

QIZHONG YUNSHU JIXIE
DIANQI KONGZHI DIANLU XIANGJIE

吴铁庄 ● 主编

李春卉 张大鹏 ● 副主编

起重运输机械 电气控制电路

详 解



化学工业出版社

起重运输机械电气 控制电路详解

吴铁庄 主编
李春卉 张大鹏 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

起重运输机械电气控制电路详解/吴铁庄主编. —北京: 化学工业出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-122-13953-5

I. 起… II. 吴… III. 起重机械-电气控制-控制电路 IV. TH21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 066366 号

责任编辑: 卢小林

文字编辑: 徐卿华

责任校对: 宋 夏

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京中科印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 424 千字 2012 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究



前言

起重运输机械、装卸搬运机械是现代物流工程、物资储运及装卸载等领域广泛使用的机械装备，机械的技术性能和技术状态直接影响着机械作业效能。学习起重运输机械电路识读的知识，对及时判断与排除机械故障，保持装卸搬运机械技术状态良好有重要意义。本书系统地介绍物流工程实践中常用的汽车起重机、内燃叉车与牵引车、蓄电池叉车与牵引车、带式输送机、桥式起重机与电动葫芦、防爆蓄电池叉车与牵引车等机械电气控制系统的组成与功用、电气与控制电路的工作原理、电气控制电路的识读方法等内容。

全书共分为五章。第一章介绍汽车起重机电源、启动、仪表与照明信号、辅助电器等系统的构成与电路工作原理。第二章介绍汽车起重机电气系统电路与识读、上装（上车）电气控制系统的供电、启动与熄火、照明与信号、安全保护等电路。第三章介绍内燃机械（叉车与牵引车等）电气设备的各系统电路和全车线路图识读。第四章介绍蓄电池车辆的直流电动机、调速控制器的电路原理和全车电路识读等内容。第五章介绍交流电动机械中的交流电动机及控制器件，电动葫芦、门桥式起重机等实用控制电路的工作原理与电路识读。

本书由吴铁庄担任主编，李春卉、张大鹏担任副主编，参加部分章节内容编写和资料整理工作的还有王开勇、张亚昆、严雷、任武、郝振维、陶新良、周存璋、周京京、郭爱东、张文斌等。本书在编写过程中参考了相关物流机械及其电气控制部件生产厂商的使用说明书、维护保养手册等资料，本书的出版得到了军事交通学院张宪教授的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平和能力有限，书中缺点与不足在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 汽车起重机电气系统	1
第一节 电源系统	3
第二节 启动系统	26
第三节 照明与信号系统	35
第四节 仪表与检测系统	39
第五节 辅助电气设备	41
第二章 汽车起重机电路与识读	43
第一节 汽车起重机控制与保护器件和全车电路图	43
第二节 汽车起重机全车电路识读	49
第三节 汽车起重机全车电路故障诊断与排除	84
第三章 内燃搬运车辆电气系统	86
第一节 内燃叉车、牵引车电路与识读	87
第二节 合力内燃叉车电路与识读	94
第三节 杭叉内燃叉车电路与识读	100
第四节 林德内燃叉车电路与识读	118
第五节 伸缩臂叉车电路与识读	125
第六节 越野叉车电路与识读	131
第四章 蓄电池机械电气控制系统	135
第一节 蓄电池机械的电气设备	136
第二节 蓄电池机械调速控制电路	164
第三节 蓄电池机械电控电路与识读	182
第四节 蓄电池机械电控系统故障与诊断排除	195
第五章 交流电动机械电控系统	209
第一节 交流电动机及其控制	210

第二节	带式输送机控制电路与识读	240
第三节	电动葫芦控制电路与识读	244
第四节	门桥式起重机控制电路与识读	247
第五节	巷道堆垛机电控控制电路	259

附录		261
----	--	-----

附录一	电气系统电路常用文字符号	261
附录二	电气设备常用图形符号	262

参考文献		264
------	--	-----

第一章

汽车起重机电气系统



汽车起重机（如图 1-1 所示）是将用于垂直提升和水平搬运作业的起重机置于通用或专用汽车底盘上的一种起重装卸机械。由于它既有汽车的行驶性能，通过性能好、机动灵活、行驶速度快，制造容易且较经济；又有起重吊装作业的功能，机动性好，全回转，作业场所变换快捷等优点，适用于仓库、码头、货场和野外装卸和安装作业使用。特别是在完成分散作业任务时，效率较高。但汽车起重机车身较长，转弯半径大（因受车辆底盘的限制），并且作业只能在起重机两侧和后方进行。



图 1-1 汽车起重机

汽车起重机由汽车底盘和上车上装工作装置两大部分组成。汽车起重机的结构布置如图 1-2 所示，汽车底盘部分包括发动机、传动装置、驱动装置、电气设备等，与汽车的构成

相同。上车部分包括起升机构、变幅及伸缩机构、回转机构、动力传动机构和操作控制机构等组成。

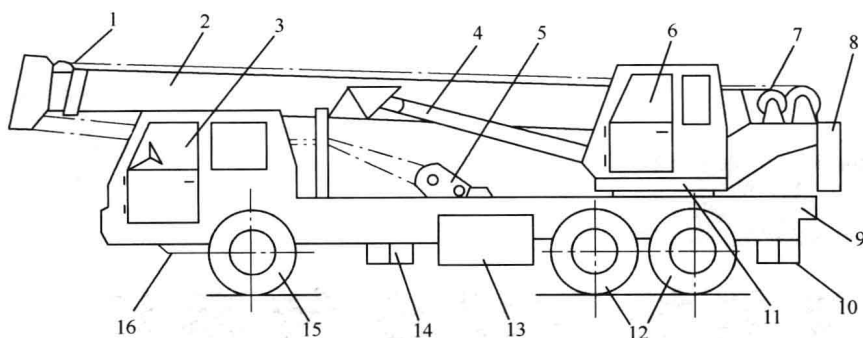


图 1-2 汽车起重机的结构布置图

- 1—钢丝绳；2—吊臂；3—驾驶室；4—变幅油缸；5—吊钩；6—操作室；
7—卷筒；8—配重；9—车架；10—后支腿；11—回转机构；12—驱动轮；
13—油箱；14—前支腿；15—转向轮；16—发动机

汽车起重机的电气系统可区分为发动机电器、车身（底盘）电器（又可称下车电气）和上车电器三部分。前两部分与常见的汽车电器设备相同，上车电器是汽车起重机所特有的，并因起重机的型号和性能有所不同。

汽车起重机的发动机、车身电气系统由电源系统、用电装置及电气控制与保护装置等组成。电源系统包括蓄电池、发电机、调节器和电源系统工作情况指示装置；用电装置包括启动装置、汽油机点火装置、仪表与信号装置、照明装置、辅助电气装置（如刮水器、暖风与空调）和上车电气设备等；电气控制与保护装置指各种控制开关、继电器、熔断器和电气线路等。

根据配备的发动机类型不同，汽车起重机的电气系统的电压等级有 12V 和 24V 两种，装有汽油机的汽车起重机电气系统电压为 12V，装有柴油机的汽车起重机电气系统电压为 24V。电气系统电压是标称电压，它是指一只 12V 蓄电池电压或两只 12V 的蓄电池串联所得到的数值，并不是电气系统的额定工作电压。为了使汽车起重机工作时，车上的发电机能对蓄电池充电，电气系统的额定工作电压为 14V 或 28V。事实上，汽车起重机电气系统中有两个电源，在发动机不工作或发电机不发电时，蓄电池做电源，标称电压为 12V 或 24V，即启动机及其有关电气部件的工作电压是 12V 或 24V。在发动机正常工作时，投入工作的电气系统各部件由发电机供电，其额定工作电压是 14V 或 28V。

由于发动机的机体和机械的车身通常用金属导体制成，汽车起重机电气设备中电源与用电设备之间仅需要一条电源线，构成电的回路另一条导线由车身机体承担。所以电气设备的电路布线为单线制。电气设备与车身机体的连接点称为搭铁点。具有正负极的电气设备统一规定为负极搭铁。

在汽车起重机上，上车电气控制系统的电源由下车电源（发电机、蓄电池）提供，通过中心回转接头处的滑环和电刷将下车电源引入上车操作室的配电装置，进而通过开关控制启动、熄火等相关电路。中心回转接头处的电路连接装置如图 1-3 所示。

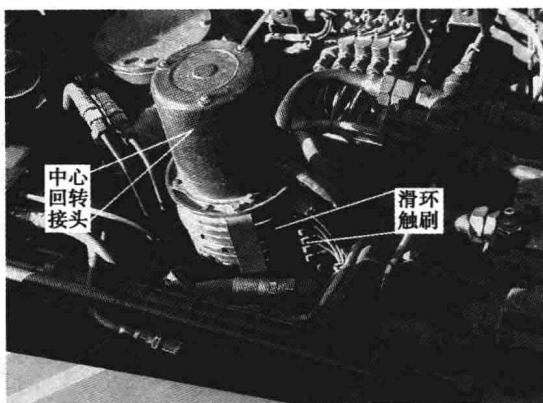


图 1-3 上车、下车电路的连接装置

第一节 电源系统

汽车起重机的电源系统由蓄电池、发电机、调节器、工作情况指示（充电指示）装置构成，如图 1-4～图 1-6 所示。

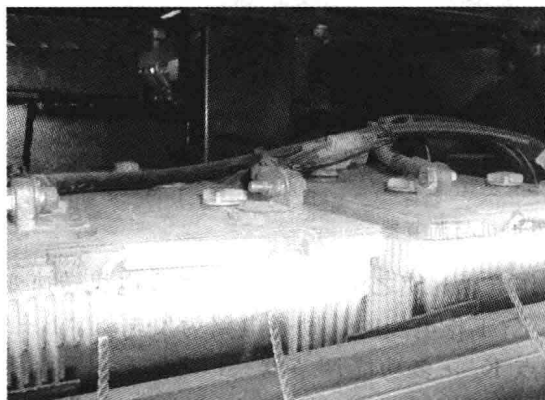


图 1-4 24V 电气系统汽车起重机的蓄电池

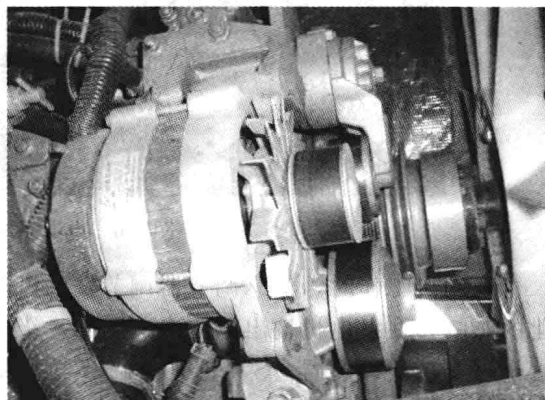


图 1-5 内置调节器的整体式发电机

发电机作为汽车起重机正常工作时的主要电源，向除启动机以外的其他用电装置供电，并向蓄电池充电。蓄电池作为车辆的第二电源，主要向启动机供电，并在发电机不发电或供电不足时，作为辅助供电电源。发电机的输出电压受调节器的调整，从而保持供电电压恒定。工作情况指示装置用于指示电源系统的工作情况，如发电机是否正常发电、蓄电池处于充电还是放电状态、调节器的工作电压是否正常等。

图 1-7 为常见汽车起重机电源系统的电路图。如图所示，接通电源-启动开关（点火-启动开关），在发动机启动前，蓄电池经电流表、电源-启动开关一方面向充电指示灯供电，由于发电机尚未发电，充电指示灯继电器的触点 K_3 处于闭合状态，充电指示灯亮表示发电机不发电，蓄电池处于放电状态，电流表指示放电。此电路为：蓄电池+→电流表 A→电源-启动开关→充电指示灯→多功能调节器“L”端子→充电指示灯继电器常闭触点 K_3 →多功能调节器“E”端子→蓄电池-；另一方面蓄电池向调节器供电，经调节器的常闭触点 K_1

给发电机励磁,为发电机发电做好准备。此电路为:蓄电池 $\rightarrow$ 电流表 $\rightarrow$ 电源-启动开关 $\rightarrow$ 多功能调节器“S”端子 $\rightarrow$ 调节器常闭触点 K_1 $\rightarrow$ 多功能调节器“F”端子 $\rightarrow$ 发电机“F”端子 $\rightarrow$ 励磁绕组 $\rightarrow$ 发电机“E”端子 $\rightarrow$ 蓄电池 $-$ 。在发动机启动后,发动机经传动带带动发电机转子旋转,发电机工作电压达到蓄电池的电动势后,发电机经电流表向蓄电池充电,并向用电设备供电。由于发电机发电时,其中性点“N”对充电指示灯继电器线圈供电,充电指示灯继电器的触点 K_3 断开,充电指示灯熄灭,表示发电机正常工作,蓄电池处于充电状态。此时电路为发电机“N”端子 $\rightarrow$ 多功能调节器“N”端子 $\rightarrow$ 充电指示灯继电器线圈 $\rightarrow$ 多功能调节器“E”端子 $\rightarrow$ 发电机“E”端子。

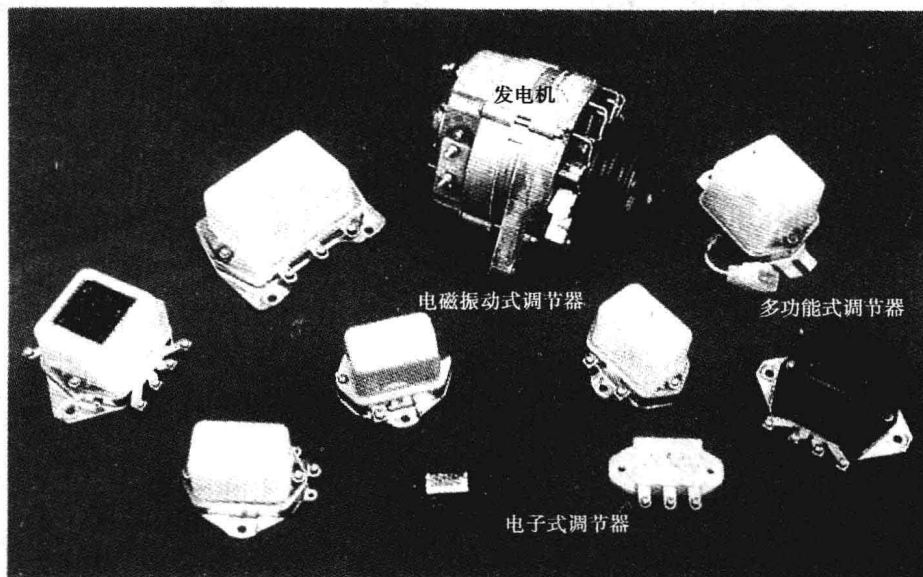


图 1-6 电源系统的发电机与调节器

发动机工作时,依靠调节器调节发电机的工作电压,使之保持稳定而不受发电机转速变化的影响。在发电机输出电压未达到第一级触点 K_1 工作电压时,励磁电路为发电机“B+”端子 $\rightarrow$ 多功能调节器“S”端子 $\rightarrow$ 调节器常闭触点 K_1 $\rightarrow$ 多功能调节器“F”端子 $\rightarrow$ 发电机“F”端子 $\rightarrow$ 励磁绕组 $\rightarrow$ 发电机“E”端子;当发电机输出电压达到第一级触点 K_1 工作电压时,励磁电路为发电机“B+”端子 $\rightarrow$ 多功能调节器“S”端子 $\rightarrow$ 调节器调节 R_1 、 R_2 电阻 $\rightarrow$ 多功能调节器“F”端子 $\rightarrow$ 发电机“F”端子 $\rightarrow$ 励磁绕组 $\rightarrow$ 发电机“E”端子;当发电机的输出电压达到调节器第二级工作电压时,因触点 K_2 闭合,励磁绕组中无电流通过。

上述电源系统中采用的是电磁振动式多功能调节器,当采用电子式多功能调节器时,通过调节器内部的开关管控制充电指示灯的亮灭和励磁电流的强弱(详见后面电源系统电路),从而判定电源系统工作状态和保持发电机工作电压的稳定,电源系统各组成部件的连接关系不变。

一、蓄电池

根据蓄电池的用途和对蓄电池要求不同,铅酸蓄电池又可分为启动型、动力型、固定型、防酸隔爆型以及车用、船用蓄电池等。汽车起重机所用的蓄电池需要向启动机提供很大的输出电流,其类型为启动型蓄电池。

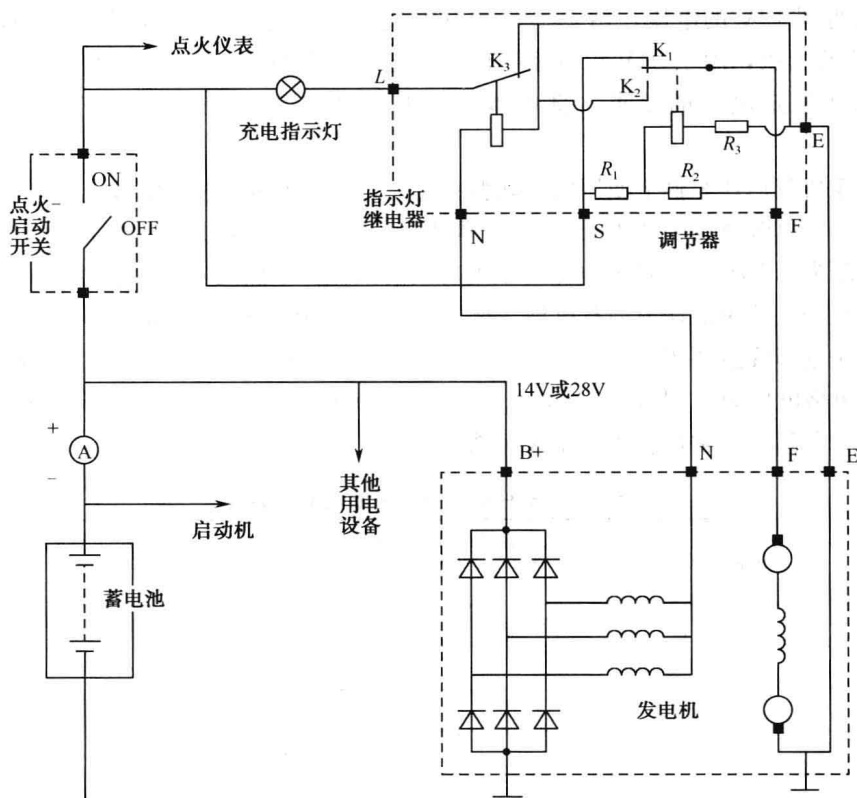
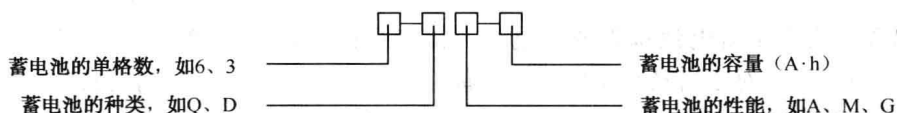


图 1-7 电源系统的构成与连接电路图

1. 蓄电池的型号、参数

(1) 蓄电池的型号

蓄电池的型号由三部分组成，每部分之间用“—”连接，即：



第一部分表示蓄电池的单格数，“6”——表示该电池共有 6 个相同的单格，若只有一个单格（如蓄电池机械用动力型蓄电池），省略不标。

第二部分前半部分，“Q”——表示启动型蓄电池，常用于汽车起重机等内燃机械上；“D”——表示动力（牵引）型蓄电池，常用于蓄电池机械上。

第二部分后半部分，“A”——表示蓄电池的极板为干荷电式，该类蓄电池在储存周期内（自出厂之日起 2 年）启用时，只需加入规定密度和数量的电解液，疏通加液旋塞上的通气孔，放置 20~30min 至常温，无需充电即可投入使用；“M”——表示免维护型蓄电池，该蓄电池自放电量小，电解液中水损失少，在汽车起重机等内燃机械上使用时，不必经常检查、补充电解液液面高度；“G”——表示蓄电池正极板为管状电极，常用于动力（牵引）型蓄电池，可有效地延长蓄电池的使用寿命。

第三部分表示蓄电池的额定容量（A·h），即蓄电池额定放电条件下输出电量的多少。

(2) 蓄电池的参数

蓄电池的参数主要有标称电压和额定容量。单格铅酸蓄电池端电压为 2V，6 个单格蓄

电池串联后得到 12V 的电压，用于 12V 电气系统的内燃机械上。将两只 12V 的蓄电池串联后得到 24V 的电压，用于 24V 电气系统的汽车起重机等内燃车辆上。动力型蓄电池则是根据蓄电池机械额定电压的要求，将单体蓄电池串联成 24V、48V、72V 等电压等级的蓄电池组。

汽车起重机等内燃车辆上使用的启动型蓄电池，额定容量是按 20h 放电率确定的。即充足电的蓄电池，在电解液温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的范围内，以其额定容量的 $1/20$ 作为放电电流，连续放电至单格电压为 1.75V 时，放电电流与放电时间的乘积，单位是安培·小时（A·h）。

蓄电池机械上使用的动力型蓄电池，额定容量是按 5h（或 3h）放电率确定的。即充足电的蓄电池，在电解液温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的范围内，以其额定容量的 $1/5$ （或 $1/3$ ）作为放电电流，连续放电至单格电压为 1.5V 时，放电电流与放电时间的乘积，单位是安培·小时（A·h）。

表 1-1 汽车起重机常用蓄电池的型号参数。

表 1-1 部分启动型铅酸蓄电池的参数

电池型号	额定电压/V	额定容量(20h 放电率)		外形尺寸/mm		
		电流	容量	长	宽	高
6-QA-60	12	3	60	270	173	235
6-Q-100		5	100	410	177	250
6-Q-105		5.25	105	450	177	250
6-Q-120		6	120	513	189	260
6-Q-150		7.5	150	513	223	
6-Q-180		9	180	513	223	

(3) 蓄电池的基本性能

比能量（单位质量或体积输出的电量）决定了蓄电池搬运机械的连续工作时间（或续驶里程）。电动搬运机械的蓄电池组受车重和布置空间的限制，一次充电后的连续工作时间（或续驶里程）决定于蓄电池携带的总电量，比能量提高就可以增加电动机械的储备能量，连续工作时间延长。对于启动型蓄电池，比能量反映的是启动供电时间的长短。

比功率（单位质量或体积输出的功率）则决定了蓄电池搬运机械的动力性，诸如加速能力、爬坡能力和负载运行能力。对于启动型蓄电池，比功率反映的是向启动机供电时的电流的大小。

使用寿命用循环寿命（次）表示，即蓄电池在额定条件下的全充-全放电循环次数。实际应用中与使用条件和维护保养有很大关系，切实做好蓄电池的维护保养工作，对延长电池的更换周期是至关重要的，可降低机械总的使用费用。

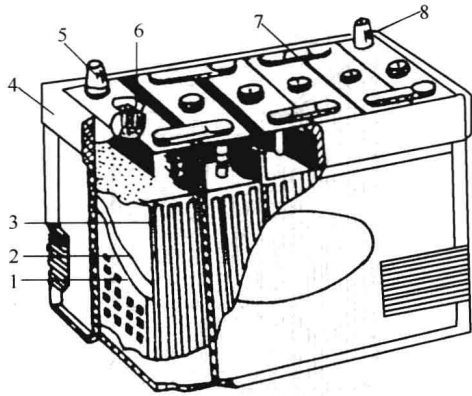
2. 蓄电池的构造

铅酸蓄电池由极板、隔板、电解液、外壳、极柱和连接板组成。每单格的端电压为 2V，六个完全相同单格互相串联得到标定电压为 12V 的蓄电池，见图 1-8 所示。

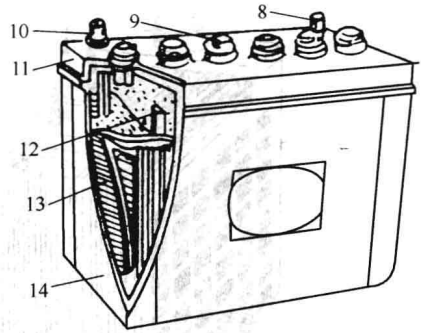
(1) 极板

极板由栅架和涂在上面的活性物质组成。活性物质中的主要成分是铅，将铅块研磨成粉在空气中氧化，然后与硫酸、添加剂调和成膏状，涂在极板栅架上，干燥后放入一定密度的硫酸溶液中进行充电（生产中称为“化成”），使正极板上的活性物质转化成二氧化铅

(PbO_2)，呈棕色；负极板上的活性物质转化成海绵状铅 (Pb)，呈青灰色。



(a) 橡胶壳蓄电池



(b) 塑料壳蓄电池

图 1-8 蓄电池的构造

1—负极板；2—隔板；3—正极板；4,14—外壳；5,8,10—正负极柱；
6,9—加液孔塞；7,12—连接条；11—盖；13—极板组

图 1-9 为蓄电池的极板示意图。在动力型蓄电池中，为了提高整极板的强度，延长蓄电池的使用寿命，通常将正极板做成管状电极。

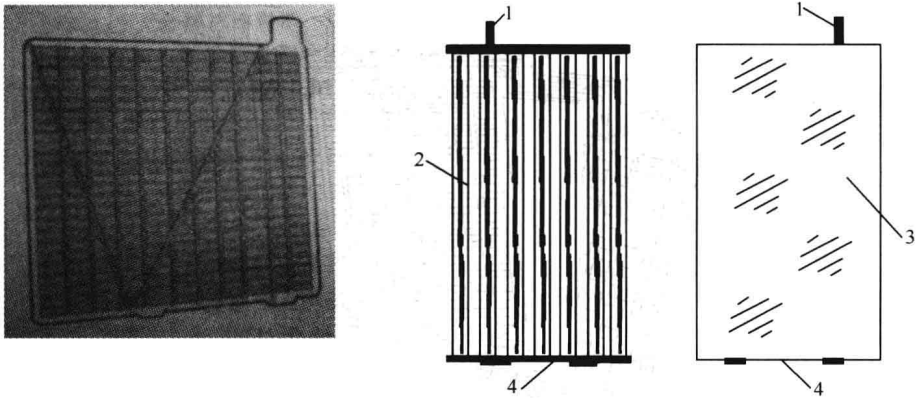


图 1-9 动力型蓄电池的极板

1—极柱；2—管状电极；3—板状电极；4—骨架

为增大蓄电池的输出电量（容量），将数片正或负极板分别并联，用横板焊接，组成正负极板组，横板上连有连接柱，用于各单格间的连接，如图 1-10 所示。极板组各片间有一定的间隙，以便插入对应的极板和隔板。为防止蓄电池工作中正极板上活性物的脱落，每个单格内负极板片数较正极板组多一片，确保正极板处于负极板之间，使之充放电均匀。在极板面积一定时，极板组的片数越多，蓄电池的容量越大。

(2) 隔板

隔板放置在正负极板之间，避免正负极板接触造成内部短路，如图 1-11 中 3 所示。隔板材料应具有多孔性以便电解液渗透。由于隔板浸泡在硫酸溶液中，要求隔板具有良好的耐酸性和抗氧化性。制造隔板的材料有木质、微孔橡胶、微孔塑料、玻璃纤维等，其中以微孔橡胶和微孔塑料用得最多。有的隔板一面带槽，安装时有槽一面应竖直放置并面向正极板。

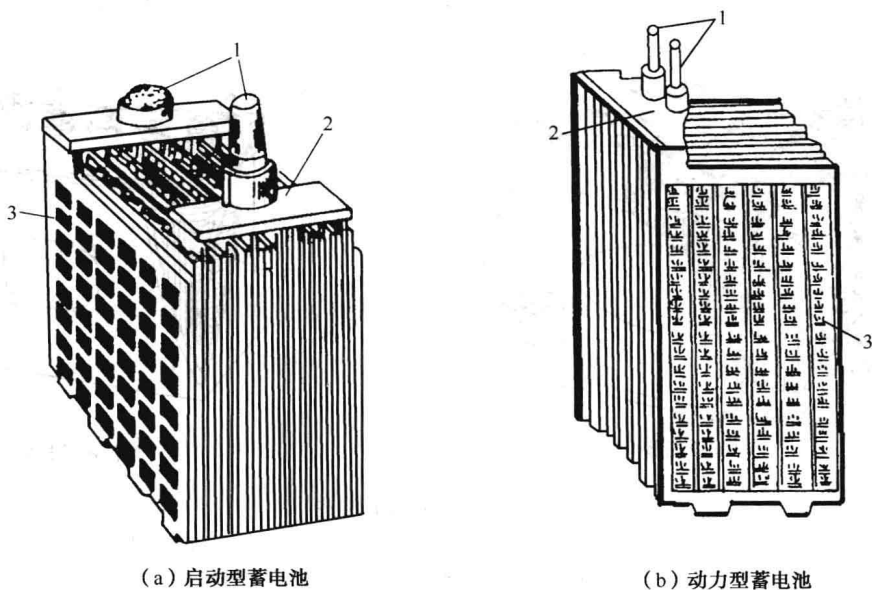


图 1-10 蓄电池的极板组

1—极柱；2—横板；3—极板

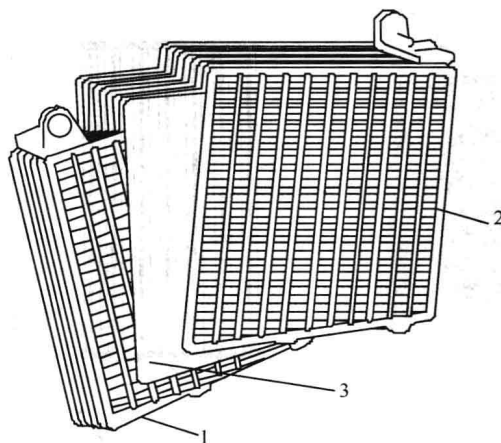


图 1-11 蓄电池极板与隔板

1—正极板组；2—负极板组；3—隔板

(3) 外壳

蓄电池外壳是用来盛放电解液和极板组的。要求其耐酸、耐热、耐振。

制造外壳的材料有硬橡胶和工程塑料，后者因重量轻、美观透明，已逐步取代前者，如图 1-12 所示。外壳为整体结构，内分六个互不相通的单格，底部有突起的支撑条以放置极板组，支撑条间的空隙形成沉淀池，用于积存脱落下来的活性物质。每个单格的盖子中间有加液孔，可用来检查液面高度和测量电解液密度。加液孔平时用螺塞拧紧。在螺塞顶部有一通气孔，应保持通畅，使蓄电池工作中的化学反应气体能随时溢出。在极板组上部通常装有一片耐酸塑料防护网，以防测量电解液密度、液面高度或加液时损坏极板。

硬橡胶外壳蓄电池有六个上盖，与外壳用沥青、机油及石棉等组成的封口剂封闭固定，

橡胶壳的蓄电池由于各单格均有独立上盖，其各单格串联的连接板露出于蓄电池的上表面，便于对单个进行检测和更换。塑料壳电池上盖是一体的，用热封的方法将盖与壳连接在一起。其单格的连接置于上盖下方，上盖上只能看到整只蓄电池的正负极柱和加液孔旋塞。塑料壳的蓄电池，在其正面（或背面）常常标有“MAX、MIN”刻度线，用于检查判定电解液液面的高低。

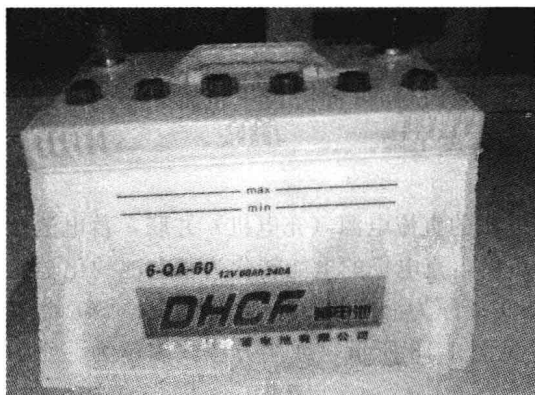


图 1-12 塑料外壳的蓄电池

(4) 连接板、极柱

连接板、极柱是实现蓄电池内外电路连接用的。硬橡胶壳的蓄电池连接板和极柱露在蓄电池的上表面；塑料壳的蓄电池连接板封在内部，只留出电池组的正负极柱。为减小蓄电池的内阻，希望连接板短而截面大。蓄电池的极柱外形有锥圆柱形和吊耳形，与外电路导线的连接有所不同。为区别正、负极柱，通常极柱有“+”、“-”标记，或将正极柱涂上红漆。

(5) 电解液

电解液是蓄电池内部进行化学反应的电解质，是纯硫酸（ H_2SO_4 ）和纯水（ H_2O ）按一定比例配制而成的。初次加入蓄电池的电解液密度一般为 $1.26\sim 1.28\text{g}/\text{cm}^3$ ；使用过程中蓄电池的电解液密度是变化的，其范围为 $1.10\sim 1.28\text{g}/\text{cm}^3$ 。电解液纯度是影响蓄电池电性能和使用寿命的重要因素，配制电解液一定要用专用的纯硫酸和纯水（蒸馏水、离子交换水等），并且储存电解液需用加盖的陶瓷、玻璃或耐酸塑料容器。

3. 蓄电池工作原理

铅酸蓄电池的工作原理，是人们在普兰特 1859 年发明的蓄电池的基础上，经过深入研究总结出来的。其基础是双极硫化理论，即在放电过程中，蓄电池正负极板上的工作物质（ PbO_2 和纯铅）通过电池外电路的电子流动，打破电池内部的电位平衡，负极板失去电子，铅原子变成二价铅离子，而后与电解液中的硫酸根结合生成硫酸铅；正极板得到电子，四价铅离子还原成二价铅离子，而后与电解液中的硫酸根结合也生成硫酸铅。

(1) 电动势的建立

将正极板置于电解液（硫酸溶液）中， PbO_2 与水作用，生成不稳定的 $\text{Pb}(\text{OH})_4$ ，随后变成 Pb^{4+} 和 4OH^- ，前者滞留于正极板，后者进入电解液。当其达到动态平衡时，正极板与电解液间得到约 2.0V 的电动势。

同样，将负极板置于电解液（硫酸溶液）中，Pb 溶解于电解液中，变成 Pb^{2+} 和 2e ，随后，后者滞留于负极板，当其达到动态平衡时，负极板与电解液间得到约 -0.1V 的电动势。

于是，正负极板间即可得到约 2.1V 的电动势，所以单格铅酸电池的标称电压为 2V。

(2) 放电过程

将蓄电池极板与负载接通，正负极板上的动态平衡被打破，负极上的 $2e^-$ 经外电路流向正极，形成放电电流。蓄电池放电，内部的化学能转化成电能。

负极板上的海绵状 Pb 失去电子后，变成 Pb^{2+} ，与电解液中的 SO_4^{2-} 反应生成 $PbSO_4$ ，正极板上的 PbO_2 分解的 Pb^{4+} 得到电子后，变成 Pb^{2+} ，也与电解液中的 SO_4^{2-} 反应生成 $PbSO_4$ 。

放电过程中，正极板上的 PbO_2 和负极板上的海绵状 Pb 均变成 $PbSO_4$ ，电解液中的 H_2SO_4 被消耗而减少，相对密度下降。

(3) 充电过程

将蓄电池与高于其端电压的直流电源（充电器）并联，蓄电池被充电，正极在放电过程中得到的电子，被强行送回负极，充电机的电能转化为蓄电池的化学能。正极板上的 $PbSO_4$ 转变为 PbO_2 ，负极板上的 $PbSO_4$ 还原为海绵状 Pb，电解液中 H_2SO_4 增多，相对密度上升。

蓄电池的充放电过程见图 1-13 所示，或用方程式表示为

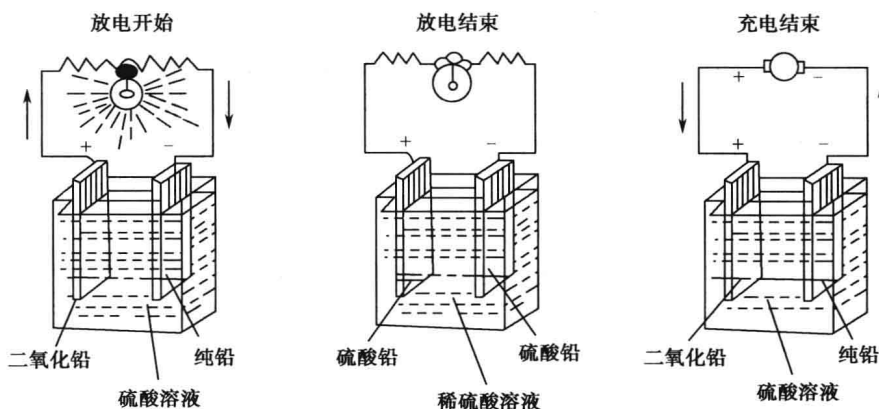
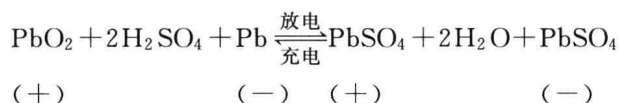


图 1-13 蓄电池的充放电过程

4. 蓄电池工作特性

(1) 工作特性曲线的变化规律

蓄电池的充放电特性是指蓄电池在恒电流充电或放电过程中，其端电压 U 和电解液密度 γ （或 ρ ）随时间 t 的变化关系。蓄电池单格的充、放电特性曲线如图 1-14 及图 1-15 所示。

从充电特性可以看出：随着充电时间的增长，电池的端电压及电解液密度是上升的，当蓄电池基本充足电时，端电压上升到约 2.4V，开始电解水冒气泡。随着水被电解，使端电压上升到 2.7V 后保持不变，电解液密度也上升到最大值，蓄电池即已充足。

从放电特性可以看出：随着放电的进行，电池的端电压及电解液密度是下降的。当蓄电池的全部电能接近放完时，端电压将急剧下降。这种状态会影响其使用寿命，所以当电池放电到终止电压（对于启动型蓄电池按 20h 放电率放电时取 1.75V，对于动力型蓄电池按 3h 或 5h 放电率放电时取 1.5V），应停止放电。

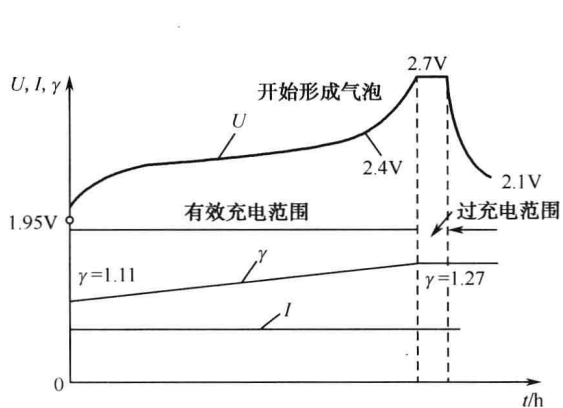


图 1-14 蓄电池的充电特性

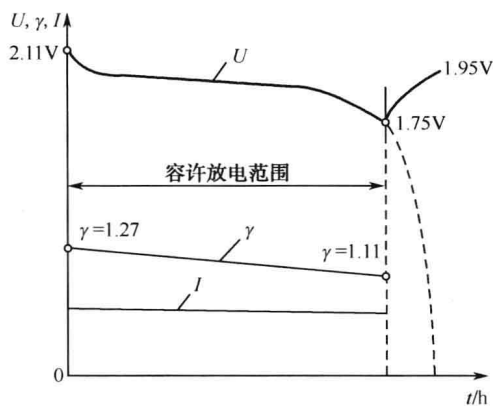


图 1-15 蓄电池的放电特性

(2) 工作特性的使用意义

讨论蓄电池充放电特性可为正确使用蓄电池提供依据。充电特性意义体现在以下几个方面。

① 单格电压上升到 2.4V 时，蓄电池基本充足，电解液开始出现气泡。为减少电解液中水的消耗，蓄电池在车上充电电压按 2.4V/格选择，即 12V 电气系统内燃机械上发电机的工作电压约为 14.4V（通常为 13.8~14.8V），24V 电气系统内燃机械上发电机的工作电压约为 28.8V；蓄电池在充电间进行恒定电流充电时，单格电压达到 2.4V 时，充电电流减少 1/2。

② 充足电的标志：a. 蓄电池单格电压上升到约 2.7V，继续充电 2~3h 不再升高；b. 电解液密度上升到最大值（如 1.270g/cm³），继续充电 2~3h 不再增加；c. 电解液中有大量气泡冒出，当出现上述三个现象时，表明蓄电池已经充足电。

③ 通过充电可判别蓄电池的技术状况。技术状况良好的蓄电池充电规律符合充电特性，有故障的蓄电池在充电时参数的变化将严重偏离充电特性。如严重“硫化”的蓄电池，充电开始时其单格电压就会达到 2.7V 以上，并伴随电解液温度过高；“正极板栅架腐蚀”、“活性物质脱落”的蓄电池充电时电解液浑浊，充电时间短；“内部短路”的蓄电池充电时不发生化学反应，电解液中不出现气泡，电解液密度不上升；“内部断路”的蓄电池无法接通充电电路，无充电电流。

放电特性的意义体现在以下几个方面。

① 在恒定电流放电时，放电程度与电解液密度成线性关系。充足电的蓄电池至放完电，其电解液密度约下降 0.16g/cm³。蓄电池的充放电程度可通过测量电解液密度估算得到。

$$\text{放电程度}(\%) = \frac{\text{密度变化量}(\Delta\gamma)}{0.16} \times 100\%$$

因电解液密度与温度有关，故实测电解液的密度应进行修正。

② 单格电压下降到终止电压（与放电率有关），电解液密度下降到最小值（约 1.11g/cm³），应停止放电，以防损坏电池。

二、发电机

发电机是发动机正常工作时的主要电源，它向用电设备供电，并向蓄电池充电。汽车起重机使用的发电机是三相同步交流发电机，由于用电设备和向蓄电池充电要求是直流电，所