

**本科毕业设计（论文）**

题 目

学院名称 计算机科学与技术学院

专业名称 物 联 网 工 程

年级班级

学生姓名

指导教师

2020年06月

摘要

随着我国经济社会的飞速发展、城市规模的不断扩大，生活垃圾的产生量不断在增加，而且成分日益复杂。在这一背景下，垃圾分类问题逐渐成为人们关注的焦点，其中以城市生活垃圾的分类处理和资源化利用最为重要。生活垃圾分类对于城市良好生活环境的建立和资源最大化利用具有重要意义，而垃圾桶作为人们在生活中随处可见的环卫基础设施，随着垃圾分类的到来而得到越来越多的关注。在这个快速发展的时代，不仅分类垃圾桶正在普及，智能垃圾桶在很多城市也能看到。在我国，虽然各城市大都制定了垃圾分类的相关政策,但由于人们对于垃圾分类意思薄弱、分类知识欠缺等原因,导致实际分类效果并不理想。然而随着物联网技术、人工智能技术等的快速发展,使得智能化的垃圾分类成为国内外研究的热点。

本设计以单片机STM32F103C8T6核心板为智能控制中心，结合LD3320语音识别模块、舵机控制模块、蓝牙通信模块、语音播报模块及其外围辅助电路，构成了一个集多种功能为一体的智能语音垃圾分类系统。

语音识别智能垃圾分类器系统，是通过非特定语音识别技术结合STM32微处理器对垃圾进行智能分类的研究项目。本系统实现了智能语音识别垃圾种类、垃圾投放次数、垃圾桶开闭状态，并通过语音播报垃圾种类、开闭垃圾桶。用户可以通过语音的形式对生活垃圾进行分类投放。按照一定规定或标准将垃圾分为不同的种类，通过语音识别不同垃圾的种类开启相应垃圾箱进行垃圾的回收，并实时监测垃圾分类箱开闭状态与回收次数等数据，方便高效地对生活垃圾进行分类管理，达到垃圾分类投放的效果，提高垃圾的资源价值和经济价值，降低处理成本。

本设计能实现语音识别垃圾种类、开闭垃圾桶回收垃圾，并将垃圾分类桶数据信息上传到电脑端。通过测试各个模块之间的接口是否正确、测试每个模块的程序设计是否有误、测试整个系统是否满足设计功能和性能的要求，保证了系统的稳定性与可靠性。

**关键词：**物联网；智能环卫；语音识别；智能硬件

Abstract

The roof separation monitoring system is of great significance to the production of coal mines. It not only ensures the safety of workers, but also guarantees the safety of coal mine production.

The top plate separator is not only a special monitoring instrument for monitoring the displacement of roof strata, but also an important infrastructure for safety production of coal mine, which can effectively prevent roof collapse accidents, making sure the safety production of coal mine. However, with the development of mine informatization, the traditional top plate separator cannot meet the requirement of informatization development with its single function. In this paper, STM32F103C8T6 is used as the main control chip to design a well functioned roof separation displacement sensor with low power dissipation. The modular design method is used in the design process. The hardware part of the roof separator displacement sensor mainly includes MCU, power module, EEPROM, FLASH, Bluetooth-module and LED digital tube display module. The software part mainly includes main routine, various module drivers, data acquisition and shortage procedures, Bluetooth communication data transfer program and low power control program.

**Key words:** STM32; Roof separator displacement sensor; Low power.

目录

[1 绪论 1](#_Toc8086_WPSOffice_Level1)

[1.1顶板离层 1](#_Toc18918_WPSOffice_Level2)

[1.2顶板离层仪的现状 1](#_Toc11439_WPSOffice_Level2)

[1.3课题研究意义 1](#_Toc30454_WPSOffice_Level2)

[1.4课题研究内容 1](#_Toc13805_WPSOffice_Level2)

[2 方案设计 3](#_Toc18918_WPSOffice_Level1)

[2.1整体方案设计 3](#_Toc32407_WPSOffice_Level2)

[2.2主控芯片的选择 3](#_Toc14108_WPSOffice_Level2)

[2.3 STM32F103简介 4](#_Toc11378_WPSOffice_Level2)

[2.4 STM32F103芯片的优势 4](#_Toc11370_WPSOffice_Level2)

[3 电路设计 7](#_Toc11439_WPSOffice_Level1)

[3.1单片机最小系统 7](#_Toc5765_WPSOffice_Level2)

[3.1.1 STM32主控芯片电路 7](#_Toc11439_WPSOffice_Level3)

[3.1.2复位电路 8](#_Toc13805_WPSOffice_Level3)

[3.1.3晶振电路 9](#_Toc14108_WPSOffice_Level3)

[3.1.4 BOOT启动电路 10](#_Toc11370_WPSOffice_Level3)

[3.1.5 SWD下载电路 10](#_Toc5765_WPSOffice_Level3)

[3.2电源电路设计 11](#_Toc15453_WPSOffice_Level2)

[3.2.1电缆电路 12](#_Toc29252_WPSOffice_Level3)

[3.2.2电池升压/充电电路 13](#_Toc2323_WPSOffice_Level3)

[3.2.3 稳压3.3V电路 16](#_Toc24662_WPSOffice_Level3)

[3.3采集电路设计 17](#_Toc30668_WPSOffice_Level2)

[图3.3.1电位器实物图 18](#_Toc25830_WPSOffice_Level3)

[图3.3.2 AD采集电路 18](#_Toc21835_WPSOffice_Level3)

[3.4存储电路设计 18](#_Toc29252_WPSOffice_Level2)

[3.5唤醒电路设计 20](#_Toc8576_WPSOffice_Level2)

[3.6数码管电路设计 21](#_Toc2323_WPSOffice_Level2)

[3.6蓝牙通讯电路设计 23](#_Toc16114_WPSOffice_Level2)

[4 软件设计 25](#_Toc30454_WPSOffice_Level1)

[4.1 软件整体设计 25](#_Toc12863_WPSOffice_Level2)

[4.2 初始化程序 28](#_Toc18823_WPSOffice_Level2)

[4.2 数据采集程序 29](#_Toc24662_WPSOffice_Level2)

[4.3 数据存储程序 31](#_Toc13673_WPSOffice_Level2)

[4.4 数码管显示程序 33](#_Toc7006_WPSOffice_Level2)

[4.5 蓝牙通信程序 34](#_Toc25830_WPSOffice_Level2)

[5 电路调试与功能测试 37](#_Toc13805_WPSOffice_Level1)

[5.1电源电路调试 37](#_Toc21835_WPSOffice_Level2)

[5.2 STM32最小系统测试 38](#_Toc8081_WPSOffice_Level2)

[5.3数码管显示测试 39](#_Toc9997_WPSOffice_Level2)

[5.4蓝牙通信测试 39](#_Toc29601_WPSOffice_Level2)

[5.5低功耗测试 40](#_Toc25337_WPSOffice_Level2)

[6 总结与展望 43](#_Toc32407_WPSOffice_Level1)

[6.1总结 43](#_Toc23337_WPSOffice_Level2)

[6.2展望 43](#_Toc4000_WPSOffice_Level2)

[致谢 45](#_Toc14108_WPSOffice_Level1)

[参考文献 47](#_Toc11378_WPSOffice_Level1)

[附录 49](#_Toc11370_WPSOffice_Level1)

1. 绪论
   1. 课题的背景及意义

近年来，随着经济的飞速发展，城市生活垃圾总量也呈逐年增长的趋势，人们大量地消耗资源，大规模生产，大量地消费并产生更多废弃物，使得当今社会对于资源的可持续发展越来越重视。垃圾处理是社会的责任，不仅能使我们的生活环境更美好，也促进了资源的再生利用，从而造福于子孙后代。偌大中国，垃圾处理是否妥当有效，直接影响到全世界的环境。

当今社会对于资源的可持续发展和再利用已经相当的重视。人们大量地消耗资源，大规模生产，大量地消费，又大量地产生着废弃物。随着经济的发展，城市生活垃圾总量也呈逐年增长的态势，如何使这些垃圾变废为宝，从而实现垃圾的资源化，垃圾分类回收是最好出路。许多发达国家的垃圾分类已经实行了几十年，而且效果明显。从2002年开始中国政府提倡垃圾分类收集，但是效果却不怎么理想。垃圾分类是习近平总书记高度重视的民生工程，2016年以来多次对垃圾分类作出重要指示。2019年，北京市第十五届人民代表大会常委会第十六次会议表决通过北京市人大常委会关于修改《北京市生活垃圾管理条例》的决定，新《条例》于2020年5月1日正式实施，为有效管理生活垃圾，切实提高生活垃圾减量化、资源化和无害化提供了法律依据，标志着垃圾分类迈入新阶段。

要实现垃圾分类，各个城市首先要重视，要制定一套合理的垃圾分类回收系统，还要提高居民的环保意识。垃圾处理是社会的责任。对环境产生的影响，对子孙后代的好处。中国是个大国，垃圾处理得好坏影响到全世界的环境。只有从每家每户做起，才能从源头上做好这件事。

“垃圾桶”做为人类生活中不可或缺的必需品，随着垃圾分类的到来一夜之间集万千关注于一身。从简易垃圾桶，到脚踏垃圾桶，再到现如今的分类环保垃圾桶、智能垃圾桶，可以看出垃圾桶的发展是社会文化的折射，也是人类文明的演变。垃圾桶经历了从原始户外垃圾桶的概念时代，简易垃圾桶雏形时代，户外垃圾桶普及户外垃圾桶普及时期，垃圾桶升级换代时期，户外分类式垃圾桶时代，智能垃圾桶初期时代，每个时期都各有特色。随着时代的进步，传统垃圾桶不再局限于功能性，更多偏向于视觉丰富，那一时期的垃圾桶会随着环境变化，出现各式各样的造型。

尽管传统的户外垃圾桶在造型上比较丰富，功能却很单一，缺点也较明显，主要体现在：

（1）垃圾量检测效率低。传统垃圾桶里垃圾是否满桶并需要清运，一般是通过环卫工人定期巡检，满桶情况比较随机，不好把握，造成了环卫工人不必要的工作量。如果遇到很多垃圾桶同时满桶的情况，还会给环卫工人带来不小的工作压力。

（2）垃圾桶出现自燃现象。夏季垃圾桶自然现象相对较多，高温下食物或其他物体腐烂发酵产生热量引燃可燃物，居民没有熄灭的烟头随手丢进桶内，都会导致垃圾桶的自燃，不仅污染城市环境，破坏环卫设施，更造成了安全隐患。

（3）垃圾桶因垃圾超重变形。很多垃圾桶由于受到材料、温度等因素的限制，特别是塑料环保垃圾桶，在长时间使用后不可避免的都会出现一些老化的现象，超过最大载荷会出现变形。若环卫工人没有及时清运垃圾，可能还会开裂并导致垃圾桶的报废，给环卫部门造成一定的经济损失。

垃圾的处理是一个复杂的工作，为了解决传统垃圾桶存在的不足，实现垃圾处理的高效化、便捷化、低成本化，智能垃圾桶应势而生。随着世界经济的逐渐变迁，人们的环保意识逐渐增强，同时人们对于整洁的生存环境和对高质量成活品质的不断渴求，现今的垃圾桶，更是融环保与科技于一体，通过生活中的这些小细节，小转变，能把节能环保理念深入人心，整个社会周而复始、生生不息的发展，这也许就是智能垃圾桶的意义。

合格的智能垃圾桶具有性能稳定、使用寿命长、使用方便、操作精准、设计精密、卫生环保、节能低耗等特点。智能垃圾桶，人们无需接触垃圾桶的任何部位即可投放垃圾，防止交叉感染，环保卫生，外形雅观；无需外接电源，使用普通电池，耗电低，使用寿命长；密封性能好，减少了生活中各种病菌交叉感染的机率，无垃圾异味溢出，确保四周空气清新。随着人们对生活质量的提升与科技的进步，单一功能的垃圾桶已经满足不了人们的需求，虽然垃圾桶的种类和数量在不断翻新和增加，但人们更加注重它的美观和实用性，并向着 “小巧”和“智能化”方向发展，垃圾智能管理系统的设计与实现是一项专业性很强的实用技术，以装载垃圾为基础功能，在保障适用性的前提下利用物联网与科学技术生成更加便捷、稳定、环保、智能的产品。如今，个别发达城市也出现了智能垃圾桶，不过由于造价高、布线繁琐、功能不稳定等原因没有被普遍认可。

针对以上存在的问题，传统的垃圾桶不仅垃圾量检测效率低，存在大量的安全隐患，也为环卫工人的清理也带来了不便；而现阶段研究的智能垃圾桶又存在成本高，可靠性差，操作繁琐，功能单一的缺点。因此，研发出一款节能环保、功能齐全、稳定性高的智能垃圾桶已经成为了未来的发展趋势。本课题开发的智能垃圾桶不仅具备了传统垃圾桶投放垃圾的功能，也弥补了一些智能垃圾桶的不足，赋予了垃圾桶更多的功能，提高了环卫工人的工作效率，降低了安全隐患，同时节约了成本，真正做到了节能环保。因此，本课题具有巨大的经济效益和社会效益。

* 1. 智能垃圾桶国内外研究现状
     1. 国内研究现状

七八十年代的简单式垃圾桶无论是在形状、材料，还是功能上，都比较单一，同时也是目前人们运用最广泛的垃圾桶。其中最早的垃圾桶，便是土坑型垃圾桶，其仅仅被人们作为一个能装纳垃圾的容器。随着人们对生活质量的关注，人们开始追求更加美观、运用更加便捷的垃圾桶，于是对传统垃圾桶进行了简单加工，逐渐出现了翻盖型、踩脚型、可翻转型垃圾桶。

九十年代初期简单分类垃圾桶的出现，让我国人民开始意识到了环保的重要性。这种垃圾桶由传统的一桶一体变化为多桶一体，可回收垃圾箱的设置为有回收价值的垃圾提供了循环利用的机会，提高了资源利用率；针对废旧电池格而另有的回收格设置，更是有效地减少了铅、汞、镉等有毒物质对环境的污染。垃圾桶逐渐由传统向美观化、便捷化、多功能化发展。

国内智能垃圾桶的发展与国外相比还存在着差距，因受经济的制约、科技的发展水平与国民素质等因素的影响，我国的垃圾桶造价低廉、易损坏、质量差，而就智能垃圾桶而言，出现的时间较晚，控制比较简单，功能比较单一，主要分为感应性垃圾桶、太阳能垃圾桶与商业广告垃圾桶。感应垃圾桶主要体现在红外线测距技术，或是超声波感应。若人们的手或垃圾接近垃圾桶口时，垃圾桶会自动开盖，待垃圾投入完毕后，垃圾桶桶盖又自动关闭，这种智能垃圾桶解决了用手直接接触垃圾桶盖和脚踩后才能扔垃圾的困扰，极大地减少了与细菌接触的几率，不仅卫生，也抑制了难闻气味的传播。然而这种垃圾桶功能比较单一，如果是将自动翻盖功能运用到一些公共的场所，脚踏式或是手动的这类没有任何智能控制系统的垃圾桶，却因其便捷性而更加受到人们的青睐。而且开关盖这功能机械耗损程度较高，有很大的改进空间。

商业广告垃圾桶，虽然具有一定的商业价值，但没有真正意义上实现垃圾桶对于垃圾处理的功能，就目前的科技水平而言，智能化垃圾桶逐步实现社会和经济效益，包括提供wifi信号和USB接口手机充电。实时监测人流量，配置LED灯，配置LCD显示屏，自动报警功能等。商业广告垃圾桶所需电需要太阳能转换，但不是为处理垃圾功能所准备的，而是只为垃圾桶外的广告灯等商业需要功能提供电源所准备的，排线布线比较复杂。

综上所述，我国智能垃圾桶逐步实现社会和经济效益，包括提供wifi信号和USB接口手机充电。实时监测人流量，配置LED灯，配置LCD显示屏，自动报警功能等。垃圾桶的智能化虽已发展一段时间，但仍存在许多实际问题等待解决，例如：细菌堆积、容量有限、污水处理等。此时垃圾桶的智能化发展的目标必须逐步解决问题，已达到全面化发展。

* + 1. 国外研究现状

垃圾的处理是一个复杂的工作，为了解决传统垃圾桶存在的不足，实现垃圾处理的高效化、便捷化、低成本化，智能垃圾桶应势而生。随着世界经济的逐渐变迁，人们的环保意识逐渐增强，同时人们对于整洁的生存环境和对高质量成活品质的不断渴求，现今的垃圾桶，更是融环保与科技于一体。垃圾桶的智能化发展与世界文明发展密切相关。据世界银行新报告《垃圾何其多2.0：到2050年全球固体废物管理一览》报告中指出，世界正在被淹没在垃圾之中，而垃圾产生率还会不断上升，垃圾处理问题将面领着巨大的挑战。由于人口增长和都市区的扩张，预计2016年至2050年间，垃圾排放量会增加70%。良好的废物管理对于建立循环经济至关重要。随着国家和地方政府接受循环经济理念，以智能和可持续的方式管理废弃物，将有助于促进经济的高效增长，同时最大限度地减少对环境的影响。为了实现垃圾处理的高效化、便捷化、低成本化，智能垃圾桶应势而生。随着人们环保意识的增强，对高质量生活的也在不断追求，现今的垃圾桶，不仅美观，更是融环保与科技于一体。垃圾桶的智能化发展与世界文明发展密切相关。

2000 年后，随着垃圾产生率的不断上升，垃圾桶的作用也越来越大，在2006年8月，太阳能垃圾桶出现在了纽约街头。太阳能垃圾桶利用太阳能发电，把太阳能转化成电能，并驱动供给系统，此外将多余的电量存储到蓄电池中，解决了阴雨天气及夜晚没有太阳时的供电问题，环保节能，也不用担心意外断电的问题。这种户外太阳能垃圾桶不仅能在夜间为街道及小区照明，还能点亮LED显示屏贴放广告，达到宣传的目的，为城市形象加分。

二十一世纪，随着自动感应技术的发展，智能垃圾桶的研究也进入了一个新的发展阶段。来自美国匹兹堡创业公司CleanRobotics研制了一款名为Transhbot的垃圾桶。Trashbot正是为了更方便地实现垃圾分类，它能够利用内置摄像头、金属探测及马达，传感器，区分人们投放的垃圾哪些可以回收再利用，哪些需要填埋，自动为垃圾进行分类投放，避免了人们因对垃圾分类知识的匮乏和垃圾分类意识的薄弱而把垃圾投错地方。目前Transhbot原型机功能还相对比较简单，能够区分可回收垃圾以及填埋处理垃圾。当检测到人靠近时，垃圾桶的入口会自动打开。垃圾投入后，通过传感器如金属探测器等，将垃圾分类投放。随着机器人时代的到来，各种传感器丰富了Trashbot的功能，使其越来越智能化，不过它的售价超过了5000美元，对于地方推广还是相当有难度。

美国BigBelly Solar公司便发明了一种智能垃圾桶，这个名为BigBelly的垃圾桶集太阳能、物联网、高效压缩机为一体，通过垃圾桶顶部为垃圾桶提供电源，垃圾快倒满时，压缩机会在40秒内将垃圾的体积压缩至原来的五分之一，等到垃圾箱快满时又会自动联网发送垃圾桶已满及地理位置等信息至垃圾处理中心。然后处理中心的系统会根据各个垃圾桶发回的数据进行分析然后规划出最佳的回收路线和时间，再派出车辆将垃圾清理走。垃圾桶上的太阳能电池板，在室内可以插上直流电源进行供电，在室外可以用太阳能电池提供电源，最大输出功率可达30W。

这款智能垃圾桶的售价并不便宜，价格在8000美元左右，但美国加州大学圣地亚哥分校使用这种智能垃圾桶之后大量降低垃圾回收频率，从而可以减少大量的垃圾回收车和工作人员及维护成本，可以让整体成本降低 85%左右，且一个垃圾桶还将由此减少52吨二氧化碳的排放。因为是封闭式垃圾桶，所以苍蝇、蚊子、猫狗乱翻的情况减少很多，垃圾桶的异味也有所缓解。因此，目前西雅图大学、Brown大学也在开始引入这种垃圾桶。

2013年，悉尼大学留学生白林松、萨姆·约翰逊（Sam Johnson）给悉尼街头的垃圾桶覆盖900个LED灯泡，让扔垃圾变成俄罗斯方块游戏，不光吸引人的目光，也让人自愿完成扔垃圾的动作。实际上，除了为垃圾桶安装LED灯泡外，他们还为垃圾桶加装了传感器，能够检测到有东西从桶口扔下来，此时他们就会把扔进来的垃圾虚拟成俄罗斯方块中的“方块”往下掉。和我们小时候玩过的俄罗斯方块一样，如果方块堆在底部正好填满了所有的空隙，那么那部分的方块就会全部“消失”。垃圾桶设计一个反馈系统，有助于改善环境，当人们扔垃圾进去的时候，反馈系统能够告诉他们自己对环境的贡献有多大。

除此之外，“游戏化”的方式能让人更加自愿、自觉地把垃圾扔进垃圾桶里。这个高科技垃圾桶摆放在街道上，还可以预测天气、站点提醒、显示公交列车时间等等，可以说是个多功能便民设施。

通过研究现状可以看出国内外学者对垃圾桶的“智能化”做了大量研究，如何实现其社会效应和经济效应，降低制造成本，也必将成为智能化垃圾桶的改进趋势。就目前的科技水平而言，智能化垃圾桶实现的社会和经济效益有：

（1）提供wifi信号和USB接口手机充电，虽然流量费用不断降低，5G 时代也即将到来，但是垃圾桶作为城市中分布最广的公物，作为无线网络基站仍然是其的发展趋势，这不仅方便了人们的生活，同时也降低了人们的上网成本，其中的社会和经济效益显而易见；

（2）实时监测人流量，为城市交通规划提供数据；

（3）配置LED灯，减少安装路灯的费用，同时可以为城市夜景添彩；

（4）配置LCD显示屏，LCD显示屏作为商业广告的载体，其中取得的效益是长期性的，这可以作为智能垃圾桶成本回收的一个途径，具有良好的经济效益，当然，LCD显示屏也可以为大众服务，可以滚动播出热点新闻，天气预报，股市行情，公益广告等有益大众的信息。配置LCD显示屏是智能垃圾桶发展的必然趋势。

（5）自动报警功能。智能垃圾桶向效益化和收益化发展。

有些智能垃圾桶已经投入了使用，但结合现实发展，并不是贴上了“智能化”标签的垃圾桶都能被人们接受，需要不断优化与改进。本课题研究的低成本、高效率、多功能控制系统的智能垃圾桶，具有重要的实用价值和研究价值。

* 1. 课题研究内容及方法
     1. 研究内容

（1）研究系统对语音指令信息的读取与语音特征信息的提取；

（2）确定微处理系统与PC端通信选型；

（3）研究系统检测数据发送至服务器；

（4）研究系统投递检测、关键词语匹配、蓝牙通信、语音输出以及电机驱动功能的程序。

* + 1. 研究方法

本系统的设计流程为：确定智能垃圾分类器功能——确定相关微处理芯片型号并设计结构——绘制电路图——编写程序——调试。

（1）确定智能垃圾桶功能。通过阅读相关文献，总结现阶段国内外智能垃圾桶的研究现状，系统的搜集和整理相关资料，对智能垃圾桶在城市基础设施发展规划中的作用意义进行分析，尤其是城市垃圾箱的使用现状、设计研发与运行模式等方面的应用探索展开研究，最终确定智能垃圾桶的功能；

（2）确定相关微处理芯片型号并设计结构。通过实际研究，依据科学理论和实践的需要提出设计传感器型号，并结合专业理论知识与垃圾桶实际应用情况，选择合适的传感器并设计结构。通过专家咨询、资料分析等途径了解垃圾桶实际需求，让功能的实现更为合理化；

（3）绘制电路图。根据选择的微处理芯片型号与预设功能，设计电路图。电路图制作使电路直观化、形象化，对于固定电路的优化布局起重要作用；

（4）编写程序与调试。根据电路功能，编写软件程序，包括主程序总体流程图，系统控制算法设计和数据、信号处理。最后，对信息系统的各种模块的测试和确认测试，包括测试每个模块的程序是否有错误、测试模块之间的接口是否正确、测试整个软件系统是否满足设计功能和性能的要求。通过与系统的需求相比较，所开发的系统与设计需求基本一致。

基础理论知识学习与认知主要是指有针对性的对现阶段大数据理论技术的应用情况以及城市垃圾箱的现状模式进行概况学习认知；相关技术调研与归纳是指结合大数据理论技术的运行需要，考虑城市垃圾箱运行过程中牵扯变动的有效数据类型选择相应传感技术和部件，通过实地考察、专家咨询、资料分析等途径了解相关运用要求，让功能的实现更为合理化；设计调研分析与总结是要探讨大数据时代城市垃圾箱设计研发的理论依据、规划更为高效智能的城市垃圾箱运行模式，最终提出智能化、高效化的城市垃圾箱设计方案。

* 1. 本章小结

本章主要介绍了智能垃圾桶的研究背景，并通过分析传统垃圾桶、现阶段智能垃圾桶的优缺点，明确了课题研究的意义，为本次论文打下基础。同时，通过研究国内外智能垃圾桶的现状，对我国现在使用的智能垃圾桶有了比较清晰地了解，为本次设计指明了方向，确定了主要研究内容及设计优点，明晰了研究流程，为后续工作的进行做好了准备。

1. 总体方案设计
   1. 系统功能设计
      1. 设计要求

本课题的目的是设计一款多功能、高效率、经济实用、便捷可靠的智能垃圾桶，因此在设计过程中需要遵循以下几点要求：

（1）便捷可靠

设计不能只有外表，必须从实际出发，兼顾市场需求，更要从使用者的需要入手。

（2）经济实用

在节约型社会中，我们必须要考虑产品的节能环保及可持续性因素，在智能垃圾管理系统不影响它的使用性能的基础上，从器件选择和程序优化上控制功耗，从而节约能源。

（3）低成本

选择性价比高的元器件、优化程序、创新方案等方法都可以降低系统成本，减轻普通家庭及环保部门的经济压力。

* + 1. 系统组成

本系统包括：单片机最小系统模块，语音识别模块，舵机控制模块，无线通信模块，语音输出模块，电源控制模块，投递检测模块。

蓄电池模块分别与各开关控制模块连接；开关控制模块一与电压检测和温度检测模块连接，开关控制模块二与容量检测和称重检测模块连接，开关控制模块三与 GPS 定位和无线通信模块连接，开关控制模块四和五分别与投递检测模块和语言输出模块连接；各开关控制模块均与处理器模块连接。系统组成如图 2-1。

(待补充)

(单片机最小系统模块，语音识别模块，舵机控制模块，无线通信模块块，语音输出模块，电源控制模块，投递检测模块。)

* + 1. 系统各模块功能实现

(1)主控制电路模块。根据设计的需求，选择一款性能与外设接口能够满足系统要求的微控制处理器，同时也需要考虑成本与功耗等因素，主控制电路是整个系统的核心部分。

STM32系列微控制器是基于ARM Cortex-M系列32位Flash处理器，是基于专为要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用专门设计的。STM32系列微控制器，具有高性能、实时响应、可进行数字信号处理、低功耗与低电压操作等特性，集成度高且易于开发，特别适用于中小设备的应用，尤其适合微型设备、仪表和其他电子产品的应用。

(2)语音识别模块。语音识别是系统最重要同时也是最基本的功能，该功能使得用户可以通过语音的形式对生活垃圾进行分类投放。语音识别功能简化了垃圾分类流程，方便了用户对垃圾的分类投放和分类处理。分析比较多个嵌入式语音识别的方案，并从中选取一个满足系统要求的方案，设计出相应的语音识别硬件电路。

实现过程：

智能语音垃圾分类器系统集成非特定语音识别模块，系统供电后语音识别模块启动。当系统监听到用户说出的唤醒关键词后，给予用户反馈信息，同时继续监听用户输入。当用户说出垃圾名称时，模块对语音进行录入操作。

语音识别的基本流程主要可分为三个部分组成。首先把通过MIC输入的声音进行频谱分析，对语音信号进行其语音特征值的提取，然后是通过模式匹配的算法进行对所获取的语音特征值进行识，并和关键词语列表中的关键词语进行对比匹配，找出得分最高的关键词语作为识别结果输出。

当语音的模拟信号输入之后，通过多个处理过程，将其转化为数字信号，然后基于语音顿的方法开始获取语音特征值，从而便可形成待匹配的语音模式。紧接着这些待匹配的语音数字信号便开始与系统中的语音模板进行匹配，匹配结束之后，系统会将最接近的匹配结果反馈给用户。

(3)舵机控制模块

舵机的工作原理是由接收机或者单片机发出信号给舵机，其内部有一个基准电路，产生周期为20ms，宽度1.5m的基准信号，将获得的直流偏置电压与电位器的电压比较，获得电压差输出。经由电路板上的IC判断转动方向，再驱动无核心马达开始转动。

实现过程：

将舵机与STM32微处理器进行连接。编写控制代码，控制舵机转动的角度。本系统使用到舵机模块的地方是垃圾分类桶入口控制模块。入口控制模块通过舵机控制垃圾桶入口的开关，根据识别到的垃圾种类，主控制电路模块通过舵机控制垃圾收集桶的旋转角度。

(4)无线通信模块

无线通信采用蓝牙技术实现。蓝牙模块是集成了蓝牙功能的PCB板，可实现短距离数据的无线收发，一般的蓝牙模块包括片上无线处理器、数控振荡器、片内射频收发开关切换装置以及嵌入式微控制器等。

实现过程：

系统蓝牙传输模块是通过扩展板上的USART串口实现。设计蓝牙传输模块驱动时要对USART串口进行初始化，通过STM32微控制器上对应的GPIO引脚，配置相关的中断，使USART串口在接收到数据后能产生相应的数据中断。模块初始化成功后即可通过蓝牙串口发送数据，向PC端发送采集到的相关数据。

(5)语音输出模块

智能垃圾桶内置语音提示模块，系统具有语音提示功能，对相应的操作提供语音提示，如“您好”、“可回收垃圾”、“厨余垃圾”、“其他垃圾”等。内置的语音提示模块，可以将语音识别模块识别到的垃圾分类信息以语音的方式播放出来，具有良好的人机交互体验。

(6)电源控制模块

为了保证整个系统能够正常稳定地工作，一个设计合理的电源电路是系统十分重要的组成部分。该系统的供电方式为交流电供电，各个模块采用统一的电源供电方式，以保证供电的稳定性。

* 1. 各模块方案选型
     1. 微控制模块

作为嵌入式硬件部分的“大脑”，主控芯片的选择应该从性能、性价比等诸多因素考虑。主控芯片选型将对比以51为核心的STC15F2K60S2系列单片机，以FPGA为核心技术的EP2C8Q208CN8，以ARMCortex-M为内核的STM32F103C8T6芯片，分析总结选型方案。

（１）STC15F2K60S2系列单片机简介

宏晶公司在2012年推出STC15F2K60S2系列单片机。该系列单片机为加强型8051内核，因此运行速度比传统的8051内核快10倍左右，最高可达30MHz。拥有60KB FLASH程序存储器，1KB数据闪存存储器，2048个字节的静态随机存取存储器（SRAM）。该系列中STC15F2K60S2-30I-LQFP44单片机为工业级芯片，其工作温度范围在-40℃~+85℃，不仅如此其灵活可选的管脚封装数量和形式，小巧的外观，低廉的成本受到行业内青睐，并在低成本系统中应用广泛。

（２）EP2C8Q208CN8简介

EP2C8Q208CN8为Altera公司推出的一款现场可编程门阵列（FPGA），拥有8256个逻辑单元，18个18x18乘法器，两个锁相环，用户可用I/O数量高达182个。其电源可选用3.3V、2.5V、1.2V等，满足低功耗要求。FPGA技术在运算速度、数据逻辑处理能力上是其他同类型芯片无法比拟的，因此该芯片被广泛应用在汽车电子、光学测试等领域。

（３）STM32F103C8T6处理器简介

STM32F103C8T6是STMicroelectronics公司推出的一款基于ARMCortex-M内核的32位微控制器。其程序存储器是可擦除式闪存存储器（FLASH），容量达64KB，RAM容量为20Kx8，运行速度高达72MHz。不仅如此，其丰富的外设资源也是该芯片的一大亮点，具备三个通用定时器，两组SPI通信接口，两组I2C接口等。同时该芯片采用工业级芯片设计，工作温度范围达-40℃~+85℃，精简的48管脚贴片封装。工作电压范围为2.0V~3.6V，拥有睡眠唤醒、低功耗等模式。

通过介绍分析以上三款不同公司生产的处理器，可以得知，STC15F2K60S2系列单片机虽然管口精简，成本低廉，拥有工业级芯片的标准，但是运算速度、外设数量不能满足系统需求；EP2C8Q208CN8具备髙速运算能力，数据处理能力强，但是操作复杂，管口过于庞杂，且不符合工业级标准要求；STM32F103C8T6处理器不仅外设丰富，是一款工业级芯片，管脚精简而且运算速度快，可以搭载操作系统，符合本系统嵌入式硬件MCU的要求。

* + 1. 语音识别模块

本项目中人机交互方向的语音识别应用系统部分，目的是实现基于开方式环境的语音识别智能化人机交互，具体需要实现下功能：

（１）实现不同年龄、性别语音的识别功能，即非特定人语音识别；

（２）保持较高的识别准确率；

（３）可以进行对长句的识别，使得说话人交互更加自然；

（４）丰富的语料库和关键词列表；

（５）动态添加识别指令，并且不得有烧写程序之类的反复过程；

（６）能够与上位机自由交互，并将识别命令实时传送给上位机系统；

为了可以在任何场景进行语音识别，满足开方式环境下的特定需求，而且不受网络信号强弱限制，并且尽可能小的占用CPU资源等这些条件，本文选择非特定人语音识别系统。它的优势在于：无须训练，识别快速没有延时。但是缺点在于存储命令太少，更改匹配指令列表的过程复杂（需要烧写程序）。

目前主流的专口用来进行语音识别的芯片主要有三种。分别是ICRoute公司的LD3320，凌阳公司的SPCE061A和科大讯飞的XFS5152CE等。

凌阳公司的SPCE061A是一种16位控制芯片，拥有专口针对处理语音信号的能力，可完成对于特定人语音识别训练和识别的功能。

科大讯飞的XFS5152CE是于2013年推出的主要用作语音合成的轻量级芯片，其语音识别的命令存储不能超过30条。

ICRoute公司推出的LD3320芯片是基于关键词语列表的识别芯片，尤其在对于非恃定人和中文识别领域非常成熟，并且存储量也相对么前的比较大，是一种接近为自然语音识别的专用芯片。

因此在权衡上面三种芯片的几种条件之后，本文选用LD3320芯片进行开发，以此为语音识别的专用芯片设计相关的能够满足需求的语音识别交互系统。

* + 1. 无线通信模块

蓝牙模块是集成了蓝牙功能的PCB板，可实现短距离数据的无线收发，一般的蓝牙模块包括片上无线处理器、数控振荡器、片内射频收发开关切换装置以及嵌入式微控制器等。

系统选用HC-05作为系统蓝牙模块。HC-05芯片内部集成了2.4GHz接收器，基带控制器、RF功率控制吕以及其他外围的接口。该芯片符合蓝牙1.2协议规范，支持HCI、SDP、RFCOMM等多种蓝牙协议栈，可以工作在保持、通信和休眠三种工作状态，支持点对多点，点对单点的主从关系通信网构架，可广泛应用于多种单片机系统，使用非常灵活、方便。

* + 1. 舵机控制模块

舵机是一种可以控制角度的伺服驱动器，用于控制垃圾收集桶的开关旋转角度。由于垃圾收集桶模型需要舵机带动的模块总体重量较轻，舵机的扭矩无需过高，选择最为基本和常见的用于航模和机器人设计的舵机即可满足需求。

SG90是常用的小型舵机，其价格便宜、体积小巧并且易于操作。该舵机的扭矩为1.2~1.4kg/cm，在没有外加负载的情况下，每转动1°需要0.002s，旋转角度可以达185°左右，具有1024个角度级别，角度控制的精度约为0.18°。该模块可以正常工作在-30~+60℃的温度范围内。

* + 1. 语音输出模块

本系统具有语音提示功能，对相应的操作提供语音提示，如“您好”、“可回收垃圾”、“厨余垃圾”、“其他垃圾”等。语音播放采用JQ8400语音模块，其集成一个专门采用硬解码的方式进行音频编解码，保证语音播放的音质。芯片通过Micro-USB口连接到电脑时，SPIFLASH直接模拟成Ｕ盘，把预先录制好的.MP3、.wav等音频文件拷贝进入即可播放，使用时灵活方便。

* + 1. 电源控制模块

硬件电路设计中，电源电路的设计是个重要环节，是各电路模块能否正常工作的甚石。在进行电源设计时，最基本的要求是稳定可靠，不仅要关注所选择芯片是什么类型的电源芯片、电压输入范围、最大的输出电流和工作环境等技术参数，还要关注电源芯片在复杂条件下的可靠性，保证了系统能在某些复杂条件下能够正常工作。基于上述的电源模块选择原则，结合驱动器的供电需求，采用直流5V2A电源适配器，以满足驱动器的电源系统。

* + 1. 最终方案

（1）微控制器模块：选用单片机STM32F103C8T6。

（2）语音识别模块：选用LD3320语音识别专用芯片。

（3）舵机控制模块：选用SG90伺服电机。

（4）无线通信模块：选用HC-05蓝牙无线通信模块。

（5）电源控制模块：选用直流5V2A电源适配器。

（6）语音输出模块：选用JQ8400 MP3播报芯片。

* 1. 本章小结

本章主要通过智能垃圾桶的功能要求深入分析，对系统整体工作流程进行设计，绘制出了整体逻辑流程图。在此基础上，参照设计需求与实际应用情况，完成了智能垃圾桶各模块可实现的功能介绍，并对各模块方案进行选型，对比分析后最终确定了选型方案，形成了智能垃圾桶总体方案的设计，为智能垃圾桶总体设计奠定了基础。

1. 系统硬件设计与实现
   1. 系统硬件电路设计

本设计硬件系统包括微电脑控制芯片、LD3320语音识别模块、伺服电机控制模块、HC-05蓝牙无线通信芯片、JQ8400 MP3播报模块等部分。本系统构建的意义在于，通过语音识别不同垃圾的种类开启相应垃圾箱进行垃圾的回收与处理，并实时监测垃圾分类箱的数据，方便高效地对生活垃圾进行分类管理，达到垃圾分类投放的效果，提高垃圾的资源价值和经济价值，降低处理成本。

控制部分功能如下：

主控（MCU）：单片微型计算机，处理语音识别数据、系统状态、通信等任务。

语音识别：识别用户语音信息，匹配垃圾分类信息，返回垃圾分类结果。

电源开关：可以根据需求打开或关闭系统。

语音输出：在识别到垃圾种类信息后，将语音识别模块识别到的垃圾分类信息以语音的方式播放反馈给用户。

舵机控制：主控芯片通过控制伺服电机转动进而驱动垃圾桶打开与关闭。

直流电源：为整个系统提供稳定可靠的供电。

指示灯：系统工作状态信息可通过指示灯的状态体现出来。

无线通信：系统与PC机通信，将垃圾分类结果和垃圾桶工作状态信息发送给计算机。

系统功能：

（1）系统能量来自于直流电源供电系统。使用直流电源供电，不仅简单方便，而且可靠稳定，能够满足系统的供电需求。

（2）通过主控芯片控制各个模块的工作，实现垃圾分类的智能化处理。

（3）语音输出用于和用户交互，反馈垃圾分类信息，提高用户体验。

（4）使用蓝牙技术进行无线通信，获取系统相关数据信息。

（5）系统内置LED指示灯，能实时展现系统状态。

（6）通过舵机驱动设备根据指令控制垃圾桶的开闭，进而方便实施垃圾分类投递。

（7）系统可以监测垃圾桶开闭状态与开启次数等信息，通过分析这些信息，能够获取垃圾桶工作状态，以及垃圾桶存储情况，方便工作人员根据统计情况进行统一处理。

* 1. 微控制器模块电路设计

本设计采用意法半导体公司的STM32F103C8T6处理器为主控制器。它是一款基于Cortex-M3的32位处理器。运算处理速度快，可以实时处理传感器采集上来的各种数据，并且主控制器和蓝牙模块连接，利用串口将数据实时发送到系统后台，在电脑端可以实时显示设备的整体状态。它是整个控制系统核心。

* + 1. Cortex-M3简述

Cortex-M3是基于低功耗、低门数、短中断延时和低成本调试的ARMV7架构的32个核心。它致力于需要快速中断响应的深层嵌入式应用，包括微控制器、汽车和工业控制系统。它采用尾链中断技术，采用完全硬件基础上中断处理，最大12个时钟周期数可以减少（ARM724-42个周期需要），实际的应用70%中断可以减少。ARMCortex-M3采用哈佛结构选择适合MCU应用的三层流水线，增加了分支预测功能。调试采用单线调试（单行）技术，用一个引脚调试，节省调试工具的费用。

* + 1. STM32F103处理器介绍

STM32系列是意法半导体基于Cortex-M3核的微控制器，以M3内核为基础增加了高性能的外围设备。与普通8位单片机相比，在价格，性价比，开发难等方面有优势。

* + 1. STM32F103C8T6单片机简介

STM32作为意法半导体的32位微控制器随着后缀名不同也代表着不同的含义。STM32F103C8T6中，F表示此款单片机为通用型；103代表着此款单片机为ARMCortex-M3内核的增强系列；C表示单片机共有48个引脚；8则代表单片机中的高速存储器为64KB；C代表着引脚封装为LQFP封装；6表示单片机正常工作的温度范围为工业级零下四十摄氏度到八十五摄氏度。

STM32F103C8T6主要参数：

（1）开发板的主要参数如下：

（2）型号：STM32F103C8T6

（3）封装类型：LQFP

（4）引脚个数：48

（5）内核：Cortex-M3

（6）工作频率：72MHz

（7）存储资源：64K Byte Flash, 20K Byte SRAM

（8）接口资源：2\*SPI, 3\*USART, 2\*IIC, 1\*CAN, 37\*I/O

（9）数模转换：2\*ADC（12位/16通道）

（10）调试下载：支持JTAG/SWD接口调试下载，支持IAP

作为嵌入式系统的核心硬件设备，STM32F103C8T6上将搭载嵌入式系统，系统完成垃圾分类信息的采集、存储和上传等功能，将处理过的数据信息通过无线通信技术在电脑上显示。

STM32F103C8T6的最小系统电路主要分为相互关联的五个部分。分别为：为系统提供能量，保证系统发送的指令能够准确执行的电源电路；处理存储器与处理器之间通讯关系的时钟电路；当系统出现故障后，对内部寄存器和数据存储器进行初始化操作的复位电路；系统开始工作时，通知微处理器中数据存储位置的启动电路；当程序设计好后，通过通讯转换为机器识别的语言后下载入存储器中的下载电路。这五部分与微处理器STM32F103C8T6共同组成垃圾分类系统中最简单的硬件电路。

* 1. 语音识别模块电路设计
     1. 嵌入式语音识别框架

本文主要通过研究基于专用嵌入式识别芯片，设计相关的功能和模块，从而实现具体的需求。嵌入式语音识别系统主要由MCU主控芯片、专用语音识别芯片、识别列表以及说话人语音采集等几个主要模块组成。

（１）核也控制器：用来控制专用语音识别芯片的主控芯片，可以对其编程实现相关功能，本文采用的是通过蓝牙无线通信的方式与上位机进行通讯。主控芯片种类主要有51单片机、STM系列、ARM系列等，本文采用的是STM32系列单片机作为核心控制单元。

（２）语音采集：用来采集语音信号的一个模块，并将采集来的语音模拟信号经过端点检测，去噪等预处理之后变为数字信号，目的是为了对数字信号进行特征提取模式匹配得到最终的识别结果。

（３）识别列表：作为离线语音识别最具特征性的一个模块。因为有别于在线识别，它拥有庞大的语音识别库可以通过网络进行调用，而离线识别都是将识别命令临时存放在识别列表中，与识别芯片的识别结果进行匹配从而得到匹配度最高的识别结果反馈给用户。

* + 1. LD3320芯片识别原理

LD3320芯片的识别技术是基于“关键词列表”匹配的方法进行识别的，具体的工作原理如下：

用户在使用前将需要识别的指令按照数字序号和拼音字符串对应的格式，写入主控芯片的ROM中，每次识别时，主控芯片会将这些识别指令列表按顺序写入芯片寄存器中，芯片将每次语音信号处理并且识别之后，再与关键词列表中的“候选”指令进行匹配，匹配度最高的即被认为是识别结果，并反馈给单片机。单片机再将识别结果返回给上位机。

芯片所采用的非特定人语音识别技术，是语言学家利用语言建模技术，在对近百Ｇ的中文语音数据分析后建立起的中文语音数学模型，经过数以万计的取样训练，提取样本语音中基元语音细节特征及其之间的差异，再取统计概率最优的每个关键的基元语音特征，最后算法工程师将研究结果的语音数学模型及算法应用到芯片中。

* + 1. LD3320芯片特性

LD3320芯片是ICRoute公司设计并且生产的，针对非特定人的语音识别专用芯片。它在设计上注重节能高效，自带FLASH、RAM，并且可以通过单片机进行直接控制。

LD3320识别芯片的主要特征主要包括以下几个方面；

（１）拥有快速并且稳定的识别算法和优化，不需要用户反复训练声音模型，便可以进行针对非特定人的语音识别；

（２）不需要外接芯片，该识别态片也自带了一定容量的存储模块和寄存器，也集成了模数转换模块。真正实现了单芯片便能够完成整个识别工作。

（３）单片机与芯片的交互主要是通过对芯片寄存器读写的过程来实现。只需要设定好需要识别的指令文本，写入芯片，LD3320芯片便可执行识别和结果匹配，从而反馈相关结果。

（４）芯片在内部已经设置了16位的模数／数模转换器和功放电路。提供麦克风、喇叭的相关接口，可以通过插拔或者焊接方式进行连接。

（５）芯片支持了对于软件和硬件的串行和并行两种时序的读写方式，用户可以根据需要自己选择。

（６）芯片具备休眠功能，在一定程度实现了节约能源的功能。

（７）工作电压为3.3V，方便携带。

ICRoute公司仍在不断推出新一代产品，芯片的性能也将变得更加卓越，主要可以体现在抗噪距离更远、识别准确率更好。此外还配备了语音信号的音频输出。

* + 1. LD3320与MCU通信方式

作为硬件平台中最为核也的模块之一，语音识别芯片LD3320与主控芯片之间主要是通过对功能寄存器进行读写的过程。LD3320的寄存器分别支持了软件、硬件的串行SPI读写方法、软件模拟并行读写、硬件并行读写这四个读写方式。

本文使用的是并行的软件模拟时序。当准备好读写的地址之后，在并行读写时序中，我们令A0等于1，分别对CSB拉低和对WRB拉高来写入地址；当A0等于0时，我们令CSB拉低和将RD拉高来读入数据。

需要注意的是在这种读写方式下单片机的MD管脚需要拉低。此时DELAY\_NOP有关部件会有较长时间的延时，这会影响对）x37寄存器进行写入数据的操作，芯片此时也会受干扰导致工作不正常。在进行识别工作时，0x37寄存器是开始控制芯片工作的入口，从而启动芯片识别的运算和整个识别流程。

* 1. 无线通信电路

蓝牙（Bluetooth）是一种短距离通信的无线电技术，目前己在现代生活中很多领域有广泛的应用，其发明之初希望为设备间通讯建立统一规范的标准化协议，以解决用户在互不兼容的移动电子设备间互联互通的问题，省去传统的外部电线。蓝牙采用从下至上的标准分层式结构，系统构成有三个部分，其中无线射频单元负责数据和语音的发送和接收；基带或链路控制单元进行射频信号与语音或数字信号的相互转化；链路管理单元负责管理蓝牙设备之间的通信，实现链路的建立、验证、链路配置等操作。除此之外还有最重要的蓝牙协议规范，蓝牙协议规范主要包含三部分，传输协议，包括底层传输协议和高层传输协议，负责设备间位置确认及建立和管理其间的物理链路；中介协议，为高应用协议或程序提供必要的链路支持，为应用提供不同标准接口；应用协议，指协议栈上应用软件及相关协议。

HC-05模块是一个易于使用的蓝牙SPP(串口协议)模块，设计用于透明的无线串行连接设置。HC-05蓝牙模块可以在主配置或从配置中使用，使其成为无线通信的一个伟大的解决方案。该串口蓝牙模块是完全合格的蓝牙V2.0+EDR(增强数据速率)3Mbps调制，具有完整的2.4GHz无线电收发信机和基带。它使用具有CMOS技术和AFH（自适应跳频功能）的CSR Bluecore 04外部单芯片蓝牙系统。

引脚说明

（1）EN：它是使能引脚。当该引脚悬空或连接至3.3V时，模块使能。如果该引脚连接到GND，则模块被禁用。

（2）+5V：这是用于连接+5V的电源引脚。由于模块具有板载3.3V稳压器，因此需要提供+5V电源。

（3）GND：是接地引脚。

（4）TX：它是UART通信的发送器引脚。

（5）RX：它是UART的接收引脚。

（6）STATE：这是一个状态指示器引脚。当模块未连接任何设备时，此引脚变为低电平。当模块与任何设备配对时，此引脚变为高电平。

规格说明

（1）高达+4dBm的RF发射功率

（2）低功耗1.8V操作，1.8V至3.6V I/O

（3）具有可编程波特率的UART接口

（4）默认波特率：38400

（5）默认自动上电连接到最后一个设备

（6）允许配对设备默认连接

（7）自动配对PIN码：默认为0000

（8）由于超出连接范围而断开连接时，在30分钟内自动重新连接

* 1. 舵机控制模块

舵机可以通过程序连续控制其转角，主要是由外壳、电路板、无核心马达、齿轮与位置检测器所构成。本系统使用SG90舵机作为垃圾桶收集模块控制器。将SG90舵机与微处理器相连，控制舵机转动的角度。其工作原理是由STM32单片机发出信号给舵机，其内部有一个基准电路，产生周期为20ms，宽度为1.5ms的基准信号，将获得的直流偏置电压与电位器的电压比较，获得电压差输出。经由电路板上的IC判断转动方向，再驱动无核心马达开始转动，透过减速齿轮将动力传至摆臂，同时由位置检测器送回信号，判断是否已经到达定位。适用于那些需要角度不断变化并可以保持的控制系统。当电机转速一定时，通过级联减速齿轮带动电位器旋转，使得电压差为0，电机停止转动。一般舵机旋转的角度范围是0度到180度。

SG90舵机模块的连接方式。该舵机具有３个引脚：VCC是供电引脚，工作电压范围为4.8~6V，采用５Ｖ电压供电；SIG连接STM32数字引脚用于舵机旋转角度和速度的控制；GND是接地或者电源负极引脚。

* 1. 语音输出模块

语音输出模块对用户相应的操作提供语音提示，如“您好”、“可回收垃圾”、“厨余垃圾”、“其他垃圾”等。语音播放采用JQ8400语音模块，其集成一个专门采用硬解码的方式进行音频编解码，保证语音播放的音质。芯片通过Micro-USB口连接到电脑时，SPIFLASH直接模拟成Ｕ盘，把预先录制好的.MP3、.wav等音频文件拷贝进入即可播放，使用时灵活方便。

功放驱动电路采用8002A音频功放IC。8002A为一颗高保真的音频功放IC。工作在2.0V~5.5V的输入电压下。其内部共有２个运放工作，第一个运放增益可在外部用R8和R7/R24两个电阻进行设置，而第二个运放的增益则固定不变。第一个运放的输出信号实际上是第二个运放的输入信号，而且两个运放产生的信号幅值相同，相位相反。因此8002A增益为：AVD=2X(R8/R7)。C32、C34电容为隔直电容，避免直流分量流入喇叭，防止磁饱和损坏线圈，C37、c39、c31可以滤除差模、共模干扰，增强音质效果。

要实现语音输出，需要经过语音芯片的驱动任务和控制两个主要过程。在语音芯片的驱动任务中，首先将串口波特率设置为 9600。然后使能语音模块与单片机所连接的引脚，接下来是使能串口使其可以发送接收，至此驱动任务完成。

* 1. 本章小结

根据第二章总体结构设计的基础上对智能垃圾桶各个模块进行硬件设计，结合自身所学专业知识及实践操作，根据智能垃圾桶的功能要求，确定了智能垃圾桶的硬件设备及模块型号。根据实际要求完成垃圾桶硬件选型并阐述不同组态层中硬件执行的功能。经过硬件的设计，对智能垃圾桶总体框架和流程目的有了更加清晰的认识，为接下来软件的设计打下一定的基础。

1. 系统软件设计与实现
   1. 软件总体设计思想与流程分析
      1. 软件总体设计思想

整个系统单独有硬件是无法完成运转，必须要有软件设计，软件设计思想是系统的灵魂，关系到整个系统的协调运作。

本系统的软件设计包括对垃圾分类检测与控制系统软件的设计，语音识别软件设计和蓝牙无线通信软件的设计。语音识别检测系统是整个系统设计的核心。

本控制系统的软件设计运用自底向上的设计方法。自底向上的设计方法从基础部分开始，凭借着经验和技巧，通过对其进行连接，修改和扩大，构建所需要的完整系统。这种设计方法是从底层开始，实际使用中设计成本和开发周期都比自顶向下法优；但是由于设计是开始于底层，所以没办法保证设计的最优性能，如器件的不共用。根据需求完成对各项子系统的单独编程和调试，再对各个模块分别调试成功，然后再将各模块功能拼接一起，从而组成对智能温室系统的软件设计。

* + 1. 软件设计流程分析

微控制处理器STM32从上电/复位状态之后，最开始执行的是设备初始化程序，完成微控制处理器的初始化和各个外设的初始化。

* 1. STM32外设库与Keil工具介绍
     1. STM32标准外设库介绍

STM32标准外设库是一个固件函数包，它由程序、数据结构和宏组成，包括了微控制器所有外设的性能特征。该函数库还包括每一个外设的驱动描述和应用实例，为开发者访问底层硬件提供了一个中间API，通过使用固件函数库，开发者无需深入掌握底层硬件细节，就可以应用每一个外设。因此，使用固态函数库可以大大减少用户的程序编写时间，进而降低开发成本。每个外设驱动都由一组函数组成，这组函数覆盖了该外设所有功能。每个器件的开发都由一个通用API驱动，API对该驱动程序的结构，函数和参数名称都进行了标准化。

* + 1. Keil uVision5编译工具介绍

本设计编程软件为Keil uVision5简称KEIL5版本，uVision是一个KEIL公司开发的集成开发环境。Keil MDK它是德国知名软件公司Keil开发的微控制器软件开发平台。

最新的Keil MDK5依然提供了编译器、编译器、安装包和调试跟踪，主要新增包管理器功能，支持LWIP，其SWD接口下载速度也是上一代产品的5倍，同时MDK5与之前版本不同，由MDK核心和软件包两部分构成KeilMDK5，其中MDK核心要包含集成开发环境uVision5 IDE和5代ARM编译器，软件包相对独立，可以在MDK核心不更换的情况下，单独对设备支持包和中间件进行管理和更新包，KEIL5对Cortex-M、Cortex-R4、ARM7和ARM9系列器件完美支持，集成开发环境，仿真环境和调试器，并内置ARM C/C++编译工具链，给代码开发带来了极大方便。

* 1. 微控制电路、程序设计

STM32作为意法半导体的32位微控制器随着后缀名不同也代表着不同的含义。STM32F103C8T6中，F表示此款单片机为通用型；103代表着此款单片机为ARMCortex-M3内核的增强系列；C表示单片机共有48个引脚；8则代表单片机中的高速存储器为64KB；C代表着引脚封装为LQFP封装；6表示单片机正常工作的温度范围为工业级零下四十摄氏度到八十五摄氏度。

本设计采用意法半导体公司的STM32F103C8T6处理器为主控制器。它是一款基于Cortex-M3的32位处理器。运算处理速度快，可以实时处理传感器采集上来的各种数据，并且主控制器和蓝牙模块连接，利用串口将数据实时发送到系统后台，在电脑端可以实时显示设备的整体状态，它是整个控制系统核心。

* 1. 语音识别模块程序设计

基于LD3320的语音识别系统是一个可很好体现人机交互便捷性的系统，不仅在于有比较稳定的识别效果，同时还体现了离线识别的优势和很好地规避了其缺点。

其中开始主要是几个主要模块的初始化工作，将芯片LD3320进行初始化，将单片机与计算机之间的串口通讯进行配置，主要内容包括设置串口序列，将波特率设置为19200，数据位设为8位，停止位是1位，流控和奇偶校验位都是无，并旦数据的接受和发送格式都是以ASCII的格式进行。

初始配置结束之后，开始进入正常的运行工作，其中主要是一次正常的识别流程，识别流程中主要的识别步骤就是单片机读取存入的识别指令，然后将其写入识别芯片寄存器中，识别芯片会进行匹配工作，再将结果反馈给单片机。整个工作流程中，为了实现不通过烧写程序进行改写命令内容的功能，加入了一个中断功能，可以随时进行命令的修改，该功能主要是通过IIC总线协议进行实现的，在该功能开始执行时，内部的主程序全部停止等待该功能的执行结束。从而更新识别列表，单片机会再次将该列表读给芯片，同时芯片也会进行识别，再开始匹配，开始正常的识别工作。

* 1. 无线通信模块程序设计

系统蓝牙传输模块是通过扩展板上的USART串口实现。设计蓝牙传输模块驱动时要对USART串口进行初始化，使能STM32F103C8T6微控制器上对应的GPIO引脚，配置相关的中断，使USART串口在接收到数据后能产生相应的数据中断。模块初始化成功后即可通过蓝牙串口发送数据，向PC端平台发送采集到的相关数据。

HC-05的所有功能都是通过AT指令集控制实现的，比较简单，在设置相应的AT指令后，即可工作于相关状态。AT指令的结构为：AT+<CMD><=PARAM>，其中CMD（指令）和PARAM（参数）都是可选的，需要注意的是在发送末尾添加回车符（\r\n），否则模块不会响应。在进入AT指令模式前，应拉高KEY引脚；退出AT模式，则拉低KEY引脚。AT指令是初始化指令，AT+UART是串口配置指令，AT+ROLE是主从设备配置指令，AT+INQ是RSSI测量指令。

本系统蓝牙模块采用HC-05，是一款高性能主从一体的蓝牙串口模块，可看做是一个蓝牙转串口的设备，在知晓串口编程知识情况下即可使用，实现了透明传输。

HC-05有一个LED灯，可以通过闪烁间隔判断蓝牙模块工作状态。未连接配对的正常工作状态是每一秒闪烁两次；己连接配对的正常工作状态是隔一秒闪烁两次；AT模式是每两秒闪烁一次。按住HC-05正面圆形按键的同时给蓝牙模块通电，LED常亮后规律性闪烁即进入AT模式。模块默认波特率为9600，8位数据位，1位停止位，无奇偶校验，可利用蓝牙串口助手自行设置设备的名称和配对密码，设置完成后即可进入正常的通信模式。

蓝牙模块代码主要包括4个函数：

（1）HC05\_Init函数，该函数用于初始化与ATK-HC05连接的IO口，并通过AT指令检测ATK-HC05蓝牙模块是否已经连接。

（2）HC05\_Get\_Role函数，该函数用于获取ATK-HC05蓝牙模块的主从状态。

（3）HC05\_Set\_Cmd函数，该函数是一个ATK-HC05蓝牙模块的通用设置指令，通过调用该函数，可以方便的修改ATK-HC05蓝牙串口模块的各种设置。

（4）HC05\_CFG\_CMD函数，该函数专为USMART调试组件提供，专用于USMART测试ATK-HC05蓝牙串口模块的AT指令，在不需要USMART调试的时候，该函数可以去掉。

* 1. 语音输出模块程序设计

语音播报模块采用串口通信技术驱动, 只需一个RXD脚和TXD脚即可完成通信部分。模块采用5V直流电源供电, 额定电流为100mA, 待机电流为2mA。在非语音播放时, 属于低功耗元器件, 且扬声器无杂声。

要实现语音输出，需要经过语音芯片的驱动任务和控制两个主要过程。在语音芯片的驱动任务中，首先将串口波特率设置为 9600。然后使能语音模块与单片机所连接的引脚，接下来是使能串口使其可以发送接收，至此驱动任务完成。

本系统采用JQ8400语音输出模块，其集成一个专门采用硬解码的方式进行音频编解码，保证语音播放的音质。芯片通过Micro-USB口连接到电脑时，SPIFLASH直接模拟成Ｕ盘，把预先录制好的.MP3、.wav等音频文件拷贝进入即可播放，使用时灵活方便。其功放驱动电路采用8002A音频功放IC。8002A为一颗高保真的音频功放IC。工作在2.0V~5.5V的输入电压下。其内部共有２个运放工作，第一个运放增益可在外部用R8和R7/R24两个电阻进行设置，而第二个运放的增益则固定不变。第一个运放的输出信号实际上是第二个运放的输入信号，而且两个运放产生的信号幅值相同，相位相反。因此8002A增益为：AVD=2X(R8/R7)。C32、C34电容为隔直电容，避免直流分量流入喇叭，防止磁饱和损坏线圈，C37、c39、c31可以滤除差模、共模干扰，增强音质效果。

1. 系统测试与实现
   1. 系统测试方案

在完成软件和硬件设计之后，需要对系统的整体进行测试。测试是产品从设计研发到生产过程中非常重要的环节，决定产品的质量。测试的目的是为了验证设计的合理性，完善系统功能，提高产品稳定性，保证软件流程的正确性。只有通过科学系统地测试才能快速、准确地发现问题。

系统整体设计完成后，先对系统中的各个模块进行测试，而后对系统整体进行可靠性测试及相应的数据分析。

首先编写相应的测试程序，对系统中使用到的STM32F103C8T6微控制器、LD3320语音识别模块、HC-05蓝牙通信模块进行单独测试，对其敏感特性进行分析。而后，将STM32F103C8T6微控制器、LD3320语音识别芯片、HC-05蓝牙模块、JQ8400语音播报模块、SG90舵机控制模块等硬件连接在一直，用蓝牙与PC机连接通信。通过Jlink/SWD调试接口在系统芯片上进行测试，对输出的USART串口信号和GPIOA引脚信号与仿真结果比较，分析系统语音识别及蓝牙传输数据的准确性和系统的可靠性，不断修改系统的代码直到系统可用。

* 1. 微控制电路程序测试

通过J-LINK接口，将编译得到的HEX程序执行文件烧写至STM32F103C8T6系统扩展板上，复位系统并进行数据采集，验证系统运行的可靠性和实时性。

* 1. 语音识别模块测试
     1. 识别指令的测试实验

语音识别指令的测试实验测试了识别指令的字节长短是否对识别效果有影响，测试系统是否能够很好地在保持交互自然的前提下仍旧控制一定的识别准确率，这是非常重要的一项指标。为此做了相关实验，一共选择10条不同长度的预存识别指令，对于每条指令的识别率进行统计，看是否能够达到识别精确度的要求。根据测试结果我们不难看出，针对非特定人的语音识别系统可以保持较为良好的语音识别效率进行对不同语音识别指令的识别效果。当然，随着识别指令的长度增加，识别效率也有相应的影响，但是仍在可接受的识别效率范围内，这点是需要再继续改进的地方。

* + 1. 识别时间的对比测试

本文研究并设计的是基于嵌入式硬件平台的离线语音识别智能垃圾分类器系统，相比还有基于云存储、服务器语料库的在线识别系统，本文为了体现该系统在离线环境下的特殊优势，以及在户外多变环境下的适应能力，做了两个不同系统的对比实验，该实验主要是想通过对５个相同的识别指令，分别使用本文设计的离线识别系统和科大讯飞云语音识别两者进行对比实验，主要比较的是两者识别时间的长短。同样该５个识别指令也有不同的字节长短。从测试结果我们可以看出，基于硬件平台的离线识别系统对相同识别指令的识别时间较为明显地少于基于云存储的线上语音识别系统，而且本文的识别系统更可以基于无网络环境下的语音识别，更加适合在户外环境下的语音识别。

* + 1. 系统抗噪实验

在该实验中，我们需要针对户外的特殊环境进行对抗造性能进行测试。我们通常会用信噪比（SNR）这个概念来衡量噪声的干扰程度。在本次实验中，我们加入了噪声信号，因此信噪比的值就是音频信号的平均值与噪声的比值。当然随着信噪比的值越高，也就表示全局环境就越适合语音识别，因此根据不同信噪比，我们对该硬件系统进行了测试。本实验是在每个信噪比下，通过对３个识别指令，每条指令进行10次重复识别，然后将识别率取平均值。从测试结果中我们可以明显的看见随着信噪比值的增大，系统的识别效率也有着明显的提高，但是在噪声环境非常大的情况下，系统的识别效率还是有所不足，需要进行改进。

* 1. 蓝牙无线通信模块测试

系统中，HC—05蓝牙模块为STM32F103C8T6主控芯片与电脑上位机之间提供了无线通信渠道。系统可以通过蓝牙模块向电脑平台终端上位机发送实时的气压与温度数据。为测试蓝牙模块与上位机通信时数据传输是否稳定可靠，使用相应的软件，向主控芯片的蓝牙串口模块注入测试数据，定时向电脑上位机发送，在电脑端平台上位机上使用相应的串口助手去检验数据的一致性。测试数据使用PC端串口助手来设定，XCOM串口助手软件通过PC端串口向STM32F103C8T6主控芯片注入测试数据，主控芯片通过USART串口向蓝牙模块发送测试数据，蓝牙模块按设定好的频率向连接到的蓝牙设备发送测试数据。XCOM串口助手设置通信波特率为9600，每秒向STM32F103C8T6主控芯片发送一次测试数据，查看PC端能否正常接收。

* 1. 语音输出模块测试

语音输出模块使用的一个外围电路非常简单的JQ8400语音芯片，其硬件部分基本无需调试，调试仅为程序部分：将预先编写的程序烧写进单片机，调用相关语音播放程序接口播放对应地址的语音内容，若播放没有问题表示此模块功能调试完毕，如果不能播放或者播放错误，则需要对各数据脚和手册进行对照。

实际使用发现语音内容无法正确播放，查看使用手册，说明延时函数的延时时间不够精确，脉冲宽度太小则无法被芯片准确识别，修正后模块可正常使用、语音内容正确播放。

* 1. 本章小结

本章在系统嵌入式软件、系统硬件、外设等元素已经确认的基础上，进行系统的各种模块的测试和确认测试，包括测试每个模块的程序是否有错误、测试模块之间的接口是否正确、测试整个软件系统是否满足设计功能和性能的要求。通过与系统的需求相比较，所开发的系统与设计需求基本一致。在调试过程中，也发现了程序编写中的一些漏洞与错误，经过改进，完善了软件系统的编程，提高了可靠性。

1. 总结与展望
   1. 总结

本次设计的语音识别智能垃圾分类器系统 具有了语音识别，垃圾分类检测、语音播报、舵机控制、无线通信功能。经查阅资料，了解到国内生产的智能垃圾桶的种类普遍比国外的少，且功能也比较单一，国外对垃圾桶的研究相对较早、较深入。通过研究现状可以看出国内外学者对垃圾桶的“智能化”做了大量研究，有些智能垃圾桶已经投入了使用，但结合现实发展，并不是贴上了“智能化”标签的垃圾桶都能被人们接受，需要不断优化与改进。而本次设计正是针对这些不足完成了一项低成本、高效率、多功能控制系统的智能垃圾桶的设计，具有重要的实用价值。

本次设计是在查阅网上资源和相关文献资料，研究了国内外智能垃圾桶现状对其有了一定认识的基础上，对比国内外同类产品，获得了有价值的信息，最后确定适合系统的设计方案，设计思路为：确定智能垃圾桶功能、确定相关芯片型号并设计结构、绘制电路图、编写程序、调试。

本次设计的智能垃圾桶系统主要实现了语音识别控制垃圾分类处理，本文主要的研究内容与取得的成果如下：

（1）通过系统控制算法设计和数据、信号处理，本系统实现了语音识别检测、智能检测垃圾种类进行垃圾分类，并做对应语音提示。

（2）通过无线通信技术把系统数据推送至PC端，方便相关工作做统计分析处理；

（3）通过测试每个模块的程序是否有误、测试模块之间的接口是否正确、测试整个软件系统是否满足设计功能和性能的要求，保证了产品的可靠性与稳定性。

最后，由于自己知识水平有限，软件编程能力不足，本次设计与研究的智能垃圾桶控制系统还有很多不足的地方，测试中暴露出来一些设计的缺陷，比如语音识别准确率不高，蓝牙通信不稳定，在复杂环境下系统功能不稳定等，最终也都在反复调试的过程中成功解决。

* 1. 展望

本论文已经完成了对语音识别智能垃圾分类器的设计与研究工作，在设计过程中涉及多个学科领域，基本上能够实现最初设定的功能。随着人们需求的不断提升、科技日新月异的发展，本系统还有很多需要后续研究的方向：

（1）本次所设计与研究的智能垃圾桶还有很多功能有待添加，比如对垃圾的自动分类、自动拾取、对垃圾进行压缩使垃圾桶的空间得到有效利用等。

（2）考虑利用现已大力发展的IOT或5G网络技术，以实现数据的实时、快速传输。

（3）使用目前最热门的人工智能技术，将智能垃圾桶的反馈数据进行分析，最终将获取到垃圾类型的占比、人们的生活方式，从而分析获得减小垃圾排放的措施。

现如今快速发展的时代，不仅分类垃圾桶正在普及，智能垃圾桶在很多城市也能看到，很大程度地方便了环卫工人的清理与相关工作者的管理，其中蕴含的管理系统与专业技术要求比较严格也比较高，特别是人人都提倡绿色环保的时代，智能垃圾桶的出现无疑成为了社会的一大趋势，在今后的学习中我会更加深入探究，不断探索与完善。

1. 2 方案设计

## 2.1整体方案设计

本文设计的顶板离层位移传感器的硬件，在整体结构上主要由STM32单片机最小系统、电源模块、位移数据采集模块、LED数码管显示模块、蓝牙通讯模块、光照、按键唤醒模块以及EEPROM、FLASH存储模块组成。其中系统的总体结构框图，如图 2-1 所示。



图2-1 系统整体结构框图

## 2.2主控芯片的选择

本文在设计顶板离层位移传感器的过程中，确定主控芯片时，有两种芯片被仔细考虑了很久。

其一是NORDIC的nRF52832，它是一款功能强大，高度灵活的超低功耗多协议SoC蓝牙单芯片，嵌入式2.4GHz收发器，非常适合ble蓝牙低功耗的无线应用。它具有非常多的令人眼前一亮的参数，例如最突出的极低的功耗，在活跃状态下发射功率高达4dBm的情况下发送数据的功耗却低至7.7mA。此外它拥有Cortex-M4F的内核，能够更强大的运算能力以及浮点运算的技术。现在很多的穿戴设备或者工业化设备需要内置非常复杂的算法，所以需要MCU有更快的运行速度。这颗Cortex-M4F的内核运行主频64Mhz，比其他厂家的芯片提高了很多。并且nRF52832有512KB的Flash和64KB的RAM，这也超出其他厂家的芯片一大截。额外的Flash和RAM空间也意味着nRF52832可以支持多协议，并且在运行时自动切换。

除了这些十分出色的参数，nRF52832还有许多丰富的外设/接口，3个主/从SPI、2个IIC接口、1个UART、3个PWM、12位精度的ADC以及RTC。这些丰富的外设资源及其强大的功耗控制使其完全满足顶板离层位移传感器的开发

其二是STM32F103C8T6，它是意法半导体公司推出的一款以Cortex-M3为内核的32位的高性能ARM微控制器。Cortex-M3处理器是由ARM公司设计的首款基于ARMv7-M体系结构的32位标准处理器，它不仅具有低功耗、少门数等优点，而且还具有短中断延迟、低调试成本等众多优点，使它在众多的处理器中脱颖而出。STM32F103系列是增强型系列，工作频率设定在72MHZ，其带有更多片内RAM和更丰富的外设资源。

经过仔细的考虑，最终选用了STM32F103C8T6。因为它的资料特别多，开发教程也非常完善，并且本人具有相关开发经验。而nRF52832虽然从性能上更适合顶板离层位移传感器的开发，但是本人缺乏SOC片上系统的开发经验，并且nRF52832的开发还需要花费很多时间去了解Nordic提供的SDK开发包以及相关开发资料，从开发周期上来看，选择nRF52832不太合适，故最终选择了更熟悉的STM32F103C8T6。

## 2.3 STM32F103简介

基于ARM7和ARM9内核进行设计是微控制器发展的一个典型趋势，2006年第一个基于ARMCortex-M3内核的微控制器STM32由意法半导体（STMicroelectr，简称ST)出品。Cortex系列主要有3个不同的分支，分别是A分支,R分支,M分支。STM32隶属于M分支，属于微控制器系列产品，同时在结构组成上STM32也分为基本型和增强型两个不同的版本。其中STM32的基本型外挂的设备数目少，最高只能承受36MHz的时钟频率,而增强型的STM32拥有完整的外部设备，同时CPU可以在最高72MHz的时钟频率下运行。

## 2.4 STM32F103芯片的优势

最初研制STM32系列的微控制器就是以提高系统的性能和降低工作时的功率损耗为目标的，STM32的出现是微控制器领域的一个新的飞跃，与以往的微控制器相比较，具有突出的优越性。

（1）精密性。STM32是比较高端的一种微控制器，集中分布着完备的外设，布局精巧，器件放置紧密且不失独特性。比如STM32具有两个12位高精度的ADC转换器，并且在一定的条件下可以实现同时工作，衍生出多种转换模式，功能强大。

（2）可靠性。STM32的外设布局越来越精密，但是对于可靠性的要求并没有因此降低。为了在外挂的器件越来越多的情况下，依旧能够保持高可靠性，STM32配备充足的硬件电路，主要包括低电压监测器、时钟管理器和看门狗等。比如时钟管理系统负责监测外部时钟的工作，一旦外部时钟源发生问题，系统就会自动将内部振荡器切换为主时钟源。

（3）安全性。信息时代，最为激烈的就是信息竞争，确保信息在传递过程中的保密性，是实现信息安全的必要步骤。一旦数据中包含的信息泄露，整个信息的传递就没有继续下去的意义。STM32可以通过锁定Flash引脚来确保信息不会泄露和被窃取，一旦出现想要获取芯片内部信息的行为，引脚状态就会被拉高，STM32会自动清除芯片内部信息。从而最终确保信息的安全性。

（4）在线调试。STM32支持Thumb-2指令，可以在C语言环境下完成软件的编译、仿真和调试。在软件平台上编写的程序可以通过下载口，下载到STM32芯片内部，进行在线调试，方便实时发现错误并进行及时的修改，实用性强。

3 电路设计

在本顶板离层位移传感器的设计中使用了许多模块电路和外围元器件，主要有以下内容：微控制器STM32F103C8T6以及最小系统电路、SWD下载接口电路、电源电路、LED数码管显示模块、双电位器采集电路、EEPROM存储器AT24C256、FLASH存储器W25Q128、蓝牙通讯HC05模块。下面将对这些模块电路分别介绍。

## 3.1单片机最小系统

单片机最小系统，或者称为最小应用系统，是指用最少的元件组成的单片机可以工作的系统。对STM32F1系列单片机来说，最小系统一般应该包括：单片机、晶振电路、复位电路。

## 3.1.1 STM32主控芯片电路

STM32F103C8T6采用LQFP64封装，共有64个引脚，拥有5个USART、3个SPI、3个ADC、2个IIC、许多个GPIO等丰富的外设资源。本文设计中分别使用了1个串口、1个SPI、一个IIC、2个ADC供蓝牙模块HC05、FLASH存储器W25Q128、EEPROM存储器AT24C256、以及电位器采集电路使用。具体电路如图3.1.1所示。

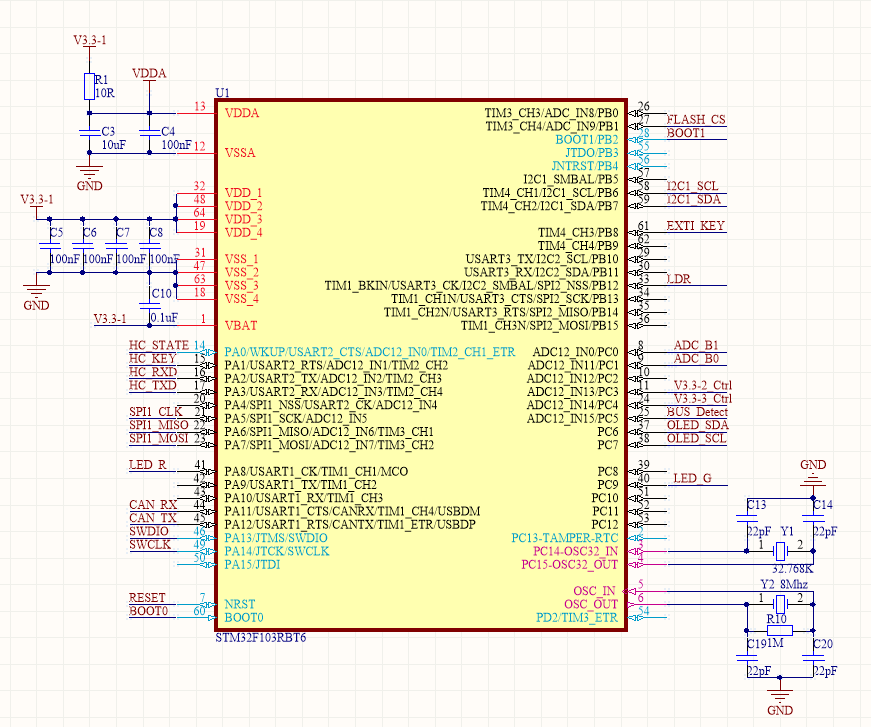


图3-1 STM32主控芯片电路

* + 1. 3.1.2复位电路

无论是在单片机刚开始接上电源时，还是运行过程中发生故障都需要复位。复位电路用于将单片机内部各电路的状态恢复到一个确定的初始值，并从这个状态开始工作。STM32F103C8T6为低电平复位，复位电路RESET端连接主芯片第7脚复位管脚．当上电一瞬间， C34相当于通路接地，芯片自动复位，之后V3.3-1稳定，C34相当于断路，复位端RESET一直为高电平。当开关按下时电容被放电、RESET也与地相接被拉到低电平，而且由于电容的充电，会保持一段时间的低电平来使单片机复位。具体复位电路如图3-2所示。

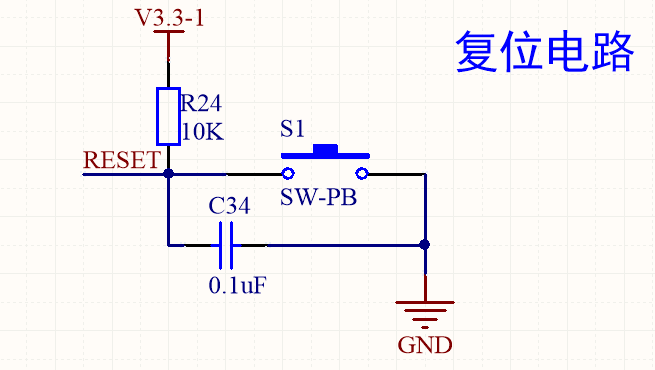


图3-2 复位电路

3.1.3晶振电路

单片机系统里都有晶振，在单片机系统里晶振作用非常大，全称叫晶体振荡器，结合单片机内部电路产生单片机所需的时钟频率，单片机晶振提供的时钟频率越高，那么单片机运行速度就越快，单片接的一切指令的执行都是建立在单片机晶振提供的时钟频率。

晶振通常与锁相环电路配合使用，以提供系统所需的时钟频率。如果不同子系统需要不同频率的时钟信号，可以用与同一个晶振相连的不同锁相环来提供。

本课题使用的STM32 芯片自身具有内部 RC振荡器即内部晶振，为芯片提供时钟基准，本课题中采用的STM32F103C8T6属于F1系列中的增强型，可以在 72MHz 的时钟下运行。但是内部 RC 振荡器的 不足之处是：准确性不够，而且稳定性不好，所以一般在设计中通常使用外部的晶振时钟源。通常情况下，外部时钟源可以分为高速外部振荡器(HSE)、低速外部振荡器(LSE)。在本课题中，主控芯片选择外接晶振电路，并同时使用了高速外部振荡器和低速外部振荡器。高速外部振荡器Y2是1个8MHz的无源晶振，从STM32的 OSC\_IN 和 OSC\_OUT引脚进入，并且搭配22pF的谐振电容C19、C20，通常与锁相环电路PLL配合使用，为以提供系统所需的时钟频率。而低速外部振荡器Y1是1个32.768Khz，从STM32的 OSC32\_IN 和 OSC32\_OUT引脚进入，同样搭配22pF的谐振电容C13、C14，通常为STM32的RTC、看门狗提供时钟来源。具体晶振电路如图3.3所示。

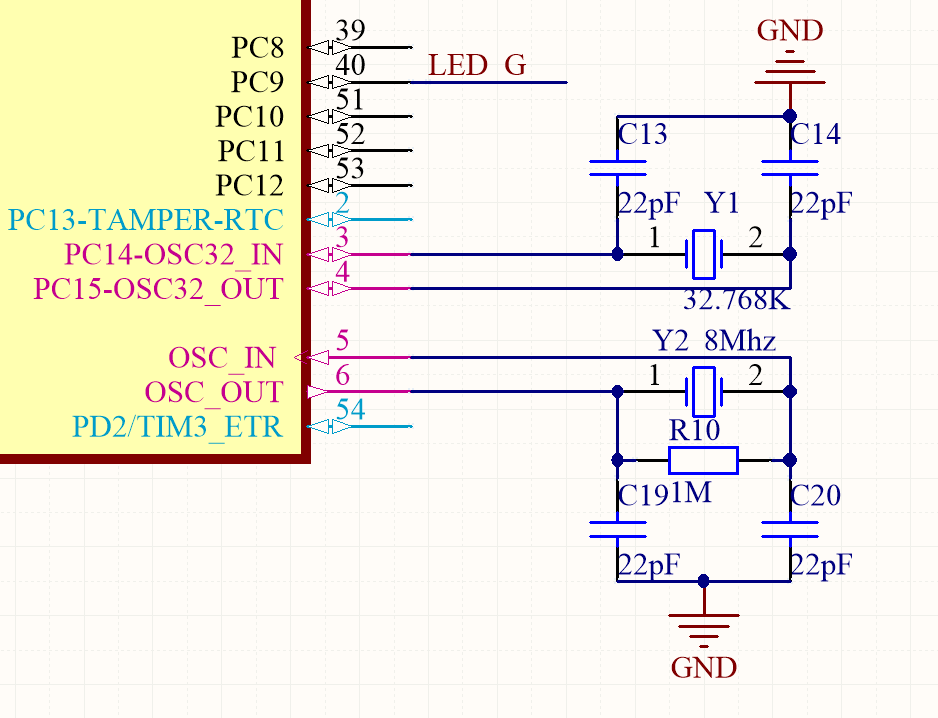


图3-3 晶振电路

3.1.4 BOOT启动电路

Cortex-M3内核的单片机有3种启动方式，所以STM32F103C8T6的启动方式同样有三种，详情如表3-1所示。

表3-1 BOOT选择说明

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 启动模式选择引脚 | | 启动模式 | 说明 |
| BOOT1 | BOOT0 |
| X | 0 | 从用户闪存启动 | 正常工作模式 |
| 0 | 1 | 从系统存储器启动 | 可用于ISP下载模式 |
| 1 | 1 | 从内置SRAM启动 | 用于调试，SRAM掉电数据丢失 |

3.1.5 SWD下载电路

单片机最核心的内容还是程序，当电路板制作完成并完成焊接工作后，就该将程序下载至芯片中。STM32支持的在线仿真调试和下载方式有两种，分别是JTAG和SWD模式。JTAG模式需要使用到5个引脚，而SWD模式只需要2个引脚。为了节省资源，本设计使用SWD模式下载。具体电路如图3-5所示。

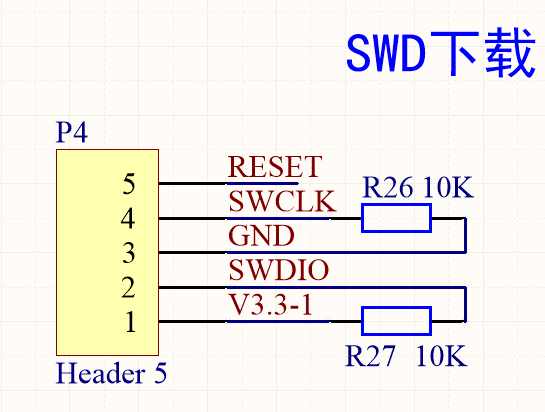


图3-5 SWD下载电路

## 3.2电源电路设计

顶板离层位移传感器被设计在矿井下使用，属于特殊的使用场景，所以其电源电路根据矿井的特殊环境特殊设计。顶板离层位移传感器的电源输入源有两个，其一是矿井下的电缆，其二为3.7V锂电池。特殊的电源电路设计，使其能在所有的使用需求下使用，无论是只使用电缆还是只使用电池，或者是使用电缆并且挂载电池用做备份电源，或者是只使用电池并且当电池电量耗尽时使用电缆充电的情景下，它都能够胜任。根据电源输入源的不同，电路有三种不同的工作模式，具体如下所示。

（1）只使用电缆作为电源输入源，电缆从LT1129-5输入，降压至5V后经过BAT54C输出后分别给TPS62125以及2个RT9193供电，然后都输出3.3V分别供STM32最小系统、采集电路和FLASH和EEPROM存储电路、蓝牙模块和数码管显示模块使用，并且为了实现低功耗的功能需求选用了RT9193，RT9193能被单片机控制是否使能输出3.3V从而控制电路的通断。

（2）只使用电池作为电源输入源，3.7V锂电池经过TP5400将电压升压至5V然后经过BAT54C输出，其他都与只使用电缆供电相同。

（3）同时使用电池与电缆，电缆被LT1129-5降压至5V后，同时输出至TP5400与BAT54C。TP5400此时作为锂电池充电芯片，为3.7V锂电池充电直到电池充满电，当有5V电路输入TP5400时，TP5400不会将3.7V锂电池升压输出5V。经过BTA54C的电路与上面描述相同。具体电源电路框图如图3-2所示。

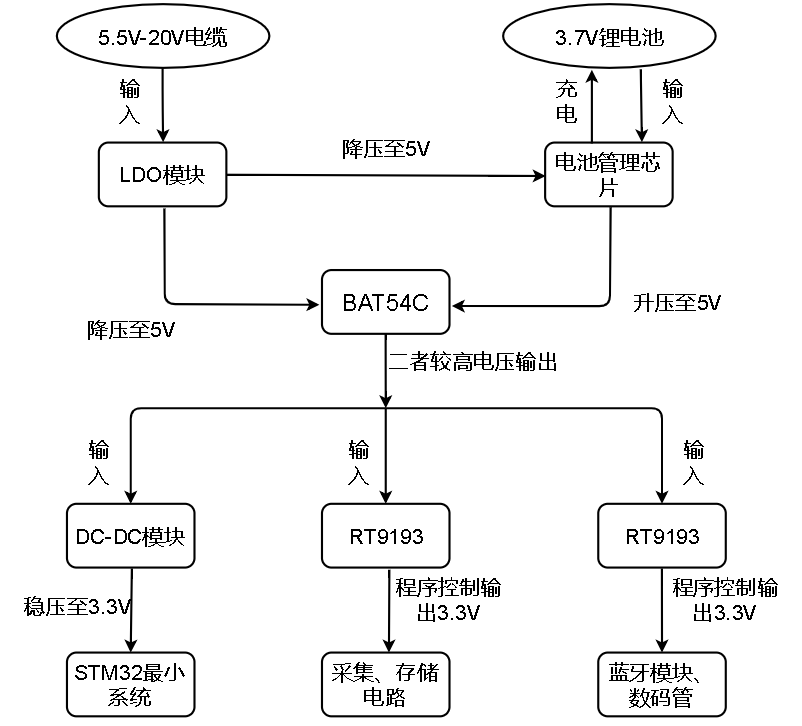


图3-6 电源电路框图

## 3.2.1电缆电路

在合适的条件下位移传感器可以利用LT1129-5使用电缆供电， LT1129-5是具有关断功能的微功耗低压输出稳压器。输入电压范围为5.5V-20V， 能够提供700mA的输出电流，稳定输出5V电路。LT1129-5部分电路具体原理图见图3.7

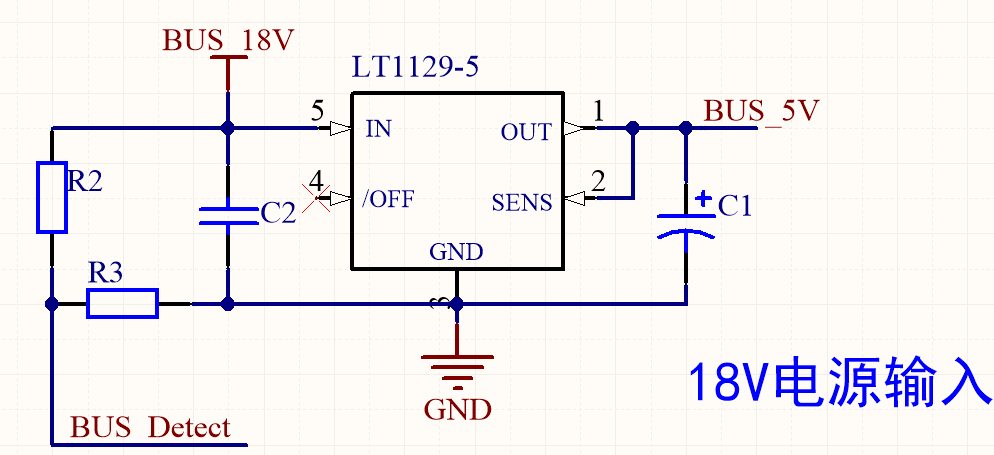


图3-7 LT1129-5电路原理图

## 3.2.2电池升压/充电电路

在设计顶板离层位移传感器的电池部分电路时，曾选用过其他方案，而非电源电路框图中所用的TP5400。之前使用的是FP6715作为电池升压电路模块，电池充电模块使用TP4057。

FP6715是一款高效率的电流模式PWM升压型DC / DC转换器，输入范围2.5V-5.5V，具有高达93%的转换效率，能够稳定升压输出5V，最高可达2.5A的电流。

TP4057一款完整的单节锂离子电池充电器，带电池正负极反接保护，采用恒定电流/恒定电压线性控制。充电电压固定于4.2V,充电电流最大500mA并且可以根据PROG引脚的电阻大小设定充电电流大小。3.7V锂电池的满电电压为4.2V,当锂电池达到满电电压时,充电电流将降低到设置电流的1/10,这时将自动停止充电。当输入电压被拿掉的时候,TP4057进入一个低电流状态。具体的最初的电池升压电路和电池充电电路设计如图3.2.2和图3.2.3所示。

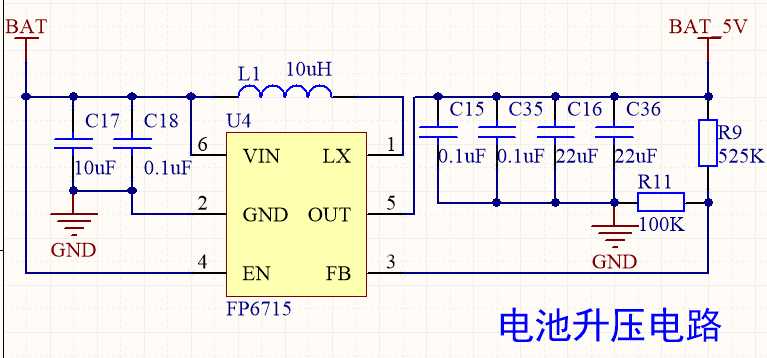


图3-8 初版电池升压电路

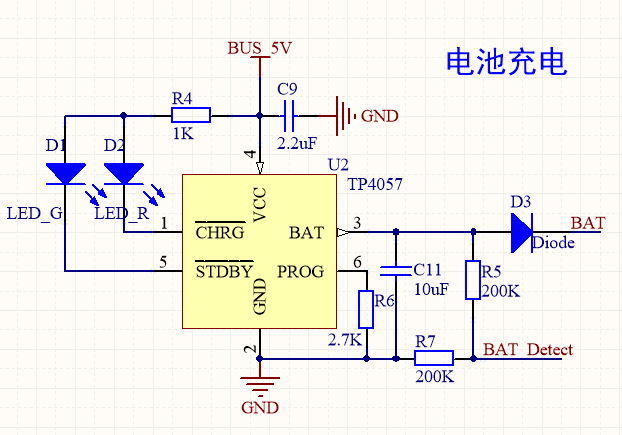


图3-8 初版电池充电电路

最终放弃了FP6715+TP4057的电池部分电路设计的原因主要是FP6715的静态电流太大，大约有50多uA，即便FP6715拥有2.5A的电流，93%的转换效率。但是对于低功耗产品而言，50多uA的静态电流是致命的缺陷。随后对电池部分电路设计中的IC重新进行了选型，最终才选用了电池升压、充电二合一的TP5400，并且TP5400的转换效率同样很高，升压效率高达90%，最重要的是TP5400的静态电流小于10uA,后经实际测量大概在6.5uA。再结合实际生产的成本与供货量问题，显然TP5400的性价比更高，并且销量远高于FP6715和TP4057。所以最终选用了TP5400。

TP5400是一款采用恒定电流/恒定电压对单节锂离子电池充电和升压放电控制器。它能够提供1000mA的充电电流（借助一个热设计良好的PCB布局）。升压电路内置了NMOS功率管，外部仅需一个电感和肖特基二极管及少量电容即可完成5V升压输出。当升压输出引脚端接入负载时，TP5400可提供一个5V的稳压源，驱动能力达1A，并且静态电流小于10uA。

TP5400的充电电流可以自行设定大小，采用一个连接在PROG引脚与地之间的电阻器来设定的。设定电阻器和充电电流采用下列近似公式来计算根据需要的充电电流来确定电阻器阻值，公式 R = 1100 / Ibat 。

TP5400具有极强的电池保护功能，电池充电时，如果电池正极电压低于2.9V，则充电器进入涓流预充电模式。在该模式中，TP5400提供一个恒流电流1/5的设定充电电流，以便将电流电压提升至一个安全的电压，从而实现满电流充电。当电池正极电压升至2.9V以上时，充电器进入恒定电流模式，此时向电池提供恒定的充电电流。当电池正极电压达到最终浮充电压（4.2V）时，TP5400进入恒定电压模式，且充电电流开始减小。当充电电流降至设定值的1/5，充电循环结束。而电池升压输出模式中，当锂电池电压低至3V时，TP5400会自动关断升压。当锂电池恢复至3.3V以上后，停机状态取消，升压恢复工作。

TP5400有两个漏极开路状态指示输出端，CHRG和STDBY。当充电器处于充电状态时，CHRG被拉到低电平，在其它状态，CHRG处于高阻态。当电池没有接到充电器时，CHRG输出脉冲信号表示没有安装电池。当电池连接端BAT管脚的外接电容为10uF时CHRG闪烁周期约0.5-2秒。具体指示灯状态见表3-2

表3-2 指示灯状态表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 充电状态 | 红灯 CHRG | 绿灯 STDBY |
| 正在充电状态 | 亮 | 灭 |
| 电池充满状态 | 灭 | 亮 |
| 无电池状态 | 闪烁 | 亮 |
| 升压工作时 | 灭 | 灭 |

本课题在设计TP5400的电路时，结合顶板离层位移传感器实际使用场景以及矿井这种特殊的环境所要求的本安认证要求以及低功耗使用时长要求，最终选用了3000mAh的3.7V有本安认证的锂电池，并且稍微限制了充电电流大小，根据公式计算出电阻阻值约为1500欧姆。具体电路如图3.9所示。

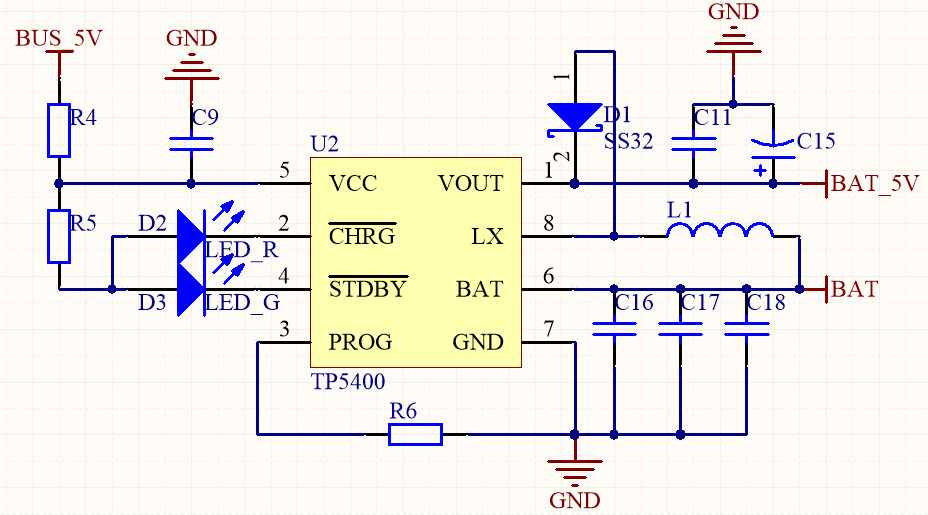


图3-9 电池升压充电二合一电路

## 3.2.3 稳压3.3V电路

无论采用何种供电方式，都会输出5V电路，而STM32单片机、FLASH存储器、蓝牙模块等都需要3.3V左右的工作电压。所以还需要将5V电路降压至3.3V。并且为了低功耗功能，本文在设计此部分电路时，将3.3V的电路分成了三部分。分别给单片机最小系统、采集和存储部分电路、显示和蓝牙通讯部分电路供电。其中单片机需要一直工作，无论单片机处于何种模式或状态，都要确保其供电正常，所以需要非常低的静态电流的电源芯片。而其他两部分的电路则略有不同，这两部分的电路应当是仅在需要的时候能有就行，所以需要有使能控制引脚并且非使能状态静态电流小的电源芯片。最后根据需求，选定了TPS62125和RT9193。

TPS62125是一款高效率的同步降压转换器，专门针对低功耗和超低功耗应用进行了优化，可以提供高达300mA的输出电流，拥有3V-17V的宽输入电压和1.2V-10V的可调输出电压，可以支持1-4节锂电池的供电应用场景，拥有极低的静态电流13uA。从参数上看TPS62125能够完美的满足顶板离层位移传感器的低功耗需求。本文在设计此部分电路时需要3.3V的输出电压，而输出电压由外部反馈分压器调节，并由以下公式计算输出电压。所以本文设计中的R7和R11分别为1.8MΩ和576KΩ，V3.3-1为STM32F103C8T6提供3.3V的电源电压。具体电路如图3.2.5所示。

公式：VOUT = VREF\_FB ´ ( 1 + ( R7 / R11 ) ) ,VREF\_FB = 0.8v

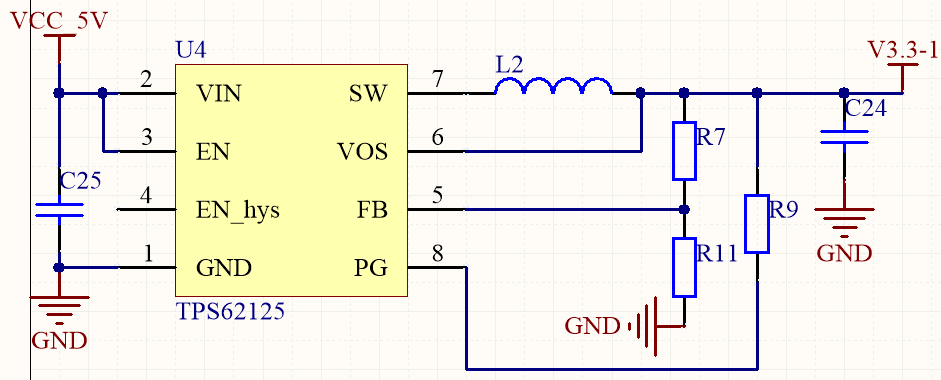


图3-10TPS62125电路

RT9193专为便携式RF和无线应用而设计，具有苛刻的性能和空间要求。其性能针对电池供电系统进行了优化，可提供超低噪声和低静态电流，在截止模式下消耗小于0.01uA并且从截止模式切换至工作模式的唤醒时间小于50us。这些优秀的功能和参数满足了本文设计中有关3.3V电路的开关控制和低功耗需求。有关此部分电路设计，有一点需要注意，就是RT9193的EN引脚需要接一个100KΩ的下拉电阻连接到GND。U7和U9分别为数码管和蓝牙模块HC05、FLASH存储器W25Q128和EEPROM存储器AT24C256提供电源输入，并且分别由V3.3-2\_CTRL和V3.3-3\_CTRL控制使能，具体电路设计见图3.2.6所示。

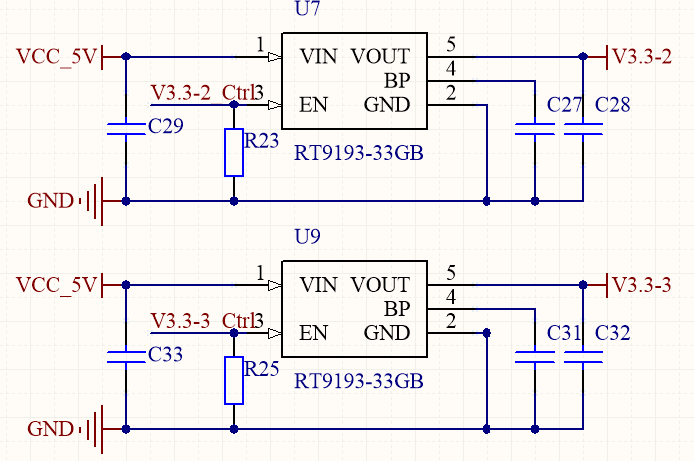


图3-11 RT9193电路

## 3.3采集电路设计

本文中设计的采集电路部分主要分为电位器和AD采集电路，电位器采用两个10K的电位器并联并分别采集深基点和浅基点的数据，电位器的转轴套上一个圆环，钢索绕圆环一圈后打入基点岩石内部，当基点发生位移就会拉动钢索从而旋转电位器转轴，最终导致电位的变化。采用这样的方式就能使用ADC来采集位移数据了。电位器具体实物如图3.12所示。



图3-12电位器实物图

AD采集电路设计成无源低通滤波电路，用于滤去整流输出电压中的纹波，且结构简单，易于设计。电抗元件组成，负载电阻两端并联电容器组合而成的滤波电路。具体电路如图3.13所示。

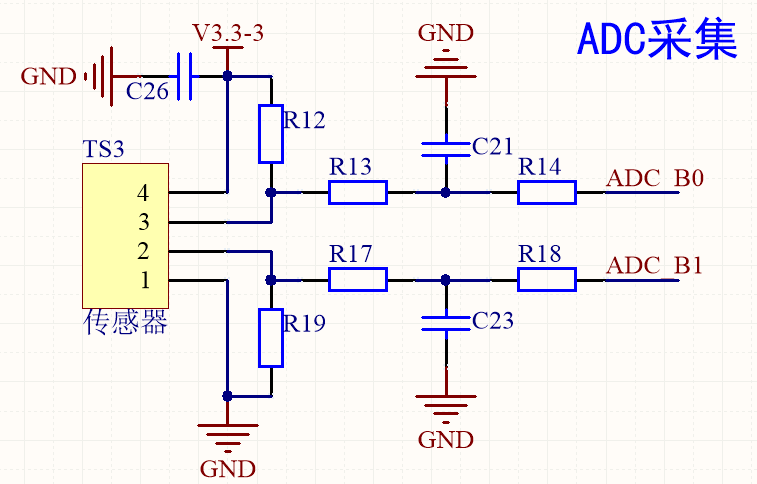


图3-13 AD采集电路

## 3.4存储电路设计

本文在设计顶板离层位移传感器的存储部分电路时，同时使用了FLASH存储器和EEPROM存储器。FLASH存储器W25Q128用来存储采集到的数据，EEPROM存储器AT24C256则用来存储顶板离层位移传感器设备的设备ID、采集周期、FLASH存储写地址和FLASH存储读地址、容差值等设备参数。

EEPROM的全称是“电可擦除可编程只读存储器，即Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory。是相对于紫外擦除的rom来讲的。但是今天已经存在多种EEPROM的变种，变成了一类存储器的统称。本文设计中使用的EEPROM存储器是AT24C256，拥有32KB的大容量存储空间和极高的可靠性，其擦写次数高达100万次，数据能够存储100年，兼容所有IIC通信协议，可通过IIC与MCU通信。但是电路复杂/成本也高。因此目前的EEPROM都是几十千字节到几百千字节的，绝少有超过512K的，所以用EEPROM存储设备参数而不是采集数据。AT24C256的电路设计比较简单，仅需注意IIC总线需要接上拉电阻。具体电路设计如图3.14所示。

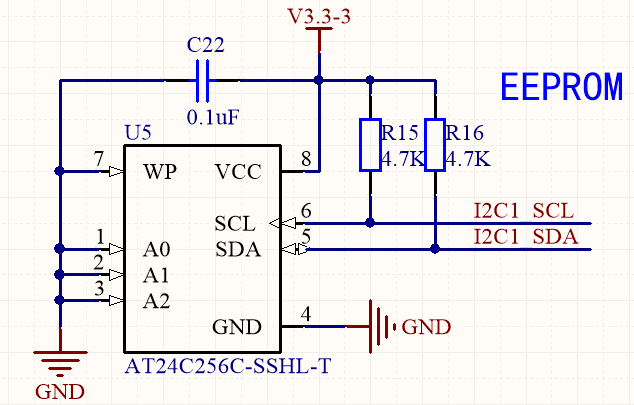


图3-14 EEPROM电路

Flash属于广义的EEPROM，因为它也是电擦除的ROM。但是为了区别于一般的按字节为单位的擦写的EEPROM，我们都叫它Flash。两者的主要区别是FLASH按扇区操作，EEPROM则按字节操作，二者寻址方法不同，存储单元的结构也不同，FLASH的电路结构较简单，同样容量占芯片面积较小，成本自然比EEPROM低，所以本文在设计存储电路时使用了FLASH作为数据存储器。W25Q128具有16MB的超大存储空间，至少能够存储顶板离层位移传感器2年内采集到的数据。数据能够保存超过20年，拥有10万次的擦写寿命。W25Q128兼容SPI以及QPI通讯协议，本文在设计中使用的是SPI通讯协议，需要使用到CS、MOSI、MISO、CLK四根线，具体电路图如图3-15所示。

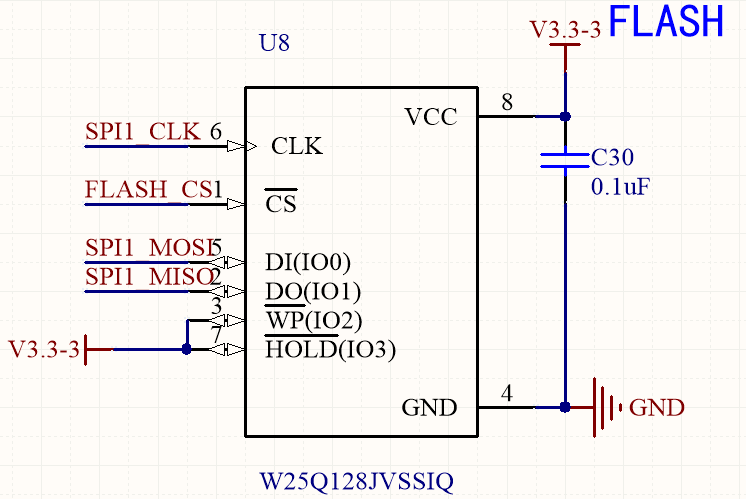


图3-15FLASH存储器W25Q128电路

## 3.5唤醒电路设计

顶板离层位移传感器设计定位于低功耗产品，所以顶板离层位移传感器大部分时间处于休眠状态，仅当需要的时候才唤醒设备工作。有关采集存储部分设计不需要外部触发，能够通过内部RTC唤醒设备，而顶板离层位移传感器上传数据至手机或者数码管显示当前数据的时间是不确定的，所以需要外部触发设备进行相应的操作，故需要设计外部中断电路来唤醒设备并进行相应的操作。

本文设计的唤醒方式有两种，其一是光敏二极管感受到光照变化。顶板离层位移传感器的工作环境是煤矿等矿井中，一般此类环境都是黑暗条件，矿井下的工作人员一般都携带照明设备，所以采用光照唤醒设备的方式非常合适使用场景。光敏二极管也叫[光电二极管](https://baike.baidu.com/item/%E5%85%89%E7%94%B5%E4%BA%8C%E6%9E%81%E7%AE%A1)。光敏二极管与[半导体二极管](https://baike.baidu.com/item/%E5%8D%8A%E5%AF%BC%E4%BD%93%E4%BA%8C%E6%9E%81%E7%AE%A1)在结构上是类似的,其管芯是一个具有光敏特征的PN结，具有[单向导电性](https://baike.baidu.com/item/%E5%8D%95%E5%90%91%E5%AF%BC%E7%94%B5%E6%80%A7)，因此工作时需加上[反向电压](https://baike.baidu.com/item/%E5%8F%8D%E5%90%91%E7%94%B5%E5%8E%8B)。无光照时，有很小的饱和反向漏电流，即[暗电流](https://baike.baidu.com/item/%E6%9A%97%E7%94%B5%E6%B5%81)，此时光敏二极管截止。当受到光照时,饱和反向漏电流大大增加，形成[光电流](https://baike.baidu.com/item/%E5%85%89%E7%94%B5%E6%B5%81),它随入射光强度的变化而变化。本文设计将光敏二极管负极通过100KΩ的上拉电阻与V3.3-1相连，当设备处于黑暗环境下光敏二极管截止,LDR处于高电平，当光敏二极管收到光照时，二极管导通则LDR会被拉到低电平产生下降沿，STM32则检测此引脚的下降沿从而产生中断，唤醒设备。具体光照唤醒电路如图3.16所示。

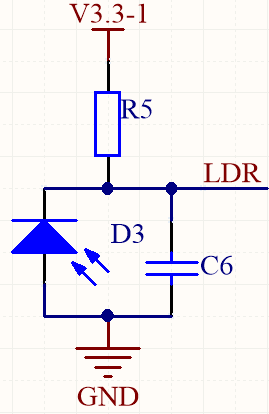


图3-16 光照唤醒电路

其二是实体按键被按下，原理与光照唤醒类似，都是检测上升沿或者下降沿。当按键被按下时，EXTI\_KEY引脚被拉高至高电平，产生上升沿从而产生中断，唤醒设备进行相应的工作。具体电路图如图3-16所示。

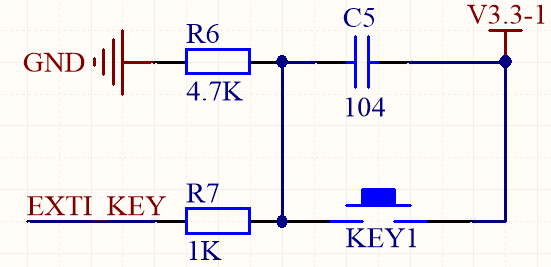


图3-17 外部按键唤醒电路

## 3.6数码管电路设计

由于矿井的特殊环境，以及顶板离层位移传感器安装位置距离地面较远，使用LCD屏幕可能存在看不清楚的问题，所以本文在设计显示模块的时候，选用了4位0.4英寸的数码管，超大的数码管极大的增强了顶板离层位移传感器的可视范围，即便距离顶板离层位移传感器3或4米都能看清设备显示内容。

本课题在设计此部分电路时，采用了四位共阳极数码管与TM1637搭配使用的方式，而非使用很多个引脚单独的去控制每一个数码管的每一个段码，这样需要使用到非常多的IO引脚，多达40个，将会造成巨大的IO资源浪费，同时每一位数码管都一直亮着会增大功耗。为了避免这些问题，本课题采用了动态显示驱动，动态驱动是将所有数码管的8个显示笔划"a,b,c,d,e,f,g,dp"的同名端连在一起，另外为每个数码管的公共极COM增加位选通控制电路，位选通由各自独立的I/O线控制，当单片机输出字形码时，所有数码管都接收到相同的字形码，但究竟是哪个数码管会显示出字形，取决于单片机对位选通COM端电路的控制，所以我们只要将需要显示的数码管的选通控制打开，该位就显示出字形，没有选通的数码管就不会亮。通过分时轮流控制各个数码管的的COM端，就使各个数码管轮流受控显示。在轮流显示过程中，每位数码管的点亮时间为1～2ms，由于人的视觉暂留现象及发光二极管的[余辉效应](https://baike.baidu.com/item/%E4%BD%99%E8%BE%89%E6%95%88%E5%BA%94)，尽管实际上各位数码管并非同时点亮，但只要扫描的速度足够快，给人的印象就是一组稳定的显示数据，不会有闪烁感，动态显示的效果和静态显示是一样的，能够节省大量的I/O端口，而且功耗更低。

TM1637是一种带键盘扫描接口的LED（发光二极管显示器）驱动控制专用芯片，能够非常简单的实现数码管动态显示驱动，最多可显示6位的共阳极数码管,通过IIC协议与MCU通信。MCU仅需通过DIO向TM1637发送要显示的内容，TM1637就能驱动数码管显示相应的内容。具体电路如图3.5.1与3.5.2所示。

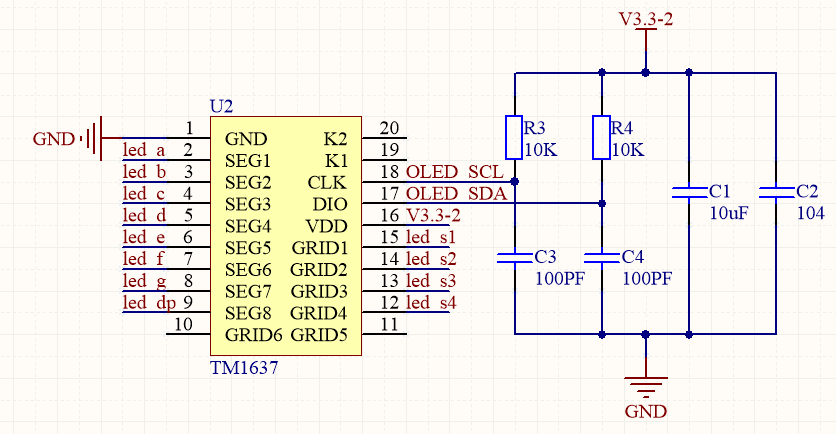


图3-18TM1637电路

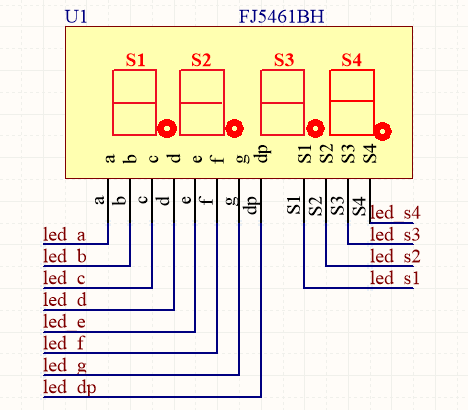


图3-19 四位共阳极数码管

## 3.6蓝牙通讯电路设计

本课题采用了蓝牙点对点的方式实现数据上传与设备参数设定，采用广州汇承的HC-05作为蓝牙通讯模块。HC-05 蓝牙串口通信模块，是基于 Bluetooth Specification V2.0 带 EDR 蓝牙协议的数传模块。无线工作频段为 2.4GHz ISM，调制方式是 GFSK。模块最大发射功率为 4dBm，接收灵敏度-85dBm，板载 PCB 天线，可以实现 10 米距离通信。

使用HC-05最大的便利之处就是不用去了解蓝牙协议，不需要花费大量时间和精力去移植蓝牙协议栈，仅需使用AT指令对蓝牙模块进行参数设置。将HC05当做无线串口使用，仅需使用串口给HC-05发送数据，HC-05就自动将数据以无线电波的方式发送到空中，手机内的蓝牙或其他设备就能收到数据。同样的HC-05也能自动的获取无线电波的数据然后发送给MCU的串口。并且HC-05板载了陶瓷天线，不需要再外接天线。

本课题中为了产品的可靠性，有关HC-05的电路设计根据汇承的文档自行设计了HC-05的外围电路，而非采用带有底板的6引脚直插式HC-05。其中HC\_KEY为带下拉的AT指令控制，HC\_STATE则用来指示蓝牙是否连接，D4则用来指示当前蓝牙模块工作情况，蓝牙未连接时，若HC-05未记录从机地址D4快闪；若HC-05记录从机地址D4慢闪。蓝牙连接后D4 两闪一停。 具体电路图如图3.6.1所示。

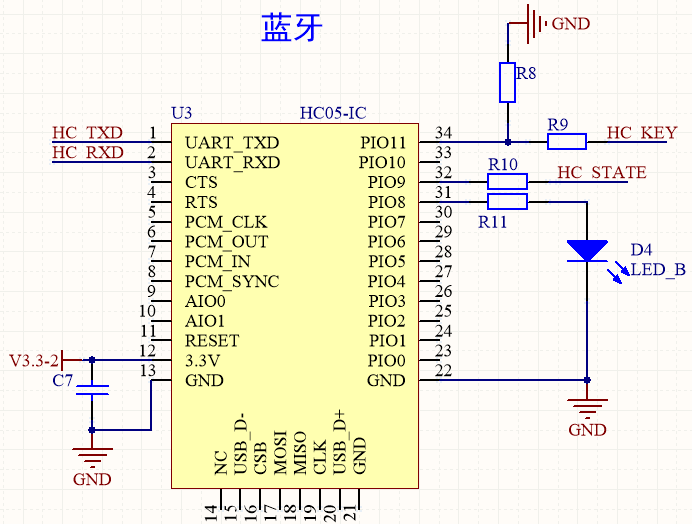


图3.19 蓝牙HC-05电路

4 软件设计

## 4.1 软件整体设计

在微控制器发展迅速的年代，高级的微控制器可能拥有数百上千个寄存器，而单片机程序设计的本质就是操作寄存器。面对数量极为庞大的寄存器，任何一个工程师都难以了如指掌所有的寄存器。不过ST首创地对STM32的开发者们提供了标准外设库，标准外设库（Standard Peripherals Library）是对STM32芯片的一个完整的封装，包括所有标准器件外设的器件驱动器。这应该是目前使用最多的ST库，几乎全部使用C语言实现。标准外设库大大减少了开发者的开发时间和难度，使开发者们不需要花费大量精力去研究MCU的寄存器。为了降低开发难度和成本，本课题采用的软件编程就是采用了校准外设库进行编程。

本课题中为了产品的稳定性、程序的健壮性，程序设计主要分为两部分，其一是各底层驱动和各功能模块的设计。主要包括主程序、初始化程序、数码管显示程序、蓝牙通信程序、数据采集程序、数据存储程序以及外部中断程序。其中初始化程序包括MCU各外设配置驱动程序以及各功能模块完好验证，例如检查微处理器RCC时钟寄存器的状态寄存器是否正常来检测外部32.768kHz的低速晶振是否起振或者读取EEPROM、FLASH的ID来检测EEPROM和FLASH是否正常工作。蓝牙通信程序主要分为数据上传和设备参数读取/设定；其二是设备的各任务切换程序。具体软件整体功能设计框图如图4.1所示。

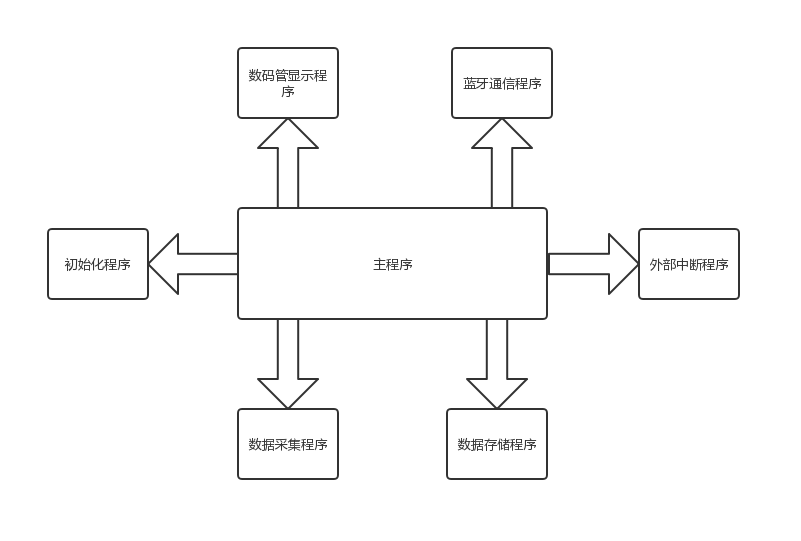
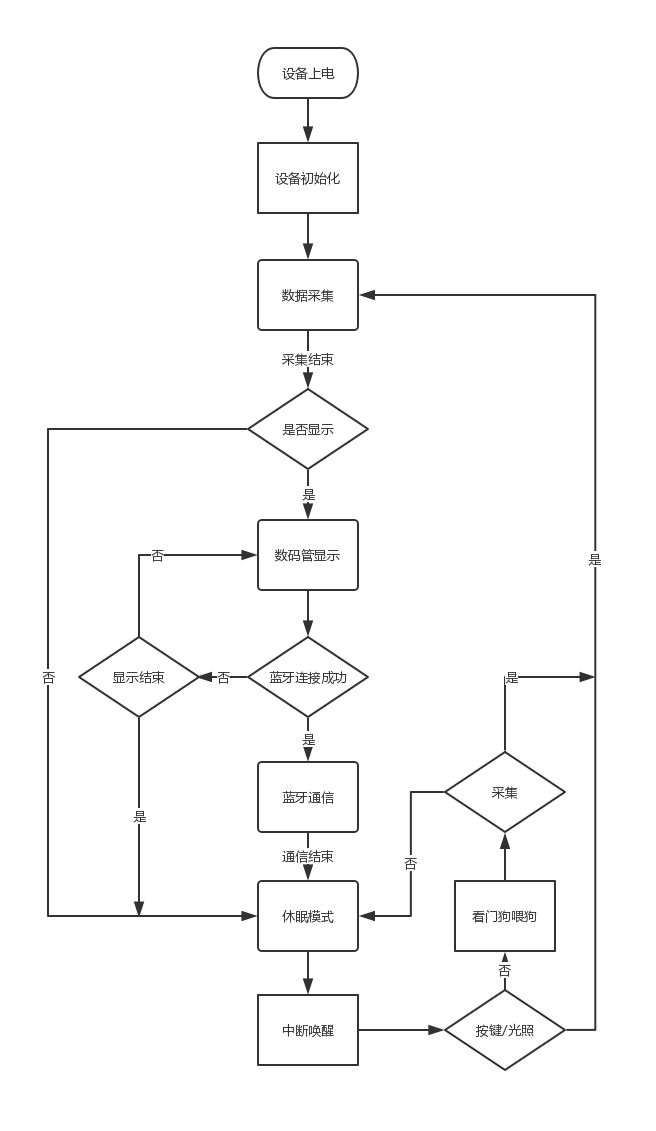


图4.1 程序功能框图

本课题在设计程序执行流程的过程中，采用了与嵌入式多任务系统类似的前后台系统，通过标志位表示各任务执行状态，利用中断服务程序来改变各标志位的状态，从而实现任务的切换。

设备主要的任务有四个，分别是数据采集、数码管显示、蓝牙通信、休眠。当设备上电后将会进行设备初始化，初始化完成后将会采集数据，采集完成后将进入休眠模式，直到有中断将设备唤醒。若是闹钟中断唤醒，则判断是否达到采集周期需要进行采集操作。若没达到采集周期则进行看门狗喂狗，完成喂狗后继续休眠；若达到采集周期则进行采集，采集完成后继续休眠。若是人为的按键或光照外部中断唤醒，则进行采集，采集完成后将采集到的的数据用数码管持续显示并等待蓝牙连接。若在等待期间蓝牙连接上了则进入通信模式，根据APP操作的不同，设备数据上传或对设备进行参数设定，完成通信后设备继续休眠；若蓝牙未连接则在数码管达到显示结束时间后，设备继续休眠。具体流程图如图4.2所示

 图4.2 程序流程图

## 4.2 初始化程序

初始化程序主要包括MCU的各部分外设的配置，需要开启相应的外设时钟、配置外设的IO引脚模式、以及外设各部分参数配置。驱动蓝牙模块HC05的UART配置成波特率115200、数据位8位、1位停止位、无校验、开启发送和接收模式，相应的GPIO引脚TXD、RXD分别设置成复用推挽输出和上拉输入。驱动FLASH存储器W25Q128的SPI配置成主机模式、双线全双工、时钟极性高、时钟相位偶数边沿采集、片选信号软件控制、时钟分频4即SPI速度16M、数据高位先行，相应的GPIO引脚都是复用推挽输出。驱动EEPROM和数码管的GPIO都配置成开漏输出、数据采集所用的ADC、定时器。其中EEPROM和数码管都是使用软件模拟IIC通信协议，没有用到MCU的IIC外设。

配置完MCU的外设以及GPIO后，需要检查外部低速时钟源是否起振，FLASH存储器和EEPROM存储器是否能够正常通信并读取相应的ID。最后从EEPROM内读取出设备相关参数。

具体代码如下所示。

void Init(void)

{

delay\_Config(); //初始化延时函数

USART2\_Config(115200); //初始化串口为115200

LED\_Config(); //初始化LED

KEY\_Config(); //初始化按键

LDR\_Config(); //初始化光敏电阻

HC05\_Config(); //初始化蓝牙连接指示引脚

Power\_Config(); //初始化电源控制

Power3\_Ctrl(ON); //开启V3.3-3并等待稳定

delay\_ms(120);

SPI\_Flash\_Config(); //初始化SPI FLASH

AT24CXX\_Init(); //IIC初始化

Data\_ADC\_Config(); //初始化压力检测ADC

TIM2\_Config(59999,35999); //初始化定时器TIM2定时时间30s

while(RTC\_Config()) //RTC初始化 ，一定要初始化成功

{

u2\_printf("\r\n RTC ERROR \r\n");

delay\_ms(800);

u2\_printf("\r\n RTC Trying...\r\n");

}

while(SPI\_Flash\_ReadID()!=W25Q128) //检测不到W25Q64

{

u2\_printf("\r\n 25Q128 Check Failed!");

delay\_ms(500);

u2\_printf("\r\n Please Check!\r\n");

delay\_ms(500);

}

while(AT24CXX\_Check()) //检测不到24c02

{

u2\_printf("\r\n24C02 Check Failed!\r\n");

delay\_ms(500);

u2\_printf("\r\nPlease Check! \r\n");

delay\_ms(500);

}

}

## 4.2 数据采集程序

数据采集是顶板离层位移传感器非常重要的功能，需要将顶板离层位移情况通过STM32内部ADC采集，并将其转换为位移量。本课题中所使用的STM32F103C8T6具有3个12位精度的ADC，其中ADC1和ADC2具有16个采集通道，功能十分强大。本课题设计中使用的是ADC1的通道10和通道11，为确保采集数据准确，采样时间设置成最长的239.5个采集周期，并为了提高设备运行效率，ADC时钟设置成6分频即12Mhz，故采集一次的时间约为20us。此外,ADC采集模式配置成连续采集并且使能了DMA传输，每次ADC采集完成都会触发DMA传输请求，后台将自动的将ADC数据寄存器内的采集数据搬运到指定的内存中。在每次需要使用数据时直接从内存里读取就能获得最新采集到的数据。

在获得ADC采集到的数据后还需要将数据转换成位移量。本课题使用的ADC精度为12位，采集到的数值范围为0-4096，而顶板离层位移传感器的位移量程是0-610mm。此处就需要进行单位转换。ADC采集到的数值与电位器的阻值即电位器转动圈数有关，而电位器上套的圆环周长为61mm，故获得电位器转动圈数与ADC采集数值的关系就能换算ADC数值与顶板离层位移量。本课题在进行此部分转换时进行了大量数据测试，最终近似的获得了ADC采集的数值与电位器转动圈数的曲线如图4.2.1所示。

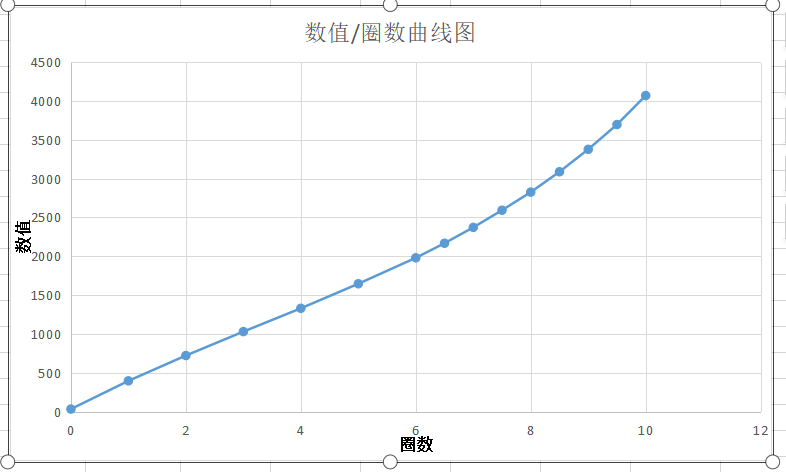


图4.3 电位器圈数/ADC采集数值曲线图

由曲线图可知电位器转动圈数与ADC采集到的数值并非线性关系，所以本课题在进行此部分转换时将曲线分成许多小段，换算成近似相等的线性关系，即将此曲线进行微分，从而获得转换关系。

数据采集程序的采集完成后应当将数据进行存储，但是由于FLASH的擦写寿命为10万次，所以为了设备的使用年限，不能每次采集后都将数据存储起来。而是每次采集后将数据换算成毫米单位的位移量后，再与上次所采集到的数据的位移量进行比较，若是两者差的绝对值大于设备参数所设定的容差值才会进行存储。具体流程图如图4.4所示。

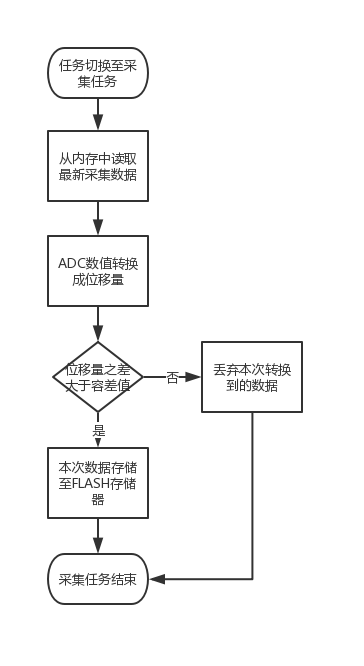


图4.4 采集流程图

## 4.3 数据存储程序

本课题中数据存储在外部FLASH存储器W25Q128中，它采用SPI通信协议与MCU进行通信。SPI协议是由摩托罗拉公司提出的通讯协议(SerialPeripheralInterface)，即串行外围设备接口，是一种高速全双工的通信总线。它被广泛地使用在ADC、LCD等设备与MCU间，要求通讯速率较高的场合。

SPI 通讯使用 3 条总线及片选线， 3 条总线分别为 SCK、 MOSI、 MISO，片选线为 SS，它们的作用介绍如下[2]：

（1）SS( Slave Select)：从设备选择信号线，常称为片选信号线，也称为 NSS。每个从设备都有独立的这一条 NSS 信号线，SPI 协议中没有设备地址，它使用 NSS 信号线来寻址，当主机要选择从设备时，把该从设备的 NSS 信号线设置为低电平，该从设备即被选中，即片选有效，接着主机开始与被选中的从设备进行 SPI通讯。所以 SPI通讯以 NSS 线置低电平为开始信号，以 NSS 线被拉高作为结束信号。

（2）SCK (Serial Clock)：时钟信号线，用于通讯数据同步。

（3）MOSI (Master Output，Slave Input)：主设备输出/从设备输入引脚，即这条线上数据的方向为主机到从机。

(4) MISO(Master Input，Slave Output)：主设备输入/从设备输出引脚，即在这条线上数据的方向为从机到主机。

向FLASH写数据之前，需要先使能写操作，通过数据手册中提供的命令向FLASH发送Write Enable 命令。由于FLASH的存储特性，原来是“0”的数据不能直接改写成“1”，所以在写入数据之前必须对存储器目标地址进行擦除操作。具体擦写过程如图4.5所示。

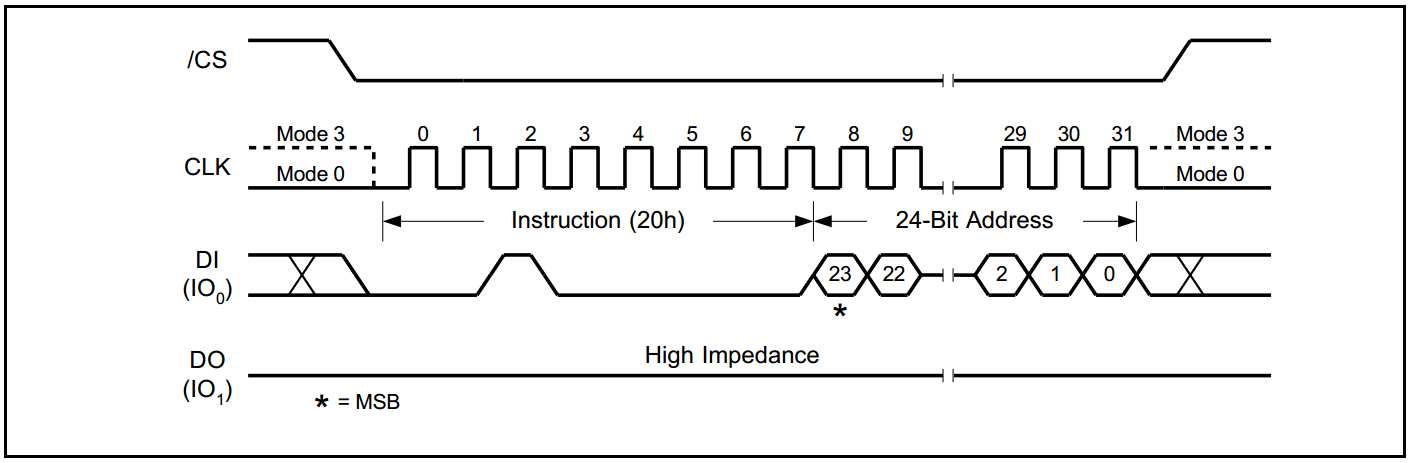


图4.5 FLASH擦写过程图

在完成目标扇区擦写过程后，才能写入数据。W25Q128支持页写入方式可以一次最多写入256个字节的数据。具体写入过程如图4.6所示。

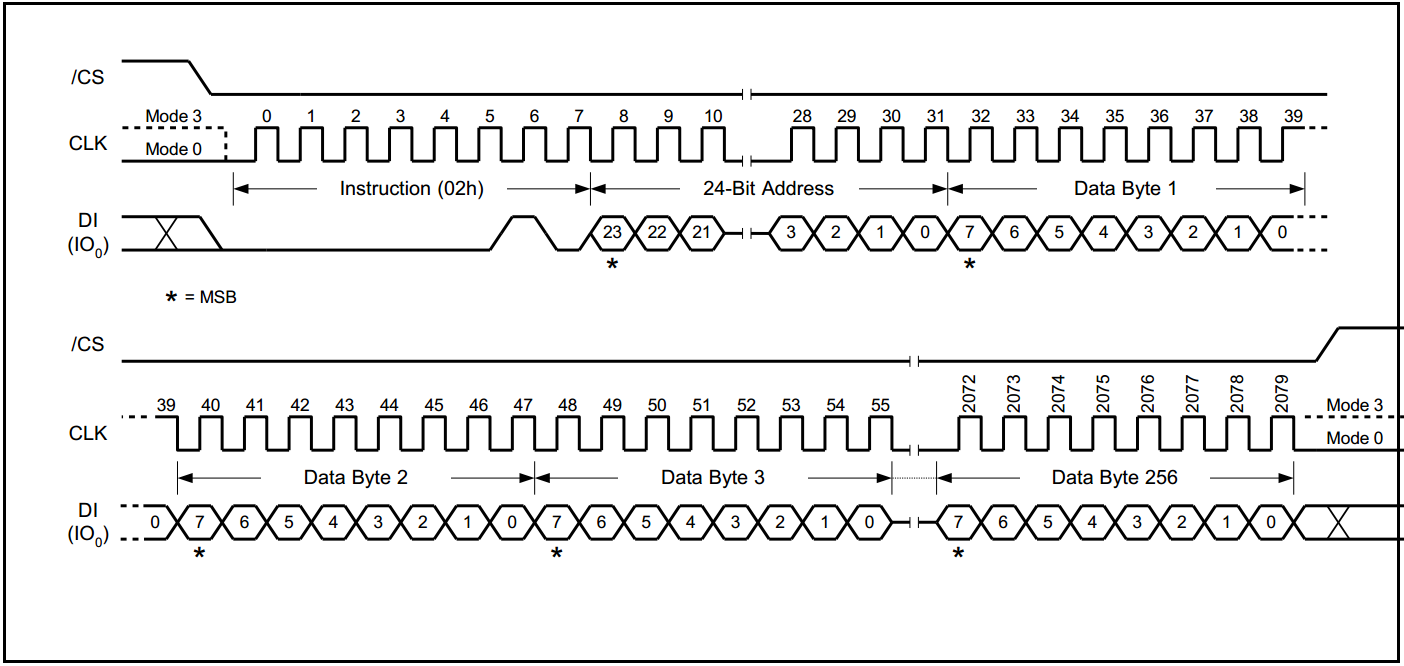


图4.6 页写入过程图

为了防止设备数据存储完所有FLASH存储空间，本课题设计了防溢出设计。没有采用FAT文件系统存储每天的数据，而是按地址存储，并且在EEPROM内存储了当前FLASH写到的地址，每次存储新的数据都会更新EEPROM内的FLASH写地址。此外还在每次上传数据时更新EEPROM内的FLASH读地址，并且检测FLASH写地址是否已超出设定的FLASH溢出阈值，若超过则将设备存储相关参数都初始化为出厂设置。从而实现即增长设备使用年限又保证了数据不丢失。具体代码如下所示：

if(Write\_Addr >= FLASH\_SIZE) //已经超过内存阈值

{

Write\_Addr = Write\_BeginAddr;

Read\_Addr = Write\_BeginAddr;

GlobalCount = 0;

G\_NumOfFrame = 0;

G\_NumOfSingle = 0;

AT24CXX\_Write(Write\_Addr\_Addr,(u8\*)&Write\_Addr,4);

AT24CXX\_Write(Read\_Addr\_Addr,(u8\*)&Read\_Addr,4);

AT24CXX\_Write(GlobalCount\_Addr,(u8\*)&GlobalCount,4);

}

## 4.4 数码管显示程序

数码管显示程序主要是驱动TM1637，它是数码管显示专用驱动芯片。采用类似IIC的通信协议与MCU通信。显示数码管有两种模式，一种是写SRAM数据固定地址模式，另一种是写SRAM数据地址自动加1模式。本课题设计使用的是第二种，开始通信后，先发送命令设置芯片模式为数码管显示写SRAM数据地址加1模式，随后在发送要写的地址，然后紧跟着要显示的4位数码管的每一位数据。具体驱动流程如图4.7所示。

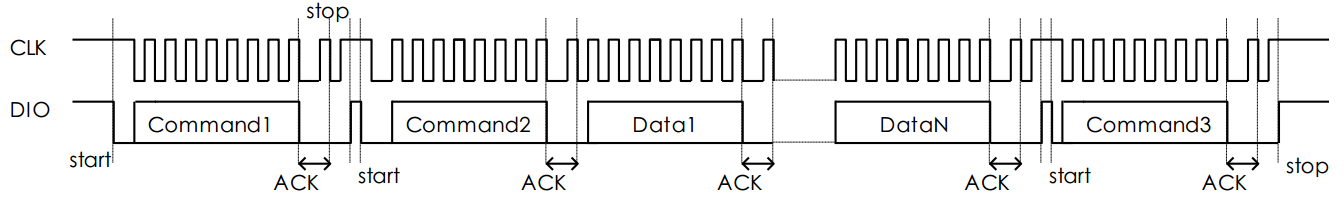


图4.7 数码管显示驱动程序图

数码管显示驱动程序如下所示：

static void TM1637\_NixieTubeDisplay(u8 seg0, u8 seg1, u8 seg2, u8 seg3)

{

delay\_ms(5);

TM1637\_Start();

TM1637\_WriteByte(0x40);//0x40则采用显示地址自加1模式

TM1637\_Ack();

TM1637\_Stop();

TM1637\_Start();

TM1637\_WriteByte(0xC0);//0X00地址开始显示

TM1637\_Ack();

TM1637\_WriteByte(NumDis[seg0]);//显示到第1位数码管（最高位）

TM1637\_Ack();

TM1637\_WriteByte(NumDis[seg1]);//显示到第2位数码管

TM1637\_Ack();

TM1637\_WriteByte(NumDis[seg2]);//显示到第3位数码管

TM1637\_Ack();

TM1637\_WriteByte(NumDis[seg3]);//显示到第4位数码管

TM1637\_Ack();

TM1637\_Stop();

TM1637\_Start();

TM1637\_WriteByte(0x8f);//开显示，且最大亮度

TM1637\_Ack();

TM1637\_Stop();

}

## 4.5 蓝牙通信程序

蓝牙通信程序分为两部分，其一是数据上传，其二是设备参数设定。当顶板离层位移传感器检测到按键被按下或者光照环境从暗变亮后，设备将会被唤醒，在显示完当前数据后会一直等待蓝牙被连接，等待30秒。若蓝牙在等待期间被连接上了则数码管显示FFFF表示正在通信，此后一直等待手机APP发送命令。根据命令类型不同，设备进行不同的操作。

若解析命令类型为上传数据，将进入数据上传流程。为了保证数据传输完整性，防止通信失败导致数据丢失，本课题采用了消息应答机制，在每上传一帧数据后，都会等待APP确认收到数据，也就是APP每收到一帧数据都会给顶板离层位移传感器发送消息，告知设备数据发送成功。设备获得发送数据成功确认后才会发送下一帧数据。直到发送完所有数据后，设备将发送指令告知APP所有数据已发送结束，APP收到后将断开蓝牙连接，随后设备进入休眠模式。若是未获得消息应答则一直等待消息确认，等待超时后APP断开蓝牙，认定本次通信失败，进入休眠模式。在下次上传数据的时候将会重新发送本次应该发送的数据以及新采集到的数据。

若解析命令类型为设置参数，将进入参数设置流程。设备将主动发送当前所有的设备参数至APP，APP收到当前设备参数后会将所有参数显示在文本框中，并且可以一次性修改所有的设备参数。修改参数后APP发送所有的新的设备参数给设备，设备解析获得新的设备参数，设置完新的设备参数后向APP发送设置成功的指令，随后等待APP断开蓝牙。蓝牙断开后设备进入休眠模式，本次参数设置成功。

具体流程图如图4.8所示

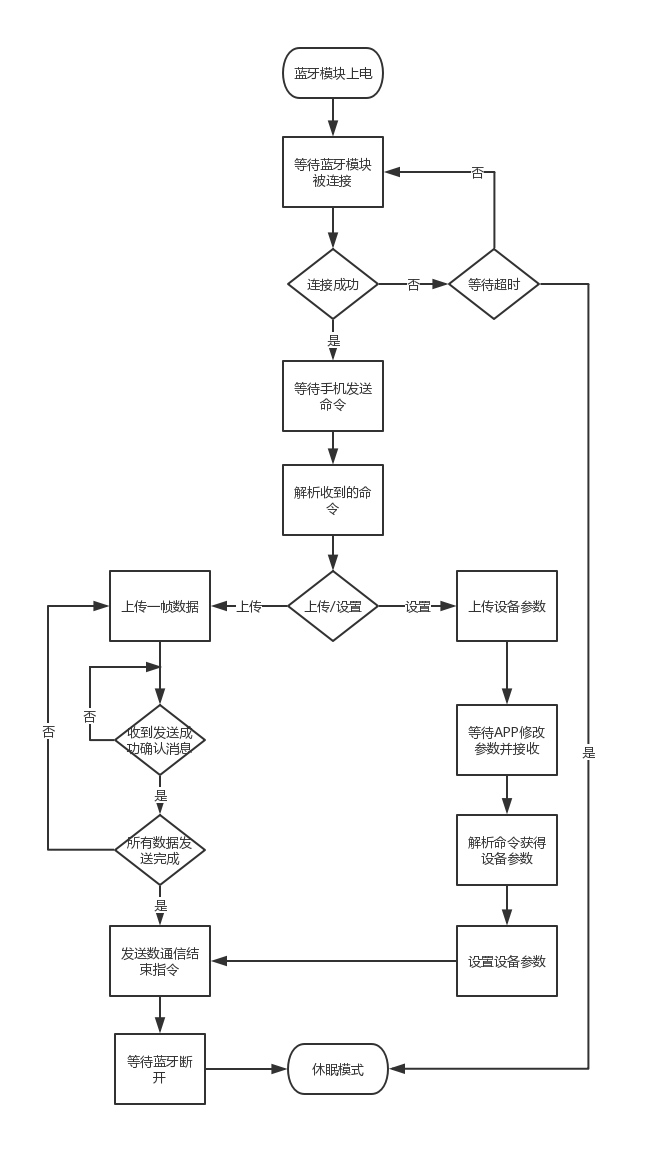


图4.8通信流程图

5 电路调试与功能测试

本章节主要介绍电路焊接调试，对电路设计进行验证以及软件设计的各功能测试。电路调试主要包括测试各功能模块是否正常工作，电源模块输出电压是否正确，功能模块是否有焊接错误，是否有焊接失误导致短路，电阻或电容的大小调试等。功能测试则主要包括程序上需要实现的功能是否呈现正确实验结果，验证设备能够正常的进行数据采集、数据存储、数据上传、参数设定、数码管显示数据、功耗控制以及程序运行流程与预期相同。

## 5.1电源电路调试

电路调试应当从拿到PCB板开始，首先需要大致观察板子有没有明显的裂痕、短路、开路等现象，以防万一可以检查一下电源和地之间的阻值是否足够大。其次就是焊接元器件了，焊接应当按照模块功能一部分一部分的焊接，每焊接一部分就进行一次测试，这样能很容易的找出电路故障原因。若是一次性都焊接上再测试，很可能会出现故障后找不到原因。

一般焊接先从电源模块开始，本课题中先焊接LT1129-5模块及其外围电路。焊接完成后使用可调压稳压电源输入电压18V、过流保护300mA的电源，再用万用表测量LT1192-5的输出电压，测量结果如图5.1.1所示输入18V输出4.85V。再用同样的方法调试TPS62125，测量结果为3.3V。RT9193电路设计成需要程序控制使能，故在验证最小系统后再测试。最终成功验证了RT9193的控制使能功能和输出电压3.3V正确，如图5.1.2所示。TP5400则略有不同，它是电池升压/充电二合一模块，需要分别测试。先按照测试LT1129-5的方法使用可调压稳压电源来模拟电池作为电源输入3.9V、过流保护300mA电源，测量升压输出电压为5V，验证了电池升压功能正常。然后缓慢降低输入电压至3V后再测量升压输出电压，测量结果为0V，验证了模块低压保护功能正常。最后在真正的插上电池，LT1129-5输入18V电源，观察TP5400的指示灯状态来查看电池充电状态。指示灯状态与预期相同，电池刚充电时电压为3.7V亮红灯，当只亮绿灯时，测量电池电压为4.2V，验证了模块充电功能正常。



图5.1 LT1129-5调试图



图5.2 RT9193调试图

## 5.2 STM32最小系统测试

在完成电源电路调试后，就可以焊接STM32最小系统的电路了。验证STM32最小系统的最简单的方法就是烧写程序到MCU中。若是能够正常下载程序则说明STM32最小系统工作正常。本课题使用的是Keil V5和CMSIS-DAP下载器，采用SWD下载的方式给MCU烧写程序，烧写成功的日志记录如下内容：

Erase Done.

Programming Done.

Verify OK.

Application running ...

Flash Load finished at 23:04:22

并且在程序烧写后可以用万用表测量RT9193的输出电压，测量结果为3.3V。能够证明程序运行正常，STM32最小系统工作正常。

## 5.3数码管显示测试

为了降低功耗设备大部分时间处于休眠模式，只有需要查看数据或上传数据时才会进入显示模式，进入显示模式需要人为的唤醒设备，唤醒条件为外部光照环境变亮或者按键被按下。当设备被唤醒后数码管会显示当前设备的ID、深基点数据和浅基点数据。不过由于数码管只有4位，不能同时显示所有内容，所以采用了轮流显示的方法显示所有内容。分别先后显示ID为F101、深基地数据60毫米和浅基点数据84毫米各3秒钟，显示完成后等待蓝牙被连接，一直显示----。具体显示如图5.3-5.6所示。

|  |  |
| --- | --- |
| F101 | 060 |
| 图5.3 显示ID | 图5.4 显示深基点数据 |
| 084 | ---- |
| 图5.5 显示浅基点数据 | 图5.6等待蓝牙连接 |

## 5.4蓝牙通信测试

当顶板离层位移传感器处于显示模式时，设备的蓝牙模块将会被打开，配套的手机APP将能够搜索到处于显示模式的设备，如图5.4.1所示。当APP点击搜索到的设备，其蓝牙将被手机APP连接上，设备进入通信模式，数码管显示FFFF如图5.4.2所示。之后APP就能接收设备的数据或者设置设备的参数了，具体接收数据和设备参数设置图如图5.4.3和5.4.4所示。

|  |  |
| --- | --- |
| 扫描设备 | ffff |
| 图5-7扫描设备 | 图5-8设备通信状态图 |
| 数据上传结果 | 参数设置 |
| 图5-9 数据上传图 | 图5-10设备参数设置图 |

## 5.5低功耗测试

低功耗是顶板离层位移传感器的核心关键点之一，故低功耗测试也是非常重要的。低功耗测试主要是测量顶板离层位移传感器的整个设备的工作电流大小。工作电流的消耗由两部分组成，一部分是硬件上的消耗，例如TP5400的升压电路，就会产生静态电流。另一部分是软件上的消耗，例如STM32开启ADC外设及其时钟，每开启一个ADC进行采集就会导致MCU多消耗大约2mA的电流。所以降低功耗就得从硬件入手，其次才是程序控制MCU做低功耗处理，否则若硬件的功耗很高，无论程序再怎么优化都不可能降到很低。

低功耗测试从PCB焊接就开始了，根据电源的输入，分别测试电池升压电路，5V降到3.3V电路。最初测量的是FP6715，当PCB只焊接了FP6715及其外围电路，测量出PCB的整体工作电流为54uA,随后焊接上1个RT9193及其外围电路后，测量出工作电流约288uA。由此可得到采用FP6715和RT9193的硬件电路的最小功耗就是288uA，假如采用3000mAh的电池，即便设备永远都不唤醒，顶多工作1年。但是1年达不到煤矿开采完毕的时间要求，所以最终放弃了此硬件电路设计，重新进行了电源电路的选型及设计。

在重新设计电源电路后，采用了TP5400和TPS62125的组合。并且根据测试，TP5400及其外围电路所产生的功耗大约为6.7uA，再焊接上TPS62125及其外围电路后，测量出功耗为48uA。

此外就是程序上调试低功耗，本课题中采用的方法主要就是使设备最大时间内都处于休眠状态以及控制两路3.3V的电路通断。STM32具有几种低功耗模式，本课题中使用的是停止模式，在停止模式下只有RTC和独立看门狗还处于运行状态，其他的由PLL、HSE所驱动的时钟都被停止，故相应的外设也被停止。此处需要注意一个非常重要的地方，在停止模式下，如果在进入该模式前ADC和DAC没有被关闭，那么这些外设仍然消耗电流。[3]

在低功耗调试过程中，由于没有注意到这一点而导致设备运行程序后，即便进入了停止模式也没有如官方文档所描述的那样，MCU只消耗大约15uA的电流。根据测量结果，设备在处于停止模式即休眠模式下的消耗电流大约2.5mA。这远远超出了官方文档所给出的数据。最终在仔细查阅了参考手册才找到这句话，这句话的提示了开发者需要在进入停止模式之前单独的关闭ADC而不是简单地认为ADC的时钟被停止了所以ADC也就被停止了。最终在进入停止模式之前单独的关闭了ADC，再测量设备功耗结果如图5.5.1所示为66.3uA。使用3000mAh的电池能够待机5年左右，正常工作1-2年，能够满足开采周期的要求。

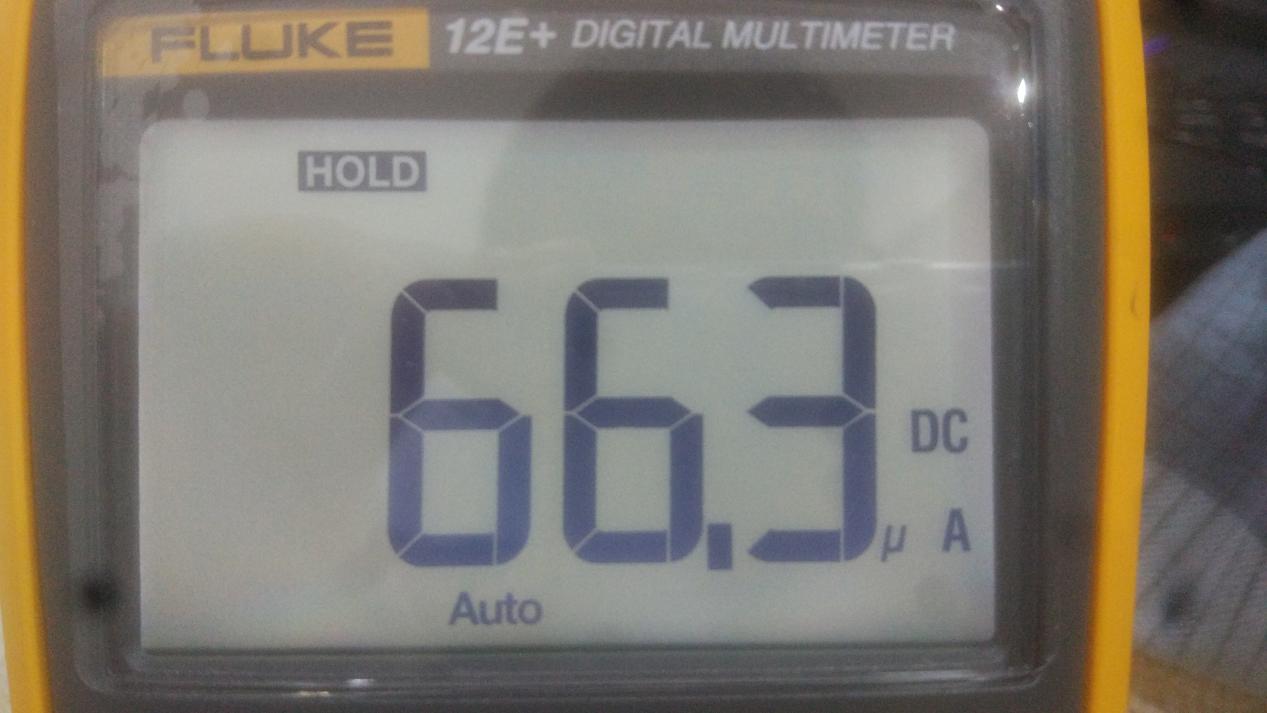


图5.11 待机模式功耗图

6 总结与展望

## 6.1总结

设计顶板离层监测系统中位移传感器的这一课题，具有真正的现实意义和价值。顶板离层监测系统能够有效的有效的防止顶板坍落事故的发生，确保煤矿安全生产。作为监测系统中的数据来源的顶板离层位移传感器，其作用和重要性更是显而易见。本文针对产品功能需求以及产品实际应用场景进行的产品设计，完成了预期的顶板离层位移传感器的功能，现将设计过程中的主要工作做出以下总结：

（1）根据产品功能需求，对产品进行整体规划。按照模块化的思路将所有功能分成一个又一个的模块，如何实现数据采集、数据存储、数据显示、数据上传等功能，同时还要考虑人机交互便捷、产品功耗等问题。

（2）对产品所使用到的模块、芯片进行选型。包括主控MCU、电源芯片、蓝牙模块、显示模块等。选型原则有以下几点：满足功能需求、降低成本、供货稳定。

（3）设计产品的硬件。根据选型的芯片绘制芯片的封装，绘制产品硬件的原理图。生成PCB后对元器件进行布局设计，根据产品外壳来布局。最终完成PCB layout后生成gerber文件发给板厂打样。

（4）使用Keil 5 MDK编写基于STM32F103的程序，包括所有芯片或模块的底层驱动程序和设备运行流程切换程序。程序整体设计成类似于操作系统的程序，设备上电后进行设备初始化，初始化后就进入不同的模式也就类似于不同的任务。通过中断服务函数来改变任务运行标志位从而切换当前任务。

（5）优化调试顶板离层位移传感器。调整部分细节上的参数，例如数码管轮流显示数据，每个数据显示多久。优化设备参数设置流程，更改为一次性读出所有参数并且一次性设置所有参数，使得人机交互更加便捷。

## 6.2展望

本设备能够实现顶板离层数据的采集、存储、显示、上传等功能。适用于大部分煤矿的使用场景，设备内置看门狗，即便在易受干扰的煤矿中也能够稳定运行。功耗很低，可待机使用5年。采用蓝牙无线通信，实测有效通信距离大约5米左右。但是当回过头来再看，本设计还有很多地方能够做的更好更完善，还有以下方面可以改进：

（1）数据上传的方式。本文中有关数据上传的方式是类似于人工巡点的方式，煤矿工作人员手持安装了配套APP的手机，到一个个顶板离层位移传感器的安装位置。使用光照唤醒设备后连接设备再接收设备存储的数据。这种方式存在数据汇总时延较长、采集数据麻烦等缺点。在后续设计中可以使用lora通信的方式上传数据至网关，再由网关转发数据至lora sever以实现数据实时上传。并且可以使用LoraWAN标准协议，利用ADR机制，使节点即顶板离层位移传感器能够根据使用环境优化数据发送速率，同时发送需要应答消息的数据，确保数据不会丢失。

（2）设备的低功耗。目前设备的整体功耗约66uA，相较之前版本的300uA来说算是比较低了。但是作者在完成设计后发现有更优的方案来降低功耗。当前使用的是3.7V可充电的锂电池，它具有自放电率较高、电压随电池容量改变等缺点。当前使用的3.7V锂电池和TP5400加TPS62125的组合供电方式产生了48uA的功耗，但若是换成3.6V锂电池和TPS706的组合供电方式只会产生不到2uA的硬件功耗。同时目前使用的STM32F103C8T6虽然也具有低功耗模式但是其功耗远远高于STM32L系列的微处理器。STM32L系列的微处理器的同样的低功耗模式功耗低至nA级别。故在后续设计可以改用3.6V锂电池和TPS706的组合供电方式，并且更换功耗更低的STM32L系列。

致谢

历时三个月终于完成了这篇论文，同时四年的大学学习生活也将划上一个句号。在这段充满奋斗的历程中，给我的学生生涯带来了无数的激情和收获。在论文的写作过程中遇到了无数的困难和障碍，都是在老师和与我共事的搭档的帮助下度过的。

在值此论文即将付梓之际，我要向我的导师，XXX老师致以诚挚的谢意。从我上大学以来就以他严肃的科学态度，一丝不苟的学术精神，求同存异的工作作风激励着我。论文写作过程中，没有她对我进行了不厌其烦的指导和帮助，无私的为我进行论文的修改和改进，就没有我这篇论文的最终完成。

其次我要感谢与我共事的搭档，我们一起完成了顶板离层监测系统，系统的开发由我们分工完成。我负责系统中所有的硬件部分的东西，她负责系统中所有软件部分的东西。我设计顶板离层位移传感器用来采集数据，她则设计了配套的APP和上位机软件。在系统的开发过程中，我们相互合作，共同商议数据上传的格式，一起调试优化，遇到问题共同商量解决，最终才完成了整套系统。

最后我需要谢谢我的父母，是他们含辛茹苦将我培育成人，给了我他们能够给的最好的培养条件，没有他们辛勤付出就没有我的现在。至此将我最真挚的感谢献给我的父母！

参考文献

[1]阎学文,低功耗顶板离层仪研究[J]. 振动、测试与诊断,2008（12）：P404-P407

[2]王云海,顶板离层仪的工作原理及应用研究[J],煤炭与化工,2013（7）：P100-P101

[3]卢喜山,智能型顶板离层仪的研制与应用[J],煤炭工程,2006：P92-P94.

[4]Weston, G.F. (1968), Cold Cathode Glow Discharge Tubes, London: ILIFFE Books Ltd, LCCN 68-135075, Dewey 621.381/51, LCC TK7871.73.W44.

[5]刘火良;杨森，STM32库开发实战指南：基于STM32F103（第2版）[M]．机械工业出版社，2017：P248-P249

[6]姚文祥,ARM Cortex-M3与Cortex-M4权威指南(第3版)[M]．清华大学出版社，2015（11）.P239-P255

[7] 郭书军，王玉花．ARM Cortex-M3系统设计与实现.STM32基础篇[M]．北京：电子工业出版社，2014，P25-P47

[8]卢有亮.嵌入式实时操作系统μC/OS原理与实践（第2版）,电子工业出版社,2014(4),P5-P35

[9] 张爱英，刘皓东，郭相参，陈弦．顶板离层监测在巷道支护中的应用[J]．煤矿安全，2009，40(09)：P64-P65

[10]周立功.ARM嵌入式系统基础教程[M].北京：北京航空航天大学出版社，2005.

[11] 黄辛超.基于嵌入式系统的便携式数据采集系统的设计[D].上海交通大学：电子信息与电气工程学院,2010,17-25.

[12][侯殿有](http://www.dangdang.com/author/%BA%EE%B5%EE%D3%D0_1).嵌入式系统开发基础——基于ARM9微处理器C语言程序设计.北京：[清华大学出版社](http://www.dangdang.com/publish/%C7%E5%BB%AA%B4%F3%D1%A7%B3%F6%B0%E6%C9%E7_1)，2011.

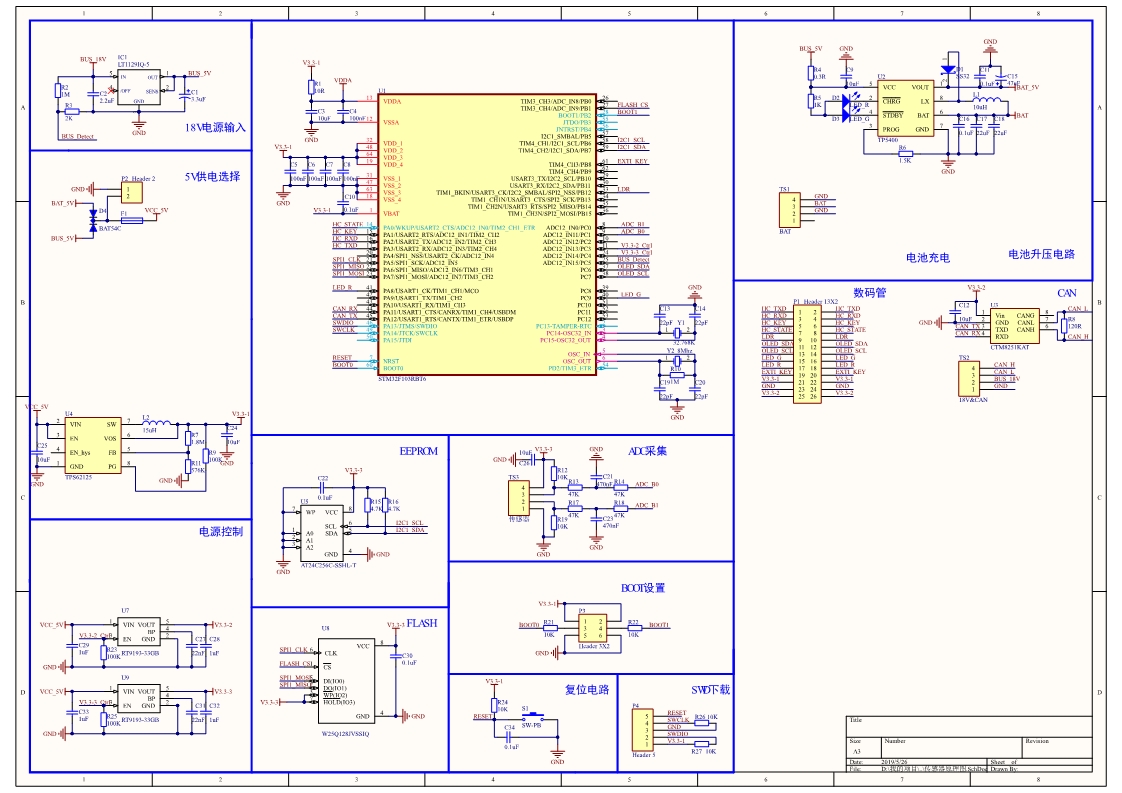
[13] 李亚君．本安型顶板离层位移传感器在煤矿矿井中的应用[J]．山西科技，2015，30(01)：P154-P155

[14] 陈娟，赵耀江．近十年来我国煤矿事故统计分析及启示[J]．煤炭工程，2012(03)：P13-P139

[15]李宁.基于MDK的STM32处理器开发应用[M].北京：北京航空航天大学出版社,2008.

附录

顶板离层位移传感器原理图：



位移传感器PCB：

