



21世纪全国高校应用人才培养汽车类规划教材

汽车电器 与电子控制技术

QICHE DIANQI YU DIANZI KONGZHI JISHU

(第2版)

曲金玉 崔振民 主 编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21世纪全国高校应用人才培养汽车规划教材

汽车电器与电子控制技术

(第2版)

主 编 曲金玉 崔振民



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书全面、系统地讲述了汽车电器设备与电子控制系统的结构、原理、电路分析与检测诊断。全书共分 17 章:第 1 至 7 章分别讲述蓄电池、交流发电机与调节器、起动系统、电子点火系统、照明与信号系统、汽车仪表与报警指示灯系统、汽车辅助电器设备等;第 8 至 16 章分别讲述电子燃油喷射系统与汽油发动机管理系统、柴油机高压共轨喷射系统、电控自动变速器、防抱死制动系统与驱动防滑系统、安全气囊系统、汽车巡航控制系统、电子控制悬架系统、汽车网络系统、汽车导航系统等;第 17 章讲述了汽车整车电路。各章结合上海大众桑塔纳 2000、帕萨特 B5、上海通用别克、广州本田雅阁、红旗、奥迪 A6、捷达等轿车,以及东风 EQ1090、解放 CA1091 等货车,玉柴 YC6J220-30 高压共轨喷射柴油机的系统电路,对各系统的组成、结构与工作原理、电路和故障检测诊断方法进行分析讲解。

本书可作为高等院校汽车运用工程、汽车服务工程、交通运输、车辆工程、汽车电子技术等专业的教材或参考书,也可供从事汽车设计制造、汽车检测维修、汽车运输管理等行业的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电器与电子控制技术 / 曲金玉, 崔振民主编. —2 版. —北京: 北京大学出版社, 2012. 1
(21 世纪全国高校应用人才培养汽车类规划教材)
ISBN 978-7-301-19777-6

I. ①汽… II. ①曲… ②崔… III. ①汽车—电气设备—高等学校—教材 ②汽车—电子控制—高等学校—教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 237905 号

书 名: 汽车电器与电子控制技术(第 2 版)

著作责任者: 曲金玉 崔振民 王编

责任编辑: 胡伟晔

标准书号: ISBN 978-7-301-19777-6/U·0063

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

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126 出版部 62754962

网 址: <http://www.pup.cn>

电子信箱: zyjy@pup.cn

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.5 印张 621 千字

2006 年 8 月第 1 版 2012 年 1 月第 2 版 2012 年 1 月第 1 次印刷 总第 2 次印刷

定 价: 49.00 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

前 言

随着汽车技术的发展,汽车电器和电子控制技术在汽车中占有日益重要的地位。汽车电器和电子控制技术的应用是提高汽车动力性、经济性、安全性、可靠性、操纵方便性、舒适性和降低排放的重要手段。汽车电器和电子控制技术是汽车运用工程、交通运输、汽车服务工程、车辆工程、汽车电子技术等专业重要的专业课之一。为满足本课程的教学要求,在本书2006年第1版的基础上,结合汽车电器与电子控制技术近几年的发展和应用,对全书内容进行了认真修订,并增加了直喷汽油发动机管理系统、柴油机高压共轨喷射系统、电控无级变速器、汽车网络系统、汽车导航系统等章节。

本次修订仍保持“理论联系实际,力求内容系统、新颖、图文并茂、重点突出”的特色。各章节在讲解系统组成、结构原理的基础上,结合常见新车型的典型电路进行分析讲解,旨在加强培养学生汽车电路分析能力和实际应用能力,并可满足案例教学的要求。对于交流发电机与调节器、电子点火系统、电子燃油喷射系统与汽油发动机管理系统、柴油机高压共轨喷射系统、电控自动变速器、防抱死制动控制系统和安全气囊系统等重要章节,在全面、系统地讲解其基本组成、结构原理的基础上,还介绍了部分车型的电路示例及其检测诊断方法。

本次修订后全书共分17章,第1至7章侧重讲述汽车电器设备,第8至16章侧重讲述汽车电子控制系统,第17章侧重讲述汽车整车电路。参加本次修订和编写的有:鲁东大学谢在玉(第1章),山东理工大学曲金玉(第2章、第8章、第9章、第10章、第13章),山东理工大学刘静(第3章),山东交通职业学院崔振民(第4章、第17章),山东理工大学邵金菊(第5章),山东理工大学王儒(第6章),江苏大学刘占锋(第7章),烟台大学任桂周(第11章),山东理工大学周英超(第12章),济宁职业技术学院郭常亮(第14章),山东理工大学张益瑞(第15章、第16章)。

本书由曲金玉、崔振民任主编。全书内容由曲金玉、崔振民进行了全面修订。

本书在编写过程中参照了大量的书籍资料,在此向原书作者表示真诚的感谢。由于作者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2011年8月

目 录

第 1 章 蓄电池	1
1.1 蓄电池的结构与型号	1
1.2 蓄电池的工作原理	3
1.3 蓄电池的工作特性	5
1.4 蓄电池的充电	9
1.5 新型蓄电池	12
1.6 蓄电池的使用与维护	16
1.7 思考题	18
第 2 章 交流发电机与调节器	19
2.1 汽车电源系统的组成	19
2.2 交流发电机的类型和构造	19
2.3 交流发电机的工作原理	24
2.4 交流发电机的工作特性	28
2.5 电压调节器	29
2.6 充电系统电路实例分析	35
2.7 交流发电机与调节器的检测与实验	38
2.8 充电系统故障判断与排除	43
2.9 42 V 汽车电源系统简介	45
2.10 思考题	46
第 3 章 起动系统	47
3.1 起动系统的组成和作用	47
3.2 起动机的结构与工作原理	47
3.3 起动机的传动机构和电磁操纵机构	52
3.4 减速起动机和永磁起动机	54
3.5 汽车起动系统电路实例分析	56
3.6 起动机的试验与检修	58
3.7 思考题	63
第 4 章 传统点火系统与电子点火系统	64
4.1 概述	64
4.2 传统点火系统的组成及其工作原理	65
4.3 无触点电子点火系统	74
4.4 微机控制点火系统	78

4.5	无分电器点火系统	84
4.6	电子点火系统的故障诊断	87
4.7	思考题	90
第5章	照明与信号系统	91
5.1	照明与信号系统的组成及其要求	91
5.2	照明系统	92
5.3	灯光信号系统和声响信号系统	106
5.4	声响信号系统	108
5.5	思考题	110
第6章	汽车仪表与报警指示灯系统	111
6.1	汽车仪表与报警指示灯系统的组成	111
6.2	汽车仪表系统	111
6.3	汽车报警灯	117
6.4	仪表信息终端	119
6.5	思考题	120
第7章	汽车辅助电器设备	121
7.1	电动刮水器与风窗洗涤器	121
7.2	汽车空调	123
7.3	风窗除霜装置和电动门窗	128
7.4	汽车音响	129
7.5	中控门锁	130
7.6	思考题	131
第8章	电子燃油喷射系统与汽油发动机管理系统	132
8.1	电子燃油喷射系统概述	132
8.2	L型、LH型多点电子燃油喷射系统	133
8.3	D型电子燃油喷射系统	149
8.4	单点电子燃油喷射系统	152
8.5	汽油发动机管理系统	154
8.6	发动机辅助控制系统	156
8.7	直喷汽油发动机管理系统	166
8.8	发动机管理系统电路和检测诊断	182
8.9	思考题	190
第9章	柴油机高压共轨喷射系统	192
9.1	柴油机高压共轨喷射系统组成和基本工作原理	192
9.2	高压共轨供油系统	193
9.3	进气增压系统与排气系统	198
9.4	电控系统	199
9.5	高压共轨喷射系统的故障检测与诊断	207
9.6	思考题	211

第 10 章 电控自动变速器	212
10.1 概述	212
10.2 液力变矩器和行星齿轮变速器	214
10.3 电子控制系统	222
10.4 汽车无级变速器 (CVT)	228
10.5 电控自动变速器的故障检测与诊断	236
10.6 思考题	241
第 11 章 防抱死制动系统与驱动防滑系统	242
11.1 ABS 系统基本工作原理	242
11.2 ABS 的组成与结构	244
11.3 驱动防滑系统	251
11.4 驱动防滑系统的组成与结构	253
11.5 ABS/ASR 系统故障诊断与维修	255
11.6 思考题	268
第 12 章 安全气囊系统	269
12.1 安全气囊系统的作用和基本类型	269
12.2 安全气囊系统的组成和工作原理	270
12.3 安全气囊系统的故障检测	281
12.5 思考题	287
第 13 章 汽车巡航控制系统	288
13.1 巡航控制系统的组成与工作原理	288
13.2 巡航控制系统的电路和部件结构	289
13.3 巡航控制系统的故障诊断	292
13.4 思考题	296
第 14 章 电子控制悬架系统	297
14.1 半主动悬架与主动悬架的概念	297
14.2 半主动悬架系统	297
14.3 主动悬架系统	299
14.4 电子控制悬架的故障诊断与检测实例	305
14.5 思考题	308
第 15 章 其他电子控制系统	309
15.1 超声波倒车雷达系统	309
15.2 汽车导航系统	312
15.3 轮胎压力监控系统	316
15.4 思考题	320
第 16 章 汽车网络系统	321
16.1 概述	321
16.2 CAN 总线基本原理	328
16.3 汽车网络系统应用实例——奥迪 A6L 多媒体交互系统	335

16.4 思考题	341
第17章 汽车整车电路	342
17.1 汽车整车电路的组成和特点	342
17.2 汽车电路中的导线、线束和插接件	343
17.3 开关、继电器和熔断丝	345
17.4 帕萨特 B5 轿车全车电路图及识读方法	347
17.5 思考题	398
参考文献	399

第1章 蓄电池

蓄电池是一种可逆直流电源，在汽车上与发电机并联组成电源系统向用电设备供电。蓄电池的作用是：

- (1) 汽车发动机起动时，向发动机和点火系统供电。
- (2) 当发电机不发电或电压较低时向用电设备供电。
- (3) 发电机过载时，协助发电机向用电设备供电。
- (4) 发动机正常运转时，发电机向蓄电池充电。
- (5) 蓄电池还有稳定电压的作用。蓄电池相当于一个大的电容器，可吸收电路中的瞬时高电压，从而保护电子元件不被击穿。

汽车用的是起动型蓄电池，满足起动发动机的需要，5~10 s 内向起动机提供强大的电流，一般汽油机为 200~600 A，有些柴油机高达 1 000 A。

铅酸蓄电池结构简单，价格低廉，同时其内阻小，起动性能好，因此在汽车上得到广泛的应用。车用铅酸蓄电池按其结构特点不同，可分为普通型、干荷型、免维护型和胶体型铅酸蓄电池。本章主要介绍汽车用起动型铅酸蓄电池。

1.1 蓄电池的结构与型号

1.1.1 蓄电池的构造

蓄电池的构造如图 1-1 所示，一般由 3 个或 6 个单格电池串联而成。单格电池主要由极板、隔板、电解液和外壳等组成。每个单格电池的标称电压为 2 V。

1. 极板

极板是蓄电池的基本部件，由它接受输入的电能和向外释放电能。极板的活性物质与电解液反应，完成蓄电池的充、放电化学反应。

蓄电池的极板分为正极板和负极板，它们都是由栅架和涂在栅架上的活性物质构成的，正、负极板的外形相同。

极板栅架由铅锑合金浇铸而成，加锑是为了改善浇铸性能和提高机械强度。

正极板的活性物质是棕红色的二氧化铅 (PbO_2)，负极板的活性物质是青灰色的海绵状纯铅 (Pb)。为了使电解液能顺利渗入极板内部，极板的活性物质应具有多孔性。

将正、负极板各一片，浸入电解液内，可获得约 2.1 V 的电动势。为了增大蓄电池的容量，在单格电池中，将多片正、负极板分别焊接成正、负极板组。然后将正、负极板组交错装插在一起，形成单格电池的极板组。在一个单格内负极板总是比正极板多一片，这样可以使正极板两面都处于负极板之间，正极板放电均匀，避免了正极板两侧活性物质体积变化不一致造成的极板拱曲、活性物质脱落。

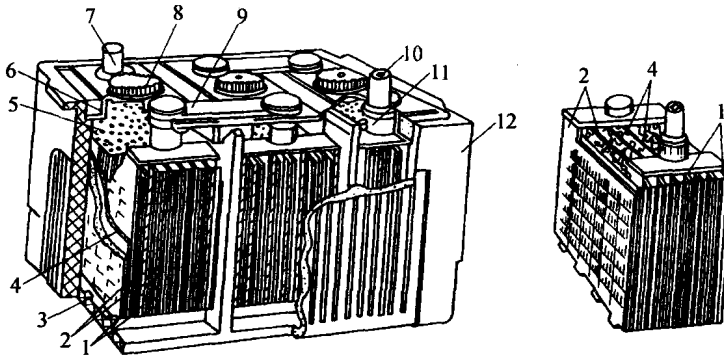


图 1-1 蓄电池的构造

1. 正极板隔壁 2. 负极板 3. 肋条 4. 隔板 5. 护板 6. 封料 7. 负接线柱
8. 加液口盖 9. 联条 10. 正接线柱 11. 接线柱衬套 12. 蓄电池外壳

2. 隔板

隔板安装在正、负极板之间，其作用是使正负极板尽量靠近而又不至于接触短路，以缩小蓄电池的体积，防止极板变形及活性物质脱落。

隔板多采用微孔塑料、橡胶、纸质及玻璃纤维等材料制成。隔板材料具有多孔性，便于电解液渗透，还要具有耐酸、绝缘、抗氧化等性能。隔板通常一面带有沟槽（或玻璃纤维），安装时，应将带沟槽面朝向正极板，并使沟槽竖直放置。

3. 电解液

电解液是由相对密度为 1.84 的纯硫酸 (H_2SO_4) 和蒸馏水 (H_2O) 配制而成的，相对密度一般在 1.24 ~ 1.31 之间。使用时应根据制造厂的要求和当地的气温条件选择，见表 1-1。

表 1-1 不同地区和气候条件下的电解液的相对密度

使用地区最低气温 ($^{\circ}\text{C}$)	全充电 25°C 时的相对密度	
	冬季	夏季
< -40	1.31	1.27
-30 ~ -40	1.29	1.26
-20 ~ -30	1.28	1.25
0 ~ 20	1.27	1.24

4. 外壳

蓄电池外壳为一整体式结构的容器，极板、隔板和电解液均装入外壳内，外壳应耐酸、耐热、耐寒、耐震。外壳的材料有硬质橡胶和聚丙烯塑料两种，由于聚丙烯材料的外壳轻，美观透明，且综合性能好，现已取代了传统的硬橡胶外壳。外壳被间壁分为 3 个或 6 个互相分离的小格子，底部有凸起的肋条支撑极板组，肋条之间的空间用来盛放极板脱落的活性物质，以防极板短路。

采用橡胶外壳时，每单格有一个小盖，小盖两端的孔是为了将单格电池的电极穿出，中间有一个电解液加液孔，平时拧装一个螺塞（又称加液孔盖），螺塞上有一个通气小孔，蓄电池使用时应保持其畅通。盖子与外壳间用封口胶密封。

5. 联条

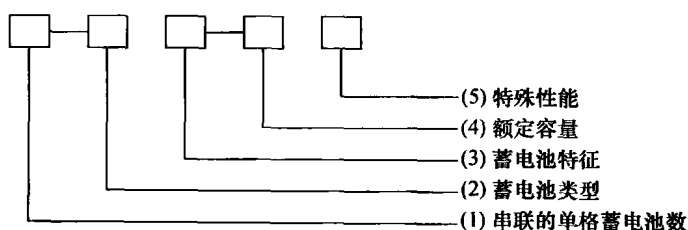
联条的作用是将各单格电池串联起来。传统蓄电池的联条是外露式的，用铅锑合金铸造而成，耗材较多、电阻较大，已逐渐被穿壁式或跨接式取代。

6. 极桩

极桩有锥台形和 L 形等形式。为便于识别，在极桩的上方或旁边标刻有“+”（或 P）“-”（或 N）标记，或者在正极桩上涂红色油漆。

1.1.2 蓄电池的规格型号

根据我国原机械工业部 JB 2599 - 1985 《起动型铅酸蓄电池标准》规定，蓄电池型号由三部分组成，其内容及排列如下：



(1) 串联的单格电池数，用阿拉伯数字表示。

(2) 电池类型，按蓄电池的主要用途划分，起动型蓄电池用“Q”表示。

(3) 电池特征，用字母标注。无特殊特征时，该项省略不标；当产品同时具有两种特征时，应按表 1-2 的顺序将两个特征代号并列标注。

(4) 额定容量，指 20 h 放电率时的额定容量，用阿拉伯数字表示，单位是安培小时 (A · h)。

(5) 特殊性能，用大写字母表示，如高温起动蓄电池用“G”表示，低温起动性能好的蓄电池用“D”表示，塑料外壳蓄电池用“S”表示等。

表 1-2 蓄电池的结构代号

结构特征	代号	汉字	结构特征	代号	汉字	结构特征	代号	汉字
干荷电	A	干	湿荷电	H	湿	免维护	W	维

例如，红旗 CA7220AE 型轿车用 6-QA-60S 型蓄电池，是由 6 个单格电池组成，额定电压为 12 V，额定容量为 60 A · h，采用塑料外壳的干荷电起动型蓄电池。

1.2 蓄电池的工作原理

蓄电池的充电过程和放电过程是一种可逆的化学反应：充电过程是将电能转化为化学能，放电过程是将化学能转化为电能。

1.2.1 充电过程

蓄电池的充电过程是将电能转化为化学能的过程。充电时，当电源电压高于蓄电池的电动势时，在电场力的作用下，电流从蓄电池正极流入，再从负极流出。此时的化学反应

过程如图 1-2 所示。

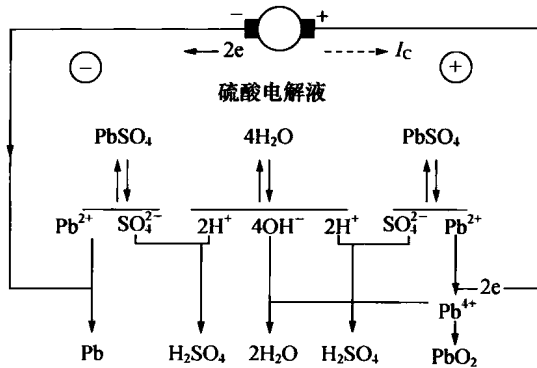
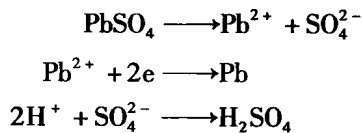
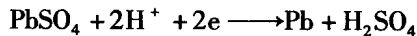


图 1-2 蓄电池的充电过程

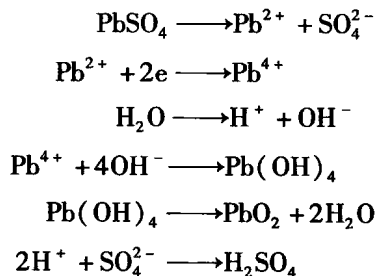
在负极板处, PbSO_4 溶解并电离出 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} , Pb^{2+} 获得两个电子, 还原为铅原子而附着在负极板上, 而 SO_4^{2-} 则与电解液中的 H^+ 结合生成 H_2SO_4 , 即



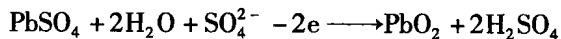
负极板上总的反应式为



在正极板处, PbSO_4 先电离出 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} , Pb^{2+} 失去两个电子变为 Pb^{4+} , Pb^{4+} 和 OH^- 结合, 生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$; $\text{Pb}(\text{OH})_4$ 又分解为 PbO_2 附着在极板上, 同时生成 H_2O ; 而 SO_4^{2-} 又和 H^+ 结合生成 H_2SO_4 , 即

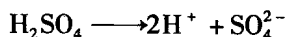


正极板上总的反应式为

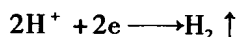


可见, 在充电的过程中, 极板上的 PbSO_4 被逐渐还原为 PbO_2 和 Pb , 电解液中的 H_2SO_4 成分逐渐增多, H_2O 逐渐减少, 电解液的相对密度是上升的。

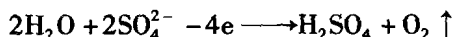
充电终了, 电解液的相对密度将升至最大值, 这时会引起水的分解, 水分解的化学反应方程式为



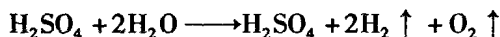
负极板上



正极板上



充电終了总的反应式为



1.2.2 放电过程

蓄电池的放电过程就是化学能转化为电能的过程。当蓄电池接上负载，在电动势的作用下，电流从正极经过负载流向负极。放电时的化学反应过程如图 1-3 所示。

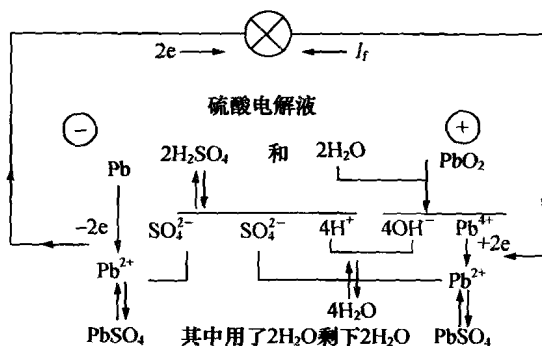
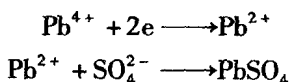
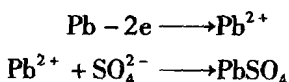


图 1-3 蓄电池的放电过程

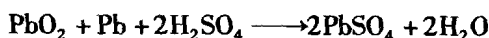
在正极板处， Pb^{4+} 获得两个电子变成 Pb^{2+} ， Pb^{2+} 与电解液中的 SO_4^{2-} 结合生产 PbSO_4 吸附于极板上，即



在负极板上的活性物质铅溶解，生成 Pb^{2+} ，负极板处，电解液中的 Pb^{2+} 与 SO_4^{2-} 结合生成的 PbSO_4 沉附于极板上，即



放电的总的反应式为



1.3 蓄电池的工作特性

1.3.1 静止电动势

静止电动势 E_j 指当蓄电池内部工作物质处于静止状态（不进行放、充电）时，单格电池正、负极之间的电位差。静止电动势的大小取决于电解液的相对密度和温度，可由以下经验公式计算：

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

$\rho_{25^\circ\text{C}}$ 为 25°C 时的电解液相对密度值，可根据下式将实测的电解液相对密度换算为 25°C 时的电解液相对密度：

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

式中, ρ_t ——实际测到的电解液相对密度

t ——实际测到的电解液温度

β ——相对密度温度系数, 其值为 0.00075

1.3.2 蓄电池的内阻

内阻 R_0 包括电解液电阻、极板电阻、隔板电阻及联条与极桩电阻 4 部分。起动型蓄电池的内阻很小, 小于 0.01Ω , 因此可以获得大的起动电流。在蓄电池使用过程中, 隔板电阻、联条与极桩电阻变化较小, 影响蓄电池内阻的主要因素是电解液电阻和极板电阻。极板电阻一般很小, 但它随蓄电池的放电而逐渐增大。电解液电阻随其温度和密度的变化而变化, 温度降低电阻增大。

1.3.3 蓄电池的充电特性

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_c)、静电动势 (E_j) 和电解液相对浓密度 ($\rho_{25^{\circ}\text{C}}$) 随充电时间变化的规律, 蓄电池的充电特性曲线如图 1-4 所示。

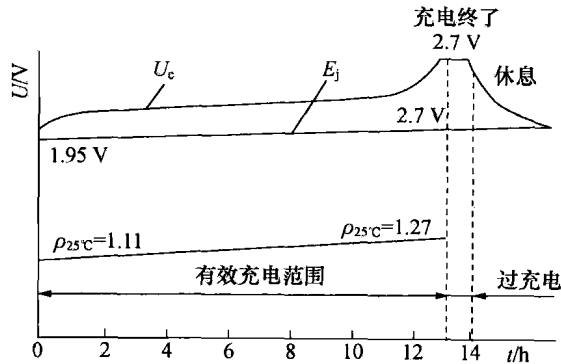


图 1-4 蓄电池的充电特性

1. 电解液密度及静止电动势的变化规律

由于恒流充电, 在有效充电范围内, 单位时间内电解液中产生硫酸的数量是一定的。因此, 电解液密度在 $1.11 \sim 1.27 \text{ g/cm}^3$ 的范围内按直线规律上升。同时, 静止电动势从 $1.95 \sim 2.1 \text{ V}$ 的范围内按直线规律上升。

2. 端电压的变化规律

在整个充电过程中, 端电压 U_c 的变化可以划分为 4 个阶段。

(1) 开始快速上升阶段: 充电开始时端电压快速上升。这是因为充电时产生的硫酸来不及向极板外扩散, 使极板孔内电解液密度快速升高, 造成瞬时电动势及端电压快速升高。

(2) 中间缓慢上升阶段: 在快速上升阶段完成后, 极板孔隙内外的电解液浓度产生了一定的差值, 使硫酸的生成数量与向外扩散的数量相等, 极板孔内外的电解液密度同步升高, 故瞬时电动势和端电压同步缓慢上升。

(3) 接近终了迅速上升阶段：在端电压达到 2.3 ~ 2.4 V 后，开始出现气泡，且端电压会急剧上升到 2.7 V 左右。这是因为极板上的活性物质几乎全部恢复，电解液中的水开始电解，产生氢气和氧气，并以气泡的形式放出。由于氢离子在负极板附近的电解液中积存，然后再与电子结合形成氢气，使得负极板与电解液之间产生约 -0.33 V 的附加电位。

(4) 过充电阶段：该阶段端电压不再上升，蓄电池内产生大量气泡，出现沸腾现象。为了保证蓄电池充分充电，往往需要进行 2 ~ 3 h 的过充电。

蓄电池充足电的特征是：蓄电池内产生大量气泡，电解液呈沸腾状态；端电压和电解液相对密度升高到最大值，且 2 ~ 3 h 内不再增加。

1.3.4 蓄电池的放电特性

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_f)、静电动势 (E_j) 和电解液相对液密度 ($\rho_{25^\circ\text{C}}$) 随放电时间变化的规律。其放电特性规律曲线如图 1-5 所示。

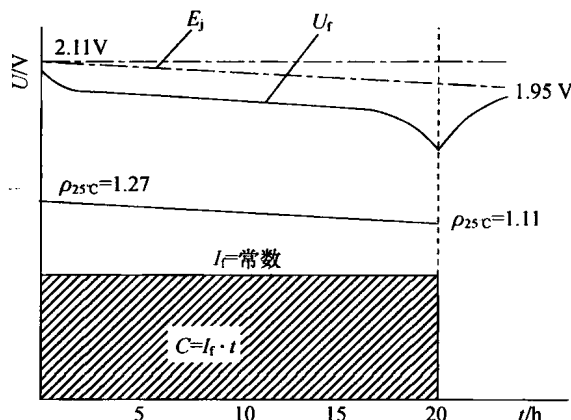


图 1-5 蓄电池的放电特性

1. 电解液密度及静止电动势的变化规律

由于恒流放电，单位时间内消耗硫酸的数量是相同的，所以电解液相对密度从 1.27 g/cm^3 下降到 1.11 g/cm^3 是按直线规律下降。由于静止电动势 E_j 与电解液相对密度是线性关系，所以静止电动势从 2.11 V 下降到 1.95 V 也是按直线规律下降。

由于蓄电池在恒流放电过程中，其电解液相对密度和容量与放电时间都是线性关系，所以可以通过检测电解液相对密度的变化来判断其放电程度。

2. 端电压及瞬时电动势的变化规律

在整个放电过程中，端电压 U_f 的变化可以划分为 3 个阶段。

(1) 开始迅速下降阶段：放电开始时，端电压由 2.1 V 迅速下降到 2.0 V 左右。这是因为放电开始时，极板活性物质孔隙内的硫酸迅速减少，而外部的硫酸还来不及向孔隙内渗透，故该处的电解液密度迅速下降，使瞬时电动势及端电压也迅速下降。

(2) 中间缓慢下降阶段：经第一阶段后，外部的硫酸向孔隙内扩散的速度与孔隙内硫酸消耗的速度相等。极板孔隙内的电解液密度与外部同步缓慢下降，故瞬时电动势及蓄电池端电压也缓慢下降，端电压由 2.0 V 按直线规律缓慢下降至 1.85 V 左右。

(3) 最后迅速下降阶段: 在放电后期, 极板表面已形成大量硫酸铅, 它的体积大于二氧化铅和海绵状纯铅, 堵塞了孔隙, 使电解液渗入量减少, 而孔隙内硫酸的消耗大于渗入量, 使孔隙内电解液密度迅速下降, 瞬时电动势和端电压也迅速下降。此时应停止放电, 否则端电压将在短时间内急剧下降到 0, 导致电池过度放电。停止放电后, 外部的电解液向孔隙内渗透, 达到平衡时, 蓄电池的端电压可上升到 1.95 V 左右。

3. 蓄电池放电终止的特征

蓄电池放电终止的特征是: 单格电池端电压下降到放电终止电压; 电解液相对密度下降到最小许可值 (约为 1.1 g/cm^3)。

放电终止电压与放电电流的大小有关。放电电流越大, 连续放电的时间就越短, 允许的放电终止电压也越低。不同放电电流的放电终止电压见表 1-3。

表 1-3 放电电流与终止电压的关系

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

1.3.6 蓄电池的容量及影响因素

1. 蓄电池的容量

蓄电池的容量是在规定条件下蓄电池对外供电的能力, 通常表示为蓄电池恒流放电情况下放电电流与放电时间的乘积, 即

$$C = I_t \times t$$

式中, C ——蓄电池的容量 ($\text{A} \cdot \text{h}$)

I_t ——恒流放电电流 (A)

t ——放电时间 (h)

蓄电池的标称容量的表示有两种。

(1) 额定容量。额定容量是指完全充足电的蓄电池在电解液平均温度为 25°C 的情况下, 以 20 h 放电率放电的电流 (相当于额定容量的 $1/20$) 连续放电至单格电压降为 1.75 V 时所输出的电量, 一般用 C_e 或 C_{20} 表示。

例如, 3-Q-90 型蓄电池在电解液平均温度为 25°C 时, 以 4.5 A 放电电流连续放电 20 h 后, 单格电压降为 1.75 V, 其额定容量 $C_e = 4.5 \times 20 = 90 (\text{A} \cdot \text{h})$ 。

(2) 起动容量。起动容量表示蓄电池接起动机时的供电能力, 有常温和低温两种起动容量。

① 常温起动容量。常温起动容量, 即电解液温度为 25°C 时, 以 5 min 放电率放电的电流 (3 倍额定容量的电流) 连续放电至规定终止电压 (6 V 蓄电池为 4.5 V, 12 V 蓄电池为 9 V) 时所输出的电量, 其放电持续时间应在 5 min 以上。例如, 3-Q-90 型蓄电池在 25°C 时, 以 270 A 电流放电 5 min, 电池的端电压降到 4.5 V, 其起动容量为 $270 \times 5/60 = 22.5 (\text{A} \cdot \text{h})$ 。

② 低温起动容量。低温起动容量, 即电解液温度为 -18°C 时, 以 3 倍额定容量的电流连续放电至规定终止电压 (6 V 蓄电池为 3 V, 12 V 蓄电池为 6 V) 时所输出的电量, 其放电持续时间应在 2.5 min 以上。

2. 使用因素对蓄电池容量的影响

蓄电池容量与放电电流、电解液温度、电解液的相对密度和极板的结构等因素有关。

(1) 放电电流。放电电流越大，蓄电池输出的容量越小。放电电流越大，极板活性物质与电解液的反应就越迅速：一方面在极板表面迅速生成颗粒较大的硫酸铅，使极板孔隙堵塞；另一方面，单位时间内消耗的硫酸量大，所以在放电后期，极板孔隙内的硫酸得不到及时补充，孔隙内电解液密度迅速降低，端电压迅速降低，许多活性物质还没有参加反应，放电就被迫终止了，因此蓄电池输出容量变小。

(2) 电解液温度。电解液温度降低，蓄电池输出的容量减小。电解液温度降低时，其黏度增大，流动性和渗透能力减弱。一方面，电解液不能及时渗透到极板孔内部；另一方面，它使蓄电池内阻增大，内部压降增大，两者共同作用使蓄电池端电压迅速降低，造成容量减小。冬季起动时，蓄电池的端电压将会大幅度降低，往往导致点火、起动困难，所以冬季应注意对蓄电池的保温。

温度升高时，分子运动速度加快，电解液渗透能力增强，电解液电阻减小，化学反应可延续较长时间，电容增大。但超过40℃后，将造成极板拱曲变形、活性物质脱落、诱发电池自放电等故障。因此，蓄电池电解液温度不宜过高。

(3) 电解液的相对密度。提高电解液的相对密度可以提高蓄电池的端电压和输出的容量，但电解液密度过大，将使其黏度增大、离子扩散速度降低、内阻增大，导致放电时的容量下降。

1.4 蓄电池的充电

1.4.1 蓄电池的充电种类

蓄电池的充电种类有初充电、补充充电和去硫化充电等。

1. 初充电

新蓄电池或修复后的蓄电池在使用之前的首次充电称为初充电。

首先按照厂家要求，结合当地气候条件选择一定相对密度的电解液。电解液温度不超过30℃，加注后静置4~6h，这期间因电解液渗入极板，液面有所下降，应补充电解液使之高出极板15mm，等到电解液低于35℃方可充电。表1-4为蓄电池的充电电流规范。

表1-4 蓄电池的充电电流规范

蓄电池 型号	额定容 量/A·h	额定电 压/V	初 充 电				补 充 充 电			
			第一阶段		第二阶段		第一阶段		第二阶段	
			电流/A	时间/h	电流/A	时间/h	电流/A	时间/h	电流/A	时间/h
6-Q-60	60	12	4	25~35	2	20~30	6.0	10~11	3	3~5
6-Q-75	75		5		3		7.5		4	
6-Q-90	90		6		3		9.0		4	
6-Q-105	105		7		4		1.05		5	
6-Q-120	120		8		4		1.20		6	

初充电的程序一般分为两个阶段：第一阶段的充电电流约为额定容量的1/15，充电至