



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

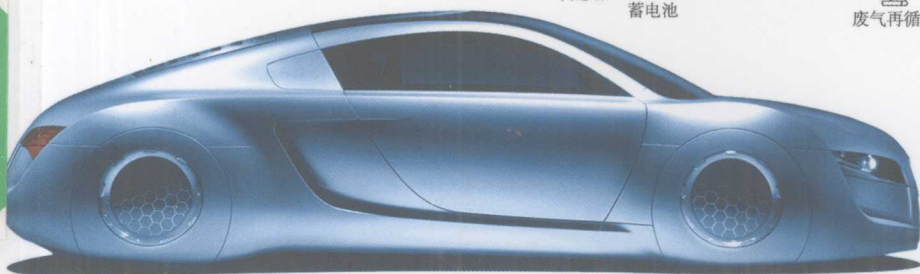
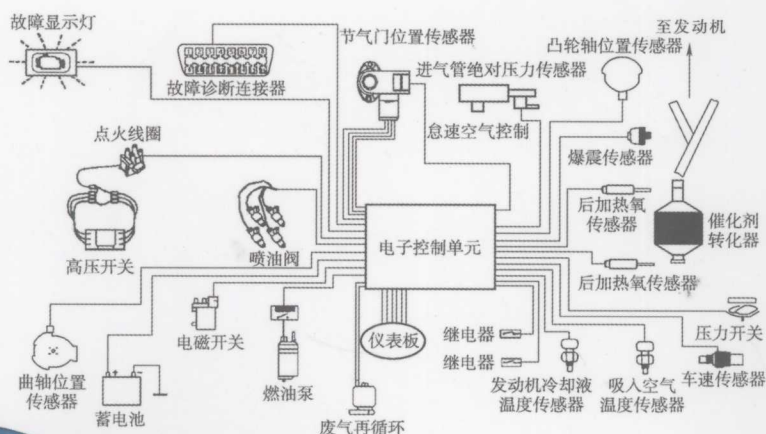
普通高等教育汽车服务工程专业规划教材

汽车电器与电子控制

QICHE DIANQI YU DIANZI KONGZHI

◎ 施树明 任 有 主 编

◎ 李 伟 主 审



QICHE FUWU GONGCHENG



人民交通出版社
China Communications Press



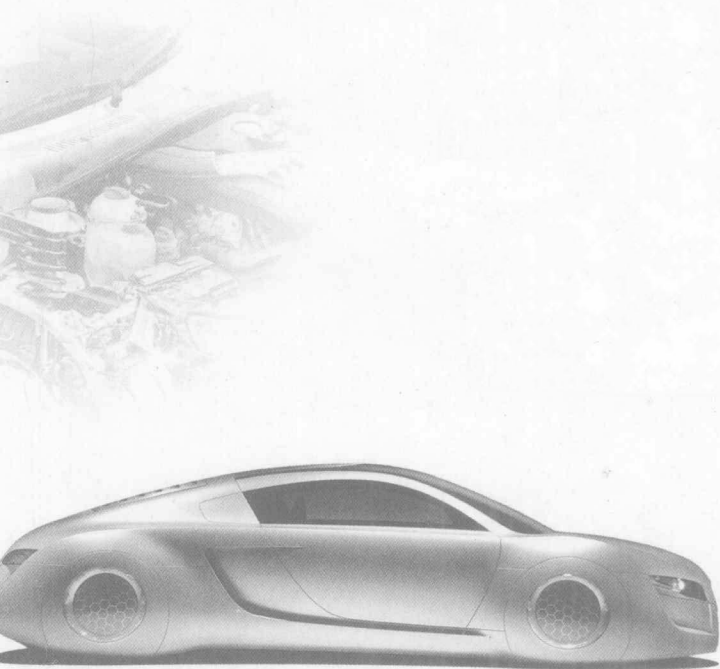
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等教育汽车服务工程专业规划教材

汽车电器与电子控制

◎ 施树明 任 有 主 编

◎ 李 伟 主 审



本书可作为高等院校汽车服务工程专业及相关专业的教材，也可供从事汽车维修工作的工程技术人员参考。
本书由施树明、任有主编，李伟主审。全书共分10章，主要内容包括：汽车电源系统、汽车点火系统、汽车照明系统、汽车信号系统、汽车仪表系统、汽车电子控制系统、汽车传感器、汽车执行器、汽车电子控制元件、汽车电子控制系统的检修。本书可作为高等院校汽车服务工程专业及相关专业的教材，也可供从事汽车维修工作的工程技术人员参考。
本书由施树明、任有主编，李伟主审。全书共分10章，主要内容包括：汽车电源系统、汽车点火系统、汽车照明系统、汽车信号系统、汽车仪表系统、汽车电子控制系统、汽车传感器、汽车执行器、汽车电子控制元件、汽车电子控制系统的检修。本书可作为高等院校汽车服务工程专业及相关专业的教材，也可供从事汽车维修工作的工程技术人员参考。



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本教材是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,由汽车服务工程专业教学指导委员会组织编写,主要介绍汽车电器与汽车电子控制的结构、原理和故障检测与诊断。

本教材分为五篇二十章。第一篇讲解汽车电器理论和案例;第二篇讲述汽车电子控制和自诊断的基本原理;第三篇介绍动力传动控制系统;第四篇介绍底盘控制系统;第五篇介绍车身附属装置控制系统。前两篇的内容为后续篇章学习的基础。第三篇、第四篇和第五篇作为第二篇的典型案例展开。

本教材供高等院校汽车服务工程专业和汽车运用工程专业本科生教学使用,也可供汽车维修、汽车运用等相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电器与电子控制 / 施树明, 任有主编. —北京: 人民交通出版社, 2009.1

ISBN 978-7-114-07522-3

I. 汽… II. ①施…②任… III. ①汽车—电子设备②汽车—电子系统: 控制系统 IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 205280 号

书 名: 汽车电器与电子控制

著 作 者: 施树明 任 有

策划编辑: 智景安

文字编辑: 富砚博

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 27

字 数: 675千

版 次: 2009年1月第1版

印 次: 2009年1月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07522-3

印 数: 0001~3000册

定 价: 55.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

Qianyan

进入 21 世纪以来,伴随国家汽车产业发展政策的调整,我国汽车产业进入健康、持续、快速发展的轨道。在汽车工业大发展的同时,汽车消费主体日益多元化,广大消费者对高质量汽车服务的渴求日益凸显,汽车厂商围绕提升服务质量的竞争业已展开,市场竞争从产品、广告层面提升到服务层面,这些发展和变化直接催生并推进了一个新兴产业——汽车服务业的发展与壮大。

当前,我国的汽车服务业正呈现出“发展快、空间大、变化深”的特点。“发展快”是与汽车工业本身的发展和社会汽车保有量的快速增长相伴而来的。“空间大”是因为我国的汽车普及率尚不够高,每千人拥有的汽车数量还不及世界平均水平的 1/3,汽车服务市场尚有很大的发展潜力,汽车服务业将是一个比汽车工业本身更庞大的产业。“变化深”一方面是因为汽车的后市场空前繁荣,蓬勃发展,大大拉长和拓宽了汽车产业链,汽车技术服务、金融服务、销售服务、物流服务、文化服务等新兴的业务领域和服务项目层出不穷;另一方面是因为汽车服务的新兴经营理念不断涌现,汽车服务的方式正在改变传统的业务分离、各自独立、效率低下的模式,向服务主体多元化、经营连锁化、运作规范化、业务集成化、品牌专业化、技术先进化、手段信息化、竞争国际化的方向发展。特别是我国加入 WTO 后,汽车产业相关的保护政策均已到期,汽车服务业实现全面开放,国际汽车服务商快速进入,以上变化必将进一步促进汽车服务业向纵深发展。

汽车工业和汽车服务业的发展,使得汽车厂商和服务商对高素质的汽车服务人才的需求比以往任何时候都更为迫切,汽车服务业将人才竞争视作企业竞争制胜的关键要素。在这种背景下,全国高校汽车服务工程专业教学指导委员会(筹)顺应时代的呼唤,组织全国高校汽车服务工程专业的知名教授,编写了汽车服务工程专业规划教材。

本套教材总结了全国高校汽车服务工程专业的教学经验,注重以本科学生就业为导向,以培养综合能力为本位。教材内容符合汽车服务工程专业教学改革精神,适应我国汽车服务行业对高素质综合人才的需求,并具有以下特点。

(1)本套教材根据全国高校汽车服务工程专业教学指导委员会审定的教材编写大纲编写,全面介绍了各门课程的相关理论、技术及管理知识,符合各门课程在教学计划中的地位和作用。教材取材合适,要求恰当,深度适宜,篇幅符合各类院

校的要求。

(2)教材内容,努力做到由浅入深,循序渐进,并处理好重点与一般的关系;符合认知规律,便于学习;条理清晰,文字规范,语言流畅,文图配合适当。

(3)教材努力贯彻理论联系实际的原则。教材在系统介绍汽车服务工程专业的科学理论与管理应用经验的同时,引用了大量国内外的最新科研成果和具有代表性的典型例证,分析了发展过程中存在的问题,教材内容具有与本学科发展相适应的科学水平。

(4)教材的知识体系完整,应用管理经验先进,逻辑推理严谨,完全可以满足汽车服务行业对综合性应用人才的培养要求。

《汽车电器与电子控制》是汽车服务工程专业规划教材之一。本教材力求反映汽车电器与汽车电子控制的理论和实践问题,尤其注重电子控制系统部分的理论系统性,便于学生深入理解电控系统的基本原理,进行汽车电器与电子控制系统的技术服务工作。本教材分为五篇二十章。第一篇讲述汽车电器理论和案例。第二篇讲述汽车电控和诊断的基本原理,与以往教材相比,该篇适当增加了深度和广度,为后续篇章的讲解和学习奠定基础。第三篇、第四篇和第五篇作为汽车电控基本原理的典型案例分析,便于教师根据教学课时的不同进行选材和教学内容选择。

本教材由吉林大学的施树明教授和任有副教授担任主编,重庆交通大学的李伟教授担任主审。具体的编写分工是:吉林大学的任有副教授编写第一章和第十二章的第一节~第八节、第十节;上海师范大学张玉萍副教授编写第二章、第五章~第八章;内蒙古工业大学的司景萍教授编写第三章和第四章;吉林大学的施树明教授编写第九章和第十七章;西华大学的唐岚教授编写第十章、第十五章和第二十章;吉林大学的储江伟教授编写第十一章;吉林大学的隗海林副教授编写第十二章第九节;黑龙江工程学院的李涵武副教授编写第十三章、第十四章和第十九章;重庆交通大学的陈作明高工编写第十六章;天津工程师范学院的关志伟副教授编写第十八章;施树明教授和任有副教授对全书进行了统稿。在教材编写过程中,吉林大学的许洪国教授、李世武教授和张立副教授提出了很多宝贵建议;并得到了研究生韦淑颖、郭延鹏、李克宁、刘丽和本科生赵文平、常开宇、刘英师、于婉莹等同学的大力帮助,谨在此向他们致以深切的谢意。

本书作为普通高等学校汽车服务工程专业的规划教材,将对汽车服务工程专业和相关专业(方向)的教学起到促进作用。此外,本书也可以作为国内汽车服务业就业群体学习提高和职工培训的教材或参考读物使用。

由于时间仓促,本套教材一定有许多不足之处,敬请广大读者和同仁使用后批评指正,以便教材再版时修正。

全国高校汽车服务工程专业教学指导委员会(筹)

2008年9月

目 录

Mulu

第一篇 汽车电器

第一章 蓄电池	1
第一节 蓄电池的构造、原理和特性	1
第二节 蓄电池的充电	6
第三节 蓄电池的常见故障及其使用维护	8
思考题	11
第二章 充电系统	12
第一节 交流发电机的构造、原理和特性	12
第二节 交流发电机的调节器	18
第三节 交流发电机充电系的过电压	23
第四节 交流发电机的检测与故障诊断	26
思考题	29
第三章 起动系统	30
第一节 起动机的结构及工作原理	30
第二节 起动机的试验与调整	43
第三节 起动系统常见故障及维修	44
思考题	46
第四章 点火系统	47
第一节 概述	47
第二节 传统点火系	50
第三节 普通电子点火系统	60
第四节 点火系统的使用与故障检查	68
思考题	72
第五章 照明及信号系统	73
第一节 照明系统	73
第二节 信号系统	77
思考题	82
第六章 仪表及指示系统	83
第一节 仪表系统	83

第二节 指示灯系统	89
思考题	92
第七章 辅助电器设备	93
第一节 电动刮水器、洗涤器及除霜设备	93
第二节 电动车窗、电动座椅及电动后视镜	99
思考题	104
第八章 全车电路	105
第一节 汽车线路与线束	105
第二节 汽车电路故障诊断	115
思考题	118

第二篇 汽车电子控制与自诊断系统原理

第九章 汽车电子控制原理	119
第一节 自动控制原理简介	119
第二节 汽车常用传感器	133
第三节 汽车电子控制单元的接口电路	156
第四节 汽车电子控制单元	161
第五节 汽车电控常用执行机构	169
思考题	176
第十章 车载总线技术	178
第一节 概述	178
第二节 CAN 总线工作原理	188
第三节 CAN 总线在汽车中应用实例	201
思考题	205
第十一章 汽车电控系统的故障诊断	206
第一节 故障诊断技术简介	206
第二节 车载诊断系统——OBD	212
第三节 车载诊断系统信息的应用	225
思考题	245

第三篇 动力传动控制系统

第十二章 发动机控制系统	246
第一节 汽油喷射式发动机控制系统概述	246
第二节 汽油发动机控制系统的组成	248
第三节 汽油电控喷射控制	260
第四节 点火控制	267
第五节 怠速控制	269
第六节 废气再循环控制	270

第七节	故障自诊断系统	272
第八节	汽油喷射式发动机控制系统的其他控制功能	273
第九节	柴油机电子控制系统	278
第十节	发动控制系统的故障诊断	290
思考题		291
第十三章	自动变速器控制系统	294
第一节	自动变速器控制系统的结构与原理	294
第二节	自动变速器的故障诊断	300
思考题		302
第十四章	汽车巡航控制	303
第一节	巡航控制系统的结构和工作原理	303
第二节	巡航控制系统的故障诊断	306
思考题		306

第四篇 底盘控制系统

第十五章	悬架控制系统	307
第一节	概述	307
第二节	悬架控制系统的分类与工作原理	308
第三节	悬架控制系统故障诊断	311
思考题		319
第十六章	电子控制转向系统	320
第一节	概述	320
第二节	液压式 EPS 动力转向系统	321
第三节	电动式 EPS 动力转向系统	328
第四节	电控四轮转向系统	332
第五节	转向控制系统的故障诊断	337
思考题		339
第十七章	汽车防滑控制	340
第一节	制动防抱死控制系统 (ABS)	340
第二节	驱动防滑控制系统 (ASR)	351
第三节	操纵稳定性控制系统 (ESP)	359
第四节	汽车防滑控制系统的故障检测与诊断	368
思考题		373

第五篇 车身附属装置控制系统

第十八章	汽车空调系统	374
第一节	汽车空调系统的基本结构及主要部件	374
第二节	汽车空调系统控制原理和方法	384

第三节	汽车空调系统的故障诊断·····	390
思考题	·····	398
第十九章	汽车安全气囊系统·····	399
第一节	汽车安全气囊系统的结构及工作原理·····	399
第二节	汽车安全气囊系统的故障诊断·····	402
思考题	·····	404
第二十章	汽车中央门锁及防盗系统·····	405
第一节	汽车中央门锁与防盗系统的分类·····	405
第二节	汽车中央门锁的工作原理与故障诊断·····	407
第三节	汽车防盗系统的工作原理与故障诊断·····	413
第四节	基于短信息的汽车防盗系统·····	418
思考题	·····	419
参考文献	·····	420

第一章 蓄 电 池

学习目标

1. 了解蓄电池的主要作用。
2. 掌握蓄电池的构造、工作原理和工作特性。
3. 掌握蓄电池的充电方法。
4. 了解蓄电池的典型故障现象和维修方法。

第一节 蓄电池的构造、原理和特性

汽车蓄电池是汽车起动时的能量来源,同时向点火系、各种仪表、附属电器设备提供电能,了解其构造、原理及其特性非常重要。本节主要讲解铅酸蓄电池的一般构造、原理和特性。

一、蓄电池的构造

车用铅酸蓄电池主要用于起动,也称起动蓄电池,简称蓄电池。它由3个或6个单格蓄电池串联组成。每个单格蓄电池的标称电压为2V,可以串联成6V或12V的蓄电池。

蓄电池的基本构造如图1-1所示。铅酸蓄电池的核心部分是极板和电解液,每个单格蓄电池都是由电解液、极板和隔板组成。

1. 电解液

电解液使极板上的活性物质发生溶解和电离,产生电化学反应。蓄电池的电解液是由纯净的硫酸与蒸馏水按一定的比例配制而成的硫酸水溶液。工业用硫酸和非蒸馏水中含有杂质,不允许用来配置电解液(杂质会引起蓄电池自放电故障,有可能损坏蓄电池)。

电解液密度对蓄电池的电容量和使用寿命影响非常大。电解液的密度较大些可以提高蓄电池的电容量,同时减少在寒冷地区的结冰危险。但电解液的密度过大时,其黏度增加,流动性下降,会导致蓄电池的电容量下降,同时电解液的腐蚀性作用增强也会降低极板和隔板的使用寿命。

电解液的密度范围一般为 $1.24 \sim 1.31\text{g/cm}^3$ 。实际应用中,电解液的密度应该依据气候条件、地区特点而定。在寒冷地区或冬季应该选用电解液密度较高的电解液。

2. 极板组

正极板上的 PbO_2 和负极板上 Pb 两种活性物质,是由铅膏(稀硫酸、铅粉、添加剂组成的混合物)填充在用铅锑合金铸成的栅架上,经化学工艺处理而成的。在充足电的状态下,正极板上的 PbO_2 呈深棕色,负极板上的 Pb 呈深灰色。

为了增大蓄电池的容量,将多片正极板和负极板各自用横板焊接并联起来,组成正极板组

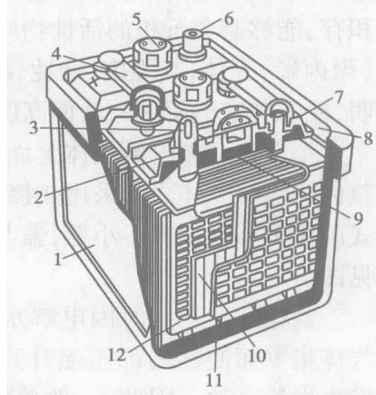


图 1-1 蓄电池的构造

- 1-壳体;2-密封环;3-正极桩;4-联条;
5-加液孔盖;6-负极桩;7-蓄电池盖
8-封料;9-护板;10-隔板;11-负极板;
12-正极板

和负极板组。在存有电解液的蓄电池单格容器中安装由正负极板相互嵌合(中间用隔板隔开)的极板组,就构成了单格电池。单格电池的标称电压为2V,因此用6个单格电池串联形成一个12V的蓄电池。

因为正极板上的活性物质比较疏松,单面放电容易发生极板拱曲而使活性物质脱落。因此每个单格电池的负极板要比正极板多一片,保证每片正极板都置于两片负极板之间,使正极板的两面放电均匀。

3. 隔板

为减小蓄电池的外形尺寸,制造安装时正负极板应尽量靠近。在正负极板间装有绝缘的隔板,能够避免正负极板接触而造成短路。

隔板材料应具有良好的耐酸性和抗氧化性,同时要具有多孔性以利于电解液渗透。常用的隔板材料有玻璃纤维、微孔橡胶、微孔塑料(聚氯乙烯、酚醛树脂)等,其中微孔塑料隔板使用普遍。新型的袋状微孔塑料隔板可以将正极板紧紧地套在里面,能够防止正极板活性物质的脱落。因为在充、放电时,正极板附近的电化学反应比负极板剧烈,所以,安装隔板时应将多孔性好或有槽的一侧对着正极板,且隔板上的槽应垂直于壳底部,使正极板上脱落的活性物质能顺利地落入壳体底部的凹槽里,能够防止极板短路,而且保证电解液上下流通,使反应后的电解液密度均匀。

4. 壳体

车用蓄电池的壳体采用整体式结构。壳体内分成3个或6个互不相通的单格,每个单格内装有极板组和电解液,组成一个单格蓄电池。12V蓄电池壳体内部分成6个互不相通的单格,用于盛放电解液,底部的凸棱用来搁置极板组,从极板上脱落的活性物质由凸棱间的凹槽积存,能够避免沉积的活性物质造成正负极板连接而短路。现在的蓄电池普遍采用工程塑料(聚丙烯)壳体,其强度、韧性、耐酸、耐热等方面的性能优于硬橡胶,并且质量轻、壳体壁薄透明,便于观察电解液的液面高度。

车用铅酸蓄电池壳体上面的盖有整体式、分体式两种形式。整体式盖与壳体之间采用热接或胶接工艺黏合,见图1-2。分体式的每个单格上有一小盖,盖与壳体间的缝隙用沥青材料密封,见图1-1。

蓄电池在充电时因电解水而产生的氧气和氢气,容易产生气体集聚而使其内部压强升高,从而造成涨破蓄电池壳体甚至发生爆炸事故。因此,一般单格电池的加液孔盖必须留有一个通气小孔,利于及时排出气体。

单格蓄电池中的极板组用铅制的联条串联起来。早期单格电池的联条置于蓄电池盖外表面(参见图1-1),这种连接方式耗材较多、联条较长,电阻较大。现在普遍采用穿壁式连接方式(参见图1-2)的联条。各单格电池串联后,两端单格的正负极桩分别穿出蓄电池盖,形成蓄电池电极桩。正极桩标“+”号,负极桩标“-”号。

5. 国产蓄电池的型号

根据《起动型铅酸蓄电池标准》(JB 2599—85)规定,国产蓄电池型号的含义如下:

串联单格电池数	—	蓄电池类型	—	蓄电池特征	—	蓄电池额定容量
---------	---	-------	---	-------	---	---------

(1) 串联的单格电池数:以阿拉伯数字表示。例如,3表示有3个单格,6V的蓄电池;6表示有6个单格,12V的蓄电池。

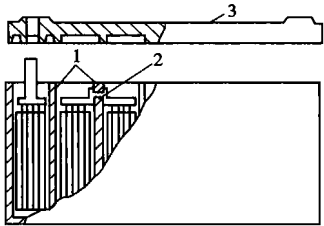


图 1-2 整体式蓄电池盖示意图
1-容器间壁;2-穿壁式联条;3-蓄电池盖

(2) 蓄电池类型:划分蓄电池的主要用途,用汉语拼音第一个字母表示,起动型蓄电池用 Q 表示。

(3) 蓄电池的特征:附加说明,以突出在同类用途的产品中具有某种特征,用汉语拼音第一个字母表示(表 1-1)。如果产品同时具有两种特征,按表 1-1 的顺序将两个代号并列标示。

(4) 额定容量:以阿拉伯数字表示,单位为 A·h(安培·小时),例如 60A·h。

铅酸蓄电池特征代号 表 1-1

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	密封式	Y	液密式
W	免维修	B	半密封式	Q	气密式
S	少维修	F	防酸式	I	激活式

6. 改进型铅酸蓄电池

普通型蓄电池需加注电解液并经初充电才可以使用。改进型铅酸蓄电池其结构、性能和维护技术等有了很大的提高,因此改进型铅酸蓄电池应用广泛。

改进型铅酸蓄电池主要包括干荷电蓄电池、湿荷电蓄电池、胶体蓄电池、免维护蓄电池等,其中免维护蓄电池应用越来越广泛。

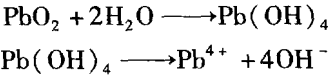
二、蓄电池的基本原理

蓄电池通过电解液与极板上的活性物质发生电化学反应可以建立电动势、充电和放电。

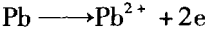
1. 建立蓄电池电动势

正负极板浸入电解液中,极板上少量的活性物质溶解电离。

正极板上的 PbO₂ 溶解、电离后产生的铅离子(Pb⁴⁺)沉附于正极板上,用方程式表示为:



负极板上的 Pb 溶解,电离后产生的电子 e 留在负极板,用方程式表示为:



蓄电池中上述电化学反应是可逆的,当溶解、电离与其逆过程达到动态平衡时,正极板上具有稳定数量的 +4 价铅离子 Pb⁴⁺。充足电的单格蓄电池的正极板相对于电解液有 +2.0V 的电位差,负极板上的电子 e 则使负极板相对于电解液有 -0.1V 电位差。所以,充足电的单格蓄电池在静止状态下的电动势 E₀ 约为 2.1V。

2. 蓄电池的放电过程

放电过程如图 1-3 所示。将用电设备接在蓄电池两极之间时,经由电路和负载,负极板上的电子(2e⁻)在电动势的作用下向正极板运动,形成从蓄电池正极流向负极的放电电流,蓄电池开始放电。在蓄电池内部,导致正极板上的 +4 价铅离子(Pb⁴⁺)变成溶于电解液中的二价铅离子(Pb²⁺),放电过程使得正极板上 +4 价铅离子(Pb⁴⁺)、负极板上的电子 e 的数量减少,促使正极板上的 PbO₂、负极板上的 Pb 继续溶解电离。同时,电解液中的 Pb²⁺ 浓度增加并与 SO₄²⁻ 生成硫酸铅(PbSO₄),分别沉附于正、负极板表面。

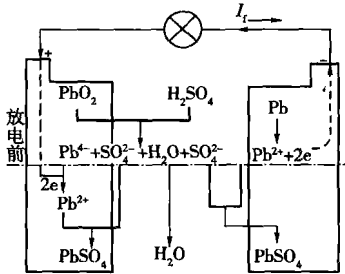


图 1-3 蓄电池放电过程示意图

蓄电池放电过程中,正极板、负极板上的活性物质 PbO_2 、 Pb 逐渐转变为 PbSO_4 ,因此电解液中的 H_2SO_4 减少, H_2O 增加,导致电解液密度下降。

理论上,放电过程可以进行到极板上的全部活性物质都转变为硫酸铅为止。实际上,由于放电过程中生成的硫酸铅的体积比原活性物质大,沉附于极板表面,先生成的硫酸铅逐渐堵塞了极板的孔隙,使电解液不能渗透到极板内层,在大部分活性物质没来得及参加化学反应时放电反应就停止了。

放完电的蓄电池,正负极板上活性物质转变为硫酸铅的部分,可以用充电的方法使它重新转变为充足电的状态。

3. 蓄电池的充电过程

充电过程如图 1-4 所示。放电状态下,正负极板上都有少量的 PbSO_4 溶于电解液中,并电离为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} 。将充电电源接在蓄电池正负极的两端,在电场力的作用下,发生如下变化过程:

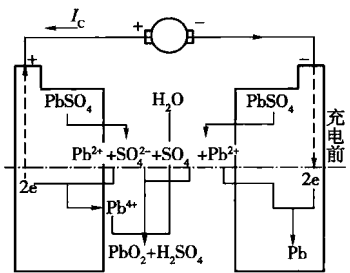


图 1-4 蓄电池充电过程示意图

正极板附近的 Pb^{2+} 变为 Pb^{4+} ,与电解液中水解出来的 OH^- 结合生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$, $\text{Pb}(\text{OH})_4$ 再分解为 H_2O 和 PbO_2 ,分解出来的 PbO_2 沉附于正极板上。

负极板附近的 Pb^{2+} 则得到 2 个电子变为 Pb ,沉附于负极板。

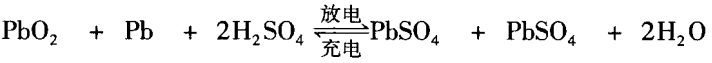
正、负极板附近的 SO_4^{2-} 与电解液中的 H^+ 生成 H_2SO_4 。

充电时电解液中的 SO_4^{2-} 和 Pb^{2+} 减少,促进了极板上的 PbSO_4 继续溶解电离以达到新的平衡。

蓄电池充电过程中,正极板上的 PbSO_4 逐渐转化为正极板的 PbO_2 ,负极板上的 PbSO_4 逐渐转化为负极板上的 Pb ,电解液中的 H_2O 减少,电解液密度增大。

所以,充电终了时的特征是,电解液密度和蓄电池端电压都上升到最大值,在 2~3h 内保持不变。同时水分解成 H_2 和 O_2 ,从电解液中逸出,电解液沸腾。

分析蓄电池的放电和充电过程可知,其放电和充电过程中的化学反应是可逆的,其充、放电时的总反应式如下:



正极板 负极板 电解液 正极板 负极板 电解液

三、蓄电池的容量与工作特性

1. 蓄电池的容量

蓄电池的容量表示其对外供电能力,具体指蓄电池在允许放电的范围内所能输出的电量。蓄电池的容量与极板结构和性能、放电电流大小、电解液温度与密度有关。

$$Q = I_t t$$

式中: Q ——蓄电池的容量, $\text{A} \cdot \text{h}$;

I_t ——放电电流, A ;

t ——放电时间, h 。

2. 蓄电池静止电动势

蓄电池静止电动势 E_j 指的是在静止状态下蓄电池正负极板之间的电位差。 E_j 的大小取决于正负极板上的活性物质溶解、电离达到动态平衡时,在极板单位面积上沉附的 Pb^{4+} 和 e

的数量,它受电解液的温度和密度的直接影响。一般情况下,在电解液密度为 $1.05 \sim 1.30\text{g/cm}^3$ 的范围内,静止电动势 E_j 的经验公式如下:

$$E_j = 0.84 + r_{15^\circ\text{C}}$$

$$r_{15^\circ\text{C}} = r_1 + \beta(T - 15)$$

式中: $r_{15^\circ\text{C}}$ —— 温度为 15°C 时的电解液密度, g/cm^3 ;

r_1 —— 实际测得的电解液密度, g/cm^3 ;

T —— 实际测得的电解液温度, $^\circ\text{C}$ 。

β —— 电解液密度的温度系数, 约为 0.00075 。

3. 蓄电池内阻

包括隔板电阻、极板电阻、电解液电阻和联条电阻等。

隔板的电阻主要取决于隔板的材料、厚度及多孔性。

在完全充电状态下,极板的电阻很小,但随着蓄电池放电程度的增加,覆盖在正负极板表面的 PbSO_4 的增多,导致极板电阻增大。

联条的电阻与长度有关,一般采用长度短、电阻较小的穿壁式联条。

电解液的电阻,与其密度和温度有关。当温度低、密度高时电解液的黏度增大,电解液的渗透能力降低,导致电解液的电阻增大。电解液密度过高或过低时, H_2SO_4 的离解度降低也会增大电阻。

4. 蓄电池的放电特性

蓄电池的放电特性是指以恒定的电流 I_f 放电时,蓄电池端电动势 E 、电压 U_f 和电解液密度 γ 随放电时间的变化规律。

图 1-5 是以 20h 放电率 ($I_f = 0.05C_{20}$, C_{20} 指蓄电池额定容量) 恒流放电的特性曲线。

放电时蓄电池端电压 U_f 低于其电动势 E (由于蓄电池内阻 R_o 造成电压降)。即:

$$U_f = E - I_f R_o$$

由于蓄电池放电时的电化学反应是在极板的孔隙内进行的,而极板孔隙内电解液的密度比其他区域中电解液密度低,因此会产生一个 ΔE 。即:

$$E = E_j - \Delta E$$

从图 1-5 放电特性曲线可以看出,在中间较长的一段时间内 U_f 下降则比较慢,而在刚开始放电和放电接近终了时 U_f 迅速下降。单格蓄电池标准 20h 放电率的终止电压是 1.75V ,若继续放电,过度放电会使端电压急剧下降。过度放电将导致极板上形成粗晶体硫酸铅,在再次充电时不易还原成活性物质,从而导致蓄电池容量下降。

在蓄电池恒电流放电时,单位时间内 H_2SO_4 转变为 H_2O 的数量是一定的,因此,电解液的密度 γ 呈直线状态下降。

从放电特性曲线上分析,蓄电池放电终了具备以下两个特征:

- (1) 单格蓄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。

从表 1-2 可知。终止电压与放电电流的大小有关,放电电流越大,放电的时间就越短,允许放电的终止电压也越低。

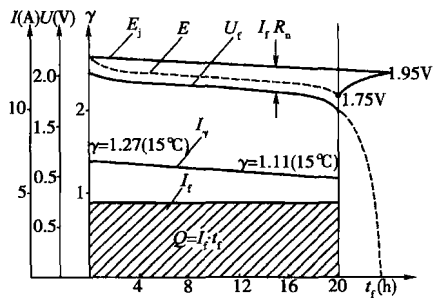


图 1-5 蓄电池恒流放电特性曲线

放电电流与终止电压的关系

表 1-2

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

5. 蓄电池的充电特性

蓄电池的充电特性,指的是以恒定的电流 I_c 充电时,蓄电池电动势 E 、充电电压 U_c 及电解液密度 γ 等随充电时间的变化规律。

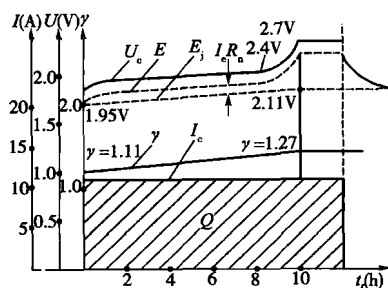


图 1-6 蓄电池恒流充电特性曲线

图 1-6 是以 20h 充电率 ($I_c = 0.05C_{20}$) 恒电流充电时的特性曲线,蓄电池电解液的密度 γ 呈直线上升。

由于充电电源要克服蓄电池内阻引起的电压降,充电电压 U_c 要高于蓄电池的电动势 E 。

$$U_c = E + I_c R_0$$

由于充电终了时,负极板附近集聚的 H^+ 引起的附加电位差,以及充电时极板孔隙内电解液的密度比其他部位电解液的密度高,会产生 ΔE 。即:

$$E = E_j + \Delta E$$

蓄电池充电开始时,充电电压 U_c 迅速升高,直到 U_c 上升至 2.3V 左右时,极板上的 $PbSO_4$ 基本上已被还原成活性物质,此时充电电流开始了电解水的过程,电解液开始有气泡冒出,若继续充电气泡逐渐增多,最后使电解液沸腾。

理论上单格蓄电池 U_c 达到 2.7V 时应终止充电,否则将造成过充电。在实际使用中,一般在达到最高电压后又继续充电 2~3h,从而保证蓄电池能够完全充足。

蓄电池充足电的特征是:

- (1) 蓄电池的端电压上升至最大值,2~3h 内不再变化;
- (2) 电解液的密度上升至最大,2~3h 内基本不变;
- (3) 电解液“沸腾”。

第二节 蓄电池的充电

充电是蓄电池使用中需要经常进行的一项工作,选择适当的充电方法,对于保障蓄电池的容量,延长蓄电池的使用寿命是非常重要的。

一、蓄电池充电的方法

车用蓄电池的充电包括:定压充电、定流充电和脉冲快速充电 3 种不同的充电方法。

1. 定压充电

定压充电,充电过程中保持充电电压不变、充电电流随着蓄电池电动势的升高而逐渐减小的充电方法。定压充电电路及其充电特性如图 1-7 所示。

合理的充电电压,应在蓄电池即将充足时其充电电流趋于 0。一般以每单格电池 2.5V 确定充电电压。

充电电流的大小用下式计算:

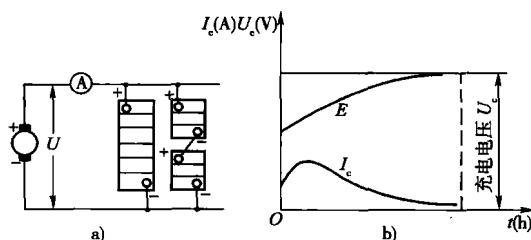


图 1-7 定压充电电路及其充电特性

a) 充电电路; b) 充电特性

$$I_c = \frac{U - E}{R_n}$$

式中: E ——蓄电池的电动势, V;

U ——电源电压, V;

R_n ——蓄电池的内阻, Ω 。

充电电压过低会使蓄电池充电不足,而充电电压过高会造成充电初期充电电流过大和过充电。定压充电时,充电初期最大充电电流应小于 $0.3C_{20}$ 。

定压充电过程中无需调节电压,充电时间短,适合于补充充电。但初期的大电流充电对极板影响不利,缺点是不容易将蓄电池完全充足。

2. 定流充电

定流充电是指充电过程中使充电电流保持不变的充电方法。当电解液开始有气泡冒出、

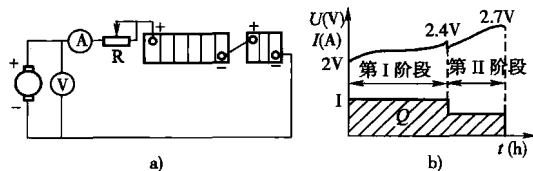


图 1-8 定流充电电路及其充电特性

a) 充电电路; b) 充电特性

单格蓄电池电压上升至 2.4V 时将充电电流减半,直到蓄电池完全充足电为止。定流充电电路及其充电特性如图 1-8 所示。

采用定流充电时,串联充电的蓄电池容量最好相同(无论 6V 或是 12V 的蓄电池都可以串联在一起充电)。或者,以容量最小的蓄电池选择充电电流 ($1/15C_{20} \sim 1/10C_{20}$),在小容

量的蓄电池充足电并从电路中摘除之后,再继续对其余未充足电的蓄电池充电。

定流充电过程中,充电电流的大小用下式计算:

$$I_c = \frac{U - E}{R + R_n}$$

式中: E ——蓄电池的电动势, V;

U ——电源电压, V;

R ——充电电路调节电阻, Ω ;

R_n ——蓄电池的内阻, Ω 。

定流充电的优点是,适应性好,容易把蓄电池完全充足,有利于延长蓄电池的使用寿命。缺点是,充电时间较长,为保持充电电流恒定,需要在充电过程中随着蓄电池电动势逐渐升高经常调节充电电压。

3. 脉冲快速充电

一般的定压充电和定流充电相对都要较长的时间。快速充电要求,不仅要有较高的充电效率以缩短充电时间,而且要避免充电过程中电解液大量分解析出气体和温度过高。快速脉冲充电,完成一次初充电只需要 5h 左右,一次补充充电只需要 1h 左右。

快速充电要研究和解决的关键问题是充电极化问题和蓄电池充电可接受电流问题。

在蓄电池充电过程中,单格蓄电池正负极板间电位差会高于其静止电动势(2.1V)的现象称之为充电极化。充电极化包括浓差极化、欧姆极化和电化学反应极化等。充电极化现象在充电初期并不严重,它随充电时间的延长而加剧。通过消除充电过程的极化现象,可以缩短蓄电池的充电时间、提高充电效率。

因此,脉冲快速充电,即利用蓄电池充电初期能够接受大电流的特点,初期采用 $0.8 \sim 1$ 倍蓄电池容量的大电流对蓄电池进行定流充电,蓄电池在短时间内达到容量的 60% 左右;在

电解液开始冒气泡、单格电池电压达 2.4V 时,通过脉冲充电方法消除极化。

脉冲快速充电的电流波形如图 1-9 所示。

脉冲充电时间比较短、省电。但脉冲充电的缺点是不能将蓄电池完全充满,并且影响蓄电池的使用寿命。

二、蓄电池充电的种类

新蓄电池、在用蓄电池以及有故障的蓄电池的技术状况不同,应按不同的充电规范进行充电。

1. 初充电

初充电是指对新蓄电池或修复时更换了极板的蓄电池的首次充电。初充电对提高蓄电池容量和延长蓄电池的使用寿命是十分重要的。

初充电一般采用定流充电。在充电过程中应随时检测电解液的温度,如果温度上升至 40℃,应降低充电电流。如温度仍不降低,则停止充电,等电解液温度降至 35℃ 以下时再继续充电。

2. 补充充电

蓄电池在使用过程中,经常处于充电不足的状态。

补充充电是对使用中的蓄电池进行充电以恢复蓄电池全充电状态。补充充电可采用定压充电,也可用定流充电,目的是保持蓄电池处于充足电状态,可以防止极板硫化。一般可以定期进行补充充电。

3. 去硫化充电

蓄电池发生硫化时,在极板表面上会逐渐产生一层白色的、不容易溶解的粗晶粒 PbSO_4 ,影响蓄电池使用性能。对极板硫化严重的蓄电池进行充电,可以消除极板的硫化。

首先必须倒出蓄电池中的旧电解液,用蒸馏水冲洗两次后加注足量的蒸馏水。在之后的去硫化充电过程中,必须按照技术规范规定的电流进行充电,当电解液密度上升至 1.15g/cm^3 时,倒出电解液,加注蒸馏水,再进行充电。循环过程直至密度不再增加为止。

然后以 10h 放电率进行放电至单格蓄电池电压下降到 1.7V 时,停止放电。再以初充电电流进行充电,持续进行再放电、再充电,直到容量达到蓄电池额定容量的 80% 为止。

最后将电解液密度调整至规定的值。

4. 锻炼循环充电

由于汽车发电机经常对蓄电池进行充电,导致蓄电池总是处于部分放电状态,仅有一部分活性物质参加电化学反应。为了激活那些未参加反应的活性物质,一般应该在 3 个月左右对蓄电池进行一次锻炼循环充电。

充电方法是,按正常的充电工艺将蓄电池充足,然后以 20h 放电率放电,再把蓄电池充足。

5. 均衡充电与预防硫化

均衡充电主要是为了消除或减少蓄电池单格电池之间容量的差异;预防硫化充电主要是为了防止极板的硫化。均衡充电与预防硫化的充电方法,都是在蓄电池充足电后仍以适当的小电流继续“过充电”。

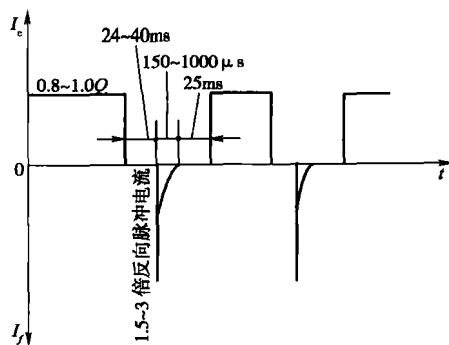


图 1-9 脉冲快速充电电流波形

第三节 蓄电池的常见故障及其使用维护

在蓄电池的使用中,会遇见各种故障,如自放电、极板硫化、极板活性物质脱落以及极板短