

普通高等院校汽车工程类系列教材

汽车电器与电子技术

储 军 龙江启 主 编
李 强 王术新 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了汽车电器与电子系统的基本组成、工作原理和工作特性,同时增加了与课程相关的思政元素和学生科技竞赛案例。全书共分八章,内容包括:绪论、汽车电池、交流发电机、起动系统与驱动电机、汽车点火系统、照明与信号系统、仪表显示系统、汽车附属电器和汽车电器电路分析。通过对本书的学习,读者能够系统地了解汽车电器电子技术的基本知识和应用。

本书可作为高等院校车辆工程、汽车服务工程等专业本科生教材,也可作为高等职业院校汽车电子技术、汽车运用与维修技术等专业的教学用书,还可供汽车相关专业工程技术人员阅读参考。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电器与电子技术/储军,龙江启主编. —北京:清华大学出版社,2023.12
普通高等院校汽车工程类系列教材
ISBN 978-7-302-64972-4

I. ①汽… II. ①储… ②龙… III. ①汽车—电器—高等学校—教材 ②汽车—电子技术—高等学校—教材 IV. ①U463.6

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 243404 号

责任编辑:许 龙

封面设计:傅瑞学

责任校对:薄军霞

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <https://www.tup.com.cn>, <https://www.wqxuetang.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-83470000 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市龙大印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:12.25

字 数:294 千字

版 次:2023 年 12 月第 1 版

印 次:2023 年 12 月第 1 次印刷

定 价:39.80 元

产品编号:100461-01

前言

汽车电器是汽车的重要组成部分之一,其性能直接影响汽车的动力、经济、安全、舒适等各项性能。随着汽车工业的迅速发展,汽车电器与电子技术也在不断改进、发展,现代汽车已经发展成为机、电、智、控、云交叉融合的复杂系统,这就对汽车类专业人才培养质量提出了更高的要求。汽车电子化是现代汽车技术发展的主要表现特征,预计到 2030 年汽车电子产品将超过汽车总成本的 50%,汽车电器与电子技术在汽车产业发展中扮演着越来越重要的角色。

为了满足车辆工程及汽车相关专业培养高素质应用型人才的教学需求,编者在总结多年教学经验的基础上组织编写了本书。本书借鉴国内外汽车专业教学体系及教材,结合汽车产业及技术发展的现状,对当前汽车上应用的主要电器设备与电子控制技术进行了梳理,重点阐述目前车辆所涵盖的电器电子技术和未来研究发展的方向,并对内容进行了优化组合。

本书在章节结构、内容安排和习题等方面,吸收和借鉴了相关经典或特色教材,同时总结了编者近年来从事教学工作的成果和经验。从普通高等院校的教学实际出发,将汽车电器的结构、原理与性能、电子电路等内容有机结合,并在多个章节中增加了与课程相关的思政元素和学生科技竞赛案例,以增强学生对教材内容的理解,突出教材的应用性;注重“以学生为主导”的思想,以提高学生学习的递进性与兴趣性。本书知识体系完整,注重汽车电器电子技术的理论性和实践性,内容由浅入深、循序渐进,符合认知规律,既可满足读者理论学习深度上的要求,又可满足掌握实践技能的需要。

本书由温州大学车辆工程专业储军、龙江启主编,温州大学李强、上海中侨职业技术大学王术新任副主编。其中,第一章由王术新编写,第二章和第三章第五节由李强编写,第六章和第七章由龙江启编写,其余部分由储军编写。

本书在编写过程中,得到了相关高校老师、企业技术人员的大力支持,参考和引用了大量的技术资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于汽车电器与电子技术的发展日新月异,新技术和新产品不断推出,加上编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

作者

2023 年 5 月

清华大学出版社

目 录

绪论	1
第一章 汽车电池	6
第一节 汽车电源系统概述	6
第二节 铅酸蓄电池的构造与型号	8
第三节 铅酸蓄电池的工作原理	12
第四节 汽车电池的工作特性	16
第五节 汽车电池的容量及影响因素	19
第六节 汽车电池的使用与维护	22
第七节 汽车动力电池	26
习题	34
第二章 交流发电机	36
第一节 交流发电机的构造	36
第二节 交流发电机的工作原理	41
第三节 交流发电机的工作特性	45
第四节 交流发电机电压调节器	48
第五节 交流发电机的正确使用及故障诊断	52
第六节 新型汽车交流发电机	58
习题	62
第三章 起动系统与驱动电机	63
第一节 起动机的结构组成	64
第二节 直流起动电机的工作原理与特性	73
第三节 起动系统的正确使用及故障诊断	78
第四节 现代汽车起停系统	86
第五节 驱动电机	90
第六节 功率电子与电力变换器件	102
习题	105
第四章 汽车点火系统	107
第一节 点火系统概述	107
第二节 点火系统的结构组成	109
第三节 点火控制过程及原理	124
第四节 点火系统的正确使用和故障诊断	128
习题	129
第五章 照明与信号系统	131
第一节 照明与信号系统的组成	131

IV 汽车电器与电子技术

第二节 前照灯的结构和原理·····	137
第三节 前照灯自动控制系统·····	143
第四节 夜视系统·····	146
第五节 汽车信号系统·····	147
习题·····	152
第六章 仪表显示系统·····	154
第一节 汽车仪表·····	154
第二节 仪表报警及指示灯·····	159
第三节 电子显示装置·····	161
习题·····	167
第七章 汽车附属电器·····	168
第一节 电动后视镜·····	168
第二节 电动门窗与电动天窗控制系统·····	170
第三节 电动雨刮器与风窗玻璃洗涤器·····	171
第四节 电动座椅·····	174
第五节 中控门锁系统·····	175
第六节 汽车空调及电控除霜系统·····	177
习题·····	179
第八章 汽车电器电路分析·····	180
第一节 汽车电器线路的表示方法·····	180
第二节 汽车电路的分析原则·····	182
第三节 汽车电路的连接及配件·····	183
习题·····	186
参考文献·····	187

绪 论

一、汽车电器与电子控制系统的发展概况

汽车由动力装置(发动机或动力电池与驱动电机)、底盘、车身和电器四部分组成。

汽车电器与电子控制系统是汽车的重要组成部分之一,其性能的好坏直接影响汽车的动力性、经济性、可靠性、安全性、排气净化及舒适性,借助汽车电器与电子技术,可以制造更安全、更清洁、更节能的汽车。例如,现代汽车需要采用电力起动机保证发动机可靠启动;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;为保证汽车工作可靠、行驶安全,则有赖于各种指示仪表、信号装置和照明灯具等电器的正常工作。从 20 世纪 70 年代开始,汽车电子燃油喷射系统、电子制动控制系统的发展,使得汽车的燃油经济性、安全性得到了很大的提升;新能源汽车更是将电池的电能完全取代了发动机的动力源;智能网络汽车云端数据的应用,让交通更便捷、更通畅、更安全。如今传统汽车的电子电气系统的成本大约会占一辆普通轿车制造成本的 1/3 甚至更高,电动汽车仅动力电池组的成本就约占整车成本的一半。

汽车电器与电子技术的发展主要经历了以下几个阶段:

(1) 应用电子装置在 20 世纪 50—70 年代逐步代替传统的机械部件,例如,发电机集成电路电压调节器、电子点火器等。

(2) 专用的独立电子系统在 20 世纪七八十年代得到了发展,解决了汽车上机械系统不能实现的复杂控制的问题,例如电子控制燃油喷射系统、ABS 系统等。

(3) 各种功能的综合系统及各种车辆整体系统的微机控制在 20 世纪末期逐步被开发出来。例如,动力传动控制系统、新能源汽车能源管理系统、底盘稳定性控制系统、汽车安全系统等。

(4) 车辆的智能控制技术在 21 世纪初期开始快速发展,例如汽车自动驾驶、导航系统等。

未来的汽车电子与电气系统在网联化和智能化等方面将有较大的发展,大量的汽车电子新技术在辅助驾驶系统上涌现,如停车辅助系统和电子导航系统等。汽车工程师们的目标是设计“有感觉的汽车”,由传感器和网络信息通信等电子设备感知车辆四周的环境,借助超声波、雷达和视频成像技术,在一定程度上辅助驾驶员操控汽车,例如循迹驾驶和辅助控制车距等。

(1) 网联化。汽车网联化,即车联网,是以物联网技术为基础,实现了车内网、车际网和车载移动设备互通互信;实现了车与车之间、车与人之间、车与路之间,以及车与云端平台之间互联互通;是实现智能动态信息服务、智能化交通信息管理和车辆智能化控制的一体化网络;是在交通系统领域典型物联网技术的应用。尤其是 5G 网络的到来,解决了车联网带宽与网速的瓶颈问题,这一技术必将得到迅速发展。

(2) 智能化。“智能汽车”是在普通车辆的基础上增加如雷达、摄像等先进的传感器硬

件装置,再加上自动驾驶技术、人工智能技术、执行器等技术,通过车载传感系统和信息终端实现人与车、车与路、车与云之间的信息交换,使车辆能够自动分析车辆行驶的状态和及时处理突发状况,通过 AI 替代人为操作,并实现车辆按照人的意愿到达目的地。

随着未来汽车智能化和网联化技术的发展,汽车芯片的应用和需求量近年来快速增长,成为汽车工业生产中的核心竞争产品。



2021 年汽车工业芯片短缺的历史事件告诉我们:核心技术是买不来的,自主创新在任何时期都有其必要性和重要性。

芯片作为国家高度重视的新兴产业,一度成为我国通信电子、汽车工业等最为关键的“卡脖子”技术,对我国经济实现转型升级,迈入制造强国具有极其重要的战略意义。随着我国经济的快速增长,近年来美国等西方国家对中国企业的芯片制裁,对国内企业既是一种挑战,也是一种机遇。

长期以来,中国都是世界上规模最大的汽车市场,近年来我国的汽车市场规模基本保持在全球的 1/3。然而,我国的汽车芯片产业规模大概只占世界市场份额的 10%。相比较而言,目前世界前十大汽车芯片厂商的产量占全球汽车芯片产业规模的 70% 以上。其中,对车辆正常驾驶功能有重要影响的高端复杂芯片很少是我国自主研制的,国内厂商产品更多地集中于车身电子等所使用的芯片产品。综观国内芯片企业的现状:芯片的设计能力还比较薄弱;基本不具备复杂芯片的流片生产能力;缺乏芯片的测试标准体系,因此,较难得到车企的认可和市场应用。

2021 年,由于晶圆厂火灾、新冠疫情、工人罢工和芯片需求量的增加等一系列影响因素,导致全球范围内的汽车芯片短缺现象。由于芯片生产的投资周期长、投资成本大,国外垄断企业在短期内也很难通过扩大产能满足市场需求,这给零散而弱小的中国芯片企业带来了市场商机。2023 年上海车展,国产汽车芯片在智能驾驶环境感知、线控底盘和域控制器等新赛道上已经悄然赶上,国产汽车芯片的替代步伐正在加速。

虽然突如其来的市场需求能推动企业自主创新、产品研发,但青年学者们应该将眼光放得更长远,居安思危。客观上我们越是接近于全面建成社会主义现代化强国、实现中华民族伟大复兴的奋斗目标,越是遭遇欧美西方国家对我国日趋激烈的围堵打压,越是处在历史发展紧要 and 重要的关头,我们遇到的矛盾难题、障碍阻力、风险挑战就会越多、越大、越严峻,就越需要青年学者们保持良好的精神状态,全面贯彻新时代中国特色社会主义思想,自信自强、守正创新,踔厉奋发、勇毅前行。无论在逆境还是顺境中都要坚持自主创新,持续基础研究,抓住关键核心技术,才能在世界的浪潮中立于不败之地。

二、汽车电器与电子控制系统的组成

(一) 汽车电气系统

电动汽车与传统汽车的动力驱动系统有着较大的区别,因而它们的电气系统组成也不相同。传统汽车电气系统包括电源系统、起动系统、点火系统、照明与信号系统、仪表与显示系统、空调系统、电动助力转向系统和附属电器等。电动汽车因为取消了发动机,不再需要起动系统和点火系统,其电源系统也有着较大的区别;另外,由于电动汽车的动力源为电力

驱动装置,因此相比于传统汽车,电气系统增加了功率变换器、控制器和驱动电机,如图 0-1 所示。

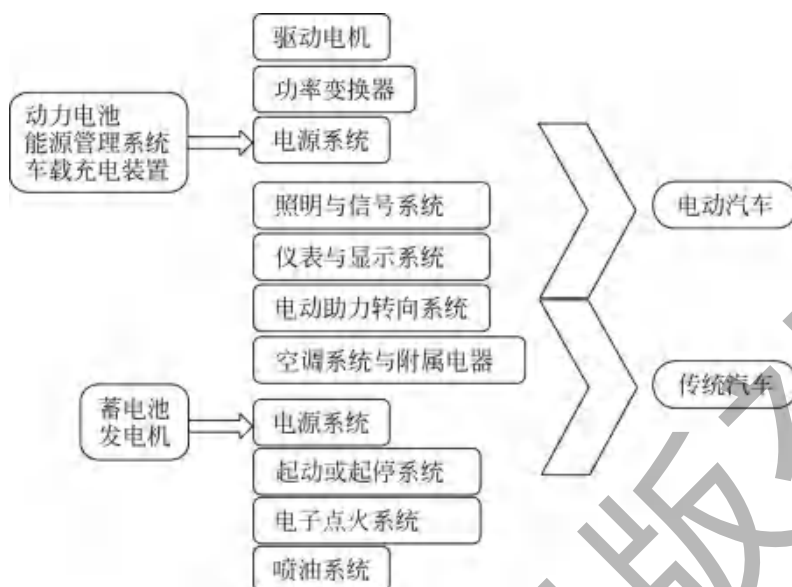


图 0-1 汽车电气系统组成

1. 电源系统

传统汽车的电源系统由蓄电池和发电机两部分组成,其作用是为全车用电设备提供电能,除起动外,车辆运行时主要由发电机供电。新能源汽车的电源系统则主要包括动力电池和能源管理系统,以及相应的车载充电装置。

2. 功率变换器

功率变换器也称功率电子或电力电子器件,主要功能是控制动力电源与电机之间的功率流,确保电能与机械能之间合理、有效的转换。

3. 起动或起停系统

起动系统的作用是产生转矩,带动飞轮转动,使发动机从停止状态至自动运转状态。车辆在非驻车状态下停止时,起停系统会自动暂停发动机工作;直到检测到驾驶员有再度起动车辆的意图时,系统通过起动机重新快速起动发动机,从而减少发动机在怠速时的燃油消耗。

4. 驱动电机

驱动电机是电动汽车的核心装置,是实现电源电能与车辆机械能相互转换的部件。驱动电机的类型较多,包括直流电机、交流异步电机、永磁同步电机、开关磁阻电机和轮毂电机等。目前主流的电动汽车用驱动电机是交流异步电机和永磁同步电机两种。

5. 电子点火系统

电子点火系统主要由火花塞、点火线圈、传感器、微控制器等组成,其作用是将低压直流电转变为高压电,并根据发动机的需求,依次按时传递至各缸火花塞,产生电火花,点燃气缸中的可燃混合气。

6. 照明与信号系统

照明与信号系统主要由前照灯、信号灯、声音报警装置、开关及控制电路组成,其作用是

为驾驶员提供良好的行车视野以及告示行人车辆引起注意。

7. 仪表与显示系统

仪表与显示系统主要由传感器、指示灯、报警灯、仪表盘、微控制器等组成,其作用是实时显示汽车运行状态,例如,发动机转速、车速里程和电池剩余电量等信息;报警实时故障,并及时提醒驾驶员,以确保行驶和停车的安全性、可靠性。

8. 附属电器

为了提高车辆便捷性、舒适性、安全性等各种功能的电子装置统称附属电器,例如电动雨刮器、空调系统设备、中控门锁、电动车窗、电动天窗、电动后视镜、电动座椅等。

(二) 汽车电子控制系统

汽车电子控制系统由传感器、电子控制器、电器开关和执行器等组成。汽车电器设备与电子技术、电子控制系统大多数是相互关联且不可分割的。例如,汽车交流发电机的整流电路板、电压调节器都是电子电路;汽车点火系统由相关电器元件与点火控制器共同作用来实现功能;现代汽车起动系统由起停控制模块控制起动机工作。

为了更好地发挥汽车用电设备及相关电气系统的功能,汽车上大量引入了电子控制系统。汽车电子控制系统并不是独立存在的,而是与其他系统紧密关联的。按照汽车的总体结构,汽车电子控制系统可以分为动力驱动电子控制系统、底盘电子控制系统、车身电子控制系统三个部分。

传统汽车的动力驱动系统为发动机,发动机电子控制系统包括燃油喷射系统(EFI)、电子点火控制系统(ESA)、可变进气系统(VVT 或 VTEC)、废气再循环控制系统(VGR)等。新能源汽车的动力驱动系统为动力电池和驱动电机,相应的电子控制系统包括能源管理系统(EMS)、功率变换器和驱动电机控制系统等。

底盘电子控制系统包括车辆制动及驱动控制系统(ABS/ASR/ESP/EBD/TCS/CCS/4WD/AWD…)、转向控制系统(EPS/EHPAS/ECHPS/4WS…)、自动控制变速器(AT/AMT/DCT/DST/CVT…)以及电控悬架(TEMS/CDC/AAS/Airmatic/TPMS…)等。

车身电子控制系统包括自适应前照灯控制系统(AFS)、倒车报警系统(RVAS)、中央门锁控制系统(RKE/CL)、安全气囊控制系统(SRS)等。

对于智能网联汽车,整个车辆的操纵和控制都是自动完成的,它所包含的电子控制系统就更加广泛,以先进驾驶辅助系统(ADAS)为基础,包括自动制动辅助系统(AEB)、车道保持系统(LKA)、车道偏离预警系统(LDW)、自动泊车系统(APS)等。

三、汽车用电设备的电路特点

1. 电源

在传统汽车电气系统中,采用两个电源(蓄电池和交流发电机),两者互相配合,协同工作。

2. 电压

传统汽车电源系统的额定电压为 12V 与 24V 两种。汽油机一般采用 12V 供电系统,柴油机常采用 24V 供电系统(由两个 12V 蓄电池串联而成)。需要说明的是,汽车运行中的实际工作电压,一般 12V 系统为 14V 左右,24V 系统为 28V 左右。

对于新能源汽车,其动力电池电源系统的电压从几十伏至几百伏不等,属于高压电的

范畴。

在现代汽车中,用电设备越来越多,电器负荷越来越大,这就要求汽车电源系统提供更多的电能,电压升级已经成为汽车电气系统的发展趋势。学术界曾提出的汽车电压升级方案有两种,一种是全车 42V 单电压方案,另一种是 14V/42V 双电压方案。

相同功率下,如果将电压提高 3 倍,电流减小 65%。因此,提高汽车电压等级有以下三个方面的优势:

- (1) 减少线束截面积;
- (2) 减小电机体积;
- (3) 提高使用功率。

3. 直流

汽车发动机是靠电力起动机起动的,起动机由蓄电池供电,汽车电源系统为直流系统。蓄电池与发电机两个电源均为直流供电,其中交流发电机需要整流电路将产生的交流电转变成直流电。

新能源汽车中动力电池是直流供电的,如果采用交流发电机,就需要有相应的功率转换器,实现大功率直流电与交流电之间的转换。通常动力电池的直流电转变成交流电机所需的交流电,需要用到逆变器;而交流电机给动力电池充电时,则需要整流器。

4. 单线制与负极搭铁

单线连接是汽车电器电路的突出特点之一。传统汽车上所有用电设备的正极均采用导线相互连接,而负极(往往是用电设备的外壳)则直接或间接通过导线与金属车架或车身相连,即负极搭铁。从电源到用电设备只用一根导线连接,而用发动机缸体、底盘、车架等金属件作为另一根公用导线。这使得汽车任何一个用电设备电路中的电流都是从电源的正极出发,经导线流入用电设备后,再由用电设备自身或负极搭铁,通过车架或车身流回电源负极而形成回路。

采用单线制导线不需每个用电设备负极与电源负极相连接,大大减少了导线数目,线路清晰,接线方便,因此被广泛使用。

新能源汽车因为既有高压电路,也有低压电路,所以电路连接方式并不是单一的。通常情况下高压电路采用双线制或需要单独搭铁,而低压电路往往与传统汽车一样采用单线制。

5. 并联连接

类似于我们家用电器电路的连接方式,汽车各用电设备均采用并联连接,汽车上的两个电源(蓄电池与发电机)之间以及所有用电设备之间,都是正极接正极,负极接负极,并联连接。

由于采用并联连接,所以汽车在使用中,当某一支路用电设备损坏时,并不影响其他支路用电设备的正常工作。

6. 汽车线路有颜色和编号特征

为了便于区别各线路的连接以及维修线路故障,汽车上所有低压导线均要进行编号,且必须使用不同颜色的单色或者双色线进行标识。

7. 设有保险装置

为了防止因为电路短路或者电路过载烧坏正在工作的用电设备,电路中一般设有保护装置,如断路器、熔断器、易熔线等。

第一章 汽车电池

本章学习目标

- 1. 能够识别和描述汽车起动用蓄电池的结构和工作原理,阐述它在现代汽车中的主要作用及地位;
- 2. 能够解释说明汽车蓄电池的主要性能参数及充放电特性,分析影响蓄电池性能指标的因素;
- 3. 能够描述正确使用和维护蓄电池的方法;
- 4. 能够对比分析各类常见车用动力电池的性能特点、适用场合,以及技术发展的动态和趋势。

第一节 汽车电源系统概述

汽车的电池通常都是二次电池,即可以充电、储存和放电循环使用的电池。按照其功能主要分为两大类:一类是传统汽车中作为起动和辅助电源的蓄电池,以铅酸蓄电池应用最为广泛;另一类是新能源汽车中作为车辆动力驱动源的动力电池,其种类较多,目前以锂离子电池应用最多。由于电池的主要性能、参数以及影响因素相类似,本章以汽车电池中应用最为广泛且技术相对最为成熟的铅酸蓄电池为主,前几节分别介绍其结构、原理、性能参数、影响因素、充放电方式及工作特性;最后一节以锂离子电池为主,重点介绍汽车动力电池。

一、汽车电源系统的概念

汽车电源系统的作用是向汽车中所有用电设备提供低压直流电源(通常汽油车为 12V,柴油车为 24V),使汽车各用电设备正常工作。它包括蓄电池和发电机两个部分,并且蓄电池、发电机与汽车用电设备都是并联连接的,如图 1-1 所示。

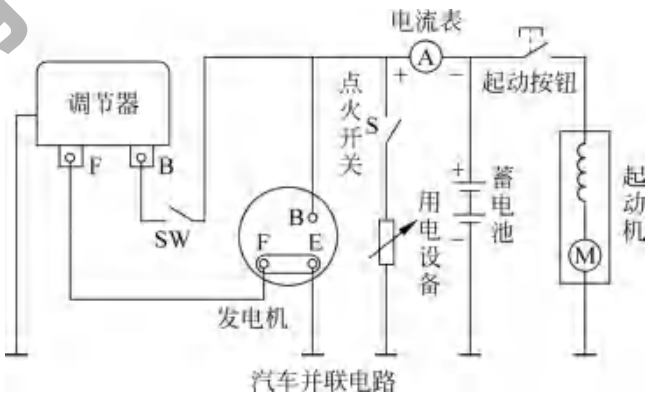


图 1-1 蓄电池、发电机与汽车用电设备的连接关系

F—发电机输出端；B—蓄电池输出端；E—接地端

汽车的两套电源系统中,发电机为主要电源,蓄电池为辅助电源。它们之间的关系如下:

(1) 发动机正常工作时,发电机向汽车用电设备供电,并适时对蓄电池充电。

(2) 起动发动机时,蓄电池向起动机和其他必要的用电设备供电,主要包括点火系统、燃油喷射系统、发电机励磁绕组、仪表显示系统。

(3) 图 1-1 中起动机单独位于蓄电池一侧,表示起动机单独由蓄电池供电。起动机通过电缆和起动按钮直接与蓄电池连接,降低电阻值,以便能够提供起动时所需要的大电流。

(4) 电流表用来指示蓄电池的充放电状况,起动时蓄电池一定对外放电。发电机和其他用电设备的正极一样,都连接在电流表的同一端。发电机在运行时,这些用电设备可以直接从发电机获得电流,而不需要流经电流表;而当发电机没有运行或过载时,这些用电设备需从蓄电池获得电流,电流表会显示蓄电池放电的电流方向。发电机和其他用电设备的负极直接搭铁接地。

电压调节器是发电机的一部分,它使发电机在转速变化时,能保持其输出电压恒定。当发电机输出电流大于用电设备所需电流与最大容许充电电流之和时,电压调节器会限制蓄电池的充电电压,使其保持在容许范围内。

发电机和蓄电池之间的连接线路会产生压降,直接测量蓄电池端电压作为电压调节器的控制电压,有利于精确调节电压。发电机、蓄电池和用电设备的布置会影响充电线路上的电压降,进而影响充电电压。如果所有的用电设备都与蓄电池端相连,线路压降高,充电电压会明显下降;如果所有的用电设备都与发电机端相连,线路压降低,充电电压会提高,但可能会损害或干扰对电压峰值和脉动敏感的用电设备。因此,对电压不敏感的较大功率的用电设备应靠近发电机端布置,而对电压敏感的小功率用电设备则应靠近蓄电池端布置。

二、蓄电池的分类

我们通常所说的电池主要分为三类:化学电池、物理电池和生物电池。

化学电池是利用活性物质的化学反应产生电能,蓄电池是一种典型的化学电池,又称二次电池,它的主要特点是一次放电后可继续采用充电的方式使活性物质复原。

物理电池的工作原理是利用光、热、物理吸附等物理能量进行发电,如常见的太阳能电池、超级电容器等。

生物电池的原理是利用生物化学反应发电,如酶电池、生物太阳电池等。

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。应用最广泛的汽车蓄电池是铅酸蓄电池,它容量大、内阻小、有足够的起动能力,满足起动用电的基本需求。蓄电池最主要的作用是起动发动机时向起动机和点火装置供电。起动发动机时,蓄电池在 5~15s 内,要向起动机连续供给强大电流,通常汽油机起动电流为 200~600A,柴油机起动电流为 800~1000A。图 1-2 是常见品牌的免维护型铅酸蓄电池外形。

三、蓄电池的主要功能

蓄电池是整车电气系统中的电能储存装置,其主要功能包括:

(1) 起动供电:在起动发动机时,向起动系统、点火系统、燃油喷射系统和其他用电设



图 1-2 铅酸蓄电池外形

备供电,例如给发电机提供励磁电流。起动供电是蓄电池消耗最大的部分,起动时,蓄电池端电压会因为较高的起动电流而下降,为保障各类控制系统的正常工作,蓄电池端电压不得低于一定的电压值。

- (2) 备用供电:当发电机电压低于蓄电池电压时,向用电设备和发电机磁场绕组供电。
- (3) 独立供电:当发动机停止工作时,向仪表、音响、灯光及防盗报警系统,甚至空调等供电。
- (4) 协同供电:发电机过载时,协助发电机向用电设备供电。
- (5) 充电:当发动机高速运转时,将发电机剩余电能储存起来。
- (6) 稳压:蓄电池相当于一个大电容器,能吸收电路中出现的瞬时过电压,保护电子元件,保持汽车电气系统的电压稳定。

第二节 铅酸蓄电池的构造与型号

铅酸蓄电池由正极板、负极板、隔板、电解液和电池外壳等组成,如图 1-3 所示。汽车用起动型铅酸蓄电池一般由 6 个电池单体串联而成,每个单体的标称电压为 2V,蓄电池整体的标称电压为 12V。

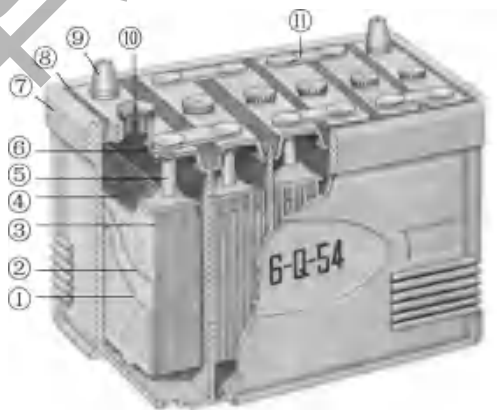


图 1-3 铅酸蓄电池的结构组成

一、铅酸蓄电池的构造

1. 极板组

极板组是蓄电池的核心部分,极板分正极板、负极板两种。蓄电池的充放电过程是靠极

板上的活性物质与电解液的电化学反应来实现的。极板由栅架及铅膏涂料组成,其形状如图 1-4 所示。

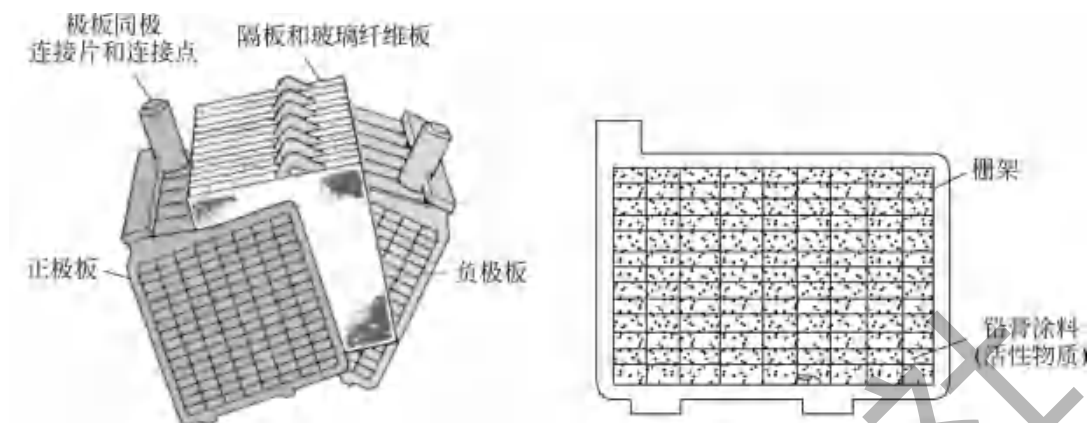


图 1-4 铅酸蓄电池的栅架结构及活性物质

栅架的作用是容纳活性物质并使极板成形。整个架体的平面内构成许多大小相同、分布均匀的长方形空格,下部有凸筋,上部的一角有板耳。

栅架的材料多为铅锑合金。加锑是为了提高浇铸性能和机械强度。锑的质量分数一般为 5%~7%。但锑有副作用,会加速氢的析出,产生自放电,加速电解液的消耗,缩短蓄电池的使用寿命。为了避免这些缺点,栅架的制作技术将向锑质量分数不超过 3%的低锑和不含锑的铅钙锡合金发展。

活性物质是进行电化学反应的主要成分。经过化成处理(正、负极板上的活性物质的转化过程称为化成处理,也就是将涂膏后的生极板首先经过热风干燥,然后再置于稀硫酸中进行充电和保护性放电的过程)后,正极板上的活性物质为细小结晶形、多孔性二氧化铅(PbO_2),呈红棕色,负极板上的活性物质为海绵状纯铅(Pb),呈青灰色。

国产负极板的厚度约为 1.8mm,正极板的厚度约为 2.2mm。国外薄型极板的厚度达到 1.1~1.5mm。薄型极板对提高蓄电池的比容量(极板单位尺寸所提供的容量)和改善起动性能非常有利。

把正、负极板各一片浸入电解液中,就可获得 2V 电动势,但是为了增大蓄电池的容量,常做成正、负极板组,装在单格电池内。数片正极板(一般为 4~13 片)焊接在同一横板上构成极板组;数片负极板(一般为 5~14 片)焊接在另一横板上。正、负极板相间布置,负极板的数量总比正极板多一片。这样正极板都处于负极板之间,使其两侧放电均匀,否则,由于正极板的机械强度差,单面工作会使两侧活性物质体积变化不一致而造成极板拱曲变形,活性物质就容易脱落。

2. 隔板

正、负极板应尽量靠近,但彼此又不能接触以免造成短路,故在相邻的正、负极板之间加有绝缘隔板。隔板具有多孔性,以便电解液渗透,且化学性能稳定,并具有良好的耐酸性和抗氧化性。常用的隔板材料有木质、微孔橡胶、微孔塑料、玻璃纤维纸张、玻璃丝棉等。

隔板一面平滑,一面带槽。安装时,槽面应朝正极板,槽上下方向,如图 1-5 所示。正极板在充放电过程中化学反应剧烈,沟槽能使电解液较顺利地上下流通。采用微孔塑料套袋

可以将正极板紧紧地套装在里面,以防活性物质脱落。

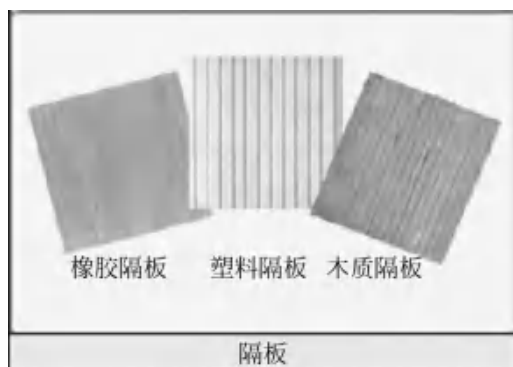


图 1-5 铅酸蓄电池的隔板结构

注：沟槽应垂直放置,并朝向正极板。

3. 电解液

电解液又称电解质,俗称电水。它的作用是形成电离,促使极板上的活性物质电离产生电化学反应。电解液是以蓄电池专用的密度为 $1.84\text{g}/\text{cm}^3$ 的纯硫酸和蒸馏水按一定的比例配制而成的。一般电解液的密度为 $1.24\sim 1.31\text{g}/\text{cm}^3$,气温低时用高密度电解液,可用来防冻。

配制电解液时,必须使用耐酸耐热的器皿,因硫酸的比热比水的比热小得多,受热时温升很快,易产生气泡,造成飞溅现象,所以配制电解液时切记只能将硫酸徐徐倒入蒸馏水中,并不断搅拌。

电解液的密度对蓄电池的工作有重要影响。密度增大,可以减少结冰的危险并提高其容量;但密度过大,由于黏度增加,反而会降低蓄电池的容量。电解液的密度、温度和纯度都会影响蓄电池的性能、寿命和还原系数。一般工业用硫酸和普通水因含铁、铜等有害杂质,绝对不能加入蓄电池中。

电解液密度还与充放电状态直接相关,在介绍蓄电池充放电特性时再做分析。

【安全防护】

电解液腐蚀性极强,如果皮肤接触了酸液,要立即用苏打水冲洗,酸液溅到眼睛里要立即用凉水或医用冲眼器冲洗,然后请医生处置。

4. 外壳

蓄电池外壳是由电池槽和电池盖组成的整体式结构的容器,极板、隔板和电解液均装入外壳内。车用起动蓄电池内有 6 个电池单体,壳内也由间壁分成 6 个互不相通的单格。外壳应耐酸、耐热、耐寒、抗震动,并具有足够的机械强度。免维护蓄电池普遍采用聚丙烯透明塑料壳体,电池槽与电池盖之间采用热压工艺黏合为整体结构,壳壁轻薄(厚度约 2mm),易于热封合,外形美观、成本低廉、生产效率高。

蓄电池的外壳要设有一通气小孔,用于在蓄电池充电时及时排出因电解水而产生的氢气和氧气,以防止气体聚集而使其内部压力升高,造成容器胀裂甚至产生爆炸事故。为有效地避免水分损失,免维护蓄电池壳体通气孔还设有安全装置以及收集水蒸气和硫酸蒸气的集气室,待蒸气冷却后变成液体重新流回电解液内。通气孔中还有催化剂钯,可使氢气和氧气合成水蒸气,冷却后再返回电解液内。

5. 连接条

蓄电池各单格电池之间采用铅质连接条串联连接,以提高整个蓄电池的端电压,普遍采用穿壁式点焊连接,如图 1-6 所示,能有效提高比能量和端电压,降低连接条功耗,避免氧化腐蚀。

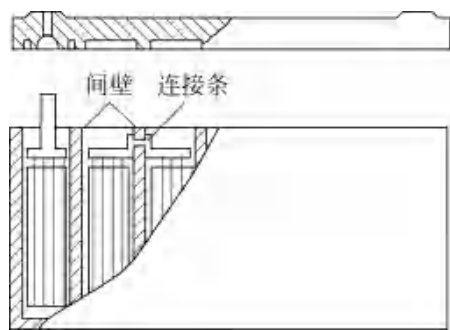


图 1-6 单格电池间穿壁连接的示意图

二、蓄电池的型号

按照 JB/T 2599—2012《铅酸蓄电池名称、型号编制与命名办法》的规定,国产蓄电池型号的含义分成如下三段:

- I

串联单格电池数
- II

蓄电池用途、蓄电池结构特征代号
- III

蓄电池额定容量
- 其中：I——串联单格电池数,指一个整体壳体内所包含的单格电池数,用阿拉伯数字表示。
- II——蓄电池用途,根据蓄电池的主要用途划分,用汉语拼音的首字母表示,如起动型蓄电池用字母“Q”表示; 蓄电池结构特征代号为附加说明,在同类用途的产品中具有某种特征需要在型号中加以区别时采用,特征代号也以汉语拼音字母表示,如字母“W”表示免维护。
- III——蓄电池额定容量,指 20h 放电率的额定容量,用阿拉伯数字表示,单位为安培·小时(A·h)。

例如,6-Q-105 即 6 个单格电池,额定电压 12V,额定容量 105A·h 的起动型蓄电池。

蓄电池的额定容量要与发动机的排量和功率相匹配。额定容量过大,车辆正常行驶时可能导致蓄电池长期充电不足; 额定容量过小,可能导致车辆起动困难。

通常小型轿车的蓄电池容量为 45A·h 及以下,中级轿车的蓄电池容量为 60~80A·h,高级轿车的蓄电池容量为 80A·h 及以上。例如,东风悦达千里马 1.3L 蓄电池型号: 6-QW-45; 千里马 1.6L 蓄电池型号: 6-QW-55; 北京现代伊兰特蓄电池型号: 6-QW-60; 别克荣御蓄电池型号: 6-QW-75; 天籁蓄电池型号: 6-QW-80L。末位字母 L 或 R 表示电池正极在左侧或右侧。

除常规的铅酸蓄电池外,目前常用于汽车起停系统的蓄电池还包括 AGM(absorbent glass mat,吸附式超细玻璃纤维电池)和 EFB(enhanced flooded battery,增强型富液蓄电池)。

AGM 电池的产品设计和制造工艺与常规蓄电池完全不同,其隔板为吸附式玻璃纤维,将内部电解液牢牢吸附在隔板周围,无流动酸液。AGM 电池的充放电能力、深度循环能力和安全性等方面有了革命性的提升,广泛应用在中高端车型上,在后续的汽车起停系统中还会做较详细的介绍。EFB 电池则主要通过优化和改善普通铅酸蓄电池的材质工艺来提高深度循环耐受性和放电能力。

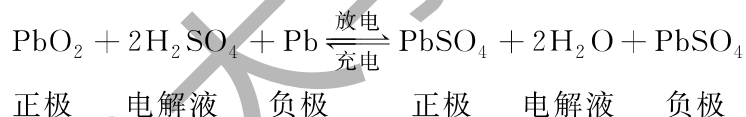
第三节 铅酸蓄电池的工作原理

蓄电池的基本工作状态是放电和充电。放电就是在使用时把化学能转变为电能向用电设备供电;充电就是把外面输入的电能量转变为化学能储存在蓄电池中的过程。

蓄电池中发生的化学反应是可逆的。一般认为双极硫酸盐化理论(简称双硫化理论)能较确切地说明铅酸蓄电池中的化学反应过程。蓄电池正极板上的活性物质是二氧化铅(PbO_2),负极板上的活性物质是海绵状纯铅(Pb),电解液是硫酸水溶液(H_2SO_4)。根据双硫化理论,接通用电设备时,蓄电池可以放出电流,而放电后又以相反的方向通过电流,可以使极板上的活性物质恢复到原来的状态。在正常合理的使用条件下,蓄电池能反复进行充、放电循环,发挥供电和储电的特殊功能,因而又被称为二次电池或再生电池。国产蓄电池一般满负荷充放电循环寿命为 250~500 次。

蓄电池放电时参与化学反应的物质,正极板上是 PbO_2 ,负极板上是 Pb ,电解液是硫酸水溶液。蓄电池放电时,正极板上的 PbO_2 和负极板上的 Pb 都变成 PbSO_4 水溶液,电解液中的 H_2SO_4 减少,相对密度下降。蓄电池充电时,则按相反的方向变化。

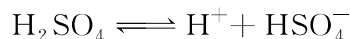
蓄电池的化学反应方程式为



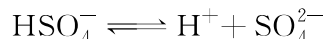
一、电解液中的电离过程和电离平衡

铅酸蓄电池的电解液是硫酸水溶液,依靠带电子子导电。 H_2O 是一种极性分子,显示一定的电性,它可与其他极性分子作用。 H_2SO_4 是一种具有极性键的分子,可与 H_2O 作用。所以硫酸多以氢离子和酸式硫酸根离子或氢离子和硫酸根离子的形式存在。

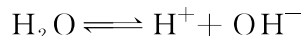
硫酸在水分子的作用下离解为氢离子(阳离子)和酸式硫酸根离子(阴离子):



酸式硫酸根离子又可离解为氢离子和硫酸根离子,但比较困难:



水可电离为 H^+ 和 OH^- :

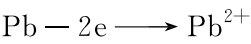


电离是可逆的,在一定条件下,当电离速度和离子结合成分子的速度相等时,则建立起动态的电离平衡。

二、电势的建立

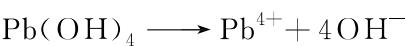
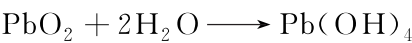
当极板浸入电解液时,在负极板处,铅受到两方面的作用,一方面它有被电解液溶解的

倾向,少量铅溶于电解液中,生成 Pb^{2+} ,在极板上留下两个电子,使极板带负电(图 1-7):



另一方面,由于正、负电荷的吸引, Pb^{2+} 有附着于极板表面的倾向。当两种作用达到平衡时,溶解停止,使负极板具有负电位,约为 -0.1V 。

正极板上,少量的 PbO_2 溶于电解液,与水生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$,再离解成 Pb^{4+} 和氢氧根离子,即



Pb^{4+} 有附着于极板的倾向且大于溶解的倾向,因而在正极板上使极板呈正电位,当达到平衡时,约为 $+2.0\text{V}$ 。因此,当外电路未接通,反应达到相对平衡时,蓄电池的静止电动势 E_s 约为

$$E_s = +2.0\text{V} - (-0.1)\text{V} = 2.1\text{V}$$

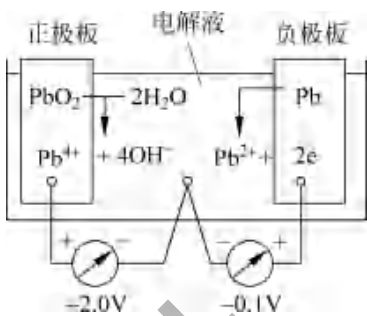


图 1-7 蓄电池电动势的建立

三、铅酸蓄电池的放电过程

铅酸蓄电池的放电过程就是化学能转变为电能的过程。蓄电池接上负载,在电动势的作用下,电流从正极经负载流向负极,即电子从负极板经外电路,流向正极板,使正极电位降低,负极电位升高,同时形成放电电流。放电时的化学反应过程如图 1-8 所示。

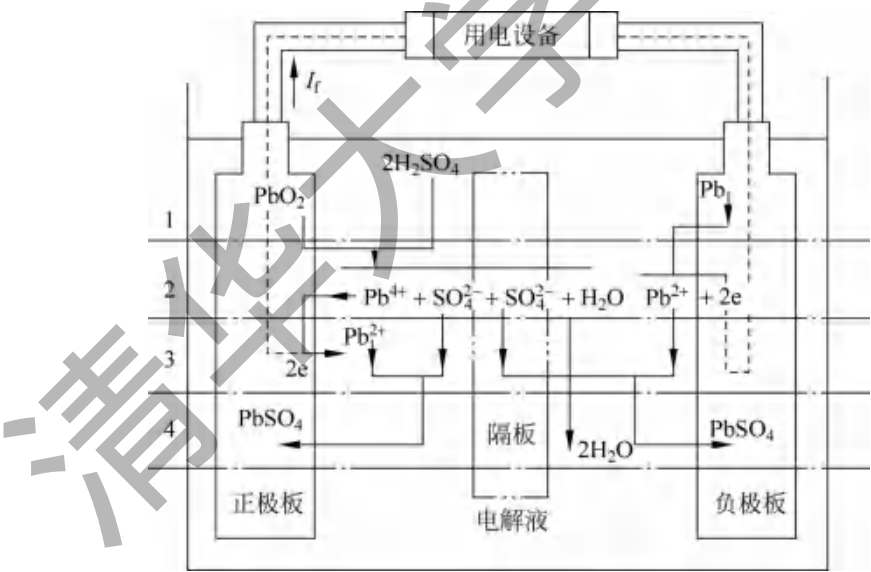
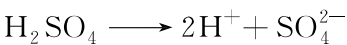
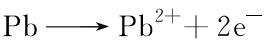


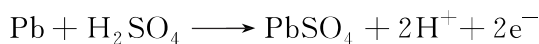
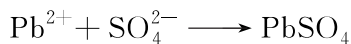
图 1-8 蓄电池的放电过程

1—充电状态; 2—溶解电离; 3—接入负载; 4—放电状态

在负极, Pb 首先被电离成 Pb^{2+} 和两个电子。 Pb^{2+} 与电解液中的 SO_4^{2-} 结合,生成 PbSO_4 附着在负极板上。

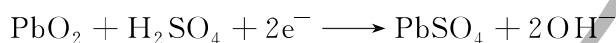
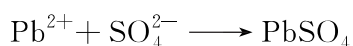
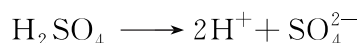
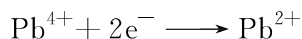
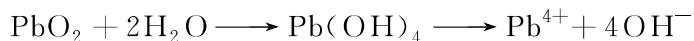
负极板的电化学反应式如下:



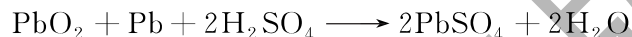


在正极,首先是 PbO_2 和 H_2O 生成不稳定的 $\text{Pb}(\text{OH})_4$,当 Pb^{4+} 遇到由负极来的两个电子后立即变为 Pb^{2+} 。然后, Pb^{2+} 再与 SO_4^{2-} 反应生成 PbSO_4 附着在正极板上。与此同时,正极板附近的 H^+ 也与氧离子化合生成水。

正极板的电化学反应式如下:



放电过程总的反应为



在放电过程中,正极板上的 PbO_2 和负极板上的 Pb 都逐渐转变为 PbSO_4 ,电解液中 H_2SO_4 逐渐减少而水逐渐增多,所以电解液密度是不断下降的。

理论上,放电过程应进行到极板上的活性物质全部变为硫酸铅为止,但由于电解液不能渗透到活性物质的最内层,使用中所谓放完电的电池,实际上只有 20%~30% 的活性物质变成了硫酸铅。因此,采用薄型极板,增加多孔率,提高极板活性物质的利用率是发展的方向。

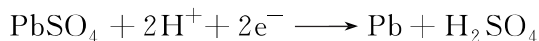
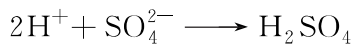
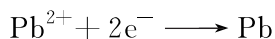
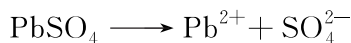
四、铅酸蓄电池的充电过程

所谓充电过程,就是在外加电场作用下,正、负极板上的硫酸铅分别还原为二氧化铅和海绵状纯铅,电解液中水转变为硫酸的过程,即电能转变为化学能储存起来的过程。

充电时,应将蓄电池接直流电源。当电源电压高于蓄电池的电动势时,在电场力的作用下,充电电流 I_c 流入蓄电池正极,再从负极流出,即驱使电子从正极经外电路流入负极。此时,正、负极板发生的反应正好与放电过程相反,其充电时的化学反应过程如图 1-9 所示。

在负极,先是硫酸铅溶解并电离为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} 。 Pb^{2+} 获得两个电子,还原为铅原子附着在负极板上,而 SO_4^{2-} 则与电解液中的 H^+ 结合生成 H_2SO_4 。

负极的反应式为



在正极,少量的 PbSO_4 溶于电解液中,被离解为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-} 。而 Pb^{2+} 在外加电场作用下被氧化,失去两个电子变为 Pb^{4+} ,并与电解液中的 OH^- 结合,生成 $\text{Pb}(\text{OH})_4$,

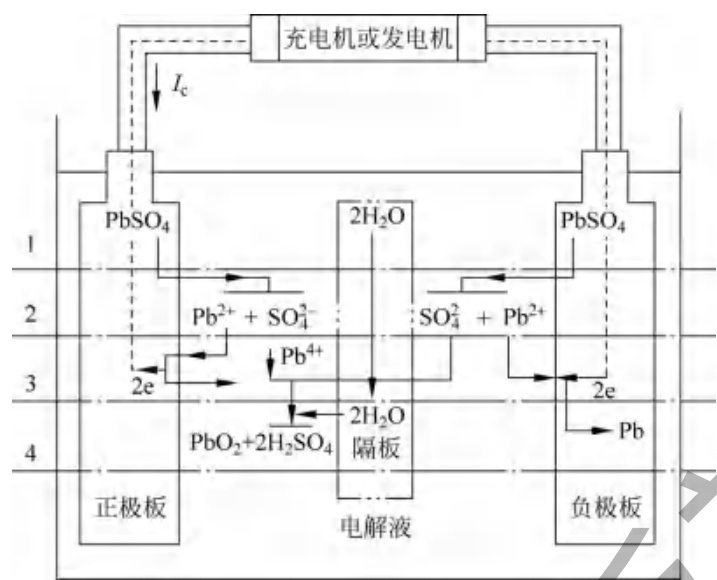
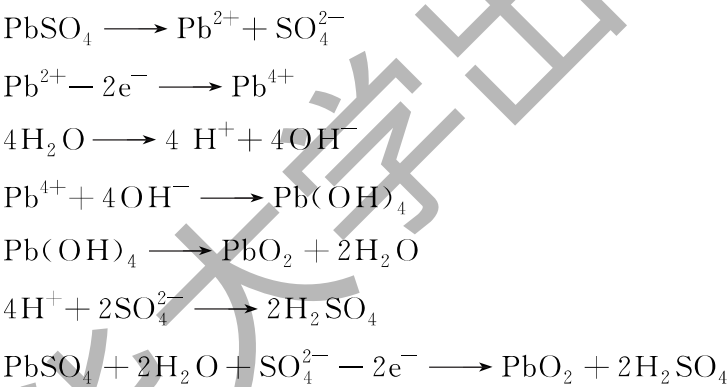


图 1-9 蓄电池的充电过程

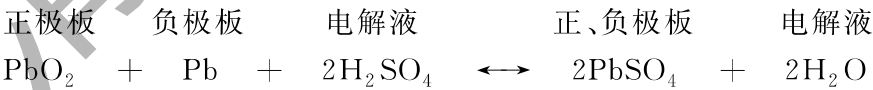
1—放电状态；2—溶解电离；3—通入电流；4—充电状态

$\text{Pb}(\text{OH})_4$ 又分解为 PbO_2 附着在极板上,同时生成水。其反应式如下:

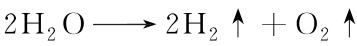


在充电过程中,消耗了水,正、负极板上的 PbSO_4 逐渐还原为 PbO_2 和海绵状纯铅,并生成 H_2SO_4 ,电解液的密度是上升的。

蓄电池在充放电过程中,其内部活性物质处于化合和分解的平衡运动中,略去中间的化学反应,充放电的化学反应过程为



当充电接近终了时,充电电流会使水分解生成 O_2 和 H_2 ,产生大量气泡从电解液中逸出。水的分解反应式为



五、蓄电池充放电过程小结

- (1) 蓄电池在放电时,电解液中的硫酸将逐渐减少,而水将逐渐增多,电解液相对密度下降。
- (2) 蓄电池在充电时,电解液中的硫酸将逐渐增多,而水将逐渐减少,电解液相对密度增加。

(3) 在充放电时,电解液浓度发生变化,主要是由于正极板的活性物质发生化学反应的结果,因此要求正极板处的电解液流动性要好。在装配蓄电池时,应将隔板有沟槽的一面对着正极板,以便电解液流通。

(4) 充电后期,会因电解水产生气体,应注意排气畅通,以防爆炸。

第四节 汽车电池的工作特性

一、汽车电池的电动势、内电阻及端电压

1. 电动势

根据汽车电池的工况,有静止电动势和瞬时电动势之分。

(1) 静止电动势。汽车电池在静止状态和标准相对密度下,单格电池两电极之间的电位差值,称静止电动势,也称开路电压。铅酸蓄电池静止电动势的大小取决于电解液的密度和温度,一般规定其单体额定开路电压为 2.0V。温度为 25℃ 时开路电压的经验公式为

$$E_s = 0.85 + \rho_{25^{\circ}\text{C}} \quad (\text{V}) \tag{1-1}$$

$$\rho_{25^{\circ}\text{C}} = \rho_T + 0.00075(t - 25) \tag{1-2}$$

式中: E_s ——静止电动势(V);

0.85——温度换算系数;

0.00075——密度换算系数,含义为:电解液温升 1℃,密度下降 0.00075g/cm³;

$\rho_{25^{\circ}\text{C}}$ ——25℃ 时的电解液密度(g/cm³);

ρ_T ——实测密度(g/cm³);

T ——实测温度(℃)。

(2) 瞬时电动势。瞬时电动势是指汽车电池在充、放电过程中,即进行电化学反应时,正、负极板上产生的电极电位差值。通常,在放电时,瞬时电动势低于静止电动势;在充电时,瞬时电动势高于静止电动势。如无特别说明,其值可以按静止电动势公式计算。

2. 内电阻

汽车电池的内电阻 R_0 是指极板电阻、电解液电阻、隔板电阻、连接条和极柱电阻的总和。铅酸蓄电池的内阻很小,为几十毫欧,充满电的铅酸蓄电池在温度为 20℃ 时,内阻 R_0 可按下述经验公式计算其近似值:

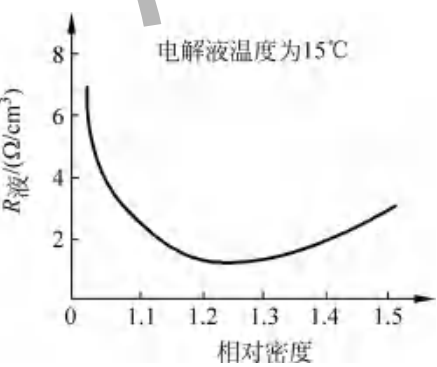


图 1-10 电解液电阻与相对密度的关系

$$R_0 = \frac{u_e}{17.1Q_e} \tag{1-3}$$

式中: u_e ——蓄电池额定电压(V);

Q_e ——蓄电池额定容量(A·h)。

电解液的电阻随其相对密度和温度不同而变化,通常随温度的降低而增大;电阻与电解液相对密度变化的关系曲线如图 1-10 所示。总之,汽车电池的内电阻通常都是很小的,因而能输出较大的电流,适应起动或大功率输出的需要。

3. 端电压

汽车电池的端电压 u 就是用直流电压表测得的正、负极桩之间的电压,其大小随充、放电程度的不同而变化。

放电时端电压逐渐下降,并且总是低于瞬时电动势。它们之间的关系为

$$u = e - I_f R_0 \tag{1-4}$$

式中: e ——瞬时电动势(V);

I_f ——放电电流(A)。

充电时,端电压逐渐升高,且总是高于瞬时电动势,它们之间的关系为

$$u = e + I_c R_0 \tag{1-5}$$

式中: I_c ——充电电流(A)。

综上所述,电动势的大小在电解液相对密度一定时,变化很小。汽车电池在充、放电过程中,内电阻是一个变量,其值虽小,但直接影响端电压的大小。端电压是衡量任何一种电源供电质量的主要指标之一,因此,需要了解端电压在充、放电过程中的变化规律。汽油发动机车辆使用过程中,铅酸蓄电池端电压随其工作状态的变化规律如下:

- (1) 开路电压: 在发电机未正常工作时测量的蓄电池端电压为开路电压,一般为 12V。
- (2) 充电电压: 在发电机正常工作时测量的蓄电池端电压为充电电压,一般为 14V。
- (3) 放电电压: 起动发动机时测量的蓄电池端电压为放电电压,为 8~11V。实际测量时可以采用高率放电计模拟起动状态。

二、汽车电池的放电特性

汽车电池的放电特性是指恒流放电过程中,电池的端电压和电解液相对密度随放电时间变化的规律。以汽车铅酸蓄电池的测试实验为例,以 20h 放电率恒流放电,保持放电电流稳定不变, $I_f = 0.05C_{20}$ 。每隔一定的时间,测量端电压和电解液密度,得到如图 1-11 所示的放电特性曲线。

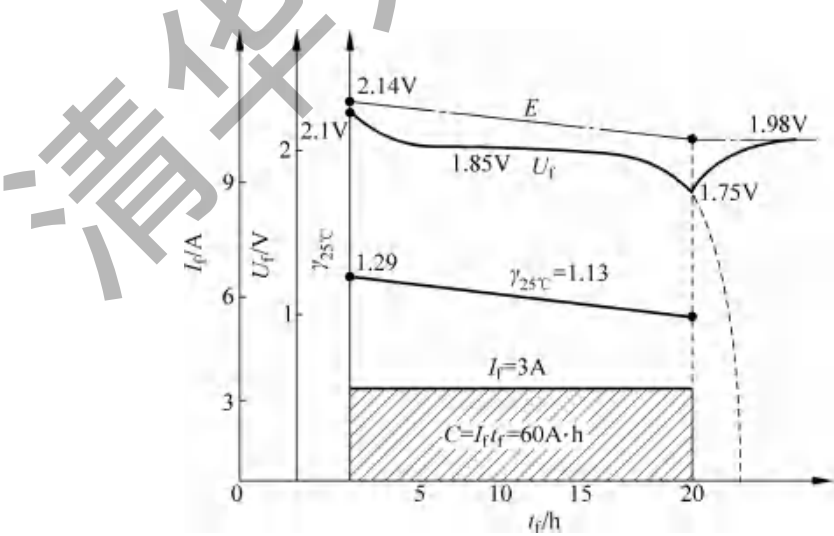


图 1-11 铅酸蓄电池单体的放电特性曲线

单格电池电压变化规律:

- (1) 开始放电阶段: 端电压由 2.14V 迅速下降至 2.1V。

极板孔隙内硫酸迅速消耗,电解液密度迅速下降,浓差极化增大,端电压迅速下降。

(2) 相对稳定阶段:端电压缓慢下降至 1.85V。

向极板孔隙扩散的硫酸与孔隙内消耗的硫酸达到动态平衡,孔内外电解液密度一起缓慢下降,所以端电压缓慢下降。

(3) 迅速下降阶段:端电压由 1.85V 迅速下降至 1.75V,电解液密度达最小值 $\rho_{15^{\circ}\text{C}} = 1.11\text{g/cm}^3$ 。

放电接近终了时,电化极化、浓差极化、欧姆极化显著增大,端电压迅速下降。

(4) 蓄电池放电终了的特征

① 终止电压:允许的放电终止电压与放电电流大小有关,放电电流越大,则放电时间越短,允许的放电终止电压越低。放电电流与终止电压的关系如表 1-1 所示。

② 电解液密度 $\rho_{15^{\circ}\text{C}} = 1.11\text{g/cm}^3$ 。

表 1-1 放电电流与终止电压的关系

放电电流/A	$0.05C_{20}$	$0.1C_{20}$	$0.25C_{20}$	$1C_{20}$	$3C_{20}$
连续放电时间	20h	10h	3h	30min	5min
单格电池终止电压/V	1.75	1.70	1.65	1.55	1.50

三、汽车电池的充电特性

汽车电池的充电特性是指在恒流充电过程中,电池的端电压与电解液相对密度随时间而变化的规律。同样以汽车铅酸蓄电池的测试实验为例,以 20h 充电率恒流充电,保持充电电流稳定不变, $I_c = 0.05C_{20}$ 。每隔一定的时间,测量端电压和电解液密度,得到如图 1-12 所示的充电特性曲线。

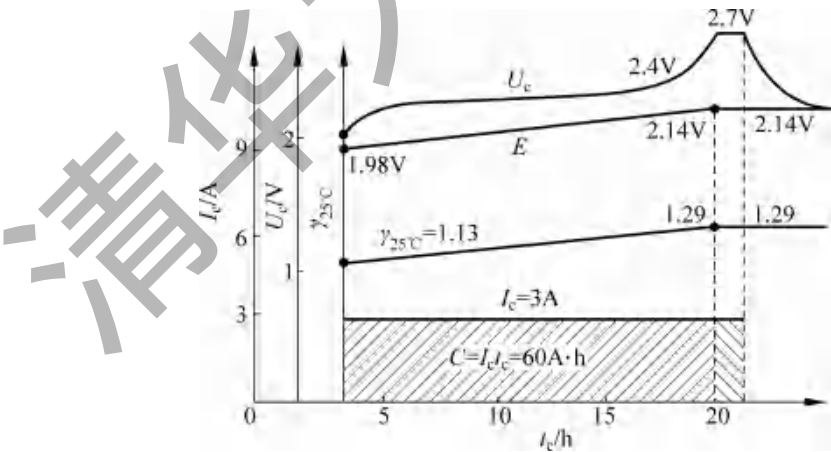


图 1-12 铅酸蓄电池单体的充电特性曲线

因为充电电压必须克服汽车电池的电动势和内阻电压降,才能在电路中形成电流,所以充电电压始终高于电动势,即

$$U_c = E + I_c R_0 \tag{1-6}$$

单格电池电压变化规律:

(1) 充电开始阶段：端电压迅速上升至 2.1V。

开始充电时，孔隙内迅速生成硫酸，浓差极化增大，端电压迅速上升。

(2) 稳定上升阶段：端电压缓慢上升至 2.4V 左右，并开始产生气泡。

孔隙内生成的硫酸向孔隙外扩散，当硫酸生成的速度与扩散速度达到平衡时，端电压随整个容器内电解液密度变化而缓慢上升。

(3) 充电末期：电压迅速上升至 2.7V 左右，且稳定不变，电解液呈沸腾状态。

活性物质还原反应结束后的充电称过充电。过充电电流主要用于电解水，应避免长时间过充电。切断电源后，单格电压迅速降至 2.11V。

蓄电池充足电的特征如下：

(1) 端电压上升到最大值 2.7V，并在 2~3h 内不再增加。

(2) 电解液密度上升到最大值 1.27g/cm^3 并在 2~3h 内不再增加。

(3) 蓄电池内产生大量气泡，电解液沸腾；停充 1h 后再接通充电电源时，蓄电池电解液仍会立刻沸腾。

第五节 汽车电池的容量及影响因素

一、汽车电池的容量

汽车电池的容量标志着蓄电池对外供电的能力，是衡量蓄电池性能优劣及选用蓄电池的最主要的性能参数，用字母 C 表示，通常分为额定容量、起动容量和储备容量等。一般的标称容量，是指在一定条件下，充足电的蓄电池按恒定大小的电流连续放电，其端电压降至放电终止电压时所输出的电量，其大小受放电温度、放电电流、放电终止电压影响。标称容量的大小可以用恒定放电电流与放电时间的乘积来表达：

$$C = I_f T_f \quad (1-7)$$

式中： C ——蓄电池的容量($\text{A} \cdot \text{h}$)；

I_f ——放电电流(A)；

T_f ——放电时间(h)。

1. 额定容量

GB 5008.1—1991《起动用铅酸蓄电池技术条件》规定：将完全充足电的新蓄电池在电解液温度为 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ 、密度为 $(1.28 \pm 0.01)\text{g/cm}^3$ 的条件下，以 20h 放电率(放电电流为 $0.05C_{20}$)连续放至单格终止电压为 1.75V 时为止，蓄电池输出的电量称为 20h 率额定容量，记为 C_{20} ，单位为安培·小时($\text{A} \cdot \text{h}$)。

例如，6QA60 型铅酸蓄电池，在电解液初始温度为 25°C 时，以 3A 的放电电流连续放电 20h，单格电压降到 1.75V，其 20h 率额定容量为： $C_{20} = 3\text{A} \times 20\text{h} = 60\text{A} \cdot \text{h}$ 。

额定容量是检验新蓄电池质量和衡量旧蓄电池能否继续使用的重要指标。新蓄电池达不到额定容量为不合格产品；旧蓄电池的实际容量与其额定容量之差超过某一限值时，则应报废。

2. 储备容量

GB/T 5008.1—2013《起动用铅酸蓄电池第 1 部分：技术条件和试验方法》规定，储备

容量是指完全充足电的蓄电池,当电解液温度为 25℃时,以 25A 恒定电流连续放电到单格电池电压降至 1.75V 时所持续的时间,单位为 min,用符号 C_N 表示。蓄电池的储备容量说明当汽车充电系统失效时,蓄电池尚能持续提供 25A 电流的能力。

储备容量与额定容量有如下换算关系:

$$C_{20} = \sqrt{17778 + 208.3C_m} - 133.3 \tag{1-8}$$

在 $C_{20} \geq 200A \cdot h$ 或 $C_m \geq 480min$ 时,式(1-8)不适用。

3. 起动容量

对于汽车起动用蓄电池来说,起动容量表示蓄电池在发动机起动时的供电能力。通常分为常温起动容量和低温起动容量。

(1) 常温起动容量: 电解液初始温度为 25℃时,以 5min 放电率的电流(3 倍额定容量电流)连续放电至蓄电池单格电压降至 1.5V 时,所输出的电量,其连续放电时间应小于 5min。

例如,6-QA-90 型蓄电池, $C_{20} = 90A \cdot h$,当电流初始温度为 25℃时,以 $3C_{20} = 3 \times 90A = 270A$ 的电流连续放电至单格电压降至 1.5V 时,历时 5min,则其起动容量为 $270 \times 5/60 = 22.5A \cdot h$ 。

(2) 低温起动容量: 电解液初始温度为 -18℃时,以 5min 放电率的电流连续放电至单格电压降至 1V 时所输出的电量,其放电时间应小于 2.5min。

例如,6-QA-90 型蓄电池,在电解液初始温度为 -18℃时,以 $3C_{20} = 3 \times 90A = 270A$ 的电流连续放电至单格电压降至 1V 时,历时 2.5min,其起动容量为 $270 \times 2.5/60A \cdot h = 11.25A \cdot h$ 。

由上述两例可以发现,同样型号的蓄电池,其额定容量相同,但低温起动容量只有常温起动容量的一半左右。

二、影响汽车电池容量的因素

汽车电池的容量越大,可提供的电能就越多。电池的容量与放电电流、电池内部温度、极板的结构等多个因素有关,铅酸蓄电池的容量还受到电解液密度和电解液纯度的影响。

1. 放电电流

放电电流对汽车电池的实际放电量有较大的影响,一般放电电流越大,实际能放出的电量越小,表现为电池的容量降低。

以铅酸蓄电池为例,在放电过程中,正、负极板上的活性物质会不断转变为 $PbSO_4$ 。而 $PbSO_4$ 的体积比 PbO_2 大 1.86 倍,比 Pb 大 2.68 倍,所以随着 $PbSO_4$ 的不断产生,极板孔隙会逐渐减小,使硫酸渗透困难。放电电流越大,单位时间内产生的 $PbSO_4$ 越多,堵塞极板孔隙的作用越明显,使极板内层活性物质不能参加反应。同时,放电电流越大,硫酸的需求量也越大,这就必将导致孔隙内电解液密度急剧下降,于是端电压也迅速降低,从而缩短了放电时间。

图 1-13 是放电电流与容量之间的关系。放电电流越大,极板上用于参加电化学反应的活性物质越少,容量越低。

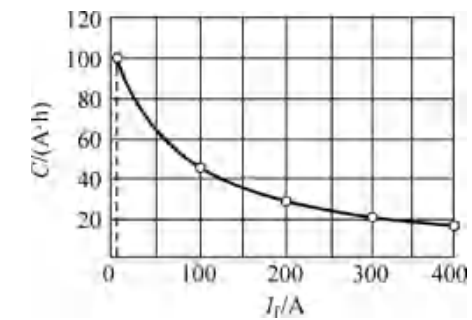


图 1-13 放电电流与蓄电池容量的关系

图 1-14 是 6-Q135 型蓄电池在不同放电电流情况下的放电特性,从图中可以看出,放电电流越大,端电压下降得越快,越早出现终止电压而影响蓄电池的使用寿命。因此必须严格控制起动时间,每次起动的时间不得超过 5s,而且相邻两次起动之间的时间间隔应为 15s。

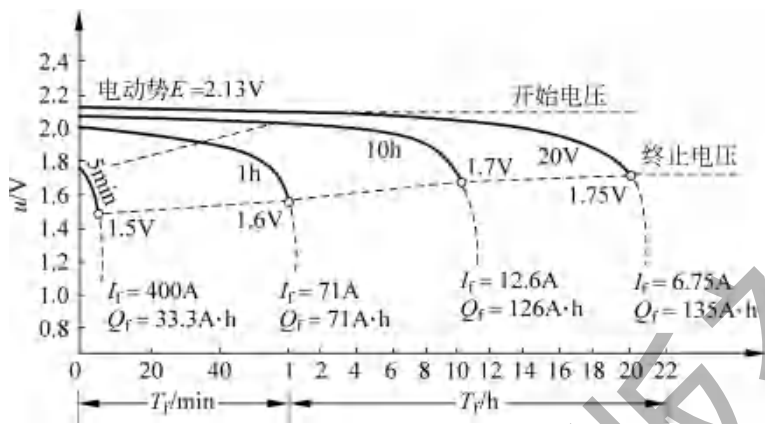


图 1-14 蓄电池在不同放电电流情况下的放电特性

2. 电池内部温度

电池内部温度降低,容量通常减小,这也是纯电动汽车在冬季续航里程减小的主要原因。铅酸蓄电池内部温度主要由电解液温度表示,当电解液温度降低时,电解液黏度增大,渗入极板的能力降低,活性物质利用率降低;同时电解液内电阻增大,蓄电池内阻增加,使端电压下降,因此容量减小,如图 1-15 所示。实验证明,电解液温度每下降 1℃,缓慢放电时铅酸蓄电池容量约减少 1%,迅速放电时铅酸蓄电池容量约减少 2%。因此在冬季应注意汽车电池的保温工作。

3. 极板的结构

极板面积越大,正、负极板的数量越多,则参加反应的活性物质也越多,电池的容量越大。提高极板活性物质表面积的方法主要有两个:一是增加极板的片数;二是提高活性物质的孔率。

极板越薄,活性物质的多孔性越好,电解液渗透越容易,活性物质的利用率越高,增加了反应深度,容量也就越大。

国产铅酸蓄电池面积已统一,每对极板面的容量为 7.5A·h,所以极板数与容量的关系可用下式计算:

$$C = 7.5(N_z - 1) \tag{1-9}$$

式中: C——蓄电池的容量(A·h);

N_z ——正、负极板的总片数。

4. 电解液相对密度

铅酸蓄电池电解液的相对密度过低时,由于 H^+ 、 HSO_4^- 离子数量少而导致容量下降。因此,适当增加电解液的相对密度,可以提高电解液的渗透速度和蓄电池的电动势,并减小内阻,使蓄电池的容量增大。但相对密度超过一定数值时,由于电解液黏度增大使渗透速度

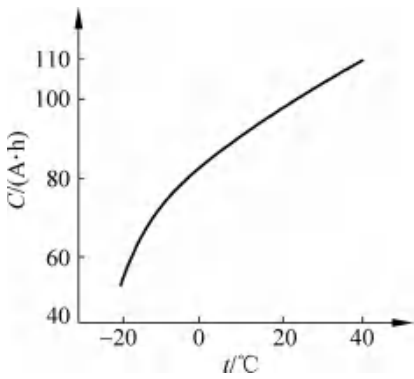


图 1-15 电解液温度与铅酸蓄电池容量的关系

降低,内阻和极板硫化增加,又会使蓄电池的容量减小。图 1-16 为电解液的相对密度与铅酸蓄电池容量的关系。

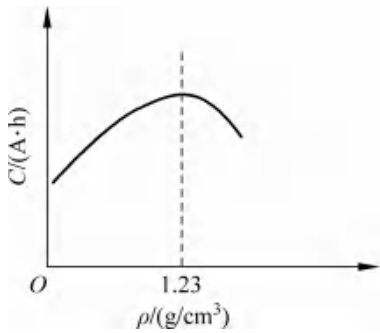


图 1-16 电解液相对密度与铅酸蓄电池容量的关系

实践证明,电解液相对密度偏低有利于提高放电电流和容量,延长蓄电池的使用寿命,冬季在电解液不结冰的前提下,也应尽可能采用相对密度稍低的电解液。

三、汽车起动电池容量的参数选型

起动型蓄电池的主要功能是保证发动机正常起动,因此,选择蓄电池容量时应先根据起动机的扭矩或功率进行估算,再结合使用环境,尤其是最低起动温度、储备容量等其他因素进行调整。

可以先按照起动机的扭矩和起动转速估算所需的起动电流,然后直接根据 GB-T 5008.2—2013 中起动电流对应的蓄电池容量进行选型。

也可以根据起动机的功率进行估算,设起动机额定功率为 $P(\text{kW})$,额定电压为 $U(\text{V})$,通常汽油发动机的额定电压为 12V,可根据经验公式(1-10)计算蓄电池的容量 C_{20} ,再从常用的蓄电池容量中进行选型。

$$C_{20} = 5487(n/g)(P/U) \tag{1-10}$$

式中： n/g ——短路电流的变化系数。针对不同条件, $n、g$ 参数的取值见表 1-2。

表 1-2 $n、g$ 参数的取值

参 数	温 度			
	+20℃	0℃	−15℃	−35℃
n	2	1.88	1.80	1.70
g	20	15.1	11.8	5.9
Q	$Q=549P/U$	$Q=683P/U$	$Q=837P/U$	$Q=1580P/U$

例如,额定功率为 0.95kW、电压为 12V 的起动机,在 20℃时计算容量约为 43.5A·h,可以选择额定容量为 45A·h 的蓄电池;但在 0℃时计算容量约为 54A·h,则需要选择额定容量为 60A·h 的蓄电池。通常在非恶劣环境下,可直接用式(1-11)计算。

$$C_{20} = (600 \sim 800)(P/U) \tag{1-11}$$

第六节 汽车电池的使用与维护

一、汽车电池的充电方法

汽车电池的充电必须根据不同情况选择适当的充电方法,并且正确地使用充电设备,这样才能提高工作效率,延长蓄电池及充电设备的使用寿命。通常蓄电池的充电方法有恒流充电、恒压充电和快速脉冲充电。

恒流充电的充电电流可任意选择,有益于延长蓄电池寿命。但通常充电时间较长,且需要调整充电电流。例如,在第一阶段用较大电流充电,当单格电池电压升到 2.4V 时,电解

液开始产生气泡；将充电电流减小一半进行第二阶段恒流充电，直到蓄电池完全充足电为止。恒流充电适合于蓄电池的初充电、去硫充电和补充充电。

恒压充电指在充电过程中，充电电压恒定不变。这是汽车发电机对蓄电池充电的方法。恒压充电速度快，操作方便，充电电流会随着电动势的上升而逐渐减小到零，使充电自动停止，不必人为地调整和干预。但是恒压充电的充电电流无法调整，不能保证蓄电池彻底充足电；而且初期充电电流大，温升快，极板易弯曲，活性物质易脱落，影响蓄电池的寿命。

20 世纪 60 年代中期，美国科学家马斯提出了以最低出气率为前提的蓄电池最佳充电曲线，即马斯定律，指出在蓄电池充电过程中，若实际充电电流无限接近最佳充电曲线，充电速度和质量将明显提高，电池寿命也会得到延长。因此，可以采用间歇正负脉冲充电方法，如图 1-17 所示，通过对蓄电池温度、荷电状态和析气点电压的检测分析，来控制间歇时间、负脉冲放电时间及放电脉冲的宽度。还可以采用脉冲大电流充电来实现快速充电的方法，如图 1-18 所示，但脉冲快速充电易导致活性物质脱落，影响蓄电池寿命。

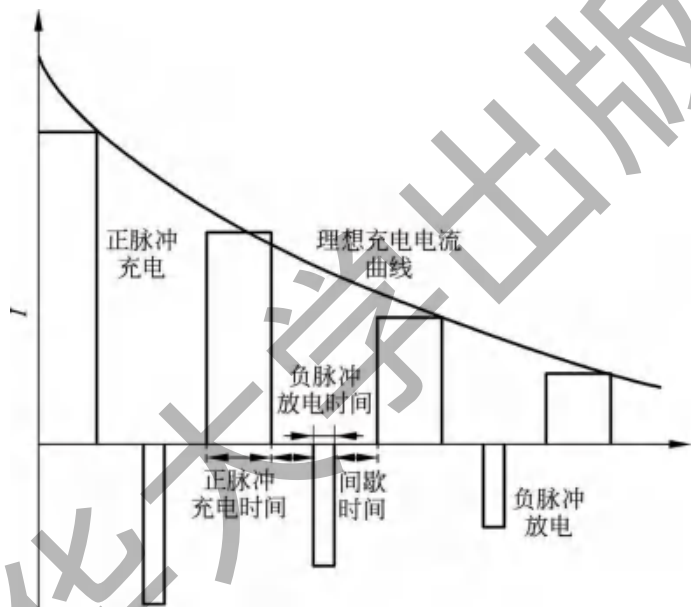


图 1-17 间歇正、负脉冲充电示意图

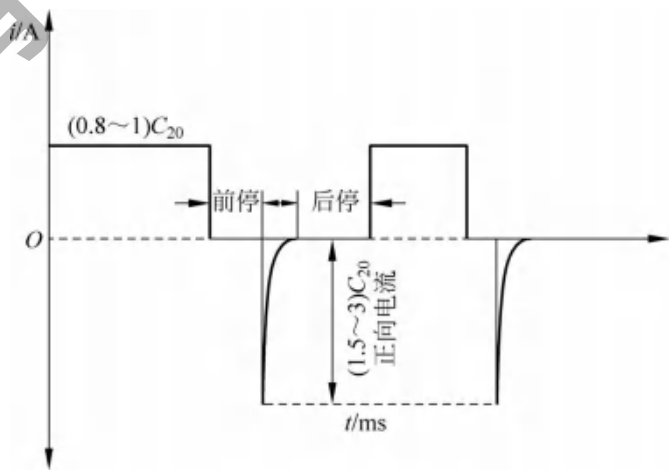


图 1-18 脉冲快速充电示意图

二、起动蓄电池的正确使用

根据蓄电池的性能特点,汽车中的起动蓄电池在使用时应注意以下几点:

- (1) 正确使用起动机。每次起动时间不得超过 3~5s; 如果一次未能起动发动机,应间隔 15s 以上再进行第二次起动; 连续三次起动不成功时,应查明原因,排除故障后再进行起动。
- (2) 定期补充充电。在汽车上使用中的蓄电池,在发动机运行时,发电机会对蓄电池不定期进行充电。但如果汽车长时间停放,蓄电池由于空气中存在水分会自放电,为避免蓄电池长时间亏电,每两个月必须进行一次补充充电。冬季,蓄电池容量易降低,补充充电的间隔时间应缩短为一个月或更短,切勿长时间亏电停放。在给蓄电池充电时,要注意电极极性、温度变化和通气状况,避免发生事故。
- (3) 蓄电池在汽车上必须固定牢靠,防止汽车行驶时振动受损或移位; 线夹与极桩的连接也要牢固,以免出现接触不良或接触电阻过大的情况。搬运蓄电池应轻搬轻放,不能在地上拖曳。拆卸蓄电池时,始终要先拆负极(搭铁)电缆,千万不要把金属工具同时触及蓄电池两极,使蓄电池短路而引起事故。
- (4) 注意清洁保养,及时清除蓄电池表面的灰尘和污物,并疏通通气孔。当极柱和接线上出现氧化物时,应予以清除,并在其表面涂上凡士林或黄油以防止氧化。电解液洒在电池表面时,应用抹布蘸浓度 10% 的苏打水或碱水擦净。

三、铅酸蓄电池的技术状况检查

免维护蓄电池内装有温度补偿型密度计,用以监视储电量和液面高度,电解液密度与相对应的放电状态如表 1-3 所示。

表 1-3 电解液密度与相对应的放电状态

放电状态 / %	100	75	50	25	0
电解液密度 / (g/cm ³)	1.27	1.23	1.19	1.15	1.11

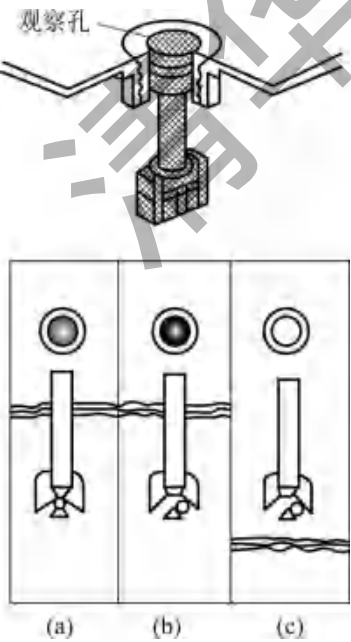


图 1-19 内装密度计的蓄电池示意图

免维护蓄电池通过测试电解液密度和折射光的颜色来判断蓄电池的电量,如图 1-19 所示。

- (a) 当密度计指示器表面呈绿色时: 电解液密度接近 1.28g/cm³,绿球浮在外面,表明蓄电池电量充足。
- (b) 当密度计指示器表面绿色面积很小或为黑色时: 电解液密度低于 1.20g/cm³,绿球下沉,呈现黑色,表明蓄电池电量不足,需补充充电。
- (c) 当密度计指示器表面呈黄色时,表明液面过低,蓄电池已不能继续使用,应检查外壳有无裂纹。

当然,也可以采用专用的吸管式密度计直接测量电解液密度,或者采用高率放电计直接测量蓄电池放电时的端电压,以判断其放电程度和起动能力,如图 1-20 所示。

电解液密度每减少 0.01g/cm³,相当于放电 6%。