

分类号



中国热管理网

WWW.REGUANLI.COM

UDC

编号

成都理工大学

硕士学位论文

题名和副题名 新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统研究

作者姓名 谭钧剑

指导教师姓名及职称 方方 教授

申请学位级别 硕士 专业名称 信息与通信工程

论文提交日期 2018 年 9 月 论文答辩日期 2018 年 11 月 6 日

学位授予单位和日期 成都理工大学 (年 月)

答辩委员会主席 郭 勇

评阅人 _____

2018 年 11 月

分类号_____

学校代码：10616

UDC _____

密级_____ 学号 :2015020683

成都理工大学硕士学位论文

新能源汽车电池 SOC 监测 及充放电监控系统研究

谭钧剑

指导教师姓名及职称 _____ 方方 教授

申请学位级别 _____ 硕士 _____ 专业名称 _____ 信息与通信工程

论文提交日期 _____ 2018 年 9 月 _____ 论文答辩日期 _____ 2018 年 11 月 6 日

学位授予单位和日期 _____ 成 都 理 工 大 学 (_____ 年 _____ 月)

答辩委员会主席 _____ 郭 勇

评阅人 _____

2018 年 11 月

独创性声明

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

学位论文作者签名：谭钊

2018年11月12日

学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解成都理工大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权成都理工大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名：谭钊

学位论文作者导师签名：方方

2018年11月12日

新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统研究

摘 要

当今，汽车工业迅速崛起，给人们带来了优质生活，但是汽车工业引发的环境污染和能源消耗问题也是不可忽视的。为解决环境污染与能源短缺的双重难题，国家对新能源汽车的研究给予大量投入，本文重点关注新能源电动车中电池管理系统的研究。新能源电动车的动力来源于电池，而电池也是最容易引发汽车安全事故的部件。因此研究新能源电动车的重点之一就是研究电池管理系统(BMS)。研究车载电池的健康状态(SOH)和剩余电量(SOC)可以直观的反映出车载电池的状态，保证车载电池的使用安全。特别是在新能源汽车电池充放电过程中进行有效地监控可以提高电池的使用效率和保证电池在使用过程中的安全性。

电池管理系统是新能源电动车中极其重要的部分，在有效利用能源、合理消耗资源和优化电池寿命方面起着决定性的作用，甚至关系到整车的安全系数和乘客的人生安全。电池管理系统主要实现的功能有：车载单体电池的电压/温度采集、电池充放电管理、电池电源开关管理、电池状态管理、剩余电量(SOC)估算、健康状态(SOH)估算、电池电压/电流泄漏管理、车载电池安全管理、车载系统间通信管理、优化电池容量与延长电池使用寿命等。车载电池能否高效、稳定、安全的运行，取决于电池管理系统的管理控制方式。为提高车载电池的使用效率、循环寿命、充放电效率和安全稳定性等方面，则需要研究一套科学合理的电池管理系统。

本课题主要研究新能源电动车在充放电过程中的监控系统，实时监控车载电池单体电压、电池温度、充放电电流、绝缘电阻、剩余电量(SOC)、健康状态(SOH)以及各类报警状态等信息。根据这些检测信息对新能源电动车进行有效的控制管理，保证车辆的安全运行与能源的有效利用。研制完成的新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统主要由主控模块、分控模块、电池检测模块和绝缘检测模块组成。系统分别对四大模块进行控制管理，最终得到一套完整的电池管理系统，并设计一套上位机监控软件对此系统进行数据监控与故障查询。

经测试分析，系统中硬件部分与软件部分能够按照预期目标实现相应功能，系统整体运行状态良好。系统硬件部分实时采集电动车的状态参数与电池参数，软件部分分析处理采集数据与系统参数判断整车安全状况、运行状态、单体电池状态以及系统故障等信息。系统测试结果达到预期目标，为系统后续优化改进打下了基础。

关键词：新能源汽车；电池管理系统；充放电监控；SOC 估算

Research on SOC monitoring and charge discharge monitoring and discharge monitoring system for new energy vehicle battery

Abstract

The problem of car industry caused by environmental pollution and energy consumption is cannot be neglected with the rapid rise of automobile industry and better life in society. In order to solve the dual problems of environmental pollution and energy shortage, the state has invested a lot in the research of new energy vehicles. This paper focuses on the research of battery management system in new energy electric vehicles. The power of new energy electric vehicles comes from the battery, and the battery is also the most vulnerable part of safety accidents. Therefore, one of the focuses research on new energy electric vehicles is the battery management system (BMS). The research of vehicle battery state of health (SOH) and state of charge (SOC) can be intuitive to reflect the status of battery to guarantee the safety of the car battery. Monitoring battery effectively can improve the efficiency of the battery and ensure the safety of the battery during charging and discharging.

The battery management system is a particularly important part of the new energy electric car, and it's a crucial role in the efficient use of energy, reasonable consumption of resources and optimal battery life, even the safety of the vehicle and passengers. The main functions of the battery management system include voltage/temperature acquisition, battery charging and discharging management, battery power switch management, battery status management, state of charge (SOC) estimation, state of health (SOH) estimation, battery voltage current leakage management, on-board battery safety management, vehicle inter system communication management, optimization battery capacity and long service life of the battery. If the car battery is efficient, stable, and safe, it depends on the management of the battery management system. To improve the efficiency of the car battery, the cycle of life, the efficiency of the recharging, the safety and stability, we need to study a scientific and reasonable battery management system.

This topic mainly studies the monitoring system of new energy electric vehicle in charging and discharging process, real-time monitoring battery cell voltage, battery temperature, charging and discharging current, insulation resistance, state of charge (SOC), state of health (SOH), various kinds of alarm and other information.

According to this testing information, the new energy electric vehicle is effectively controlled to ensure the safe operation of the vehicle and the effective utilization of the energy source. The battery SOC monitoring and charge-discharge monitoring system for new energy vehicles is mainly composed of main control module, such as sub-control module, battery detection module and insulation detection module. The system controls the four modules separately, and finally obtains a complete battery management system. It designs a set of upper computers monitoring software for data monitoring and fault inquiring.

The hardware and software parts of system can achieve the corresponding function according to the expected target, and the overall operation of the system is in good condition through testing and analyzing. The system is to collect the status parameters and the battery parameters of the electric car through the hardware. The software analyzes the data parameters to determine the safety condition of the vehicle, the operating status, the cell battery status and system failure information. The system achieves the expected goal, which lays a foundation for the system's subsequent optimization and improvement.

Keywords: New energy electric vehicle; BMS; Charge discharge monitoring;

SOC estimate

目 录

第 1 章 绪 论.....	1
1.1 选题背景及意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 电池管理系统研究现状.....	2
1.2.2 车载电池研究现状.....	4
1.3 课题来源与研究内容	7
1.3.1 课题来源.....	7
1.3.2 研究目标.....	7
1.3.3 研究内容与创新点.....	8
1.4 本文结构	9
第 2 章 磷酸铁锂电池原理特性分析.....	10
2.1 磷酸铁锂电池的基本原理	10
2.1.1 磷酸铁锂电池的工作原理.....	10
2.1.2 磷酸铁锂电池的结构.....	11
2.1.3 磷酸铁锂电池的主要技术参数.....	11
2.2 磷酸铁锂电池性能影响的主要因素	12
2.3 车载磷酸铁锂电池的安全性	13
2.4 本章小结	15
第 3 章 电池管理系统研究.....	16
3.1 电池 SOC 的估算	16
3.1.1 SOC 估算的意义	16
3.1.2 SOC 估算的难点	16
3.1.3 现有 SOC 估算方法	17
3.1.4 电池组 SOC 估算方案	20
3.2 电池状态检测	22
3.2.1 电池状态检测的必要性.....	22
3.2.2 电池状态检测的方案.....	22
3.3 电池的热管理	23
3.3.1 热管理的必要性.....	23
3.3.2 热管理的方案.....	23
3.4 电池组的绝缘检测	24
3.4.1 绝缘检测的意义.....	24

3.4.2 绝缘检测的方案	24
3.5 电池组的充电模式	25
3.6 电池组的通信方式	26
3.6.1 RS-422 通信	26
3.6.2 CAN 通信	26
3.7 本章小结	27
第 4 章 系统硬件设计	28
4.1 整体设计	28
4.2 主控模块硬件电路	29
4.3 分控模块硬件电路	32
4.4 电池检测模块硬件电路	35
4.5 本章小结	39
第 5 章 系统软件设计	40
5.1 软件设计概述	40
5.1.1 软件开发环境简介	41
5.2 主控模块软件设计	42
5.3 分控模块软件设计	45
5.4 电池检测模块软件设计	47
5.5 CAN 通讯软件设计	48
5.6 软件抗干扰设计	52
5.7 本章小结	53
第 6 章 系统测试实验	54
6.1 实验目的	54
6.2 实验平台	54
6.3 电池信息检测实验	55
6.4 CAN 通信实验	58
6.5 实验结论	60
6.6 本章小结	60
结 论	61
致 谢	62
参考文献	63
攻读学位期间取得学术成果	66
附 录	67

第 1 章 绪 论

1.1 选题背景及意义

中国作为一个世界经济大国,近年来国内经济正在迅速上升,其中汽车在中国社会经济发展中起到了不可忽视的作用。随着社会进步、生活水平的逐渐提升,汽车已成为家家户户都不可或缺的交通工具。汽车工业的迅速崛起,不仅使社会经济迅速增长,还带来了环境污染与能源短缺的双重难题。

环境污染日益严重,其中汽车工业对环境造成的污染不容忽视。随着汽车在当今社会的数量逐年增大,汽车尾气所造成的污染也越来越大(Weidong Guo, 2015; 邵明宇, 2017)。汽车尾气包含的化合物种类可达百种之多,其中含有的一氧化碳、二氧化碳、氮氧化合物、碳氢化合物、硫氧化合物和固体悬浮微粒等对人体健康的危害十分严重(杨新兴, 2012)。汽车尾气不仅危害着人类的健康,还在不断破坏着人们赖以生存的环境(吴刚, 2016),污染物中的硫化合物在大气中将会引发酸雨,形成水源和土壤酸性化,从而对地球上的植物生长造成影响;能源短缺问题已与生态破坏和环境污染形成了全球性的三大危机。人们使用的汽车主要动力来源于石油,在汽车总量迅速上升的时代,石油面临的消耗是巨大的,然而全球可开发的石油量日益减少,我国可开发的石油则是少之又少,与每年消耗的石油量不成正比,只能依赖着进口他国的石油,使得我国成为了一个石油的净进口国。这使国内能源来源非常被动,从而使石油的价格越来越高,严重的对国家能源安全造成威胁,并可能对国家的整体经济发展造成影响。

针对上述两点危害,研究新能源电动车是解决问题的有效方法。新能源电动车有着低污染、噪音小和节能等优点,减少了废气排放,对人们生活的环境起到了切实的保护(Chunbo Zhu et al, 2004),并可以有效的解决全球能源短缺带来的危害,它是解决因当今社会汽车工业所带来的环境污染和能源短缺的有效途径,因此大力发展新能源电动车将是 21 世纪汽车发展的重要方向。

到现在为止,新能源汽车主要分为四大类型,分别为纯电动汽车、燃料电池电动汽车、混合动力汽车和其他新能源汽车(武红玉, 2015)。混合动力汽车主要是由内燃机供给能源,它可以按照平时的需求功率算出内燃机的最大功率,使之可以处于一个低污染、低油耗的最佳状态工作。如果内燃机的输出功率不能满足需求时,就可以靠电池提供剩余需要的功率;如果内燃机的输出功率大于需求功率时,则可以将多余的功率提供给电池供电(王银辉等, 2003),保证资源的有效利用,这样既保证了资源的充分利用,也可以保证车辆正常行驶路程(Yanping Zheng et al, 2012; Yang Yang et al, 2014);燃料电池汽车主要依靠

电机驱动,以甲醇、氢气等为燃料,再利用化学作用输出电能供电机使用,使之车辆正常运行,因为燃料的优点,在化学反应过程中几乎不会产生对环境造成威胁的污染物,并且在能量转换效率方面也十分优秀,因此从环境污染和能源短缺方面看,燃料电池汽车也是一个不错的车辆。另外,纯电动汽车是真正具有实现“低排放”、“低污染”优点的汽车(刘斐,2012),因此纯电动汽车在当前形势下备受关注,也是新能源汽车的主要研究对象。近年来,纯电动汽车的技术不断进步,我国也取得了较大的技术突破和发展,其中,电池管理系统是整个电动车中尤其重要的部分,它对车载电池的管理利用,关系到整个电动车的能源是否能有效利用、资源是否能合理消耗和是否能延迟电池寿命,甚至影响到整车的安全系数和乘客的人身安全。因此,可以说研究新能源汽车的重要关键部分就是电池管理系统如何对车载电池的管理和利用的研究(Jun-yi Liang et al, 2013)。

随着新能源汽车的需求日益增大,新能源汽车的安全性、可靠性逐渐成为人们的关注焦点,其中安全性对于用户和生产者来说都是头等大事。但是,新能源电动车的研究情况表明,车载电池是新能源电动车在研究过程中问题最多,安全因素最复杂的部件。电池的健康状态(SOH)和剩余电量(SOC)是可以直观的反映出电池的状态(Jin Hua Xue et al, 2013),使之能够充分的保证车载电池的使用安全(张松,2017)。另外,在充放电过程中对电池进行有效的监控可以大大的提高电池的使用效率和保证在使用中电池的安全,并且电池若没有有效的保护,汽车的安全性本身就将存在一个安全隐患。因此,对于新能源汽车的电池管理系统的研究是有必要的。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 电池管理系统研究现状

近年来,因为日趋严重的环境污染与能源危机,新能源电动车的发展受到了广泛的关注。在国外,许多国家都积极开展对新能源电动车的研究。同样,我国远在“十五”期间就提出了大力发展新能源电动车的战略方针,并大力支持中国企业进行这方面的研究(杨君,2011)。在这新能源电动车的研究过程中,最重要的则是车载电池技术,对于如何有效安全的管理车载电池的运行使用,各国的公司企业共同进行了研究。

国外的研究起步较早,世界上主要的工业大国和汽车制造商都纷纷投入了大量的人力与物力进行研究,且在不断的研究实验中取得了不错的成果,新能源电动车的相关技术与性能都基本能满足电动汽车的需求。国外最早的电池管理系统在美国的托莱多大学被提出,因此,以美国研究的电动汽车电池管理系统最为前

沿(罗诗韵等,2015),其中美国研究较为成熟的电池管理系统分别是美国通用公司电动汽车 EVI 采用的电池管理系统、SmartGuard 电池管理系统和 BatOpt 高性能电池管理系统(Nameless et al,2011;马贝贝,2016)。EVI 的电池管理系统主要分为三个模块,它与其他的电池管理系统研究重点存在一些差异,它着重研究的是车载电池的稳定性 and 可靠性。针对稳定性和可靠性的研究,主要通过检测车辆异常情况能否自动断开电池与车辆的联系,停止电池的运行,保证车辆与电池的安全可靠,同时也增加了手动断电的开关(冯勇,2010);SmartGuar 电池管理系统采用分布式的方式检测电池的温度和电压,主要功能有:自动过充电监控、记录电池的历史数据、提供最差单体电池的信息等;BatOpt 电池管理系统主要由主控模块和电池监控模块组成,通过电池监控模块对电池的状态信息进行检测,主控模块再根据电池监控模块返回的信息进行优化控制(夏正鹏等,2012)。在欧洲具有代表性的研究成果为德国的 BADICHEQ 系统、BADICOACH 系统和 BATTMAN 系统(Cheng KWE et al,2011;王通,2017)。BADICHEQ 系统由 26 个蓄电池组成,具备数据采集、数据通讯、信息显示、充电控制功能,但 BADICHEQ 系统在数据通信传输采集和管理方面存在许多缺陷,因此针对 BADICHEQ 系统进行了优化设计,也就是 BADICOACH 系统(冯勇,2010)。BATTNIAN 系统的主要区别是在于它强调的是不同电池组的通用性,根据改变硬件的连接与软件的参数,可控制管理不同型号的电池组。日本和韩国在研究电池管理系统的道路上也取得了不错的成果,分别针对电池管理系统的实际应用和安全管理控制方面进行研究,实现电池管理系统的科学使用与安全运行(Zhongan Yu et al,2014)。

国内对新能源电动车的研究十分重视,虽然国内的研究起步较晚,但在国家的大力支持下,国内的企业、高校以及汽车制造商都积极的对新能源电动车展开了研究,并取得了一些成果(冯勇,2010)。比如长安汽车在新能源电动车领域的研发取得了不错的成绩,开发制造出了国内的首辆新能源汽车。系统主要由电池检测模块和主控模块组成,其中,电池检测模块中又包括了 CPU 模块、电池电压与温度检测模块、电池电流检测模块以及通信模块;主控模块主要分为 CPU 模块、温度控制模块、数据处理分析模块、绝缘检测模块、报警模块以及 CAN 通信与 RS232 通信模块。其实现的功能包括:电池的单体电压检测、电池的温度监控、电池的电流检测以及电池的异常情况报警显示(杨亚联等,2007)。北京集能伟业公司研制的氢镍智能化电池管理系统由 5 大模块组成,分别为电池信息采集模块、电池容量检测模块、温度检测模块、风扇控制模块和管理模块,并具有检测电池电压和温度、热管理、均衡管理、过放电保护等功能(马贝贝,2016)。奇瑞汽车同样也在新能源汽车研究领域取得了不俗的成绩,为国内研究新能源汽车奠定了基础。奇瑞研究的电池管理系统主要采用分布式控制,系统主

要由电池控制模块、数据检测模块、成组的电池与 CAN 总线通信模块组成。此系统可以单独检测各个组的电池电压,使之电池组的电压能够单独均衡控制,并且方便扩充电池的接口,克服了系统因端口资源问题而无法增加更多的接口难题,实现了对各个电池的故障管理控制,以及实时地进行数据检测功能(张维鑫等,2008)。比亚迪公司同样采用了分布式的电池管理系统,具有采集电池组总电压、总电流、电池温度等功能,并通过采集的信息进行电池组的 SOC 估算、热管理以及安全管理(罗诗韵等,2015)。目前,国内已经出现了许多对电池管理系统进行研究与制造的公司企业,但是在研究与制造技术方面,处于领先的的公司企业相对较少,因此国内市场对电池管理系统方面出现了企业“多而不强”的现象(李晓霖,2017)。

1.2.2 车载电池研究现状

在新能源电动车中,电池管理系统就如人类的肝脏,管理支配着所有的能量,是整体中非常核心的部分。车载电池就相当于血液,是不可缺少的动力源,并且要求是新鲜健康的动力源。现在,常见的蓄电池主要包括:铅酸电池、锂电池、镍镉电池和镍氢电池,具体性能归纳比较详见表 1-1 (Gang Ning et al, 2006; 胡信国, 2007)。

表 1-1 常用蓄电池性能比较

项目	铅酸电池	镍镉电池	镍氢电池	锂电池
工作电压 (V)	2	1.2	1.2	3.6
能量/质量 (Wh/kg)	35-40	40-60	60-80	90-160
能量/体积 (Wh/L)	70	150	200	270
充放电寿命 (次)	300-500	500-1000	500-1000	600-1200
自放电率 (%/月)	5	25-30	30-50	6-9
记忆效应	无	有	无	无
环境污染	污染	严重污染	无污染	无污染
成本 (\$/kWh)	75-150	100-200	230-500	120-200

其中,铅酸电池技术工艺已经非常成熟,并具有较好的充放电性能和安全稳定性。铅酸电池拥有低廉的价格,并且制作材料也是非常丰富的,因此深受人们的喜爱,在电动自行车上广泛使用。但是铅酸电池与其他电池相比能量密度较低,每一次充放电续航里程都较弱,这一点将大大的限制了铅酸电池在新能源电动车上的使用,并且铅酸电池的主要原材料铅对环境有一定的污染,因此铅酸电池

将不适用于新能源电动车；镍镉电池同样也会造成严重的环境污染，并且具有记忆效应，因此同样也不适用于新能源电动车；镍氢电池由于工作电压较低，又不适合并联使用，无法利用并联得到大功率大电压的需求，如用串联方式连接电池，将无法有效保证电池的单体一致性，将会引发出一系列的问题，因此也不适用于新能源电动车；锂电池是当今应用于新能源电动车最广泛的电池，它同时具有较大的工作电压、较大的能量密度、较好的充放电效率、自放电率低、无记忆效应和对环境没有污染的一系列优点，使之快速的被人们所接收，加上锂电池的技术也日益成熟，因此将锂电池作为新能源电动车的车载电池是一个理想的决定。

早在锂电池问世以来就被广泛的使用，在当今的电子设备中锂电池的身影随处可见，无论是手机电池还是数码相机电池等等。因锂电池拥有良好的性能，所以人们非常容易接受。随着锂电池的稳定性、安全性和生产技术的逐渐成熟，慢慢的锂电池就被使用在新能源电动车的车载电池中。对于新能源电动车来说，对车载电池的性能也有很高的要求。主要分为以下几点：

（1）能量密度：为保证车辆续航里程与运行效率，则要求车载电池的能量密度高。

（2）功率密度：为保证车辆驾驶性能的要求，则要求车载电池的输出功率密度高。

（3）充放电性能：为保证电池的使用性能，则要求车载电池的充放电性能好。

（4）单体一致性：为保证对电池的管理均衡及电池整体的使用率，则要求车载电池的单体具有较高的一致性。

（5）循环寿命：为保证电池的长年不断循环使用，则要求车载电池的循环寿命长。

（6）工作温度：为保证车辆在一年四季和地区温度差异中正常运行，则要求车载电池的工作温度范围广。

（7）自放电率：为保证车辆在长时间停止使用后，流失的电量少，则要求车载电池的自放电率小。

（8）其他：除上述几点外还要求对环境的污染低、电池的可靠性和安全稳定性高等。

新能源电动车的车载电池主要包括：钴酸锂电池、锰酸锂电池、三元锂电池和磷酸铁锂电池，具体性能和使用情况归纳如表 1-2、1-3 所示（华夏储能）。

表 1-2 常用车载锂电池性能比较

	钴酸锂	锰酸锂	三元锂	磷酸铁锂
正极材料稳定性	180 分解	高于钴酸锂	高于钴酸锂	600 以上
循环寿命	最短	一般	短	最长
容量 (Wh/kg)	150-160	100-110	150-200	100 左右
价格	中	最低	低	低

表 1-3 常用车载锂电池使用情况

	特斯拉	普锐斯三代	通用沃兰达	比亚迪 E6	日产聆风
正极材料	三元锂	锰酸锂	三元锂	磷酸铁锂	锰酸锂
电池质量 (kg)	500	80	180	600	170
电池容量 (kWh)	85	4.4	16	60	24
续航里程 (km)	426	20	62	300	160
能量密度 (Wh/kg)	200	90	140	100	160

其中,钴酸锂电池拥有超强的续航能力,它最大的优点就是容量密度大。但是,钴酸锂电池的安全稳定性却是欠缺的,因此,钴酸锂电池总体来说并不适合作为车载动力电池;锰酸锂电池在在当今的车载动力电池中使用较广,它具有便宜的价格,中等的能量密度和循环寿命。从综合性能来看,锰酸锂电池是一个不错的选择,它也凭借自身的综合性能在车载电池中取得一席之地;三元锂电池拥有最高的能量密度和较低的价格,在国际上取得广泛的关注。其中,特斯拉的新能源电动车就广泛使用三元锂电池作为车载电池。但是三元锂电池的安全稳定性较差,仅仅比钴酸锂电池好一点,因此三元锂电池在国内的发展受到了较大的阻碍;国内发展较好的锂电池无疑是磷酸铁锂电池,其拥有最长的循环寿命和最好的安全稳定性,快速的得到了人们的认可,也助它在国内的新能源电动车车载电池发展中取得较大的优势。但是由于磷酸铁锂电池较低的能量密度和一致性差的性能,使之没能成为锂电池中的“霸主”(华夏储能)。国内对磷酸铁锂的研究热情较高,投入的资金也较大,因而磷酸铁锂电池还在继续的研究进步中。

车载电池在使用中面临的一些问题主要归纳为以下几点:

(1) 一致性:因新能源电动车需要的总电压是非常大的,特别是车型较大的车辆。因此使用到的电池数量也非常多,为达到需求,电池一般都是以先并后串的模式衔接起来,但是这样则更无法保证电池的单体一致性。车载电池因数目较大,因此不能像普通电子设备一样进行管理,而是将大量的电池进行分组管理,这也对管理电池增加了难度。

(2) 过充过放：车载电池充电过程中，因为单体电池的一致性得不到充分的保证，因此在充电过程中得不到充分的充电保护。而常用的车载电池大多数为锂电池，锂电池本身对因过充过放产生的影响抵抗能力较差，从而使电池的安全和稳定性得不到充分的保证，并且对电池的循环使用寿命产生较大的影响。

(3) 安装环境：车载电池的使用数目较多，体积较大，因此对在车上安装电池提出了挑战。因车上需安装的电池数目较多，所以电池与电池之间的间隙只能减小。并且为避免外界的干扰影响，比如：粉尘、水等。因此需要将电池隔离保护，将电池组安装在一个封闭的环境下。这样一来，在电池使用过程中产生的热量将极难排除，从而容易引发因电池工作升温导致的一系列安全隐患。并且电池若长时间在高温环境下工作，电池的使用性能和寿命也将受到影响。

(4) 使用环境：车辆运行过程中，路况时好时坏，从而导致车辆不能平稳运行，这则对电池的抗震动力和抗冲击力又提出了要求。并且电池都是由线缆连接在一起，巨大的颠簸还可能引起电池间的线路断线或短路，从而引发起火，甚至于爆炸等危险的情况。

综上所述，想要将电池安全合理的使用，并发挥出电池的高性能，对电池的循环使用寿命和安全性则提出了更高的要求。除了在电池本身的特征参数与性能上的提高，还有对电池的使用管理技术上的提高，特别是在电池数量足够多的情况下，科学的对电池进行分组管理能够有效的监控单体电池的参数、估算电池的使用效率、保证电池的使用安全和延长电池的使用寿命。使车载电池在新能源电动车上真正的实现安全、可靠、高效和长的循环使用寿命的特点。

1.3 课题来源与研究内容

1.3.1 课题来源

本课题来源于中力汇通新能源汽车有限公司项目研究。公司为打破国外两大电压采集芯片（LTCxxxx、MAXxxxx）对市场的垄断，着力于自主研发，故此采用分离器件模式搭建电压采集电路，实现对新能源汽车电池的 SOC 监测及充放电监控系统的研究，为新能源汽车电池管理系统的发展打下基础。

1.3.2 研究目标

系统预期实现的功能有：车载单体电池的电压/温度采集、电池充电与放电管理、电池电源的开关管理、电池状态管理、剩余电量（SOC）估算、健康状态（SOH）估算、电池电压/电流泄漏管理、车载电池安全管理、车载系统通信管

理、优化电池容量与延长电池使用寿命等。系统研究目标主要为以下几点：

(1) 通过检测模块检测电池电压和温度上传给分控模块，并根据分控模块下发的命令对电池进行控制，单体电压检测误差控制在 0.3%以内。

(2) 分控模块检测电池充放电电流（检测误差控制在 0.8A 以内），结合电压和温度数据判断各个单体电池运行状况，根据相应算法对电量不足的电池进行保护，在电池组工作异常时切断母线，准确计算电池剩余电量（SOC）和健康状态（SOH），并将这些信息发送给主控模块。

(3) 绝缘检测模块检测电池组对地绝缘状态并及时上报主控模块。

(4) 主控模块接收来自分控模块和绝缘检测模块的数据并控制分控模块的工作模式；通过 CAN 总线向车载仪表系统传递信息并显示在仪表上。

1.3.3 研究内容与创新点

电池管理系统简称 BMS，连接着车载电池与车载系统，控制着车载电池向各个车载系统提供动力与电源。车载电池能否高效、稳定、安全的运行，取决于电池管理系统的管理控制方式。为提高车载电池的使用效率、循环寿命、充放电效率和安全稳定性等方面，本课题研究的电池管理系统，将对车载电池进行充放电监控，提供电池的电压、电流、温度、绝缘电阻、剩余电量（SOC）、健康状况（SOH）以及各类报警等信息。

本系统将从硬件与软件两个方面分别阐述系统的构建，电池管理系统主要由四大模块组成，分别为：主控模块、分控模块、电池检测模块和绝缘检测模块。分别对四大模块进行研究控制，最终组成一套完整的电池管理系统，并通过设计一套上位机监控软件对此系统进行数据监控与故障查询。本课题主要研究内容如下：

(1) 采用分离器件模式搭建电压采集电路，打破市场广泛使用电压采集芯片模式，实现技术突破。在大幅缩减开发成本的同时，保证精确的检测误差，实现高性价比、高精度的电压检测模式。

(2) 研究动力磷酸铁锂电池工作原理及充放电特性，以及基于动力磷酸铁锂电池充、放电模型特性的 SOC 估算算法。

(3) 对每一个单体电池的电压进行监测，较大的提高车载电池的检测精度。对每个回路的电池作独立的 SOC 估算，准确的计算出电池在充电过程中还可储存的电量与放电过程中的剩余电量，并计算出电池组的 SOH，提供电池的健康状态。

(4) 监控车载电池在充放电过程中的充放电电流、电压、SOC、温度等信

息,使之安全可靠的进行充放电。

本系统的创新点包括:采用分离器件模式搭建电压采集电路,实现技术突破。并融合了多种 SOC 估算方法的特点,提出了电池组 SOC 的估算方案,为本课题的系统设计提供了理论基础。

1.4 本文结构

根据课题的研究内容与研究目标,本文共分为 6 个章节:

第一章绪论,主要讲述了本课题的选题背景与意义、国内外的研究现状以及本课题的主要研究内容与研究目标。

第二章磷酸铁锂电池原理特性分析,详细分析了磷酸铁锂电池的基本工作原理、结构和主要技术参数以及影响磷酸铁锂电池性能的主要因素,并且分析了磷酸铁锂电池作为车载电池使用时的安全性因素,确保车载电池的使用安全。

第三章电池管理系统研究,主要针对电池的 SOC 估算、状态检测、热管理、绝缘检测、充电模式以及通信方式的设计研究,确定本课题的系统设计方案。

第四章系统硬件设计,介绍了系统的整体设计,以及主控模块、分控模块与电池检测模块的硬件设计。通过硬件设计主要实现了电池组充放电、电流检测、电压检测、温度检测以及模块通信等功能。

第五章系统软件设计,设计系统中各个模块的工作流程与逻辑,以及针对本系统研究设计一套 CAN 通讯软件,并介绍其功能与使用方法。

第六章系统测试实验,通过设计好的硬件与软件进行模拟实验和上车测试实验,主要测试系统的 SOC 估算、采集电压、采集电流的准确性,以及各个模块之间的通信状态与功能等。

第 2 章 磷酸铁锂电池原理特性分析

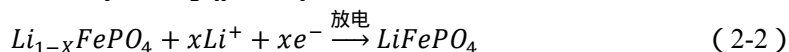
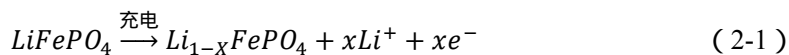
经过上文各个电池之间的比较,本系统最终选用磷酸铁锂电池作为车载电池。磷酸铁锂电池具有较长的循环使用寿命、安全稳定性高、单体电池电压高、无记忆效应、充电快、自放电率小等优点。

2.1 磷酸铁锂电池的基本原理

2.1.1 磷酸铁锂电池的工作原理

磷酸铁锂电池和其他锂电池一样都是分别用两个可逆的锂离子化合物作为电池的正负极。在电池的充放电过程中,电池的阴阳两极分别将自己的锂原子进行电离,生成锂离子和电子,最终生成的锂离子将向另一极迁移,并且与另一极的电子结合生成锂原子(陈京才,2010)。充电时阴极发生电离,反之,阳极发生电离。就这样锂离子不断的从阴极到阳极,阳极到阴极运动结合生成锂原子,完成电池的充电与放电,正负极充放电反应式如(2-1)(2-2)(2-3)(2-4)所示:

正极反应:



负极反应:



通过正负极反应式可以清楚的知道当电池在充电的时候,电池正极将会产生电离反应产生锂离子,并运动到电池负极进行新的化学反应。而负极材料的主要成分为碳,因此在负极上会有许多细小的微孔,从正极运动过来的锂离子将会依附在这些微孔中(刘浩,2010;司康,2012a),若充电电量越多,则代表依附在微孔中的锂离子数量越大。同理,当电池放电时,锂离子又将从微孔中挣脱出来返回到正极,若放电电量越多,则代表向正极返回的锂离子数量越大。在充放电过程中,磷酸铁锂电池内的锂一直以离子形式存在,不存在其他的形式,因此被称为锂离子电池。并且锂离子总是在电池两极往返运动,因而也叫做“摇椅式电池”(黄业伟,2014)。

2.1.2 磷酸铁锂电池的结构

磷酸铁锂电池结构主要由几部分构成，分别为阳极、阴极、电解液、隔膜和外壳（杨君，2011）。

阳极：主要成分为磷酸铁锂。充电过程，锂变为锂离子，挣脱阳极运动到阴极。

阴极：由碳（石墨）作为材料。放电过程，锂离子将会在阴极材料中挣脱，回归到阳极。

电解液：采用碳酸乙烯酯、碳酸丙烯酯、碳酸二乙酯等溶剂混合组成。它在电池中的作用是不可忽视的，它担任着电池在充放电过程中的锂离子运输工作。并且电解液的好坏决定着电池的容量、循环寿命、安全性能和工作温度范围等等。

隔膜：隔膜由三层组成，分别为 PP、PE 和 PP（邹金校，2017）。它拥有较高的密度不易被穿透，并且较容易熔化。它在电池中主要的工作就是将电池的两极分隔，并且隔膜只允许离子通过，电子不能通过。

外壳：选用铝制品，能够有效的避免爆炸和具备断电性能。

2.1.3 磷酸铁锂电池的主要技术参数

额定容量：额定容量指的是电池的容量大小，代表电池在生产过程中，确定电池在一些限制规则下，可以达到的最小容量（邹金校，2017），它的常用单位为 Ah 和 mAh。电池的额定容量也决定着电池的体积大小和充放电电流的限制大小。若需要大容量电池，可将多个电池并联使用，增大电池组的容量，比如两个 20Ah 的电池并联就能得到一个 40Ah 的电池组。

电压：电压是电池的一个最基本的参数，是可用于直接测量的物理参数，是判断电池使用性能的重要指标。测量电池的电压就是测量电池的正极与负极的电压差，也就是电池内部的所有电压和，单位为 V。电池的电压大小直接决定电池的输出能力，电压越高，输出能力就越强。如需要大电压的电池，则可以将多个电池串联使用 增大电池组的总电压值 比如两个 3.6V 的电池串联就能得到 7.2V 的电池组。

内阻：内阻顾名思义为电池内部的电阻，单位为 $m\Omega$ 。电池的内阻是越小越好，内阻过大将会影响电池的输出能力，并加大电池自身的发热（罗玉涛 等，2012），存在一定的安全因素。

输出功率：输出功率是指电池的放电电压和放电电流之积，单位为 kW。

充放电倍率：充放电倍率指的是充放电电流与额定容量的比值，单位为 C。比如有一个 200mAh 的电池，以 50mAh 的电流进行充放电，那么充放电倍率就

为 0.25C。

2.2 磷酸铁锂电池性能影响的主要因素

(1) 电压

电压是电池在使用过程中影响电池性能的主要因素之一,电池电压是不允许超过上限电压或下限电压的。若电池电压超过了上限电压,电池内部反应将产生大量的热量,热量过多将严重影响电池的稳定性,并伴有热失控的危险。在电池充放电过程中,将会限制一个最大和最小的电池电压,如果电池电压超过了限制值,则从电池阳极发生电离生成的锂离子数量将超出稳定值,在破坏电池结构的同时运动到电池的阴极,使阴极的锂离子数量过多而不能完全被吸收,导致阴极表面存在一定的锂离子,这将可能形成电池的热失控和发生内部短路的情况。同样,如果电池电压比限制值更低,则会导致阴极中的材料将会被破坏溶解,当下一次充电时,这些物质运动到正极将可能引发漏液和电池内部短路,存在一定的危险性。因此电池电压在充放电过程中需要进行有效的监控,百分百保证每一个单体电池电压都在安全的电压范围内,并且电池在长时间过放电后,则不能再继续使用。

(2) 电流

磷酸铁锂电池的充放电电流具有一定的限制,无论是充电还是放电,电池电流都不允许超过设定的充放电电流范围。磷酸铁锂电池内部本身存在内阻,如果充放电电流过大,内部工作增多,导致电池自身反应产生出过多的热量(王通,2017),热量过多将严重影响电池稳定性,容易发生热失控的危险。并且充放电电流过大将会引起电池的极化反应,极化电压将会明显增加(罗玉涛等,2012),这是因为电池内部正负极对锂离子的吸收和锂离子对正负极的挣脱能力有限,电流过大,但电池能力有限,这就将引起电压提前到达截止电压,但是实际上电池实际容量并未达到,则导致电池容量减小,利用率降低,甚至是引起电池漏液或内部短路,影响电池的使用安全。因此在充放电过程中,对电流也应进行实时监控,禁止充放电电流超过最大允许电流,保证电池的使用效率与安全。

(3) 温度

温度也是电池在使用过程中影响电池性能的主要因素之一。若温度过高,电池的使用效率增大,电池内部的活性增加,使电池能更好的发挥它的能量与效率。但是温度过高,电池的使用就存在一定的危险性,并且使用寿命也将大大减小(刘玉丛,2013;王通,2017),特别是电池长时间处于温度过高的情况下。相反,若温度过低,电池内部的活性将明显降低,吸附和挣脱的锂离子数量减少,电池内部的电阻和极化电压增大,导致电池非常容易达到限制电压,因此电池的充放

电能力将减弱,最终出现电池的使用效率变弱和实际可用容量减少的情况(吴红杰等,2013)。因此为保证电池的使用性能,在充放电过程中对温度的监控也是必不可少的。

2.3 车载磷酸铁锂电池的安全性

磷酸铁锂电池的安全性问题大多归结为由热失控引发的,因为磷酸铁锂电池内部使用的电解液是有机溶剂,因此电池的熔点、沸点与闪点都降低了,并且具有可燃性等问题。这些问题就将是危害电池安全的主要原因,因此电池的热失控是引发电池安全问题的导火索。而容易引发电池热失控的原因主要有过充、过放、过电流、过温。

(1) 过充

在电池充电过程中,当电池单体电压已达到设定的最高电压值,还继续向电池充电,就属于过充电。因为电池箱中电池的数量是较多的,如果其中一两个单体电池电压已经达到了上限电压,但是检测总电压检测不到,认为电池还没达到上限电压,继续充电,就非常容易造成电池的过充电。电池电压达到上限电压后,电池的阳极反应中,挣脱出来的锂离子数量将大量减少,因此电池的正极电压就将发生极化,若电压持续增加,电解液就可能分解为惰性物质,并产生出热量(史万莉等,2014)。这些物质将会妨碍锂离子在电池正负极的吸附与挣脱,因此将会加大电池的内阻,再充电便会产生热量。又由于从正极挣脱的锂离子数量过多,不能完全地嵌入电池的负极,便在负极沉积下来,将容易引发电池内部的短路并产生大量的热量。产生的热量增多后将造成电池的热稳定性减弱,容易发生电池热失控的危险,并且正负极之间的反应达不到平衡,将损害电池的可用容量,使得电池容量减少(刘斐,2012)。为避免过充电发生,在充放电过程中对电池电压的监控是必不可少的,能够有效避免电池发生过充电的情况。

(2) 过放

在电池放电过程中,当电池单体电压已达到设定的最低电压值,还继续向外部放电,就属于电池的过放电。同样因为电池箱中电池的数量较多,其中一两个单体电池电压已经达到了下限电压,但是检测总电压检测不到,认为电池还没达到下限电压,再持续进行放电,则非常容易发生过放电的情况。因为在放电过程中,负极的锂离子将会挣脱出来,当电池电压达到下限电压,负极中的锂离子也挣脱完毕,再向外部放电,则将分解电池负极中的材料,负极极化电压变大,并对电池可用容量造成损害。再次向电池充电时,就容易引起电池漏液或内部短路,造成极大的危险。因此为避免过放电发生,在充放电过程中对电池电压的监控是必不可少的,能够有效避免电池发生过放电的情况。

(3) 过电流

电池在充放电的过程中若长时间处于过电流的状态下,容易导致电池热失控的危险。电池出现过电流的情况主要是工作环境温度低、内部短路、电池老化和电池的不一致性。电池在温度较低的环境下进行充放电工作时,由于电池的活性性能下降,导电性减弱,从磷酸铁锂电池的阴极中吸附和挣脱出来的锂离子数量也将大量减少,引起磷酸铁锂电池的极化电压和内部电阻变大,电池内部可承受的电流将越小,从而引发过电流的情况发生;当电池的内部发生短路时,将会引起电池内部的电流增加,从而引发过电流的情况;电池在长时间使用过后出现的电池老化、性能下降,电池的所有指标参数将达不到最先的要求(Junfu Li et al, 2016),但外部仍然按照原先的标准进行充放电时,将容易引发过电流的情况发生;还有因为整车中电池数量较多,大多都是采用先并后串的方式,因为单体电池之间的不一致性,当电池间差异较大时,电池上的充放电电流就可能大于某些电池本身允许的最大充放电电流,从而引发过电流的情况。

针对上述几点,为有效防止过电流的发生,应该从电池在低温环境下充放电的情况、电池健康状态(SOH)的评价和电池的一致性来进行管理。针对电池在低温环境下的工作,应该要有有效的管理电池的充放电限制,严格监控电池的充放电状态,使电池在充放电过程中的电流不会超过电池的限制电流,从而控制电池过电流的情况发生,提高电池的使用安全性。电池在长时间使用后,需针对电池给出它的健康状态(SOH)指标,将不符合要求的电池淘汰,不能再继续使用,使其危害电池组的使用安全性。

(4) 过温

上述几点都可能引发电池过温的情况,但除了上述几点以外引起电池过温的情况还有很多,比如:电池的热管理不理想或失效、电池的工作环境温度过高等等。因为电池在工作情况下自身将产生热量,再加上外部环境温度的影响,因此电池箱的散热和降温管理尤其重要。如果热管理不理想,电池箱中温度将会逐渐升高,电池长时间工作在温度过高的环境下,将可能引发热失控等一系列的危险。因此在对电池箱的热管理技术上提高以外,在充放电过程中对电池箱中温度的监控也是必不可少的,可以有效的防止电池过温的危险发生。

(5) 绝缘检测

因新能源电动车的整车电压相当的巨大,远远超过人体可承受的电压范围,因此为保证车上的人身安全,绝缘检测是必不可少的。因为引发电池箱与车辆底盘绝缘问题的原因有许多,例如:车辆的震动、遇水、炎热和灰尘等等。

2.4 本章小结

本章主要对磷酸铁锂电池原理特性进行研究分析。首先通过研究分析磷酸铁锂电池在充放电过程中产生的化学反应、磷酸铁锂电池的结构以及主要的技术参数三个方面，详细研究了磷酸铁锂电池的基本原理；然后分析了影响磷酸铁锂电池性能的三大因素：电压、电流与温度；最后研究分析了引发电池安全问题的主要原因包括过充、过放、过电流、过温和绝缘检测。

第 3 章 电池管理系统研究

电池管理系统功能包括：电池 SOC 监测、电池充放电监控、电池修复、电池应急处理等功能。本系统主要研究电池 SOC 监测与电池充放电监控功能。系统将分别从电池的 SOC 估算、电池的 SOH 估算、电池的状态检测、电池的热管理和绝缘检测以及电池的充电模式与通信方式等方面进行研究。

3.1 电池 SOC 的估算

3.1.1 SOC 估算的意义

对于新能源汽车来说，SOC、SOH 两项指标是反映新能源汽车中电池的剩余容量与健康状态。SOC 是代表电池的剩余容量与电池恒流充放电时具有的额定容量的比值（侯幽明 等，2011；Bo Ning et al，2014），监控 SOC 可以有效的防止电池的过充与过放，并且可以科学的对电池进行管理使用，增加电池的循环使用次数。SOH 是代表当检测到 SOC 为 100%时电池的实际容量与额定容量的比值，监控 SOH 可以有效的获取电池的健康状态（何正莲，2017），清楚的知道电池的使用情况，在电池的 SOH 不足以达到使用标准时，及时的将不合格的电池替换淘汰，保证整个电池组的健康运行，避免不安全的情况发生。

准确的计算电池的 SOC 可以有效的保护电池、提高整车的性能、充分发挥电池的使用效率（李琳辉，2013；Zhongan Yu et al，2014）。由于过充电和过放电都将对电池造成较大的伤害，减短它的使用寿命，因此准确的估算 SOC，能够科学的避免过充电与过放电的发生，将充放电过程控制在电池电压安全的范围内，保证电池的安全使用（Gaopeng Li et al，2016）；有了准确的 SOC 做参考，可以不必担心电池的过充电与过放电而选用能量更大的电池或缩小电池电压的可用范围，不必再担心损失电池的使用效率，可以完全的发挥出电池的最大能量，提高整车的性能和减少电池的成本；并且有了准确的 SOC 做参考，可以科学的判断车辆还可行驶的距离，及时的为车辆进行充电和维护，减少因能量耗尽车辆停在路上的情况。并且估算电池的健康状态（SOH）是与 SOC 密不可分的，由此可见，准确的估算 SOC 是非常有必要的。

3.1.2 SOC 估算的难点

SOC 估算对于电池使用相当重要，但是由于无法直接对 SOC 进行测量（Jinzhi Zhou et al，2014），只能经过电池的充放电电流、电池电压以及电池内

部本身存在的电阻等参数进行计算。想要准确的测量 SOC，电池内部与外部存在许多因素的影响，比如电池的使用环境温度、电池的老化情况、电池自身的内部电阻和自放电率等等（孙骏 等，2011；杜政平等，2014）。

（1）电池的使用环境温度会影响电池内部活性物质的化学反应。温度过高，电池内部的活性物质能够很快的产生反应，因而在电池工作时可以快速产生反应放出电量，提高电池的使用效率，但同时在充电时由于内部反应过快，会使电池电压升高过快，达到电池的充电上限电压结束充电，电池不能达到完全充电的效果，导致电池的充电效果不理想。反之，当温度过低时，电池中的活性物质将会反应迟缓，对电池的放电产生影响，不能充分的利用电池的能量，同样在充电时，由于活性降低，电池内部的电阻与极化电压升高，使之电池更容易达到截止电压结束充电，达不到一个好的充电效果。

（2）电池的老化情况会影响着电池的容量，随着电池的使用次数变多，电池自身的可用容量也将会减少。电池的充放电效果也将逐渐减弱，严重影响着电池的使用效率。

（3）电池的内部电阻大小会直接影响电池电压，若电池的内部电阻过大，会使电池在充电时过早的达到截止电压而结束充电（张庆 等，2008），电池内部的可用容量并未达到要求，电池内部存在大量的虚电，将严重影响电池的使用。

（4）自放电率是电池自身的一个参数指标，选用电池时就应选用自放电率小的电池。自放电率越高则电池在空置的情况下流失的电量越多，下次使用电池时就会造成电池的可用容量下降，影响 SOC 的计算。

3.1.3 现有 SOC 估算方法

精确的估算 SOC 能够合理的提高车辆运行的安全性和电池的使用效率，但电池在运行时所呈现的高度非线性对精确估算 SOC 造成了相当大的困难（Haifeng Dai et al, 2012），因此科学的选取估算 SOC 的方法尤其重要。流行的估算 SOC 的方法有以下几种：安时计量法、开路电压法、电池内阻法、负载电压法、卡尔曼滤波法和神经网络法（田甜 等，2012）。

（1）安时计量法

安时计量法又叫安时积分法，是一种常见又较为简单的方法。安时计量法只关心电池组的外部情况，针对电池组的输入与输出电量计算系统的 SOC。系统通过安时积分法对电池组的输入与输出的电量进行实时计算，经过一定时间的实时测量，最后估算出在当前时刻电池的剩余电量与 SOC（孙骏 等，2011）。计算公式如（3-1）所示：

$$SOC_k = SOC_{k-1} + \int_{k-1}^k \eta * i(t) dt / Q_N \quad (3-1)$$

式中 η 为充放电倍率, Q_N 为电池组的额定容量, k 为当前时刻, $i(t)$ 为 $k-1$ 到 k 时刻从电池组中输入或输出的电流, 经过积分和充放电倍率修正就可得到当前时刻输入或输出的电量, 再将得到电量与额定容量相比, 最后将得出的比值与上一状态的 SOC 相加或相减 (充电相加、放电相减) 得出当前的 SOC。

安时计量法虽然简单方便、便于计算, 但是在实际应用中, 存在着精度不准的问题。计算方法中当前时刻的电流检测要求精准, 要是电流的波动较大, 不能准确的采集则会造成较大的误差。因此在采集电流时应加上霍尔传感器准确采集电流。另外, 安时计量法又因为忽略了电池内部的因素, 因此达不到非常好的精度测量, 经过长时间的测量, 本身存在的累计误差将会逐渐增大(司康, 2012b), 并且此方法的初始值不好确定, 因此单独使用此方法得不到一个准确的 SOC。

(2) 开路电压法

开路电压法是所有计算 SOC 方法中最简单的方法, 该方法主要是根据电池组的开路电压 (OCV) 进行 SOC 的估算。在使用前需得出电池在不同的开路电压情况下所对应的 SOC, 将电池充满电后静置一小时以上, 再以相同的放电倍率进行放电至截止电压, 再测量得到 OCV 与 SOC 之间的对应关系。后期使用电池时就可以在使用过程中通过电池的开路电压得出电池组的 SOC。但是由于该方法的测量条件苛刻, 想要准确得到 OCV 与 SOC, 需要将电池组充分静置一小时以上, 以便于获得稳定的电池电压。并且电池在长时间的使用情况下, 电池的老化程度不同和电池的使用环境不同, 都会造成不同的 OCV 与 SOC 之间的关系 (张松, 2017)。因此, 开路电压法并不能长期准确的测量出 SOC, 并且开路电压法不适合电池在工作的状态下进行测量。但是, 开路电压法在充放电的开始和结束时都能较准确的估算出 SOC, 因此可以将安时计量法和开路电压法同时使用 (黄捷, 2012), 得到更为准确的 SOC。

(3) 电池内阻法

电池内阻法分为测量电池交流内阻与电池直流内阻, 上述两种内阻都与 SOC 有着密不可分的关系。测量电池的交流内阻主要通过外部对电池加以不同频率的交流电进行测量, 最终得到电池的交流内阻, 并分别与电池的总电压值相比较, 得出一个交流内阻与 SOC 之间的关系。下一次测量时, 就可通过先前得到的关系测得 SOC。直流内阻主要通过在规定时间内测量电池的电压和电流的变化量, 再求得两项的比值则可得到电池的直流内阻 (黄捷, 2012)。

但是测量交流内阻和直流内阻来估算电池 SOC 都存在着不稳定关系的问题。首先, 电池的交流内阻受外界影响较大, 特别是外界温度、电池静置时间、电池的充放电状态等因素, 因此电池的交流内阻与电池 SOC 存在不唯一的联系, 从而找不到一个精确的数学关系来确定两者的联系, 若用电池交流内阻来估算电池 SOC 可能会造成相当大的误差。测量直流电阻时, 因为不易确定计算时间段而

将导致测量的误差,并且这计算时间段难以控制,若时间过短则内阻测量不完全,时间过长测得的内阻又太复杂,因此想要准确的测得电池的直流内阻存在较大的困难(司康,2012b)。综上所述,用电池内阻法估算 SOC 不能得到一个准确值,可能存在较大的误差。

(4) 卡尔曼滤波法

卡尔曼滤波法主要是对复杂的动力系统根据最小均方差的原则做出最优化的估计。在用于估算电池 SOC 方面上,将电池和 SOC 分别看作为系统与系统中的状态(杜政平等,2014)。在针对电池这个非线性的动态系统来说,此方法是可以将电池的非线性转化为线性的状态空间模型(冯勇,2010)。在实际运算中将参照上一次时刻的计算值和当前的测量值从新计算系统中所需要得到的状态变量,并将系统中随机误差和干扰信号净化。卡尔曼滤波法针对电池模型的表达式如(3-2)(3-3)所示:

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + w_k = f(x_k, u_k) + w_k \quad (3-2)$$

$$y_k = c_k x_k + v_k = g(x_k, u_k) + v_k \quad (3-3)$$

式中 x_k 为系统的状态量 SOC, y_k 为电池的工作电压, u_k 为电池电流、温度、内阻等变量, $f(x_k, u_k)$ 和 $g(x_k, u_k)$ 为电池模型的非线性方程。再通过协方差矩阵给出估计误差以递归方程估算出 SOC, 公式如(3-4)所示:

$$SOC_{k+1} = SOC_k - \eta(i_k) i_k \Delta t / C \quad (3-4)$$

式中 k 为当前时刻, η 为充放电倍率, i_k 为电流, C 为电池容量。

卡尔曼滤波法不但可以重新计算系统的初始值,还可以充分的压制高斯噪声,因此在估算新能源电动车电池的 SOC 方面有着重要的作用(Atsushi et al, 2014)。但是卡尔曼滤波估算 SOC 是基于电池模型的建立,而电池模型的建立本身就是不精确的,电池本身运行就是高度非线性的,需要通过卡尔曼滤波将非线性化转化为线性化(Haifeng Dai et al, 2012),如果模型建立不够准确,那么估算的 SOC 则将产生偏差(黄耀波等,2013;于仲安等,2014)。并且卡尔曼滤波算法相比较其他方法较为复杂,需计算的东西较多,所花时间也更长,因此要实现实时性监控电池 SOC,则需要运算速度足够快的 CPU(于仲安等,2014)。

(5) 神经网络法

神经网络法是一个先进科学的新型算法,它是模拟人类大脑以及神经元来处理电池这个非线性的动态系统。它可以不用去考虑电池的内部结构,只需要向其提供大量的参考数据学习,最后就能通过提供的电池信息估算出电池的 SOC。该方法使用简单,不用考虑过多的因素而造成的误差,又能快速的监控电池的 SOC,是一个简单方便快捷的方法。但是此方法有着相当大的使用难度,因为使用神经网络法前期需提供大量的有效数据供它学习,因此提供的参考数据需保证

精确，并学习的方法也需保证合理（孙骏 等，2011；黄耀波 等，2013），否则学习得出的 SOC 同样会存在一定的误差。并且受电池本身的老化程度与外界的工作温度等因素的影响，若一直使用该方法估算电池 SOC，也将会产生一定的误差。因此要使用该方法估算电池的 SOC，还存在着一定的问题。

3.1.4 电池组 SOC 估算方案

通过上一节的分析，可知单用一种方法估算 SOC 并不能得到一个精确的数值，任何一种估算方式都存在不足，不能单独在实际应用中进行实时估算，因此需要考虑实际状况选用多种方法估算 SOC，为系统实际应用提供强有力的保证。在本系统中使用安时计量法与开路电压法估算 SOC，在实时应用中采用安时积分法测得实时动态中的 SOC，并利用开路电压法在充放电的开始和结束时能较准确的估算出 SOC 的优点，使系统在几个特定值中采用开路电压法修正安时积分法的累计误差，得到一个准确的 SOC。在新能源电动车中，电池在实际的运行中，SOC 的最大值可以达到 100%，最小值低至 0%。在足够大的范围内，为系统采用开路电压法设置修正点修正 SOC 提供了很好的条件。又因为系统采用的磷酸铁锂电池的充放电容量效率可以达到 99%以上，因此可以不用考虑电池自身效率的影响。因此采用安时计量法计算实时状态的 SOC，再用开路电压法在特定点修正安时计量法产生的累计误差得到 SOC，在理论上是可以得到一个较为准确的 SOC 估算值。

(1) 充放电容量的变化计算

由上述安时计量法计算当前时刻的 SOC 值的公式可以得出，当前时刻充放电情况下电池的容量变化公式如（3-5）所示：

$$\Delta Q = \int_{t_1}^{t_2} \eta * i(t) dt \quad (3-5)$$

因为磷酸铁锂电池可以不用考虑电池自身充放电容量效率 η 的影响，因此电池容量变化公式为（3-6）：

$$\Delta Q = \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt \quad (3-6)$$

通过上述公式可以实时的测量出电池在充放电过程中的容量变化，再结合公式（3-1）计算出当前时刻系统的 SOC 值。

(2) 电池 OCV 与 SOC 关系的获取

由于单独使用安时计量法测算系统电池 SOC 时，会随时间的增加而产生较大的累积误差，又因为除了累积误差，电池还存在着自放电的情况，因此系统电池的 SOC 的误差就将逐渐增大，所以则需要开路电压法定期的修正电池的 SOC，减小误差提高精确度。针对车辆电池系统来说，可以实时得到电池的单体电压、充放电电流与电池的温度等参数，因为只有电池开路电压和 SOC 可以得到一个

稳定的关系，并且要用开路电压法最重要的则是获取电池的开路电压（OCV）与电池 SOC 之间的关系。测量电池的开路电压主要通过测量电池组的端电压 $U_0=U_{ocv}\pm U_R\pm U_P$ ，其中 U_0 为端电压可直接测量得到， U_{ocv} 为 OCV， U_R 为欧姆压降， U_P 为极化电压。测量电池 OCV 是考虑无电流测量，在无电流时 U_R 欧姆压降为零，因此可以不考虑 U_R 欧姆压降对开路电压造成的影响。但是 U_P 极化电压是没法快速消除的，它与电池的工作、电池内部的反应有着直接的关系，因此需要消除极化电压最好的方法就是将电池充分静置 1-2 小时后再测量电池的 OCV。消除欧姆压降与极化电压产生的干扰后，就可将电池组的端电压近似等于电池的 OCV，最终获得与电池 SOC 之间的关系。

（3）SOC 修正点的选取

经过上面分析，在车辆运行停止后搁置 2 小时后采用开路电压法修正可以得到一个非常好的修正效果，因此在车辆停止使用 2 小时以上，再次启动时进行一次修正。另根据得到的电池 OCV 与 SOC 之间的关系可以得出 SOC 在 30% 以下和 70% 以上时，电池的 OCV 变化较大，而在 30%~70% 范围内，电池 OCV 的变化相对平稳。因此 SOC 在 30% 以下和 70% 以上的范围可能导致的误差将会较大，所以 SOC 的修正点应选在这范围内，效果将会更好。根据多次实验分析，确定除了车辆充分静置后启动时修正 SOC 以外，再在放电过程中检测电池组中最低的单体电池电压，确定 5 个低电压校准点，分别为 3.110V、3.070V、3.0V、2.92V 与 2.80V。

（4）SOC 估算

SOC 估算分为两大部分，一部分为使用安时计量法在车辆运行时实时估算电池 SOC，经过霍尔传感器检测电流，再与时间积分得到当前时刻电池容量的变化量，再基于上一时刻的 SOC 计算出当前时刻的 SOC，并保存。另一部分就采用 SOC 的修正点修正采用安时计量法估算 SOC 所产生的误差，首先在车辆充分停止运行 2 小时后，再次启动时获取电池的 OCV，经过得到的 OCV 与 SOC 之间的关系，得出当前时刻的 SOC，并保存。此修正不仅可以修正安时计量法所产生的累积误差，还可以消除电池本身自放电所带来的影响。然后在车辆放电过程中，检测设置好的 5 个低电压校准点，当电池组最低单体电池电压达到校准点后 45 秒后开始强制校准 SOC。校准规则分别为：最低单体电池电压低于 3.110V 超过 45 秒，若 SOC 大于 30%，则强制将 SOC 最大值设置为 30%；最低单体电池电压低于 3.070V 超过 45 秒，SOC 最大值设置为 20%；最低单体电池电压低于 3.0V 超过 45 秒，SOC 最大值设置为 10%；最低单体电池电压低于 2.92V 超过 45 秒，SOC 最大值设置为 5%；最低单体电池电压低于 2.80V 超过 45 秒，SOC 最大值设置为 1%，并停止放电。

3.2 电池状态检测

3.2.1 电池状态检测的必要性

新能源电动车的电池状态检测对于车辆的电池运行安全有着重要的作用,检测电池状态除了 SOC 的估算,还有电池的各项参数,主要包括:电池的总电压、最高电压、最低电压、最大压差、最高温度、最低温度、最大温差以及充放电电流。检测电池的各项参数实时的反馈给汽车驾驶员,驾驶员可通过各项参数知道电池的运行情况,有无报警信息(Nameless, 2011)。在电池运行状态产生异常时能够及时的进行处理,有效地避免发生车辆安全问题。因此对电池状态的检测是必不可少,非常重要的。

3.2.2 电池状态检测的方案

电池状态检测并产生报警,报警可分为 3 个等级,不同程度提示不同程度的报警,并采取不同的操作控制(1 级报警为最高报警,3 级报警为最低报警)。

电池状态的检测主要分为以下内容:

电池总电压:当检测到电池总电压超过了上限电压将产生总压过高报警,若产生总压过高 1 级报警将停止充电;电池总电压低于下限电压将产生总压过低报警,若产生总压过低 1 级报警将停止放电,车辆不允许在运行。

最高单体电压:电池检测电压将检测出各个单体电池的电压,并比较出电池组中的最高单体电压,若最高单体电压超过 3.65V 将断开电池与充电机的连接,中断充电过程,SOC 置 100%并计算 SOH。

最低单体电压:电池检测电压将检测出各个单体电池的电压,并比较出电池组中的最低单体电压,若最低单体电压低于 2.80V 将停止放电,SOC 置 1%。

最大压差:电池检测到电池组的最高单体电压和最低电池电压,可计算得出电池组的最大压差,并判断是否产生报警。若压差过大,则需要检查是否有电池损坏或检测电压值出错。

最高温度:通过设置温度传感器检测电池箱中的温度,并比较出电池组中的最高温度。充电时,最高温度不能超过 45^{°C};放电时,最高温度不能大于 80^{°C}。否则产生高温报警,停止电池的工作,以免发生安全问题。

最低温度:通过设置温度传感器检测电池箱中的温度,并比较出电池组中的最低温度。充电时,最低温度不允许低于 0^{°C};放电时,最低温度不允许低于-20^{°C}。否则产生低温报警,停止电池工作,以免损伤电池寿命。

最大温差:通过电池箱中的温度传感器检测出的最高温度与最低温度,计算

出电池箱中的最大温差，并判断是否产生报警。避免电池箱中部分电池受损而损害整个电池箱，甚至影响整车的安全问题。

充放电电流：电池的充放电电流有一定的范围，若电池充放电电流过大将会损害电池并危害车辆安全。若充电电流过大，会使电池内部反应加快，电池内部将会变的十分不稳定，长时间使用过大的电流进行充电，不仅会损害电池寿命，甚至会产生电池爆炸而发生安全问题；若放电电流过大，同样对电池和车辆来说都是非常危险的。因此当检测到充放电电流过大时，将产生报警，并切断电池组与车辆或充电机的连接，使电池停止工作，以免发生危险。

3.3 电池的热管理

3.3.1 热管理的必要性

经过上文的分析，可以知道，电池的工作性能与电池的运行环境温度有一定的关系。若电池的工作温度过高，会导致电池的活性增加，使用效率增大，使电池更好的发挥它的能量与效率。同时，电池若长时间在较高的温度下工作，将会对电池的使用寿命造成损害 (Gi-Heon Kim et al, 2007)，并存在一定的危险性。因为电池在工作中自身将散发出热量，加上外部环境的温度，因此电池箱的散热和降温管理尤其重要。如果热管理不理想，电池箱中温度将会逐渐升高，可能引发热失控等一系列的危险。因此在电池的工作环境温度过高时，需要通过外界对电池进行散热，散热方式主要为风冷和水冷，有效的防止电池过温的危险发生(杨志刚等，2011)；若电池的工作温度过低，电池内部的活性将明显降低，在电池两极上吸附和挣脱的锂离子数量降低，电池内部的电阻和极化电压增大，导致电池非常容易达到截止电压，因此电池的充放电能力将减弱，最终出现电池的使用效率变弱和实际可用容量减少的情况。因此检测到温度过低时，系统将以低电流进行充电，以免损伤电池。综上所述，科学合理的进行热管理是非常有必要的。

3.3.2 热管理的方案

温度过高或过低都会不同程度的对电池的性能产生损害，并且电池长时间工作在温度过高的环境下，不仅会加速电池的老化，甚至还可能会引发车辆的安全问题，因此电池组的工作温度环境需要可控在一定的温度范围内。对于系统选用的磷酸铁锂电池，充电时，它的工作温度最低为 0℃，最高为 45℃；放电时，工作温度最低为-20℃，最高为 80℃。因此通过系统的控制检测，把电池组的温度限制在满足要求的温度区间内。

对于温度过高的控制方案,本系统选用风机降温方案。首先通过检测模块实时检测电池箱中的温度,当检测到电池箱中的最高温度达到了预先设置的开启风机值,则开启风机对电池进行降温,直到温度下降到设置的正常范围内再关闭风机降温。若电池箱中的温度一直上升到设置的故障值时,在开启风机降温工作的同时停止电池的工作,以免电池温度过高而发生危险。

在电池低温的环境下,电池活性减弱,电池内部化学反应能力减弱,则不能使用大电流进行充电,避免因大电流充电时,电池温度升高从而引发热失控的危险。针对这一问题,通过检测模块检测电池温度返回的数据判断电池是否属于低温充电状态,若温度过低,则向系统发出小电流充电指令,避免低温环境下进行大电流充电而产生热失控危险。又因为在温度较低的环境下进行充电,由于电池内阻的增加而散发出大量热量,所以在充电的同时实时检测电池的温度,当温度恢复至正常范围内,充电电流则可以恢复到正常的充电电流。低温的放电过程由于本身就是一个放热过程,因此在低温的放电过程中可以不用去控制管理。

3.4 电池组的绝缘检测

3.4.1 绝缘检测的意义

因为引发电池箱与车辆底盘绝缘问题的原因有许多,例如:车辆的震动、遇水、炎热和灰尘等等。而新能源电动车的整车电压相当的巨大,电池组的电压一般都达到几百伏,对整车的电压系统提出了更大的挑战。车辆运行环境的恶劣,对车辆车身底盘和高电压电路之间的绝缘能力将会造成较大的影响,从而形成电流回路工作在车辆底盘,使底盘电位升高。不仅影响车辆本身设备的运行,还将危害着乘客的人身安全。因此针对车辆底盘与电池箱之间的绝缘检测是必不可少的。

3.4.2 绝缘检测的方案

由于新能源电动车检测车辆绝缘应在车辆运行前、电源空载的情况下进行检测,因此常用漏电流检测法则无法在系统上使用。导体与绝缘体最大的区别在于电阻,导体电阻小而绝缘体的电阻大,因此当车辆电池与底盘之间的绝缘性能下降后,其中的绝缘电阻将会降低,所以在新能源电动车系统中检测车辆的绝缘性能可通过检测车辆电池组正负极与车辆底盘之间的绝缘电阻来判断(冯雷等,2012;张俊等,2013),检测模型图如图3-1所示。

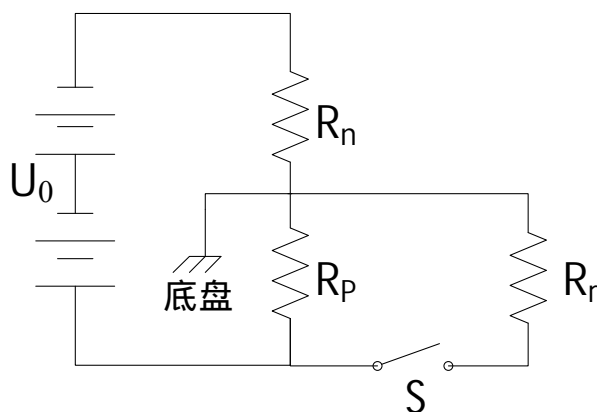


图 3-1 绝缘检测模型图

其中 U_0 为电池的总电压， R_p 、 R_n 分别为电池正极和负极与车辆底盘的绝缘电阻， R_r 为已知阻值的标准电阻。首先断开开关 S ，可以得到式 (3-7)

$$U_{p1}/R_p = U_{n1}/R_n \quad (3-7)$$

再闭合开关 S ，可以得到式 (3-8)

$$U_{p2}/R_p + U_{p2}/R_r = U_{n2}/R_n \quad (3-8)$$

由 (3-7) (3-8) 公式求解，可以得到式 (3-9) (3-10)

$$R_p = R_r * [(U_{p1} * U_{n2}) / (U_{p2} * U_{n1}) - 1] \quad (3-9)$$

$$R_n = R_r * [(U_{p1} * U_{n2}) - (U_{p2} * U_{n1})] / (U_{p1} * U_{p2}) \quad (3-10)$$

这样可以得到电池组正负极与车辆底盘之间的绝缘电阻 R_p 、 R_n 的大小，再根据绝缘电阻 R_p 、 R_n 的大小判断车辆的绝缘性能。

3.5 电池组的充电模式

对于任何新能源电动车而言，充电过程都是尤为重要的，它关系到电池能量的补给。电池充电模式的好坏决定着电池的充电效率、循环使用寿命以及充电过程中电池的安全情况。因此有一个科学、合理的充电模式是非常有必要的，它不仅能优化电池的使用效率，还可以保障充电过程中电池的安全。本系统完全遵照国家发布的《电动汽车非车载传导式充电机与电池管理系统之间的通信协议》标准，使电池管理系统与充电机相互配合完成充电过程，保证电池充电的安全、科学合理。电池充电时，不仅将电池的正负极与充电机相连，还加入了相互通信的通信线，便于相互传输电池状态信息与充电状态信息。电池管理系统主要实现了对单体电池电压的监测、电池温度监测、系统充放电电流监测以及 SOC 估算、绝缘检测和报警信息处理等工作。充电机主要通过由电池管理系统下发的信息指

令，通过电源电压的转换从而输出电压和电流，向电池进行充电并管理。

通过电池管理系统与充电机相连的充电模式，不仅保证了电池在充电过程中电池电压、电流以及温度等信息的科学管理，更保证了电池在充电过程中的安全性以及电池在使用效率上的提高与保证。他们之间的信息共享，大大的保证了充电的安全性，充电机可通过电池管理系统传输的指令，充分了解电池的状态信息，并采取相应的充电状态，有效的避免电池在充电过程中的过充、过电流、过温等安全问题的发生。此充电模式安全稳定、科学智能，符合国家要求，并且具有优秀的适应性，为今后新能源电动车的发展提供有利的保证。并且该充电模式通用与任何类型的电池，只需增加电池管理系统遵照国家发布的充电协议即可进行安全充电。

3.6 电池组的通信方式

3.6.1 RS-422 通信

RS-422 全称是平衡电压数字接口电路的电气特性，它通过包含信号地线在内的 5 根线接口电路的特性进行了定义。RS-422 通过差模方式传输，传输距离远，抗干扰能力强，拥有点对多的方式进行双向通信，设备间设置为一个主设备和多个从设备，从设备之间不允许相互通信。RS-422 的接收与发送通道是单向的，因此不用去考虑数据的传输方向，通过硬件方式或软件方式进行信号的交换。

在本系统中，分控模块与电压检测模块之间通过 RS-422 连接，电压检测模块由多个电压检测单元构成，各个检测单元之间也通过 RS-422 相连，最终将数据传回分控模块汇总处理。

3.6.2 CAN 通信

CAN 总线全称为控制器局域网络，是现如今使用最多的现场总线之一。在现今的汽车产业中，CAN 总线通信占据着绝对的优势，并形成了汽车网络的国家标准协议。CAN 总线分布式控制可以挂载多个设备，解决了汽车中多样的电子系统，减少了线束的数量，并且 CAN 总线的高效性和可靠性，汽车中的电子系统可实现实时处理的需求。

在新能源电动车中，主控模块、分控模块、绝缘检测模块以及整车控制系统都是通过 CAN 总线相互通信控制。因为 CAN 总线的快速通信和优质的可靠性，所以在本系统中，主要采用三条 CAN 线连接整个车载系统与 PC 机，分别为内 CAN、整车 CAN 与充电 CAN。通过内 CAN 连接主控模块与分控模块；整车

CAN 连接主控模块、绝缘检测模块以及整车控制器(VCU)和电机控制器(MCU)等其他车载系统；充电 CAN 连接主控模块与充电机，主要用于充电通讯检测。

3.7 本章小结

本章针对电池管理系统的核心问题进行研究，首先对电池组 SOC 估算的常用方法进行了深入研究，并融合了多种估算方法的特点，提出了电池组 SOC 的估算方案，为本课题的系统设计提供了理论支撑。其次分别研究分析了电池状态检测、热管理和绝缘检测的必要性以及解决方案，最后对本系统的充电模式与通信方式进行设计研究。

第 4 章 系统硬件设计

系统的硬件设计尤其重要,它直接关系到系统的检测准确性与系统控制的效果性能。因此想要实时的监控电池状态信息并达到精确的测量和保证系统的稳定性,就必须严格设计系统的硬件部分。

4.1 整体设计

新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统硬件部分主要分为主控模块、分控模块、电池检测模块和绝缘检测模块(绝缘检测方案上一章节已有分析,本章不再重复介绍)。由于新能源电动车上车载电池数量较多,因此系统主要是依靠多个电压检测单元组成的电压检测模块分别采集车载电池中的单体电压与温度。各个电压检测单元相互通过 RS422 通信线传输通信,并最终将所有的电压、温度采集信息传输至分控模块,再经分控模块检测电池充放电电流,结合电池检测模块传输回的电压和温度数据判断各个单体电池运行状况,再根据相应算法对电量不足的电池进行保护,在电池组工作状态异常时切断母线,计算电池剩余电量(SOC)和健康状态(SOH),并将这些信息发送给主控模块。主控模块接收来自分控模块和绝缘检测模块的数据并控制分控模块的工作模式;利用 CAN 总线向车载仪表系统传递信息并显示在车载仪表上。系统可以分别对电池箱中的各个单体电池进行实时监测,保证电池箱中每个电池都在正常工作,避免由于少数电池发生异常而影响整个电池系统,提高电池系统的使用寿命。为实现车载系统间相互正常通信,在 主控模块中设置三路 CAN 线,分别为整车 CAN、内 CAN 与充电 CAN。其中整车 CAN 主要连接主控模块、绝缘检测模块以及整车控制器(VCU)和电机控制器(MCU)等其他车载系统;内 CAN 连接主控模块与分控模块,相互传输检测指令与分析结果;充电 CAN 连接主控模块与充电机,主要用于充电通讯检测。另外,车载系统与电脑 PC 端的连接通信都通过 CAN 线传输,通过上位机实时监测车辆的状况,并可通过上位机对车载系统的参数进行修改与设置,新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统结构图如图 4-1 所示。

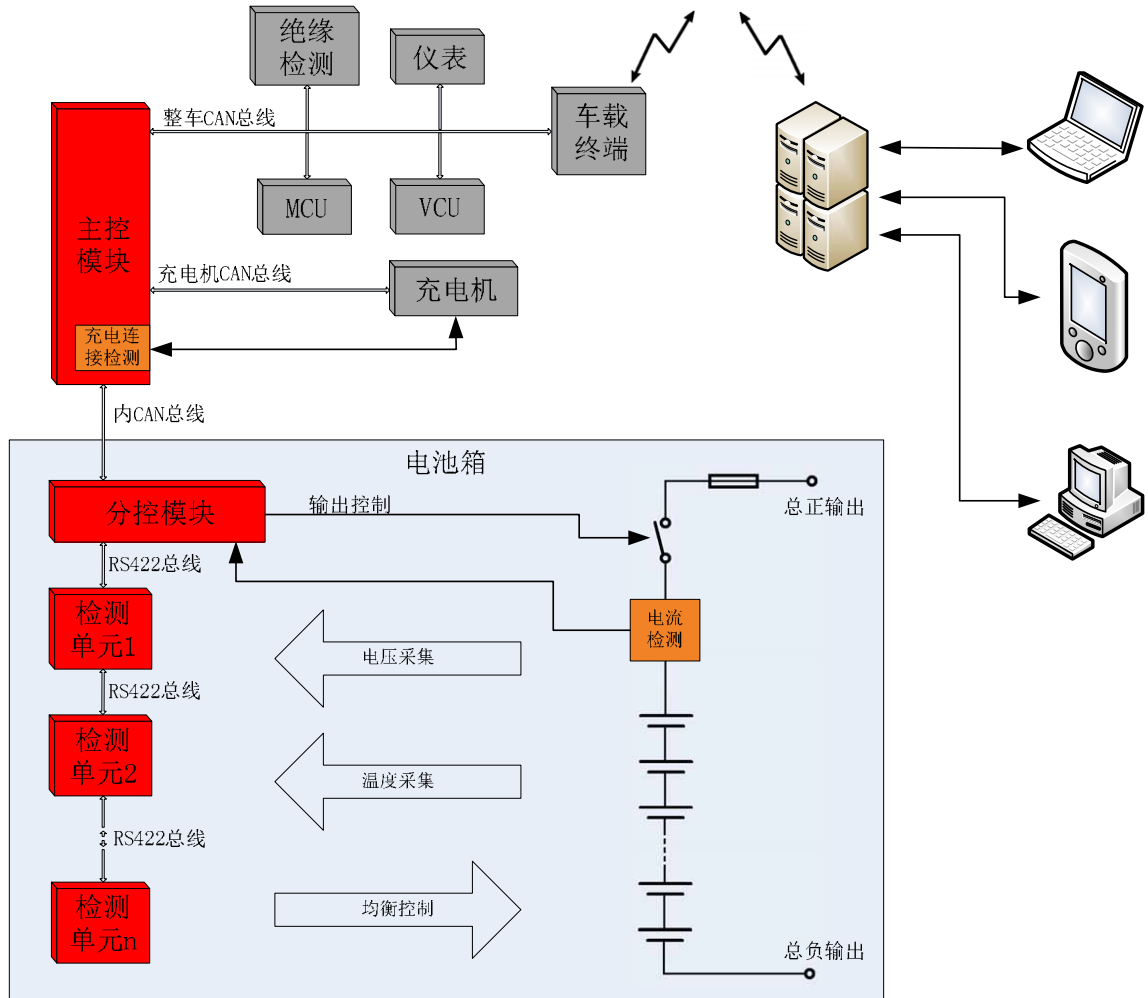


图 4-1 新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统结构图

4.2 主控模块硬件电路

(1) CPU

主控模块 CPU 选用飞思卡尔的 MC9S12XEQ512MAA 单片机，此单片机为 16 位微控制器，具有 256KB 的 FLASH EEPROM、16KB 的 RAM、24MHz 的最大时钟频率和-40 ~85 范围的工作温度等性能参数。具有 3 路以上的 CAN 通道，满足系统 3 路 CAN 的需求，并具有高运算速率、低功耗和优良的兼容运行机制等特点。

在主控模块的 CPU 模块中，设计采用 8MHz 外部晶振和 5V 电源供电，由于新能源电动车的实际运行环境存在严重的电磁干扰，因此为了避免干扰引起的死机或工作异常，模块采用外部复位芯片 IMP811SEUS-T 实时监测 CPU 的工作状态，若在工作过程中，主控模块 CPU 发生工作异常或死机时，采用外部复位芯片快速的进行复位重启。CPU 中采用 3 路 CAN 通道，便于与其他车载设备系

统通信。主控模块 CPU 电路如图 4-2 所示。

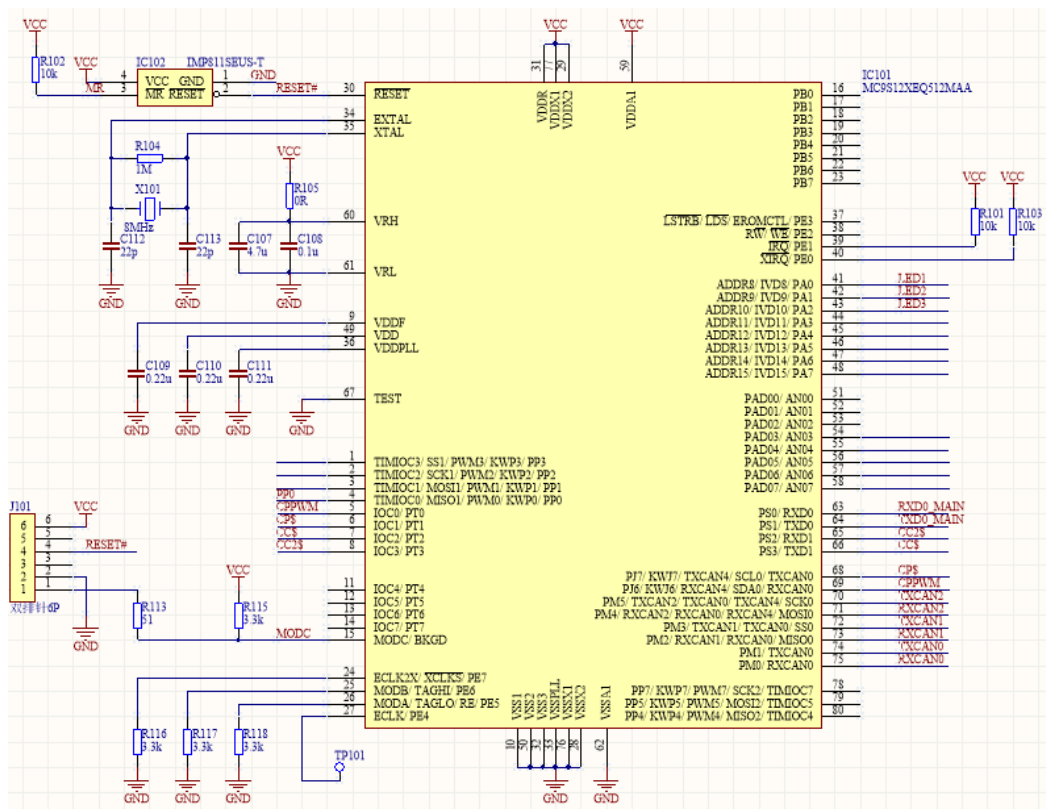


图 4-2 主控模块 CPU 电路图

(2) 充电电路

车辆与充电机的交互首先判断车辆的充电插座与充电机的插头是否完全连接，为统一市场充电机与新能源汽车充电能够通用，国家发布了关于新能源汽车充电系统的规定，其中充电模式与检测电路如图 4-3 所示（中国国家标准化管理委员会，2015）。

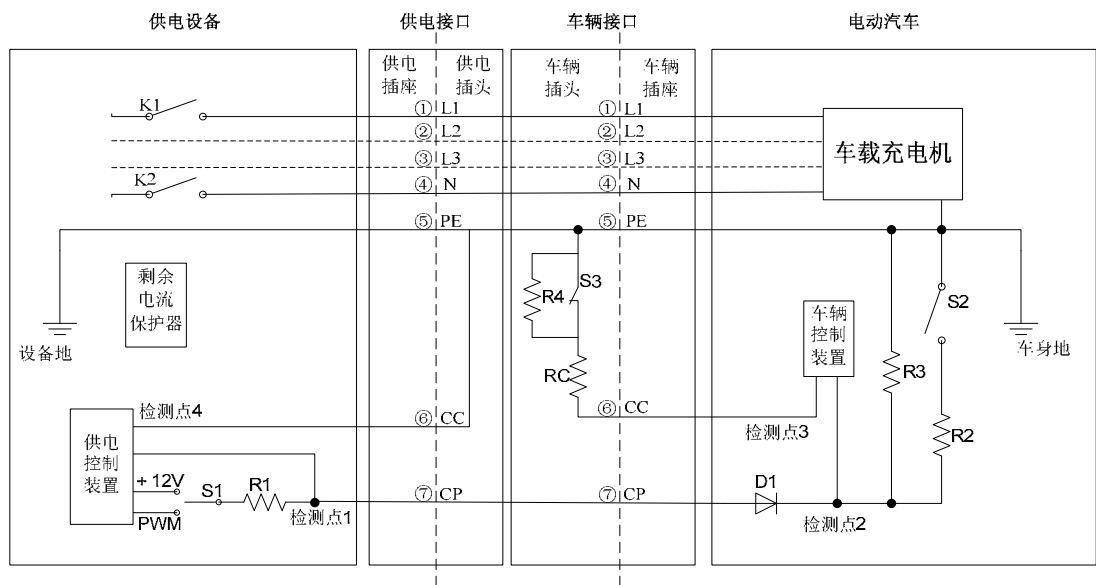


图 4-3 充电检测接口

首先通过检测点 3 与 PE 点之间的电阻值判别充电机的插头与车辆的充电插座是否可靠连接。若处于断开状态时，开关 S3 为接通状态，CC 断开，检测点 3 与 PE 之间存在无限大的电阻；未完全接通时，开关 S3 为断开状态，CC 闭合，检测点 3 与 PE 之间存在 $RC+R4$ 大小的电阻值；完全接通时，开关 S3 为接通状态，CC 闭合，检测点 3 与 PE 之间存在 RC 大小的电阻值（中国国家标准化管理委员会，2015）。主控模块检测电阻值，可分析出充电插座连接状态，最终判断充电状态是否正常、有无报警。在与充电机连接正常后，同样遵照国家发布的充电机与电池管理系统之间的通信协议进行充电。充电过程中，主控模块依靠通信协议与充电机相互通讯充电信息，控制充电电流。

(3) 通信与电源

主控模块与其他车载系统相互通信主要是依靠 CAN 通讯，主控模块分别通过三条 CAN 线连接整车控制器、绝缘检测模块、分控模块和充电机等其他车载系统。主控模块通过整车 CAN 连接整车控制器、绝缘检测模块和电机控制器等车载系统，相互控制车辆的运行与制动；内 CAN 连接分控模块，实时通讯控制车辆电池电压与温度参数，实时保证车辆的安全运行；充电 CAN 连接充电机通讯，监控充电过程中的充电电流、充电电压等，保证充电过程安全实施。通信与电源电路如图 4-4、图 4-5 所示。

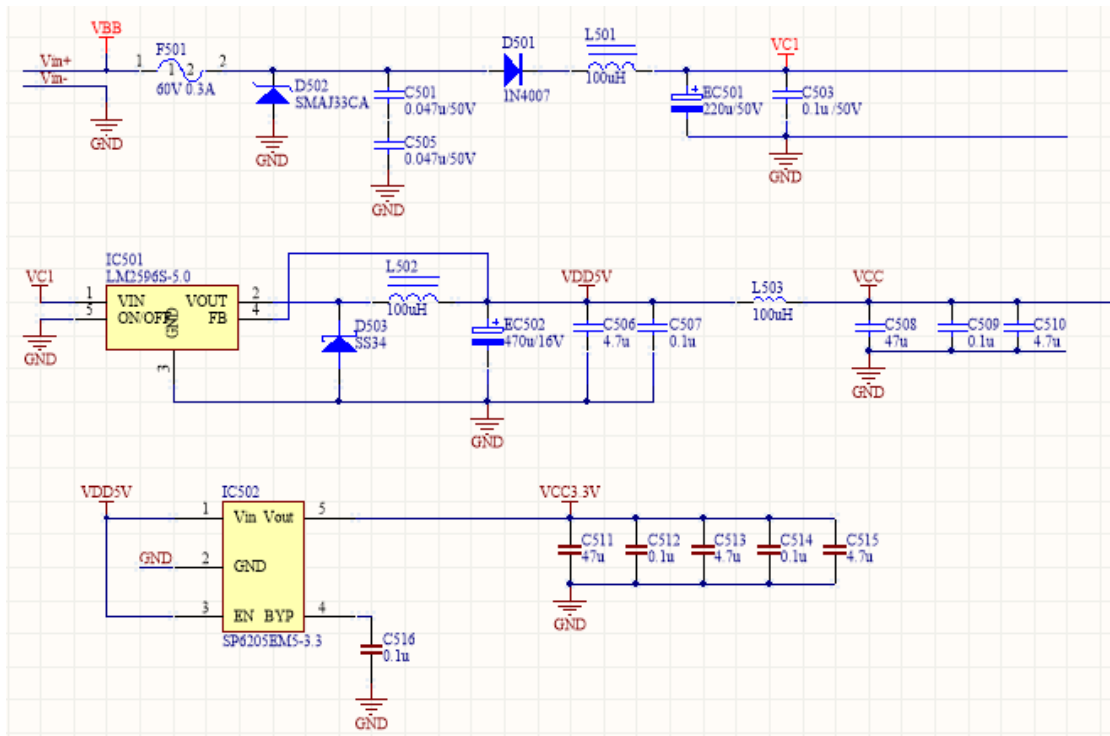


图 4-4 主控模块电源电路

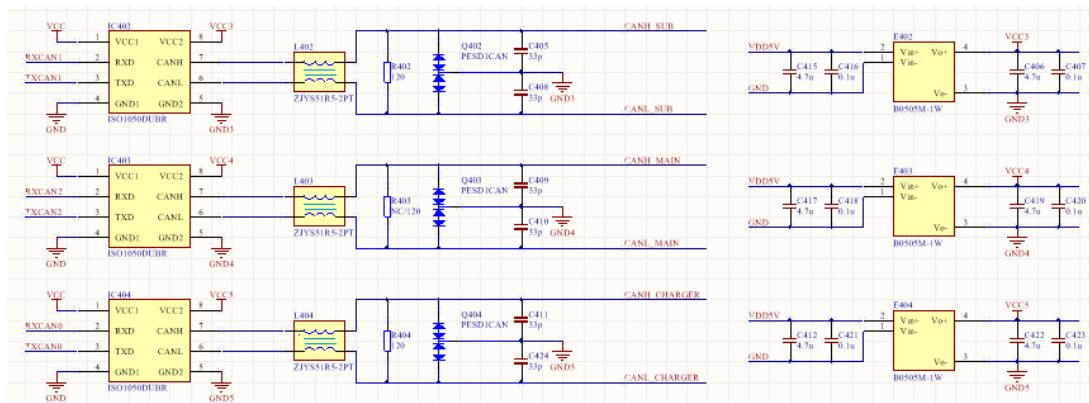


图 4-5 主控模块通信电路

4.3 分控模块硬件电路

(1) CPU

分控模块 CPU 选用 STM32F103VCT6 单片机，内部具有 11 个定时器，工作温度范围为-40 ~85 以及电源电压范围 2V~3.6V 等性能参数。分控模块与主控模块和电压检测模块通信需一路 CAN 通道和串口通道，STM32F103VCT6 单片机满足此需求。

在分控模块的 CPU 模块中，设计采用 8MHz 外部晶振和 3.3V 电源供电，AT24C02D-SSHM-T 储存车辆 SOC 信息。同样采用外部复位芯片 IMP811S 实时

监测 CPU 的工作状态，避免新能源电动车因自身实际工作环境的电磁干扰，导致 CPU 崩溃或工作异常。在检测到 CPU 因干扰而产生异常情况下，利用 IMP811S 复位芯片对 CPU 进行快速复位重启，使系统重新正常工作。CPU 中采用 1 路 CAN 和 1 路串口通道，便于与其他车载设备系统通信。分控模块 CPU 电路如图 4-6 所示。

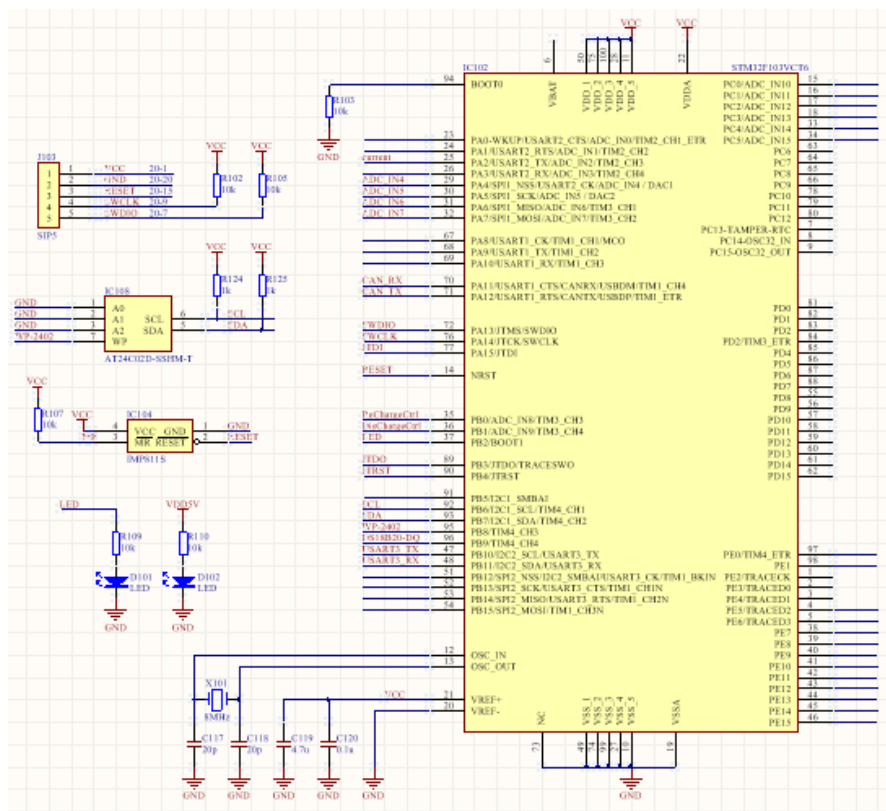


图 4-6 分控模块 CPU 电路图

(2) 电流检测

系统中对于电流的检测是非常重要的，它直接关系到系统充放电过程中的电流是否精确，是否有过电流发生，因此电流检测的要求是必须精确的。系统采用闭环式的霍尔电流传感器检测充放电电流，工作原理基于闭环原理，电流检测模型如图 4-7 所示（西域，2017）。

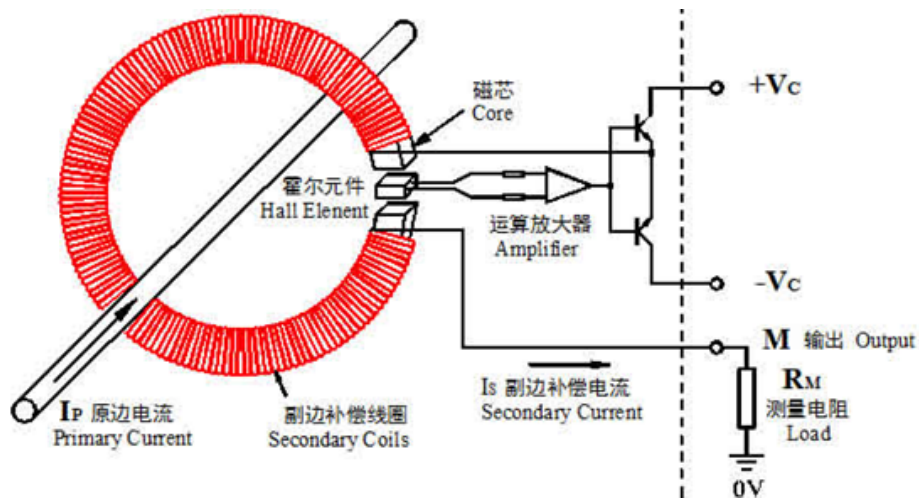


图 4-7 电流检测模型

当有电流 I_P 通过磁线圈时，霍尔器件检测磁通量，通过在磁芯上的线圈输出反向电流 I_S 以抵消通过霍尔电流传感器中电流所产生的磁通量，使得传感器中的磁通量为零。霍尔电流传感器引脚分别为电源、地和 0-5V 的电压信号，输出的 AD 电压信号可直接供单片机使用，其中 2.5 V 表示是 0A、5V 表示 200A、0V 表示 -200A（充电为负，放电为正），最终得到精确的充放电电流，再由分控模块计算当前时刻的电量和 SOC 变化，再经内 CAN 传输至主控模块，并判断充放电电流是否超过限制产生报警。

(3) 通信与电源

分控模块主要依靠 CAN 和 RS-422 通讯，分别依靠 CAN 通道与主控模块相连、RS-422 与电压检测模块相连。通过 CAN 通道与主控模块相互交换车辆与电池的信息，科学合理的进行车辆电池的充放电，通过 RS-422 连接电压检测模块，采用一对多的模式采集汇总各个电压检测单元检测回的电压与温度；并通过霍尔电流传感器实时监测充放电电流，估算电池 SOC 以及避免过电流的情况发生。通信与电源电路如图 4-8 所示。

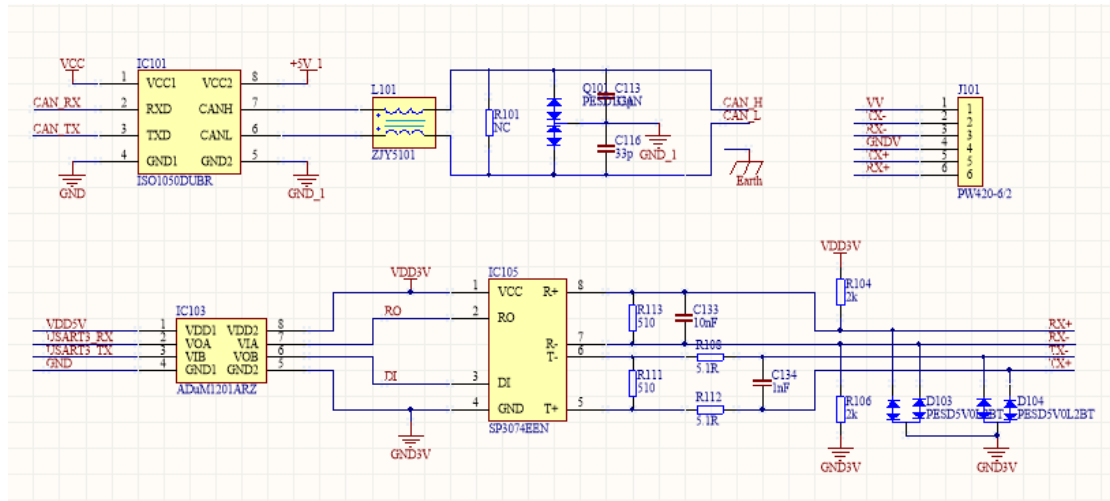


图 4-8 分控模块通信电路

4.4 电池检测模块硬件电路

(1) CPU

电池检测单元 CPU 选用 STM32F103VCT6 单片机，内部具有 11 个定时器，工作温度范围为-40 ~85 以及电源电压范围 2V~3.6V 等性能参数。电池检测单元至少需要 3 路串口与 8 路 ADC 通道，STM32F103VCT6 单片机满足此需求。

在电池检测单元的 CPU 模块中，设计采用 8MHz 外部晶振和 3.3V 电源供电。同样采用外部复位芯片 IMP811S 实时监测 CPU 的工作状态，避免新能源电动车因自身实际工作环境的电磁干扰，导致 CPU 崩溃或工作异常。在检测到 CPU 因干扰而产生异常情况下，利用 IMP811S 复位芯片对 CPU 进行快速复位重启，使系统重新正常工作。CPU 中采用 3 路串口与 8 路 ADC 通道，便于与其他检测单元通信以及检测电池温度。电池检测单元 CPU 电路如图 4-9 所示。

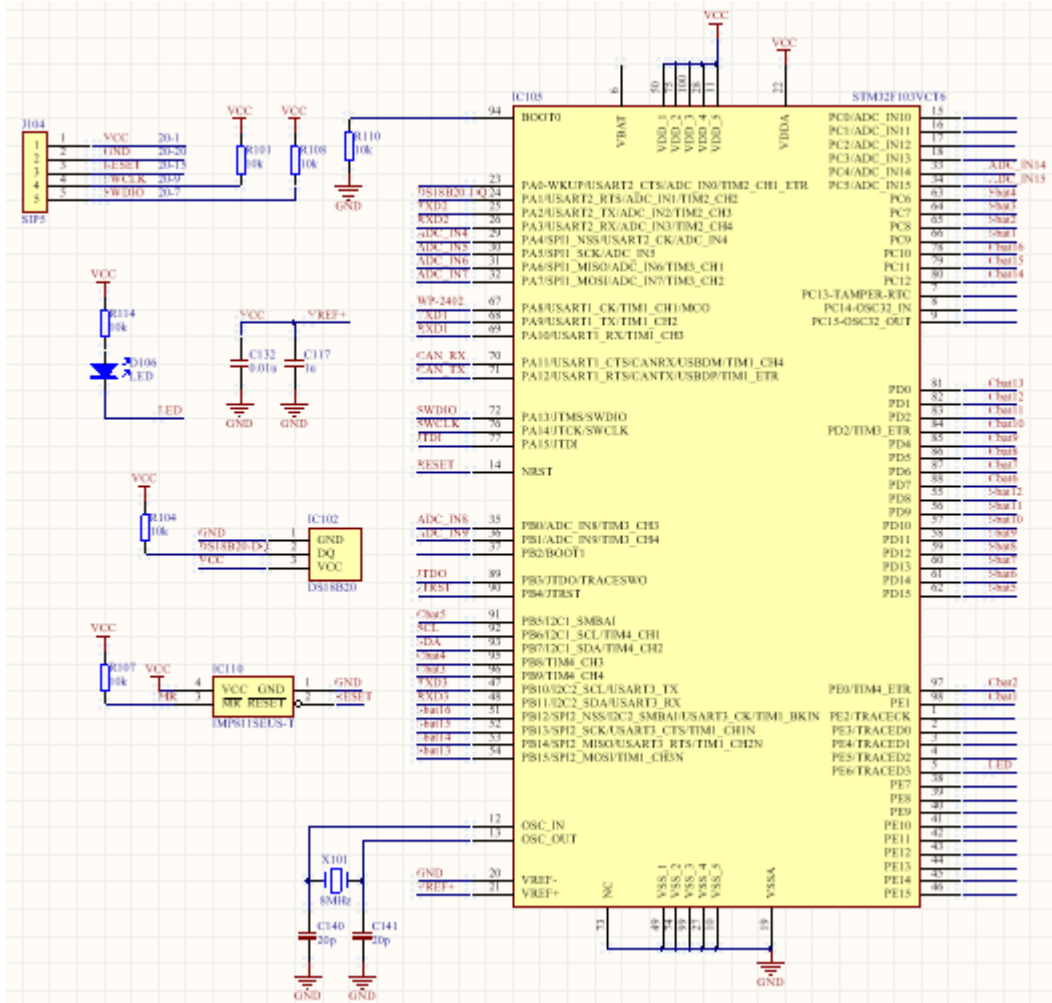


图 4-9 电池检测单元 CPU 电路图

(2) 电压与温度检测

由于新能源电动车拥有较多的电池,因此精确测量电池电压与温度成为了系统中最重要的一环。电压的检测精确度直接关系到估算电池 SOC 的精确度,从而影响整车的运行与安全问题。因此测量电池单体电压需要一个精确的测量方案,现在研究新能源电动车检测电压主要分为两种方案,分别是集成芯片式和分离元器件式测量电池电压,两种方案有着不同的优缺点和不同的使用场合。集成芯片式操作简单方便,精确度也能得到保证,比如目前使用较多的 LTC6803 和 MAX17823 芯片, LTC6803 主要内部采用菊花链方式连接,可最多同时采集 12 路电压,芯片售价在 80 元左右,平均每路电压测量费用在 7 元以上;MAX17823 采用专用的差分 UART 通信链路不间断的监测电池电压,同样最多同时采集 12 路电压,工作温度最低限制为-40 ,最高为 105 ,监测误差控制在 5mV 以内,价格和 LTC6803 相差无几,而分离元器件采用零散的元器件搭配电路测量电压,每一路检测电压可降低在 1 元以下,因此分离元器件测量电压在成本上具有明显

的优势,但是使用分离器件式测量电压就需要在前期的校准电压工作投入较多的时间,并需要设计一个精确的校准电压的方法。电压采集方案比较如表 4-1 所示。

表 4-1 电压采集方案比较

	价格(元)	采集路数	每路价格(元)	最大误差(mV)	维护成本
LTC6803	84	12	7	5	高
MAX17823	78	12	6.5	5	高
分离器件	0.8	1	0.8	8	低

本系统主要针对低端车型车辆,考虑成本方面问题,并且分离器件方式误差在可接受范围内,系统采用分离器件式搭建电池电压检测单元。因为一辆新能源电动车电池组由一百多路电池组成,采集一路电压成本减少 6-7 元,那么在车辆检测单元成本中可减少上千元。并且分离器件采集有着一个独一无二的优势,因为电动车电池电压在车辆运行颠簸时,难免会发生突变,导致损坏采集电路,而在采集电路中某一路采集受到损害时,分离器件式只需花费不到 1 元的成本更换器件继续采集电压,而集成芯片则只能花费近百元更换新的芯片,才能保证系统正常采集,因此在维护方面,分离器件更占据优势,本文主要介绍分离器件式采集电池电压,采集电路图如图 4-10 所示。

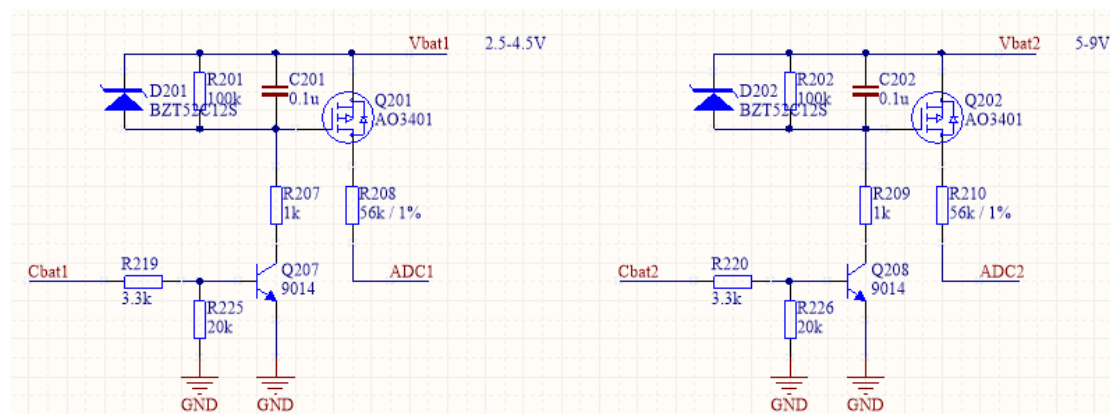


图 4-10 电压检测电路

因商业机密关系,此处用框图表示电池电压采集分析存储电池单体电压方式,如图 4-11 所示。

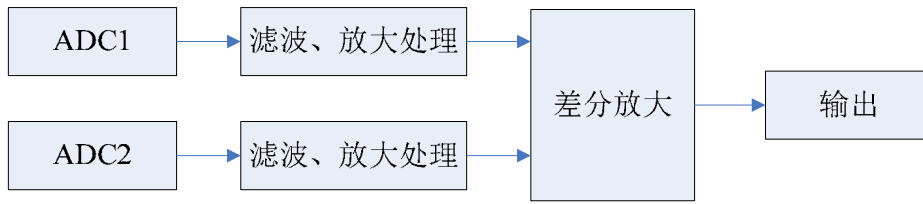


图 4-11 电压检测分析原理框图

首先，通过图 4-10 电压检测电路采集电压，图中为其中两路采集电路，一个电池检测单元分为两个小单元，一个小单元可最多同时采集 16 路电压和 4 路温度，一个电池检测单元可采集 32 路电压和 8 路温度。通过 CPU 控制 Cbat1-Cbat16 输出高低电平，控制 AO3401 模拟开关的导通或闭合。当 Cbat 端输出高电平时，AO3401 模拟开关导通，Vbat 检测电压传递至 ADC1 或 ADC2。16 路电压采集数据，对应的模拟开关依次开启，某一时刻最多只允许开启连续两路模拟开关。因为电池箱中电池组是相互串联组合的，因此采集回的电压值是当前采集的电池电压与前面串联的电池电压的总和。因此要获取当前采集电池电压，就需与上路采集的电池电压求差值，最后得出当前采集的电池电压。

当获取第一路电压时，只开启 Cbat1 对应的模拟开关将 Vbat1 传递到 ADC1，ADC2 默认为 0，再经过滤波、放大、差分放大，最终得到第一路电池的电压值并存储；当获取第二路电压时，同时开启 Cbat1 和 Cbat2 对应的开关，得到 ADC1 和 ADC2，再经过处理得到第二路电池的电压值并存储。以此类推，最终得出 16 路电池的电压值并存储。温度采集通过温度传感器安置在电池箱内部不同位置，确保覆盖每个电池的环境温度。通过采集线 AD 采样温度值再通过分析处理传输至 CPU。最后通过 RS-422 通信传输至分控模块统一分析判断。数据检测与温度检测如图 4-12 所示。

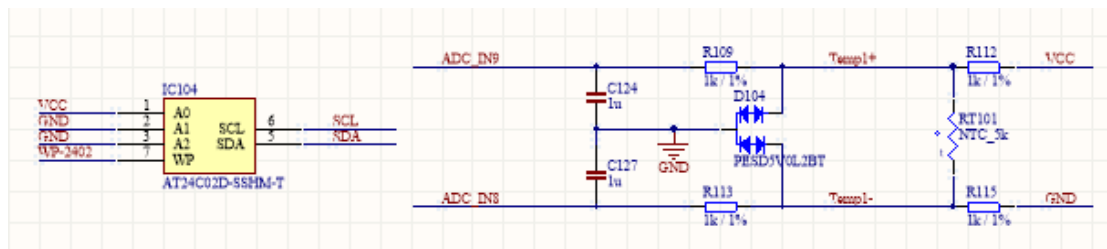


图 4-12 数据存储与温度检测

(3) 通信与电源

电池检测单元主要依靠 RS-422 通讯，通过 RS-422 通信相互连接多个电池检测单元，各个电池检测单元分别检测不同的电池电压与温度，再逐级向上传输，最终通过 RS-422 通信将检测到的电压和温度传输回分控模块。电池检测单元通

信与电源电路如图 4-13、图 4-14 所示。

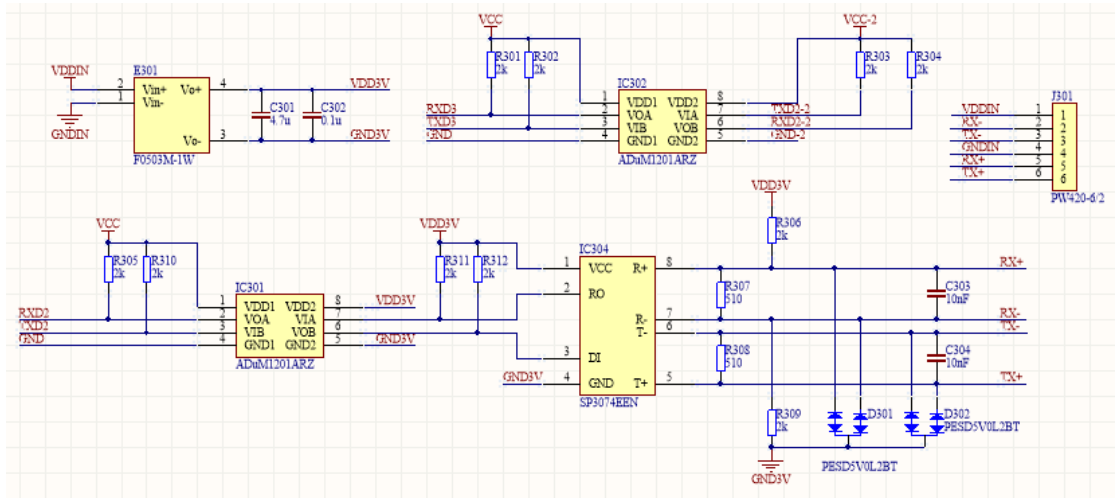


图 4-13 电池检测单元通信电路

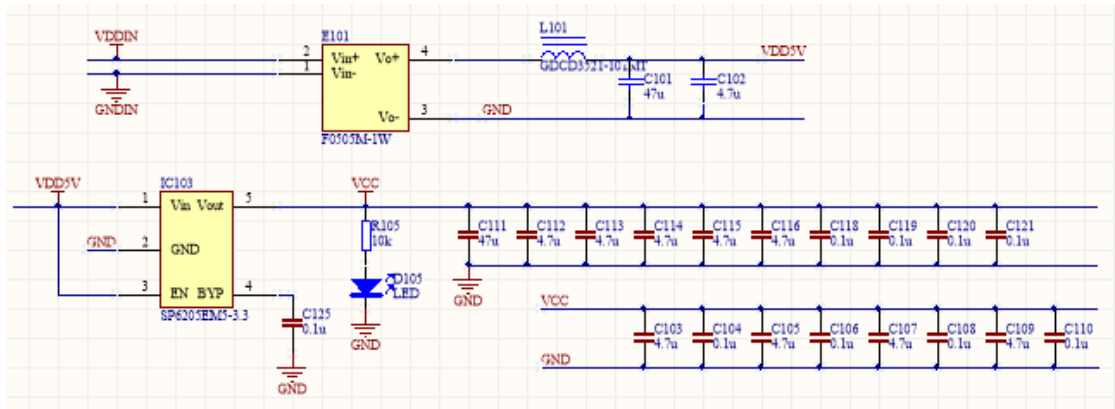


图 4-14 电池检测单元电源电路

4.5 本章小结

本章主要对系统硬件部分的电路进行设计研究,硬件部分主要包括主控模块、分控模块、电池检测模块和绝缘检测模块(绝缘检测方案上一章节已有分析,本章不再重复讲述)。对系统进行整体设计的同时对模块之间的相互通信与合作方式做出规划设计,并详细分析设计了系统的充电检测、电流检测、电压检测以及温度检测的方法与电路。其中电压检测采用具有高性价比的分离器件采集模式,并实现较好的检测误差,实现了技术突破。

第 5 章 系统软件设计

5.1 软件设计概述

软件设计首先需根据系统的需求，规划软件要实现的功能与任务，然后再针对软件进行总体设计，将软件设计分为不同的框架与模块，再将不同的功能框架与模块进行分析设计、程序设计与调试，最终将不同的框架与模块整合调试，形成一套完整的系统软件，实现系统需求。新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统软件结构图如图 5-1 所示。

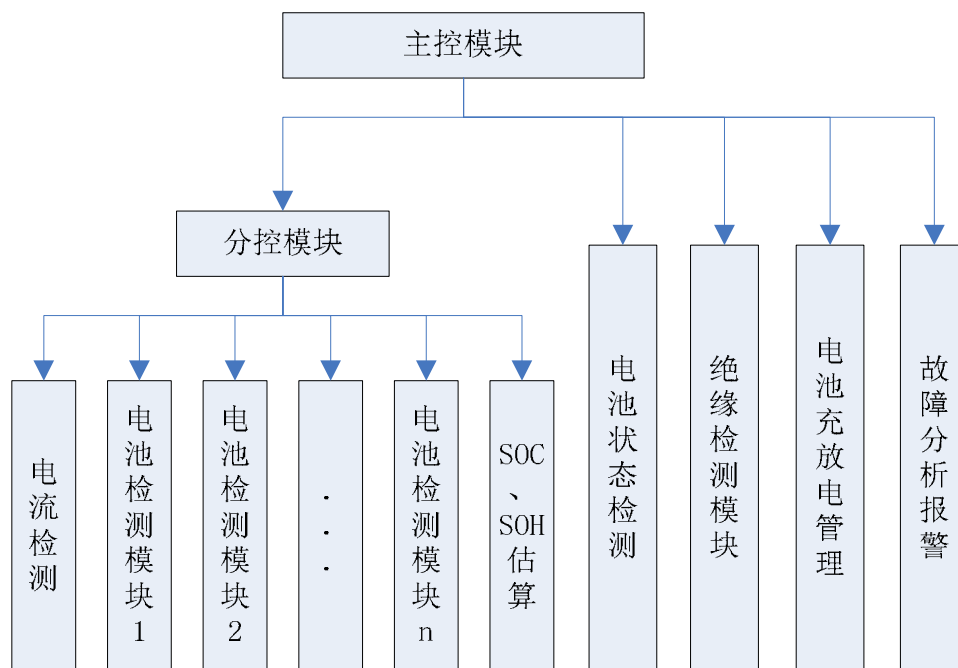


图 5-1 新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统软件结构图

(1) 主控模块：主控模块接收分控模块与绝缘检测模块返回的数据信息，并进行电池状态检测、电池充放电管理和故障分析报警。

(2) 分控模块：分控模块接收电流传感器和电池检测模块返回的电流、电压、温度等数据信息，并进行 SOC 估算、SOH 估算，最后传递给主控模块。

(3) 电流检测：通过霍尔电流传感器实时检测电池在充放电过程中的电流大小，并将检测数据传递给分控模块。

(4) 电池检测模块：电池检测模块由 n 个电池检测单元组成，每个电池检测单元最多可检测 32 路电池。本系统设计选用 6 个电池检测单元组成电池检测模块，实时检测电池电压与温度信息，并将检测信息传递给分控模块。

(5) 绝缘检测模块：绝缘检测模块实时检测车辆的绝缘状况，并将检测结果返回给主控模块。

(6) SOC、SOH 估算：针对电池工作状态，估算电池 SOC (剩余电量) 与 SOH (健康状态)。

(7) 电池充放电管理：在充放电过程中针对电池与车辆状况，控制电池电量的输入输出，实时监控电池的安全情况。

(8) 故障报警：当系统检测判断出车辆状态有异常情况时，及时判断出报警原因，并在 1 级报警产生时切断电池与车辆的联系，使车辆停止运行，保证车辆安全。

5.1.1 软件开发环境简介

本系统主要采用 C 与 C#语言进行软件设计，其中硬件 CPU 单片机软件开发采用 C 语言，辅助 PC 端上位机开发采用 C#语言。

单片机开发工具为 Code Warrior 和 Keil，其中 Code Warrior 主要用于飞思卡尔单片机开发，Keil 用于 STM32 单片机开发。Code Warrior 和 Keil 都是应用与编程的集成开发环境，开发人员可以通过此开发环境进行各种处理器或平台的开发研究。它们具备开发环境中应具有的主要功能：编辑、编译、调试、链接、汇编等等。并且两种开发工具都具有简单实用的优点，就算是从未使用过此开发工具的技术人员也能快速的创建出自己想要的工程。并且具备在开发项目过程中需要的功能与工具，例如：项目管理、文档编辑、搜索引擎、源浏览器、程序下载和版本控制。为开发人员提供非常便利的服务，科学管理创建项目文件文档，自由编辑创建程序代码、快速搜索替换指定关键字、函数变量位置链接浏览、程序编译烧录和兼容多种不同的版本工具等。使程序的开发调试与修改简单便捷，智能提醒代码中编写错误，为查找程序错误省去大量时间，并可通过断点调试跟踪，比对程序运行状态与参数错误，实现实时跟踪调试，加快了程序开发研究的速度。

PC 端上位机开发基于 Microsoft .NET Framework 环境和 Microsoft Visual Studio (VS) 开发工具实现，.NET Framework 主要用于构建托管编程模型，为用户提供精美的界面操作与体验。VS 作为一个开发工具集，包括软件的集成开发环境(IDE)、UML 工具、代码管控工具等等。VS 基于.NET Framework 开发平台与 C#语言编写程序代码，采用 C#简单、安全、功能强大的优点实现对应用软件的开发。

5.2 主控模块软件设计

主控模块软件设计主要包括充电模块与报警模块,主控模块软件总流程如图 5-2 所示。在主控模块上电后,首先初始化 CPU(MC9S12XEQ512MAA 单片机)读取储存的版本与参数信息开始工作,检测主控电源是否断开,若检测到主控电源断开,则采用延迟断电的功能,将主控模块中数据储存,最终结束工作;若主控电源正常工作,则接收处理内 CAN 上传的分控数据,然后检测充电接口与充电机是否连接,若充电接口连接则与充电机通讯开始进入充电模式。主控模块再进行报警判断,将异常信息以报警形式显示出来,再通过整车 CAN 将车辆状态信息传输至车辆其他车载系统,控制车辆运行,并在上位机有设置参数指令时,进行保存。

充电模块如图 5-3 所示,它是基于主控模块与充电机之间的相互通信而完成的,当检测到车辆充电接口与充电机插座连接成功后,进入充电模式。首先通过主控模块向充电机发送握手信号,再检测接收充电机返回的握手信号,若一直没有返回则连续向充电机发送握手信号,直到超过设定时间,判定为超时则充电失败。同样,再向充电机发送车辆辨识信息,并检测接收充电机返回信号,若超时则判定为充电失败。然后发送电池充电参数信息,再判定能否开始充电并发送能否开始充电信息至充电机,当判定可以开始充电后,进入充电阶段,否则连续判断,若超时则判定充电失败。进入充电阶段后,首先向充电机发送充电状态和充电需求,并检测接收充电机返回的充电状态。当检测到返回信息时,发送电池充电状态、电池状态、电池电压、电池温度和 SOC 信息,再判断电池充电是否结束,若需继续充电,则再重新向充电机发送充电状态和充电需求进行充电,否则向充电机发送结束充电的指令并检测接收充电机返回充电结束指令,若超时则充电失败。最后统计本轮充电信息发送给充电机,同样接收充电机返回本轮充电的统计信息,充电结束。

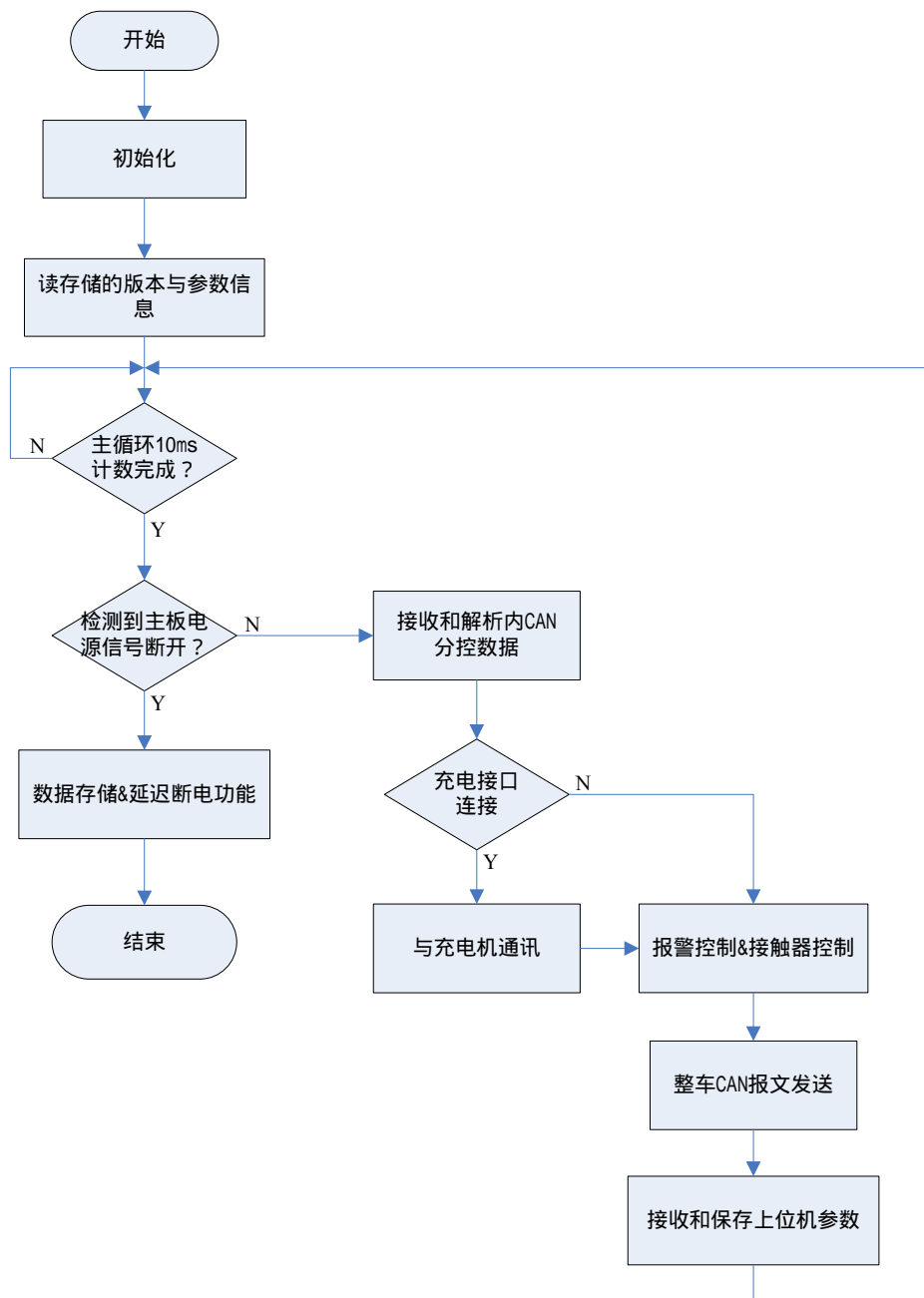


图 5-2 主控模块软件总流程图

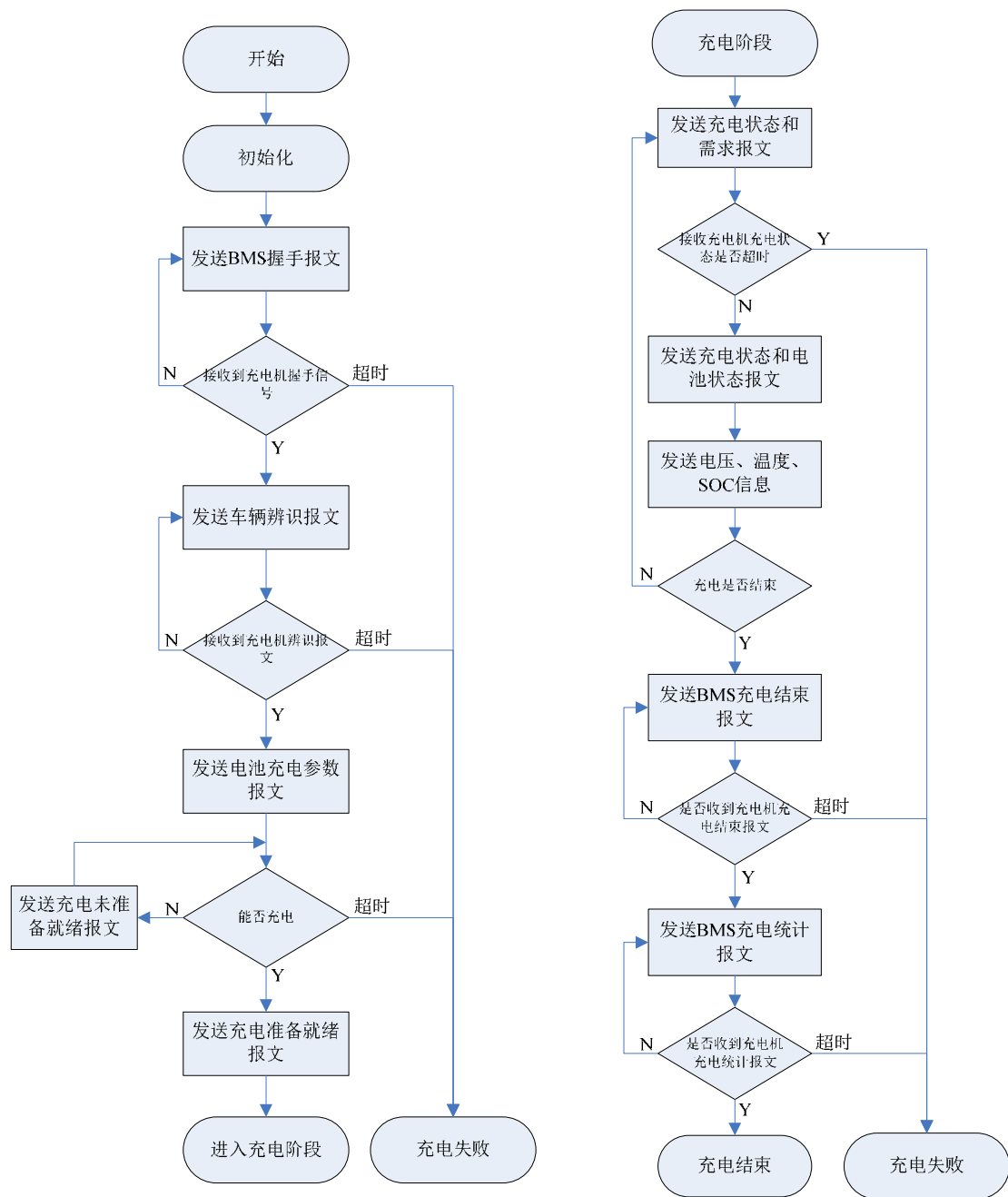


图 5-3 充电模块流程图

报警模块顾名思义是用于检测信息有无异常，若异常则产生报警，流程如图 5-4 所示。首先通过初始化，然后统计车辆各项信息，再判定各项信息是否异常，例如：电池电压、温度有无异常，电池 SOC 有无异常，充放电电流有无异常，充电状态有无异常，通信状态有无异常以及其他车辆信息有无异常。当检测到车辆信息有异常时，则以报警形式显示在车辆显示器供驾驶员参考，特殊情况下停止车辆运行，保证车辆与人身安全。

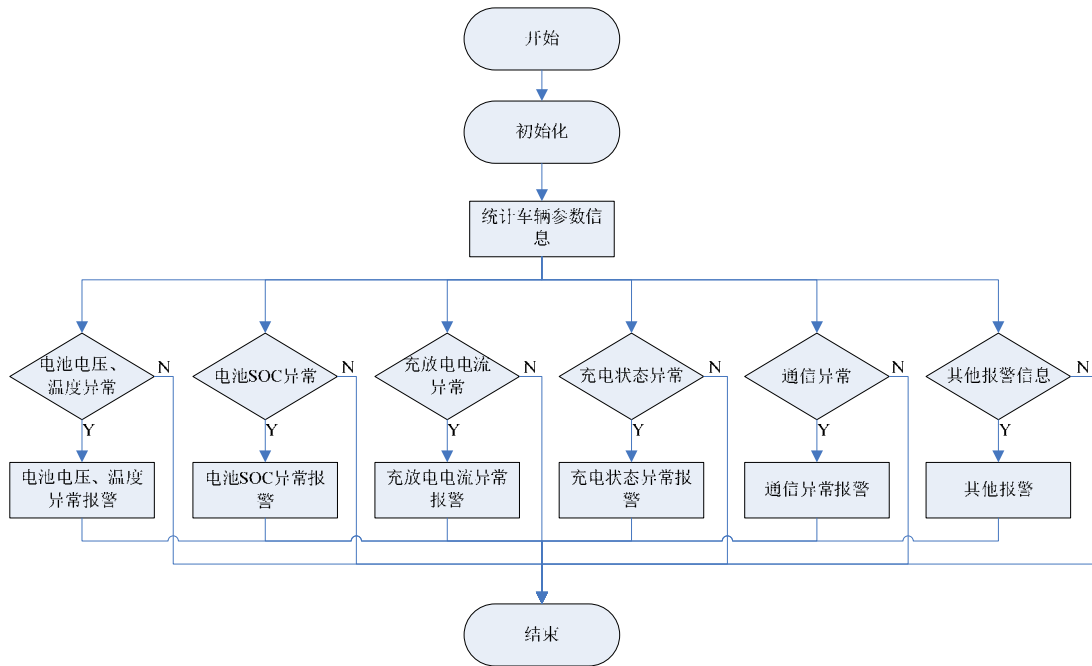


图 5-4 报警模块流程图

5.3 分控模块软件设计

分控模块主要工作分为电流检测，电池电压、温度统计，SOC、SOH 估算三大功能，流程如图 5-5 所示。首先初始化 CPU (STM32F103VCT6 单片机) 读取储存的版本与参数信息开始循环工作，循环工作主要内容为：与电池检测模块通信获取电池电压、温度数据，再通过霍尔电流传感器进行充放电电流检测。通过获取的电池电压与检测到的充放电电流估算电池的 SOC 与 SOH。然后检测上位机是否有写入参数指令，若没有指令写入，则通过内 CAN 向主控模块发送电池电压、温度、SOC、SOH、充放电电流与报警等信息；若检测到有参数指令写入，则对获取到的指令与数据进行校验判断。若校验通过，则将待写入的数据写入内部存储器；若校验未通过，则设置数据校验未通过标志。最终通过内 CAN 向主控模块发送电池电压、温度、SOC、SOH、充放电电流与报警等信息。

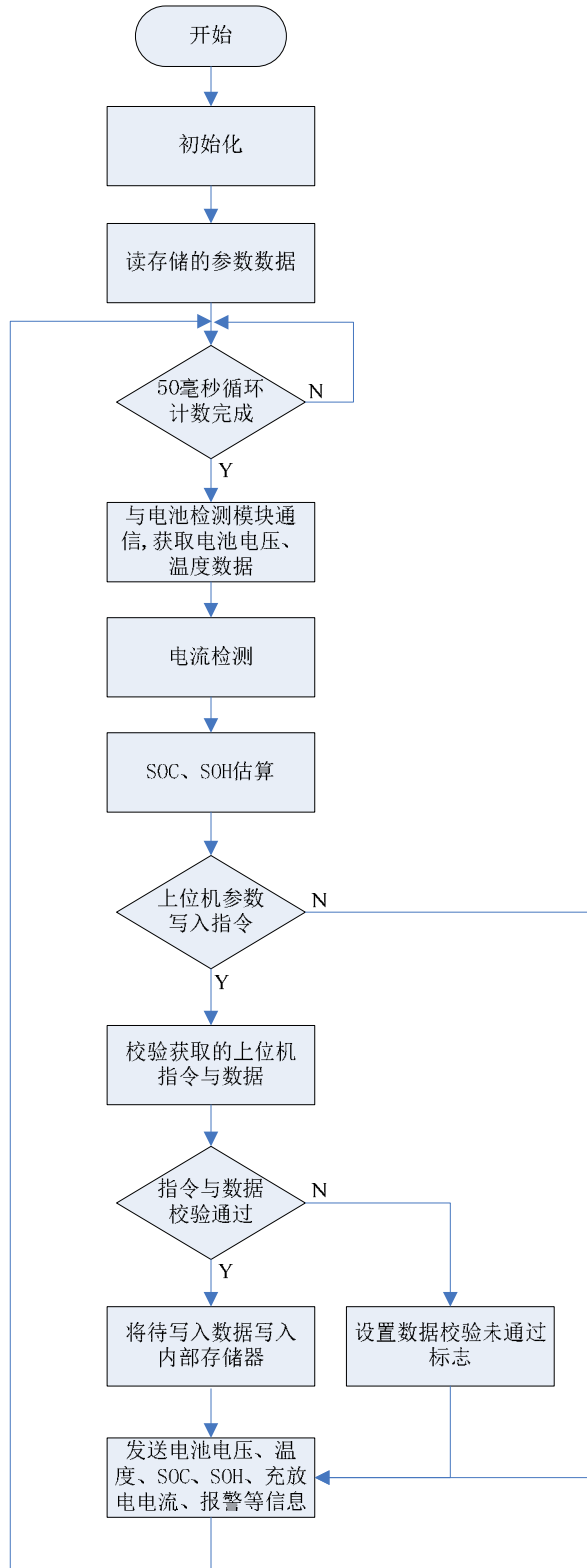


图 5-5 分控模块软件流程图

5.4 电池检测模块软件设计

电池检测模块主要分为电池电压检测与电池温度检测，流程如图 5-6 所示。

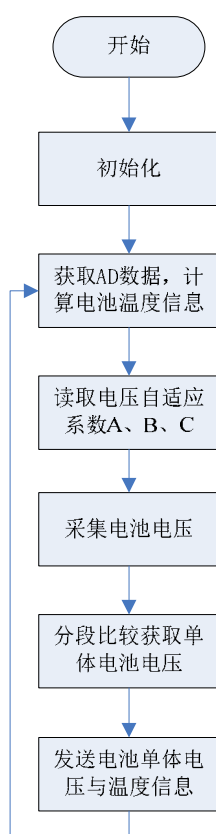


图 5-6 电池检测模块软件流程图

首先通过初始化 STM32F103VCT6 单片机运行电池检测模块，通过获取 AD 数据，计算分析得到电池温度信息。再通过电池温度信息读取校准后存储的电压自适应系数 A、B、C，然后再采集电池电压，并通过硬件模拟开关分段比较获取单体电池电压。最终将得到的单体电池电压与电池温度信息，通过 RS-422 通信发送至分控模块。以上操作流程全是实时性操作，从电池检测模块上电开始循环进行，保证电池电压与温度测量的实时性。

设定电压自适应系数 A、B、C 是由于分离器件组成的电压检测单元存在有不一致性，因此将会造成检测误差，为减小检测误差，在检测模块投入使用前将在实验室进行校准测试后才可投入使用。校准测试采用外部提供电压基准并在不同温度下多次实验，遵循自适应的方法修正误差并求出不同温度下最优的自适应系数 A、B、C。在实际采集电池电压时，则通过电池温度读取相应的自适应系数 A、B、C，最终通过计算分析得出电池的单体电压。

5.5 CAN 通讯软件设计

为方便系统测试与调试，基于 CAN 总线设计一套上位机监控软件，针对电池单体电压、电池温度、SOC、SOH、充放电电流、最高最低单体电池电压、最高最低电池温度以及各项报警信息等电池管理系统检测的参数信息，以 Excel 表格保存，并将所有信息实时显示在上位机供测试人员分析。系统连接图如图 5-7 所示。

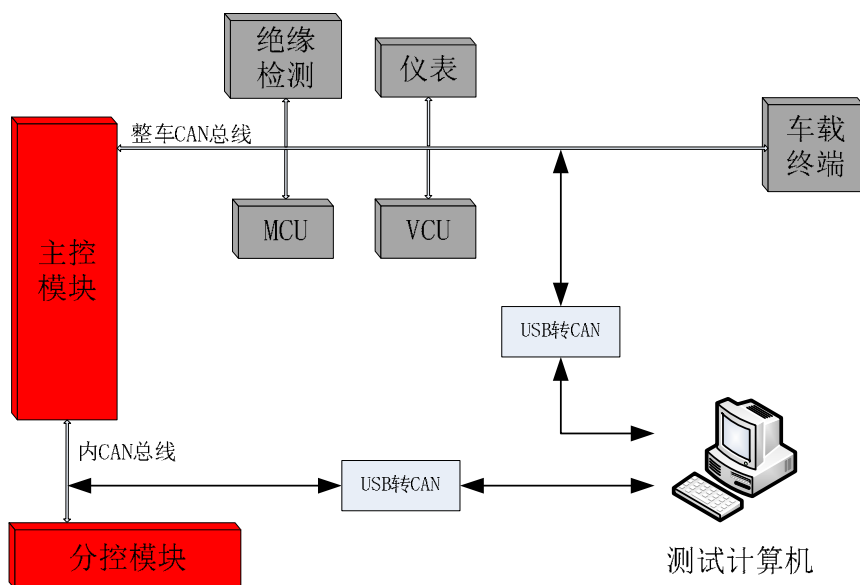


图 5-7 上位机系统连接图

当测试系统连接完成后即可开始测试，首先对系统进行上电，再观察各个车载系统运行是否正常，确认后开启上位机软件进行监控，并可以通过保存的文件查看之前的实验数据。系统与上位机之间通过 CAN 总线相连，因此上位机软件采用 USB-CAN 卡进行数据采集转换提供给上位机端口。当软件运行过程中若出现连接线脱落、设备参数选择错误、连接方式错误等情况发生时，系统将会提示错误，如图 5-8 所示。

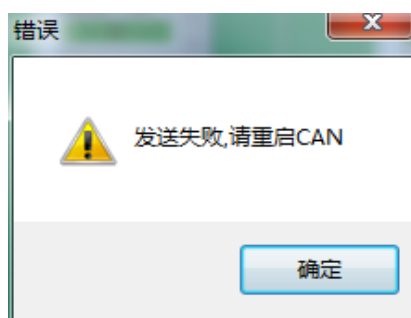


图 5-8 CAN 错误

启动上位机软件后，首先进入 CAN 参数配置界面，CAN 参数配置界面主要分为设备参数和初始化 CAN 参数，显示窗口如图 5-9 所示。

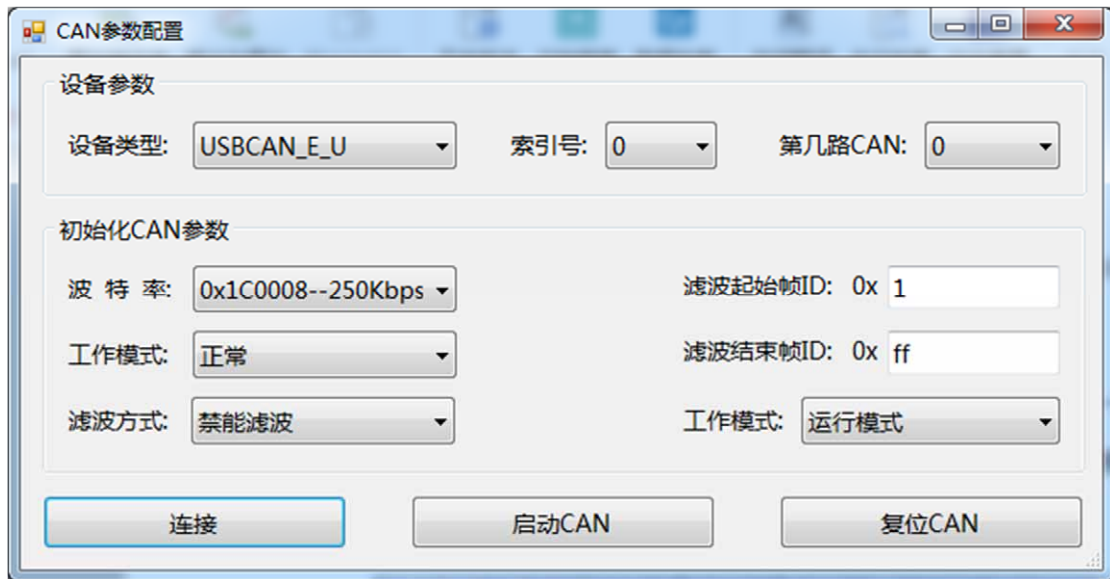


图 5-9 CAN 参数配置界面

设备参数主要包括：

- (1) 设备类型：用户根据使用的 USB 转 CAN 总线设备类型选择适配的设备；
- (2) 索引号：选择当前连接使用的 USB 转 CAN 总线设备的序号；
- (3) 第几路 CAN：选择当前连接使用的 USB 转 CAN 总线设备中使用的 CAN 是第几路 CAN；

初始化 CAN 参数主要包括：

- (1) 波特率：用户根据设备 CAN 总线中需求的波特率进行选择；
- (2) 工作模式：工作模式分为“正常”与“只听”模式；
- (3) 滤波模式：滤波模式分为“标准帧滤波”、“扩展帧滤波”以及“禁能滤波”，用户根据需求选择滤波模式；
- (4) 工作模式：工作模式分为“运行模式”与“测试模式”，使用软件监测电池管理系统数据选择“运行模式”。
- (5) 滤波起始帧：设置滤波范围起始位；
- (6) 滤波结束帧：设置滤波范围结束位；

CAN 参数配置中工作模式分为“运行模式”与“测试模式”，用户可选择“测试模式”进行 CAN 的数据测试，当选择为“测试模式”时，CAN 参数配置界面将下拉出测试界面，界面窗口如图 5-10 所示。

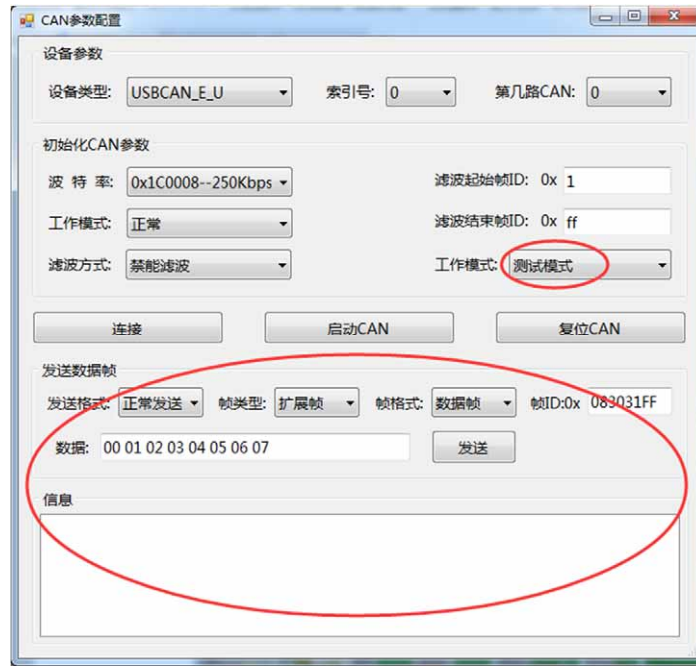


图 5-10 测试模式界面

CAN 测试界面分为发送模块和信息显示模块，用户可设置数据的发送格式（正常发送、自发自收），帧类型（扩展帧、标准帧），帧格式（数据帧、远程帧）以及帧 ID。按一帧 8 字节 16 进制格式输入发送的数据，信息显示框显示从 CAN 总线接收回的数据，用户可查看 CAN 总线返回的原始数据。并可通过简单数据发送接收测试，检查 USB 转 CAN 总线设备是否正常运行。

当选择为“运行模式”时，进入配置界面进行 CAN 参数配置，检查无误后进入数据监测界面，如图 5-11 所示。

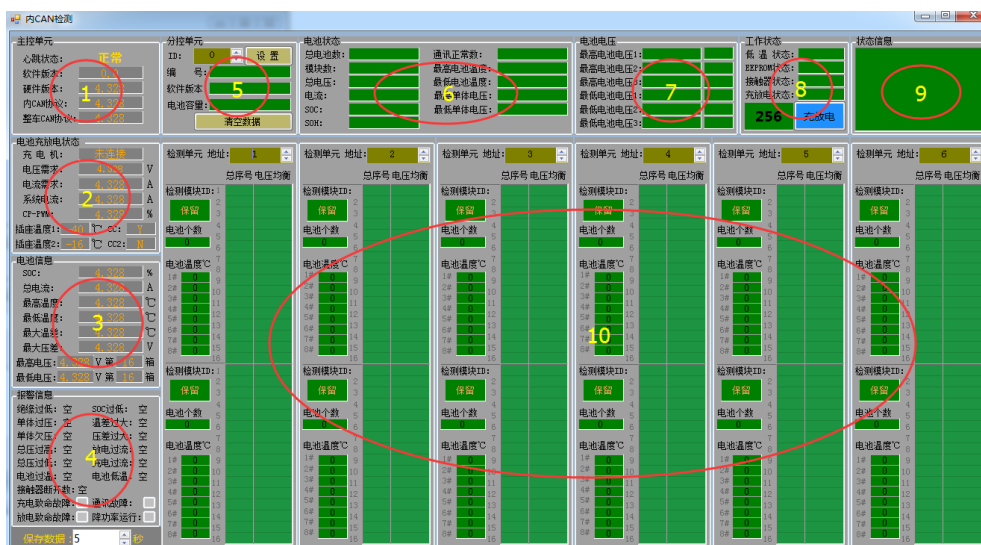


图 5-11 数据监测界面

图中： 主控模块信息， 电池充放电状态信息， 电池信息， 报警信息， 分控模块信息， 电池状态信息， 电池电压信息， 工作状态信息， 状态信息， 电池详细信息

内 CAN 数据界面主要是以直接显示数据为主，用户可通过界面直接查看主控模块与分控模块返回的数据与报警信息。系统具有存储数据功能，调节保存数据时间间隔，系统将根据用户设定的时间间隔保存数据，并将保存的数据存入 Excel 表。方便用户查看原始数据，为今后分析提供数据支持。

“工作状态信息”中显示着分控模块心跳信息，分控模块正常运行时心跳数持续增加，若心跳数停止不变，则需检查设备连接是否正常、分控模块 ID 选择是否正确、电脑是否死机等问题。另外，可通过“接触器状态”监测接触器状态，点击“充放电”按键可进入充电状态检测；

“状态信息”中显示 SOH 计算成功、通讯故障、接触器断开原因等信息，用户可直接了解到准确的通信信息；

“电池详细信息”主要显示各个电池检测模块返回的电池个数、温度、序号与电压信息，用户可通过调节电池检测模块地址按键，查看不同的检测单元返回的实时数据信息。

“分控模块信息”中可切换分控模块 ID，可查看不同分控模块的数据（本系统采用单个分控模块）。点击“设置”将进入管理员登录界面，显示窗口如图 5-12 所示。

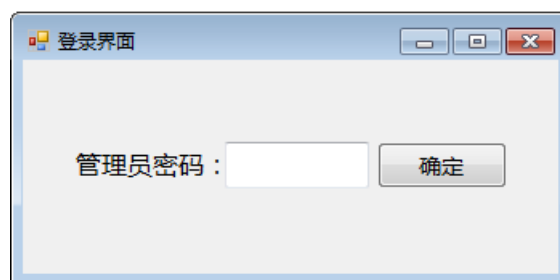


图 5-12 管理员登录界面

输入密码，进入设置界面，用户可根据自己需求与协议进行霍尔校准与设置参数，显示窗口如图 5-13 所示。



图 5-13 系统设置界面

5.6 软件抗干扰设计

为了防止单片机在受到干扰后发生工作异常的情况,系统添加了软件抗干扰设计,主要通过喂看门狗、数字滤波和设定软件陷阱消除软件中突发干扰而产生的影响。

(1) 喂看门狗定时器

为避免单片机中程序因受到噪声干扰,程序运行可能会发生死机或跑飞等现象,单片机应每隔一段时间就进行一次喂狗。在正常工作情况下,一定时间范围内都会输出一个信号给看门狗,使它自身定时器清零。如若没有在设定的时间范围内向看门狗输出信号,看门狗计数溢出,看门狗为避免程序死机或跑飞,则会强制输出复位信号,使单片机进行复位。

(2) 软件陷阱

当单片机受到外界的强干扰情况下,甚至影响看门狗也不能正常工作的情况下,造成程序跑飞。因为在正常工作时,程序运行的地址区域是一定的,若发生异常跑飞情况,程序则可能会跑到其他区域。所以在正常运行过程中不会进入的区域设定软件陷阱,当程序发生跑飞时,一旦进入了设定的软件陷阱中,则强制将程序引导至一段处理程序出错的特定程序中使之恢复正常运行,解决程序因干扰而产生的异常运行问题。

(3) 数字滤波

在硬件电路接收的信号中,有时夹杂了许多不同频率的噪声信号。为了避免这些干扰对程序造成影响,在设计硬件电路接收信号的位置加入了滤波电路,抑制干扰信号。但硬件滤波电路对低频的干扰信号抑制不太理想,为消除这一干扰,采用数字滤波对低频的干扰信号进行有效的抑制。

5.7 本章小结

本章主要对系统软件部分进行设计研究。首先分别设计系统各个模块的流程图，并根据流程图完成相应的软件设计。其次，由于系统模块之间通过 CAN 总线进行相互通信，因此设计一套基于 CAN 总线的 CAN 通讯软件进行监控调试。并详细讲述了 CAN 通讯软件的结构、功能和使用。最后进行了软件抗干扰设计，防止因干扰而导致系统软件异常情况的发生。

第 6 章 系统测试实验

6.1 实验目的

为验证新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统实现的功能、检测精度和系统运行的稳定性。针对新能源汽车电池的特点，测试实验需要实现的主要功能有：

- (1) 电池检测模块检测电池单体电压与电池温度；
- (2) 计算检测电池总电压、充放电电流、SOC、SOH 等参数；
- (3) 电池状态检测以及各项报警信息检测；

(4) 通过 CAN 总线连接系统与上位机，将系统信息显示在上位机，供测试人员调试监控。

6.2 实验平台

为实现新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统测试实验的真实有效性，分别在实验室与黄海商务电动车上进行测试实验。图 6-1、6-2 是实验室实验实物图。

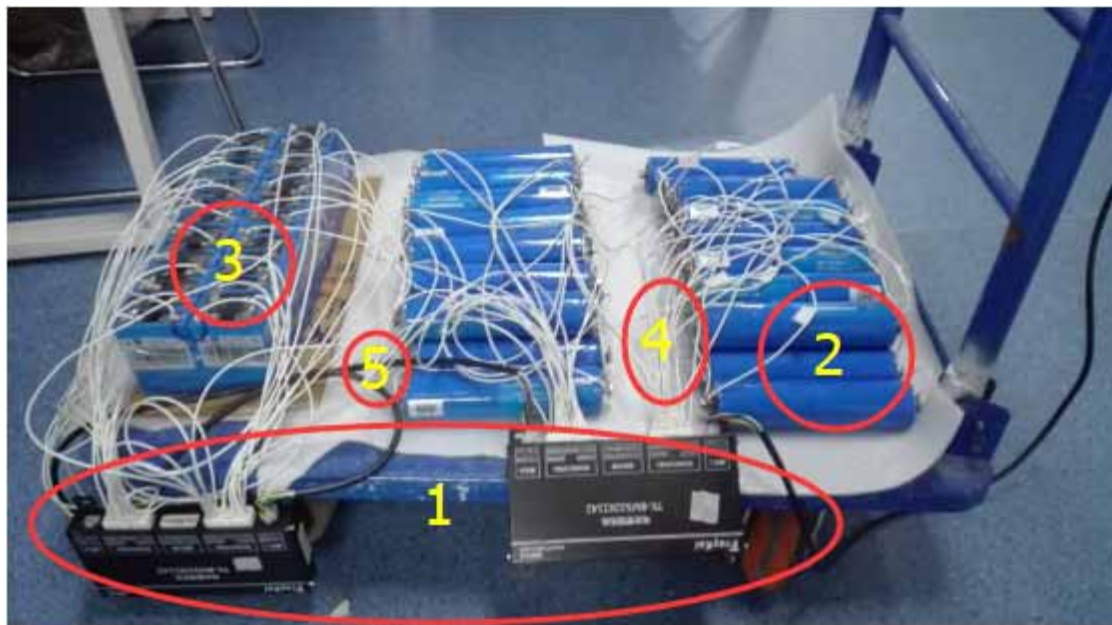


图 6-1 电压检测实验实物图

图中： 电池检测模块， 16Ah 磷酸铁锂电池， 9.5Ah 磷酸铁锂电池， 电压采集线， RS-422 通信线

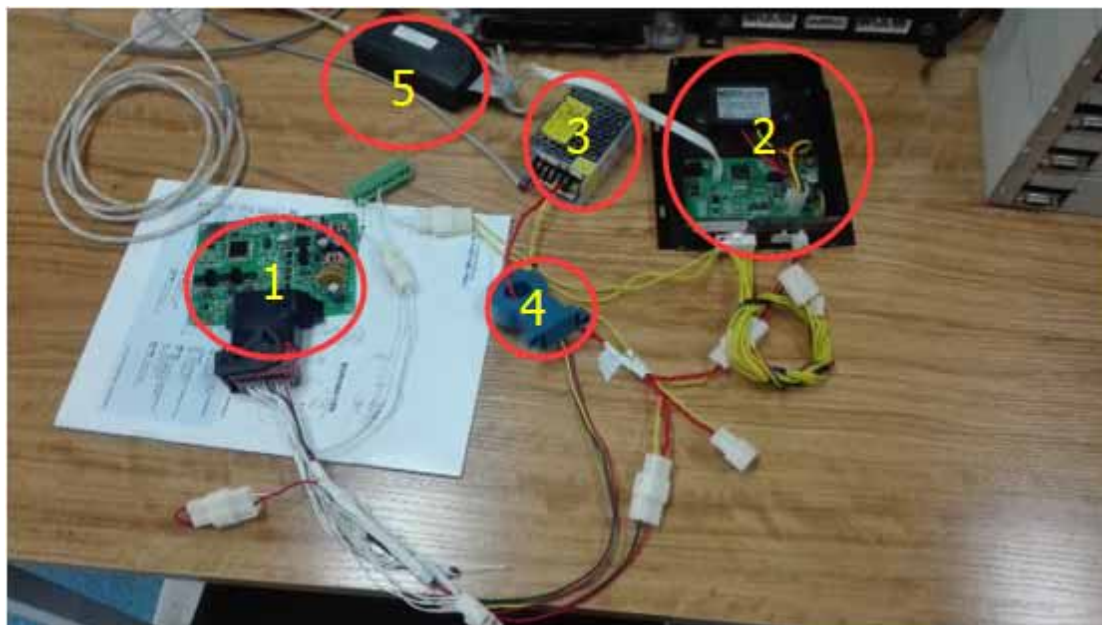


图 6-2 电流检测通信实验及模块实物图

图中： 实验测试板， 分控模块， 12V 开关电源， 电流传感器， J-Link 仿真器

因实验成本关系，实验平台中所采用的磷酸铁锂电池额定容量为 9.5Ah 和 16Ah，黄海商务电动车中车载磷酸铁锂电池额定容量为 60Ah。实验平台主要测试电压检测、电流检测的准确度和 CAN、RS-422 通信功能是否正常。

(1) 磷酸铁锂电池：黄海商务电动车车载电池选用额定容量 60Ah、充电截止电压 3.7V、最大充放电电流 180A、尺寸：高 190mm、130mm、厚 36mm、重量 1.65kg 的磷酸铁锂电池。

(2) 电压采集线（图 6-1）：电压采集线需具备绝缘、抗老化、阻燃以及耐高温等特点，因此采用高温阻燃线作为电压采集线进行电压采集。

(3) 电流传感器（图 6-2）：选用 LEM 霍尔电流传感器进行电流检测，引脚主要分为电源、地与模拟信号。通过将电动车总压线从霍尔电流传感器中间穿过测得充放电电流，安装在电池箱中。

(4) CAN 总线：车载系统之间通信除了分控模块与电池检测模块之间采用 RS-422 通信以外，其他所有都是通过 CAN 总线通信，因此非常重要。车辆内部使用双绞线作为 CAN 总线，供车载系统之间和车载系统与上位机之间相互通信。

6.3 电池信息检测实验

(1) 电压检测

新能源电动车的使用安全指数绝大多数来源于电池的电压检测，电池的电压若检测不准而导致电池过压或欠压，都可能发生车辆的安全事故，因此提高电池

的电压检测精度是非常有必要的。电压检测单元采用分离器件搭建采集电路，因此电压检测单元每一路的采集值都是没有联系的，想得到电压的采集精度则需要得到每一路的采集电压与真实电压相比较。首先通过具有稳定电压输出的电压基准板校准电压检测单元，使之降低采集误差。再利用万用表检测充放电过程中的磷酸铁锂电池电压与电压检测单元实时检测的电压值进行比较，得出实时电压检测的精度。经多次充放电实验后，单体电压检测精度达到 99%以上，单体电压检测误差控制在 8mV 以内，个别电池电压因温度、变电流充电以及检测器件等因素影响，最大误差可能达到 8mV。并且电压检测误差会受充放电电流、电池温度等因素的影响，在实验中可以发现电池电压在系统放电截止电压 2.80V 和系统充电截止电压 3.65V 附近电池电压变化相对较快。其中某一路电池在 60Ah 充电电流充电时的电压采集，如表 6-1 所示。

表 6-1 电压采集实验数据

实际电池电压 (V)	采集电池电压 (V)	误差 (V)	相对误差 (%)
2.855	2.853	-0.002	0.07
2.934	2.932	-0.002	0.07
3.006	3.005	-0.001	0.03
3.131	3.132	0.001	0.03
3.199	3.200	0.001	0.03
3.265	3.265	0	0
3.309	3.310	0.001	0.03
3.346	3.345	-0.001	0.03
3.422	3.421	-0.001	0.03
3.465	3.463	-0.002	0.06
3.501	3.498	-0.003	0.08
3.556	3.552	-0.004	0.11
3.603	3.599	-0.004	0.11

(2) 电流检测

因为电流检测精度大大的影响系统在充放电过程中对 SOC 的估算，因此系统要求电流检测精度必须精准。经过标准的充电机进行充放电实验时，可自行设置充放电电流。在充放电过程中，通过上位机监测霍尔传感器检测返回的电流，

再与充电机实际充放电电流相比较,则可得出电流检测的精度。经过多次不同电流进行充放电实验,可发现使用的霍尔电流传感器的检测误差可控制在 0.8A 以内,并且充放电电流越大,检测误差将会越大。不同电流下进行充放电实验结果如表 6-2 所示。

表 6-2 电流采集实验数据

实际电流 (A)	检测电流 (A)	误差 (A)	相对误差 (%)
20	19.9	0.1	0.5
60	59.7	0.3	0.5
80	79.6	0.4	0.5
100	99.5	0.5	0.5
120	119.3	0.7	0.58

(3) SOC 估算

因为 SOC 估算精度会影响用户的判断和车辆的使用安全,因此 SOC 的估算精度要求同样精准。在电池充放电过程中估算 SOC 判断精度主要通过采集电池组的总电压与额定总电压的比值与估算的 SOC 相比较,得出 SOC 的估算精度,并且在放电过程中 SOC 会被强制校准,每轮充放电实验下,SOC 估算误差控制在 6%以内。某次放电过程得到的 SOC 估算误差如表 6-3 所示。

表 6-3 SOC 估算实验数据

电池组总电压 (V)	SOC (%)	SOC 估算值 (%)	误差 (%)
587.3	97.3	100	2.7
576.72	89.6	92.1	2.5
570.24	84.8	87.0	2.2
565.38	81.3	82.9	1.6
555.66	74.2	75.6	1.4
542.7	64.7	66.0	1.3
532.98	57.6	58.6	1.0
528.12	54.1	55.2	1.1
518.4	47.0	48.2	1.2

电池组总电压 (V)	SOC (%)	SOC 估算值 (%)	误差 (%)
513.54	43.5	44.9	1.4
508.68	40.0	41.6	1.6
503.82	36.4	37.6	1.2
497.34	31.6	32.7	1.1
486	23.4	24.2	0.8
473.04	13.9	14.5	0.6
463.32	6.8	6.9	0.1
454.41	0.3	0%	-0.3

(4) 电压—SOC 关系曲线

由新能源汽车电池管理系统测试实验可得,充放电过程中电池组的单体电压与 SOC 之间的关系曲线,曲线满足磷酸铁锂电池与 SOC 之间的变化规律。关系曲线如图 6-3 所示。

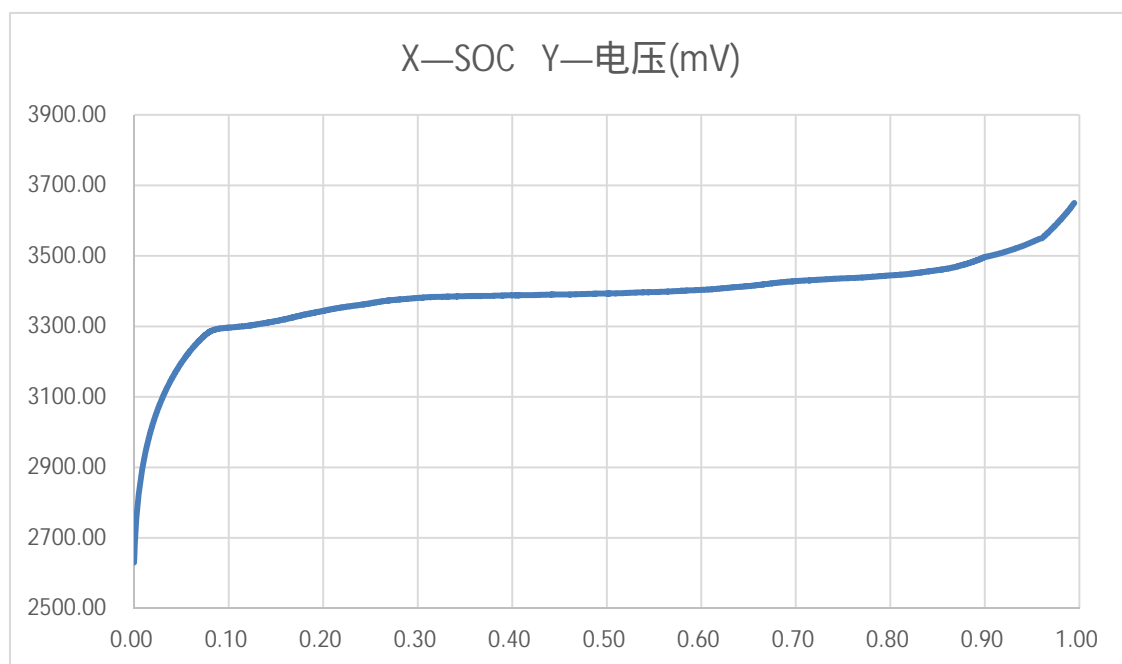


图 6-3 电池电压与 SOC 关系曲线

6.4 CAN 通信实验

整个系统间的通信以 CAN 通信为主,无论是在车载设备之间还是在车载设

备与上位机之间通信，CAN 通信都是必不可少的。为测量 CAN 通信的稳定与实时性，此实验为模拟实验与实际运行实验结合，采用模拟报文数据发送指令或车辆运行信息，利用上位机观察各个模块之间有无做出相应回复和显示，并采用自测试的方法测试上位机本身的 CAN 收发与显示功能。并在实际测试实验中，利用上位机进行实时监控，获取第一时间的实验数据并保存。图 6-4、6-5 为车辆上路实际运行时的监控显示界面。

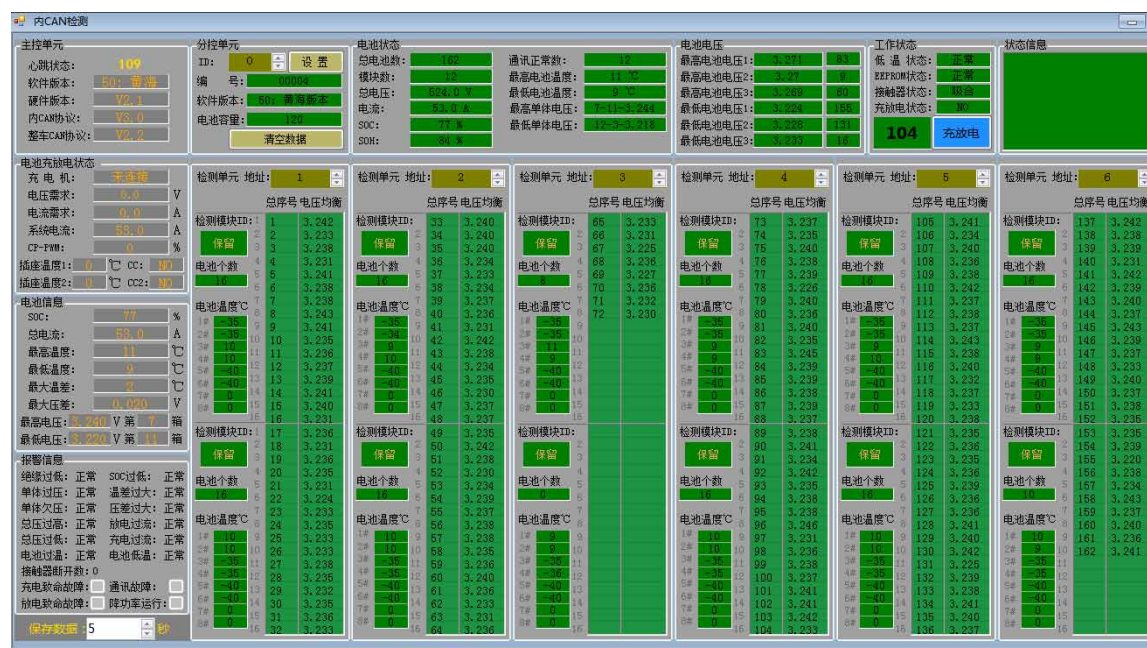


图 6-4 CAN 实验图片

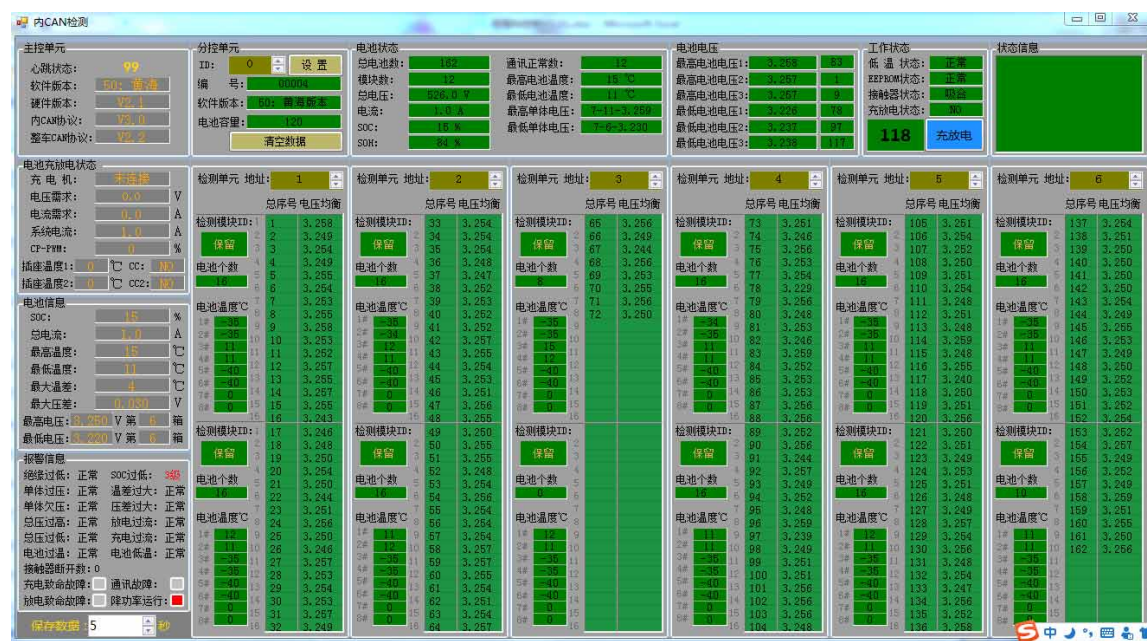


图 6-5 CAN 实验图片

6.5 实验结论

针对此系统进行测试实验，验证系统各个模块功能、检测精度和系统运行稳定性。实验结论主要有以下几点：

(1) 电池检测模块采用分离器件模式采集电压，未使用市场上广泛采用的电压采集芯片模式，实现了技术突破。电压检测误差控制在 0.3%以内，达到了较好的检测效果。

(2) 充放电电流检测正常，检测电流最大误差控制在 0.8A 以内；

(3) SOC 估算达到预期目标，估算误差控制在 6%以内；

(4) 检测返回的电压、温度、充放电电流以及各项电池状态信息与报警信息实时显示在上位机与车载仪表中；

(5) 各个功能模块间通信正常，系统稳定运行。

6.6 本章小结

本章主要对研制完成的新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统进行测试实验。在设计了电压、电流、SOC 估算、CAN 通信检测等实验的基础上，通过一系列的实验检测获得实测数据，进一步对数据的有效性与可靠性进行评估。验证了本系统实现的功能和检测精度，系统运行稳定，综合测试结果理想，达到预期目标。

结 论

(1) 结论

在本系统中,采用磷酸铁锂电池作为新能源电动车的动力来源,对磷酸铁锂电池在充放电过程中的变化进行管理,确保车辆的运行安全。根据设计目标给出相应的技术方案,完成了本系统的设计,结果达到了预期目标。本课题取得研究成果有以下几点:

1) 电池检测模块采用分离器件模式采集电压,运用融合多种估算方法的电池组 SOC 估算方案,研制完成了新能源汽车电池 SOC 监测及充放电监控系统。该系统具有较好的稳定性、性价比和检测误差,满足企业标准,实现了技术突破。

2) 完成对车载电池的单体电压、充放电电流、温度的实时检测,以及对车载电池的 SOC、SOH 估算。在满足企业标准的同时,实现对新能源电动车在充放电过程中的可储存电量与剩余电量做出准确判断。

3) 设计完成了一套上位机监控软件,监控车辆在充放电过程中的系统信息,方便测试和使用人员监控、调试分析。

4) 系统各个模块之间相互通信、协作连接为一个整体,并根据检测信息判断整车的安全状况、运行状态、单体电池状态以及系统故障等信息,确保车辆在充放电过程中的使用安全。

(2) 展望

本系统经过一系列研究实验,实现了预期的目标,但仍然还存在着一些不足,在后期还需加以改进。比如增加本系统的市场使用率、将自主研发的电压检测模块集成芯片化。在后面的研究中,将着重针对这些问题进行研究分析。

1) 根据系统具有较好的稳定性、超高的性价比与准确的检测误差等优点,大力推广本系统在市场的使用,增加本系统的市场占用率。

2) 将自主研发的电压检测模块集成芯片化,减少电压检测模块的占用空间,使整个硬件系统更加简洁、美观。

致 谢

时光如梭，转眼之间，三年的研究生时光以接近尾声。三年时光，给予我的收获可谓是千金难买。三年里，我收获了知识、收获了成果、收获了技能以及收获了做人的美德，还有那难忘的师生情。记得刚入校园，对自己的研究方向感到迷茫，不知往什么方向发展。在导师和师兄们的带领下，开始接触单片机与硬件知识，记得最先接触的是核仪器相关的硬件，通过参照硬件电路与实物，学习掌握了电子设计和制作方面的知识；然后接触 STM32 单片机，经过一学期的学习实践掌握了硬件与软件的相互配合开发知识，这些知识为今后的学习奠定了基础以及给了我极大的支持。导师不仅在注重增强我的学术研究能力，还时刻关注我的学术作风，在传授科研学术研究知识的同时，也教会了我许多做人处事的道理。在这里，请允许我向研究生三年时光中给予过我帮助的老师、同学、朋友以及家人说一声感谢。

首先要感谢的就是三年里传授我许多知识的导师方方教授，在还未进校园第一次见到方方老师的时候，就感觉到方方老师的和蔼可亲。进入校园后，方方老师首先根据我们的自身学习状况，向我们提出了学习建议，并时常关心我们的学习与生活状况。在方老师的带领下，和师兄们参与了老师的科研项目，项目中不仅得到了老师的指导，还跟着师兄们提高了自己的动手能力与独立思考能力。在这里，向帮助过我的师兄师姐们表示真挚的感谢。随着自己的知识面与思路逐渐扩宽，当自己有了新的想法或者不解时，都会和方方老师交谈，方老师每次都非常耐心的解答我的疑惑和根据我的想法开展可行性分析，并且支持我们进行自己感兴趣的学术研究。在这里，再一次真挚的感谢方老师对我们的谆谆教导。

其次，我要感谢帮助我的师兄师姐以及一起生活的室友。感谢他们在学习和生活中对于我的关心与帮助。在平时的学习生活中，遇到问题时正是有他们的耐心帮助和提出宝贵的意见和建议，我才能顺利的找到解决难题的方法。有了师兄师姐们的带领与帮助，才使得我能够快速的融入研究生的学习氛围中，找到属于自己的研究方向和学习方法。

最后，我要感谢我的家人，是他们的无私奉献，我才能走到今天；是他们的默默支持，我才有奋斗的勇气；是他们的充分信任，我才对自己充满信心。感谢你们对我的付出、支持、信任与包容，我会以更好的自己来回报你们，谢谢！

参考文献

- 陈京才. 2010. 磷酸铁锂电池自放电和过放电研究[D]. 中山大学.
- 杜政平,郑燕萍. 2014. 车用磷酸铁锂电池荷电状态的 LPV 模型卡尔曼滤波算法[J]. 森林工程,30(04): 117-120.
- 冯雷,李松,丁富强. 2012. 电动汽车高压安全管理系统设计[J]. 科技与企业, (11): 124-125.
- 冯勇. 2010. 电动汽车电池管理系统研究[D]. 湖南大学.
- 黄捷. 2012. 纯电动汽车锂电池管理系统的研究[J]. 科技资讯, (12): 4-5.
- 胡兴国. 2007. 动力电池进展[J]. 电池工业, (02): 113-118.
- 华夏储能. 新能源汽车动力电池你懂多少[EB/OL]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1585861444008540399&wfr=spider&for=pc>.
- 黄业伟. 2014. 电动汽车锂离子动力电池健康状态估计方法研究[D]. 合肥工业大学.
- 黄耀波,唐海定,章欢,翁国庆. 2013. 基于遗传神经网络的电动汽车锂电池 SOC 预测[J]. 机电工程, 30(10): 1255-1258.
- 侯幽明,陈其工,江明. 2011. 磷酸铁锂电池模型参数辨识与 SOC 估算[J]. 安徽工程大学学报, 26(02): 55-58.
- 何正莲. 2017. 电动汽车锂离子动力电池组健康状态估计方法的研究[D]. 青岛科技大学.
- 李琳辉,王蒙蒙,周雅夫,连静. 2013. 电动汽车用动力电池 SOC 估算方法概述[J]. 汽车电器, (12): 12-15.
- 刘斐. 2012. 纯电动汽车电池管理系统的研究与设计[D]. 山东大学.
- 刘浩. 2010. 基于 EKF 的电动汽车用锂离子电池 SOC 估算方法研究[D]. 北京交通大学.
- 罗诗韵,汪洋. 2015. 电池管理系统的研究现状[J]. 企业技术开发, 34(27): 126-127
- 李晓霖. 2017. 电动汽车动力电池管理系统关键技术研究[D]. 天津职业技术师范大学.
- 刘玉丛,崔春峰,高娟. 2013. 电动汽车锂电池 SOC 估测[J]. 电子质量, (06): 56-59.
- 罗玉涛,何小颤. 2012. 动力锂离子电池热安全性影响因素的研究[J]. 汽车工程, 34(04): 333-338.
- 马贝贝. 2016. 电动汽车电池管理系统的研究与设计[D]. 济南大学.
- 孙骏,李宝辉,薛敏. 2011. 电动汽车 SOC 估算方法[J]. 汽车工程师, (12): 25-27+34.
- 司康. 2012. 电动汽车核心技术之动力电池及管理系统介绍(一)—动力电池的主要种类及性能特点[J]. 轻型汽车技术, (09): 35-39+60.
- 司康. 2012. 电动汽车核心技术之动力电池及管理系统介绍(三)—电池管理系统及其关键技术[J]. 轻型汽车技术, (Z4): 31-36.
- 史万莉,高建中. 2014. 锂电池组充放电安全保护电路设计[J]. 电子世界, (13): 149.
- 田甜,李孝尊,李红梅. 2012. 磷酸铁锂电池的改进建模及 SOC 估计[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 35(09): 1192-1195+1252.

- 吴刚. 2016. 纯电动汽车磷酸铁锂电池管理系统设计[D]. 南昌大学.
- 吴红杰,谢旺,黄宏成,袁世斐. 2013. 温度对锂离子电池脉冲充放电特性的影响[J]. 新型工业化,3(10): 48-53.
- 武红玉. 2015. 电动汽车动力电池状态的实时监测系统构建[J]. 产业与科技论坛, 14(06): 80-81.
- 王通. 2017. 电动汽车电池管理系统 SOC 估算及均衡控制研究[D]. 昆明理工大学.
- 王银辉,刘兴华,仇滔. 2003. 混合动力电动汽车的研究[J]. 内燃机, (03): 27-29+31.
- 西域. 2017. 霍尔电流传感器工作原理、测量方法及应用 [EB/OL].
http://www.ehsy.com/article/news_detail-35758.
- 夏正鹏,汪兴兴,倪红军等. 2012. 电动汽车电池管理系统研究进展[J]. 电源技术, (7):1052-1054
- 杨君. 2011. 电动汽车动力电池组管理系统设计[D]. 大连理工大学.
- 于仲安,简俊鹏,何方. 2014. 动力锂电池 SOC 估算研究其管理系统设计[J]. 电力电子技术, 48(08): 46-50.
- 杨新兴,冯丽华,尉鹏. 2012. 汽车尾气污染及其危害[J]. 前沿科学, 6(03):10-22.
- 杨亚联,秦大同,彭志远,任勇等. 2007. 一种混合动力汽车用动力电池组的管理系统. 中国. 200620110480.8[P].
- 杨志刚,黄慎,赵兰萍. 2011. 电动汽车锂离子电池组散热优化设计[J]. 计算机辅助工程, 20(03): 1-5.
- 中国国家标准化管理委员会. 2015. GB/T 18487.1-2015. 电动汽车传导充电系统 第 1 部分：通用要求[S]. 北京. 中国标准出版社.
- 张俊,谢伟东. 2013. 纯电动汽车高压回路安全监测系统设计[J]. 机电工程, 30(03): 364-367.
- 邹金校. 2017. 纯电动汽车 SOC 估算方法研究[D]. 长安大学.
- 邵明宇. 2017. 新能源汽车的发展现状与对策[J]. 时代农机, 44(09):63.
- 张庆,李革臣. 2008. 锂离子电池充放电特性的研究[J]. 自动化技术与应用, (12): 107-109.
- 张松. 2017. 电动汽车用锂电池 SOC 估算方法研究[J]. 电源技术, 41(12): 1792-1794.
- 张维鑫,韩友国,戴润义等. 2008. 分布式电池管理系统及其管理办法. 中国.20081002154.3[P].
- Atsushi Baba, Shuichi Adachi. 2014. SOC Estimation of HEV/EV Battery Using Series Kalman Filter[J]. Electrical Engineering in Japan, 187(2).
- Bo Ning, Jun Xu, Binggang Cao, Bin Wang, Guangcan Xu. 2016. A Sliding Mode Observer SOC Estimation Method Based on Parameter Adaptive Battery Model[J]. Energy Procedia, 88.
- Cheng KWE, Divakar BP, et al. 2011. Battery Management System and SOC Development for Electrical Vehicles[J]. IEEE Trans, 60(1): 76-88.
- Chunbo Zhu, Tiecheng Wang, HURLEY W G.A. 2004. new state of charge determination method for battery management system[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, (06): 624-630.

- Gi-Heon Kim, Ahmad Pesaran, Robert Spotnitz. 2007. A three-dimensional thermal abuse model for lithium-ion cells[J]. *Journal of Power Sources*,170(2).
- Gang Ning, Ralph E. White, Branko N. Popov. 2006. A generalized cycle life model of rechargeable Li-ion batteries[J]. *Electrochimica Acta*,51(10).
- Gaopeng Li, Jieli Zhang, Hongwen He. 2016. Battery SOC constraint comparison for predictive energy management of plug-in hybrid electric bus[J]. *Applied Energy*.
- Haifeng Dai, Xuezhe Wei, Zechang Sun, Jiayuan Wang, Weijun Gu. 2012. Online cell SOC estimation of Li-ion battery packs using a dual time-scale Kalman filtering for EV applications[J]. *Applied Energy*,95.
- Junfu Li, Qingzhi Lai, Lixin Wang, Chao Lyu, Han Wang. 2016. A method for SOC estimation based on simplified mechanistic model for LiFePO₄ battery[J]. *Energy*,114.
- Jin Hua Xue, Ji Lei Ye, Xiao Hua Wang, Bo Yang. 2013. An Optimization Capacity Design Method of Battery Energy Storage Based on SOC for Leveling Off the PV Power Fluctuation[J]. *Advanced Materials Research*, 2621(788).
- Jun-yi LIANG, Jian-long ZHANG, Xi ZHANG, Shi-fei YUAN, Cheng-liang YIN. 2013. Energy management strategy for a parallel hybrid electric vehicle equipped with a battery/ultra-capacitor hybrid energy storage system[J]. *Journal of Zhejiang University-Science A(Applied Physics & Engineering)*, 14(08): 535-553.
- Jinzhong Zhou, Wen Yu Jian. 2014. An Estimation Strategy of Lithium Battery SOC Based on Gauss-Hermite Filter[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2947(492).
- Nameless. 2011. Battery Management System Used in Electric Vehicles[J].*电力电子技术*, 45(12): 2-10.
- Weidong Guo. 2015. Study on Automobile Power Battery Management System Design[A]. International Informatization and Engineering Associations, Atlantis Press.Proceedings of 2015 International Conference on Management Science, Education Technology, Arts, Social Science and Economics (MSETASSE 2015) [C]. International Informatization and Engineering Associations, Atlantis Press: 6.
- Yanping Zheng, Han Wang, Zheng Ping Du. 2012. Research on SOC Estimation of LiFePO₄ Battery in HEV[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 1503(130).
- Yang Yang, SU Ling, QIN Datong, GONG Hui, ZENG Jianfeng. 2014. Energy Management Strategy for Hybrid Electric Vehicle Based on System Efficiency and Battery Life Optimization[J]. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 19(03): 269-276.
- Zhongan Yu, Jun Peng Jian. 2014. Study on Battery Management System Design of Electric Vehicle and Strategy of the SOC Estimation[J]. *Advanced Materials Research*, 3227(945).

攻读学位期间取得学术成果

谭钧剑, 方方, 林泽萍, 林宇. 2016. 多功能气体泄漏监控系统设计[J]. 数字技术与应用.(01):167

林泽萍, 方方, 谭钧剑. 2016. 无线温度监控系统应用设计[J]. 信息系统工程. (05):45

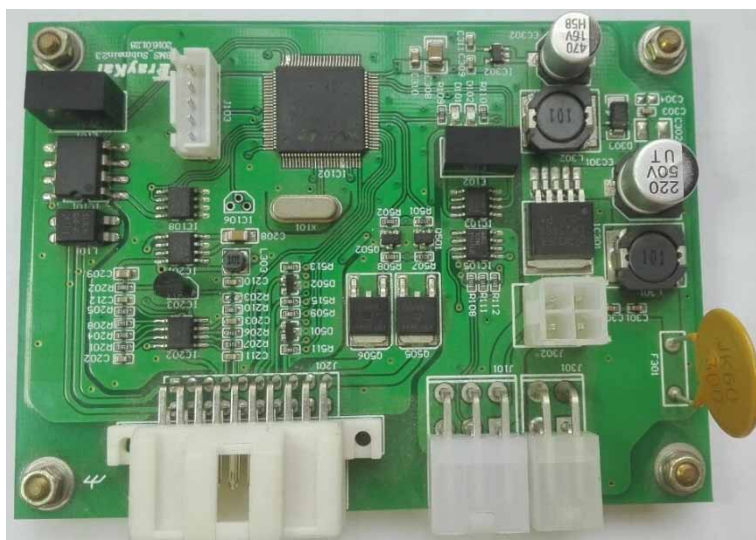
林宇, 方方, 林泽萍, 谭钧剑. 2016. 基于 MPU6050 三轴倾角测控设计[J]. 数字技术与应用.(01): 181.

附录

主控模块产品图片：



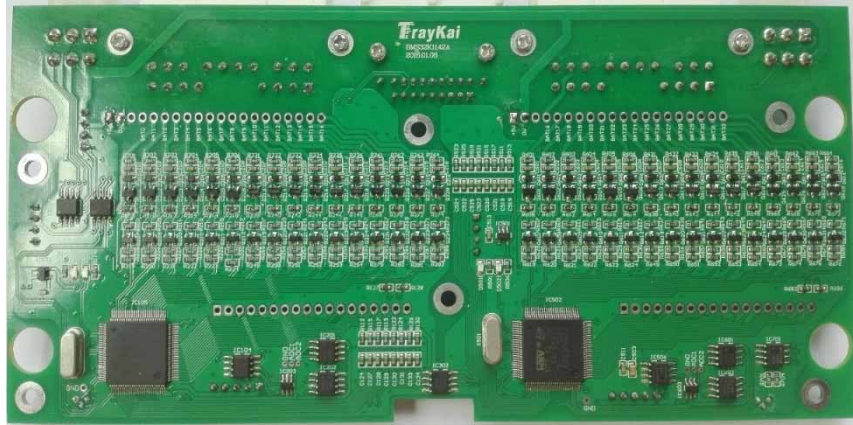
分控模块产品图片：





电池检测单元产品图片：





绝缘检测模块产品图片：



CAN 模块与电池图片：

