



职业教育汽车专业教学改革新规划教材

ZHIYE JIAOYU QICHE ZHUANYE JIAOXUE GAIGE XIN GUIHUA JIAOCAI

汽车电气系统 维修技术

黎亚洲 编著

QICHE DIANQI XITONG WEIXIU JISHU



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子教案

职业教育汽车专业教学改革新规划教材

汽车电气系统维修技术

黎亚洲 编著

胡晓东 主审



机械工业出版社

本书浅显易懂、说理清楚、既注重必要的理论,又注重实际操作。本书将电路原理图、故障元器件、故障检测点、故障分析与检测操作方法融为一体,是典型的集理论与实践为一体的教材,便于初学者入门。本书在每一章后列举了一些故障实例分析,以增强初学者的应用能力。本书内容主要介绍发动机常规电气设备、仪表灯光系统、车身电气设备。对于“机电液”一体化程度非常高的电气设备,如电子燃油喷射系统、自动变速器、防抱死制动系统(ABS)、电控底盘等,本书没有叙述。

本书可作为职业院校汽车专业的教材,也可作为广大汽车维修人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电气系统维修技术/黎亚洲编著. —北京:机械工业出版社, 2009.7

职业教育汽车专业教学改革新规划教材

ISBN 978-7-111-27209-0

I. 汽… II. 黎… III. 汽车-电气系统-车辆修理-技术培训-教材
IV. U472.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 123204 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:宋学敏 责任编辑:宋学敏 刘国明 洪丽红

责任校对:刘志文 封面设计:王伟光 责任印制:乔宇

北京四季青印刷厂印刷(三河市杨庄镇环伟装订厂装订)

2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20.75 印张·483 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-27209-0

定价:34.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379199

封面无防伪标均为盗版

前 言

近几年,有关汽车维修的书籍如雨后春笋般出现。但大多数书籍,学生们看了许多遍仍不知所云。许多问题依然弄不懂,更不用说维修汽车了。造成这些问题的主要原因有两个:一是这些书将所有有关汽车电气系统的内容编在一本书中,内容庞杂,各章节只能是蜻蜓点水、点到为止,问题没有说透;二是讲述顺序和方式不适合教学、自学的规律。本书力求克服上述问题,选择车型全面、内容条理清晰、说理简明扼要、由浅入深,重点提高学生读图与检测维修的能力。

由于汽车机电一体化程度非常高,而且整车电路错综复杂,相互联系密切。这就有必要将电气与其所控制的机械设备的结构与维修、故障诊断与排除编在一本书中,改变过去分结构、维修、电气和新技术四本书编写的做法,使老师教学和读者自学更为方便。

近年来,汽车维修行业出现了如汽车故障诊断学,汽车故障诊断专家系统知识库,汽车故障诊断工程师,中、高级汽车故障诊断师等许多新的名词。这说明,随着汽车保有量的增加、汽车品牌的增多、汽车机电一体化程度和技术含量的提高,汽车维修难度越来越大,对汽车维修技术人员的要求越来越高。而故障判断之后的修理却越来越容易。只要故障判断准确,后面就是更换零部件的事情了。故障诊断是一种脑力工作,这预示着汽车维修行业的岗位、管理机制、人员培训、教材将面临着重大改革。本书目的正是抛砖引玉,旨在尝试这一重大改革。

汽车故障诊断技术,是一门对理论和实践要求都很高的综合技术。这种技术的发展将形成一个新的学科——汽车故障诊断学。汽车维修行业需要大量高层次技术人员担当汽车故障诊断工作。汽车故障诊断学的确立,汽车故障诊断工程师、汽车故障诊断师等相应人才的出现,都是行业发展的必然。

在实际汽车维修工作中的确需要一些具备较高水平的技术人员,他们的任务是诊断排除一些疑难的故障,进行设备管理、技术培训等技术管理工作。这一层次的技术人员与一线维修工作应该是密不可分的,但又不是专职投入维修工作。另外还需要一些人员,他们可以做一般的故障诊断,进行一些正常的维修,他们主要承担维修工作。还有一些员工则应该承担日常保养工作,尽管这些保养工作比较简单,技术含量不高,但需要工人的操作非常熟练。企业通过这样三个层次的人员配置,才能实现整体高效的运转。在这三个层次中,第一层次的人员是汽车故障诊断工程师或汽车故障诊断师。

为了提高工作效率,尽可能减少汽车使用者等候的时间,更需要有一支经验丰富、能快速诊断出疑难故障的高级技术人员队伍。中、高级汽车故障诊断师的出现,培养了一支专业化的汽车故障诊断队伍,以适应当前汽车维修市场机制。本书能成为汽车故障诊断师的培训教材,将是我最大的心愿。

由于汽车是高度机电一体化综合系统,因此本书在分系统纵向讲述的基础上,更注重知识的横向联系与比较,各分系统故障之间的相互影响。本书内容全面,排序合理,体系

严密。在简明扼要介绍汽车电气设备构造的基础上，紧接着详细讲述该电气设备故障现象与原因、故障分析与诊断方法、电气检测的操作方法等。这样使知识更连贯，便于教学和学生自学。而且，在讲述完元器件的结构之后，紧接着介绍其电路检测或维修方法，这样有利于读者融会贯通，也减少了篇幅。为了解决汽车电气故障诊断的实践性，本书还介绍了元器件的位置和汽车电气故障诊断实例，以提高本书的可读性和可操作性，有利于一体化教学。本书最突出的特点是维修人员在没有高精尖检测设备，以及利用检测仪器不能准确判断出故障的情况下，以大量的实例来说明如何凭经验诊断故障。本书内容和图形都是经过精心选择和编排的，内容详实、语言精炼、图文并茂、浅显易懂、知识性强、信息量大、覆盖面广、便于组织教学和广大读者自学。本书不仅可供各类学校作为教材，也是广大驾驶员的良师益友，同样是维修人员和专业技术人员可以借鉴的、不可多得的参考书。

广东省高级技工学校 黎亚洲

2009年3月1日

目 录

前言

第一章 汽车电源系统	1
第一节 蓄电池.....	1
第二节 发电机	26
第三节 调节器与电源系统的电路	56
第四节 典型车型电源系统线路与故障	70
练习题	91
第二章 汽车起动系统	94
第一节 起动机综述	94
第二节 起动机形式.....	106
第三节 起动系统的控制电路.....	117
第四节 起动系统的检修.....	120
练习题.....	134
第三章 点火系统	137
第一节 点火系统综述.....	137
第二节 有触点传统点火系统.....	142
第三节 电子点火系统.....	162
第四节 计算机控制的点火系统.....	177
第五节 点火系统的故障诊断举例.....	200
练习题.....	208
第四章 照明、信号、仪表及报警系统	211
第一节 照明系统.....	211
第二节 信号系统.....	236
第三节 仪表与报警电路.....	250
第四节 故障举例.....	275
练习题.....	278
第五章 辅助电气设备	281
第一节 刮水器和洗涤器.....	281
第二节 电动座椅与安全带.....	293
第三节 电动车窗.....	301
第四节 电动门锁与防盗系统.....	310
第五节 电动天线、电动后视镜、除霜装置.....	319
练习题.....	322

第一章 汽车电源系统

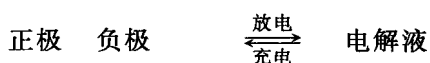
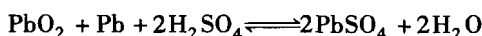
汽车电源系统由蓄电池、发电机和调节器组成。在汽车上，蓄电池和发电机并联工作，发电机是汽车的主要电源，蓄电池是辅助电源。发电机配有调节器，调节器的功用是在发电机转速升高到一定程度时，自动调节发电机的输出电压使其保持稳定。

第一节 蓄 电 池

一、蓄电池的工作原理

蓄电池中发生的化学反应是可逆的。其化学反应过程有各种不同的理论，一般认为1882年格拉斯顿和特拉普提出的双极（或双重）硫酸盐化理论（简称双硫化理论）能确切地说明蓄电池中的化学反应过程。

根据双硫化理论，铅酸蓄电池正极板上的活性物质（参与化学反应的物质）是二氧化铅，负极板上的活性物质是海绵状纯铅，电解液是硫酸的水溶液。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，密度减小。充电时按相反的方向变化，正、负极板上的 PbSO_4 分别变成原来的 PbO_2 和 Pb ，电解液中的硫酸增加，密度增大。如果略去中间的化学反应过程可用下式表示：



1. 电动势的建立

当极板浸入电解液时，在负极板处，金属铅受到两方面的作用，一方面它有溶解于电解液的倾向，因而有少量铅进入电解液，生成 Pb^{2+} ，在极板上留下两个电子，使极板带负电；另一方面，由于正、负电荷的吸引， Pb^{2+} 有沉附于负极板表面的倾向。当两者达到平衡时，溶解便停止，此时极板具有负电位，约为 -0.1V 。

正极板处，少量 PbO_2 溶入电解液，与水生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$ ，再分离成 Pb^{4+} 和 4OH^- 。 Pb^{4+} 沉附于极板的倾向，大于溶解的倾向，因而沉附在正极板上，使极板呈正电位，达到平衡，如图1-1所示。

2. 放电过程

蓄电池接上负载，在电动势的作用下，电流 I 从正极经过负载流往负极（即电子从负极到正极），使正极电位降低，负极电位升高，破坏了原有的平衡。在正极板处， Pb^{4+} 和电子结合，变成 Pb^{2+} ， Pb^{2+} 与电解液中的 SO_4^{2-} 结合生成 PbSO_4 沉附在正极板上和电解液中。在负极板处， Pb^{2+} 与电解液中的 SO_4^{2-} 结

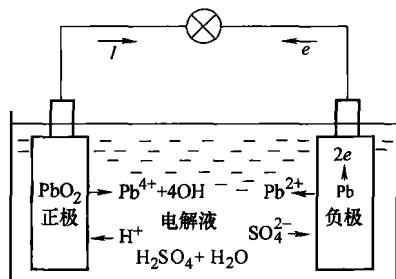


图 1-1 电动势的建立与放电

合也生成 PbSO_4 沉附在负极板上和电解液中, 而极板上的 Pb 继续溶解, 生成 Pb^{2+} 和电子。如果电路不中断, 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 都逐渐转变为 PbSO_4 , 电解液中 H_2SO_4 逐渐减少而 H_2O 增多, 故电解液密度下降。放电时的化学反应过程如图 1-1 所示。

理论上, 放电过程应进行到极板上的所有活性物质全部变为 PbSO_4 为止。而实际上是不可能的, 因为电解液不能渗透到活性物质的最内层。使用中, 所谓放完电的蓄电池, 实际上只有 20% ~ 30% 的活性物质变成了 PbSO_4 , 因此采用薄型极板, 增加多孔率, 能提高活性物质的利用率和容量。

3. 充电过程

充电时, 应将蓄电池接直流电源, 如图 1-2 所示。当电源电压高于蓄电池电动势时, 电流从蓄电池正极流入, 负极流出 (即驱动电子从正极经外电路流入负极)。这时正、负极板发生的反应与放电过程相反。在负极板处有少量的 PbSO_4 进入电解液中,

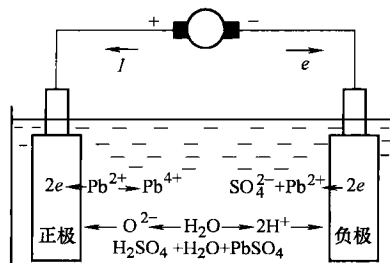


图 1-2 蓄电池充电

中, 电解为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} , Pb^{2+} 在电源的作用下获得两个电子变为 Pb , 沉附在负极板上, 而 SO_4^{2-} 则与电解液中的 H^+ 结合, 生成 H_2SO_4 。正极板处, 也有少量的 PbSO_4 进入电解液中, 电解为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} , Pb^{2+} 在电源作用下失去两个电子变为 Pb^{4+} , Pb^{4+} 和电解液中水电解出来的 OH^- 化合生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$, $\text{Pb}(\text{OH})_4$ 又分解为 PbO_2 和 H_2O , 而 SO_4^{2-} 与电解液中的 H^+ 化合生成 H_2SO_4 。充电时的化学反应过程如图 1-2 所示。充电过程中, 正、负极板上的 PbSO_4 分别逐渐恢复为 PbO_2 和 Pb , 电解液中 H_2SO_4 逐渐增多, H_2O 逐渐减少, 密度增大。

充电终期, 电解液密度升到最大值, 且会引起水的电解。

二、蓄电池的结构类型与型号

1. 蓄电池的结构

如图 1-3 所示为 6V 蓄电池的结构图。它由 3 个单体蓄电池组成。每个单体内均盛装有电解液, 插入极板组 (图 1-4) 便成为单体蓄电池。每个单体蓄电池的标称电压为 2V, 将 3 个或 6 个单体蓄电池串联后便成为一只 6V 或 12V 蓄电池总成。

蓄电池主要由正极板、负极板、隔板、外壳、电解液等组成。

(1) 极板 极板是蓄电池的核心, 分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。蓄电池充、放电过程中,

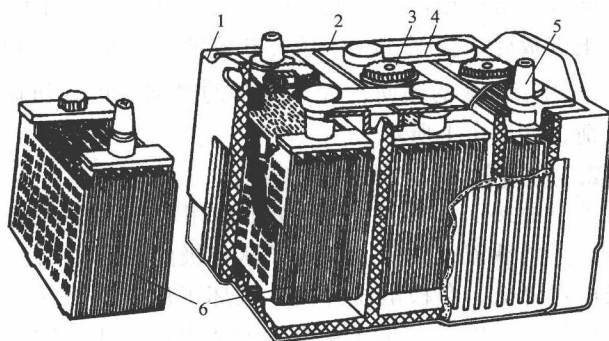


图 1-3 蓄电池的构造

1—蓄电池外壳 2—盖 3—加液孔螺塞
4—连接条 5—极柱 6—极板组

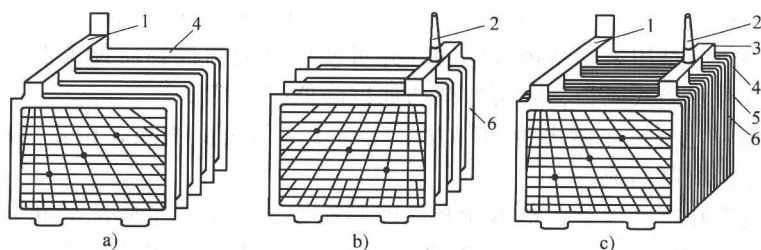


图 1-4 蓄电池极板组的结构

a) 负极板组 b) 正极板组 c) 极板组嵌合情况

1, 3—连接条 2—极柱 4—负极板 5—隔板 6—正极板

电能和化学能的相互转换是依靠极板上活性物质和电解液的化学反应来实现的。正极板上的活性物质是二氧化铅 (PbO_2)，呈深棕色。负极板上的活性物质是海绵状纯铅 (Pb)，呈青灰色。

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，含锑 6% ~ 8.5%，加入锑是为了提高栅架的强度并改善浇铸性能。但铅锑合金耐电化学腐蚀性能比纯铅差，锑易从正极板栅架中解析出来，从而引起蓄电池的自放电和栅架的膨胀、溃烂。因此，改为低锑（含锑量小于 3%）、甚至不含锑的铅钙合金栅架。栅架的制造成型除浇铸外，还采用滚压扩展成型的方式。

国产负极板的厚度为 1.8mm、正极板为 2.2mm。国外大多采用薄型极板，厚度为 1.1 ~ 1.5mm。薄型极板对提高蓄电池的比容量（极板单位尺寸的容量）和改善起动性能都是有利的。

为了增大蓄电池的容量，将多片正、负极板分别并联，用横条焊接，组成正、负极板组，见图 1-4。横条上连有极柱，各片间留有间隙。安装时正负极板相互嵌合，中间插入隔板。由于正极板放电时的化学反应较强烈，因此，每个单体蓄电池中，负极板的数量比正极板多一片（如东风 EQ1090 型汽车所用 6-Q-105 型蓄电池，每单体中的正极板为 7 片，负极板为 8 片），这样正极板都处于负极板之间，使其两侧放电均匀，否则易造成极板拱曲。

(2) 隔板 为了减小蓄电池的内阻和尺寸，正、负极板要尽可能地靠近。但为了避免彼此接触而短路，正、负极板之间用隔板隔开。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。

隔板常用材料为微孔塑料、微孔橡胶、木质材料、玻璃纤维等。由于微孔橡胶、微孔塑料的耐酸、耐高温性能好，价格也越来越便宜，因而使用渐多。

隔板一面平滑，一面制有沟槽。安装时，沟槽的一面朝向正极板，这是因为正极板在充、放电过程中化学反应激烈，沟槽能使电解液较顺利地上下流通。同时，充电时生成的气泡可沿槽上升，脱落的活性物质则会沿槽下沉。

新型蓄电池中，将微孔塑料隔板制成袋状，包在正极板外部，可进一步防止活性物质脱落，并使组装工艺简化。

(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、耐振。以前外壳多用硬橡胶制成。现在国内已开始生产聚丙烯塑料外壳。这种壳体还有强度高，

壳体壁较薄（一般为 3.5mm，而硬橡胶壳体壁厚为 10mm），质量轻，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。

(4) 电解液 电解液是蓄电池内部发生化学反应的主要物质，由化学纯净硫酸和蒸馏水按一定的比例配制而成。

电解液的纯度和密度对蓄电池寿命和性能影响极大，如用工业硫酸和非蒸馏水配制，将带进有害物质（如铁、盐酸、锰、硝酸、铜、砷、醋酸及有机化合物等）而引起蓄电池内部自行放电，减少蓄电池容量。电解液密度小，冬季易结冰；电解液密度大，可以减少冬季结冰的损害，同时可使蓄电池电动势增高，但若密度过大，则电解液黏度增加，蓄电池内阻增大，同时将加速隔板、极板的腐蚀而使其使用寿命缩短。电解液的密度一般为 $1.24 \sim 1.31 \text{g/cm}^3$ ，应根据地区、气候条件和制造厂的要求而定。不同气温下电解液密度（转化为完全充足电的蓄电池在 25°C 时的密度）的选择见表 1-1。

表 1-1 不同气温下电解液密度的选择

使用地区的最低温度/ $^\circ\text{C}$	冬季电解液的密度/ (g/cm^3)	夏季电解液的密度/ (g/cm^3)
< -40	1.30 (25 $^\circ\text{C}$ 时)	1.26 (25 $^\circ\text{C}$ 时)
$-30 \sim -40$	1.28 (25 $^\circ\text{C}$ 时)	1.25 (25 $^\circ\text{C}$ 时)
$-20 \sim -30$	1.27 (25 $^\circ\text{C}$ 时)	1.24 (25 $^\circ\text{C}$ 时)
$0 \sim 20$	1.26 (25 $^\circ\text{C}$ 时)	1.23 (25 $^\circ\text{C}$ 时)

(5) 单体蓄电池及其连接

方式 一只蓄电池一般由 3 个或 6 个单体（图 1-5）蓄电池串联而成，额定电压分别为 6V 或 12V。单体蓄电池的串联方法一般有传统外露式铅连接条连接、内部穿壁式连接和跨越式三种方式，如图 1-5 所示。

早期的蓄电池大多采用传统外露式铅连接条连接，见图 1-6a。这种连接方式工艺简单，但耗铅量多，连接电阻大，因而起动机时电压降和功率损耗大，

且易造成短路。新型蓄电池则采用先进的穿壁式或跨越式连接方式。穿壁式连接见图 1-6c，它是在相邻单体蓄电池之间的间壁中间打孔供连接条穿过，将两个单体蓄电池的极板组极柱焊在一起。跨越式连接见图 1-6b、d，在相邻单体蓄电池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蓄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。

穿壁式和跨越式连接方式与传统外露式铅连接条连接方式相比，有连接条短、省材料、电阻小、起动性能好等优点，且连接条损耗减少 80%；端电压提高 0.15 ~ 0.4V，节

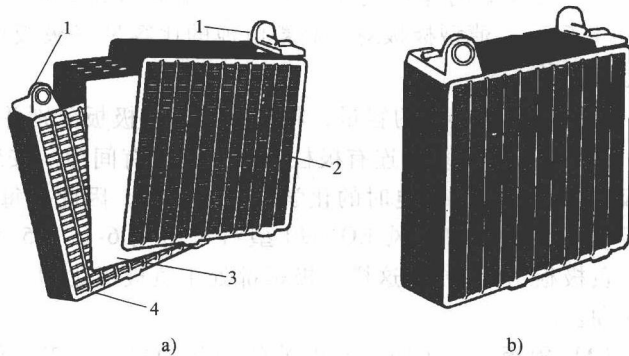


图 1-5 单体蓄电池的结构

a) 分解图 b) 组装图

1—极板连接条 2—负极板 3—隔板 4—正极板

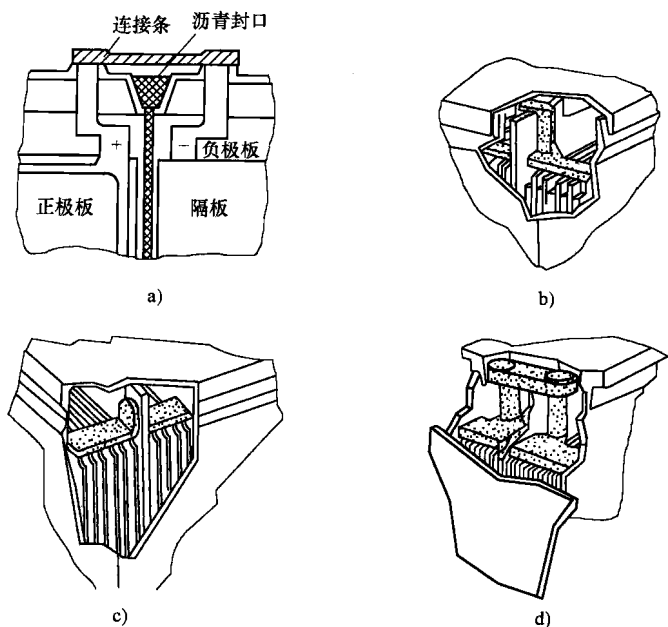


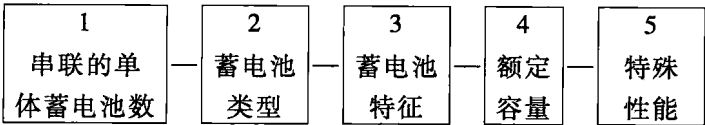
图 1-6 单体蓄电池的连接方式

a) 传统外露式铅连接条连接 b)、d) 跨越式连接 c) 穿壁式连接

约材料约 50% 以上，因而得到广泛的应用。

2. 蓄电池的型号和规格

根据原机械工业部颁发的 JB/T 2599—1993 《铅酸蓄电池 产品型号编制方法》，蓄电池型号由以下五部分组成：



第 1 部分为串联的单体蓄电池数，用阿拉伯数字表示。当蓄电池数目为“1”时，此部分应略去。

第 2 部分为蓄电池类型，是根据其主要用途来划分的。如起动用蓄电池代号为“Q”，摩托车用蓄电池代号为“M”。

第 3 部分为蓄电池产品特征代号，仅在同类用途产品中具有某种特征，而在型号中又必须加以区别时采用。当产品同时具有两种特征时，原则上按表 1-2 顺序将两个代号并列标出。

表 1-2 产品特征代号

序 号	蓄 电 池 特 征	代 号
1	密封式	M
2	免维护	W
3	干式荷电	A
4	湿式荷电	H
5	防酸式	F
6	带液式	D

第4部分为20h率额定容量,单位为 $A \cdot h$,用阿拉伯数字表示。

第5部分为在产品具有某些特殊性能时,可用相应的代号加在产品型号的末尾。如G表示薄型极板的高起动率蓄电池,S表示采用工程塑料外壳、电池盖及热封工艺的蓄电池。

型号和规格举例:

1) 3-Q-90表示由3个单体蓄电池组成,额定电压为6V,额定容量为 $90A \cdot h$ 的起动用蓄电池。

2) 6-QA-105G表示由6个单体蓄电池组成,额定电压为12V,额定容量为 $105A \cdot h$ 的起动用干式荷电高起动率蓄电池。

3) 6-QAW-100表示由6个单体蓄电池组成,额定电压为12V,额定容量为 $100A \cdot h$ 的起动用干式荷电免维护蓄电池。

3. 蓄电池的类型

蓄电池种类很多,汽车上所使用的蓄电池必须能满足起动发动机的需要,即短时间(5~10s)内可供给起动机强大的起动电流(一般为200~600A,有的柴油机可达1000A),因此这种蓄电池通常称为起动型蓄电池。由于电解液不同,蓄电池又有酸性和碱性之分,碱性蓄电池的电解液为化学纯净的苛性钠或苛性钾溶液,酸性蓄电池的电解液为化学纯净的硫酸溶液。汽车上使用最广泛的是起动用铅酸蓄电池,其电极的主要成分是铅,电解液是稀硫酸溶液。它构造简单,内阻小,起动性好,价格低,因此在汽车上得到广泛的应用。

铅酸蓄电池分为湿式荷电蓄电池(普通蓄电池)、干式荷电蓄电池和免维护蓄电池。

目前世界各国研究新型高能蓄电池有钠硫蓄电池、燃料蓄电池、锌-空气蓄电池、锂合金二硫化铁蓄电池等。

20世纪70年代以来,由于受到内燃机污染和能源危机的冲击,世界各国都在大力开发研究新型蓄电池。用蓄电池代替发动机作为电动汽车的动力源,不但可以节约石油,而且可使汽车的传动系统大大简化,污染降小、噪声减小、操纵方便。但是,由于铅酸蓄电池比能量仅为 $40 \sim 50W \cdot h/kg$,故质量大,容量小,而且需要经常充电,因此很不适宜用作长途电动汽车的动力源。目前常用的电动汽车只能用于车站、码头、工厂内部等短距离运输。对新型高能蓄电池的要求是:比能量应达到 $140W \cdot h/kg$,充放电循环次数达到800次以上,充电一次可使电动汽车行驶240km。

(1) 干式荷电铅酸蓄电池 干式荷电铅酸蓄电池与普通铅酸蓄电池的区别是极板组在干燥状态的条件下能够较长期地保存制造过程中所得到的电荷。其外形如图1-7所示。所以,干式荷电铅酸蓄电池在规定的保存期内(两年)如需使用,只要灌入符合规定密度的电解液,搁置20~30min,液面高度至规定标准后,不进行初次充电即可使用,且荷电量可达到蓄电池额定容量的80%以上,因此是应急的理想电源。目前,国内已大批量生产,并且基本上取代了普通铅酸蓄电池。干式荷电铅酸蓄电池之所以具有干式荷电性能,主要在于负极板的制造工艺与普通铅酸蓄电池不同。正极板的活性物质二氧化铅化学活性比较稳定,其荷电性能可以较长期的保持,而负极板上的活性物质海绵状纯铅,则由于表面积大,化学活性高、容易氧化,所以要在负极板的铅膏中加入松香、油酸、硬脂酸等抗氧化剂,并在化成过程中有一次深放电循环或进行反复地充电、放电,使极板的深层也形成海绵状纯铅,活性物质达到深化。化成后的负极板,先用清水冲洗后,再放入防氧

化剂溶液（硼酸、水杨酸混合液）中进行浸渍处理，让负极板表面生成一层保护膜，避免与空气接触而氧化，最后采用特殊工艺（干燥罐中充入惰性气体或抽真空）干燥处理后即制成干式荷电极板。与普通铅酸蓄电池相比，干式荷电铅酸蓄电池自放电小，储存期长。

干式荷电蓄电池的维护与普通蓄电池基本一样。对于储存期超过两年的干式荷电蓄电池，因极板有部分氧化，使用前应以补充充电电流充电 5~10h 后再用。

(2) 免维护蓄电池 免维护蓄电池是现代汽车上广泛使用的一种新型蓄电池，也称为 MF（Maintenance Free 的缩写）蓄电池。这种新型蓄电池在 20 世纪 70 年代后期进入国际市场，并得到迅速发展。其结构如图 1-8 所示。

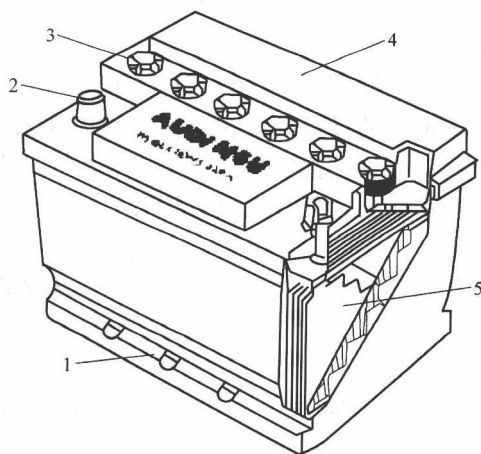


图 1-7 干式荷电铅酸蓄电池

1—下固定槽 2—极柱 3—加液螺塞 4—壳体 5—极板组

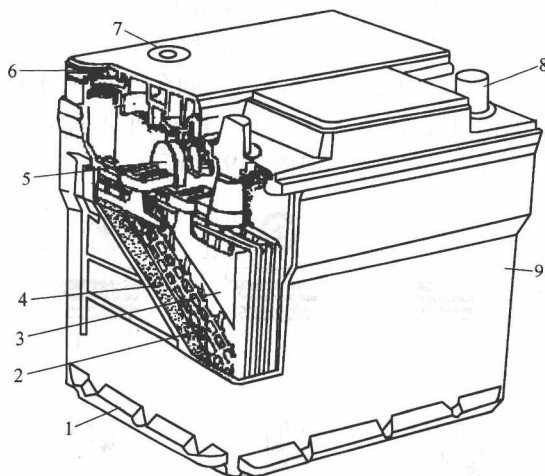


图 1-8 免维护蓄电池

1—下固定槽 2—铅钙栅架 3—信封式隔板 4—活性物质 5—穿壁式连接条
6—消焰排气阀 7—内装式密度计 8—冷锻式极柱 9—壳体

免维护蓄电池的含义是：在汽车合理使用过程中无需加水，只要把蓄电池装好即可使用；在使用过程中也不需做任何维护或只需较少的维护工作，即能保证蓄电池的技术状况良好和一定的使用寿命。无论气候怎样恶劣，都有足够的电力起动汽车，结构坚固耐用，保护装置多，市内短途车可行驶 80000km，长途货车可行驶 400000~480000km，不需进行维护，可用 3.5~4 年不必加水，极柱基本没有腐蚀，自放电少。在车上或储存时不需

要进行补充充电，是一种先进的新型汽车电源。

免维护蓄电池是通过降低或消除栅架中锑的含量来达到免维护的，与普通铅酸蓄电池相比，它主要在极板栅架材料上做了重大改进，采用低锑合金（3%）或无锑合金栅架。普通铅酸蓄电池的极板栅架在浇铸过程中加入了6%~8%的锑，可使浇铸性能好，极板机械强度高，且焊接性能好。但由于极板栅架中含有较多的锑，在电化学反应中，锑会不断地从正极板析出，迁移到负极板表面沉积，并与负极板上的活性物质构成局部蓄电池而导致自放电。

根据极板栅架所用合金材料的不同，免维护蓄电池一般分为两种类型，一种采用低锑（1%~3%）栅架，通常称为少维护蓄电池；另一种采用铅钙合金或铅钙锡合金的无锑栅架，是真正的免维护蓄电池。免维护蓄电池在设计上还有以下一些特点，高强度、低阻值、薄型栅架，厚度为1.1~1.5mm，密封的外壳，穿壁式连接条，平底结构的大储液室，信封式隔板。这种蓄电池比普通蓄电池体积要小，质量也轻，使用中无需加蒸馏水，极柱不会腐蚀，自放电少，寿命长，使用时不需补充充电。

免维护蓄电池的通气孔采用新型安全通气装置，可避免蓄电池内的氢气与外部的火花直接接触而爆炸。通气塞中还装入催化剂钯，可帮助排出的氢氧离子结合生成水再回到蓄电池中去。这种通气装置还可以使蓄电池顶部和极柱保持清洁，减少极柱的腐蚀，保证接线牢固可靠。

免维护蓄电池盖上没有设置加液孔，内部常配有蓄电池技术状态指示器，又称为内装式密度计，以不同颜色显示蓄电池的存电情况及液面高度。

蓄电池技术状态指示器由透明塑料管、底座和两只小球（一只为红色、另一只为蓝色）组成，借助于螺纹安装在蓄电池盖上，两只颜色不同的小球安放在塑料管与底座之间的中心孔中，红色小球在上、蓝色小球在下。由于两只小球是由密度不同的材料制成，因此可随电解液密度变化而上下浮动，如图1-9a所示。

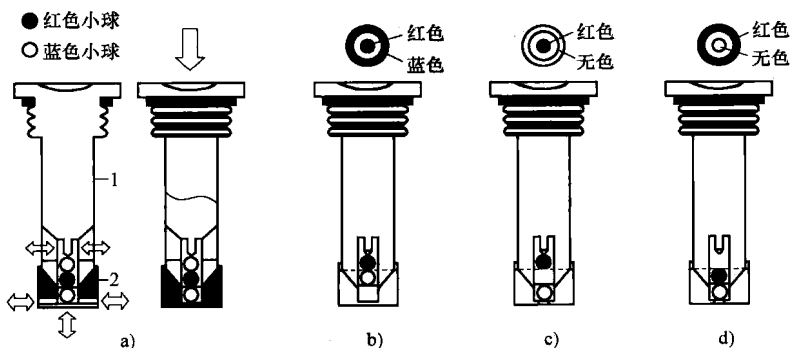


图 1-9 蓄电池技术状态指示器

a) 指示器结构 b) 存电充足 c) 充电不足 d) 电解液不足

1—透明塑料管 2—指示器底座

蓄电池技术状态指示器是根据光学折射原理来反映蓄电池技术状态的。当蓄电池存电充足、电解液相对密度大于1.22时，两只小球向上浮动到极限位置，经过光线折射小球的颜色，从指示器顶部观察到的结果如图1-9b所示，中心呈红色圆点、周围呈蓝色圆环，表示蓄电池技术状态良好，英文标示为“OK”。

当蓄电池充电不足、电解液相对密度过低时，蓝色小球下移到极限位置，观察结果如图 1-9c 所示，中心呈红色圆点、周围呈无色透明圆环，表示蓄电池充电不足，应及时补充充电，英文标示为“Charging necessary”。

当电解液液面过低时，两只小球都将下移到极限位置，观察结果如图 1-9d 所示，中心呈无色透明圆点、周围呈红色圆环，表示电解液不足，蓄电池无法继续使用，必须更换蓄电池。

如果这种指示器安装在干式荷电蓄电池上，则表示必须添加蒸馏水，英文标示为“Add distilled water”。

(3) 螺旋状极板胶体型免维护蓄电池 螺旋状极板胶体型免维护蓄电池结构如图 1-10 所示，它具有下列特点：

1) 蓄电池极板及隔板呈螺旋紧密捆绑状，使得同样容积的极板反应面积增大（比普通蓄电池几乎大一倍）。低温起动电流达 850A。

2) 胶体状电解液粘附于极薄的纤维隔板网材料上，零下 40℃ 低温下也不会结冰，高温 65℃ 时不会漏液、漏气，可以以任何角度固定蓄电池。

3) 自放电极少。它可在不使用状态下至少放置 10 个月以上，仍能维持 50% 以上的容量。

4) 过充电性能好。能在 1h 内以 100A 的大充电电流应急充足。

(4) 钠硫蓄电池 钠硫蓄电池的结构如图 1-11 所示。在钠硫蓄电池中，阴极的反应物质是熔融的钠，阳极反应物质是带有一定导电物质的硫，电解质为 β -氧化铝（矾土）的陶瓷管（ $\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$ ），它既是绝缘体又能自由传导钠离子。其作用原理是，当外电路闭合时，阴极处不断产生钠离子并放出电子，即

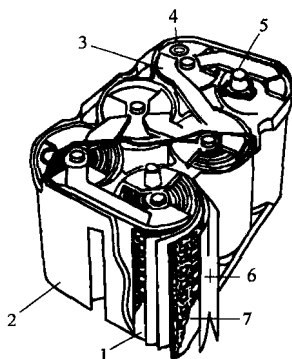
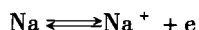


图 1-10 螺旋状极板胶体型免维护蓄电池

1—胶体电解液 2—壳体 3—连接条 4—通气塞
5—极柱 6—极板 7—隔板

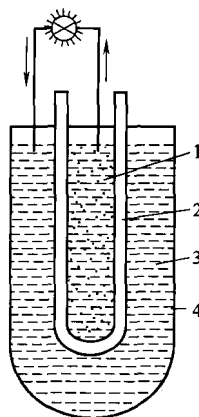
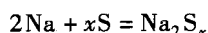


图 1-11 钠硫蓄电池结构图

1—熔融钠 2—电解质 3—溶
融硫 4—不锈钢壳体

电子 e 通过外电路移向阳极，而钠离子 Na^+ 通过 β -氧化铝电解质与阳极的反应物质硫起作用，生成钠的硫化物，即 Na_2S_x 可以是 Na_2S_2 、 Na_2S_4 、 Na_2S_5 等。

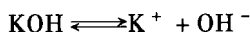


上述反应不断进行, 电路中就能获得电流。这种蓄电池的理论比能量高达 $664\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$, 效率可达 100%, 即放电量等于充电量, 且充电时间短、无污染、原材料丰富, 因此各国对这种蓄电池开发研制都很重视。缺点是硫化钠易燃烧, 工作温度高达 $250 \sim 300^\circ\text{C}$, 且寿命短, 使用还有困难。

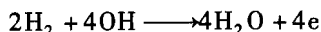
(5) 燃料蓄电池 燃料蓄电池由燃料(氢、煤气、天然气等)、氧化剂(氧气、空气、氯气)、电极(多孔烧结镍电极、多孔银电极等)和电解质 KOH 溶液等组成, 是利用燃料的氧化反应将化学能直接转变为电能的一种蓄电池。燃料蓄电池与普通蓄电池不同之处在于, 只要不断地加入燃料和氧气, 就会不断地产生电能, 故称燃料蓄电池。燃料蓄电池的种类很多, 有氢-氧、碳化氢、联氨等类, 现以氢-氧燃料蓄电池为例说明。

氢-氧燃料蓄电池是一种最普通的燃料蓄电池, 先把燃料转化为氢气, 然后与氧气分别在蓄电池的两极发生氧化和还原反应, 从而产生电能。

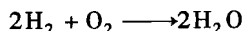
氢-氧燃料蓄电池的结构如图 1-12 所示, A 是氧气腔, 氧气由高压氧气筒供给, 工作压力为 $666 \sim 1333\text{Pa}$ 。E 是氢气腔, 氢气由高压氢气筒供给; 正极 B 是多孔性的氧电极(活性炭电极), 用钴或铝作催化剂; 负极 D 是多孔氢电极(活性炭电极), 用铂或钯作催化剂; C 是饱含电解液的石棉填充物, 电解液是 30% 的氢氧化钾 KOH 溶液, 由液压泵使其循环。其化学反应过程如下:



电解液中 KOH 不断电离和化合形成相对平衡状态, 即放电时, 在负极 D (氢电极) 处, 氢与氢氧根离子化合生成水, 并放出电子。电子通过外电路送到正极。在正极 B (氧电极) 处, 氧与水及外电路流来的电子起作用, 生成氢氧根离子, 进入电解液。



总反应为



在反应过程中, 氢和氧不断地消耗并生成水, 所以只要不断地供给氢和氧, 反应就能继续进行, 不断地产生电能向外电路供电。由于燃料蓄电池的比能量已达到 $200 \sim 350\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$, 为铅酸蓄电池的 4~7 倍, 且不需充电, 只要不断供应燃料就可继续使用, 因此适合作为汽车的动力源。但它需要贵金属作催化剂, 成本高, 且燃料的储藏和运输都有一定困难, 因此有待进一步解决。

(6) 锌-空气蓄电池 锌-空气蓄电池的比能量可达 $150 \sim 400\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$, 正极板是一薄层空气电极, 由金属网集电器、活性层等组成; 负极板由纯锌组成; 电解液为氢氧化钾

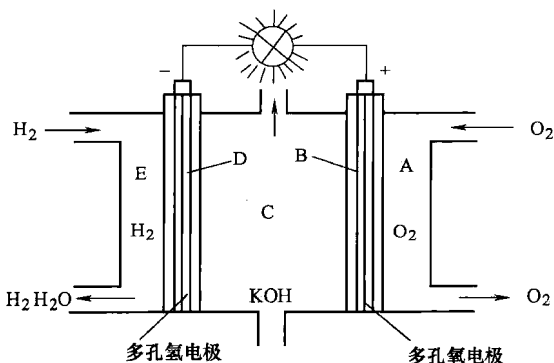
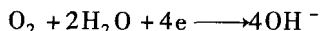


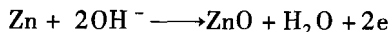
图 1-12 氢氧燃料蓄电池结构示意图

A—氧化腔 B—正极（多孔氧电极） C—饱含电解质石棉层 D—负极（多孔氢电极） E—氢气腔

水溶液。其工作电压为 1.0 ~ 1.2V。放电时正极板上的反应为

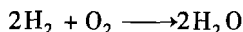


理论上空气的消耗量约为 $1\text{m}^3/(\text{kA} \cdot \text{h})$ 。负极板锌的氧化过程可概括为



充电时按上述过程反向进行。

蓄电池的总反应式为



锌-空气蓄电池具有放电电压稳定、无污染等优点。但工作时在清除空气中的二氧化碳、滤清、通风等需要消耗一定能量，还要限制放电电流等缺点，尚需进一步研究解决。

三、蓄电池的参数与工作特性

1. 蓄电池的参数

蓄电池的参数主要有电解液相对密度、端电压和容量等。

(1) **相对密度** 电解液的相对密度是指电解液中硫酸成分所占的比例。实测密度应按下式换算成 25℃ 时的相对密度 $\rho_{25^\circ\text{C}}$ ：

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

式中 ρ_t ——实测电解液密度 (g/cm^3)；

t ——实测电解液温度 ($^\circ\text{C}$)；

β ——密度温度系数 ($\beta = 0.0007$)，即温度每升高 1°C ，密度将降低 $0.0007\text{g}/\text{cm}^3$ 。

(2) **额定容量** 蓄电池的容量是反映蓄电池对外供电能力、衡量蓄电池质量优劣以及选用蓄电池的重要指标。容量越大，可提供的电能越多，供电能力也就越大；反之，容量越小，则供电能力就越小。

蓄电池的容量是指在规定的放电条件（放电电流、放电温度和放电终止电压）下，蓄电池能够输出的电量，用 C 表示。

当恒流放电时，蓄电池的容量等于放电电流与放电持续时间之积，单位为 $\text{A} \cdot \text{h}$ 。

蓄电池的容量与放电电流、电解液温度、放电终止电压和放电持续时间有关。因此，蓄电池出厂时规定的额定容量是在一定的电解液温度、放电电流和放电终止电压下测得的。我国国家标准 GB/T 5008.1—1991《起动用铅酸蓄电池技术条件》规定，以 20h 放电率的额定容量作为起动用蓄电池的额定容量（即放电电流 = 额定容量/20h）。

蓄电池的 20h 放电率额定容量是指：完全充足电的蓄电池在电解液温度为 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 条件下，以 20h 放电率的放电电流（即 $0.05C_{20}$ 安培电流）连续放电，至 12V 蓄电池的端电压降到 $10.5\text{V} \pm 0.05\text{V}$ 时输出的电量，用 C_{20} 表示。

额定容量是检验蓄电池质量的重要指标。新蓄电池必须达到该指标，否则就为不合格产品。例如：在电解液温度为 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 条件下，对新产 6-QA-105 型蓄电池以 5.25A 电流连续放电至电压降到 $10.5\text{V} \pm 0.05\text{V}$ 时，若放电时间大于或等于 20h，则其容量为 $C \geq C_{20} = 5.25\text{A} \times 20\text{h} = 105\text{A} \cdot \text{h}$ ，达到或超过了额定容量 $105\text{A} \cdot \text{h}$ ，因此该蓄电池为合格产