

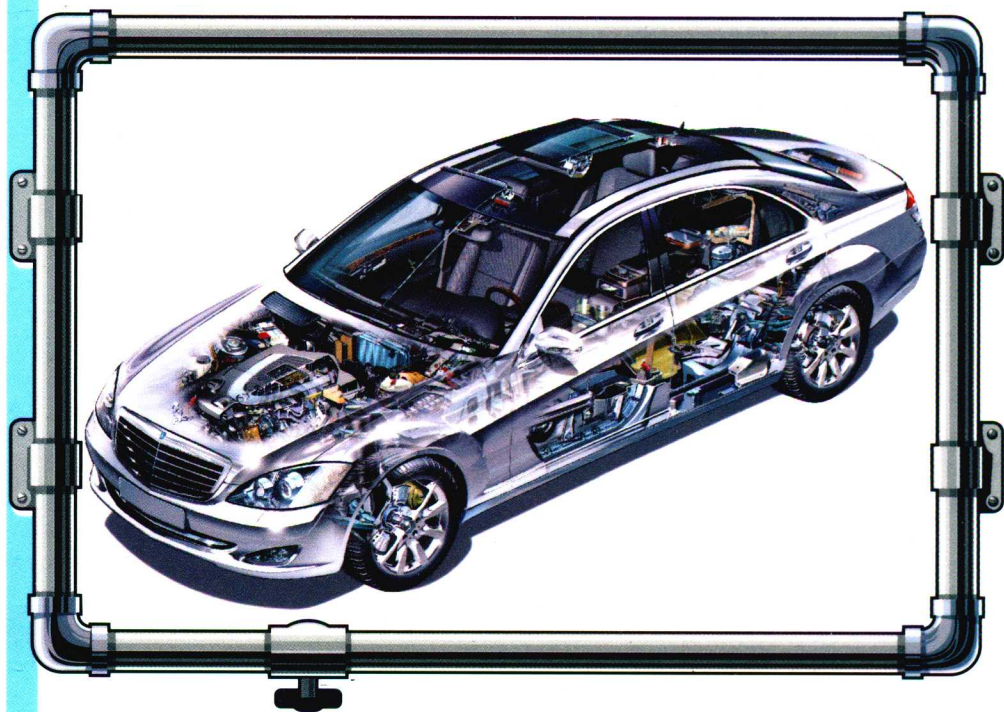


21世纪全国高等院校汽车类**创新型**应用人才培养规划教材

汽车电器与电子设备

唐文初 张春花 主 编

- ✓ 以汽车工业发展需要为出发点
- ✓ 突出汽车电器新知识、新技术
- ✓ 理论与实际相结合强调实用性



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材

汽车电器与电子设备

主 编 唐文初 张春花
副主编 张明容 袁 敏



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书主要介绍汽车电器与电子设备的结构、工作原理及故障的维修等知识。具体内容包括蓄电池,发电机与调节器,起动机,传统点火系统与电子点火系统,照明、信号系统,仪表及指示灯系统,汽车辅助装置,汽车电气设备线路,汽车多媒体系统。有些章节附有课外阅读材料,介绍了汽车电路检修、汽车空调除雾等实用性很强的知识。

本书内容精简实用、图文并茂,既可作为本科汽车类专业教材和高等职业技术学院汽车类专业教材,也可作为汽车行业工程技术人员及驾驶人的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电器与电子设备/唐文初,张春花主编. —北京:北京大学出版社,2015.2
(21世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材)
ISBN 978-7-301-25295-6

I. ①汽… II. ①唐…②张… III. ①汽车—电气设备—高等学校—教材②汽车—电子设备—高等学校—教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第001278号

书 名 汽车电器与电子设备
著作责任者 唐文初 张春花 主编
策划编辑 童君鑫
责任编辑 黄红珍
标准书号 ISBN 978-7-301-25295-6
出版发行 北京大学出版社
地 址 北京市海淀区成府路205号 100871
网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社
电子信箱 pup_6@163.com
电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667
印 刷 者 三河市博文印刷有限公司
经 销 者 新华书店
787毫米×1092毫米 16开本 11印张 252千字
2015年2月第1版 2015年2月第1次印刷
定 价 26.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话:010-62756370

目 录

第 1 章 蓄电池 1

1.1 蓄电池的构造及工作原理 3

1.1.1 极板与极板组 4

1.1.2 隔板 4

1.1.3 电解液 4

1.1.4 壳体及其他 4

1.1.5 蓄电池的型号 5

1.1.6 蓄电池的工作原理 6

1.2 蓄电池的工作特性及使用与维护 8

1.2.1 蓄电池的工作特性 8

1.2.2 蓄电池的使用与维护 12

1.3 新型蓄电池 16

1.3.1 镍氢电池 16

1.3.2 锂离子电池 16

1.3.3 铁电池 18

1.3.4 燃料电池 19

习题 20

第 2 章 发电机与调节器 22

2.1 发电机的构造 23

2.1.1 转子 24

2.1.2 定子 24

2.1.3 整流器 24

2.1.4 端盖与电刷总成 26

2.1.5 国产交流发电机的型号 26

2.2 发电机的工作原理 27

2.2.1 交流发电机的工作原理 27

2.2.2 整流原理 27

2.2.3 励磁方式 28

2.2.4 发电机的输出电压 28

2.2.5 交流发电机的工作特性 28

2.3 发电机调节器 29

2.3.1 触点电压调节器 29

2.3.2 晶体管调节器工作原理 30

2.3.3 集成电路调节器 32

2.3.4 其他类型发电机 35

2.3.5 发电机充电指示灯控制 电路 36

2.4 发电机及调节器的使用与维修 37

2.4.1 使用与维护操作注意 事项 37

2.4.2 发电机及调节器常见 故障及故障诊断 38

2.4.3 电源电路实例分析 39

习题 40

第 3 章 起动机 42

3.1 概述 43

3.1.1 起动系统的组成 43

3.1.2 起动机的类型 44

3.2 起动机的组成与工作原理 46

3.2.1 直流电动机 47

3.2.2 传动机构 50

3.2.3 电磁开关 52

3.3 起动机控制电路 53

3.3.1 起动开关直接控制的 起动电路 53

3.3.2 带起动继电器的起动 电路 54

3.3.3 具有驱动保护功能的 起动电路 55

3.4 起动机的使用与故障诊断 57

3.4.1 起动机使用过程 注意事项 57

3.4.2 起动机部件的检修 59

3.4.3 起动系统常见故障 诊断及实例分析 59



习题 61

第 4 章 传统点火系统与电子点火系统 ... 63

4.1 概述 64

4.2 传统点火系统 65

4.2.1 传统点火系统的组成 65

4.2.2 各组成的作用 65

4.2.3 传统点火系统的基本
工作原理 66

4.2.4 传统点火系统的部件
结构 68

4.2.5 传统触点式点火系统的
工作特性 74

4.2.6 传统点火系统的实例
分析 75

4.3 电子点火系统 76

4.3.1 电子点火系统分类 76

4.3.2 磁感应电子点火器的
工作原理 76

4.3.3 霍尔效应式电子点火
系统 79

4.4 点火系统的维修 83

4.4.1 点火系统的保养维护 83

4.4.2 点火系统故障分析 83

4.4.3 点火正时 85

4.4.4 电子点火系统主要
部件的检修 85

习题 89

第 5 章 照明、信号系统 90

5.1 照明系统 91

5.2 闪光继电器 100

5.2.1 电容式闪光器 100

5.2.2 电热式闪光器 101

5.2.3 电子式闪光器 102

5.3 电喇叭与倒车警告装置 104

5.3.1 电喇叭 104

5.3.2 倒车警告装置 106

5.4 汽车照明、信号电路与故障
检修 108

5.4.1 照明系统的故障诊断 108

5.4.2 信号系统的故障诊断 110

习题 112

第 6 章 仪表及指示灯系统 113

6.1 概述 114

6.2 充电表及指示灯系统 115

6.2.1 电流表 115

6.2.2 电压表 116

6.2.3 充电指示灯 116

6.3 机油压力表及指示灯 117

6.3.1 机油压力表 118

6.3.2 机油压力指示灯 119

6.4 冷却液温度表及指示灯 119

6.4.1 冷却液温度表 119

6.4.2 冷却液温度指示灯 121

6.5 燃油表及指示灯 121

6.5.1 燃油表 121

6.5.2 燃油指示灯 122

6.6 车速里程表 123

6.6.1 机械式车速里程表 123

6.6.2 电子式车速里程表 124

6.7 发动机转速表 124

习题 126

第 7 章 汽车辅助装置 128

7.1 风窗玻璃清洗装置 129

7.1.1 电动刮水器 129

7.1.2 风窗玻璃洗涤器 131

7.1.3 风窗玻璃除霜装置 132

7.2 电动辅助装置 133

7.2.1 电动车窗 133

7.2.2 电动座椅 135

7.2.3 电动门锁 138

7.2.4 电动后视镜 140

习题 141

第 8 章 汽车电气设备线路 142

8.1 汽车电气设备线路的特点 143

8.2 常用汽车线路电气元件·····	144	9.1.1 汽车导航系统的 功能·····	157
8.2.1 开关·····	144	9.1.2 汽车电子导航系统的 组成与原理·····	157
8.2.2 保险装置·····	144	9.2 汽车音响娱乐系统·····	160
8.2.3 继电器·····	145	9.2.1 汽车音响系统的工作 原理·····	160
8.2.4 导线·····	146	9.2.2 收音机及天线·····	160
8.2.5 线束·····	147	9.2.3 CD/VCD/DVD·····	163
8.2.6 插接器·····	148	9.2.4 MP3·····	164
8.3 汽车电路图·····	148	9.2.5 功率放大器·····	164
8.3.1 汽车整车电路的组成·····	148	9.2.6 扬声器·····	164
8.3.2 汽车电路图的分类·····	149	习题·····	166
8.3.3 汽车电路图的分析·····	152	参考文献·····	167
习题·····	155		
第9章 汽车多媒体系统 ·····	156		
9.1 汽车导航系统·····	157		



第1章

蓄 电 池



本章学习目标

- 了解蓄电池的作用及要求；
- 掌握蓄电池的组成、工作原理；
- 掌握蓄电池的工作特性；
- 掌握蓄电池的使用与维护



本章教学要点

知识要点	能力要求	相关知识
蓄电池的作用及要求	掌握汽车电源的组成、作用、要求	蓄电池和发电机组成汽车电源
蓄电池的组成与工作原理	掌握蓄电池的组成、工作原理	蓄电池充电过程和放电过程
蓄电池的工作特性	掌握蓄电池的充放电特性	蓄电池充电终了和放电终了特征
蓄电池的容量	掌握蓄电池容量的概念及影响因素	放电电流、极板构造、电解液温度
蓄电池的使用与维护	掌握蓄电池的正确使用及维护方法	极板硫化、自放电、活性物质早期脱落
新型蓄电池的工作原理	了解新型蓄电池的工作原理	钠硫电池、燃料电池



导入案例

说起原电池的发明，有一段有趣的故事。1786年，著名的意大利医师、生物学家伽伐尼，偶然发现挂在窗前铁栅栏的铜钩上的青蛙腿肌肉，每当碰到铁栅栏就猛烈地收缩一次。这偶然的发现并没有被伽伐尼放过，经不懈的探索和思考，第一个提出了“动物电”的见解。他认为：青蛙神经和肌肉是两种不同的组织，带有相反电荷，所以两者存在着电位差，一旦用导电材料将两者接通，就有电流通过，铁栅栏和铜钩在此接通了电路，于是有电流产生，由于有动物电流的刺激，蛙腿肌肉发生收缩。



图 1.01 伏特

“动物电”的发现引起了意大利物理学家伏特(图 1.01)的极大兴趣，他在多次重复伽伐尼的“动物电”实验时，发现实验成败的关键在于其中的两种金属——铁和铜，若把钩着蛙腿的铜钩换成铁钩，肌肉就不会收缩。他认为“动物电”的实质是金属属性不同造成的，不同金属带有不同的电量，它们之间必然存在电位差，若有导线在中间连接，就会产生电流，蛙腿的收缩正是这种原因产生的电流刺激的结果。

为了证明自己的发现是正确的，伏特决定更深入地了解电的来源。一天，他拿出一块锡片和一枚银币，把这两种金属放在自己的舌头上，然后叫助手用金属导线把它们连接起来，霎时，他感到满嘴的酸味儿。接着，他将银币和锡片交换了位置，当助手将金属导线接通的一瞬间，伏特感到满嘴的咸味。

这些实验证明，两种金属在一定的条件下就能产生电流。伏特想，只要能把这种电流引出来，就能大有作用。伏特经过反复实验，终于发明了被后人称作“伏特电堆”的电池，这就是在铜板和锌板中间夹上卡纸和用盐水浸过的布片，一层一层堆起来的蓄电池。这种电池，今天仍然在使用着。

蓄电池和发电机这两个电源并联共同构成汽车电源系统。蓄电池的主要作用是在启动发动机时，向起动机和点火系统供电；在发电机电压低或不发电时向用电设备供电；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。蓄电池存电不足时，发电机负载不多时，发电机对其进行充电。蓄电池相当于一个容量很大的电容器，在发电机转速和用电负载发生较大的变化时，可保持汽车电网电压的相对稳定，还可吸收电路中随时出现的瞬时过电压，以保护用电设备尤其是电子元器件不被损坏。

蓄电池用作发动机的起动电源，需要在短时间内(3~5s)向起动机提供大电流(汽油发动机一般为 200~600A，大型柴油发动机可达 1000A)，因此，要求其容量大、内阻小、电压输出稳定，以确保具有良好的起动性能。

1.1 蓄電池的構造及工作原理

蓄電池(俗稱電瓶)是一個可逆的低壓直流電源,即能將電能轉化為化學能儲存,也能通過其內部的化學反應向用電設備供電。蓄電池主要分為普通蓄電池、干荷蓄電池和免維護蓄電池三類。其中在乘用車上使用的蓄電池基本是普通蓄電池與免維護蓄電池這兩類。目前市場上銷售的大部分車型都採用了免維護蓄電池,而多數日系車,甚至包括雷克薩斯和英菲尼迪等這些高檔日系車也都採用普通蓄電池。普通鉛酸蓄電池(圖 1.1)成本較低,需要定期添加蒸餾水、補充電解液進行保養,以保證正常使用,在蓄電池頂端有凸出可拧開的補液口。免維護蓄電池(圖 1.2)日常不需要添加補充液進行維護,使用起來更方便。和普通蓄電池相比,免維護蓄電池電解液的消耗量非常小,在使用壽命內基本不需要補充蒸餾水。它還具有耐震、耐高溫、體積小、自放電小的特點。當然相對的,它的售價也會比普通蓄電池要高。至於使用壽命,正常情況下免維護蓄電池的建議更換週期為3年左右,与普通蓄電池相當。

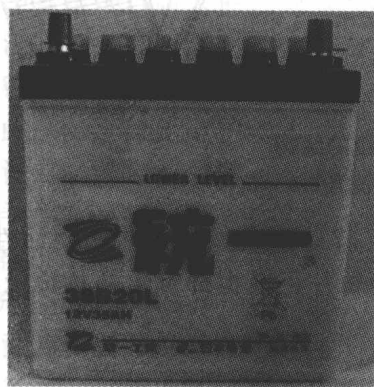


圖 1.1 普通鉛酸蓄電池



圖 1.2 免維護蓄電池

鉛酸蓄電池的基本結構如圖 1.3 所示。

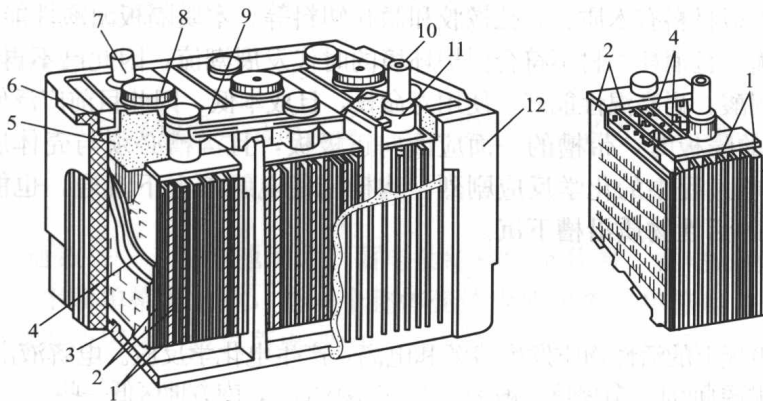


圖 1.3 鉛酸蓄電池的基本結構

1—正極板; 2—負極板; 3—肋條; 4—隔板; 5—護板; 6—封料;
7—負極柱; 8—加液口蓋; 9—連條; 10—正極板; 11—極柱襯套; 12—蓄電池容器



1.1.1 极板与极板组

正极板的活性物质是二氧化铅(PbO_2)，负极板上的活性物质是纯铅(Pb)，它们均由铅膏(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，经加工处理而成。在充足电状态下，正极板呈深棕色，负极板呈深灰色。

将一片正极板和一片负极板浸入电解液中，便可得到 2V 左右的电压。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 1.4(a)]和负极板组[图 1.4(b)]。将正、负极板相互嵌合(中间用隔板隔开)的极板组[图 1.4(c)]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 2V，一个 12V 的蓄电池由 6 个单格电池串联而成。

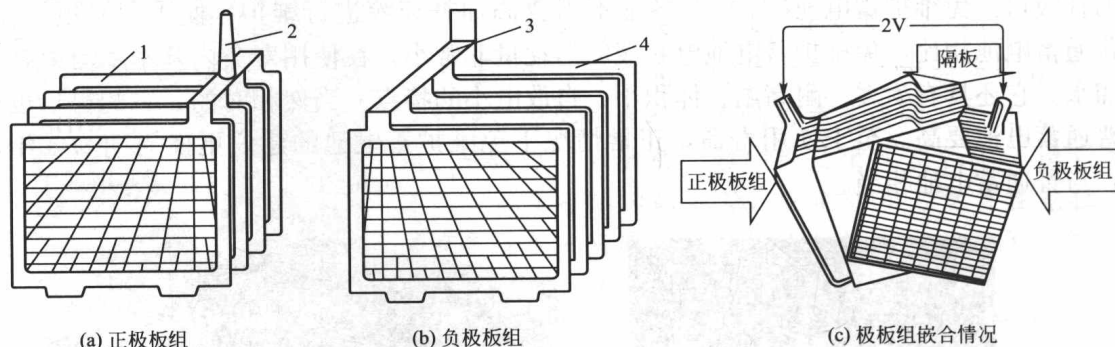


图 1.4 蓄电池极板组的结构

1—正极板；2—极柱；3—汇流条；4—负极板

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，每个单格电池的正极板比负极板少一片，使每片正极板都置于两片负极板之间，使其两面的放电均匀而不容易拱曲。

1.1.2 隔板

正、负极板应尽可能靠近，以减小蓄电池内阻和尺寸。隔板的功用是将正、负极板隔开，防止相邻正、负极板接触而短路。隔板应具有多孔性，以便电解液渗透，还应具有良好的耐酸性和抗氧化性。隔板材料有木质、微孔橡胶和微孔塑料等。木质隔板耐酸性能差，在硫酸作用下容易炭化和变脆，且消耗木材不符合保护环境的时代发展潮流，因此已不再使用。微孔橡胶和微孔塑料隔板耐酸、耐高温性能好，使用寿命长，且成本低，因此目前广泛使用。

安装有沟槽的隔板时，带槽的一面应面向正极板，且沟槽必须与壳体底部垂直。因为正极板在充、放电过程中的化学反应剧烈，沟槽能使电解液上下流通，也能使气泡沿槽上升，还能使脱落的活性物质沿槽下沉。

1.1.3 电解液

电解液可使极板上的活性物质发生溶解和电离，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，其密度一般为 $1.24 \sim 1.30 \text{g/cm}^3$ ，南方地区低一些，北方地区高一些。

1.1.4 壳体及其他

壳体用于盛放电解液和极板组，蓄电池壳体由电池槽和电池盖两部分组成，壳内用间

壁分成3个或6个互不相通的单格，底部的突棱用以搁置极板组，突棱间的凹槽则可积存从极板上脱落的活性物质，以避免沉积的活性物质连接正、负极板而造成短路。对于采用袋式隔板的免维护蓄電池，因为脱落的活性物质存积在袋内，所以没有设突棱。

蓄電池壳体应耐酸、耐热、耐振动、耐冲击等。目前使用的干荷电与免维护蓄電池普遍采用聚丙烯透明塑料壳体，電池槽与電池盖之间采用热压工艺粘合为整体结构，不仅耐酸、耐热、耐振动及耐冲击，而且壳壁薄而轻(厚约2mm)，易于热封合，外形美观，成本低廉，生产效率高。

蓄電池各单格電池之间采用铅质连条串联连接。干荷蓄電池与免维护蓄電池普遍采用穿壁式点焊连接，所用连条尺寸很小，并设在壳体内部，如图1.5所示。

普通蓄電池電池盖设有加液孔，用以加注电解液或用普通密度计测量电解液的密度。目前，越来越多的轿车装备全密封型免维护蓄電池，而这种蓄電池盖上没有加液孔，因此不能用普通密度计测量电解液的密度，为此，在这种免维护蓄電池内部设有温度补偿式密度计。密度计的指示器可用不同颜色指示蓄電池的存电情况和电解液液面高低。电解液密度正常时，指示器显示绿色，表示蓄電池电充足；指示器显示深绿色，表示电解液密度低于标准值，应进行补充充电；指示器显示黄色，表示电解液液面过低，需添加蒸馏水。

单格電池的加液孔盖都设有一通气小孔，用于在蓄電池充电时及时排出因电解水而产生的氢气和氧气，以防止气体聚集而使其内部压力升高，造成容器胀裂甚至产生爆炸事故。为有效地避免水分损失，免维护蓄電池壳体通气孔还设有安全装置——收集水蒸气和硫酸蒸气的集气室，待蒸气冷却后变成液体重新流回电解液内。通气孔中还有催化剂钯，可使氢气和氧气合成水蒸气，冷却后再返回电解液内。

单格電池的加液孔盖都设有一通气小孔，用于在蓄電池充电时及时排出因电解水而产生的氢气和氧气，以防止气体聚集而使其内部压力升高，造成容器胀裂甚至产生爆炸事故。为有效地避免水分损失，免维护蓄電池壳体通气孔还设有安全装置——收集水蒸气和硫酸蒸气的集气室，待蒸气冷却后变成液体重新流回电解液内。通气孔中还有催化剂钯，可使氢气和氧气合成水蒸气，冷却后再返回电解液内。

1.1.5 蓄電池的型号

按JB/T 2599—2012《铅酸蓄電池名称、型号编制与命名办法》规定，国产蓄電池型号的含义如下：

I	II	III
串联单格電池数	蓄電池用途	蓄電池结构特征代号
		蓄電池额定容量

其中，I——串联单格電池数，指一个整体壳体内所包含的单格電池数，用阿拉伯数字表示。II——蓄電池用途，根据蓄電池的主要用途划分，用汉语拼音的首字母表示，如起动型蓄電池用字母“Q”表示；蓄電池结构特征代号为附加说明，在同类用途的产品中具有某种特征需要在型号中加以区别时采用，特征也以汉语拼音字母表示。如果产品同时具有两种特征，原则上按表1-1的顺序将两个代号并列表示。III——额定容量，指20小时率的额定容量，用阿拉伯数字表示，单位为安培·小时(A·h)。

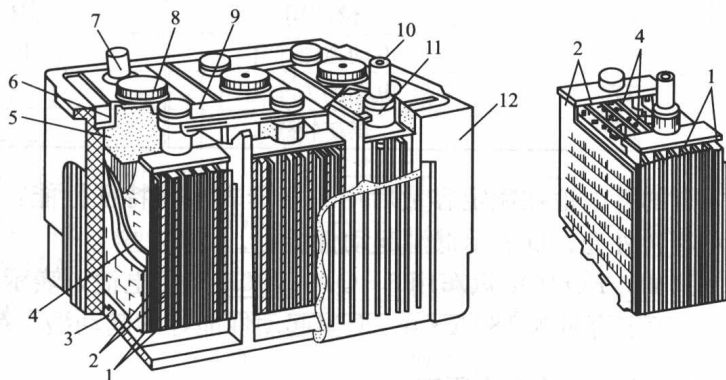


图 1.5 穿壁式连接结构

1—间壁；2—穿壁式连条；3—蓄電池盖



表 1-1 蓄电池用途、结构特征代号

特征代号	蓄电池类型	特征代号	蓄电池类型
Q	起动型	M	密封式
G	固定型	W	免维护
D	牵引(电力机车)用	A	干式荷电
N	内燃机车用	H	湿式荷电
T	铁路客车用	WF	微型阀控制
M	摩托车用	P	排气式
C	船舶用	J	胶体式
CN	储能用	JR	卷绕式
EV	电动道路车用	F	阀控式
DZ	电动助力车用		
MT	煤矿特殊		

有的蓄电池在额定容量后用一字母表示其特征性能: G 表示薄型极板, 高起动率; S 表示塑料外壳; D 表示低温起动性能好。

例如, EQ2102 汽车用 6-QA-180D 型蓄电池, 表示 6 个单格电池组成, 额定电压为 12V、额定容量为 180A·h、低温起动性能好的起动型干荷蓄电池。

1.1.6 蓄电池的工作原理

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。蓄电池通过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。

在蓄电池充放电过程中, 发生的化学反应是可逆的。蓄电池的工作过程就是化学能与电能的转换过程。放电时, 蓄电池将化学能转换为电能供用电设备使用; 充电时, 蓄电池将电能转换为化学能储存起来备用。

根据化学理论, 蓄电池中参与化学反应的物质, 正极板上是二氧化铅(PbO_2), 负极板上是海绵状铅(Pb), 电解液是硫酸水溶液($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$)。当蓄电池和负载接通放电时, 正极板上的二氧化铅和负极板上的铅都将转变成硫酸铅(PbSO_4), 电解液中的硫酸成分减少, 相对密度下降。当蓄电池接通直流电源充电时, 正、负极板上的硫酸铅又将分别恢复成原来的二氧化铅和纯铅, 电解液中的硫酸成分增加, 相对密度增大。

1. 蓄电池电动势的建立

蓄电池的电动势是由正、负极板浸入电解液后产生的。当极板浸入电解液中时, 负极板上有少量的铅溶解生成两价的铅离子 Pb^{2+} , 并在极板上留下两个电子 $2e$ 使极板带负电, 此时, 负极板相对于电解液的电位约为 -0.1V 。在正极板处, 少量 PbO_2 溶解, 并与水 (H_2O) 反应生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$, 再分离成四价 Pb^{4+} 和氢氧根离子 OH^- , 即

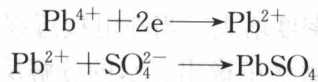


一部分 Pb^{4+} 沉附在正极板上, 使正极板相对于电解液的电位约为 $+2.0\text{V}$ 。因此, 充电的蓄电池在静止状态下的电动势 E_j 约为 2.1V 。

2. 蓄电池的放电过程

将蓄电池的化学能转换成电能的过程称为放电过程。当蓄电池接上负载时, 在电动势

的作用下，负极上的电子 e 经外电路和负载流向正极板，形成放电电流。正极板上 Pb^{4+} 得到 2 个电子变成二价的铅离子 Pb^{2+} ， Pb^{2+} 与电解液中的硫酸根离子 SO_4^{2-} 结合生成 $PbSO_4$ 沉附于正极板上，即



在负极板上， Pb^{2+} 与电解液中 SO_4^{2-} 的结合生成 $PbSO_4$ 沉附在负极板上。与此同时，极板上的金属铅继续溶解成 Pb^{2+} ，并分离出电子。如果电路保持接通，上述化学反应将继续进行，使正极板上的 PbO_2 和负极板上的 Pb 都逐渐转变成 $PbSO_4$ ，电解液中的硫酸逐渐减少而水分逐渐增多，使电解液相对密度逐渐减小。当电位差降低时，流过灯丝的电流就会减小，灯丝发热量相应减少，灯泡亮度变弱，直到不能发光为止。蓄电池放电过程如图 1.6 所示。

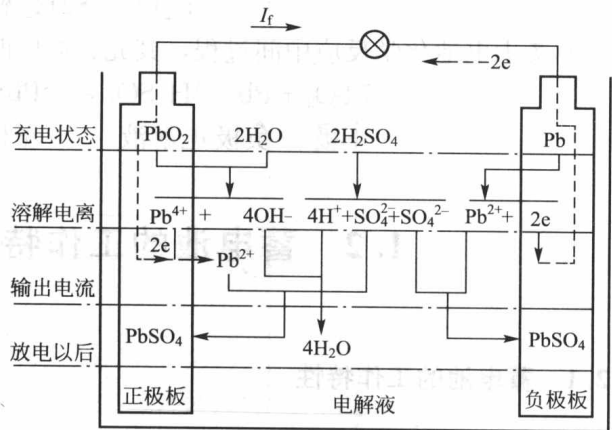


图 1.6 蓄电池放电过程示意图

理论上，放电过程可一直进行到正、负极板上的活性物质全部转变为硫酸铅为止。但由于放电生成的硫酸铅沉附于极板表面，使电解液不能渗入到极板内层，造成极板内层活性物质不能利用。因此，所谓完全放电，事实上只有 20%~30% 的活性物质转变为硫酸铅。要提高活性物质的利用率，就必须增大活性物质与电解液之间的反应面积。目前，常用的措施有采用薄型极板和增大活性物质的孔率。

3. 蓄电池的充电过程

将电能转换成蓄电池的化学能的过程称为充电过程。充电时，蓄电池接直流电源，蓄电池正极接电源正极，蓄电池负极接电源负极。

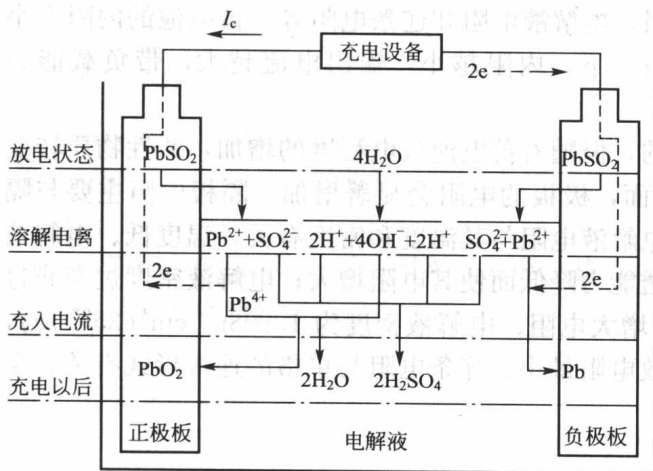


图 1.7 蓄电池充电过程示意图

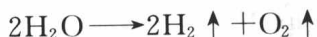
当电源电压高于蓄电池电动势时，在电源力的作用下，正极板的电子 e 经充电电路流向负极板，形成充电电流。正、负极板上的硫酸铅分别还原为二氧化铅和纯铅，电解液中的硫酸成分逐渐增多而水的成分逐渐减少，电解液相对密度逐渐增大。

正极板处，有少量的 $PbSO_4$ 溶入电解液中， Pb^{2+} 失去 2 个电子变为 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；负极板处也有少量的

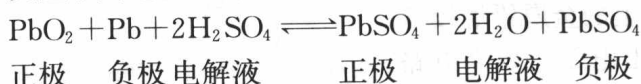


PbSO_4 溶于电解液中, Pb^{2+} 得到 2 个电子变为 Pb , 沉附于负极板上, 正、负极板附件的 SO_4^{2-} 与电解液中 H^+ 的生成 H_2SO_4 。蓄电池充电过程如图 1.7 所示。

充电过程中, 正、负极板上 PbSO_4 的逐渐转化为 PbO_2 和 Pb , 电解液中硫酸逐渐增多, 水逐渐减少, 电解液的相对密度增大。当充电接近终了时, 充电电流会使水分解, 变成 O_2 和 H_2 , 产生大量气泡从电解液中逸出。水的分解反应式为:



不考虑电池化学反应中间过程, 其充、放电时的总反应式如下:



1.2 蓄电池的工作特性及使用与维护

1.2.1 蓄电池的工作特性

1. 蓄电池静止电动势

静止电动势 E_j 是指蓄电池在静止状态下(不充电也不放电)正、负极板之间的电位差(即开路电压)。静止电动势的大小取决于极板上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+} 和电子 e 的数量, 而这受电解液的密度和温度的直接影响。在电解液密度为 $1.050 \sim 1.300 \text{g/cm}^3$ 时, 静止电动势 E_j 与电解液密度及温度的关系可由下面的经验公式表示:

$$E_j = 0.84 + \rho_{25^\circ\text{C}}$$

$$\rho_{25^\circ\text{C}} = \rho_t + 0.00075(t - 25)$$

式中 $\rho_{25^\circ\text{C}}$ ——温度为 25°C 时的电解液密度(g/cm^3);

ρ_t ——实际测得的电解液密度(g/cm^3);

t ——实际测得的电解液温度($^\circ\text{C}$)。

蓄电池内阻包括极板电阻、隔板电阻、电解液电阻和连条电阻等。蓄电池的内阻大小反映了蓄电池带负载的能力。在相同条件下, 内阻越小, 输出电流越大, 带负载能力越强。

极板电阻在完全充电状态下是很小的, 但随着蓄电池放电程度的增加, 活性物质转变成导电性能极差的 PbSO_4 覆盖在极板表面, 极板的电阻会显著增加。隔板电阻主要与隔板的材料、厚度及多孔性等因素有关。电解液电阻与其温度和密度有关, 温度低、电解液密度高时, 会因电解液的黏度增大、渗透能力降低而使其电阻增大; 电解液密度过高或过低时, 还会因为 H_2SO_4 的离解度降低而增大电阻; 电解液密度为 1.208g/cm^3 (25°C) 时, 电解液的离解度最高, 其黏度也不大, 故电阻最小。连条电阻与单格的连接形式有关, 穿壁式连条短, 故其电阻较小。

2. 蓄电池的放电特性

蓄电池的放电特性是指以恒流 I_f 放电时, 蓄电池端电压 U_f 、电动势 E 和电解液密度 ρ

随放电时间的变化规律。图 1.8 所示为以 20h 放电率($I_f=0.05C_{20}$)恒流放电的特性曲线。

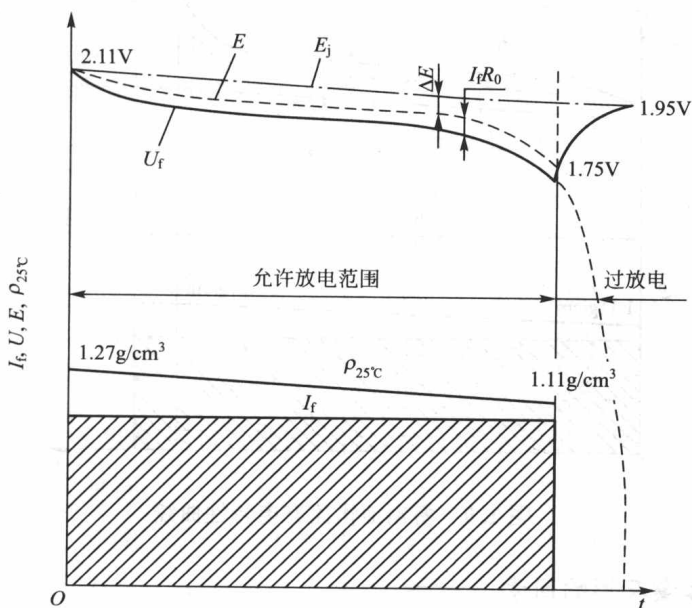


图 1.8 蓄电池恒流放电特性曲线

从放电特性曲线可知，蓄电池放电终了可由两个参数判断：

- (1) 电解液密度下降至最小的许可值；
- (2) 单格电池电压下降至放电终止电压。

终止电压与放电电流的大小密切相关，放电电流越大，放电时间越短，允许放电的终止电压也越低。放电电流与终止电压的关系见表 1-2。

表 1-2 放电电流与终止电压的关系

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

3. 蓄电池的充电特性

蓄电池的充电特性是指以恒流 I_c 充电时，蓄电池充电电压 U_c 、电动势 E 及电解液密度 ρ 等随充电时间变化的规律。图 1.9 所示为以 20h 充电率($I_c=0.05C_{20}$)恒流充电时的特性曲线。

因为充电电压 U_c 必须克服蓄电池电动势 E 和内阻电压降 $I_c R_0$ ，才能在电路中形成电流，所以充电电压始终高于电动势，即

$$U_c = E + I_c R_0$$

蓄电池充足电的特征如下：

- (1) 蓄电池的端电压上升至最大值(单格电池电压为 2.7V)，而且 2h 内不再变化。
- (2) 电解液密度上升至最大值，且 2h 内基本不变。
- (3) 电解液大量冒气泡，呈现“沸腾”现象。

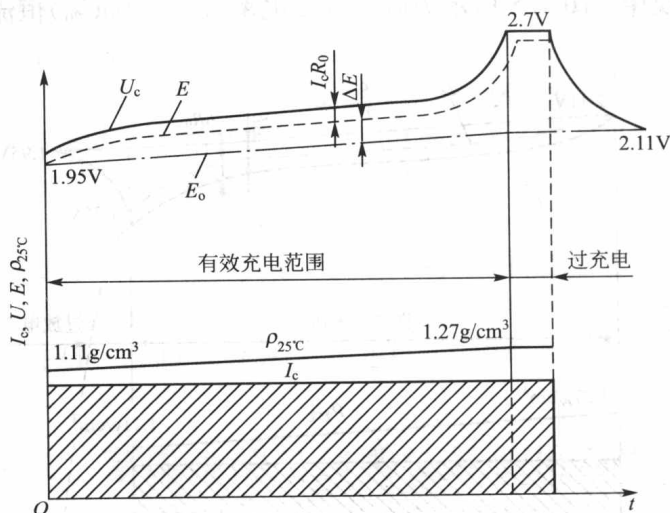


图 1.9 蓄电池恒流充电特性曲线

4. 蓄电池的容量及影响因素

蓄电池的容量是反映蓄电池对外供电能力及选用蓄电池的重要指标，是蓄电池的主要性能参数。蓄电池的容量是指在规定的放电条件下，蓄电池能够输出的电量。当恒流放电时，蓄电池的容量等于放电电流与放电时间之积，即

$$C = I_f T_f$$

式中 C ——蓄电池的容量(A·h)；

I_f ——放电电流(A)；

T_f ——放电时间(h)。

蓄电池的容量与放电电流、温度及电解液的密度等因素有关，因此标称的蓄电池容量是在一定的标准规范下测得的。

(1) 额定容量 C_{20} 。根据 GB/T 5008.1—2013《起动用铅酸蓄电池 第1部分：技术条件和试验方法》的规定， C_{20} 是指完全充足电的蓄电池，在电解液温度为 25℃时，以 20h 放电率($I_f = 0.05C_{20}$)连续放电到单格电池电压降至 1.75V [12V 蓄电池端电压下降至 $(10.50 \pm 0.05)V$ ，6V 蓄电池下降至 $(5.25 \pm 0.02)V$]，蓄电池所输出的电量。额定容量是检验新蓄电池质量和衡量蓄电池能否继续使用的重要指标。新蓄电池达不到额定容量为不合格产品；旧蓄电池的实际容量与其额定容量之差超过某一限值时，则应报废。

(2) 储备容量 C_m 。根据 GB/T 5008.1—2013《起动用铅酸蓄电池 第1部分：技术条件和试验方法》规定， C_m 是指完全充足电的蓄电池，在电解液温度为 25℃时，以 25A 电流连续放电到单格电池电压降至 1.75V 所持续的时间，其单位为 min。蓄电池的储备容量说明当汽车充电系统失效时，蓄电池尚能持续提供 25A 电流的能力。

储备容量与额定容量有如下换算关系

$$C_{20} = \sqrt{17778 + 208.3C_m} - 133.3$$

在 $C_{20} \geq 200A \cdot h$ 或 $C_m \geq 480min$ 时，上式不适用。

(3) 起动容量。常温起动容量：电解液温度为 30℃时，以 5min 率放电电流(3 倍额定容量电流)连续放电至规定的终止电压(6V 蓄电池为 4.5V，12V 蓄电池为 9V)时，所输出

的电量，其放电持续时间应在 5min 以上。

低温起动容量：电解液温度为 -18°C 时，以 3 倍额定容量的电流连续放电至规定终止电压(12V 蓄电池为 6V，6V 蓄电池为 3V)时所放出的电量，其放电持续时间应在 2.5min 以上。表 1-3 是一些主要热门车型的蓄电池参数及价格情况。

表 1-3 热门车型蓄电池参数及价格一览表

车型	是否免维护	品牌	容量/ A·h	低温起动 电流/A	4S 店配件 价格/元	工时费/ 元	总价/元
凯越	是	ACDelco	55	610	675	30	705
朗科拉	是	ACDelco	60	438	645	30	675
新桑塔纳	是	瓦尔塔	51	480	612	120	732
速锐	是	瓦尔塔	70	600	570	30	600
雪铁龙 C4L	是	博世	60	640	539	80	619
标致 3008	是	骆驼	60	640	490	50	540
凯美瑞	否	日立	65	630	595	50	645
天籁	否	统一	62	582	590	48	638
迈锐宝	是	风帆	60	525	715	50	765

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、电解液的温度和电解液的密度四个方面。

(1) 极板构造。极板的面积大，在允许放电范围内能参与电化学反应的活性物质就多，其容量也就大；普通蓄电池一般只利用了 20%~30% 的活性物质，因此，采用薄形极板、增加极板的片数及提高活性物质的孔率，均能提高蓄电池的容量。

(2) 放电电流。放电电流越大，单位时间内所消耗的 H_2SO_4 就越多，加之对极板孔隙阻塞作用的 H_2SO_4 产生速率高，造成孔隙内的电解液密度急剧下降，使蓄电池端电压很快下降至终止电压，缩短了允许放电的时间，使得极板孔隙内的一些活性物质未能参加电化学反应，从而导致蓄电池容量的下降。蓄电池容量与放电电流的关系如图 1.10 所示。

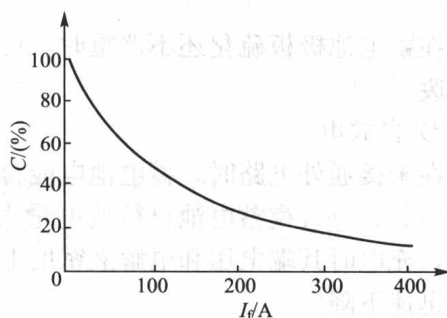


图 1.10 蓄电池容量与放电电流的关系

由于发动机起动时为大电流放电，因此，在起动时应注意：一次起动的的时间不应超过 5s；连续两次起动应间隔 15s 以上，使电解液有渗透到极板孔隙内层的时间，以提高极板内层活性物质的利用率和再次起动的端电压，有利于提高蓄电池的容量和起动性能。

(3) 电解液的温度。电解液温度低，其黏度大，渗透能力下降，使极板内层的活性物质不能充分利用而造成容量降低。此外，温度越低，电解液的溶解度与电离度也越低，又加剧了容量的下降。蓄电池容量与温度的关系如图 1.11 所示。

温度每下降 1°C ，容量下降约为 1% (小电流放电) 或 2% (大电流放电)。因此，适当地