器源,进行 I/O 端口交叉开关译码器的配置和 I/O 的初始化设置。

```
RESET_ISR:
    MOV OSCXCN,#01100111B    ; 使能外部晶振 OSC
    ORL OSCICN, #03H          ; 使能内部 时钟为 16MHZ
    ORL EIE2, #10000000B      ; 使能外部晶振正常运行中断-XTLVLD ISR
    ANL EIP2, #01111111B
    MOV XBR0, #05H             ; 数字交叉开关设置 UART0/1,SMBUS, INT0, INT1
    MOV XBR1, #14H
    MOV XBR2, #44H
    MOV SP, #80H               ; 设置堆栈指针
    ORL P1MDOUT,#0D0H          ; 设置 P1.7, P1.6, P1.4 为弱上拉方式
    CLR P1.7
    CLR P1.6
    CLR P1.4
    RET
```

4. 2. 2 SMBUS (I²C) 初始化

C8051F020 的 SMBUS 初始化子程序主要用来设置与 SMBUS 有关的特殊功能寄存器来定义 SMBUS 的工作方式,时钟频率并使能 SMBUS 和激活 SMBUS 中断。

```
SMB_INIT:
    MOV SMB0CN,#04H           ; 配置 SMBUS 在应答周期发送 ACK
    MOV SMB0CR, #0A0H         ; 串行时钟频率
```



```

    ORL SMB0CN, #40H      ; 使能 Smbus
    ORL EIE1, #02H        ; 使能 Smbus ISR
    CLR 20H.2             ; 置 0 SMBUS 忙标志位
    RET

```

4.2.3 外部中断向量初始化

为了增加程序的实时响应性，在软件设计中把那些随机偶发性的事件和任务由中断处理程序来完成。此初始化程序为选择并使能所需的中断向量，设置各中断向量的触发方式和优先级。

```

ISR_INIT:
    MOV IE, #05H          ; 使能外部中断 INT0, INT1,
    MOV EIE1, #06H        ; 使能 (ADC0)窗口比较中断和 Smbus 中断
    ORL EIE2, #30H        ; 使能外部中断 INT6, INT7 和 ADC0 中断
    SETB IT0              ; 设置外部中断 INT0 为边沿触发
    SETB IT1              ; 设置外部中断 INT1 为边沿触发
    ORL P3IF, #08H        ; 设置外部中断 INT7 为上升边沿触发
    ORL P3IF, #04H        ; 设置外部中断 INT6 为上升边沿触发
    MOV EIP1, #04H        ; 设置 ADC0 窗口为高门限
    RET

```

4.2.4 A/D 转换器初始化

A/D 转换器初始化程序用来设置片内的 12 位 ADC0 的工作方式，包括输入通道的方式选择，电压基准的配置，转换周期和内部 PGA 的增益设置，窗口比较器的门限设置。

```

ADC0_INIT:
    MOV REF0CN, #07H      ; 使用内部温度传感器和电压参考
    MOV AMX0CF, #00H      ; 设置所有输入通道为单端输入。
    MOV ADC0CF, #50H      ; 设置 AD0SC=10, 内部 PGA 放大倍数为 000=1
    MOV ADC0CN, #0C0H     ; 右对齐方式, 工作在低功耗跟踪保持方式
    MOV ADC0GTH, #0DH
    MOV ADC0GTL, #55H     ; 设置高门限值#0D55H 对应电压 2.0V
    MOV ADC0LTH, #01H
    MOV ADC0LTL, #99H     ; 设置低门限值#199H 对应电压 0.24V
    RET

```

4.2.5 内存单元初始化

通过内存单元初始化程序，把内存 RAM 和 CIP51 核内的 XRAM 的 000-4FFH 内容清 0。然后把上一次关机前保存在 NVSRAM 的地址 7700H 中的产品配方/程序号读入内存 RAM 50H 中，同时把这个配方号下的所有参数从外部

串行 NVSRAM 中读到 XRAM 中进行存储备用，而此配方号下的总步骤数送入 RAM51H 中，当前显示的步骤序号送入 RAM 52H 中，当前显示的工艺号送入 RAM 53H 且其对应的所有加工参数送入 RAM 60H-6FH 的地址中供显示控制用。程序内容略。

4.3 中断服务程序

在本控制系统中,共选用了外部中断 0/1/6/7、A/D 转换器窗口比较中断、SMBUS 中断和外部晶振正常运行中断、定时器 T0 等 8 个中断源。它们分别对应的中断程序入口地址为 03H/13H/93H/9BH、43H、3BH、ABH 和 0BH，对于定时器 T0，主要用来产生 25ms 的标准时基并在触发后的中断服务程序中进行温度 PID 控制方面的一些处理，这部分内容将在第 4.8 节进行描述。下面主要对前几种中断服务程序分别进行介绍：

4.3.1 外部中断 0

把键盘的输入以外中断 0 的方式进行读出，可以保证按键输入的响应时间，确保对控制系统的操作和干预可以即时得到执行。由于外部中断 0 的优先级别较高，即使其他中断程序在运行时也可以响应键盘中断。

```
INT0_ISR:
    PUSH PSW
    PUSH ACC
    MOV 43H, #00010101B    ; 发送读键值命令
    SETB CS2                ; 选择键盘输入控制芯片 7289-2
    LCALL SEND7289          ; 调用发送命令/数据子程序
    LCALL RECEIVE7289       ; 调用接受数据-键值子程序
    CLR CS2
    MOV 45H, 42H            ; 收到的键值保存到寄存器 45H
    SETB 25H.1              ; 把有按键输入标志位置 1
    CLR EX0                  ; 禁止外部中断 INT0, 在读出的键值完成处理前,关闭响应
    POP ACC
    POP PSW
    RETI
```

4.3.2 外部中断 1

外部中断 1 的服务程序设计用来对外部电路发生的故障信号进行中断响应并报警给出故障代码，以方便使用者快速排除故障。输入的硬件电路请参见图 3-21，任一输入通道的故障都会触发外部中断 1，在响应处理程序中，复位运行状态标志位 25.2H，读取 P7 口的输入状态字，根据状态字的值发出相应的故障

代码显示在操作面板的箱温显示窗口并控制讯响器发出声音报警,故障代码与产生的输入通道及 C8051F020 的 P7 口读取值的关系见表 4-4,因篇幅所限,程序内容略。

表 4-4 外部中断 1 故障代码表
List 4-4 Trouble code list of external interrupt 1

故障代码 (箱温显示窗)	故障产生的通道	P7 端口读取值
E.11	通道 1 故障	00H
E.12	通道 2 故障	01H
E.13	通道 3 故障	03H
E.14	通道 4 故障	07H
E.15	通道 5 故障	0FH
E.16	通道 6 故障	1FH
E.17	通道 7 故障	3FH
E.18	通道 8 故障	7FH
无 "E."	无通道故障	FFH

4.3.3 A/D 转换器窗口比较中断

A/D 转换器窗口比较中断用来把输入通道电压大于 2V 或小于 0.24V 产生中断请求,由于 C8051F020 中的 ADC 只有一个,在中断服务程序中通过判断通道选择寄存器 AMX0SL 中的值从而得出是哪一个温度通道故障产生了中断需求。随后复位运行状态标志位 25.2H,在操作面板的箱温显示窗口显示故障代码并控制讯响器发出声音报警,故障代码与温度通道的对应关系如下:

E.01 干球温度传感器故障	E.02 湿球温度传感器故障
E.03 芯球温度传感器故障	E.04 发烟器温度传感器故障

4.3.4 SMBUS (I²C) 中断

在目前的大多数有关 I²C 总线器件的读写程序设计中,基本上都是用 MCU 的普通 I/O 口通过软件模拟协议的方式进行通讯,虽然能够满足大部分应用需求,但也有占用 CPU 时间过多,效率不高的缺点,本系统软件中有关 SMBUS 通讯的大部分内容由 SMBUS 中断服务程序来执行,C8051F020 的 SMBUS 工作为主发送/接收器方式。整个软件只需要把很少的时间花在中断处理程序上,而满足协议要求的接口信号全部由硬件电路产生,不占用 CPU 任何时间,从而保证了控制软件的实时性,下面为具体的程序和流程框图。

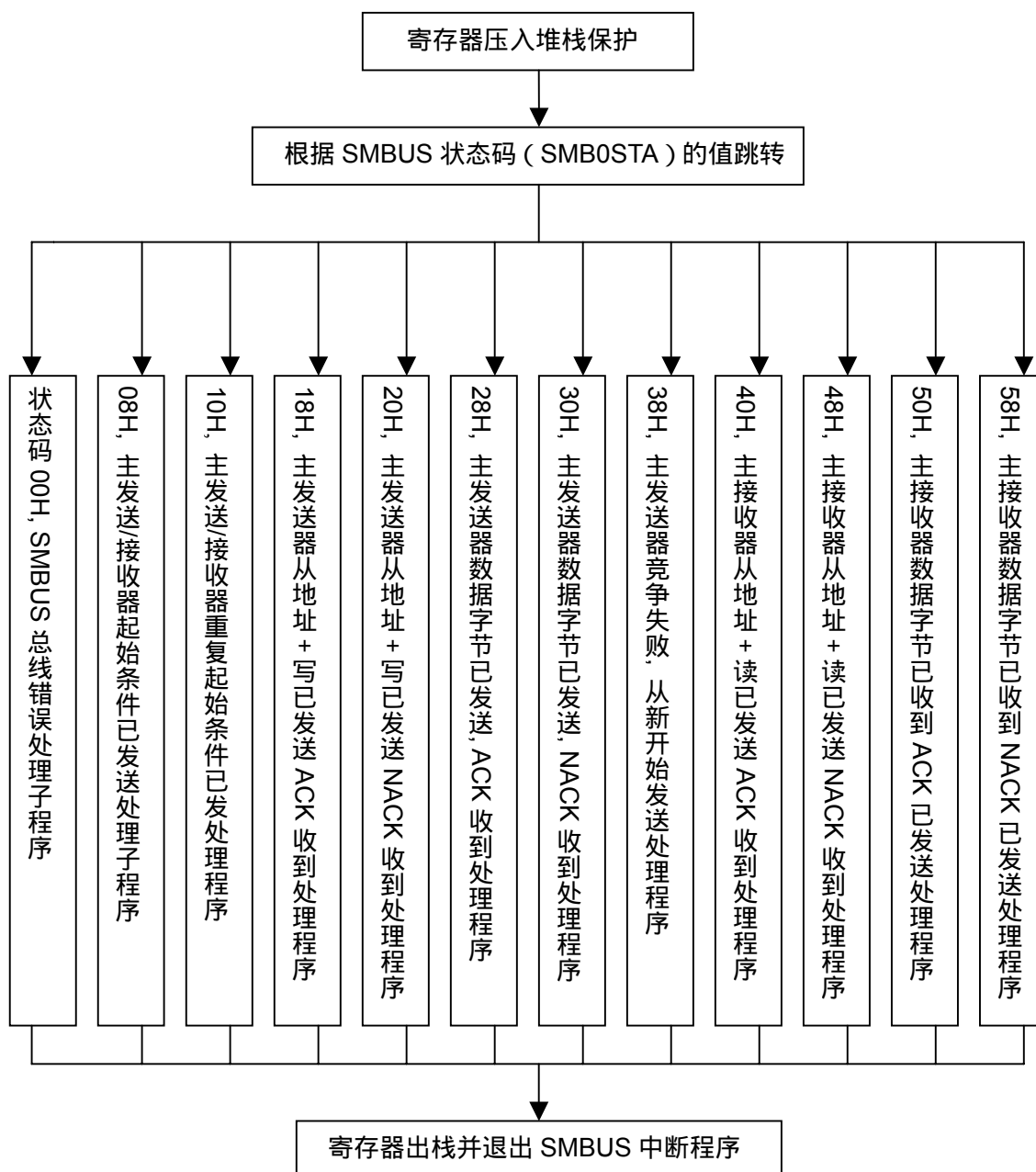


图 4 - 2 SMBUS 中断处理程序流程框图

Fig. 4-2 Diagram of SMBUS interrupt process program

SMB_ISR:

PUSH PSW ; 压入堆栈保护

PUSH ACC

PUSH DPH

PUSH DPL

PUSH ACC

MOV A, SMB0STA ; SMBUS 状态寄存器值送入累加器

ANL A, #7FH ; C8051F020 作为主发送/接收器

MOV DPTR, #SMB_TABLE ; DPTR 指向状态表的起始地址

JMP @A+DPTR ; 转移到当前状态

SMB_TABLE:

```

    ORG SMB_TABLE + 00H    ; SMBUS 出现总线错误的处理程序
    SETB STO               ; 发送 SMBUS 停止条件
    JMP SMB_ISR_END        ; 跳转到中断退出处理
    ORG SMB_TABLE + 08H    ; 主发送/接收器起始条件已发送处理程序
    MOV SMB0DAT, 33H       ; 装入从地址+写
    CLR STA                ; 手动清除 START 位
    JMP SMB_ISR_END        ; 跳转到中断退出处理
    ORG SMB_TABLE + 10H    ; 主发送/接收器重复起始条件已发送处理程序
    MOV SMB0DAT, 34H       ; 装入从地址+读
    CLR STA                ; 手动清除 START 位
    JMP SMB_ISR_END        ; 跳转到中断退出处理
    ORG SMB_TABLE + 18H    ; 主发送器从地址+写已发送, 收到 ACK 处理程序
    MOV SMB0DAT, 37H       ; 发送存储器高位地址 37H
    SETB 20H.3             ; 存储器地址的高位发送标志置 1
    JMP SMB_ISR_END        ; 跳转到中断退出处理
    ORG SMB_TABLE + 20H    ; 主发送器从地址+写已发送, 收到 NACK 处理程序
    SETB STO               ; 发送 SMBUS 停止条件
    SETB STA               ; 发送 SMBUS 起始条件
    JMP SMB_ISR_END        ; 跳转到中断退出处理
    ORG SMB_TABLE + 28H    ; 主发送器数据字节已发送, 收到 ACK 处理程序
    JBC 20H.3, ADDR_SENT1 ; 若存储器高位地址已发送, 清 0 标志位并转到低位地址

```

发送程序

```

    JBC 20H.4, ADDR_SENT ; 若存储器低位地址已发送, 清 0 标志位并转到地址发送完

```

成处理

```

    JMP DATA_SENT
    ORG SMB_TABLE + 30H    ; 主发送器数据字节已发送, 收到 NACK 处理程序
    SETB STO               ; 发送 SMBUS 停止条件
    SETB STA               ; 发送 SMBUS 起始条件
    JMP SMB_ISR_END        ; 跳转到中断退出处理
    ORG SMB_TABLE + 38H    ; 主发送器竞争失败, 重新开始发送
    SETB STO               ; 发送 SMBUS 停止条件
    SETB STA               ; 发送 SMBUS 起始条件
    JMP SMB_ISR_END        ; 跳转到中断退出处理
    ORG SMB_TABLE + 40H    ; 主接收器从地址+读已发送, 收到 ACK 处理程序
    CLR AA                 ; 在应答周期内发送 NACK
    JMP SMB_ISR_END        ; 跳转到中断退出处理
    ORG SMB_TABLE + 48H    ; 主接收器从地址+读已发送, 收到 NACK 处理程序
    SETB STA               ; 发送 SMBUS 起始条件
    JMP SMB_ISR_END        ; 跳转到中断退出处理
    ORG SMB_TABLE + 50H    ; 主接收器数据字节已收到, ACK 已发送处理程序
    SETB STO               ; 发送 SMBUS 停止条件
    JMP SMB_ISR_END        ; 跳转到中断退出处理

```

```

    ORG SMB_TABLE + 58H    ; 主接收器数据字节已收到, NACK 已发送处理程序
    MOV 31H, SMB0DAT      ; 收到的数据送入寄存器 31H 中
    SETB STO              ; 发送 SMBUS 停止条件
    SETB AA               ; 在应答周期内发送 ACK
    CLR 20H.2             ; 清 0 SMBUS 忙标志位
    JMP SMB_ISR_END       ; 跳转到中断退出处理
ADDR_SENT1:
    MOV SMB0DAT, 35H      ; 发送存储器低位地址
    SETB 20H.4           ; 置 1 低位地址已发送标志
    JMP SMB_ISR_END       ; 跳转到中断退出处理
ADDR_SENT:
    JB 20H.1, RW_READ     ; 20H.1=1 表示从 SMBUS 读数据
    MOV SMB0DAT, 30H      ; 20h.1=0 表示发送数据到 Smbus
    JMP SMB_ISR_END       ; 跳转到中断退出处理
RW_READ:
    SETB STA              ; 重复发送 SMBUS 起始条件
    JMP SMB_ISR_END       ; 跳转到中断退出处理
DATA_SENT:
    SETB STO              ; 发送 SMBUS 停止条件后中断返回
    CLR 20H.2             ; 清 0 SMBUS 忙标志位
    JMP SMB_ISR_END
SMB_ISR_END:
    CLR SI                ; 清除 SI 位恢复寄存器
    POP ACC               ; 数据出栈
    POP DPL
    POP DPH
    POP ACC
    POP PSW
    RETI

```

4.3. 5 外部中断 6 和中断 7

外部中断 6 和中断 7 对应的输入引脚为 P3.6 和 P3.7, 它们被配置为上升沿触发, 分别接到外部实时时钟的 INT1 (1 秒钟脉冲) 和 INT2 (1 分钟脉冲) 端口, 用来产生每秒一次和每分钟一次的中断。在中断 6 的每秒一次的服务程序中, 主要进行温度的测量处理, 操作显示面板的 LED 的闪烁控制 (1 秒间隔), 温度和湿度控制处理中的时间比例控制和 PWM 方式控制, 发烟器中木屑的搅拌时间控制等。外部中断 7 的每分钟一次的服务程序主要用来记数对每步工艺的运行时间进行控制, 除此之外, 还对各工艺运行过程中的各种阀门的开闭间歇进行时间控制, 这样就省掉了利用 MCU 内的定时器来产生记时脉冲, 况且, 定时器往往要经过好几层的嵌套才可能得到。

4.3. 6 外部晶振运行中断

外部晶振运行中断的主要功能就是在外部晶体振荡系统工作稳定后，把 C8051F020 的系统时钟从内部切换到外部晶振，同时使能时钟脉冲丢失检测和禁止外部晶振中断。具体程序如下：

```
XTLVLD_ISR:
    ORL  OSCICN, #00001000B    ; 选择外部晶振作为系统时钟
    ANL  OSCICN, #11111011B    ; 禁止内部系统时钟
    ORL  OSCICN, #10000000B    ; 使能时钟丢失检测
    ANL  EIE2,   #01111111B    ; 禁止外部晶振运行中断
    RETI
```

4.4 实时时钟读/写和设置及 NVSRAM 读/写程序

系统中扩展的实时时钟和 NVSRAM 都采用 I²C 串行总线接口，对于它们的读/写操作要按照 3.2.3 章节中介绍的命令规范来进行。由于 C8051F020 的纯硬件 SMBUS 总线，有关通讯的协议信号收发主要都在 SMBUS 的中断服务程序中进行处理，请参见 4.3 章节有关内容。因此有关的读/写程序内容主要就是给出从芯片的地址，设置好有关读/写的状态标志位，然后启动读/写流程等待执行结果并退出。下面是 NVSRAM 和实时时钟通用的读/写子程序。

```
WRITE: 写子程序
    PUSH ACC
    JB 20H.2, $    ; 20h.2 i 是 SMBUS 忙标志位,1=忙,0=空闲
    CLR 20H.1      ; 20h.1 是 SMBUS 读/写标志位,1=读,0=写
    MOV A, 32H     ; 发送从地址到累加器 A
    ORL A, #00H
    MOV 33H, A     ; 芯片 1 的写地址送入 33H 中
    SETB 20H.2     ; 置 20h.2 SMBUS 读写标志位为 1, 1=忙,0=空闲
    SETB STA       ; 启动发送过程
    JB 20H.2,$     ; 等待如果发送过程没有完成或加入判断时间
    POP ACC
    RET
```

读子程序：

```
READ:
    PUSH ACC
    JB 20H.2,$     ; 20h.2 i 是 SMBUS 忙标志位,1=忙,0=空闲
    SETB 20H.1     ; 20h.1 是 SMBUS 读/写标志位,1=读,0=写
    MOV A, 32H     ; 发送从地址到累加器 A
    ORL A, #00H
    MOV 33H, A     ; 芯片 1 的写地址送入 33H 中
    MOV A, 32H
```

```

ORLA, #01H
MOV 34H, A      ; 芯片 1 的读地址送入 33H 中
SETB 20H.2      ; 设置 SMBus 状态为忙
SETB STA        ; 启动发送过程
JB 20H.2, $      ; 等待如果发送过程没有完成或加入判断时间
POP ACC
RET

```

配以循环自动给定的地址赋值语句，通过调用上述的“WRITE”和“READ”子程序就可以用来读/写任意大小空间的 NVSRAM 内容以及实时时钟数据。对于本控制系统，NVSRAM 和实时时钟的不同操作对应的从芯片地址如下：

```

CHIP1_A EQU 0A0H      ; NVSRAM 芯片地址
CHIP2_A EQU 064H      ; 实时时钟数据读写方式 1 地址（从年数据开始）
CHIP3_A EQU 068H      ; 实时时钟的 INT1 设置地址
CHIP4_A EQU 06AH      ; 实时时钟的 INT2 设置地址
CHIP5_A EQU 062H      ; 实时时钟的状态寄存器的存取地址

```

下面以实时时钟数据的读写为例来进行介绍：实时时钟采用读写方式 1 即从年数据开始，由于其实时数据寄存器是一个 56 位的存储器，它以 BCD 码方式存贮（参考图 3-7），时钟数据的读写操作都通过数据的第一位“LSB”开始执行的。因此读出和写入的数据格式与我们常规显示和阅读的格式是相反的，需要读出后和写入前进行数据格式变换，下面的子程序“DATA_CHANGE”即为此用途而设计。

```

MAIN: MOV 32H, #CHIP2_A ; 实时时钟数据读写方式 1 地址送入 32H
      MOV 41H, #07H      ; 设定读写的数据字节数目为 7
      MOV A, 6FH          ; 读写控制字 6FH 内容 00H 为写入，否则为读出操作
      CJNE A, #00H, c_receive ; 执行实时时钟数据读出操作
      MOV R0, #30H        ; 以下为把从 30H-36H 的时钟数据写入实时时钟的数据寄存器
      ACALL DATA_CHANGE ; 首先调用数据转换子程序
      LCALL WRITE         ; 调用“WRITE”子程序
      JMP END_TEST        ; 写结板后返回

```

c_receive:

```

      LCALL READ ; 调用“READ”接收子程序
      MOV 41H, #07H
      MOV R0, #37H ; 收到的数据保存在 37H 起的 7 个 RAM 地址中
      ACALL DATA_CHANGE ; 调用数据转换子程序

```

END_TEST: RET

DATA_CHANGE: 以下为数据转换子程序

```
PUSH PSW
```

DT_REPEAT:

```

      MOV 20H, @R0 ; 待转换数据送入 20H 中
      MOV C, 07H   ; 07H 位内容移到 10H 位
      MOV 10H, C

```



```

MOV C, 00H      ; 00H 位内容移到 17H 位
MOV 17H, C
MOV C, 06H      ; 06H 位内容移到 11H 位
MOV 11H, C
MOV C, 01H      ; 01H 位内容移到 16H 位
MOV 16H, C
MOV C, 05H      ; 05H 位内容移到 12H 位
MOV 12H, C
MOV C, 02H      ; 02H 位内容移到 15H 位
MOV 15H, C
MOV C, 04H      ; 04H 位内容移到 13H 位
MOV 13H, C
MOV C, 03H      ; 03H 位内容移到 14H 位
MOV 14H, C
MOV @R0, 22H    ; 待转换数据低高位互换后由 RAM 22H 中回写入原地址
DJNZ 41H, CONTIUE ; 7 个字节如果没完, 继续
ANL 3BH, #7FH   ; 24 小时制下, 屏蔽读到的小时数据 (3BH) 的最高位
POP PSW
RET
CONTIUE: INC R0      ; 待转换数据的存放地址加一。
        JMP DT_REPEAT

```

4.5 按键输入处理和参数显示程序

4.5.1 按键输入处理程序

在有按键输入的情况下, 利用 ZLG728B 芯片的 INT 脚产生的低电平触发系统的外部中断 0, 在外部中断 0 的服务处理程序中只对输入的键值进行读出处理并置位有键输入标志位 25H.1, 无论在主程序的循环查询等待状态和产品配方的工艺运行状态, 软件都不断的查询键输入标志位 25H.1 的状态, 若为“1”, 就马上调用按键输入处理程序“KEY_PS”。

```

KEY_PS: MOV A, 45H    ; 外部中断 0 的服务处理程序中读出的键值送入累加器 A
        CJNE A, #00H, KEY_1 ; 键值不为 0, 跳转到下一步判断
        LCALL K0_KEY    ; 调用输入键值为 0 的处理子程序
        LJMP KEY_END    ; 跳转到结束退出处理
KEY_1:  CJNE A, #01H, KEY_2 ; 键值不为 1, 跳转到下一步判断
        LCALL K1_KEY    ; 调用输入键值为 1 的处理子程序
        LJMP KEY_END
KEY_2:  CJNE A, #02H, KEY_3 ; 键值不为 2, 跳转到下一步判断
        LCALL K2_KEY    ; 调用输入键值为 2 的处理子程序
        LJMP KEY_END    ; 跳转到结束退出处理

```

```

.....(中间程序内容省略)
KEY_14: CJNE A, #0EH, KEY_15 ; 键值不为 14, 跳转到下一步判断
        LCALL K14_KEY ; 调用输入键值为 14 的处理子程序
        LJMP KEY_END ; 跳转到结束退出处理
KEY_15: CJNE A, #0FH, KEY_END ; 键值不为 15, 跳转到结束退出处理
        LCALL K15_KEY ; 调用输入键值为 15 的处理子程序
KEY_END:
        CLR 25H.1 ; 清 0 按键输入标志位 25H.1
        SETB EX0 ; 允许/开放外部中断 INTO
        RET

```

上面列出的是按键输入处理程序的主框架程序,真正的对应每一键值的处理程序内容又在这键值的处理子程序中,在这些子程序处理中包括对后续按键的输入判断处理,调用显示程序对参数内容的更新,修改进行即时显示,对要显示和修改的参数值进行在 NVSRAM 的读写操作等,这些内容非常多和繁杂,使得这部分程序的容量也就非常大,这部分程序也是本控制系统软件设计中工作量和难度较大的几部分之一,限于篇幅,不能列印在此,可以参考附录的整个控制系统的软件源代码。按键在操作面板的排列布局图请参见图 4-3。

键值 00—“SET”键: 用于转换参数显示到初始设置(运行状态时)或允许进行参数的设置和修改,其左上角有一发光 LED 来指示是否处于设置状态或显示的参数是实际运行值还是设置值。

键值 01—“PRT”键: 用于产品的最近生产记录参数打印键,预留功能,当前不可用。

键值 02—“PSN”键: 用于产品的加工方式工艺号输入键,按压后配以其它按键输入,可以修改选择要期望的工艺号码并进行保存操作。

键值 03—“ENT”键: 用于确认并结束当前的参数输入值,把输入的参数保存在 NVSRAM 并退出当前键处理程序。

键值 04—“CLR”键: 用于在参数输入时清除错误或使当前光标(数码管闪烁)位置的清 0。

键值 05—“PRN”键: 用于待加工产品的配方/程序号输入键,按压后配以其它按键输入,可以执行调出,修改,删除等各项操作。

键值 06—“ ”键: 用于在参数输入时使当前光标(数码管闪烁)位置的数值增加 1。

键值 07—“RUN”键: 用于切换控制系统的工作状态从等待-“停止方式”到“运行方式”。

键值 08—“ACT”键: 用于转换参数显示到运行/实测值(运行状态时)或在“停止方式”时显示箱温和芯球温度的实测值及箱内相对湿度的测量值,其左上角有一发光 LED 来指示当前显示的参数是实际运行值。

键值 09—“ ”键：用来把当前参数设置窗的光标位置向左移动一位。

键值 10—“ ”键：用来把当前参数设置窗的光标位置向右移动一位。

键值 11—“INS”键：用于在参数-步骤序号的设置修改中，在当前显示的步骤序号前面插入一步新的工艺号，确认后需在 NVSRAM 中从新调整内部参数的保存位置。

键值 12—“NEXT”键：用于在工艺参数设置修改时选择/移动到要修改的参数位置窗口或在步骤数/序号双显示窗口中

“PS”键+“NEXT”键：组合使用，用于在当前显示为总步骤数/第几步（序号）间切换。若显示内容为第几步（序号）时，2#数码管的小数点位点亮以指示区别。

键值 13—“PS”键：用于待加工产品的步骤数/序号输入键，按压后配以其它按键输入，可以执行调出验看，修改，删除等各项操作；配以“NEXT”键，可在当前显示为总步骤数/第几步（序号）间进行切换。

键值 14—“ ”键：用于在参数输入时使当前光标（数码管闪烁）位置的数值减少 1。

键值 15—“STOP”键：用于切换控制系统的工作状态从“运行方式”到等待-“停止方式”。

键—“SHIFT”独立按键：第二功能按键，用于参数显示区在常规状态和第二功能态间的切换，以充分利用数码管显示位数来达到较多的显示内容，其左上角有一发光 LED 来指示当前的显示参数是否为第二功能区内容。

4.5.2 参数数码管显示程序

本控制系统中的数码管显示位数为 16 位，由于需要显示的参数非常多，数码管窗口被设计为多个参数共用，由一个 LED 来指示当前的显示内容属性。两个显示控制芯片各控制 8 位数码管，编号为 1#到 8#，其中 1 号显示控制芯片的 8 位数码管用兰色字体标注，2 号显示控制芯片的 8 位数码管用黑色字体标注。各自对应的显示参数分类请参见下页图 4-3。

由于 ZLG7289B 是智能显示控制和驱动芯片，对数码管的显示控制就变成了向 ZLG7289B 芯片发送各种的显示数据并配以相关的显示控制命令，包括显示位的指定，是消隐，闪烁还是移位，数据的译码方式等。各个参数的显示程序就是指定显示芯片（1 号还是 2 号）并调用“SEND7289”命令发送子程序把各种数据和指令发送到显示控制芯片 ZLG7289B。由于 ZLG7289B 的 SPI 协议是一个特殊的定制协议，“SEND7289”发送子程序的内容就是通过软件的方式模拟出 ZLG7289B 的 SPI 协议信号从而把数据和指令送到显示控制芯片内进行显示。ZLG7289B 的 SPI 协议中有关命令/数据发送的信号波形和时间间隔要求请参见上一章图 3-17/18 和表 3-6，显示程序中调用的“SEND7289”的子程序如下；

其中各信号线定义为：

CS1 EQU P1.7 ; CS2 EQU P1.4 ; CLK EQU P1.6 ; DIO EQU P1.5

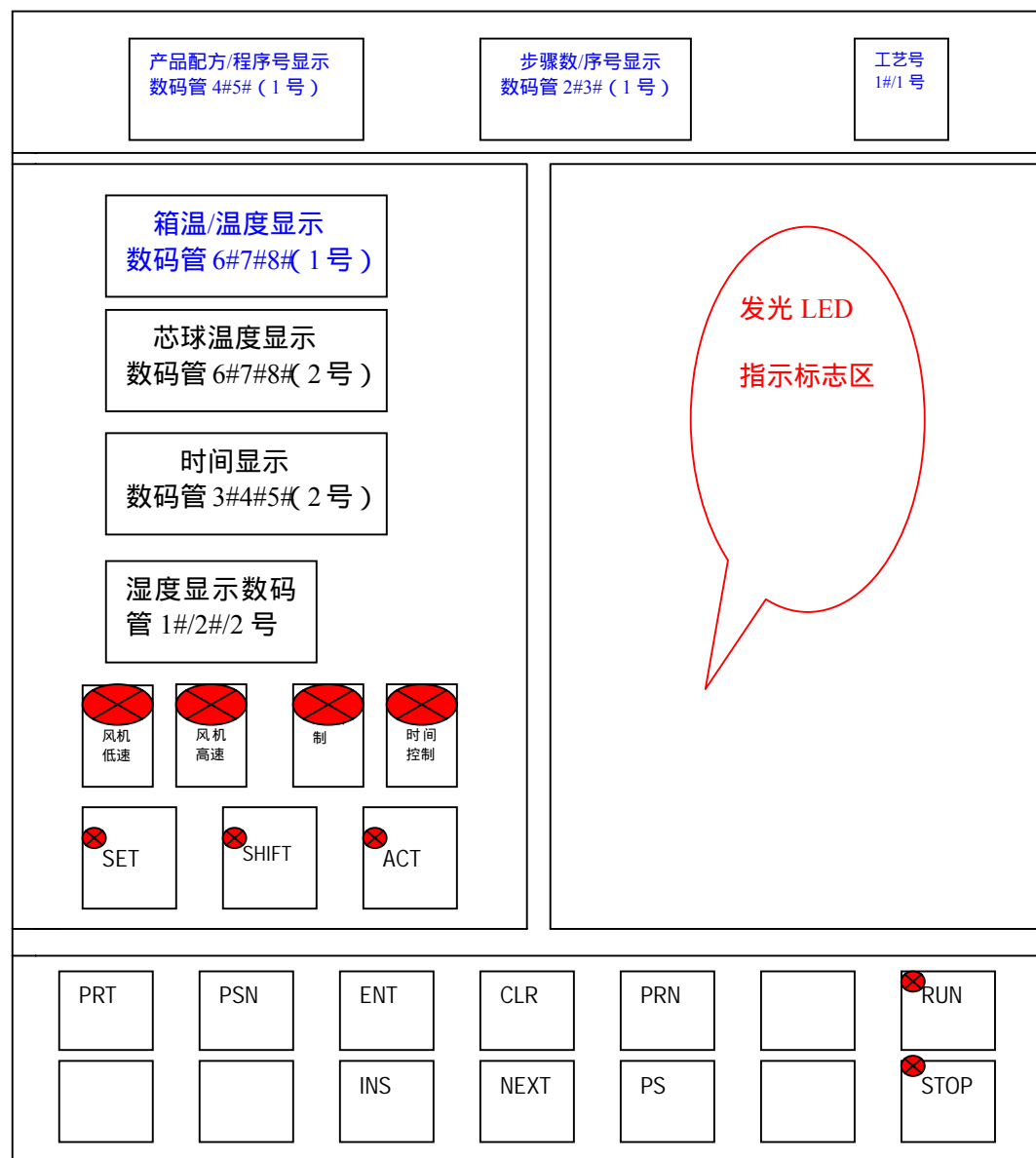


图 4-3 操作面板的按键和数码管显示窗口示意图

Fig. 4-3 Sketch of input keys and LED display window on operate panel

SEND7289:

MOV 40H, #8 ; 待发送的数据/命令为 8 位即一个字节
ORL P1MDOUT, #20H ; P1 口编程为双向 I/O
LCALL DELAY_50US ; 调用 50US 延时子程序

SEND_LP1:

MOV A, 43H ; 发送数据寄存器 43H 中内容送入累加器 A
RLC A ; 通过移位操作, 把数据/命令字的某位送入 CY

```

MOV 43H, A      ; 移位后的数据/命令字送回 43H, 以备下一循环
MOV DIO, C      ; 数据/命令的某位发送到串行数据线
LCALL DELAY_1US ; 调用 1us 延时子程序
CLR CLK         ; 串行时钟线置于低电平
LCALL DELAY_10US ; 调用 10us 延时子程序
SETB CLK        ; 串行时钟线置于高电平
LCALL DELAY_10US ; 调用 10us 延时子程序
DJNZ 40H, SEND_LP1 ; 一个字节 8 位若没有完成, 继续发送。
SETB DIO        ; 串行数据线置于高电平, 结束程序返回
RET

```

在外部中断 0 有关键值的读取处理中, 在调用上面的“SEND7289”子程序把读键值命令发送到 2 号 ZLG7289B 芯片后, 需要再调用“RECEIVE7289”子程序把键值读到内部 RAM45H 中用于程序处理, 有关数据接收的信号波形和时间间隔要求请参见上一章图 3-16/18 和表 3-6, “RECEIVE7289”子程序的内容就是通过软件的方式模拟出 ZLG7289B/SPI 协议的读流程信号波形和时序。程序内容如下:

RECEIVE7289:

```

MOV 40H, #8      ; 待发送的数据/命令为 8 位即一个字节
LCALL DELAY_50US ; 调用 50us 延时子程序
RECEIVE_LP:
CLR CLK          ; 串行时钟线置于低电平
LCALL DELAY_10US ; 调用 10us 延时子程序
MOV C, DIO       ; 数据线的信息发送到 CY
MOV A, 42H
RLC A
MOV 42H, A       ; 通过移位操作, CY 中的数据信息 (位) 进入 RAM42H 中
SETB CLK         ; 串行时钟线置于高电平
LCALL DELAY_10US ; 调用 10us 延时子程序
DJNZ 40H, RECEIVE_LP ; 一个字节 8 位若没有完成, 继续接收
SETB DIO         ; 串行数据线置于高电平, 结束程序返回
RET

```

4. 6 A/D 转换和相对湿度查表处理程序

常见的湿度测量方法有: 动态法 (双压法、双温法、分流法), 静态法 (饱和盐法、硫酸法), 露点法, 干湿球法和电子式传感器法^[5]。

双压法、双温法是基于热力学 P、V、T 平衡原理, 平衡时间较长, 分流法是基于绝对湿气和绝对干空气的精确混合。由于采用了现代测控手段, 这些设备可以做得相当精密, 却因设备复杂, 昂贵, 运作费时费工, 主要作为标准计量之用。

静态法中的饱和盐法，是湿度测量中最常见的方法，简单易行。但饱和盐法对液、气两相的平衡要求很严，对环境温度的稳定要求较高。用起来要求等很长时间去平衡，低湿点要求更长。特别在室内湿度和瓶内湿度差值较大时，每次开启都需要平衡 6~8 小时。

露点法是测量湿空气达到饱和时的温度，是热力学的直接结果，准确度高，测量范围宽。计量用的精密露点仪准确度可达 ± 0.2 甚至更高。但用现代光—电原理的冷镜式露点仪价格昂贵，常和标准湿度发生器配套使用。

干湿球法，这是 18 世纪就发明的测湿方法。历史悠久，使用最普遍。干湿球法是一种间接方法，它用干湿球方程换算出湿度值，而此方程是有条件的：即在湿球附近的风速必需达到 2.5m/s 以上。普通用途的干湿球湿度计将此条件简化了，所以其准确度较差。

对比以上各种测湿方法，适用于工业和设备中测湿用途的测湿方法主要为：干湿球测湿法和电子式湿度传感器测湿法两种。干湿球测湿法采用间接测量方法，通过测量干球、湿球的温度经过计算得到湿度值，因此对使用温度没有严格限制，在高温环境下测湿不会对传感器造成损坏。干湿球测湿法的维护相当简单，在实际使用中，只需定期给湿球加水及更换湿球纱布即可。与电子式湿度传感器相比，干湿球测湿法不会产生老化，精度下降等问题。所以干湿球测湿方法更适合于在高温及恶劣环境的场合使用。而且多功能熏/蒸/烤箱的测湿条件也非常适合干湿球法，测湿空间封闭且干湿球位置具有 4m/s 以上速度的循环风。因此本控制系统的湿度测量选用的为干湿球法。

由于温湿度信号的变化相对缓慢，在软件设计中采用了定时中断每秒钟进行一次温湿度的测量流程，具体做法为：在外部中断 6 对应的每秒定时中断触发后，采用对每一温度通道连续测量 10 次并求算术平均值的方法进行处理，经过计算得到对应的温度值。在本系统中，根据加工工艺需要，进行湿度测量的温度区间为干球温度的 10°C - 90°C，在用查表法求取相对湿度的程序设计中，由于在干湿球温差相同的情况下，相邻的干球温度对应的湿度值差异不大，干球温度的对应列表以 2°C 为间隔（偶数值），对湿球温度的 A/D 转换值经数学运算求取与干球温度的整数°C 差值用于查表并保留 A/D 转换的余差值进行湿度修正的方法，下面为具体的查表程序设计：

```
GO_CON:    MOV A, 4BH    ; 4BH 中为干球温度°C 值
            CJNE A, #10, DT_NEQ ; 干球温度不等于 10°C，跳转到地址 DT_NEQ
            LJMP CB_PS    ; 干球温度 = 10°C，跳转到查表处理流程。
DT_NEQ:    JC DT_LOW10   ; 干球温度<10°C，跳转到对应处理流程 DT_LOW10。
            LJMP CB_CK    ; 转到判断干球温度是否大于 90°C 程序 CB_CK。
DT_LOW10:  LCALL CB_L10   ; 调用干球温度<10°C 显示处理程序 CB_L10。
            LJMP CB_EXIT  ; 退出查表处理程序。
CB_CK:    CJNE A, #90, DT90_NEQ ; 干球温度不等于 90°C，跳转到地址 DT90_NEQ。
```

```

                LJMP CB_PS    ; 干球温度 = 90°C , 跳转到查表处理流程。
DT90_NEQ:      JC CB_PS      ; 干球温度<90°C , 跳转到查表处理流程。
                LCALL CB_B90  ; 调用干球温度>90°C 显示处理程序 CB_B90。
                LJMP CB_EXIT  ; 退出查表处理程序。
CB_PS:         MOV 24H, 4BH   ; CB_PS 为查表处理程序。
                MOV C, 24H.0  ; 以下为干球温度化为偶数值处理
                JNC CB_NORMAL
                MOV A, 4BH
                ADD A, 4BH
                DEC A
                DEC A
                SJMP CB_SPE
CB_NORMAL:     MOV A, 4BH
                ADD A, 4BH
CB_SPE:        MOV DPTR, #DT_TABLE ; 查表程序入口地址送入 DPTR。
                JMP @A+DPTR
DT_TABLE:     ORG DT_TABLE+20
                LJMP D10_TABLE ; 跳转到干球温度为 10°C 的查表处理程序
                ORG DT_TABLE+24
                LJMP D12_TABLE ; 跳转到干球温度为 12°C 的查表处理程序
                ORG DT_TABLE+28
                LJMP D14_TABLE ; 跳转到干球温度为 14°C 的查表处理程序
                .....
D10_TABLE:    MOV DPTR, #TAB10 ; 干球温度为 10°C 的查表处理程序
                MOV A, 2DH      ; 寄存器 2DH 中为干湿球温度差值的整数°C 值
                MOVC A, @A+DPTR
                MOV R7, A
                MOV A, 2DH
                INC A
                MOVC A, @A+DPTR
                MOV R6, A
                MOV A, R7
                SUBB A, R6
                MOV B, A ; 干湿球温差在 ( 2DH ) 和 ( 2DH ) +1 时对应的相对湿度差值送入
寄存器 B。
                MOV A, 29H ; 寄存器 29H 中为干湿球温差取整后的 A/D 转换值之余数。
                MUL AB
                MOV B, #11 ; 1°C 对应 10.92≈11 个 A/D 转换值 ,
                DIV AB
                MOV B, A
                MOV A, R7
                SUBB A, B
                MOV 4AH, A ; 经过修正后的相对湿度值送入寄存器 4AH 中暂存。
                LJMP CB_EXIT
TAB10:        DB 100
                DB 88

```

DB 76

DB 65

DB 54

DB 44

.....

D90_TABLE:

.....

下面为本相对湿度查表计算程序所用的标准相对湿度用干湿球温度对照表部分节录($^{\circ}\text{C}$)^[41]：

表4 - 5 干湿球对照的标准相对湿度表 (按风速4m/s的通风条件下的结果)

List 4-5 Relative humidity corresponding to dry bulb and west bulb based on wind speed 4m/s

温差→ 干球温	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9
8	100	94	87	81	75	69	63	57	51	45	40	34	29						
8.5	100	94	87	81	75	69	63	58	52	46	41	35	30	25					
9	100	94	88	82	76	70	64	58	53	47	42	36	31	26	21				
9.5	100	94	88	82	76	70	65	59	54	48	43	38	32	27	22	17			
10	100	94	88	82	76	71	65	60	54	49	44	39	34	29	24	19	14		
10.5	100	94	88	83	77	71	66	60	55	50	45	40	35	30	25	20	16		
11	100	94	88	83	77	72	66	61	56	51	46	41	36	31	26	22	17		
11.5	100	94	89	83	78	72	67	62	57	52	48	42	37	32	28	23	19	14	
12	100	94	89	83	78	73	68	62	57	53	48	43	38	33	29	24	22	16	
12.5	100	94	89	84	78	73	68	63	58	53	49	44	39	35	30	26	21	17	
13	100	95	89	84	79	74	69	64	59	54	49	45	40	36	31	27	23	18	14

4.7 参数动态修改和查看的程序设计方法

由于控制系统需要显示的信息非常多,为保证系统的操作面板所需的硬件尺寸,需要显示的各种信息量:各参数的设置值和测量及实际运行值采用共用显示窗口位的方法,而显示的内容属性由一单独控制的LED状态来进行指定。同时由于设计要求无论设备是在等待或运行状态,所有的加工工艺方案参数都可以随时调出进行显示和修改。为了能够做到这一点,软件设计时充分利用了XRAM作为缓存的特点;在内部XRAM区,专门开辟了000-0FFH和200-2FFH两个存储区分别来存储设置显示和运行显示的产品配方/程序号下面的所有参数。同时把内部RAM的60H-6FH用来存放当前显示的配方步序号对应的工艺参数,而当前的运行参数放在内部RAM的70H-7FH中。而所有的这些存储区域要求是要动态跟随的,即随着按键操作或程序的运行步骤,这些区域的数值要及时的由程序进行更新,以确保参数显示程序从这些区域中取得的数据的及时性、准确性^[42]。

4.8 控制系统的温度控制方法和所用算法

本控制系统的温度控制方式摒弃了原来常规的开关位式控制，如第二章的整体方案设计中所述，采用了分段式控制温度的方法。即在初始阶段到设定温度值的 80%，采用全功率输出方式，加快加热时间；在温度达到设定值的 80% 后的升温 and 随后的温度保持阶段，采用比例、积分、微分（PID）的控制方式，以减小超调量 and 提高控温精度。对温度控制的输出通道采用光耦合隔离的可控硅以脉宽调制(PWM)的方式进行控制。对于相对湿度控制，直接采用时间/比例的方式对湿度通道的输出以 PWM 的调制方式进行控制^[43]。

PID 控制具有结构简单、稳定性好、可靠性高等优点，在各种不同的工业领域都得到了很成功的应用。由于 PID 控制算法几乎不需要被控过程的数学模型，工程技术人员对它又比较熟悉，因此工业过程控制领域有近 90% 的回路在应用 PID 控制策略。而本多功能熏/蒸/烤箱的精确温控数学模型虽没有建立，但可近似地看作一阶惯性系统，用 PID 控制律来进行温度的控制，以取得较好的控温品质。

4.8.1 系统所采用的 PID 控制算法

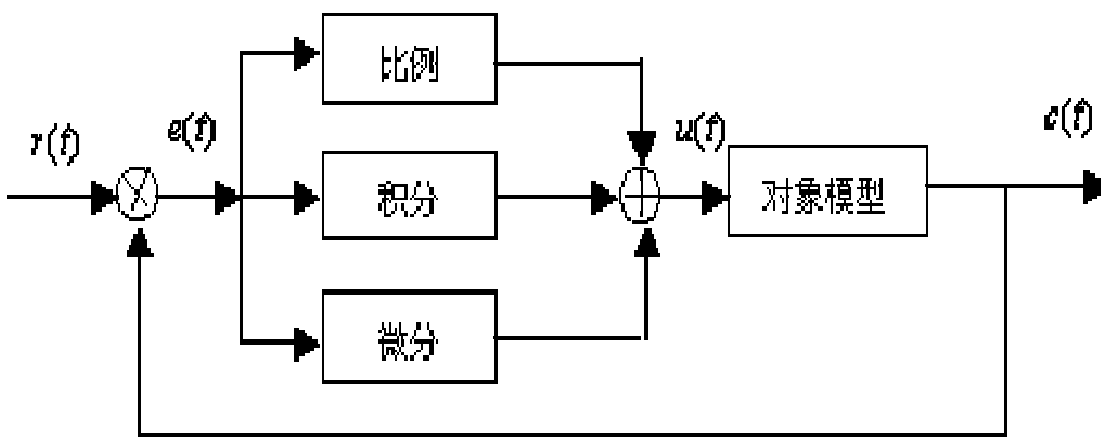


图 4-4 PID 控制器的控制结构框图

Fig. 4-4 Structure diagram of PID controoler

由图 4-4 可见，PID 控制器是通过对误差信号 $e(t)$ 进行比例、积分和微分运算，其结果的加权，得到控制器的输出 $u(t)$ ，该值就是控制对象的控制值。PID 控制器的数学描述为：

$$u(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (4-1)$$

(4-1) 式中 $u(t)$ 为 PID 控制器控制输出， K_c 、 T_i 、 T_D 为控制器的比例增益、

积分时间和微分时间， $e(t)$ 为过程偏差信号。

因为计算机控制属于离散数据控制，即为时间离散控制系统，因此上式需要变成离散控制算式，即对 PID 算式中的连续积分项和微分项进行离散化处理，可得算式如下：

$$u(k) = K_c \left\{ e(k) + \frac{T_s}{T_I} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_D}{T_s} [e(k) - e(k-1)] \right\} \quad \text{或}$$

$$u(k) = K_c e(k) + K_I \sum_{i=0}^k e(i) + K_D [e(k) - e(k-1)] \quad (4-2)$$

(4-2)式中， $u(k)$ 是第 K 次采样时刻计算机的 PID 控制输出， $K_I = K_C \times T_s / T_I$ 称为积分系数， $K_D = K_C \times T_D / T_s$ 成为微分系数， T_s 为采样周期。 $E(i)$ 为第 i 次测量偏差值， $e(k)$ 和 $e(k-1)$ 为第 K 次和第 $(k-1)$ 次测量的偏差值。计算机的输出 $u(k)$ 与执行器的位置相对应，因此这种 PID 控制算法又称为位置型算法。而且 $\sum_{i=0}^k e(i)$ 项不仅计算繁琐且占用大量的计算机内存。本控制系统采用了另一种成为增量型控制算法的 PID 控制算法，即计算机的控制输出采用增量形式表示^[44]：

$$\Delta u = u(k) - u(k-1) = \quad (4-3)$$

$$K_c \left\{ [e(k) - e(k-1)] + \frac{T_s}{T_I} e(k) + \frac{T_D}{T_s} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \right\} \quad (4-4)$$

$$\Delta u(k) = K_c [e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (4-5)$$

上式 4-3/4/5 中， $u(k)$ 和 $u(k-1)$ 是第 K 次和第 $(k-1)$ 次采样时刻计算机的 PID 控制输出， $e(k-2)$ 为第 $K-2$ 次测量的偏差值。上式还可以化为如下形式，以利于控制系统中的数学计算。

$$u(k) = A * e(k) - B * e(k-1) + C * e(k-2) \quad (4-6)$$

其中： $A = K_c(1 + T_s / T_I + T_D / T_s)$

$$B = K_c(1 + 2T_D / T_s)$$

$$C = K_c * T_D / T_s$$

式 4-6 即为本控制系统软件设计中所用的增量 PID 算法的算式，由式可知，在确定了 K_c 、 T_I 、 T_D 即控制器的比例增益、积分时间和微分时间常数和采样周期 T_s 后，系统的控制输出量也就可以计算求出了。

4.8.2 控制系统的 PID 参数整定方法

常用的 PID 参数整定方法有经典 Z-N 法、Chien-Hrones-Reswick 法、Cohen

整定公式、极点配置法、内模法、IST2E 最优整定算法和幅值相位裕量法(GPM) 等 PID 参数整定算法^[46]。考虑到本嵌入式控制系统的 CPU 字长和资源能力以及熏/蒸/烤箱所采用的温度控制方式,在此选用了改进的 Z-N 算法来获得 PID 参数的 K_C 、 T_I 、 T_D 值。

Ziegler Nichols 方法(简称 Z - N 算法)是基于简单的被控过程的 Niquist 曲线的临界点计算 PID 参数初值的方法。它采用的整定准则是要求系统的暂态过程衰减率为 0.75, 其最大优点是计算方法简单, 使用方便。但实际过程中, 许多工业对象对自动控制系统的要求各不相同, 生产过程的暂态衰减率不同于 0.75。在此采用修正的 Z - N 整定方法, 即利用 4 : 1 的衰减比性能准则获得 PID 参数的初始值^{[44][45]}。

Zieloger-Niclosls 整定公式是一种针对带有时延环节的一阶系统而提出的实用经验公式。可以用一阶延时系统进行近似如下:

$$U(s) / T(s) = K \times e^{-Ts} / (1+Ts)$$

给系统施加一阶跃输入 U (可取 U 为 100%功率), 由于温度控制系统有一 S 形响应曲线, 假如温度达到 50%和 75%时所用的时间分别为: t_1 、 t_2 , 如图 4 - 5。则根据 Z - N 调谐器调谐准则^[45]:

$$K_C = 1.2 \cdot U / (RL)$$

$$T_I = 2L$$

$$T_D = 0.5L$$

按照 4 : 1 的衰减比, 可得到:

$$\text{斜率 } R = (0.75 - 0.5) \times T_{SET} / (t_2 - t_1)$$

$$\text{滞后 } L = t_1 - (2T_1 - 4T_0) \times (t_2 - t_1) / T_{SET}$$

其中 T_1 为 50%的设置温度点即 $0.5 T_{SET}$; T_0 为阶跃输入施加前的温度初值。

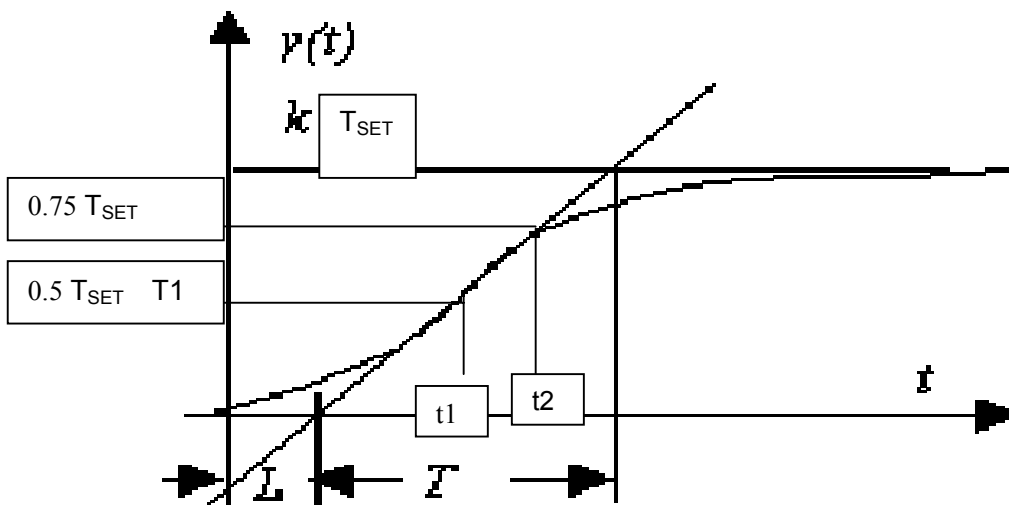


图 4 - 5 温升阶跃曲线

Fig. 4-5 Curve diagram of temperature

由于本控制系统采用分段式控制温度的方法。即在初始阶段到设定温度值的 80%，采用全功率输出方式，因此可以利用这一阶段的升温过程，分别记录温度达到 50%和 75%的设定值时所用的时间 t_1 和 t_2 ，而 T_0 、 T_{SET} 、 T_1 为已知值，利用上面的算式可以容易的求出 K_C 、 T_I 、 T_D 值。

4. 8. 3 系统的温度 PID 控制的软件实现方法

在上一节内容中，介绍了 PID 参数的自整定方法，但在利用下面的增量型算式：

$$u(k) = A \cdot e(k) - B \cdot e(k-1) + C \cdot e(k-2)$$

其中：
$$A = K_C(1 + T_s / T_I + T_D / T_s)$$

$$B = K_C(1 + 2T_D / T_s)$$

$$C = K_C T_D / T_s$$

进行计算时还有采样周期 T_s 没有确定。采样周期是计算机重新扫描各现场参数值变化的时间间隔，控制周期是重新计算输出的时间间隔，在不考虑计算机 CPU 运算速度的情况下，采样周期与控制周期通常认为是同一描述。在实际工业过程控制中，采样、控制周期越短，调节控制的品质就越好。但盲目、无止境追求较短的采样周期，不仅使计算机的硬件开支(如：A/D、D/A 的转换速度与 CPU 的运算速度)增加，而且由于现行的执行机构(如：电动类调节阀)的响应速度较低，过短的采样周期并不能有效的提高系统的动态特性，因此我们必须从技术和经济两方面综合考虑采样频率的选取。在本控制系统中选取采样周期 T_s 为 5s。

在本温度控制系统中，执行元件为气控蒸汽阀，它只有 ON-OFF 两种状态，为了能够适应 PID 控制输出的要求，在此采用了对温度控制的输出通道采用光耦合隔离的可控硅以脉宽调制(PWM)的方式进行控制。系统的控制周期为 5s，考虑到光耦合隔离的可控硅和电磁阀的允许开关频率，选择基本时基为 25ms，那么， $u(k)=1$ 对应 5s 即 200 个基本时基 = 全满的控制周期占用 100%的输出功率， $u(k)=0.005$ 对应一个时基 25ms 占用 0.5%的输出功率。

在软件设计中，以定时器 T_0 来形成 25ms 的基本时基。计算得到的每一控制周期内的输出量转换为 0 - 200 之内的标准时基个数，定时器 T_0 的中断服务程序中执行计数器方式，输出的 PWM 控制信号就由定时计数器 T_0 的中断程序来进行判断控制以确保严格比例的功率输出分配。温度的测量流程是每秒种进行一次，同时进行相对湿度的测量和控制。但对于温度的 PID 控制，测量并求取偏差值是以 5s 为采样周期的。温度 PID 控制的软件框图如下页图 4 - 6 所示。

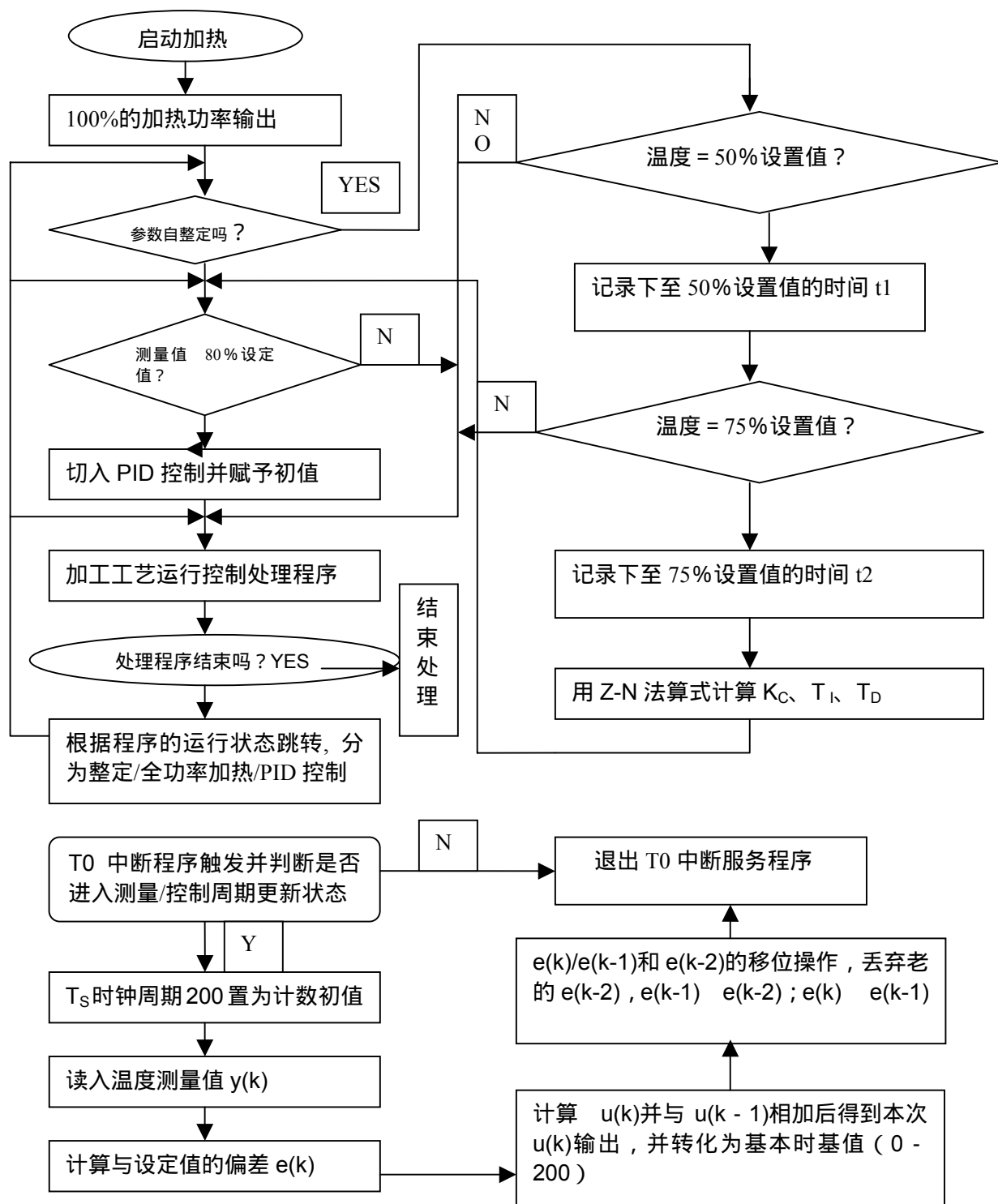


图 4 - 6 温度 PID 控制的软件框图

Fig. 4-6 Soft process diagram for PID controlling of temperature

4.9 本章小结

本章对控制系统的软件设计过程和内容进行了介绍,并分别给出了内部寄存器和外部数据存储器的地址分配、主程序控制流程图、中断服务程序和其它程序的内容分析和说明。最后,还特别介绍了本控制系统所用的温度控制方法和控制算法。

第五章 控制系统的运行试验

5.1 控制系统软件和硬件的调试环境

由于本控制系统的软件设计采用结构化和模块化的方法,在控制系统的软硬件设计进行中和进行设计方案验证时直至完成全部设计后,都利用模拟的硬件条件和环境对软件和绝大部分硬件功能进行了试验和验证。由于控制系统使用的单片机 C8051F020 具有 JTAG 接口,在系统调试时配合 Silabs 的集成开发环境 (IDE) 基于 JTAG 在线路板调试器,提供了非插入式(不使用在片资源)、全速及利用安装在控制系统中的目标 MCU 产品在线仿真。这种调试系统支持存储器/寄存器的检查和修正、设置断点、观察点、单步、运行和停止命令。能够实现全速及非插入式在线调试,非常方便。

5.2 数字量输入/输出通道的试验

对于数字量输入通道,通过外接开关连接成如图 3-21 所示的输入电路进行模拟,分别断开不同通道的输入开关信号,根据故障报警窗口显示的故障代码和通过 JTAG 接口读出的 P7 端口数值确认是否与表 5-4 的内容相一致,从而完成对输入电路的验证和确认。

对控制外部负载的输出通道的运行试验是在施加了所有电气负载的条件下进行的,即所有的输出通道包括预留通道都在输出端连接上接触器或电磁阀等负载进行运行测试,以验看输出通道的结果是否正确和有无故障隐患。

5.3 温湿度测量系统的试验及验证

把要求精度的四个通道的三线式铂电阻传感器通过连接器接入对应的测量通道,分别放入 0°C 的冰水混合物和 100°C 的沸水中保持一定时间,以使内芯中的铂电阻与外部温度源之间达到充分的热交换,把经过测温电路变换和软件运算处理后显示在温度值窗口的值与标准值相比较来查看温度测量系统的设计和调校是否达到要求的目标。在试验中,还人为的把四个通道的三线式铂电阻传感器进行断线和短路的模拟,测量在 A/D 通道中得到的电压值并验看对应的 ADC 窗口比较中断是否触发和系统显示的故障代码是否与 4.3.3 内容中介绍的设计要

求相一致。

对于相对湿度的测量调试,在把干/湿球温度铂电阻传感器按照湿度测量要求配置好,即把湿球温度铂电阻传感器包裹上一层吸湿性较强的棉纱且棉纱的另一端浸入水中,干/湿球温度传感器就近安放好,用一成品的相对湿度计在同一地方进行测量,与控制系统湿度窗口显示的数值进行比较,从而得到本系统的湿度测量的试验验证结果。

5.4 按键输入和显示电路及软件的试验及验证

按键输入和显示电路的试验及验证是结合在一起进行的,由于所有的人机交互沟通都是通过这部分电路和软件来进行,在操作中,由于各种原因经常会有按键输错的情况发生,这部分的软件设计除了应满足系统的控制要求外还应有很好的容错能力,调试中也重点测试了这部分内容。对所有的按键输入处理程序和显示程序内容都进行了测试确认,以保证功能的准确,完善。

5.5 试验及验证中碰到的问题和解决方法

在首套控制系统的运行试验中主要碰到了如下问题:1).测温电路的 A/D 转换值存在一定小范围的抖动,2).接触器线圈通断电时对显示电路产生的干扰。对这两种问题,经过分析问题产生的原因,对症下药,解决了这些不良影响。

- 1). 测温电路的 A/D 转换值在试验中发现存在一定程度的小范围的抖动,具体表现为对同一温度测量通道利用 IDE 调试环境和 JTAG 接口让 A/D 在极短的时间内重复测量同一通道多次,结果发现每次的测量值之间有差异,有的大,有的小,之间相差 2-30。经分析判断后认为是由于温度变送器处理电路的模拟 12V 电源的纹波电压造成的,由于 A/D 的分辨率较高为 12 位(1/4096),A/D 的模拟参考电压为 2.4V,A/D 转换值的一个单位 1 对应仅 0.6mV 的电压,而模拟 12V 电源的纹波电压在 10mV 左右,考虑到正负偏差,A/D 转换值之间的差值基本上正好是纹波电压对应的 A/D 转换值,为此采用了两个办法:一为在每一个温度测量通道的电压信号输入端(AIN0.X)对地并接一个 10uF 的钽电容以滤除夹在温度信号中的纹波电压,经对比验证后发现,同一通道每次测量值的差异已经缩小到正负 2 以内;另一办法为对每一温度通道的测量采用重复测量 10 次并求算术平均值即软件数字滤波的方法。经过这样的软硬件措施后,再次的对比测量发现,同一通道的不同测量之间的偏差在正负 1 以内,成功的解决了这个问题。
- 2). 在外部负载的输出通道的运行试验中发现,接触器线圈在通断电时有时会对显示电路产生干扰,应该是电感性负载在开关时产生的尖峰干扰脉冲经过耦

合进入了电源通道，由于外配的开关电源为市场标准品，电源的进线滤波环节不是很完善，同时接触器/电磁阀线圈等感性负载的两端没有采取任何抑制干扰脉冲产生的措施。为此一方面在接触器/电磁阀线圈的两端并接 RC 阻容吸收电路以抑制干扰的产生；另一方面也在外部开关电源的进线电源端加入电源滤波器以滤除外界电源带入的任何可能的干扰，同时加大显示电路中的电源滤波电容，经过上述措施后，多次长时间的反复测试都没有再出现过任何问题，甚至在把 RC 电路拿掉后也可以应对。

5.6 控制系统的连机试验及验证

完成离线功能测试和确认的控制系统，被委托开发的厂家安装在多功能熏/蒸/烤箱的电气控制柜中以代替原来使用的 PLC+ 触摸屏控制系统，在产品加工厂家进行了两个月时间的实际生产试用，主要进行了以下方面的试验和验证内容，试验结果完全达到了设计要求，效果良好。

1. 00 - 99 共 100 种产品加工工艺配方参数的设定和断电存储，包括各分步工序的随意组合、增加和删除，断电前运行的产品工艺配方号保存和通电后重新装入；各工艺配方的单步和连续运行测试。
2. 运行或等待状态中的所有加工工艺参数的随时调出进行显示和修改，并和实际运行参数的动态显示切换。测试了系统的故障报警功能，键处理和参数显示程序的便利性、易用性。
3. 对温湿度测量和控制方法达到的精度及稳定性进行了试验验证，通过实际的观察和记录，温度测量的分辨率达到了 0.1°C 的设计要求，温度控制的精度或偏差在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内。相对湿度测量的分辨率也达到了 1% 的水平（最坏情况下，干球温度接近于 10°C 时，在 1.2% 左右）。由于温湿度测量和控制的精度和分辨率的提高，产品的观感（表面皱褶和橘纹现象得到控制）和色泽明显提高；而由于温度影响造成的产品脂溢现象也得到很好的控制。
4. 外部故障信号输入电路和输出电路的全额带负载运行测试，以验证实际工作中的电路匹配，驱动能力，响应时间和抗干扰能力。

5.7 本章小结

本章介绍了控制系统的硬/软件在设计开发中和完成后所进行的试验，验证以及开发调试环境等，并对试验过程中碰到的问题和所采用的解决办法进行了说明。对此嵌入式控制系统的试验结果表明完全达到了设计要求，效果良好。

第六章 总结和展望

6.1 主要结论

本课题设计的多功能熏/蒸/烤箱嵌入式控制系统,经过在肉制品加工厂家几个月的运行试验,效果很好,达到了当初拟定的控制系统的性能指标和要求,完全能够满足国内市场对高性价比的熏/蒸/烤箱专用嵌入式控制系统的需求。与国内目前使用的 PLC+ 触摸屏控制系统相比,功能有了显著的加强。

原 PLC 控制系统的每个产品加工工艺配方最大仅有 10 种工艺且排列顺序固定,而此嵌入式控制系统的每个产品加工工艺配方允许有最大 16 种工艺且允许以任意顺序排列组合。

原 PLC 控制系统可以设置保存的产品加工工艺配方为 30 种,而此嵌入式控制系统可以设置保存的加工工艺配方有 100 种。

由于使用通用的温度测量模块,原 PLC 控制系统的测温分辨率为 0.5°C 左右从而造成相对湿度测量的分辨率和精度较差。嵌入式控制系统的温度测量分辨率达到了 0.1°C ,相对湿度测量的分辨率也达到了 1% 的水平(最坏情况下,干球温度接近于 10°C 时,在 1.2% 左右)。

控温方式的改进和控温精度的提高,原 PLC 控制系统使用的是传统的开关位式控制,控温精度较差和超调量较大,而本嵌入式控制系统采用比例、积分、微分(PID)的控制方式,以减小超调量和提高控温精度。对温度控制的输出通道采用光耦合隔离的可控硅以脉宽调制(PWM)的方式进行控制。对于相对湿度控制,直接采用时间/比例的方式对湿度通道的输出以 PWM 的调制方式进行控制。

由于温湿度测量和控制的精度和分辨率与原 PLC 控制的方式相比有明显的提高,而这一改善最直接的效果就是产品加工品质的提高。由于湿度测控品质的改善,产品的观感(有时会出现的表面皱褶和橘纹现象得到控制)和色泽明显提高;而由于温度(超调)影响造成的产品脂溢现象也得到很好的控制。

控制系统的价格却更低廉。原来一套 PLC+ 触摸屏控制系统的成本在一万五千元左右,而本课题完成的嵌入式控制系统成本在一千到一千五百元之间,不到原控制系统的十分之一。除了较高的性价比之外,本嵌入式控制系统硬件电路及线路板设计采用模块化的方式;把控制系统按功能划分为三块:分别为 CPU 及外围相关电路,输入/输出接口及驱动电路,参数键入及显示电路。这三块功

能分别做成独立的 PCB，所有的对外 I/O 都通过可插拔连接，彼此间由连接器件互联组成一个完整的系统。维护时，只需更换相应的故障板即可，简单且费用低廉，从而保证了良好的可维护性和较高的维护效费比。

6. 2 研究展望

由于多功能熏/蒸/烤箱设备在肉类食品加工中的应用越来越广且销量越来越大，在控制方式上采用嵌入式系统具有很好的市场前景。下一步的工作主要是配合设备生产厂家尽快地把此嵌入式控制系统转化到批量生产的设备中去，在批量应用于生产的转化结束后，可以进行下一步的带多串口和生产数据记录打印功能的提高型号的开发，利用本嵌入式系统硬件设计预留的功能，利用 I²C 或 SPI 串行总线扩展更大容量的 NVSRAM/EEPROM 用于生产数据记录；利用 C8051F020 的两个 UART 端口构造 RS232/RS485 双串口，用 RS232 口扩展连接一串行口打印机用于生产数据的记录打印目的，而 RS485 口则用来连接上位机或其它的熏/蒸/烤箱设备以组成分布式的控制网络。这些预留功能的激活可以协助设备制造厂商，提升产品功能和档次，并逐步拓展高端应用市场。

参 考 文 献

- [1] KYXX 系列烟熏箱使用操作说明书. 浙江凯斯不锈钢机械有限公司. 2004.2: 1~3.
- [2] RYXX 系列烟熏箱使用操作说明书. 浙江嘉兴瑞邦不锈钢机械有限公司. 2005: 2~3.
- [3] 烟熏箱用 Micro-c 系列控制器操作手册. 德国 VEMAG GmbH 公司. 2002: 5~8.
- [4] Dataprocessor DP11 型 - 烟熏箱控制器操作说明. FESSMANN GmbH 公司. 2002.9: 1~10.
- [5] 金坛市科兴仪器厂. 湿度测量的基本概念. 中国化工仪器网, WWW.CHEM17.COM. 2006.3.
- [6] 沈红星. 一种基于 RS-485 总线的网络协议及其实现方法. 单片机及嵌入式系统应用. 2003 (6): 68~69.
- [7] 李继晟. RS-232/RS-485 的无源转换电路设计. 单片机及嵌入式系统应用. 2004 (7): 75~76.
- [8] RS-232、RS-422 与 RS-485 标准及应用. 中国工控网. WWW.CHINAKONG.COM
- [9] 杨旭雷, 张浩. 基于 RS-485 总线的测控系统串行通信协议及其软硬件实现. 电气自动化. 2002 (2): 28~31.
- [10] 龚成龙. 单片机与 PC 机 RS-232 接口的高可靠通信技术及实现. 电气自动化. 2001 (4): 48~50.
- [11] 马宏忠. 多台单片机与 PC 机之间的快速通讯. 电气自动化. 2000 (4): 22~24.
- [12] 串口通讯 RS-232 C 详解. 中国工控网. WWW.CHINAKONG.COM
- [13] 李璇华, 唐小泉. 单片机控制系统和微机系统之间通信的几个技术问题. 电气自动化. 2001 (6): 41~43.
- [14] 潘琢金 译. C8051F 单片机应用解析. 北京: 北京航空航天大学出版社. 2002: 10-21.
- [15] 潘琢金, 施国君. C8051FXXX 高速 SOC 单片机原理及应用. 北京: 北京航空航天大学出版社. 2002.
- [16] 潘琢金 译. C8051F02x 中文数据手册. 新华龙电子有限公司. 2002: 2~200.
- [17] 李蒙, 舒云星. JTAG 口及其对 FLASH 的在线编程. 单片机及嵌入式系统应用. 2003 (6): 26~28.
- [18] 魏永红, 张勉, 赵捷. C8051F02X 外部存储器接口和 I/O 配置. 单片机及嵌入式系统应用. 2003 (4): 38~40.
- [19] 赵文彬, 向平. C8051F 的超大容量 FLASH 存储器扩展. 单片机及嵌入式系统应用. 2004 (7): 69~70.
- [20] SD2000 系列实时时钟芯片技术资料. 深圳威帆电子技术公司. 2004: 1~24.
- [21] I²C 总线规范. 广州周立功单片机发展有限公司. 2003: 7~12.
- [22] 郝冬妮, 孙立春, 李晶娇. 基于 MCU 的 I²C 总线传输设计. 单片机及嵌入式系统应用. 2003 (6): 71~73.
- [23] 李鄂山. PT-100 铂电阻的高精度线形化技术. 电子技术应用. 1995 (7): 32~33.
- [24] 关学忠, 赵玉峰. C8051F 单片机电压基准的不同用法. 单片机及嵌入式系统应用. 2003 (4): 70~71.
- [25] ZLG7289A 键盘输入和数码管显示接口芯片技术资料. 广州周立功单片机发展有限公司. 2004: 1~13.
- [26] 陈粤初, 窦振中等. 单片机应用系统设计与实践. 北京: 北京航空航天大学出版社. 1991: 85~90, 164~166.
- [27] 何立民. 单片机应用系统设计. 北京: 北京航空航天大学出版社. 1990: 323~330, 482~490.
- [28] 张友德, 涂时亮等. 单片微型机原理、应用与实验. 上海: 复旦大学出版社. 1992: 141~197, 393~417.

- [29] 黄再银. 单片机系统的电磁兼容性设计. 单片机及嵌入式系统应用. 2003 (5): 68~70.
- [30] 刘光斌, 刘冬, 姚志成. 单片机系统实用抗干扰技术. 北京: 人民邮电出版社. 2003: 214~234.
- [31] 李华. MCS51 系列单片机实用接口技术. 北京: 北京航空航天大学出版社. 2002.
- [32] 王廷才. 电子线路 CAD PROTEL 99SE 使用指南. 北京: 机械工业出版社. 2001: 12~108.
- [33] 周航慈. 单片机程序设计技术. 北京: 北京航空航天大学出版社. 2002.
- [34] 童长飞译. C8051F 系列单片机开发与 C 语言编程. 北京: 北京航空航天大学出版社. 2005: 10~23.
- [35] 魏永红. 基于 C8051F021 的定位和报警移动终端设计. 单片机及嵌入式系统应用. 2004 (4): 65~67.
- [36] 钟建波, 司光宇. MCS-51 系统中断优先级的软扩展. 单片机及嵌入式系统应用. 2004 (4): 22~25.
- [37] 张克彦. 8 位 CRC 校验码表格生成及高速校验子程序. 单片机及嵌入式系统应用. 2004 (7): 77~79.
- [38] 周洪亮, 杜维. 抗干扰设计在鱿鱼钓机控制器中的应用. 电气自动化. 2002 (4): 64~67.
- [39] 毛楠等. 电子电路抗干扰实用技术. 北京: 国防工业出版社. 1996: 238~290.
- [40] 邓林, 黎杰. 监测系统中软件抗干扰的设计与实现. 微型机与应用. 1995 (6): 31~33.
- [41] 吴植恩, 陈安珂, 于永中. 高温作业环境气象条件测定办法. 国家技术监督局, GB/T 934-89.
- [42] 冉全, 章涤峰. 单片机系统中多任务多线程机制的实现. 单片机及嵌入式系统应用. 2003 (6): 8~10.
- [43] 王海泉. 将模拟量的输出控制改成电开关量的时间控制的探讨. 微型机与应用. 1995 (7): 18~20.
- [44] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用. 北京: 机械工业出版社. 2005.6: 1~5, 220~238.
- [45] Xiao_kangxiao. 自适应 PID 控制算法在工业炉窑温度控制中的应用. <http://www.unsp.com.cn>.
- [46] 佚名. 适用型 PID 控制器参数整定性能比较. 嵌入式技术网, <http://www.embeddedeic.com>.
- [47] XTR-105/4-20mA current transmitter with sensor excitation and linearization. www.burr-brown.com/databook/XTR105.html.
- [48] FM24C256 256Kb FRAM Serial Memory datasheet. www.ramtron.com.
- [49] CAT24WC256 256K-Bit I²C Serial CMOS EEPROM datasheet, www.catalyst-semiconductor.com.
- [50] 2987 8-channel source driver with over-current protection datasheet. www.allegromicro.com.
- [51] MOC3061 6-pin DIP Zero-cross phototriac driver optocoupler datasheet. www.fairchild.semiconductor.com.
- [52] Configuring the Port I/O crossbar decoder datasheet. www.silabs.com.
- [53] Max485, low-power, slew-rate-limited RS-485/RS-422 transceivers datasheet. www.maxim-ic.com.
- [54] MAX232, MAX 232I Dual EIA-232 drivers/receivers datasheet. Texas Instruments.
- [55] BTA/BTB series 6A TRIAC datasheet. www.st.com.
- [56] ULN-2803A 8-channel Darlington Transistor Array datasheet. Texas Instruments.

附录 1 控制系统的实物图及照片



上图为控制系统的联机实物照片



左下为 1#板 C8051F020 及外围电路接口板，
右下为 2#板 输入/输出接口及驱动电路板
右上为 3#板 键盘参数输入及数码管显示电路



3#板 - 键盘参数输入及数码管显示电路板

致 谢

工程硕士的学习生活即将结束，在此，向我的导师上海交通大学自动化系的路林吉教授致以崇高的敬意和衷心的感谢。感谢他在我论文期间的悉心指导和帮助，从最初的论文选题，实施过程直到完成，路老师都提出了宝贵的指导意见。在这两年半的学习生涯中，交通大学各位老师严谨的治学态度和工作作风给了我深刻的印象，并将使我的一生都得到教诲而因此受益。

感谢自动化系负责工程硕士教学的朱莉莉老师，在我整个工程硕士的学习生活中，无时无刻不体会到她的关心、督促、帮助和爱护，也让我感受到我们 04 级控制工程工硕班是一个温暖快乐的集体。同时，也由衷的感谢我的企业导师周磊，谢谢他的关心和帮助，以及这个课题的提供者，浙江嘉兴瑞邦机械有限公司，他们提供了我学位论文的课题和相应的测试平台及开发工具。最后我要向所有关心和帮助过我，以及和我共同度过这学习生活的老师，同学和朋友说一声：“谢谢大家！”

攻读硕士学位期间已发表或录用的论文

- [1] 李学斌,路林吉,周磊. 基于 XTR105 和 C8051F020 的温湿度测量系统. 自动化与仪表 (已录用)