



高等职业教育系列教材/汽车运用专业

汽车电器与电子技术

主编 李涵武

主审 郑德林



哈尔滨工业大学出版社

高等职业教育系列教材/汽车运用专业

汽车电器与电子技术

主 编 李涵武

副主编 郭新华 席振鹏 赵雨暘

主 审 郑德林

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书全面系统地阐述了汽车电源系统、发动机起动和点火系统、汽车空调系统、照明与信号系统、仪表与报警系统、辅助电器等的结构、工作原理以及使用和维修方法,对发动机电子控制系统、电控自动变速器、防滑控制系统、悬架控制系统、巡航控制系统、安全气囊等电子控制技术内容也做了详细的介绍。作为附录,本书还给出了捷达轿车的线路图,以及汽车电路原理图常用图形符号,以帮助读者学习。

本书可作为应用型本科学校、职业技术学校汽车运用及相关专业教材,也可供有关汽车检测、维修等方面的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电器与电子技术/李涵武主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003.9

高等职业教育系列教材. 汽车运用专业

ISBN 7-5603-1734-0

I. 汽… II. 李… III. ①汽车-电气设备-高等学校:技术学校-教材 ②汽车-电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 080154 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787×960 1/16 印张 31 字数 607 千字
版 次 2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5603-1734-0/TH·101
印 数 1-3 000
定 价 38.00 元

序

随着我国加入 WTO 和国民收入的提高,汽车在国民经济和家庭生活中的作用也越来越大,汽车的数量和普及率迅速提高,社会需要更多的从事汽车维护和修理的专业人才。根据教育部新世纪教改工程汽车专业试点实施计划及教育部“精品专业”建设工程,编写一套内容实用、使用方便的教学用书有重要意义。

参加本套书编写的作者有些曾在普通高校长期从事有关专业的教学工作,现又经历了一段时间的高等职业教学工作,更有些作者是来自生产第一线的工程技术人员。大家对专业课程的改革都有一个共同的认识,即今后专业教学内容不要以学科分类,不要强调先理论后实践,要以实用、精练为出发点,寄科学性、先进性、系统性于紧密联系实际的实际内容中。遵照这个原则,全体编写人员在编写过程中,既总结了自己的教学经验,又结合实际,并吸收先进技术,希望将这一套书编成实用、系统、科学的教学用书,能被高等院校师生、广大工程技术人员欢迎,并对业内经营管理人员系统地了解当前汽车维护、维修知识及其发展方向有所帮助。

我们的另一个出发点是,随着科学技术的进步、学校教学改革的深入,教学内容和内涵愈来愈丰富、深刻。提高课堂效率、挖掘学生的思维潜力、培养创新意识已是当务之急。因此,如何让学生走出一贯地老师上面讲、学生下面听的简单形式,充分利用现代教学手段,将课堂教学、实验教学、现场教学及生产实训有机地结合,形成具有先进性、综合性的教材也是我们的努力方向。

本套教学用书的特点是:

先进性: 尽量反映当代汽车先进、实用的结构知识,同时注重汽车先进的维护、维修技术和手段。

综合性: 综合介绍汽车构造和汽车维护、维修方面的知识,同时还包括汽车故障诊断和检测的相关知识。

实用性: 内容简洁,以汽车典型结构分析其特征,介绍其维护、维修技术要求,实用性强。

作为一套汽车技术书,在编写过程中由于多方面原因,不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正,以便为汽车知识的普及,提高维护维修行业质量、工作效率和维修技术水平,做出贡献。

汽车运用专业教材编委会 郑德林
2003年8月

前 言

随着汽车工业和电子技术的迅速发展,汽车电子产品的新结构、新技术层出不穷,汽车电子化已成为当今世界汽车工业发展的必然趋势。汽车已不再是昔日的传统机械产品,而是当今典型的机电一体化产品。

本书是为适应我国汽车工业发展和高等职业教育发展的新形势而编写的《高等职业教育系列教材/汽车运用专业》之一,其宗旨是满足新形势下对高等职业教育汽车电器与电子技术专业人才的培养。

在本书的编写过程中,我们针对高等职业技术教育的特点,力求理论联系实际,突出技能,并注重国内常见车型。本书共分十三章,系统地阐述了汽车电器与电子控制系统的结构、原理、使用、故障诊断和维修,加大了汽车电子控制技术在本书中所占的比例,做到了内容广、新、详,通俗易懂,应用性强。

本书由黑龙江工程学院李涵武任主编,副主编为哈尔滨工业大学职业技术学院郭新华、席振鹏和黑龙江工程学院赵雨阳。参加编写的还有赵玉春、苏清源、于春鹏、鲍宇、韦东波、齐益强、安忠贵。

本书主审哈尔滨工业大学郑德林教授对本书提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。在本书编写过程中,参考了有关文献资料,谨向这些作者表示谢意。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有不足和疏漏,恳请广大读者批评指正。

编 者

2002年7月

目 录

绪论	1
第一章 电源系统	5
第一节 铅蓄电池构造、工作原理、工作特性和技术参数	5
第二节 铅蓄电池的正确使用和故障排除	17
第三节 交流发电机的构造、工作原理和工作特性	26
第四节 电压调节器	35
第五节 交流发电机的正确使用及维修	44
第六节 电源系运行故障及排除	48
第二章 起动系	50
第一节 起动机的结构、工作原理和工作特性	50
第二节 典型的起动机	60
第三节 起动机的控制电路	63
第四节 起动系的正确使用和维修	65
第五节 起动系常见故障诊断与排除	70
第三章 点火系	73
第一节 点火系概述	73
第二节 传统点火系	78
第三节 无触点点火系	96
第四节 电容放电式点火系	107
第五节 无触点点火系的正确使用和检修	109
第四章 发动机电子控制系统	113
第一节 电子控制燃油喷射系统	113
第二节 电子控制点火系	172
第三节 发动机怠速控制(ISC)系统	187
第四节 发动机排放控制系统	201
第五节 发动机进气控制系统	207
第六节 安全保险功能、后备系统和故障自诊断系统	210
第七节 典型的发动机控制系统	214
第八节 发动机电控系统的维护和故障诊断	224
第五章 自动变速器	230
第一节 自动变速器概述	230

第二节	自动变速器的结构与工作原理	236
第三节	典型的电控自动变速器	282
第四节	电控自动变速器的故障诊断	289
第五节	自动变速器的维修	296
第六章	汽车防滑控制系统	306
第一节	汽车制动防抱死系统(ABS)	306
第二节	汽车驱动防滑系统(ASR)	319
第三节	典型的汽车防滑控制系统	323
第七章	悬架控制系统	330
第一节	悬架控制系统概述	330
第二节	电控悬架系统的结构和工作原理	332
第三节	典型的电控悬架系统	341
第八章	巡航控制系统	346
第一节	汽车巡航控制系统概述	346
第二节	巡航控制系统的结构和工作原理	347
第三节	典型的巡航控制系统	353
第九章	汽车空调系统	355
第一节	空调系统的组成和结构	355
第二节	空调系统的控制	369
第三节	典型的汽车空调系统	380
第四节	空调系统的正确使用与检修	383
第十章	照明与信号系统	393
第一节	汽车照明系统	393
第二节	汽车信号系统	403
第十一章	汽车仪表与报警系统	412
第一节	汽车仪表	412
第二节	汽车报警系统	419
第十二章	汽车的辅助电器	422
第一节	电动刮水器、风窗洗涤器和除霜装置	422
第二节	中央门锁	429
第三节	电动座椅、电动车窗及电动后视镜	431
第四节	安全气囊	436
第五节	汽车电磁波的干扰与抑制	449
第十三章	汽车全车线路	452
第一节	汽车全车线路中的基础元件	452
第二节	汽车电路的读图和全车线路分析	457
附录一	捷达轿车线路图	462
附录二	汽车电路原理图常用图形符号	481
参考文献		485

绪 论

一、概述

汽车电器与电子控制系统是汽车的重要组成部分,其性能直接影响汽车的动力性、经济性、排放性、舒适性等。20世纪初,传统点火系、起动机等电气设备开始应用在汽车上,这是较早使用的汽车电器部件。二战后,随着电子技术的发展,为解决汽车的经济性和排放污染等难题,电子技术在汽车上广泛应用。特别是大规模集成电路和微处理器的应用,使汽车对各工作过程的控制由传统的机械手段转变为电子控制手段,提高了控制精度,增加了控制内容。采用电子技术极大地提高了汽车的性能,完备了汽车的各种功能,有效地降低了汽车质量,所以新的汽车电子技术不断涌现,竞争日益激烈。

二、汽车电器与电子技术的现状与发展

1885年,德国的波许(Rebert Bosch)对马库斯的点火装置改良后,开始生产低压电磁点火器,这是最早的电器设备。1908年,美国的查尔斯·凯特林试制出可靠而完善的电池点火装置,他把标准的四个线圈(每一个火花塞一个点火线圈)串联组合成为一个,并把他们置于一个耐热、牢靠固定的铁皮盒子里,这就解决了由于热和振动所引起的线圈很快损坏的难题,还可以节省电能,使电池寿命得到延长;同时他还取消了每个线圈的一个单独的断电器,并用带有一副电容器的触点代替,从而使触点寿命延长。这种点火系被以后的汽车大量采用,被称为传统点火系。1912年,查尔斯·凯特林又发明了第一个可供实用的由蓄电池供电的汽车起动机,从此,电力起动成为广泛使用的起动方式。20世纪60年代,通用公司戴顿工程实验室分部宣布了一种利用电子线路的无触点点火装置,该装置完全取消了断电器及其触点,从而避免了机械磨损所造成的点火正时变化触点及初期能量过多消耗等缺点。同时,通用公司第一个在民用汽车上应用交流发电机(二战期间,已在军用汽车上使用),这是电子技术在汽车上的最初应用。

从60年代开始,汽车电子技术的研究和应用大致可分为以下几个阶段:

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电子控制系统,如电子控制汽油喷射、制动防抱死装置等。

1985~1995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,尤其是汽车电子技术的进步,促使各子系统控制走向集中化。

1995年至今,随着计算机人工智能化的进展,汽车智能控制成为发展方向。

目前,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得到了广泛的应用和普及。

三、汽车电器与电子控制系统的组成和特点

1. 汽车电器和电子控制系统

(1) 电源系

包括蓄电池、发电机及其调节器,二者并联,提供汽车用电设备所需的电能。

(2) 起动系

主要由起动机及其控制电路组成,用来起动发动机。

(3) 点火系

汽油机所使用,是指在气缸内产生电火花的全部设备,作用是在气缸内形成高压电火花,以点燃混合气。

(4) 照明与信号系统

由各种照明灯和信号灯及声音信号装置组成,完成各种照明任务和向环境(人、车)发出行车信号。

(5) 仪表与报警系统

包括各种仪表和报警装置,用来监测汽车、发动机的工作情况。

(6) 电子控制系统

包括发动机电子控制系统、电子控制自动变速器、汽车防滑控制系统、汽车巡航控制系统、汽车悬架控制系统等,主要由相应的传感器、电子控制单元、执行器组成,完成相应对象或过程的控制。

(7) 辅助电器

车身电器(车窗刮水器、空调等)及其他辅助电器。

2. 汽车电气系统的共同特点

(1) 低压

汽车电气系统的额定电压主要有12V、24V两种。目前汽油机的汽车电气系统普遍使用12V电源,柴油机的汽车电源多为24V。目前应用42V额定电压的电气系统正处于研究阶段。

(2) 直流

主要从起动机电能来源——蓄电池的充电来考虑。

(3) 单线制

所有的汽车用电设备均并联。单线制即从电源到用电设备只用一根导线连接,而用汽车底盘、发动机等金属机体作为另一公共“导线”。由于单线制导线用量少,且线路清晰,安装维修方便,因此广为汽车所使用。但在个别情况下(如装用在客车木质车厢上的电器)则仍需采用双线制。

(4) 负极搭铁

蓄电池的一个电极须接在车架上,俗称“搭铁”。蓄电池的负极接在车架上就称之为“负极搭铁”;蓄电池的正极接在车架上就称之为“正极搭铁”。因正极搭铁产生的无线电干扰较大,故按国家标准规定,汽车电气系统已统一为负极搭铁。

四、汽车电路检修方法

汽车电路故障主要包括电器设备的损坏和线路故障(断路、短路及搭铁)等。为了能迅速准确地诊断故障,下面介绍几种常见的检修方法。

1. 直观诊断法

汽车电路发生故障时,有时会出现冒烟、火花、异响、焦臭、发热等异常现象。这些现象可通过人的眼、耳、鼻、身感觉到,从而可以直接判断出故障所在部位。例如汽车行驶中,突然发现转向灯与转向指示灯均不亮故障,用手一摸,发现闪光器发热烫手,说明闪光器已被烧坏。

2. 断路法

汽车电路设备发生搭铁(短路)故障时,可用断路法判断,即将怀疑有搭铁故障的电路段断路后,根据电器设备中搭铁故障是否还存在,判断电路搭铁的部位和原因。例如,汽车行驶时,听到电喇叭长鸣,则可以将继电器“按钮”接柱上的导线拆开,此时如果喇叭停鸣,则说明喇叭按钮至继电器这段电路中有搭铁现象。

3. 短路法

汽车电路中出現断路故障,还可以用短路法判断,即用起子或导线将被怀疑有断路故障的电路短接,观察仪表指针变化或电器设备工作状况,从而判断出该电路中是否存在断路故障。例如,怀疑汽车电路中的各种开关有故障,可用导线将开关短接来判断开关是好是坏。注意这里所说的短路法并不是指将电源正极相连的设备与搭铁短路来验证其是否通电的方法。

4. 试灯法

试灯法就是用一只汽车用灯泡作为试灯,检查电路中有无断路故障。例如,将试灯的一端和交流发电机的“电枢”接柱连接,另一端搭铁。如果灯不亮,说明蓄电池至交流发电机“电枢”接柱间有断路现象;若灯亮,说明该段电路良好。由于试灯

法测试时电流较大,故与电子控制单元相连的电路不能用试灯法检查。

5. 仪表法

观察汽车仪表板上的电流表、水温表、燃油表、机油压力表等的指示情况,判断电路中是否有故障。例如,发动机冷态接通点火开关时,水温表指示满刻度位置不动,说明水温表传感器有故障或该线路有搭铁。

6. 仪器法

随着汽车技术的发展,汽车的检测、诊断和维修技术越来越完善,我们可以利用专用的或通用的诊断仪器进行检查,以准确地确定汽车电气系统故障的所在。

第一章 电源系统

第一节 铅蓄电池构造、工作原理、工作特性和技术参数

一、蓄电池的用途

汽车上的用电设备是由发电机和蓄电池并联供电的,如图 1-1 所示。在使用中,如果发电机开始正常运转,其输出电压高于铅蓄电池的电动势,发电机单独向用电设备供电。而蓄电池在下列情况下工作:

①起动机时供电。起动发动机时,蓄电池向起动机提供强大电流(汽油机可达 200 ~ 600 A,柴油机可达 1 000 A),并向点火系及其他用电设备供电,这是蓄电池的主要用途。

②发电不足时供电。发电机不发电或电压较低的情况下向用电设备供电。

③电网过载时供电。当用电设备接入较多,发电机超载时,蓄电池协助供电。

④充电。在发电机的端电压高于蓄电池电动势时,蓄电池能够通过电化学反应将一部分发电机产生的电能转化为化学能在蓄电池内储存起来。

⑤吸收瞬变过电压,稳定电网电压。蓄电池在电路中相当于一个较大的电容器,能吸收电路中随时出现的瞬时过电压,以保护电子器件不被击穿,延长电子器件使用寿命。

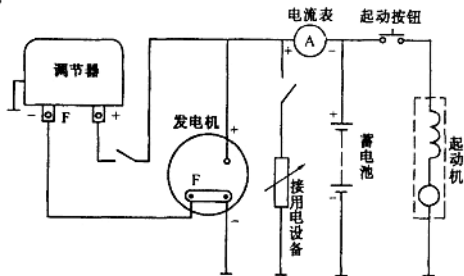


图 1-1 汽车电源系统组成示意图

蓄电池的种类很多,用于汽车上的蓄电池必须能满足起动发动机的需要,这样的蓄电池通常称为起动型蓄电池。由于铅酸蓄电池构造简单、内阻小、起动性好,且价格低廉(原料丰富),因此在汽车上广泛采用。但铅酸蓄电池的缺点是比能低,使用寿命短。

二、普通蓄电池的构造

一只铅蓄电池由3个或6个单格电池串联而成,每个单格电池的标称电压为2V,串联成6V或12V的铅蓄电池以满足汽车用电设备的需要。铅蓄电池由极板、隔板、电解液、外壳等组成,如图1-2所示。

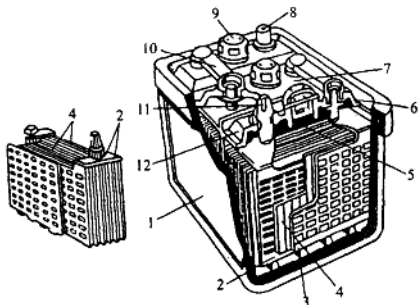


图1-2 铅蓄电池结构

- 1—外壳 2—正极板 3—负极板 4—隔板 5—护板
6—封料 7—电池盖 8—负极柱 9—加液孔 10—连接条
11—正极柱 12—封闭环

1. 极板组

极板是蓄电池的核心部分。极板由栅架和活性物质组成,如图1-3所示。活性物质和电解液发生电化学反应以实现铅蓄电池电能和化学能的转化。根据活性物质的不同,极板分为正极板和负极板。正极板的活性物质是二氧化铅(PbO_2)呈深棕色;负极板的活性物质是海绵状铅(Pb)呈青灰色。正、负极板上的活性物质分别填充在铅锑合金铸成的栅架上。铅锑合金中含锑6%~8.5%,加入锑可以提高栅架的机械强度并改善浇铸性能,但锑易从正极板栅架中析解出来引起蓄电池的自放电和栅架的膨胀、溃烂,因而新蓄电池中已使用低锑的栅架。

极板的制造过程如下:铅粉是极板活性物质的主要原料,铅粉是铅放入球磨机中研磨而成,在研磨中铅粉与空气接触部分氧化成氧化铅。然后加入一定的添加剂和硫酸溶液调和成膏状涂在栅架上。干燥后,将极板放入硫酸溶液中,经过长时

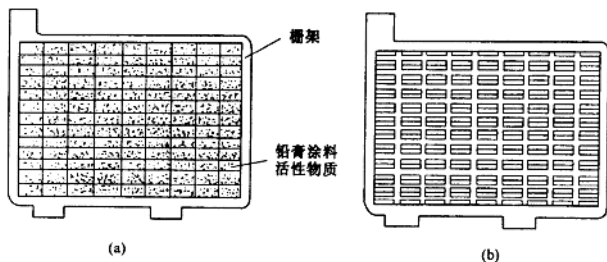


图 1-3 极板

(a) 极板 (b) 栅架

间充电(蓄电池生产中称为“化成”,一般 8~20 h),使正极板变成棕色的二氧化铅,负极板变成青灰色的海绵状的铅。为了防止正负极板上的活性物质的收缩,增加多孔性,铅膏里常加入添加剂,如硫酸钡、木素磺酸钠、碳黑等,同时还在活性物质中放入天然纤维以防止活性物质脱落和裂纹。

为了增加蓄电池的容量,将多片正、负极板分别并联,用横板焊接,组成正负极板组。横板上联有电桩,各片间留有间隙,安装时正负极板相互嵌合,中间插入隔板。在每单格电池中正极板比负极板少一片,这样正极板都处于负极板之间,使两侧放电均匀,否则由于正极板的机械强度差、反应激烈,单面工作会使正极板两侧活性物质体积变化不一致,造成极板拱曲、活性物质脱落。

传统的负极板的厚度为 1.8 mm,正极板为 2.2 mm,国外大多采用薄型极板,厚度为 1.1~1.5 mm,薄型极板对提高蓄电池的比容量(极板单位尺寸所提供的容量)和改善起动性能都很有利。

2. 隔板

为了减少蓄电池的内阻和体积,蓄电池内部正负极板应尽可能地靠近,但为了避免彼此接触而短路,正负极板之间要用隔板隔开。隔板材料应具有多孔性,以便电解液渗透;隔板材料化学性能要稳定,即具有良好的耐酸性和抗氧化性。隔板材料有木质、微孔橡胶、微孔塑料、玻璃纤维和纸板等。木质隔板价格低,但耐酸性能差,在硫酸和高温作用下易炭化发黑变脆。微孔塑料耐酸、耐高温性能好,价格日渐便宜,因此使用渐多。玻璃纤维隔板常和木质、微孔塑料等隔板组合使用。使用时,应将玻璃纤维隔板靠近正极板,以防止活性物质脱落,提高蓄电池的使用寿命,但由于操作工艺复杂不易实现机械化而逐渐被淘汰。安装时,隔板带有沟槽的一面应向正极板。这是因为正极板在充电、放电过程中反应激烈,沟槽能使电解液顺利地上下流通。

3. 电解液

电解液是硫酸的水溶液,由纯硫酸(密度 1.84 g/cm^3)和蒸馏水按一定比例配制而成,密度一般为 $1.24 \sim 1.28 \text{ g/cm}^3$ 。电解液的纯度是影响蓄电池的电气性能和使用寿命的主要因素,因此选用 GB4554—84 规定的二级专用硫酸和蒸馏水,工业用硫酸和一般的水中含铁、铜等有害杂质会增加蓄电池自行放电和损坏极板,不能用于蓄电池。

4. 外壳

蓄电池的外壳用来盛放电解液、极板组及隔板。对外壳的要求:耐酸、耐热、耐震。

在国内多采用硬橡胶外壳。近年来,由于工程塑料发展很快,很多蓄电池外壳是用工程塑料来做的。工程塑料材料外壳重量轻、外形美观、透明、耐酸性好,已成为发展趋势。

外壳为整体式结构,壳内由间壁分成 3 个或 6 个互不相同的单格,底部有突起的肋条,肋条间的空隙,是用来积存脱落下来的活性物质,以防止极板间短路。每个单格的盖子中间有加液孔,用来检查液面高度和测量电解液比重。加液孔平时用螺塞拧紧,螺塞中心孔的通气孔应保持畅通,使蓄电池化学反应放出的气体能随时逸出。在极板组上部常装有耐酸塑料护板,以防止测量电解液相对密度、液面高度或加液时,损坏极板上部。盖子与外壳之间的缝隙用封口胶密封,封口胶要保证: $+35^\circ\text{C}$ 不溢流, -30°C 不产生裂纹。自制的封口胶配方用料为沥青、润滑油和石棉粉。

5. 联条

每个铅蓄电池总成都是由 3 个或 6 个单格组成的。每单格电池之间靠铅制联条连接起来。联条装在盖子上面,是一种传统的连接方式,缺点是不仅浪费材料,而且使电池的内阻增大,所以此种连接方式逐渐被尺寸更小的穿壁式所代替。

6. 加液孔盖

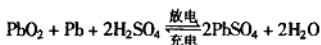
旋下加液孔盖,可以加注电解液,旋入加液孔盖可以防止电解液溅出。加液孔盖上有通气孔,随时排除电池内的氢气(H_2)和氧气(O_2),以免发生事故。如果在加液孔盖上安装一个氧化铝过滤器,还可以避免水蒸气逸出,减少水的消耗。

三、蓄电池的电化学反应

铅蓄电池主要是由浸渍在电解液中的正极板(PbO_2)、负极板(海绵状的纯铅 Pb)和电解液等组成的,电解液是硫酸(H_2SO_4)的水溶液,蓄电池中发生的化学反应是可逆的。

根据双硫化理论(双极硫酸盐化理论),铅蓄电池中参与电化学反应的物质是正极板的活性物质二氧化铅、负极板上海绵状的铅、电解液中的硫酸和水,当蓄电

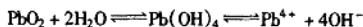
池外载荷接通放电时,正极板的 PbO_2 和负极板上的 Pb 转变为 PbSO_4 , 电解液的 H_2SO_4 减少, 密度下降。充电时, 按相反的方向进行, 正极板、负极板的 PbSO_4 分别恢复成 PbO_2 和 Pb , 电解液中的硫酸增加, 相对密度变大, 如略去中间的化学反应过程, 可用下式表示:



1. 电动势的建立

当极板浸入电解液时, 在负极板处, 金属铅受到两个方面的作用, 一方面, 它有溶解于电解液的倾向, 因而有少量的铅进入溶液, 生成 Pb^{2+} 在极板上留下两个电子 $2e$, 使极板带负电。另一方面, 由于正负电荷的吸引, Pb^{2+} 有沉浮于极板表面的倾向, 当两者达到平衡时, 负极板具有负电位约 0.1V 。

正极板处少量 PbO_2 溶入电解液, 与水生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$, 再分离成四价铅离子和氢氧根离子。即



Pb^{4+} 沉附于极板的倾向, 大于溶解的倾向, 使极板呈正电位, 当达到平衡时, 正极板的电位约为 $+2.0\text{V}$ 。

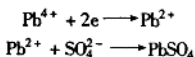
因此, 当外电路未接通, 反应达到相对平衡状态时, 正负极板之间电动势 E_0 约为

$$E_0 = 2.0 - (-0.1) = 2.1\text{V}$$

2. 放电时的电化学反应

蓄电池接上负载, 在电动势作用下, 电流 I_t 从正极经过负载流往负极(即电子从负极到正极), 使正极电位降低、负极电位升高, 破坏了原来的平衡, 放电时的化学反应如图 1-4 所示。

在正极板处 Pb^{4+} 和电子结合变成 Pb^{2+} , 再与电解液中的 SO_4^{2-} 结合生成 PbSO_4 , 沉附于极板上。即



在负极板处, Pb^{2+} 与电解液中的 SO_4^{2-} 结合生成 PbSO_4 沉积在负极板上, 而极板上的金属铅继续溶解生成 Pb^{2+} 和电子, 如果电路不中断, 上述化学反应继续进行, 使正极板的 PbO_2 和负极板上的 Pb 都逐渐转变为 PbSO_4 , 电解液中的 H_2SO_4 逐渐减少而水增多, 电解液密度下降。

理论上, 放电过程进行到极板上的活性物质全部变为硫酸铅为止, 而实际上是不可能的, 因为电解液不能渗透到活性物质的最内层, 使用中, 所谓放完电的蓄电池, 实际上只有 $20\% \sim 30\%$ 的活性物质参加反应变成了硫酸铅, 因此采用薄型极板、增加多孔性, 可提高极板活性物质的利用率。

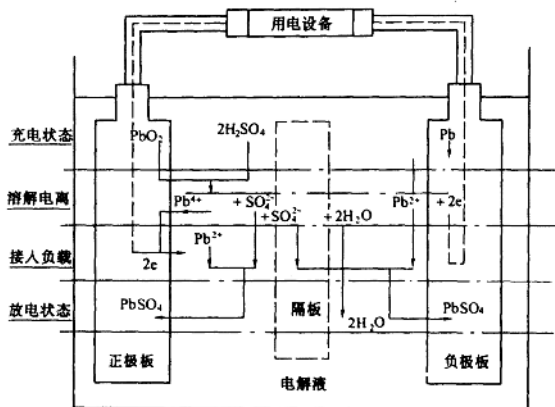
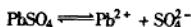


图 1-4 放电时的电化学反应

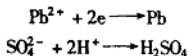
3. 充电时的电化学反应

充电时,应将蓄电池接直流电源,当电源电压高于蓄电池电动势时,在电源的作用下,电流从蓄电池正极流入负极流出(即驱使电子从负极经外电路流入正极),这时正负极板发生的反应正好与放电过程相反,其化学反应如图 1-5 所示。

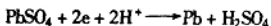
在负极板处有少量的 PbSO_4 进入电解液中,电离为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} ,即



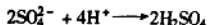
Pb^{2+} 在电源作用下获得两个电子变为金属 Pb ,沉附于极板上,而 SO_4^{2-} 和电解液中的 H^+ 结合生成硫酸,即



负极板上总反应为



正极板处也有少量 PbSO_4 进入电解液中,电离生成 Pb^{2+} 、 SO_4^{2-} , Pb^{2+} 在电源作用下失去两个电子变为 Pb^{4+} ,它又和电解液中的 OH^- 结合生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$, $\text{Pb}(\text{OH})_4$ 分解为 PbO_2 和 H_2O , PbO_2 沉附在正极板上,而 SO_4^{2-} 又与电解液中的 H^+ 结合生成硫酸,即



其反应式如下: