“十四五”职业教育国家规划教材

“互联网+”新形态立体化教材 · 汽车类专业系列教材

王爱国　总主编

汽车电器设备与维修

李　琤　李春明　王爱国　主　编

中国科学技术出版社

· 北　京 ·

图书在版编目（CIP）数据

汽车电器设备与维修 / 李琤，李春明，王爱国主编
. -- 北京 : 中国科学技术出版社，2024.2
“互联网+”新形态立体化教材. 汽车类专业系列教
材 / 王爱国总主编
ISBN 978-7-5236-0489-2

Ⅰ. ①汽… Ⅱ. ①李… ②李… ③王… Ⅲ. ①汽车－
电气设备－车辆修理－教材 Ⅳ. ①U472.41

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2024)第 042090 号

策划编辑	王晓义
责任编辑	周　婷
封面设计	唐韵设计
正文设计	梧桐影
责任校对	吕传新
责任印制	徐　飞

出　　版	中国科学技术出版社
发　　行	中国科学技术出版社有限公司
地　　址	北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮　　编	100081
发行电话	010-62173865
传　　真	010-62173081
网　　址	http://www.cspbooks.com.cn

开　　本	889mm × 1194mm　1/16
字　　数	620 千字
印　　张	21
版　　次	2024 年 2 月第 1 版
印　　次	2024 年 2 月第 1 次印刷
印　　刷	北京荣玉印刷有限公司
书　　号	ISBN 978-7-5236-0489-2 / U · 106
定　　价	59.80 元

目　录

绪　论　1

项目一　汽车电源系统原理与检修　7

任务一　汽车电源系统概述　8
任务二　铅酸蓄电池的结构与工作原理　12
任务三　蓄电池的充电与检修　23
任务四　交流发电机的结构原理与检修　35
任务五　电压调节器的结构原理与检修　48

项目二　汽车起动系统原理与检修　59

任务一　起动机的结构及工作原理　60
任务二　起动机典型控制电路分析　68
任务三　起动机的使用与检测　74

项目三　汽车点火系统原理与检修　85

任务一　普通点火系统的结构原理与检修　86
任务二　微机控制点火系统的结构原理与检修　96

项目四　汽车照明与信号系统原理与检修　109

任务一　照明系统的结构原理与检修　110
任务二　转向信号系统的结构原理与检修　124
任务三　制动和倒车信号系统的结构原理与检修　131
任务四　电喇叭的结构原理、调整与检修　137

项目五　汽车仪表与报警系统原理与检修 145

任务一　汽车仪表系统的原理与检修　146
任务二　汽车报警装置的原理与检修　155

项目六　汽车附属电器设备原理与检修　165

任务一　风窗玻璃清洁装置的结构原理与检修　166
任务二　电动车窗的结构原理与检修　174
任务三　电动座椅的结构原理与检修　182
任务四　电动后视镜的结构原理与检修　188

项目七　汽车安全系统原理与检修　199

任务一　汽车 ABS 系统原理与检修　200
任务二　汽车 ESP 系统原理与检修　210

项目八　汽车空调系统原理与检修　221

任务一　汽车空调结构与工作原理　222
任务二　汽车空调维护与检修　244

项目九　汽车车载网络系统原理与检修　255

任务一　车载网络系统的基本原理　256
任务二　CAN 数据总线原理　263
任务三　其他总线传输系统　275

项目十　汽车电器设备总线路分析　287

任务一　汽车电路分析基础知识　288
任务二　汽车电路识读与故障检修　294

附　　录　323

参考文献　328

绪　　论

学习目标

完成本学习任务后，应当达到以下目标。

知识目标：

（1）了解汽车电器的发展历程。

（2）了解汽车电器设备的作用和组成。

能力目标：

（1）能够描述各个汽车电器设备系统的作用。

（2）能够正确使用数字万用表来进行实车检测。

素质目标：

（1）了解课程内容，树立学习汽车电器技术、掌握检修技能的信心。

（2）结合名人名事，培养严谨细致、精益求精的工匠精神。

一、任务导入

学习和掌握汽车电器的作用、结构组成、工作原理和检修方法，对于从事汽车方面的工作具有十分重要的意义。虽然汽车电器各个系统的结构、性能随着技术的发展和人们的要求不断发生变化，但是只要真正掌握汽车电器各个系统的作用和基本工作原理，及时了解各种新技术在汽车电器中的应用动态，就能适应汽车发展的要求，维护好汽车电器。

二、预备知识

（一）汽车电器发展概况

在汽车发展的最初阶段，除了点火系统，汽车上几乎没有电器。汽车电子技术始于 20 世纪 50 年代，发展过程大致可分为以下 4 个阶段。

1. 第一阶段（20 世纪 50 年代初—20 世纪 70 年代中期）

这一阶段的主要特征是开发分立元件和集成电路，开始使用电子装置代替传统的电器机械部件，如集成电路调节器、电子点火器等。

2. 第二阶段（20 世纪 70 年代中期—20 世纪 80 年代中期）

这一阶段的主要特征是发展专用的独立系统，电器装置被应用在某些机械装置无法解决的复杂控制功能方面，如电子控制汽油喷射系统、制动防抱死系统等。

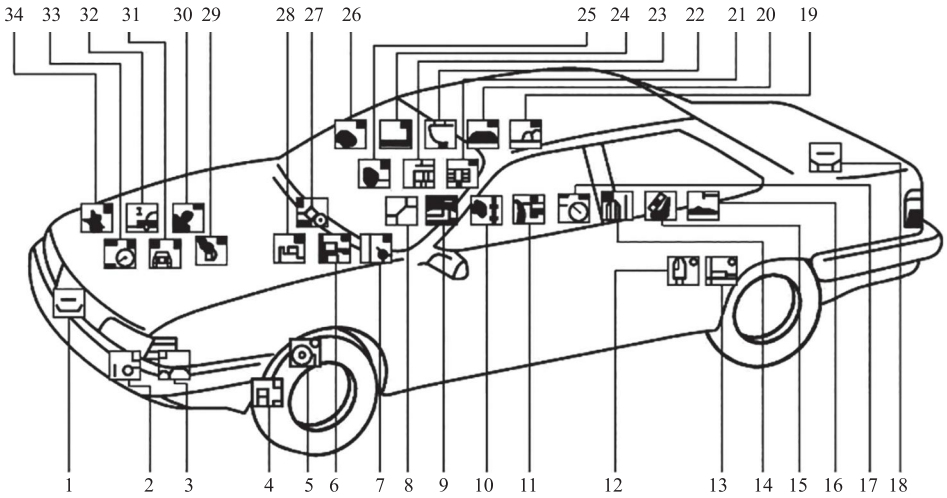
3. 第三阶段（20 世纪 80 年代中期—20 世纪 90 年代中期）

这一阶段的主要特征是电控单元开始在汽车上获得应用，并实现了对许多功能的集中控制。汽车上的电器装置不仅能够自动承担基本控制任务，还能处理外部和内部的各种信息，如部分传统电器实现电控单元控制、发动机和底盘许多机械部分实现电控单元控制等。

4. 第四阶段（20 世纪 90 年代中期至今）

这一阶段的主要特征是发展汽车电子智能控制技术，模拟人的思维和行为对汽车进行控制，如汽车自动驾驶系统、汽车自动导航系统等。

电子技术在汽车上的应用如图 1 所示。



1，18—雷达车距检测；2—前照灯控制与自动清洗；3—气体放电车灯；4—轮胎气压检测；5—制动防抱死与防滑转控制；6—底盘故障诊断；7—刮水器与洗涤器控制；8—维修周期提示；9—液面与磨损检测；10—安全气囊与安全控制；11—车辆防盗控制；12—前 / 后轮转向控制；13—电子控制悬架；14—自动空调；15—电动座椅调节；16—中控门锁；17—巡航控制；19—线束控制；20—信息显示；21—交通控制与通信；22—车载电话；23—车载电控单元；24—音响系统；25—声控系统；26—声音复制；27—控制器区域网络；28—加速踏板控制；29—电控单元点火控制；30—自动变速控制；31—发动机电控系统故障诊断；32—空燃比反馈控制；33—怠速控制；34—发动机电控燃油喷射系统控制

图 1　电子技术在汽车上的应用

随着集成控制技术、计算机技术和网络技术的发展，汽车电子技术已明显向集成化、智能化和网络化方向发展。

知识视频
走进课程

（二）汽车电器设备的作用

汽车电器设备是汽车的重要组成部分之一。它的性能的好坏直接影响汽车的动力性、经济性、可靠性、安全性、环保性及舒适性。例如，为使汽车发动机获得最高的经济性，需要点火系统在最适当的时刻点火；为使发动机可靠起动，需要采用电力起动机；为保证汽车工作可靠、行驶安全，需要各种指示仪表、信号装置和照明灯具等电器能够正常工作。

电源系统、起动系统、点火系统、照明与信号系统、仪表与报警系统、附属电器设备系统、安全系统、空调系统、车载网络系统和全车电路及配电装置，是汽车的基础组成部分，也是汽车电子控制系统的基础组成部分。多年来，汽车电器设备一直在汽车上发挥着重要的作用，并将继续发挥应有的作用。未来，汽车电器设备将向提高品质、提高性能的方向发展；汽车辅助电器将进一步拓展种类，向扩大应用范围的方向发展。

（三）汽车电器设备的组成

现代汽车电器设备的种类和数量有很多，但总的来说，可以大致分为三大部分，即电源系统、用电设备、全车电路及配电装置。

1. 电源系统（充电系统）

汽车电源系统包括蓄电池、发电机和电压调节器等。当发动机带动发电机运转时，发电机产生电能。发电机向用电设备供电的同时，也给蓄电池充电。发电机供电时，要采用调节器来保持输出电压的稳定。当发动机静止时或需要起动发动机时，必须由蓄电池承担供电的任务。

早期的汽车因车载用电设备的数量较少和功率较低，故平均电功率消耗较低。现代一辆小型汽车在不计算电动起动装置时，电功率消耗量在 1000W 左右，随着车载用电器的增加，电功率消耗量也在不断增加。因此，要求车载电源系统能够输出足够多的电能，以满足用电设备的需要。

2. 用电设备

车载用电设备的种类有越来越多的发展趋势，按接通时间的长短，一般可以分为持续用电型用电设备、长时间用电型用电设备和短时间用电型用电设备等；按功能划分，一般可以分为如下 8 种。

1）起动系统

起动系统用来起动发动机，主要包括起动机及其控制电路。

2）点火系统

点火系统用来产生高压电火花，点燃汽油机气缸中的可燃混合气体。按照发展历程可分为传统点火系统、电子点火系统和微机控制点火系统。传统点火系统包括点火线圈、分电器和火花塞等。电子点火系统包括点火线圈、信号发生器、电子点火器、配电器和火花塞等。微机控制点火系统包括点火线圈、传感器、微机和火花塞等。

3）照明与信号系统

照明系统包括车内外各种照明灯及其控制装置。它为汽车夜间安全行驶提供必要的照明，保证行车安全。信号系统包括音响信号和灯光信号，主要用来保证汽车运行时的安全。

4）仪表与报警系统

仪表与报警系统主要包括电流表（或电压表）、机油压力表、冷却液温度表、燃油表、车速里程表、发动机转速表、气压表及各种报警灯和蜂鸣器等。其作用是监测发动机及汽车的工作情况，使驾驶员能够通过仪表及警示装置及时了解发动机及汽车运行时的各种参数并发现异常情况，确保汽车正常运行。

5）附属电器设备

附属电器设备包括风窗清洁装置、电动车窗、电动座椅、电动中央门锁和电动后视镜等。辅助电器设备有日益增多的趋势，主要向舒适性、娱乐性、安全性等方向发展。一般来说，汽车的豪华程度越高，辅助电器设备就越多。

6）汽车安全系统

汽车安全系统主要包括制动防抱死系统、车身稳定控制程序和安全气囊系统等。安全系统包括主动安全系统和被动安全系统。主动安全系统，如制动防抱死系统、车身稳定控制程序等，主要作用是避免事故的发生；被动安全系统，如安全气囊等，在发生事故时能对车内人员进行保护，还能为被撞车辆或行人提供保护。

7）空调系统

空调系统包括制冷、采暖、通风和空气净化等装置，可保持车内适宜的温度和湿度，使车内空气清新。

8）车载网络系统

在汽车上使用的车载网络系统减少了线束的使用，提高了系统的灵活性。通过使用车载网络系统软件，可以实现系统功能的改变和数据的共享，也可以提高系统故障的诊断能力。车载网络系统可以将汽车的行驶状态参数传输到显示屏上，提高驾驶安全性。

电控系统的应用可以使汽车上的各个系统均处于最佳工作状态，达到提高汽车动力性、经济性、安全性、舒适性，降低汽车排放污染的目的。

3. 全车电路及配电装置

全车电路及配电装置包括中央接线盒、保险装置、继电器、电线束及插接件、开关等，使全车电路构成一个统一的整体。

现代汽车所采用的电控系统越来越多，在全车中所占比重也越来越大，而且汽车电控系统往往都自成系统，将电子控制与机械装置相结合，形成了较为典型的机电一体化系统。

素养课堂

杰出工匠王建国——培养工匠精神，提升职业素养

三、任务实施

（一）任务实施的要求

1. 任务实施的目的

（1）掌握数字万用表的功能开关的使用。

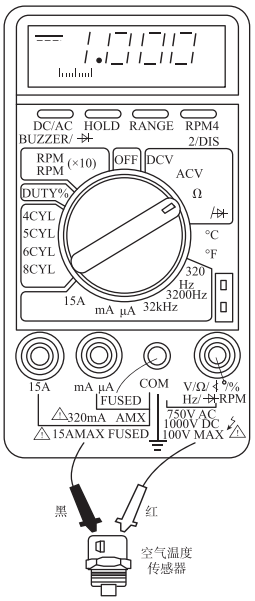
（2）能正确使用数字万用表进行电路检测。

2. 实训仪器和设备

汽车整车、蓄电池、数字万用表等。

（二）任务实施的步骤

根据数字万用表的功能说明进行检测，汽车用数字万用表的功能说明如图 2 所示。



功能开关位置	功能说明
DCV	直流电压测量
ACV	交流电压测量
Ω	电阻测量
⊣▷⊢	二极管测量
℃	温度测量（摄氏度）
DUTY（%）	占空比（%）测量
HOLD	数据保持开关
OFF	关闭
RANGE	手动量程

图 2　汽车用数字万用表的功能说明

1. 电压的测量

（1）将万用表的测试导线插入相应插孔中（红表笔插入 V/Ω 插孔，黑表笔插入 COM 插孔）。

（2）将万用表的功能选择开关置于电压测量挡位，并根据待测量电压的类型选择直流和交流位置（DC/AC 开关选择）。

（3）根据待测电压的大小选择量程（通过 RANGE 开关选择）。

（4）将万用表的测试表笔接入待测电路，黑表笔接地，红表笔接信号线。

（5）闭合待测试电路，观察万用表显示区域的电压读数。

（6）按下 HOLD 按钮，锁定测量结果，并与标准值进行对比。

在测量高压（几百伏）时，应单手操作，即先把黑表笔固定在被测电路的公共端，再用一只手持红表笔去接触测试点，确保安全。

2. 电阻的测量

（1）将万用表的测试表笔插入相应插孔中（红表笔插入 V/Ω 插孔，黑表笔插入 COM 插孔）。

（2）将万用表的功能选择开关置于电阻测量挡位。此时若不设置量程，万用表为自动量程状态。

（3）需进行量程设置时，按下 RANGE 控制键进入手动量程设置模式。此后，若再按下一次 RANGE 控制键，量程范围将更换一次。若想返回自动量程，按下该键 2s 后松开即可。

（4）手动量程的选择范围：操作时按下 RANGE 按钮，可供选择的量程范围是 0~320Ω、0~3.2kΩ、0~32kΩ、0~320kΩ、0~3.2MΩ 及 0~32MΩ。

（5）将万用表的测试表笔连接待测元件（黑表笔和红表笔分别连接待测元件的接线端子）。

（6）观察万用表显示区域的数据显示。

（7）按下控制区域的 HOLD 按钮，锁定测量结果，与标准值进行对比。

严禁在被测线路带电的情况下测量电阻，也不允许用电阻挡测量电池的内阻，因为这相当于给数字万用表的电阻测量电路外加了一个电压，测量结果完全失去意义，还有可能损坏仪表。

3. 电路导通性测试

（1）将万用表的测试表笔插入相应插孔（红表笔插入 V/Ω 插孔，黑表笔插入 COM 插孔）。

（2）将万用表的功能选择开关置于电路导通 / 二极管测试挡位。

（3）将万用表的测试表笔接入被测电路。

（4）若万用表的蜂鸣器发出声响，则表明所测电路没有断路情况。

4. 二极管的测量

（1）将万用表的测试表笔插入相应插孔中（红表笔插入 V/Ω 插孔，黑表笔插入 COM 插孔）。

（2）将万用表的功能选择开关置于电路导通 / 二极管测试挡位。

（3）将万用表的 2 支测试表笔连接被测二极管的 2 个管脚。

（4）将万用表的 2 支测试表笔对调后再连接被测二极管的 2 个管脚。

（5）在以上 2 次测试情况下，若一次测量结果呈无值状态，另一次测量结果呈低电压状态，则表明二极管性能良好；若 2 次测量结果都呈低电压状态，则表明二极管已被击穿；若 2 次测量结果都呈无值状态，则表明二极管已烧坏。

数字万用表属于精密电子仪表，也是常用的工具仪表，只有正确操作、合理使用，才能充分发挥作用。如果使用不当，不但会引起测量失准，严重时还会造成仪表本身损坏。在使用数字万用表时，务必注意以下事项。

（1）使用前，应仔细阅读数字万用表的说明书，了解其技术性能及特点。

（2）保证数字万用表准确度要求的环境条件。应在清洁干燥、环境温度适宜、无外界强电磁场干扰、没有震动的条件下使用数字万用表。

（3）测量之前，需仔细检查表笔有无裂痕、引线的绝缘层是否损坏，以确保安全。

（4）尽管数字万用表内部电路有较完善的保护措施，仍应避免出现误操作，以免损坏仪表。例如，用电流挡去测电压，用电阻挡去测电压或电流，用电容挡去测带电的电容。

（5）测量时，假如事先无法估计被测电压（或电流）的大小，应先拨至最高量程试测一次，再根据测试情况选择合理的量程。

（6）严禁在测量高电压（100V 以上）时拨动量程开关，以免电弧烧毁触点。

（7）具有自动关机功能的数字万用表，在使用中如果出现 LCD 突然滑隐，不是故障现象，是仪表进入“休眠”状态（电源切断），这时只需重新起动即可恢复正常。

（8）具有读数保持键 HOLD 按钮的数字万用表，在做连续测量时，该按钮键应置于“关断”位置，否则仪表不能正常采样，无法刷新显示数符。

（9）数字万用表常用的熔丝管有多种规格（如 0.2A、0.3A、0.5A、1A、2A），更换时必须选用与原规格相同的熔丝管。

（10）如果开机后 LCD 不显示任何数字，应首先检查是否忘记安装 9V 叠层电池或者电池已失效，还需检查电池引线有无断线。若显示电源低电压指示符，则应换用新电池。更换电池前，应关闭电源开关。

四、任务总结

（1）汽车电子技术的发展包括 20 世纪 50 年代初至 20 世纪 70 年代中期、20 世纪 70 年代中期至 20 世纪 80 年代中期、20 世纪 80 年代中期至 20 世纪 90 年代中期、20 世纪 90 年代中期至今这 4 个阶段。

（2）现代汽车电器设备的种类和数量有很多，大致分为三大部分，即电源系统、用电设备、全车电路及配电装置。

（3）汽车的基本组成部分包括电源系统、起动系统、点火系统、照明与信号系统、仪表与报警系统、附属电器设备、安全系统、空调系统、车载网络系统和全车电路及配电装置。

项目一

汽车电源系统原理与检修

项目描述

汽车电器设备所使用的电源是直流电源。它来自蓄电池或发电机。由蓄电池、发电机、电压调节器、充电状态指示装置、开关和导线等连接而成的电器系统称为电源系统。本项目主要介绍汽车电源系统主要部件（蓄电池、发电机、电压调节器）的结构和工作原理，以及电源系统电路分析的方法。

任务一

汽车电源系统概述

学习目标

完成本学习任务后，应当达到以下目标。

知识目标：

（1）了解汽车电源系统的组成及功能。

（2）掌握汽车电源系统的工作过程。

能力目标：

（1）能够找到汽车电源系统的各个零部件。

（2）能够说出汽车电源系统中各个零部件的名称和作用。

素质目标：

（1）培养自主学习专业技能的意识。

（2）了解专业优势，增强专业自信。

一、任务导入

一辆汽车在行驶一段时间后，需要对电源系统进行检、查维，护以消除可能存在的隐患。因此，需要掌握汽车电源系统的相关知识，要求学会认知电源系统，并掌握汽车电源系统各个零部件位置和功能。

二、预备知识

（一）汽车电源系统的组成及功能

汽车电源系统主要由蓄电池、发电机、电压调节器、充电指示灯（或电流表等）和点火开关等组成。汽车电源系统的组成如图 1-1-1 所示。

1. 蓄电池

蓄电池是一种化学电源，既可以将电能转变为化学能储存起来，又可以将化学能转变为电能向用电设备

供电，是一种可逆的直流电源。主要作用如下。

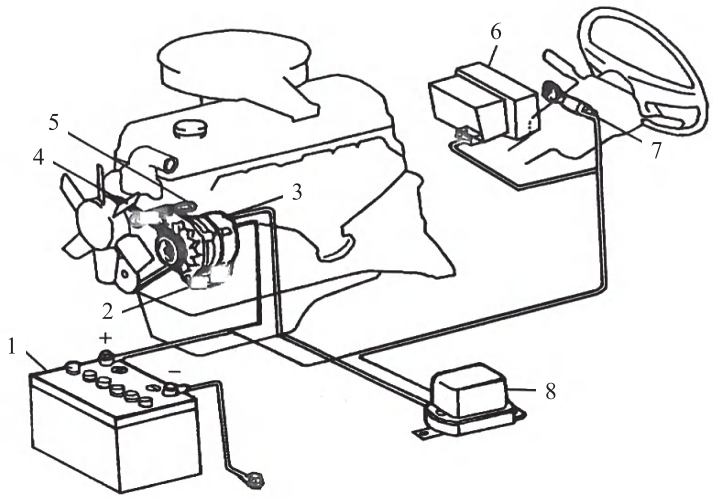
（1）起动发动机时，向起动机和点火系统供电。

（2）发电机不发电或用电电压较低时，向用电设备供电。

（3）发电机超载时，协助发电机供电。

（4）发电机端电压高于蓄电池电压时，将发电机的电能转变为化学能储存起来。

（5）吸收汽车电路中的过电压，保护车用电子元件。



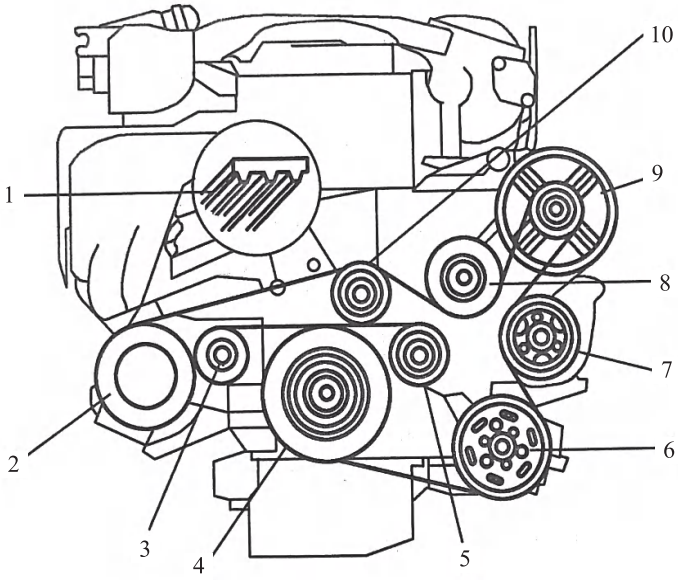
1—蓄电池；2—支架；3—交流发电机；4—三角皮带；5—调整支撑杆；6—充电指示灯；7—点火开关；8—电压调节器

图 1-1-1　汽车电源系统的组成

2. 发电机

交流发电机的驱动形式如图 1-1-2 所示。它一般由汽车发动机曲轴皮带轮通过皮带驱动。发动机与发电机之间的转速比一般为 1∶2。发动机怠速运转时的转速为 800r/min，而汽车在最高挡位以 120km/h 行驶时，发动机的转速为 4000r/min。以此为例，发电机的转速为 1600~8000r/min。可见，发电机的转速变化幅度很大。

现代汽车上普遍使用的三相交流发电机发出的是三相交流电。因此，在交流发电机的输出端向汽车电路供电前，必须通过自带的整流装置将交流电整流为直流电。整流装置主要作用是在发动机运转期间，向所有用电设备供给直流电（除起动机外），并对蓄电池进行充电。



1—多楔带；2—空调压缩机；3—导向轮；4—曲轴皮带轮；5—张紧轮；6—转向助力泵；7—冷却液泵；8—黏性离合器风扇；9—发电机；10—导向轮

图 1-1-2　交流发电机的驱动形式

3. 电压调节器

交流发电机单独使用时，具有输出电压随转速变化而变化的特性（称为空载特性）。因此，为保证汽车电源电压的稳定，必须使用电压调节器。

电压调节器的作用就是保持发电机输出电压的稳定，使之不随着发动机转速的变化而变化。

4. 充电指示灯（或电流表等）

充电指示灯（或电流表等）的主要作用是显示电源系统的工作状态。通过充电指示灯（或电流表等）的不同指示，可以判断汽车电源系统的工作稳定性和电源系统是否出现故障。充电指示灯一般安装在仪表盘上。当接通点火开关但不运转发动机时，充电指示灯的标示符号（图 1-1-3）亮起，说明蓄电池处于放电状态；当发动机运转时，充电指示灯熄灭（看不见标示符号），说明蓄电池处于充电状态。充电指示灯工作正常，

一般说明电源系统工作正常。

5. 点火开关

点火开关是汽车电路中最重要的开关，是各条电路分支的控制枢纽，主要功能是接通和断开电源与用电设备之间的电路。

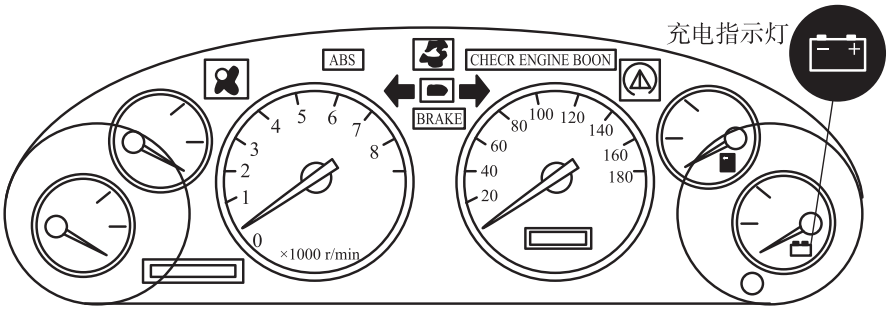


图 1-1-3　充电指示灯的标示符号

（二）汽车电源系统的工作过程

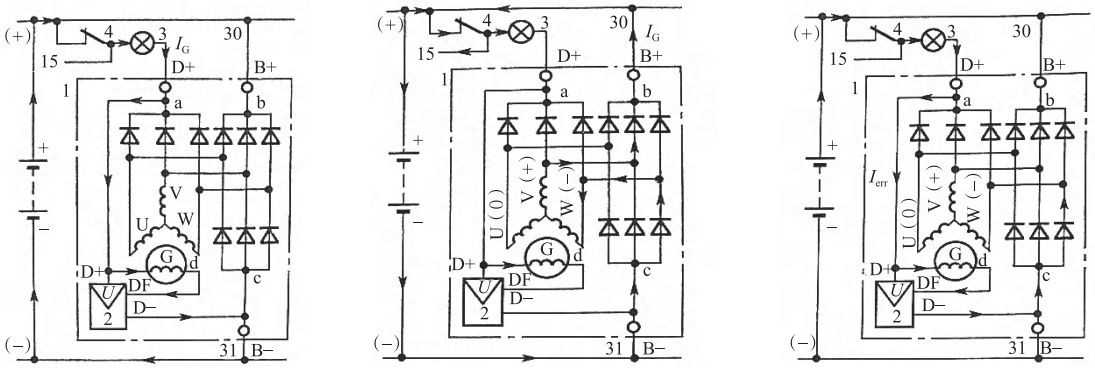
整体式（内装电压调节器）发电机电源系统的工作电路图如图 1-1-4 所示（为部分电路）。

电流由蓄电池的正极出发经保险装置、点火开关、充电指示灯等到达发电机的 D+ 接线柱，此电路一般称为电源系统的励磁外电路；由发电机的 B+ 接线柱出发经点火开关向用电器供电的电路，一般称为输出电路。上述电路因接线位置不同等原因，在不同的汽车上有所不同，有的差别很大。发电机的内部电路也因由二极管组成的整流器的不同而有所差别。汽车电源系统的工作过程如下。

1. 发动机不运转时

发电机内部一般不带永久磁铁。因此，发电机要发电，一般要先通过外电路给发电机内部的励磁线圈提供励磁电流，以便在发电机的内部建立磁场。

当点火开关处于点火挡时，充电指示灯及发电机励磁绕组通电。其电流通路为“蓄电池正极→点火开关→充电指示灯→发电机 D+ 接线柱→发电机励磁绕组→电压调节器→搭铁→蓄电池负极”，形成回路。此时充电指示灯亮（表示发电机不发电，蓄电池放电），并在发电机的转子铁芯中产生磁场，此过程称为他励。他励电路如图 1-1-4（a）所示。



（a）他励电路　　（b）输出（发电）电路　　（c）自励电路

1—发电机（内装电压调节器）；2—电压调节器；3—充电指示灯；4—点火开关；15—接线柱（点火线）；30—接线柱（常火线）；31—接线柱（搭铁线）；D+—接线柱（发电机的励磁接线柱）；B+—接线柱（发电机的输出接线柱）

图 1-1-4　整体式发电机电源系统的工作电路图

2. 发动机运转时

发动机运转时，在曲轴皮带轮的带动下，发电机转子旋转，于发电机定子的三相绕组中产生交流电，通过硅二极管整流后，再通过 B+ 接线柱经点火开关向用电设备输出直流电。输出（发电）电路如图 1-1-4（b）

所示。发电机发电后，励磁电流由发电机自身提供，发电机进入自励状态。自励电路如图 1-1-4（c）所示。同时，由于 B+ 接线柱和 D+ 接线柱电位相同，即充电指示灯的两端电位相同，充电指示灯熄灭，表示发电机正常工作。

三、任务实施

（一）任务实施的要求

1. 任务实施的目的

（1）在汽车上能正确指出电源系统各个零部件，并说出名称和作用。

（2）能正确描述汽车充电指示灯的工作原理。

2. 实训仪器和设备

汽车整车、蓄电池、交流发电机、起动机、手电筒等。

素养课堂

中国汽车之父饶斌的最后一次演讲——厚植爱国情怀，不负青年使命

（二）任务实施的步骤

1. 前舱内电源系统零部件认知

任务实施前，应做好准备和检查工作。打开发动机前舱，依次找到蓄电池、发电机。在认知蓄电池位置时，注意观察蓄电池的正极、负极接线柱；在认知发电机时，注意观察在前舱中的具体位置，同时判断电压调节器是位于发电机内部（整体式电压调节器）还是位于发电机外部。

2. 驾驶舱内电源系统零部件认知

打开车门，进入驾驶舱，观察点火开关的挡位。

（1）ON 挡：接通挡。将钥匙拧到此位置时，全车电路接通，系统会为起动发动机做必要的准备工作和自检工作。正常行车时，钥匙处于 ON 状态，全车所有电路都处于工作状态。

（2）START 挡：起动挡。将钥匙拧到此位置时，起动机电路接通，会带动发动机运转并起动。松开钥匙后点火开关会自动回到 ON 挡。START 挡是发动机起动挡位，起动后会自动恢复正常状态，也就是 ON 挡。

（3）OFF 挡：锁止挡。此位置是钥匙插入和拔出的位置，此时汽车除了防盗系统和车内小灯以外，电路完全关闭，方向盘被锁止。锁车后钥匙会处于 LOCK 状态，将钥匙拧到此位置时，不仅锁住方向，还切断全车电源。

（4）ACC 挡：附件通电挡。将钥匙拧到此位置时，附件用电路会接通，收音机等设备可用。ACC 状态是接通汽车部分电器设备电源的状态，如 CD、空调等。

将点火开关接通至 ON 挡，观察充电指示灯的状态，点亮则正常；将点火开关接通至 START 挡后松开，点火开关自动回到 ON 挡，再观察充电指示灯状态，熄灭则正常。

四、任务总结

（1）汽车电源系统主要由蓄电池、发电机、电压调节器、充电指示灯（或电流表等）和点火开关等组成。

（2）发电机不运转时，充电指示灯亮，发电机不发电，蓄电池放电；发动机运转时，充电指示灯熄灭，发电机正常发电，蓄电池充电。

任务二

铅酸蓄电池的结构与工作原理

学习目标

完成本学习任务后，应当达到以下目标。

知识目标：

（1）了解蓄电池的作用与结构组成。

（2）掌握蓄电池的工作原理及工作特性。

（3）理解蓄电池型号的含义。

能力目标：

（1）能正确分析蓄电池充电和放电的工作过程。

（2）能正确描述蓄电池的充电和放电特性。

素质目标：

（1）具备一定的创新意识和创新能力。

（2）保持探索钻研的求学精神。

一、任务导入

在汽车维修作业中，汽车蓄电池的电压是工作人员首先需要测量的数值。汽车蓄电池额定容量的读取方法是什么？汽车蓄电池的类型如何识别？掌握蓄电池的工作原理和型号，有利于更好地实施汽车电源系统的检修工作。

二、预备知识

（一）蓄电池的作用

蓄电池是一种将化学能转变为电能的装置，属于可逆的直流电源。在汽车上，蓄电池与发电机并联向用电设备供电。在发动机工作时，用电设备所需电能主要由发电机供给。蓄电池的作用如下。

（1）发动机起动时，蓄电池向起动机和点火系统供电。

（2）发电机不发电或电压较低时，蓄电池向用电设备供电。

（3）发电机超载时，蓄电池协助发电机供电。

（4）发电机端电压高于蓄电池电动势时，蓄电池将发电机的电能转变为化学能储存起来。

（5）蓄电池能够吸收发电机的过电压，保护车用电子元件。

（二）蓄电池的分类和要求

1. 汽车蓄电池的分类

汽车用蓄电池有铅酸蓄电池（lead-acid battery）和碱性蓄电池（alkaline secondary battery）两大类。蓄电池在汽车上的安装位置根据车型和结构而定，原则上离起动机越近越好。大多数轿车的蓄电池装在发动机舱内（图 1-2-1），也有的装在行李箱内（图 1-2-2），甚至有的装在后排乘客座椅下方；货车的蓄电池以空载时重量平衡为原则，一般装在车架前部的左侧或右侧；客车的蓄电池多装在车厢内。蓄电池都是用特制的金属框架和防震垫固定的（图 1-2-3）。

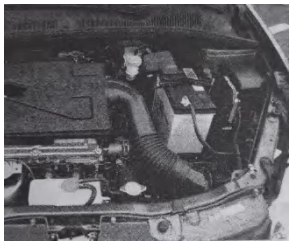


图 1-2-1　蓄电池装在发动机舱内

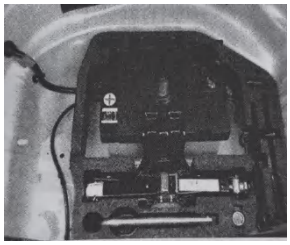


图 1-2-2　蓄电池装在行李箱内

图 1-2-3　蓄电池的固定方式

2. 对蓄电池的要求

起动发动机时，蓄电池必须能在短时间（5~10s）内向起动机连续提供强大的起动电流：汽油起动机一般需要 200~600A；柴油起动机一般需要 500~1000A，甚至更大。因此，对汽车用蓄电池的基本要求是容量大、内阻小，以保证蓄电池具有足够的起动能力。

起动型铅酸蓄电池的特点是内阻小、起动性能好、电压稳定，此外还有成本低、原料丰富等优点，所以被广泛应用在汽车上。

（三）蓄电池的基本构造

起动型铅酸蓄电池由 3 只或 6 只单格电池串联而成，每只单格电池的电压为 2V，串联成 6V 或 12V 供汽车选用。它主要由极板、隔板、电解液、外壳、联条和极柱等组成，如图 1-2-4 所示。

1. 极板

极板是蓄电池的核心部分，分为正极板和负极板两种。极板由栅架和活性物质组成，如图 1-2-5 所示。正极板上的活性物质是二氧化铅，呈棕红色；负极板上的活性物质是海绵状纯铅，呈青灰色。蓄电池在充电与放电过程中，电能和化学能的相互转换是依靠极板上的活性物质和电解液中的硫酸发生化学反应来实现的。

正极板活性物质脱落和栅架腐蚀是影响蓄电池使用寿命的主要原因。出于对使用期限的考虑，正极板要厚一些，负极板厚度一般为正极板厚度的 70%~80%。

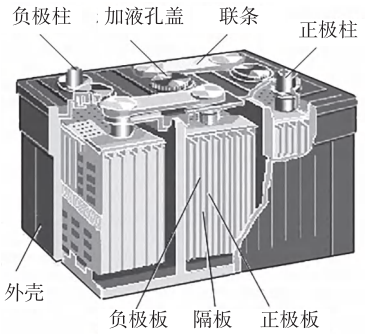


图 1-2-4　起动型铅酸蓄电池的结构

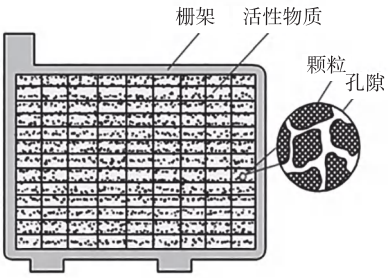


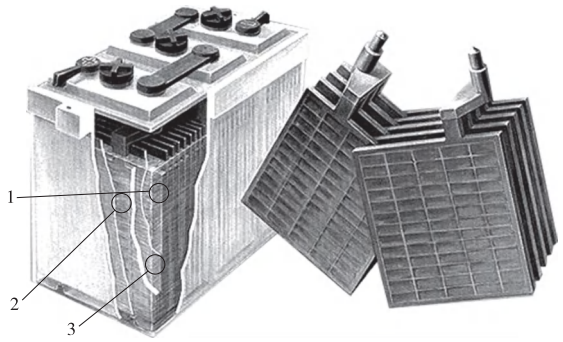
图 1-2-5　极板

为了增大蓄电池的容量，一般将多片正极板（4~13 片）和多片负极板（5~14 片）分别并联，组成正极板组和负极板组，如图 1-2-6 所示。安装时，将正、负极板组相互嵌合，中间插入隔板，就成了单格电池。在每个单格电池中，负极板的数量总是比正极板多 1 片。正极板都处在负极板之间，最外面两片都是负极板。正极板活性物质较疏松，机械强度低，这样把正极板夹在负极板中间，可使其两侧放电均匀，在工作时不易因活性物质膨胀翘曲而造成活性物质脱落。

2. 隔板

为了减小蓄电池内部尺寸，降低蓄电池内阻，蓄电池内部的正、负极板应尽可能靠近。但为了避免正、负极板之间相互接触而短路，要用绝缘的隔板（图 1-2-7）隔开。隔板材料应具有多孔性结构，以使电解液自由渗透；其化学性能应稳定，具有良好的耐酸性和抗氧化性。常见的隔板材料有木材、微孔橡胶、微孔塑料、玻璃纤维纸浆和玻璃丝棉等。

隔板一面平滑，另一面有凹槽。在正极板充电与放电过程中化学反应激烈时，为保证电解液能够顺利地上下流通，安装隔板时带沟槽的一面应朝向正极板。这样还能保证活性物质脱落时，能沿槽迅速沉底。



1—正极板（塞充红色二氧化碳）；2—负极板（塞充海绵状铅）；
3—充电指示灯电解液（稀硫酸）

图 1-2-6　蓄电池极板组

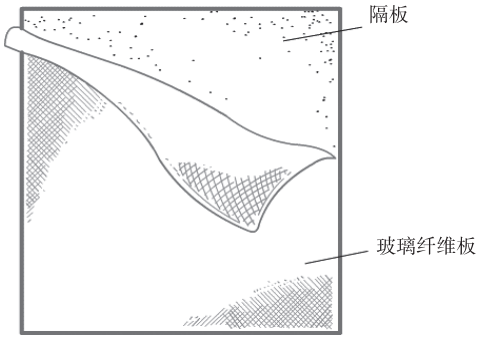


图 1-2-7　隔板

3. 电解液

电解液是蓄电池内部发生化学反应的主要物质，由纯净硫酸和蒸馏水按一定的比例配制而成，密度一般为 1.24~1.31g/cm^3，使用时应根据当地最低气温或制造厂的要求进行选择。电解液的纯度是影响蓄电池性能和使用寿命的重要因素，一般工业用硫酸和普通水中，因含有铁、铜等杂质，不能加入蓄电池中，否则容易自行放电，损坏极板。因此，蓄电池电解液要用规定的蓄电池专用硫酸和蒸馏水配制。

4. 外壳

外壳（图 1-2-8）用来盛放电解液和极板组，并使蓄电池构成一个整体。外壳应耐酸、耐热、耐寒、抗震，并具有足够的机械强度。常用的外壳材料有硬质橡胶和聚丙烯塑料两种，由间壁将其分为 3 个或 6 个相互分离的单格，底部有凸起的筋条支撑极板组，凸筋之间的空间用来容纳极板脱落的活性物质，以防极板短路。

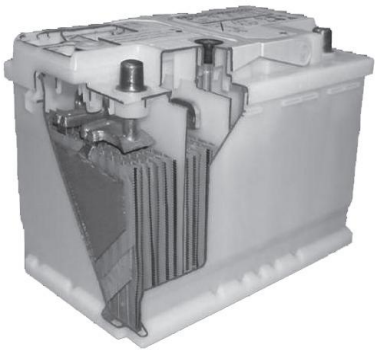


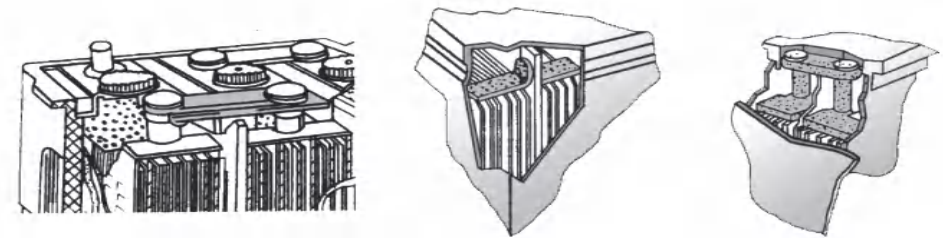
图 1-2-8　外壳

5. 其他零部件

1）联条

联条的作用是将单格蓄电池串联起来，提高蓄电池的端电压。起动型铅酸蓄电池的联条用铅锑合金制成，有传统外露式、穿壁式和跨越式 3 种，如图 1-2-9 所示。前者用在硬橡胶外壳上，后两者用在塑料外壳上。

传统外露式是指联条外露在蓄电池盖的上面；穿壁式是指在中间壁上打孔，使极板组柄直接穿过中间隔壁而将各单格电池连接起来；跨越式是指联条下部在蓄电池的平面上，或埋在蓄电池盖下，连接部分跨接在各单格电池的中间壁上。

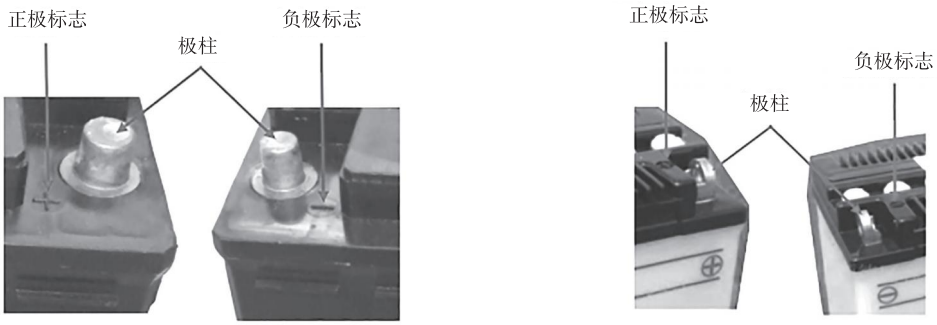


（a）传统外露式　　（b）穿壁式　　（c）跨越式

图 1-2-9　联条

2）极柱

极柱的作用是与外部电路连接起来，将蓄电池的电压引出。第一个单格电池的正极板联条与正极柱相连，最后一个单格电池的负极板联条与负极柱相连。极柱有圆锥形和 L 形等，如图 1-2-10 所示。为便于识别，极柱的上方或旁边刻有“+”（或“P”）、“-”（或“N”）符号，或者在正极柱上涂红色油漆。



（a）圆锥形　　（b）L 形

图 1-2-10　极柱

3）加液孔盖

加液孔盖用橡胶或塑料制成，旋在蓄电池盖的加液孔内。加液孔盖上端有通气孔，下端有特制的隔板，隔板的作用是将通气孔与单格上面的空间隔开，以防汽车颠簸时，电解液从通气孔溅出。

加液孔盖上的通气孔应经常保持畅通，使蓄电池内部的 H_2 与 O_2 排出，以防蓄电池过早损坏或爆炸。若在孔盖上安装一个过滤器，还可以避免水蒸气逸出，减少蒸馏水的消耗。

（四）蓄电池的型号

根据 JB/T 2599-2012 的规定，蓄电池的型号分为 3 部分，各部分之间用连接线分开，如图 1-2-11 所示。

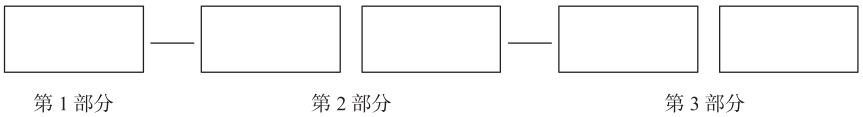


图 1-2-11　蓄电池的型号示意图

第 1 部分表示串联的单格电池数目，用阿拉伯数字表示，额定电压为该数字的 2 倍，不可省略。例如，3 表示 3 只单格电池，额定电压为 6V；6 表示 6 只单格电池，额定电压为 12V。

第 2 部分表示蓄电池的类型和特征，用汉语拼音字母表示。第 1 个字母为蓄电池类型，不可省略，如 Q 表示起动型铅酸蓄电池、M 表示摩托车用铅酸蓄电池；第 2 个字母为蓄电池的特征代号，如 A 表示干荷电式、W 表示免维护式、H 表示湿荷电式、M 表示密封式、S 表示少维护式、J 表示胶体电解质式。铅酸蓄电池的特征代号如表 1-2-1 所示。若某铅酸蓄电池具有两种特征，则将这两个代号并列标出。第 2 个字母可省略，省略时表示普通铅酸蓄电池。

第 3 部分表示蓄电池的额定容量和特殊性能。我国规定采用 20h 放电率的额定容量，用数字表示，单位为安培小时，简称安时，用 A·h 表示，不可省略。特殊性能用字母表示，G 表示高起动率、S 表示塑料槽、D 表示低温起动性能好，可省略，省略时表示普通型蓄电池。

例如，CA1170P2K2 柴油车用蓄电池的型号为 6-QAW-100S，表示该电池由 6 个单格电池串联而成，标准电压为 12V，额定容量为 100A·h，是起动型干荷电免维护式铅酸蓄电池。它采用了塑料整体式外壳，薄型极板，只需加入规定密度的电解液并静置 0.5h，就可以投入使用。

素养课堂

中国锂离子电池之父吴浩青——勇于探索钻研，传承匠人精神

表 1-2-1　铅酸蓄电池的特征代号

产品特征	干荷电式	湿荷电式	免维护式	少维护式	胶体电解质式	密封式	半密封式	防酸式	带液式	液密式	气密式	激活式
代号	A	H	W	S	J	M	B	F	D	Y	Q	I

（五）蓄电池的工作原理

1. 蓄电池的两极化学反应

蓄电池的工作原理就是化学能和电能的相互转化，分为充电和放电两个过程，如图 1-2-12 所示。当铅酸蓄电池接通外电路负载放电时，正极板上的 PbO_2 和负极板上的 Pb 都转化成 $PbSO_4$，电解液中的硫酸转化成水。充电时，正、负极板上的 $PbSO_4$ 分别还原成 PbO_2 和 Pb，电解液中的水还原成硫酸。

1）放电过程

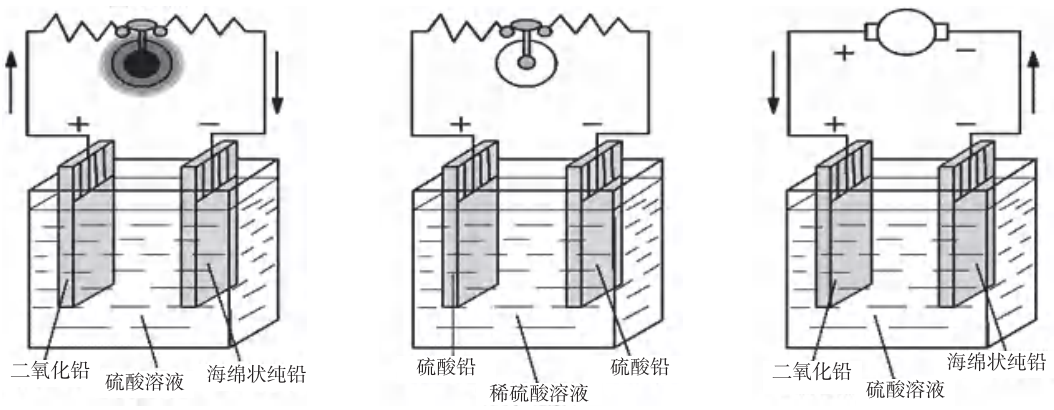
当铅酸蓄电池的正、负极板浸入电解液时，在正、负极板间会产生约 2.1V 的静止电动势。此时若接入负载，在电动势的作用下，电流会从蓄电池的正极经外电路流向蓄电池的负极，这一过程称为放电。蓄电池的放电过程是化学能转变为电能的过程。

知识视频
“双硫化理论”蓄电池的工作原理

放电时，正极板上的 PbO_2 和负极板上的 Pb 都与电解液中的 H_2SO_4 反应，生成硫酸铅（$PbSO_4$），沉附在正、负极板上。电解液中 H_2SO_4 不断减少，H_2O 不断增加，电解液密度减小。放电过程总的电化学反应为

$$PbO_2+2H_2SO_4+Pb \rightarrow 2PbSO_4+2H_2O$$

理论上，放电过程可以进行到极板上的活性物质耗尽为止，但由于生成的 $PbSO_4$ 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，在使用中蓄电池中活性物质的利用率只有 20%~30%。因此，采用薄型极板，增加极板的多孔性，可以提高活性物质的利用率，增大蓄电池的容量。



（a）放电开始　　（b）放电结束　　（c）充电结束

图 1-2-12　蓄电池的工作原理

2）充电过程

充电时，蓄电池的正、负极分别与直流电源的正、负极相连，当充电电源的端电压高于蓄电池的电动势时，在电场的作用下，电流从蓄电池的正极流入、负极流出，这一过程称为充电。蓄电池的充电过程是电能转变为化学能的过程。

蓄电池充电时，按与放电过程相反的方向变化，正极板上的 $PbSO_4$ 恢复成 PbO_2，负极板上的 $PbSO_4$ 恢复成 Pb，电解液中的 H_2SO_4 增加，H_2O 减少，电解液密度增大。充电过程总的电化学反应为

$$2PbSO_4+2H_2O \rightarrow PbO_2+2H_2SO_4+Pb$$

2. 蓄电池的充放电特性

1）蓄电池的放电特性

蓄电池的放电特性是指恒流放电时，蓄电池端电压 U_f、电动势 E 和电解液密度 $\rho_{25℃}$ 随放电时间变化的规律。完全充满电的蓄电池以 20h 放电率恒流放电的特性曲线如图 1-2-13 所示。

放电时，由于蓄电池内阻的影响，蓄电池端电压 U_f 低于其电动势 E，即

$$U_f = E - I_f R_O \tag{1-2-1}$$

式中，I_f 为放电电流，单位为 A；R_O 为蓄电池内阻，单位为 Ω。

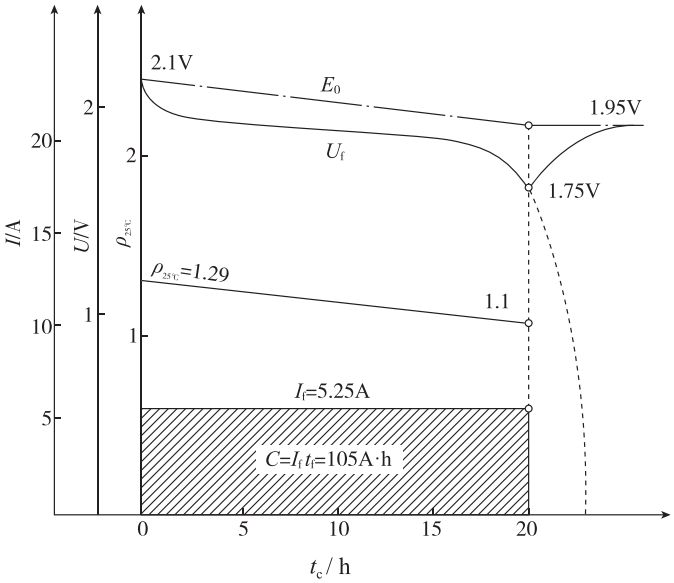


图 1-2-13　蓄电池的放电特性曲线

放电开始时，蓄电池端电压 U_f 从 2.1V 迅速下降，这是由于放电之初极板孔隙内的 H_2SO_4 迅速消耗，电解液密度迅速下降。随着极板孔隙外的电解液向极板孔隙内渗透速度加快，当其渗透速度与化学反应速度达到相对平衡时，极板孔隙内电解液密度的变化速率趋于稳定，端电压将随整个容器内电解液密度的降低而缓慢下降到 1.95V。随后端电压又迅速降低到 1.75V，此时应立即停止放电，称此电压值为单格电池的终止电压。若继续放电，端电压会急剧下降，这是因为放电终了时，化学反应深入到极板内层，并且放电过程中生成的 $PbSO_4$ 体积比原来活性物质的体积大，且积聚在孔隙内，使孔隙变小，电解液渗透困难，由此造成极板孔隙内电解液密度迅速下降，端电压随之急剧下降。继续放电则为过放电，过放电时极板孔隙中会生成粗结晶 $PbSO_4$，充电时不易还原，即造成极板硫化，严重影响蓄电池的寿命，并导致蓄电池容量下降。因此，过放电对蓄电池极为有害。

放电停止后，由于电解液的渗透作用，孔隙内外电解液的密度趋于一致，蓄电池单格电池的电动势会回升至 1.95V。

由于恒流放电，在单位时间内所消耗的 H_2SO_4 数量保持一致，电解液的密度 $\rho_{25℃}$ 呈线性变化。一般来说，电解液密度每下降 0.04g/cm^3，蓄电池放电量大约为额定容量的 25%。

由此可见，蓄电池放电终了的特征如下。

①单格电池电压下降至放电终止电压，以 20h 放电率放电，单格电池电压将降至 1.75V。

②电解液密度下降至最小的许可值（1.11g/cm^3）。

此外，放电所允许的终止电压与放电电流的大小有关，放电电流越大，放电的时间就越短，允许的放电终止电压也就越低。

2）蓄电池的充电特性

蓄电池的充电特性是指以恒电流充电时，蓄电池充电电压 U_C、电动势 E 及电解液密度 $\rho_{25℃}$ 随充电时间变化的规律。蓄电池以 20h 充电率恒电流充电时的特性曲线如图 1-2-14 所示。

由于充电电源必须克服蓄电池内阻的电压降，因此，充电电压 U_C 要高于蓄电池的电动势 E，即

$$U_C = E + I_C R_O \qquad (1\text{-}2\text{-}2)$$

式中，U_C 为充电电压，单位为 V。

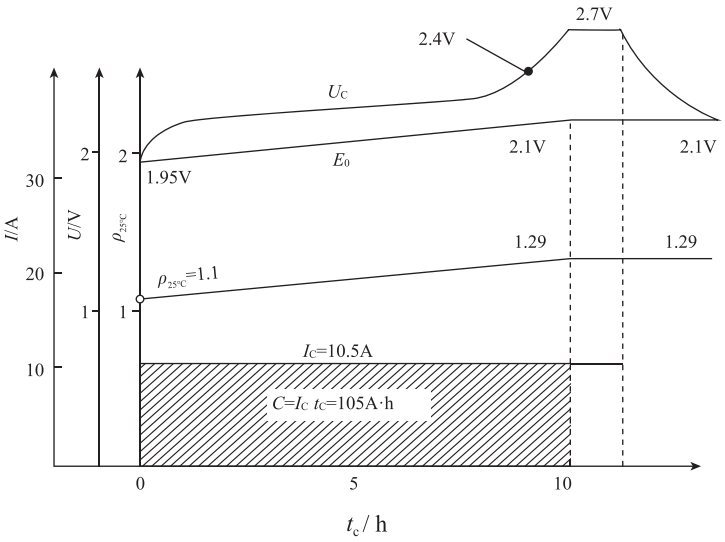


图 1-2-14　蓄电池的充电特性曲线

充电开始时，蓄电池端电压迅速上升，这是因为在极板孔隙内发生化学反应，生成的 H_2SO_4 使得极板孔隙内的电解液密度迅速增大，端电压随之迅速增大。随着极板孔隙内的电解液向外扩散速度加快，当孔隙内 H_2SO_4 的生成速度与电解液的扩散速度达到相对平衡时，蓄电池的端电压不再迅速上升，而随整个容器内电解液密度的缓慢增大而逐步提高。

当蓄电池单格电池电压达到 2.3~2.4V 时，极板上的 $PbSO_4$ 已基本被还原成活性物质，这时充电接近终了。继续充电时，电解液中的 H_2O 开始分解，产生 H_2 和 O_2，并以气泡的形式释放出来，电解液呈“沸腾”状态。由于 H_2 生成的速度较水解速度慢，在负极板处积聚了较多的氢离子 H^+，使极板相对电解液产生了附加电位（约 0.33V），导致单格电池的充电电压高达 2.7V 左右。

从理论上讲，当单格电池电压升至 2.7V 时，应终止充电，否则将造成过充电。过充电将产生气体并在极板孔隙内产生压力，会加速极板物质脱落，所以应避免长时间过充电。但在实际使用中，往往在达到最高电压后仍应继续充电 2~3h，以保证蓄电池充电完全。

充电停止后，附加电位消失，孔隙内电解液密度迅速下降，且与整个容器内电解液密度趋于一致，因而单格电池电压又迅速降至 2.1V 左右。由于恒流充电，电解液的密度 $\rho_{25℃}$ 随充电时间变化而线性上升，当单格电池电压达到 2.4V 时，其值达到最大。

可见，蓄电池充电终了的特征如下。

（1）蓄电池的端电压上升至最大值（单格电池电压为 2.7V），且 2h 内不再变化。

（2）电解液的密度上升至最大值，且 2h 内基本不变。

（3）蓄电池剧烈地放出大量气泡，电解液“沸腾”。

（六）蓄电池的工作特性

1. 静止电动势

静止电动势是指在外电路未接通时正、负极板之间的电位差，其大小取决于电解液的密度和温度（电解液相对密度一定时，变化很小）。静止电动势可用直流电压表直接测量（近似值），也可由经验公式计算，其计算公式为

$$E_0 = 0.85 + \rho_{25℃} \tag{1-2-3}$$

式中，E_0 为静止电动势，单位为 V；$\rho_{25℃}$ 为 25℃时电解液的相对密度，单位为 g/cm^3。

当电解液的温度发生变化时，实测所得电解液相对密度可换算成 25℃时的相对密度，其换算公式为

$$\rho_{25℃} = \rho_t + \beta(T-25) \tag{1-2-4}$$

式中，ρ_t 为实际测得的电解液密度，单位为 g/cm^3；β 为密度温度系数，其值为 0.00075，即温度每升高 1℃，实际测得的电解液密度将下降 $0.00075g/cm^3$；T 为实际测得的电解液温度。

汽车用蓄电池的电解液密度一般为 $1.23\sim1.30g/cm^3$，因此蓄电池的单格静止电动势相应为 2.08~2.15V。

2. 内电阻

蓄电池的内电阻是指极板电阻、电解液电阻、隔板电阻、联条电阻的总和。通常蓄电池的内电阻都是很小的，因而能输出较大的电流，满足起动需要。

电解液电阻的大小随电解液的相对密度变化而变化，如图 1-2-15 所示。

极板电阻的大小与蓄电池的存电量有关，蓄电池处于未完全充满电的状态时，附在极板表面的硫酸铅阻碍了硫酸溶液和活性物质的接触，表现为内电阻增大。

隔板电阻的大小和联条电阻与其材料有关，在蓄电池结构确定后，隔板电阻和联条电阻可视为不变电阻，与蓄电池的充、放电等使用情况无关。

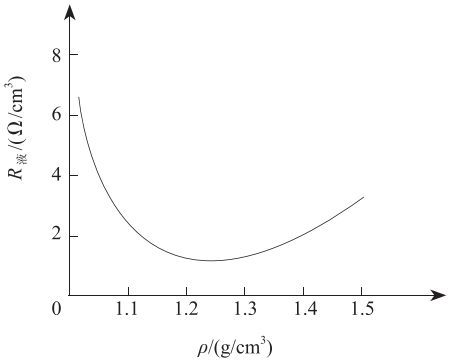


图 1-2-15　电解液电阻与电解液相对密度的关系

图 1-2-16　极柱受到氧化、腐蚀

特别需要注意的是，极柱（又称极桩）是蓄电池和外电路连接的部位，一般可视为外电阻。在连接可靠时，极柱电阻极小。但在连接不可靠或受到氧化、腐蚀等（图 1-2-16）后，其电阻值的明显增加，将会严重影响到蓄电池的供电能力。

三、任务实施

（一）任务实施的要求

1. 任务实施的目的

（1）认识蓄电池的类型与结构。

（2）能正确识别蓄电池的型号。

2. 实训仪器和设备

不同类型的蓄电池。

（二）任务实施的步骤

1. 蓄电池的结构认知

铅酸蓄电池由于结构简单、价格便宜、内阻小、可以短时间供给起动机强大的起动电流而被广泛采用。铅酸蓄电池可以分为普通铅酸蓄电池、干荷电铅酸蓄电池、湿荷电铅酸蓄电池和免维护铅酸蓄电池。

1）普通铅酸蓄电池

普通铅酸蓄电池的结构如图 1-2-17 所示。新蓄电池的极板不带电，使用前需按规定加注电解液并进行初充电，初充电的时间较长，使用中需要定期维护。

2）干荷电铅酸蓄电池

干荷电铅酸蓄电池是指极板处于干燥的已充电状态和无电解液储存的铅酸蓄电池。它的外观、内部零件结构及使用效果与普通铅酸蓄电池基本相同。新蓄电池的极板处于干燥的已充电状态，电池内部无电解液。在规定的保存期内，如需使用新蓄电池，只需按规定加入电解液，静置 20～30min 即可，使用中需要定期维护。

3）免维护铅酸蓄电池

免维护铅酸蓄电池又称为 MF（Maintenance-Free）铅酸蓄电池，是指在汽车合理使用期间，不需要对蓄电池进

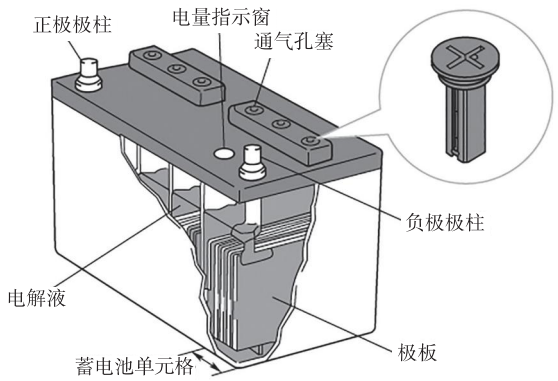
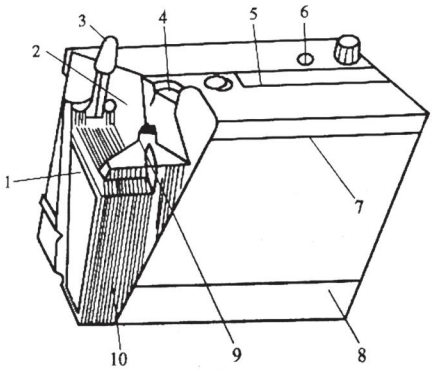


图 1-2-17　普通铅酸蓄电池的结构

行加注蒸馏水、检测电解液液面高度、检测电解液密度等维护作业，只需要通过观察电量指示器即可了解蓄电池的电量情况，其结构如图 1-2-18 所示。



1—极板组；2—极板上部；3—密封式压铸成型极柱；4—安全通气装置；5—盖；6—内装电解液密度计；7—外壳与盖黏合处；8—外壳；9—穿壁式单格电池联条；10—袋式聚氯乙烯隔板

图 1-2-18　免维护铅酸蓄电池的结构

免维护铅酸蓄电池的活性物质是铅和铅的氧化物，其电解液是硫酸溶液。免维护铅酸蓄电池的结构特点如下。

（1）采用低锑合金或铅钙合金栅架，不但增强了栅架的支撑强度，而且使蓄电池在使用时失水量少、自放电少。

（2）采用袋式聚氯乙烯隔板，将正极板装在袋式聚氯乙烯隔板内，避免正极板的活性物质脱落，防止极板短路，使壳体底部无须加设凸筋，降低了极板组的高度，增大了极板上部的容积，使电解液储量增多，蓄电持久。

（3）采用密封式压铸成型极柱，不易断裂，可避免酸气腐蚀。

（4）采用聚丙烯塑料热压而成的全封闭式外壳，内壁较薄，工艺性好，体积小，质量轻。

（5）极板组采用穿壁式或跨越式连接方式，减少了蓄电池的内电阻。

（6）采用新型安全通气装置和收集器，既可避免蓄电池内的酸气与外部火花直接接触而发生爆炸，又可通过通气装置中的催化剂（钯）促进排出的氢离子和氧离子结合成水分子再回到电池中，补充水的消耗，因而可以使用 3~4 年且不必补加蒸馏水。这种通气装置还可以使蓄电池顶部和接线柱保持清洁，减少接线端头的腐蚀，保证接线牢固可靠。

（7）内装电解液密度计，可自动显示蓄电池的存电状态和电解液的液面高低。其中，绿色代表充电程度为 65% 及以上；黑色代表充电程度低于 65%；浅黄色代表蓄电池有故障。

免维护铅酸蓄电池的主要使用特点如下。

（1）使用中不需要加蒸馏水。因为免维护铅酸蓄电池采用袋式聚氯乙烯隔板，将极板完全包围，且极板直接安装在蓄电池的底板上，可使电解液储液量增多，耗水量减少，所以免维护铅酸蓄电池在使用中无须加水。

（2）自放电少，寿命长。免维护铅酸蓄电池极板栅架材料的改进，使自放电大为减少，延长了蓄电池的使用寿命。免维护铅酸蓄电池正常使用寿命为 4 年左右，比普通蓄电池高 1 倍。

（3）接线柱腐蚀较小。免维护铅酸蓄电池采用新型安全通气装置和收集器，蓄电池中的酸气不易排出，顶部干燥，不易腐蚀。

（4）起动性能好。免维护铅酸蓄电池单格电池间采用穿壁式等连接方式，缩短了电路的连接长度，减少了内电阻，放电电压可提高 0.15~0.40V，有较好的起动性能。

当然，日常生活中还有其他电解质蓄电池，如胶体电解质蓄电池、燃料电池（Fuel Cell）、钠－硫蓄电池等。

2. 蓄电池的型号识别

以风帆蓄电池为例，风帆蓄电池的外形如图 1-2-19 所示，由其型号 6-QA-135 可知，该蓄电池由 6 个单格电池串联而成，额定电压为 12V，为起动型干荷电式蓄电池，其 20h 放电率额定容量是 135A·h。

图 1-2-19　风帆蓄电池的外形

四、任务总结

（1）蓄电池是一种既能将化学能转变为电能，又能将电能转变为化学能的可逆低压直流电源。

（2）铅酸蓄电池主要由极板、隔板、电解液、外壳、极桩和联条等组成，单格电池电压约为 2V，可分为普通铅酸蓄电池、干荷电铅酸蓄电池、湿荷电铅酸蓄电池和免维护铅酸蓄电池。

（3）铅酸蓄电池的电解液由蒸馏水和纯硫酸组成，其相对密度为 1.24~1.31g/cm^3。

（4）蓄电池的型号中，第 1 部分表示蓄电池的单格电池数目，第 2 部分表示蓄电池的类型和特征，第 3 部分表示蓄电池的额定容量和持续性能。

（5）蓄电池放电终了特征是单格电池电压降低到最低允许值，电解液密度下降到最低允许值；蓄电池充电终了特征是单格电池电压上升到最大值，电解液密度上升到最大值，电解液呈“沸腾”状态。

任务三

蓄电池的充电与检修

学习目标

完成本学习任务后，应当达到以下目标。

知识目标：

（1）掌握使用与维护蓄电池的基本方法。

（2）掌握蓄电池的充电种类和充电方法。

（3）掌握蓄电池常见故障的检修方法。

能力目标：

（1）具备使用与维护蓄电池的能力，能对蓄电池进行正确充电。

（2）具备诊断蓄电池常见故障的能力。

素质目标：

（1）具备勤奋学习、刻苦钻研、勇于探索、敢于创新的学习精神。

（2）关心祖国和民族的命运，肩负新时代青年的光荣使命。

一、任务导入

汽车维修工李明接到一辆故障车，该车无法正常起动。他检测蓄电池电压，发现电量不足，于是对蓄电池进行检修，打开加液孔盖看到极板表面有一层较厚的白霜。充电时，电压及电解液温度上升较快，气泡出现较早，电解液密度增加不明显。使用时，电压下降较快，容量明显偏小。这是什么原因造成的呢？

二、预备知识

（一）蓄电池的容量及其影响因素

1. 蓄电池的容量

蓄电池的容量标志着蓄电池对外供电的能力。完全充满电的蓄电池在允许的放电范围内输出的电量称为蓄电池的容量，即

$$C = I_f t_f$$

式中，C 为蓄电池的容量，单位为 A·h；I_f 为放电电流，单位为 A；t_f 为放电时间，单位为 h。

蓄电池的容量与放电电流的大小以及电解液的温度有关，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测得的。

1）额定容量

额定容量是检验蓄电池质量的重要指标之一。《起动用铅酸蓄电池 第 1 部分：技术条件和试验方法》（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 ± 5）℃、密度为（1.28 ± 0.01）g/cm^3（25℃）的条件下，持续放电到规定的单格电池终止电压 1.75V 时蓄电池输出的电量，称为蓄电池的额定容量，记为 C_{20}。

例如，型号为 6-QA-60 的蓄电池在电解液初始温度为 25℃时，以 3A 的放电电流持续放电 20h，单格电池电压下降到 1.75V，其额定容量为 $C_{20} = 3 \times 20A \cdot h = 60A \cdot h$。

2）额定储备容量

额定储备容量是国际上通用的一种蓄电池容量表示方法，它是指充满电的蓄电池在电解液温度为 25℃的条件下，以 25A 的电流放电到单格电池终止电压 1.75V 时所能维持的时间，符号为 C_m，单位为 min。蓄电池的额定储备容量表示汽车在充电系统失效时，蓄电池能为照明和点火系统等用电设备提供 25A 恒定电流的能力。汽车装备的蓄电池额定储备容量越大，该车在充电系统失效状态下的持续行驶能力就越强。

例如，对于型号为 6-QA-60 的蓄电池，其额定储备容量为 $C_m = 60A \cdot h \div 25A = 144min$。

3）起动容量

起动容量表示蓄电池在发动机电力起动时的供电能力，用倍率和持续时间来表示。起动容量有两种规定：常温起动容量和低温起动容量。

常温起动容量 $C_{常温}$是指电解液初始温度为 25℃时，以 5min 放电率的电流放电至单格电池电压降至 1.5V 时所输出的电量。5min 放电率的电流数值约为其额定容量的 3 倍。

低温起动容量 $C_{低温}$是指电解液温度为 −18℃时，以 5min 放电率的电流放电，放电 2.5min 至单格电压降至 1V 时所输出的电量。

例如，对于型号为 6-QA-60 的蓄电池，其常温起动容量为 $C_{常温} = 5min \times 180A \cdot h = 15A \cdot h$；低温起动容量为 $C_{低温} = 2.5min \times 180A \cdot h = 7.5A \cdot h$。

2. 影响蓄电池容量的因素

蓄电池的容量与很多因素有关，除活性物质的数量、极板的厚薄、活性物质的孔隙率等与生产工艺及产品结构有关的因素之外，主要的影响因素是使用条件，如放电电流的大小、电解液的温度和电解液的相对密度等。

1）极板的构造

极板的面积越大，能参与电化学反应的活性物质就越多，其容量也就越大。采用薄极板、增加极板的片数以及提高活性物质的孔隙率，都有利于提高蓄电池的容量。

2）放电电流的大小

放电电流越大，蓄电池的容量就越低。因为放电电流越大，单位时间内所消耗的硫酸就越多，极板孔隙内由于硫酸消耗较快造成电解液密度下降也较快。大电流放电时，极板表面活性物质的孔隙极易被生成的硫酸铅堵塞，使孔隙内实际参加化学反应的活性物质数量下降。因此，随着放电电流的增加，蓄电池的容量会减小。蓄电池容量与放电电流的关系如图 1-3-1 所示。

知识视频
什么因素影响蓄电池容量？

由于发动机起动时属于大电流放电，如果长时间接通起动机，就会使蓄电池的端电压急速下降至终止电压，输出容量减少并使蓄电池过早损坏。因此，在起动时应注意：一次起动时间不应超过 5s；连续两次起动应间隔 15s 以上。这样可以使电解液充分渗透到极板孔隙内层，提高极板孔隙内活性物质的利用率和再次起动时的端电压，延长蓄电池的使用寿命。

3）电解液的温度

电解液温度较低时，黏度增大，导致渗透能力下降，容量降低。此外，温度越低，电解液的溶解度与电离度就越低，加剧了容量的下降。蓄电池容量与电解液温度的关系如图 1-3-2 所示。温度每下降 1℃，容量就下降 1%（小电流放电）或 2%（大电流放电）。因此，适当提高电解液的温度（小于 40℃），有利于提高蓄电池的容量及起动性能。在寒冷地区或冬季起动汽车时，由于低温和大电流放电，蓄电池端电压下降较多，容易造成起动困难，应安装蓄电池保温装置。

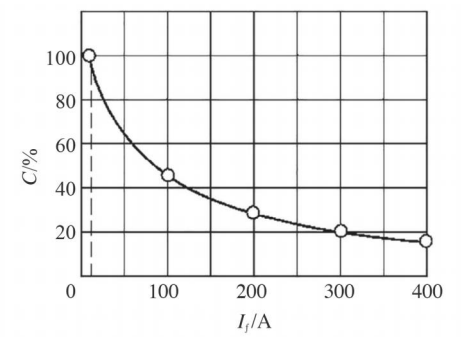


图 1-3-1　蓄电池容量与放电电流的关系

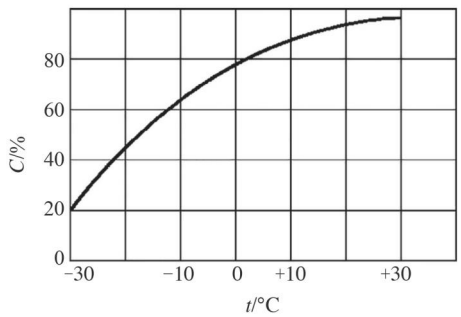


图 1-3-2　蓄电池容量与电解液温度的关系

4）电解液的密度

适当增加电解液的密度，可减小内阻，有利于提高电解液的渗透能力，使蓄电池的容量增加。但电解液密度较高时，由于电解液的黏度增加，内阻增加，渗透能力降低，从而导致容量下降。此外，电解液密度较高时，易造成极板硫化而导致容量下降。实践证明，电解液密度偏低，有利于提高放电电流和蓄电池的容量，延长蓄电池的使用寿命。冬季在不使电解液结冰的前提下，也应尽可能采用稍低密度的电解液。

（二）蓄电池的充电方法

蓄电池的充电方法有定流充电、定压充电和快速脉冲充电等。

1. 定流充电

在充电过程中，保持充电电流恒定的充电方法称为定流充电。硅整流充电机和可控硅充电机都可以方便地实现充电电流的恒定。采用定流充电可以将不同电压等级的蓄电池串联在一起，连接方法如图 1-3-3 所示。充电电流应按照容量最小的蓄电池来选择，当小容量蓄电池充满电后，应及时摘除，再继续给大容量蓄电池充电。

定流充电的优点是充电电流可以选择，因此既适用于蓄电池的初充电，也适用于补充充电和去硫充电，且有利于延长蓄电池的使用寿命。其缺点是充电时间较长，而且需要经常调整充电电流。

2. 定压充电

在充电过程中，保持充电电压恒定的充电方法称为定压充电。汽车上的充电系统采用电压调节器实现对充电电压恒定的控制。定压充电连接方法如图 1-3-4 所示。

定压充电电压选择：一般每单格蓄电池约需 2.5V，即 6V 蓄电池需要充电电压约为 7.5V，12V 蓄电池需要充电电压约为 15V。定压充电的特点是充电效率高，在充电开始的 4~5h 内，就可获得 90%~95% 的充电量，可大大缩短充电时间。

定压充电电压选择合适时，蓄电池充满电后，充电电流会自动趋向于零，使充电自动停止，这就不必由人工经常调整和照管。因为定压充电电流的大小不能调整，所以不能确保蓄电池完全充满电，也不能用于蓄电池的初充电和去硫充电。

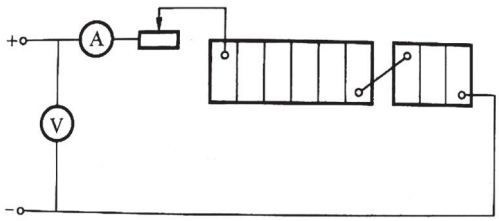


图 1-3-3　定流充电连接方法

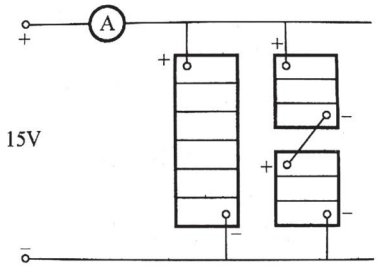


图 1-3-4　定压充电连接方法

3. 快速脉冲充电

常规充电（定压、定流充电）完成一次初充电需 60~70h，补充充电需 20h 左右。由于常规充电的充电时间太长，给使用带来不便，在单纯加大电流充电时温升过快，会产生大量气泡，造成活性物质脱落，缩短使用寿命。快速脉冲充电采用自动控制电路对蓄电池进行正反向脉冲充电，可以提高充电效率，使用快速脉冲充电蓄电池补充充电只需 0.5~1.5h。

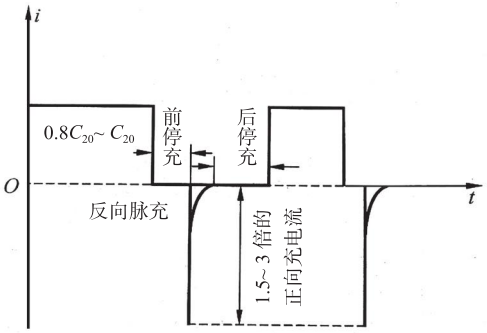


图 1-3-5　快速脉冲充电的电流波形

1）快速脉冲充电的过程

快速脉冲充电的电流波形如图 1-3-5 所示。

整个过程由脉冲充电控制电路进行自动控制，其具体过程如下。

（1）充电初期，采用大电流（相当于额定容量为 C_{20} 时电解液的 80% ~100%）的充电，使蓄电池在较短时间内充电达到额定容量的 60% 左右。当单格蓄电池电压上升到 2.4V、电解液开始分解而冒气泡时，控制电路发生作用，停止大电流充电。

（2）先停止充电 24~30ms（称为前停充），再放电或反充，使蓄电池反向通过一个较大的脉冲电流，以消除极板孔隙中形成的气泡，然后停止放电 25ms（称为后停充）。

（3）进行循环脉冲充电。其循环过程是正脉冲充电→前停充→负脉冲瞬间放电→后停充→正脉冲充电→充满。

2）快速脉冲充电的特点

（1）充电时间短，新蓄电池初次充电一般不超过 5h，旧蓄电池补充充电时间更短，只需 0.5~1.5h，大大提高了充电效率。

（2）省电、节能，消耗的电能仅为常规充电的 80%~85%。

（3）对蓄电池的寿命有一定影响，仍需进一步改进。

一般来讲，经快速充电的蓄电池只是提高了充电容量，并未充满电。若想充满电，还需用小电流或正常充电电流进行最后充电。多数快速充电设备都装有节温器，充电时将其插入蓄电池的注液孔中。当电解液温度超过一定温度（通常为 50℃）时，设备会自动停止充电。

（三）蓄电池的充电种类

素养课堂

我国电池技术的发展历程——培育创新精神，坚守初心使命

根据充电目的的不同，蓄电池的充电可分为初充电、补充充电、预防硫化过充电、去硫化充电和锻炼循环充电等。

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，其目的是恢复蓄电池存放期间，极板上部分活性物质缓慢硫化和自放电而失去的电量。因此，初充电对蓄电池的使用性能极为重要。初充电的特点是充电电流小，充电时间长。初充电的程序如下。

（1）加注电解液。新蓄电池在出厂时没有装电解液，电解液是由使用者加注的。要按制造厂的规定，加注一定密度的电解液，使液面高出极板上沿 10~15mm。加注电解液后，蓄电池应静置 3~6h，待温度低于 35℃时才能进行充电。

（2）连接蓄电池。将蓄电池的正、负极分别与充电机的正、负极相连。

（3）选择充电电流并进行充电。采用两阶段恒流充电法充电时，第一阶段充电电流为额定容量时电流的 1/15，待电解液中有气泡冒出、单格蓄电池电压达 2.4V 时，转入第二阶段，将电流减小一半，直至蓄电池充满电为止。充电过程中应注意测量电解液的温度，当温度超过 40℃时，应将电流减半；当温度继续上升达 45℃时，应停止充电，待冷却至 35℃以下时再继续充电。

（4）调整电解液密度。充好电的蓄电池应检查电解液的密度。如不符合规定，应用蒸馏水或 1.4g/cm^3 的稀硫酸进行调整，直至液面高度达到规定值为止。调整后，再充电 2h，直到电解液密度符合规定为止。

2. 补充充电

补充充电是指在无故障的前提下，为保持或恢复使用中的蓄电池额定容量而进行的正常的保养性充电。一般汽车用蓄电池应每隔 1~2 个月从车上拆下来进行一次补充充电，可采用定流充电，也可采用定压充电。使用中，当发现下列现象之一时，必须及时进行补充充电。

（1）电解液相对密度降至 1.15g/cm^3 以下时。

（2）冬季放电量超过 25%、夏季超过 50% 时。

（3）前照灯灯光比平时暗淡、起动无力时。

（4）单格蓄电池电压降到 1.70V 以下时。

3. 预防硫化过充电

蓄电池在使用中，常因充电不足而造成硫化。为预防硫化，蓄电池应每隔 3 个月进行一次预防硫化过充电。先用补充充电的电流值将电池充满，然后间歇 1h，将电流值减半，继续充至“沸腾”。这样反复数次，直到蓄电池刚接入直流电源充电就立即“沸腾”起来，这时可以结束充电。

4. 去硫化充电

当极板硫化较严重时，可以进行去硫化充电。先倒出容器内的电解液，用蒸馏水反复冲洗数次，再加入蒸馏水，用初充电电流进行充电，并且随时测量电解液密度。当电解液密度上升到 1.150g/cm^3 时，加蒸馏水冲淡，继续充至密度不再上升。然后进行放电，反复进行到在 6h 内密度值不再变化为止。最后按初充电的方法充电，调整电解液密度至规定值，就可以结束充电并交付使用了。

5. 锻炼循环充电

在汽车上，由于发电机经常对蓄电池进行充电，蓄电池常处于部分放电的状态，即仅有一部分活性物质参加电化学反应。为了避免活性物质长期不工作而收缩，在每工作一段时间（一般为 3 个月左右）后，应对

蓄电池进行一次锻炼循环充电，即按正常的充电方法将蓄电池充满电，然后以 20h 放电率放完，再按正常充电方法充满电。

（四）蓄电池充电注意事项

1. 充电设备

所谓充电设备就是指某种直流电源。汽车上采用的充电设备是由发动机驱动的交流发电机，充电室采用的多为硅整流充电机、可控硅（也称晶闸管）整流充电机等。

1）硅整流充电机的型号

硅整流充电机的型号由以下 5 部分组成。

（1）第 1 部分是元件。普通元件用“G”表示，可控硅元件用“KG”表示。

（2）第 2 部分是用途代号。“C”表示充电用。

（3）第 3 部分是元件的冷却方式代号。“A”表示自然冷却，“S”表示水冷，“F”表示强迫冷却，“J”表示油冷。

（4）第 4 部分是用数字表示的额定整流电流值（A）。

（5）第 5 部分是用数字表示的额定整流电压值（V）。

例如，GCA-60/72 表示该充电机为硅整流自然冷却充电机，额定电流为 60A，额定电压为 72V；KGCA-15/36 表示该充电机为可控硅整流自然冷却充电机，额定电流为 15A，额定电压为 36V。

2）硅整流充电机的特点

硅整流充电机的典型主电路如图 1-3-6 所示。硅整流充电机主要由交流电源与硅二极管组成，通过整流电路将交流电转变为直流电，以供蓄电池充电之用。实际中使用较多的是 GCA 系列硅整流设备，这种整流设备专供汽车修理厂及蓄电池充电站作为蓄电池补充充电用。

硅整流充电机操作简单、维修方便；整流效率高（一般可达 98%~99.5%）；许可工作温度高（最高可达 140℃）；体积小、质量轻；硅二极管整流特性好，整流器抗老化性强，因而寿命长，一般可做到半永久性使用。

硅整流充电机一般为箱式户内装置，其外形如图 1-3-7 所示。硅整流充电机的指示灯、开关按钮及测量仪表均装在面板上，变压器、硅元件、熔断器、接触器和过电压保护装置均装于铁箱内，以便于携带。

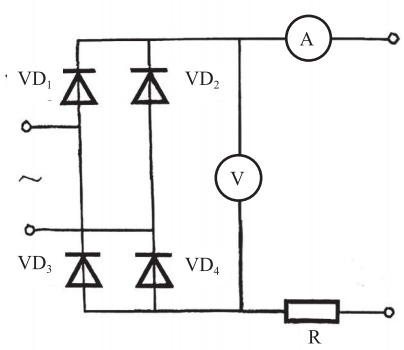


图 1-3-6　硅整流充电机的典型主电路

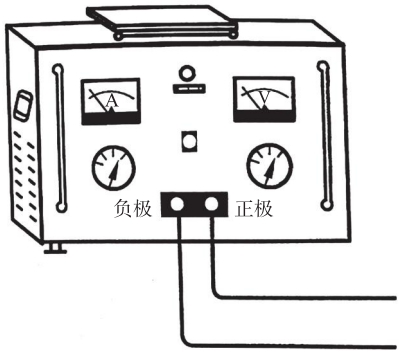


图 1-3-7　硅整流充电机的外形

3）可控硅充电机

KGCA-20A/100M Ⅷ型可控硅充电机的正面如图 1-3-8 所示，背面如图 1-3-9 所示。

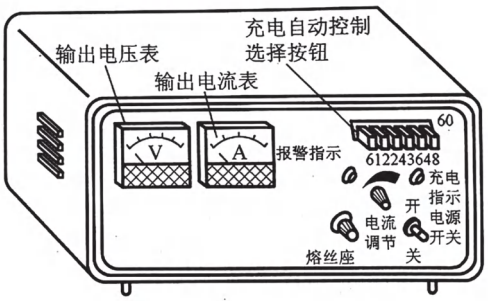


图 1-3-8　KGCA-20A/100M 可控硅整流充电机的正面

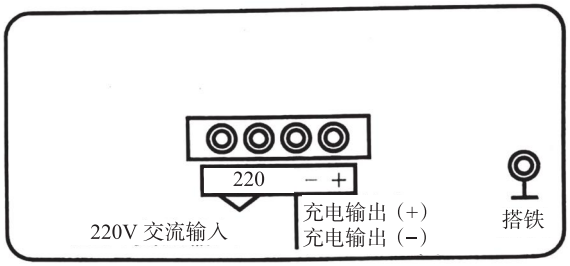


图 1-3-9　VIII 可控硅整流充电机的背面

其主要性能指标如下。

（1）输出电流在 0~20A 连续可调。

（2）输入电压在 150~250V 均可。

（3）电压自动控制 6 挡，即有 6V、12V、24V、36V、48V、60V 。

其使用方法如下。

（1）交流输入用 3 根导线分别对应连接 220V 交流电源及搭铁。

（2）将蓄电池连接（一般接为串联）成电池组，然后将电池组的正、负极对接充电机输出接线柱的正、负极（一般连接两正极的导线采用红色）。

（3）使用自动控制方式时，若要对 1 个 12V 电池充电，则应按下 12V 按键；若为 2 个 12V 电池串联充电，则应按下 24V 按键，以此类推。

（4）若不使用自动控制，则不按自动控制键。

其充电过程如下。

（1）电路连接完毕，采用自动控制方式时，先将电流调节旋钮按逆时针方向旋至极限（充电电流为零），再按下相应按键。扳动电源开关后，旋动电流调节旋钮，输出电流表显示充电电流的大小，充电指示灯点亮。蓄电池充满电后，充电机自动停止充电，并发出报警声。

（2）若不选用自动控制方式，蓄电池充满电时，需由操作人员根据蓄电池的特征判断是否关机。

（3）若电路或充电机自身发生故障，故障报警灯会自动点亮，同时发出报警声。

2. 蓄电池的正确使用和维护

1）三抓

（1）抓及时、正确充电。放完电的电池在 24h 内送至充电间；装车使用的电池应定期补充充电，放电程度为冬季不超过 25%、夏季不超过 50%；带电解液存放的蓄电池应定期补充充电。

（2）抓正确使用操作。每次起动时间不超过 5s，起动间隔时间不低于 15s，最多连续起动 3 次；车上蓄电池应固定牢靠，安装搬运时应轻搬轻放。

（3）抓清洁保养。保持蓄电池表面清洁；及时清除蓄电池表面的酸液；经常疏通通气孔。

2）五防

（1）防止过充和充电电流过大。

（2）防止过度放电。

（3）防止电解液液面过低。

（4）防止电解液密度过大。

（5）防止电解液内混入杂质。

（五）蓄电池的典型故障及检修

1. 蓄电池的检查

1）铅酸蓄电池性能的检查

（1）蓄电池液面高度的检查。检测蓄电池液面高度的方法有 3 种：玻璃管测量法、液面高度指示线法、加液孔液位判断法，如图 1-3-10 所示。

（a）玻璃管测量法　（b）液面高度指示线法　（c）加液孔液位判断法

图 1-3-10　蓄电池液面高度检查法

（2）蓄电池放电程度的检查。蓄电池放电程度的检查方法有 2 种：用密度计测量电解液的相对密度、用高率放电计检查蓄电池的放电程度。用密度计测量电解液的相对密度如图 1-3-11 所示。电解液的密度与放电程度之间的关系是密度每下降 0.01g/cm^3，相当于蓄电池放电 6%。用高率放电计检查 12V 蓄电池的放电程度，蓄电池充电后，电解液的密度为 1.24g/cm^3。将高率放电计（图 1-3-12）接入 10~15s，通过检测蓄电池的放电程度来检测其充电量：若电压能保持在 10.5V 以上，则表明存电量为充足，蓄电池无故障；若电压能保持在 9.6~10.5V，则表明存电量为不足，蓄电池无故障；若电压降到 9.6V 以下，则表明存电量严重不足或蓄电池有故障。

图 1-3-11　用密度计测量电解液的相对密度

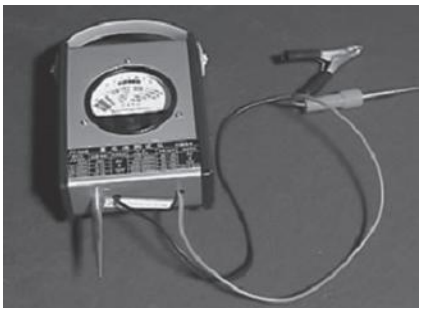


图 1-3-12　用高率放电计检查蓄电池的放电程度

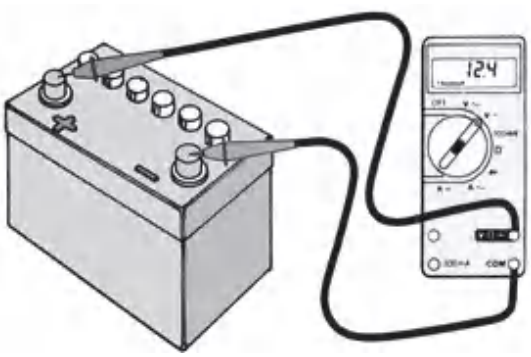


图 1-3-13　蓄电池开路电压的检查

（3）蓄电池开路电压的检查。测量蓄电池开路电压时，蓄电池应处于稳定状态。蓄电池充、放电或加注蒸馏水后，应静置半小时后再测量。蓄电池开路电压可用万用表的电压挡测量，将万用表的正、负表笔分别与蓄电池的正、负极相接即可，如图 1-3-13 所示。

2）免维护蓄电池的检查

对于全密封型免维护蓄电池，因为它没有加液孔，不能采用传统的密度计来测量电解液密度以判断其技术状况，为此，可以通过顶端的检查孔观察其颜色来判断蓄电池的技术状况，如图 1-3-14 所示。其中，电量检查孔为绿色表示蓄

电池已经充分充电；黑色表示蓄电池未充电或充电量较少；无色或黄色表示硫酸溶液处于临界状态或需要添加蒸馏水。

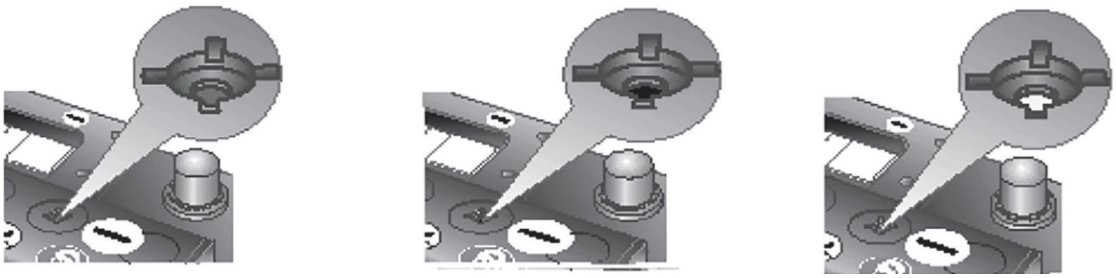


图 1-3-14　免维护蓄电池的检查

2. 蓄电池常见故障诊断与排除

蓄电池常见故障分内部故障和外部故障：内部故障有极板硫化、自放电、极板短路、活性物质脱落、极板栅架腐蚀、极板拱曲等；外部故障有外壳裂纹、极柱松动、封胶干裂等。

1）极板硫化

（1）现象。内阻显著增大、极板上生成白色粗晶粒硫酸铅的现象，称为硫酸铅硬化，简称硫化。硫化主要发生在负极板上，是导致蓄电池寿命终止的主要原因。

（2）特征。极板颜色不正常；放电时，端电压下降快；充电时，端电压上升快；电池容量降低；电解液密度低于正常值；充电时密度增加很慢；充电时单格电压上升很快；单格电压过高（2.8~3.0V）；易过早“沸腾”。

（3）主要原因。蓄电池长期充电不足或放电后不及时充电，温度变化时，硫酸铅发生再结晶；蓄电池液面过低，极板上部发生氧化后与电解液接触，也会生成粗晶粒硫酸铅；电解液密度过高；电解液中含有较多杂质；气温变化剧烈。

（4）处理方法。程度轻的采用过充电法；较严重的采用小电流长时间过充电法；严重的采用水处理法。

2）自放电

（1）现象。充满电的电池在 30 天内每昼夜容量降低超过 2% 为自放电故障。

（2）特征。电池不用时，电能自行消耗。

（3）主要原因。使用因素，如电解液杂质过多、电解液密度偏高、电池表面不清洁、电池长期不用；结构因素，如含锑的栅板。

（4）处理方法。用专用硫酸配制电解液；配制用器皿应为耐酸材料，且要防脏物掉入；电池盖要装好；经常清洁表面，保持干燥。

3）极板短路

（1）现象。无法起动；蓄电池无电压。

（2）特征。充电时电解液温度迅速升高；电压和电解液密度上升很慢；充电末期气泡很少；用高率放电计测验时，电压迅速下降为 0V；易过早“沸腾”。

（3）主要原因。隔板损坏；极板拱曲；活性物质大量脱落。

（4）处理方法。报废。

4）活性物质脱落

（1）现象。活性物质脱落一般在正极板上发生，是蓄电池过早损坏的主要原因之一。

（2）特征。容量下降；充电时电解液浑浊，有褐色物质浮出。

（3）主要原因。充电电流过大；过充时间长，电解水→产生 H_2 和 O_2 →冲击极板上的活性物质；低温大电流放电造成极板拱曲；电解液不纯；汽车行驶时颠簸、振动。

（4）处理方法。程度轻的清洗后更换电解液；严重的更换极板或报废。

三、任务实施

（一）任务实施的要求

1. 任务实施的目的

（1）掌握蓄电池充电设备的使用方法及充电电路连接方法。

（2）能正确对蓄电池进行补充充电。

（3）掌握蓄电池的检测方法。

2. 实训仪器和设备

蓄电池、充电机等。

（二）任务实施的步骤

1. 蓄电池充电注意事项

蓄电池充电时有许多安全注意事项，应该严格遵守。

（1）严格遵守充电规范。

（2）将充电机与蓄电池连接时，要注意极性，正对正，负对负，以免损坏蓄电池。

（3）在充电机工作时，不要连接或脱开充电机引线。

（4）在充电过程中，要注意各个单格蓄电池的电压和电解液密度，及时判断充电程度和技术状况。

（5）在充电过程中，要注意各个单格蓄电池的温升，以免温度过高，影响蓄电池的使用性能。

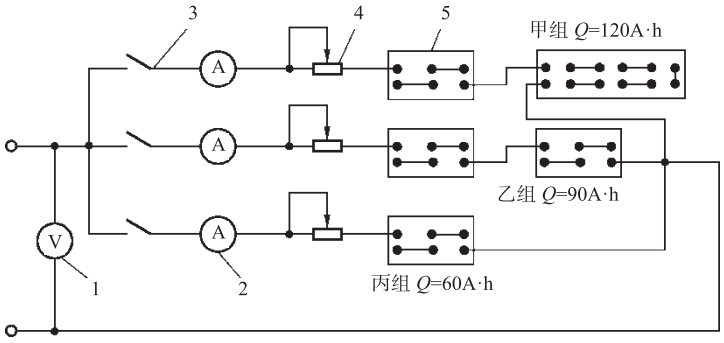
（6）室内充电时，要打开蓄电池加液孔盖，使气体顺利逸出，以免发生事故。

（7）充电室要安装通风设备，严禁在蓄电池附近产生电火花、明火。

（8）充电时，导线必须连接可靠。

2. 蓄电池充电的接线方法

1）定流充电的接线方法



1—电压表；2—电流表；3—充电开关；4—变阻器；5—蓄电池

图 1-3-15　定流充电电路 1

（1）对容量不同、电压不同的蓄电池同时充电时，可以按图 1-3-15 所示连接方法接线。选择充电电流时，可调节变阻器。此方法适用于大容量的充电机对大批量蓄电池充电。

（2）用小容量充电机对蓄电池充电时，可根据充电机的最高电压将几个蓄电池串联起来［可串联的 12V 蓄电池数量 N = 充电机的额定电压 ÷（6×2.7）］进行充电，但各蓄电池的容量应尽可能相同，否则充电机电流应以小容量的蓄电池来计算，接线方法如图 1-3-16 所示。调

节充电电流时，只要转动电压调节旋钮即可得到不同的充电电流。为观察不同充电阶段蓄电池的情况，3 个蓄电池可分别用放完电的、进入第二充电阶段的和进入充电终了阶段的蓄电池。

2）定压充电的接线方法

蓄电池容量不同但额定电压相同，且充电机输出电压受条件限制时，可用定压充电方法充电。其接线方法如图 1-3-17 所示。

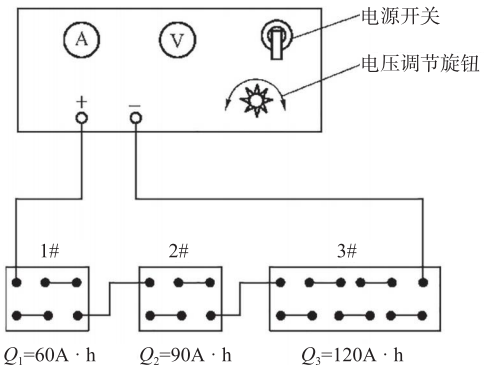
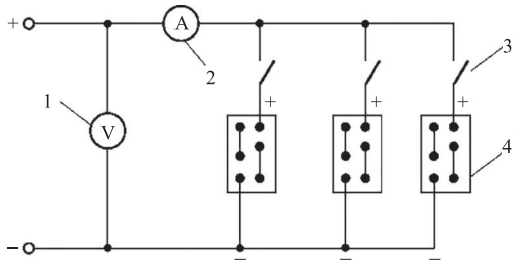


图 1-3-16　定流充电电路 2



1—电压表；2—电流表；3—充电开关；4—蓄电池

图 1-3-17　定压充电电路

3. 蓄电池的补充充电

1）普通铅酸蓄电池的补充充电

（1）从汽车上拆下蓄电池，清洁蓄电池外部的脏污以及极桩上的氧化物，疏通加液孔盖上的通气孔。

（2）取下加液孔盖，检查电解液的液面高度，如不符合规定要求，应添加蒸馏水，但如果确定是因电解液逸出而导致的液面下降，则应用密度为 1.40g/cm^3 的稀硫酸调配，电解液液面应高出极板上缘 10~15mm。

（3）用高率放电计检查各单格蓄电池的放电情况，要求蓄电池的各个单格电压读数基本一致。

（4）连接蓄电池与充电机，充电机的正、负极对应接到蓄电池的正、负极，准备充电。

（5）补充充电常采用改进恒流充电法。此种方法分两个阶段：第一阶段的充电电流为蓄电池额定容量时电流的 1/10，充至单格电压 2.3~2.4V；第二阶段的充电电流为蓄电池额定容量时电流的 1/20，充至单格电压 2.5~2.7V，电解液密度达到规定值，并在 2~3h 内基本不变，蓄电池内产生大量气泡，电解液呈“沸腾”状态。此时，表示蓄电池已充满电，整个充电时间需 13~16h。

（6）将加液孔盖拧紧，擦净蓄电池表面，便可使用。

2）免维护蓄电池的快速充电方法

（1）对于免维护蓄电池，通过顶端的电量检查孔观察其颜色，若为黑色即代表亏电，需要补充充电。

（2）图 1-3-18 所示为博士快速充电机，将充电机的正、负极分别与蓄电池的正、负极相连接。

（3）将充电机容量旋钮调整为蓄电池对应的额定容量值，按下开关进行充电。此时充电指示灯正常状态为绿色闪烁，电流表指针为一定示数。

（4）随着充电进行，电流表指针示数会逐渐减小。当电流表指针示数为零、充电指示灯变为绿色常亮时，充电结束。此时观察蓄电池顶端的电量检查孔颜色，应为绿色。

1—容量旋钮；2—开关；
3—充电指示灯；4—电流表

图 1-3-18　博士快速充电机

四、任务总结

（1）蓄电池容量的单位为安培小时（A·h），常用的容量有额定容量和起动容量。

（2）影响蓄电池容量的因素有极板的构造、放电电流的大小、电解液的温度和电解液的密度。

（3）蓄电池的充电方法有定流充电、定压充电和脉冲快速充电。

（4）蓄电池的充电种类有初充电、补充充电、预防硫化过充电、去硫化充电、锻炼循环充电。

（5）蓄电池使用过程中，要注意正确使用和维护，每次起动时间不超过 5s，起动间隔时间不低于 15s，最多连续起动 3 次。

任务四

交流发电机的结构原理与检修

学习目标

完成本学习任务后，应当达到以下目标。

知识目标：

（1）了解国内交流发电机的型号、正确使用方法与维护方法。

（2）掌握交流发电机的分类与构造。

（3）掌握交流发电机的工作原理。

能力目标：

（1）具备查阅交流发电机结构参数的能力。

（2）具备理解交流发电机工作原理的能力。

素质目标：

（1）具备严谨细致的素养。

（2）具备创新思维。

一、任务导入

交流发电机作为汽车电器的主电源，在正常工作时，除对起动机以外的全车用电设备供电，还将多余的能量给蓄电池，以补充蓄电池在使用中消耗的电能。发电机一旦出现故障，将会给使用者带来很大的麻烦。作为汽车专业维修人员，必须掌握汽车交流发电机检查及排除故障的方法。

二、预备知识

（一）交流发电机的分类与型号

发电机是汽车上的主要电源。它与蓄电池并联，由汽车发动机驱动，如图 1-4-1 所示。现代汽车装备的发电机几乎都是交流发电机。由于三相同步交流发电机采用硅二极管进行整流，通常又称为硅整流发电机。

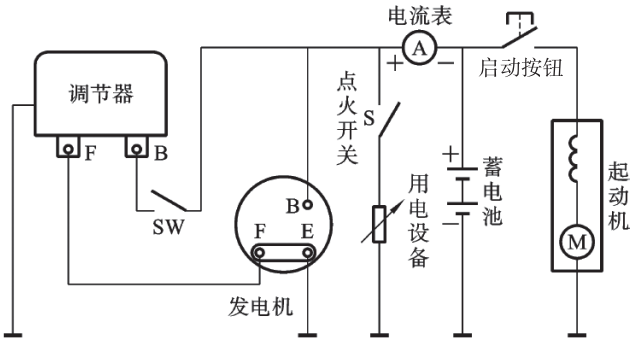
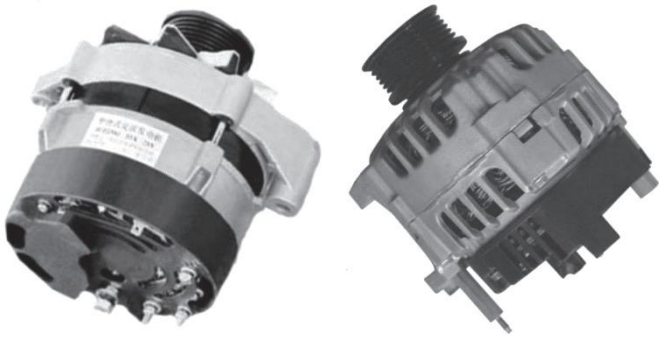


图 1-4-1　汽车电源系统并联电路



（a）风扇外置　　（b）风扇内置

图 1-4-2　交流发电机

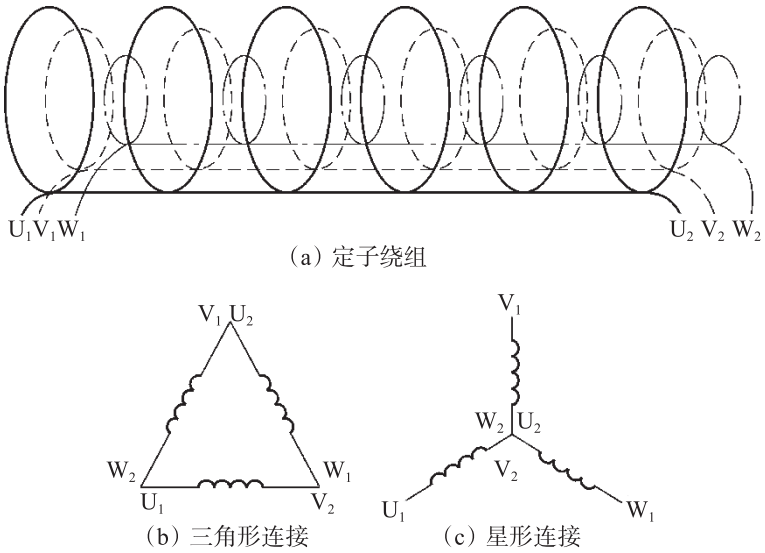


图 1-4-3　定子绕组示意图

1. 按交流发电机的总体结构分类

普通交流发电机：使用时需要配装电压调节器的发电机。

整体式交流发电机：发电机和调节器制成一个整体的发电机。

带泵交流发电机：真空助力泵和汽车制动系统安装在一起的发电机，多用于柴油机。

无刷交流发电机：无电刷和滑环的发电机。

永磁交流发电机：转子磁极用永磁铁制成的发电机。

2. 按外形和通风方式分类

常见的交流发电机在前端带轮的后面安装有风扇，风扇露在机体外面，如图 1-4-2（a）所示。它将发电机内的空气通过前端盖上的通风孔吸出来，使冷空气得以从后端盖的通风孔进入发电机内，冷却转子和定子线圈。另一种交流发动机从外面看不到风扇，机壳做得像网格似的，里面的线圈清晰可见，这种交流发电机叫作内置双风扇式发电机［图 1-4-2（b）］。它的风扇直接装在转子爪极上，前后各 1 个，能直接把发电机内的热空气排出发电机外，冷却效果好，常用于灰尘较少的轿车。

3. 按定子绕组间的连接方式分类

汽车用交流发电机的定子绕组都采用 3 组，产生三相交流电，如图 1-4-3 所示。3 组绕组的连接方式有 2 种：三角形连接（△）和星形连接（Y）。

三角形连接：把图 1-4-3 中 3 组绕组的 6 个端头按顺序连接起来，即 U_1—W_2、V_1—U_2、W_1—V_2 相接。这 3 个接点各与 1 对整流二极管相接，组成整流桥。这种连接方式适用于输出电流较大的发电机。采用这种连接的交流发电机由于定子绕组总是在形成闭合回路，对消除输出端完全截止时产生的瞬变过程有利。

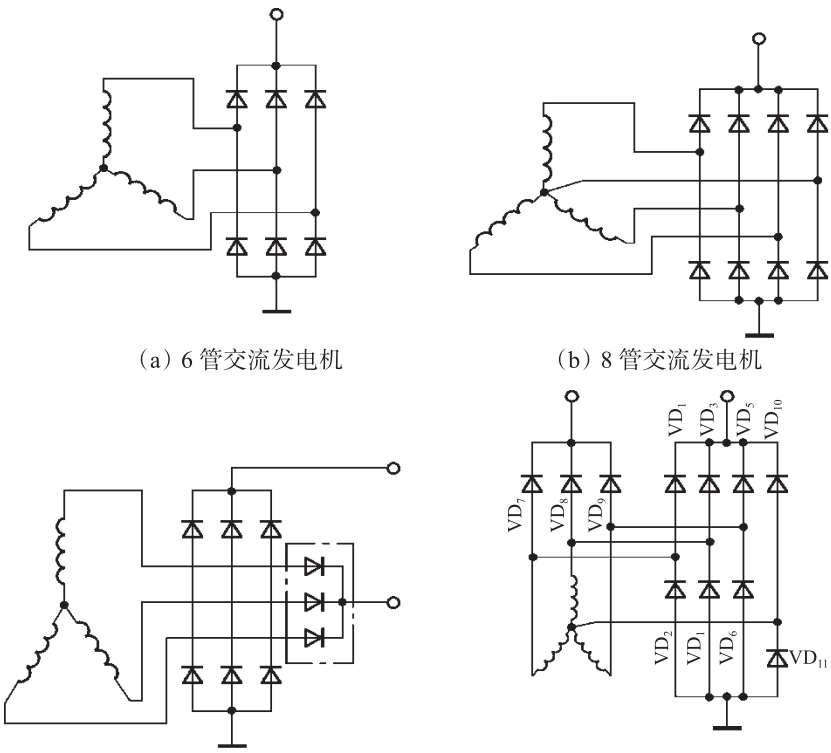
星形连接：把图 1-4-3 中 3 组绕组的 3 个端头连接起来，即 U_2—V_2—W_2 相接，此点称为中性点。另外的 3 个端头，即 U_1、V_1、W_1，各接 1 对整流二极管，组成整流桥。这种连接方式与外电路连接时较为灵活，被多数发电机所采用。

4. 按磁极对数分类

汽车发电机的定子绕组都采用 3 组，但转子的磁极对数却不一定是 6 对，通常分 4 对或 6 对两种。其中，4 对磁极的每组绕组中只能包含 4 个单线圈，3 组线圈共 12 个单线圈，这种结构只适用于发电量小、体积和重量都很小的发电机。

5. 按安装二极管的数目分类

交流发电机按所用二极管数可分为 6 管、8 管、9 管和 11 管，不同管数的发电机无法互换。因为它们不但内部线路不同，而且与汽车电路的接线方法也不一样。汽车交流发电机最少要用 6 个整流二极管，如图 1-4-4（a）所示。



（a）6 管交流发电机　（b）8 管交流发电机

（c）9 管交流发电机　（d）11 管交流发电机

图 1-4-4　采用不同数量二极管的交流发电机电路图

采用 8 个二极管的发电机，就是把星形连接定子绕组的中性点引出来，与三相的端头一样，也接 1 对整流二极管，一起组成整流桥，如图 1-4-4（b）所示。因为中性点并非零电压，它既然能使充电指示继电器动作，就说明它有能力输出电能。在高转速下，采用这种接法的 8 管发电机的发电量比 6 管发电机提高 15%。

采用 9 个二极管的发电机，是在 6 管星形连接的发电机基础上，从每一相端头上各接出 1 条线，分别串接 1 个小功率二极管后汇为一点，向励磁绕组供电，如图 1-4-4（c）所示。这种接法与内置式调节器相结合，可以使发电机的结构更为紧凑，对外的接线更少。

采用 11 个二极管的发电机，其实就是把 9 管发电机与 8 管发电机结合起来的结果，如图 1-4-4（d）所示。它综合了两者的所有优点：既能在高转速时比 6 管发电机增大输出 15%，又能得到更为紧凑的结构，对外的接线端子还可以做到最少。

6. 按励磁绕组的接地点位置分类

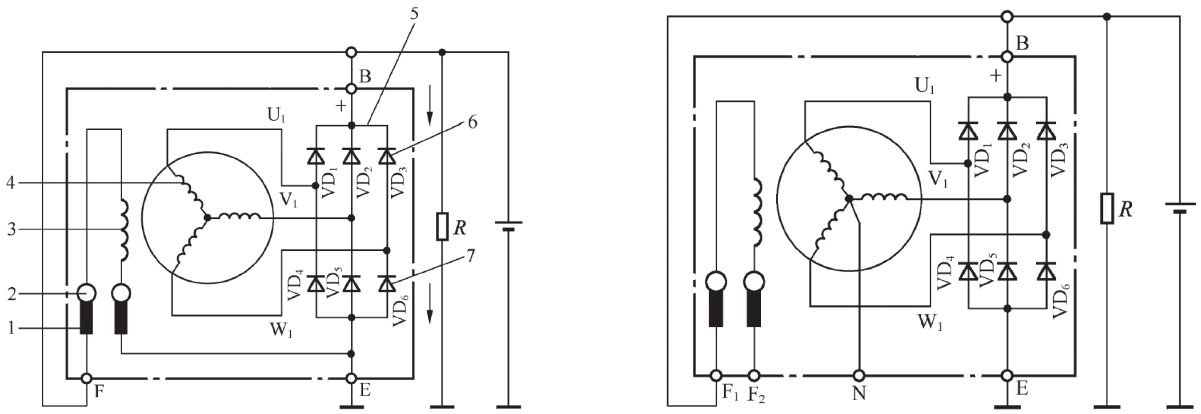
按励磁绕组（两只电刷引线）的接地点位置不同，把发电机分为内搭铁式发电机和外搭铁式发电机两种，如图 1-4-5 所示。

1）内搭铁式发电机

励磁绕组直接在发电机内部与壳体相连而搭铁，即两只电刷的引线一根与后端盖上的磁场接线柱“F”相连，另一根直接与发电机外壳上搭铁接线柱“-”相连。

2）外搭铁式发电机

励磁绕组的两只电刷都和发电机外壳绝缘，通过调节器搭铁，即两只电刷的接线柱均与发电机外壳绝缘，分别用“F_1”和“F_2”表示。



（a）内搭铁式　　（b）外搭铁式

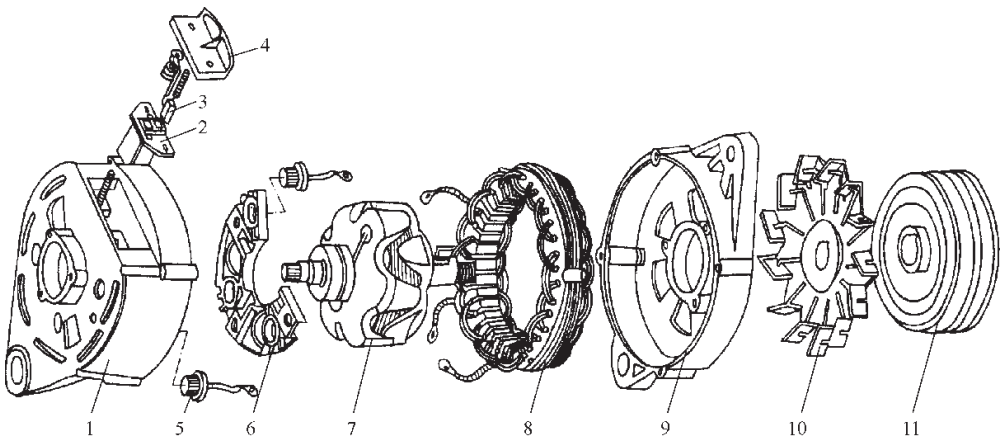
1—电刷；2—滑环；3—励磁绕组；4—三相定子绕组；5—整流桥；6—正极二极管；7—负极二极管

图 1-4-5　内搭铁式与外搭铁式交流发电机电路图

（二）交流发电机的结构

1．有刷交流发电机的构造

现在汽车上的交流发电机仍然以有刷交流发电机为主，三相同步交流发电机主要由转子、定子、电刷、电刷架、风扇、皮带轮和前后端盖等组成，如图 1-4-6 所示。

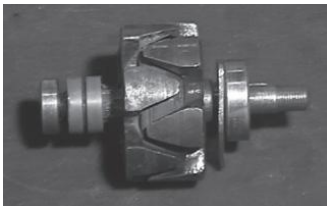


1—后端盖；2—电刷架；3—电刷；4—电刷弹簧压盖；5—硅二极管；6—散热板；
7—转子；8—定子；9—前端盖；10—风扇；11—皮带轮

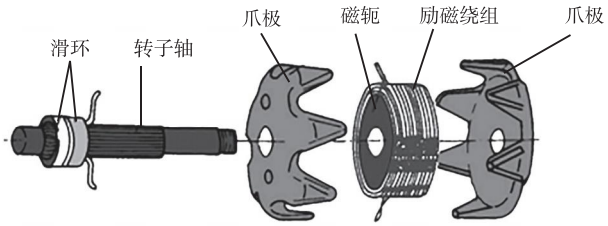
图 1-4-6　交流发电机结构图

1）转子

转子的功用是产生磁场。转子主要由转子铁芯、励磁绕组、爪极和滑环组成，如图 1-4-7 所示。爪极有 2 块，每块上都有 6 个鸟嘴形磁极，2 块爪极安装在转子轴上，爪极间的空腔内装有转子铁芯和励磁绕组。励磁绕组绕在铁芯上，铁芯压装在 2 块爪极之间的转子轴上。滑环由彼此绝缘的两个铜环组成，压装在转子轴的一端并与转子轴绝缘。励磁绕组的两端分别从内侧爪极上的 2 个小孔中引出，其中一端焊接在滑环内侧的铜环上，另一端则穿过内侧铜环上的小孔并焊接在外侧铜环上，2 个铜环分别与发电机的 2 个电刷接触。当 2 个电刷与直流电源接通时，励磁绕组中便有电流流过，并产生轴向磁通，使一块爪极磁化为 N 极，另一块爪极磁化为 S 极，从而形成 6 对相互交错的磁极。



（a）实物图

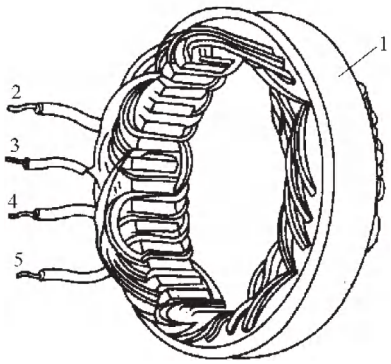


（b）分解图

图 1-4-7　转子

2）定子

定子由定子铁芯和定子绕组组成，功用是产生交流电，结构如图 1-4-8 所示。定子铁芯由内圆带槽的环状硅钢片叠成。定子绕组为三相对称绕组，安装在定子铁芯的槽内。三相绕组的连接方法采用星形连接，定子绕组引线端子共有 4 个，三相绕组各引出 1 个，中性点引出 1 个。



1—定子铁芯；2，3，4，5—定子绕组引线端子

图 1-4-8　发电机定子的结构

3）整流器

整流器的作用是将定子绕组产生的三相交流电整流成直流电。6 管交流发电机的整流器是由 6 只硅整流二极管组成的三相全波桥式整流电路组成。6 只整流管分别压装（或焊装）在 2 块板上，如图 1-4-9 所示。

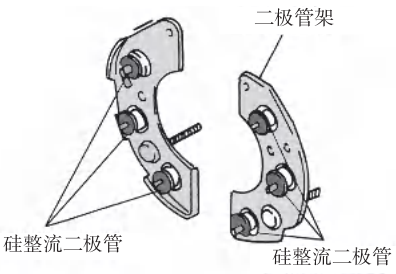


图 1-4-9　整流器

交流发电机整流二极管有正极管和负极管之分。外壳为负极、中心引线为正极的二极管称为正极管，管壳底上有红色标记。3 只正极管的外壳压装或焊接在元件板上，由一个后端盖绝缘的元件板固定螺栓连通至机壳外，成为发电机的电枢接线柱“B”极或“+”极。外壳为正极、中心引线为负极的二极管称为负极管，管壳底上注有黑色标记。3 只负极管的外壳压装或焊接在另一块元件板上，和电机外壳一起成为发电机的负极，其安装如图 1-4-10 所示。

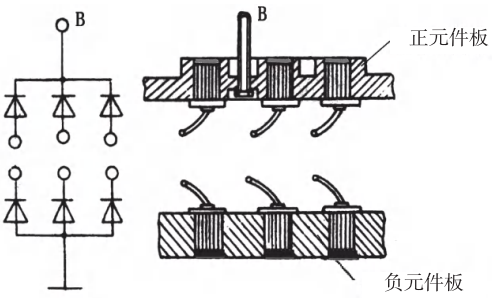


图 1-4-10　硅整流二极管安装图

4）电刷与电刷架

电刷主要由石墨制成，作用是将电源通过滑环引入励磁绕组。电刷组件由电刷、电刷架和电刷弹簧组成。电刷安装在电刷架的孔内，借助弹簧张力使电刷与滑环保持良好接触。每只电刷都有 1 根引线。引线直接引到 IC 调节器内部，从而将励磁绕组与调节器工作电路连接起来。其结构如图 1-4-11 所示。

发电机电刷总成的安装形式有内装式和外装式之分，如图 1-4-12 所示。内装式是将电刷架安装在后端盖内部，如果电刷损坏需要维修，就必须解体发电机，现已逐渐被淘汰；外装式电刷架用螺钉安装在后端盖壳体外表上，检修和更换比较方便。

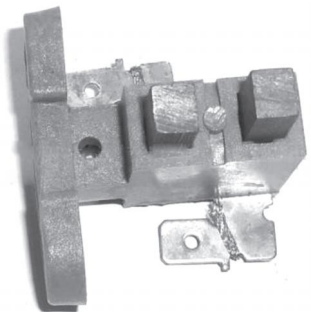
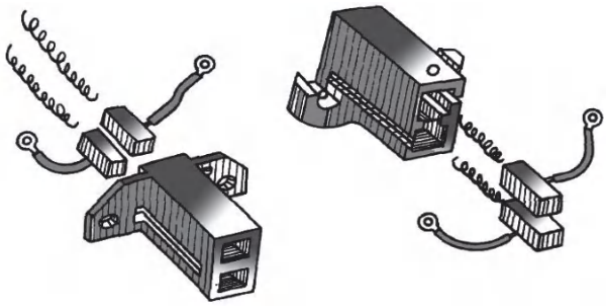


图 1-4-11　电刷与电刷架的结构



（a）外装式　　（b）内装式

图 1-4-12　电刷总成

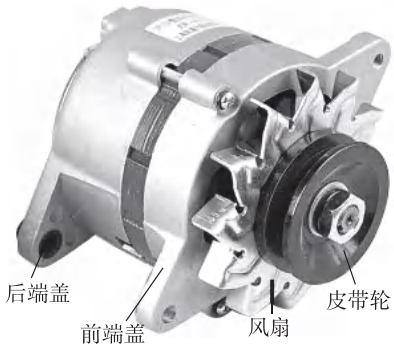
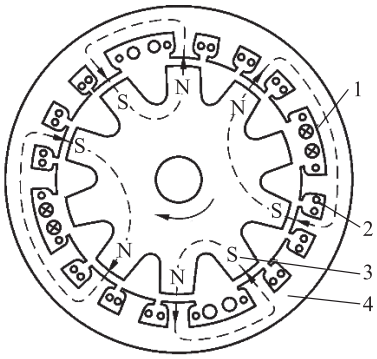


图 1-4-13　风扇、皮带轮、前后端盖



1—励磁绕组；2—电枢绕组；3—转子；4—定子

图 1-4-14　感应子式无刷交流发电机

5）风扇、皮带轮

为保证发电机在工作时不会因温升过高而损坏，在发电机上装有风扇（图 1-4-13）。风扇一般用钢板冲制而成或用铝合金压铸而成。对于只有 1 个风扇的发电机，风扇均装在前端盖和皮带轮之间。对于有 2 个风扇的发电机，安装形式有两种：一种是在前后端盖内的转子爪极两侧各焊接一个，另一种是在前端盖和皮带轮之间安装一个风扇，在后端盖和转子爪极之间安装另一个风扇。发电机在后端盖上有进风口，在前端盖上有出风口，当发电机旋转时，风扇也一起旋转，使空气高速流经发电机内部，从而对发电机进行强制冷却。

发电机的前端装有传动皮带轮，它通过发动机曲轴带动皮带轮旋转。皮带轮通常用铸铁或铝合金制成，有的也用薄钢板卷压而成，分为单槽、双槽和多楔形槽 3 种，利用半圆键安装在风扇外侧的转轴上，再用弹簧垫片和螺母紧固。

6）前后端盖

如图 1-4-13 所示，前后端盖起固定转子、定子、整流器和电刷组件的作用。端盖一般用铝合金铸造，因为一是可有效防止漏磁，二是铝合金散热性能好，而且能够减轻发电机的质量。前端盖上铸有支脚、调整臂和出风口，后端盖上铸有支脚和进风口，而且还装有电刷总成。

2. 无刷交流发电机的构造

由于有刷交流发电机用电刷和滑环使励磁绕组构成回路，不可避免会产生机械磨损而易引起故障。与有刷交流发电机相比无刷交流发电机提高了发电机的可靠性和使用寿命，维修保养方便。下面介绍 2 种无刷交流发电机。

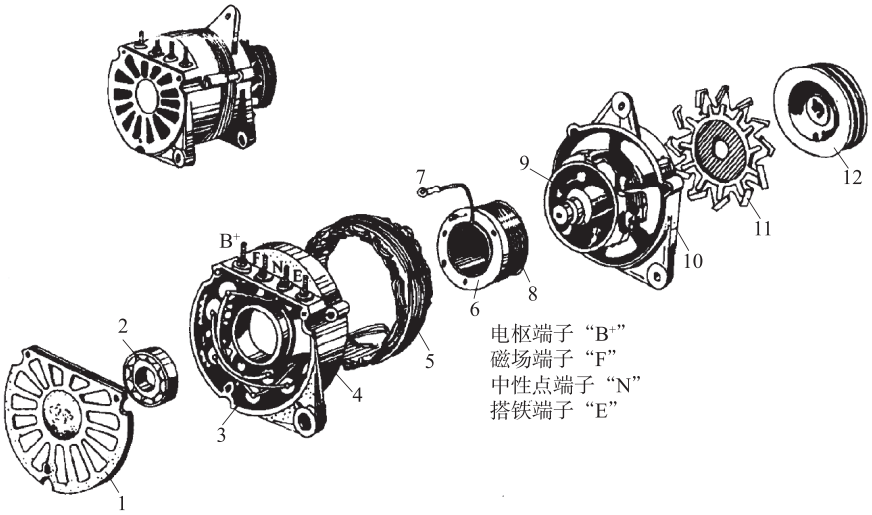
1）感应子式无刷交流发电机

这种发电机的定子铁芯内圆上开有 4 个大槽和 12 个小槽，4 个大槽将 12 个小槽均分为 4 个部分，每部分有 3 个小槽。在 4 个大槽中绕放 4 个励磁绕组，在小槽中绕放电枢绕组，如图 1-4-14 所示。转子由凸齿状冲片铆成，当励磁绕组中有直流电流通过时，其周围产生磁场，转子被磁化。转子凸齿在旋转时和定子铁芯相对位置不断变化，使得定子上的电枢绕组产生大小和方向不断变化的感应电动势。将各电枢绕组产生的电动势

按相加原则串联起来，再经整流器整流后便得到直流电。发电机工作时在电枢绕组中产生的是单相交流电，所以其整流器是由两个硅二极管组成的单相全波整流器。

2）爪极式无刷交流发电机

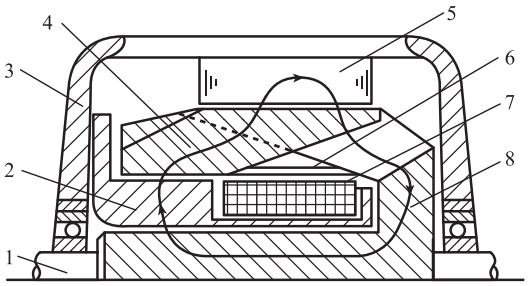
这种交流发电机的结构与普通交流发电机大致相同。图 1-4-15 所示为国产 JFW14X 型爪极式无刷交流发电机的外形图和分解图，其励磁绕组是静止不动的，因此励磁绕组的两端引出线可以直接引出，省去了电刷和滑环，爪极在励磁绕组的外围旋转。



1—后轴承；2—防护罩；3—元件板和硅二极管组；4—励磁绕组支架及后轴承支架；5—定子总成；6—磁轭；7—励磁绕组接头；8—励磁绕组；9—爪极及转子轴总成；10—前端盖；11—风扇叶；12—传动带轮

图 1-4-15　国产 JFW14X 型爪极式无刷交流发电机的外形图和分解图

爪极式无刷交流发电机的结构原理和磁路如图 1-4-16 所示。其特点是励磁绕组通过一个磁轭托架固定在后端盖上。2 个爪极中只有一个爪极直接固定在发电机转子轴上，另一个爪极则用非导磁连接环固定在前述爪极上。当转子轴旋转时，一个爪极就带动另一个爪极一起在定子内转动。



1—转子；2—磁轭托架；3—后端盖；4—爪极；5—定子铁芯；6—非导磁连接环；7—励磁绕组；8—转子磁轭

图 1-4-16　爪极式无刷交流发电机的结构原理和磁路

当励磁绕组中有直流电通过时，其磁路为“左边爪极的磁极 N →主气隙→定子铁芯→主气隙→右边爪极的磁极 S →转子磁轭→附加气隙→磁轭托架→附加气隙”。

转子旋转时，爪极形成的 N 极和 S 极的磁力线在定子绕组内交替通过，定子槽中的三相绕组感应出交变电动势，在回路中形成三相交流电，经整流后变为直流电。这种交流发电机两个爪极之间的连接制造工艺比较复杂。此外，由于磁路中增加了两个附加气隙，在输出相同功率的情况下，其励磁绕组的励磁电流必须加大。

（三）交流发电机的工作原理

1. 发电原理

交流发电机定子的三相绕组按一定规律分布在发电机的定子槽中，内部有一个转子，转子上安装着爪极和励磁绕组。当外电路通过电刷使励磁绕组通电时，便产生磁场，爪极被磁化为 N 极和 S 极。当转子旋转时，磁通交替地在定子绕组中变化，根据电磁感应原理可知，定子的三相绕组中将产生交变的感应电动势，而后经整流器整流为直流电输出，这就是交流发电机的发电原理，如图 1-4-17 所示。

三相定子绕组瞬时电动势分别用 e_A、e_B 和 e_C 表示，其瞬时值分别为

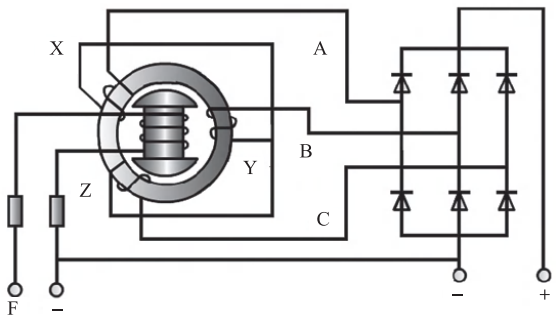


图 1-4-17　交流发电机的发电原理

$$e_A = \sqrt{2}E_\Phi \sin\omega t$$

$$e_B = \sqrt{2}E_\Phi \sin(\omega t - 120°) \qquad (1\text{-}4\text{-}1)$$

$$e_C = \sqrt{2}E_\Phi \sin(\omega t - 120°)$$

式中，E_Φ 为每相绕组电动势的有效值，单位为 V；ω 为角速度，单位为 rad/s；t 为时间，单位为 s。

每相绕组电动势的有效值为

$$E_\Phi = 4.44KfN\Phi \qquad (1\text{-}4\text{-}2)$$

式中，K 为绕组系数，在车用发电机中 K=1；f 为感应电动势的频率，单位为 Hz；N 为定子绕组的匝数；Φ 为磁极磁通，单位为 Wb。

对于已知发电机，式（1-4-2）中的 K 和 N 都已确定，以电机常数 C 代替。这样，式（1-4-2）也可以写成

$$E_\Phi = Cn\Phi \qquad (1\text{-}4\text{-}3)$$

式中，n 为转子的转速，单位为 r/min。

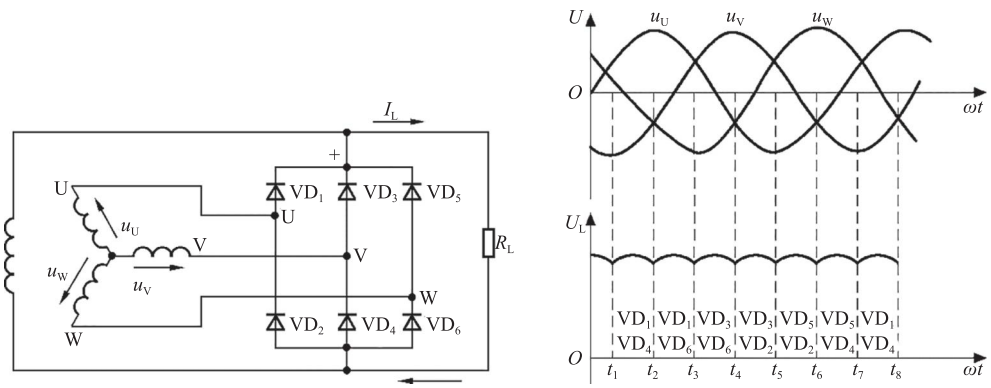
此公式表明，在与电机结构有关的常数不变的前提下，每相绕组的电动势有效值的大小和转子的转速及磁极的磁通成正比。

素养课堂

做生活中的“有心人”——善于观察研究，认真总结思考

2. 整流原理和过程

在交流发电机中，整流器是利用硅二极管的单相导电性能进行整流的。在如图 1-4-18（a）所示的三相桥式全波整流电路中，3 个正二极管的正极引出线分别同三相绕组的首端相连。在某一瞬间，只有与电位最高的一相绕组相连的正二极管导通。同样，3 个负二极管的引出线也同三相绕组的首端相连。在同一瞬间，只有与电位最低的一相绕组相连的负二极管导通。这样反复循环，6 只二极管轮流导通，在负载两端便得到一个较平稳的脉动直流电压。在发电机空载运行时，如果将三相绕组和二极管内阻的电压压降忽略不计，发电机的直流电动势数值就为三相交流电线电压的 1.35 倍，是三相交流相电压的 2.34 倍。每一只二极管在一个周期内只导通 1/3 的时间，流过每只二极管的电流为负载电流的 1/3。整流输出电压波形如图 1-4-18（b）所示。



（a）整流电路　　（b）整流输出电压波形

图 1-4-18　三相桥式全波整流电路和整流输出电压波形

有些交流发电机将三相绕组中性点引出，标记为“N”接线柱，它和发电机外壳之间的电压叫中性点电压，是通过两个中性点二极管整流后得到的直流电压，等于发电机直流输出电压的一半，即 U_N=U/2。中性

点电压一般用来控制各种用途的继电器，如磁场继电器、充电指示继电器等。

知识视频
汽车发电机的整流原理

3. 交流发电机的励磁方式

交流发电机开始发电时，需由蓄电池供给励磁电流，此时为他励。当发电机电压达到蓄电池电压时，便由发电机自己供给励磁电流，也就是由他励转变为自励。因为交流发电机转子的爪极剩磁较弱，所以发电机在低速运转时，加在硅二极管上的正向电流也很小。此时，二极管上的正向电阻较大，较弱的剩磁产生的很小的电动势很难克服二极管的正向电阻，使发电机正向电压迅速建立起来。这样，发电机低速充电的要求就不能满足。因此，汽车上发电机必须与蓄电池并联，开始时由蓄电池向励磁绕组供电，使发电机电压很快建立起来并转变为自励状态，蓄电池被充电的机会就多一些，有利于蓄电池的使用与维护。

（四）国产交流发动机的型号

根据中华人民共和国汽车行业标准《汽车电气设备产品型号编制方法》（QC/T 73—1993）的规定，国产硅整流交流发电机的型号组成如图 1-4-19 所示。

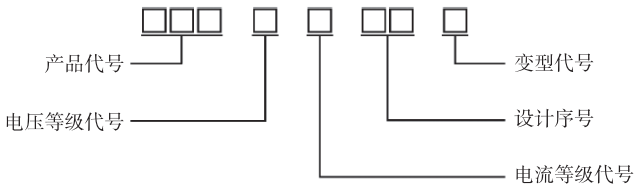


图 1-4-19　国产交流发电机的型号组成

1. 产品代号

JF 表示普通交流发电机；JFZ 表示整体式交流发电机；JFB 表示带泵式交流发电机；JFW 表示无电刷式交流发电机。

2. 电压等级代号和电流等级代号

电压等级代号和电流等级代号分别用一位数字表示，含义如表 1-4-1 和表 1-4-2 所示。

表 1-4-1　电压等级代号

分组代号	1	2	3	4	5	6
电压等级 /V	12	24	—	—	—	6

表 1-4-2　电流等级代号

分组代号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
电流等级 /A	≤ 19	20~29	30~39	40~49	50~59	60~69	70~79	80~89	≥ 90

3. 设计序号

设计序号是按产品设计先后顺序由 1~2 位阿拉伯数字组成的。

4. 变型代号

以调整臂位置作为变型代号。从驱动端看，调整臂在中间的不加标记，在右边的用“Y”表示，在左边的用“Z”表示。例如，桑塔纳轿车用的 JFZ1813Z 型发动机为整体式交流发电机，电压等级为 12V，额定

电流为 80~89A，第 13 次设计，调整臂在左边。

发电机作为发动机的部件，由发动机选用；发动机作为汽车的部件，由汽车选用。一种型号的发电机被选装在某种型号的发动机上后，由于该发动机可以适用于多种汽车，可能出现某一型号的发电机可以覆盖几种车型的情况。例如，JFZ1813Z 型发电机既适用于桑塔纳，也适用于奥迪、高尔夫和捷达等。

（五）交流发电机的正确使用与维护

（1）汽车交流发电机均为负极搭铁，蓄电池搭铁极性也必须与之相同，否则会使交流发电机的整流二极管烧坏。在蓄电池更换或补充充电后装车时，要格外注意。

（2）发电机必须与专用调节器配套使用，当使用别的调节器临时代换时，必须满足代换条件。

（3）发动机熄灭后，应将点火开关（或电源开关）断开，否则蓄电池将长时间向励磁绕组和调节器磁化线圈放电，易烧坏线圈和浪费电能（有磁场继电器者除外）。

（4）发电机运转时，不能用短路试火法检查发电机及调节器的故障。

（5）当整流二极管与定子绕组相接时，不允许用兆欧表或交流电检查发电机及调节器的绝缘情况。

（6）发现发电机不发电或发电量减小时，应及时找出故障，并予以排除，不可拖延。如果有一只二极管短路，发电机仍继续运转，就会烧坏其他二极管或定子绕组。

（7）发电机与蓄电池之间的导线一定要连接可靠（特别是蓄电池极桩处），如突然断开，将会发生过电位，易损坏电子元件。

三、任务实施

（一）任务实施的要求

1. 任务实施的目的

（1）学习拆解、检修及装配发电机的基本方法。

（2）掌握发电机的检修方法。

2. 实训仪器和设备

汽车交流发电机、万用表和维修工具等。

（二）任务实施的步骤

1. 发电机的拆解与组装

1）发电机的拆解

以桑塔纳 2000 交流发电机为例进行拆装。首先用专用扳手固定发电机 V 形皮带轮，旋下紧固螺母，将发电机从车上拆下，如图 1-4-20 所示。

（1）拆下前端盖连接螺栓，分解前端盖、皮带轮、转子、后端盖、整流调压器。

（2）拆下定子绕组端头，从后端盖上取出定子。

（3）拆下电刷架，取出电刷总成、二极管、整流子及电容器。

（4）拆下皮带轮固定螺母，取下皮带轮、半圆键、风扇和轴套，使转子和前端盖分离。

2）发电机的装复

（1）按照拆解的相反顺序进行组装，注意不要漏装各绝缘垫片，注意元件板、“B+”接线柱、“F”接线

柱与壳体之间的绝缘垫圈不能漏装。

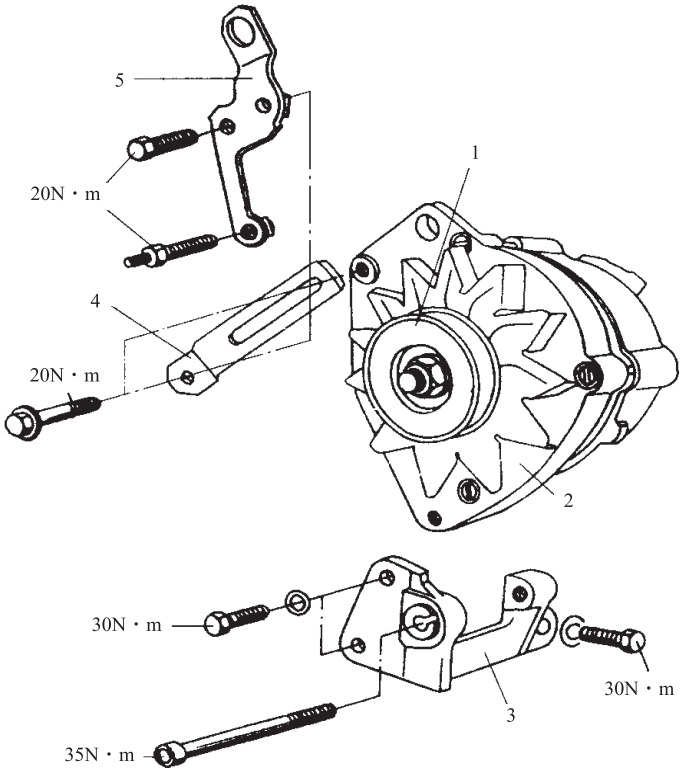
（2）装复后用万用表电阻挡测量“B+”接线柱与端盖之间的电阻，应为∞；测量两散热板之间及绝缘散热板与端盖之间的电阻，均应为∞。若上述电阻较小或者为0，则表明漏装了绝缘垫片或套管，应拆开重装。

（3）检查发电机前、后端盖上的安装挂脚位置是否符合拆解前做的标记。

（4）装上前、后端盖紧固螺栓，并分几次拧紧。注意各螺栓的拧紧切不可一次完成，而应轮流进行，并且不断转动转子，若转子运转受阻或者内部有摩擦，应调整拧紧力矩。

（5）装配完毕后，发电机应能运转灵活。

（6）按正确方法将发电机安装在车上，并调整V形带的张紧度。



1—皮带轮；2—发电机；3，4，5—支架

图1-4-20　发电机拆装分解图

2. 发电机拆解前的检测

使用万用表对发电机外接线柱进行测量，可以初步判定发电机的状态。对于普通发电机拆解前的测量，建议使用指针式万用表，其测量结果依所用万用表型号的不同而略有差异。常用发电机各接线柱之间的电阻值如表1-4-3所示。

表1-4-3　常用发电机各接线柱之间的电阻值

发电机型号	“F”与“E”之间的电阻/Ω	“B”与“E”之间的电阻/Ω		“N”与“E”或“B”之间的电阻/Ω	
		正向	反向	正向	反向
JF11、JF13、JF15、JF21、JF132N	4~7	40~50	≥ 10×10^3	10~15	≥ 10×10^3
JWF14（无刷）	3.5~3.8	40~50	≥ 10×10^3	10~15	≥ 10×10^3
夏利JFZ1542	2.8~3.0	40~50	≥ 10×10^3	10~15	≥ 10×10^3
桑塔纳JFZ1913	2.8~3.0	65~80	≥ 10×10^3	10~15	≥ 10×10^3

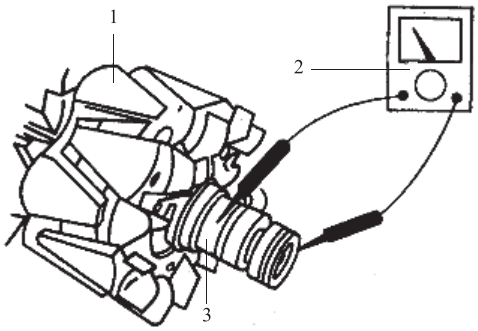
3. 交流发电机解体后的检修

发电机拆解后，先用布或棉纱蘸适量清洗剂擦洗转子绕组、定子绕组、电刷及其他机件，再检测转子、定子的电阻值及绝缘电阻。为了取得较准确的测量数值，建议使用数字万用表测量。

1）转子的检修

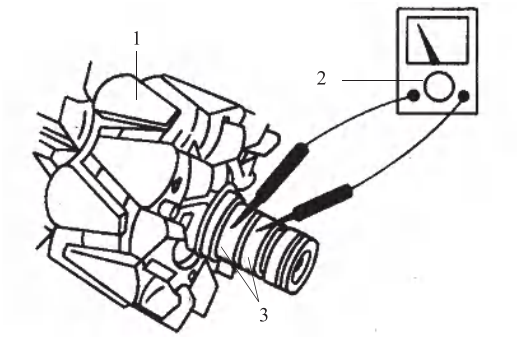
（1）励磁绕组绝缘情况的检查。在使用过程中，励磁绕组有可能发生绝缘不良的故障。可用万用表检查转子的滑环与转子轴端之间的电阻（图 1-4-21），正常情况下应为∞，否则说明励磁绕组短路，应更换。

（2）励磁绕组间断路和短路的检查。在使用过程中，励磁绕组有可能发生断路和短路的故障。其检测方法如图 1-4-22 所示，用万用表检查转子两个滑环之间的电阻，阻值等于标准值，一般 12V 发电机转子绕组的电阻为 3.5~6Ω，24V 发电机的电阻为 15~21Ω。如果电阻值为∞，则表示励磁绕组间断路；如果电阻值小于标准值，则表示励磁绕组间短路。励磁绕组间短路时需要压出转子轴，更换励磁绕组。



1—转子；2—万用表；3—滑环

图 1-4-21　检查励磁绕组绝缘情况



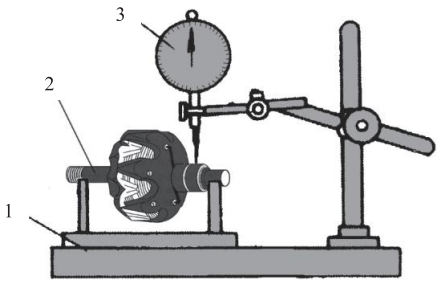
1—转子；2—万用表；3—滑环

图 1-4-22　检查励磁绕组间的断路和短路情况

（3）滑环的检修。滑环应光滑平整，若有划伤或沟槽，可用 00 号砂布打磨，如图 1-4-23 所示。用游标卡尺测量滑环外径，滑环厚度不应小于 1.5mm。如果磨损伤痕深度超过 0.2mm，应更换转子或滑环。

（4）转子轴的检查。转子轴的检测方法如图 1-4-24 所示。用百分表检查轴的弯曲度，弯曲度不得超过 0.05mm（径向跳动公差不超过 0.1mm），否则应予校正。爪极在转子轴上应固定牢靠，间距相等。

图 1-4-23　滑环的检修



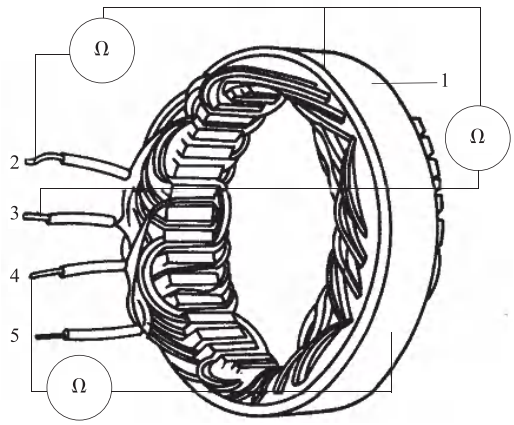
1—测试仪；2—电枢；3—百分表

图 1-4-24　检测转子轴的径向圆跳动

2）定子的检修

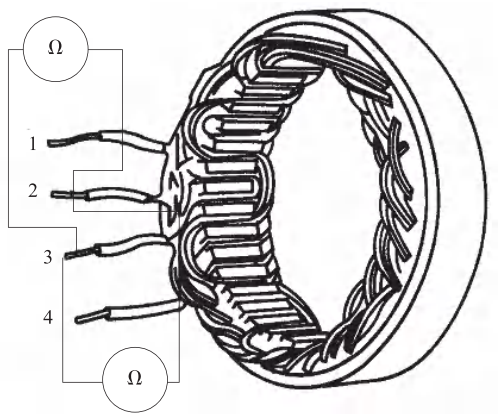
（1）定子绕组绝缘情况的检查。如图 1-4-25 所示，用万用表检查定子的铁芯与定子绕组抽头 2、3、4 之间的电阻，正常情况下均应为∞。若测出较小的电阻值，则表示定子绕组对铁芯短路，应更换。

（2）定子绕组断路情况的检查。如图 1-4-26 所示，用万用表依次检查定子绕组抽头 1 和 2、1 和 3、2 和 3 之间的电阻，均应为 150~200mΩ。若电阻过大，则表示定子绕组虚接或断路，应更换。



1—定子铁芯；2，3，4—抽头；5—中间抽头

图 1-4-25　定子绕组绝缘情况的检测

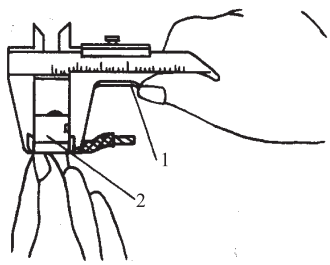


1，2，3—抽头；4—中间抽头

图 1-4-26　检测定子绕组的断路情况

（3）检查整流板。用电烙铁断开定子绕组与整流板（元件板）的连线，使用万用表检测二极管的电阻。若二极管的正向电阻为 8~10Ω，反向电阻为 10kΩ 左右，则该二极管良好；若两次测得的阻值均为∞，则该二极管断路；若两次测得的阻值均为 0，则该二极管短路。

（4）检查电刷。电刷表面不得有油污，且应在电刷架中活动自如；电刷架应无裂纹；弹簧应无腐蚀或折断的现象。电刷外露长度的检测如图 1-4-27 所示，其标准长度为 13mm，使用极限为 5~7mm（以桑塔纳为例），超过该极限值时，应更换。



1—游标卡尺；2—电刷

图 1-4-27　检查电刷外露长度

（5）其他零件的检查。检查轴承轴向和径向间隙，均不应大于 0.20mm；滚珠、滚道应无斑点；轴承转动时应无异响；前后端盖、皮带轮等应无裂损；绝缘垫应完好。

四、任务总结

（1）交流发电机由转子、定子、整流器、端盖与电刷总成等部分组成。

（2）交流发电机的转子产生旋转的磁场，定子产生三相交流电。

（3）交流发电机的定子绕组通常有三角形连接（△）和星形连接（Y）两种连接方法，整流器为三相桥式整流电路。

（4）交流发电机整流器的作用是把交流变为直流，其二极管数目有 6 管、8 管、9 管和 11 管等。

（5）交流发电机的励磁方法为先他励，后自励。

（6）交流发电机的检修包括励磁绕组的检修、滑环的检修、定子绕组的检修、整流器硅二极管的检修和电刷的检修等。

任务五

电压调节器的结构原理与检修

学习目标

完成本学习任务后，应当达到以下目标。

知识目标：

（1）了解常见交流发电机电压调节器的类型。

（2）掌握电压调节器的作用与工作原理。

能力目标：

（1）能正确分析常见电压调节器的工作过程。

（2）具备辨别电压调节器搭铁类型的能力。

素质目标：

（1）能正确认识自己，培养积极自信、乐观的性格。

（2）培养职业素养，增强专业自信。

一、任务导入

汽车充电系统结构复杂，电压调节器的类型要与发动机的类型相匹配。不同类型的部件组合在一起，会使得发电机的故障更加隐蔽难查，给维修工作带来很大难度。正确使用和维护交流发电机、电压调节器和连接线路，并且在出现异常后及时有效地排除故障，是保证汽车发电机正常工作的前提。

二、预备知识

（一）电压调节器的作用与工作原理

1. 交流发电机电压调节器的作用

交流发电机是由发动机带动而发电的，发动机转速因汽车运行工况的不同而变化，因此发电机的转速也随汽车运行工况的不同而变化。另外，汽车上用电设备的使用情况也是频繁变化的。

由发电机工作特性可知，随着发电机转速升高或用电设备减少，电压将上升。因此，交流发电机必须配备用来调节电压的装置，该装置称为电压调节器。电压调节器可以保证交流发电机的输出电压不受转速和用电设备变化的影响，使其保持稳定，以满足用电设备的需要。

2. 交流发电机电压调节器的工作原理

由 $E_{\phi}=Cn\Phi$ 可知，在交流发电机结构形式确定的情况下，决定电动势大小的只有发电机的转速 n 和磁通 Φ，而发电机的转速是频繁变化的，所以只能用改变磁通的方法来改变电动势的大小。

交流发电机端电压的大小取决于转子的转速和磁极磁通。要想保持输出电压 U 恒定，在转速 n 升高时，应减弱磁通 Φ，这可以通过减小励磁电流来实现；在转速 n 降低时，应增强磁通 Φ，这可以通过增大励磁电流来实现。也就是说，交流发电机电压调节器是通过动态调节励磁电流的大小来实现发电机输出稳定电压的。

（二）电压调节器的分类

1. 按电压调节器的工作原理分类

汽车上使用的交流发电机电压调节器按工作原理可分为电磁振动式电压调节器、晶体管式电压调节器、集成电路式电压调节器和计算机控制电压调节器 4 大类。

电磁振动式电压调节器又称触点式电压调节器。电磁振动式电压调节器结构复杂，电压调节精度低，触点火花对无线电干扰大，因此它正被逐渐淘汰。

晶体管式电压调节器可通过较大的励磁电流，适用于功率较大的发电机。其电压调节精度高，对无线电干扰小，体积小，无运动件，耐振动，故障少，可靠性高。

随着集成电路技术的发展，集成电路式电压调节器也得到了广泛的应用。集成电路式电压调节器具有晶体管式电压调节器的优点，因为它体积特别小，可直接安装于发电机内部，省去了与发电机的外部连线，因而增加了工作的可靠性，并具有防潮、防尘、耐高温性能好和价格低等优点。

有的轿车采用车载计算机（计算机控制电压调节器）直接控制交流发电机励磁电路，控制发电机的输出电压。

2. 按电压调节器的搭铁位置分类

电压调节器按搭铁位置可分为内搭铁电压调节器和外搭铁电压调节器，分别装配于内搭铁发电机和外搭铁发电机内。

（三）几种常见电压调节器的工作原理

1. 电磁振动式电压调节器

电磁振动式电压调节器通过改变电磁力和弹簧弹力来改变触点闭合和断开的时间，以及励磁电流的大小，从而改变磁通，进而实现对发电机输出电压的调节。

电压调节器触点的闭合和断开由电压调节器中磁化线圈的电磁力和弹簧的弹力共同控制。调整好的弹簧弹力可以认为是不变的，流经磁化线圈的电流随线圈两端的电压波动，使电磁吸力发生相应的变化，进而影响触点的闭合与断开。

电磁振动式电压调节器有单级电磁振动式电压调节器和双级电磁振动式电压调节器 2 种。单级电磁振动式电压调节器（图 1-5-1）只有 1 对触点，而双级电磁振动式电压调节器（图 1-5-2）有 2 对触点。

以东风 EQ1090 汽车上 FT61 型双级电磁振动式电压调节器（图 1-5-3）为例，说明其工作原理。

发动机起动并闭合点火开关时，发电机转速很低，其端电压低于蓄电池端电压，电压调节器低速触点闭合，由蓄电池向发电机提供他励励磁电流。此时的励磁电路为“蓄电池正极→电流表→点火开关→电压调节器火线接线柱 B →低速触点 K_1 →衔铁→磁轭→电压调节器磁场接线柱 F →发电机励磁绕组→搭铁→蓄电池

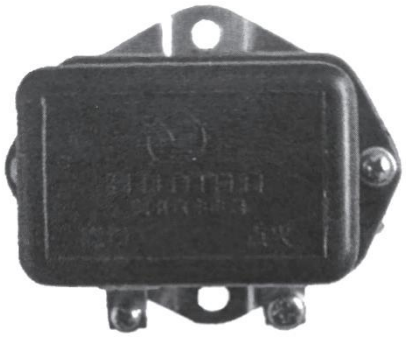


图 1-5-1 单级电磁振动式电压调节器

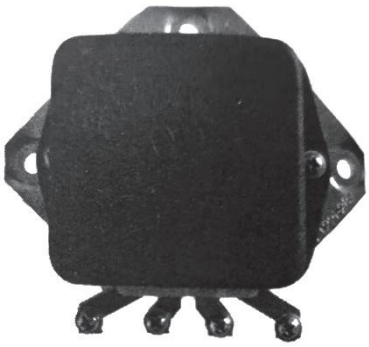
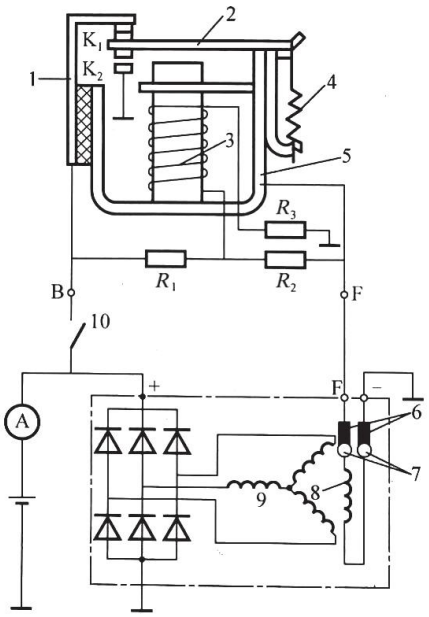


图 1-5-2 双级电磁振动式电压调节器



1—固定触点支架；2—衔铁；3—电磁线圈；4—触点弹簧；5—磁轭；6—电刷；7—滑环（集电环）；8—励磁绕组（磁场绕组）；9—定子（电枢）绕组；10—点火开关；R_1—加速电阻；R_2—调节电阻；R_3—温度补偿电阻；K_1—低速触点；K_2—高速触点

图 1-5-3 FT61 型双级电磁振动式电压调节器

负极”。这种情况下用电设备均由发电机电池供电，电流表指向“-”的一侧，电压调节器不工作。

当发电机转速升高至其端电压略大于蓄电池的端电压但低于 14V 时，电压调节器低速触点 K_1 仍闭合，发电机由他励转入自励而正常发电。此时励磁电路基本不变，只是蓄电池被发电机取代。

从此开始，所有用电设备均由发电机供电。同时，发电机向蓄电池做补充充电，电流表指向“+”的一侧，电压调节器处于准备工作状态。此时的工作电路为“发电机正极→点火开关→电压调节器火线接线柱 B → R_1 →电磁线圈→ R_3 →搭铁→发电极负极”。

当发动机升至较高转速、发电机的电压达到第一级调压值时，电压调节器电磁线圈中的电磁力克服弹簧力，使低速触点 K_1 打开，但尚不能使高速触点 K_2 闭合。由于励磁电路中串入了 R_1 和 R_2，而 R_2 的阻值比 R_1 大得多，使励磁电流减小，端电压下降，低速触点 K_1 又闭合。低速触点 K_1 重新闭合后，切去电阻 R_1 和 R_2，使励磁电流再次增大，端电压再次升高，低速触点 K_1 再次打开。

如此循环下去，在低速触点 K_1 不断开合振动下实现第一级电压的调节工作。第一级调压励磁电路为“发电机正极→点火开关→电压调节器火线接线柱 B → R_1 → R_2 →电压调节器电磁接线柱 F →发电机励磁绕组→搭铁→发电机负极”。

发动机高速运转时，发电机的电压将超过第一级调压值，达到第二级调压值，电压调节器电磁线圈中的电磁力远大于弹簧力，使高速触点 K_2 闭合，立即将励磁电路短接搭铁。于是励磁电流急速减小，端电压下降，高速触点 K_2 打开。高速触点 K_2 打开之后，励磁电路又被接通，励磁电流又增大，端电压又上升，高速触点又闭合。

如此循环下去，在高速触点 K_2 不断开合振动下实现第二级电压的调节工作。第二级调压高速触点闭合时的励磁电路短接回路为“搭铁→高速触点 K_2 →衔铁→磁轭→电压调节器磁场接线柱 F →发电机励磁绕组→搭铁”。

发动机停转时，断开点火开关，发电机不发电，电压调节器恢复到不工作状态，即低速触点 K_1 常闭，高速触点 K_2 常开，电流表指针回到零位。

14V 双级电磁振动式电压调节器第一级调节电压为 13.2~14.2V，触点工作从第一级过渡到第二级时，失控区两级调节电压差值不应超过 0.5V；28V 双级电磁振动式调节器第一

级调节电压为 27~29V，触点工作从第一级过渡到第二级时，失控区两级调节电压差值不应超过 1V。

双级电磁振动式电压调节器由于采用了两级调压，转速适应范围宽，更适合高转速交流发电机配用。一般在汽车正常行驶中，电压调节器多工作在第二级电压调节状态。这种电压调节器的调节电阻值选择合理、触点火花较小、灵敏度高。

双级电磁振动式电压调节器的缺点是高速触点间隙小，仅 0.2~0.3mm，不便于维护调整。触点断开时仍会产生火花，对无线电有一定的干扰。

2. 晶体管式电压调节器

晶体管式电压调节器利用晶体三极管的开关作用，控制发电机励磁电路的通、断，在发电机转速发生变化时，调节励磁电路的电流，使发电机电压保持稳定。这种调节器没有触点，使用过程中无须保养和维护，结构简单，体积小，质量轻，正逐步取代电磁振动式调节器。

国内外晶体管式电压调节器的电路设计原理大致相同，结构也基本相同，都是由 1~2 个稳压管、1~3 个二极管、2~3 个三极管、若干个电阻和电容等元件组成。由印制电路板连成电路，外壳由薄而轻的铝合金制成，表面有散热片，外有 3 个接线柱，即“+”（或火线、电枢）接线柱、“−”接线柱和“F”接线柱，分别与发电机的 3 个接线柱对应连接。

素养课堂

避免人生出现“失控区”——学会控制情绪，正确把控人生

1）外搭铁式晶体管电压调节器

JFT106 型晶体管电压调节器的原理如图 1-5-4 所示。该调节器为 14V 外搭铁式晶体管电压调节器，可以配用 14V、750W 的 9 管交流发电机，也适用于 14V、功率小于 1000W 的 6 管发电机，调节电压为 13.8~14.6V。

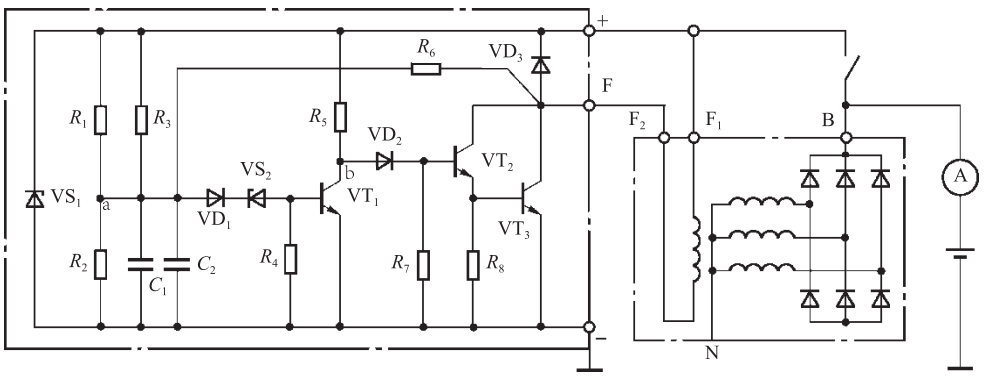


图 1-5-4　JFT106 型晶体管电压调节器的原理

（1）结构。电阻 R_1、R_2、R_3 构成分压器，R_4 和稳压管 VS_2 构成电压敏感电路，三极管 VT_1 与复合连接的三极管 VT_2、VT_3 构成 2 个开关电路，开关控制由 VT_1 承担。R_4、R_5、R_6 和 R_7 是晶体管的偏置电阻，其作用是保证三极管正常工作。二极管 VD_3 反向并联在励磁绕组的两端，起续流作用。当 VT_3 截止时，由于励磁绕组中电流突然变小，将产生较高的自感电动势，与 VD_3 构成自感电流闭合回路，从而保护 VT_3。VD_2 为温度补偿二极管，用来减少温度对调压器调压值的影响。二极管 VD_1 接在稳压管 VS_2 之前，当交流发电机端电压过高时，能限制稳压管电流，使稳压管不致因电流过大而被烧坏。当发电机端电压降低时，二极管 VD_1 能迅速截止，保证稳压管可靠截止。R_8 是正反馈电阻，用来提高 VT_3 的导通和截止速度，使调节电压稳定。电容器 C_1 和 C_2 用来降低开关频率，减少功率损耗。稳压管 VS_1 接在发电机的输出端，当负载发生变化时，它可使调节电压保持稳定。

（2）工作原理。接通点火开关，在发动机起动点火前及点火后，当发电机电压低于调压值时，蓄电池电压经点火开关作用在分压器两端，稳压管 VS_2 承受反向电压。由于蓄电池电压低于调压值，反向电压低于 VS_2 的反向击穿电压，VS_2 截止，三极管 VT_1 也截止，b 点电位近似于电源电位，二极管 VD_2 承受正向电压而导通，于是三极管 VT_2、VT_3 也导通，发电机励磁绕组的电路接通。其电路为“蓄电池“+”极→点火开关→ F_1 →励磁绕组→ F_2 →调节器“F”接线柱→ VT_3 的集电极→ VT_3 的发射极→搭铁→蓄电池“−”极”。发动机转速逐步上升，发电机转速也随之上升。当发电机电压升高到规定的调压值时，作用在分压器 a 点的电压，即稳压管 VS_2 承受的反向电压，超过其反向击穿电压而被反向击穿导通，三极管 VT_1 也导通。VT_1 的导通使 b 点电位降低，二极管 VD_2 承受反向电压而截止，使 VT_2、VT_3 也截止，切断发电机的励磁电路，励磁电流中断，发电机磁场消失，发电机电压下降。当电压下降到调压值以下时，稳压管 VS_2 又截止，于是 VT_1 也截止，VT_2、VT_3 又导通，发电机电压重新升高。这样反复循环，控制励磁电路的通断，使发电机在转速变化时能保持电压恒定。

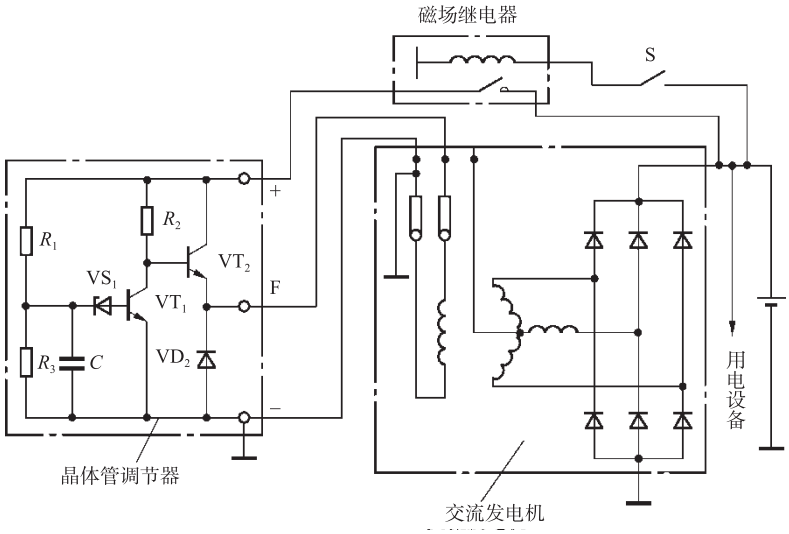


图 1-5-5　JFT105 型晶体管电压调节器的原理

2）内搭铁式晶体管电压调节器

部分东风 EQ1090 系列汽车上装用的是 JFT105 型晶体管电压调节器。这种调节器为 14V 内搭铁式晶体管电压调节器，电路原理如图 1-5-5 所示。该调节器工作原理与 JFT106 型晶体管电压调节器基本相同，其电路结构较 JFT106 型晶体管电压调节器更为简单，故不再重复叙述。

3. 集成电路式电压调节器

集成电路式电压调节器是利用集成电路（Integrated Circuit，IC）组成的电压调节器，其基本工作原理与晶体管式电压调节器一样，都是利用晶体三极管的开关特性来控制发电机的励磁电流，从而达到稳定发电机输出电压的目的。集成电路式电压调节器除具有晶体管式电压调节器的优点外，还具有体积小、质量轻、耐高温（可在 130℃高温下正常工作）、更加耐震和使用寿命长等特点。集成电路式电压调节器也有内搭铁式和外搭铁式之分，其中外搭铁式集成电路电压调节器使用较多。

图 1-5-6 所示为 JFT151 型集成电路式电压调节器。当发电机电压低于规定值时，稳压管 VD_1 截止，VT_1 也截止，VT_2 在 R_4 的偏置作用下导通，励磁电路接通，发电机电压上升；当发电机电压高于规定值时，稳压管 VD_1 被击穿导通，VT_1 也导通，VT_2 被短路而截止，励磁电路被切断，发电机电压下降。如此反复，使发电机电压保持稳定。

4. 计算机控制电压调节器

在许多现代汽车上，计算机得到了广泛的应用，它除了完成各种控制工作外，还用来调节发电机电压，即具有电压调节器的功能，其基本工作情况与集成电路式电压调节器完全一样。计算机工作时，可使发电机励磁电路间歇性地搭铁（接地），以保持发电机的电压稳定在规定值范围内。

图 1-5-7 所示为计算机控制调压电路原理图。发电机正常工作时励磁电路为“发电机‘+’极→继电器→磁场接线柱‘B’→励磁绕组→磁场接线柱‘C’→发电机励磁接线柱→三极管→搭铁→发电机‘-’极”。在继电器触点闭合时，只要计算机控制三极管导通，使发电机磁场接地，即可接通励磁电路；三极管截止，即可切断励磁电路。

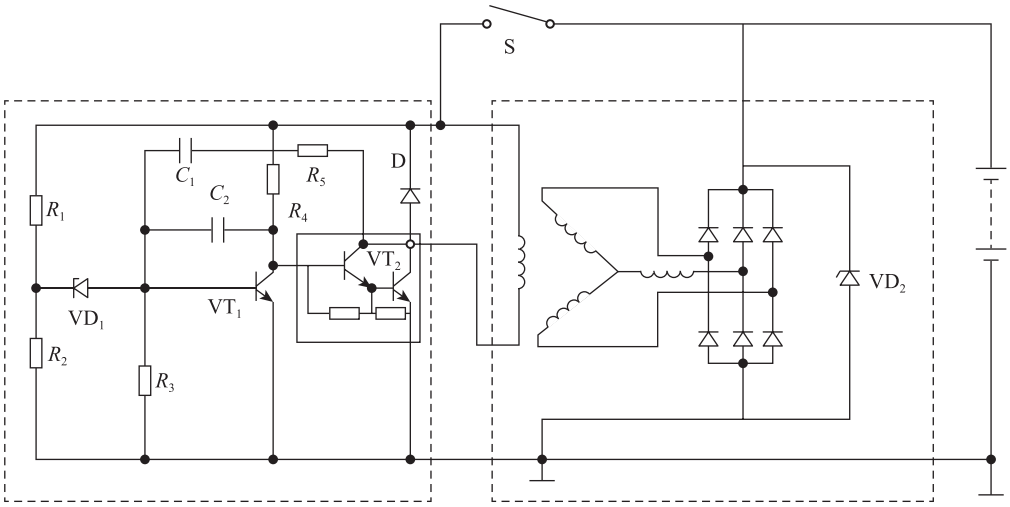
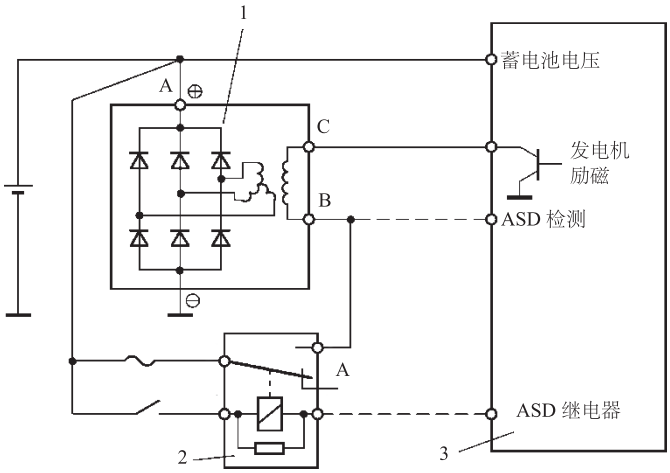


图 1-5-6　JFT151 型集成电路式电压调节器

如果计算机检测到发电机的输出电压低于规定电压值，它就会使励磁电路接地的相对时间增长，即三极管的相对导通率增大，平均励磁电流增大，形成较强的磁场，使发电机的电压提高或发电机的输出功率增大；如果计算机检测到发电机的输出电压高于规定电压值，它就会使励磁电路接地的相对时间缩短，即三极管的相对导通率减小，平均励磁电流减小，形成较弱的磁场，使发电机的电压减小。



1—发电机；2—ASD 继电器；3—电子控制单元

图 1-5-7　计算机控制调压电路原理图

对于装有计算机的电压调节器，其计算机可以取代汽车上各种控制装置工作，因而价格非常昂贵，如遇蓄电池不充电，必须认真查找故障所在，然后进行修理，决不能随便拆卸和更换计算机。

知识视频
典型电压调节器的电路分析

（四）电压调节器的正确使用与维护

由于交流发电机晶体管式电压调节器、集成电路式电压调节器等电器元件均采用电子元件，当它们受到瞬间过电压、过高的反向电压及短路电流的作用时，会受到破坏。因此，为更好地发挥它们的作用，提高它们的使用寿命，正确使用和维护就显得尤为重要。电压调节器在使用时应注意以下问题。

（1）电压调节器与发电机的电压等级必须一致，否则电源系统不会正常工作。

（2）电压调节器与发电机的搭铁形式必须一致，当电压调节器与发电机的搭铁形式不匹配而急于使用时，可通过改变发电机励磁绕组的搭铁形式来解决。

（3）电压调节器与发电机之间的线路连接必须正确。使用与维修电压调节器时，必须根据说明书给出的接线要求正确连接，否则电源系统将不能正常工作，甚至会损坏电压调节器或发电机等电器部件。如电压调节器“+”极与“-”极接反时，控制励磁电流的大功率三极管的发射极反偏，极易被击穿损坏。另外，如

果电路中有用于过压保护的稳压管，此管会正向导通而被大电流烧坏；如果内搭铁式电压调节器“F”极与“−”极接反，或外搭铁式电压调压器“F”极与“+”极接反，在接通点火开关后，蓄电池电压全部加在大功率三极管的集电极和发射极（不经励磁绕组），电压调节器极易被击穿烧坏。

（4）对于配用双级电磁振动式电压调节器的发电机，当检查充电系统有不充电故障时，在没有断开发电机与电压调节器的接线之前，不允许将发电机的“+”极与“F”极（或电压调节器的“+”极与“F”极）短接，否则会烧坏电压调节器的高速触点。

（5）电压调节器必须受点火开关控制。因为电压调节器控制励磁电流的大功率三极管在发电机输出电压较低时就始终导通，如果它不受点火开关控制，当汽车停车时，大功率三极管一直导通，会发热烧坏或造成使用寿命缩短，而且还会导致蓄电池亏电。

三、任务实施

（一）任务实施的要求

1. 任务实施的目的

（1）理解电压调节器的调节原理。

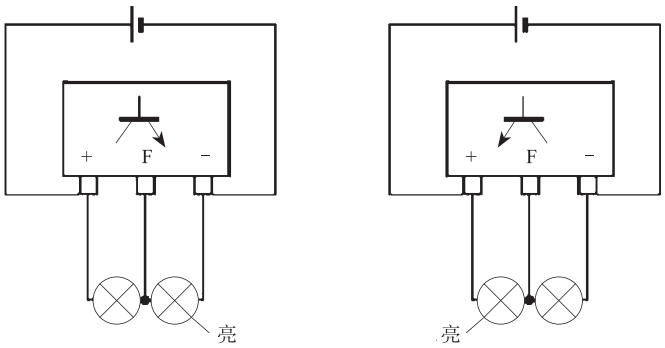
（2）能够判断电压调节器的类型及好坏。

2. 实训仪器和设备

电压调节器、可调直流电源、灯泡和连接导线等。

（二）任务实施的步骤

1. 判断电压调节器的搭铁形式



（a）内搭铁式电压调节器　　（b）外搭铁式电压调节器

图 1-5-8　判断电子调节器搭铁形式的方法

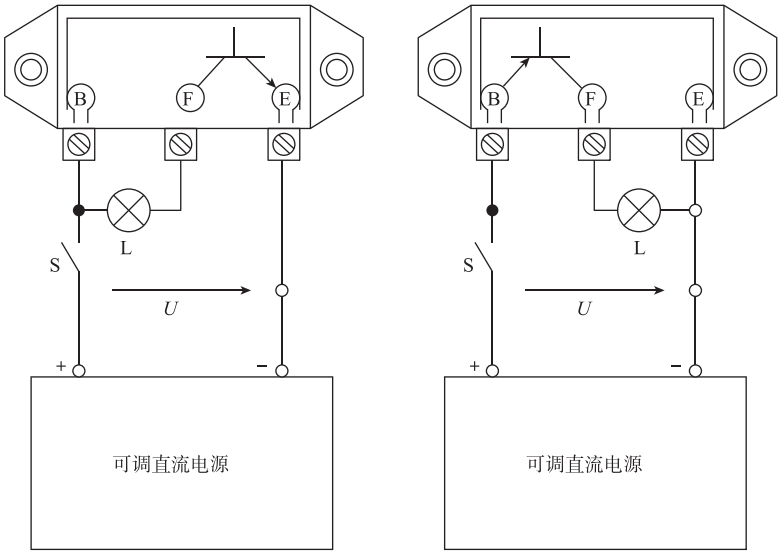
一般电压调节器上没有标出内搭铁还是外搭铁的记号，使用中只能根据型号和使用车型来确定其搭铁形式。如不清楚其搭铁形式，可以采用如下方法。

对 12V 系统的电压调节器，用一个 12V 蓄电池和一对 12V、2W 的小灯泡按如图 1-5-8 所示线路连接。若灯泡接在“−”（E）与“F”接线柱之间时发亮，而接在“+”（B）与“F”接线柱之间时不亮，则该电压调节器为内搭铁式电压调节器；反之，若灯泡接在“+”（B）与“F”接线柱之间时发亮，而接在“−”（E）与“F”接线柱之间时不亮，则该电压调节器为外搭铁式电压调节器。若电压调节器有 4 个引出端（“D+”“B”“F”“D−”），试验时，可将“D+”与“B”连接为一点，再进行测试；若电压调节器有 5 个引出端（“D+”“B”“F”“D−”“L”），则将“L”端悬空，并将“D+”与“B”连接为一点，再按上述方法试验即可。

2. 判断电压调节器的好坏

准备一个输出电压为 0~30V、电流为 3~5A 的可调整稳压电源，或者两只 12V 的蓄电池及汽车上的充电指示灯，被测电压调节器如果是外搭铁式的，就按如图 1-5-9（a）所示线路连接；被测电压调节器如

果是内搭铁型的，就按如图 1-5-9（b）所示线路连接。线路接好后，先接通开关 S，然后将直流电源电压 *U* 从 0V 开始逐渐调高，此时小灯泡的亮度应随电压升高而增强。当电压调高到调节电压值（12V 系统为 13.5~14.5V，24V 系统为 27~29V）或者略高于调节电压值时，若灯泡熄灭，则电压调节器是正常的，若小灯泡始终发亮，则电压调节器损坏。在上述检验过程中，若小灯泡始终不亮（灯泡正常），则电压调节器也是损坏的。电压调节器（特别是集成电路式电压调节器）出现故障后，一般的处理方法是更换新件。



（a）外搭铁式电压调节器　　（b）内搭铁式电压调节器

图 1-5-9　判断电压调节器的好坏

四、任务总结

（1）电压调节器的作用是在发电机转速变化时，自动控制发电机的电压，使其保持稳定。

（2）电压调节器按工作原理可分为电磁振动式电压调节器、晶体管式电压调节器、集成电路式电压调节器和计算机控制电压调节器。

（3）电压调节器按搭铁位置可分为内搭铁式电压调节器和外搭铁式电压调节器，分别装配于内搭铁式发电机和外搭铁式发电机中。

（4）晶体管式电压调节器利用晶体管的开关特性来控制发电机的励磁电流，使发电机的输出电压保持稳定。

（5）集成电路式电压调节器将所有的二极管、晶体管都集成在一块基片上，实现了电压调节器的小型化，并将其安装在发电机内部，减少了外部线路，缩小了整个充电系统的体积。

任务六　汽车电源系统故障检修企业案例

拓展课堂

车用新型蓄电池

一、胶体电解质蓄电池

图 1-5-10　胶体电解质蓄电池

1．胶体电解质蓄电池的概念

胶体电解质蓄电池也是铅酸蓄电池范畴的二次电池，如图 1-5-10 所示。它依然使用密度为 1.28g/cm^3 的硫酸水溶液，但在其中添加了 Na_2SiO_2，电解液呈胶体状——乳白色的凝胶，构成了胶体电解质，胶体电解质的状况会随着温度和电场的作用而变化。

2．胶体电解质蓄电池的特点

（1）电解质凝胶化，使电池不漏液，且能比一般的以稀硫酸为电解质的电池多加 10%~50% 的电解质，延长了使用寿命。

（2）充电能力强，容量衰减慢，能量转换效率高。

（3）采用优质合金板栅和超纯电解液，自放电率小。

（4）循环寿命长，正常使用温度为 25℃，标准情况下循环次数在 480 次以上。

（5）耐低温，在 -20℃状态下的放电性能可达常温状态下的 95%。

（6）安全可靠，绿色环保。

图 1-5-11　镍镉电池

二、镍镉电池

在实际应用中，镍镉电池（图 1-5-11）应用的广泛程度仅次于铅酸蓄电池。其比能量可达 55W·h/kg，比功率超过 190W/kg，可快速充电、循环使用，其循环寿命是铅酸蓄电池的 2 倍多，可达到 2000 多次，但价格为铅酸蓄电池的 4~5 倍。它的初期购置成本虽高，但由于其在能量和使用寿命方面的优势，实际使用成本并不高。使用过程中要注意做好回收工作，以免重金属镉造成环境污染。

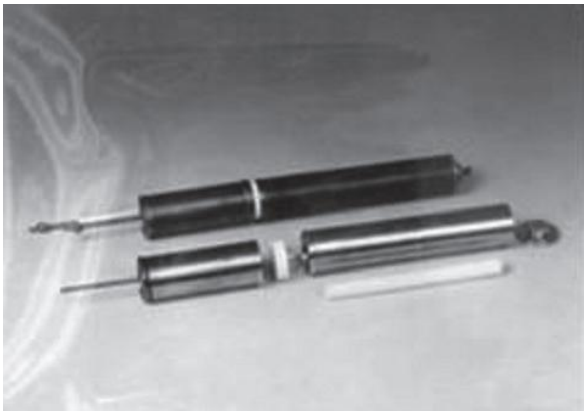


图 1-5-12　钠硫电池

三、钠硫电池

钠硫电池（图 1-5-12）也是普遍看好的电动汽车蓄电池。Minivan 电动汽车就是使用钠硫电池的汽车。它已被美国先进电池联盟（United States Advanced Battery Consortium，USABC）列为中期发展的电动汽车蓄电池。德国生产的 B240K 型钠硫电池的质量为 7.5kg，蓄电量达 19.2kW·h，比能量达 109W·h/kg，循环使用寿命达 1200 次，装车试验时最好的一辆车无故障地行驶了 2300km。钠硫电池主要存在高温腐蚀严重、电池寿命较短、稳定性及使用安全性不太理想等问题。

四、燃料电池

燃料电池是一种将储存在燃料和氧化剂中的化学能通过电极反应直接转化为电能的发电装置，如图 1-5-13 所示。它不经过热机过程，不受热力循环限制，故能量转换效率高，燃料电池的化学能转换效率在理论上可达 100%，实际效率已达 60%~80%，是普通内燃机热效率的 2~3 倍。实际中应用于电动汽车中的燃料电池以纯氢为燃料，以空气中的氧气为氧化剂。

1993 年，加拿大推出了世界上第一辆以燃料电池为动力的电动公共汽车。它可以载客 20 人，最高速度达 72.2km/h。德国也研制了以燃料电池为动力的电动汽车。

图 1-5-13　燃料电池

五、锌空气电池

锌空气电池（图 1-5-14）的潜在比能量在 200W·h/kg 左右。美国为电动汽车开发的锌空气电池的比能量已达 160W·h/kg 左右，但它尚存在寿命短、比功率小、不能输出大电流、难以充电等缺点。美国的 CRX 电动汽车装的就是锌空气电池，该车为弥补锌空气电池的不足，还装有镍镉电池，以帮助汽车起动和加速。CRX 电动汽车的锌空气电池组质量为 340kg，充满电后可存储 45kW·h 的能量，充电 12min 可使 CRX 电动汽车行驶 65km，充电 1h 则可行驶 160km。

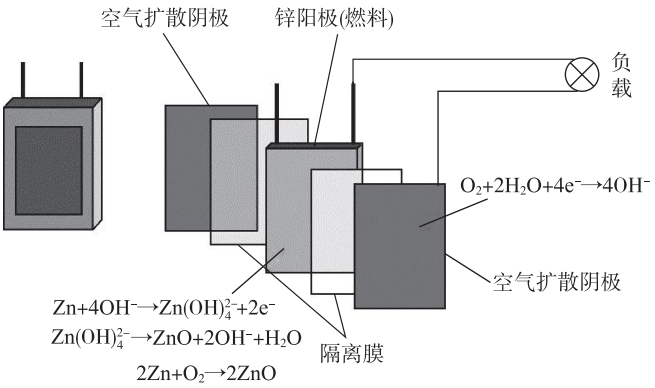


图 1-5-14　锌空气电池

学习检测

一、填空题

1. 铅酸蓄电池由 _____、隔板、_____、_____ 等组成。
2. 电解液是由 _____ 和 _____ 配制而成的。
3. 联条的形式有 _____、_____ 和 _____3 种。
4. 蓄电池液面高度的检查有玻璃管测量法、_____ 和 _____3 种。
5. 交流发电机主要由转子、_____、_____、_____ 和前后端盖组成。

二、判断题

1. 在单格电池中，负极板总比正极板多一片。（　　）
2. 蓄电池的放电过程就是化学能转变为电能的过程，也就是蓄电池接上负载释放电能的过程。（　　）

3. 交流发电机转子的两滑环和转子轴之间是绝缘的。(　　)
4. 汽车铅酸蓄电池正极板的厚度一般为负极板厚度的 70%~80%。(　　)
5. 交流发电机中性点“N”的输出电压为发电机电压的一半。(　　)
6. 免维护蓄电池在使用过程中需要补充蒸馏水。(　　)
7. 拆蓄电池电缆时，应先拆下蓄电池正极，再拆下蓄电池负极。(　　)
8. 在定压充电过程中，充电电流也是定值。(　　)
9. 内搭铁式电压调节器和外搭铁式发电机可以匹配使用。(　　)
10. 汽车行驶过程中，充电指示灯亮表示蓄电池处于充电状态。(　　)

三、选择题

1. 电解液由纯硫酸和蒸馏水配制而成，电解液密度要求范围是(　　)。
A. 1.24~1.31g/cm^3　B. 1.25~1.32g/cm^3　C. 1.26~1.34g/cm^3　D. 1.28~1.35g/cm^3
2. 蓄电池在放电过程中，其电解液的密度是(　　)。
A. 不断上升的　B. 不断下降的　C. 保持不变的　D. 没有规律的
3. 通过一对或两对触点反复开闭来改变励磁电路的电阻，以调节励磁电流的电压调节器是(　　)。
A. 电磁振动式电压调节器　B. 晶体管式电压调节器
C. 集成电路式电压调节器　D. 计算机控制电压调节器
4. 蓄电池亏电长期放置不用，容易造成(　　)。
A. 自行放电　B. 极板短路　C. 活性物质脱落　D. 极板硫化
5. 发电机正常工作后，其充电指示灯熄灭，这时灯两端应(　　)。
A. 电压相等　B. 电位相等　C. 电位差相等　D. 电动势相等
6. 硅整流器中每个二极管在一个周期内的连续导通时间为(　　)。
A. 1 个周期　B. 1/2 个周期　C. 1/3 个周期　D. 1/4 个周期
7. 发电机电压调节器是通过调整(　　)来调整发电机电压的。
A. 发电机的转速　B. 发电机的励磁电流
C. 发电机的输出电流　D. 发电机的输出电压
8. 外搭铁式电压调节器中的大功率三极管接在电压调节器的(　　)。
A.“+”与“-”接线柱之间　B.“+”与“F”接线柱之间
C.“F”与“-”接线柱之间　D.“F”与“F”接线柱之间
9. 交流发电机中产生磁场的装置是(　　)。
A. 定子　B. 转子　C. 电刷　D. 整流器
10. 下列选项中，(　　)不是影响蓄电池容量的因素。
A. 加注孔盖的大小　B. 极板的构造　C. 电解液的密度　D. 放电电流的大小

四、简答题

1. 汽车用蓄电池的功能是什么？
2. 交流发电机的整流原理是什么？
3. 汽车电源系统主要故障有哪些？