

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得宁夏大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：孙培刚

时间：2015 年 6 月 3 日

关于论文使用授权的说明

本人完全了解宁夏大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。同意宁夏大学可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容。

(保密的学位论文在解密后应遵守此协议)

研究生签名：孙培刚

时间：2015 年 6 月 3 日

导师签名：杨泽林

时间：2015 年 6 月 3 日

摘 要

通过沙基机器人深入到沙漠腹地采集和分析沙漠信息，使人们实时了解沙漠环境状态，这对于减小沙漠的蔓延速度以及降低沙尘暴发生的频率等提供了重要的数据信息。

为了给沙基机器人提供稳定的电能，提高电源的利用率，使沙基机器人能够在沙漠腹地持续而稳定的工作，设计了沙基机器人供电系统。论文所设计的沙基机器人供电系统是以转换效率较高的 LM2596 系列和 LM2678 系列的开关电源转换芯片为控制核心，并由单片机 C8051F020 对供电系统进行智能管理，以提高电源的利用率。沙基机器人供电系统主要分别为沙基机器人的轮驱动系统、电池板驱动系统、采集模块、电磁锁、温控模块和通信系统等组成部分进行供电，通过合理的元器件选择和供电电路的优化设计等，使供电系统能够高效稳定的为沙基机器人各个供电对象提供电能。

论文首先根据沙基机器人的系统组成确定了供电系统的拓扑结构和技术参数，并对供电对象和供电系统进行相应的参数计算和器件选型。然后根据供电对象对电压和功率的需求，确定沙基机器人供电系统总体设计方案，其中包括供电系统的硬件电路设计和系统软件设计。最后对沙基机器人供电系统的主要性能指标进行测试，并对测试结果进行分析。

通过对沙基机器人供电系统进行实验及测试结果表明，其主要性能指标如电源供电电压、供电电流、电压调整率、负载调整率以及输出电压纹波等，均满足设计要求。论文所设计的沙基机器人供电系统已应用于实际项目中。

关键词： 单片机 C8051F020，LM2596，PID 算法

Abstract

Through the desert robot getting into the desert hinterland to collect and analyze the information of the desert, making people understand the real-time state of desert environment, which provides important data in reducing the speed of the deserts spread and the sandstorm frequency.

In order to provide the desert robot stable power, improve the utilization rate of the power supply, to make the robot work continuous and stable in the desert hinterland, the power supply system of the desert robot is designed. The robot power supply system designed in this paper is based on the conversion efficiency of LM2596 series and LM2678 series chips that used in the switching power as the control core, and the power supply system is managed intelligently by C8051F020, to improve the utilization rate of the power supply. The power supply system designed for the desert robot mainly provide power to the sand wheel drive system, the battery plate driving system, data acquisition module, an electromagnetic lock, temperature control module and communication system. Through the reasonable choice of components and the optimization design of power supply circuit, the power supply system can be efficient and reasonable supply power for the power need parts of the robot.

Firstly, the topological structure and technical parameters of the power supply system is confirmed according to the systems composition of robot, and the corresponding parameter of the power consumer and the power supply system is calculated as well as their component selection. Then according to the requirement of voltage and power of the power consumer, the overall design scheme of the robot power supply system is confirmed, that including the design of hardware circuit and software design of the power supply system. Finally, the main performance index of the power supply system is tested, and the test results are analyzed.

It shows that the main performance indexes such as the supply voltage , current, voltage regulation factor, load regulation, as well as the output voltage ripple all meet the design requirements, through the experiments and tests of the desert robot power supply system. And the desert robot power supply system designed in this paper has been applied in practical projects.

Keywords: microcontroller C8051F020, LM2596, PID algorithm

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 课题来源.....	1
1.2 课题研究目的和意义.....	1
1.3 开关电源的研究现状和发展趋势.....	2
1.4 课题主要研究内容.....	3
1.5 本章小结.....	4
第二章 供电系统的技术参数确定与供电对象分析.....	5
2.1 供电系统技术参数.....	5
2.2 供电对象选型及参数.....	6
2.3 电源转换芯片和供电电源选型及参数.....	12
2.4 本章小结.....	14
第三章 供电系统方案设计与分析.....	15
3.1 供电系统总体设计方案.....	15
3.2 基于 LM2596-ADJ 的温控系统设计.....	17
3.3 本章小结.....	19
第四章 供电系统硬件电路设计.....	20
4.1 主要芯片介绍.....	20
4.2 主机连续供电电源系统的硬件电路设计.....	23
4.3 程控供电电源系统的硬件电路设计.....	26
4.4 基于可调数字开关电源的温度控制系统的硬件电路设计.....	30
4.5 本章小结.....	31
第五章 供电系统软件设计方案.....	32
5.1 沙基机器人供电系统主程序设计.....	32
5.2 A/D 转换程序设计.....	33
5.3 采集数据处理程序设计.....	33
5.4 温控系统 PID 算法设计.....	35
5.5 本章小结.....	36
第六章 供电系统调试及结果分析.....	37
6.1 电源主要性能指标.....	37
6.2 供电系统测试结果.....	38
6.3 本章小结.....	39
第七章 结论.....	40
参考文献.....	41

附录.....	43
致谢.....	50
个人简介.....	51

第一章 绪论

1.1 课题来源

本课题来源于国家科技部国际合作项目中的一部分，项目名称为：“沙漠腹地沙尘监测与信息获取技术合作研究”，项目编号为 2011DFA11780。

1.2 课题研究目的和意义

由于人们对森林和植被的过度采伐和破坏，土地的沙漠化越来越严重，使得沙漠蔓延速度越来越快。因此，土地的沙漠化是目前人们所面临的一个非常严峻的生态环境问题。因此，为了减小沙漠的危害，降低沙漠化的蔓延速度，需要人们深入沙漠腹地对其进行监测，获取更多沙漠信息，以及及时采取应对措施。

目前的问题是人工监测点无法移动，只能对沙漠环境的某些固定点进行监测，而沙丘的移动性又较强，每年以约十米的速度移动。而且，人工进入沙漠腹地监测沙漠信息的危险性又较高。如果依靠大型机械设备进入沙漠腹地，又会出现电源供给的问题，而且成本也会大幅度提高。针对这种情况，项目研发了一组沙基机器人，它们能够在沙漠腹地的不同位置进行巡查，并且借助于传感器技术、GPRS 技术、智能控制控制技术以及无线通信技术等信息技术手段，在沙漠腹地对沙漠环境信息进行监测和无线传输，使人们能够实时了解沙漠腹地环境的动态信息^[6]。本项目设计的沙基机器人自身携带了大量的传感器，如风蚀传感器、风速传感器、风向传感器、温湿度传感器和气压传感器等来分别获取沙漠环境中的沙粒振动频率、风蚀量、风速、风向、温湿度和气压等实时数据，并通过 GPRS 模块、无线通信模块等进行远距离数据传输，同时方便人们通过上位机对沙基机器人进行远程控制。

沙基机器人中各组成部分都需要直流电源供电，而且所需求的直流电源电压和功率等参数也不尽相同。为了满足沙基机器人的电源需求，本课题设计了沙基机器人供电系统。作为沙基机器人的供电系统，其主要功能是为沙基机器人的所有组成部分提供运行时所需的电能，所以供电系统性能的优劣就决定了整个系统的好坏，在系统中起着至关重要的作用。沙基机器人对供电系统的参数要求主要包括电源的转换效率、电源电压的输出精度、负载调整率、电压调整率和波纹系数以及对电源的智能管理等方面。而开关电源的开关转换频率高，尤其是在大压差大电流的情况下电源转换效率高，优于线性稳压电源，而且具有功耗低，外围元件少等特点。本课题对沙基机器人供电系统的设计主要包括主机连续供电电源系统的设计和程控供电电源系统的设计两部分。电源电压的转换方式主要采用开关电源转换芯片对系统的供电电源进行相应的转换，为沙基机器人的各个系统进行高效的合理的供电方式。

在本课题的供电系统设计中，沙基机器人供电系统通过智能控制技术、电压电流检测技术及脉宽调制技术等对数字开关电源进行智能管理，将主机连续供电电源系统和程控供电电源系统相结合，既保证了系统正常稳定的工作，又节省了供电电源功率，并且通过实际测试，满足供电系统所要求的技术指标。

1.3 开关电源的研究现状和发展趋势

电源是电子设备中最为重要的组成部分,电源性能的好坏会直接影响到电子设备是否可以稳定可靠的运行。随着全世界对能源的问题越来越重视,电子设备的耗能问题将成为人们研究的重点,减小电子设备的待机功耗,提高供电效率将成为目前世界急待解决的一个问题。目前,常用的电源类型主要包括线性稳压电源和开关电源两大类。传统的线性稳压电源具有电路结构简单、工作可靠等优点,而且输出电压波纹较小,但它存在着效率低、工作温度高及调整范围小的缺点。开关电源虽然输出电压的波纹较大,电压稳定性不及线性稳压电源,但开关电源本身消耗的能量较小,电源效率可以提高到普通线性稳压电源的一倍之多,因此目前开关电源已经被广泛用于电子计算机、电子电器、通信设备、车载电源等各个行业^[6]。

国外研究现状:开关电源系统发展始于在二十一世纪初,美国德州仪器公司在2005年首先研制出了数字开关电源产品,掀起了数字开关电源发展的浪潮,数字开关电源不仅大幅度提高了电源系统的性能,减小了电源本身的功耗,而且又延长了电源的使用寿命^[3,6]。同时,该公司还提出了“融合数字开关电源”的解决方案,用以降低数字开关电源开发成本,并实现具有高性能指标的数字电源系统,提高产品的性价比。后来,美国德州仪器公司又推出了第三代融合数字电源控制器,将智能化技术融入到数字开关电源系统中,这样对数字电源系统的编程更加灵活,更容易使数字电源系统实现智能化的管理。目前,国外著名芯片公司爱立信、Atmel、Silicon等都在开发数字开关电源的集成电路,使数字开关电源进一步向小型化、数字化和智能化等方向发展。数字开关电源代表了一代新技术的产生,促进了电源行业的飞速发展,具有很大的发展潜力^[9]。

国内研究现状:

我国电源行业的发展有三个阶段:

第一阶段始于二十世纪五十年代,我国建立了一批电源生产企业,但这些电源企业主要是对国外的电源产品进行初步仿造,并随着电源技术的发展逐渐实现国产化。到了六十年代至七十年代期间,随着晶体管技术的快速发展,我国研制出了无工频降压变压器的开关电源系统。由于这一阶段是我国电源行业的发展初期,因此电源生产规模相对较小^[7]。

第二阶段从二十世纪七十年代末期开始,中国开始实行了改革开放,经济得到迅速发展,因此电源行业也随之迅速的发展起来,电源生产企业和电源产品也有了显著性的增加。同时,随着新的电子元器件的诞生与发展,更多的电源企业、研究所和大学也都开始对技术含量更高的电源产品进行深入研究和制造,并且成功开发了无工频降压变压器的工作频率为20kHz、额定功率1KW的开关电源。这类开关电源被广泛的应用于更多的电子行业之中,并且取得了非常显著的效果^[9]。

第三阶段是从二十世纪九十年代至今,国际上对数字开关电源的研究技术突飞猛进,同时我国电源产业也取得了很大的发展。很多研究机构如研究所、高等院校等都成立了数字开关电源的开发和生产项目,同时,出现了大批的电源厂商^[8]。

开关电源的技术追求和发展趋势可以概括为以下三个方面:

(1) 小型化和高频化。由于开关电源中含有储能元件电感和电容,这样就会导致开关电源的体积和质量较大,所以使开关电源小型化就要尽量去减小开关电源中电感和电容元件的体积和重量。而开关电源的开关频率在一定范围内的提高,不仅可以有效地减小电容和电感元件的体积

和质量,而且还可以抑制电源电路中产生的干扰,提高开关电源系统的动态能,因此开关频率的高频化是开关电源的主要发展方向之一^[7,10]。

(2) 低噪声。开关电源的主要缺点是输出电压的波纹较大,随着开关电源的开关频率的增加会导致开关电源输出电压的噪声和波纹也随之增大。所以,如何降低开关电源的波纹和噪声,是开关电源的又一发展方向。

(3) 数字化和智能化。随着现代电子技术的飞速发展,传统的开关电源已经满足不了高科技电子产品的需求,这就迫切的需要开关电源向数字化和智能化方向发展。将开关电源技术与数字化和智能化控制策略相结合,能够从根本上提高开关电源系统的性能指标^[7,8]。

总之,在数字开关电源发展的过程中,人们主要以优化低损耗回路技术和开发新型低功耗低噪声元器件相融合,不断地促进和推动着开关电源向小型化、高频化、低噪声以及数字化和智能化等方向发展,并具有良好的发展前景。

1.4 课题主要研究内容

沙基机器人供电系统的主要研究内容包括以下四个方面:

(1) 沙基机器人供电系统的技术参数与器件选型

根据沙基机器人的各个组成部分对电能实际需求的情况,确定沙基机器人供电系统的拓扑结构,并通过沙基机器人在沙漠环境中的工作情况和运行状态等情况确定沙基机器人供电系统的项目要求和技术参数;对供电对象和供电系统本身的元器件进行选型,并对各个选定的器件进行参数分析,验证所选元器件的合理性,以满足供电系统的技术指标。

(2) 供电系统设计方案

根据供电对象对电压和功率的需求,确定沙基机器人供电系统总体设计方案。沙基机器人供电系统的设计方案主要包括主机连续供电电源系统设计、程控供电电源系统设计以及基于开关电源 LM2596-ADJ 的温控系统设计方案。

(3) 供电系统的硬件电路及软件设计

沙基机器人供电系统的硬件电路包括主机连续供电电源系统的硬件电路设计、程控供电电源系统的硬件电路设计以及基于开关电源 LM2596-ADJ 的温控系统的硬件电路设计。其中,主机连续供电电源系统的硬件电路设计包括 12V 供电电源电路设计、5V 和 3.3V 供电电源电路设计以及 $\pm 9V$ 供电电源电路设计;程控供电电源系统的硬件电路设计包括程控 12V 供电电源电路设计、程控 15V 供电电源电路设计以及单片机控制电路设计;温控系统的硬件电路设计包括基于 LM2596-ADJ 的可调电压电路设计和温度采集电路设计。沙基机器人供电系统软件设计主要包括供电系统主程序设计、A/D 转换程序、采集数据处理程序设计和 PID 算法程序设计。

(4) 供电系统调试及结果分析

供电系统调试包括硬件电路的调试和单片机程序的调试,并通过供电系统的测试结果对供电电源的技术参数如电压调整率、负载调整率等进行相应的数据分析。

1.5 本章小结

本章主要阐述了本课题研究的目的和意义，以及供电电源的研究现状和发展趋势，详尽分析了供电系统在沙基机器人中的重要作用，以及供电电源目前在国内外的研究背景、技术追求和发展趋势，并对本课题的主要研究内容进行了表述。

第二章 供电系统的技术参数确定与供电对象分析

沙基机器人供电系统的供电对象主要包括轮驱动系统、电池板驱动系统、采集模块、电磁锁、温控模块和通信系统等。供电系统的拓扑图如图 2-1 所示：

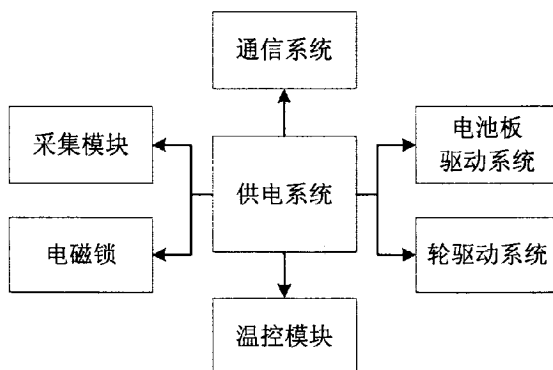


图 2-1 供电系统拓扑图

2.1 供电系统技术参数

2.1.1 沙基机器人供电系统项目要求

通过对沙漠环境的实际考察，以及对沙基机器人在沙漠中实际工作状态的分析，对沙基机器人供电系统的项目要求如下：

（1）设计要求沙基机器人供电系统需要为轮驱动系统的四组伺服电机提供 24V 电压约 290W 的功率，保证沙基机器人能够在沙漠中移动到不同位置进行数据采集，而且要求沙基机器人能够在 20° 的沙漠坡面上行进。

（2）要求供电系统为电池板驱动系统中的两组伺服电机提供 24V 电压 75W 的功率，使两组伺服电机驱动两个电池板转动以达到最佳的光照角度。

（3）供电系统需要为通信系统提供 12V 电压、120W 的最大发射功率，保证通信系统收发设备在相距 2.5KM 处的距离处实现通信功能。

（4）要求供电系统为电磁锁提供 12V 电压、36W 的功率，保证电磁锁能够正常工作。

（5）要求供电系统为采集模块提供 15V 电压，经过其内部的电源转换模块为传感器、控制系统及 FPGA 等部分提供相应的电压。

（6）要求供电系统为单片机系统、Zigbee 模块、以及电流检测模块等低功耗模块提供相应的电压。

2.1.2 供电系统技术指标

为了保证沙基机器人供电系统提供稳定可靠的供电电源,使沙基机器人能够在沙漠中正常的进行数据采集、通信、移动等工作,对供电系统的技术指标规定如下:

(1) 电源电压转换模块主要以 DC-DC 开关电源转换为主,电源精度要求达到 95%以上,负载调整率小于 3%,电压调整率小于 1%,电源波纹小于 50mV。

(2) 供电电池额定功率为 720W,满足各个供电对象的功率需求,保证供电对象能够正常工作。

(3) 供电系统的供电方式除了主机连续供电方式外,对于功率需求较大的供电对象采用了程序供电方式,对供电系统进行智能管理,以节省供电电源功率。

2.2 供电对象选型及参数

(1) 轮驱动系统

设计要求沙基机器人能够在沙漠中移动到不同位置进行数据采集,而且要求沙基机器人能够在 20° 的沙漠坡面上移动。因此在轮驱动系统中,需要选择功率较大的伺服电机进行轮驱动,下面对轮驱动系统所需功率进行具体分析。

由于沙漠地质疏松,车体较重,车轮会有一部分陷入沙漠中。沙基机器人在沙漠平地行进示意图如图 2-2 所示:

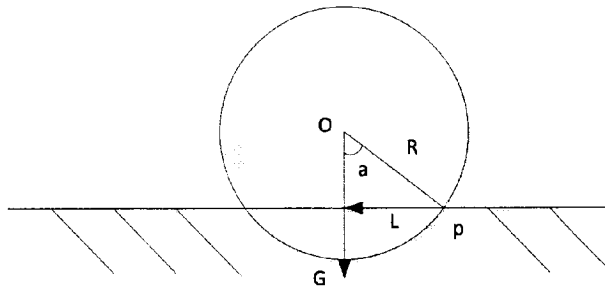


图 2-2 沙基机器人平地行进示意图

其中, R 为车轮半径, $G = mg$ 为车体重力, m 为车体质量, P 点为车轮前进时对沙漠的作用点, L 为作用力臂, α 为 R 与重力方向的夹角。

由示意图可以看出,力臂 $L = R \sin \alpha$ 。

根据力矩公式 $M = F \times L$ 可得:

$$M = mg \times R \sin \alpha \quad (2-1)$$

则系统所需功率为:

$$P = M\omega = mg \times R \sin \alpha \omega \quad (2-2)$$

其中, ω 为车轮转动的角速度。

可见，系统所需功率与车体质量、车轮半径、 $\sin \alpha$ 值和车轮转动角速度 ω 有关。因此考虑极限情况，当 $\alpha = 90^\circ$ 即 $\sin \alpha = 1$ 时，系统所需功率达到最大值。

沙基机器人在 20° 的沙漠坡面上行进示意图如图 2-3 所示：

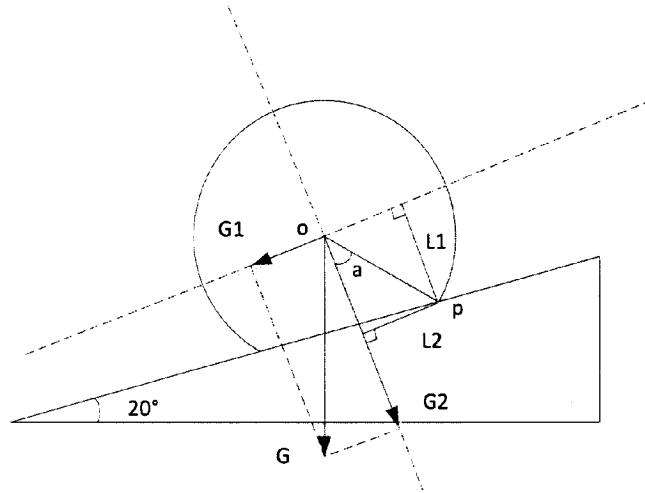


图 2-3 沙基机器人沙漠坡面行进示意图

图 2-3 中沙漠坡面角 $\theta = 20^\circ$ ， R 为车轮半径， $G = mg$ 为车体重力， m 为车体质量， P 点为车轮前进的作用点。将重力沿斜面方向 and 与斜面垂直方向分别分解成 $G1$ 和 $G2$ 两个重力分量， $L1$ 为 $G1$ 的作用力臂， $L2$ 为 $G2$ 的作用力臂。

由示意图可以看出，

$$L1 = R \cos \alpha$$

$$L2 = R \sin \alpha$$

根据力矩公式 $M = F \times L$ 可得：

$$M1 = G1 \times L1 = mg \sin 20^\circ \times R \cos \alpha$$

$$M2 = G2 \times L2 = mg \cos 20^\circ \times R \sin \alpha$$

则系统所需功率为：

$$P = (M1 + M2)\omega = mg \times R \sin(\alpha + 20^\circ)\omega \quad (2-3)$$

当 $\sin(\alpha + 20^\circ) = 1$ 时，系统所需功率达到最大值。

根据估算，车体重量约 80kg，车轮半径约为 0.15m，设计要求沙基机器人爬坡时的角速度 $\omega = 1.57 \text{ rad/s}$ 即可。

轮驱动系统所需的最大功率为：

$$P = mg \times R \omega = (80 \times 10 \times 0.15 \times 1.57) = 188.4 \text{ W} \quad (2-4)$$

轮驱动系统需要四组伺服电机对车轮进行驱动，则每组伺服电机所需额定功率应为：

$$188.4 \text{ W} \div 4 = 47.1 \text{ W} \quad (2-5)$$

考虑到沙漠地理环境复杂，当沙基机器人在沙漠中的行进过程中易受环境的影响，如遇到凹坑、沙石、风沙等情况时，沙基机器人会受到较大的阻力，因此所选用的伺服电机额定功率应大于 47.1W，设计中选用的电机型号及参数如表 2-1 所示：

表 2-1 轮驱动系统伺服电机参数表

电机型号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	额定力矩 (N.M)	力矩系数 (N.M/A)	额定转速 (RPM)	额定电驱电流 (A)	工作环境 温度℃
42JSF630AS	24	64	0.2	0.057	3000	3.13	0-40

由表 2-1 可知，轮驱动系统中每组伺服电机所需求的额定电压为 24V，驱动电流约为 3A，轮驱动系统所需求的总功率为：

$$P1=UI\times 4=288W$$
 (2-6)

(2) 电池板驱动系统

在电池板驱动系统中需要用两组伺服电机去驱动两个电池板转动到合适的角度，以达到最佳的光照效果。电池板驱动系统示意图如图 2-4 所示：

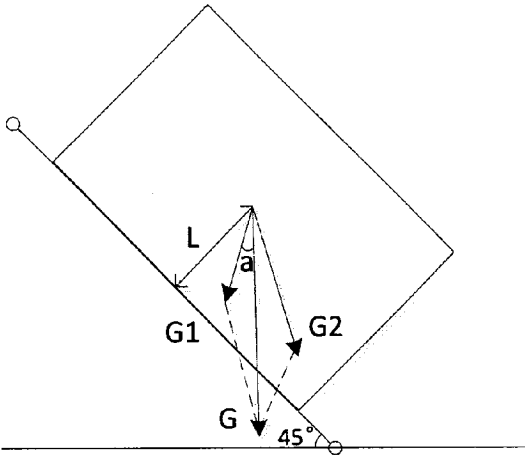


图 2-4 电池板驱动系统示意图

图 2-4 中，G 为电池板的重力，G1 为垂直于电池板方向的重力分量，G2 为投影于电池板上的重力分量，可见，重力对电池板的力矩为重力分量 G1 的力矩，L 为重力分量 G1 的力臂。设电池板驱动系统的力矩为 M，则：

电池板驱动系统力矩：

$$M=F\times L=mg\cos\alpha\times L$$

电池板驱动系统所需功率为：

$$P=M\omega=mg\cos\alpha\times L\omega$$

当 $\alpha=45^\circ$ ， $\cos\alpha=\frac{\sqrt{2}}{2}$ 时，即电池板旋转到水平位置时，电池板所需功率最大。

经过估算，电池板重量约为 3kg，力臂 L 的最大值约为 0.18m，电池板转动的角速度的最大值设计为 6.28rad/s，则电池板所需功率的最大值为：

$$P=M\omega=\frac{\sqrt{2}}{2}mg\times L\omega=23.9W$$

(2-7)

本设计选用的伺服电机和参数如表 2-2 所示：

表 2-2 电池板驱动系统伺服电机参数

电机型号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	额定力矩 (N.M)	力矩系数 (N.M/A)	额定转速 (RPM)	额定电驱电流 (A)	工作环境 温度℃
42JSF330AS	24	32	0.1	0.057	3000	1.56	0-40

由参数表 2-2 可知，电池板系统中每组伺服电机所需求的额定电压为 24V，驱动电流为 1.56A，电池板驱动系统中两组伺服电机所需求的总功率为：

$$P_2=UI\times 2=(24\times 1.56)W\times 2\approx 75W$$

(2-8)

(3) 通信系统

通信系统中通信系统设计要求在相距 2.5KM 处的距离处能够实现通信功能，本设计选用的是成品 FM 无线收发器。FM 无线收发器所需求的供电参数为：额定电压为 12V，通信发射最大电流为 10A，波纹要求不超过 1%。因此，通信系统需求的最大发射功率为：

$$P_3=UI=12V\times 10A=120W$$

(2-9)

所以，设计的供电系统需要为通信系统提供最大发射功率约为 120W 的功率。

(4) 电磁锁

沙基机器人系统中在电池板展开和闭合的过程中设置了电磁锁控制。当沙基机器人进行充电时，需要控制电磁锁打开，之后电池板开始展开，追踪最佳光照角度；当检测到沙基机器人供电电池充满电时，电池板闭合，并控制电磁锁将闭合的电池板锁住，保证电池板的稳定。

系统中所采用的电磁锁的供电电压为 12V，允许电流为 1.5A，通电动作时间小于 1 秒，允许连续通电时间小于 10 秒，两个电磁锁所需要的功率为：

$$P_4=UI\times 2=12V\times 1.5A\times 2=36W$$

(2-10)

(5) 温控模块

根据伺服电机参数可知伺服电机的工作温度在 0-40℃之间。秋冬季节沙漠的环境温度会降至零摄氏度以下，这样会影响到沙基机器人的轮驱动系统和电池板驱动系统的正常工作。为了保证伺服电机在温差较大的沙漠环境中正常工作，设计了温度控制系统。当沙基机器人体内的环境温度低于 0℃时，系统调用温度控制函数，使温度控制在系统的设定温度范围内；当环境温度高于 40℃时，沙基机器人关闭工作电源停止工作。

设计的温度控制系统中，加热装置采用的是较为常用的不锈钢干烧型电热管，当电热管两端加入电压后，流过电热管内部电阻丝的电流会使电热管发出热量，这样就可以提高沙基机器人机体内的环境温度。

电热管参数如表 2-3 所示：

表 2-3 电热管参数表

名称	规格	材质	功率 (W)	管径 (mm)	工作电压 (V)
电热管	30W/12V	304 不锈钢	30	6	12

电热管内部电阻丝的热量计算如下：

电热管放出的热量为：

$$Q = I^2 R t \tag{2-11}$$

其中, I 为流过电热管的电流, R 为电热管阻值, t 为加热时间;

电热管功率为: $P = \frac{U^2}{R}$, U 为电热管两端加入的电压;

根据热平衡定律可得:

$$Q = Pt = mc(T_2 - T_1) \tag{2-12}$$

其中, m 为电热管内部电阻丝质量, c 为电热管比热容, T_2 为最终温度, T_1 为初始温度。
则电热管升高的温度为:

$$(T_2 - T_1) = \frac{Pt}{mc} = \frac{U^2 t}{mcR} \tag{2-13}$$

由上式可知, 当电热管阻值和加热时间一定时, 电热管两端的电压越高, 电热管放出的热量越大, 温度越高。所以, 可以通过改变电热管两端的电压来控制电热管升高的温度。因此, 设计了数字可调开关电源为电热管供电, 并且利用温度传感器可以采集环境温度数据, 将采集到的数据与环境温度设定值送入单片机进行 PID 处理, 再去调控电热管的电压, 这样就形成了 PID 闭环控制。

为了防止电热管发出的热量扩散到机体外部, 对机体内部加入了保温材料。本设计采用的是聚乙烯保温材料。聚乙烯保温材料的生产工艺较为特殊, 泡孔为闭孔结构, 具有隔热、防潮、防冻、防老化等特点。

在稳定的传热条件下, 材料厚度为 1 毫米, 材料两侧表面的温差为 1 摄氏度时, 在单位时间 1s 内通过面积为 1 平方米的保温材料时所传递的热量称为导热系数。在选择保温材料时, 通常要求保温材料的导热系数小于 0.14W/(m℃)。而聚乙烯保温材料的导热系数很小, 一般小于 0.04 W/(m℃), 满足设计要求。

温度传感器采用的是热电阻和温度变送器。本设计中热电阻选择的是常用的铂热电阻, 型号是 PT100, 其阻值与温度的变化成正比关系。PT100 的电阻阻值与环境温度的关系为: 当 PT100 处于 -40℃ 的环境温度下, 其阻值为 84.27 Ω; 当 PT100 处于 0℃ 的环境温度下其阻值为 100 Ω; 当 PT100 处于 100℃ 的环境温度下其阻值约为 138.5 Ω。可以看出, PT100 的阻值变化与环境温度近似成线性关系。参数如表 2-4 所示:

表 2-4 铂热电阻参数表

名称	型号	精度等级	工业级温度范围
铂热电阻	PT-100	0.2	-40~+85℃

温度变送器选用的是 SBWR 系列热电偶温度变送器, 能够将热电阻采集的温度数据转换为 4-20mA 或 0-3.3V 的标准输出信号, 同时, 它还具有冷端自动补偿和线性化校正等功能。温度变送器的选型及参数如表 2-5:

表 2-5 温度变送器参数表

名称	型号	温度范围 (°C)	精度	负载能力
温度变送器	MXSBWR-F-B	0~50	0.2%FS	≤500 Ω

(6) 采集模块

为了采集沙漠环境中的风速、风向、沙粒振动频率、气压和温湿度等数据信息，本课题设计了采集模块。采集模块中主要包括了风速传感器、风向传感器、风蚀传感器、六轴传感器、气压传感器、温湿度传感器、超声波传感器以及 FPGA 模块、GPRS 模块等。

选用的传感器、FPGA 及 GPRS 参数如表 2-6 所示：

表 2-6 采集模块参数表

名称	型号	额定工作电压 (典型值) (V)	工作电流 (mA)	额定功率 (mW)
风向传感器	PHWD-12V-TL	12	10	120
风速传感器	PHWS-12V-TL	12	12	144
风蚀传感器	H11-LIN	12	85	1020
温湿度传感器	SHT10	3.3	1	3
气压传感器	PHQY-12V-TL	12	8	96
超声波传感器	R40-16TR	12	50	600
数字加速计 (三轴)	AD-XL345	3.3	0.14	0.5
数字罗盘 (三轴)	HMC5883	3.3	0.1	0.3
GPRS 模块	SIM908MK	5	2000	10000
FPGA 模块	EP2C5T114	3.3	40	132

由表 2-6 可以看出，采集模块共需要电源功率约为 12W。采集模块供电系统设计中，为采集模块提供 15V 电压，采集器内部采用电源转换电路将 15V 电压分别转换为 12V、5V 和 3.3V 电压分别为传感器、GPRS 模块和 FPGA 模块供电。

(7) 其他低功耗模块选型及参数

设计所需要的其它供电模块主要包括单片机系统、Zigbee 模块、以及电流检测模块等。其中，单片机系统作为系统的主控部分，选用的是新华龙电子有限公司生产的 C8051F020 单片机，低功耗，具有高速的 8051 微控制器内核，时钟频率最高可达 25MHZ，供电电压为 2.7-3.6V，典型工作电流 10mA，内置 8 位 ADC 转换器和两个 12 位 DAC 模拟输出；为了防止电池出现过流等状况，系统中需要对电池电流进行采集，检测电池电流状态，电流检测模块选用的芯片型号为 INA138，供电电压为 ±9V；Zigbee 模块能够使每组机器人之间完成通信，本设计选用的 Zigbee 模块型号为 DRF1605H，所需供电电压典型值为 3.3V，发射数据时最大工作电流为 120mA，平均工作电流 80mA，接收状态下工作电流为 45mA。

2.3 电源转换芯片和供电电源选型及参数

(1) 电源转换芯片选型及参数

供电系统设计中，电源转换芯片主要采用的是降压型 DC-DC 开关电源转换芯片。开关电源的特点是高频开关转换频率高，尤其是在大压差大电流的情况下电源转换效率高，功耗低等。由于在沙基机器人的设计中，轮驱动系统、电池板驱动系统、通信系统、电磁锁和 GPRS 模块等需要的驱动电流较大。因此在选择开关电源时，除了考虑其输出电压外，同时要考虑其最大的输出电流是否满足设计要求。本设计选用的电源转化芯片主要包括：开关电源转换芯片 LM2678-12、LM2596-12、LM2596-ADJ 以及三端稳压器件 MIC29300-5.0 和 AS1117L-3.3，电气参数如表 2-7 所示：

表 2-7 固定电压开关电源参数表

产品型号	输入电压 范围	输出电流	输出电压（V）			波纹及噪声 （mVp-p）	典型效率 %	环境温度 ℃
			典型值	最小值	最大值			
LM2678-12	15V-40V	100mA-5A	12	11.64	12.36	60	92	-40~125
LM2596-12	15V-40V	200mA-3A	12	11.4	12.6	60	88	-40~125
MIC29300-5.0	6V-26V	10mA-3A	5	4.93	5.1	30	-	-40~125
AS1117L-3.3	4.75V-12V	0-1A	3.3	3.234	3.366	30	-	-50~140
XW-24V-12V 10A	15V-36V	10A	12	11.82	12.3	80	93	-40~85

LM2596-ADJ 电气参数如表 2-8 所示：

表 2-8 LM2596-ADJ 参数表

输入电压	输出电压	输出电流	转换效率
4.5V-40V	1.23V-37V	3A(最大)	92%（最高）
开关频率	负载调整率	电压调整率	工作温度
150KHZ	±3%	±0.5%	-40℃~125℃

(2) 沙基机器人各个系统的需求功率计算

通过以上供电参数的分析，沙基机器人功率需求量较大的几个部分包括轮驱动系统、电池板驱动系统、通信系统和电磁锁部分等，轮驱动系统和电池板驱动系统所需求的功率为：

$$P1 + P2 = 288 + 75 = 363W \tag{2-14}$$

由于通信系统和电磁锁为 12V 供电，需要用 LM2678-12 转换为 12V 电压为其供电，LM2678-12 的典型转换效率为 92%，所以，通信系统和电磁锁所需求的功率为：

$$\frac{P3+P4}{92\%}=179.5W$$

(2-15)

通过对沙基机器人的需求功率估算，总的需求功率约为 560W。如果沙基机器人这几部分同时工作的话，则需要电源提供至少 560W 的功率。

由于本供电系统的能源来自太阳能供电，而太阳能转换为电能的速度较慢，这样就会出现沙基机器人工作时间短、工作效率低以及电能损耗过大、利用率较低等问题。因此，在设计供电系统时，供电电源需要设计为主机连续供电电源和程控电源两种供电电路，其中对于系统中不能断电的或者电能损耗小的部分采用主机连续供电电源，如单片机系统、Zigbee 模块和电流检测模块等；对于工作功率较高的部分采用程控电源供电，对电源供电系统实行智能管理，如轮驱动系统、电池板驱动系统、通信系统和电磁锁等。

(3) 供电电源选型

程控供电电源设计是采用单片机端口输出的逻辑电平去开启或者关断相应的电源，设计中是通过继电器来完成对电源开关的控制。由于电磁锁、驱动系统中伺服电机和通信系统的工作电流不同，所以在程控电源的设计中共选用 4 个继电器，分别控制两个电磁锁、通信系统电源和驱动系统中伺服电机电源的通断。其中电磁锁的额定电流为 1.5A，六组伺服电机的额定电流共约为 15A，通信系统额定电流为 10A。所以两组电磁锁选用额定电流为 8A 的继电器，伺服电机与通信系统分别选用额定电流为 20A 的继电器。继电器型号及参数如表 2-9 所示：

表 2-9 继电器型号参数表

型号	额定电压	吸合电压	释放电压	线圈电阻	额定电流	触点负载	工作温度
835NL-1A-B-S	12 VDC	9V	1.2V	320Ω±10%	8A	8A 250 VAC	-40℃~
						8A 30 VDC	+85℃
G4A-1A-PE	12 VDC	3.75	0.5	178Ω±10%	20A	20A 250 VAC	-40℃~
						20A 30 VDC	+85℃

由于本设计采用了程控电源设计，所以在选择供电电源时，应选择为满足沙基机器人能够正常工作的前提下，功率尽可能小的锂电池。本设计选择的锂电池参数如表 2-10 所示：

表 2-10 锂电池参数表

额定电压	额定容量	充电电压	充电电流	额定放电电流	工作温度	
					充电状态	放电状态
24V	20AH	29.4V	4A	30A	0~45℃	-20~40℃

2.4 本章小结

本章主要介绍了供电系统的技术参数和供电对象、电源转换芯片及供电电源的参数分析和器件选型。对供电系统的技术参数进行了分析，其中包括沙基机器人供电系统的项目要求和技术指标的分析与确定；通过理论分析和计算，分别确定了轮驱动系统、电池板驱动系统、采集模块、电磁锁、温控模块和通信系统、电源转换芯片和供电电源的型号与参数，并对沙基机器人各个系统所需求的功率进行了估算。

第三章 供电系统方案设计与分析

在沙漠腹地，沙基机器人的电能主要是依靠太阳能转换获得。而太阳能转换为电能的速度又较慢，因此，为了提高沙基机器人电能的利用率，降低系统对电能的损耗，本项目对沙基机器人供电系统进行了优化设计。设计中，将供电系统分成主机连续供电电源和程控供电电源两部分。其中对于系统中不能断电的或者电能损耗小的部分采用主机连续供电电源，如单片机系统、Zigbee 模块和电流检测模块等；程控供电电源主要由单片机控制其通断。对于功耗较高的系统采用程控电源供电，如轮驱动系统、电池板驱动系统、通信系统和电磁锁等。当需要这些高功耗系统工作时，单片机系统控制程控电源对其供电；当高功耗系统工作完成后，单片机系统控制程控电源对其断电。这样，通过单片机对电源供电系统实行智能管理，以节省电能。同时为了使沙基机器人能够在条件非常恶劣的沙漠环境中进行工作，设计了 PID 温度控制系统。

3.1 供电系统总体设计方案

通过对沙基机器人各组成系统的参数分析和器件选型设计，在沙基机器人供电系统中，供电电源电压为 24V，在满足功率需求的前提下，供电系统需要分别提供 24V、15V、12V、±9V、5V 和 3.3V 为各个系统和模块提供相应的工作电压。

供电系统总体框图设计如图 3-1 所示：

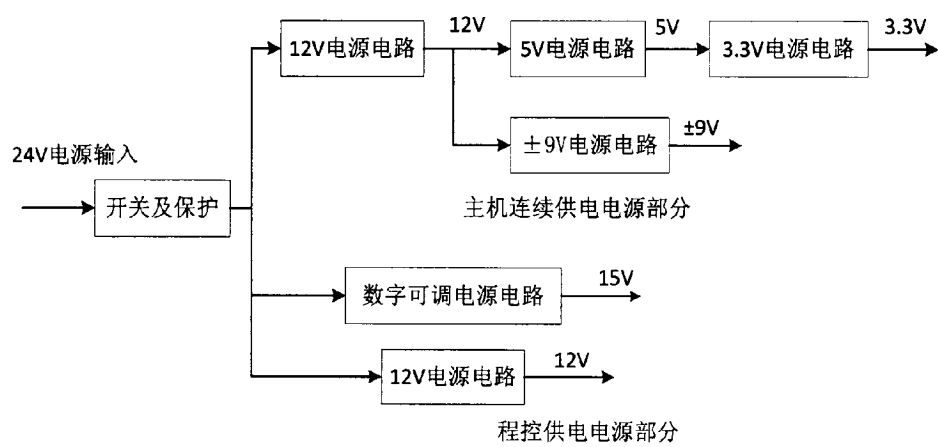


图 3-1 供电系统总体设计框图

3.1.1 主机连续供电电源系统设计

供电电源锂电池输出的 24V 电压为主机连续供电电源系统供电，设计中选用降压型 DC-DC 开关电源转换芯片 LM2596-12 将由锂电池输入的 24V 电压转换为 12V 电压输出；选用三端稳压芯片

MIC29300-5.0 将 LM2596-12 输出的 12V 电压转换为 5V 输出, 并为 GPRS 模块; 由时基芯片 NE555 组成的 $\pm 9V$ 电压产生电路转换的 $\pm 9V$ 电压为电流检测模块供电, 其中电流检测模块主要选用的是 INA138; 5V 电压经由三端稳压芯片 AS1117L-3.3 转换为 3.3V 电压, 分别为 Zigbee 模块和单片机 C8051F020 提供供电电压。

主机连续供电电源系统框图如图 3-2 所示:

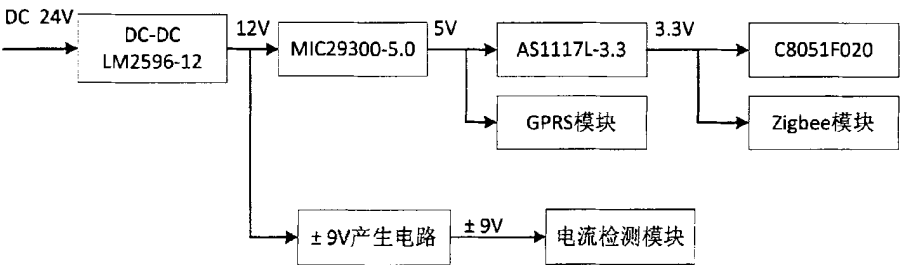


图 3-2 主机连续电源系统框图

3.1.2 程控供电电源系统设计

供电电源锂电池输出的 24V 电压同时为程控供电电源系统供电, 设计中选用开关电源转换芯片 LM2678-12 将 24V 电压转换为 12V 电压, 并连接到 4 个继电器的线圈引脚和其中的 2 个 835NL 继电器的触点引脚。当单片机 C8051F020 控制 835NL 继电器闭合时, 供电系统为电磁锁提供 12V 的供电电压; 供电电源锂电池 24V 电压连接 G4A 继电器的触点引脚, 当单片机 C8051F020 控制 G4A 继电器闭合时, 供电系统为轮驱动系统和电池板驱动系统的伺服电机或者通信系统提供 24V 供电电压; 同时锂电池输出的 24V 电压又为两片开关电源芯片 LM2596-ADJ 供电: 其中一片 LM2596-ADJ 将 24V 电压转换为 15V 电压为采集模块供电; 另一片 LM2596-ADJ 将 24V 转换为可调电压输出, 通过控制系统对温控模块进行 PID 温度控制。

程控供电电源系统设计框图如图 3-3 所示:

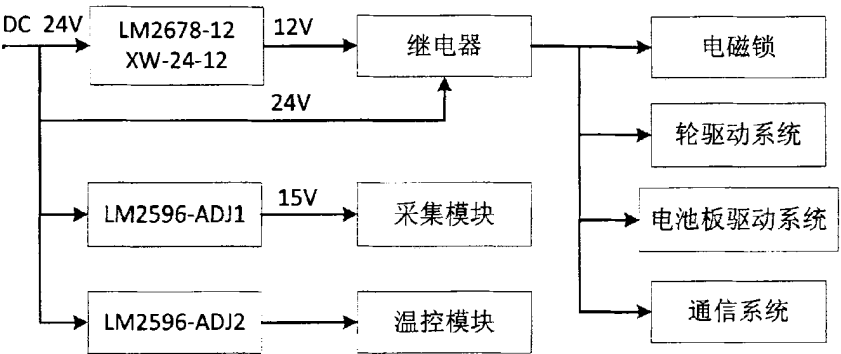


图 3-3 程控供电电源系统设计框图

3.2 基于 LM2596-ADJ 的温控系统设计

3.2.1 PID 算法分析

PID 控制算法是指用被控量与设定值的偏差进行比例、积分和微分运算来调节控制量的输出，具有原理简单，易于实现和应用广泛等优点。

PID 经典模拟控制原理框图如图 3-4 所示：

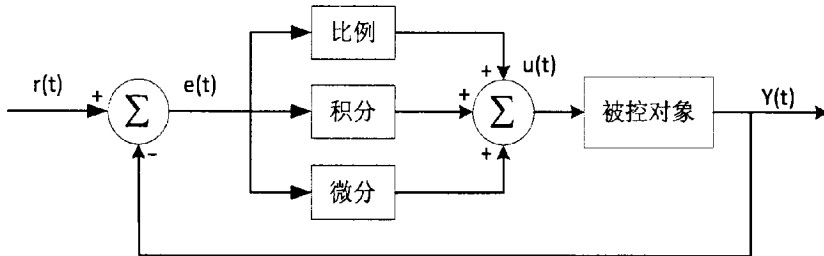


图 3-4 PID 经典模拟控制原理图

由框图可以看出， $e(t) = r(t) - y(t)$ ，其中 $r(t)$ 为设定值， $y(t)$ 为实际输出值， $e(t)$ 为设定值与实际输出值的偏差。然后对偏差进行比例、积分和微分计算，得到控制量 $u(t)$ 。

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (3-1)$$

其中 K_p 比例增益， T_i 为积分时间， T_d 为微分时间。再用 $u(t)$ 去控制被控对象，调节实际输出值，完成 PID 控制。

为了用单片机实现 PID 控制，需要将模拟信号进行采样，使其离散化。设采样周期为 T ，当 T 很小时， dt 可以用 T 来代替，这样就可以把上面的微分方程转换成差分方程。转换如下：

$$\int e(t) dt \approx \sum_{j=0}^n T e(j) \quad (3-2)$$

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(n) - e(n-1)}{T} \quad (3-3)$$

其中， T 为采样周期， n 为采样周期序号， $e(n)$ 为第 n 次采样周期所得的偏差， $e(n-1)$ 为第 $(n-1)$ 次采样周期所得的偏差。

则：

$$u(n) = K_p \left\{ e(n) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^n e(j) + \frac{T_d}{T} [e(n) - e(n-1)] \right\} \quad (3-4)$$

这样就将模拟 PID 调节转化为了数字 PID 调节，便于单片机控制。

为了便于编程，本设计采用增量式 PID 控制算法。增量式 PID 控制算法如下：根据式 (3-4) 可得到：

$$u(n-1) = K_p \left[e(n-1) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^{n-1} e(j) + \frac{T_d}{T} (e(n-1) - e(n-2)) \right] \quad (3-5)$$

则控制量增量:

$$\begin{aligned} \Delta u(n) &= u(n) - u(n-1) \\ &= K_p \left[e(n) - e(n-1) + \frac{T}{T_i} e(n) + \frac{T_d}{T} (e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)) \right] \\ &= K_p [e(n) - e(n-1)] + K_i e(n) + K_d [e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)] \end{aligned} \quad (3-6)$$

其中, K_p 为比例增益, $K_i = K_p \frac{T}{T_i}$ 为积分系数, $K_d = K_p \frac{T_d}{T}$ 为微分系数。

综上所述, 计算 $\Delta u(n)$ 和 $u(n)$ 需要用到历史数据 $e(n-1)$ 和 $u(n-1)$, 需要存于单片机内的存储器中。计算完 $u(n)$ 后, 需要将 $e(n)$ 数据存入 $e(n-1)$ 单元中, 把 $u(n)$ 存入 $u(n-1)$ 单元, 保存历史数据示意图如图 3-5 所示。这样为下一时刻计算做好准备^[11]。

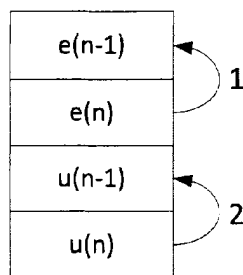


图 3-5 PID 数据存储单元

可见, 采用增量式数字 PID 算法具有编程容易, 历史数据可以循环使用的特点, 而且源程序占用单片机的内存空间小, 程序运算速度较快。

3.2.2 PID 温控系统设计

PID 温度控制系统设计框图如图 3-6 所示:

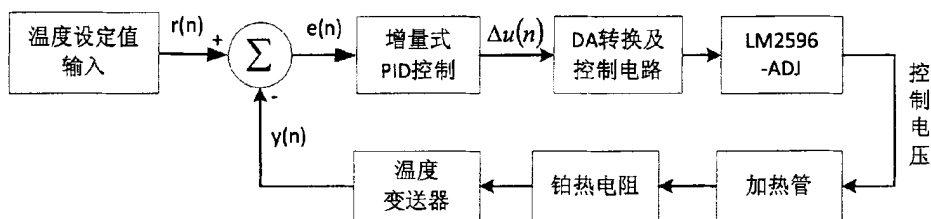


图 3-6 PID 温度控制调节框图

PID 系统中输入设定的温度值设为 $r(n)$, 铂热电阻对环境温度进行检测, 通过温度变送器将采集到的温度数据转换为 0 至 3.3V 的电压值送入单片机端口, 获得温度采集数据 $y(n)$, 将温度的设定值与温度的采集值做差值运算, 从而得到设定值与温度采集值的偏差 $e(n)$ 。根据框图 3-6 所示, $e(n) = r(n) - y(n)$, 将 $e(n)$ 通过增量式 PID 算法得到控制量的增量 $\Delta u(n)$ 。用控制量的增量 $\Delta u(n)$ 通过 DA 转换及控制电路对 LM2596-ADJ 的输出电压进行控制, 由 DC-DC 转换电路输出的控制电压为加热管供电, 从而控制电热管的功率来调节环境温度。

3.3 本章小结

本章主要提出了沙基机器人供电系统的设计方案以及基于 LM2596-ADJ 的温度控制系统的设计方案。沙基机器人供电系统的设计主要包括主机连续供电电源系统的设计方案和程控供电电源系统的设计方案；温度控制系统的设计主要是对经典的模拟 PID 算法和数字 PID 算法进行了初步介绍和原理分析，并通过可调电源转换芯片 LM2596-ADJ、电热管、温度采集电路和单片机等设计了 PID 温度控制系统。

第四章 供电系统硬件电路设计

4.1 主要芯片介绍

(1) LM2596 系列

LM2596 系列开关电源转换芯片是一种降压型直流电压转换芯片，它的转换效率较高，最高可以达到 90%以上，输出电流最大可以达到 3A，输出电压分为 3.3V、5V、12V 和可调电压输出。

LM2596 系列开关电源转换芯片的内部的元器件数量较少，而且内部开关的振荡频率较高，使 LM2596 系列开关电源转换芯片具有体积小，电源转换效率高特点。而且 LM2596 系列开关电源转换芯片所需的外围元件很少，因此，在直流转换电源的设计中，选用 LM2596 系列开关电源转换芯片可以大大简化开关电源的设计步骤。

LM2596 系列内部结构图如图 4-1 所示：

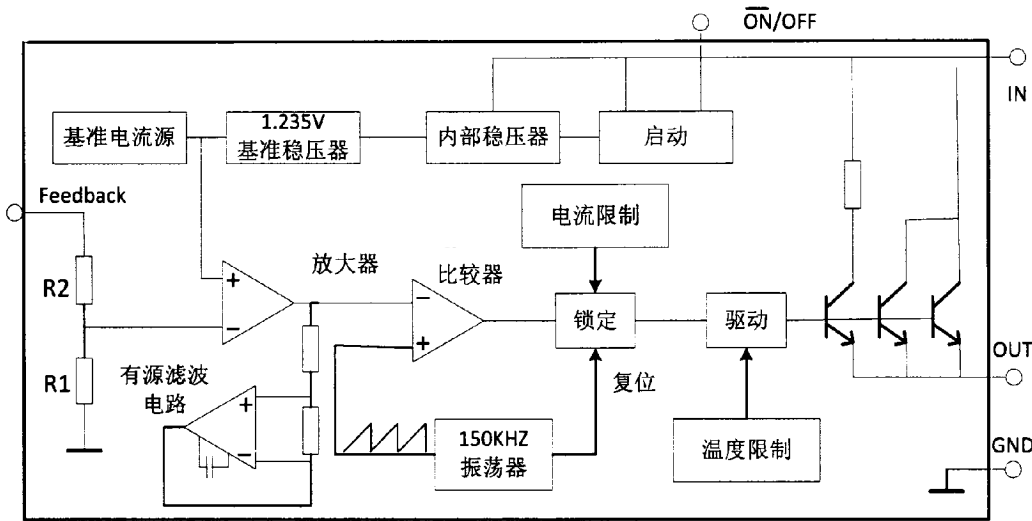


图 4-1 LM2596 系列芯片内部结构图

由图 4-1 可以看出，LM2596 系列开关电源转换芯片内部主要包括内部包括 150KHz 的振荡器、基准稳压器、内部稳压器、热关断电路、电流限制电路、放大器、比较器等。其中，1.235V 的基准电压接到放大器的正端，放大器的负端接到分压电阻 R1 与 R2 之间。当电阻 R1、R2 的分压比不同时，放大器的输出电压也不同。放大器的输出接入比较器的负端，比较器的正端接入 150KHz 的振荡信号，变化的直流电压会通过比较器改变振荡信号的占空比，形成 PWM 控制，经过驱动电路去调节开关管导通和截止周期，从而控制输出电压的大小。输出电压同时通过外部的内反馈电路反馈到放大器的负端，使放大器的负端电压重新锁定在 1.235V，输出电压达到稳定状态。

LM2596 系列主要包括固定电压输出型 LM2596-3.3、LM2596-5、LM2596-12 和可调电压输出型 LM2596-ADJ。其中 $R1=2.5\text{ K}\Omega$ ，根据输出电压公式：

$$V_{out} = V_{REF} (1 + \frac{R_2}{R_1}) \tag{4-1}$$

当 R_2 的阻值分别取 $4.2\text{ K}\Omega$ 、 $7.6\text{ K}\Omega$ 和 $21.8\text{ K}\Omega$ 时, 由式 4-1 可以计算出输出电压为 3.3V 、 5V 和 12V , 分别对应于 LM2596 系列的三种固定电压输出型芯片类型。而对于可调电压输出型芯片 LM2596-ADJ, R_1 、 R_2 组成的电阻分压器接到了芯片外部, 通过调节 R_1 、 R_2 的分压比可以方便的调节输出电压。

此外, LM2596 系列内部的热关断电路和电流限制电路起到保护芯片的作用, 提高了芯片的稳定性并延长了使用寿命。

LM2596 系列的管脚图如图 4-2 所示:

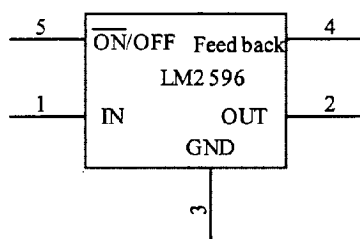


图 4-2 LM2596 系列管脚图

管脚说明: LM2596 的输入电压由管脚 1 输入, 输入电压的范围在 $4.5\sim 40\text{V}$ 之间; 2 脚为 LM2596 内部开关管的电压输出端, 需外接电感、电容及二极管等元件构成 BUCK 斩波电路; 3 脚为接地管脚; 4 脚为反馈管脚, 输出电压与反馈脚之间需要接入反馈电阻构成负反馈回路, 使输出电压稳定; 5 脚为开关控制管脚: 当 5 脚接入低电平时, 开启正常工作模式; 当 5 脚接入高电平时, 电路停止工作, 输出电压降至 0V 。

(2) LM2678 系列

LM2678 系列开关电源芯片内部结构与 LM2596 系列类似, 区别是引脚功能不同, 而且 LM2678 系列的开关电源芯片内部基准电压为 1.21V , 内部振荡器的振荡频率为 260KHz , 增加了增益补偿、伺服电路等部分。LM2678 系列开关电源芯片输出电流最大可达 5A , 满足沙基机器人系统的设计要求。LM2678 系列管脚图如图 4-3 所示:

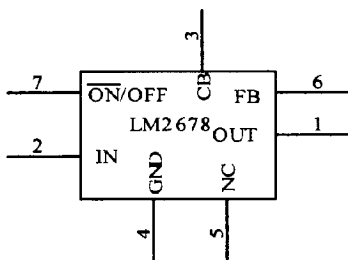


图 4-3 LM2678 系列管脚图

引脚 1 为电压输出端, 输出电压通过内部的开关管输出; 引脚 2 为电压输入端, 连接需要进行电压转换的电源。输入电压的范围在 $8\text{V}\sim 40\text{V}$ 之间, 同时为 LM2678 开关电源转换芯片的内部电路提供相应的偏置电压。为了保证电源输出的稳定性, 通常在 2 脚接一个旁路电容; 为了保证

LM2678 内部的开关管在导通时能够处于全导通状态,减小开关管的损耗,提高电源转换效率,通常在 3 脚和 1 脚之间连接一个约 $0.01\mu F$ 的升压电容;引脚 4 接地引脚;6 脚为反馈引脚,通常与电压输出端之间接入反馈电阻网络,以构成负反馈环路,保证输出电压的稳定性;引脚 7 为开关控制引脚,可以控制 LM2678 的开启与关断。

(3) 三端稳压电源芯片

MIC29300-5BT 是大电流低压差稳压器,通过调整内部的调整管来实现稳定的降压功能,属于降压型电源转换芯片,特点是工作反应速度快,输出纹波较小,而且具有过流和过热断电保护功能,可为负载提供 3A 的负载电流和稳定的 5V 输出电压。MIC29300-5.0BT 稳压器引脚图如图 4-4 所示:

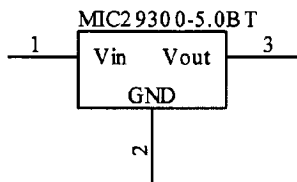


图 4-4 MIC29300-5BT 引脚图

其中,1 脚为电源电压输入引脚输入电压范围为 5.5V-16V;2 脚为接地引脚;3 脚为 5V 电压输出引脚。

AS1117 系列是低压差的三端线性稳压器,特点是外围器件少,电路简单,输出波纹小。AS1117-3.3BT 能够对外电路提供稳定的 3.3V 电压,只需要在电压输入端和电压输出端分别接入滤波电容即可。芯片内部主要包括电压基准源电路、功率管及其驱动电路、过热保护电路以及过流保护电路等。当 AS1117 系列芯片的内部温度高于 140°C 以上时,芯片自动开启过热保护模式;当负载电流大于 1.4A 时,芯片开启过流保护模式,可以保证整个电路系统的安全性。AS1117L-3.3BT 线性稳压电路引脚图如图 4-5 所示:

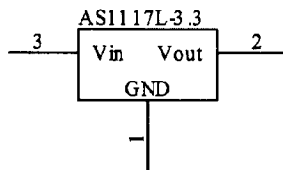


图 4-5 AS1117-3.3BT 引脚图

图 4-5 中,3 脚为电源电压输入引脚,输入电压范围为 4.25V-15V;1 脚为接地引脚;2 脚为 3.3V 电压输出引脚。

(4) 单片机 C8051F020

本设计中采用的单片机型号是 C8051F020,是由 Silicon 公司推出的产品,与 8051 系列完全兼容。基本配置如下:

C8051F020 是一款集成度非常高的混合信号芯片,除了 51 单片机基本功能之外,又集成了 AD 和 DA 转换器、PCA 阵列和内部交叉开关及电压比较器等模块。内置 25MIPS 的高速微控制器内核;片内 FLASH 存储器的容量为 64KB;具有内部振荡器,可提供频率高达 24.5MHz 的时钟信号,

精度高达±2%，可编程，支持串口操作；通用的 I/O 口引脚共有 64 个，并可以将 64 个 I/O 口配置的输入、输出模式和弱上拉模式；内部数字外设可以通过数字交叉开关映射到端口 0 和端口 1 端口的引脚上，可以通过配置交叉开关控制寄存器 XBRO, XBR1 和 XBR2 对交叉开关网路进行控制；AD 模块内置真 12 位逐次逼近型模数转换器，转换速率为 100 ksp/s，8 路 ADC 通道，并附带 PGA 和多路模拟开关；DA 模块具有两个 12 位电流输出型数模转换器 DAC0 和 DAC1；内部包含 5 个可编程的 16 位通用的计数器/定时器。内部结构框图如图 4-6 所示：

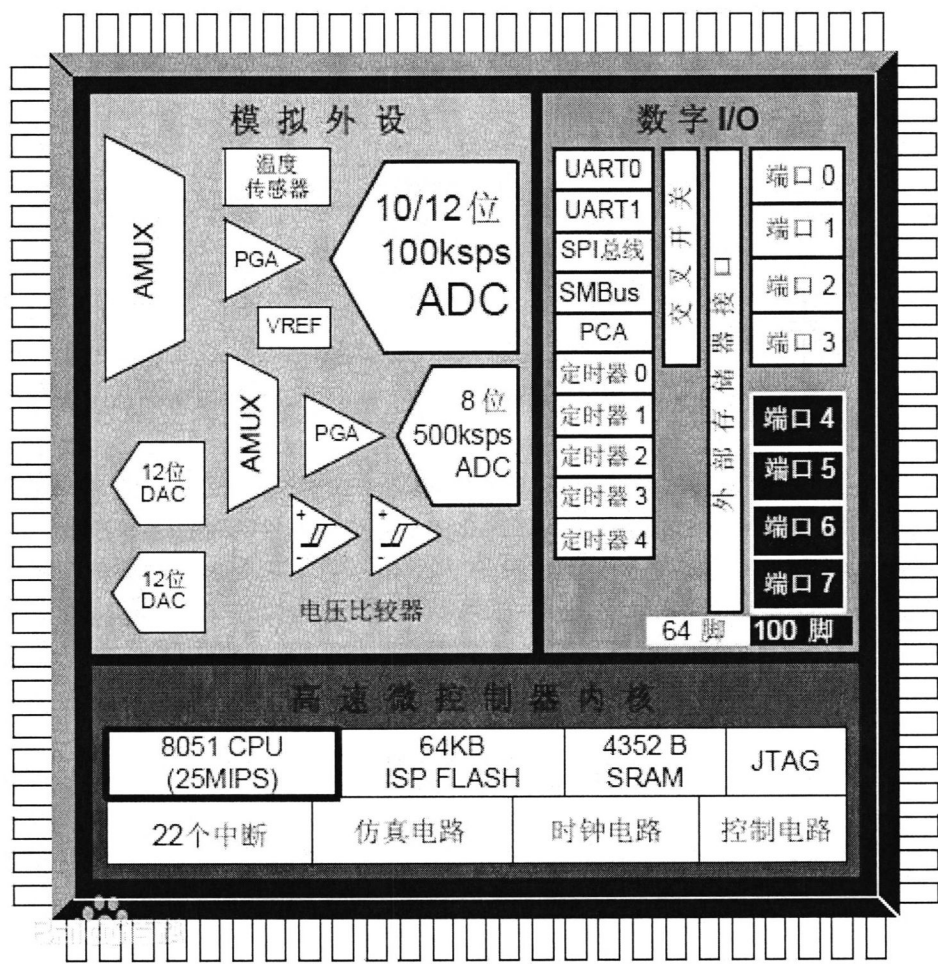


图 4-6 C8051F020 内部结构框图

4.2 主机连续供电电源系统的硬件电路设计

主机连续供电电源系统主要是通过电源转换芯片将供电锂电池输出的 24V 电压分别转换为 12V、5V、3.3V 和 ±9V 直流电压，为单片机系统、GPRS 模块、Zigbee 模块和电流检测模块等供电。

在主机连续供电电源系统中，锂电池输出的 24V 电压由开关电源芯片 LM2596-12 转换为 12V 电压输出；选用三端稳压芯片 MIC29300-5.0 将 LM2596-12 输出的 12V 电压转换为 5V 输出，为 GPRS

模块；由时基芯片 NE555 组成的 $\pm 9V$ 电压产生电路转换的 $\pm 9V$ 电压为电流检测模块供电，其中电流检测模块主要选用的是 INA138；5V 电压经由三端稳压芯片 AS1117L-3.3 转换为 3.3V 电压，分别为 Zigbee 模块和单片机 C8051F020 提供供电电压。

4.2.1 12V 供电电源电路设计

12V 供电电源电路主要是利用开关电源 LM2596-12 将供电电源锂电池输出的 24V 电压转换为稳定 12V 电压输出，并为三端稳压器和 $\pm 9V$ 电压产生电路中的时基芯片 NE555 供电。电路如图 4-7 所示：

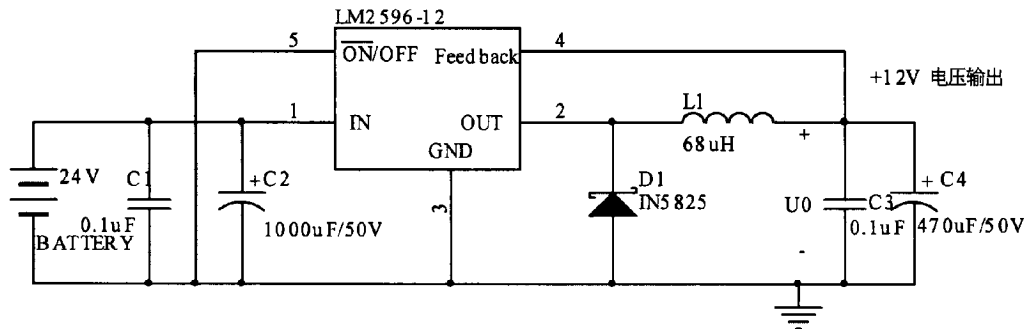


图 4-7 12V 供电电源电路图

工作原理：锂电池输出的 24V 电压连接 LM2596-12 的输入脚 1 脚，为其提供输入电压；C1、C2 为滤波电容；LM2596-12 的 5 脚为控制脚，当 5 脚接高电平时，LM2596-12 停止工作，输出电压为 0V；当 5 脚接低电平时，LM2596-12 开始正常工作。为保证 LM2596-12 的正常工作，电路中的 5 脚直接接地；LM2596-12 的内部开关管与肖特基二极管 D1、电感 L1 和电容 C3 构成了直流降压斩波电路（BUCK 电路），通过 LM2596-12 内部的 PWM 控制完成降压功能；U0 为 12V 的输出电压，同时输出电压与 LM2596-12 的反馈脚 4 脚相连，构成负反馈通路，保证输出电压的稳定性；C4 是输出电压端的滤波电容，作用用来降低输出电压的波纹系数。

4.2.2 5V 和 3.3V 供电电源电路设计

经 LM2596-12 转换输出的 12V 电压由三端稳压芯片 MIC29300-5.0BT 转换为 5V 电压，分别为 GPRS 模块和 485 通信模块等供电；同时，5V 电压经过三端稳压芯片 AL1117L-3.3 转换为 3.3V 电压，为单片机 C8051F020、Zigbee 模块和 MAX3232 等供电。电路图如图 4-8 所示：

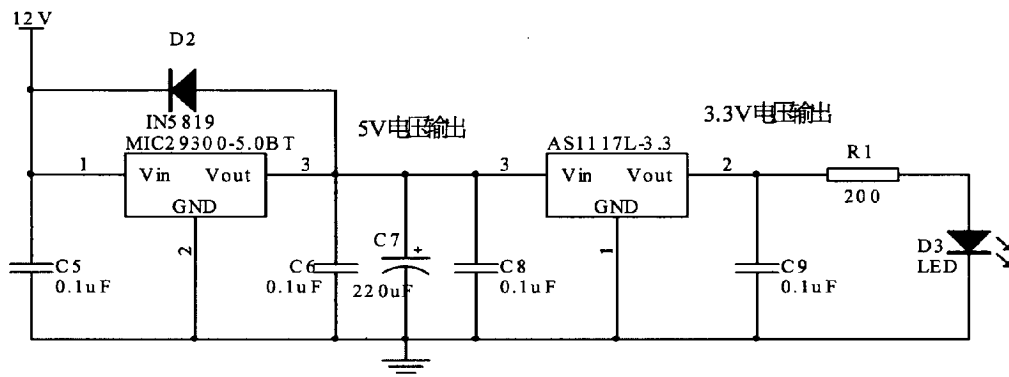


图 4-8 5V 和 3.3V 供电电源电路图

其中,电路中的二极管 D2 对三端稳压芯片 MIC29300-5.0BT 起到保护作用。假设电容 C5 短路,则输出脚 3 脚的电位会高于输入脚 1 脚,很容易击穿稳压器。在输出端 3 脚与输入端 1 脚之间反向并联一个二极管,可以有效保护三端稳压芯片 MIC29300-5.0BT 不被反向击穿;电路中的电容 C6、C7 为滤波电容,用以减小直流电压的波纹。

4.2.3 $\pm 9V$ 供电电源电路设计

LM2596-12 输出的 12V 电压由 $\pm 9\text{V}$ 电压产生电路产生 $\pm 9\text{V}$ 电压, 并为电流检测模块 INA128 供电。 $\pm 9\text{V}$ 电压产生电路如图 4-9 所示:

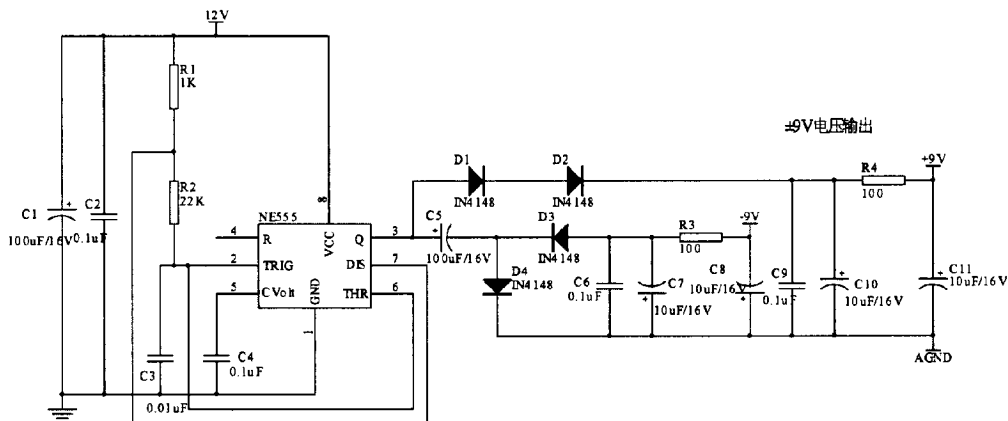


图 4-9 $\pm 9V$ 供电电源电路图

NE555 为集成时基芯片，并与电阻 R1、R2 和电容 C3 组成振荡器，由输出脚 3 脚输出脉冲信号。脉冲信号的频率为：

$$f = \frac{1}{0.7(R_1 + 2R_2)C_3} \approx 3.2 \text{ KHz} \quad (4-2)$$

当 3 脚输出的脉冲信号为高电平时, 输出电流为电容 C5 充电, 同时通过二极管 D1、D2 为电容 C10、C11 充电, 得到 +9V 电压, 二极管 D2 同时保证电容 C10、C11 不会反向放电, 以维持输出

电压的稳定；当 3 脚输出的脉冲信号为低电平时，电容 C5 的放电，并为电容 C7 和 C8 充电，由于电容 C7 和 C8 的正极接地，这样便会在负极产生 -9V 电压，而二极管 D3 保证电容 C7、C8 不会反向放电，以维持输出电压的稳定。其中，电阻 R3、R4 起到限流的作用，C1、C2 为滤波电容。

4.3 程控供电电源系统的硬件电路设计

4.3.1 程控 12V 供电电源电路设计

程控 12V 供电电源是采用开关电源 LM2678-12 将供电电源 24V 电压转换为 12V 电压，为电磁锁、继电器等部分供电。电路图如图 4-10 所示：

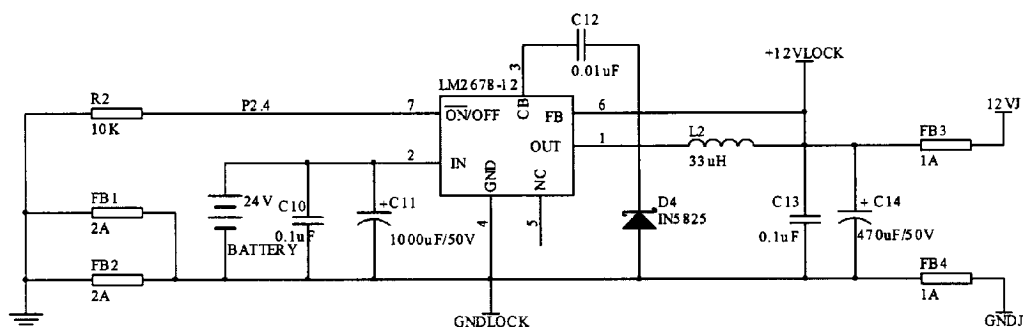


图 4-10 程控 12V 供电电源电路图

锂电池输出的 24V 电压连接 LM2678-12 的输入脚 2 脚，为其提供输入电压；C10、C11 为滤波电容；LM2678-12 的 7 脚为控制脚，当 7 脚接高电平时，LM2678-12 停止工作，输出电压为 0V；当 7 脚接低电平时，LM2678-12 开始正常工作。LM2678-12 的控制脚与单片机的 I/O 端口 P2.4 连接，这样可以通过单片机的 I/O 口来控制 LM2678-12 的开启和关闭；LM2678-12 的内部开关管与肖特基二极管 D4、电感 L2 和电容 C13 构成了 BUCK 电路，通过 LM2678-12 内部的 PWM 控制完成降压功能；电压输出端与 LM2678-12 的反馈脚 4 脚相连，构成负反馈通路，保证输出电压的稳定性；C14 为输出电压的滤波电容，用来降低输出电压的波纹；保险电阻 FB1~FB4 对电路进行过流保护。图中系统输出的 12V 电压 +12VLOCK 为电磁锁供电，经过保险电阻 FB3 和 FB4 输出的 12V 电压 12VJ 为继电器等供电。

4.3.2 程控 15V 供电电源电路设计

供电系统为采集模块提供 15V 的供电电源，15V 电压经过采集模块内部的电压转换电路转换为 12V、5V 和 3.3V 的电压，分别为采集器内部的传感器、GPRS 模块和 FPGA 模块等供电。由于没有直接转换输出 15V 电压的开关电源芯片，所以本设计采用可调开关电源芯片 LM2596-ADJ 构成可调电源电路，通过电压调节来输出 15V 电压。可调电源电路如图 4-11 所示：

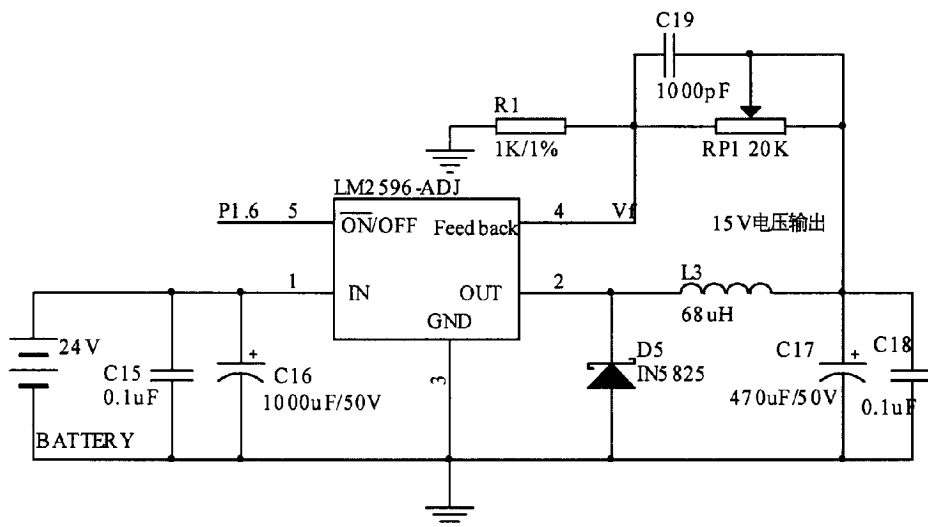


图 4-11 程控 15V 供电电源电路图

可调开关电源芯片 LM2596-ADJ 与固定电压输出的开关电源工作原理类似，区别是在 LM2596-ADJ 外部接入电阻分压网络，如图中 R_{p1} 和 R_1 ，其中 R_1 为 1K 电阻， R_{p1} 为电位器。供电电源 24V 电压由 1 脚输入，C15、C16 为滤波电容，控制脚 5 脚接单片机 C8051F020 的 I/O 口 P1.6，这样就可以使 LM2596-ADJ 的开启和关闭受单片机端口 P1.6 的控制。LM2596-ADJ 内部开关管与二极管 D1、电感 L1 和电容 C3 构成了直流降压斩波电路。 R_{p1} 与 R_1 构成电阻分压电路，调节电位器 R_{p1} 可以很方便的调节输出电压， R_1 所分得的电压送入 LM2596-ADJ 的反馈脚 4 脚。C19 为前馈补偿电容，对于高于 10V 的输出电压或者低阻抗的输出电容等情况，前馈电容会提高电路的稳定性。

输出电压与电路参数的关系如下：

设输出电压为 V_{out} ，基准电压为 V_{REF} ， $V_{REF}=1.235V$ ，根据流过 R_{p1} 与 R_1 的回路电流近似相等，可得：

$$\frac{V_{out}}{R_1 + R_{p1}} = \frac{V_{REF}}{R_1} \quad (4-3)$$

整理可得：

$$V_{out} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_{p1}}{R_1}\right) \quad (4-4)$$

工作原理如下：

调节电位器 R_{p1} 的阻值，会改变分压电路的电流， R_1 的端电压会相应变化，这样就改变了送入反馈脚的直流电压，通过 LM2596-ADJ 内部的放大器和比较器，使 150KHZ 振荡信号的占空比发生变化，通过内部驱动电路控制开关管，从而调节输出电压的大小。

当调节电位器使 R_{p1} 的阻值增大时，通过 R_{p1} 与 R_1 的电流会减小， R_1 的端电压减小，小于内部基准电压 1.235V，这样会使 LM2596-ADJ 内部放大器输出的直流电压增大。增大的直流电压接在内部比较器的负端，150KHZ 的振荡信号接在内部比较器的正端，两个信号进行比较运算后，

会使比较器输出的方波信号占空比增大，通过驱动电路驱动开关管，从而使输出电压增大。增大的输出电压使通过 R_{p1} 与 R_1 的电流增大， R_1 的端电压会随之增大。当 R_1 的端电压重新增大到 1.235V 时，内部放大器的输出为零，此时内部电路锁定，输出电压不再变化并达到稳定状态。

同理，当调节电位器使 R_{p1} 的阻值减小时，会使输出电压减小，当 R_1 的端电压重新变化到 1.235V 时，此时内部电路锁定，输出电压稳定不变。可以看出，LM2596-ADJ 是通过外部电路形成的负反馈电路来保证输出电压的稳定性。当调节电位器阻值约为 11K 时，输出电压近似为 15V。

4.3.3 单片机控制电路设计

设计中选用的单片机型号是 C8051F020，功能包括对电池电压电流的检测及处理以及对程控电源进行智能控制等。单片机的部分引脚功能如图 4-12 所示：

U201 A				U201 B			
1	P0.6	P0.7	2	GND 29	GND	GND	30 GND
3	P0.4	P0.5	4	3.3V 31	3.3V	3.3V	32 3.3V
5	P0.2	P0.3	6	33	P1.7	P1.6	34 P1.6
7	P0.0	P0.1	8	35	P1.5	P1.4	36
DAC0 9	DAC0	DAC1	10	37	P1.3	P1.2	38 P1.2
11	CP1+	CP1-	12	39	P1.1	P1.0	40
13	CP0+	CP0-	14	41	P2.7	P2.6	42
15	VREFA	VREF	16	43	P2.5	P2.4	44 P2.4
AIN0 17	AIN0	AIN1	18 AIN1	45	P2.3	P2.2	46
AIN2 19	AIN2	AIN3	20	47	P2.1	P2.0	48
21	AIN4	AIN5	22	49	P3.7	P3.6	50
23	AIN6	AIN7	24	51	P3.5	P3.4	52 P3.4
AVCC25	A3.3V	A3.3V	26 AVCC	P3.3 53	P3.3	P3.2	54 P3.2
AGND27	AGND	AGND	28 AGND	P3.1 55	P3.1	P3.0	56 P3.0
C8051F020				C8051F020			

图 4-12 C8051F020 部分引脚功能图

图 4-12 中，DAC0 是单片机内部 DAC 转换器的输出端，由于单片机 C8051F020 内置的是电流输出型 DAC 转换器，需要在输出端口接入下拉电阻，将电流变化转换为电压变化。这里主要是用 DAC 转换器的输出电压通过 DA 控制电路对温控系统中加热管的端电压进行控制，从而调节环境温度；AIN0~AIN7 为 C8051F020 内部 ADC 转换器的 8 路输入通道，其中 AIN0 连接电流检测芯片 INA128 的输出端，用来检测供电电池输出的电流状态；AIN2 连接电阻分压网络，用来检测供电电池输出的电压状态；AIN1 连接热电阻 PT100 的温度变送器，用以检测环境温度；I/O 端口 P1.6 连接可调电源电路 LM2596-ADJ 的控制脚 5 脚，可以控制 15V 电源的开关；I/O 端口 P1.2 连接 GPRS 模块的电源控制端口，可控制 GPRS 模块的电源开关；I/O 端口 P2.4 连接 LM2678-12 的控制脚 7 脚，可以控制程控 12V 电源的开关；I/O 端口 P3.4 连接温控系统中 LM2596-ADJ 的控制脚 5 脚，可以控制温控系统的开启和关断；I/O 端口 P3.0~P3.3 口通过反相器 74HC04、光耦隔离电路 T521-4 及驱动电路 ULN2004A 分别控制四组继电器的触点开关，可以分别对电磁锁、伺服电机驱动系统和通信系统电源的开通和关断进行控制。

光耦隔离电路如图 4-13 所示：

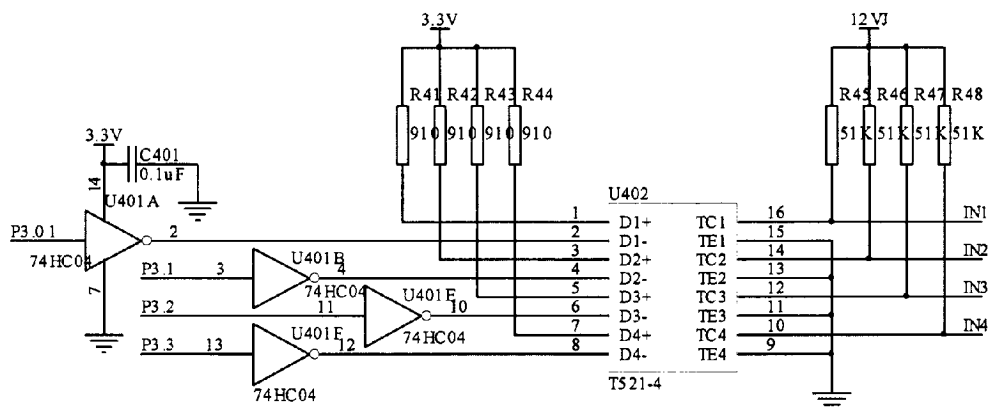


图 4-13 光耦隔离电路

其中, U401 为反相器 74HC04, 可对单片机 I/O 端口 P3.0~P3.3 的输出电平进行反相控制; U402 为光耦隔离电路 T521-4, 其中 D1+~D4+ 分别对应光耦内部四个发光二极管的阳极, D1-~D4- 分别对应光耦内部四个发光二极管的阴极, TC1~TC4 分别为光耦内部四个光敏三极管的集电极, TE1~TE4 分别为光耦内部四个光敏三极管的发射极; R41~R44 为光耦输入端的上拉电阻, R45~R48 为光耦输出端的上拉电阻; 当单片机 I/O 口 P3.0~P3.3 输出高电平时, 经过反相器后转换为低电平输入至光耦的 D1-~D4- 口, 光耦内部的发光二极管发光, 使与之对应的光敏三极管导通, 则光耦输出端 IN1~IN4 输出低电平; 反之, 当单片机 I/O 口 P3.0~P3.3 输出低电平时, 经过反相器后转换为高电平输入至光耦的 D1+~D4+ 口, 光耦内部的发光二极管无电流流过而不会发光, 与之对应的光敏三极管处于截止状态, 则上拉电阻将光耦输出端 IN1~IN4 的电位拉高至 12V 输出。光耦输入端和输出端的隔离, 可减小电路干扰, 同时对系统起到保护的作用。

继电器及驱动电路如图 4-14 所示:

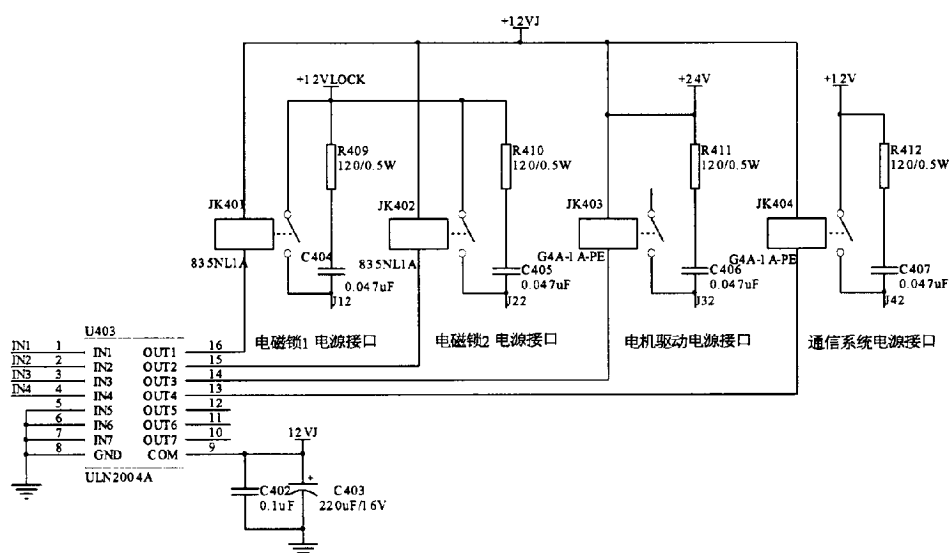


图 4-14 继电器及驱动电路

ULN2004A 为集成驱动芯片, 内部集成了 7 个大功率达林顿管, 输入端 IN1~IN4 与光耦输出端口相连, 输出端口分别连接到四个继电器 JK401~JK404 内部的线圈电阻, 线圈电阻的另一端接入 12V 电源。继电器 JK401 和 JK402 的触电开关一端接入 12V 电磁锁电源, 另一端连接电磁锁端口; 继电器 JK403 和 JK404 的触电开关一端接入 24V 电磁锁电源, 另一端分别电机驱动器电源端口和通信系统电源端口。当驱动芯片 ULN2004A 的输入端 IN1~IN4 为低电平时, 输出端口 OUT1~OUT4 输出 12V 电压, 继电器 JK401~JK404 线圈电阻两端电位相等, 没有电流, 则常开触点开关无动作; 当驱动芯片 ULN2004A 的输入端 IN1~IN4 为 12V 时, 输出端口 OUT1~OUT4 输出低电平, 继电器 JK401~JK404 线圈电阻有电流通过, 常开触点开关被吸合。当触点开关被吸合时, 电磁锁电源通过继电器 JK401 和 JK402 为电磁锁提供 12V 电源, 24V 电源通过继电器 JK403 和 JK404 分别为电机驱动器和通信系统供电。

这样,就可以实现用单片机的4个I/O端口P3.0~P3.3的输出电平通过反相器、光耦隔离电路、驱动电路和继电器等来分别控制电磁锁、电机驱动器和通信系统电源的通断。

4.4 基于可调数字开关电源的温度控制系统的硬件电路设计

4.4.1 基于 LM2596-ADJ 的可调电压电路设计

温度控制系统的设计是以可调开关电源 LM2597-ADJ 为控制对象, 结合单片机 PID 控制算法对加热管的端电压进行控制, 从而对环境温度进行智能控制。温控系统中 LM2596-ADJ 的电路设计如图 4-15 所示:

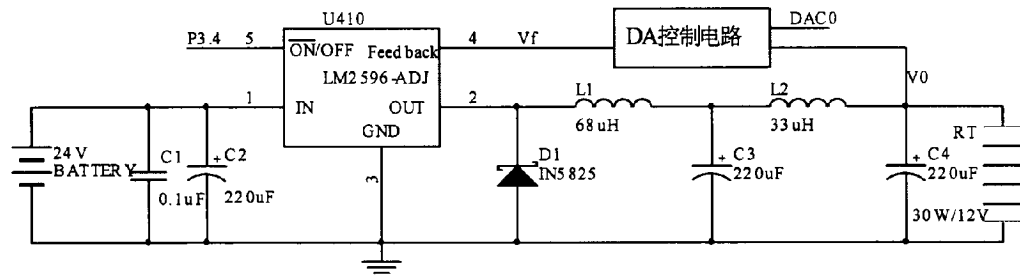


图 4-15 LM2596-ADJ 可调电压电路

图 4-15 中 24V 电压由 1 脚输入, C1、C2 为滤波电容, 控制脚 5 脚受单片机 C8051F020 的 I/O 口 P3.4 控制。开关电源转换芯片 LM2596-ADJ 内部开关管与二极管 D1、电感 L1 和电容 C3 构成了直流降压斩波电路; L2 和 C4 组成 LC 滤波网络, 作用是用来减小输出电压的波纹; LM2596-ADJ 的输出电压为电热管供电使其发热, 从而改变环境温度。

为了能够自动的调节 LM2596-ADJ 的输出电压, 使温度控制智能化, 需要单片机 DAC 转换器输出的电压能够自动控制 LM2596-ADJ 的输出电压, 形成 PID 闭环控制。因此, 在 LM2596-ADJ 的输出端和反馈端之间连接电位器, 通过改变阻值去控制 LM2596-ADJ 输出电压的经典设计电路已经不能满足设计要求, 需要将经典电路中通过改变电阻阻值去控制 LM2596-ADJ 输出电压的设计改进为通过单片机 DAC 输出电压来控制 LM2596-ADJ 的输出电压。本设计中, 在 LM2596-ADJ

的输出端和反馈端之间接入 DA 控制电路,同时,在 DA 控制电路的输入端接到单片机 C8051F020 的 DAC0 输出端。DA 控制电路的功能是实现用单片机 DAC0 的输出电压对开关电源转换芯片 LM2596-ADJ 的输出电压进行线性控制,这样就可以通过单片机对电热管的端电压进行 PID 调节,从而控制环境温度。

4.4.2 温度采集电路设计

温度数据的采集主要是由热敏电阻完成的,经过温度变送器将温度数据转换为 0-3.3V 标准电压输出,在送入单片机 AD 转换器进行转换和处理。温度采集电路如图 4-16 所示:

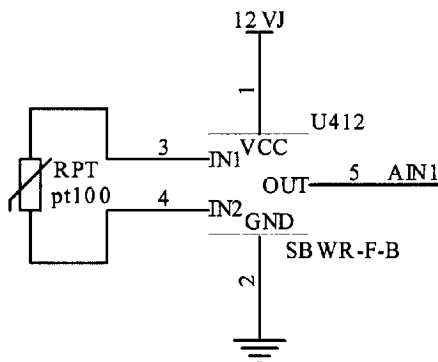


图 4-16 温度采集电路

图 4-16 中 RPT 为铂热电阻,型号为 PT100,当环境温度发生变化时,铂热电阻的阻值随之近似线性变化;温度变送器采用的型号是 SBWR-F-B,功能是将铂热电阻阻值的变化转换为 0-3.3V 的标准电压,再送入单片机 AIN1 通道进行 AD 转换,这样就可以获得温度数据并对温度数据进行相应的处理。

4.5 本章小结

本章首先介绍了硬件电路设计中所采用的主要芯片的性能指标和引脚功能以及主机连续供电电源系统的硬件电路、程控供电电源系统的硬件电路和基于开关电源 LM2596-ADJ 的温控系统的硬件电路的工作原理和设计过程。所涉及到的硬件电路主要包括:主机连续供电电源系统的硬件电路设计中的 12V 供电电源电路设计、5V 和 3.3V 供电电源电路设计以及 $\pm 9V$ 供电电源电路设计;程控供电电源系统的硬件电路设计中的程控 12V 供电电源电路设计、程控 15V 供电电源电路设计、单片机控制电路、光耦隔离电路、继电器及驱动电路;温控系统的硬件电路设计中的基于 LM2596-ADJ 的可调电压电路设计以及温度采集电路设计。

第五章 供电系统软件设计方案

供电系统软件设计是在 KEIL 的软件开发环境下，用 C 语言对单片机 C8051F020 进行编程，并通过单片机 C8051F020 分别对程控电源、A/D 转换器、电压电流采集数据和 PID 控制算法等进行相应的控制和处理。

5.1 沙基机器人供电系统主程序设计

为了节省电能，供电系统通过单片机软件编程对电源进行了智能管理，并同时防止电源出现过冲和过放等状态，延长电源的使用寿命。主程序流程图如图 5-1 所示：

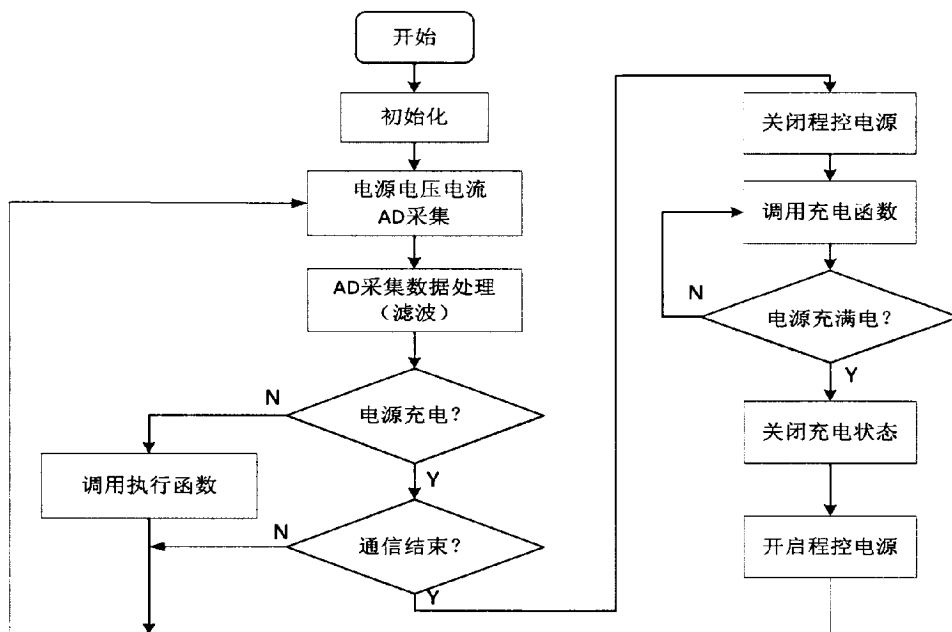


图 5-1 主程序流程图

系统初始化后，程序对电源当前电压和电流进行实时检测，根据检测结果来决定是否对电源进行充电。当程序检测到电源电压低于 23.5V，且电量低于 20%时，则系统发出充电请求，并对系统通信是否结束进行判断：当系统通信没有结束时，系统处于等待状态，以防止通信数据的丢失；当系统检测到通信结束时，关闭程控电源，停止移动、通信和采集等动作，并调用充电函数对电源进行充电；当程序检测到电源电量高于饱和电量，且电源电流小于饱和电流时，即电源电量充满，系统关闭充电状态，停止充电，以防止电源出现过冲状态。充电停止后，系统重新开启程控电源，沙基机器人恢复正常的工作状态。主程序源代码见附录 3-1。

5.2 A/D 转换程序设计

为了及时判断供电电源是否需要进入充电状态，需要对电源的电压和电流进行实时检测，检测到的电压和电流需要进行 A/D 转换器转换为数据，再由单片机 C8051F020 对数据进行分析 and 处理。

A/D 转换程序流程图及说明如图 5-2 所示：

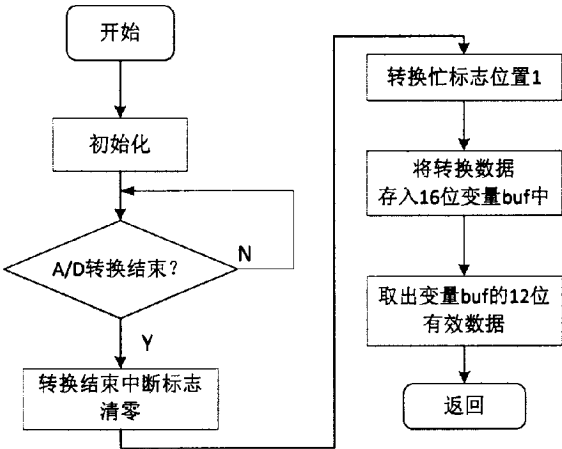


图 5-2 AD 转换程序流程图

在 AD 子程序中，初始化任务主要包括选择模拟信号输入通道、设置转换周期和使能 ADC 转换器，然后通过转换结束中断标志位和 ADC0 忙标志位判断 AD 转换是否结束。如果转换没有结束，则程序处于等待状态；当转换结束时，将转换中断标志清零，转换忙标志位置 1，为下次转换做准备。之后，将 ADC0 数据寄存器中的转换数据赋值给变量 buf，由于 C8051 单片机内置的 AD 转换器为 12 位转换，所以需要将 16 位变量 buf 中的高四位数据清零，保留 12 位有效数据。这样，变量 buf 中的数据即为 AD 转换的数据。在程序结束后跳出子程序，等待下次调用。AD 转换源代码详见附录 3-2。

5.3 采集数据处理程序设计

在测量学中，实际的测量值和真值之间的差值叫做误差，误差主要分为系统误差和随机误差。系统误差是指在多次测量同一被测量的过程中，测量结果的绝对值和符号保持恒定不变或以某种规律变化的偏差。系统误差的产生是由于器件自身的缺陷、或者使用器件的方法不规范等原因而引起的误差，系统误差可以通过优化系统的设计来控制。随机误差是指多次重复测量同一被测量时，测量结果的绝对值和符号随机变化所引起的偏差。随机误差主要与环境因素和实验条件有关，当外界因素无规则变化时，会引起测量值在真值附近发生上下起伏的变化。在单次测量中，随机误差的符号和大小都具有不确定性；多次测量时，随机误差会表现出符合统计学规律的变化。因此，在数据的传输和 AD 转换过程中，都会产生随机误差。

为了确保数据的精度和可靠性，除了选择更高精度高可靠性的器件以外，对采集到的数据进行加工处理也可以使得到的数据更为准确可靠。由于沙基机器人在工作过程中，需要不断的对电

源电压和电流进行采集，而在数据采集和 AD 转换的过程中，就会存在一定的误差和高频干扰，即随机误差，影响了数据的准确性，所以需要采集的数据进行滤波处理。本设计主要采用中值滤波法对数据进行滤波处理。流程图如图 5-3 所示：

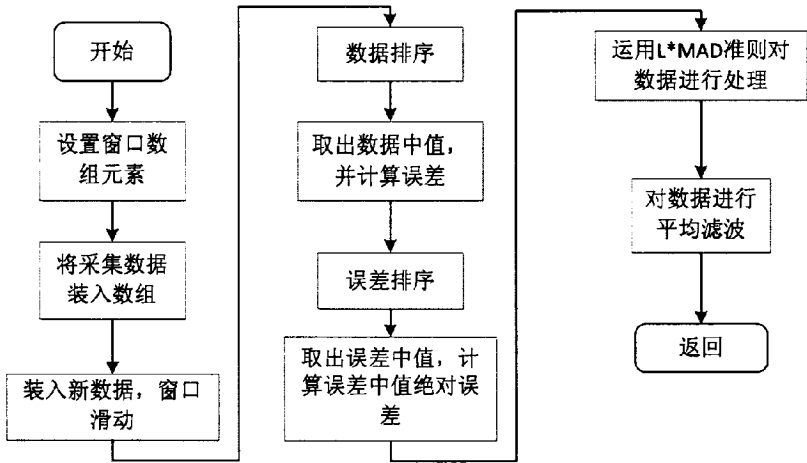


图 5-3 采集数据处理程序流程

首先对窗口数组元素进行设置，我们设置为 7 个数组元素，可以装入 7 个采集数据，然后将采集的 7 个数据装入窗口数组中。由于采集数据需要不断更新，所以每执行一次子程序，窗口数组需要装入一个新的采集数据，同时舍弃一个数据，相当于 7 个元素的窗口数组滑动。根据窗口数组内采集数据的大小进行排序，本设计采用降序方式，再将数据的中值取出，即第 4 个数组元素，并用中值与窗口数组内的数据逐个作差，进行绝对值处理后，对得到的 7 个绝对误差再进行降序排序，取出误差中值，计算标准偏差。

标准偏差 $\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N V_i^2}{(N-1)}}$ ，其中， V_i 为各项剩余误差， N 为误差项数。

由于标准误差的计算繁琐，程序执行很慢，会对其它子程序产生较大的影响，所以这里采用 $L \cdot MAD$ 准则中值滤波算法。

用 MAD 的值替代标准偏差 δ ， $MAD = 1.4826 \times D$ 其中， D 为误差中值。设绝对误差为 $d(i)$ ，当 $d(i) > 3 \cdot MAD$ 时，用数据中值替代采集的数据；当 $d(i) < 3 \cdot MAD$ 时，采集数据保留不变。

完成中值滤波后，在对数据进行平均滤波处理来去除高频噪声干扰。窗口数组内的七个采集数据经过中值滤波处理后，再进行累加，取平均值，最后得到的数据就是较为准确的采集数据。采集数据处理源代码见附录 3-3。

5.4 温控系统 PID 算法设计

在温控系统中，选用的温度变送器测量的温度范围为 0~50℃，并将其转换为 0~3.3V 电压送入单片机内的 A/D 转换器进行转换。可以看出，转换的电压与温度之间的关系为：

$$V = \frac{3.3}{50} \times T = 0.066T$$

(5-1)

由式 5-1 可以看出，温度每升高 1℃，相应的转换电压变化 0.066V，因此在程序中我们需要设置环境温度转换的电压值与设定温度值转换的电压值之间不超过 0.07V，即环境温度与设定温度不超过 1℃；当环境温度与设定温度的差值大于 1℃时，则调用 PID 算法程序进行调温控制。

温度控制系统的 PID 算法程序流程图如图 5-4 所示：

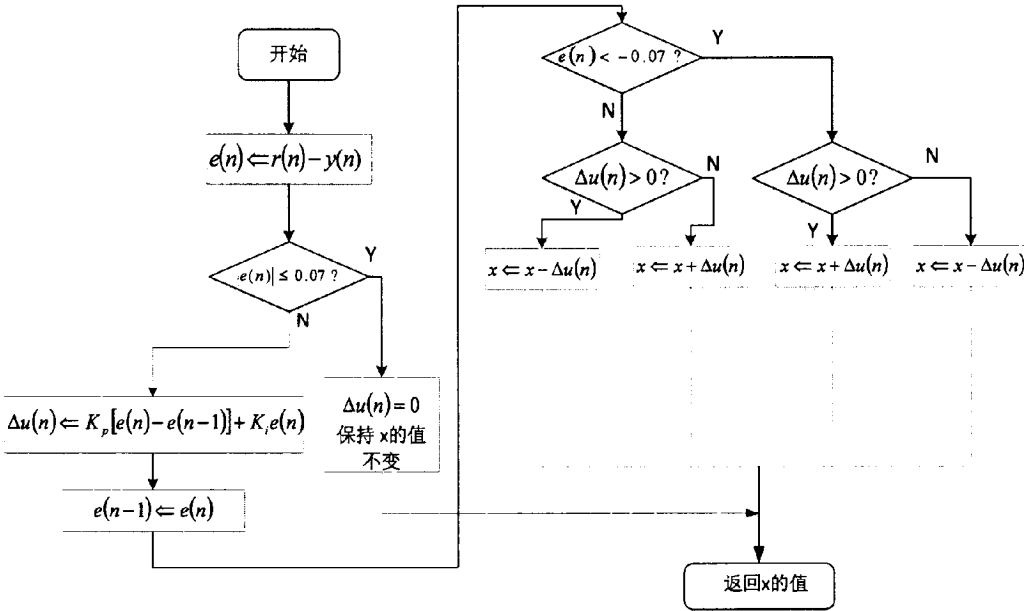


图 5-4 温控系统 PID 算法设计流程

图 5-4 中， $r(n)$ 为设定温度转换的电压值， $y(n)$ 为环境温度经 AD 转换的电压值，进入 PID 子程序后，首先将设定温度的电压值 $r(n)$ 与经过 AD 转换器处理后的环境温度转换的电压值 $y(n)$ 进行差值运算，得到偏差 $e(n)$ 的值，然后根据 $e(n)$ 的值做出相应的处理。

在这里，我们要求设定的温度与环境温度之间的温度偏差小于 1℃，根据以上分析可知，温度值每变化 1℃，对应的电压值变化 0.07V，即要求设定温度的电压值 $r(n)$ 与经过 AD 转换器处理后的环境温度的电压值 $y(n)$ 之间的差值小于 0.07V。所以当偏差 $|e(n)| \leq 0.07$ 时，我们使控制量增量 $\Delta u(n)$ 为零，保持变量 x 的值不变。其中变量 x 是送入 DA 寄存器中的数据。当 x 的值不变时，DA 转换器输出的模拟信号不变，通过 DA 控制电路控制加热管两端的电压不变，使环境温度维持在温度设定值附近；当 $|e(n)| > 0.07$ 时，系统将会进行 PID 运算，根据控制量增量公式 $\Delta u(n) \leftarrow K_p[e(n) - e(n-1)] + K_i e(n)$ 计算偏差的增量 $\Delta u(n)$ 的值。根据实际测试，当比例增益 $K_p = 4$ 、积分系数 $K_i = 0.08$ 时控制效果最佳。同时需要将当前采集偏差值 $e(n)$ 存入 $e(n-1)$ 单

-35-

元中,为下一次 PID 计算控制增量 $\Delta u(n)$ 做好准备。

而对于 $|e(n)| > 0.07$ 的条件,需要分情况考虑:

当偏差 $e(n) < -0.07$ 时,说明环境温度的电压值 $y(n)$ 大于设定温度的电压值 $r(n)$,需要系统通过 DA 控制电路去控制 DC-DC 转换电路使加热管两端的直流电压减小,以接近设定值 $r(n)$,使偏差 $e(n)$ 满足 $|e(n)| \leq 0.07$ 。

由于本设计中采用的 DA 控制电路为反相控制电路,即当单片机 DAC0 的输出电压在规定的范围内增大时,开关电源转换芯片 LM2596-ADJ 的输出电压会随之线性减小;当单片机 DAC0 的输出电压在规定的范围内减小时,开关电源转换芯片 LM2596-ADJ 的输出电压会随之线性增大。所以,DA 控制电路所输入的单片机 DAC0 的电压增大时会控制加热管两端电压减小,因此在偏差 $e(n) < -0.07$ 时只需增大送入 DA 寄存器的值,即变量 x 的值就可以控制加热管两端电压使其减小,并不断趋近于设定温度的数据值 $r(n)$,直到偏差 $|e(n)| \leq 0.07$,电热管两端电压维持稳定状态,环境温度被控制在温度设定值附近。考虑到 $e(n-1)$ 的初值及电热管端电压在变化过程中可能出现的波动,会引起偏差增量 $\Delta u(n)$ 的符号发生突变,这会影响到系统 PI 控制,所以需要判断 $\Delta u(n)$ 的符号,保证无论 $\Delta u(n)$ 是正值还是负值,变量 x 的值都会增大,使电热管端电压减小,直到满足 $|e(n)| \leq 0.07$ 为止。

同理,当偏差 $e(n) > 0.07$ 时,说明环境温度的电压值 $y(n)$ 小于设定温度的电压值 $r(n)$,需要系统减小变量 x 的值,通过 DA 控制电路去控制 DC-DC 转换电路使电热管两端电压增大以升高环境温度,不断地接近设定温度的数据值 $r(n)$,当偏差 $e(n)$ 满足 $|e(n)| \leq 0.07$,变量 x 的值不再变化,电热管两端电压维持稳定状态,环境温度被控制在温度设定值附近。

最后,程序将返回变量 x 的值,并将 x 的值送入 DA 转换子程序中进行相应的处理。温控系统 PID 算法源代码见附录 3-4。

5.5 本章小结

本章主要介绍了沙基机器人供电系统的软件设计方法和流程,主要包括供电系统主程序设计、A/D 转换程序、采集数据处理程序和温控系统 PID 算法设计。其中,供电系统主程序的主要功能是对电源电流电压进行实时检测,判断充电状态以及对程控电源进行智能管理等;采集数据处理程序的功能主要是对采集到的数据进行中值滤波,减少随机误差以获得更加准确的采集数据;温控系统 PID 算法的功能是对环境温度转化的电压值与设定温度转换的电压值进行 PID 运算,通过运算结果去控制加热管的电压,从而控制沙基机器人内部的环境温度,保证沙基机器人能够正常稳定的工作。

第六章 供电系统调试及结果分析

6.1 电源主要性能指标

1. 电压调整率

电压调整率是指当输入电压变化时提供稳定输出电压的能力，一般用输入电压在规定范围内变化时输出电压的相对变化量表示。如式 6-1：

$$S_V = \frac{|U_0 - U'_0|}{U_0} \times 100\% \quad (6-1)$$

其中， S_V 表示电压调整率， U_0 表示输出电压标称值， U'_0 输入电压变化时测量的输出电压值， $|U_0 - U'_0|$ 为输出电压的最大偏差值。

2. 负载调整率

负载调整率是指在额定输入电压不变的条件下，电源的负载电流发生变化时，（从零变化到所允许的最大值），输出电压的最大相对变化量。负载调整率计算公式如下：

$$S_I = \frac{|U_{01} - U_{02}|}{U_{03}} \times 100\% \quad (6-2)$$

其中， S_I 表示负载调整率， U_{01} 表示满载时的输出电压值， U_{02} 表示半载时的输出电压值， U_{03} 表示额定负载时的输出电压值。

为了测量和计算方便，也可以用下式来计算负载调整率的值：

$$S_I = \frac{|U_0 - U'_0|}{U_0} \times 100\% \quad (6-3)$$

其中， S_I 表示负载调整率， U_0 规格内的某个输出电压值， U'_0 表示负载电流变化时测量的输出电压值， $|U_0 - U'_0|$ 为输出电压的最大偏差值。

3. 开关电源的纹波

开关电源的输出纹波是指输出的直流电压或电流上所含有的交流成分，一般用有效值或峰值表示。有时也用纹波的相对量表示，纹波的相对量称为纹波系数，一般用百分数表示。开关电源纹波的产生较为复杂，纹波产生的来源和降低纹波的措施主要有以下五个方面：

(1) 输出的低频纹波。低频纹波源于开关电源输出电路的滤波电容，由于滤波电容的容量有限，不能够完全滤除低频纹波，会产生低频纹波的残留。可采用前级稳压和增大 DC-DC 闭环增益来减小低频纹波。

(2) 输出的高频纹波。开关电源工作时，内部的开关管不断的导通和截止，这样会导致输出的直流电压产生波动，所以高频纹波的波动频率与开关管的开关频率相等。高频纹波对负载的影响主要与开关电源的开关频率、输出端的滤波器结构和参数有关。因此，高频纹波可以通过提高开关管工作频率来降低其对输出电压的影响。

(3) 寄生参量产生的共模纹波噪声。由于开关电源电路中导线之间存在分布电容，导线本身也存在着寄生电感，这些寄生参数会产生共模纹波噪声。可以在开关电源的输出端接入共模电感和电容抵消寄生量来降低共模参数噪声。

（4）超高频噪声。开关电源电路中的肖特基二极管在反向截止时的结电容和功率管在开关状态时的结电容会与导线中的寄生电感产生谐振，这样就会引起超高频噪声。降低超高频噪声可以选用结电容小的整流管和开关管，同时减小引线长度以减小寄生电感量。

（5）闭环回路产生的纹波噪声。为了保证开关电源输出电压的稳定性，开关电源本身含有闭环控制回路，而闭环回路的自激会产生纹波噪声。可以通过在开关电源的输出端增加对地的补偿网络、合理设置闭环调节网络的开环放大倍数和调节网络的参数等措施来降低纹波噪声^[17]。

6.2 供电系统测试结果

1. 主机连续供电电源测试结果如表 6-1 所示：

表 6-1 主机连续供电电源测试结果					
主机连续供电电源	供电电压测量值 (V)	电压精度 (%)	负载调整率 (%)	电压调整率 (%)	纹波 (mV)
12V 供电电源	11.8	98.3	0.5	0.04	30
5V 供电电源	4.97	99.4	0.5	0.04	20
3.3V 供电电源	3.29	99.7	0.3	0.02	18

通过测试结果可以看出，主机连续供电电源的负载调整率、电压调整率、电压精度以及波纹等电源技术指标满足项目要求。

测量实物图如图 6-1 所示：

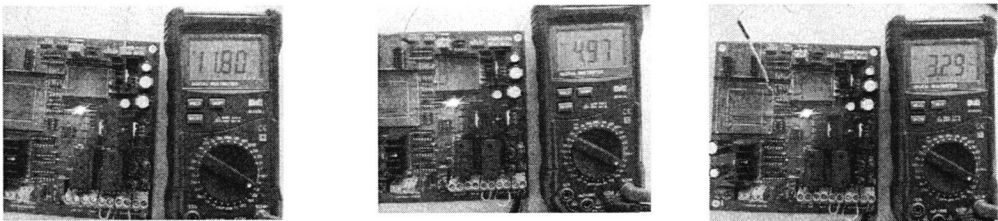


图 6-1 主机连续供电电源测量实物图

2. 程控供电电源测试结果如表 6-2 所示：

表 6-2 程控供电电源测试结果					
程控供电电源	供电电压测量值 (V)	电压精度 (%)	负载调整率 (%)	电压调整率 (%)	纹波 (mV)
12V 供电电源	11.92	99.3	2.3	0.5	25
15V 供电电源	15.07	99.5	2.7	0.6	40

通过程控供电电源测试结果可以看出，程控 12V 供电电源及程控 15V 供电电源的各项技术指标均达到了供电系统要求的技术指标，可以满足沙基机器人的电源需求。

测试实物图如图 6-2 所示：

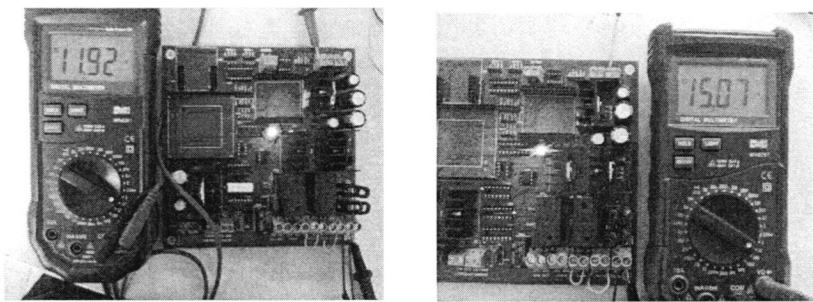


图 6-2 程控供电电源测量实物图

当开关电源芯片 LM2678-12 的控制脚 7 脚输入高电平时，输出电压降至 0V，可以通过程序控制其开启和关闭；当开关电源芯片 LM2596-ADJ 的控制脚 5 脚输入高电平时，输出电压降至 0V，可以通过程序控制其开启和关闭；调节电位器可以使 LM2596-ADJ 输出 15V 电压。

3. 供电系统整机测试

沙基机器人供电系统整机测试如表 6-3 所示：

表 6-3 沙基机器人供电系统整机测试

	待机	待机+采集器 工作	待机+采集器工作+ 太阳能电池板驱动	待机+采集器工作+ 轮驱动
工作电压（V）	24	24	24	24
工作电流（A）	0.12	0.5	1.8（无风）	3.5（启动：8.6； 上坡：最大 18）
功耗（W）	2.88	12	43.2	84（最大 432）

通常，系统工作在“待机+采集器工作”状态，容量为 480Wh 的锂电池在充满电的情况下，可供系统工作约 40 小时。数据采集器的电源是可以关断的，在不需要采集数据时，关断数据采集器的电源，会延长电池供电时间。

6.3 本章小结

本章主要介绍了开关电源的主要技术指标的定义及计算方法，并通过测量的实验数据，分别测试和计算了电源的电压调整率、负载调整率、波纹及电压精度等，实验结果表明，供电电源系统各项性能指标均达到了良好的效果，满足项目要求所规定的各项指标。

第七章 结论

供电系统是电子设备非常重要的组成部分，是为电子设备提供电能的源泉，其性能的优劣直接影响到电子设备是否能够正常稳定的工作，在系统中起到至关重要的作用。本课题来源于国家科技部国际合作项目中的一部分，项目名称为：“沙漠腹地沙尘监测与信息获取技术合作研究”。根据项目需求，设计了沙基机器人供电系统。本次毕业设计主要完成了以下任务：

1. 通过对供电系统各个组成部分的理论分析和计算，确定了供电对象、电源转换芯片和供电电源的型号与参数，并对沙基机器人各个系统所需求的功率进行了估算。

2. 提出了沙基机器人供电系统的设计方案以及基于 LM2596-ADJ 的温度控制系统的设计方案。沙基机器人供电系统的设计主要包括主机连续供电电源系统的设计方案和程控供电电源系统的设计方案；温度控制系统的设计主要介绍了模拟 PID 和数字 PID 的原理分析及算法，并通过可调电源转换芯片 LM2596-ADJ、加热管、温度采集电路和单片机等设计了 PID 温度控制系统。

3. 完成了沙基机器人供电系统的硬件和软件设计。硬件设计主要包括主机连续供电电源设计、程控供电电源设计和温控系统设计。其中，主机连续供电电源电路以电源转换芯片 LM2596-12、三端稳压芯片 MIC29300-5.0 和 AS1117L-3.3 为核心，分别设计了 12V、5V 和 3.3V 连续供电电源电路；程控供电电源电路以电源转换芯片 LM2678-12、LM2596-ADJ、单片机 C8051F020 为核心，设计了程控 12V 供电电路和程控 15V 供电电路；温控系统以 LM2596-ADJ、C8051F020、加热管、温度变送器 SBWR-F-B 和铂热电阻 Pt100 为核心，分别设计了基于 LM2596-ADJ 的可调电压电路和温度采集电路。软件设计主要包括了供电系统主程序设计、A/D 转换程序、采集数据处理程序和温控系统 PID 算法设计。

4. 通过测量的实验数据，分别测试和计算了电源的电压调整率、负载调整率、波纹及电压精度等，实验结果表明，供电电源系统各项性能指标均达到了良好的效果，满足项目要求所规定的各项指标。

经过一年多的研究和努力，沙基机器人供电系统设计已经应用于项目之中，供电效果良好。但由于时间有限，本课题所设计的供电系统还存在着一些缺陷。如供电系统的自我保护能力还不够，供电系统的电源转换效率及散热问题有待于进一步完善，如何提高供电系统的抗干扰能力和整个系统对电源的利用率等还有很大的研究空间。

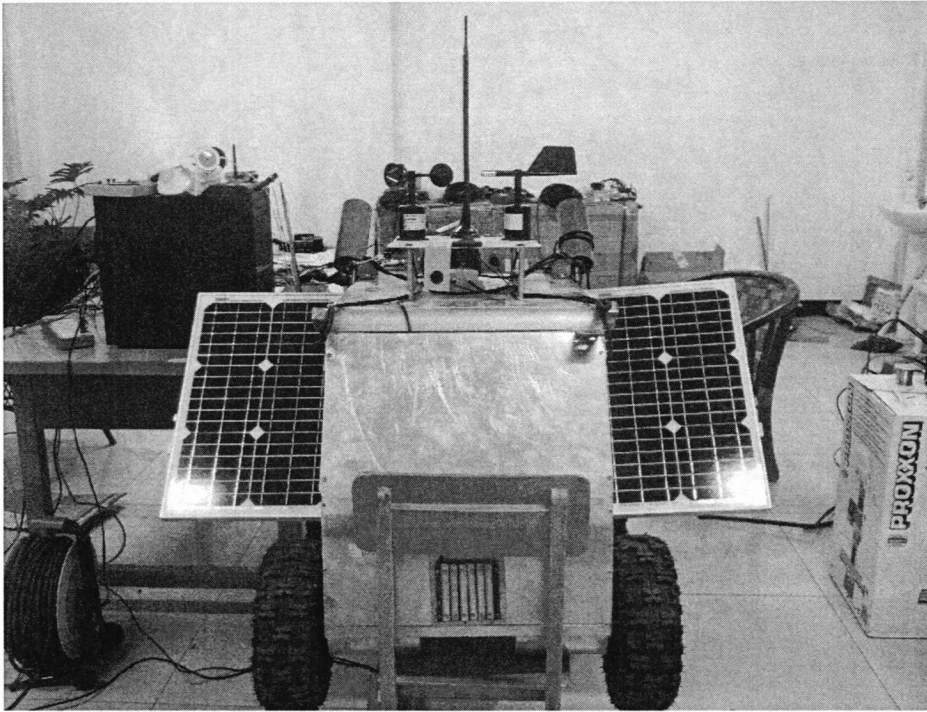
参考文献

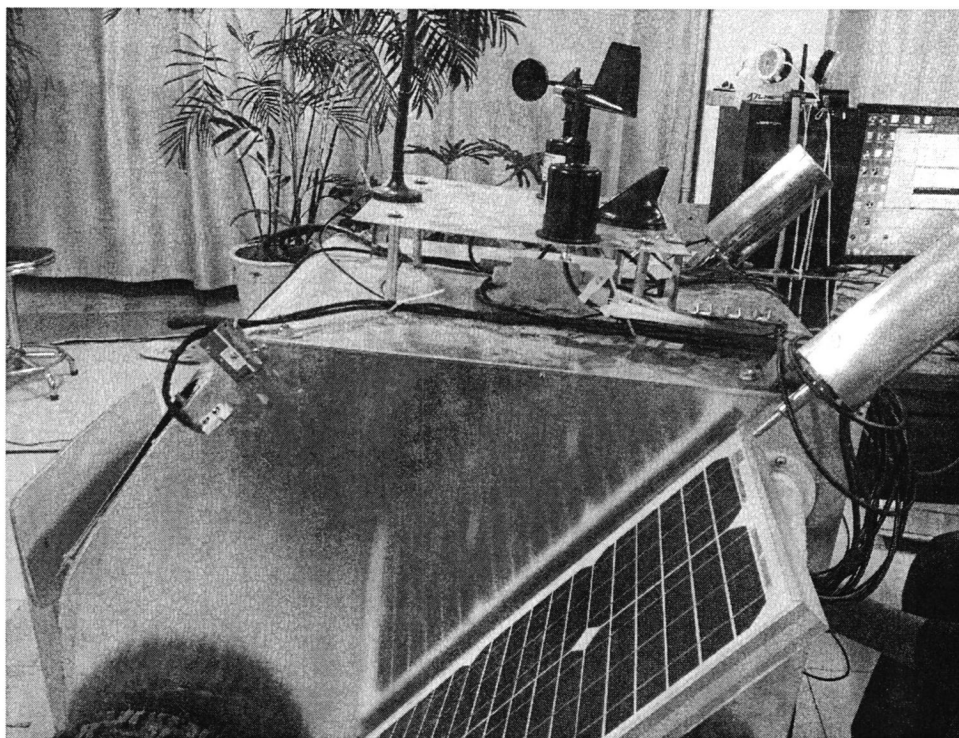
- [1]邱建平. 基于模拟与数字控制技术的电源管理芯片关键技术研究[D]. 浙江: 浙江大学[博士论文], 2013.
- [2]章丹艳. 用于现代电源系统的若干关键控制芯片研究与设计[D]. 浙江: 浙江大学[博士论文], 2008.
- [3]范志干. 基于 DSP 的数控电源设计[D]. 湖南: 湖南大学, 2014.
- [4]周栋. 沙漠信息感知机器人运动控制系统设计[D]宁夏: 宁夏大学, 2014.
- [5]Bosheng Sun, Zhong Ye. 用数字控制提高无桥 PFC 性能. 德州仪器, 2012, 2-3.
- [6]谭伟田. 沙漠环境参数监测平台设计与实现[D]宁夏: 宁夏大学, 2014.
- [7]孔维成, 李悦, 袁赛, 等. 智能化数字电源的应用于发展研究[J], 电子世界, 2012, 3:59-60.
- [8]罗刚, 高荣, 江书勇. 开关电源的数字控制技术研究[J]. 实验科学与技术, 2009, 7(2):30-31.
- [9]杨幼松, 申群太. 一种新的移相全桥软开关 PWM 变换器[J]. 通信电源技术, 2010, 3(27):1-14.
- [10]张小林, 冉建桥, 李贤云, 等. 我国开关电源发展的思考[J]. 微电子学, 2004, 34(4):402-406.
- [11]王锦标. 计算机控制系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008. 9: 12-61.
- [12]孔维成, 李悦, 袁赛, 等. 智能化数字电源的应用于发展研究[J]. 电子世界, 2012. 3.
- [13]Balogh L. A practical introduction to digital power supply control. Texas Instruments Incorporated, 2005, 13-16.
- [14]Peterchev A V. Digital pulse-width modulation control in power electronic circuits: Theory and applications. UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 2005, 15-18.
- [15]Choudhury S. Designing a TMS320F280x based digitally controlled DC-DC switching power supply. Texas Instruments Application Report, 2005:1-16.
- [16]胡庆波, 阳岳丰, 周利强等. 全数字双向 DC-DC 变换器中电流断续控制的研究[J]. 电力电子技术, 2006.
- [17]张冉, 傅志中, 张翰进等. 基于 S3C2440 的测试系统数字稳压电源设计[J]. 现代电子技术, 2011(24): 11-13.
- [18]张南山. 基于 DSP 的大功率数字电源产品化研究[J]. 电源技术应用, 2008(2):65-75.
- [19]张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [20]周志敏, 周纪海, 纪爱华. 现代开关电源控制电路设计及应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [21]Ahmad H H, Bakkaloglu B. A 300mA 14mV-ripple digitally controlled buck converter using frequency domain $\Delta \Sigma$ ADC and hybrid PWM generator[C]. 2010 IEEE International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers(ISSCC), 2010, 202-203.
- [22]Li J, Lee F C. Digital current mode control architecture with improved performance for dc-dc converters[C]. Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2008. APEC 2008. Twenty-Third Annual IEEE, 2008, 1087-1092.
- [23]罗萍, 李肇基, 熊富贵. 开关变换器的跨周期调制模式[J], 电子与信息学报, 2004:984-988.

- [24]张楠,樊锐,宁涛,李岩冰. 用于 ATE 程控直流电源. 电子测量技术. 2004, 6(2):31-33.
- [25]范新民. 高精度程控线性直流电源原理分析. 安徽电子信息职业技术学院学报. 2006, 5(5):80-81.
- [26]Birman. Paul. ProgrammablePowerSupplies. Electronic&Power. 1995, 21(4):239-240.
- [27]张亚迪,姚宏宇等. 一种低压程控电源的设计. 电源技术应用2005, 8(3):38-41.
- [28]湛玉红,姜志华,曾长松. 暖体人直流程控电源的研究与应用. 2005, 26(1):102-103.
- [29]武杰,董娟. 用AVRMCU实现的程控电源的设计. 电测与仪表. 2005, 42(7): 12-15.
- [30]Novikov. O. P, Fedonin. A. I. Programmable Current Supply. Instruments and Experiment Techniques. 1989, 31(2):968-969.
- [31]Fazzi. A, Rotta. e, Rozzi. D. High Precision, Wide Output Range, Programmable and Efficient Power Supply. PESC Record IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference. 1996, 1: 421-425.
- [32]刘胜利,吴国庆,陈国顺等. 高性能的程控交直流综合电源的设计与实现. 计算机测量与控制. 2003, 10(4):270-274.
- [33]黄珍贵,刘国福. 基于 D/A 转换器的程控电源设计. 沈阳工业学院学报. 2004, 23(3): 41-44.
- [34]蔡新举,刘华章. 一种高效程控直流电源设计. 烟台大学学报. 2003, 16(1):60-64.
- [35]Wang. Yan. High-speed Data Acquisition System Base on USB. Proceedings of the Second International Symposium on Instrumentation Science and Technology. 2002, 1(9):26-28.
- [36]郭占山,朱军,史永彬. 各种仪器设备自动测试系统的开发. 计算机应用 2002, (5):26-28.

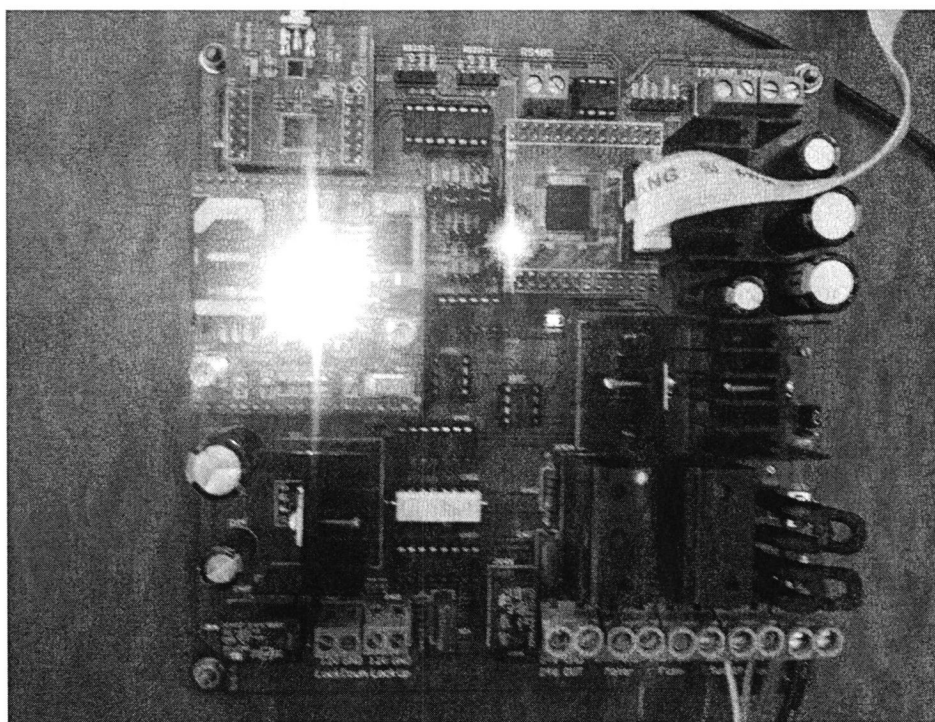
附录

附录 1：沙基机器人实物图





附录 2：沙基机器人供电电源电路实物图



附录 3：源程序

附录 3-1 主程序源代码

```

void main()
{
    enum    process_mode    package_process_mode;
    uchar    CRC_result;
    uchar    GPS_init_RETURN;
    Init_Device();
    CHASSIS_POW=1;
    RELAY_POW=1;
    ACQ_POW=0;
    CHARGE_POW=1;
    while(1)
    {
        Power_Mannagement(void);
    }
}

void Power_Mannagement(void)
{
    SYS_V_reg=ADC_Filter_Output(V_CH);
    SYS_I_reg=ADC_Filter_Output(I_CH);
    POWER_PER_reg=(SYS_V_reg-490)*100/V_MAX;
    unsigned int ad_deal(); //调用 AD 采集函数
    void wucha(); //调用数据处理函数
    if(POWER_PER_reg<MIN_POWER_reg)
    {
        LPC_reg=0xf1;    //开启低功耗模式
        ACQ_POW=1;    //关闭采集器电源
    }
    if(POWER_PER_reg>BATTERY_FULL)
    {
        LPC_reg=0xf0;
    }
    if((POWER_PER_reg<=MIN_POWER_reg)
    {
        charge_req_flag=1;    //请求充电
    }
    if(charge_req_flag==1    &&    SYS_I_reg<CHARGE_NAK)
    {
        Charging();
        charge_req_flag=0;
    }
}

```

```

        CHAREG_STATUS_reg=CHARGING;
    }
    if((POWER_PER_reg>BATTERY_FULL || ENF_STOP_CHARGE_reg==0xf1) &&
        CHAREG_STATUS_reg==CHARGING)    //电量高于饱和且正在充电
    {
        charge_stop_flag=1;    //停止充电
    }
    if(charge_stop_flag==1 && SYS_I_reg<CHARGE_NAK)    //请求停止充电且电流小于饱和
    和电流则进行停止充电动作
    {
        UN_Charging();
        charge_stop_flag=0;
        CHAREG_STATUS_reg=UN_CHARGING;
    }
}

```

附录 3-2 A/D 转换程序源代码

```

unsigned int ad_deal()
{
    delay(1000);
    ADOINT = 0;    //ADCO 使能, 正常模式, 转换结束中断标志清 0, 忙标志清 0
                  //先将转换结束中断标志置为 0
    ADOBUSY = 1;    //启动 ADC0 转换, 转换结束后此位也会变 0, 所以要不断的启动
    while(ADOBUSY == 1);    //判断是否转换结束, 不能跳回不断启动中, 因为不断启动
                          //与清标志会出错, 所以只能启动一次后再等待
                          //转换结束后 ADOBUSY 自动清 0
                          // while(ADOINT != 1)也可以判断转换结束中断标志位
    ADOINT = 0;    //转换结束后此位必须用软件清 0
    buf = ADCOH;    //转换结果的数据格式为右对齐
                  //即 ADCOH 的低四位为高四位, ADCOL 为低四位
    buf = (buf<<8) | (unsigned int)ADCOL; //将 AD 转换的结果值赋给 16 位变量
    buf &= 0xffff;
    return (buf); //将采集值 BUF 返回给函数值
}

```

附录 3-3 采集数据处理程序源代码

```

void wucha()
{
    unsigned int m=0, i, k, data1[7], temp[7], data_p;
    float d_p, mad, d[7], z, v_sum=0;
    float VoltTureValude;
    // 1. 为窗口中的数据赋初值
    if(m<7) //设置窗口数组为 7 个元素

```

```

    {
        for (i=0; i<7; i++)
        {
            data1[i]=ad_deal(); //将采集值装入数组
            m=i+1;           //或者 M++
        }
    }
}

// 2. 将原始数据集合中的数据向低位移动 1 位，最高位读入新数据(窗口滑动)
for (i=0; i<7; i++)
{
    data1[i]=data1[i+1]; //挤进一个新的采集数据，同时挤出一个采集数据，相当于
                        窗口移动
}
data1[6]=ad_deal(); //读 A/D 数据
for (i=0; i<7; i++)//取出窗口中的 n 个收据
{
    temp[i]=data1[i]; //原始数据备份
}

// 3. 对 n 个数据排序(降序)
for (i=0; i<7; i++)
{
    for (k=i+1; k<7; k++)
    {
        if (temp[i]<temp[k])
        {
            data_p=temp[i]; //数组元素交换位置
            temp[i]=temp[k]; //
            temp[k]=data_p; //
        }
    }
}
// ClearWd();

// 4. 取出数据中值
z=(float)temp[3];

// 5. 算出误差集合
for (i=0; i<7; i++)
{
    d[i]=(float)temp[i]-z;
    if (d[i]<0) d[i]=-d[i]; //取绝对值
}
// ClearWd();

// 6. 对误差排序(降序)
for (i=0; i<7; i++)

```

```

    {
        // ClearWd();
        for (k=i+1;k<7;k++)
        {
            if(d[i]<d[k])
            {
                d_p=d[i];
                d[i]=d[k];
                d[k]=d_p;
            }
        }
    }

// 7. 取出误差的中值
    d_p=d[3];
// 8. 计算中值数绝对误差 (替代  $\sigma$ )
    mad=1.4826*d_p;
// 9. 误差 $>3\sigma$  的数据用 z 替代
    for (i=0;i<7;i++)
    {
        if(d[i]>3*mad)
        {
            temp[i]=z;
        }
    }
// 10. 平均滤波, 去除高频噪声 (滑动平均)
    v_sum=0;
    for (i=0;i<7;i++)
    {
        v_sum=v_sum+temp[i];
    }
    VoltUreValude=v_sum/7;
}

```

附录 3-4 PID 算法程序源代码

```

void pid()
{
    float uk;
    cha=cc-adc_aver;

    if(cha<=0.1&&cha>=-0.1)
    {
        uk1=0;
        cha1=0;
    }
}

```

```
        IDA0=x;
    }
else
    {
        uk=3*(cha-cha1)+0.07*cha;
        cha1=cha;
        if (cha<-0.1)
        {
            if (uk<0)
            {
                x=x-uk1;
                IDA0=x;
            }
            if (uk>=0)
            {
                x=x+uk1;
                IDA0=x;
            }
        }
    }
    if (cha>0.1)
    {
        if (uk>0)
        {
            x=x-uk1;
            IDA0=x;
        }
        if (uk<=0)
        {
            x=x+uk1;
            IDA0=x;
        }
    }
}
```

致谢

行文至此，我的论文《沙基机器人供电系统设计》已接近尾声；转眼间，我两年的研究生的学习生活也即将结束。即将离别宁夏大学，离别银川，所以不免心中充满了很多的留恋和不舍，但更多的还是感激。

感谢宁夏大学，是您给了我两年的学习时光，赋予了我再次学习深造的机会。在这两年的学习生活中，我学到了很多专业知识和专业技能，必定会对我以后的生活产生深远的影响。

感谢我的导师杨泽林教授，他严谨的科研精神和一丝不苟的工作作风一直是我工作和学习中的榜样；在很荣幸的成为他的项目组成员后，我学到了很多专业知识和实践经验，他的循循善诱的教导和不拘一格的思路也给予我无尽的启迪；从供电系统的方案设计到硬件系统的制作焊接与软件调试，从论文的开题到论文的实验写作过程中，杨泽林教授都对我进行了耐心的指导和帮助，同时也提出了严格要求，并引导我不断的开阔自己的思路，培养我的创新意识，使我在科研的道路上又步入了一个新的台阶。因此，我在这里诚挚的向我的指导老师杨泽林教授表示感谢！

感谢 306 实验室所有的成员，在我工作和学习中遇到困难时，是你们给了我很多的无私帮助和支持，帮我渡过了很多的难关，同时和你们一起的学习和生活中，我感受到了最真挚的友情，再次表示感谢。

感谢我的家人，是你们在我读研究生期间，在我背后默默无私的奉献着，支持着我的学业。在这里祝愿我的家人身体健康，生活愉快。

感谢各位评委老师能够在百忙之中抽出时间评阅我的论文,谢谢各位评委老师对我的论文批评指正，你们辛苦了！

在我两年的研究生生活中，还要感谢很多默默帮助过我的老师、同学和朋友们，在这里请接受我诚挚的谢意。

最后，祝愿我的老师和同学们万事如意，身体健康，工作顺利！

个人简介

基本情况

姓名:孙培刚 性别:男 民族:汉 籍贯:吉林省敦化市 出生年月:1982 年 12 月

教育与工作经历

2002 年 9 月——2006 年 6 月	吉林师范大学	电子信息工程	学士
2006 年 7 月——2013 年 6 月	绥化学院	专任教师	
2013 年 9 月——2015 年 6 月	宁夏大学	电子与通信工程	硕士

研究生期间参与的项目

沙漠腹地沙尘检测与信息获取技术合作研究(2012/9——2015/4)

该项目由宁夏大学和上海交通大学、中科院寒旱所、美国宾夕法尼亚大学合作的科技部国际合作项目。项目编号 NO.2011DFA11780。