



国家示范性高职院校建设项目成果  
工程机械运用与维护专业工学结合系列教材

主 编◎王霁霞

副主编◎高 杰 杨生旺

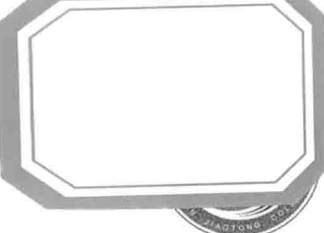
主 审◎张爱山



# 工程机械电气系统检修

GONGCHENGJIXIEDIANQIXITONGJIANXIU

云南出版集团公司  
云南人民出版社

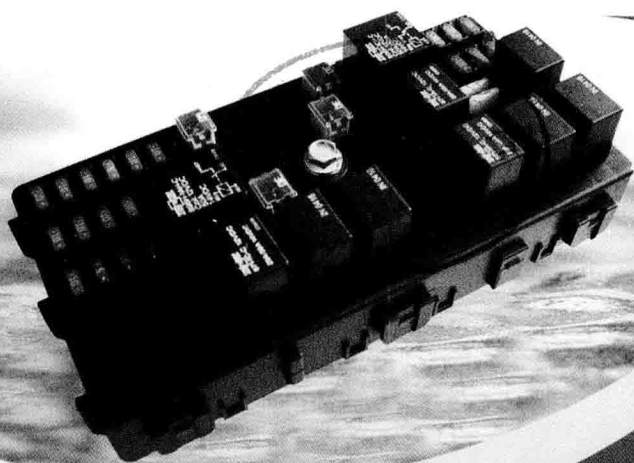


国家示范性高职院校建设项目成果  
工程机械运用与维护专业工学结合系列教材

主 编◎王霁霞

副主编◎高 杰 杨生旺

主 审◎张爱山



# 工程机械电气系统检修

GONGCHENGJIXIEDIANQIXITONGJIANXIU

云南出版集团公司  
云南人民出版社

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工程机械电气系统检修 / 王霁霞主编. —昆明: 云南人民出版社, 2013.3

工程机械运用与维护专业工学结合系列教材

ISBN 978-7-222-10768-7

I. ①工… II. ①王… III. ①工程机械—电气系统—检修—高等职业教育—教材 IV. ①TU607

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 039057 号

责任编辑: 冯 琰

责任校对: 解彩群

封面设计: 杨晓东

内文排版: 唐敬乾

责任印制: 马文杰

书 名	工程机械电气系统检修
作 者	王霁霞 主编 高杰 杨生旺 副主编 张爱山 主审
出 版	云南出版集团公司 云南人民出版社
发 行	云南人民出版社
社 址	昆明市环城西路 609 号
邮 编	650034
网 址	<a href="http://ynpress.yunshow.com">http://ynpress.yunshow.com</a>
E-mail	<a href="mailto:rmszbs@public.km.yn.cn">rmszbs@public.km.yn.cn</a>
开 本	787×1092 1/16
印 张	18
字 数	250 千
版 次	2013 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
印 刷	云南新华印刷二厂
书 号	ISBN 978-7-222-10768-7
定 价	32.00 元

# 前 言

本书根据高职高专教育培养目标，采用工学结合的方法，针对工程机械相关专业对工程机械电气设备与检修技术的需求，结合当今工程机械技术的发展情况，按岗位要求组织教学内容编写，以全面提高学生的职业能力。

本书是一本理实一体的教材，结合情境化教学的实际需要，通过典型故障案例导入，较详尽地介绍了工程机械电气系统检修的基本知识和基本技能，知识要素主要围绕技能要求来安排。知识和技能实用，可操作性强，图文表并茂，特性鲜明。

本书共分7个情境，分别介绍了工程机械电气系统电源系统、起动系统、点火系统、照明与信号系统、仪表与警报系统、辅助电气系统、全车电路。每个情境后面都列有任务工作单，为学生学习效果和实践能力提供参考。本书实用性强，不仅可作为高职高专工程机械相关技术专业的教材，还可作为广大从事工程机械管理、使用、维修的人员的参考书。

本书由云南交通职业技术学院王霁霞担任主编，高杰、杨生旺担任副主编。王霁霞编写情境5、情境6、情境7，高杰编写情境1、情境2，杨生旺编写情境3、情境4。王霁霞、何俊美编写了任务工作单。由工程机械技术领域资深高级工程师张爱山主审，他对稿件进行了认真的审阅，提出了不少宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了大量相关文献资料。在此，对相关文献资料的作者表示真诚的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2013年1月

# 目 录

绪 论 .....	1
情境 1 检修电源系统 .....	4
1.1 检修蓄电池 .....	5
1.2 检修交流发电机 .....	24
1.3 检修电压调节器 .....	44
1.4 检修电源系统电路 .....	52
情境 2 检修起动系统 .....	62
2.1 检修起动机 .....	63
2.2 起动熄火电磁阀 .....	82
2.3 起动预热装置 .....	82
2.4 检修起动系统电路 .....	86
情境 3 检修点火系统 .....	96
3.1 检修电子点火系统 .....	98
3.2 检修微机控制点火系统 .....	108
3.3 检修磁电机点火系统 .....	113
情境 4 检修照明与信号系统 .....	120
4.1 检修照明系统 .....	120
4.2 检修信号系统 .....	134
情境 5 检修仪表与警报系统 .....	153
5.1 检修仪表系统 .....	153
5.2 检修报警系统 .....	189
情境 6 检修辅助电气系统 .....	198
6.1 检修电动刮水器、清洁系统 .....	198
6.2 检修空调系统 .....	204
6.3 检修音响系统 .....	244



情境 7 检修全车电路.....	255
7.1 电路中的辅助装置 .....	255
7.2 电路图的识读 .....	264
7.3 检修全车电路 .....	267
参考文献 .....	279

## 绪 论

近年来工程机械电子技术进入飞速发展的新阶段，在工程机械上广泛采用大量的电器与电子控制装置，超微型电子计算机以及集成电路的大规模微型化的发展给工程机械的驾驶与作业带来了革命性的变化，提高了驾驶的安全性和可靠性，也提高了施工作业的质量和效率。

现代工程机械已进入机、电、液一体化时代，工程机械所用电子装置越来越多，正因为如此，电子产品在工程机械上的应用程度已成为评价工程机械先进程度、性能指标的重要依据。

### 1. 课程的性质、任务

《工程机械电气系统检修》是工程机械运用技术相关专业的核心专业课，它是以电工、电子技术及工程机械构造为基础，教授工程机械常用电器设备的构造、工作原理、维护及检修等方面的知识和技能。

随着电子技术在工程机械方面的广泛应用，工程机械电气设备的维护更加复杂。因此，作为工程机械运用技术相关专业的学生，只有全面系统地掌握工程机械常见基础电气设备的结构、基本原理、使用与维修、检测与调试、故障诊断与排除等基本知识和基本技能，才能为进一步学习和应用新知识、新技术打好坚实的基础。

### 2. 工程机械电器设备的组成

现代公路工程机械电器与电子控制装置种类很多，按其作用大致可分为以下几个部分，例如图1所示装载机电气系统大致位置。

#### 电源系统

由蓄电池、发电机及调节器及相关线路组成，其作用是向全车提供稳定的低压直流电能。

#### 起动系统

由起动机、起动继电器及相关线路组成，其作用是起动发动机。

#### 点火系统

主要由点火元件、点火线圈、火花塞及相关线路组成，其作用是将电源提供的低压直流电变为足以击穿火花塞间隙的高压电，跳火点燃混合气。

#### 照明与信号系统

主要由照明设备、信号灯、电喇叭、蜂鸣器等组成，提供工程机械安全施工所必需的照明和信号，保证行驶和施工中的人机安全。

#### 仪表警报系统

由燃油表、机油压力表、水温表、发动机转速表和相应的传感器组成，其作用是监视



发动机和其他装置的工作情况。

## 辅助电气系统

(1) 雨刮、清洗系统：主要由电动机、减速机构、自动停位器、刮水器开关和联动机构及刮片、储液罐、清洗泵、输液管、喷嘴、清洗开关等组成，其作用是保证在各种使用条件下挡风玻璃表面干净、清洁。

(2) 空调系统：主要由制冷系统、加热系统、通风与空气净化系统等组成，其作用是改善驾驶员的工作环境。

(3) 音响系统：主要由主机、功率放大器和扬声器等组成，其作用是提高驾驶员工作环境品质和对信息接收的要求。

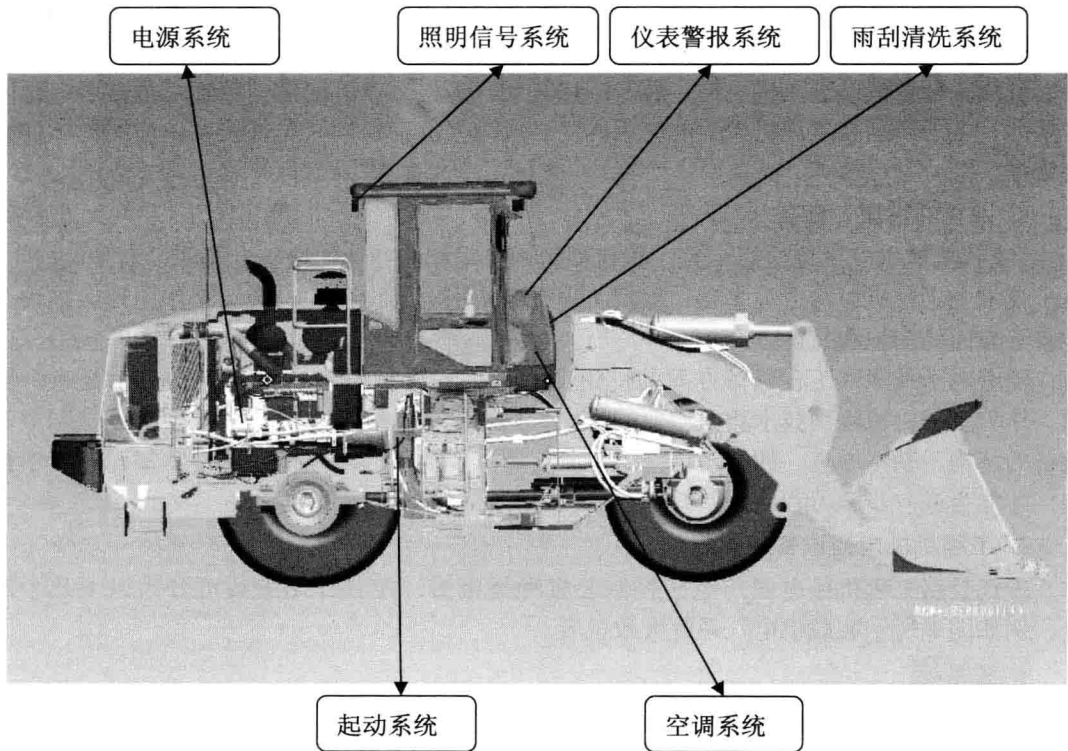


图1 装载机电气系统位置

### 3. 工程机械电器设备的特点

工程机械的种类和品牌繁多，各电气设备的数量不等，其安装位置、接线方法等也各有差异，但不论进口还是国产工程机械，其电气系统的设计一般都遵循一定的规律。了解这些特点，对工程机械电气设备的维修很有帮助。

#### 低压电

工程机械上采用12V或24V低压电源系统，一般柴油机采用24V系统。个别工程机械上存在两种电压系统，以供不同的需求，如起动机采用24V系统，一般电器设备采用12V系统。



### 直流电流

在工程机械上的电气设备一般采用直流电源系统，这主要是考虑由于发电机要向蓄电池充电。

### 并联连接

在公路工程机械上的主要电气设备一般采用并联连接方式，这主要是防止各主要电器之间一旦出现故障，造成相互影响，避免大量电气设备的无法使用。

### 负极搭铁、单线制

为简化电气设备的连接线路，通常用一根线连接电源正极和电气设备，而将电气设备的另一端接到整车的公共端，如：发动机缸体、车架等部位，俗称“搭铁”。此时，电源与电气设备之间只有一根线相连，即为“单线制”。根据国家标准规定必须采用负极“搭铁”，而国外一般也采用此制式。



## 情境 1 检修电源系统

### 知识目标

1. 学习电源系统的组成及作用；
2. 掌握蓄电池、发电机和调节器的分类、型号；
3. 掌握发电机和调节器的组成结构及工作原理。

### 能力目标

1. 能够识读电源系统基本工作电路原理图；
2. 能够检测蓄电池、调节器；
3. 能够完成蓄电池的充电；
4. 能够拆装、检测发电机；
5. 能够诊断和排除电源系统常见故障；
6. 能够连接电源系统线路。

### 任务导入

一台挖掘机起动后，发动机转速增高，充电指示灯不熄灭，此故障称为电源系统不充电。故障原因有发电机、调节器、保险、导线连接等，要想排除此故障，要掌握电源系统组成元件的构造、原理、拆装、检测，线路连接等内容，我们必须学习下面的知识技能。

### 相关知识

工程机械电源系统的主要作用是向工程机械用电设备供电，满足工程机械用电需要。电源系统主要由发电机以及与发电机匹配的调节器、蓄电池、电流表（电压表）、充电指示灯等组成，如图 1-1 所示。

工程机械上有两大直流电源——蓄电池和发电机。蓄电池和发电机并联，当发动机运行，发电机正常发电时，由发电机向用电设备供电，同时向蓄电池充电；当发电机不发电或电压低时，由蓄电池向用电设备供电。具体讲，蓄电池的主要功用是在发动机起动时向起动机供电；当发电机电压高于蓄电池电压时，发电机对蓄电池充电，蓄电池将电能储存起来；同时，蓄电池可以吸收电路中的瞬时过电压，起到保护电路的作用。为使发电机在转速变化时输出稳定的电压，必须使用电压调节器。

电源系统的基本电路如图 1-1 所示，它包括：

- (1) 发电机的工作电路——发电机励磁电路及调节器电路；
- (2) 充电电路——充电电路及充电指示灯电路。

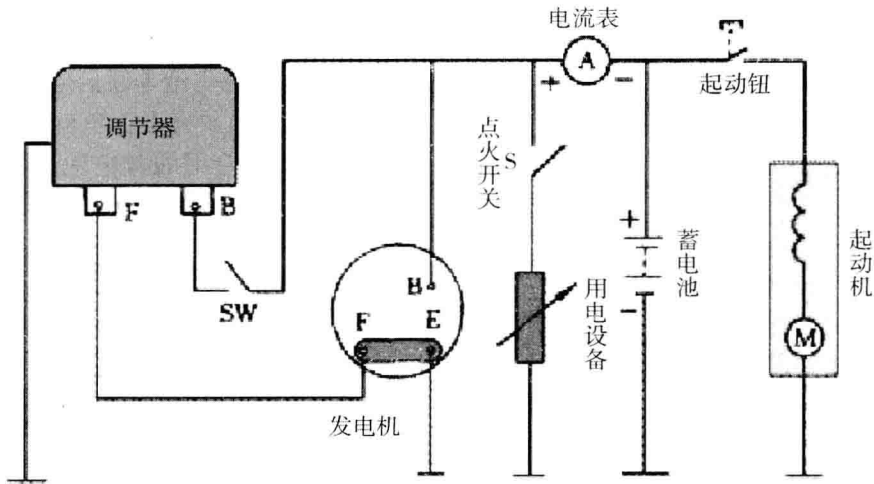


图 1-1

## 1.1 检修蓄电池

### 1.1.1 蓄电池概述

蓄电池是一种可逆的直流电源，向用电设备供电时，将化学能转化为电能；外电源对蓄电池充电时，将电能转化为化学能。工程机械蓄电池属于起动型蓄电池，能在短时间（5~10s）内向起动机提供大电流，工程机械蓄电池属于铅酸蓄电池，电解液采用稀硫酸，极板的活性物质为铅。铅酸蓄电池结构简单，价格低，内阻小，起动性好，因此在工程机械上得到广泛应用。

铅酸蓄电池的用途：

- (1) 起动发动机时，给起动机和点火系供电。要求在 5~10s 内提供起动机 200~600A 的强大电流（个别柴油机的起动电流可高达 1000A）。
- (2) 发电机不工作或输出电压过低时，向点火系及其他用电设备供电。
- (3) 在发电机短时间超负荷时，可协助发电机向用电设备供电。
- (4) 蓄电池储电不足时，可将发电机的电能转变为化学能储存起来。
- (5) 具有电容器的作用，能吸收瞬间高电压，保护电路中电子元件不被损坏。



## 1.1.2 蓄电池的组成、结构

### 1. 铅酸蓄电池

铅酸蓄电池的构造如图 1-2 所示，一般由 6 个或 12 个单格电池串联后形成一个 12V 或 24V 的蓄电池总成，每个单格电池的标准电压为 2V。蓄电池主要由正负极板组成的极板组、隔板、电解液、外壳、连接条和接线柱等组成。目前使用的蓄电池以铅蓄电池为主。

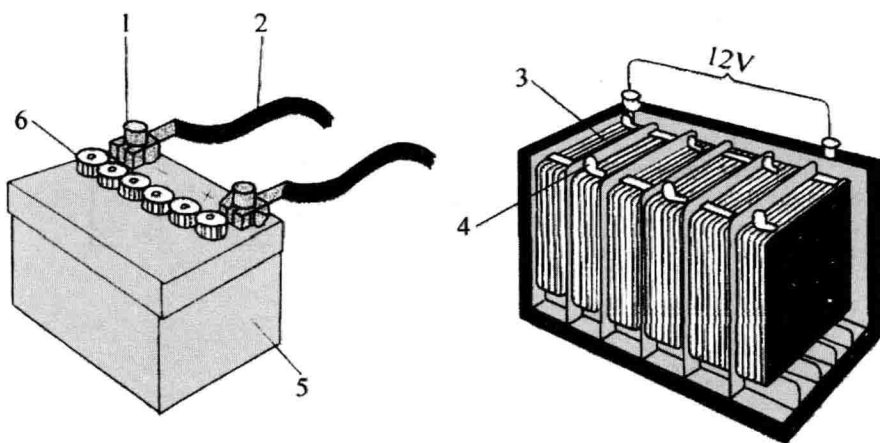


图 1-2 蓄电池的结构

1-接线柱；2-起动车缆；3-单格电池；4-连接条；5-外壳；6-加液孔盖

### 极板

极板是铅蓄电池的主要组成部分，它分为正极板和负极板，正、负极板均由栅架和活性物质组成。铅蓄电池的充、放电过程就是依靠极板上的活性物质和电解液中的硫酸进行化学反应来实现的。

正、负极板栅架结构相同，如图 1-3 所示，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。加锑的目的是为了提高栅架的机械强度和浇铸性能，但加锑后易引起蓄电池自行放电、栅架腐蚀。

活性物质是极板上的反应物质，正极板上的活性物质是二氧化铅 ( $\text{PbO}_2$ )，呈深棕色。负极板上的活性物质是海绵状的纯铅 ( $\text{Pb}$ )，制作时铅膏中加入了松香、油酸、硬脂酸等抗氧化剂。成型后负极板呈青灰色。将正、负极板各一片浸入电解液中，就可获得 2.1V 的电动势。

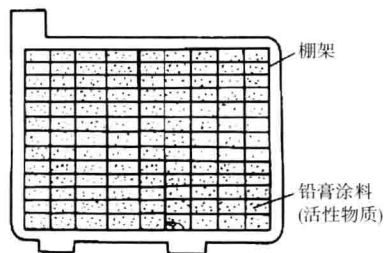


图 1-3 极板结构

为了增大蓄电池的容量，而又不致使体积过大，一般都采用小面积的多片正、负极板分别并联，用横板焊接，组成正、负极板组，如图 1-4 所示。安装时正、负极板相互嵌合，中间插入隔板，放入单格电池槽内，形成单格电池。在单格电池中，负极板的片数

比正极板多一片，正极板都处于负极板之间，使正极板两侧放电均匀，否则由于正极板的机械强度差，易造成正极板的拱曲变形和活性物质的脱落。

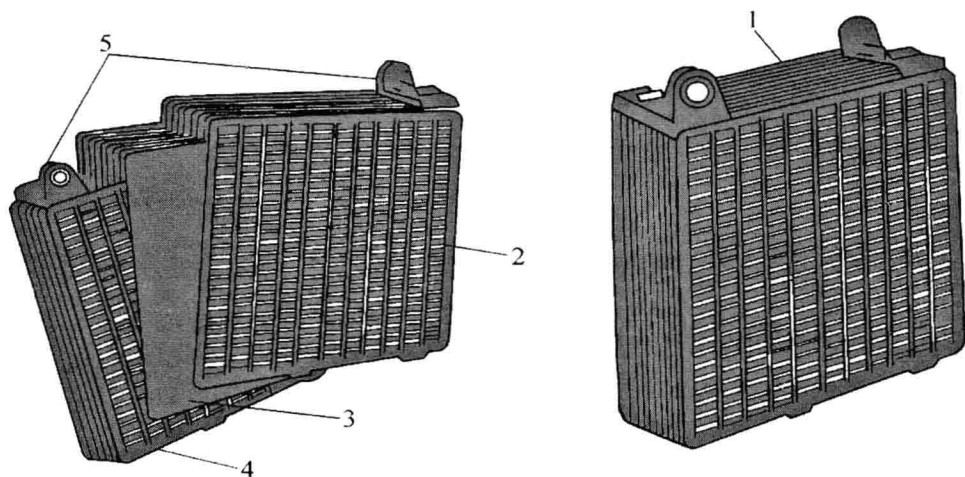


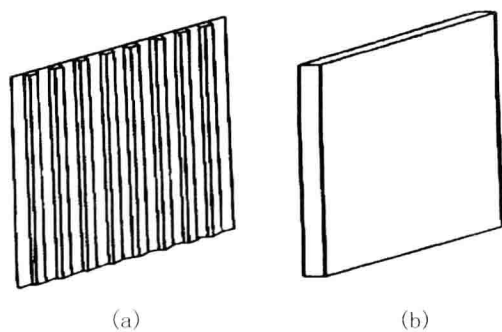
图 1-4 极板组结构

1 - 组装完的极板组；2 - 负极板；3 - 隔板；4 - 正极板；5 - 联条

### 隔板

为了减小铅蓄电池的内电阻和尺寸，正、负极板间的距离应尽可能的小，为此在正、负极板之间插入隔板，防止极板短路。隔板应具有良好的绝缘性能，此外，应具有良好的多孔结构，以便电解液能自由渗透，减小蓄电池内阻，同时还应具有良好的耐酸和抗氧化性能。

隔板的结构形状有槽沟状、袋状等，如图 1-5 所示。隔板的常用材料有木材、微孔橡胶、微孔塑料、玻璃纤维纸浆和玻璃丝棉等。新型蓄电池多采用微孔塑料隔板。隔板厚度小于 1mm，长和宽比极板略大。早期蓄电池的隔板一面有特制的沟槽，沟槽朝向正极板，以便使正极板脱落的活性物质及时排到底部，防止短路。新型蓄电池采用袋式微孔塑料隔板，包裹极板，防止正极板活性物质脱落。



(a)

(b)

图 1-5 蓄电池隔板结构

(a) 槽沟状隔板 (b) 袋状隔板

### 电解液

电解液的作用是参与化学反应，进行能量转化。电解液的密度对蓄电池性能影响较大，密度一般为  $1.24 \sim 1.30\text{g}/\text{cm}^3$  ( $25^\circ\text{C}$ )。另外，电解液的纯度也是影响蓄电池性能和使用寿命的重要因素。配制电解液必须用纯净的专用硫酸和蒸馏水。工业硫酸和普通水中含有铁、铜等有害杂质，绝对不能加入蓄电池中，否则会引起自放电和极板的损坏，使用时应根据当地最低气温或制造厂的推荐进行选择（见表 1-1）。



表 1-1 不同气温下的电解液相对密度选择 (25℃)

使用地区 最低气温/℃	冬季密度 /g · cm <sup>-3</sup>	夏季密度 /g · cm <sup>-3</sup>	使用地区 最低气温/℃	冬季密度 /g · cm <sup>-3</sup>	夏季密度 /g · cm <sup>-3</sup>
< -40	1.30	1.26	-30 ~ -20	1.27	1.24
-40 ~ -30	1.28	1.25	-20 ~ 0	1.26	1.23

## 其他

壳体的作用是盛放极板和电解液。壳体为整体式结构，内部由间壁分成互不相通的单格，每个单格内放一组正负极板，构成一个单格电池。12V 蓄电池的壳体内有 6 个单格。每个单格底部有凸起的筋条，以放置极板组，下面有足够的空间作为沉淀槽，容纳脱落的活性物质，防止造成极板短路。新型蓄电池采用袋式塑料隔板，壳体底部取消了筋条，减小了蓄电池体积。壳体应该耐酸、耐热、耐震。早期蓄电池外壳采用硬橡胶，新型蓄电池多采用聚丙烯塑料。

壳体上部使用相同材料的电池盖密封，电池盖上设有对应于每个单格电池的加液孔，用于添加电解液和蒸馏水。加液孔上旋有加液孔盖，防止电解液溅出。加液孔盖上制有通气孔，可以排出蓄电池内部化学反应中产生的气体。新型蓄电池加液孔盖的通气孔上安装有过滤器，避免水蒸气逸出，减少水的消耗。

在壳体的顶部或侧面有正、负接线柱，一般正接线柱比负接线柱粗，正、负接线柱旁边有正 (+)、负 (-) 标记。顶部接线柱通过电缆卡子连接电缆，侧面接线柱上有螺纹，电缆用螺栓固定。

## 2. 改进型蓄电池

### 干荷电蓄电池

干荷电蓄电池与普通铅蓄电池的区别是，其极板组在干燥状态下能够长期保存制造过程中得到的电荷。在保存期内，只要注入参数符合要求的电解液，搁置 15min，调整液面到规定的高度，而不需要进行初充电即可投入使用，其荷电量能达到额定容量的 80% 以上。因此，它是理想的应急电源。国内已经大批量生产干荷电蓄电池，基本上取代了普通蓄电池。

干荷电蓄电池之所以具有干荷电性能，主要在于其负极板的制造工艺与普通蓄电池不同，且正极板上的活性物质——二氧化铅——化学性质比较稳定，可长期保持荷电性能。负极板上的活性物质海绵状铅表面积大，化学活性高，容易氧化。为防止氧化，在负极板的铅膏中要加入松香、油酸、硬脂酸等抗氧化剂。在化学形成（化成）过程中，有一次深放电循环或反复充、放电，使活性物质达到深化。化成后的负极板，用清水冲洗干净后，再放入硼酸、水杨酸混合成的抗氧化剂中进行浸渍处理。浸渍后的负极板，经特殊干燥工艺（干燥罐中真空或充满惰性气体）干燥，在其表面生成一层保护膜，使得负极板也具有干荷电性能。由于负极板的抗氧化性能得到提高，因此，干荷电蓄电池比普通蓄电池的自放电小，储存期长。

干荷电蓄电池的使用、维护与普通蓄电池基本相同。储存期超过两年的干荷电蓄电池，因极板有部分氧化，应以补充充电的电流充电 5 ~ 10h 后再使用。

### 免维护蓄电池

免维护蓄电池常写成 MF（英文 Maintenance - Free 的缩写）蓄电池。免维护蓄电池是在传统蓄电池的基础上发展起来的新型蓄电池，其性能比普通蓄电池优越许多。

（1）结构与材料方面的特点。

①栅架采用低锑或无锑合金，减少了自放电。

②加液孔盖上设有安全通气装置，内装有加氧化铝过滤器和催化剂。氧化铝过滤器阻止水蒸气和硫酸气体逸出，催化剂能促使氢氧离子结合产生水再回到电池内，其结果是减少了电解液的消耗。

③正极板装在袋式微孔塑料隔板中，基本上避免了活性物质的脱落。因此，可以取消壳体底部的凸棱，使极板上部的容积增大 33% 左右，增加了电解液的加注量，延长了电解液的补充周期。

（2）使用特点。

①所谓免维护，主要是指使用过程中从不或很少加注蒸馏水。和普通蓄电池相比，它的耗水量非常小。同样条件下，每行驶 1000km，普通蓄电池耗水 16 ~ 32g，而免维护蓄电池仅耗水 1.6 ~ 3.2g。

②由于自放电少，可较长时间湿式储存，一般允许储存两年以上。

③耐过充性能好。充电电压和温度相同时，免维护蓄电池的过充电电流很小，充足电时接近于零。过充电时，外部提供的电能主要电解电解液中的水。这也是免维护蓄电池水耗量小的一个原因。

④免维护蓄电池使用寿命长。正常情况下，免维护蓄电池至少可以使用 4 年以上。深度放电情况下，免维护蓄电池的容量和寿命都会减少。

为了使蓄电池经常处于良好的状态，延长使用寿命，经过一年或 30000km 行驶后，要对其进行少量维护工作。检查电解液的密度、高度和蓄电池的开路电压。如发现问题，要有针对性地解决。

最好每半年进行一次补充充电，以保持蓄电池的容量。

### 胶体蓄电池

胶体蓄电池的电解液为胶状物质，主要成分为硅酸钠和硫酸钠。胶体蓄电池主要特点如下：

（1）胶状电解质不流动、不溅出，使用、维护、保管和运输都很方便。

（2）由于胶状电解质失水少，因此使用时不必测量和调整电解质的密度和高度。

（3）胶体蓄电池中的电解质像保护套似的紧紧包住极板，所以耐强电流放电，活性物质不易脱落。

（4）耐硫化。蓄电池放电时产生的硫酸铅很难溶解到胶状电解质中去，胶状电解质中的硫酸铅也难以返回到极板上再结晶，在一定程度上防止了极板的硫化。

（5）胶状电解质的电阻大，因此蓄电池的内阻变大。大电流放电时，蓄电池的容量有所降低。

（6）极板易腐蚀。胶状电解质流动性差，与极板接触不均匀，使极板不同部分形成电位差。另外，胶体蓄电池自放电较大，且不均匀。这两种原因使得极板容易腐蚀。



### 3. 蓄电池的型号

蓄电池的型号按《起动型铅蓄电池标准》(JB 2599-85)规定,铅蓄电池型号的编制和含义如下:

串联单格电池数	电池类型和特征	额定容量
---------	---------	------

(1) 单格电池数。用阿拉伯数字表示。

(2) 铅蓄电池类型是根据其主要用途来划分的。如起动型铅蓄电池用“Q”,代号Q是汉字“起”的第一个拼音字母。

电池特征为附加部分,仅在同类用途的产品具有某种特征,在型号中又必须加以区别时才采用。当产品同时具有两种特征时,应按表1-2顺序将两个代号并列标志。

表 1-2 常见电池产品特征代号

序号	1	2	3	4	5
产品特征	干荷电	湿荷电	免维护	少维护	密封式
代号	A	H	W	S	M

(3) 额定容量用阿拉伯数字表示。20h 放电率的一片正极板设计容量为 15A·h。

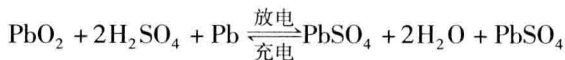
(4) 在产品具有某些特殊性能时,可在型号的末尾加注相应的代号。如:G表示高起动率;S表示塑料外壳;D表示低温起动性能。

例:6-QAW-100表示由6个单格电池组成,额定电压12V,额定容量100A·h的起动用干荷电免维护蓄电池。

### 1.1.3 蓄电池的原理与特性

#### 1. 蓄电池的工作原理

当蓄电池对负载放电时,正极板上深褐色的活性物质 PbO<sub>2</sub> 转化成了浅褐色的 PbSO<sub>4</sub>; 负极板上深灰色的海绵状 Pb 转化成了灰色的 PbSO<sub>4</sub>; 电解液中的部分 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 转变为 H<sub>2</sub>O 而使其浓度降低。充电时,正负极板上的 PbSO<sub>4</sub> 在充电电流的作用下逐渐恢复为 PbO<sub>2</sub> 和 Pb, 电解液中的硫酸浓度增高。蓄电池充、放电过程的电化学反应式为:



正极板 电解液 负极板    正极板 电解液 负极板

理论上,放电过程可以进行到极板上的活性物质全部转变为 PbSO<sub>4</sub>, 但由于生成的 PbSO<sub>4</sub> 沉附于极板表面,阻碍电解液向活性物质内层渗透,使得内层活性物质因缺少电解液而不能参加反应,实际放完电的蓄电池的活性物质利用率只有 20%~30%。因此,为提高活性物质的利用率,采用薄极板蓄电池。

蓄电池充、放电过程中,由于电解液中的部分水(H<sub>2</sub>O)变为硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)或部分硫酸变为水,所以电解液的相对密度将增高或下降。因此,可以通过测量电解液相对密度的方法来判断蓄电池的充、放电程度。



## 2. 蓄电池的工作特性

### 静止电动势 $E_0$

无负荷情况下的端电压（开路电压）称为蓄电池的电动势，又称为静止电动势。蓄电池的电动势与电解液的相对密度和温度有关。若密度在  $1.100 \sim 1.300\text{g/cm}^3$  的范围内时，可由以下经验公式估算其值：

$$E_0 = 0.84 + \rho_{25^\circ\text{C}}$$

式中： $\rho_{25^\circ\text{C}}$ —— $25^\circ\text{C}$  电解液实际测量的密度， $\rho_{25^\circ\text{C}} = \rho_t + \beta (t - 25^\circ\text{C})$ ；

$\rho_t$ ——实际测量的电解液相对密度；

$t$ ——实际测量的电解液温度；

$\beta$ ——密度温度系数， $\beta = 0.00075$ ，即温度每升高  $1^\circ\text{C}$ ，相对密度将下降  $0.00075$ 。

蓄电池充足电时，电解液密度一般约为  $1.290\text{g/cm}^3$ ，对应的电动势约为  $2.10\text{V}$ ；放电终了时，电解液密度一般约为  $1.12\text{g/cm}^3$ ，对应的电动势约为  $1.97\text{V}$ 。由此可见，蓄电池充放电前后，电动势的变化范围比电解液密度的变化范围要小些，测量误差较大，因而常采用测量电解液密度的方法来判断蓄电池的充放电程度。

### 内电阻 $R_0$

蓄电池内阻为极板、电解液、隔板、连接条和极柱等电阻的总和，用  $R_0$  表示。蓄电池的电阻大小反映了蓄电池带负载的能力。在相同的条件下，内阻愈小，输出电流愈大，带负载能力愈强。一般来说，起动型铅蓄电池的内阻很小，单格电池的内阻约为  $0.11\Omega$ ，如内阻过大，则会引起蓄电池端电压大幅度下降而影响起动性能。

完全充足电的蓄电池在  $20^\circ\text{C}$  时，其内电阻  $R_0$  可根据下式计算：

$$R_0 = 0.0585 \times U_e / Q_e \quad (\Omega)$$

式中： $U_e$ ——蓄电池的额定电压，V；

$Q_e$ ——蓄电池的额定容量，A·h。

### 放电特性

蓄电池的放电特性是指蓄电池在规定的条件下，恒流放电过程中，端电压  $U_f$ 、电动势  $E$  和电解液密度随放电时间而变化的规律，为合理地使用蓄电池提供理论依据。图 1-6 为充足电的蓄电池，以  $20\text{h}$  放电率恒流放电的特性曲线。

由于恒流放电，则单位时间内所消耗  $\text{H}_2\text{SO}_4$  数量保持一定，因此，电解液相对密度呈线性变化。

放电时，由于蓄电池内阻  $R_0$  的影响，故蓄电池的端电压  $U_f$  小于其电动势  $E$ ：

$$U_f = E - I_f R_0$$

式中： $I_f$ ——放电电流。

放电过程中，端电压的变化规律分四个阶段。

第一阶段 端电压由  $2.11\text{V}$  迅速下降到  $2.0\text{V}$  左右。这是因为放电开始时极板孔隙内的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  迅速消耗，相对密度下降。

第二阶段 端电压由  $2.0\text{V}$  下降到  $1.85\text{V}$ ，基本呈直线规律缓慢下降。这是由于随着极板孔隙外的电解液向极板孔隙内渗透速度加快，当渗透变化速率与整个容器内电解液相对密度的变化速率趋于一致时，端电压缓慢下降。