

学校编码: 10384  
学 号: 9631004

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

学 位 论 文

铅酸电池剩余电量估计系统的研究与实现

黄 伟 斌

指 导 教 师: 张阿卜 副教授

厦门大学自动化系

申请学位级别: 硕 士

专 业 名 称: 控制理论与控制工程

论文提交日期: 1999 年 月 日

论文答辩日期: 1999 年 月 日

学位授予单位: 厦 门 大 学

学位授予日期: 1999 年 月 日

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

1999 年 5 月

## 摘要

随着石油能源的日益枯竭和环境污染问题的日益突出,电动汽车将成为未来的主要交通工具得到了人们的普遍的认可。因而,电动汽车的研制和发展得到了各国政府的大力支持和鼓励以及各大汽车公司和科研机构的重视。我国政府也已看到发展研制电动汽车的重大意义,在“八五”及“九五”规划中已经把研制开发电动汽车列入重大科技发展项目中。

作为电动汽车发展的相关技术之一,即电动汽车电池的剩余电量估计系统的研制也逐步的深入并进入实用化阶段。电池剩余电量估计系统的研究及使用,是有效地延长电池使用寿命的一个重要手段。电池剩余电量估计系统不仅能够防止电池过放电或过充电,而且在电动汽车行使过程中起到了汽车汽油表的重要作用。

本文针对目前在国内广泛使用的铅酸电池,分析和比较了国际上在剩余电量估计算法及系统研制上所取得的成果,提出并研制了一种实用性强、精度高的剩余电量估计系统,详细地介绍了该系统的原理和方法以及其在软硬件的具体实现。

本系统的剩余电量估计是一个实用而可靠的动态电量估计系统,主要以电量跟踪法为主并充分考虑了剩余电量受电池老化、不同放电率及温度等因数的影响。另外,利用开路电压法及负载电压法进行剩余电量的自我校正,消除系统的累积误差。该方法比起国际上经常采用单一的负载电压法、内阻法等预测剩余电量实现起来都比较实用而符合实际,而且受电池本身情况的限制小,宜于发挥微处理器监测的优点。由于电动汽车实际运行中,电池的放电过程比较复杂,加上电池在容量、电压等指标不尽相同,本系统除了在可靠性和稳定性方面做了大量的工作外,还具有良好人机交互功能,实现了标称电量、标称电压及额定电压、电流等参数的可调整,使软件具有一定的通用性。

本剩余电量估计系统采用了飞利浦的8XC552系列单片机。该单片机具有温度范围宽、可靠性高、性能好等特点,特别是其I<sup>2</sup>C总线技术,简化了系统硬件设计,减少了外部引线,对系统的实现起到关键性的一步。本文对8XC552、I<sup>2</sup>C总线技术及其外围芯片也作了简要的描述。另外,本文对于在系统实验过程中,有关于硬件的调试及应注意的问题也作了说明,并介绍了工程C51的编译环境及软件设计所采取的优化方法。

最后,本文对系统实现过程中的几个重要实验进行相应的说明,给出实验结果和简要的分析。

### 【关键字】

铅酸电池

剩余电量

I<sup>2</sup>C总线

## Abstract

With the running out of the petroleum energy and the growing up of the environment pollution, realizing that the electric vehicles would become the main transportation in the future, most of governments and many companies are engaged in its research. China has also pay attention to the development of the electric vehicles.

As one of the relevant techniques, the estimate system of the battery's residual capacity can prevent the battery from over discharging or over charging efficiently and prolong the battery's life. In addition, an exact indicator of the residual capacity is very important for the chauffeur of the electric vehicles.

At first, this paper introduced some important characteristic about the lead-acid battery which has been widely used in china and analyzed some achievements of the residual capacity estimation in the world. Then this paper proposed a practicable and more precise estimate system of residual capacity, provided with its principles and implementation on both hardware and software.

Based on accurate data collection, taking it into consideration that the remaining energy is influenced by the aging of the battery, the discharging current and the temperature, this system is made and using measure of opening-circuit voltage and measurement of voltage at constant current to eliminate the accumulative errors of the system. This system is more practicable and dependable, has less limitation of the battery.

This system used Philips 8XC552 microprocessor which has the advantages on the broad temperature range, the high reliability and the good performance. Especially, the I<sup>2</sup>C bus which played an important role in the realization of the system, can simplify the hardware design and reduce the external lines. The relevant debug of the hardware, optimize of the software and the compile environment of the project C51 were all introduced in this paper.

Finally, the paper discussed some important experiments and analyzed their final data.

**Keyword:** lead-acid battery      Residual Capacity      I<sup>2</sup>C bus

# 目录

第一章 绪论 .....	1
§1.1 课题研究的背景及意义 .....	1
1.1.1 电动汽车发展的需要和迫切性 .....	1
1.2.2 电动汽车发展的现状 .....	2
1.2.3 本课题研究的意义 .....	2
§1.2 铅酸电池电化学原理 .....	3
§1.3 铅酸电池的放电特性 .....	4
1.3.1 容量特性 .....	4
1.3.2 电压特性 .....	5
§1.4 铅酸电池电量计量的相关概念 .....	6
§1.5 铅酸电池电量计量研究发展状况 .....	8
第二章 剩余电量估计系统的硬件组成 .....	10
§2.1 硬件系统的总体方案设计 .....	10
§2.2 8XC552 概述 .....	11
§2.2 $I^2C$ 总线的概念及其规范 .....	11
2.2.1 $I^2C$ 总线的概述 .....	11
2.2.2 $I^2C$ 总线的概念 .....	12
2.2.5 操作模式 .....	13
§2.3 主板概述及电路说明 .....	14
2.3.1 主板概述 .....	14
2.3.2 日历时钟 PCF8583 电路说明 .....	15
2.3.3 $E^2PROM$ 电路 AT24C0XA 说明 .....	16
2.3.4 键盘显示电路说明 .....	16
2.3.5 其它电路说明 .....	17
第三章 剩余电量计算方法的研究 .....	19
§3.1 概述 .....	19
§3.2 铅酸电池模型研究 .....	19
3.2.1 铅酸电池的恒流放电 .....	19
3.2.2 铅酸电池电压模型的研究 .....	19
§3.3 剩余电量估计的主要算法 .....	21
3.3.1 影响电池容量的主要因素 .....	21
3.3.2 剩余电量的常用算法 .....	23
3.3.3 本剩余电量估计系统的算法与实现 .....	25
第四章 软件结构设计与系统功能实现 .....	27
§4.1 概述 .....	27
§4.2 系统主要的算法流程 .....	27
§4.3 电池模型的软件实现 .....	29
4.3.1 电池模型在单片机的存储问题 .....	29
4.3.2 不同温度下自放电曲线的自动生成 .....	30
4.3.3 电池老化曲线的自动生成 .....	30
4.3.4 不同放电率下放电修正系数曲线的自动生成 .....	30
§4.4 系统初始化 .....	32
4.4.1 硬件系统初始化及自动检测模块 .....	32
4.4.2 系统初次运行数据初始化模块 .....	32
4.4.3 软件系统初始化及自动检测 .....	32
§4.5 初始电量的给定及修正 .....	36

4.5.1 电池初始电量的给定.....	36
4.5.2 剩余电量的修正模块.....	36
§4.6 数据的采集及安时计算.....	37
4.6.1 数据采集模块.....	37
4.6.2 安时计算模块.....	38
4.6.3 不同温度下安时计算的校正.....	38
4.6.4 不同放电率下安时计量的校正.....	39
§4.7 剩余电量的自我校正.....	40
4.7.1 校正方法概述.....	40
4.7.2 本系统采用的校正方法.....	40
§4.8 系统的人机交互功能设计.....	40
4.8.1 键盘功能模块.....	40
4.8.2 显示模块.....	42
4.8.3 LED 功能模块.....	43
4.8.4 故障码的设置与编制.....	44
§4.9 数据的存储及传送.....	45
4.9.1 E <sup>2</sup> PROM 的读写模块.....	45
4.9.2 数据更新模块.....	45
4.9.3 串口功能模块.....	45
<b>第五章 硬件调试与软件开发环境.....</b>	<b>47</b>
§5.1 硬件调试.....	47
5.1.1 电压、电流传感器说明.....	47
5.1.2 钳位电压的调试.....	49
5.1.3 电压、电流线路调试.....	50
5.1.4 温度线路.....	51
§5.2 软件开发平台说明.....	51
5.2.1 编程语言说明.....	51
5.2.1 编译环境说明.....	52
<b>第六章 系统实验与结果.....</b>	<b>55</b>
§6.1 实验环境.....	55
§6.1 剩余电量计实验.....	55
6.1.1 电池恒负载放电实验.....	55
6.1.2 负载电压实验.....	55
6.1.3 自放电实验.....	56
6.1.4 用本系统估计电池剩余电量实验.....	57
<b>第七章 剩余电量估计系统的改进问题.....</b>	<b>58</b>
<b>结束语.....</b>	<b>59</b>

# 第一章 绪论

## §1.1 课题研究的背景及意义

### 1.1.1 电动汽车发展的需要和迫切性

随着汽车的迅速发展及普及，人类面临着它所带来的两大问题<sup>[1]</sup>：环境的污染和能源的消耗。这两大问题的日益严重，促使了对电动汽车的研究和发展的迫切性。这种迫切性主要原因阐述如下：

1) 石油资源短缺对电动汽车发展的需求。汽车所消耗的燃油来自石油，石油属于不可再生能源。石油作为一种储量有限的矿物资源。按目前开采速度，只能再用 30-40 年。汽车是现代社会的交通工具，随着汽车数量的不断增加，作为石油能源的主要消耗者，燃油汽车命运面临无法回避的挑战。目前绝大多数汽车仍以石油为能源，石油消费中，大约 30-40% 用于汽车。本世纪发生的两次能源危机迫使人们寻求能源问题根本性解决对策。各国开展代用燃料汽车研究，相继开发了以甲醇、乙醇、液化石油气、天然气和电力为能源的车辆。但实践表明，除以电力、太阳能、液态氢外，上述燃料虽在环境污染上有所减少，但都存在弊病<sup>[2]</sup>。液化石油气容易汽化的特性使人容易想到有潜在危险，甲醇和乙醇因化学分子式中氧原子比汽油多，故在同一重量燃料中，蕴涵的发热能量低，甲醇和乙醇等酒精燃料“雾压”值较汽油低，不利于在寒冷环境下启动发动机。而且上述能源属于一次能源，都面临能源枯竭的危机。以蓄电池存储电能为动力的电动车可很好解决能源问题。因为电能属于二次能源，通过多种途径将其他能源（火力、水力、风力、核能、太阳能、潮汐能等）转换得到，而且可在夜间充电，可以平衡电网负荷和改善电网供电质量。电动汽车可以采用先进的技术使整个系统的能量利用率很高。

2) 燃油汽车对环境的污染导致了对电动车辆的需求。汽车作为一种无以替代的交通工具，也是一个流动的污染源。在大气污染中，一些有害成分主要来自汽车排放的尾气。比如，在美国和日本的大气污染中，95%-99% 的一氧化碳来自汽车排放的尾气；汽车排放的氮氧化物所占比例也很高，美国为 32-55%，日本东京为 36%<sup>[3]</sup>。据有关方面统计，每千辆机动车每天排出污染物

一氧化碳	50 — 150Kg
碳氢化合物	200 — 400Kg
氮氧化合物	50 — 150Kg

另一种污染是噪音，车辆在行进中产生的噪音成为许多城市街区主要噪音源。为了减小汽车造成的大气污染以及街区噪音污染，电动车辆是被最看好的零污染车辆，它以蓄电池储存的电能为动力，在行驶中几乎没有废气排出，排放要比内燃机减少 92-98%；它的噪音仅有内燃机车的一半。总之，电动车辆在接

近零污染的汽车目标。

## 1.2.2 电动汽车发展的现状

正是内燃机汽车所带来全球性的环境污染及能源面临枯竭的情况下，电动汽车作为“零排放”的交通工具，日益受到人们的重视及各国政府的支持和提倡。目前，世界上许多大汽车公司纷纷研制推广电动汽车，将电动汽车投入商业化生产<sup>[4]</sup>。例如，美国通用汽车推出了 EV-1 两座轿车，法国标致雪铁龙公司生产的 P106 和 SAXO 四座轿车，日本丰田公司的 RAV4 EV 四座轿车等等。这些国家开发的电动汽车在技术上给人以耳目一新的感觉，其性能除了在续驶里程和价格方面还与内燃机存在差距之外，其余性能已达到使用要求。

我国政府也已看到发展研制电动汽车的重大意义，在“八五”及“九五”规划中已经把研制开发电动汽车列入重大科技发展项目中。

EV 关键技术研究主要包括：

- 1.车体研究：研究重量轻、摩擦少的适合于 EV 的、适应于不同应用场合的车体结构及外型；
- 2.电池及其充电管理系统的研究：主要研究各种不同性能的电池及电池充电方法；
- 3.驱动系统研究：主要研究电驱动系统，研制各种高效、大功率的电机，提供车体行驶所必需的动力源。
- 4.整车行使控制、辅助驾驶问题。

## 1.2.3 本课题研究的意义

电动汽车的研究中，如何提高能量的储备，以及如何提高能量的利用率，是所有研究技术中比较重要的两个方面。集中在电池的研究中，主要是寻找一种比能量高、比功率大、寿命长的电池。在几种常用的电池中，铅酸电池虽然在性能上不如其它几种常用电池，但因为其制造方便、维护简单、价格最低，因而在目前 EV 用电池的使用中仍然占有一定的比重，本论文中实现的剩余电量估计系统就是针对铅酸电池而言的。

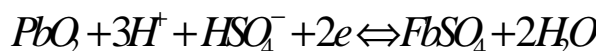
剩余电量估计系统的研究及使用，是有效地提高电池使用寿命的一个重要手段。剩余电量估计系统不仅能够准确地测量出使用过程中消耗的电池能量，而且应该能够正确地预测出电池所剩的电量即剩余电量。通过使用电量估计系统，电池的使用者可以随时了解电池的状态，特别是在以电池作为能源的电动汽车上，剩余电量估计系统可以根据汽车驾驶工况估计在当前行驶状态下能够行驶的里程，从而能够有效地减轻驾驶员的心理负担，并提高电池的利用率，延长电池的使用寿命。另外，使用电量估计系统可以合理地使用电池的能量，防止长期的浅放电，最大程度地使用电池容量。

研究剩余电量计量方法，是提高剩余电量计性能的关键手段。目前国内外已经有许多这方面的研究，但真正推广应用的并不多，特别在我国，铅酸电池技术发展存在差距，电池的使用环境也达不到电池厂家规定的标准，因而电池往往不能达到其寿命，不合理使用时电池容量下降很快。在这种情况下，一个较好的剩余电量计量方法及剩余电量估计系统，对于各个研究电池的行业，都有很重要的作用。

## §1.2 铅酸电池电化学原理<sup>[5][6]</sup>

铅酸电池属于二次电源，是由电池的正负极上的活性物质进行的化学反应而形成电流，所以称为成流反应。电池的正极活性物质是二氧化铅 ( $PbO_2$ )，负极活性物质是海绵状的金属铅 ( $Pb$ )，电解液是稀硫酸 ( $H_2SO_4$ )。1882年由格拉斯东 (J.H.Gladstone) 和特拉勃提出了解释铅蓄电池成流反应的“双极硫酸盐化理论”，这一理论得到大家的公认。

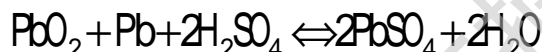
在“双极硫酸盐化理论”中，正极进行的成流反应为：



负极进行的成流反应为：



电池总反应：



上式中正反应为放电过程，逆反应为充电过程。

其理论的正确性从以下三个方面得到证实：

1) 用化学分析等方法确认正极活性物质的组成为  $PbO_2$ ，负极活性物质的组成为  $Pb$ ；

2) 当通过  $2e$  电量时，测量  $H_2SO_4$  浓度的变化，相当于消耗了 2 个克等量的  $H_2SO_4$  并生成 2 个克等量的  $H_2O$ ，这与电池的总反应一致；

3) 根据热力学数据计算电池的电动势，与测量值一致。

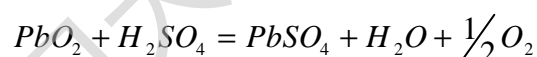
铅酸电池充放电特性主要由于双硫酸盐反应决定。除了主要的充放电双硫酸盐反应外，还有以下各种反映也对其性能产生一定的影响：

1) 自放电反应

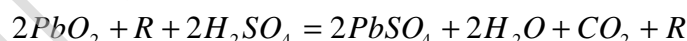
限制铅酸电池寿命的自放电反应最早也是被 Gladstone 和 Tribble 在 1882 发现的。在开路回路中，发生如下的反应：

正极：

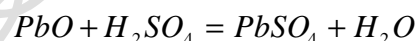
★析氧反应：



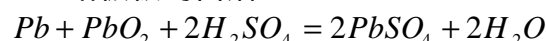
★有机物 ( $R$ ) 的氧化反应：



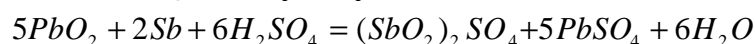
★残留的  $PbO$  (主要在新的电池单元中) 的硫酸盐反应：



★铅极板的自溶：



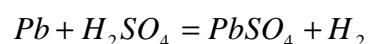
★铅极板中合金 (如锑) 的氧化反应：



在上述开路回路中，忽略氢被  $PbO_2$  还原的反应，这种反应只在很高的电压和温度下进行。

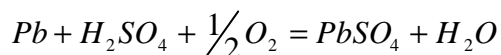
负极进行两种附加的反应：

★析氧反应：





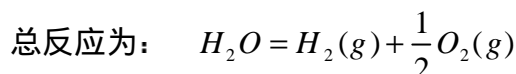
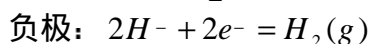
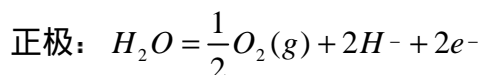
★氢重组反应:



其中第二个反应只受负极板上氧析出率的影响。析氢和析氧的反应率主要由酸的浓度决定。

2) 过充电及其反应

在充电的起始阶段, 主反应占主导地位, 随着电池端电压的升高, 水开始被电解。当单体电池达到 85%-90% 的电荷状态时, 电池的电压达到约 2.39 伏/单体), 水的电解不可忽视。水电解的化学表达式如下:



正极给出  $2e^-$ , 负极得到  $2e^-$ , 从而形成回路电流。端电压越高, 电解水的反应也越剧烈。此时, 充入的大部分电荷参加水电解, 形成的活性物质很少。由上面的分析可知, 在充电电路提供的电荷由两部分组成, 一部分用来在极板上形成活性物质, 另一部分用来电解水。相应地, 充电电流也由两部分组成, 一部分为有效电流, 一部分为电解水电流。形成活性物质的能量可以通过放电过程再循环使用, 构成可逆过程。而电解水用去的能量则随着  $H_2$  和  $O_2$  的生成、释放而不能再循环使用了, 因此这一过程为不可逆过程。

### §1.3 铅酸电池的放电特性<sup>[7]</sup>

铅酸电池放电特性是指电池在放电过程中表现出的特性, 主要包括容量特性和电压特性<sup>[8]</sup>, 即电池放电过程中所放出的电量、电压和放电条件之间的关系。放电特性是衡量铅酸电池性能最重要的指标之一。研究电动汽车用铅酸电池放电特性的变化规律, 有助于电动汽车使用者合理使用铅酸电池, 延长电动汽车续航里程, 提高电动汽车的经济性, 延长铅酸电池的使用寿命, 同时也有助于从电池用户的角度提出使用要求, 提供实验数据, 为生产厂家、科研部门改善铅酸电池的放电性能提供帮助。

#### 1.3.1 容量特性

电池的容量是指在一定的放电条件下它能放出的电量。电量是电流强度与时间的乘积。电量的单位是安培秒 ( $A \cdot S$ )、库 ( $C$ ) 或安培小时 ( $A \cdot h$ ), 简称安时。在电池工业及实验中, 为了便于在恒流放电时计算电池的容量, 电池的容量的单位习惯用安培小时 ( $A \cdot h$ ) 等。

一个电池有理论容量、实际容量、额定或公称容量和额定储备容量之分。理论容量根据活性物质的质量按法拉第定律计算而得到的最高理论值。为了比较不同系列的电池常用比容量的概念, 即单位体积或单位质量电池所能给的理论电量, 常以  $A \cdot h/kg$  或  $A \cdot h/L$  表示。实际容量是指电池所能输出的电量, 等于放电电流与放电时间的乘积, 用  $A \cdot h$  表示, 其值小于理论容量。实际容量与活性物质的有效利用程度有关。额定容量也称公称容量, 是按国家或有关部门颁布标准

保证电池在一定放电条件下应该放出的最底限度的容量。电池的实际容量主要与电池正、负极活性物质的数量及利用率有关。而活性物质利用率受到很多因数的影响。这些因数主要是：

- 1) 放电制度：指放电速率、放电形式、终止电压和温度。当高速率、底温度条件下放电时将减少电池输出的电量。通常大电流放电，电池的容量要小一些；小电流放电，电池的容量要大一些。主要是因为大电流放电时，生成的硫酸铅晶体细小而密，阻碍板极上的活性物质很好地参与电化学反应；而小电流放电时生成的硫酸铅晶体大而疏松，极板上的活性物质可以很好地参与电化学反应。
- 2) 电极的结构：电极高、宽比列和厚度、孔隙率以及到电栅形式等；
- 3) 制造工艺

### 1.3.2 电压特性

#### 1) 电池电压的定义

电池电压包括电动势、端电压、工作电压和开路电压。电池电动势等于组成电池两个电极的平衡电位之差。电池端电压是指电池正极和负极之间的电位差。电池在没有负载情况下的端电压叫作开路电压；有负载情况下的端电压叫作工作电压。电池在放电过程中的工作电压一般底于开路电压，这主要是由于极化的原因。

#### 2) 铅酸电池的极化<sup>[9]</sup>

极化是电池电压特性中最主要的部分。铅酸电池极化规律是有自身电化学性质决定的，从某种意义上讲，铅酸电池极化规律就是其放电性能的反映。下面简单介绍一下铅酸电池的极化理论。

当电池开路时，正、负极板于电解液都处于暂时的、相对的平衡状态，正、负极板上都没有单向电流通过，这时极板的电位称为平衡电极电位 ( $j_+^平$ 、 $j_-^平$ )。电池的电动势就是正、负极的平衡电极电位之差，即  $E = j_+^平 - j_-^平$ 。电池具有了一定的电动势，就使得电池具有了放电的可能性。

当电池放电时，正、负极板和电解液中的平衡状态被破坏了，有一定大小、一定方向的电流通过正、负极板和电解液。这时在正极板上发生还原反应，正极电位  $j_+^放$  比平衡时的电位  $j_+^平$  低了，即 ( $j_+^放 < j_+^平$ )；在负极板上发生了氧化反应，负极电位  $j_-^放$  比平衡时的电位  $j_-^平$  高了，即 ( $j_-^放 > j_-^平$ )；这样正、负极电位之差即工作电压  $V = j_+^放 - j_-^放$  就比平衡时的电动势  $E$  小了。这种现象在电化学中称为“极化”。放电流越大，平衡状态被破坏得越厉害，电池极化程度越大，电池的工作电压就越小，因此电池的极化程度是电池电性能的重要标志。

电池的放电过程中正、负极都消耗硫酸，在板极表面都生成硫酸铅晶体，随着放电深度的增加，电解液中的硫酸的浓度越底，极板表面的硫酸铅晶体越来越密。放电电流越大，温度越低，生成的硫酸铅晶体越细密；反之则粗松。按照极化产生的原因，可以把极化分为三类：欧姆极化，浓差极化和电化学极化。

欧姆极化反映在电池放电过程中由于欧姆内阻的变化而引起的电阻作用。随着电池放电过程的进行，硫酸浓度降低、极板表面生成不良导体硫酸铅晶体，由于着两个主要原因导致电池内部导电性能下降，造成电池欧姆内阻增加。并且由于不同的放电电流生成颗粒大小、致密程度都不同的硫酸铅晶体因而引起电池欧

姆内阻增加的程度也不同。

浓差极化反映氧化态、还原态物质浓度的变化而引起的电阻作用。上面我们提到电池放电时，电极电位 $j_+^{\text{放}}$ 比平衡时的电位 $j_+^{\text{平}}$ 低了，即 $(j_+^{\text{放}} < j_+^{\text{平}})$ ；负极电位 $j_-^{\text{放}}$ 比平衡时的电位 $j_-^{\text{平}}$ 高了，即 $(j_-^{\text{放}} > j_-^{\text{平}})$ ；其中的一个主要原因是放电时，正、负极表面附近的 $SO_4^{2-}$ 和 $H^+$ 浓度首先减小，导致正极电位降低，负极电位升高，形成浓差极化。要消除浓差极化，必须要让电解液深处的 $SO_4^{2-}$ 和 $H^+$ 能够迅速补充正、负极表面附近消耗的 $SO_4^{2-}$ 和 $H^+$ 。正、负极表面附近的 $SO_4^{2-}$ 浓度和 $H^+$ 浓度减小，则与电解液深处形成一个浓度差，这个浓度差就是离子从高浓度向低浓度扩散的推动力。浓度差越大，扩散的速度越大，电池的浓差极化作用越小。

电化学极化反映因电化学反应速度迟缓而引起的电阻作用。当电池空载时，电极电位处于平衡状态，此时氧化态物质得到电子发生还原反应的速度与还原态物质失去电子发生氧化反应的速度相等，则氧化电流密度 $i_{\text{氧}}$ 与还原电流密度 $i_{\text{还}}$ 相等，此时令 $i^0 = i_{\text{氧}} = i_{\text{还}}$ ， $i^0$ 即为电极体系在一定条件（温度、压力、浓度）下，氧化还原反应达到平衡时的交换电流密度。 $i^0$ 是电极反应的一个重要特征，表示净反应速度为零时的交换速度。 $i^0$ 越大，说明氧化态物质与还原态物质交换容易，电极体系的可逆性好，平衡不易破坏，微小的净反应电流通过电极时，引起电极电位的变化不大，因此电化学极化小； $i^0$ 越小，说明氧化态物质与还原态物质交换困难，电极体系的可逆性差，平衡容易破坏，微小的净反应电流通过电极时，引起电极电位的变化大，因此电化学极化大。

铅酸电池由于它的正、负极都是多孔性电极，真实表面积很大，使得真实净电流密度很小。一般真实净电流密度为 $(1.546 \times 10^{-6} \sim 5.27 \times 10^{-4}) A/cm^2$ ，而它的交换电流密度 $i^0$ 为 $10^{-4} A/cm^2$ ，因此由电化学极化引起的过电位比浓差极化引起的过电位要小得多，只有在放电末期由于硫酸铅晶体覆盖电极表面使得真实电流密度剧增，接近或超过交换电流密度 $i^0$ ，电化学极化才超过浓差极化作用。综上所述，在铅酸电池放电整个过程中，浓差极化占据了主要得地位，它是影响电池放电性能的主要因数。

## §1.4 铅酸电池电量计量的相关概念

本节介绍有关铅酸电池电量估计系统的一些概念和名词。

**电池的容量：**指一定的放电条件下可以从电池中获得的电量，一个电池有理论容量、实际容量、额定或公称容量和额定储备容量之分。用 AH 数、mAH 表示。

**理论容量：**理论容量是指假设活性物质全部参加电池的成流反应所给出的电量。它是根据活性物质的质量按照法拉第定律计算得到的。为了比较不同系列的电池常用比容量的概念，即单位体积或单位质量电池所能给出的理论电量，常以 AH/Kg 或 AH/L 表示。

**实际容量：**实际容量是指在一定的放电条件下电池实际放出的容量，等于放电电流与放电时间的乘积。其值小于理论容量。计算方法是：

恒电流放电时， $C = I * T$

恒电阻放电时， $C = \int_0^T I dt = \frac{1}{R} \int_0^T U dt$

式中， $I$  为放电电流， $R$  为放电电阻， $T$  为放电至终止电压的时间。

**额定容量**：额定容量是指设计和制造电池时，按国家或有关部门颁布标准规定或保证电池在一定放电条件下应该放出的最低限度的电量。

**额定储备容量**：国际电工学会（IEC）标准中规定汽车型蓄电池的容量用标定容量和储备容量表示均可。我国采用额定容量。指不分电池规格大小，一律以 25A 电流放电，到终止电压 1.75V 时的放电时间以分钟计。对规格不同的电池，规定不同的放电时间。

**电池的比能量**是指在一定放电条件下，单位重量的电池所能给出的电能，通常用  $Wh/kg$  表示。

**电池的功率**是指电池在一定放电条件下，一单位时间内所给出能量的大小，单位为 W（瓦）或 KW。单位重量电池所能给出的功率称为比功率，单位  $W/kg$  或  $KW/kg$ 。

**充电状态 SOC** (State Of Charge)：是描述电池充电状态的一个重要参数，通常把一定温度下电池充电到不能再吸收能量的状态理解为充电状态 (SOC) 100%，而将电池再不能放出能量的状态理解为充电状态 (SOC) 0%。

$$SOC = (C_r / C_T) * 100\%$$

式中  $C_r$  是剩余电量， $C_T$  为电池标称容量，即电流很小和温度处于理想状态时的所能放出的容量。

**放电深度 DOD** (Depth Of Discharge)： $DOD = Q_e / C_T$ ， $DOD = 1 - SOC$ 。

式中  $Q_e$  为电池放出的电量，即已用电量。

**充电深度 DOC** (Depth Of Charge)：电池可能放出的电量与实际电池容量的比。

$$DOC = (C_t - Q_e) / C_t$$

式中  $C_t$  为实际电池容量，与放电电流和温度有关。DOC 的值不仅与当前状态 (SOC, 温度, 电流等) 有关而且与将来电池的放电情况有关，因此 DOC 比 SOC 更能反映电池的实际情况。

**电池放电的电压拐点**：对于铅酸电池，通过电池的放电实验发现当电池的电压降到某点时，继续放电其电压会急剧下降， $dV/dt$  数值很大，该点称为拐点。该点标示了电池电量已告罄，在拐点之下工作会造成对电池寿命的损害。如图 1.1 所示。电池的实际容量就是电压下降到拐点时所释放的电量。

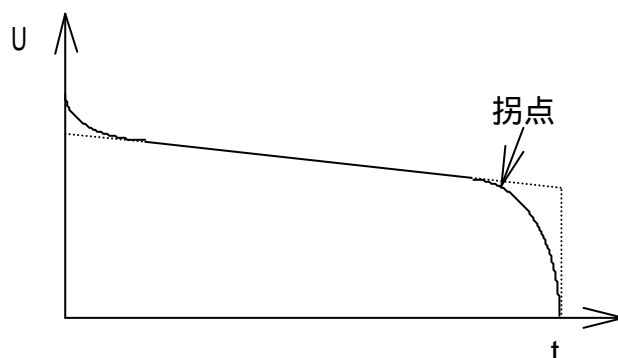


图 1.1 铅酸电池典型恒流放电曲线

**放电率**：指用放电时间来表示的电池放电速率，用公式表示如下：

$$\text{放电率 } (h) = \frac{\text{电池容量}}{\text{放电电流}}$$

**老化:** 电池在开始使用的一段时间内, 电池容量增加大约5% - 20%。接下来的一段时间, 电池容量大约不变。然后就开始逐渐减少。当电池容量达到额定容量 80% 时, 就可以认为电池的寿命结束了。

**充放电周期 (CYCLE):** 电池从充电开始到放电再到下一次充电开始前称为一个充放电周期。

**循环寿命 (CYCLE LIFE):** 蓄电池在其实际容量降低至某一规定值之前所经历的充放电周期数。通常用来定义蓄电池的使用寿命。放电深度不同, 电池寿命也不同。

**恢复效应:** 电池在非连续放电的条件下, 放电一段时间后, 空载开路或从大电流变为小电流放电, 电池内部的电荷将进行重新分布而至平衡, 这时电池的剩余容量会有所增加。

**自放电现象 (Self-Discharge):** 电池在不工作时由于内部的电化学反应造成的电池容量下降的现象。通常与时间和环境温度有关, 环境温度越高自放电现象越明显, 所以在一段时间不用后要对电池补充电量, 在适宜的温度和湿度下保存电池。

## §1.5 铅酸电池电量计量研究发展状况

剩余电量的研究一般都是和电动汽车的研究紧密相关的。随着近几十年电动汽车研究和使用的不断升温, 电池剩余电量的研究也不断取得进步, 特别是国外的一些大的公司和科研机构, 都先后提出了许多新的电池数学模型, 并针对各种电池, 都做了一系列实验。国内在这方面的研究才刚刚起步, 主要涉及铅酸电池。

下面是国内外剩余电量的研究状况及采用的方法:

- 1) 日本 Chugoku Electric Power Co. Inc 技术研究中心开发的铅酸电池充电状态指示器, 它结合了积分法 (安时法) 和内阻法: 当充电状态在 100% 到 20% 时使用电流积分法, 当充电状态在 20% 到 0 时, 使用内阻法。估计是考虑到当充电状态在 20% 到 0% 之间时, 内阻变化较为明显。在精度测试中, 其误差率在 10% 以内。
- 2) 香港大学 Dept. Electrical Engineering 研制的智能电池管理系统。该系统中 SOC 指示器采用的方法是 Peukert 方程结合安时法, 并且考虑了对温度和老化两个因数的补偿。在同一系统实验测试中, 其误差在 3%。
- 3) 南韩三星高等技术学院高技术研究中心电动汽车电子实验室, 用 Peukert 等式研究的 SOC 动态模型。SOC 模型采用双段 Peukert 等式, 实验结果大电流放电误差最大为 9.5%, 其他情况误差在 2% 以内。实时预测 SOC, 误差 < 5%。
- 4) Midtronics 公司的产品 Midtron 电池电导测试仪。这种测试仪利用电池的电导和电池电量成正比的理论, 通过测量电池的电导来指示电池的剩余电量。电导反映了电池表面进行化学反应的面积的大小, 当电池表面都能进行化学反应时, 电池的电量最多。这种电导测试仪主要用来测量单节电池 (5V~16V), 在其基本模型的基础上, 该公司又研制了多个产品,

比如 PowerSensor Plus 电池测试仪，都是基于电导和电池剩余电量成正比的理论的。通过测量，这些仪器都能直接给出信息，提示是否进行充电，电池是否不能使用等等。

- 5) CURTIS 公司的电量指示器。安时计主要用于电动叉车，目前已经具有电动自行车和电动汽车配套产品。这种剩余电量计目前没有较详细的说明资料，从其功能和外部连线上分析，主要是通过测量电池的电压进行电量预测的。该产品进入实用性阶段。

国内研究剩余电量计状况。国内在剩余电量计方面的研究起步较晚，因而发表的文章及出现的产品较少。目前采用的方法主要包括开路电压法预测初始电量，电流积分进行电池实用电量的计量，通过对恒流放电曲线的拟合进行电量的预测。在方法上大也都采用了常用的几种计量方法相结合的办法，区别主要在于测量精度和系统具体的实现上。电量计量的研究在本实验室中已进行了多年的研究和实验，积累了相当的知识经验和经验。在前人的基础上，该系统将逐步完善并进入产品化阶段。

## 第二章 剩余电量估计系统的硬件组成

### §2.1 硬件系统的总体方案设计

剩余电量估计系统用于电动汽车，平台采用车载方式，并直接用于电动汽车的日常使用工况，因此在设计上尽量使结构简单紧凑、重量轻、体积小并具有很强的实用性。在其功能上应具有：

- 准确的剩余电量估计功能及显示
- 存储重要的电池信息及重要数据
- 小巧、轻便、稳定可靠、易使用
- 抗干扰性强
- 具有良好的人机交互功能
- 提供数据传送的通讯接口。

基于上述功能考虑，本剩余电量估计硬件系统采用以 8XC552 为 CPU 的单片机实现。这种单片机具有温度范围宽、可靠性高、性能卓越的特点，特别是其  $I^2C$  总线技术，简化了系统硬件设计，减少了外部引线，对系统的实现起到关键性的一步。系统中共有 5 路的模拟通道，其中包括两路温度模拟通道、电压模拟通道及正负电流模拟通道等，该系统还包括了带  $I^2C$  总线的时钟芯片 PCF8583、数据非易失的  $E^2PROM$  器件 AT24C0XA 以及 LCD 显示驱动芯片 PCF8576 等器件。为了准确地计量电池的剩余电量，必须充分考虑影响电池容量的各种因素，如电池的老化、电池的自放电、温度的影响等。这样，不仅在系统的运行中有许多相关的数据要保留，而且在系统中应该存储影响到电池剩余电量的大量信息，因此外部数据存储器采用数据非易失的达拉斯芯片，还有本系统还设计了数据非易失的 AT24C0XA ( $E^2PROM$ ) 芯片，同样作为掉电保护数据区。关于数据存贮的合理安排问题将在软件设计时详细叙述。采用日历时钟是为了计算电池的闲置时间，用于计算电池的自放电。为了便于系统能够与 PC 机进行数据传送，有利于实验中数据的采集，所以系统设计 UART 的通讯端口。另外，系统设计有扩展并行 I/O 口，作为系统扩展的备用。

系统结构图如下：

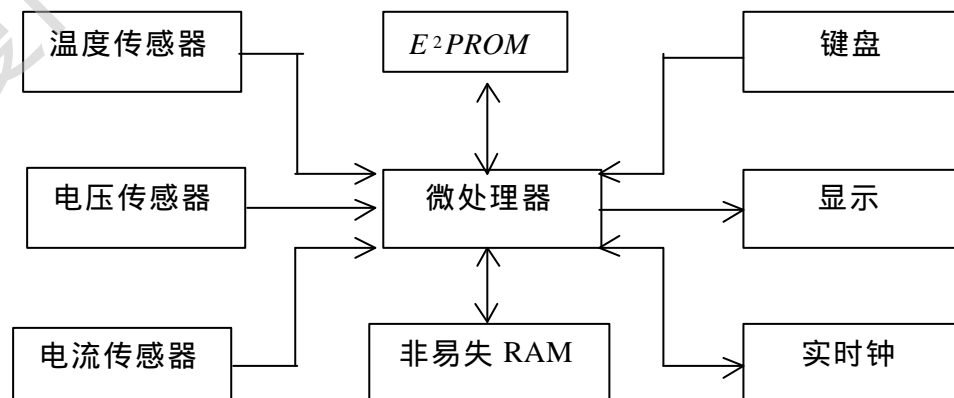


图 2-1 系统结构图

## §2.2 8XC552 概述<sup>[10]</sup>

80C552 单片机是用 CMOS 工艺制造的 80C51 系列产品之一,具有和 80C51 相同的指令系统,80C552 可以用 TLL 电平兼容的存储器或接口电路进行系统扩展。其特性如下:

- 80C51CPU;
- 8K 字节 ROM, 可扩展至 64K 字节;
- 具有 4 个捕捉寄存器和 3 个比较寄存器的附加 16 位定时器/计数器;
- 2 个标准的 16 位定时器/计数器;
- 256 字节 RAM, 外部可扩展至 64K 字节;
- 能产生 8 路同步定时输出;
- 8 路模拟量输入, 10 位 A/D 转换器;
- 2 路 8 位分辨率的脉宽调制 (PWM) 输出;
- 5 个 8 位 I/O 口, 一个和模拟信号公用的 8 路输入口;
- $I^2C$  总线接口;
- 和 80C51 兼容的全双工异步串行口 (UART);
- 一个监视定时器 (Watchdog Timer);
- 时钟速率 12MHz 和 16MHz;
- 宽的工作温度范围;
- 具有 OTP 一次编程器件;
- 两种封装形式 LCC 和 QFP;

## §2.2 $I^2C$ 总线的概念及其规范

### 2.2.1 $I^2C$ 总线的概述<sup>[11]</sup>

$I^2C$  是飞利浦公司推出的双向二进制总线,目前,飞利浦公司已能提供 150 多种与  $I^2C$  总线兼容的集成电路,这些电路都包括了一个片内  $I^2C$  总线接口,它们可以通过  $I^2C$  总线直接进行数据传输。 $I^2C$  总线为设计者提供了许多便利:

- $I^2C$  总线接口已做在集成电路内,不再需要对接口电路进行设计,省去了地址译码电路和其它辅助电路;
- 集成化的寻址和数据传输协议使得系统的结构完全由软件来决定;
- 相同的数据单元可以经常被用在许多不同的应用中;
- 可以将集成电路单元在彼此不受影响的情况下接入或分离出  $I^2C$  总线;
- 通过软件模块化设计,可以通过调用这些模块来节省系统的软件开发;
- $I^2C$  总线使得各个单元之间的连线非常简单,集成电路的引脚也非常少,从而可以省去大量的印刷电路板的走线和电路板的面积。

此外,这些集成电路还具有许多特殊性能,如:

- 非常低的工作电流。
- 高噪音抑制能力。
- 宽工作电压范围。
- 宽工作温度范围。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库