

分类号: TP277

密 级: 公 开

U D C : _____

单位代码: 10424

学 位 论 文

基于 MSP430 的汽车轮胎压力监测系统

李 鹏

申请学位级别: 硕士学位 专业名称: 检测技术与自动化装置

指导教师姓名: 王晓宁 职 称: 副教授

山 东 科 技 大 学

二零一零年五月

论文题目：

基于 MSP430 的汽车轮胎压力监测系统

作者姓名： 李鹏 入学时间： 2007年9月

专业名称： 检测技术与自动化装置

研究方向： 自动检测监控与系统集成

指导教师： 王晓宁 职 称： 副 教 授

论文提交日期： 2010年5月

论文答辩日期： 2010年6月

授予学位日期： _____

TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEM BASED ON MSP430

A Dissertation submitted in fulfillment of the requirements of the degree of

MASTER OF PHILOSOPHY

from

Shandong University of Science and Technology

by

Li Peng

Supervisor: Associate Professor Wang Xiaoning

College of Information and Electrical Engineering

May 2010

声 明

本人呈交给山东科技大学的这篇硕士学位论文，除了所列参考文献和世所公认的文献外，全部是本人在导师指导下的研究成果。该论文资料尚没有呈交于其它任何学术机关作鉴定。

硕士生签名：

日 期：

AFFIRMATION

I declare that this dissertation, submitted in fulfillment of the requirements for the award of Master of Philosophy in Shandong University of Science and Technology, is wholly my own work unless referenced or acknowledged. The document has not been submitted for qualification at any other academic institute.

Signature:

Date:

摘 要

汽车轮胎压力监测系统是汽车安全系统的重要组成部分,系统的稳定性与可靠性直接关系到驾驶员的生命财产的安全。尤其是远程轮胎压力监测模块,它对轮胎的温度和压力等重要信息的采集情况,直接影响到系统下一步的处理。由于该模块所处环境极其恶劣,所以首先要保证所有器件都能在这种环境下正常工作,并且具有极高的稳定性和可靠性。如测量压力选择摩托罗拉公司专为胎压监测系统生产的压力传感器,其在满足环境要求的基础上,还针对不同车型有多款不同量程的芯片可供选择,而且操作方便、性能可靠;电池则选择锂—亚硫酸氯电池,该类型电池是一种特种锂电池,它不仅具有容量大、自放电特别小以及放电曲线极为平坦的特点,而且它的低温和高温特性是一般锂电池无法比拟的,特别适合于恶劣环境下长期使用;另外,作为唤醒系统工作的加速度传感器、用于无线通讯的无线收发模块以及本课题特别使用的美国德州仪器公司生产的 MSP430 系列微处理器都具有极强的环境适应能力以及极高的稳定性和可靠性。另外,为保证系统能够长时间工作,既大幅节约能源的同时又最大限度的降低成本、节省开支,系统的低功耗性能不可小视,因此,无论是硬件设计还是软件设计,在保证系统稳定性和可靠性的同时特别注重系统的耗能,本系统所用各种器件静态功耗都在微安级,除无线收发模块工作时功耗稍大些(毫安级),其余芯片工作时的功耗仍然在微安级,特别是选用 MSP430 系列微处理器,它不仅具有大量的片内外设供用户开发和使用,即便如此,其功耗却几乎不增加,特别是在软件中添加了控制系统功耗的程序语句,可以根据系统需要选择最低只有 $0.1\mu\text{A}$ 的系统电流,这甚至比电池的自放电电流还要小,因此特别适合低功耗产品的开发和使用。

关键词: 汽车轮胎压力监测系统, 稳定性, 可靠性, 远程轮胎压力监测模块, 轮胎的温度和压力, 压力传感器, 锂—亚硫酸氯电池, 无线收发模块, MSP430 系列微处理器, 环境适应能力, 低功耗

Abstract

Tire Pressure Monitoring System (TPMS) is a very important part of Automobile Security System, and the systemic stability and reliability has a straight bearing on a driver's personnel safety. Remote Tire Pressure Monitoring (RTPM), the collection of the crucial data by it, such as tire temperature and pressure, etc., especially has a full impact on the next process of the system. Because the module is in a very vile environment, above all, making sure all parts of the apparatus could work up to snuff and have much higher stability and reliability. For instance, the pressure sensor for TPMS made by Motorola is chosen to measure pressure. Thus, it not only satisfies the environmental requirements but also supplies many CMOS chips with different measurement ranges aimed at different vehicle model for a choice; and their operation is very convenient, and their capability is very reliable; the battery in use is Li-SOCl₂, and this type one is a special type Li-battery, not only does it have so many characteristics, such as much great capacity, very little local action and very smooth discharge curve, and so on, but also its low-temperature and high-temperature characteristics are not assimilated with common Li-battery's, so it is fit for being lastingly used in a very vile environment very much; otherwise, all, included the acceleration sensor used to awake the module, wireless transmit-receive module used for wireless communication and MSP430 MCU made by Texas Instruments, Inc. in special use, have very strong capability to accommodate the environment and much higher stability and reliability. Otherwise, in order to make sure the system can work lastingly, and economize energy and cut down cost to the utmost extent, the systemic low power consumption characteristic may not be ignored. Therefore, no matter what the Hardware Design or the Software Design, at the same time that make sure the systemic stability and reliability, pays attention to the systemic power consumption in particular, the static power consumption of all parts of the apparatus is on microampere level, except that the power consumption of wireless transmit-receive module in work is a little great (milliampere level), others are still on microampere level, especially MSP430 MCU. It has many peripheral equipments in the chip being supplied for the user. However, the power consumption is hardly increased, especially when many programme sentences are appended to control the power consumption, users may choose the lowest current, only 0.1μA, according to the requirement; this is indeed less than the current of the local action of a battery. Therefore, it is fit for the exploitation and use of the low power consumption product in particular.

Keywords: TPMS, stability, reliability, RTPM, tire temperature and pressure, pressure sensor, Li-SOCl₂, wireless transmit-receive module, MSP430 MCU, capability to accommodate the environment, low power consumption

目 录

1 绪 论 ·····	1
1.1 课题的确立·····	1
1.2 研究现状及应用价值·····	2
1.3 研究方法·····	3
1.4 课题创新·····	4
2 系统综述 ·····	5
2.1 分类及特点·····	5
2.2 总体结构·····	5
2.3 关键部件·····	6
3 课题的任务 ·····	7
3.1 基本方案·····	7
3.2 系统工作原理·····	8
4 硬件设计 ·····	11
4.1 微处理器·····	11
4.2 压力传感器·····	17
4.3 无线通讯·····	19
4.4 加速度传感器·····	22
4.5 电源管理·····	24
4.6 液晶显示·····	29
4.7 报警系统·····	32
4.8 键盘·····	33
4.9 硬件特点·····	34
5 软件设计 ·····	35
5.1 主程序设计·····	35
5.2 压力采集子程序设计·····	37

5.3 温度采集子程序设计	40
5.4 无线通讯子程序设计	41
5.5 电源管理子程序设计	45
5.6 显示子程序设计	46
5.7 报警子程序设计	47
5.8 键盘子程序设计	48
5.9 软件特点	50
6 总结与展望	51
6.1 研究总结	51
6.2 前景展望	52
致 谢	53
攻读硕士期间主要成果	54
参考文献	55
附录 A 程序清单	58
附录 B 电路原理图	69

Contents

1	Introduction.....	1
1.1	Establishment of Project.....	1
1.2	Present Situation and Application Value.....	2
1.3	Research Methods.....	3
1.4	Project Innovation.....	4
2	System Summarization.....	5
2.1	Classification and Characteristic.....	5
2.2	Overall Structure.....	5
2.3	Pivotal Parts.....	6
3	Assignment of Project.....	7
3.1	Basic Scheme.....	7
3.2	Systemic Operating Principle.....	8
4	Hardware Design.....	11
4.1	MCU.....	11
4.2	Pressure Sensor.....	17
4.3	Wireless Communication.....	19
4.4	Acceleration Sensor.....	22
4.5	Energy Management.....	24
4.6	LCD.....	29
4.7	Alarming System.....	32
4.8	Keyboard.....	33
4.9	Hardware Characteristic.....	34
5	Software Design.....	35
5.1	Design of Main Programme.....	35
5.2	Design of Pressure Gathering Subroutine.....	37
5.3	Design of Temperature Gathering Subroutine.....	40

5.4	Design of Wireless Communication Subroutine	41
5.5	Design of Energy Management Subroutine	45
5.6	Design of Display Subroutine	46
5.7	Design of Alarming Subroutine	47
5.8	Design of Keyboard Subroutine	48
5.9	Software Characteristic	50
6	Conclusion and Outlook.....	51
6.1	Research Conclusion	51
6.2	Prospect and Expectation	52
	Acknowledge.....	53
	Main Work Achievement of the Author during Working on Master Paper.....	54
	Reference Literature.....	55
	Appendix A Programme.....	58
	Appendix B Circuit schematic diagram.....	69

1 绪 论

衣食住行是人类赖以生存的四大要素，因而“行”在人们的日常生活中占有相当的份额。自从汽车取代了马车作为现代化生活中主要的交通工具，人们的出行实现了空前的方便，与此同时，汽车安全方面的问题也给人民生命财产带来了愈发严重的危险隐患。

1.1 课题的确立

根据统计资料显示，每年在我国发生的交通事故至少已造成 10 万人死亡，占全国安全事故死亡人数的 79.3%，相比较铁路、海运和航空，公路上发生的交通事故所占比重最大，同时造成的死亡人数也占绝大部分，而这一切的罪魁祸首就是汽车。因此，应首先解决汽车的安全驾驶问题，除必须大力提高相关人员的驾驶技能外主要包括改善驾驶环境的舒适程度、合理的设置安全气囊以及重视对轮胎性能和防爆胎监控方面的研究。

现如今各国汽车制造商都不惜巨资关注汽车的安全问题。像安全带、安全气囊等汽车安全系统中一些常用的标配装备已随处可见，而且随着汽车工业的长足进步，一系列新型电子产品如 ABS(防抱死制动系统)、EPB(电子驻车制动)、EBD(电子制动力分配)、TCS(牵引力控制系统)、AYC(主动偏转控制)、ESC(电子稳定性控制系统)以及 TPMS(轮胎压力监测系统)等的相继问世，为保障人员及行车安全起到了非常巨大的作用。

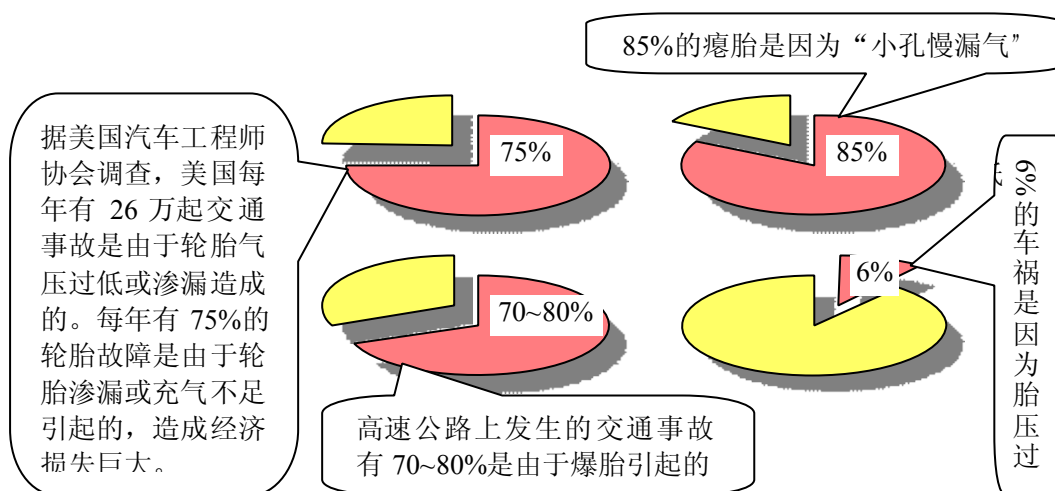


图 1.1 美国汽车工程师协会对交通事故原因的调查分析
 Fig. 1.1 The investigation of the reason of Traffic Accident by SAE

由图 1.1 可知，在汽车的诸多安全事故中，轮胎性能的好坏直接影响着事故的损害程度。据美国汽车工程师协会统计，由爆胎引发的交通事故已占高速公路交通事故总数

的 70%~80%。在汽车高速行驶时，驾驶者最担心出现轮胎故障，因其难以预防故已成为突发性交通事故的重要成因，而且若时速超过 160 公里时爆胎无疑会造成致命的损失，因为大部分的交通事故都是由于汽车正常行驶时一侧突发爆胎导致汽车失控而引发的。

因此，本课题着重研究如何实时监测轮胎的状况，及时发现安全隐患并寻求最佳的解决办法，以提高行车的安全性。据国家橡胶轮胎质量监督中心的专家分析，保持安全胎压并及时发现胎压不足是防止爆胎的关键。另外，在外载荷的作用下轮胎高速转动时产生的大量热量会使温度逐渐升高，进而又间接影响轮胎的使用寿命。所以，研发能够自动监测轮胎气压与温度并当轮胎出现漏气和高温等一些异常情况时具有报警功能的汽车轮胎压力监测系统，对于防止爆胎及保障行车安全具有非常重要的意义。

1.2 研究现状及应用价值

近年来，基于电子测量无线传输技术研发的胎压监测系统已日趋成熟，其生产也实现了产业化。其中以通用汽车公司、飞斯卡尔公司、英飞凌公司、固特异轮胎橡胶公司、米其林集团公司、诺基亚轮胎公司、西门子汽车配件公司、斯马轮胎设备公司、横滨公司等为代表的一大批国外知名企业对此做出了巨大的贡献。我国因起步较晚还没有独立的知识产权，随着胎压监测系统逐渐成为汽车的标准配置，今后几年中国必将成为胎压监测系统的生产大国。因此，拥有自主的知识产权意义重大。越来越多的高校正在开展相关研究。尤其是上海交通大学，正在研发基于声表波技术可在无源状态下智能的测量轮胎压力与温度并具有无线通讯功能的 SAW 传感器，这将使中国拥有自主的知识产权。

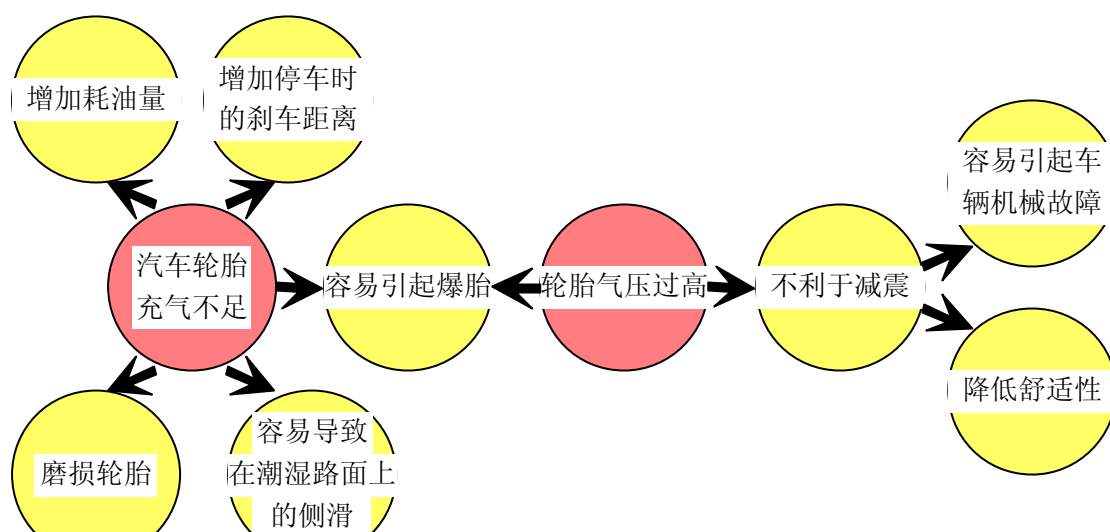


图 1.2 轮胎压力与汽车性能的关系

Fig. 1.2 The relation between Tire Pressure and Motor Performance

同时，研发胎压监测系统还具有很大的应用价值。由图 1.2 可知，轮胎压力异常时不仅会降低轮胎寿命、引起车辆机械故障，从而增加汽车发生爆胎或侧滑等危险的概率，而且还会大幅度的增加燃料消耗。实践证明，当轮胎压力分别低于正常值的 10%、15%、20%和 30%时，轮胎寿命会相应缩短 15%、20%、28%和 37%，而油耗则会相应提高 2%、3%、4.5%和 6.3%。可见随着油价的一路飙升，实时监测轮胎压力将具有何其重要的经济意义。因此，胎压监测系统必将同时为人类的生命财产安全和节能降耗保驾护航。

1.3 研究方法

1) 在每个轮胎内安装一个微型无线智能模块（即轮胎模块），随时检测轮胎的温度和压力信息，并实时发送到中央控制监测主机（即控制模块）上，并在控制模块的液晶显示屏上显示出各个轮胎中的温度与气压值，驾驶者可以直观地了解各个轮胎的气压温度状况。一旦发生胎压过高、胎压过低、温度过高等异常情况，控制模块立即以声光方式向驾驶员发出报警和提示信息，以便及时采取措施，防止爆胎导致的车毁人亡事故。

2) 在降低功耗方面，通过选用低功耗的芯片（如选取 MSP430 系列超低功耗单片机作为 MCU 等）和减少 RF 通信模块的工作时间的方法大大降低系统功耗。另外，采用在汽车不工作时让整个系统进入睡眠状态，而工作时采用唤醒技术，使系统一次工作时间降到最短并根据情况间歇启动的方法以及一些低功耗的软件算法，使系统更加省电。通过选用能量比高的电池可使使用时间大大延长。

3) 在提高系统的抗干扰能力和精度方面，在功耗和成本允许的情况下优先选择高精度低功耗的器件组成系统，以避免各种不稳定信号和干扰信号的产生。并且在软件设计中采用“请求——应答”的方法尽量保证通信的成功率，提升系统的抗干扰能力和稳定性。同时由控制模块启动通信还可避免各个轮胎模块相互间的无线干扰以及通信冲突。因此，要做到上面几点，首先所有元器件要非常可靠，特别是用于轮胎检测模块的元器件。另外，无线信号传输和接收要可靠。这主要表现在系统具有抵抗其它电子设备干扰的能力、汽车高速行驶时控制模块与轮胎模块通信的能力、信号免碰撞的能力以及系统避免误报警的能力。

4) 各个模块的选型非常重要。传感器模块与 RF 模块选择接收灵敏度高、外型尺寸小、性价比高的芯片；天线设计上选择螺旋天线，可扩大发射和接收的角度。

1.4 课题创新

1) 最大程度的降低了系统功耗,大大延长了产品的使用寿命。本课题所选器件功耗都在微安级,硬件设计上保证连续工作时系统功耗在一个非常低的程度;通过深入研究,优化程序结构,使得软件算法上既保证系统的“实时”响应,同时又让功耗进一步降低,充分发挥系统极低功耗的优越性。从而为尽最大可能延长系统的工作时间,降低使用成本创造条件。这不仅有助于提高经济效益,更加有助于提高环境效益,倡导低碳生活。

2) 大大提高了系统的安全性和稳定性。由于汽车轮胎压力监测系统(TPMS)是关系到人身安全的保障系统,所以对安全性、抗干扰性要求非常高;系统采用多通道不同地址的通信已能极大的保证可靠程度,提高通信成功率。而使用控制模块请求,轮胎模块应答的设计理念又将数据碰撞与冲突这一通信难题完全克服。而且控制模块可以自动给轮胎模块分配通信通道和地址,这样可使得轮胎模块的生产标准化、规模化、简单化,只要采用的通信模块相同,出厂前无需设置其通道和地址,控制模块会自动检测是否是新轮胎(所有通信设置都是初始化状态),并据此采用是否对频还是正常通信。同时,用户使用也会更加方便。

3) 重要数据的保存与处理更科学、更方便。由于控制模块的功能要更加完善、更加稳定,并且其中存储的信息都非常关键,因此要保证汽车停止工作时,也就是汽车电源停止供电时控制模块内的重要数据不消失。传统的方法是利用 MCU 中的 ROM 单元存储这些信息,并且在数据改变后马上更新保存,这样掉电后就不会丢失数据了。这的确是一个很通用也很简单方法,但是同时 ROM 的擦写次数是有限的,如 MSP430 的 Flash 型单片机中的 Flash 单元只可擦写 10 万次左右,可见频繁的擦写会很快终结 Flash 寿命。所以本课题采用双电源供电方法,在汽车停止工作时由备用电池来维持系统的基本开销,根据外加电源的情况自动选择使用哪个电源,对 ROM 的访问只在更换电池时才有可能用到,甚至不必使用 ROM 单元存储,因此不必考虑 ROM 的寿命问题。

4) 系统的智能性和简便性达到了有机的统一。通过开发一套高效的软件使系统智能功能得到大幅度的提高,使其更加人性化。普通用户可以不用理会繁琐的通信连接,因为系统会自动解决通信连接中诸如通信通道的选择和通信地址的分配等一系列非常繁琐但又至关重要的处理环节,从而既方便普通用户的使用的同时,又大大减少了专业人员的调试、维修、升级和维护等工作的难度和工作量。系统采用双向通信方式,增加键盘控制参数设置,轮胎更换 ID 的识别,电池低电量报警以及避免误报警等等许多功能。

2 系统综述

汽车轮胎压力监测系统（Tire Pressure Monitoring System 缩写为 TPMS），主要用于汽车行驶过程中实时监测轮胎气压和温度，并对轮胎异常情况进行报警，以保障行车安全，是驾驶者、乘车人的生命安全保障预警系统。

2.1 分类及特点

TPMS 主要有间接式和直接式两种类型。前者通过汽车 ABS 的轮速传感器来比较两两轮胎之间的转速差别，然后由汽车时速及轮胎转速与轮胎气压之间的相互关系间接得出各轮胎的气压差异，以达到监测胎压的目的。此类 TPMS 的研发成本较低，但其具有致命的缺点即无法对两个以上轮胎同时缺气以及时速超过 100 公里的情况进行判断，而且这种测量方法极易受到像路况较差等环境因素的干扰以及无法测定轮胎温度等。后者则利用安装在各个轮胎里的温度压力检测模块直接获得轮胎的温度与气压值，再通过无线通讯传递给驾驶室的控制模块，以使驾驶者可以直观地了解各个轮胎的状况，并当出现轮胎气压太低、渗漏、太高、或温度太高时，系统能够自动报警，以达到及时通知驾驶员的目的。本课题将着重致力于直接式 TPMS 的研发。

NHTSA 对这两种 TPMS 的评估证明了直接式提供了更为精确的轮胎压力监测。除非特殊声明，以下提到的汽车轮胎压力监测系统或 TPMS 均为直接方式。

2.2 总体结构

TPMS 一般由以下两个模块组成：

1) RTPM 模块——远程轮胎压力监测模块（Remote Tire Pressure Monitoring），以下简称轮胎模块。轮胎模块直接安装在每个轮胎里，最基本的任务就是用来测量轮胎的压力和温度值，然后将得到的数据通过高频无线电波（RF）发射出去。对于普通的四轮汽车，一般 TPMS 共有 4 到 5 个（包括备用胎）轮胎模块。

2) MACM 模块——中央监控模块（Master Automatic Centrality Monitoring），以下简称控制模块。控制模块位于驾驶室内并可作为 CAN 总线的一个终端设备，它主要负责与轮胎模块进行无线通讯，并将各个轮胎的压力和温度数据显示给驾驶员。若轮胎的

压力或温度出现异常，控制模块则会发出报警信号，以提醒驾驶员采取必要的措施。

2.3 关键部件

TPMS 的关键部件主要划分为以下几部分：

1) 位于轮胎模块的压力传感器。它是基于 MEMS 的技术设计生产的，主要有硅集成电容式压力传感器（如 Motorola 的 MPXY8020、MPXY8040）和硅压阻式压力传感器（如 GE NovaSensor 的 NPX1、NPX2 以及 Infineon SensoNor 的 SP12、SP12T、SP30 等）。其中，硅压阻式压力传感器采用高精密半导体电阻应变片组成惠斯顿电桥作为力电变换测量电路，故其测量精度能达 0.01-0.03%FS，但同时其平均功耗及开发成本也相对较高。

2) 两模块数据交换的桥梁——RF 射频器及天线。RF 芯片应具有尽可能大的发射功率，尽可能高的接收灵敏度、尽可能小的尺寸以及较好的性能价格比等等。而对于天线，尤其在轮胎模块中，因其位于轮毂内并靠近气门咀，故须考虑金属轮毂和车轮高速行驶时天线不断变换方向和角度带来的影响。由于螺旋天线可扩大收发角度并能有效地克服静态盲点，故能大幅提高通讯的可靠性。其直径（D）、圈数（N）、圈间距（S）以及螺旋角（ α ）决定了天线的效率、增益和方向性。

3) 高性能微处理器。其在满足正常的功能及工作条件的要求下应具有极低的功耗。

4) 轮胎模块中可智能的判断系统状态的加速度传感器。利用加速度传感器+MCU+软件设计可以方便的实现系统随汽车的运动状态变化而实时的开关机、系统自检及自动唤醒，并且在汽车高速行驶时能按运动速度自动确定检测周期以及确定安全期、敏感期和危险期等功能，从而达到逐渐缩短巡回检测周期、提高预警能力及节省电能的目的。

5) 车身过长或轮胎较多时附加使用的信号转发器。对于轮胎个数超过 4 个的情况，其信号一般必须经过接力和中转；况且当车身超过 10 米时直接点对点的无线通讯的功率有可能超过 10dBm，这就使得系统必须接受无线电管制委员会的管制，此时必须加信号转发器，它可以起到缩短接收器的接收距离、降低通讯功率及提高接收效果等等的作用。

3 课题的任务

3.1 基本方案

针对系统所要完成的功能，设计采用以下基本方案：

1) 保证汽车高速行驶时可以对每个轮胎进行气压与温度实时检测，并将信息无线传输到安装在车内的主机，实时监测及液晶显示或数码显示。

2) 当某一轮胎的气压、温度低于或高于某数值时，主机立即声光报警，使驾驶员提前快速获知警情；为了适宜各种车型的轮胎，胎压与胎温上下报警门限可键盘调整。

3) 采用或方便扩展为分级安全预警模式：安全预警内容分为轮胎压力高压、轮胎压力低压一级、轮胎压力低压二级和轮胎高温一级、轮胎高温二级五种级别的报警模式。用户可以根据报警的危险级别选择合适的处理方式。

4) 对采集到的信号处理算法上，通过软件滤波法排除路况等产生的尖峰信号，进行门限判决，选择是否报警；以及解决各个轮胎同时发送信号时的干扰问题。

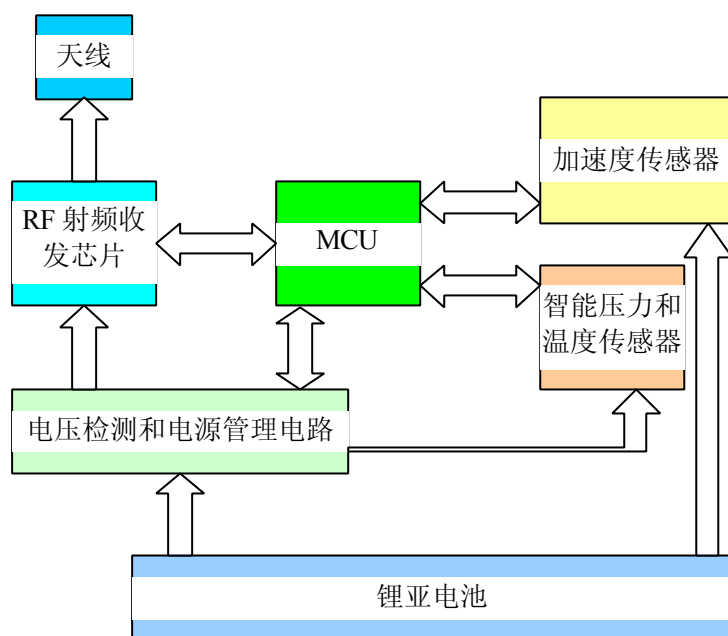


图 3.1 本论文所采取的轮胎模块的设计方案
Fig. 3.1 The design of Tire Module in the paper

3.1.1 轮胎模块的系统构成

TPMS 的轮胎模块主要由微处理器 MSP430F1232、TPMS 系列专用压力传感器 MPX Y8020A/MPXY8040A、加速度传感器 MMA6281Q、无线通讯模块 nRF24L01 和天线、电源管理电路和电压检测电路、锂—亚硫酰氯电池以及系统调试所用的 LED 和 BELL 等组成（参见图 3.1）。

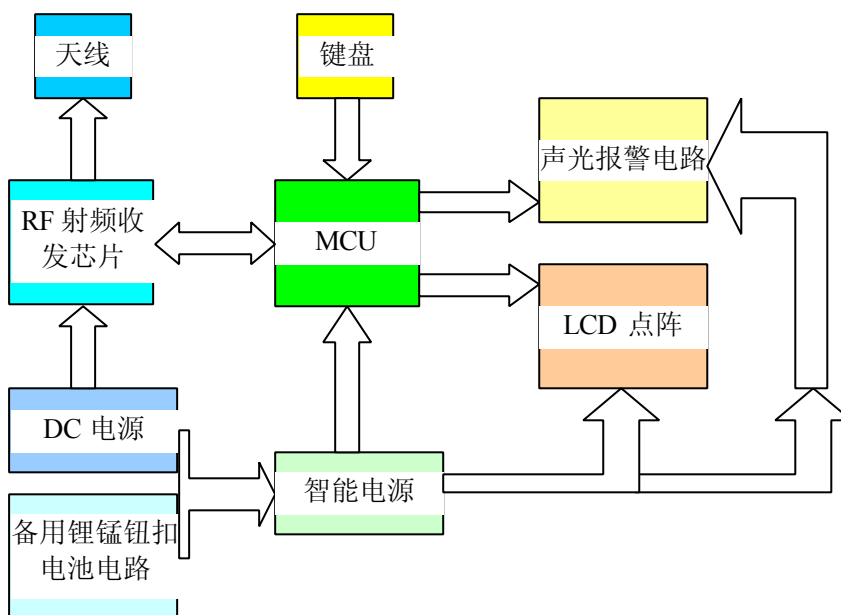


图 3.2 本论文所采取的控制模块的设计方案
Fig. 3.2 The design of Control Module in the paper

3.1.2 控制模块的系统构成

TPMS 的控制模块主要由微处理器 MSP430F149、液晶点阵 LCD ZJM12864BSBD/JH D162A、含有三个独立按键的键盘、无线通讯模块 nRF24L01 和天线、LED 和 BELL 组成的声光报警电路、电源管理电路、锂锰电池 CR2032 以及 12V/24V 汽车电源等组成（参见图 3.2）。

3.2 系统工作原理

针对系统所处的工作条件，尤其是轮胎模块，在保证系统稳定性与可靠性的基础上，充分发挥系统的低功耗特性，使得系统工作寿命大大延长。

由于轮胎模块的工作寿命随轮胎的寿命，而轮胎的寿命一般为 5~7 年，所以轮胎模块的工作寿命（包括所有元器件的使用寿命和电池的使用寿命）都要在 8~10 年以上。

而对于控制模块，由于其所处工作条件相对较好，在不考虑器件老化的因素下，努力实现系统使用寿命的终身化。

为实现上述目的，首先，所选择的各种器件都要具有极高的稳定性、可靠性，而且都必须是超低功耗器件，另外，无论是锂锰钮扣电池还是锂—亚硫酰氯电池，都是具有大容量、超低的自放电、非常平坦的放电曲线等特性的高性能电池，这在硬件的构成上就限定了系统的功耗很低。然后，经过优化组合，通过合理的构造电路，使得功耗进一步降低。最后，运用科学而先进的软件体系将系统功耗降低到一个极低的水平。从而实现系统长期工作的目的。

因此，系统的工作原理如下：

3.2.1 轮胎模块

轮胎模块主要由电池供电，为延长电池的使用寿命，系统功耗应在一个极低的水平，因此，设定其工作原理为：

(1) 由 MSP430F1232 每隔一定时间唤醒 MMA6281Q，测量此时轮胎的向心加速度，当测量值超过设定值时，通过电源管理电路启动 MPXY8020A/MPXY8040A 和 RF24L01 的电源供电；否则，关闭两模块的电源供电，系统进入最低功耗模式。

(2) 当电源管理电路开启供电时，可定时启动 MPXY8020A/MPXY8040A 来测量轮胎的气压值。

(3) 由于电源管理电路控制着功耗相对较大的电子器件的电源通断，在其关闭供电时，汽车也同时处于停止状态，此时系统功耗已达到一个极低的水平，系统基本不耗电，因此无需进行除加速度以外的其它测量工作。当电源管理电路开启供电时，利用 MSP430F1232 的片内外设——10 位 ADC 可依次测量系统电流电压比和系统温度值，达到监测系统功耗和轮胎温度的目的。

(4) 当电源管理电路开启供电时，根据 RF24L01 接收来自控制模块的数据设置系统通信方式、系统唤醒方式、轮胎压力上下限以及低功耗模式等多个重要信息，同时将所测量的温度、压力以及系统电流电压比等信息传回给控制模块。

3.2.2 控制模块

为保证控制模块中的重要数据在汽车停止时不因汽车电源的关闭而丢失，并且系统能够进行适当的功能扩展，同时尽可能减少系统的功耗，因此，设定其工作原理为：

(1) 通过在硬件电路设计上实现具有自动切换电源功能的电源管理电路，可以智能的选择供电方式，同时通知 MSP430F149 此时系统的状态，在处理系统该进入怎样的低功耗模式的同时，还决定着系统将如何运行。

(2) 当供电电源为 CR2032 时，汽车一定处于停止状态，此时 RF24L01 再通电已无意义，况且由于 RF24L01 属于功耗相对较大的电子器件，所以系统可关掉其电源，这不仅可以节省了电能，从而降低了功耗，同时也延长了 CR2032 的使用寿命，进而延长电池的更换周期，更节约了成本。在硬件设计上采用只有汽车电源与之连通的方案来实现在此状态下关闭电源的目的。与此同时，作为通信操作的下一步操作——报警操作，其所用到的声光报警电路电源也可同时关闭，进一步降低了功耗。

(3) 当供电电源为汽车电源时，系统的所有设备都正常工作，用户可以根据自己的需要操作系统，同时系统会自动通过 RF24L01 与轮胎模块通信，将已设置好的数据发送出去，并完成对各个轮胎模块回传数据的接收。

(4) 无论电源状态如何，系统的基本功能都能照常实现。例如，键盘电路和显示电路等不会因为电源的不同而发生工作状态的改变。这不仅方便扩展系统的功能，更方便系统的维护操作。

4 硬件设计

由于轮胎内部环境非常恶劣，首当其冲的就是温差范围特别大给所用器件（包括电池）带来了非常严峻的考验，还有气压以及轮胎高速旋转时的加速度等因素也都影响着器件的性能发挥，所以在选择器件时，首先要使所有器件符合使用条件，在此基础上再筛选出稳定性和可靠性极高的器件。然后，为使系统工作寿命进一步延长，所选器件还要具有低功耗特性，本课题所选器件在满足稳定性和可靠性要求的基础上，最大的特点就是功耗都非常低，这也是本课题的一大亮点。下面将逐一介绍所选器件的性能特点及使用情况。

4.1 微处理器

TI 公司生产的 MSP430 系列是一种超低功耗微处理器，特别适合于电池供电的应用场合或手持设备。同时，该系列将大量的外围模块整合到片内，也特别适合于设计片上系统；并且具有丰富的不同型号的器件可供选用，给设计者带来很大的方便性和灵活性。它采用一个 16 位的精简指令结构框架，其内部含有大量的工作寄存器和数据寄存器供用户使用，其中大量的 RAM 单元可实现一般的存储和运算。MSP430 系列是众多微处理器中一颗闪亮的新星。

4.1.1 器件性能

(1) 低电压、超低功耗

MSP430 系列微处理器能够在 1.8~3.6V 的低电压下工作。在超低功耗方面，可软件选择多种工作模式，耗电电流最低可达到 0.1 μ A，这个数值甚至比电池的自放电电流还要小，最大工作电流也不过 400 μ A，仍然处于微安级上。表 4.1 为典型情况下工作电流的数值。可见，它有着 51 系列以及其它多种系列微处理器无可比拟的优点。因此，基于它如此优越的低功耗特性，MSP430 系列微处理器已受到越来越多的电子产品生产厂商和广大电子发烧友的青睐。

表 4.1 典型情况下 MSP430 系列微处理器工作电流的数值

Table 4.1 The current of MSP430 MCU in typical instance

工作条件	晶振:4kHz 电压:2.2V	晶振:1MHz 电压:2.2V	RAM 数据保持	液晶显示
工作电流 (μ A)	2.5	280	0.1	0.8

(2) 强大的处理能力

在运算速度方面，由于其外接时钟晶振频率最高可达 8MHz，MSP430 系列微处理器能够实现 125ns 的指令周期。与此相配合，MSP430 系列微处理器采用的是 RISC 精简指令结构，使得一条指令只占有 1~3 个时钟周期，另外加之还含有 16 位数据宽度的通用寄存器组、多达 512 Bytes 的 RAM 以及能实现乘加等多功能的硬件乘法器，MSP430 系列微处理器能实现数字信号处理的某些算法（如 FFT 等）。

（3）丰富的片内外设

在整合方面，将大量的外围模块集成在了片内，如看门狗（Watch Dog Timer, WDT）、模拟比较器 A（Comparator A）、液晶驱动器、端口 0（P0）、端口 1~6（P1~P6）、定时器 A（Timer A, TA）、定时器 B（Timer B, TB）、串口 0~1（USART0~1）、10 位/12 位 ADC、硬件乘法器（Hardware Multiplier）、数控振荡器（Digit Controlled Oscillator, DCO）、14 位 ADC、锁频环和增强型锁频环（FLL/FLL+）、16 位 ADC、基本定时器（Basic Timer, BT）、Flash 模块以及 12 位 DAC 等等。

其中，定时器 A 和 B 是最为灵活的外设，应用十分广泛，它们均带有多个捕获/比较寄存器，可实现多路 PWM 输出以及扩展端口捕获事件的中断功能，同时也可与其它外设配合使用；模拟比较器与定时器配合使用，多用于早期不带 ADC 的器件中实现 ADC 的功能，方便易用；普通的输入输出端口与定时器配合还可模拟串行通讯、I²C 等多种协议的通讯功能；液晶驱动能力多达 160 笔段之多，而功耗却几乎不变；硬件 ADC 模块能在小于 10 μ s 的周期下实现 10~16 位的高速、高精度的转换，同时提供采样/保持功能和多种参考电压；串口可完成全双工的 SPI 和 UART 两种串行通讯模式；硬件乘法器能够在 4 个时钟周期内完成 16 位的无符号或带符号乘法或乘加运算，使得运算速度大幅提升。

（4）灵活的时钟系统

与其他类型微处理器相比较，MSP430 引入了“时钟系统”的概念。时钟系统不仅包含有系统时钟（两者虽只有顺序不同，但含义却相差甚远），还包含有对各种不同的时钟源进行分类管理的功能。时钟系统是 MSP430 微处理器中最为关键的部件，是它的灵魂。通过时钟系统不仅可以灵活的切换时钟源，即通过软件随时更改 CPU 的运行速度，从而为不同的外设产生不同频率的时钟信号，还可以同时产生多个不同频率的时钟供 CPU 和许多不同速度的外设同时使用，另外，在必要的时候可以降低或部分关闭甚至是全部关闭一个或多个设备的时钟，包括 CPU 的时钟，以便进入不同的低功耗模式来降低系统功耗。通过时钟系统可以在功耗和性能之间寻求最佳的平衡点，为单芯片系统与超

低功耗系统设计提供了灵活的实现手段。

4.1.2 器件选型

根据系统的工作原理，结合硬件成本，选择器件如下：

(1) 轮胎模块

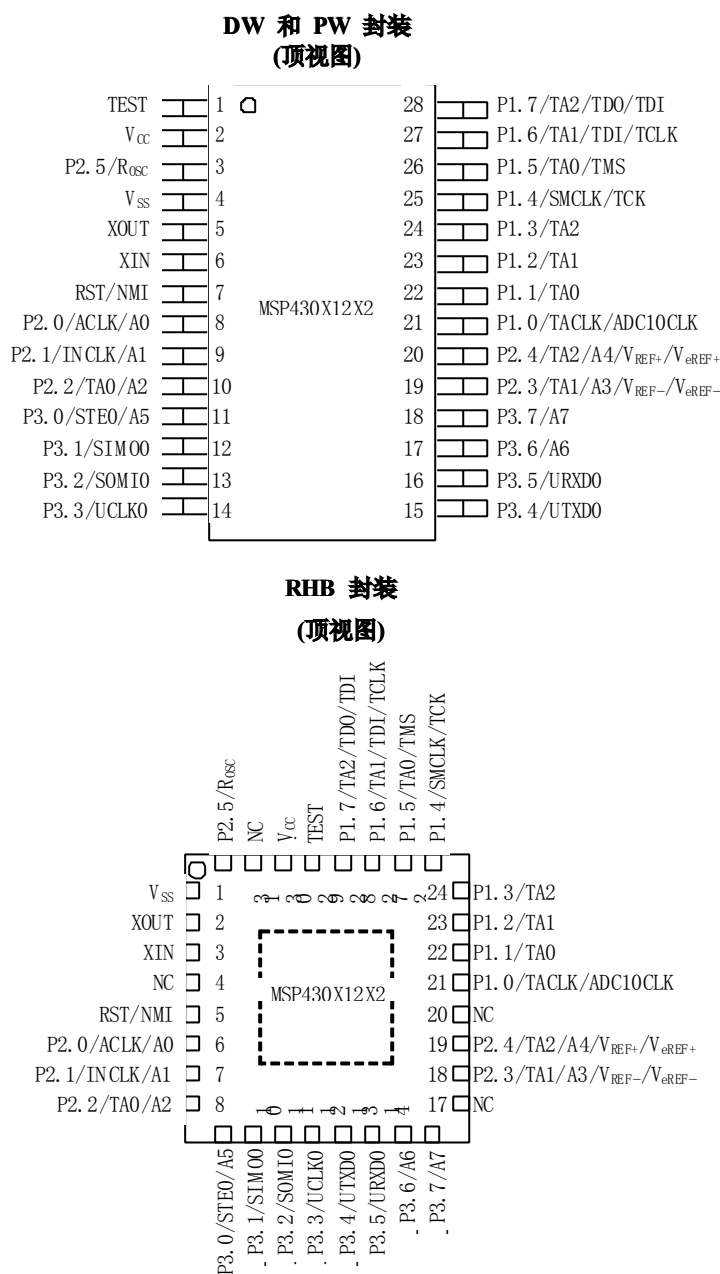


图 4.1 MSP430F1232 引脚图
Fig. 4.1 Pin assignment Diagram of MSP430F1232

由于轮胎模块只负责信号的采集和数据的传输，不必进行进一步处理和运算，因此可选择成本较低的 MSP430F1232 来完成所需功能，图 4.1 为该芯片两种不同封装下的引

脚图。

主要性能参数及资源使用情况：

(i) 内部含有 $8 \times 2 + 6 = 22$ 个通用数字 I/O 端口，分别为 P1 口 (P1.0~P1.7, 8 位)、P2 口 (P2.0~P2.5, 6 位) 和 P3 口 (P3.0~P3.7, 8 位)，并且其中的 P1 口和 P2 口有中断能力。在本课题中使用 P2.5 作为电源管理电路的控制信号端，P2.2、P3.5 和 P3.6 作为加速度传感器的控制信号端，P3.0~P3.4 作为压力传感器的控制信号端及数据通道，P1.0~P1.3、P2.3 和 P2.4 作为无线通讯模块的控制信号端及数据通道，其中 P1.3 就利用其具有的中断能力作为无线通讯模块请求中断的通道。

(ii) 可外接一个低频或高频晶振，从而得到一个精确的时钟信号，并且利用与 P2.5 复用的 R_{OSC} 端口还可外接高精度的电阻使得即使不接外部晶振也能得到一个比较准确的高频时钟。为了使 MCU 空闲时系统功耗尽可能的小，应该让 MCU 休眠于低功耗模式 3 (LPM3)，即只让 ACLK 活动，因此外接一个比较准确的 32kHz 低频手表晶振作为系统时钟供微处理器的大部分设备使用，由于 P2.5 口已作它用，况且不必使用准确的高频时钟，可以省去外接精密电阻。

(iii) 10 位精度带有采样和保持功能的 ADC，只有 1LSB 的线性误差，而且转换速率最高可达 200ksps。它具有 8 个外部通道 A0~A7，分别与 P2.0~P2.4、P3.0、P3.6 和 P3.7 复用，还有两个内部通道，分别接内部的温度传感器和芯片电压，同时还可以软件设定包括选择 ADC10OSC、ACLK、MCLK 或 SMCLK 之一的时钟源、内部 1.5V/2.5V 或外部的参考电压等许多重要功能。根据需要，一方面使用 A7 通道配合必要的硬件电路来测量系统电流电压比，进而估算电池的剩余电量，以便评估轮胎模块甚至整个轮胎的使用寿命，实现低电量报警功能。另一方面由 A0 和 A1 两通道配合加速度传感器来监测轮胎的运动状态，为是否唤醒系统正常工作以及监测轮胎速度及其与轴承的连接状况这些关系到行车安全的诸多方面等下一步工作指明方向。

(iv) 带有 3 个捕获比较单元和 16 位计数器的定时器 Timer A，不仅可以灵活的设定定时时间实现定时中断的功能，而且可以通过软件设置内部和外部的多个捕获源。用户可以选择使用 ACLK、SMCLK、TACLK 还是 INCLK 作为其时钟源，多种计数模式以及多种 PWM 输出波形，并且极为灵活的配合其他设备使用来完成许多复杂的功能。在轮胎模块中主要用来产生 0.5 秒的时间脉冲供系统定时唤醒外部器件，并根据情况产生一些微秒级的时间使系统的其他功能得以完成。

(v) 所有 430 芯片都含有的看门狗定时器 Watch Dog Timer，不仅可以产生 $1/2^n$ 秒

的定时时间，而且可以作为看门狗用来防止系统程序跑飞。在这里正是利用其看门狗的功能，监视 430 的工作，一旦超过设定时间还未将其计数值清零，则芯片复位，程序重新运行，可以保证系统的可靠性。

(vi) 另外芯片内还含有可以设置为 SPI 模式和 UART 模式的 USART0 以及可以擦写 10 万次左右的 12KB 的 Flash 模块。除部分 Flash 单元用于存放程序代码外，其余在本系统中尚未用到。

(vii) 除此以外，芯片还带有 JTAG 调试接口，方便系统的开发、升级和维护。其余的性能指标均为所有 430 芯片所共有，不再赘述，具体参见 4.1.1 节。

(2) 控制模块

PM, PAG, RTD 封装

(顶视图)

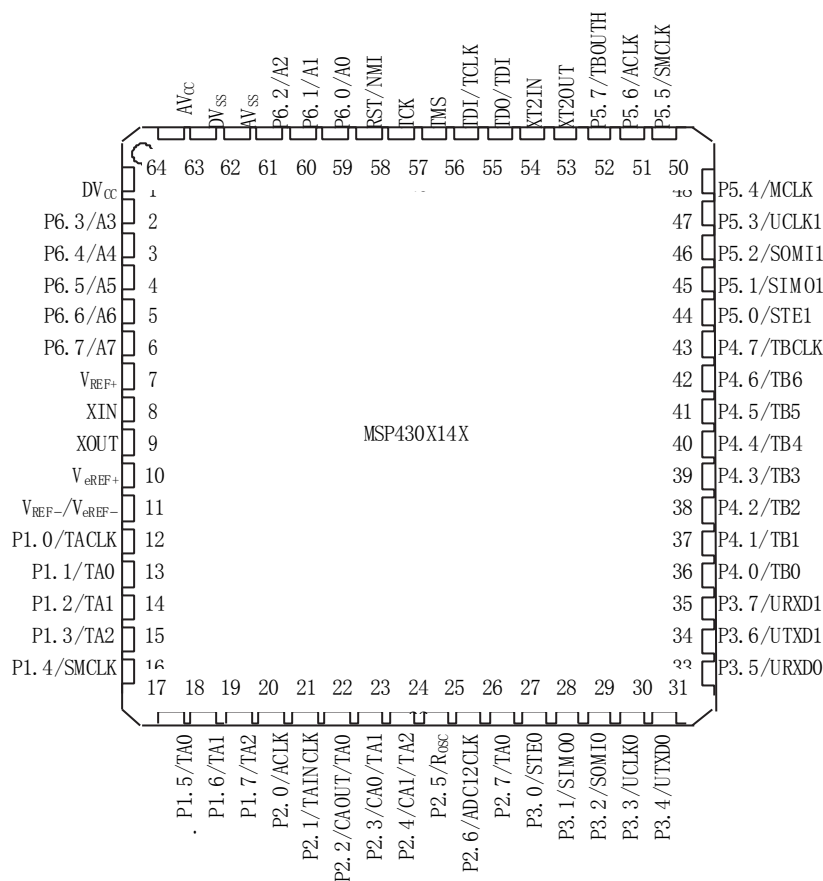


图 4.2 MSP430F149 引脚图

Fig. 4.2 Pin assignment Diagram of MSP430F149

控制模块主要完成对从轮胎模块传送来的温度、压力等采样数据的计算处理，并通过液晶显示器和声光报警电路输出相应信号，同时能够方便的实现与汽车总线相对接，

基于这些功能，应选择功能相对齐全的 MSP430F149 来实现，图 4.2 为该芯片的引脚图。

主要性能参数及资源使用情况：

(i) 内部含有 $8 \times 6 = 48$ 个通用数字 I/O 端口，分别为 P1~P6 口，并且 P1 和 P2 都具有中断功能。因此，将 P1.0~P1.3、P2.3 及 P2.4 用作控制无线通讯模块并且连接方式与轮胎模块相同，而 P1.4 和 P1.5 用于声光报警电路的信号输出，P1.6 用于电源检测信号输入，P3.6、P3.7、P4.3~P4.6 及 P5.0~P5.7 则用于 LCD 液晶点阵的控制和数据通道。

(ii) 与 MSP430F1232 相比，它具有两个晶振连接端口，因此可以同时连接高频和低频两个晶振，这样不仅可以应用低频时钟进入低功耗模式，而且正常工作时所使用的高频时钟也是准确的。这样做的好处是提高了 CPU 的运算速度，特别是在低功耗系统中，由于绝大部分时间 CPU 都处在空闲状态而只有外围模块工作，并且 CPU 工作时的功耗占了系统功耗的很大部分，虽然 CPU 的运算速度的增加会带来瞬时功耗的提高，但是同样的指令执行时间却也大幅减少，故总功耗不变，还可让 CPU 在大部分时间进入休眠，只在需要其干预的时候将其唤醒。其余基本同轮胎模块。

(iii) 其内部的 ADC 为 12 位精度，并且 8 个外部通道与 P6 口复用，虽在本课题中不是主要应用部分，但可在系统的附加功能中得到比 MSP430F1232 的 10 位 ADC 更精确的数据，因此可作为驾驶室的温度计。

(iv) 除具有 Timer A 定时器外，还具有功能更强大的 Timer B 定时器，它带有 7 个捕获比较单元。利用 Timer A 可以产生系统工作的基本时间 0.25 秒以及用于键盘按键时间判断、声光报警的时间间隔以及液晶显示中的时间间隔等多时间信号，而在本课题中具体的键盘识别则是利用了 Timer B 的捕获功能，这样处理是基于将 P1 与 P2 口留给对中断响应要求更敏感的信号部分，使系统资源分配更加合理，方便系统扩展功能。

(v) 由于其内部含有硬件乘法器，所以在数据的进一步运算处理方面应用特别广泛，这也是在控制模块中使用此类型 MCU 的重要原因。用硬件乘法器主要完成对温度、压力以及电能比等采样信号的运算，可以极为快速而准确的得到测量结果，因此可以大大的提高系统的实时性。对看门狗定时器的使用则同 MSP430F1232。

(vi) 另外芯片内除含有与 MSP430F1232 相同功能的 USART0 外，还含有 USART1、比较器 A 以及可以擦写 10 万次左右的 60KB 的 Flash 模块。其中部分 Flash 单元用于存放程序代码外，其余在产品升级时可作为扩展系统功能使用，比如：可用其中的一个串口与汽车总线对接，使其很方便的成为汽车控制系统的一个子系统；如果要求控制模块的使用寿命终身化且重要信息不能丢失，可增加存储数据到 Flash 的功能并只在更换备

用电池之前才使用到此功能等等。

(vii) 其余功能同 MSP430F1232。

4.2 压力传感器

在该系统中，轮胎模块对温度和压力的测量工作是第一重要的，只有测得稳定且准确的数据，系统下一步的处理才有意义。因此，选择一个性能稳定并且可靠的传感器是课题研究的重中之重。本课题所选用的压力传感器不但满足稳定性和可靠性的要求，而且具有极低的功耗，是 TPMS 设计理想的选择。

4.2.1 器件性能

MPXY8020A/MPXY8040A 是由摩托罗拉公司生产的 8 引脚 TPMS 系列专用压力传感器，这两款系列压力传感器的引脚图如图 4.3 所示。其中，MPXY8020A 的压力测量范围为 0~600kPa，主要应用于普通四轮汽车，如轿车、面包车等，而 MPXY8040A 的压力测量范围为 0~1275kPa，主要应用于重型汽车和多轮汽车中，另外，两款系列传感器都具有测温功能，且量程都为 -40~125°C。

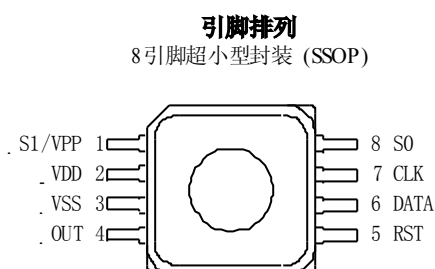


图 4.3 MPXY8020A/8040A 引脚图

Fig. 4.3 Pin assignment Diagram of MPXY8020A/8040A

这类传感器具有极高的稳定性和可靠性，可以承受 1400kPa 的高压，未加电源时所能承受的最大冲击加速度和工作时所能承受的最大向心加速度都为 2000g，并且可以储存于 -40~150°C 的环境当中，除此之外，还可以承受高达 1000V 的静电电压，等等。尽管如此，其功耗却处于一个很低的水平。另外，在传感器内部还含有一个低频低功耗的 5.4kHz 晶振，通过 14 级的 16384 分频后可以在 OUT 引脚上产生一个周期为 3 秒的脉冲，这可作为 CPU 的唤醒信号使用，同时这个 3 秒的脉冲再经过 10 级分频可以在 RST 引脚上产生周期为 52 分钟的脉冲，在很多应用场合下可以给 CPU 作为外部复位信号使用，

因此，应用十分方便。

与许多类型的压力传感器相比较，这两款系列压力传感器具有低电压、低功耗、高稳定性、高可靠性以及易操作性等多种优点，这是许多相同功能的传感器无法比拟的。因此，在本课题中的轮胎模块硬件组成上选取其为压力测量单元，并针对轻型汽车和重型汽车两大类分别使用 MPXY8020A 和 MPXY8040A，其主要性能参数参见表 4.2。

表 4.2 MPXY8020A/MPXY8040A 的主要性能参数
Table 4.2 Main Performance and Parameter of MPXY8020A/MPXY8040A

		最小值	典型值	最大值
供电电压		2.1V	3.0V	3.6V
操作温度		-40 °C		125 °C
复位模式下电流值	-40~85°C		0.6μA	0.9μA
	85~100°C		0.8μA	1.2μA
	100~125°C		1.5μA	2.2μA
读模式下电流值	-40~125°C		400μA	600μA
测温模式下电流值	-40~125°C		400μA	600μA
测压模式下电流值	-40~10°C		1400μA	1800μA
	10~60°C		1300μA	1700μA
	60~125°C		1200μA	1700μA

4.2.2 压力测量电路

基于以上特点，压力测量电路部分设计使用的电路原理图如图 4.4 所示。

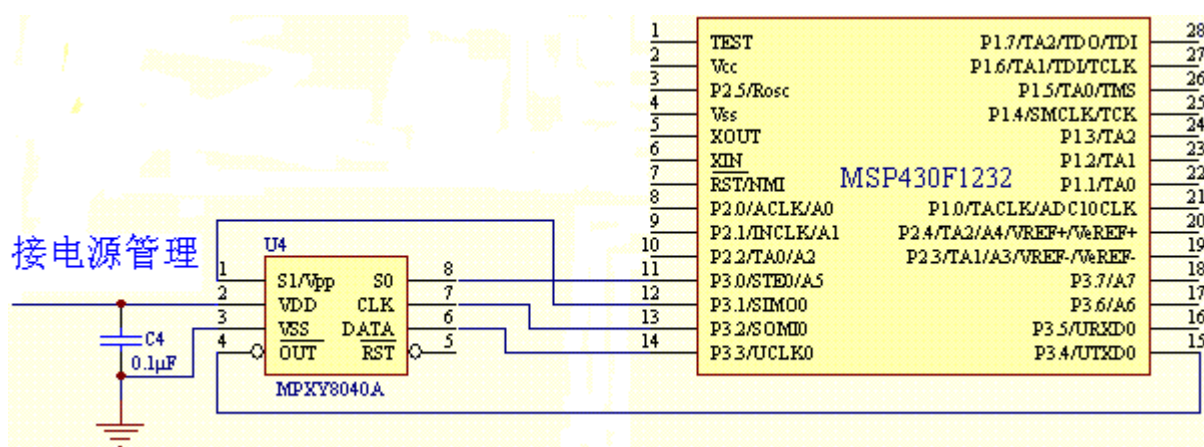


图 4.4 压力测量电路原理图
Fig. 4.4 The Schematic Diagram of Measuring Pressure circuit

如图所示，其中 MSP430F1232 的 P3.0、P3.1 分别与 MPXY8020A/MPXY8040A 的

S0、S1 相连接，在实际应用中，可以通过控制 S1S0=00、01、10、11 四组数据信号，从而实现对传感器应该工作于复位模式、测温模式、测压模式还是读模式四种工作模式的选择。另外，通过 P3.3 连接 DATA 引脚，配合与 P3.2 相连接的 CLK 引脚，可将测量采样值的估计值串行的送给传感器，然后从 P3.4 引脚读出其 OUT 端的电平信号，从而判断此时压力或温度的采样值大小，进一步得出 8 位精度的测量采样值。

4.3 无线通讯

由于轮胎模块安装在轮胎内部，它与外界的通讯只能通过无线方式，因此，无线通讯系统的稳定性与可靠性，直接影响到安装在驾驶室中的控制模块的工作情况。由于无线通讯易受外部环境的影响，因此，衡量通讯质量的最关键因素就是抗干扰性，另外，天线的设计对通讯系统能否正常工作也具有很大的影响。nRF24L01 是一款低功耗、抗干扰性强的无线通讯模块，配合小环天线组成可靠性很高的无线通讯系统。

4.3.1 器件性能

nRF24L01 是由位于挪威的北欧半导体公司生产的一款 2.4G 无线射频收发芯片，其引脚排列如图 4.5 所示。它是一款真正的 GFSK 单收发芯片，工作在 2.4~2.5GHz 世界通用 ISM 频段。其内部的无线收发器包括频率发生器、增强型 ShockBurst™ 模式控制器、功率放大器、晶体振荡器以及调制解调器等，因此它具有增强型的 ShockBurst™ 功能、自动应答及自动重发功能、地址及 CRC 检验功能等等，这些都极大的增强了其抗干扰性能。因此，特别适合于高可靠性系统中使用。

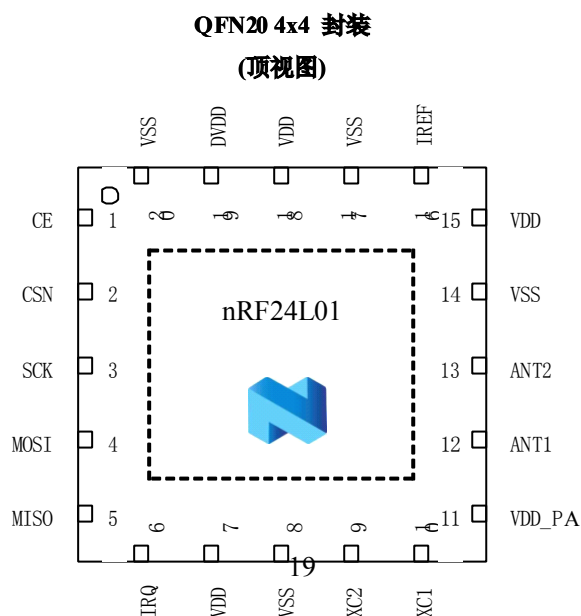


图 4.5 nRF24L01 引脚图
Fig. 4.5 Pin assignment Diagram of nRF24L01

该芯片内置链路层，数据传输率为 1 或 2Mbps 可选，同时其 SPI 接口数据速率最高可达 8Mbps，既可与微处理器的串口相连接组成高速数据通道，又可与普通的 I/O 端口连接低速通信，这使得芯片可与无串口资源的微处理器配合使用，因此具有更广泛的应用。它具有 125 个可选工作频道，由于频道切换时间很短，因此可用于跳频。更重要的是此款收发芯片还与其它 nRF24XX 系列完全兼容，可以非常方便灵活的应用于多系列无线通讯芯片共存的系统中。

该款芯片是 20 脚的 QFN 4×4mm 封装。它可接受 5V 电平的输入并且具有极低的晶振要求，这不仅使得其应用环境更加广泛，同时也是其抗干扰性能极强的表现。此外，它的输出功率、频道选择和协议都可以通过芯片的 SPI 接口进行设置，使得软件上控制其功耗更加灵活和方便，通过软件编程可以实现极低的电流消耗，比如：当工作在发射模式下并且发射功率为-6dBm 时电流消耗仅为 9.0mA，而接收模式时的电流消耗也只有 12.3mA，虽已到了毫安级功耗，但这在众多类型的无线收发芯片中，功耗已是一个相当低的水平；而在掉电模式和待机模式下电流消耗更低至微安级，非常适合低功耗系统的使用。

表 4.3 列出了其主要性能和参数，充分展示了其具有的强大优势。

表 4.3 nRF24L01 的主要性能参数
Table 4.3 Main Performance and Parameter of nRF24L01

	最小值	典型值	最大值
电源 V_{DD}	1.9V	3.0V	3.6V
工作温度 T_A	-40 °C	27 °C	85 °C
工作频率 f_{OP}	2400MHz		2525MHz
晶振频率 f_{XTAL}		16MHz	
2Mbps 下频移 Δf_{2M}		±320kHz	
1Mbps 下频移 Δf_{1M}		±160kHz	
ShockBurst 模式下数据传输率 R_{GFSK}	>0		2Mbps
2Mbps 下频道间距 $F_{CHANNEL}$		2MHz	
1Mbps 下频道间距 $F_{CHANNEL}$		1MHz	
最大输出功率 P_{RF}		0dBm	4dBm
射频功率控制范围 P_{RFC}	16dB	18dB	20dB
射频电源 P_{RECR}			±4dB
载波调制的 20dB 带宽 P_{BW}		1800kHz	2000kHz
输出功率 0dBm 下电流 I_{VDD}		11.3mA	
输出功率-18dBm 下电流 I_{VDD}		7.0mA	
待机状态下电流 I_{VDD}		32μA	
掉电状态下电流 I_{VDD}		900nA	
2Mbps 下单通道工作电流 I_{VDD}		12.3mA	
1Mbps 下单通道工作电流 I_{VDD}		11.8mA	
2Mbps 下 0.1%BRE 灵敏度 RX_{SENS}		-82 dBm	
1Mbps 下 0.1%BRE 灵敏度 RX_{SENS}		-85 dBm	

4.3.2 无线通讯电路

由于 TPMS 工作的特殊性，同时使得软件编程相对容易而且易于维护，故在控制模块和轮胎模块中都使用同样的端口和连接方法，其具体连接参见图 4.6。

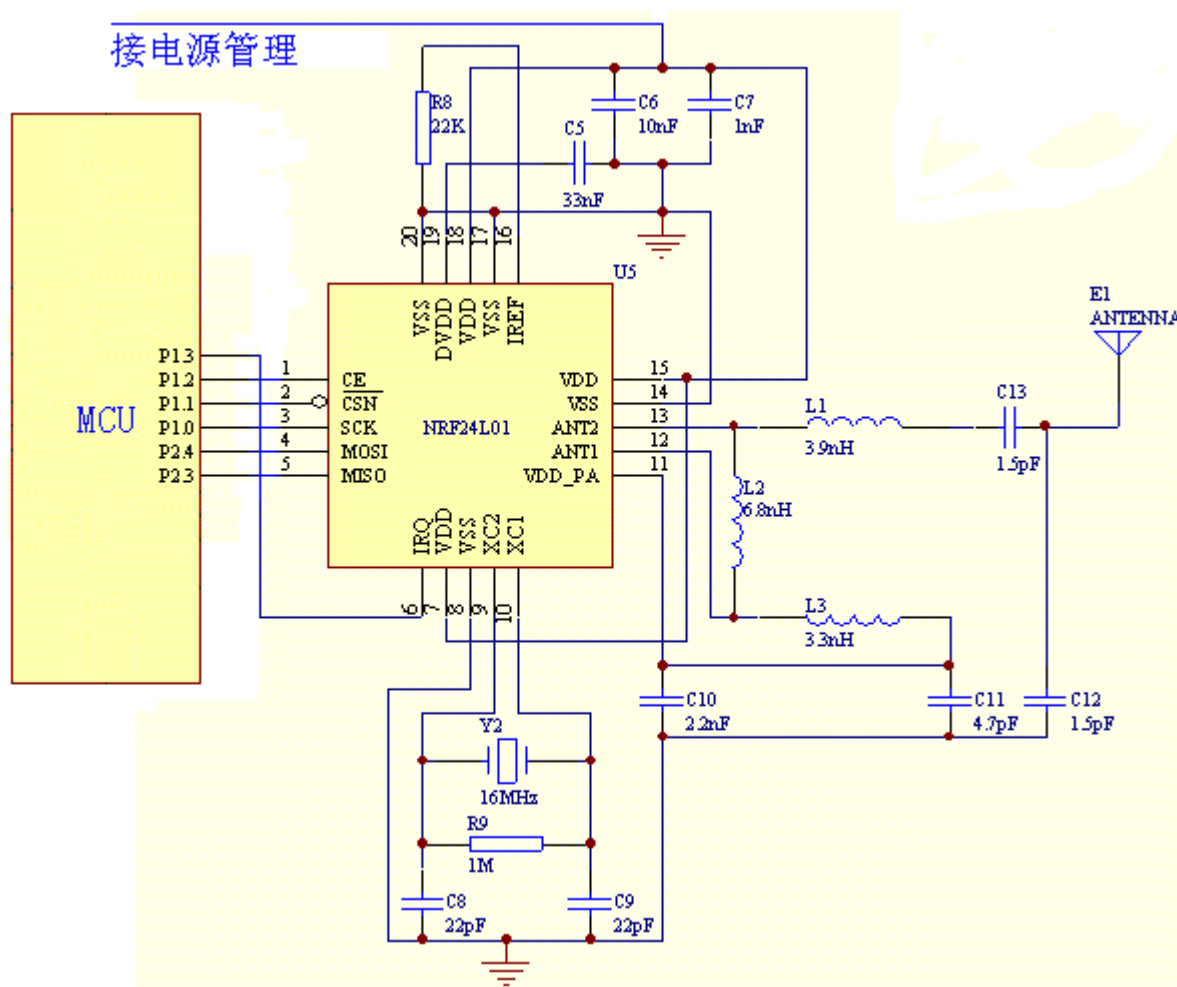


图 4.6 无线通讯电路原理图

Fig. 4.6 The Schematic Diagram of Wireless Communication circuit

这里将 P1.2 与 nRF24L01 的 CE 引脚相连接，作为工作使能控制信号；P1.1 与 CSN 引脚连接来控制串行通讯的工作；将 P1.0 与其串行时钟线 SCK 相连接，在规定的 CE 和 CSN 信号下，由与其 MOSI 引脚相连接的 P2.4 向 nRF24L01 发出具体的控制指令，并由与其 MISO 引脚相连接的 P2.3 返回给 MCU 数据；由于本课题致力于高实时性和高可靠性操作，因此，通过软件设置让 nRF24L01 工作在增强型的 ShockBurst 模式，这时需要芯片通过中断方式通知 MCU 进行发送和接收情况的处理，因此将 P1.3 与 nRF24L01 的 IRQ 引脚相连接，从硬件上保证可以使 MCU 接受来自 nRF24L01 的中断请求。

另外，由于无线通讯系统在整个系统中属于功耗最大的模块，因此，为进一步降低系统功耗，其电源必须受到严格管理，在系统休眠时通过电源管理电路将其电源切断，

而在系统正常工作时合理的设定通讯周期、通讯功率等重要参数，实现功耗与性能的最佳均衡。

4.4 加速度传感器

为使轮胎模块能根据汽车所处的状态采取不同的工作模式，以便减少系统功耗，延长使用寿命，在本课题中使用加速度传感器定时检测轮胎的向心加速度是否超过设定值，根据比较结果进行电源管理操作（详见 4.5 节），智能的选择正常工作还是低功耗休眠。

4.4.1 器件性能

MMA6281Q 是飞思卡尔半导体公司生产的一款具有极低功耗和高可靠性，并且可以测量 x 轴和 z 轴两个方向上的加速度的传感器，它具有四个量程，分别为 -2.5g~2.5g、-3.3g~3.3g、-6.7g~6.7g、-10g~10g，其引脚图如图 4.7 所示。

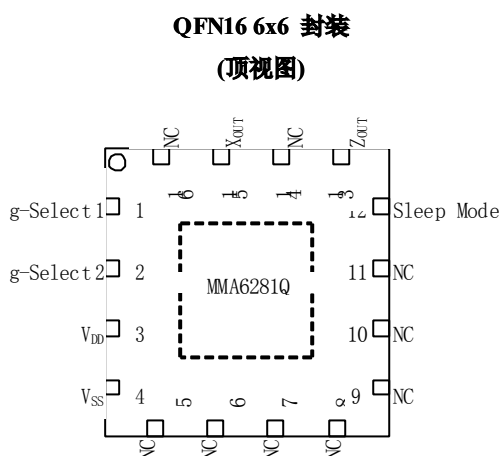


图 4.7 MMA6281Q 引脚图

Fig. 4.7 Pin assignment Diagram of MMA6281Q

该款传感器是 16 脚的 QFN 6×6mm 封装，最大可承受±2000g 的加速度，最大跌落高度为 1.8m，并且可以储存在-40~125℃ 的环境当中，非常适合在轮胎内部这种恶劣的环境中使用。其主要性能参数见表 4.4。

表 4.4 MMA6281Q 的主要性能参数

Table 4.4 Main Performance and Parameter of MMA6281Q

	最小值	典型值	最大值		最小值	典型值	最大值
供电电压 V_{DD}	2.2V	3.3V	3.6V	3.3g 灵敏度 $S_{3.3g}$	333mV/g	360mV/g	387mV/g
工作电流 I_{DD}		500μA	800μA	6.7g 灵敏度 $S_{6.7g}$	167mV/g	180mV/g	193mV/g
休眠电流 I_{DD}		3μA	10μA	10g 灵敏度 S_{10g}	111mV/g	120mV/g	129mV/g

操作温度 T_A	-40 °C		105 °C	X 轴灵敏度 S_{T_A}	$\pm 0.02\%/^\circ$	$\pm 0.02\%/^\circ$	$\pm 0.02\%/^\circ$
2.5g 灵敏度 $S_{2.5g}$	444mV/	480mV/	516mV/	Z 轴灵敏度 S_{T_A}	$\pm 0.01\%/^\circ$	$\pm 0.00\%/^\circ$	$\pm 0.01\%/^\circ$

4.4.2 加速度检测电路

由于在轮胎模块中使用此种传感器只为检测汽车是处于停止状态还是行驶状态，无需在轮胎高速转动时精确的测出其向心加速度，因此，只需将测量值与满量程值相比较的结果作为判断汽车到底处在行驶状态还是停止状态，于是设计其工作原理图如图 4.8 所示。

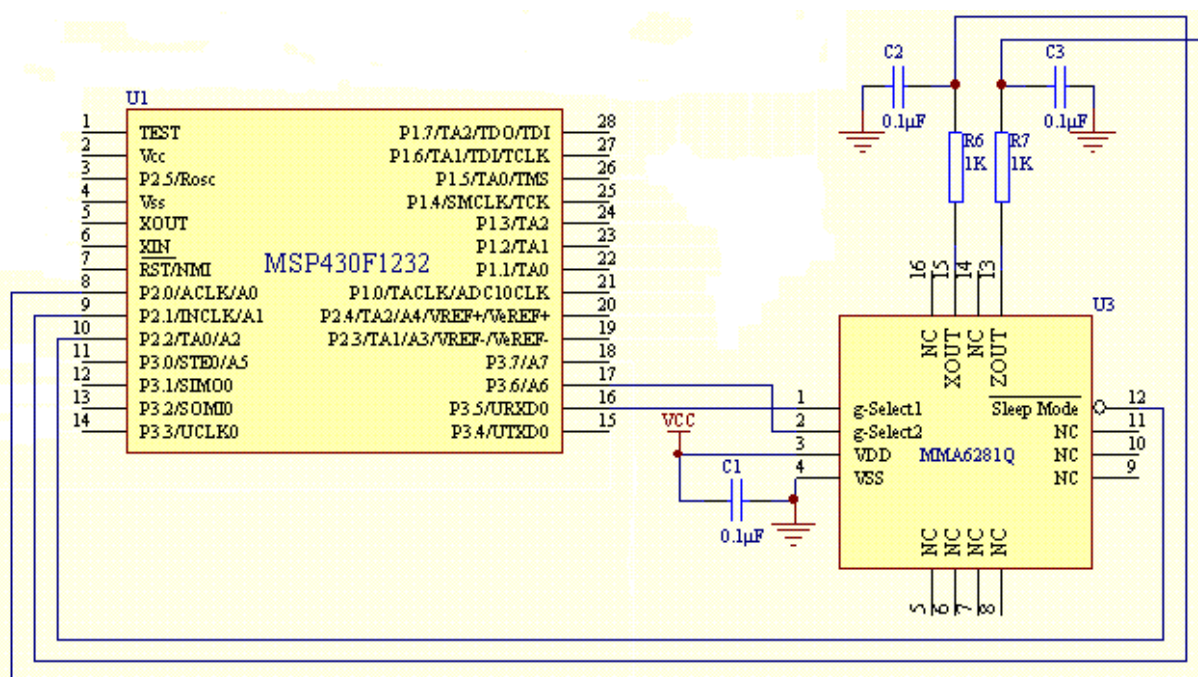


图 4.8 加速度检测电路原理图

Fig. 4.8 The Schematic Diagram of Acceleration Detection circuit

由图可知，P3.5 和 P3.6 分别与 g-Select1 和 g-Select2 相连接，用来选择加速度传感器的量程范围，也就是用来设定分辨汽车运动状态的参考值，即当 g-Select2/g-Select1 分别为 00、01、10 和 11 时，对应 $\pm 2.5g$ 、 $\pm 3.3g$ 、 $\pm 6.7g$ 和 $\pm 10g$ 作为评判汽车运动的标志，当测量值到达此设定值时，汽车处在行驶状态，系统应正常工作，包括所有器件都应上电；否则，汽车处在停止状态或即将停止，系统应进入低功耗休眠模式。

由 P2.2 连接 Sleep Mode 引脚，可以定时唤醒 MMA6281Q 工作，实现对该芯片的电源管理，使得其功耗进入一个更低的水平。

由于该芯片输出的加速度测量值是一个模拟的电压信号，因此需要利用与 P2.0、P2.1 复用的 ADC10 的 A0、A1 两个通道来测量。本课题中选用 A0 通道测量 Z 轴加速度，并在实际操作时将所测面（芯片的上下表面）对准轮胎中心，用来测定轮胎的向心

加速度；而用 A1 通道测量 X 轴加速度，其测量面为芯片的 1~4 引脚和 9~12 引脚所在表面，根据此面在轮胎中所处的位置不同，此项测量工作又可作为对轮胎加速度的补充测量或作为附加功能的测量使用，如监测轮胎轴向加速度避免行驶中轮胎与汽车分离事故的发生等。

4.5 电源管理

电源管理电路的使用使系统功耗和性能达到了最佳的平衡，此电路不仅包含对所有器件电源的开关和选择，还包含 MSP430 微处理器自身低功耗电路的设计和构造。另外，因两个模块所处工作环境和其所做工作的不同又分别具有各自的特色，如：在轮胎模块中，还包括电路功耗的监测电路；在控制模块中，则包括电源识别电路等。

4.5.1 主要器件性能

(1) 电池

电池是电源管理电路中最重要器件，电池性能的好坏不仅决定着电源管理电路的性能，而且直接关系到整个 TPMS 的性能优劣。特别是在轮胎模块中，电池是唯一的能量来源，因此电池的选择对保证系统的稳定性和可靠性具有重要的意义。

在轮胎模块中选用容量为 2700mA·h 的 5 号锂—亚硫酰氯（Li-SOCl₂ Battery）电池。该系列电池标称电压为 3.6V，是一种特种锂电池。它不仅具有极为平坦的放电曲线，而且其年自放电率仅为 2%左右；在 -40℃ 时电容量能维持在常温容量的 50%左右，并且在 120℃ 时仍可工作，因此贮存寿命可长达 10 年以上，是一种适合恶劣环境下长期使用的电池。使用此种电池加上有效的节能手段可使得轮胎模块在轮胎寿命内都能正常工作。

在控制模块中由于主要供电电源来自汽车的 12/24V 直流电源，并且为了降低功耗，在关闭汽车引擎后系统应基本不耗电，所以可以选用普通的锂—二氧化锰电池（Li-Mn Battery）作为备用电源在汽车引擎关闭后继续向控制模块供电。该系列电池简称为锂锰钮扣电池，它的标称电压为 3V 并且容量较大，因此在超低功耗系统中应用极为广泛。在本课题中选用 CR2032，由于它的容量为 210mA·h，标称电流为 0.2mA，最大连续电流为 0.5mA，而且最大脉冲电流更是高达 15mA，所以用来维持系统最基本的工作绰绰有余，并且可以连续工作数年后才需更换。

(2) 复位芯片

在 MSP430 微处理器的复位电路中, 使用了 3 引脚 SOT-23 封装的复位芯片 IMP809,

**SOT23 封装
(顶视图)**

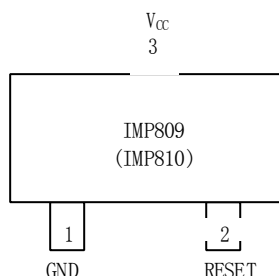


图 4.9 IMP809 引脚图

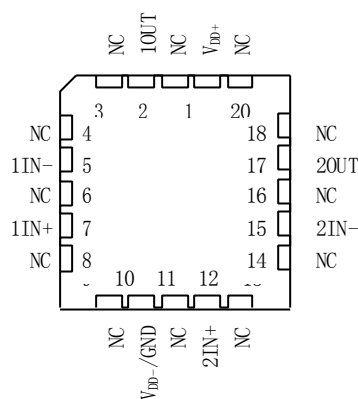
Fig. 4.9 Pin assignment Diagram of IMP809

它与 IMP810 的区别仅在于它是提供低电平的复位信号, 其引脚图如图 4.9 所示。它是一款可向 3V、3.3V 和 5V 系列微处理器提供复位信号的超低功耗芯片, 其功耗最低仅有 $6\mu\text{A}$, 特别适合于电池供电的场合。另外, 其操作温度为 $-40\sim 105^{\circ}\text{C}$, 储存温度更是宽至 $-65\sim 160^{\circ}\text{C}$, 是一款特别适合于恶劣环境下使用的器件。

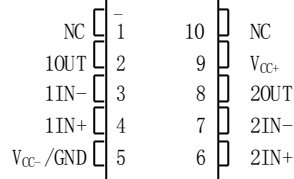
(3) 运算放大器

运算放大器主要应用在轮胎模块中, 用来监测模块电流与电压的比值, 从而估计电能的消耗及模块的使用寿命。为达到功能要求, 更重要的是一定要符合使用环境的要求, 因此, 特选用生产 MSP430 系列微处理器的 TI 公司生产的低功耗高性能、单电源低电压运算放大器 TLV2252, 其引脚图如图 4.10 所示。

**FK 封装
(顶视图)**



**U 封装
(顶视图)**



**D, P, PW, JG 封装
(顶视图)**

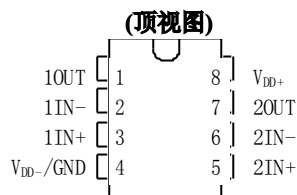


图 4.10 TLV2252 引脚图

Fig. 4.10 Pin assignment Diagram of TLV2252

该类型的运放可在 2.7~8V 的电压范围内工作, 并且可以储存在 $-65\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的温度环

境中，其中 I 系列和 Q 系列操作温度范围为 $-40\sim 125^{\circ}\text{C}$ ，M 系列更是宽至 $-55\sim 125^{\circ}\text{C}$ ，非常适合恶劣环境下使用。此外，它还具有低温漂、低噪声和极低功耗等特点，可在超低功耗系统中得到非常精确的测量值，因此，非常具有应用价值。

(4) 稳压器

在控制模块中，由于汽车电源在 $12\text{V}\sim 24\text{V}$ 之间，而所使用的其它器件供电电压一般都在 $2.2\sim 3.6\text{V}$ 之间，因此，需要把汽车电源降压后才能供给整个系统电路使用。为达到此目的，必须使用稳压器。

HT71XX 系列芯片是由台湾合泰生产的高性能稳压器，它具有两款不同样式的封装，其引脚排列参见图 4.11。

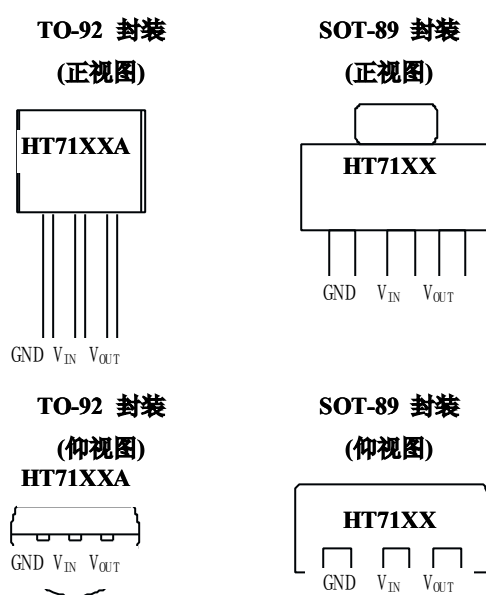


图 4.11 HT71XX 引脚图

Fig. 4.11 Pin assignment Diagram of HT71XX

该系列芯片是低价格、低功耗的低压差稳压器 (Low Dropout, LDO)，其正常工作的最高输入电压能达到 24V ，压差的典型值仅为 100mV ，而自身功耗却只有 $4\mu\text{A}$ 左右，此外，它还具有非常低的温漂。按照其输出电压的不同来划分，共有 3.0V 、 3.3V 、 3.6V 、 4.4V 以及 5.0V 五个系列可供选择，而其最大输出电流可达 30mA ，故其应用范围非常广泛。它可以储存在 $-50\sim 125^{\circ}\text{C}$ 的环境当中，而其操作温度范围只有 $0\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，由于驾驶室温度一般都在 $0\sim 50^{\circ}\text{C}$ 左右，故其仍可以正常工作。

在本课题中，为保证汽车电源降压后的压差与备用电池的电压基本相等，使得硬件电路尽可能可靠的在这两种电源之间进行切换，故选用输出电压为 3.0V 的 HT7130 系列。

4.5.2 电源管理电路

(1) 轮胎模块

在轮胎模块中，电源管理电路的作用主要有对 MSP430F1232 自身低功耗电路的实现、除加速度传感器以外的其它器件（主要包括压力传感器和无线通讯模块等）的电源开关以及系统电压与电流比值的测定功能等等。

为实现上述功能，在满足足够的稳定性与可靠性要求的同时，结合功耗和成本考虑，选择以 5 号锂—亚硫酰氯电池、复位芯片 IMP809TEUR-T 和运放 TLV2252AID 为代表的

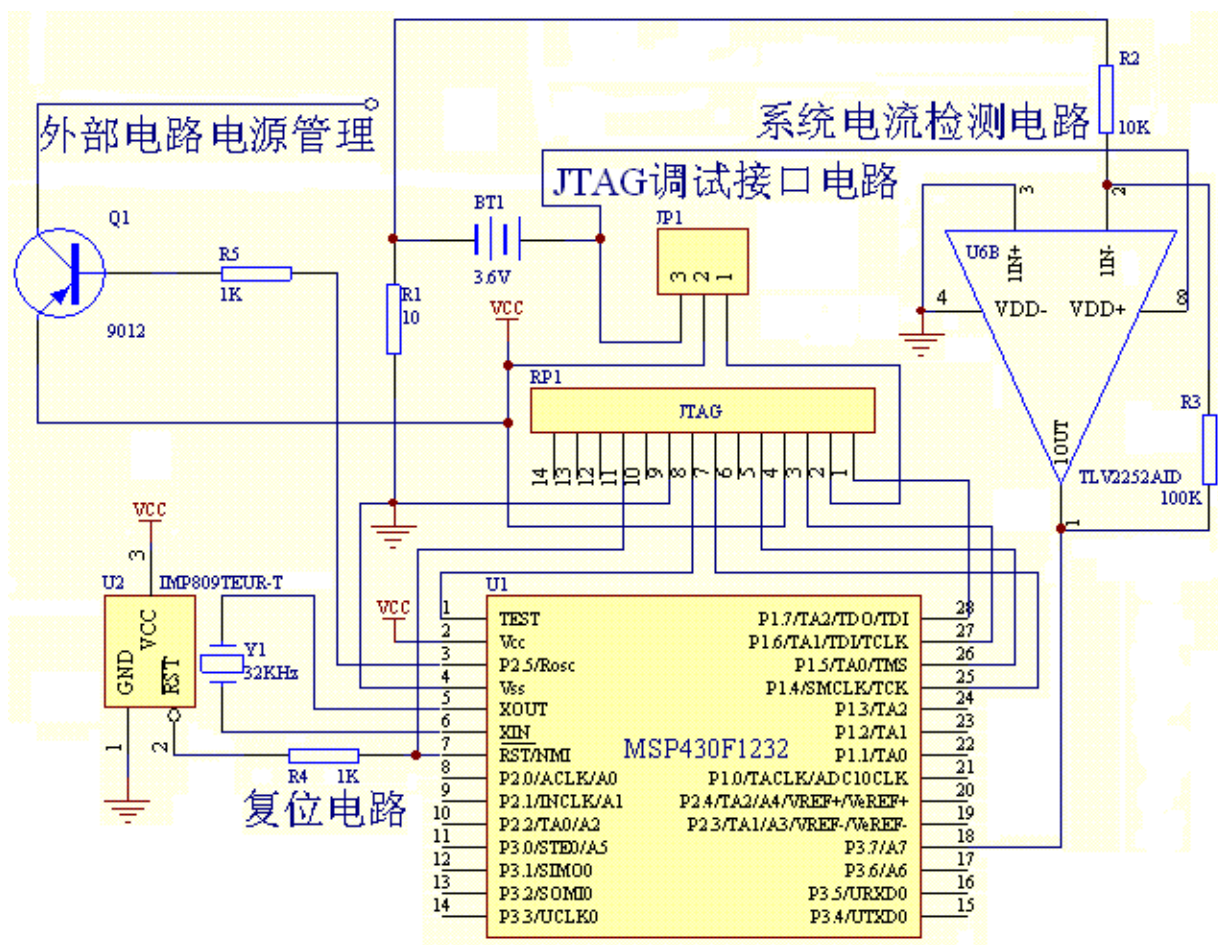


图 4.12 轮胎模块电源管理电路原理图

Fig. 4.12 The Schematic Diagram of Energy Management circuit of Tire Module

一些高性能价格比的器件组成系统，并且设计其硬件电路的原理图如 4.12 所示。

在上面的电路图中，由 MSP430F1232 的 P2.5 引脚输出外电路电源的开关控制信号，即当输出高电平时，PNP 管 9012 截止，外电路断电；反之，9012 导通，外电路通电，此种方法具有占用 PCB 板面积小、实现简单并且可靠的优点，但是外电路导通时会有约 0.3V 的饱和压降。而由图 4.12 可知，系统的地并不是电池的负极，而是 R1=10Ω 这个电

阻的电压值，这样所有器件的供电电压都会小于 3.6V，之所以这样处理是基于需要由 R1 这个电阻来检测系统的总电流值。

(2) 控制模块

由于在控制模块中，为长期保存重要的数据信息而又尽量不消耗 Flash 的使用寿命，因此，其电源管理电路的主要作用就是对汽车电源和备用电池两个电源的切换功能的实现，除此之外，还包括对 MSP430F149 自身低功耗电路的实现、对无线通讯电路电源的开关控制以及电源切换时通知 MSP430F149 的功能等等。

本课题选用锂锰电池 CR2032、复位芯片 IMP809TEUR-T 以及稳压器 HT7130 等器件配合汽车电源共同组成系统的硬件电路，其硬件电路的原理图参见图 4.13。

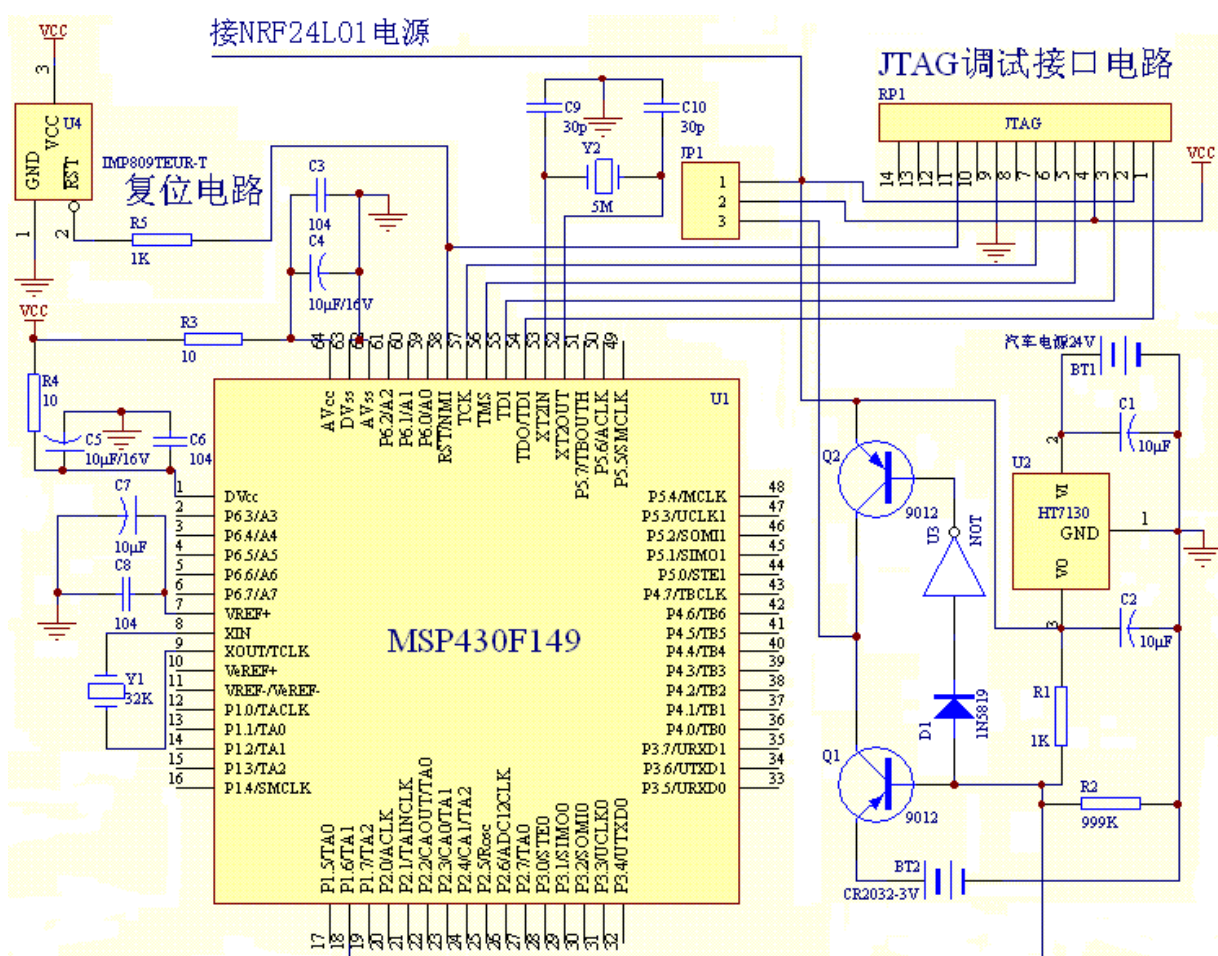


图 4.13 控制模块电源管理电路原理图

Fig. 4.13 The Schematic Diagram of Energy Management circuit of Control Module

当汽车电源供电时，HT7130 将输出一个 3.0V 的高电平，此电平既是电路的电源，同时又是电路选择由汽车电源供电的控制信号。如图 4.13 所示，此时 PNP 管 Q1 截止，同时利用反向器可使得 Q2 导通，外电路电源可以通过 Q2 与汽车电源连通，系统在约 2.7V 的电压下工作；而一旦汽车关闭引擎，此时 HT7130 的输出端随即会被 R2 可靠的

拉低，使得 Q1 导通而 Q2 截止（为了完成上面的动作，反向器的电源必须由 CR2032 提供），外电路的电源随即变成了备用电池。如此反复，可使得每个时刻只有一个电源处在工作当中，因此，可以起到延长电池使用寿命的作用。

关于电源切换的信号，可以通过如图 4.13 所示的连接，利用 P1.6 引脚的中断功能通知 MSP430F149，以便进行相应的处理。

特别值得注意的是：

(i) 为实现无线通讯电路的电源随汽车电源的关闭而关闭，其电源应直接从 HT7130 的输出端引出而不经上述电路。

(ii) JP1 跳线则主要用于在调试阶段使系统能够由 JTAG 供电进行正常的调试工作。此时应使 1 和 2 连接，这样 nRF24L01 的电源可以随 MSP430F149 的上电而上电，使得系统进入调试工作状态；因此，在正常使用时应使 2 和 3 相连接。

(iii) 由于电路的主供电电压约在 2.7V 左右，考虑 CR2032 的电压从 3V 跌落到 2.5V 的过程中，MSP430F149 应始终能正常工作，于是选择其外接的高频晶振频率为 5MHz。

4.6 液晶显示

液晶显示器（LCD）是最重要的输出设备，驾驶员可以通过液晶的显示察看汽车轮胎的许多重要参数，因此，选择一个高性能低功耗的液晶显示器，对整个系统的正常工作起着举足轻重的意义。在本课题中主要选用液晶点阵来完成复杂的显示任务。

4.6.1 主要器件性能

(1) ZJM12864BSBD

ZJM12864BSBD 是一款低功耗的点阵图形式 LCD，其显示分辨率为 128 点（列）× 64 点（行）。它共有 20 个引脚，顺序排列在同一个侧面上，使用时可以直接插接在连续排列的 20 个适当大小的焊盘上，拆装非常方便。它的工作电压为 $5.0 \pm 0.5V$ ，并且具有多功能的操作指令，因此非常容易与不同位数的 MCU 对接。其引脚功能如表 4.5 所示。

表 4.5 ZJM12864BSBD 的引脚定义
Table 4.5 Pin Definition of ZJM12864BSBD

序号	名称	有效电平	功能	序号	名称	有效电平	功能
1	V _{SS}	0	电源地	11	DB4	H/L	数据总线
2	V _{CC}	5V	电源正极	12	DB5	H/L	

3	V _O	—	LCD 驱动电压调节	13	DB6	H/L	
4	RS	H/L	H: 数据操作; L: 指令操作	14	DB7	H/L	
5	R/W	H/L	H: 数据读出; L: 数据写入	15	CS1	H	Chip1 片选信号
6	E	H,L→L	芯片使能信号	16	CS2	H	Chip2 片选信号
7	DB0	H/L	数据总线	17	RST	L	复位信号
8	DB1	H/L		18	V _{EE}	—	10V 输出端
9	DB2	H/L		19	NC	—	—
10	DB3	H/L		20	NC	—	—

它由两片 64×64 的正方形点阵组合而成，同时采用高位在下、低位在上的逆向显示

表 4.6 ZJM12864BSBD 的指令格式

Table 4.6 Instruction Format of ZJM12864BSBD

方式，可以非常方便的显示不同大小的英文字母和数字，更重要的是它还可以显示汉字，利用字模软件可以非常方便的生成汉字代码，给软件编程带来极大的方便。表 4.6 列出了其主要采用的指令格式。

指令功能	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
设定显示开关状态	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1/0
设定显示起始段地址	0	0	0	1	段地址 0~63					
设定页地址	0	0	1	0	1	1	1	页地址 0~7		
设定显示起始行地址	0	0	1	1	行地址 0~63					
读检测 LCD 状态	0	1	忙闲	0	开关	复位	0	0	0	0
写显示数据状态	1	0	写入的数据							
读显示数据状态	1	1	读出的数据							

(2) JHD162A

实验阶段临时使用 JHD162A 作为显示设备，其引脚功能参见表 4.7。其中前 14 个引脚除 3 和 6 外均与 ZJM12864BSBD 完全相同，引脚 6 仅电平逻辑不同而已。它的引脚个数仅为 16 个，而且供电电压也完全相同，因此，在硬件上两款液晶可使用同一电路。

表 4.7 JHD162A 的引脚定义

Table 4.7 Pin Definition of JHD162A

序号	名称	有效电平	功能	序号	名称	有效电平	功能
1	V _{SS}	0	电源地	9	DB2	H/L	数据总线
2	V _{CC}	5V	电源正极	10	DB3	H/L	
3	V _{EE}	—	LCD 显示偏压信号	11	DB4	H/L	
4	RS	H/L	H: 数据操作; L: 指令操作	12	DB5	H/L	
5	R/W	H/L	H: 数据读出; L: 数据写入	13	DB6	H/L	
6	E	H,L→H	芯片使能信号	14	DB7	H/L	
7	DB0	H/L	数据总线	15	BLA	—	背光源正极
8	DB1	H/L		16	BLK	—	背光源负极

此液晶只有两行 16 列，因此只能同时显示分辨率为 5×7 或 5×10 的字符 32 个，而且不能显示汉字，但由于其内置字符解码装置，可以非常方便的使用 ASCII 码来驱动显示对应字

符，在英

表 4.8 JHD162A 的指令格式

Table 4.8 Instruction Format of JHD162A

字母、

数字以及

日语片假名上应用非常广泛，其指令格式参见表 4.8。

指令功能	R	R/W	DB	DB	DB	DB	DB	DB	DB	DB	响应时	
清屏操作	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.64ms	
光标归位操作	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
模式设置操作	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	40μs	
显示开关控制操作	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B		
设定显示屏光标移动方向操作	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L				
功能设定操作	0	0	0	0	1	DL	N	F				
设定 CGRAM 地址操作	0	0	0	1	6 位 CGRAM 地址							
设定 DDRAM 地址操作	0	0	1	7 位 CGRAM 地址								
读取忙信号或 AC 地址	0	1	BF	7 位 AC 地址								
数据写入 DDRAM 或 CGRAM	1	0	写入的数据									
从 DDRAM 或 CGRAM 读数据	1	1	读出的数据									

(3) HT7750

由于上面提到的两种点阵的操作电压都在 4.5~5.5V 之间，而由电源管理电路输出的电压仅约为 2.7V，因此必然将存在一个 3V 和 5V 之间的电源转换问题。当然，一个解决的方法是在 4.5 节中将 HT7130 换成 HT7150，然后一路送给液晶点阵，另一路再通过一次降压（如再次使用 HT7130 等方法）后送给其余 3V 器件。但同时为使电源管理电路的工作尽量可靠，最好将汽车电源与备用电池统一在同一个电压级别上。因此，备用电池也要重新选择为 5V 电池。这样不但增加了降压电路的成本，同时势必会带来提升备用电池成本的问题。

因此，为解决上述矛盾，尽可能少的提升系统成本，在本课题中的液晶电路之前使用同样是台湾合泰生产的另一种高性能稳压器—HT77XX 系列自动升降压型稳压芯片。该系列芯片具有四款不同样式的封装，其引脚排列如图 4.14 所示。

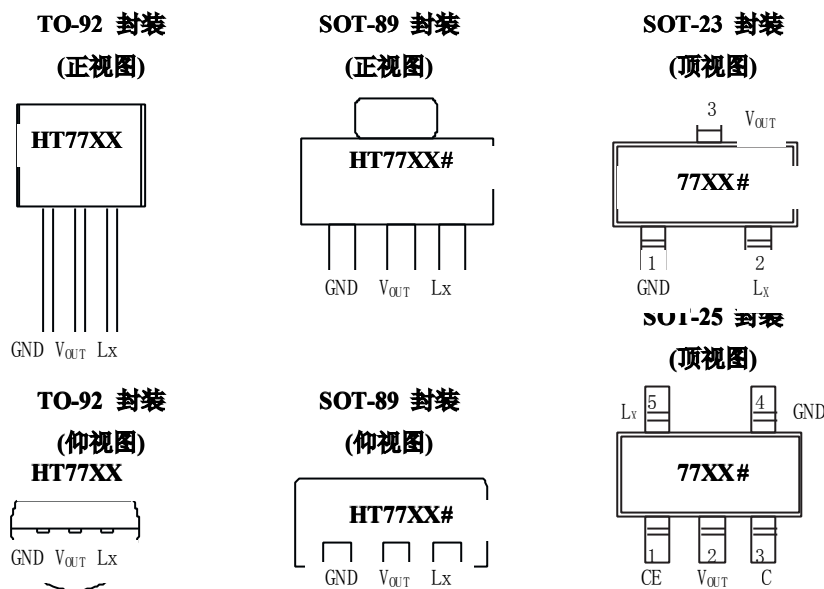


图 4.14 HT77XX 引脚图

Fig. 4.14 Pin assignment Diagram of HT77XX

该系列芯片的工作原理为：当输入电压高于设定值时，只依靠芯片外部在 L_X 和 V_O 之间跨接的二极管（详见图 4.15）将输入端与输出端单向连通，这样做可以避免回流但不能进行稳压处理，此时由于电路不工作故自身功耗可低至 $4\mu A$ 以下；而当输入电压低于设定值时，升压电路开始工作并且进行稳压处理，此时自身功耗仅为 $45\mu A$ 左右。其正常工作时输入电压范围为 $0.9\sim 6V$ ，按其输出电压的不同可分为 $1.8V$ 、 $2.7V$ 、 $3.0V$ 、 $3.3V$ 、 $3.7V$ 和 $5.0V$ 六个不同系列，与 HT71XX 编号方法相同，HT77XX 中的最后两位数字即表示其升压后的输出电压值，而其储存和操作温度则分别在 $-50\sim 125^\circ C$ 与 $-40\sim 85^\circ C$ 之间。

在此应选择 HT7750 来完成对液晶的供电工作，而且其总是工作在升压状态下。

4.6.2 液晶显示电路

按照 4.6.1 节所述的各器件的工作方法，设计用图形式点阵 ZJM12864BSBD 完成显示任务的电路原理图如图 4.15 所示。

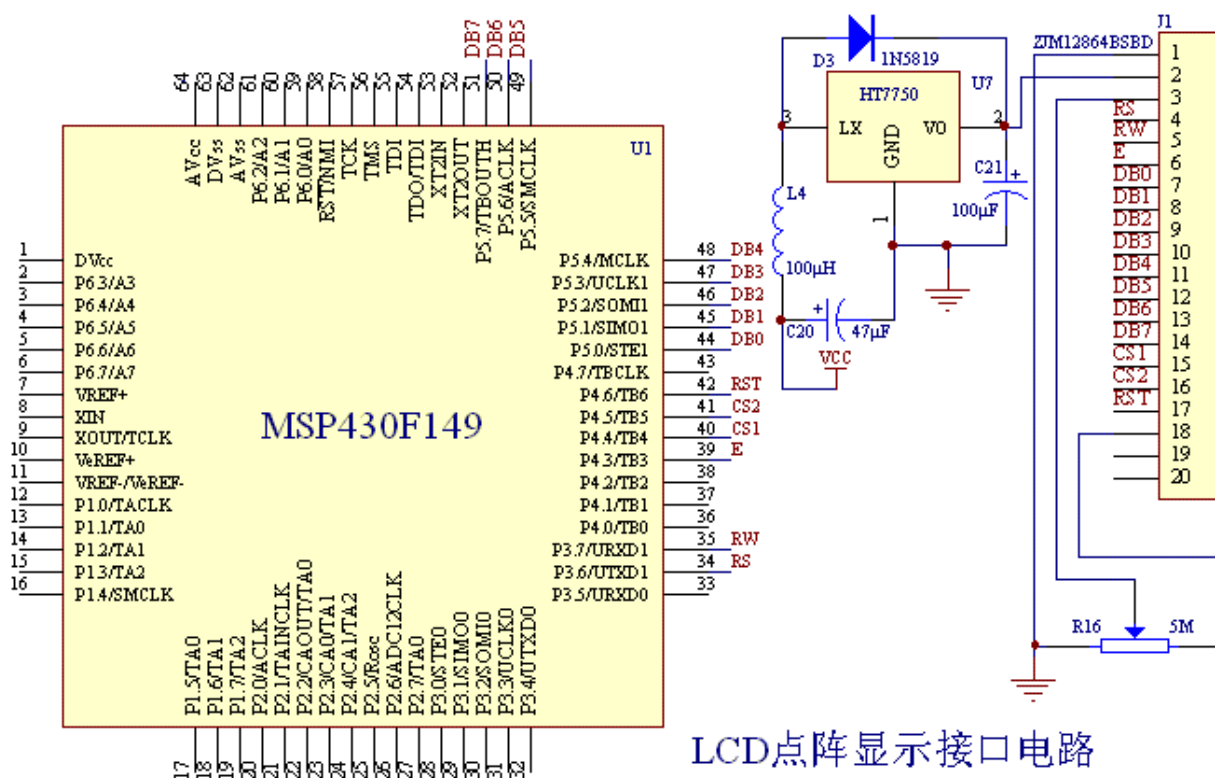


图 4.15 液晶显示电路原理图

Fig. 4.15 The Schematic Diagram of LCD Display circuit

4.7 报警系统

声光报警器是一个重要的辅助输出设备。在满足驾驶员可以从液晶显示器上随时察看重要数据的同时，为保证当发生紧急情况或异常情况时，如出现轮胎的温度或气压过低或过高、轮胎模块的电源电量过低等等情况时，系统能够及时而有效的引起驾驶员的警惕和注意，以便驾驶员可以及早的进行相应的正确处理，从而将各种安全事故消除在萌芽状态，声光报警器发挥了巨大的作用。

声光报警系统主要应用在控制模块当中，用来实现系统的报警功能；而在轮胎模块当中，只是利用了该报警系统的声音控制电路部分，为方便系统的维护，在研发和实验阶段，给整个系统的无线通讯部分的调试工作提供硬件支持。

其中，控制模块部分的声光报警电路原理图如图 4.16 所示。轮胎模块中的声音控制

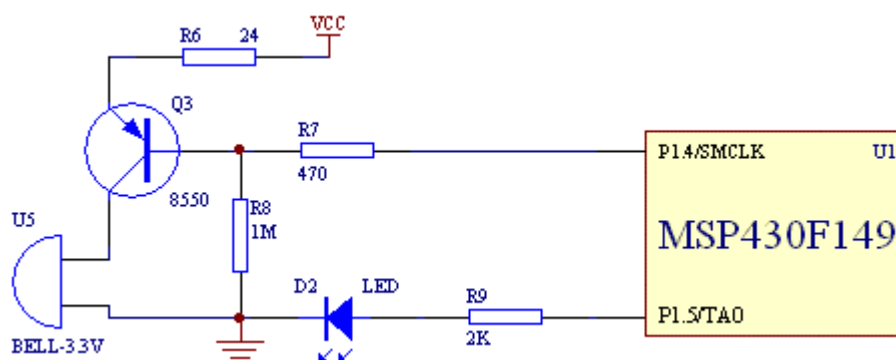


图 4.16 报警电路原理图

Fig. 4.16 The Schematic Diagram of Alarming circuit

电路与其基本相同，只是连接 MCU 的端口稍有不同而已，这里不再赘述。

由图可知，从 MSP430F149 的 P1.4 引脚送出蜂鸣器的鸣响信号，当其为高电平时，PNP 管 8550 截止，蜂鸣器不鸣响；反之，8550 导通，蜂鸣器鸣响，因而可以实现声音的报警操作。另外，当 P1.5 引脚上送出高电平时 LED 灯点亮，反之，LED 灯熄灭，设计中可以通过使 LED 灯常亮或闪烁来实现灯光的报警操作，而且，在调试控制模块部分的无线通讯系统工作时，可由此灯的状态改变作为收发成功的标志使用。

4.8 键盘

键盘是系统中最重要输入设备，同时也是由驾驶员操作此系统的唯一手段。我们可以通过键盘来实现重要参数的设置，也可以实现在不同的显示状态之间随意切换，除此之外，我们还可以用它来消除报警状态以及扩展系统功能等等。

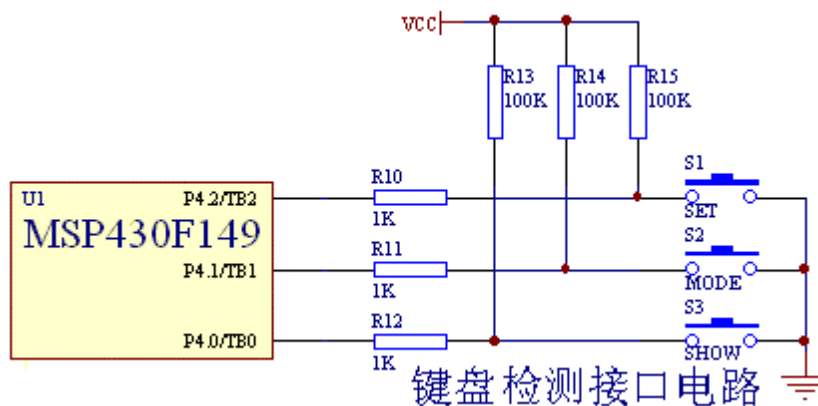


图 4.17 键盘电路原理图

Fig. 4.17 The Schematic Diagram of Keyboard circuit

由于系统的所有操作最多只需要 3 个按键就能完成，故可采用独立按键键盘电路完成工作，它与 MSP430F149 的连接非常简单，电路原理图可参见图 4.17。

显然，当没有按键按下时，MSP430F149 与键盘相连接的三个端口会被 R13、R14、R15 这三个上拉电阻拉高；而当其中的任意一个或多个按键被按下时相应连接的端口即被拉低，从而实现对按键状态的识别。实际操作时既可以通过 P4.0~P4.2 使用查询法检测键盘的按键状态，又可以利用与 P4.0~P4.2 复用的 Timer B 的三个外部捕获引脚来实现。由于 P4 口无中断功能，所以在第一种方法中，CPU 在空闲时必须做扫描键盘的工作，这样极有可能会漏检，而且此时 MSP430F149 不能进入低功耗模式，势必会造成其功耗的增加。因此，在本课题中采用第二种方法，用其中断功能的工作方式来完成，具体可详见 5.8 节软件设计部分。

4.9 硬件特点

TPMS 的工作条件和使用环境决定了其在满足非常高的稳定性和可靠性的同时，必须具有超低的功耗和超强的环境适应能力，只有这样，系统才能够在恶劣的环境下长期保持正常的工作。而由前几节可知，正是遵循上述原则，在硬件设计方面，本课题精心的选择所有器件并实现了所有硬件资源的最优配置和组合。

由于系统短期的稳定性与可靠性主要由所有硬件资源自身的稳定性与可靠性以及彼

此之间的相互兼容性共同决定，故只要依照前几节所述之内容选好所有器件并使之达到最优组合即基本满足短期的正常使用。但是为保证系统能够长期的正常工作，除保证瞬时和短期的高性能之外，应多在实现系统的超级低功耗上很下功夫。

本课题的最大亮点就是系统具有非常低的功耗，首先就体现在硬件设计上绝对保证所选择的各个器件在相同功能和工作条件下的功耗都是处于最低或非常低的水平上；然后通过多次的优化重组，在保证任务的完整性的基础上形成了尽可能简单的硬件系统，这同时也是硬件设计上最重要的一个特点。关于两模块的硬件原理图具体详见附录 B。

除了具备上述优良的硬件资源之外，系统要实现超低功耗特性还离不开高性能的软件设计，具体的细节将会在下一章中叙述。

5 软件设计

为提高系统实时性，避免类似键盘漏检、报警误操作、通讯操作未响应以及数据的测量与计算出现错误等等影响软件可靠性的因素发生，要求软件必须具有极强的非阻塞能力，这样可以最大程度的避免因各个功能子程序的执行给其它程序带来的执行延迟或来不及处理等错误的发生，因而大大提高了软件的可靠性。同时为发挥 MSP430 的超低功耗性能，应避免 CPU 长时间工作，并且应经常处于低功耗模式 3 中，之所以选择此低功耗模式是为了既可以利用活动时钟 ACLK 供给大量的片内外设工作，又能作为内部中断源唤醒 CPU，而且可以使得系统功耗仅为 $1\mu\text{A}$ 。因此，基于上述两点考虑，本软件系统大量的应用了状态机建模的工作模式作为编程方法来解决各个程序自身的处理及相互之间的套用过程，除系统初始化阶段的程序可能会极少的用到像软件延时这类的阻塞程序外，其余的程序均为非阻塞式程序，而且均是通过申请中断的方式来请求 CPU 处理。

5.1 主程序设计

系统主程序主要分为轮胎模块和控制模块两个部分，两模块的主程序流程图可参见图 5.1。根据两个模块各自的主要功能不同，又可进一步细分为：

1) 在轮胎模块中，系统主要完成对分立器件（主要包括压力传感器、无线通讯模块以及加速度传感器等）的初始化操作，电源开关和电能检测过程所使用的 MSP430F1232 的端口及相关片内外设的初始化操作以及对 MSP430F1232 的看门狗定时器、时钟系统、定时器 A、ADC10、中断控制和低功耗等重要资源的初始化设置等。

2) 在控制模块中，系统则主要完成对输入输出设备（主要包括键盘、液晶点阵以及声光报警电路等）所占用的系统资源和自身工作方式的初始化操作，电源切换处理所使用的 MSP430F149 的端口及相关片内外设的初始化操作，无线通讯模块的初始化操作以及对 MSP430F149 的看门狗定时器、时钟系统、定时器 A、ADC12、中断控制和低功耗等重要资源的初始化设置等。

特别值得注意的是：

1) 图中的“时钟系统初始化¹”为 MSP430F1232 工作在 32KHz 的低频晶振下且使系统主时钟 MCLK 为 DCO 频率的初始化操作；而“时钟系统初始化²”则为 MSP430F149

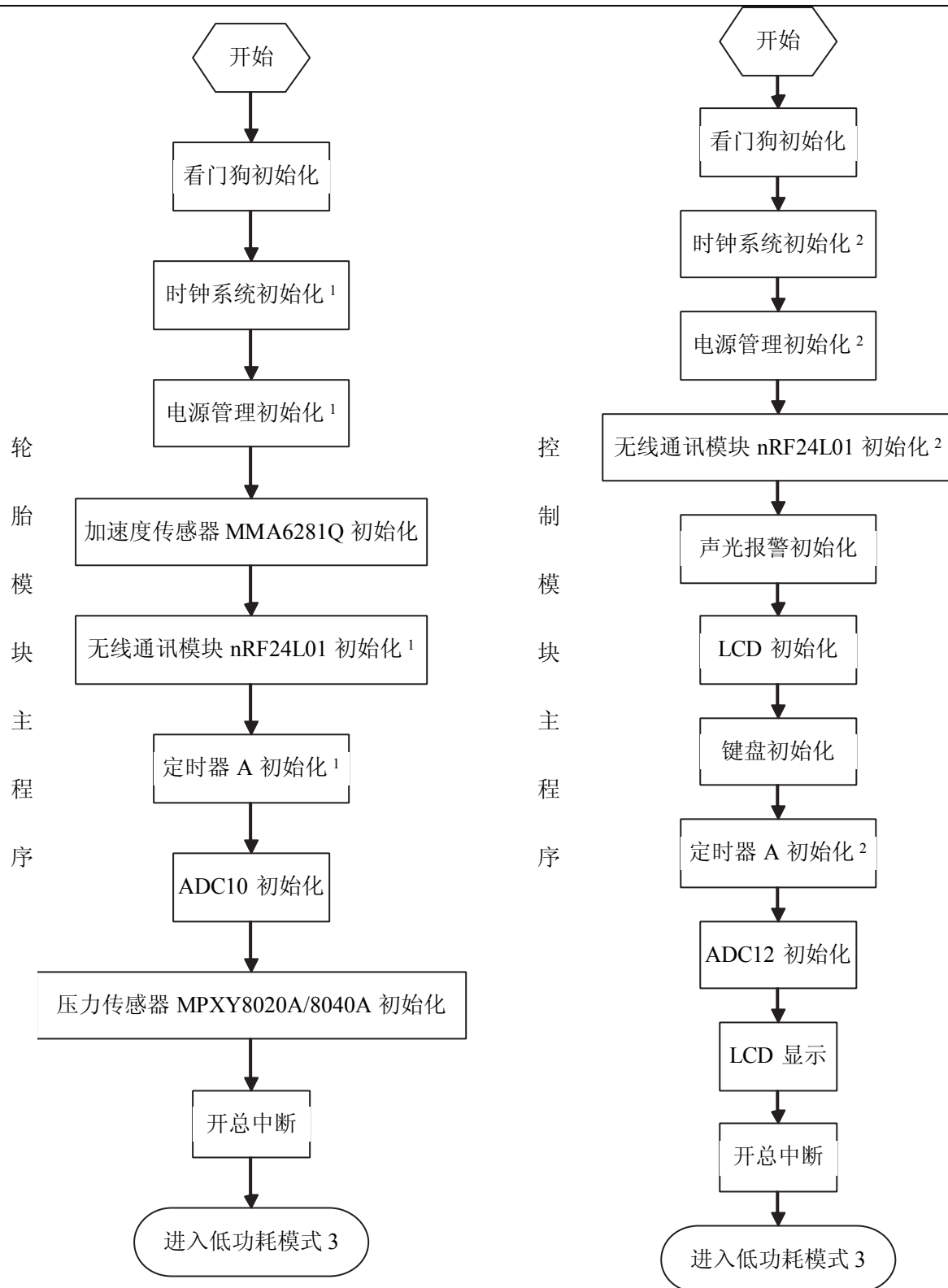


图 5.1 主程序流程图
Fig. 5.1 The Program Flow Chart of Main

使用 32KHz 和 5MHz 两个晶振的初始化操作。

2) 为了使轮胎模块具有统一的通讯标准, 便于生产和使用, 在轮胎模块中应使无线通讯模块的通讯地址和使用通道为默认值; 而对于控制模块, 则应具备与轮胎个数相当

的人为设置的系统默认通讯地址，并根据这些地址设置无线通讯模块，以便启动下一步的对频操作，而且这些地址可以在使用过程中方便的经使用者人为更改。

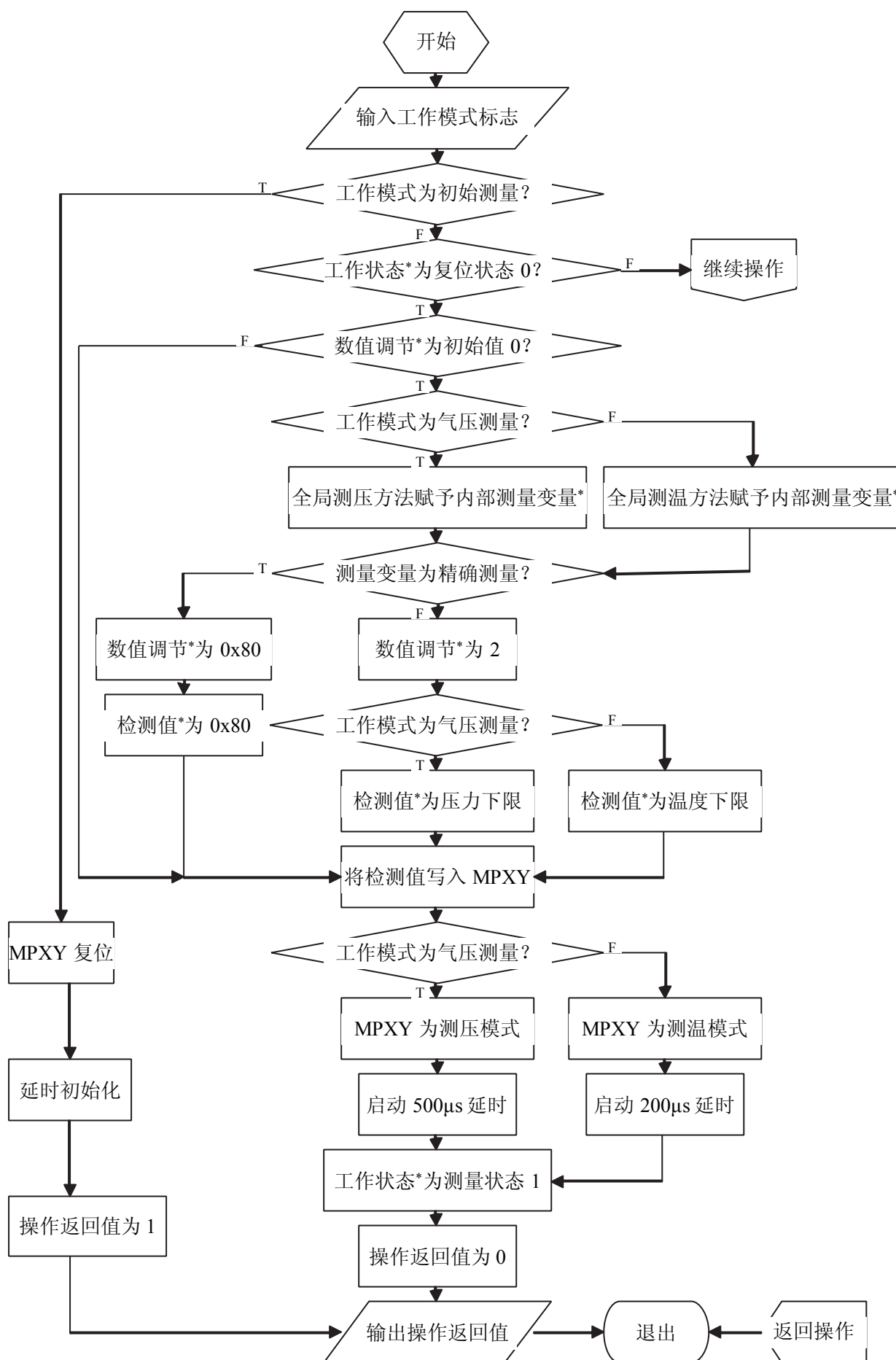
3) 两模块的定时器 A 的作用基本相同，都是为了产生系统定时工作的基本周期，但其具体功能仍随所处理的工作不同而有许多不同之处。在轮胎模块中，设置其 0 单元工作在 0.5 秒的基本定时状态，为系统下一步启动对轮胎的温度、压力和加速度以及模块电能消耗等相关量的检测过程提供初始触发信号，并根据这些过程中需要用到的延时情况设置 1 和 2 两个单元；而在控制模块中，则需设置其 0 单元工作在 0.25 秒的基本定时状态，主要为无线通讯操作的启动、更新液晶显示内容时显示操作的初始触发以及键盘和报警功能等需要长延时操作的处理等等工作提供基本的时序，同样也应设置其余两个单元的初始化状态，使一些短延时或专门配合某器件工作的延时得以实现。

5.2 压力采集子程序设计

压力检测是 TPMS 的最基本和最重要的功能，只有得到可靠的压力测量数据，控制模块与轮胎模块之间的无线通讯才有意义，系统针对轮胎是否存在安全隐患，从而是否影响到行车的安全等等一系列安全方面的问题的应对处理才有可靠的保证。因此，对轮胎压力的采集测量程序是软件编程中最为重要的一部分。

在本系统中，根据所适用车型的不同，轮胎模块分别使用 MPXY8020A/MPXY8040A 两款量程不同的传感器来测量轮胎压力。由 4.2 节可知，两款压力传感器不但具有相同的封装形式和引脚功能，而且它们的操作方法也完全相同。因此，不但在硬件制造上便于系统量产的实现，从而大大提高生产率，更重要的是在软件设计上可以非常容易的使用统一的编程方法来实现硬件的驱动工作，这样不仅可以大大缩短系统的研发时间，节约相关的软硬件成本，又能让系统的维护与升级以及二次开发变得非常方便和容易。

用这两款压力传感器测量轮胎压力的程序框图如图 5.2 所示。严格的说，这并不是传统意义上的那种具有非常经典类型的程序流程图，因为从开始执行此程序到一次执行完毕，测量功能并未完成，只有通过硬件定时器的定时中断功能相配合，在相应的定时中断中根据相应标志的不同状态多次执行此程序的不同部分，才能得到最后的测量结果。之所以看起来如此繁琐，是因为压力传感器在不同的测量状态需要不同的持续时间。如果使用软件延时的方法，虽然程序流程图便于理解，但系统执行时会有较大的弊端，表现在使用者面前就是系统实时性变差，很容易发生像键盘按键失灵或无线通讯中断等



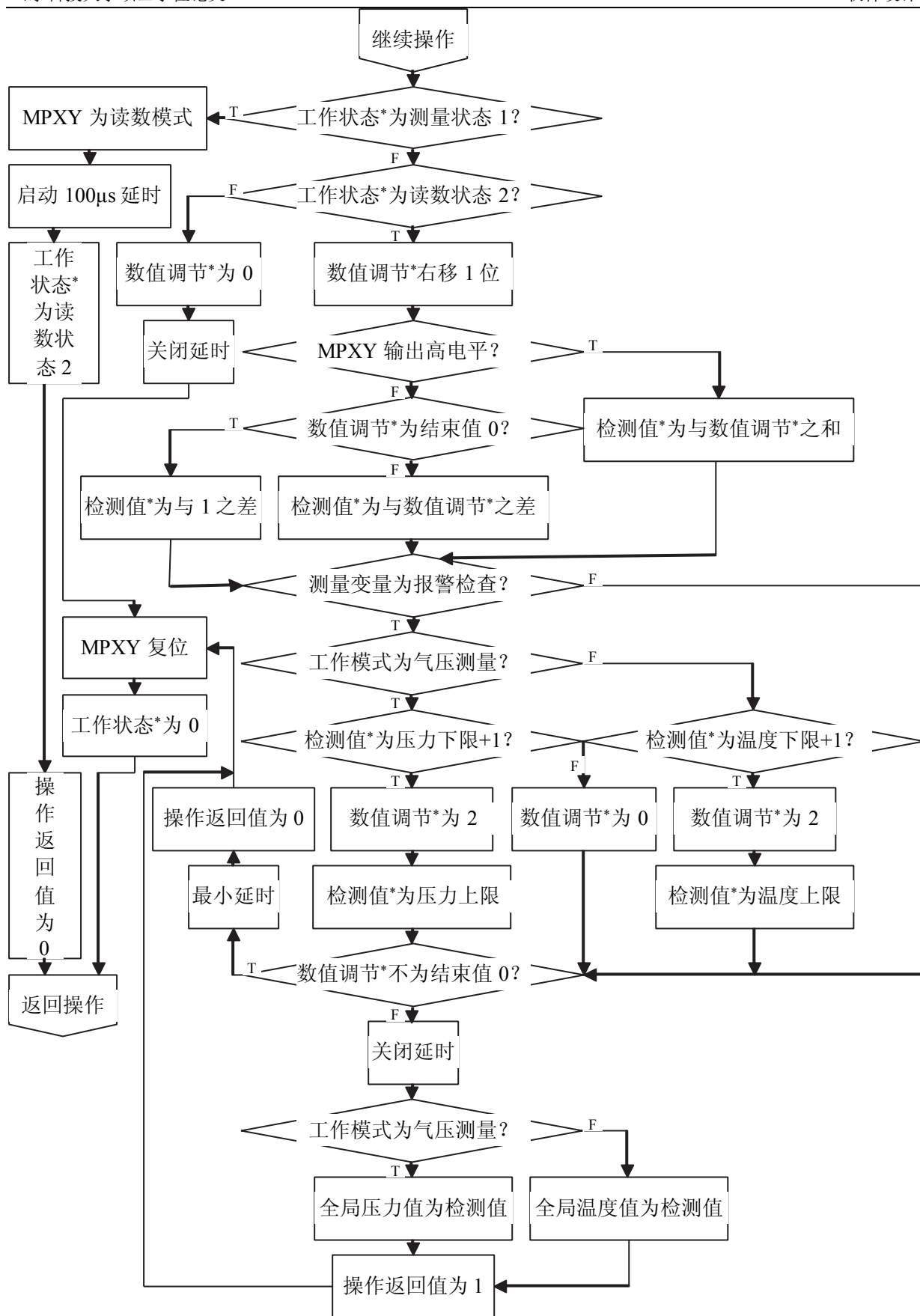


图 5.2 MPXY8020A/8040A 测量子程序流程图

Fig. 5.2 The Program Flow Chart of Measurement by MPXY8020A/8040A

此类事故的发生，而且系统会因 MSP430F1232 必须长时间处于工作模式而丧失低功耗性能。而在如图所示的程序框图中，所有这些问题都会得到完美的解决。

根据图示的流程，可简述其执行方式为：

1) 由程序的入口参数（工作模式）决定对传感器是要进行初始化还是让其执行正常的测量工作，以便可以在测量过程进行时，通过选择初始化命令来强行改变测量状态。

2) 由工作状态*（带有*表示为静态变量，下同）取 0、1 和 2 三个数值分别表示正常测量时传感器到底处于复位、测量与读数三个状态中的哪一个，并且执行相应的操作。所有测量工作都是由 0 状态开始，一次数值比对过程结束于 2 状态并恢复为 0 状态。

3) 由于该系列传感器只提供将 MCU 送来的猜测值与自身所测的实际值进行比较后的大小结果，而不直接提供实际测量值或大小幅度值，所以为得到精确测量结果必须多次执行上述比对过程。因此，可由全局的测压方法变量来决定传感器是使用费时又耗能的逐次逼近法来进行精确测量还是使用属于低功耗模式的只对危险警报值进行比较的报警值检查法进行模糊测量。

4) 为避免在测量过程进行当中因突然改变测量方法而带来的测量错误，可在正常测量的过程中工作状态*第一次为 0 时由测量变量*将全局变量缓存下来，在以后的比对过程中不再发生变化，直到下一次进行测量时才有可能发生改变。

5) 而工作状态*是否第一次为 0 是由数值调节*是否为初始值 0 决定的，它同时又是比对过程中检测值*放缩的增减数值，并且当其变回至结束值 0 时，整个测量过程也随之结束。根据测量方法的不同，它会由 0 变为 2 或 0x80 然后再通过位的右移操作，供给检测值*发生增减变化，达到数值调节的目的。

5.3 温度采集子程序设计

由于上节所述的压力传感器也可以用来测量温度，因此对轮胎温度的检测可以利用此系列传感器来完成。为方便软件开发，在 5.2 节中所示的图 5.2 也提供了对温度测量的程序框图。显而易见，当工作模式为温度测量时，程序即执行测量温度的比对过程，而且为方便在程序之外非常容易的判断测量过程是否结束，以便在对压力和温度的测量过程之间进行相互启动，程序特别设置了出口参数返回值，并且当返回值非 0 时标志一次完整的测量过程结束，这样可以作为程序中是否允许修改工作模式的判断标志。

在实际的编程当中，考虑到传感器工作在测压模式时，其功耗已相对较大，而再用

其来进行测温操作，势必会造成功耗偏大（具体数值参见 4.2 节）。相对的，MSP430F1232 内置了温度传感器，并且使用其 ADC10 模块可以灵活而方便的测量出实际温度的采样值，然后再经过无线通讯到达控制模块后，又可以利用硬件乘法器来进行快速的运算，即可得出较为准确的测量值，所以实现起来要比上一种方法简单的多，而且在控制模块当中增加的一个辅助功能就是利用这种内置的温度传感器配合 MSP430F149 的 ADC12 模块来完成对驾驶室中的温度测量操作，这两个温度测量及计算的程序非常相似，因此，可以在不额外增加系统的软硬件成本的基础上实现对系统功能的扩充，更重要的是其功耗也远比利用压力传感器来测量温度时小得多。因此，在轮胎模块中使用此种方法来测量温度。

5.4 无线通讯子程序设计

无线通讯是除温度采集和压力采集之外 TPMS 最重要的组成部分。轮胎模块对影响轮胎性能的重要参数的检测完成后，必须通过无线通讯操作才能传递给控制模块，以进一步达到告知驾驶员是否存在安全隐患并需要及时处理的目的。

在 5.1 节中曾经简述了关于轮胎模块及控制模块中的无线通讯初始化部分需要做的工作，可以知道两模块之间的通讯其实是由控制模块发起，然后由轮胎模块响应的一个“请求——应答”的过程。这样处理的目的是由于控制模块需要与多个轮胎模块进行通讯操作，但任意两个轮胎模块之间不必进行通讯操作，这就是所谓的星形通讯网络模式，为了使控制模块发挥通讯主机的作用，以达到能够主动控制通讯操作的目的，更重要的是可以避免多个轮胎模块同时与控制模块进行通讯而造成的竞争冒险现象和通讯网络阻塞问题。

下面先介绍一下轮胎模块中的无线通讯程序的工作步骤，然后再将控制模块如何控制与其相互通讯的过程加以介绍。

1) 轮胎模块的通讯操作由电源管理程序的运行结果和控制模块送来的控制信号共同决定。因为通常状态下汽车停驶时，电源管理电路会切断轮胎模块中除 MCU 和加速度传感器以外的其它器件的电源供给，所以此时除了系统维护操作和需要重新分配通讯地址操作以外控制模块发来的其它控制信号已无效，当然在系统设计上因考虑到此种情况的发生也已使得控制模块中的备用电池供电时无线通讯电路会断电，因此轮胎模块正常通讯时首先要保证其电源管理电路处于启动状态。其通讯程序的典型过程如图 5.3 所示。

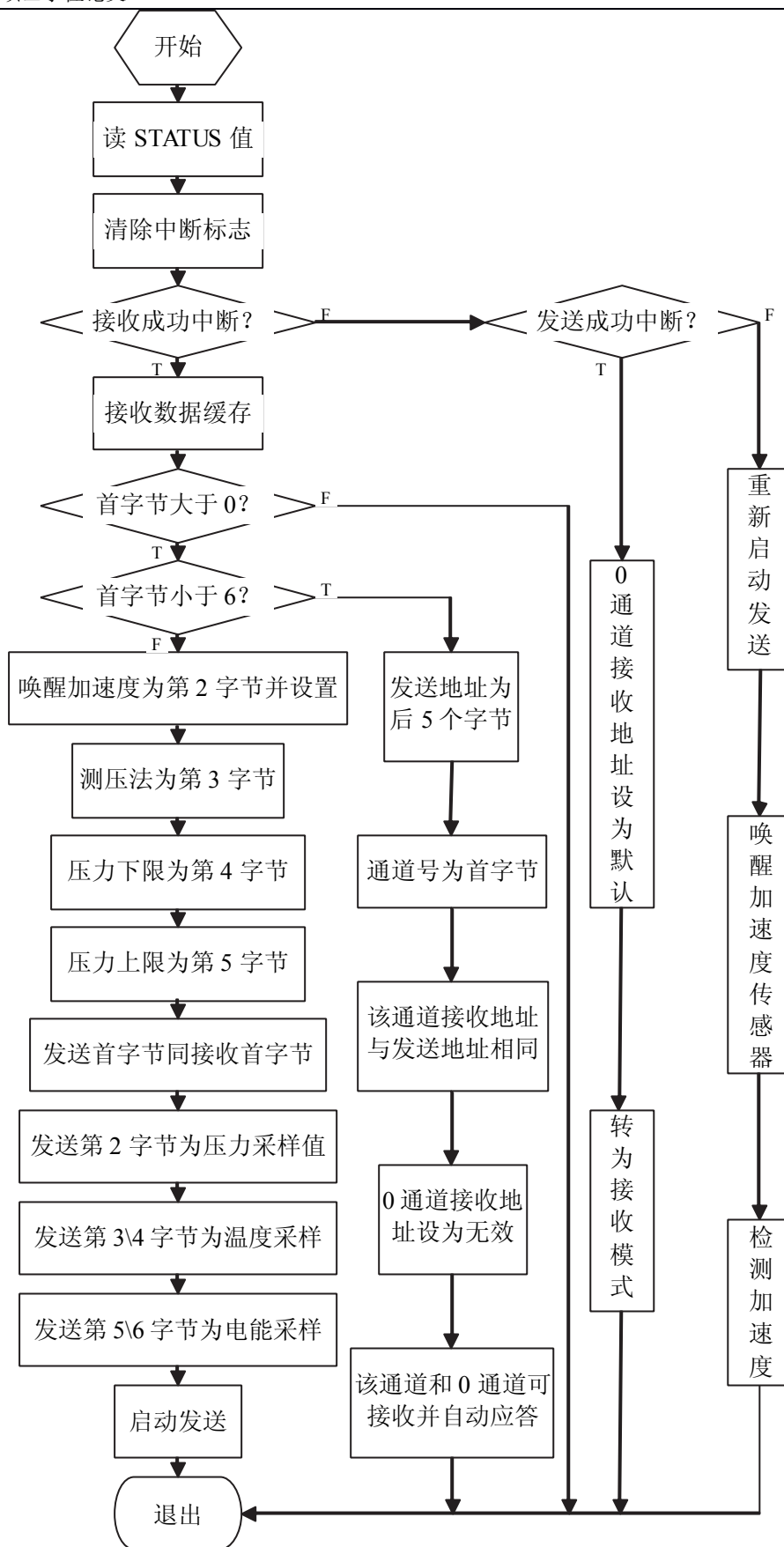


图 5.3 轮胎模块无线通讯子程序流程图

Fig. 5.3 The Program Flow Chart of Wireless Communication of Tire Module

此图对应的程序主要实现以下两个功能：

i) 在使用新轮胎或轮胎轮换时都要利用无线通讯模块的默认配置重新分配地址并进行相应初始化配置。因此，可利用默认工作的 0 通道及其默认的收发地址来接收相关数据并进行相应处理，程序中通过判断接收数据的首字节是否小于 6 来判断是否应该进入初始化工作通道和收发地址的操作。

ii) 正常通讯操作应在接收数据的首字节不小于 6 的情况下实现，并且应使用分配地址操作中指定的通道和地址来完成相关的通讯操作。轮胎模块默认工作在接收模式下，在接收到请求信号后才发送回测量数据，并使发送数据的首字节为此轮胎对应的 ID 号，然后返回低功耗模式。若发送操作不成功，则启动加速度检测操作并退出；否则切换此通讯模块为接收工作模式。

2) 控制模块的通讯操作相对而言比较复杂，这不仅仅因为它需要在与多个轮胎模块进行通讯时应避免通讯冲突问题的发生，还需要根据汽车所处的运动状态智能的并且有规律的控制通讯操作的进行节奏以及当发生通讯故障时应具有较强的纠错能力等等。换句话说，如果以普通四轮汽车为例，它不仅仅应该只控制驾驶室依次与 ID 号分别为 1~4 的四个轮胎进行循环通讯操作，还要根据设置好的工作周期，在定时中断中通过多个关键标志的状态合理的决定是否可以进行通讯、应与哪个轮胎通讯以及通讯操作的具体功能等等，并能根据通讯结果合理的采取不同的应对措施。因此，此部分的通讯程序相对分散而且比较繁琐，需要借助复杂的时序和大量的不同级别的变量才能实现。

由于通讯操作的结果直接影响到系统的下一步工作，所以这部分程序必然是整个控制模块通讯操作的重中之重。通讯操作的结果包括收发操作是否成功，发送出去的数据是待分配的工作通道及地址还是请求返回检测数据的信号，还有就是在规定时间内驾驶室与其中的一个轮胎之间是否完成一次完整的通讯操作的监测判断等等。而判断这些结果是否会产生又都基于 nRF24L01 的中断执行过程，即收发操作是否成功引起的中断处理过程。在收发中断部分调用的程序相对较简单，其典型过程如图 5.4 所示。

此部分程序与轮胎模块相同的地方在于都是在 nRF24L01 的中断服务程序中被调用，而不同的是由于通讯操作的启动在此中断程序之外、中断发生之前，所以此函数只负责根据是否接收成功、发送成功还是重发次数达到最大进行相关的状态转化处理，其余的设置则主要在定时器中断中实现。

i) 当接收成功时，将除首字节以外的其它数据按顺序依次存入首字节所代表的轮胎 ID 号指示的压力、温度以及模块电流电压比值存储单元中，并进行相应的计算得出测量

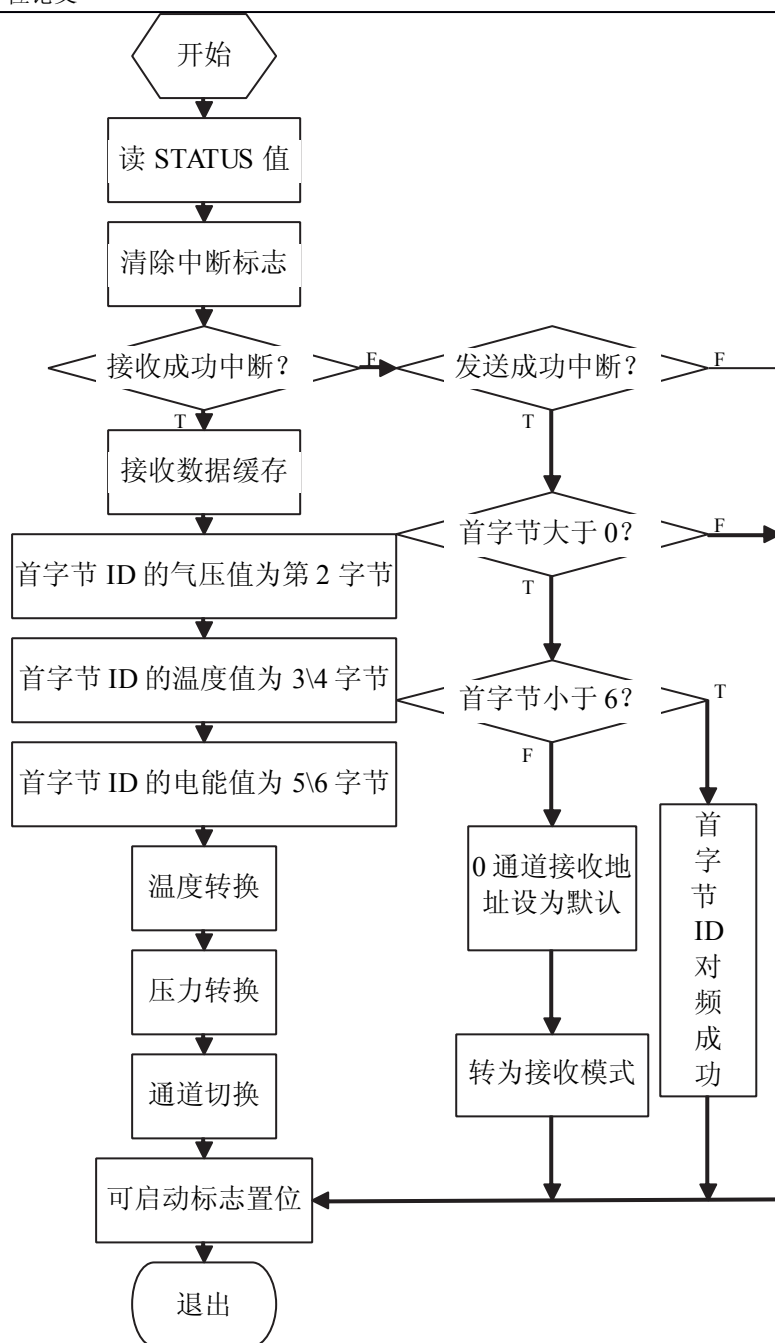


图 5.4 控制模块无线通讯子程序流程图

Fig. 5.4 The Program Flow Chart of Wireless Communication of Control Module

结果，然后为能与下一轮胎模块正常通讯作对应的通道和地址配置准备。

ii) 当发送成功时，根据所发送数据的首字节的不同取值判断是发送的地址数据还是回传请求信号，若首字节不小于 6，则是请求与之通讯的轮胎模块上传回检测数据，同时设置轮胎模块的检测配置，此时为能实时解决通讯过程中可能发生的故障问题，需要将其 0 通道设置成与所有轮胎模块在接收模式下的配置相同的工作状态(参见图 5.3)，方便彼此进行故障状态下的通讯初始化操作。

iii) 在控制模块中，当通讯模块在正常收发状态时其他程序对其进行操作就有可能

会产生误操作现象，如通讯模块正在接收数据，但由于定时时间已到控制模块需要按规定与其他轮胎模块通讯而启动了发送请求信号的操作，此时就会产生最典型的误操作之一——收发逻辑混乱。为防止此类现象的发生，在图 5.4 中的程序结束部分增加了一个全局变量——可启动标志，此标志由启动通讯工作的程序段复位，而在此程序中置位，因此每当有需要改变通讯模块工作状态的程序被执行时，可附加判断此标志的状态语句来决定是否可以对通讯模块进行操作。

5.5 电源管理子程序设计

电源管理程序相对比较简单，但意义却非常重大。为使系统的功耗尽可能的低，要对系统各组件的工作时间和工作状态进行严格的规划和控制，尤其是那些功耗稍大点儿的器件，不工作时一定要进行断电处理，即使那些小功耗和需要长期运行的器件也要尽量长时间工作在其尽可能低的低功耗模式下。

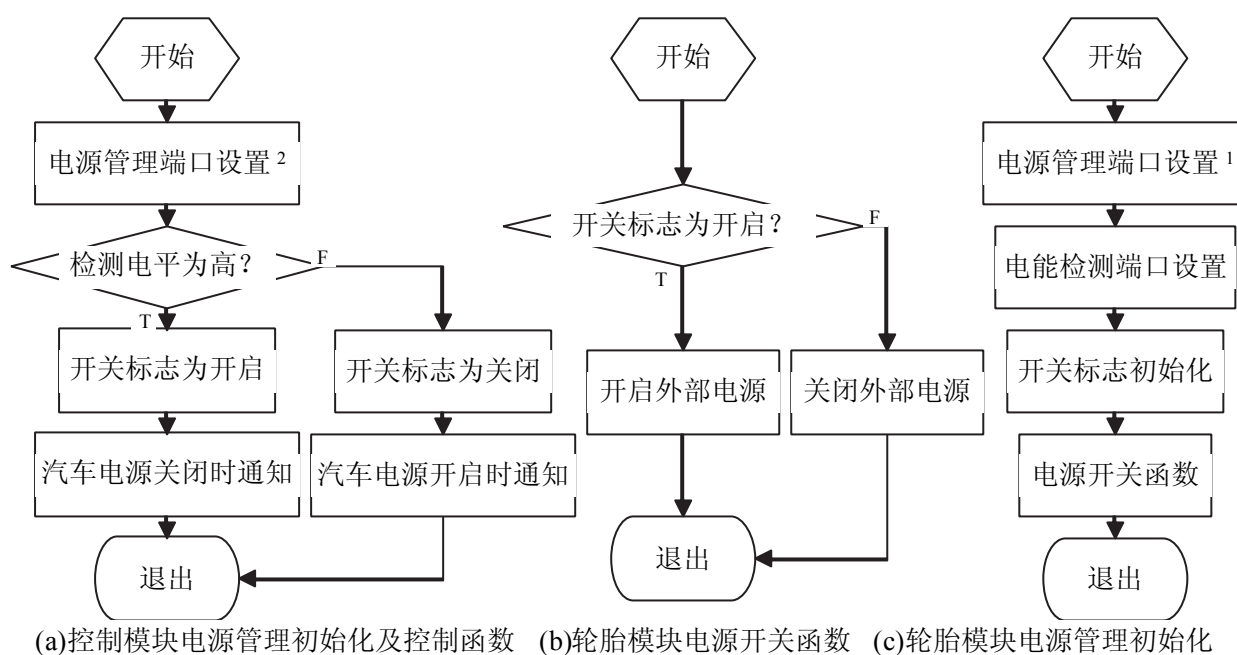


图 5.5 电源管理子程序流程图

Fig. 5.5 The Program Flow Chart of Energy Management

图 5.5 反映了在控制模块和轮胎模块中电源管理部分的不同功能，它们存在很明显的不同之处。图 5.5 的(a)部分既可作为此功能的初始化操作，又可以被相应端口的中断服务程序所调用，它是由硬件的动作引发的软件识别过程，目的是告知系统其现在的供电来源，以便使其做出相应的处理。而在图 5.5 的(b)和(c)部分中则是利用软件程序来灵活的对电源进行分配处理，它是一个主动的控制相关器件电源通断的操作过程，主要应

用在对加速度检测完成后，由电源分配标志来控制系统各组成器件的电源通断情况。

5.6 显示子程序设计

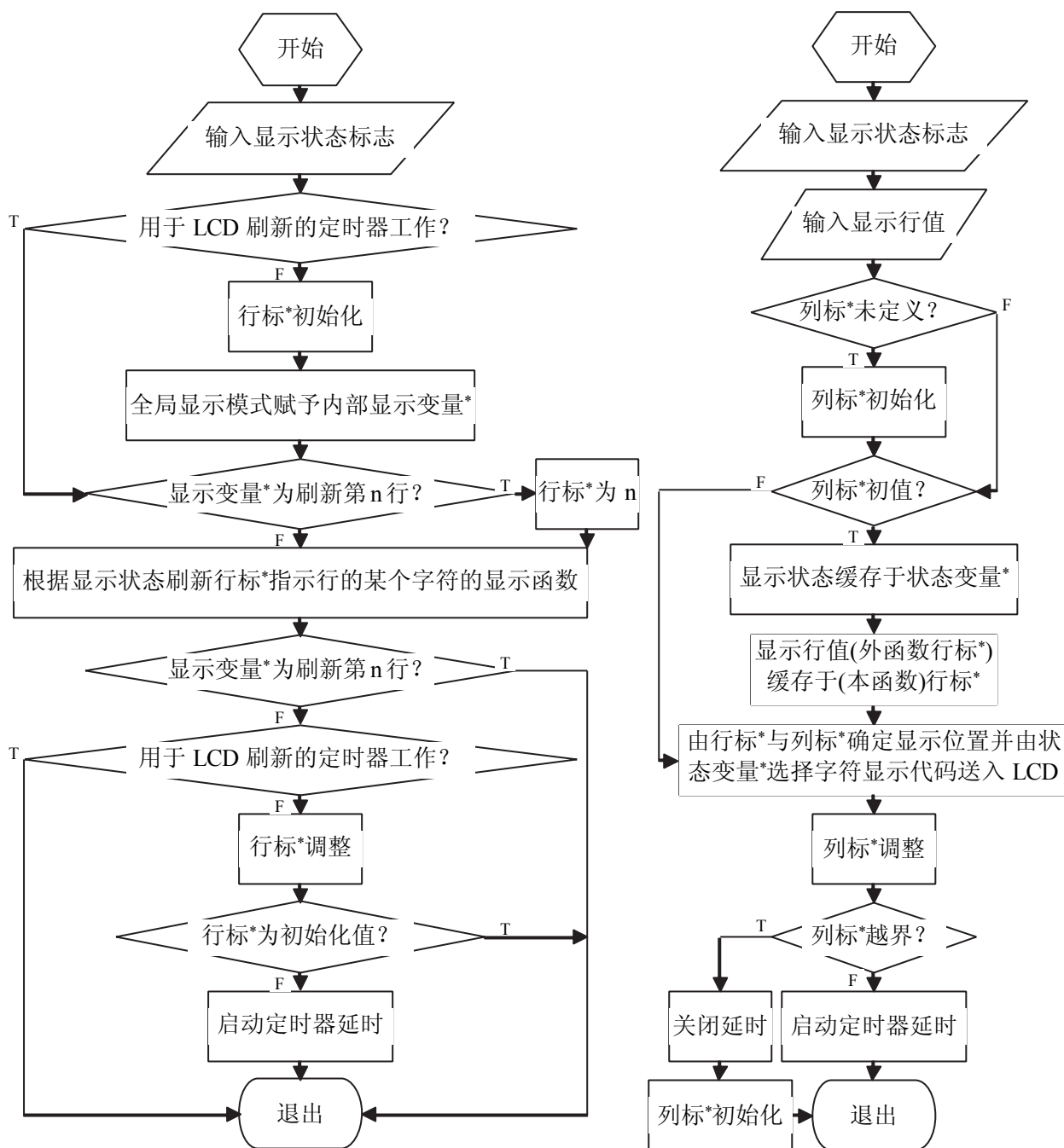


图 5.6 显示接口子程序流程图

Fig. 5.6 The Program Flow Chart of Display Interface

显示程序如图 5.6 所示，其中左图用于刷新若干行的显示内容，主要在其它外部程序中调用；而右图即为刷新某一行的具体的显示函数，主要用于供左图所示的程序调用。

由于液晶点阵在操作时需要有一定的时间延迟，如果大量应用软件延时程序势必会增加系统功耗，更重要的是会造成严重的程序阻塞现象，进而提高无线通讯操作的故障率和降低系统的实时性，所以程序中使用硬件定时中断调用的方法来完成延时任务。当遇到 LCD 需要延时操作的时候即更新相关的状态标志然后退出程序，等定时时间到达后再做后续处理。实践中可利用对专用定时单元工作状态的判断来指示运行状态，一次显示任务完成时此定时单元必停止工作，换句话说，若定时单元工作，则程序之外对显示操作的相关量的更改便无效，须等此次显示操作结束后才会发挥作用。

此图代表的编程思想对大部分 LCD 的程序编译都适用。

5.7 报警子程序设计

报警程序和显示程序一样都是 TPMS 的必要组成部分，其程序流程图如图 5.7 所示。

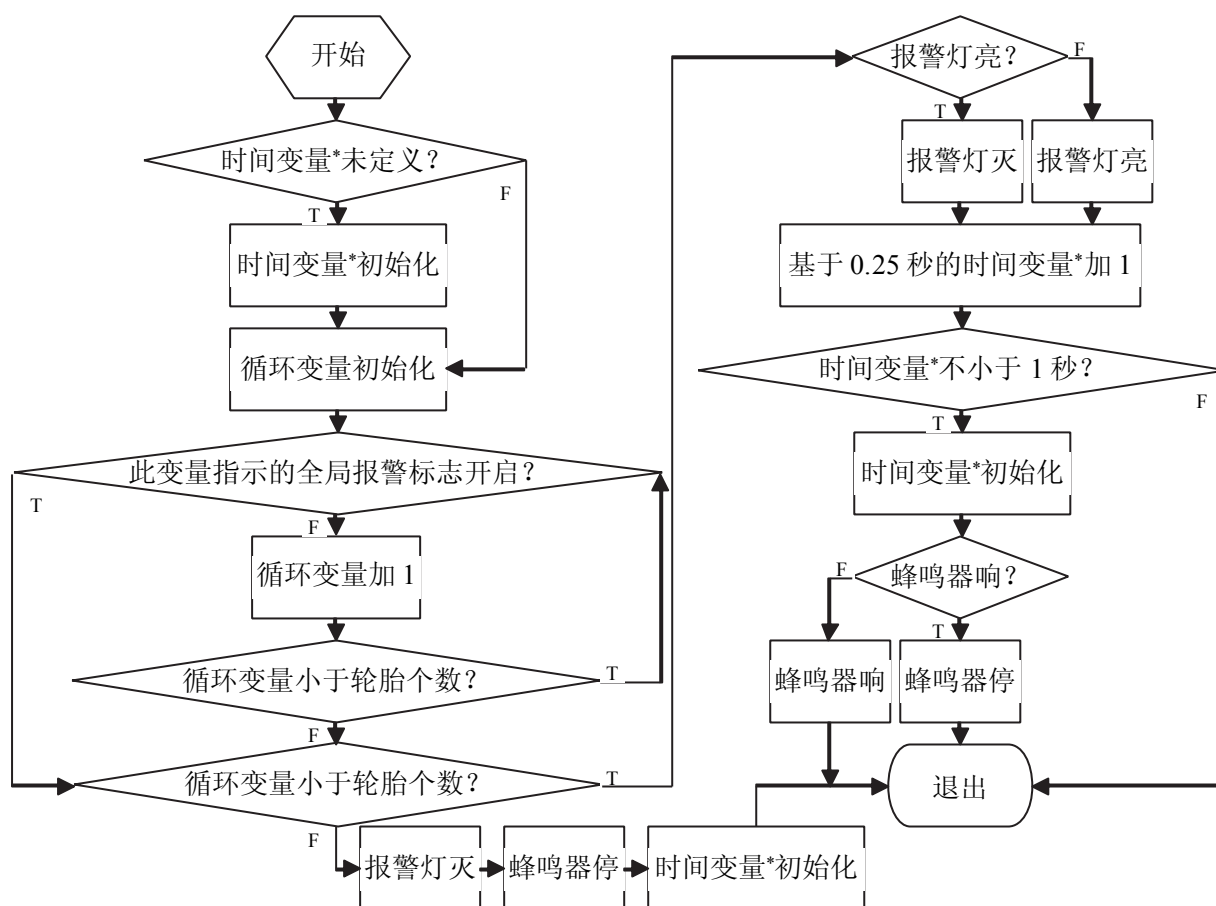


图 5.7 报警子程序流程图

Fig. 5.7 The Program Flow Chart of Alarming

由图可知，报警标志个数与轮胎个数相同，并且其中只要有一个标志被置位，都会

进行报警操作，只有所有报警标志被复位后才关闭报警装置。实际应用时此程序会被周期性的执行，即每 0.25 秒执行一次。若处于报警状态则报警灯会由灭到亮或由亮到灭变化一次，并且通过程序内的时间变量*累加至 1 秒时蜂鸣器也会由停到响或由响到停变化一次，以实现唤起驾驶者注意的目的；只有消除报警后报警灯和蜂鸣器才会停止工作。

5.8 键盘子程序设计

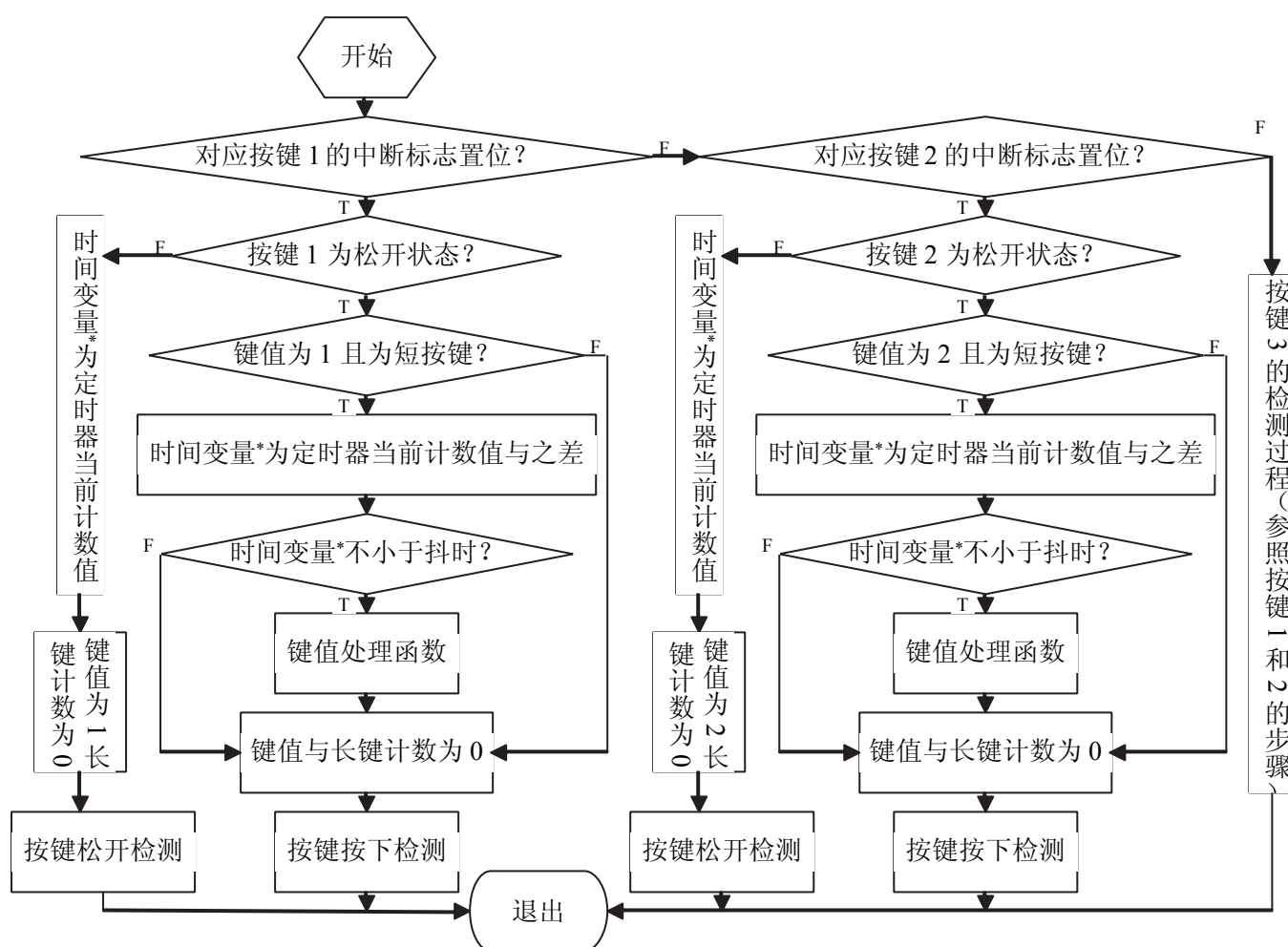


图 5.8 键盘检测子程序流程图

Fig. 5.8 The Program Flow Chart of Keyboard Testing

键盘是重要的输入设备，其中液晶点阵和报警器两个输出设备的许多控制信息都来源于此，而且整个系统的运行也离不开键盘的参与。为实现良好的人机交互，需要借助方便、灵活的菜单来实现，而所有这些功能的实现又离不开精确、稳定的键盘识别程序。因此，一个可靠的键盘识别程序在对整个系统的操作中起着举足轻重的作用。图 5.8 即为由 3 个独立按键组成的中断检测识别程序的执行过程图。

由图可以看出，此种编程方法具有以下几个特点：

1) 此程序可以检测其中任意按键的状态变化，并依据对应某按键状态的检测结果动态的调整其引起中断的条件。最常见的键盘检测中断一般直接发生在具有中断能力的 I/O 端口上，如 P1 和 P2 口都可如此应用。以按键按下时端口输入低电平为例，当某按键松开时可设置此端口为下降沿中断方式，否则为上升沿中断方式；不管是哪种中断方式引起了中断，系统都会读取此时端口电平值并判断是按键的开始还是结束，然后进行分别处理。考虑到为方便系统的软硬件升级与管理等诸多因素，在本课题中使用了具有捕获功能的定时器 B 的三个捕获单元来实现三个按键状态的中断检测，与 I/O 口中断检测的方法相同之处在于都是在按键的一个状态下检测另一状态的发生情况，不同的是此时不必切换中断方式，因为可以利用双沿捕获的功能来实现。

2) 通过程序可以识别当前按键是长短按键还是按键抖动。图中的时间变量*即为区分按键与抖动的标志，当按下某按键后其值即为此时负责定时的定时器 (Timer A) 的计数值，当松开此按键后其值则变为当前定时器计数值与其之差，若得到的值小于抖动时间则认为抖动，否则为一次按键。而区分长短按键则是由全局变量——长键计数的值决定，由于系统的基本工作时序由定时器 A 产生且为 0.25 秒，只要在定时器 A 的中断服务程序中检测全局变量——键值是否非 0 即可确定是否对长键计数作累加处理并保证其值最高为长键标志，如若按键超过 2 秒即判为长按键只需设置长键标志值为 8 即可。值得注意的是图中只表明了短按键识别后并处理的过程，对于长按键的识别可知是由定时器 A 的中断辅助实现的，因而相应的处理也必须包含其中；另外由于定时器 A 是循环计数，因此在图示程序中应对长键计数与长键标志的关系的判断置于时间变量*调整之前，即为判断是否为短按键的方法，这样可以更可靠的区分长短按键。

3) 多个按键同时按下时程序的纠错功能。由于只有三个按键且设定多键同时按下为非法状态，故实际操作中不允许多键同按现象的发生，一旦因误操作发生此种现象可利用程序中设定的功能及时发现并处理。由图可以看出，按键的识别，特别是短按键的识别和功能操作，主要是在松开此按键时得到实现，因此只需在此时对键值进行判断，如与此按键对应的键值不符，则认为多键同按现象，否则得到正确键值。但须注意一点就是当有按键按下时必须将其值保存在键值中，这样发生上述现象时进行比较才有意义。

4) 此按键检测程序无阻塞现象。由于每次只在按键状态发生改变所引起的中断服务程序中进行相关处理，因此此部分程序的执行时间应极短，以避免其它中断响应延迟的发生。由于对按键的操作具有不确定性，所以每次只处理一种状态下的工作然后就退出。

5.9 软件特点

本课题的软件设计方案采用了事件触发方式的并发多任务结构，无论是控制模块还是轮胎模块，其全部任务都在中断服务程序中完成。由 5.1 节可知，主程序在初始化所有硬件和全局变量后即进入低功耗模式 3 下，因此，系统的正常工作得以实现完全依靠所有开放且允许中断的中断源的服务程序有条不紊的可靠运行。

在数据的输入、输出及处理方面，两模块有着许多的相似之处，表现在大部分外部信号都是通过具有中断能力的端口输入给 MSP430 微处理器，所有资源的工作时序和微秒级以上的延时都来自 MSP430 内部的 Timer A 定时器，各种类似的任务都采用相同的端口连接及相似的程序处理等等。对于所有事件的触发来源、方式及过程详见附录 A。

此种编程方法最重要的特点就是高度的实时性和超级的低功耗特性，因此，此方法被誉为低功耗系统软件的首选结构。由于控制模块中的备用电池可以方便的更换，因此采用软硬件方面的低功耗处理只是为了达到最优的节约使用成本的目的。由于轮胎模块工作场合的特殊性决定了其只能由电池供电且在轮胎的整个使用期限内不可更换电池，故在程序设计中更多地考虑了要使轮胎模块的使用寿命必须与轮胎的相当甚至比其略高才符合 TPMS 的设计准则这一刚性要求。以一般轮胎寿命为七年左右以及采用 2700mA·h 容量的锂亚硫酰氯电池计算，轮胎模块的平均工作电流应为：

$$\bar{I} = 2700mAgh / (7y \times 365d \times 24h) \approx 0.044mA \quad (5.1)$$

故只要平均消耗电流在 44μA 内就可满足设计要求。由于 MSP430F1232 绝大部分时间都处于低功耗模式 3 下，此时 MSP430 工作电流的典型值仅为 1μA，即使有中断发生，利用 MSP430F1232 内部的 DCO 产生的粗略高频时钟（约 1MHz 左右）运行相应程序最多需要不到 50μs 且此时工作电流为 400μA 左右，因此，按大致为 0.25 秒的循环周期计算，MSP430F1232 自身的平均工作电流最多仅 2μA 左右。再加上其它硬件，如压力传感器、无线通讯模块、加速度传感器等，总平均工作电流最高也不超过 40μA，所以不但可以满足设计要求而且更加发挥了超强的低功耗性能。

在可靠的软硬件配合下，TPMS 将在实际应用中发挥更加出色的作用。

6 总结与展望

从提出课题到完成软硬件设计，论文详细介绍了汽车轮胎压力监测系统的整个研发过程及核心技术，结合反复的调试实验，系统的研究现已获得了阶段性的成功。

6.1 研究总结

论文着重介绍了直接式 TPMS 的软硬件设计过程，除了详细介绍如何选择并组建硬件系统，如何开发性能优越的软件系统之外，还对系统的附加功能做了大致的介绍。现对系统的工作过程及主要的性能参数做一个研究总结，其余部分可详见具体实验。

系统正常工作的关键是初始启动的成功率，即将新的轮胎模块添加至含有控制模块的系统时整个系统的稳定性和可靠度，这其中又分为在新车的初始配置、车辆维护时的轮胎轮换以及轮胎寿命即将终结时更换新轮胎等情况下系统的自动识别及响应能力。因此，只要换入的轮胎 ID 与之前不同或无法获知，系统就要自动对其初始化。若新轮胎的 ID 默认设置为 0，只需规定汽车四个轮胎位置上的 ID 分别为 1~4 即可。

以调试模拟新车装配轮胎的情况为例，实验用依次开启轮胎模块的工作方式来避免开启控制模块时两个以上相同 ID 的轮胎模块同时工作，因为新轮胎 ID、通讯通道号及地址都为默认值，所以在开启控制模块与其中的一个轮胎模块后，需要等待设置结束才能再开启下一个轮胎模块。由 5.4 节可知，一旦设置成功，被设置的轮胎模块即有了独立的“身份”，所以当设置下一轮胎模块时不会再有误操作现象的发生。实验中通过 LED 调试灯的状态变化可指示一个设置的完成，轮胎模块开启的顺序又可决定 ID 分配的顺序。实际应用时若安装完一侧的两个轮胎后再进行另一侧的安装，只需将左前轮位置的 ID 固定为 1，右后轮位置的 ID 固定为 4，即可形成统一的轮胎识别标准。经过多次调试发现，采用此种方法可使系统首次初始启动的成功率达到 100%。

正常通讯时系统工作非常有规律。因为控制模块与其中一个轮胎模块完成通讯后，间隔 0.25 秒才会自动与下一个轮胎模块进行通讯，而由于无线通讯过程的时间可忽略不计，若在与 ID 为 1 的轮胎模块通讯开始时，恰巧 1 秒时间刷新刚完成，则当与 4 个轮胎模块依次通讯完成后（共约 0.8 秒的时间），再经过约 0.2 秒的时间，新的 1 秒又开始刷新，同步刷新的显示操作正好可以反映四个轮胎的最新状态。

此系统的主要性能参数有轮胎温度报警的上下限值，轮胎压力报警的上下限值，轮

胎压力检测的方法以及为区别其它车辆的轮胎，系统自动设定的通讯地址等。这些参数不仅有助于保证系统的正常运行，还有助于智能的设定系统功耗。因此，为整个系统的进一步开发与升级等工作提供了极其自由而方便的条件。

6.2 前景展望

轮胎模块的性价比对胎压监测系统起决定性作用。其分立器件数量越多，其体积会越大，使用起来会越来越不方便，而且整个系统的成本会升高，同时系统的稳定性和可靠性却下降。因此，轮胎模块要朝着高度集成化、单一化以及无线无源化的方向发展。

现如今，已有许多 TPMS 制造商为提高轮胎模块核心器件的整合度着手研究并取得较大进展。如英飞凌公司生产的 SP12、SP30 及美国通用汽车公司生产的 NPX-I、NPX-II 等系列 IC，都已将压力和温度传感器集成在一起并与 MCU 合二为一，有的甚至还集成有加速度传感器等；而且近年来美国通用汽车公司设计生产的 NPX-III 系列智能传感器模块还将 RF 发射芯片也整合其中，实现了模块的三合一组合。

随着 TPMS 技术的日益完善，相信在不久的将来还会有可直接利用 RF 传递能量的增强型三合一模块或包含利用运动产生的机械能自供电的四合一模块被研发出来。届时，轮胎模块的硬件系统将只需再另配一个性能优越、体积小巧的天线即可轻松实现。这样不但能够大幅提高 TPMS 的生产效率，而且针对客户的功能定制开发将会非常方便。

致 谢

转瞬间，三年的硕士研究生学习即将结束，我也将离开我深爱着的象牙塔，步入陌生而又新鲜的工作岗位。回顾几年来的点点滴滴，我总被曾经发生过的一些事情感动着，特别是在这将要毕业的时候，我的思想感情更加激动，我为我的这段学习经历自豪，更加为在这段宝贵的学习生活中帮助过我的老师、同学、家人以及朋友而感动，在这里谨向他们表示我最深深的感谢！

从三年前我的导师王晓宁副教授开始指导我至今，我在我的专业方向上迈出了巨大的一步。在他的悉心指导下，我的专业知识取得了长足的进步，科研能力大大提高。从本论文的选题、具体工作到论文的撰写过程都离不开王老师的辛勤指导。因此，我要向我的导师王晓宁老师表示我诚挚的谢意！

本课题的成功完成，离不开各位老师和广大同学的大力支持和帮助，也离不开学院各级领导的关心和教导。在此，我要感谢曾经帮助过我的各位老师和同学，幸亏有你们的关心和帮助，我才能顺利的完成研究生学习生活中的各项活动。

我的父母和亲戚朋友在我成长的道路上给了我巨大的关心和帮助，他们是我强大的后盾，为我提供了必要的物质支持和精神动力，在前进的道路上，他们给予了我极大的勇气和动力，我的每一点成绩和进步都凝聚着他们的心血。我即将进入到工作岗位，我要把家人和朋友给我的这种强有力的爱转化成对工作的热忱，为建设富强民主文明的社会主义现代化强国而奋斗！与此同时，我要用我的劳动所得来报答父母的养育之恩以及家人和朋友的关心和爱护！

衷心感谢各位评审专家百忙之中抽出宝贵的时间审阅论文和参加答辩，感谢你们的辛勤工作，谢谢你们的谆谆教导和批评指正！

攻读硕士期间主要成果

- 1、李鹏，王晓宁．浅谈自动化技术与人工智能的发展对机器人研究的影响．山东科技大学学报自然科学版，2007．VOL．26 (增刊)，239-240

参考文献

1. 英恒科技(中国)科技有限公司. 轮胎气压监测系统(TPMS)介绍与发展[R]. 广州市天河区: 英恒科技有限公司, 2005
2. 尹凝霞, 赵金先, 王吉忠. 轮胎气压实时监测与报警系统的研究现状及发展趋势[J]. 轮胎工业, 2005, 25(3): 137-139
3. 牟恒, 孙萌, Martin Fischer. 车胎压力监测系统简述及两种实现方案[J]. 汽车电器, 2005, (11): 54-56
4. 颜重光. TPMS 的设计方案思考[J]. 电子质量, 2005, (7): 1-4
5. 米林, 陈然, 谭伟. 嵌入式轮胎压力无线监测系统的设计[J]. 仪器仪表用户, 2006, 13(1): 24-25
6. 韩建保, 陈厉兵. 汽车轮胎气压电子实时监测系统[J]. 汽车技术, 2002, (7): 40-41
7. 王立鼎, 罗怡. 中国 MEMS 的研究与开发进程[J]. 仪表技术与传感器, 2003: 01-13
8. 赵政宁, 孙航, 曹呈荣. TPMS 解决方案中的几个关键问题[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2006, (11): 52-54
9. 李威, 尹术飞, TPMS 的无源化发展方向研究[J]. 重型汽车, 2005, (5): 14-16
10. 王泽鹏, 薛风先, 朱由锋. 智能轮胎监测技术的发展现状及需解决的关键问题[J]. 汽车技术, 2005, 13(2): 1-5
11. 刘国强. 直接式胎压监测系统的设计[J]. 今日电子, 2006, (9): 70-71
12. Curt Schurgers. Tire Pressure Monitoring System User's Guide[EB/OL]. Microchip Technology Inc., 2006, 9
13. Anon. Tire Pressure Monitoring System (TPMS) FMVSS No. 138[R]. Washington DC: SAE Government/Industry Meeting, 2003
14. Bulbeck S. RFID and MEMS for Tyre Pressure Monitoring Systems[J]. Smart Labels Analyst, 2002, (10): 22-23
15. Jeff Burgess. Tire Pressure Monitoring: An Industry under Pressure[J]. Advanstar Communication, 2003, (7): 20-23
16. Svein Vetti, Chipcon AS. TPMS and RKE Operating In The Same ISM Frequency Band[J]. EPN Automotive Electronics, 2003, (5): 50-51
17. T. Umeno, K. Asano, H. Odashi, M. Yonetani, T. Naito, and T. Taguchi. Observer based

- Estimation of Parameter variations and its Application to Tyre Pressure Diagnosis [J]. In Control Engineering Practice, 2001, (9): 639-645
18. 陆叶强. 汽车胎压检测系统中轮胎定位技术的分析与研究[J]. 农机化研究, 2006,(7): 205-207
19. 庄继德. 汽车轮胎学[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1995
20. 桑永福. 浅析影响汽车轮胎爆胎的因素[J]. 江苏交通, 2002, (4): 36-37
21. 刘桂飘, 罗玉涛. 轮胎气压对汽车性能影响的研究[J]. 广东公安科技, 2003, (1): 23-27
22. US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration. Federal Motor Vehicle Safety Standards, Tire Pressure Monitoring Systems, Controls and Displays [S]. Federal Register, 2002, 67(108): 38703-38749, 2005, 70(67): 18136-18191
23. 艾博尔新能源有限公司. 在胎压监测系统(TPMS)中为什么要用锂亚电池 [EB/OL]. http://www.Chinajungong.com/vip/able_battery/artdetail.asp?id=17862
24. 马文华. 嵌入式系统设计与开发[M]. 北京:科学出版社, 2006: 133-139
25. 张健, 刘永民. 嵌入式系统低功耗电路设计[J]. 光电技术应用, 2005, 20(6): 56-59
26. 关德新等编著. 单片机外围器件实用手册电源器件分册[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1999
27. Mark Allen Weiss. 冯舜玺译. 数据结构与算法分析-C语言描述[M]. 北京:机械工业出版社, 2004: 279-357
28. 唐志芳, 时海涛. 系统级动态电源管理算法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2005, (6): 190-193
29. 谢楷, 赵建. MSP430 系列单片机系统工程设计与实践[M]. 北京:机械工业出版社, 2009
30. 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002
31. 沈建华, 杨艳琴, 翟晓曙. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机实践与系统设计[M]. 清华大学出版社, 2005
32. Billgates. JHD162A SERIES[EB/OL]. http://www.icpdf.com/partnoview.asp?id=1227743_105508
33. Holtek Semiconductor Inc. HT77XX PFM Step-up DC/DC Converter[EB/OL]. 2007, (9)

34. Holtek Semiconductor Inc. HT71XX High Voltage Regulator[EB/OL]. 2000,(8)
35. IMP, Inc. IMP809-810 Data Sheet[EB/OL]. 1998,(6)
36. Texas Instruments, Inc. Advanced LinCMOS Rail-to-Rail Very Low-Power Op Amps Very Low-Power Operational[EB/OL]. Rev. D, 1997, (2),Revised. 2006,(8)
37. Texas Instruments, Inc. MSP430x1xx Family User's Guide[EB/OL]. Rev. F, 2006
38. Texas Instruments, Inc. MSP430x13xx, MSP430x14xx: Mixed Signal Microcontroller [EB/OL]. Rev. F. 2000,(7), Revised 2004,(6)
39. Texas Instruments, Inc. MSP430F11x2, MSP430F12x2: Mixed Signal Microcontroller [EB/OL]. Rev. D, 2002,(1), Revised 2004,(8)
40. 李凯. 轮胎压力传感器优缺点比较分析与选择[J]. 国外电子元器件, 2007, (1): 70-71
41. Freescale Semiconductor, Inc. MPXY8000, Tire Pressure Monitoring Sensor Temperature Compensated and Calibrated, Fully Integrated, Digital Output [EB/OL]. Rev 3, 2006,(2)
42. Freescale Semiconductor, Inc. TPMS MPXY8020A Presentation[G]. 2004
43. CHRISTIAN KOLLE, WOLFGANG SCHERR. Ultra Low-Power Monolithically Integrated Capacitive Pressure Sensor for Tire Pressure Monitoring[J]. IEEE, 2004: 244-247
44. Freescale Semiconductor, Inc. MMA6281QT, $\pm 2.5\text{g}$ - 10g Two Axis Low-g Micromachined Accelerometer[EB/OL]. Rev 1, 2007,(6)
45. 杨江, 李治. 基于神经网络的多传感器系统误差校正方法[J]. 传感器技术, 2002, (21): 37-42
46. 陈法国, 陈伟等. 无线接口电路设计及其在 TPMS 中的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2005, (7): 23-24
47. 李兵强, 林辉. 轮胎气压监测系统中小环天线的设计[J]. 汽车工程, 2007, 3(29): 254-261
48. Nordic Semiconductor ASA. Single chip 2.4 GHz Transceiver nRF24L01[EB/OL]. Rev 1.1, 2005,(11)
49. 毛楠, 孙瑛. 电子电路抗干扰实用技术[M]. 北京:国防工业出版社, 1996: 34-46
50. 何缘, 王积勤. 射频电路设计中应注意的有关问题[J]. 电力系统通信, 2003, 6: 50-52

附录 A 程序清单

控制模块硬件驱动层程序清单

```

/*****Main.c*****/
/*****
* 对来自 MSP430F149 (控制模块) 和 MSP430F1232 (轮胎模块) 中的温度采样值以及
* 轮胎模块的温度压力传感器的压力采样值进行计算
* 驱动 LCD 点阵显示、键盘操作和声光报警
*****/
#include "ADC.h"                #include "nRF24L01.h"
#include "TimerAB.h"           #include "PowerControl.h"
#include "Alarm.h"             #include "TempPress.h"
#include "Keyboard.h"          #include "LCD.h"
/*****
*名   称: System_Init()        *入口参数: 无
*功   能: 系统初始化          *出口参数: 无
*****/
void System_Init(void) {
    unsigned char i,tmp[8];
    WDTCTL=WDTMODE;
    DCOCTL=DCOFRQ+DCOMOD;
    BCSCTL1=XT2SWCH14+LFXTFRQ+ACLKDIV+
    XT5V0+RSEL;
    BCSCTL2=MCLKS+MCLKDIV+SMCLKS+
    SMCLKDIV+DCORS;
    Power_Init();
    for (i=0;i<4;i++){
        tmp[i]=ADDRTire[i];
        tmp[i+4]=ADDRA11[i];}
        for (i=0;i<TX_ADR_WIDTH;i++)
            TX_ADDRESS[i]=0xE7;
            nRF24L01_User (PRIM_RX, 6, 0, ARC_2+
            ARC_1, RX_PW4+RX_PW2, tmp, TX_ADDRESS);
            Alarm_Init();
            LCDInit();
            Key_Init();
            Pipe=1;
            TA_Init();
            ADC12_Init();
            LCDPTMINS();
            LCDPTMAXS();

```

```

LCDDisplay(SystemStatus);}

/*****
*名   称: main()           *入口参数: 无
*功   能: 系统主函数     *出口参数: 无
*****/
void main(void) {           _EINT();
    System_Init();         while(1) ENLPM;}
/*****
*名   称: PORT1_ISR()     *入口参数: 无
*功   能: PORT1 中断服务 *出口参数: 无
*****/
#pragma vector=PORT1_VECTOR unsigned char tmp[8];
__interrupt void PORT1_ISR(void) { PowerStatus=POWERON;
    if(P1IFG&BIT3) { //nRF24L01 中断函数 POWEROFF_TEST;
        nRF24L01_IRQINT();           for (i=0;i<4;i++) {
        P1IFG=~BIT3;}                TX_ADDRESS[i+1]=ADDRAll[i];
    if(P1IFG&BIT6) { //电源切换中断函数 tmp[i]=ADDRTire[i];
        if (P1IES&BIT6) { //关机待开机检 测 tmp[i+4]=ADDRAll[i];
            PowerStatus=POWEROFF;      TX_ADDRESS[0]=ADDRTire[0];
            POWERON_TEST;              nRF24L01_User (PRIM_TX, 6, 0,
            nRF24L01_OFF();            ARC_2+ARC_1, RX_PW4+RX_PW2, tmp, TX_ADD
        else { //开机待关机检测        P1IFG=~BIT6;}
            unsigned char i;           WDTCTL=WDTMODE;}
/*****Calculator.s43*****/
#include "msp430x14x.h"      EXTERN      rand
NAME      Calculator
;*****
;名   称: UnsignedMultiply *入口参数: R12 无符号被乘数, R13 无符
;功   能: 用硬件乘法器完成的无符号乘 *号乘数
;法                                           ;出口参数: 乘法结果 R13|R12
;*****

```

```

PUBLIC          UnsignedMultiply          NOP
RSEG           CODE                      NOP
UnsignedMultiply PUSH SR                MOV  &RESLO, R12
              DINT                      MOV  &RESHI, R13
              MOV  R12, &MPY             POP  SR
              MOV  R13, &OP2            RET
;*****
;名   称: Original                      ;入口参数: R12 补码
;功   能: 求原码                        ;出口参数: R10 原码
;*****
PUBLIC          Original                  INV  R12
RSEG           CODE                      ADD  #0001H, R12
Original      PUSH SR                    ADD  #8000H, R10
              DINT                      DEAL  ADD  R12, R10
              MOV  #0000H, R10          POP  SR
              BIT  #8000H, R12         RET
              JZ   DEAL
;*****
;名   称: DEC4INC5                      ;入口参数: R12 未取舍小数的二进制补码
;功   能: 将低四位二进制数代表的一位  ;出口参数: R10 取舍小数后的二进制原码
十进制小数进行四舍五入操作          ;说   明: 最高位实为符号
;*****
PUBLIC          DEC4INC5                  CALL #Original
RSEG           CODE                      ADD  #0005H, R10
DEC4INC5      PUSH SR                    POP  SR
              DINT                      RET
;*****
;名   称: BIN2BCD                        ;出口参数: R10 十进制 BCD 码
;功   能: 二进制数转为十进制数        ;说   明: 有效数值为 0~270F, 8000~A70F
;入口参数: R12 二进制原码            之间的数, 最高位实为符号
;*****
PUBLIC          BIN2BCD

```

```

BIN2BCD          PUSH SR                      MOV #0000H, R12
                  DINT                        CONVERT  RLA R8
                  MOV #0000H, R9              DADD R12, R12
                  BIT #8000H, R12             DEC R10
                  JZ NEXT                     JNZ CONVERT
                  AND #7FFFH, R12             ADD R9, R12
                  ADD #8000H, R9              MOV R12, R10
NEXT              MOV #0010H, R10             POP SR
                  MOV R12, R8                 RET
    
```

```

;名称: BCDINT          ;出口参数: R10 将小数去掉的 BCD 码
;功能: 将 BCD 码取整   ;说明: 最高位实为符号
;入口参数: R12 低四位为小数的 BCD 码
    
```

```

PUBLIC          BCDINT                      CLRC
RSEG            CODE                        RRC R12
BCDINT          PUSH SR                      CLRC
                  DINT                        RRC R12
                  MOV #0000H, R9              CLRC
                  BIT #8000H, R12             RRC R12
                  JZ CALC                     ADD R9, R12
                  AND #7FFFH, R12             MOV R12, R10
                  ADD #8000H, R9              POP SR
CALC            CLRC                          RET
                  RRC R12                      END
    
```

/******ADC. c******/

```
#include "ADC.h"
```

/******

```

*名称: ADC12_Init()      *入口参数: 无
*功能: ADC12 初始化     *出口参数: 无
    
```

*****/


```

void ADC12_Init(void) {
    ADC12CTL0&=~ENC;
    //复位 ENC, 用于设置 ADC12 各控制寄存器
    ADC12CTL0=ADC12CLKS8_15+ADC12CLKS0
    _7+ADC12MSC+ADC12REFV+ADC12REFS+ADC1
    2SWCH+ADC12OVINT+ADC12TVINT;
    ADC12CTL1=ADC12CSADDR+ADC12SHS+ADC
    12SHP+ADC12ISSH+ADC12DIV+ADC12SSEL+A
    DC12CONSEQ;
    ADC12MCTL0=ADC12SEC+ADC12SREF+ADC1
    2INCH;
    ADC12IE=MEMIE;
    ADC12CTL0|=ENC+ADCSC_1;} //启动转换
    (此时 ADC12ISSH=SGNSAME, ADC12SHP=SMPT
    MR)

/*****
*名    称: ADC12_ISR()
*功    能: ADC12 中断服务
*****/

#pragma vector=ADC12_VECTOR
__interrupt void ADC12_ISR(void) {
    ADC12CTL0&=~ENC; //复位 ENC 用于设
    置
    #include "TempPress.h"
    TempCtrl=ADC12MEM[0]; //温度采样
    TempCtrl=ADC12TempCalc(TempCtrl, UN
    ITNUM);
    ADC12CTL0&=~(REFON+ADCON); //关闭内
    部参考电压和 ADC 内核
    WDTCTL=WDTMODE;}

/*****TimerAB.c*****/
#include "ADC.h"
#include "PowerControl.h"
#include "nRF24L01.h"
#include "Keyboard.h"
#include "Alarm.h"
#include "LCD.h"
unsigned char Hour=0x12;
unsigned char Minu=0x00;
unsigned char Seco=0x00;

/*****
*名    称: TB_Init()
*功    能: TimerB 初始化
*****/
void TB_Init(void) {
    TBCCTL0=TBCAPMOD0+TBCAPSRC0+TBCAPMNRO+TBLOAD0+TBMODE0+TBOUTMOD0+TBCCROIED;

```

```

TBCCTL1=TBCAPMOD1+TBCAPSRC1+TBCAPMNR1+TBLLOAD1+TBMODE1+TBOUTMOD1+TBCCR1IED;
TBCCTL2=TBCAPMOD2+TBCAPSRC2+TBCAPMNR2+TBLLOAD2+TBMODE2+TBOUTMOD2+TBCCR2IED;
TBCCTL3=TBCAPMOD3+TBCAPSRC3+TBCAPMNR3+TBLLOAD3+TBMODE3+TBOUTMOD3+TBCCR3IED;
TBCCTL4=TBCAPMOD4+TBCAPSRC4+TBCAPMNR4+TBLLOAD4+TBMODE4+TBOUTMOD4+TBCCR4IED;
TBCCTL5=TBCAPMOD5+TBCAPSRC5+TBCAPMNR5+TBLLOAD5+TBMODE5+TBOUTMOD5+TBCCR5IED;
TBCCTL6=TBCAPMOD6+TBCAPSRC6+TBCAPMNR6+TBLLOAD6+TBMODE6+TBOUTMOD6+TBCCR6IED;
TBCTL=TBLLOAD+TBCNTMAX+TBCLKSRC+TBDIVFQC+TBCNTMOD+TBCLRYN+TBIED; }

/*****
*名    称: TB0_ISR()                *入口参数: 无
*功    能: TimerB0 中断服务        *出口参数: 无
*****/

#pragma vector=TIMERB0_VECTOR          Key_Find();
__interrupt void TB0_ISR(void) {      WDTCTL=WDTMODE;}
/*****
*名    称: TBX_ISR()                *入口参数: 无
*功    能: TimerB1~6 中断服务      *出口参数: 无
*****/

#pragma vector=TIMERB1_VECTOR          TBCCTL3&=~CCRIFG; //中断标志复位
__interrupt void TBX_ISR(void) {      TBCCTL4&=~CCRIFG; //中断标志复位
Key_Find();                          TBCCTL5&=~CCRIFG; //中断标志复位
TBCCTL1&=~CCRIFG; //中断标志复位    TBCCTL6&=~CCRIFG; //中断标志复位
TBCCTL2&=~CCRIFG; //中断标志复位    WDTCTL=WDTMODE;}
/*****
*名    称: TA_Init()                *入口参数: 无
*功    能: TimerA 初始化          *出口参数: 无
*****/

void TA_Init(void) {  CCR0=COUNT_250;

CCTL0=TACAPMOD0+TACAPSRC0+TACAPMNR0+TASCCIO+TAMODE0+TAOUTMOD0+TACCR0IED;
CCTL1=TACAPMOD1+TACAPSRC1+TACAPMNR1+TASCCI1+TAMODE1+TAOUTMOD1+TACCR1IED;
CCTL2=TACAPMOD2+TACAPSRC2+TACAPMNR2+TASCCI2+TAMODE2+TAOUTMOD2+TACCR2IED;
TACTL=TACLKSRC+TADIVFQC+TACNTMOD+TACLRYN+TAIED;}

```

/*
*/

*名称: TA0_ISR() *入口参数: 无

*功能: TimerA0 中断服务 *出口参数: 无

*/

```
#pragma vector=TIMERAO_VECTOR TxBuf[0]=6;
__interrupt void TA0_ISR(void) { TxBuf[1]=Acc;
    static unsigned char TimeCount=0; TxBuf[2]=PTCalc;
    unsigned char i; TxBuf[3]=PTMin;
    Alarm_Switch(); TxBuf[4]=PTMax;
    if (KeyCode) { for(i=0;i<4;i++)TX_ADDRESS[i+1]
        if(KeyCount<LONG_KEY)KeyCount++; =ADDRAl1[i];
        if(KeyCount>=LONG_KEY) TX_ADDRESS[0]=ADDRTire[Pipe-
Key_Function();} 1];}
    if((AllowWork)&&(PowerStatus==POWE AllowWork=0;
RON)) { nRF24L01_TxPacket(TX_ADDRESS, Tx
    for (i=0;i<UNITNUM;i++) { Buf);} //发送有效数据
        if (OPOVER[i]==0) break;} if((SystemStatus>PRMAXSTATUS)&&(Sy
if (i<UNITNUM) { stemStatus<PRCALSTATUS))TimeCount=0;
    TxBuf[0]=i+1; if (++TimeCount>=TIME1S) {
    TxBuf[1]=ADDRTire[i]; TimeCount=0;
    for(i=0;i<4;i++) Time_Calc();
TxBuf[i+2]=ADDRAl1[i]; if (ADC12TEST==0) ADC12_Init();
    for(i=0;i<TX_ADR_WIDTH;i++) LCDMode=LCD2NDROW;
TX_ADDRESS[i]=0xE7;} LCDDisplay(SystemStatus);}
    else{ CCRO+=COUNT_250; WDTCTL=WDTMODE;}
```

/*
*/

*名称: TAX_ISR() *入口参数: 无

*功能: TimerA1~2 中断服务 *出口参数: 无

*/

```
#pragma vector=TIMERAI_VECTOR __interrupt void TAX_ISR(void) {
```

```

if((CCTL1&CCRIFG)&&(CCTL1&CCRIFG))L      CCTL1&=~CCRIFG;  CCTL2&=~CCRIFG;
CDDisplay(SystemStatus); //补充显示      WDTCTL=WDTMODE;}
    
```

轮胎模块硬件驱动层程序清单

```

/*****Main.c*****/
/*****
* 对加速度传感器 MMA6281Q、TPMS 传感器 MPXY8020A 操作控制
* 电源功耗监测、电源管理以及与 nRF24L01 通信
*****/
#include "ADC.h"                #include "MPXY8020A.h"
#include "TimerAB.h"           #include "nRF24L01.h"
#include "MMA6281Q.h"         #include "PowerControl.h"
/*****
*名    称: System_Init()      *入口参数: 无
*功    能: 系统初始化        *出口参数: 无
*****/
void System_Init(void) {
    WDTCTL=WDTMODE;           Power_Init();
    DCOCTL=DCOFRQ+DCOMOD;     PowerStatus=POWERON;//启动外部电源
    BCSCTL1=XT2SWCH12+LFXTFRQ+ACLKDIV+
    XT5V0+RSEL;              MMA_Init();
    BCSCTL2=MCLKS+MCLKDIV+SMCLKS+SMCLK
    TA_Init();
    DIV+DCORS;               ADC10_Init(SGNACC);  MPXY_Init();}
/*****
*名    称: main()            *入口参数: 无
*功    能: 系统主函数        *出口参数: 无
*****/
void main(void) {
    _EINT();
    System_Init();           while(1) ENLPM;}
/*****
*名    称: PORT1_ISR()      *功    能: PORT1 中断服务
    
```

```

*入口参数: 无
*出口参数: 无

*****/
#pragma vector=PORT1_VECTOR          nRF24L01_IRQINT();
__interrupt void IRQ_ISR(void) {     P1IFG&=~BIT3;}
    if (P1IFG&BIT3) { //nRF24L01 中断函数   WDTCTL=WDTMODE;}
/*****ADC. c*****/
#include "ADC.h"                      #include "MPXY8020A.h"
#include "PowerControl.h"            #include "nRF24L01.h"
#include "MMA6281Q.h"
/*****
*名    称: ADC10_Init()              *入口参数: mode 测量项
*功    能: ADC10 初始化              *出口参数: 无
*****/
void ADC10_Init(unsigned char mode) { +ADC10DFS+ADC10ISSH+ADC10DIV+ADC10SS
    ADC10CTL0&=~ENC; //复位 ENC, 用于设置   EL+ADC10TX_CQ;
ADC10 各控制寄存器                      ADC10CTL0=ADC10TX_SREF+ADC10CLKS+A
    if(mode==SGNI_U) ADC10CTL1=ADC10TX_   DC10SVR+ADC10REF0+ADC10REFB+ADC10MSC
V+ADC10SHS+ADC10DFS+ADC10ISSH+ADC10D   +ADC10REFV+ADC10TX_REFS+ADC10SWCH+AD
IV+ADC10SSEL+ADC10TX_CQ;              C10INT;
    else ADC10CTL1=ADC10TX_ZA+ADC10SHS   ADC10CTL0|=ENC+ADCSC_1;}
/*****
*名    称: ADC10_ISR()              *入口参数: 无
*功    能: ADC10 中断服务            *出口参数: 无
*****/
#pragma vector=ADC10_VECTOR          PowerStatus=POWERON;
__interrupt void ADC10_ISR(void) {    Power_Switch();
    ADC10CTL0&=~ENC; //复位 ENC 用于设   nRF24L01_User (PRIM_RX, Pipe, 0, 0,
置                                         RX_PW4+RX_PW2, RX_ADDRESS, TX_ADDRESS);
    if ((ADC10CTL1&0xF000)==ADC10TX_ZA)  }
    {   if ((ADC10MEM<=0x74) || (ADC10MEM>
=0x38A)) {                               else {

```

```

MPXY_OFF(); //启用内部参考电压
nRF24L01_OFF(); I_U=ADC10MEM;}
PowerStatus=POWEROFF; else if((ADC10CTL1&0xF000)==ADC10T
Power_Switch(); } X_TP) {
MMASLEEP; //MMA6281Q休眠 ADC10CTL1&=0xFFFF;
ADC10CTL1|=ADC10TX_V;} ADC10CTL0&=~(ADC10_VREF_AVSS+REF
else if((ADC10CTL1&0xF000)==ADC10T ON); //关闭内部参考电压
X_V) { Temp=ADC10MEM;}
ADC10CTL1&=0xFFFF;//通道复位操作 if(ADC10CTL1&0xF000)ADC10CTL0|=ENC
ADC10CTL1|=ADC10TX_TP; +ADCSC_1;else ADC10CTL0&=~ADCON;
ADC10CTL0|=ADC10_VREF_AVSS+REFON; WDTCTL=WDTMODE;}
/*****TimerAB.c*****/
#include "ADC.h" #include "nRF24L01.h"
#include "PowerControl.h" #include "MPXY8020A.h"
/*****
*名 称: TA_Init() *入口参数: 无
*功 能: TimerA 初始化 *出口参数: 无
*****/
void TA_Init(void) { CCR0=COUNT_500;
CCTL0=TACAPMOD0+TACAPSRC0+TACAPMNR0+TASCCIO+TAMODE0+TAOUTMOD0+TACCR0 IED;
CCTL1=TACAPMOD1+TACAPSRC1+TACAPMNR1+TASCCII+TAMODE1+TAOUTMOD1+TACCR1 IED;
CCTL2=TACAPMOD2+TACAPSRC2+TACAPMNR2+TASCCII+TAMODE2+TAOUTMOD2+TACCR2 IED;
TACTL=TACLKSRC+TADIVFQC+TACNTMOD+TACLRYN+TAIED;}
/*****
*名 称: TA0_ISR() *入口参数: 无
*功 能: TimerA0 中断服务 *出口参数: 无
*****/
#pragma vector=TIMERAO_VECTOR if (ADC10TEST==0) {
__interrupt void TA0_ISR(void) { if (++i>=TIME2MIN) {
#include "MMA6281Q.h" i=0;
static unsigned char i=0; MMAWAKE;

```

```

        ADC10_Init(SGNACC);} //测加速度      re(MEASUREINIT);
    else ADC10_Init(SGNI_U);} //测电        CCR0+=COUNT_500;

    if(PowerStatus==POWERON)MPXY_Measu    WDTCTL=WDTMODE;}
/*****
*名    称: TAX_ISR()                        *入口参数: 无
*功    能: TimerA1~2 中断服务              *出口参数: 无
*****/

#pragma vector=TIMERA1_VECTOR                CCTL1&=~CCRIFG;
__interrupt void TAX_ISR(void) {             CCTL2&=~CCRIFG;
    if((CCTL1&CCRIFG)&&(CCTL1&CCRIFG))M      WDTCTL=WDTMODE;}
PXY_Measure(MEASUREPRES); //测量压力
    
```

附录 B 电路原理图

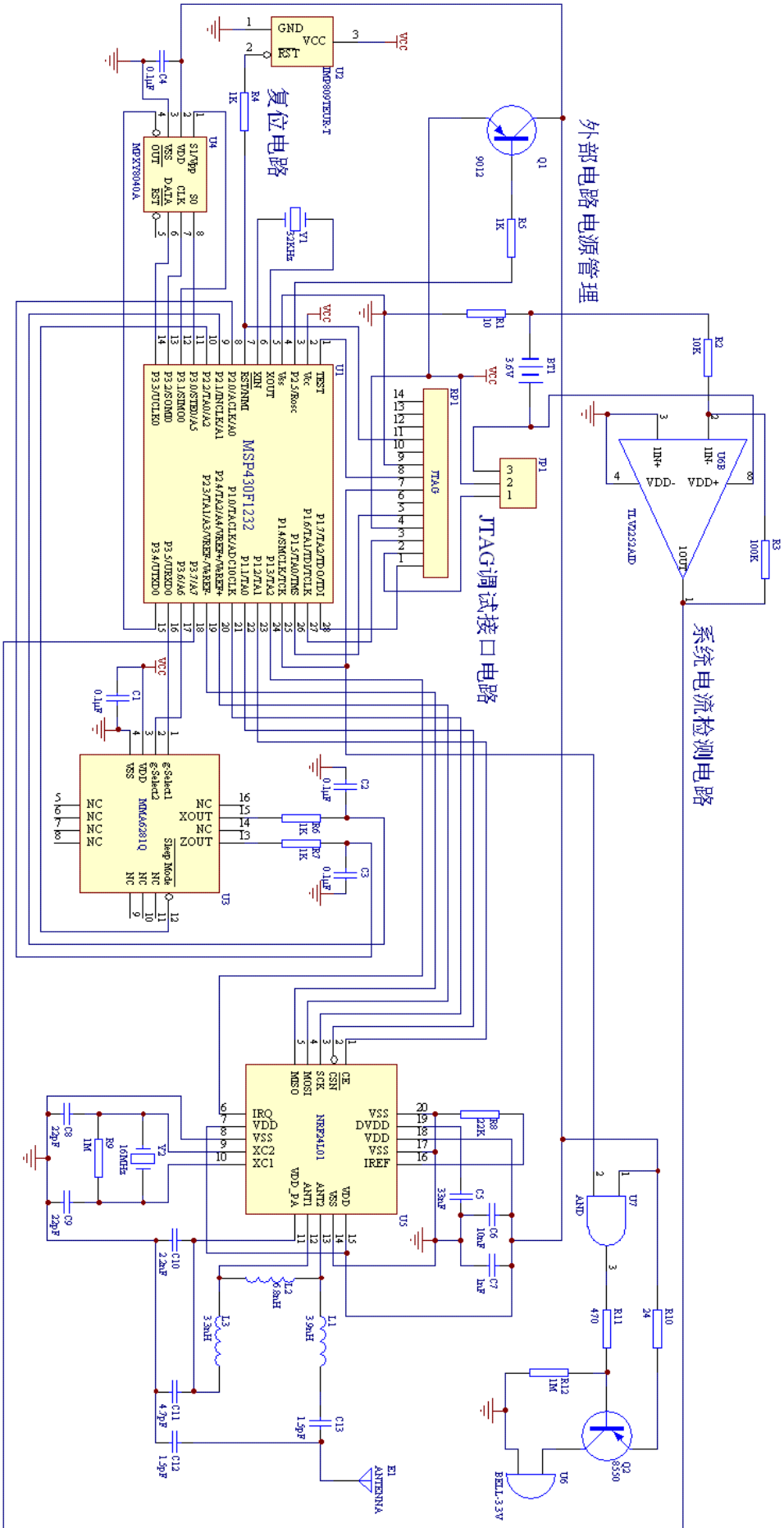


图 B.1 轮胎模块电路原理图
Fig. B.1 The Schematic Diagram of Tire Module circuit

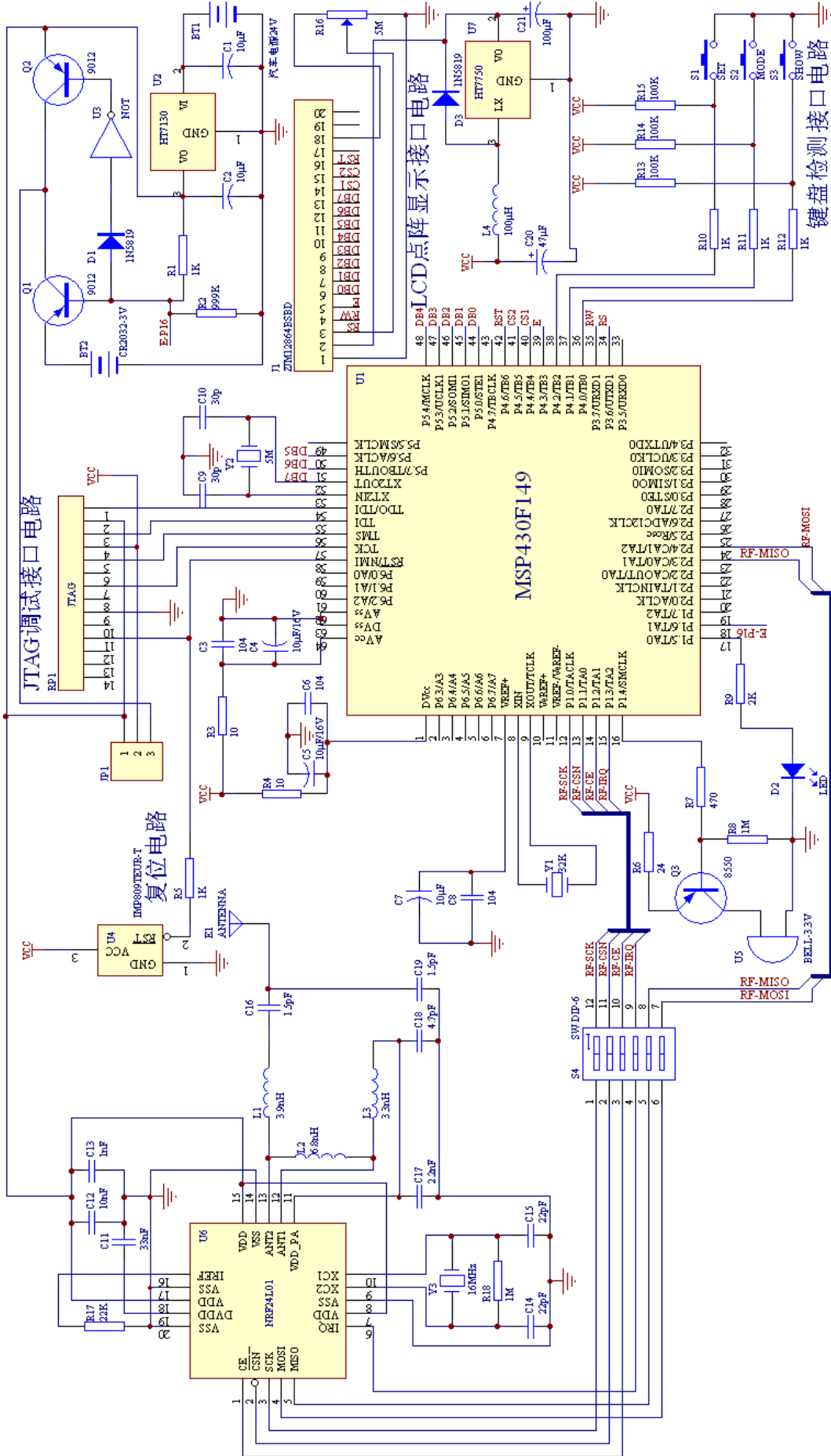


图 B.2 控制模块电路原理图

Fig. B.2 The Schematic Diagram of Control Module circuit