

汽车 电气设备与检修



主 编 ○ 贾志涛 吴兴敏

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

汽车电气设备与检修

主 编 贾志涛 吴兴敏

副主编 李美华 戚基艳 郭太君

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电气设备与检修 / 贾志涛, 吴兴敏主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016.10

ISBN 978-7-5682-3334-7

I. ①汽… II. ①贾…②吴… III. ①汽车—电气设备—车辆修理—高等学校—教材
IV. ①U472.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 267888 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限责任公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 411 千字

版 次 / 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

定 价 / 54.00 元

责任编辑 / 刘永兵

文案编辑 / 刘 佳

责任校对 / 王素新

责任印制 / 马振武

前 言

为贯彻国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020 年）的精神，适应高等学校应用转型教育改革与发展的需要，全面实施应用本科教育培训与创新工程，为专业教育教学提供更加丰富的教材和实用教程。以“基于工作过程”的课程开发为指导，邀请行业、企业专家对汽车检测专业所涵盖的岗位群进行工作任务和职业能力分析，并以此为依据编写了本教材。

本书力求贯彻以全面素质教育为基础、能力为本位的应用教育教学方法为指导思想，从社会发展对高素质技能人才培养的实际出发，突出体现了专业应用能力特色。根据汽车类专业所涉及的汽车检测诊断方面的知识内容，结合高校实训条件划分若干个项目单元，实施理论与实践一体化教学，使学生掌握汽车电子控制系统的检测、诊断以及相关的专业知识和技能，以提高学生的应用能力。

1) 注重汽车专业岗位群对人才知识、能力的要求，力求与国家职业资格标准衔接，突出理论实践的一体化，注重学生应用能力的培养；

2) 以汽车维修关键技术操作为核心，立足专业知识、综合能力的培养，以项目引领新模式构建学习内容，突出实用理论对实践的指导，在强化技能的同时，引导学生扩展知识，养成持续学习的能力。

3) 在本书最后增加了任务实施与考核单元，教师根据教学内容下达工作任务，学生可根据学到的理论知识以小组模式完成工作单的内容，确保了理论与实践相结合，使教师及时掌握学生的学习情况，实现教与学的闭环教学理念，使学生尽早明确学习的意义和未来在企业中的社会身份。

本书由贾志涛、吴兴敏担任主编，李美华、戚基艳、郭太君担任副主编。参与本书编写工作的还有：赵耀群、吴承健、张旭初、刘映凯等。具体编写分工如下：项目二、三、六、七由沈阳工学院贾志涛编写，项目一由辽宁交通高等专科学校吴兴敏编写，项目四由沈阳工学院戚基艳编写，项目五由沈阳理工大学李美华和沈阳工学院郭太君编写，全书由贾志涛统稿。在本书编写过程中，编者参考了大量相关的文献资料，得到了上海大众汽车售后服务部专家、华晨汽车研究院专家、华晨中华汽车公司专家以及沈阳金杯车辆制造有限公司专家的大力协助与支持，在此向各位专家及文献资料的作者表示衷心地感谢！

本书可作为普通本科院校汽车工程类（车辆工程、汽车服务工程、汽车检测、汽车技术服务与营销等）专业的教材，也可供汽车行业的工程技术人员参考。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 蓄电池的检修	1
相关知识	1
一、概述	1
二、蓄电池的构造、型号及容量	2
三、蓄电池的工作原理及特性	8
四、其他类型蓄电池	12
技能学习	16
一、蓄电池的充电	16
二、蓄电池的使用与检测	20
三、蓄电池常见故障及其诊断	24
任务实施与考核	26
一、学生完成工作单的填写	26
二、教师完成考核表的填写	26
【习题与思考】	28
项目二 发电机及其调节器的检修	29
相关知识	29
一、概述	29
二、交流发电机的构造	31
三、交流发电机的工作原理	36
四、交流发电机的工作特性	39
五、其他交流发电机	41
六、交流发电机调节器	46
七、电源系统电路	51
技能学习	53
一、交流发电机及其调节器的使用与维护	53
二、交流发电机及其电压调节器的检修	55
三、电源系常见故障及其诊断	63

任务实施与考核·····	65
一、学生完成工作单的填写·····	65
二、教师完成考核表的填写·····	66
【习题与思考】·····	66
项目三 起动系统的检修·····	67
相关知识·····	67
一、概述·····	67
二、起动机·····	68
三、典型起动机的工作过程·····	78
技能学习·····	83
一、起动机正确使用及日常保养·····	83
二、起动机的试验·····	84
三、起动机的拆装及检修·····	85
四、起动系统的故障诊断与排除·····	88
任务实施与考核·····	91
一、学生完成工作单的填写·····	91
二、教师完成考核表的填写·····	91
【习题与思考】·····	93
项目四 点火系统的检修·····	94
相关知识·····	94
一、概述·····	94
二、半导体点火系统·····	96
三、计算机控制点火系统·····	117
技能学习·····	122
一、点火系统的使用与维护·····	122
二、点火系统的检修·····	122
三、点火系统常见故障及诊断·····	124
任务实施与考核·····	125
一、学生完成工作单的填写·····	125
二、教师完成考核表的填写·····	125
【习题与思考】·····	126
项目五 照明信号仪表显示系统的检修·····	127

相关知识	127
一、照明系统	127
二、信号系统	143
三、仪表显示与报警系统	147
技能学习	160
一、照明系统的检测及常见故障诊断	160
二、信号系统的检测及常见故障诊断	165
三、仪表显示系统的检测及常见故障诊断	166
任务实施与考核	169
一、学生完成工作单的填写	169
二、教师完成考核表的填写	169
【习题与思考】	170
项目六 辅助电器的检修	171
相关知识	171
一、雨刷器和风窗洗涤设备	171
二、电动车窗	180
三、电动后视镜	183
四、电动座椅	185
五、电动中央门锁	187
六、汽车空调	189
技能学习	191
一、雨刷器及挡风玻璃洗涤设备的检测及常见故障诊断	191
二、电动车窗的检测及常见故障诊断	195
三、电动后视镜的检测及常见故障诊断	197
四、电动座椅的检测及常见故障诊断	197
五、电动中央门锁常见故障诊断	199
六、汽车空调系统的检测及常见故障诊断	200
任务实施与考核	206
一、学生完成工作单的填写	206
二、教师完成考核表的填写	206
【习题与思考】	209
项目七 汽车电路分析	210

相关知识	210
一、概述	210
二、汽车电路的组成	211
三、汽车电路中常见低压电器	215
四、汽车电气装置的图形、符号及其接线端子的标记	221
五、电路图	225
技能学习	226
一、全车线路分析	226
二、汽车电路原理图的全面分析	234
三、汽车电气系统电路的工作原理分析	234
任务实施与考核	268
一、学生完成工作单的填写	268
二、教师完成考核表的填写	269
【习题与思考】	270
参考文献	271

项目一

蓄电池的检修



学习目标

- 1) 能够正确描述铅酸蓄电池的作用及组成;
- 2) 能够正确描述铅酸蓄电池的工作特性;
- 3) 能够正确描述铅酸蓄电池的工作原理;
- 4) 能够正确描述免维护蓄电池的结构;
- 5) 能够正确使用及维护蓄电池;
- 6) 能够正确检查蓄电池的技术状况;
- 7) 能够正确使用充电机对蓄电池进行充电。



任务分析

蓄电池是汽车电源系统的重要组成部分,其技术状况直接影响到车辆能否顺利起动,以及能否对车辆其他用电设备进行正常供电。本项目的主要内容:蓄电池的结构、工作原理、使用、维护和技术状况检查。



相关知识

一、概述

蓄电池是一种低压直流化学电源,它既能将化学能转换为电能,也能将电能转换为化学能。蓄电池的外观如图 1.1 所示。

1. 蓄电池的作用

- 1) 发动机起动时,向起动机和点火系统供电。
- 2) 发动机低速运转时,向用电设备和发电机磁场绕组供电。
- 3) 发动机中、高速运转时,将发电机电能转化为化学能储存起来。
- 4) 发电机过载时,协助发电机向用电设备供电。



图 1.1 蓄电池的外观

5) 蓄电池相当于一个大电容器，能吸收电路中出现的瞬时过电压，保护电子元件，保持汽车电气系统电压稳定。

2. 汽车用蓄电池的类型

- 1) 按照电解液成分的不同可分为：酸性蓄电池和碱性蓄电池。
 - 2) 按照汽车用铅酸蓄电池结构的不同可分为：普通型、干荷电型、湿荷电型、免维护型等。
 - 3) 按照极板上金属元素的不同可分为：铅电池、锂电池等。
- 目前汽车上广泛采用的是铅酸蓄电池和免维护等新型蓄电池。

3. 汽车蓄电池的安装位置

一般轿车的蓄电池安装在发动机舱内（宝马车型安放在后备箱内），货车的蓄电池安装在车架前部的左侧或右侧。

二、蓄电池的构造、型号及容量

1. 普通铅酸蓄电池的构造

铅酸蓄电池的构造如图 1.2 所示，它主要由极板、隔板、壳体和电解液等部分组成。图 1.2 中壳体内部为互不相通的 6 个格，每个格内有电解液、正负极板组和其間所夹的隔板，组成单格电池。每单格电池标称电压为 2V，6 个单格串联起来构成一个 12V 的蓄电池。蓄电池各组成部分的构造如图 1.2 所示。

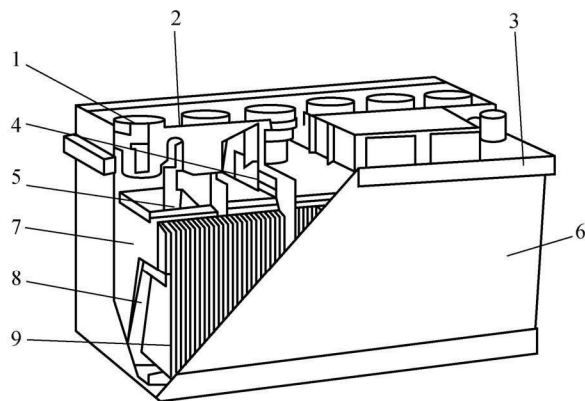


图 1.2 蓄电池的构造

1—排气栓；2—负极柱；3—电池盖；4—穿壁连接；5—汇流条；6—壳体；7—负极板；8—隔板；9—正极板

(1) 极板

极板是蓄电池的核心，分为正极板和负极板两种，均由栅架和填充在其上的活性物质构成，如图 1.3 所示。

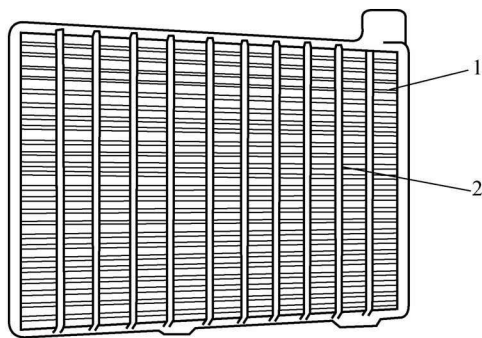


图 1.3 栅架与活性物质

1—栅架；2—活性物质

在蓄电池充放电过程中，电能与化学能的相互转换就是依靠极板上的活性物质与电解液中的硫酸产生化学反应来实现的。

正极板上的活性物质是呈深棕色的二氧化铅（ PbO_2 ），负极板上的活性物质是呈青灰色海绵状的纯铅（ Pb ）。

栅架的作用是容纳活性物质并使极板成型，一般由铅锑合金浇铸而成。铅锑合金中，铅占 94%，锑占 6%。加入锑是为了提高栅架的机械强度并改善浇铸性能。但是，铅锑合金耐电化学腐蚀性能较差，在要求高倍率放电和提高比能量（极板单位体积所提供的容量）而采用薄型极板时，高锑含量板栅势必导致使用寿命的降低。因此，采用低锑合金就十分重要了。目前极板栅架含锑量为 2%~3%，在极板栅架合金中加入 0.1%~0.2%的砷，可以减缓腐蚀速度，提高硬度与机械强度，增强其抗变形能力，延长蓄电池的使用寿命。目前，国内外已使用铅锑砷合金作板栅。

正极板活性物质的脱落和极板栅架的腐蚀是决定蓄电池使用寿命的主要原因。因此，正极板栅架要厚一些，负极板栅架要薄一些，一般为正极板栅架厚度的 70%~80%。国产蓄电池负

极板厚度为 1.6~1.8mm, 也有薄至 1.2~1.4mm 的; 国外大多采用薄型极板, 厚度一般为 1.1~1.5mm, 薄型极板的使用能改善汽车的起动性能。

为了增大蓄电池的容量, 将多片正、负极板分别连在一起, 用横板焊接, 组成正、负极板组, 如图 1.4 所示。横板上连有极柱, 各片间留有空隙。安装时正、负极板相互嵌合, 中间插入隔板。在每个单格电池中, 负极板的数量总比正极板多一片, 这样正极板夹在负极板之间, 使其两侧放电均匀, 否则由于正极板的机械强度差, 两侧工作情况不同会使两侧活性物质体积变化不一致, 而造成极板拱曲, 导致活性物质脱落, 影响蓄电池的正常工作。

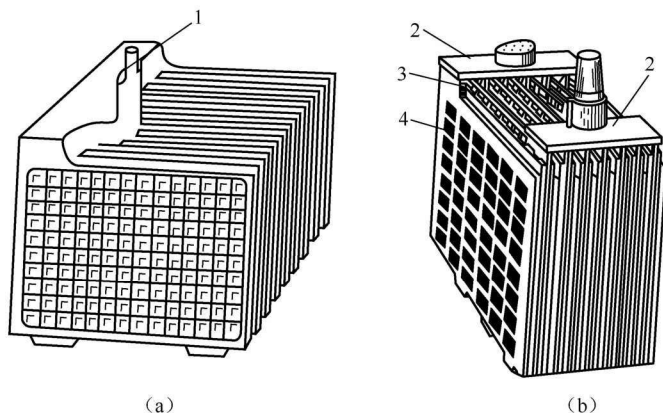


图 1.4 极板组
(a) 极板组; (b) 极板组总成
1—极柱; 2—横板; 3—隔板; 4—极板

将一片正极板和一片负极板浸入电解液中, 便可得到 2V 左右的电动势。现代汽车普遍采用的蓄电池由 6 个单格电池串联成 12V 供汽车选用, 如图 1.5 所示。12V 电系汽车选用一个电池, 24V 电系汽车选用两个电池串联。

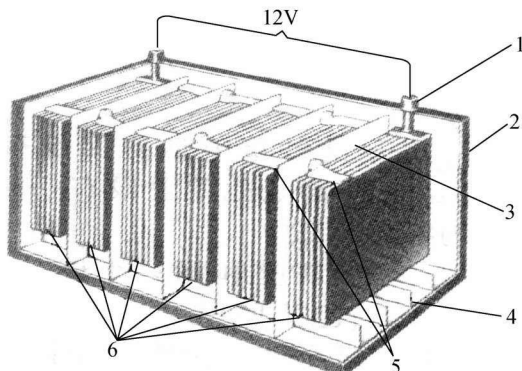


图 1.5 单格电池串联连接
1—极柱; 2—电池槽; 3—隔板; 4—沉淀池壁; 5—汇流条; 6—极板组

(2) 隔板

为了减小蓄电池的内阻和尺寸, 蓄电池内部正、负极板应尽可能地靠近, 但为了避免彼此接触而短路, 正、负极板之间要用隔板隔开, 如图 1.6 所示。隔板材料应具有多孔性, 以便电解液渗透, 且化学性能要稳定, 即具有良好的耐酸性和抗氧化性。

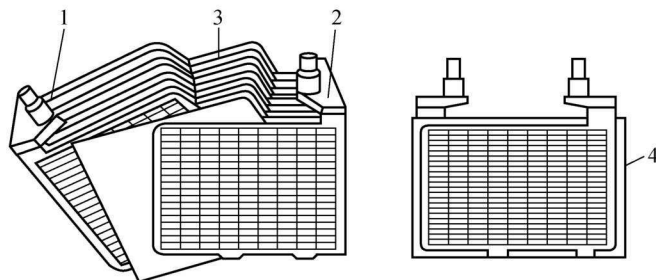


图 1.6 单格电池的内部结构
1—正极板；2—负极板；3，4—隔板

隔板的材料有木质、微孔橡胶、微孔塑料、玻璃纤维和纸板等。

木质隔板价格低，但耐酸性差，在硫酸作用下易炭化变脆。微孔塑料（聚氯乙烯、酚醛树脂）隔板耐酸、耐高温性好，寿命长，且成本低，因此使用广泛。玻璃纤维隔板常和木质、微孔塑料等隔板组合使用，使用时应将玻璃纤维隔板靠近正极板以防止活性物质脱落，提高蓄电池的使用寿命，但由于操作工艺复杂，故使用较少。

安装时隔板上带沟槽的一面应面向正极板，这是由于正极板在充、放电过程中化学反应剧烈，沟槽能使放电产生的氢气和氧气较顺利地流通，同时使正极板上脱落的活性物质顺利地掉入壳底槽中。

在现代新型蓄电池中，还将微孔塑料隔板制成袋装包在正极板外部，可进一步防止活性物质脱落，避免极板内部短路并使组装工艺简化。

（3）壳体

蓄电池壳体多为整体式，内用间壁分隔成几个单格，每个单格放入极板组，成为一个单格电池。壳体材料要求耐酸、耐热、耐振动性能好。以前的蓄电池外壳多用硬橡胶制成，目前则采用 ABS 工程塑料或聚丙烯塑料制成，其制造工艺简单、坚固、美观，质量小、耐腐蚀性好。

壳内由间壁分成 6 个互不相通的单格，底部制有凸起的筋条，以便放置极板组。筋条与极板底部组成的空间可以积存极板脱落的活性物质，防止正、负极板短路。

蓄电池各单体电池之间采用铅质连接条串联起来，分为传统外露式连接、内部穿壁式连接和跨越式连接三种方式，如图 1.7 所示。

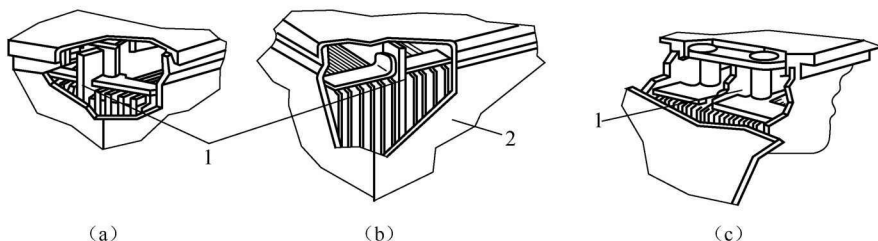


图 1.7 连接单格电池的三种方式
(a) 跨越式连接；(b) 穿壁式连接；(c) 外露式连接
1—间壁；2—容器

目前，蓄电池则采用穿壁式或跨越式连接方式。穿壁式连接方式是在相邻单格电池之间的

间壁上打孔使连接条穿过,将两个单格电池的极板组极柱连接在一起。跨越式连接在相邻单格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格电池的极板组极柱连接,所有连接条均布置在整体盖的下面。

在蓄电池盖上设有加液孔,并用螺塞或盖板密封,防止电解液溢出,如图 1.8 所示。旋下加液孔螺塞或打开加液孔盖板,即可加注电解液和检测电解液密度。在加液孔螺塞和盖板上设有通气孔,以便排出化学反应放出的氢气和氧气。该通气孔在使用过程中必须保持通畅,防止壳体胀裂或发生爆炸事故。蓄电池的装配过程如图 1.9 所示。



图 1.8 整体蓄电池结构
1—密封螺塞; 2—电池盖; 3—技术状态指示器

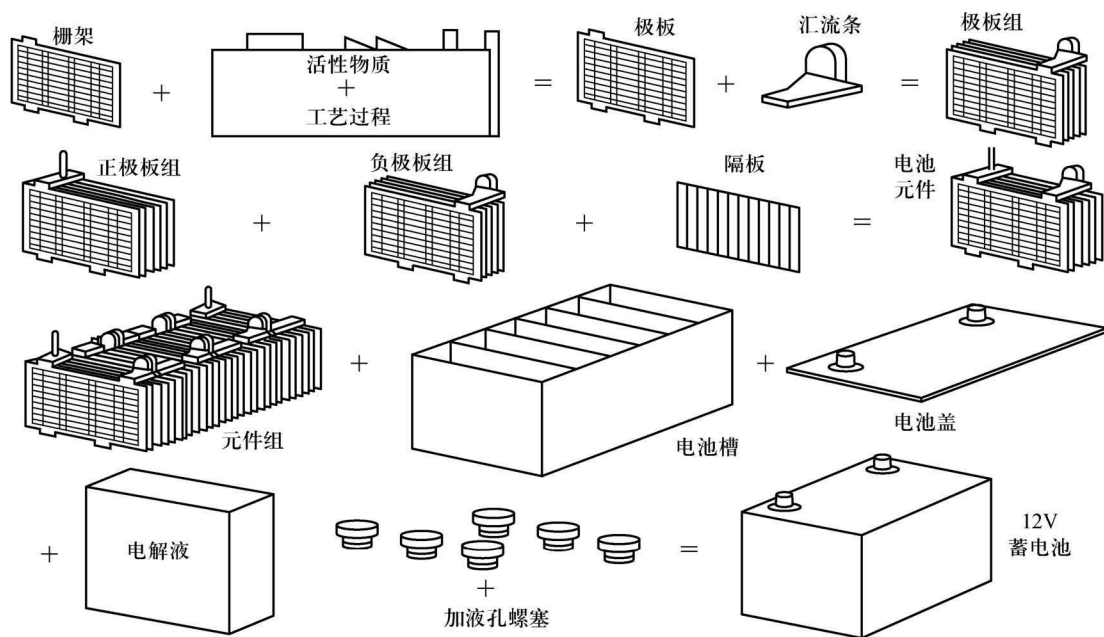


图 1.9 蓄电池的装配过程

(4) 电解液

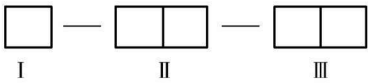
铅酸蓄电池的电解液,是由相对密度为 $1.84\text{g}/\text{cm}^3$ 的纯硫酸和蒸馏水按一定的比例配制而成的,密度一般在 $1.24\sim 1.30\text{g}/\text{cm}^3$ 。电解液的纯度是影响蓄电池电气性能和使用寿命的重要因素,一般工业用硫酸和普通水,因含有铁、铜等有害杂质,故不能加入到蓄电池中

去，否则容易引起自行放电故障，并且容易损坏极板。因此，蓄电池电解液要用纯净的硫酸和蒸馏水配制，硫酸标准见 HG/T 2692—2015 的规定，蒸馏水标准见 JB/T 10053—2010 的规定。

配制电解液应在耐酸的陶瓷或玻璃容器内进行。先将蒸馏水倒入容器内，然后慢慢地加入硫酸，并且要不停地用玻璃棒搅拌。绝对不允许将水倒入硫酸中，否则将产生剧烈的化学反应，可能造成人身事故。配制不同密度的电解液必须按一定的体积比或质量比进行。

2 . 蓄电池的型号

按照原机械工业部颁发的标准 JB/T 2599—2012 规定，铅蓄电池产品型号分为三段，其排列及其含义如下：



第 I 段表示串联的单格电池数，用阿拉伯数字组成，其标准电压是这个数字乘以单格电池标称电压 2V。

第 II 段表示蓄电池的类型和特征，其中第一部分用字母表示蓄电池的用途，Q 表示起动用铅蓄电池，M 表示摩托车用蓄电池。第二部分用字母表示蓄电池的特征代号：如 A—干荷电式，W—免维护式，无字母则为干封式，具体产品特征代号如表 1.1 所示。

表 1.1 产品特征代号

序号	产品特征	代号	序号	产品特征	代号	序号	产品特征	代号	序号	产品特征	代号
1	干荷电	A	4	少维护	S	7	半密闭式	B	10	激活式	I
2	湿荷电	H	5	防酸式	F	8	液密式	Y	11	带液式	D
3	免维护	W	6	密闭式	M	9	气密式	Q	12	胶质电解液	J

第 III 段表示蓄电池的额定容量。我国目前规定采用 20h 放电率的容量来表示。有时在额定容量后面用一个字母表示特征性能：Q—高起动率；S—采用工程塑料外壳，电池盖及热封工艺的蓄电池；D—低温起动性能好；G—薄型极板的高起动蓄电池。

例如 6-QA-105G，表示由 6 个单体电池组成，额定电压为 12V，额定容量为 105Ah，起动的干荷电高起动率蓄电池。

3 . 蓄电池的容量及其影响因素

(1) 蓄电池的容量

蓄电池的容量是指在规定放电条件下，完全充足电的蓄电池所能提供的电量，用 C 表示，单位为 Ah。电池容量用以表示蓄电池对外供电的能力，也是衡量蓄电池质量优劣以及选用蓄电池最重要的指标。当电池以恒定电流值进行放电时，其容量等于放电电流和持续放电时间的乘积。

蓄电池出厂时规定的额定容量是在一定的放电电流、一定的终止电压和一定的电解液温度下取得的。

1) 额定容量。额定容量是检验蓄电池质量的重要指标之一。GB/T 5008.1—2013 规定，以

20h 放电率的放电电流在电解液初始温度为 $25^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对密度为 $1.28\text{g}/\text{cm}^3\pm 0.01\text{g}/\text{cm}^3$ (25°C) 的条件下，以 20h 放电率的电流连续放电到 12V，蓄电池端电压降到 $10.50\text{V}\pm 0.05\text{V}$ 所输出的电量，记为 C_{20} ，单位是 Ah。

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。

常温起动容量即电解液温度为 25°C 时，以 3 倍额定容量的电流放电，连续放电至规定的终止电压时 (12V 蓄电池为 9V) 所输出的电量，其放电持续时间应在 5min 以上。

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的终止电压时 (12V 蓄电池为 6V) 所放出的电量，其放电持续时间应在 2.5min 以上。

3) 储备容量。储备容量用使用时间来表示。它是指汽车在充电系统不工作的情况下，在夜间靠蓄电池点火和提供最低限度的电路负载所能运行的时间，可具体表述为：完全充足电的 12V 蓄电池，在 $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的条件下，以 25A 恒流放电至 12V，蓄电池端电压下降到 $10.50\text{V}\pm 0.05\text{V}$ 时的放电时间，单位为 min。它说明汽车充电系统失效时，汽车尚有持续提供 25A 电流的能力。

(2) 影响蓄电池容量的主要因素

蓄电池容量与很多因素有关，归纳起来分为两类：一类与生产工艺及产品结构有关，如活性物质的数量、极板的厚度、活性物质的孔率等；另一类与使用条件有关，如放电电流、电解液温度和电解液相对密度等。

三、蓄电池的工作原理及特性

1. 蓄电池的工作原理

蓄电池中发生的化学反应是可逆的。铅酸蓄电池正极板上的活性物质是二氧化铅 (PbO_2)，负极板上是海绵状的纯铅 (Pb)，电解液是硫酸水溶液 (H_2SO_4)。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)，电解液中的硫酸浓度减少，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恢复成原来的二氧化铅和纯铅，电解液中的硫酸浓度增加、相对密度增大。

(1) 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。放电前，正极板上二氧化铅电离为正四价铅离子 (Pb^{4+}) 和负二价氧离子 (O^{2-})，铅离子附着在正极板上，氧离子进入电解液中，使正极板具有 2.0V 的正电位。负极板上的纯铅电离为正二价铅离子 (Pb^{2+}) 和两个电子 (2e^-)，铅离子进入电解液中，电子留在负极板上，使负极板具有 -0.1V 的负电位。这样正、负极板之间就有了电位差，这个电位差为 2.1V。

放电时，在 2.1V 的电位差作用下，电流从正极流出，经过负载 (图 1.10 (a) 中的灯泡) 流回负极。

理论上，放电过程将进行直至负极板上的活性物质全部转变为硫酸铅为止。但实际上，由于电解液不能渗透到活性物质最内层，因此所谓完全放电的蓄电池事实上只有 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。目前常采用薄型极板和增大活性物质孔率的措施来达到此目的。

(2) 蓄电池的充电过程

将电能转换成蓄电池化学能的过程称为充电过程。充电时，蓄电池接直流电源，如图 1.10 (c) 所示，在电场力的作用下，电流从蓄电池正极流入、负极流出。

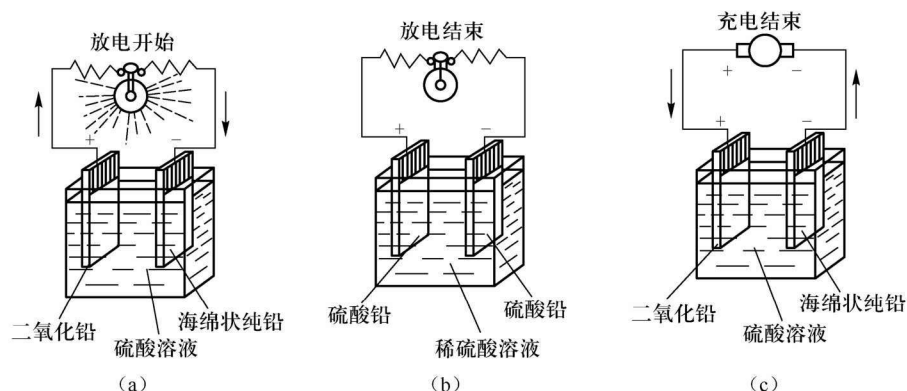


图 1.10 蓄电池的工作过程
(a) 放电; (b) 放电过程; (c) 充电

在负极板处有少量的 PbSO_4 进入电解液中，离解为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} ， Pb^{2+} 在电源的作用下获得两个电子变为金属 Pb ，沉附在极板上，而 SO_4^{2-} 则与电解液中的 H^+ 结合，生成硫酸。

在正极板处也有少量 PbSO_4 进入电解液中，离解为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} ， Pb^{2+} 在电源作用下失去两个电子变为 Pb^{4+} ，它又和电解液中水离解出来的 OH^- 结合，生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$ ， $\text{Pb}(\text{OH})_4$ 又分解为 PbO_2 和 H_2O ，而 SO_4^{2-} 又与电解液中的 H^+ 结合生成硫酸。

由此可见，在充电过程中，正、负极板上的 PbSO_4 将逐渐恢复为 PbO_2 和 Pb ，电解液中硫酸成分逐渐增多，水逐渐减少。

2. 蓄电池的工作特性

(1) 静止电动势

静止电动势是指蓄电池在静止状态（不充电也不放电），正、负极板之间的电位差。它的大小与电解液的相对密度和温度有关。

汽车用蓄电池的电解液相对密度在充电时增高，放电时下降，一般在 $1.12 \sim 1.30 \text{g/cm}^3$ 波动，因此，蓄电池的静止电动势也相应地在 $1.97 \sim 2.15 \text{V}$ 变化。

(2) 内阻

蓄电池的内阻大小反映了蓄电池的带负载能力。在相同条件下，内阻越小，输出电流越大，带负载能力越强。蓄电池的内阻包括极板电阻、隔板电阻、电解液电阻、铅连接条和极柱电阻之和。

一般来说，起动型铅酸蓄电池的内阻是很小的（单体电池的内阻约为 0.011Ω ），在小负荷工作时对蓄电池的电力输出影响很小，但在大电流放电时（如起动发动机时），如内阻过大，则会引起端电压大幅度下降而影响起动性能。

(3) 蓄电池的充电特性

蓄电池的充电特性是指在定流充电过程中，蓄电池的端电压 U_c 和电解液密度 ρ 等参数随