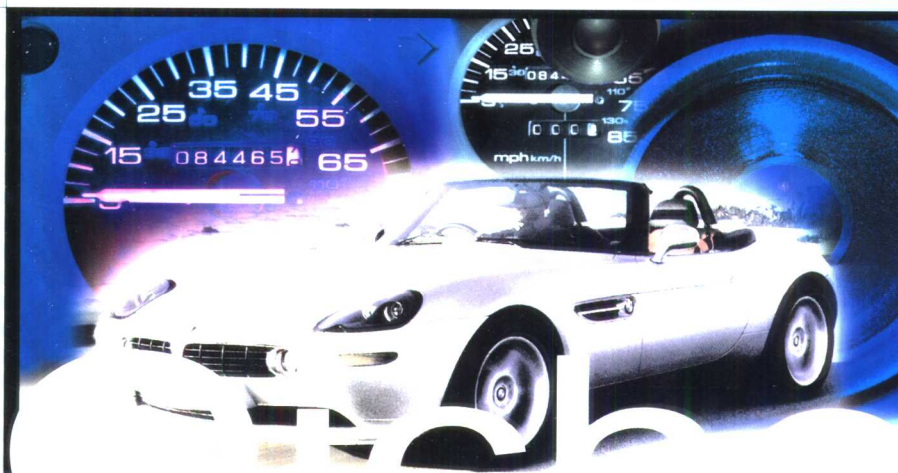


汽车保养与维修丛书

汽车电器及 电子设备

主 编 李朝晖

副主编 郑光泽 刘 杰 廖仕利



重庆大学出版社

汽车电器及电子设备

主 编 李朝晖

副主编 郑光泽 刘 杰 廖仕利

重 庆 大 学 出 版 社

内 容 提 要

为适应汽车电子技术的飞速发展,满足广大读者深入了解汽车电子控制设备的需要,本书对目前广泛应用的汽车电气及电子设备进行了详细的介绍。在保留蓄电池、发动机、起动机和灯光照明等传统意义的汽车电器的基础上,特别增加了电子控制技术方面的内容,全面系统地介绍现代汽车电子控制装置的结构、原理、使用维护等方面的内容。

本书共分11章,分别是:蓄电池、发动机、起动机、传统点火系、电子点火系、照明与信号系统、仪表及指示系统、辅助电器设备、发动机电子控制系统、底盘电子控制系统以及汽车电路分析。本书内容新、图文并茂、通俗易懂,有较强的实用性。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电器及电子设备/李朝晖主编. —重庆:重庆大学出版社,2004.2

(汽车保养与维修丛书)

ISBN 7-5624-2860-3

I. 汽... II. 李... III. ①汽车—电气设备—车辆修理②汽车—电子设备—车辆修理
IV. U472.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 121341 号

汽车电器及电子设备

主 编 李朝晖

副主编 郑光泽 刘 杰 廖仕利

责任编辑:姚正坤 彭 宁 版式设计:彭 宁

责任校对:廖应碧 责任印制:张立全

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美彩色报刊印务有限公司印刷

*

开本:787×960 1/16 印张:18.75 字数:378千 插页:8 开6页

2004年2月第1版 2004年2月第1次印刷

印数:1—6 000

ISBN 7-5624-2860-3/U·28 定价:30.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前 言

随着汽车工业的发展,人们对汽车的动力性、经济性、安全性、舒适性以及减少尾气排放污染等性能的要求也越来越高,传统的汽车电器系统和机械系统已很难满足日趋严格的关于汽车节能、排放和安全法规的要求。因此汽车电子控制技术成为汽车工业大力发展的技术,且其技术日益成熟、迅速普及。电子控制技术的广泛应用使汽车在总体结构、工作原理以及使用维修等方面都发生了根本性的变化。从发动机的燃油喷射、点火控制、进气控制、排放控制、故障自诊断到底盘的传动系统、转向与制动系统,以及车身、辅助装置等都普遍采用了电子控制技术。为适应汽车机电一体化的要求,本书在蓄电池、发动机、起动机和灯光照明等传统意义的汽车电器的基础上,增加了电子控制技术方面的内容,全面系统地介绍现代汽车电子控制装置的结构、原理、使用维护、故障诊断、性能测试及维修等方面的内容,适应了汽车新技术发展的需要。

本书共 11 章,其中第 1,2,3,4,6,7,11 和第 5,8 章中的部分内容以介绍汽车传统电器的结构、原理和维修技术为主;第 9,第 10 和第 5,8 章的部分内容则主要介绍电子控制技术在汽车上应用。包括发动机电控燃油喷射系统、电控自动变速器、制动防抱死系统、电控悬架系统、电控转向系统、自动空调、电动车窗、中央门锁和防盗系统及安全气囊等。

本书由重庆工学院车辆工程学院李朝晖主编,郑光泽、刘杰、廖仕利参编了部分内容。本书不仅融入了作者多年来的教



学、科研成果,而且也反映了当今世界汽车电气技术的最新动向。具有内容新、实用性强,图文并茂、通俗易懂,具有知识的系统性、完整性、科学性,可作为大中专院校汽车专业相关课程的教材,同时也可供汽车使用与维修人员参考。

本书在编写过程中,曾参阅了许多国内外公开出版和发表的文献,在此一并表示感谢。由于编者水平有限,书中可能存在不妥或错漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 蓄电池	1
1.1 蓄电池的构造与型号	1
1.2 蓄电池的工作原理	5
1.3 蓄电池的工作特性	8
1.4 蓄电池的故障及排除	13
1.5 蓄电池的充电	14
1.6 荷电蓄电池	18
1.7 免维护蓄电池	19
第 2 章 交流发电机与调节器	25
2.1 交流发电机的工作原理	25
2.2 交流发电机的构造	31
2.3 交流发电机的特性	39
2.4 交流发电机的调节器	40
2.5 触点振动式调节器	42
2.6 电子式调节器	47
2.7 交流发电机的检查、测试与故障判断	52
第 3 章 起动机	57
3.1 直流电动机的工作原理与特性	57
3.2 起动机的参数选择	62
3.3 起动机的组成与结构	64
3.4 强制啮合式起动机	71
3.5 电枢移动式起动机	73
3.6 减速起动机和永磁起动机	75
3.7 起动机试验	76
第 4 章 点火系	80
4.1 传统点火系的要求	80
4.2 传统点火系的组成与工作原理	81
4.3 影响点火系次级电压的因素	85
4.4 传统点火系的构造	88
4.5 传统点火系的使用与故障诊断	94

第5章 电子点火系统	97
5.1 电子点火装置概述	97
5.2 有触点晶体管电子点火系统	98
5.3 无触点电子点火系统	100
5.4 电容放电式电子点火系统	105
第6章 照明与信号系统	108
6.1 照明系统	108
6.2 信号系统	116
第7章 仪表及指示系统	126
7.1 仪表系统	126
7.2 指示灯系统	134
第8章 汽车的辅助电器设备	140
8.1 电动刮水器及其控制电路	140
8.2 风窗玻璃洗涤器	145
8.3 电动汽油泵	146
8.4 汽车空调	149
8.5 汽车电动座椅、电动车窗及电动后视镜	161
8.6 汽车中央门锁与防盗系统	166
8.7 安全气囊	171
第9章 发动机电子控制系统	177
9.1 电控汽油喷射系统和工作原理	178
9.2 电控汽油喷射系统元器件介绍	185
9.3 典型电控汽油喷射系统	205
第10章 底盘电子控制系统	215
10.1 电子控制自动变速器	215
10.2 制动防抱死控制系统	233
10.3 巡航控制系统	248
10.4 电子控制悬架系统	256
10.5 电子控制转向系统	267
第11章 汽车电路分析	271
11.1 汽车电器基础元件	271
11.2 汽车电路分析	277
11.3 汽车电路实例分析	279
11.4 汽车电路检修常识	290
参考文献	292

第1章 蓄 电 池

蓄电池是汽车的电源之一,它是一可逆直流电源,在汽车上与发电机并联。当发动机正常工作时,用电设备的电能主要由发电机提供;蓄电池的主要作用是:

- 1) 发动机起动时,向起动机和点火系供电;
- 2) 发电机不发电,或电压较低时,向用电设备供电;
- 3) 当发电机超载时,可以协助发电机向用电设备供电;

4) 当发电机的负载较小时,蓄电池会将一部分电能转化为化学能储存起来,也就是充电。另外,蓄电池还相当于一个较大的电容器,具有稳定电网电压的作用。

汽车上使用的蓄电池必须具备短时间内提供很大的电流的能力,这种蓄电池通常称为起动型蓄电池。根据电解液不同,蓄电池有酸性和碱性之分。由于铅酸蓄电池内阻小,电压稳定,在短时间内能供给较大的起动电流(汽油机一般为 200 ~ 600 A,柴油机高达 1 000 A),而且结构简单,价格较低,所以在汽车上被广泛采用。铅酸蓄电池的主要缺点是比能量低,使用寿命较短,但随着铅酸蓄电池的结构、工艺、材料的日益改进,其使用寿命和比能量均有所提高。本章主要介绍铅酸蓄电池,简称蓄电池。

1.1 蓄电池的构造与型号

蓄电池的结构如图 1.1 所示。它是由 3 个或 6 个单格电池串联而成,每个单格的标称电压为 2 V,串联成 6 V 或 12 V 的电源,向汽车用电设备供电。蓄电池主要由下列各部分组成:

1.1.1 极板

极板分为正极板和负极板两种。蓄电池的充电过程是依靠极板上的活性物质和电解液中硫酸的化学反应来实现的。正极板上的活性物质是深棕色的二氧化铅(PbO_2),负极板上的活性物质是青灰色的海绵状纯铅(Pb)。

正、负极板的活性物质分别填充在铅锑合金铸成的栅架上,加入锑的目的是提高栅架的机械强度和浇铸性能。但锑有一定的副作用,锑易从正极板栅架中解析出来而引起蓄电池的自行放电和栅架的膨胀、溃烂,从而影响蓄电池的使用寿命。

负极板的厚度为 1.8 mm,正极板为 2.2 mm,为了提高蓄电池的容量,国外大多

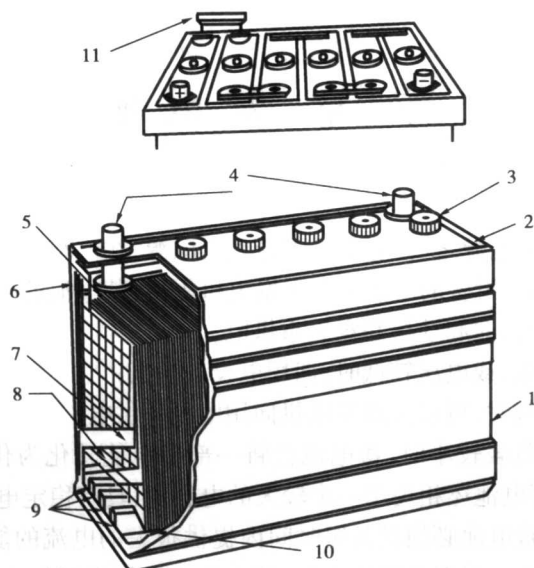


图 1.1 蓄电池结构图

1—蓄电池外壳;2—封料;3—加液孔螺塞;4—正、负极接线柱;5—负极板;

6—连接片;7—隔板;8—正极板;9—肋条;10—沉淀池;11—连接条

采用厚度为 $1.1 \sim 1.5 \text{ mm}$ 的薄型极板。另外,为了提高蓄电池的容量,将多片正、负极板并联,组成正、负极板组。在每单格电池中,负极板的数量总比正极板多一片,正极板都处于负极板之间,使其两侧放电均匀,否则因正极板机械强度差,单面工作会使两侧活性物质体积变化不一致,造成极板弯曲。

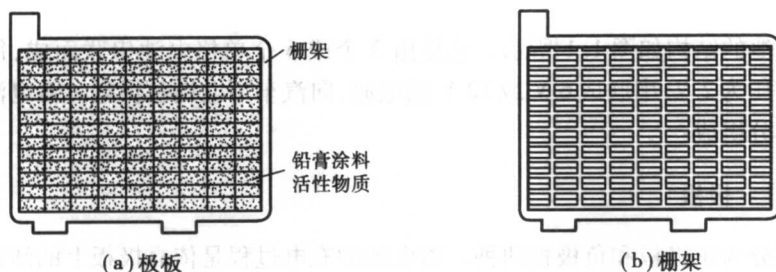


图 1.2

1.1.2 隔板

为了减少蓄电池的内阻和体积,正、负极板应尽量靠近但彼此又不能接触而短路,所以在相邻正负极板间加有绝缘隔板。隔板应具有多孔性,以便电解液渗透,而

且应具有良好的耐酸性和抗碱性。

隔板材料有木质、微孔橡胶、微孔塑料以及浸树脂纸质等。近年来,还有将微孔塑料隔板做成袋状,紧包在正极板的外部,防止活性物质脱落。

1.1.3 壳体

蓄电池的外壳是用来盛放电解液和极板组的,外壳应耐酸、耐热、耐震,早期的蓄电池多用硬橡胶制成。现在国内已普遍采用聚丙烯塑料外壳。这种壳体不但耐酸、耐热、耐震,而且强度高,壳体壁较薄(一般为3.5 mm,而硬橡胶壳体壁厚为10 mm),重量轻,外形美观,透明。

壳体底部的凸筋是用来支持极板组的,并可使脱落的活性物质掉入凹槽中,以免正、负极板短路,若采用袋式隔板,则可取消凸筋以降低壳体高度。

1.1.4 电解液

电解液参与蓄电池正负极板间的化学反应,在充放电的电化学反应中起导电作用。电解液由纯硫酸和蒸馏水按一定比例配置而成,配制电解液必须使用耐酸耐热的器皿。因硫酸的比热比水小,受热时升温快,易产生气泡,造成飞溅现象,所以配制电解液时只能将硫酸徐徐倒入水中,并不断搅拌。

电解液的密度对蓄电池的工作有重要影响,密度大,可以减少结冰的危险并提高蓄电池的容量;但密度过大,将因粘度增加,反而会降低蓄电池的容量,同时还会缩短极板使用寿命。电解液密度应随地区和气候条件而定,表1.1列出了不同地区和气温条件下电解液相对密度。

表 1.1

气 候 条 件	全充电蓄电池 15 ℃时的相对密度	
	冬 季	夏 季
冬季温度低于 -40 ℃地区	1.310	1.250
冬季温度高于 -40 ℃地区	1.290	1.250
冬季温度高于 -30 ℃地区	1.280	1.250
冬季温度高于 -20 ℃地区	1.270	1.240
冬季温度高于 0 ℃地区	1.240	1.240

1.1.5 联条

每个蓄电池总成由3个或6个单格电池组成,额定电压分别为6 V或12 V。传统的连接方式为各个单格电池用装在盖子上面的铅质联条串联起来。这种连接方式,不仅浪费铅材料,而且内阻较大,因而起动时电压降大、功率损耗也大,且易造成短路。故这种连接方式逐步被穿壁式或跨越式连接方式所代替,如图1.3所示。穿壁式连接方式是在相邻单体电池之间的间壁上打孔供连接条穿过,将两个单体电池的极板组极柱连焊在一起;跨越式连接方式是在相邻单体电池之间的间壁上边留有豁口,连接条通过豁口跨越间壁将两个单体电池的极板组极柱相连接,所有连接条均布置在整体盖的下面。

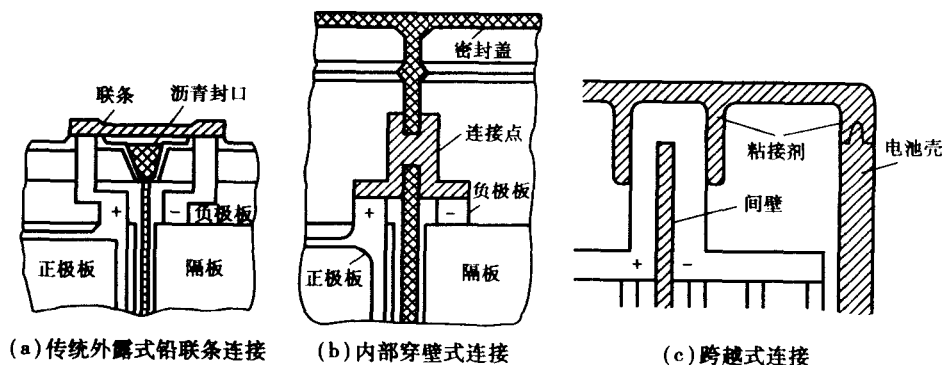


图1.3 单格电池之间的连接示意图

1.1.6 加液孔盖

加液孔盖可防止电解液溅出。加液孔盖上有通气孔,便于排出蓄电池内的 H_2 和 O_2 ,以免发生事故,如在孔盖上安装氧过滤器,还可以避免水蒸气的溢出,减少水的消耗。

蓄电池的型号按我国机械工业部JB 1058—77 起动用蓄电池标准规定,其型号编制和含义由5个部分组成。

- 1——串联单格电池数,用数字表示;
- 2——蓄电池用途,用汉语拼音的第一个字母表示,如Q为起动型;
- 3——极板类型,一般略去不写。如用“A”表示干式负荷电极板;
- 4——20 h放电率额定容量,单位为 $A \cdot h$;
- 5——特殊性能,用汉语拼音第一个字母表示,如“G”表示高起动率。

表1.2列出了起动型铅蓄电池的型号、规格及参数值。

表 1.2 起动机铅蓄电池的型号规格

序号	类别	铅蓄电池 型 号	铅蓄电池 规 格	单格 电池 数	额定 电压 /V	20 h 放电率 额定容量	最大外形尺寸/mm			参考质量/kg	
							长	宽	总高	有电 解液	无电 解液
3	第一类	3—Q—105	6 V, 105 A · h	3	6	105	251	178	250	23	18
4		3—Q—120	6 V, 120 A · h			120	278	178	250	25	20
5		3—Q—135	6 V, 135 A · h			135	305	178	250	27	22
6		3—Q—150	6 V, 150 A · h			150	332	178	250	29	24
7		3—Q—195	6 V, 195 A · h			195	43	178	250	41	34
8	第二类	6—Q—60	12 V, 60 A · h	6	12	60	319	178	250	25	21
9		6—Q—75	12 V, 75 A · h			75	373	178	250	33	27
10		6—Q—90	12 V, 90 A · h			90	427	178	250	39	31
11		6—Q—105	12 V, 105 A · h			105	485	178	250	47	37
12	第三类	6—Q—120	12 V, 120 A · h	6	12	120	517	198		52	41
13		6—Q—135	12 V, 135 A · h			135	517	216	250	58	46
14		6—Q—150	12 V, 150 A · h			150	517	234	250	63	50
15		6—Q—165	12 V, 165 A · h			165	517	252	250	67	54
16		6—Q—195	12 V, 195 A · h			195	517	288	250 250	75	61
17	第四类	6—Q—40G	12 V, 40 A · h	6	12	40	212	172	250	75	61
18		6—Q—60G	12 V, 60 A · h			60	219	172	250	75	61
19		6—Q—80G	12 V, 80 A · h			80	346	172	250	75	61

1.2 蓄 电 池 的 工 作 原 理

蓄电池是由浸渍在电解液中的正极板(二氧化铅 PbO_2)和负极板(海绵状纯铅 Pb)组成,电解液是 H_2SO_4 的水溶液。蓄电池的充电过程和放电过程是一种可逆的化学反应,充放电过程中蓄电池内的导电是靠正、负离子的反向运动来实现的。根据双硫化理论,铅蓄电池中正极板上的活性物质(参与化学反应的物质)是二氧化铅,负板板上是海绵状铅,电解液是硫酸的水溶液。当蓄电池和负载接通放电时,正极板上的 PbO_2 和负极板上的 Pb 都变成 PbSO_4 ,电解液中的 H_2SO_4 减少,相对密度下降。

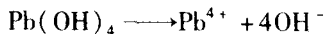
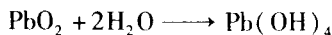


充电时按相反的方向变化,正负极板上的 PbSO_4 分别恢复成原来的 PbO_2 和 Pb , 电解液中的硫酸增加,相对密度变大。如略去中间的化学反应过程可用下式表示:

1.2.1 放电过程

当极板浸入电解液时,在负极板,有少量铅溶入电解液生成 Pb^{2+} ,从而在负极板上留下两个电子,使负极板带负电,此时负极板具有 0.1 V 的负电位。在正极板处,少量 PbO_2 溶入电解液,与水反应生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$,再分离成四价铅离子和氢氧根离子。

即:

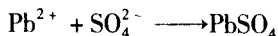
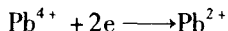


一部分 Pb^{4+} 附在正极板上,使极板呈正电位,约为 +2.0 V。故当外路未接通时,蓄电池的静止电动势 E_0 约为:

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

若接通外电路,在电动势的作用下,使电路产生电流 I ,在正极板处 Pb^{4+} 和负极板来的电子结合,生成二价铅离子 Pb^{2+} 。 Pb^{2+} 与电解液中的 SO_4^{2-} 结合,生成 PbSO_4 而沉附在正极板上,使得正极板电位降低。

即:



在负极板处 Pb^{2+} 与 SO_4^{2-} 结合,生成 PbSO_4 而沉附在负极板上。放电的原始物质过程可用图 1.4 所示的电离过程来表示。如果外电路不中断,正、负极板上的 PbO_2 和 Pb 将不断地转化为 PbSO_4 。电解液中的 H_2SO_4 将不断的减少,而 H_2O 增多,电解液密度下降。理论上讲,放电过程将进行到极板上的活性物质全部变为 PbSO_4 为止。但在实际使用中由于电解液不能渗透到活性物质的最内层,即使放电完了的蓄电池,也只有 20% ~ 30% 的活性物质变成了 PbSO_4 。故采用薄型板,增加多孔率,有利于提高活性物质的利用率。

1.2.2 充电过程

充电时,蓄电池接直流电源,因直流电源端电压高于蓄电池电动势,故电流从正极流入,负极流出。这时,正、负极板发生的反应与放电过程相反,如图 1.5 所示。

正极板处有少量 PbSO_4 溶于电解液变成 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} , Pb^{2+} 在外部电势的作用下失去两个电子,变成 Pb^{4+} ,它又和电解液中 OH^- 结合,生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$, $\text{Pb}(\text{OH})_4$ 又分解成 PbO_2 和 H_2O , PbO_2 沉附在正极板上,而 SO_4 和电解液中的 H^+ 结合成 H_2SO_4 。

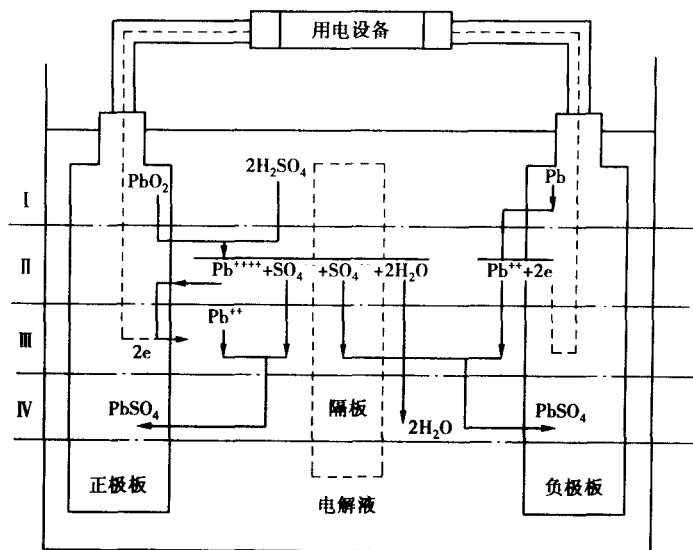


图 1.4 蓄电池放电过程

I—充电状态; II—溶解电离; III—接入负载; IV—放电状态

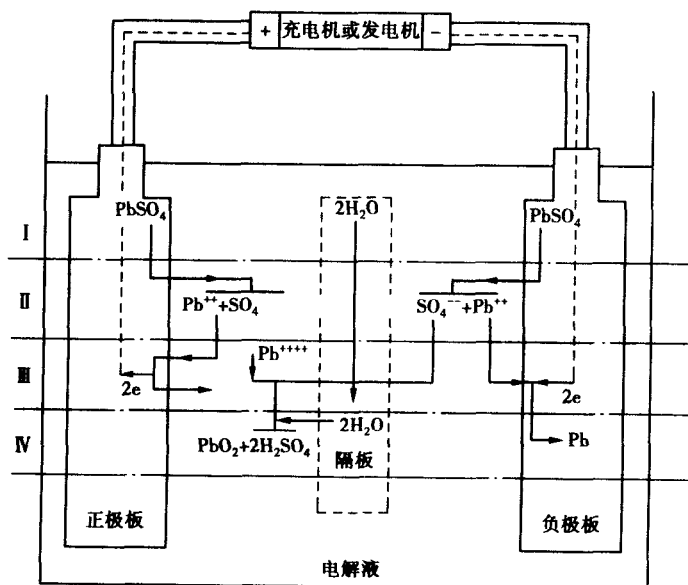
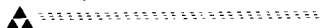
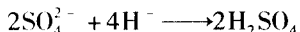
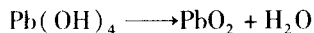
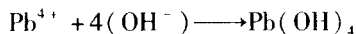
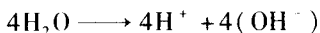
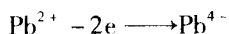
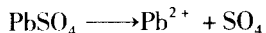


图 1.5 蓄电池充电过程

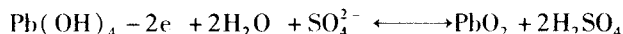
I—放电状态; II—溶解电离; III—通入电流; IV—充电状态



即:

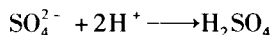
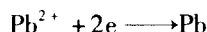
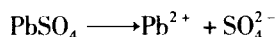


正极板上总反应为:

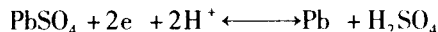


负极板上有少量 PbSO_4 溶入电解液中, 变成 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} , Pb^{2+} 在电源作用下获得两个电子, 变成 Pb 沉附在负极板上, SO_4^{2-} 则和电解液中 H^+ 结合变成 H_2SO_4 。

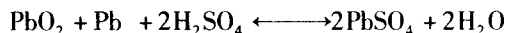
即:



负极板上总反应为:



可见, 充电过程中消耗了水, 生成了硫酸, 故充电时电解液的密度是上升的, 而放电时电解液密度是下降的。蓄电池在充、放电过程中, 总的反应如下:



1.3 蓄电池的工作特性

蓄电池的工作特性主要包括静止电动势、内阻、充放电特性和容量等。

1.3.1 静止电动势和内阻

在静止状态下, 蓄电池正、负极板的电位差称为蓄电池的静止电动势 E_0 , 其大小取决于电解液的密度和温度。在电解液密度为 $1.050 \sim 1.300 \text{ g/cm}^3$ 范围内, 单格电池的静止电动势 E_0 。可用如下经验公式来近似计算:

$$E_0 = 0.85 + \gamma_{25\text{℃}} \quad (1.1)$$

式中: $\gamma_{25\text{℃}}$ ——25℃时电解液的相对密度。

实测所得电解液相对密度应按下式换算成 25℃时的相对密度:

$$\gamma_{25\text{℃}} = \gamma_t + \beta(t - 25)$$

式中: γ_t ——实际测得的相对密度;

t ——实际测得的温度；

β ——相对密度温度系数 $\beta = 0.00075$ ，即电解液温度升高 1°C ，密度下降 0.00075 。

汽车用蓄电池电解液的相对密度在充电时增高，放电时下降，一般在 $1.12 \sim 1.308$ 之间波动，因此蓄电池的静止电动势也相应的变化在 $1.97 \sim 2.15\text{ V}$ 之间。

蓄电池的内阻包括极板、隔板、电解液、铅质联条等的内阻。充电后，极板电阻变小，放电后，由于生成的 PbSO_4 增多，极板电阻增大。

隔板电阻因所用材料而异，木质隔板电阻比其他隔板电阻大。

电解液的电阻随相对密度、温度而变化，电阻随温度的降低而增大。另外，当密度为 1.2 g/cm^3 (15°C)，因电解液离解最好，电阻最小。总之，蓄电池的内阻比较小，能获得较大的输出电流，适合起动的需要。

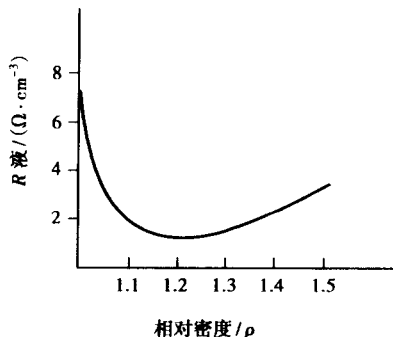


图 1.6

1.3.2 充电特性

蓄电池的充电特性是指在恒流充电过程中，蓄电池的端电压 U ，电动势 E 和电解液密度 $\gamma_{25^\circ\text{C}}$ 随时间变化的规律。

在充电过程中，电流恒定，单位时间内所生成的硫酸量是一定的，电解液密度 $\gamma_{25^\circ\text{C}}$ ，静止电动势 E_0 与充电时间成直线关系增长。端电压 U 也不断上升，并总大于电动势 E 。

充电开始阶段，电动势和端电压迅速上升，然后缓慢上升到 $2.3 \sim 2.4\text{ V}$ ，开始产生气泡，接着电压急剧上升到 2.7 V ，但不再上升，电解液呈现“沸腾”状态，这就是充电终了。如果此时切断电流，电压将迅速降低到静止电动势 E_0 的数值。

端电压 U 如此变化的原因是：刚开始充电时，在极板孔隙表层中，首先形成硫酸，使孔隙中电解液密度增大， U 和 E 迅速上升，当继续充电至孔隙中产生硫酸的速度和向外扩散速度达到平衡时， U 和 E 随着整个容器内电解液密度缓慢上升。当端电压达到 $2.3 \sim 2.4\text{ V}$ 时，极板上可能参加变化的活性物质大多恢复为 PbO_2 和 Pb ，若继续通电，便使电解液中水分解，产生 H_2 和 O_2 ，以气泡形式放出，形成“沸腾”现象。因为氢离子在极板与电子的结合不是瞬时的而是缓慢的，于是在靠近负极板处积存大量的正离子 H^+ ，使溶液和极板产生附加电位差 (0.33 V)，因而端电压急剧升高到 2.7 V 左右，此时应切断电路，停止充电，否则不但不能增加蓄电池的电量，反而

会损坏极板。

由此可知,蓄电池充电终了的特征是:

- 1) 蓄电池内产生大量气泡,形成“沸腾”现象。
- 2) 电解液密度,端电压上升到最大值,且 2~3 h 内不再增加。

图 1.7 为 3—Q—75 型蓄电池以 10.5 A 电流充电时的一组特性曲线。

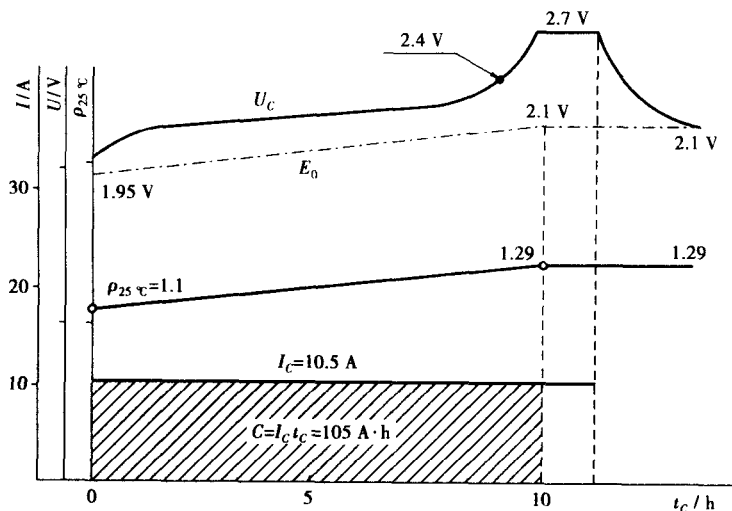


图 1.7 蓄电池充电特性

1.3.3 放电特性

蓄电池的放电特性是指在恒流放电过程中,蓄电池的端电压 U 和电解液密度 $\gamma_{25^\circ\text{C}}$, 随时间而变化的规律,图 1.8 是将 3—Q—75 型蓄电池以 5.25 A 电流放电时的放电特性。

放电过程中,电流恒定,单位时间内所消耗的硫酸量是一定的,所以电解液的密度 $\gamma_{25^\circ\text{C}}$ 沿直线下降,一般 $\gamma_{25^\circ\text{C}}$ 每下降 0.028~0.030,蓄电池放电约 25%。因静止电动势 E_0 与 $\gamma_{25^\circ\text{C}}$ 成正比,所以 E 也是沿直线下降。

放电过程中,因为蓄电池内阻 R 上有压降,所以端电压 U 总是小于电动势 E_0 。放电刚开始时,端电压 U 从 2.1 V 迅速下降,这是因为极板孔隙中硫酸迅速消耗,密度降低的缘故。当渗透到极板孔隙的硫酸和消耗的硫酸达到平衡时,端电压将随着整个容器电解液的密度降低而缓慢下降到 1.85 V,接着迅速下降到 1.75 V,此时应停止放电,若继续放电,端电压将急剧下降,损坏极板,这是因为放电接近终了时,极板的活性物质大部分已转变为 PbSO_4 而积聚在孔隙中,将孔隙堵塞,容器中电解液渗入极板内层比较困难,使极板孔隙中电解液密度迅速下降,从而使端电压急剧下降。