

高等工科教育汽车技术规划教材

汽车电器与 电子控制 技术

徐向阳 主 编
张万奎 副主编

机械工业出版社

高等工科教育汽车技术规划教材

汽车电器与电子控制技术

主 编 徐向阳
副主编 张万奎
参 编 罗绍新 王彦岩 李春明
主 审 崔胜民



机械工业出版社

本书系统介绍了现代汽车电器装置和最新的电子控制系统的结构、原理及维修知识。主要包括:蓄电池、交流发电机与调节器、起动机、传统点火系统、晶体管辅助触点电子点火系统、无触点电子点火系统、电容放电式电子点火系统、汽车照明与信号系统、汽车仪表、汽车空调、汽车电动座椅、电动车窗与电动后视镜、汽车中央门锁与防盗系统、安全气囊、车身辅助电器、发动机电子控制系统、电子控制自动变速器、制动防抱死与防滑控制系统、巡航控制系统、电子悬挂系统、电子控制转向系统及汽车电路分析。

本书条理清晰,内容新颖,浅显易懂,可作为高等院校的汽车应用及维修专业教材,鉴于其实用性强,又可作为高等工程专科及高等职业教育汽车应用与维修专业教材。可供汽车工程技术人员和维修技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电器与电子控制技术/徐向阳主编. —北京:机械工业出版社,1999.8

ISBN 7-111-07120-4

I. 汽… II. 徐… III. 汽车-电气设备 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 25367 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:林 松 版式设计:霍永明 责任校对:韩 晶

封面设计:姚 毅 责任印制:何全君

三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm $1/16$ · 15 印张 · 360 千字

0 001—7 000 册

定价:19.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

序

随着汽车数量的增加与普及率的提高，汽车在国民经济和家庭生活中的作用也越来越大。为使汽车安全而经济地运行，对其正确地使用、保养和维修，就显得十分重要。

但是，伴随汽车数量增加的同时，汽车尾气排放所造成的公害与噪声等问题，已成为人们极为关注的社会问题。为保护人们赖以生存的环境，社会呼吁生产低噪声、低（无）污染的汽车，这是时代的要求。与此同时，对于已经运行的汽车，要科学地、合理地进行保养和维修，以保持汽车的良好运行状态。为提高维修质量，维修部门应充实现代化的维修设备与检测设备，应提高使用这些设备人员的技术水平和实际技能。

全国高等工程专科学校机械工程类专业协会汽车技术分会组织十几所学校的教师，由专家担任主编，在国家机械工业局教材编辑室的大力支持下，编写了本套汽车技术类规划教材。这是机械行业高等专科学校汽车类专业教材建设的突破与创新。本套教材的特点是“实”“特”“变”“新”。“实”是指书中的内容实用性强；“特”是指专科特色明显；“变”是指变过去以载重车为主的体系为以轿车为主的体系；“新”是指内容新，目前已经实用化的新结构、新设备、新技术尽量写到教材中，以便与飞速发展的汽车技术相适应。

希望本套教材能够成为广大汽车爱好者、初学者的良师益友，对从业人员的技术技能也有所裨益。为提高维修行业的整体维修质量、工作效率和维修技术水平，作出贡献。

全国高工专机械工程协会汽车技术分会理事长 韩德恩

前 言

1997年10月,全国高工专机械工程类专业协会汽车技术分会和原机械工业部教材编辑室在郑州组织召开了《汽车构造》《汽车理论》和《汽车电器与电子控制技术》等五本教材的编写会议。本书就是根据这次会议的精神和会议上制定的教材编写大纲编写的。

随着汽车工业的发展,人们对汽车的性能要求也越来越高,传统的汽车电器系统和机械系统已很难满足日趋严格的关于汽车节能、排放和安全法规的要求。为此,汽车电子控制技术成为各国汽车工业竞相发展的技术。蓄电池、发动机、起动机和灯光照明等传统意义上的汽车电器是汽车的重要组成部分,并仍将是汽车必不可少的组成部分。但是,随着汽车电子控制在汽车工业中的广泛应用,汽车上装用的传统电器设备正面临着巨大的冲击,对汽车电器教学也提出了新的更高的要求。因此,为适应汽车电子化的要求,在汽车电器教学中适当增加电子控制技术方面的内容十分必要。既考虑传统汽车电器,又适当增加汽车电子控制技术方面内容是本书的一大特点。

本书共九章,其中第一章为绪论,第二、三、四、五、九和第六章中的部分内容以介绍汽车传统电器的结构、原理和维修技术为主,第七、第八和第六章的部分内容则主要介绍电子控制在汽车上应用的新内容,包括发动机电子控制系统、电子控制自动变速器、制动防抱死与防滑控制系统、电子控制悬架系统、电子控制转向系统、中央门锁和防盗系统及安全气囊等。

本书由哈尔滨工业大学徐向阳主编。其中,第一、七章由徐向阳编写,第二、三、四章由岳阳大学张万奎编写,第五章由南京机械高等专科学校罗绍新编写,第六章由罗绍新和长春汽车工业高等专科学校李春明合作编写,第八章由哈尔滨工业大学王彦岩编写,第九章由李春明编写。

哈尔滨工业大学崔胜民教授作为主审,对全书进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见,在此深表谢意。

本书在编写过程中,曾得到过许多专家和同行的热情支持,并参阅了许多国内外公开出版和发表的文献,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中可能存在不妥或错漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

序		
前言		
第一章 绪论	1	
第二章 蓄电池	3	
第一节 蓄电池的构造与型号	3	
第二节 蓄电池的工作原理	6	
第三节 蓄电池的工作特性	9	
第四节 蓄电池的使用与维修	14	
第五节 免维护铅蓄电池	19	
复习思考题	20	
第三章 交流发电机及其电压调节器	21	
第一节 交流发电机的构造与工作 原理	21	
第二节 触点式电压调节器	26	
第三节 晶体管式电压调节器	31	
第四节 集成电路调节器	35	
第五节 交流发电机的使用与维修	39	
复习思考题	44	
第四章 起动机	45	
第一节 起动机的工作原理与特性	45	
第二节 起动机的组成与结构	49	
第三节 电磁控制强制啮合式起动机	55	
第四节 新型起动机	58	
第五节 起动机的使用与维修	62	
复习思考题	64	
第五章 点火系统	65	
第一节 传统点火系统	65	
第二节 晶体管辅助触点电子点火系统	77	
第三节 无触点电子点火系统	78	
第四节 电容放电式电子点火系统	82	
第五节 点火系性能测试与维护	85	
复习思考题	89	
第六章 汽车车身电器与电子控制系统	91	
第一节 汽车照明与信号系统	91	
第二节 汽车仪表	101	
第三节 汽车空调	105	
第四节 汽车电动座椅、电动车窗及 电动后视镜	112	
第五节 汽车中央门锁与防盗系统	116	
第六节 安全气囊	120	
第七节 车身辅助电器	125	
复习思考题	129	
第七章 发动机电子控制系统	130	
第一节 电控汽油喷射系统和工作原理	131	
第二节 电控汽油喷射系统元器件介绍	134	
第三节 典型电控汽油喷射系统	158	
第四节 微机控制电子点火系统	167	
第五节 发动机电子控制系统维修	171	
复习思考题	175	
第八章 底盘电子控制系统	176	
第一节 电子控制自动变速器	176	
第二节 制动防抱死与防滑控制系统	181	
第三节 巡航(定速)控制系统	191	
第四节 电子控制悬架系统	195	
第五节 电子控制转向系统	197	
复习思考题	200	
第九章 汽车电路分析	201	
第一节 汽车电器基础元件	201	
第二节 汽车电路的读图	206	
第三节 汽车电路图实例	212	
第四节 汽车电路检修常识	228	
复习思考题	230	
参考文献	231	

第一章 绪 论

汽车电器与电子控制系统是汽车的重要组成部分，其性能的好坏直接影响到汽车的动力性、经济性、安全性、可靠性、舒适性及排放性。蓄电池、起动机、发电机、灯光照明等传统的汽车电器是汽车电器与电子控制系统的基础，多年来，在汽车工业中发挥了极其重要的作用，并将继续发挥其应有的作用。但是，近几十年来，随着电子技术的迅猛发展和对汽车性能要求的不断提高，电子技术在汽车上的应用越来越广，汽车电子设备和电子控制系统不断更新，特别是大规模集成电路和微处理器的应用，更是促进了汽车的电子化，汽车电子控制系统在汽车中的作用也越来越重要。汽车电器与电子控制技术发展到今天，发动机、变速器、悬架、制动系统、转向系统、门锁控制、车身控制等各大系统都已电子化，汽车电子化程度已成为衡量汽车技术水平和先进性的重要标志，汽车工业的竞争，在很大程度上，表现为汽车电子技术的竞争。根据美国汽车工业协会的统计，1997年，在美国，汽车电子产品已占每辆汽车价值的20%。

汽车电子技术的发展大体可分为四个阶段：

第一阶段：从50年代初到70年代初，主要是开发由分立元件和集成电路组成的汽车电子产品，应用电子装置代替传统的机械部件，如集成电路调节器、电子点火器等。

第二阶段：从70年代中期到80年代中期，主要是发展专用的独立系统，电子装置被应用在某些机械装置所无法解决的复杂控制功能方面，如电子控制汽油喷射系统、制动防抱死系统等。

第三阶段：从80年代中期到90年代中期，主要是开发可完成各种功能的综合系统及各种车辆整体系统的微机控制，汽车上的电子装置不仅已能自动承担基本控制任务，而且还能处理外部和内部的各种信息，如集发动机控制与自动变速器控制为一体的动力传动系统控制、制动防抱死与防滑转控制系统等。

第四阶段：从90年代中期开始，主要是研究发展车辆的智能控制技术，模拟人的思维和行为对车辆进行控制，如汽车自动驾驶系统、汽车自动导航系统等。

现代汽车上所装用的电器与电子控制系统尽管数量越来越多，但按其用途大致可分为五大部分：

(1)电源 电源主要包括蓄电池、发电机及其调节器。

(2)用电设备 汽车上的用电设备主要包括：起动机、点火系统、照明设备、信号装置（电喇叭、闪光器、蜂鸣器及各种信号灯）和辅助电器（电动刮水器、空调器、收录机、点烟器等）。

(3)电子控制装置 主要指由微机控制的装置，如电子点火装置、电控汽油喷射系统、电控自动变速器、制动防抱死系统、安全气囊、电子控制悬架系统和电子控制转向系统等。

(4)检测装置 包括各种检测仪表，如：电流表、电压表、机油压力表、温度表、燃油表、车速里程表和各种报警装置等。

(5)配电装置 配电装置包括中央接线盒、电路开关、继电器、保险装置、接插件和导

线等。

和其它电系不同，汽车电系有其自身的特点：

(1)直流 尽管汽车采用交流发电机作为并联电源之一，但汽车的所有用电设备使用的都是直流电，即汽车电系为一直流电系。

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

(3)单线制 单线制是指从电源到用电设备只有一根导线连接，而用汽车底盘、车架和发动机等金属机体作为另一公用导线。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。

(4)负极搭铁 采用单线制时，将蓄电池的负极接车架就称之为“负极搭铁”；反之，则称为“正极搭铁”，按照国家标准，我国的汽车电系采用负极搭铁。

汽车领域的竞争是汽车电子技术的竞争，随着汽车电器与电子控制系统在汽车上的应用日益广泛，熟悉和掌握有关汽车电器与电子控制系统的结构、原理和使用维修等方面的知识，对汽车类工程技术人员越来越重要。

第二章 蓄 电 池

蓄电池是一种将化学能转变为电能的装置，属于可逆的直流电源。用于汽车上的蓄电池，必须满足起动发动机的需要，即在 5~10s 的短时间内，提供汽车起动发动机足够大的电流。汽油机起动电流为 200~600A，有的柴油机起动电流达 1000A。由于使用电解液不同，起动型蓄电池分为酸性和碱性。铅酸蓄电池结构简单，价格低廉，易于满足大量生产的汽车的需要；同时其内阻小，起动性能好，能在短时间内供给起动机所需要的大电流，因此在汽车上得到广泛的应用。

在汽车上，蓄电池与发电机并联向用电设备供电。在发动机工作时，用电设备所需电能主要由发电机供给。蓄电池的功用为：发动机起动时，向起动机和点火系供电；发电机不发电或电压较低时向用电设备供电；发电机超载时，协助发电机供电；发电机端电压高于蓄电池电动势时，将发电机的电能转变为化学能储存起来；吸收发电机的过电压，保护车用电子元件。

第一节 蓄电池的构造与型号

一、蓄电池的基本构造

铅酸蓄电池是在盛有稀硫酸的容器中插入两组极板而构成的电能储存器，它由极板、隔板、外壳、电解液等部分组成。容器分为 3 格或 6 格，每格里装有电解液，正负极板组浸入电解液中成为单格电池。每个单格电池的标称电压为 2V，3 格串联起来成为 6V 蓄电池，6 格串联起来成为 12V 蓄电池。蓄电池的构造如图 2-1 所示。

1. 极板

极板是蓄电池的基本部件，由它接受充入的电能和向外释放电能。极板分正极板和负极板两种。正极板上的活性物质是二氧化铅，呈棕红色；负极板上的活性物质是海绵状纯铅，呈青灰色。蓄电池在充电与放电过程中，电能和化学能的相互转换是依靠极板上活性物质和电解液中硫酸的化学反应来实现的。

正、负极板上的活性物质分别充填在铅锑合金铸成的栅架上。铅锑合金中，铅占 94%，锑占 6%。加入少量的锑是为了提高栅架的力学强度并改善浇铸性能。但是，铅锑合金耐电化学腐蚀性能较差，在要求高倍率放电和提高比能量而采用薄形极板时，高锑含量板栅势必导致使用寿命的降低。因此，采用低锑合金就十分重要了，目前板栅含锑量为 2%~3%。在板栅合金中加入 0.1%~0.2% 的砷，可以减缓腐蚀速度，提高硬度与机械强度，增强其抗变形能力，延长蓄电池的使用寿命。目前国内外已使用铅锑砷合金作板栅。

出于对使用期限的考虑，正极活性物质脱落和板栅腐蚀是决定蓄电池使用寿命的主要原因，因此正极板栅要厚一些，负极板栅厚度一般为正极板栅厚度的 70%~80%。国产蓄电池负极板厚度为 1.6~1.8mm，也有薄至 1.2~1.4mm 的；正极板厚度为 2.2~2.4mm，也有薄至 1.6~1.8mm 的。薄形极板的使用能改善汽车的起动性能，提高蓄电池的比能量。

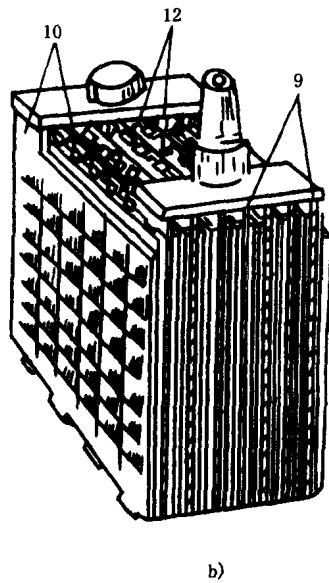
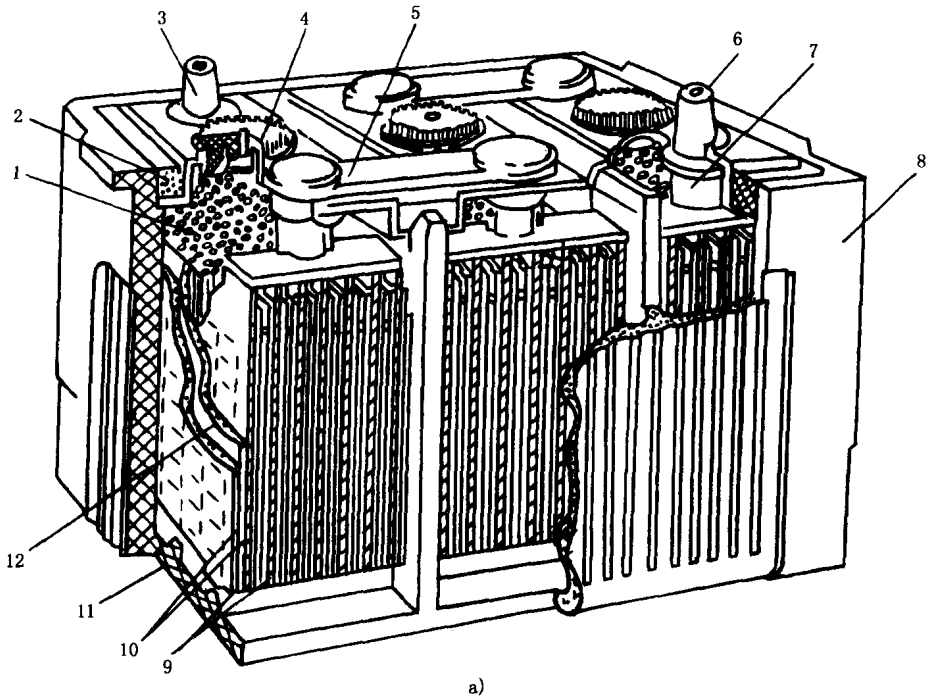


图 2-1 蓄电池的构造

a)单格盖式 6V 蓄电池 b)极板组

- 1—护板 2—封料 3—负极接线柱 4—加液孔螺塞 5—连接条 6—正极接线柱
7—电极衬套 8—外壳 9—正极板 10—负极板 11—肋条 12—隔板

为了增大蓄电池的容量，一般将多片正极板(4~13片)和多片负极板(5~14片)分别并联，组成正极板组和负极板组。安装时，将正负极板组相互嵌合，中间插入隔板，就成了单格电池。在每个单格电池中，负极板的数量总是比正极板要多一片。例如东风 EQ1090 汽车

所用的 6-Q-105 型蓄电池，单格电池组共 15 片极板，其中正极板 7 片，负极板 8 片。正极板都处在负极板之间，最外面 2 片都是负极板。因为正极板活性物质较疏松，机械强度低，这样把正极板都夹在负极板中间，使其两侧放电均匀，保持正极板工作时不易因活性物质膨胀而翘曲，造成活性物质脱落。

2. 隔板

为了减少蓄电池内部尺寸，降低蓄电池的内阻，蓄电池内部正负极板应尽可能靠近。为了避免相互接触而短路，正负极板之间要用绝缘的隔板隔开。隔板材料应具有多孔性结构，以便电解液自由渗透，而且化学性能应稳定，具有良好的耐酸性和抗氧化性。常见的隔板材料有木质、微孔橡胶、微孔塑料、玻璃纤维纸浆和玻璃丝棉等几类。

3. 外壳

蓄电池外壳为一整体式结构的容器，极板、隔板和电解液均装入外壳内。蓄电池电压一般有 6V 和 12V 两种规格，因此，外壳内由间壁分成 3 个和 6 个互不相通的单格。例如，12V 蓄电池内分成 6 个单格，由 5 个单格壁将容器分为互不相通的 6 个小容器。各个单格底部做有垫角，其突起的肋条用以搁置极板组，使其下方有足够的空间作为沉淀槽，容纳脱落的活性物质，以免堆积起来，使正负极板相接触而造成短路。

外壳应耐酸、耐热、耐寒、抗震动，并具有足够的机械强度。常用的材料有硬质橡胶、沥青塑料、工程塑料。工程塑料美观透明，耐酸抗腐蚀，重量轻，强度高，发展非常快。我国目前已大量生产聚丙烯等工程塑料外壳。

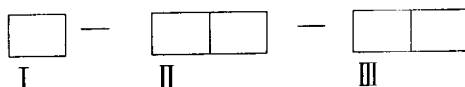
4. 电解液

铅酸蓄电池的电解液，是由相对密度 1.84 的纯硫酸和蒸馏水配制而成，密度一般在 $1.24 \sim 1.31\text{g}/\text{cm}^3$ 的范围之内。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，一般工业用硫酸和普通水中，因含有铁、铜等有害杂质，绝对不能加入到蓄电池中去，否则容易自行放电，并且容易损坏极板。因此，蓄电池电解液要用规定的蓄电池专用硫酸和蒸馏水配制，硫酸标准见 GB4554—84 规定，蒸馏水标准见 ZBK84004—89 规定。配制电解液应在耐酸的陶瓷或玻璃容器内进行。先将蒸馏水倒入容器内，然后慢慢地加入硫酸，并且要不停地用耐酸棒搅拌。绝对不允许将水倒入硫酸中，否则将产生剧烈的化学反应，可能造成人身事故。配制不同密度的电解液必须按一定的体积比或重量比进行，如电解液相对密度为 $1.20\text{g}/\text{cm}^3$ ，则硫酸与蒸馏水的体积比应为 1:4.33，硫酸与蒸馏水的重量比应为 1:2.36（以 25℃ 时硫酸相对密度为 1.83 计算），其他密度的电解液可按此关系进行换算。

二、蓄电池的型号

1. 蓄电池的产品型号

按照原机械工业部部颁标准 JB2599—85 的规定，铅蓄电池产品型号分为三段，其排列及其含义如下：



第 I 段表示串联的单格电池数，用阿拉伯数字组成，其标准电压是这个数字的 2 倍。

第 II 段表示蓄电池的类型和特征，用 2 个汉语拼音字母组成。其中第一个字母为 Q，表示起动用铅蓄电池。第二个字母为蓄电池的特征代号：A—干荷电式；W—免维护式；F—防酸式；D—带液式；J—胶体电液；Q—气密式；Y—液密式；H—湿荷电式；B—半密闭式；

456906

无字母则为干封式。

第Ⅲ段表示蓄电池的额定容量。我国目前规定采用20h放电率的容量安培小时数Ah。有时在额定容量后面用一个字母表示特征性能：Q—高起动率；S—塑料槽；D—低温起动性能好。

例如，第一汽车制造厂生产的解放牌CA1090汽车蓄电池型号为6-QA-100S，这是一种国内先进工艺生产出来的蓄电池，由6个单格串联而成，标准电压12V。它采用了塑料整体式外壳，薄型极板，干荷电式，使用时只需加入规定密度的电解液，静止0.5h，就可以投入使用。

2. 蓄电池的规格

国产汽车起动用铅酸蓄电池主要有两大类，即干封式蓄电池和干荷电式蓄电池。从1986年开始，国家要求执行新标准，GB5008.1—85中规定，以放电时间为20h，电解液初始温度为 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对密度为 $1.28 \pm 0.01\text{g}/\text{cm}^3$ （25℃时），放电终止电压为1.75V条件下的放电容量作为蓄电池的额定容量。

目前我国汽车起动用铅酸蓄电池，按GB/T5008.2—91规定，分为橡胶槽上固定式、塑料槽上固定式、塑料槽下固定式等几种。

干荷电式蓄电池与普通干封式铅蓄电池的区别在于，其极板组在干燥状态下能够较长期地保存在制造过程中所得到的电荷。干荷电式蓄电池之所以具有干荷电性能，主要是负极板的制造工艺不同。干荷电式铅蓄电池在规定的2年保存期中，如果需要交付使用，只需在使用之前加入符合规定密度的电解液就可以了。例如，对于干荷电蓄电池6-QA-60，只需加入相对密度为 $1.280\text{g}/\text{cm}^3$ （25℃时）的电解液，调整液面高度高出极板组15mm左右，不需要进行初充电就可以投入运营。对于保存期超过2年的干荷电式铅蓄电池，因为其极板上有部分活性物质被氧化，使用之前应以补充充电的电流进行充电（详见本章第三节），充电时间为5~10h，然后再交付使用。

第二节 蓄电池的工作原理

根据双极硫酸盐化理论，蓄电池中参与化学反应的物质，正极板上是 PbO_2 ，负极板上是 Pb ，电解液是 H_2SO_4 的水溶液。蓄电池放电时，正极板上的 PbO_2 和负极板上的 Pb 都变成 PbSO_4 ，电解液中的 H_2SO_4 减少，相对密度下降。蓄电池充电时，则按相反的方向变化，正极板上的 PbSO_4 恢复成 PbO_2 ，负极板上的 PbSO_4 恢复成 Pb ，电解液中的 H_2SO_4 增加，相对密度增大。

一、放电过程

如果将蓄电池与外电路的负荷接通，例如接亮汽车前照灯，蓄电池与前照灯就组成了完整的电路。当电路中产生电流时，电子 e 从负极板经过外电路的负荷流往正极板，使正极板的电位下降，从而破坏了原有的平衡状态。流到正极板的电子 e 与 Pb^{++++} 化合，变成二价离子 Pb^{++} ， Pb^{++} 与 SO_4^{--} 化合，生成 PbSO_4 而沉淀在正极板上：



在负极板处， Pb^{++} 与电解液中的 SO_4^{--} 化合也生成 PbSO_4 ，沉附在负极板上，而极板上的金属铅继续溶解，生成 Pb^{++} ，留下电子 $2e$ 。

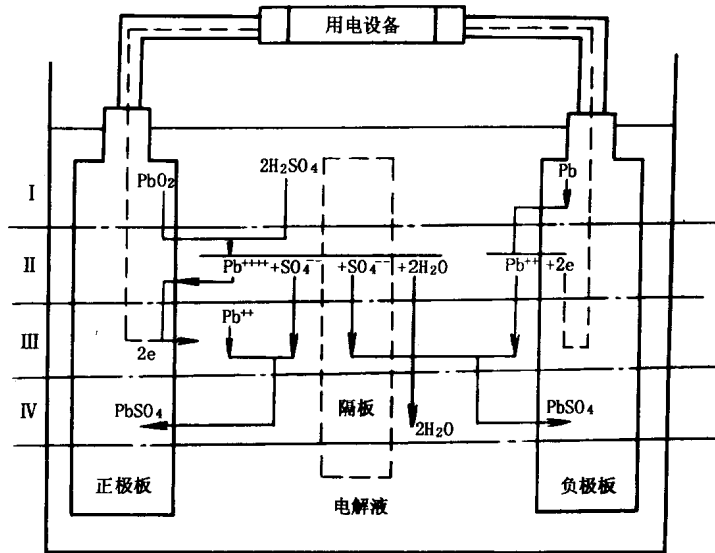


图 2-2 铅蓄电池的放电过程

I—充电状态 II—溶解电离 III—接入负载 IV—放电状态

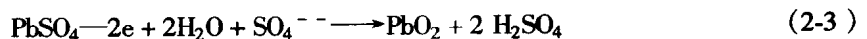
在外部电路的电流继续流通时，蓄电池正极板上的 PbO_2 和负极板上的 Pb 将不断转变为 PbSO_4 ，电解液中的 H_2SO_4 逐渐减少，而 H_2O 逐渐增多，电解液相对密度下降。铅蓄电池放电时的化学过程如图 2-2 所示。

从理论上说，蓄电池的这种放电过程将进行到极板上的所有活性物质全部转变为 H_2SO_4 为止，而实际上不可能达到这种情况，因为电解液不能渗透到极板活性物质最内层中去。在使用中所谓放完的蓄电池，极板上的活性物质材料实际上只有 20% ~ 30% 转变成了 PbSO_4 。因此，采用薄型极板，增加多孔性，提高极板活性物质的利用率是蓄电池工业的发展方向。我国已经有一些厂家生产薄型极板蓄电池。

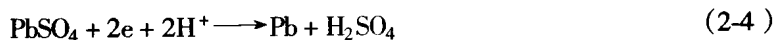
二、充电过程

充电时蓄电池的正负两极接通直流电源，当电源电压高于蓄电池的电动势 E 时，在电源力的作用下，电流将以相反的方向通过蓄电池，即由蓄电池的正极流入，从蓄电池的负极流出，也就是电子由正极板经外电路流往负极板。这时正负极板发生的化学反应正好与放电过程相反，其化学反应过程如图 2-3 所示。

在正极板处，有少量的 PbSO_4 溶于电解液中，产生 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} ， Pb^{2+} 在电源力作用下失去两个电子变成 Pb^{4+} ，它又和电解液中解析出来的 OH^- 结合，生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$ ， $\text{Pb}(\text{OH})_4$ 再分解成为 PbO_2 和 H_2O ，而 SO_4^{2-} 与电解液中的 H^+ 化合生成 H_2SO_4 。正极板上的总反应为：



在负极板处，也有少量的 PbSO_4 溶于电解液中，产生 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} ， Pb^{2+} 在电源力的作用下获得两个电子变成金属 Pb ，沉附在极板上，而 SO_4^{2-} 则与电解液中的 H^+ 化合生成 H_2SO_4 。负极板上的总反应为：



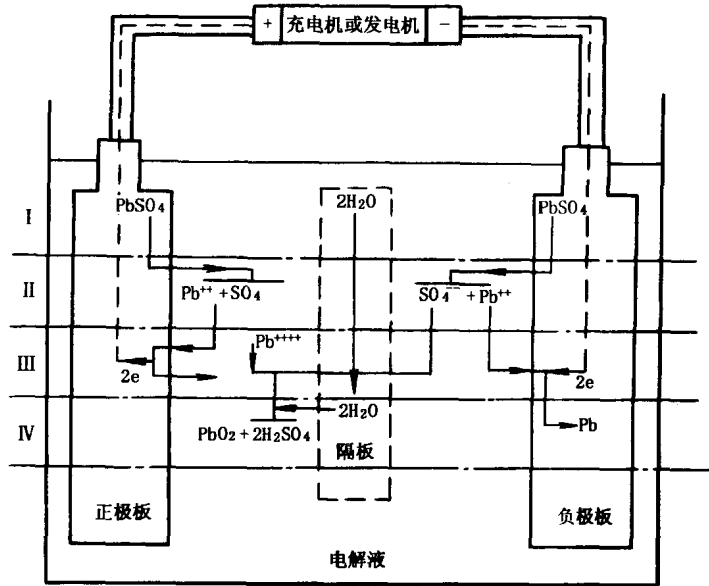


图 2-3 铅蓄电池的充电过程

I—放电状态 II—溶解电离 III—通入电流 IV—充电状态

由此可见，在充电过程中，正负极板上的 PbSO_4 将逐渐恢复为 PbO_2 和 Pb ，电解液中的硫酸 (H_2SO_4) 成分逐渐增多，水 (H_2O) 逐渐减少。

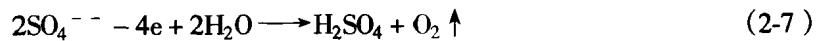
充电期间，电解液相对密度将升到最大值，并且会引起水的分解。其反应式为：



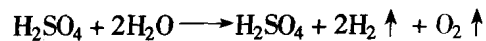
负极上的反应：



正极上的反应：



蓄电池的总反应为：

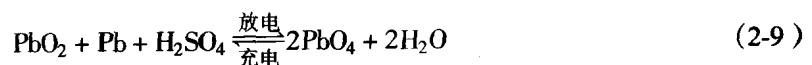


因此，实际上分解的是 H_2O ：



由蓄电池充放电时的化学反应过程，可以得出如下几点结论：

1) 蓄电池在放电时，电解液中的硫酸将逐渐减少，而水将逐渐增多，电解液相对密度下降；蓄电池在充电时，电解液中的硫酸将逐渐增多，而水将逐渐减少，电解液相对密度增加。因此，可以通过测量电解液相对密度的方法来判断蓄电池的充放电程度。在蓄电池的充放电过程中，极板的活性物质是处在化合和分解的运动之中，略去中间的化学反应，这一运动的过程可以表示为：



2) 在充放电时, 电解液浓度发生变化, 主要是由于正极板的活性物质化学反应的结果, 因此要求正极板处的电解液流动性要好。所以在装配蓄电池时, 应将隔板有沟槽的一面对着正极板, 以便电解液流通。

3) 蓄电池放电终了时, 极板上只有 20% ~ 30% 的活性物质转变为硫酸铅, 尚余有 70% ~ 80% 的活性物质没有起作用。因此, 要减轻铅蓄电池的重量, 提高供电能力, 应该充分提高极板活性物质的利用率, 在结构上提高极板的多孔性, 减少极板的厚度。

第三节 蓄电池的工作特性

一、蓄电池的基本电特性

1. 开路电压

蓄电池电动势是热力学的两极平衡电极电位之差, 但实际上电池中的两个电极并非处于热力学可逆状态, 所以开路状态下的端电压并不等于电池的电动势。但是, 由于正极活性物质一般氧的过电位大, 其稳定电位接近正极活性物质的平衡电位。同样, 采用的负极材料的过电位大, 其稳定电位接近负极活性物质的平衡电位。结果, 开路电压在数值上很接近蓄电池的静止电动势。一般规定铅蓄电池的额定开路电压为 2.0V。开路电压可用下式计算:

$$U_0 = 0.84 + \rho_{25} \quad (2-10)$$

式中 U_0 ——蓄电池的开路电压, 单位为 V;

ρ_{25} ——25℃时电解液的相对密度。

如果测量电解液密度时的电解液温度不是标准温度 25℃, 则需要换算:

$$\rho_{25} = \rho_t + \beta(t - 25) \quad (2-11)$$

式中 ρ_t ——实测的电解液相对密度;

t ——测量时电解液温度, 单位为℃;

β ——相对密度温度系数, 取 $\beta = 0.00075$ 。

2. 内阻

蓄电池的内阻很小, 因而可以获得大的放电电流。蓄电池的内阻包括极板、隔板、电解液、铅联接条等的电阻。

蓄电池的内阻与蓄电池的容量有关。另外, 极板厚度、充电状态以及制造工艺, 都对蓄电池内阻有很大的影响。国内各个蓄电池厂生产的相同容量的产品, 其放电特性不同, 内阻也略有差异。统计数据表明, 在完全充电状态下, 蓄电池的电阻率在 $0.043 \sim 0.068 \Omega \cdot \text{Ah/V}$ 之间。根据这个数据推算, CA1091 汽车蓄电池 6-QA-100 的内阻为 $0.00516 \sim 0.00816 \Omega$ 。

德国博世 (BOSCH) 公司规定, 放电程度在 25% 的状态下, 蓄电池处于 $-20 \sim 20^\circ\text{C}$ 时, 蓄电池的电阻率为 $0.042 \sim 0.068 \Omega \cdot \text{Ah/V}$ 。而美国标准 SAEJ546 则明确规定, 12V 蓄电池在标准负荷时的内阻为 0.014Ω 。

3. 蓄电池的容量

蓄电池的容量标志着蓄电池对外供电的能力。一只完全充足电的蓄电池, 在允许的放电范围内所输出的电量称之为蓄电池的容量:

$$C = I_f t_f \quad (2-12)$$

式中 C ——蓄电池的容量, 单位为 Ah;

I_f ——放电电流，单位为 A；

t_f ——放电时间，单位为 h。

蓄电池出厂时规定的额定容量是在一定的放电电流、一定的终止电压和一定的电解液温度下取得的。

(1) 额定容量 额定容量是检验蓄电池质量的重要指标之一。GB5008.1—85 标准规定，以 20h 放电率的放电电流在电解液初始温度为 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ ，相对密度为 $1.28 \pm 0.01\text{g/cm}^3$ (25°C) 的条件下，放电到规定的终止电压 1.75V，蓄电池所输出的电量，记为 C_{20} 。

例如，解放牌 CA120F 汽车的蓄电池为 6-QA-60 型，在电解液初始温度为 25°C 时，以 3A 的放电电流持续放电 20h，单格电压降到 1.75V，其额定容量 $C_{20} = 3 \times 20\text{Ah} = 60\text{Ah}$ 。上海桑塔纳牌 LX 型、GX 型、GX5 型轿车的蓄电池参数为 12V、54Ah，其额定容量 $C_{20} = 54\text{Ah}$ ，起动功率为 0.75kW。

根据上海蓄电池厂的规定，应将蓄电池连续放电 9 次，在第 10 次循环时，其容量应达到规定的数值。

(2) 起动容量 起动容量表示蓄电池在发动机电力起动时的供电能力，用倍率和持续时间表示。起动容量有两种规定：① 常温起动容量。常温起动容量为电解液初始温度 25°C 时，以 5min 放电率的电流放电，放电 5min 至单格电池电压降至 1.5V 时所输出的电量。5min 放电率的电流在数值上约为其额定容量的 3 倍。例如，对于 3-Q-90 型蓄电池， $C_{20} = 90\text{Ah}$ ，在电解液初始温度为 25°C 时，以 $3C_{20} = 3 \times 90\text{A} = 270\text{A}$ 的电流放电 5min，单格电池电压降至 1.50V，蓄电池端电压降至 $1.50 \times 3 = 4.50\text{V}$ ，其起动容量为： $C = I_f t_f = 270 \times 5/6\text{Ah} = 22.5\text{Ah}$ 。② 低温起动容量。低温起动容量为电解液初始温度 -18°C 时，以 5min 放电率的电流放电，放电 2.5min 至单格电池电压降至 1V 时所输出的电量。仍以蓄电池 3-Q-90 为例，在电解液初始温度为 -18°C 时，以 270A 的电流放电 2.5min，单格电池电压降至 1V，蓄电池端电压降至 $3 \times 1\text{V} = 3\text{V}$ ，其低温起动容量为： $C = I_5 t_5 = 270 \times 2.5/60\text{Ah} = 11.25\text{Ah}$ 。

(3) 影响蓄电池容量的因素 蓄电池的容量越大，可以提供的电能就越多。影响蓄电池容量的因素主要有极板的构造、放电电流、电解液温度和电解液密度等。

二、蓄电池的充放电特性

1. 蓄电池的放电特性

蓄电池的放电特性是指在恒流放电过程中，蓄电池的端电压和电解液相对密度随时间而变化的规律。将完全充足电的蓄电池以 20h 放电率的电流进行放电，在放电过程中不断地调节外接的电位器，使放电电流保持稳定不变，每隔一定的时间，测量端电压和电解液密度，得到如图 2-4 所示的放电特性曲线。

从图 2-4 可以看出，随着放电程度的增加，蓄电池端电压将逐渐下降。放电开始时，端电压从 2.1V 迅速下降，这是由于极板孔隙中的硫酸迅速消耗，溶液密度降低的缘故。这时容器中的电解液便向极板孔隙内渗透。当新渗入的电解液完全补偿了因放电时化学反应而消耗的硫酸量时，端电压将随整个容器内电解液密度的降低而慢慢地下降，相当于图中斜率较小的一段，直到 1.85V 左右。接着电压又迅速下降至 1.75V，这是由于放电接近终了，放电生成的硫酸铅聚积在极板孔隙内，使电解液渗入困难，其密度迅速下降，蓄电池端电压也随之急剧下降。

当蓄电池端电压下降至 1.75V 时，应停止放电。再继续放电即称之为过度放电。过度放

电十分有害, 因为孔隙中生成的粗结晶硫酸铅, 充电时不易还原, 而使极板损坏。

蓄电池放电终了的特性, 通常由两个数据来判断:

1) 电解液相对密度降低到最小允许值, 大约为 1.11。

2) 单格电池的端电压降至放电终止电压, 以 20h 放电率放电, 单格电池电压降至 1.75V。

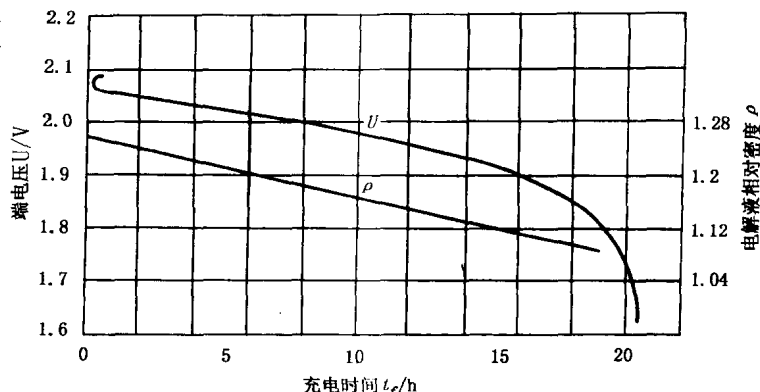


图 2-4 蓄电池的放电特性曲线

单格电池容许的放电终止电压与放电电流强度有关。放电电流越大, 则放完电的时间越短, 而允许的放电终止电压越低, 其关系见表 2-1 所示。

表 2-1 单格电池放电终止电压

放电电流 (I_f/A)	$0.05C_{20}$	$0.088C_{20}$	$0.22C_{20}$	C_{20}	$3C_{20}$
放电时间	20h	10h	3h	25min	4.5min
单格终止电压 (U/V)	1.75	1.70	1.65	1.55	1.50

2. 蓄电池的充电特性

蓄电池的充电特性是指在恒流充电过程中, 蓄电池的端电压与电解液相对密度随时间而变化的规律。充电电源必须采用直流电源, 电源的正极与蓄电池的正极相联接, 电源的负极与蓄电池的负极相联接。以一定的电流 I_C 向一只完全放电的蓄电池进行充电, 不断调节外电路中的电位器, 以保持充电电流 I_C 不变, 每隔一定时间测量单格电池的端电压和电解液相对密度, 可以绘制出蓄电池的充电特性曲线, 如图 2-5 所示。

从图 2-5 中可以看出, 由于恒流充电, 单位时间内所生成的硫酸量相等, 所以电解液密度曲线是随时间而逐渐上升的。电池的端电压, 在充电开始后迅速上升, 这是由于接通充电电流时, 极板孔隙表层迅速生成硫酸, 使孔隙中电解液密度增大的缘故。端电压上升到 2.1V 以后, 孔隙内硫酸向外扩散, 当继续充电至孔隙内硫酸所产生的速度和向外扩散的速度达到平衡时, 端电压不再迅速上升, 而是随着电解液密度的上升而相应增高。

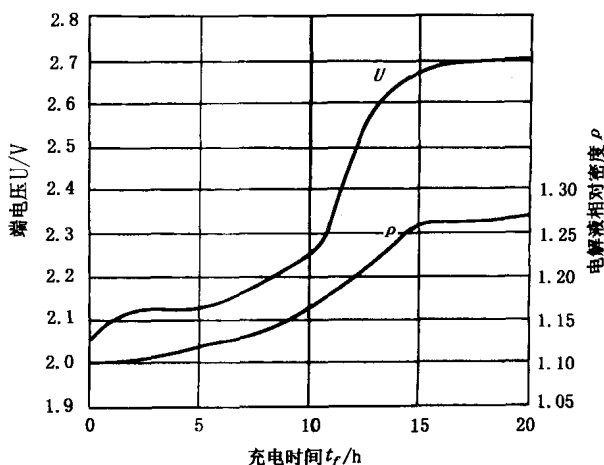


图 2-5 蓄电池的充电特性曲线

充电接近终了, 电池端电压达到 2.3 ~ 2.4V 时, 极板上可能参加变化的活性物质几乎恢复为二氧化铅和纯铅。如果继续通电, 便使电解液中的水开始分解, 产生氢气和氧