

# 汽车电器与 电子控制系统

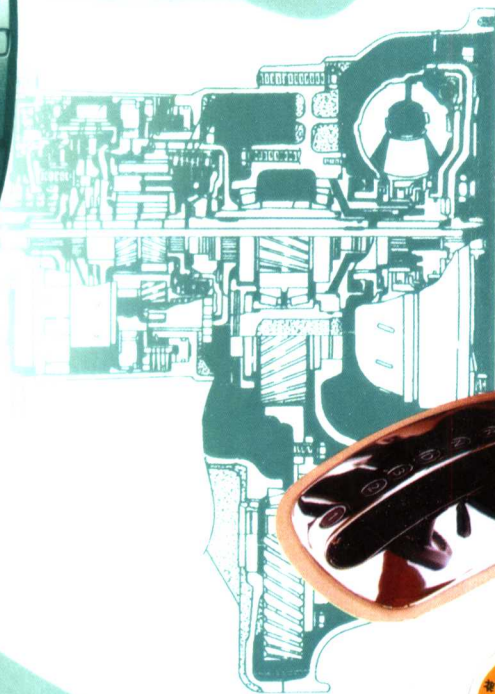
普通高等教育交通类推荐教材



武汉科技大学

麻友良  
丁卫东

主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育交通类推荐教材

# 汽车电器与电子控制系统

主编 麻友良 丁卫东

主审 明平顺



机械工业出版社

本书为交通运输(载运工具运用工程)专业“汽车电器与电子控制技术”课程教材。全书系统介绍了现代汽车上所使用的电器与电子控制技术。全书分为“汽车电器”和“汽车电子控制系统”两篇。

第一篇“汽车电器”部分主要介绍汽车上传统的电器与电子设备,主要内容有:汽车电源、起动机、点火系统、照明与信号系统、仪表与指示灯系统、汽车其他电气装置及汽车电气设备线路。第二篇“汽车电子控制系统”部分主要介绍现代汽车电子控制技术,主要内容有:汽车电子控制技术基础、燃油喷射控制系统、电子点火控制系统、发动机怠速控制系统、发动机排放控制系统、发动机集中电子控制系统、电子控制自动变速器系统、电子控制制动防抱死系统、防滑转电子控制系统、电子控制悬架系统、电子控制动力转向系统、汽车巡航控制系统、汽车空调控制系统、安全气囊、电子仪表与防盗系统。

本书介绍了主要的汽车电器和电子控制系统的检测与故障诊断,配套的 CD-ROM 使汽车电器与电子控制系统的结构、原理更为直观、生动、形象,增强了实用性,因此本书也适用于汽车使用与维修工人和技术人员自学之用。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车电器与电子控制系统/麻友良,丁卫东主编.  
—北京:机械工业出版社,2002.8  
ISBN 7-111-10038-7

I. 汽… II. ①麻…②丁… III. ①汽车-电气设备②汽车-电子系统:控制系统 N. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 053656 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:杨民强 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英  
刘 熿

封面设计:姚毅 责任印制:闫焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·15.625 印张·608 千字

0 001—4 000 册

定价:52.00 元(含 1CD)

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  
封面无防伪标均为盗版

# 前 言

《汽车电器与电子控制系统》教材是根据全国高等学校汽车运用工程专业教学指导委员会第二届六次会议通过的交通运输专业“十五”教材编写规划编写的，以适应交通运输（载运工具运用工程）专业“汽车电器与电子控制技术”课程教学内容不断更新的需要。

汽车电器是现代汽车的重要组成部分，它经历了从无到有、从简到繁、从辅助到主要的发展过程。始于上世纪50年代的传统电器的电子化，使得汽车电器性能提高，同时，在汽车的节能和排污方面也有贡献。电子控制装置在汽车上的应用，满足了人们对汽车安全性、舒适性、排放控制、能耗等各项指标更高的要求。现代汽车的突出特点是机电一体化，并且向着智能化、信息化的方向发展。根据现代汽车电器与电子控制技术的使用情况，在编写本教材过程中，我们对传统汽车电器的内容作了适当的删减，对目前汽车上已普遍使用或已有大量的使用的电子控制系统则作了较为详尽的介绍。

全书分“汽车电器”和“汽车电子控制系统”两篇共二十二章，参加编写的有：武汉科技大学的麻友良、丁卫东、刘明，湖北汽车学院的肖生发、余建强，其中麻友良编写了第一～四章和第八～十六章，丁卫东编写了第六、七章和第十八、十九、二十一、二十二章，刘明编写了第二十章，余建强编写了第五章，肖生发编写了第十七章。全书由麻友良、丁卫东主编，武汉理工大学明平顺教授主审。

本书配套CD-ROM向读者展示了教材之中讲述的汽车电器与电子控制系统的彩图和部分动画，同时配有图注及文字说明，可比较生动、形象地展现汽车电器与电子控制系统及部件的结构、原理，为读者提供了更为方便的学习工具。

本书参阅了大量的书籍资料，从中获益不少，在此向原图书的作者表示感谢。由于水平所限，书中会有不少的不足和错误之处，恳请读者予以指正。

编者

# 目 录

## 前言

## 第一篇 汽车电器

<b>第一章 车载电源</b> .....	1
<b>第一节 概述</b> .....	1
一、汽车电源的组成与要求 .....	1
二、汽车电源的现状与发展 .....	2
<b>第二节 蓄电池</b> .....	3
一、蓄电池的基本原理 .....	3
二、蓄电池的构造 .....	5
三、蓄电池的工作特性 .....	7
四、蓄电池的容量及影响因素 .....	11
五、蓄电池常见故障及其排除 .....	13
六、蓄电池的使用与维护 .....	15
七、蓄电池的充电 .....	17
八、改进型铅酸蓄电池 .....	21
<b>第三节 交流发电机及调节器</b> .....	23
一、交流发电机的原理 .....	23
二、交流发电机的结构 .....	25
三、交流发电机的工作特性 .....	30
四、交流发电机调节器的作用与原理 .....	32
五、触点式调节器 .....	33
六、电子调节器 .....	38
七、发电机充电指示灯控制电路 .....	44
八、交流发电机及调节器的检修 .....	47
九、其他类型的发电机 .....	52
<b>第四节 电源系统的使用</b> .....	56
一、电源系统使用与维护操作注意事项 .....	56
二、充电系统常见故障及故障诊断 .....	57
<b>第二章 起动系统</b> .....	61
<b>第一节 概述</b> .....	61
一、起动系统的基本组成 .....	61

二、起动机种类 .....	62
第二节 起动机构造、工作原理及特性 .....	63
一、直流电动机 .....	63
二、传动机构 .....	67
三、电磁开关 .....	70
四、起动机的工作特性 .....	71
五、起动机驱动保护电路 .....	74
六、其他类型的起动机 .....	77
第三节 起动机使用与故障诊断 .....	83
一、起动机部件的检修 .....	83
二、起动机试验 .....	85
三、起动系统常见故障及诊断 .....	86
<b>第三章 点火系统</b> .....	<b>90</b>
第一节 概述 .....	90
一、对点火系统的要求 .....	90
二、点火系统的发展概况 .....	91
三、点火系统分类 .....	92
第二节 传统触点式点火系统 .....	94
一、传统触点式点火系统的工作原理 .....	94
二、传统触点式点火系统的工作特性 .....	96
三、传统触点式点火系统的结构 .....	98
第三节 电子点火系统 .....	108
一、电子点火系统的组成与基本原理 .....	108
二、电子点火系统部件的结构与原理 .....	109
三、电容储能式电子点火系统简介 .....	118
第四节 点火系统的使用与故障诊断 .....	120
一、点火正时 .....	120
二、点火系统主要部件的检修方法 .....	121
三、点火系统的故障诊断 .....	130
<b>第四章 照明与信号系统</b> .....	<b>133</b>
第一节 概述 .....	133
一、汽车照明系统的基本组成及要求 .....	133
二、汽车信号系统的基本组成及要求 .....	134
第二节 前照灯 .....	134
一、前照灯的结构 .....	135
二、前照灯的防眩目 .....	136
三、前照灯的控制电路 .....	138
第三节 照明系统电路与故障检修 .....	141

一、照明系统电路 .....	141
二、前照灯的检测与调整 .....	142
三、照明系统的故障诊断 .....	142
第四节 电喇叭 .....	144
一、电喇叭的结构与原理 .....	144
二、电喇叭的调整 .....	147
三、电喇叭的故障诊断 .....	147
第五节 转向信号装置 .....	148
一、电容式闪光器 .....	148
二、翼片式闪光器 .....	149
三、电子闪光器 .....	151
四、转向信号装置的故障诊断 .....	153
第六节 其他信号装置 .....	155
一、危险警告信号装置 .....	155
二、制动信号装置 .....	155
三、倒车灯与倒车蜂鸣器 .....	156
四、示廓灯 .....	157
<b>第五章 仪表及指示灯系统 .....</b>	<b>158</b>
第一节 概述 .....	158
一、仪表系统的组成及要求 .....	158
二、指示灯系统的组成及要求 .....	158
第二节 仪表系统 .....	159
一、电流表 .....	159
二、机油压力表 .....	159
三、发动机冷却液温度表 .....	161
四、燃油表 .....	163
五、车速里程表 .....	165
六、发动机转速表 .....	165
第三节 指示灯系统 .....	166
一、机油压力过低指示灯 .....	166
二、气压过低报警灯 .....	167
三、制动液液面报警灯 .....	167
四、燃油箱液面报警灯 .....	168
五、手制动器未松警告灯 .....	168
六、制动蹄片磨损警告灯 .....	169
七、空气滤清器报警灯 .....	169
<b>第六章 汽车其他电气装置 .....</b>	<b>171</b>
第一节 电动刮水器与车窗玻璃洗涤器、除霜装置 .....	171

一、电动刮水器 .....	171
二、风窗玻璃洗涤器 .....	175
三、风窗玻璃除霜装置 .....	175
第二节 电动车窗和电动门锁 .....	176
一、电动车窗 .....	176
二、电动门锁 .....	176
第三节 汽车低温起动加热装置 .....	179
一、柴油机的低温起动加热装置 .....	179
二、汽油机的低温起动加热装置 .....	181
第四节 汽车电器设备的电磁干扰与抑制 .....	183
一、电磁干扰的形成与危害 .....	183
二、防止电磁波干扰的措施 .....	183
<b>第七章 汽车电气设备线路</b> .....	187
第一节 概述 .....	187
一、汽车电系特点 .....	187
二、现代汽车电系发展方向 .....	187
第二节 汽车电路控制与保护 .....	188
一、汽车电路控制 .....	188
二、汽车电路保护 .....	189
三、继电器 .....	192
第三节 汽车线路与线束 .....	193
一、线路 .....	193
二、线束 .....	196

## 第二篇 汽车电子控制系统

<b>第八章 汽车电子控制技术基础</b> .....	199
第一节 概述 .....	199
一、汽车电子控制技术发展概况 .....	199
二、汽车电子控制系统的基本组成 .....	200
第二节 传感器 .....	200
一、发动机转速与曲轴位置传感器 .....	200
二、空气流量传感器 .....	206
三、进气管压力传感器 .....	212
四、温度传感器 .....	214
五、节气门位置传感器 .....	216
六、氧传感器 .....	218
七、爆燃传感器 .....	221
八、车速/车轮转速传感器 .....	223



九、车身位移传感器 .....	224
十、转向盘转角传感器 .....	225
第三节 电子控制器 .....	227
一、输入电路 .....	227
二、微机 .....	229
三、输出电路 .....	231
第四节 执行器 .....	231
一、电动机类执行器 .....	231
二、电磁阀类执行器 .....	233
<b>第九章 燃油喷射控制系统</b> .....	237
第一节 概述 .....	237
一、燃油喷射技术发展概况与特点 .....	237
二、燃油喷射系统分类 .....	238
第二节 燃油喷射控制系统结构与原理 .....	240
一、燃油喷射电子控制系统的控制原理 .....	240
二、电子控制燃油喷射系统的结构 .....	246
<b>第十章 电子点火控制系统</b> .....	258
第一节 概述 .....	258
一、电子点火控制技术发展概况与特点 .....	258
二、电子点火控制系统分类 .....	260
第二节 电子点火控制系统的结构与原理 .....	261
一、电子点火控制原理 .....	261
二、电子点火控制系统的结构 .....	274
<b>第十一章 发动机怠速控制系统</b> .....	281
第一节 概述 .....	281
一、怠速控制系统的作用 .....	281
二、怠速控制系统的分类 .....	282
第二节 发动机怠速控制系统的结构与原理 .....	283
一、怠速控制系统原理 .....	283
二、怠速控制系统部件的结构 .....	285
<b>第十二章 汽车排放控制系统</b> .....	290
第一节 概述 .....	290
一、汽车排放的形成和危害 .....	290
二、汽车排放控制的作用与分类 .....	290
第二节 汽车排放电子控制系统的结构与原理 .....	291
一、废气再循环控制系统 .....	291
二、燃油蒸发排放控制系统 .....	295
<b>第十三章 发动机集中电子控制系统</b> .....	299

第一节 概述 .....	299
一、发动机集中电子控制系统概况 .....	299
二、发动机集中电子控制系统实例 .....	299
三、发动机集中电子控制系统的功能扩展 .....	307
第二节 故障自诊断系统 .....	309
一、故障自诊断系统的基本原理 .....	309
二、故障自诊断的操作 .....	311
第三节 发动机电子控制系统部件的检修 .....	315
一、传感器常见故障与检修 .....	315
二、执行器常见故障与检修 .....	321
三、电子控制器常见故障与检修 .....	324
第四节 电控发动机常见故障诊断 .....	325
一、电控发动机故障诊断一般原则 .....	325
二、电控发动机常见故障分析 .....	326
<b>第十四章 电子控制自动变速器</b> .....	<b>334</b>
第一节 概述 .....	334
一、自动变速器的发展概况 .....	334
二、自动变速器的分类 .....	334
三、电子控制自动变速器的基本组成及特点 .....	336
第二节 电子控制自动变速器的结构与原理 .....	338
一、电子控制自动变速器的控制原理 .....	338
二、电子控制自动变速器主要部件的结构与原理 .....	344
第三节 电子控制自动变速器故障检修 .....	354
一、电子控制自动变速器的检查与试验 .....	354
二、电子控制自动变速器常见故障分析 .....	356
三、自动变速器电子控制系统的故障诊断与检修 .....	360
<b>第十五章 电子控制防抱死制动系统 (ABS)</b> .....	<b>363</b>
第一节 概述 .....	363
一、防抱死制动系统的作用及发展概况 .....	363
二、防抱死制动系统的基本组成与控制方式 .....	364
三、防抱死制动系统的分类 .....	365
第二节 防抱死制动系统 (ABS) 的结构与原理 .....	368
一、防抱死制动系统的控制原理 .....	368
二、防抱死制动系统电子控制系统部件的结构与原理 .....	371
第三节 防抱死制动系统 (ABS) 的使用与检修 .....	385
一、防抱死制动系统使用与检修注意事项 .....	385
二、防抱死制动系统故障自诊断 .....	386
三、防抱死制动系统主要部件的故障检修 .....	387

<b>第十六章 电子控制防滑转 (ASR) 系统</b> .....	390
<b>第一节 概述</b> .....	390
一、汽车防滑转系统的作用 .....	390
二、防车轮滑转的控制方式 .....	391
三、防滑转系统的基本组成与特点 .....	392
<b>第二节 电子控制防滑转系统 (ASR) 的结构与原理</b> .....	392
一、电子防滑转控制原理 .....	392
二、防滑转系统部件的结构原理 .....	394
<b>第十七章 电子控制动力转向系统</b> .....	402
<b>第一节 概述</b> .....	402
一、电子控制动力转向系统的作用 .....	402
二、电子控制动力转向系统的组成与分类 .....	402
<b>第二节 电子控制动力转向系统的结构与原理</b> .....	403
一、液压式电子控制动力转向系统的原理 .....	403
二、电动式电子控制动力转向系统的原理 .....	406
三、电子控制动力转向系统部件结构 .....	407
四、电动式电子控制动力转向系统实例 .....	410
<b>第三节 电子控制动力转向系统的检测与故障诊断</b> .....	412
一、电子控制动力转向系统部件的检测 .....	412
二、电子控制动力转向系统故障诊断 .....	413
<b>第十八章 电子控制悬架系统</b> .....	416
<b>第一节 概述</b> .....	416
一、传统汽车悬架系统的不足 .....	416
二、电子控制悬架的作用与类型 .....	416
<b>第二节 电子控制悬架的结构与工作原理</b> .....	417
一、半主动悬架系统 .....	417
二、主动式悬架系统 .....	419
<b>第三节 电子控制悬架系统的故障诊断与检测</b> .....	431
一、悬架电子控制系统故障自诊断 .....	431
二、电子控制悬架系统故障检修 .....	432
<b>第十九章 汽车巡航控制系统</b> .....	435
<b>第一节 概述</b> .....	435
一、汽车巡航控制系统的应用与发展 .....	435
二、汽车巡航控制系统的功能与特点 .....	435
<b>第二节 巡航控制系统的结构和工作原理</b> .....	436
一、巡航控制系统的基本控制原理 .....	436
二、机电式巡航控制系统的结构及工作原理 .....	437
三、电子式巡航控制系统主要部件的结构与工作原理 .....	439

<b>第二十章 汽车空调与空调控制系统</b> .....	444
<b>第一节 概述</b> .....	444
一、汽车空调的功能 .....	444
二、汽车空调的组成和类型 .....	444
三、汽车空调技术的发展 .....	445
<b>第二节 汽车空调制冷系统</b> .....	446
一、制冷系统的组成与工作原理 .....	447
二、汽车空调制冷系统控制电路 .....	449
<b>第三节 汽车供暖、通风系统</b> .....	454
一、供暖装置 .....	454
二、通风与空气净化装置 .....	454
三、汽车供暖、通风控制电路 .....	455
<b>第四节 汽车空调自动控制系统</b> .....	455
一、汽车空调自动控制系统的组成与功用 .....	456
二、电控气动空调自动控制系统 .....	458
三、全自动空调控制系统 .....	461
四、微型计算机空调控制系统 .....	463
<b>第二十一章 安全气囊装置</b> .....	467
<b>第一节 概述</b> .....	467
一、安全气囊的应用和发展 .....	467
二、安全气囊的类型 .....	467
<b>第二节 安全气囊的组成与工作原理</b> .....	468
一、安全气囊的组成 .....	468
二、安全气囊的工作原理 .....	471
三、安全气囊使用的注意事项 .....	473
<b>第二十二章 电子仪表与防盗系统</b> .....	475
<b>第一节 电子仪表</b> .....	475
一、概述 .....	475
二、电子显示装置 .....	475
三、电子仪表板 .....	477
<b>第二节 汽车防盗系统</b> .....	480
一、汽车防盗系统的分类 .....	480
二、现代汽车电子式防盗系统的组成 .....	481
三、中央电控门锁系统 .....	482
<b>参考文献</b> .....	487

# 第一篇 汽车电器

## 第一章 车载电源

### 第一节 概述

#### 一、汽车电源的组成与要求

汽车上的电源由蓄电池与发电机并联组成。在发动机工作时，由发动机带动发电机向汽车用电设备提供电能，并向蓄电池充电。蓄电池的主要功用是在起动发动机时向起动机及点火系统（汽油发动机）等提供电能。蓄电池还有以下这些功用：

①在发电机电压低或不发电（发动机处于怠速、停转状态）时，向车载用电设备供电。

②当汽车上同时启用的用电设备功率超过了发电机的额定功率时，协助发电机供电。

③在其存电不足及发电机负载不多时，将发电机的电能转换为化学能储存起来。

此外，蓄电池相当于一个大电容，可以吸收电路中的瞬变过电压，对汽车上的电气设备及电子元件起到了保护作用。对汽车电子控制系统来说，蓄电池也是电子控制装置内存的不间断电源。

用于汽车上的蓄电池必须满足发动机起动的需要，即在短时间内能向起动机提供强大的电流（汽油发动机为100~600A，大型柴油发动机可达1000A）。因此，要求蓄电池的内阻要小，大电流输出时的电压稳定，以保证有良好的起动性能。能满足发动机起动需要的蓄电池被称之为起动型蓄电池，汽车上使用的就是起动型蓄电池。此外，要求蓄电池的充电性能良好、使用寿命长、维护方便或少维护，以满足汽车使用性能要求。

发动机工作时的转速变化很大，要求发电机在发动机转速变化范围内都能正常发电且电压稳定，以满足用电设备的用电需求；此外，要求发电机的体积小、重量轻、故障率低、发电效率高、使用寿命长等，以确保汽车使用性能要求。

## 二、汽车电源的现状与发展

### 1. 蓄电池

可充电的蓄电池也被称之为二次电池。目前世界上已出现的二次电池达数十种，根据其电解液的酸碱性可分为酸性蓄电池、碱性蓄电池和中性蓄电池。极板为铅，电解液为硫酸水溶液的铅酸蓄电池具有内阻小、电压稳定的特点，能迅速提供大电流，是较为理想的起动型蓄电池。此外，铅酸蓄电池的结构简单、其结构及生产工艺等较为成熟、成本低。因此，汽车上普遍采用的一直是铅酸蓄电池。

普通的铅酸蓄电池存在比能低、维护工作量大、使用寿命短、需经初充电才能使用等不足。多年来铅酸蓄电池在结构、材质及工艺等方面不断地进行改进，以提高其性能。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、湿荷电蓄电池，可防止电解液非正常损失和极板活性物质脱落的胶体蓄电池，以及使用寿命长且无需经常维护的免维护蓄电池等。

国内外致力于研究与开发碱性蓄电池，如镍氢蓄电池、锂离子蓄电池、锌空气蓄电池、铁镍蓄电池、铁空气蓄电池等，一些蓄电池的能量密度、使用寿命等方面都要优于铅酸蓄电池，但由于其内阻较大，不适于作为起动用蓄电池，目前只在一些电动汽车上使用。中性蓄电池到目前为止，出现还较少且技术上还有待成熟。铅酸蓄电池作为动力型蓄电池其性能提高的潜力不大，但作为起动型蓄电池，在结构、材质、工艺等方面仍在探索和研究，以期进一步减小蓄电池的体积和重量，提高供电能力和使用寿命，并实现免维护化。

### 2. 发电机及调节器

车载发电机最早使用的是直流同步发电机。这种发电机一般为铸铁外壳且磁极较大，采用机械换向器整流。由于其体积大、重量比功率小、低速充电性差、高速换向器换向火花大，已不能适应现代汽车对车载发电机的要求而被淘汰。现在普遍使用的是硅整流交流发电机。目前汽车上使用的硅整流交流发电机有多种结构形式，根据发电机的励磁方式不同分有普通励磁式（通过电刷引入励磁电流）、无刷励磁式和永磁式等几种，其中普通励磁方式使用最为普遍；根据搭铁方式分有内搭铁式和外搭铁式两种，内搭铁式使用居多；按整流二极管的数量又有六管、八管、九管、十一管等不同形式的交流发电机。

交流发电机配用的调节器有触点式和电子式两大类，触点式调节器现在使用已越来越少，电子式调节器基本上都采用集成电路，分立元件式的晶体管调节器也已很少使用。调节器安装在发电机内部的整体式交流发电机已应用较多。

交流发电机及调节器的进一步发展是：低速充电性能好、工作可靠性好、发电效率更高，以满足汽车电气系统对电源越来越高的要求。

### 3. 汽车电气系统的电压

现代汽车电气系统普遍采用 12V 电压，只有部分大型柴油车的起动系统采用

24V 电压系统。随着汽车电子控制设备越来越多的应用, 12V 系统已显得不适应。未来汽车电源的电压标准将提高到 42V, 以便能提供更大的极限功率、减小线束和提高信号传送的质量, 使更多的电子控制装置得以使用。

## 第二节 蓄 电 池

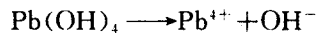
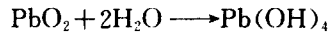
### 一、蓄电池的基本原理

蓄电池(本节只介绍铅酸蓄电池, 并简称为蓄电池)的核心部分是极板和电解液, 蓄电池建立电动势、放电和充电就是通过极板上的活性物质与电解液的电化学反应实现的。

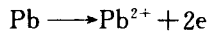
#### 1. 蓄电池电动势的建立

正极板上的活性物质为二氧化铅( $\text{PbO}_2$ ), 负极板上的活性物质为纯铅( $\text{Pb}$ ), 电解液为硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )的水溶液。极板浸入电解液中, 就会有少量的活性物质溶解电离。

正极板处  $\text{PbO}_2$  溶解、电离后有四价的铅离子( $\text{Pb}^{4+}$ ) 沉附于正极板:



负极板处  $\text{Pb}$  溶解后有电子  $e$  留在负极板:



上述过程是可逆的, 一个充足电的蓄电池, 当溶解、电离的速率与它的逆过程的速率达到动态平衡时, 正极板上具有稳定数量的  $\text{Pb}^{4+}$ , 使得正极板相对于电解液有 +2.0V 的电位差; 负极板上的  $e$  则使负极板相对于电解液有 -0.1V 电位差。因此, 充足电的蓄电池在静止状态下的电动势  $E_0$  约为 2.1V。

#### 2. 蓄电池的放电过程

蓄电池接上负载, 在电动势的作用下, 负极板上的电子  $e$  经外电路和负载流向正极板, 正极板上的  $\text{Pb}^{4+}$  得到 2 个电子, 变成二价铅离子( $\text{Pb}^{2+}$ ), 并溶于电解液中。这一放电过程使得正、负极板上的  $\text{Pb}^{4+}$  和  $e$  数量减少, 原有的平衡被破坏, 于是, 正、负极板上的  $\text{PbO}_2$ 、 $\text{Pb}$  继续溶解电离, 以补充消耗掉的  $\text{Pb}^{4+}$ 、 $e$ 。于此同时, 电解液中的  $\text{Pb}^{2+}$  浓度增加并与  $\text{SO}_4^{2-}$  生成硫酸铅( $\text{PbSO}_4$ ), 分别沉附于正、负极板表面, 其放电过程如图 1-1 所示。

放电过程中, 正负极板上的活性物质  $\text{PbO}_2$ 、 $\text{Pb}$  逐渐转变为  $\text{PbSO}_4$ , 电解液中的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  减少,  $\text{H}_2\text{O}$  增加, 电解液的密度下降。

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  $\text{PbSO}_4$  为止, 但由于放电生成的  $\text{PbSO}_4$  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利用。

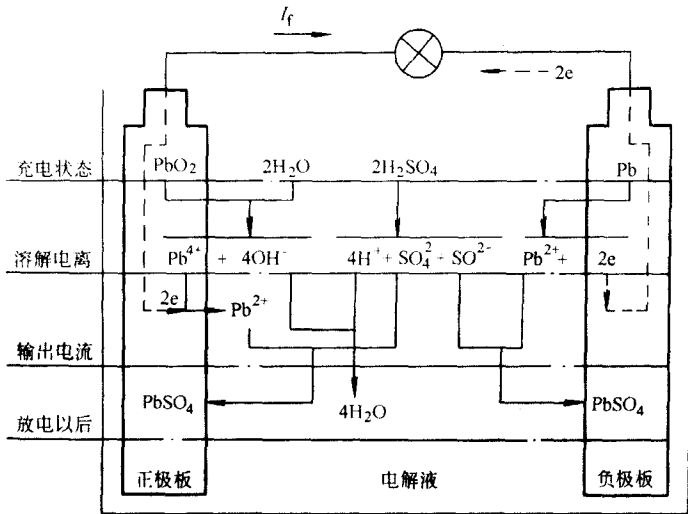


图 1-1 蓄电池放电过程示意图

### 3. 蓄电池的充电过程

蓄电池充电前,正负极板上都有少量的  $PbSO_4$  溶于电解液中,呈离子状态。当接通充电电源后,在电场力的作用下,正极板附近的  $Pb^{2+}$  失去 2 个电子而变为  $Pb^{4+}$ , 并与电解液中水解出来的  $OH^-$  结合,生成  $Pb(OH)_4$ ,  $Pb(OH)_4$  又分解为  $PbO_2$  和  $H_2O$ ,  $PbO_2$  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  $H_2SO_4$ 。由于充电使电解液中的  $Pb^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$  减少了,极板上的  $PbSO_4$  就继续溶解电离。充电过程如图 1-2 所示。

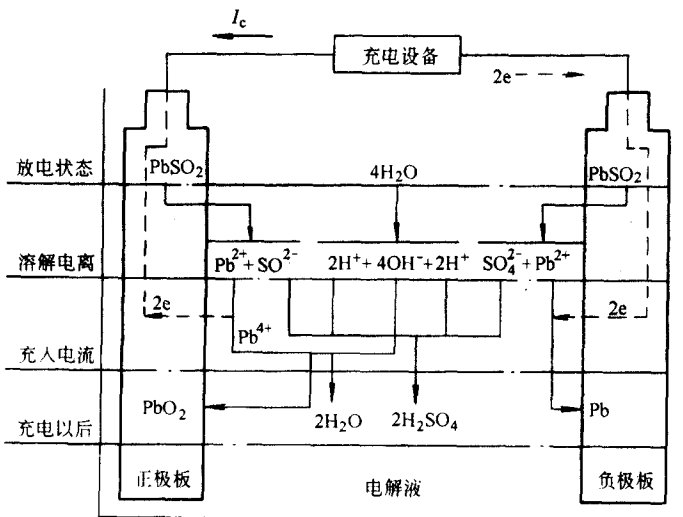
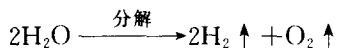


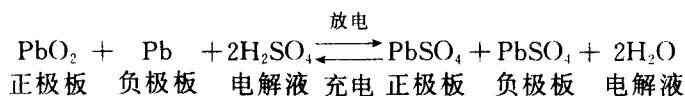
图 1-2 蓄电池充电过程示意图



充电过程中，正负极板上的  $\text{PbSO}_4$  逐渐转化为正极板的  $\text{PbO}_2$  和负极板上的  $\text{Pb}$ ，电解液中的  $\text{H}_2\text{O}$  减少， $\text{H}_2\text{SO}_4$  增加，其密度增大。当充电接近终了时，充电电流会使水分解，变成  $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2$ ，并从电解液中逸出。水的分解反应式为：



不考虑蓄电池化学反应中间过程，其充、放电时的总反应式如下：



## 二、蓄电池的构造

蓄电池的基本构造如图 1-3 所示。

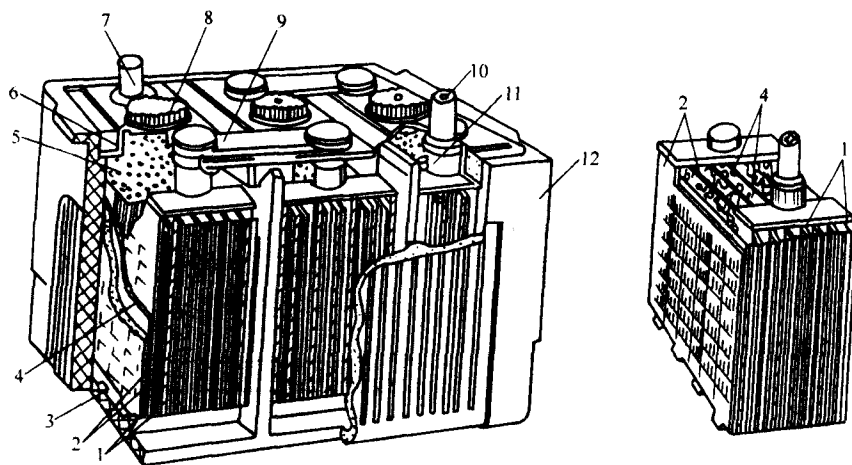


图 1-3 蓄电池的构造

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

### 1. 极板与极板组

正负极板上的活性物质  $\text{PbO}_2$  和  $\text{Pb}$  是由铅膏（铅粉、稀硫酸及少量添加剂的混合物）填充在用铅锑合金铸成的栅架上，经化成工艺处理而成的。在充足电的状态下，正极板呈深棕色，负极板呈深灰色。

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，组成正极板组和负极板组。将正负极板相互嵌合（中间用隔板隔开）的极板组置于存有电解液的容器中，就构成了单格电池。单格电池的标称电压为  $2\text{V}$ ，因此一个  $12\text{V}$  的蓄电池就需用 6 个单格电池串联而成。

每个单格电池的正极板总比负极板少一片，这是为了使每片正极板都置于两片负极板之间，使之两面的放电均匀。因为正极板上的活性物质比较疏松，若单