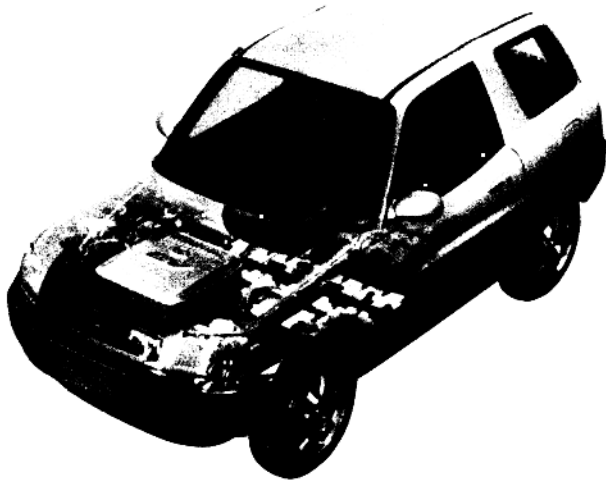


高等学校试用教材

汽车电器与电子设备

(汽车运用与维修专业用)

何丹娅 主编
蹇小平 主审



人民交通出版社

高等学校试用教材

11030/01

Qiche Dianqi Yu Dianzi Shebei

汽车电器与电子设备

(汽车运用与维修专业用)

何丹娅 主编

蹇小平 主审



405231

人民交通出版社

高等学校试用教材
汽车电器与电子设备
(汽车运用与维修专业用)

何丹娅 主编

蹇小平 主审

插图设计:高静芳 版式设计:刘晓方 责任校对:刘高彤

责任印制:张凯

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15.25 插页:1 字数:390千

1998年10月 第1版

1998年10月 第1版 第1次印刷

印数:0001—4000册 定价:19.50元

ISBN 7-114-03032-0

U·02177

内 容 提 要

本书主要包括:蓄电池、交流发电机、起动机、点火系、照明设备及信号系统、仪表及其它辅助电气设备、汽车电子控制装置、汽车电气设备整车线路分析等九章,可作为大专院校汽车运用与维修专业用教材,也可供有关汽车运用与维修方面的技术人员和汽车电工参考。

前 言

随着汽车工业和电子工业的发展，汽车上装用的电器与电子设备日趋复杂，汽车电子化已成为当今世界汽车工业发展的必然趋势。为了使本专业的学生及有关技术人员、汽车电工能更好地、系统地掌握有关汽车电器的结构原理等基础知识和使用、修理及故障诊断方面的基本知识，特编写了这本书。

本书是根据交通系统汽车运用与维修专业“汽车电器与电子设备”的教学大纲编写的，并作为高等专科学校“汽车运用与维修”专业的一门专业课程教材。在编写本书过程中，我们力求理论联系实际，系统地阐述了汽车电气设备的结构原理、使用与维修及故障诊断方面的基本知识。考虑到电子技术在汽车工业上的日益发展，书中第五、八章着重讲述了当代电子技术在汽车上应用的有关内容，增加了汽车电子控制方面的内容，其中包括电子控制的汽油喷射系统、微机控制的点火系统、自动变速器、防抱死制动系统、巡航系统等新内容。

参加本书编写的人员有南京交通高等专科学校何丹娅（主编）、武汉冶金科技大学的麻友良、济南交通高等专科学校万征。其中，第一、三、五、九章由何丹娅编写，第二、四、六章由麻友良编写，第七章由万征编写，第八章中的第一节由万征编写，其它节由何丹娅编写，本书由西安公路交通大学蹇小平主审。

籍本书出版之际，对在编写此书过程中给予极大支持与帮助的黑龙江交通高等专科学校乔先光老师，济南交通高等专科学校张永玉老师，西安公路交通大学何运老师，南京交通高等专科学校徐跃英老师表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中可能存在不妥和错误之处，恳切希望读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
第二章 蓄电池	4
第一节 蓄电池的构造.....	4
第二节 蓄电池的工作原理.....	7
第三节 蓄电池的工作特性.....	9
第四节 蓄电池的容量及影响因素	12
第五节 蓄电池的常见故障及其排除	14
第六节 蓄电池的使用与维护	15
第七节 蓄电池的充电	17
第八节 改进型铅蓄电池	21
第三章 交流发电机	23
第一节 交流发电机的构造	23
第二节 交流发电机的工作原理	27
第三节 交流发电机的特性	30
第四节 交流发电机调节器调节原理	31
第五节 电磁振动式电压调节器	34
第六节 无触点电压调节器	38
第七节 充电指示灯控制电路	42
第八节 交流发电机的故障检查与性能测试	44
第九节 调节器的故障检查与调整	47
第十节 交流发电机及调节器的使用	48
第十一节 充电系运行故障诊断与排除	49
第十二节 无刷交流发电机	50
第四章 起动机	53
第一节 起动机的构造与工作原理	53
第二节 起动机的工作特性	59
第三节 起动机的型号与分类	62
第四节 起动机的典型结构	63
第五节 起动机的控制电路	66
第六节 起动机的检修	68
第七节 起动机的性能试验与调整	70
第八节 起动机常见故障的诊断与排除	72
第五章 点火系	75
第一节 对点火系的基本要求	75
第二节 点火系的工作原理	77
第三节 点火系的工作特性及影响因素	81

第四节	点火系的构造	85
第五节	晶体管辅助点火系	93
第六节	无触点点火系	96
第七节	电容放电式点火系	101
第八节	点火系的使用和检修	105
第六章	照明设备与信号系统	111
第一节	照明系统的组成及要求	111
第二节	前照灯	111
第三节	照明系统电路实例	116
第四节	信号系统的组成及要求	119
第五节	电喇叭	119
第六节	转向信号闪光器	122
第七节	其他信号装置	126
第八节	信号系统电路实例	128
第七章	仪表与辅助电气设备	130
第一节	仪表	130
第二节	汽车报警装置	137
第三节	汽车空调系统	142
第四节	电动刮水器及风窗玻璃洗涤器	147
第五节	风窗玻璃防冰霜装置	152
第六节	安全气囊	152
第八章	汽车上的电子控制装置	155
第一节	电子控制汽油喷射系统	155
第二节	微机控制的点火系	172
第三节	微机控制自动变速器	177
第四节	电子控制的防抱死制动系统 (ABS)	186
第五节	电子控制的巡航系统	194
第六节	电子控制悬架系统	198
第七节	电子控制动力转向	204
第九章	汽车电气设备总线路	208
第一节	汽车电路图的表示方法	208
第二节	汽车线路的基本标注方法	212
第三节	汽车线路中基本电子器件及装置的识别	215
第四节	奥迪 4000 型轿车线路分析	220
第五节	东风 EQ1090 型汽车线路分析	225
第六节	汽车电气系统电路故障基本检查方法	228
附录		230
	一、本书所用主要符号	230
	二、汽车电路原理图常用电路图形符号	231
参考文献		235

第一章 绪 论

自从 1886 年世界上第一部汽车在德国问世以来,已经过去一百余年了。百年来,汽车的发展给整个世界和人类生活带来巨大而深刻的变化,汽车工业本身也取得了令人瞩目的进步。

一、汽车电子技术的现状与发展

当今世界,由于电子技术的飞速发展,尤其是微型计算机的发展,国外先进汽车上原来的纯机械控制部分,已分别由以微机为核心的自动控制系统代替,汽车发生了革命性的变化,汽车微电子技术的应用已成为世界汽车制造业发展的重要标志。随着科学技术的进步,汽车电子技术也已形成一个新的学科——汽车电子学,其研究的对象之一是应用电子技术实现汽车机件的电子化,其次是总成或整车自动检测、自动诊断和自动控制。国内外汽车专家一致认为,今后汽车业的竞争就是汽车电子技术的竞争,并预言汽车业将成为电子技术最大的用户之一。

电子技术在现代汽车上的应用则是以微处理机对各种工作过程的控制为主要特点。微处理机实质上是一种比较简单、便宜的单片计算机,它把中央处理单元(CPU)、一定容量的存储器和输入输出接口电路集成在一块芯片上。微处理器工作时,通过各种传感器接受输入信息,经过分析、计算后再向执行机构发出指令,控制机构动作。由于汽车运行时,其发动机和传动系工作过程相当复杂,因此,要对其进行适时控制,传统的机械机构已望尘莫及,而微处理器在这方面却能大显身手。因此,电子技术在汽车上应用的前景令人看好。

从 60 年代开始研究汽车电子技术,其发展大致可分为三个阶段:

1965~1975 年,汽车电子产品是由分立元件和集成电路 IC 组成。

1975~1985 年,主要发展专用的独立系统,如电子控制汽油喷射、防抱死制动装置等。

1985~2000 年,主要开发可完成各种功能的综合系统及各种车辆整体系统的集中控制,这个时代称为汽车的电子时代。

尤其是汽车电子技术的进步,将促使各子系统控制走向集中化,以此形成计算机集中控制系统,这一系统除中心电脑外,甚至包括多达 23 个微处理器以及大量的传感器和执行机构,组成一个庞大而复杂的信息交换和电控系统。目前,车用计算机的容量已与现代 PC 机不相上下,计算速度则要求更高。

目前来说,微处理机重点应用于下述几个方面:最佳点火时刻控制、最佳空燃比控制、怠速控制、废气再循环控制、安全系统、减振控制系统、操纵系统、信息交换和报警系统、汽车导航系统、语音系统等。其中,微处理技术在发动机工作过程控制、自动变速、动力转向控制、防抱死制动系统、汽车悬架控制系统等方面已取得可喜的成果。随着计算机人工智能化的进展,将人工智能用于汽车控制也不再是遥远的事了。国外已研究出装有人工智能电脑的汽车,当汽车运行过程中出现不正常工况时,电脑便会模仿人的声音向驾驶员发出警告。

二、电子技术在汽车上应用的优点

1840年,经济理论家弗立克·李斯特曾预言:“表明一个国家富强和文明水平之一是它是否具有迅速、安全、价廉而有秩序正常的人和货物的交通运输水平。”百年来世界文明的发展应验这个预言。不少国家深信汽车工业给社会带来繁荣,因此,世界汽车数量今后还会剧增,但同时它对人类生存的环境也带来不少严重问题,如石油资源的枯竭、环境污染、汽车安全及交通环境恶劣等等。为了有效控制上述问题,今后汽车电子技术发展的主攻方向是:

——不断地提高排放的标准;

——不断地降低燃油消耗;

——不断地提高安全性;

——不断地提高舒适性;

——把汽车和外部交通环境结合起来考虑,优化汽车的行驶环境,强化交通运输高水平的监控,达到进一步节油,减少排放,减轻对人们生活的压力。

目前,应用电子技术对汽车进行适时控制特点是:并非是一两个因素的控制,往往是需要多个信息输入,然后,经过信息处理后,才形成准确的判断,指令多个执行器协调完成一次控制动作,同时还要求该次控制结果能反馈,以作下次参考,完成汽车的适时控制过程。这主要是由于汽车行驶工况的变化范围甚宽,情况复杂,仅采用一个模型来解决全部工况要求是不够的缘故。例如,发动机的排放控制,若考虑所有工况的排放量都很低,不超标,即不管是处在什么工况下,如冷启动、暖车、怠速、低速、低负荷、加速、满载、高速、超速、超负荷等各类工况下,则非一般传统方法所能做到,非单纯机械所能完成。另外,有些技术要求已大大突破了当前的机械技术所具有的能力。例如向车内发出反声波以抵消车内噪音;向发动机支座发出反振波,以降低发动机对车身的振动及噪音、提高舒适性诸类等等。总之,电子技术在当代和未来汽车产品的技术中的重要地位是不能没有的和无法代替的。

实践证明,电子技术在解决汽车所面临的油耗、安全和排放等问题方面正起着重要的作用,亦已得到专家的普遍共识。

1. 汽车的节油净化方面

主要有电子控制的点火系统、燃油喷射系统、强制怠速系统、废气再循环系统、自动变速器、柴油机电子控制系统、自动巡航系统等等。

2. 汽车的安全方面

电子控制的防抱死系统、防滑系统、电子差速锁、安全气囊及安全带装置、汽车安全间距控制系统、自动变光控制装置、防盗系统、电控系统故障自我诊断系统、电控系统失效保护系统等等。

3. 汽车乘坐舒适性方面

主要有自动控制空调、主动式车内减噪音系统、座椅调节系统、电子控制的汽车主动悬架、电子控制的动力转向系统及汽车音响、电视等娱乐设施等等。

4. 汽车的信息交换方面

汽车的信息交换包括内部交换及汽车与外界信息交换两个范畴。内部交换又分为各电控子系统内部及系统之间的信息交换,以及车辆与人之间的信息交换两个方面。在汽车信息交换系统开发的最新产品中有汽车卫星导航系统、智能化仪表、通讯设备、语音识别系统等等。

三、本课程的任务及特点

“汽车电器与电子设备”是一门专业课，其主要任务是系统地学习有关汽车电器的结构原理、使用、修理及故障诊断等方面的基础知识。该课程是以“电工学”、“电子技术”、“汽车构造”和“汽车理论”等为理论基础，强调机电合一，是一门实践性较强的专业课。在教学环节中，必须加强其课堂教学、生产实践和实验三方面的有机结合，以利提高教学质量。本课程的主要内容按其功用大致可分为5个部分。

1. 电源

电源包括蓄电池、发电机及调节器。两者并网发电，其中发电机为主电源，蓄电池为辅助电源。

2. 用电设备

汽车上的用电设备很多，但基本的用电设备大致可分为起动机、点火系统、照明设备、信号装置、辅助电器等五部分。

起动机：用来起动发电机。

点火系统：用来产生高压电火花，点燃汽油发动机气缸内的可燃混合气。分有触点和无触点点火系两类。目前国产汽车上广泛使用的仍是有触点点火系，但将逐渐被无触点点火系取代。

照明设备：包括车内外各种照明灯及提供夜间安全行驶所必要的灯光。其中前照灯最为重要。

信号装置：包括电喇叭、闪光器、蜂鸣器及各种信号灯。主要用来提供安全行车所必需的信号。

辅助电器：包括电动刮水器、风窗洗涤器、空调、低温起动预热装置等。

3. 电子控制装置

包括电子控制的燃油喷射装置、点火装置、防抱死制动装置、自动变速器等。可用来提高汽车的动力性、经济性、安全性及达到排气净化的目的。

4. 检测装置

包括各种检测仪表和各种报警灯。可用来监视发动机和其他装置的工作情况。

5. 配电装置

包括中央接线盒、电路开关、保险装置、插接件和导线等。

汽车电系的特点：

(1) 低压——汽车电系的额定电压有12V、24V两种。目前，汽油车普遍采用12V电系，而重型柴油车则多采用24V电系。

(2) 直流——主要是从蓄电池充电的角度来考虑，故汽车电源必须为直流电系。

(3) 单线制——汽车上所有的用电设备都是并联的，所以汽车发动机底盘等金属机体，就可以成为各种电器的公用线路。由于单线制节省导线、线路清晰、安装和检修方便，且电器也不需与车体绝缘，因此现代汽车均采用单线制，但在个别情况下，有时也需采用双线制。

(4) 负极搭铁——采用单线制时，蓄电池的一个电极须接到车架上，俗称“搭铁”，若将蓄电池的负极接到车架上就称之为“负极搭铁”。按我国标准GB2261—71《汽车拖拉机用电设备技术条件》的规定，汽车电系已统一为负极搭铁。

第二章 蓄 电 池

蓄电池是可逆式直流电源，它与发电机并联后组成汽车电源。在发动机正常工作时，汽车用电设备主要由发电机供电，而蓄电池作用是：

- 1) 发动机起动时，向起动机、点火系等用电设备供电。
- 2) 发电机不发电或电压较低情况下向用电设备供电。
- 3) 当用电设备开启较多，发电机负荷较大时协助发电机供电。
- 4) 当蓄电池存电不足且发电机负荷较小时，可将发电机的电能转换为化学能储存起来。

此外，蓄电池还相当于大电容，可吸收电路中的瞬时过电压，起到稳定电网电压的作用，以利保护用电设备及电路中的电子元件不被损坏。

蓄电池的种类较多，但用于汽车的蓄电池必须能满足发动机起动的需要，即在短时间内能向起动机提供大电流（汽油发动机约为200A~600A，大型柴油发动机可达到1000A），这种蓄电池通常又称为起动型蓄电池。由于铅酸蓄电池具有内阻小，电压稳定的特点，并且结构简单、成本低，并能迅速提供大电流，起动性能好，所以在汽车上得到了广泛的应用。本章主要介绍铅酸蓄电池，简称蓄电池。

普通的铅酸蓄电池由于存在比能低、维护工作量大、使用寿命短等不足，因此，目前汽车上使用的多为改进型铅酸蓄电池，如无需初充电的干荷电蓄电池；可防止电解液非正常损失和极板活性物质脱落的胶质蓄电池；以及使用寿命长且无需经常维护的免维护蓄电池等。

各国致力于研究发展的碱性蓄电池，在能量密度、使用寿命等方面均优于铅酸蓄电池，但由于其内阻较大，不适于作为起动用蓄电池，目前只限于在一些电动汽车上使用。

第一节 蓄电池的构造

一、蓄电池的基本构造

蓄电池的基本构造如图2-1所示。

1. 极板与极板组

极板是蓄电池的核心，蓄电池充电与放电过程中的电能与化学能的转换就是通过正、负极板上的活性物质与电解液的电化学反应来实现的。正极板上的活性物质是二氧化铅(PbO₂)，呈深棕色；负极板上的活性物质是海棉状铅(Pb)，呈深灰色。极板是由铅膏（铅粉、稀硫酸及少量添加剂的混合物）填充在用铅锡合金铸成的栅架上，并经化学工艺处理后而制成的（图2-2）。

栅架的作用是容纳活性物质并使极板成形，一般是由铅锡合金浇铸而成。加锡（国内一般为5%~7%）可提高其浇铸性能和机械强度，但铅锡合金耐化学腐蚀性能比纯铅差，锡易从正极板栅架中解析出来引起蓄电池自放电，加速电解液的消耗，缩短蓄电池的使用寿命。因此，国外已开始采用低锡合金栅架（含锡为2%~3%）或无锡的铅钙合金栅架。

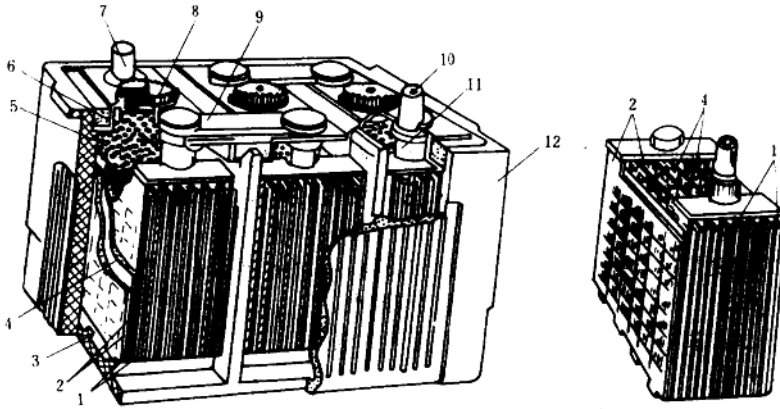


图 2-1 铅酸蓄电池的构造

1-正极板；2-负极板；3-肋条；4-隔板；5-护板；6-封料；7-负极极桩；8-加液口盖；
9-连条；10-正极极桩；11-极桩衬套；12-蓄电池容器

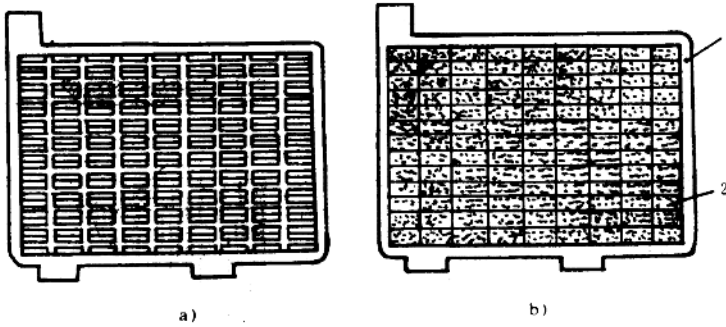


图 2-2 栅架与极板

a) 极板；b) 栅架

1-栅架；2-活性物质

为了提高蓄电池的容量，极板上的活性物质具有多孔性，使电解液容易渗透到极板内部，从而增加活性物质与电解液的有效接触面积，使极板上的活性物质能充分得到利用。此外，还将数片正负极板分别并联，并用横板焊接后构成正负极板组。安装时，须将正负极板相互嵌合并用隔板相隔，即成为极板组。将其置于容器的电解液中，就构成了单格电池。

单格电池中的正极板的片数总比负极板少一片，因为正极板上的活性物质较疏松，若单面放电，极易造成极板拱曲而使活性物质脱落。这样方能保证正极板的两侧放电均匀，有效减小正极板的内应力。

2. 隔板

正负极板安装应尽量靠近，以利减小蓄电池的外形尺寸，但为避免两极板彼此接触而造成短路，正、负极板间应用绝缘的隔板隔开。隔板亦应具有多孔性，以利于电解液渗透，此外，隔板材料还应具有良好的耐酸性和抗氧化性。常用的隔板材料有木质、微孔橡胶、微孔塑料（聚氯乙烯、酚醛树脂）、玻璃纤维等，其中以微孔塑料隔板使用最为普遍。在组装时，隔板有沟槽的一面应面向正极板，这是因为正极板在充放电时的电化学反应比负极板激烈，沟

槽能保证电解液上下流通，密度均匀。

近年来，又出现了袋状的微孔塑料隔板，它将正极板紧紧地套在里面，可进一步防止正极板活性物质的脱落，避免极板内部短路并使组装工艺简化。

3. 电解液

电解液是在能量转换即充、放电的电化学反应中，起到离子间的导电作用，并参与蓄电池的化学反应。它由纯硫酸与蒸馏水按一定的比例配制而成。电解液的相对密度一般为 $1.24\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.30\text{g}/\text{cm}^3$ 。

电解液的纯度是影响蓄电池的电气性能和使用寿命的重要因素。因此，电解液的配制应严格选用 GB 4554-84 规定的二级专用硫酸和蒸馏水。工业用硫酸和日常用水中含有铁、铜等有害杂质会增加自放电和损坏极板，故不能用于蓄电池。

4. 壳体及其它

壳体用于盛放电解液和极板组，早期生产的蓄电池大都采用耐酸、耐热、耐震、绝缘性能好的硬橡胶制成，但由于近年来发展的工程塑料（聚丙烯）其韧性、强度、耐酸、耐热等方面的性能优于硬橡胶，且制作工艺简单，生产效率高，外形美观、透明、成本低，又便于观察液面高度，因此，已有取代硬橡胶的趋势。

壳体为整体式结构，壳内由间壁分成 3 个或 6 个互不相通的单格，底部有突起的肋条以搁置极板组。肋条间的空隙可用来积存脱落下来的活性物质，有效地防止极板短路。壳体上部用相同材料的电池盖密封，电池盖根据其数目又分为分体式（图 2-1）与整体式（图 2-3）。每个单格电池顶部均有加液孔，用于添加电解液和蒸馏水，也可用于检查电解液液面高度和测量电解液的密度。加液孔盖上专用的通气孔，可供蓄电池化学反应中产生的气体（ H_2 、 O_2 ）排出。

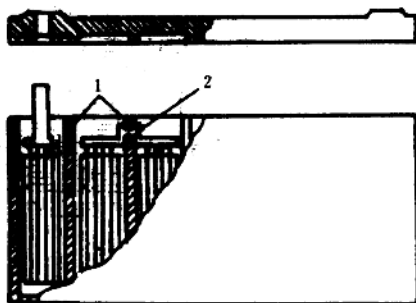
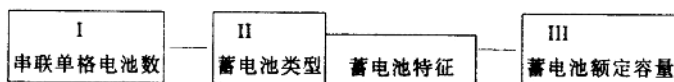


图 2-3 穿壁式联接方式示意图
1-容器壁；2-连条

铅制的连条用于把容器中各单格电池串联起来。传统的单格电池的连接采用外露式铅连条连接方式（图 2-1），这种连接方式由于连条较长，耗材较多，电阻也较大，因而起动时电压降大，功率损耗也大，现已逐渐被穿壁式连接方式（图 2-3）所取代。蓄电池各单格电池串联后，两端的正负极柱穿出电池盖，形成蓄电池的外接极桩。正极桩标“+”号或涂红色，负极桩标“-”号或涂蓝色、绿色等。

二、蓄电池的型号

按机械工业部 JB 2599-85《起动型铅蓄电池标准》规定，国产蓄电池型号的含义如下：



I. 串联的单格电池数，用阿拉伯数字表示。如 6 表示有 6 个单格电池，即为 12V 的蓄电池。

II. 蓄电池类型，以蓄电池的主要用途划分，用汉语拼音字母表示，如起动型蓄电池代号为“Q”。蓄电池的特征为附加部分，仅在同类用途的产品中具有某种特征而在型号中又必须加以区别时采用。当产品同时具有两种特征时，原则上应按表 2-1 顺序将两个代号并列标志。

产品的特征代号见表 2-1。

III. 额定容量, 用阿拉伯数字表示, 其单位为 A·h (安培·小时)。

此外, 有的蓄电池还在额定容量的标注后面特用一字母表示其具有某些特殊性能, 如 G-表示薄型极板, 高起动率; S-表示工程塑料外壳; D-表示低温起动性能。

铅蓄电池特征代号

表 2-1

特征代号	蓄电池特征	特征代号	蓄电池特征	特征代号	蓄电池特征
A	干荷电	J	胶体电解液	D	带液式
H	湿荷电	M	密闭式	Y	液密式
W	免维护	B	半密闭式	Q	气密式
S	少维护	F	防酸式	I	激活式

第二节 蓄电池的工作原理

一、蓄电池电动势的建立

根据能斯特理论, 极板浸入电解液后, 由于少量的活性物质溶于电解液, 产生了电极电位, 并且由于正负极板的电极电位不同而形成了蓄电池的电动势。

在正极板处, 少量的 PbO_2 溶入电解液中, 与水生成 $Pb(OH)_4$, 再分离成四价铅离子和氢氧根离子, 即:



其中, 溶液中的 Pb^{4+} 有沉附极板的倾向, 使极板呈正电位, 同时由于正、负电荷的吸引, 极板上 Pb^{4+} 有与溶液中 OH^- 结合, 生成 $Pb(OH)_4$ 的倾向, 当两者达到动态平衡时, 正极板的电极电位约为 +2.0V。

同理, 在负极板处, 金属铅受两方面的作用, 一方面它有溶解于电解液的倾向, 因而极板表面上有少量的 Pb^{2+} 进入电解液, 使极板带负电; 另一方面, 由于正、负电荷的吸引, Pb^{2+} 有沉附于极板表面的倾向。当两者达到动态平衡时, 极板的电极电位约为 -0.1V。

因此, 一个充足电的蓄电池, 在静止状态下的电动势 E_0 约为 2.1V。

二、蓄电池的放电过程

蓄电池接上负载, 在电动势的作用下, 放电电流从正极经过负载流往负极, 使正极电位降低, 负极电位升高, 破坏了原有的平衡。

正极板上的 Pb^{4+} 得到 2 个电子而变为二价铅离子 Pb^{2+} , 再与电解液中的 SO_4^{2-} 结合, 生成 $PbSO_4$ 沉附在极板上; 负极板附近的 Pb^{2+} 与电解液中的 SO_4^{2-} 结合, 也生成了 $PbSO_4$ 沉附在负极板上。同时导致正、负极板上的 Pb^{4+} 和电子 e 数量上减少, 致使正负极板上的 PbO_2 和 Pb 不断地溶解电离, 由此形成蓄电池的放电过程如图 2-4 所示。

由此可见, 放电过程中, 正、负极板上的活性物质逐渐转化为 $PbSO_4$, 与此同时, 由于电解液中 SO_4^{2-} 不断消耗, 导致电解液的相对密度下降。

理论上, 放电过程可一直进行到极板上所有的活性物质都转变为 $PbSO_4$ 为止, 但由于放电生成的 $PbSO_4$ 沉附于极板表面, 使电解液不能渗入到极板内层, 造成极板内层的活性物质不能完全利用。使用中, 所谓的放完电的蓄电池, 一般只有 20%~30% 的活性物质转变成硫

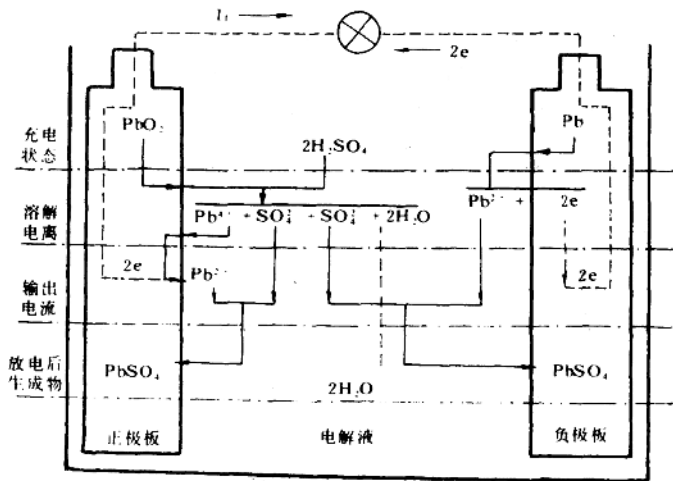


图 2-4 蓄电池放电过程示意图

酸铅。可见，采用薄形极板，增加极板的多孔性，均能提高极板活性物质利用率、增加蓄电池容量。

三、蓄电池的充电过程

蓄电池充电前，正负极板上都有少量 $PbSO_4$ ，溶于电解液中，离解为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} ，且达到动态平衡。当接通直流电源后，由于电场力的作用，破坏了原有的平衡。

负极板附近的 Pb^{2+} 得到 $2e$ 后变为 Pb 沉附在负极板上；正极板附近的 Pb^{2+} 失去 $2e$ 而变为 Pb^{4+} ，再与电解液中水解出来的 OH^- 结合生成 $Pb(OH)_4$ ， $Pb(OH)_4$ 又被分解为 PbO_2 和 $2H_2O$ ， PbO_2 沉附在正极板上。而正、负极板附近的 SO_4^{2-} 又与电解液中的 H^+ 结合生成硫酸。

同理，充电过程中，由于正负极板附近的 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} 被不断地消耗，致使正、负极板上的 $PbSO_4$ 不断地电离，由此形成蓄电池的充电过程（图 2-5）。

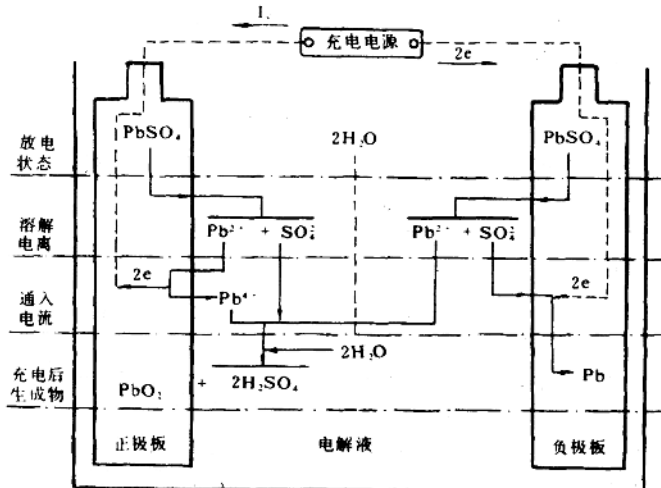
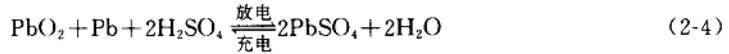


图 2-5 蓄电池充电过程示意图

可见,在充电过程中,正负极板上的 PbSO_4 将逐渐恢复为 PbO_2 和 Pb 的同时,电解液的相对密度亦逐渐增加。充电接近终了时,电解液的相对密度会升至最大值,并会引起水的分解。即负极板附近的 2H^+ 得到 2 个电子后,变成 $\text{H}_2 \uparrow$ 从电解液中逸出;正极板附近的 O^{2-} 失去 2 个电子后,变成 $\text{O}_2 \uparrow$ 从电解液中逸出,用化学反应式表示则为:



蓄电池在充、放电时总的化学反应过程可用下式表示,即



第三节 蓄电池的工作特性

一、蓄电池静止电动势

静止电动势 E_0 是指蓄电池在静止状态下正负极板之间的电位差。静止电动势主要取决于电解液的密度和温度,在电解液相对密度为 $1.050\text{g/cm}^3 \sim 1.300\text{g/cm}^3$ 的范围内,可由下述的经验公式表示,即

$$E_0 = 0.84 + \rho_{25\text{C}} \quad (2-5)$$

其中

$$\rho_{25\text{C}} = \rho_t + 0.00075(t - 25) \quad (2-6)$$

式中: $\rho_{25\text{C}}$ —— 相对 25°C 时的电解液密度, 又称电解液相对密度;

ρ_t —— 实际测得的电解液密度;

t —— 实际测得的电解液温度。

二、蓄电池内阻

蓄电池内阻大小反映了蓄电池的带负载能力。在相同条件下,内阻越小,输出电流越大,带负载能力越强。蓄电池内阻包括极板电阻、隔板电阻、电解液电阻和连条电阻等。

极板电阻在完全充电状态下是很小的,但随着蓄电池放电程度的增加,覆盖在极板表面的 PbSO_4 增多,极板电阻会随之增大。

隔板电阻主要取决于隔板的材料、厚度及多孔性,在常用的隔板中,微孔塑料隔板的电阻较小。

电解液电阻与电解液的温度和相对密度有关。温度降低时会因电解液的粘度增大,渗透能力下降而引起电阻增加。而电解液的相对密度过高或过低时,均会导致电阻值变大。相对密度过高时,由于粘度增加,致使渗透能力下降,引起电阻增加;相对密度过低时,又会引起电解液中 H^+ 和 SO_4^{2-} 离子数下降,致使扩散能力下降,引起电阻值增加。当相对密度为 1.208g/cm^3 (25°C) 时,电阻值相对较小。

连条电阻与连条的长度有关,穿壁式连条长度短,故其电阻较小。

一般来说,起动型蓄电池的内阻很小,单格电池的电阻约为 0.011Ω ,在小负荷工作时,对蓄电池的输出能量影响较小,但在大电流放电时,若内阻过大,则会引起端电压大幅度下降而影响起动力能。

三、蓄电池的放电特性

蓄电池的放电特性是指恒流放电时,蓄电池端电压 U_t 、电动势 E 和电解液密度 ρ 随放电

时间的变化规律。图 2-6 为一只完全充足电的蓄电池以 20h 放电率恒流放电的特性曲线。

放电时，由于蓄电池内阻 R_0 的影响，故蓄电池端电压 U_t 低于其电动势 E ，即：

$$U_t = E - I_t R_0 \quad (2-7)$$

式中： I_t ——放电电流。

放电开始时，蓄电池端电压 U_t 从 2.1V 迅速下降，这是由于放电之初极板孔隙内的 H_2SO_4 迅速消耗，相对密度迅速下降的缘故。随着极板孔隙外的电解液向极板孔隙内渗透速度加快，当其渗透速度与化学反应速度达到相对平衡时，极板孔隙内的电解液相对密度的变化速率与整个容器内电解液相对密度的变化速率趋于一致，端电压将随整个容器内的电解液相对密度

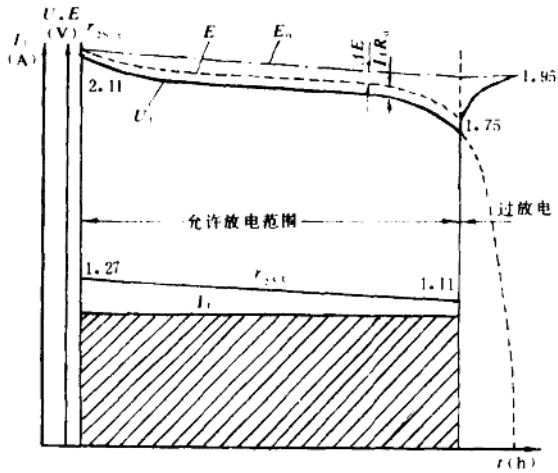


图 2-6 20h 放电率的放电特性曲线

降低而缓慢下降到 1.85V。随后端电压又迅速降低到 1.75V，此时应立即停止放电，并称此电压值为单格电池的终止电压。若继续放电，端电压会急剧下降，这是因为放电终了时，化学反应深入到极板的内层，并且放电过程中生成的硫酸铅较原来活性物质的体积大且积聚在孔隙内，使孔隙变小，电解液渗透困难，由此造成极板孔隙内电解液相对密度迅速下降，端电压随之急剧下降。继续放电则为过度放电。过度放电对蓄电池极为有害，会造成极板硫化，严重影响蓄电池的寿命，并导致电池的容量下降。

放电停止后，由于电解液渗透的结果，使孔隙内外的电解液密度趋于一致，蓄电池单格电池电动势会回升至 1.95V（静止电动势）。

由于恒流放电，故单位时间内所消耗的 H_2SO_4 的数量保持一定，因此，电解液的相对密度 $\rho_{25^\circ C}$ 呈线性变化。一般来说，电解液相对密度每下降 $0.04g/cm^3$ ，蓄电池放电量大约为额定容量的 25%。

由此可见，蓄电池放电终了的特征为：

- ①单格电池电压下降至放电终止电压。
- ②电解液密度下降至最小的许可值。

此外，放电所容许的终止电压与放电电流的大小有关，放电电流越大，放电的时间则越短，允许的放电终止电压也越低（表 2-2）。

放电电流与终止电压的关系

表 2-2

放电电流 (A)	$0.05C_{20}$	$0.1C_{20}$	$0.25C_{20}$	$1C_{20}$	$3C_{20}$
连续放电时间 (h)	20	10	3	30min	5.5min
单格电池终止电压 (V)	1.75	1.70	1.65	1.55	1.5

四、蓄电池的充电特性

蓄电池的充电特性是指以恒电流充电时，蓄电池充电电压 U_c 、电动势 E 及电解液相对密