

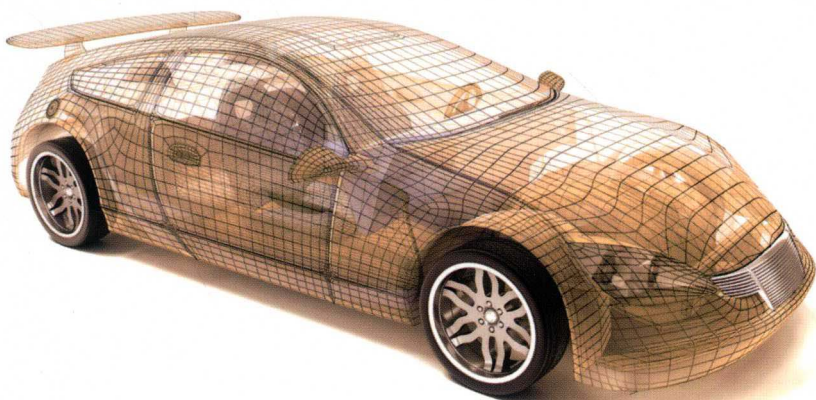
第4版

汽车电器与电子 控制系统

普通高等教育交通类专业规划教材



麻友良 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育交通类专业规划教材

汽车电器与电子控制系统

第 4 版

主编 麻友良

参编 丁礼灯 孟 芳 席 敏 汤富强



机械工业出版社

本书分“汽车电器”和“汽车电子控制系统”两篇。第一篇主要介绍了传统汽车电器与电子设备的工作原理、结构类型及故障检修，第二篇主要介绍汽车电子控制系统的工作原理、结构类型及主要控制系统的故障检修方法。

本书注重系统性和理论上的适当深度，以满足本科学生学习的需要，同时以典型汽车电器和电子控制系统为例，介绍汽车电器与电子控制系统故障检修的实践知识，以满足本科学生学习并掌握实践技能的需要。对汽车类高职学生，本书在适用于学生偏重于实践能力培养的同时，也满足了学生理论上提高的学习需要。本书在不增加太多篇幅的前提下，兼顾了理论性和实践性，使之成为本科“汽车服务工程”“车辆工程”“交通运输”等专业，以及高职“汽车运用技术”“汽车电子技术”“汽车维修技术”等专业的通用型教材。同时，本书也适合用作“车辆工程”“汽车运用工程”等专业研究生相关课程的教材和学习参考书。

除了用作高等院校学生的教材外，本书也适用于从事汽车使用与维修的工人、技术人员学习参考和实践指导。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电器与电子控制系统/麻友良主编. —4版. —北京: 机械工业出版社, 2018. 11

普通高等教育交通类专业规划教材

ISBN 978-7-111-61398-5

I. ①汽… II. ①麻… III. ①汽车-电气设备-高等学校-教材②汽车-电子系统-控制系统-高等学校-教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 260991 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 赵海青 责任编辑: 赵海青

责任校对: 张晓蓉 封面设计: 马精明

责任印制: 孙 炜

天津嘉恒印务有限公司印刷

2019 年 1 月第 4 版第 1 次印刷

184mm×260mm·27.25 印张·665 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-61398-5

定价: 65.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

第4版前言

《汽车电器与电子控制系统》是为“汽车服务工程”“车辆工程”等汽车类专业“汽车电器与电子控制技术”类课程教学需要而编写的。2003年1月第1版出版后，在2007年1月和2013年7月先后两次再版。第2版和第3版注重了本书在理论上的系统性和实践的指导作用，使本书内容具有较好的针对性，同时兼顾了不同学历层次的适用性。本书不仅适用于本科院校相关专业，也可用作高职高专“汽车电器与维修”及“汽车电子控制技术”课程教材，同时也可作为车辆工程、汽车服务工程专业硕士研究生的参考用书。本书各版均被全国多所学校所选用，10多年来已累计印刷27次，近8万册。

现代汽车电子技术的应用越来越多，这些电子控制技术在汽车的环保、节能、安全及舒适等方面均发挥了无可替代的作用。为了使本书充分体现新的电子控制技术，第3版对第2版的内容进行了较大的修改。在保留第2版理论上的系统性、突出实践指导作用的前提下，删减了传统点火系统、触点式调节器等内容；补充了旧版教材上介绍不够深入或未涉及的汽车电子控制系统相关内容，例如，增加了氙气前照灯、前照灯随动转向控制技术、汽车辅助制动系统（EBA）、制动力分配控制系统（EBD）、汽车行驶稳定控制（ESP）等电子控制技术。第4版则是对第3版教材又做了新的审定修改，删除了双触点式电压调节器的相关内容，对部分章节的内容进行了必要的删减和补充，以使本书文字表达更加精练流畅，内容更加充实。

第4版的思考题也根据删减的内容做了适当的调整，以便读者能更有针对性地阅读，更好地进行课后复习。

《汽车电器与电子控制系统》第4版由武汉科技大学麻友良教授主编，参加编写的有丁礼灯（第十四章、第十九章、第二十一章）、孟芳（第五章、第六章、第二十二章）、席敏（第二十章）、汤富强（第二十三章），麻友良编写了其余各章，并对全书进行统稿。

本书编写过程中，参阅了大量的书籍资料，给予我们很大的帮助，在此，向相关的作者表示感谢。由于水平所限，第4版还会有不足和错误之处，恳请读者提出宝贵意见，以便在下次修订时纠正。

编者

目 录

第4版前言

第一篇 汽车电器

第一章 车载电源	2	第一节 概述	51
第一节 概述	2	一、起动系统的基本组成	51
一、汽车电源的组成与要求	2	二、起动机的类型	52
二、汽车电源的现状与发展	3	第二节 起动机的结构、工作原理及特性	53
第二节 蓄电池	4	一、直流电动机	54
一、蓄电池的基本原理	4	二、传动机构	56
二、蓄电池的构造	6	三、电磁开关	60
三、蓄电池的工作特性	8	四、起动机的工作特性	61
四、蓄电池的容量及影响因素	11	五、起动机的控制电路	63
五、蓄电池常见故障及排除	13	六、其他类型的起动机	67
六、蓄电池的使用与维护	14	第三节 起动机的使用与故障诊断	70
七、蓄电池的充电	16	一、起动机部件的检修	70
八、改进型铅酸蓄电池	19	二、起动机的试验	72
第三节 交流发电机及调节器	21	三、起动系统常见故障及诊断	73
一、交流发电机的原理	21	思考题	75
二、交流发电机的结构	23	第三章 点火系统	76
三、交流发电机的工作特性	28	第一节 概述	76
四、交流发电机调节器的作用与原理	30	一、对点火系统的要求	76
五、触点式调节器	31	二、点火系统的发展概况	77
六、电子调节器	33	三、点火系统分类	78
七、发电机充电指示灯控制电路	37	第二节 传统触点式点火系统	78
八、交流发电机及调节器的检修	39	一、传统触点式点火系统的工作原理	78
九、其他类型的发电机	42	二、传统触点式点火系统的结构	80
第四节 电源系统的使用	46	第三节 电子点火系统	90
一、电源系统使用与维护操作注意事项	46	一、电子点火系统的组成与基本原理	90
二、充电系统常见故障及故障诊断	47	二、电子点火系统部件的结构与原理	90
思考题	49		
第二章 起动机	51		

三、电容储能式电子点火系统简介	98	第一节 概述	130
第四节 点火系统的使用与故障诊断	100	一、仪表系统的组成及要求	130
一、点火正时	100	二、指示灯系统的组成及要求	130
二、点火系统主要部件的检修方法	100	第二节 仪表系统	130
三、点火系统的故障诊断	105	一、电流表	130
思考题	107	二、机油压力表	131
第四章 照明与信号系统	108	三、发动机冷却液温度表	133
第一节 概述	108	四、燃油表	134
一、汽车照明系统的基本组成及		五、电热式和电磁式汽车仪表	136
要求	108	六、车速里程表	137
二、汽车信号系统的基本组成及		七、发动机转速表	139
要求	108	第三节 指示灯系统	140
第二节 前照灯	109	一、机油压力过低警告灯	140
一、前照灯的结构	109	二、制动气压不足警告灯	140
二、氙气前照灯	111	三、制动液不足警告灯	141
三、前照灯的防眩目	112	四、燃油量不足指示灯	141
四、前照灯的控制电路	113	五、驻车制动未松警告灯	142
第三节 照明系统电路与故障检修	116	六、制动蹄片磨损警告灯	142
一、照明系统电路	116	七、冷却液温度过高警告灯	143
二、前照灯的检测与调整	116	八、制动灯断丝警告灯	143
三、照明系统的故障诊断	117	思考题	143
第四节 电喇叭	118	第六章 汽车其他电器	145
一、触点式电喇叭	118	第一节 电动刮水器与风窗玻璃洗涤器、	
二、无触点电喇叭	119	除霜装置	145
三、喇叭继电器	120	一、电动刮水器	145
第五节 转向信号装置	121	二、风窗玻璃洗涤器	148
一、电容式闪光器	121	三、风窗玻璃除霜装置	148
二、翼片式闪光器	122	第二节 电动辅助装置	149
三、电子闪光器	123	一、电动车窗	149
第六节 其他信号装置	124	二、电动座椅	151
一、危险警告信号装置	124	三、电动后视镜	151
二、制动信号装置	125	四、电动门锁	152
三、倒车灯与倒车蜂鸣器	126	第三节 低温起动加热装置	155
四、示廓灯	126	一、柴油机低温起动加热装置	155
第七节 汽车信号电路与故障诊断	127	二、汽油机低温起动加热装置	157
一、汽车信号电路	127	第四节 电磁干扰与抑制	158
二、汽车信号电路故障诊断	127	一、电磁干扰的形成与危害	158
思考题	129	二、防止电磁干扰的措施	158
第五章 仪表及指示灯系统	130	思考题	160

第七章 汽车电路	161	一、电路	168
第一节 概述	161	二、线束	170
一、汽车电系特点	161	第四节 汽车电路图	171
二、现代汽车电系发展方向	161	一、汽车电路原理图	171
第二节 汽车电路控制与保护	162	二、汽车电路线路图	172
一、汽车电路控制	162	三、汽车电路线束图	174
二、汽车电路保护	166	四、汽车电路分析方法	177
第三节 汽车电路与线束	168	思考题	178

第二篇 汽车电子控制系统

第八章 汽车电子控制技术基础	180	思考题	219
第一节 概述	180	第九章 汽油喷射控制系统	220
一、汽车电子控制技术发展概况	180	第一节 概述	220
二、汽车电子控制系统的基本组成	181	一、汽油喷射技术的特点与发展	
三、汽车电子控制系统的类型	181	概况	220
第二节 传感器	182	二、汽油喷射系统分类	221
一、发动机转速与曲轴位置传感器	182	第二节 汽油喷射控制系统结构与	
二、空气流量传感器	186	原理	222
三、进气压力传感器	190	一、汽油喷射电子控制系统的控制	
四、温度传感器	192	原理	222
五、节气门位置传感器	194	二、电子控制汽油喷射系统的结构	226
六、氧传感器	195	思考题	234
七、爆燃传感器	197	第十章 电子点火控制系统	235
八、车速/车轮转速传感器	198	第一节 概述	235
九、车身位移传感器	201	一、电子点火控制技术的特点与	
十、转向盘转角传感器	203	发展概况	235
十一、转向盘转矩传感器	204	二、电子点火控制系统分类	237
十二、减速度传感器	205	第二节 电子点火控制系统的结构	
十三、碰撞传感器	206	与原理	238
十四、光照度传感器	208	一、电子点火控制原理	238
十五、角速度传感器	208	二、电子点火控制系统的结构	248
第三节 电子控制器	210	思考题	253
一、输入电路	211	第十一章 发动机怠速控制系统	254
二、微处理器	212	第一节 概述	254
三、输出电路	213	一、怠速控制系统的作用	254
第四节 执行机构	214	二、怠速控制系统的分类	254
一、电动机类执行机构	214	第二节 发动机怠速控制系统的结构	
二、电磁阀类执行机构	216	与原理	255

一、怠速控制系统原理	255	第四节 发动机电子控制系统的故障	
二、怠速控制系统部件的结构	257	检修	285
思考题	260	一、传感器常见故障与检修	286
第十二章 汽车排放控制系统	261	二、主要执行器常见故障与检修	290
第一节 概述	261	三、控制器常见故障与检修	292
一、汽车排放的形成和危害	261	四、发动机电子控制系统故障检修基本	
二、汽车排放控制的作用与分类	261	原则	293
第二节 废气再循环控制系统	262	思考题	294
一、废气再循环控制的作用与控制		第十四章 电子控制自动变速器	
方式	262	系统	295
二、废气再循环电子控制系统的		第一节 概述	295
控制原理	263	一、自动变速器的发展概况	295
三、废气再循环电子控制系统的		二、自动变速器的类型	295
结构	264	三、电子控制液力传动式自动变速器的	
第三节 燃油蒸发排放控制系统	266	基本组成及特点	296
一、燃油蒸发排放控制系统的作用与		第二节 电子控制自动变速器的结构	
控制方式	266	与原理	297
二、燃油蒸发排放控制系统的原理	266	一、电子控制自动变速器的控制	
三、燃油蒸发排放电子控制系统		原理	297
结构	268	二、电子控制自动变速器部件的结构	
思考题	269	与原理	301
第十三章 发动机集中电子控制		第三节 电子控制自动变速器故障	
系统	270	检修	312
第一节 概述	270	一、电子控制自动变速器的检查	
一、发动机集中电子控制系统概况	270	与试验	312
二、发动机集中电子控制系统功能的		二、自动变速器电子控制系统部件的	
扩展	271	故障检修	314
第二节 发动机集中电子控制系统		思考题	315
实例	273	第十五章 电子控制防抱死制动	
一、日产公司的发动机集中电子控制		系统 (ABS)	316
系统 (ECCS)	273	第一节 概述	316
二、丰田公司的计算机控制		一、防抱死制动控制系统的作用及	
系统 (TCCS)	277	发展概况	316
第三节 电子控制系统的故障自诊断	280	二、防抱死制动系统的分类	318
一、电子控制系统故障自诊断的组成		第二节 防抱死制动系统的结构与	
与原理	280	原理	319
二、故障自诊断的操作	282	一、防抱死制动系统的控制原理	319
三、自诊断系统的标准化与汽车故障		二、制动防抱死电子控制系统部件的结构	
诊断设备	285	与原理	322

第三节 防抱死制动系统的使用与 检修	332	第十八章 电子控制悬架系统	361
一、防抱死制动系统的使用	332	第一节 概述	361
二、防抱死制动系统的故障检修	332	一、电子控制悬架系统的作用	361
第四节 汽车其他制动控制系统	334	二、电子控制悬架系统的分类	362
一、电子制动辅助系统 (EBA)	334	第二节 电子控制悬架的结构与工作 原理	362
二、电子制动力分配系统 (EBD)	335	一、半主动悬架系统简介	362
三、电子驻车制动系统 (EPB)	336	二、主动式悬架系统的工作原理	365
思考题	338	三、主动式悬架系统的组成部件	368
第十六章 电子控制防滑转 (ASR) 系统	339	思考题	374
第一节 概述	339	第十九章 汽车巡航控制系统	375
一、汽车防滑转控制的作用	339	第一节 概述	375
二、车轮防滑转控制的方式	340	一、汽车巡航控制系统的作用	375
第二节 电子控制防滑转系统的结构与 原理	340	二、汽车巡航控制系统的分类	376
一、电子防滑转控制原理	340	第二节 巡航控制系统的结构和工作 原理	377
二、ASR 系统部件的结构原理	342	一、巡航控制系统工作原理	377
第三节 汽车其他行驶安全控制系统	347	二、巡航控制系统的组成部件	378
一、汽车电子稳定系统 (ESP)	347	思考题	383
二、电子差速锁 (EDS)	348	第二十章 汽车空调与空调控制 系统	384
思考题	349	第一节 概述	384
第十七章 电子控制动力转向系统	350	一、汽车空调的作用与发展概况	384
第一节 概述	350	二、汽车空调的分类	385
一、电子控制动力转向系统的作用	350	第二节 汽车空调制冷系统	385
二、电子控制动力转向系统的分类	350	一、汽车空调制冷系统的工作原理	385
三、电动式动力转向系统的特点与 发展趋势	352	二、汽车空调制冷系统的组成部件	386
第二节 电子控制动力转向系统的结构 与原理	353	三、汽车空调制冷系统控制电路	387
一、液力式电子控制动力转向系统工作 原理	353	第三节 汽车采暖与通风系统	390
二、液力式电子控制动力转向系统的 组成部件	355	一、采暖装置	390
三、电动式电子控制动力转向系统工作 原理	356	二、通风与空气净化装置	391
四、电动式电子控制动力转向系统的 组成部件	357	第四节 汽车空调电子控制系统	392
思考题	360	一、汽车空调电子控制系统的控制 原理	392
		二、汽车空调电子控制系统的组成 部件	393
		思考题	397
		第二十一章 安全气囊装置	398
		第一节 概述	398

一、安全气囊的作用	398	第二十三章 汽车网络技术简介	416
二、安全气囊的分类	398	第一节 概述	416
第二节 安全气囊的组成与工作原理	399	一、汽车网络信息传输系统的应用	
一、安全气囊的工作原理	399	背景	416
二、安全气囊的组成部件	400	二、汽车网络信息传输系统的特点	416
三、安全气囊使用注意事项	404	三、汽车网络信息传输技术发展	
思考题	404	概况	417
第二十二章 电子仪表与防盗系统	406	第二节 控制器局域网 (CAN) 技术在汽车上	
第一节 电子仪表	406	的应用	418
一、电子仪表概述	406	一、CAN 总线系统概述	418
二、电子显示装置	407	二、CAN 总线系统的结构	419
三、电子仪表板	409	三、CAN 总线的数据传输特点	420
第二节 汽车防盗系统	410	四、CAN 总线应用示例	420
一、汽车防盗系统概述	410	思考题	422
二、电子防盗系统的组成与原理	411	参考文献	423
思考题	415		

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

1. 汽车电源的组成

汽车电源由蓄电池和发电机两个电源并联而成，如图 1-1 所示。

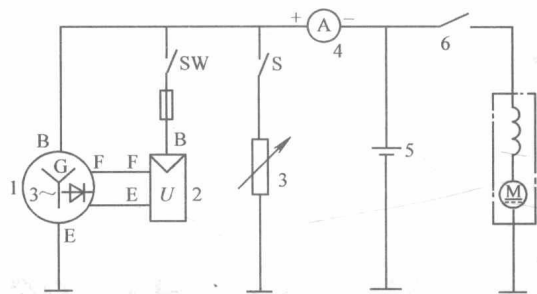


图 1-1 汽车电源的组成

1—发电机 2—调节器 3—用电设备 4—电流表 5—蓄电池 6—起动开关 7—起动机

在发动机工作时，发动机带动发电机发电，向汽车用电设备提供电能，并向储存电能不足的蓄电池充电。在起动发动机时，则由蓄电池向起动机及点火系统（汽油发动机）等提供电能。蓄电池的主要用途是用作起动电源，除此之外，蓄电池还有如下功用。

- 1) 在发动机怠速运转或停转（发电机电压低或不发电）时，向车载用电设备供电。
- 2) 当同时启用的车载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) 当蓄电池存电不足，且发电机负载不多时，可将发电机的电能转换为化学能储存起来。
- 4) 蓄电池内部的极板构成了一个容量很大的电容器，并联在车载电网中，可以吸收电路中的瞬变电压脉冲，对汽车电路中的电子元件起到了保护作用。
- 5) 对汽车电子控制系统来说，蓄电池是电子控制器的不间断电源。

2. 对汽车电源的要求

蓄电池是发动机的起动电源，在起动发动机时，需要在短时间内向起动机提供大电流（汽油发动机为 100 ~ 600A，大型柴油发动机可达 1000A），因而要求其内阻要小，大电流输出时电压要稳定，以确保有良好的起动性能。除此之外，还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，以满足良好的汽车使用性能要求。

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，以确保汽车良好的使用性能。

二、汽车电源的现状与发展

1. 蓄电池

蓄电池可通过充电恢复其化学能量，因而也被称之为二次电池。目前，世界上已有的二次电池有数十种，根据其电解质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，是较为理想的起动电源。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，因而汽车上普遍采用铅酸蓄电池。

普通的铅酸蓄电池（又称为干封蓄电池）比能量低、维护工作量大、使用寿命短、需经初充电才能使用。多年来，铅酸蓄电池在结构、材质及工艺等方面不断改进，其性能有了较大的提高。目前，汽车上使用的大都是改进型铅酸蓄电池。比如，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，使用寿命长且无需经常维护的免维护蓄电池等。

国内外都致力于研究与开发碱性蓄电池，比如，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。这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，不适合用作起动电源。目前，碱性蓄电池只是在电动汽车上使用。中性蓄电池到目前为止，在技术上还有待成熟，即使在电动汽车上也应用很少。

铅酸蓄电池的结构、材质、工艺等方面仍有改良和发展的空间，以使其能量密度、功率密度及使用寿命等均有进一步提高，并实现免维护化。

2. 发电机及调节器

汽车上最早使用的是直流发电机，这种同步直流发电机采用铸铁外壳，磁极较大，须用机械换向器整流。由于体积大、比功率小、低速充电性差、高速换向器换向火花大，直流发电机已不能适应现代汽车对车载发电机的要求，早已被采用硅二极管整流的交流发电机取代。在汽车上普遍应用的交流发电机有多种结构形式，根据发电机磁极产生磁场的方式不同分，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，其中普通励磁式使用最为普遍；根据磁极绕组搭铁方式分，交流发电机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、十二管等不同形式的交流发电机。

发电机调节器的作用是在发动机转速变化时，使发电机的电压保持稳定。交流发电机最初所配用的是触点式调节器，现已逐渐被电子式调节器所替代。电子调节器有分立元件和集成电路两种类型，现在汽车大都采用集成电路式电子调节器。由于集成电路调节器性能稳定，结构尺寸小，故将其安装在发电机内部。这种调节器内装的交流发电机（被称为整体式交流发电机）在汽车上已有较多的应用。

交流发电机及调节器的发展趋势是，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. 汽车电系的电压

现代汽车电气系统普遍采用12V系统，只有部分大型柴油车的起动系统采用24V系统。随着汽车电子控制设备的应用越来越多，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，以使发电机能提供更大的极限功率，减少线束和提高信号传送的质量。未来

的汽车电源电压可满足更多电器和电子控制装置的用电要求，并使整个汽车电系的工作更加稳定、安全、可靠。

第二节 蓄 电 池

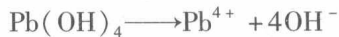
一、蓄电池的基本原理

铅酸蓄电池的核心部分是极板和电解液，蓄电池通过正、负极板上的活性物质与电解液的电化学反应建立电动势，进行放电和充电过程。

1. 蓄电池电动势的建立

蓄电池正极板上的活性物质为二氧化铅（ PbO_2 ），负极板上的活性物质为纯铅（ Pb ），电解液为硫酸的水溶液（ $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ）。浸入电解液的极板会有少量的活性物质溶解电离。

正极板处 PbO_2 溶解电离后有四价的铅离子（ Pb^{4+} ）沉附于正极板：



负极板处 Pb 溶解后有电子（ e ）留在负极板：



上述过程是可逆的，对于充足电的蓄电池，当 PbO_2 溶解电离的速率与它的逆过程的速率达到动态平衡时，正极板上就有稳定数量的 Pb^{4+} ，这使得正极板相对于电解液有 $+2.0\text{V}$ 的电位差；负极板上则是有稳定数量的电子，使得负极板相对于电解液有 -0.1V 的电位差。于是，充足电的蓄电池在静止状态下的电动势 E_j 约为 2.1V 。

可见，铅酸蓄电池是通过极板上活性物质的溶解电离，使正、负极板产生正（ Pb^{4+} ）、负（ e ）电荷而建立电动势的。

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，形成放电电流。正极板上的 Pb^{4+} 得到两个电子，变成二价铅离子（ Pb^{2+} ），并溶于电解液。放电电流使得正、负极板上的 Pb^{4+} 和 e 数量减少，原有的平衡被破坏，于是，正、负极板上的 PbO_2 、 Pb 继续溶解电离，以补充消耗掉的 Pb^{4+} 、 e 。与此同时，电解液中的 Pb^{2+} 浓度增加并与 SO_4^{2-} 生成硫酸铅（ PbSO_4 ），分别沉附于正、负极板表面，其放电过程如图 1-2 所示。

放电过程中，正负极板上的活性物质 PbO_2 、 Pb 逐渐转变为 PbSO_4 ，电解液中的 H_2SO_4 减少， H_2O 增加，电解液的密度下降。

理论上，蓄电池的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。实际上，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利用。

3. 蓄电池的充电过程

蓄电池正、负极板上有少量 PbSO_4 溶于电解液，呈离子状态（ Pb^{2+} ， SO_4^{2-} ）。当接上充电电源后，电源的电场力使正极板的电子（ e ）经充电电路流向负极板，形成充电电流。正

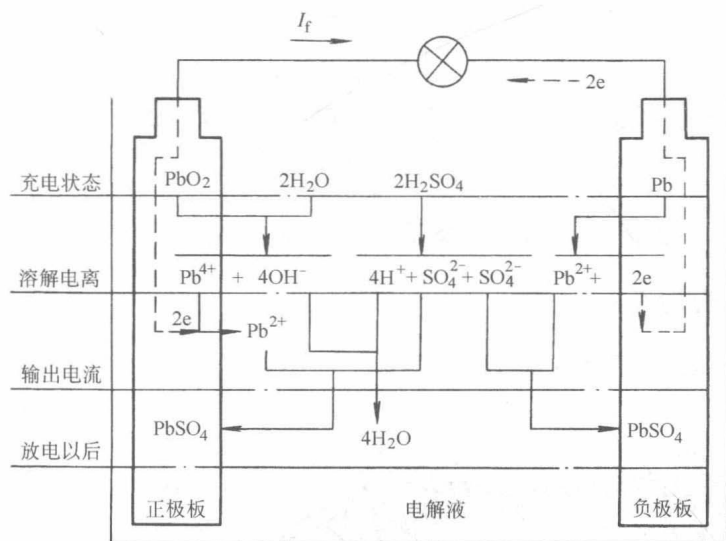


图 1-2 蓄电池放电过程示意图

极板附近的 Pb^{2+} 失去两个电子而变为 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+} 则得到两个电子变为 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 。充电电流使电解液中的 Pb^{2+} 、 SO_4^{2-} 减少，极板上的 $PbSO_4$ 就会继续溶解电离。充电过程如图 1-3 所示。

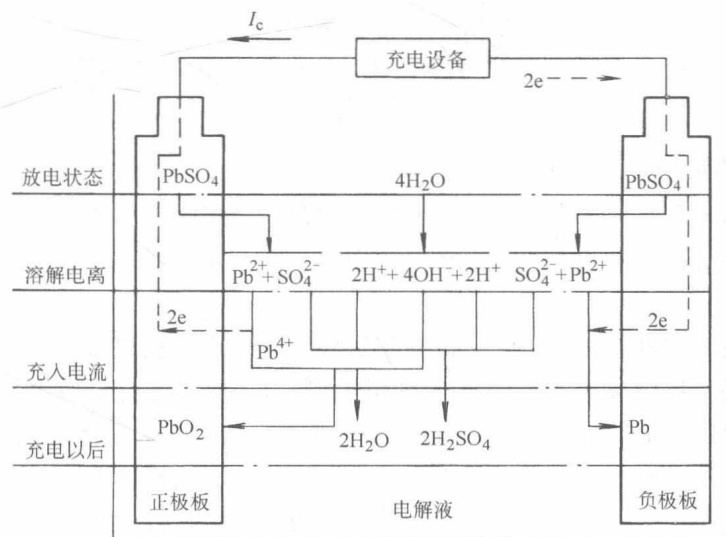


图 1-3 蓄电池充电过程示意图

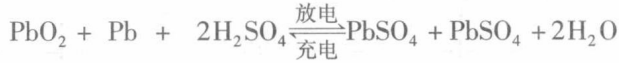
充电过程中，正负极板上的 $PbSO_4$ 逐渐转化为正极板的 PbO_2 和负极板上的 Pb ，电解液中的 H_2O 减少， H_2SO_4 增加，其密度增大。

当充电接近终了时，充电电流会电解水，使 H_2O 变成 O_2 、 H_2 ，并从电解液中逸出。水

的电解反应式为



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：



正极板 负极板 电解液 正极板 负极板 电解液

二、蓄电池的构造

蓄电池的基本构造如图 1-4 所示。

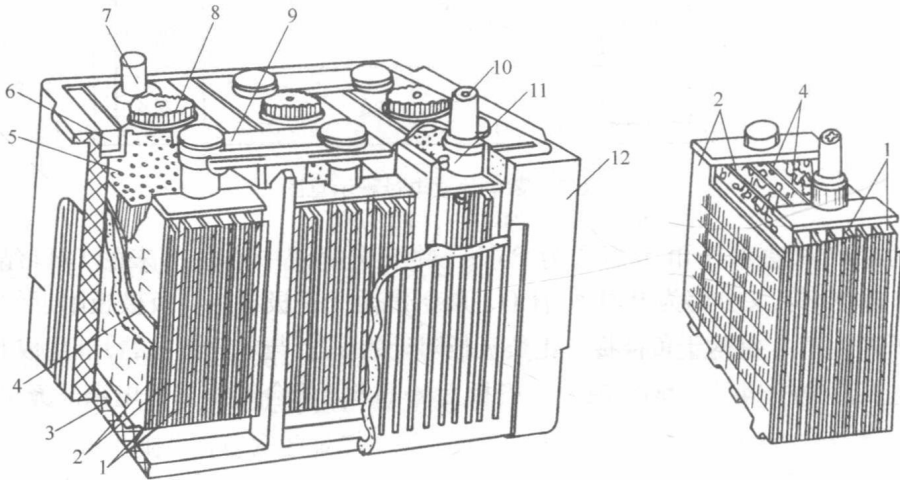


图 1-4 蓄电池的基本构造

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—连接条 10—正极桩 11—极桩衬套 12—蓄电池外壳

1. 极板与单体电池

正负极板上的活性物质 PbO_2 和 Pb 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。在充足电状态下，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，并置于存有电解液的容器中，就构成了单体电池。单体电池的标称电压为 2V，12V 的蓄电池由 6 个单体电池串联而成。

正极板上的活性物质比较疏松，若单面放电，容易造成极板拱曲而使活性物质脱落。因此，每个单体电池的正极板总比负极板少一片，使每片正极板都置于两片负极板之间，这样就可使正极板两面的放电均匀而不容易拱曲。

2. 隔板

为了避免正负极板彼此接触而造成短路，正负极板间用绝缘的隔板隔开。隔板具有多孔性，以便于电解液渗透。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，以微孔塑料隔板使

用最为普遍。近年来，出现了袋状的微孔塑料隔板，它将正极板紧紧地套在里面，可防止正极板活性物质脱落。

对于有沟槽的隔板，在组装时，隔板的沟槽面应朝向正极板。因为蓄电池在充、放电时，正极板附近的电化学反应比负极板激烈，隔板上的沟槽有利于电解液上下流通，保持其密度均匀。

3. 电解液

电解液可使极板上的活性物质溶解和电离，产生电化学反应。电解液由纯净的硫酸与蒸馏水按一定的比例配制而成。电解液的密度在 25℃ 条件下应保持在 $1.27 \sim 1.30 \text{g/cm}^3$ 。

4. 壳体及其他

蓄电池的壳体用于盛放电解液和极板组，壳内用间壁分成 3 个或 6 个互不相通单体，底部有凸棱，用以搁置极板组，而凸棱间的凹槽则可积存从极板上脱落下来的活性物质，以避免沉积的活性物质连接正负极板而造成短路。蓄电池的壳体大都用耐酸、耐热、耐振的硬橡胶制成，如今，工程塑料（聚丙烯）已在韧性、强度、耐酸、耐热等方面的性能达到或优于硬橡胶，且可以制成薄壁透明的壳体，且重量轻，便于观察电解液的液面高度，因此，塑料壳体的蓄电池在汽车上也有应用。

蓄电池壳体上盖有两种形式，一种是分体式，即每一个单格上有一小盖，盖与壳体间的缝隙用沥青封料密封（图 1-4）；另一种是整体式（图 1-5），盖与壳体之间采用热接或胶黏工艺黏合。

单体电池的加液孔盖都有一通气小孔，用于在蓄电池充电时及时排出因电解水而产生的氢气和氧气，以防止气体集聚而使其内部压力升高，造成涨破容器甚至产生爆炸的事故。

铅制的连接条用于串联各单体电池。图 1-4 所示的蓄电池连接条露在蓄电池盖表面，这种传统的连接方式连接条较长，耗材较多，电阻也较大，因此，已逐渐被穿壁式连接方式（图 1-5）所取代。

蓄电池各单体电池串联后，两端单体的正负极桩分别穿出蓄电池盖，形成蓄电池极桩。正极桩标“+”号或涂红色，负极桩标“-”号或涂蓝色、绿色等。

5. 蓄电池的型号

按工信部发的《铅蓄电池名称、型号编制与命名办法》（JB/T 2599—2012）蓄电池型号由以下几部分组成：



(1) 串联的单体数 用阿拉伯数字表示。如：6 表示有 6 个单体，12V 的蓄电池。

(2) 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：Q 表示用作起动电源的起动型蓄电池；D 表示电动车用蓄电池；M 表示摩托车用蓄电池；N 表示内燃机车用蓄电池；B 表示航标用蓄电池。

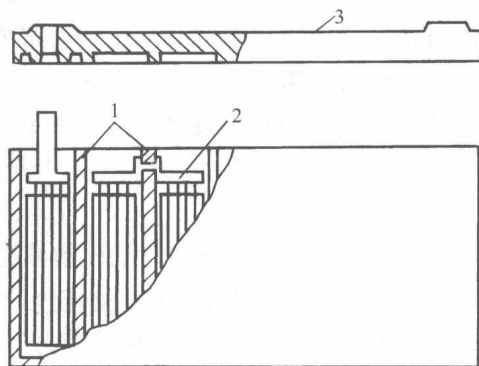


图 1-5 整体式蓄电池上盖示意图

1—容器间壁 2—穿壁式连接条 3—蓄电池盖